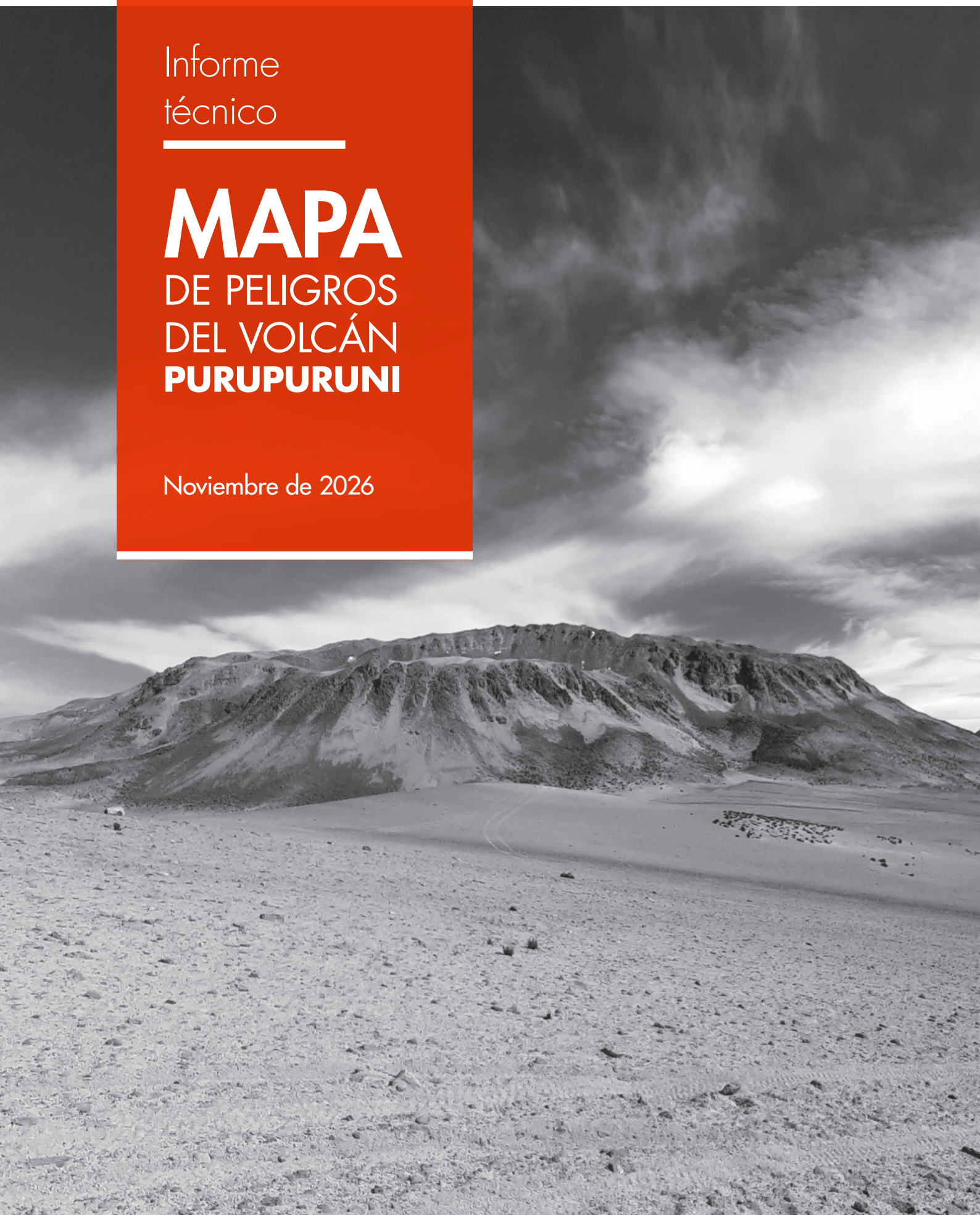
PERÚ Ministerio del Ambiente

IGP Instituto Geofísico del Perú

Informe técnico

MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN PURUPURUNI

Noviembre de 2026



Programa Presupuestal 068
REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

ESTUDIOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

Actividad
Generación de información y monitoreo de peligro volcánico

INFORME TÉCNICO MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN PURUPURUNI

Lima, Perú
Noviembre de 2026

CRÉDITOS

Vladimiro Huaroc Portocarrero
Ministro del Ambiente

Hernando Tavera
Jefe institucional del IGP

Juan Carlos Gómez
Director de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del IGP

Mapa de peligros del volcán Purupuruni
Informe técnico

Marco Rivera
David Valdivia
Juan Cuno
Carla Arias
Autores

Marco Rivera
Jorge Concha
Edición de contenido

Jorge Concha
Diseño y diagramación

Carátula: Vista del volcán Purupuruni

cenvul@igp.gob.pe
https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/
A. H. José María Arguedas, mz. D, lt. 8, Sachaca, Arequipa
Teléfono: +51 54 369212
Contacto

Este informe ha sido elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP)
Calle Badajoz 169, Mayorazgo, Ate, Lima
Teléfono: +51 1 317 2300

Accede libremente al Repositorio Geofísico Nacional (REGEN) para descargar este informe:
https://repositorio.igp.gob.pe/

REGEN

Lima, noviembre de 2026

PRESENTACIÓN



Dr. Hernando Tavera
Jefe institucional
Instituto Geofísico del Perú

Todos sabemos que vivimos en un país cuyo paisaje y topografía se han moldeado a lo largo del tiempo por la ocurrencia de sismos y erupciones volcánicas. Estos procesos naturales son cíclicos y, por lo tanto, se repetirán en el futuro con igual o incluso mayor intensidad. En este escenario, la ciencia, de la mano de nosotros los científicos, ha contribuido a comprender estos procesos. En el caso de los volcanes, estos estudios nos permiten conocer sus erupciones históricas y anticipar los escenarios eruptivos que podrían desarrollarse y afectar a las localidades y las ciudades que se han asentado en sus alrededores.

Para entender los actuales escenarios de riesgo de las diferentes áreas urbanas frente a posibles erupciones volcánicas, es crucial contar con información plasmada en documentos cartográficos, es decir, en mapas georreferenciados que muestren la extensión de los productos volcánicos emitidos por cada volcán. Así, podemos anticipar el alcance que han tenido y podrían tener en una nueva erupción las cenizas, los flujos piroclásticos, los proyectiles balísticos, los flujos de lava, los lahares y las avalanchas de escombros. Contar con estos mapas es sencillamente imprescindible para realizar una adecuada gestión del riesgo.

En el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en nuestra calidad de institución oficial del Estado peruano responsable del monitoreo volcánico y la alerta de erupciones, hemos asumido el desafío científico de elaborar mapas de peligro para cada uno de los volcanes activos y potencialmente activos del país. Gracias a estos productos, los tomadores de decisiones y las instituciones que conforman el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) pueden evaluar la exposición de localidades y ciudades cercanas a volcanes. Más aún, estos mapas se consolidan como herramientas esenciales para el ordenamiento territorial y para planificar la expansión urbana, siempre considerando los peligros que trae consigo una erupción volcánica.

Estos mapas son el resultado de investigaciones vulcanológicas que venimos realizando desde 1988, cuando el IGP inició la vigilancia volcánica. Desde entonces, hemos fortalecido esta labor mediante la implementación de redes de monitoreo geofísico, la formación continua de profesionales y la suscripción de convenios con universidades e instituciones nacionales e internacionales para desarrollar estudios pioneros sobre los volcanes. Son más de 35 años dedicados a documentar la actividad volcánica, sus eventos precursores, sus productos y manifestaciones, con el propósito de contribuir a la seguridad y al bienestar de la población.

Comprender los volcanes es un desafío constante, una misión permanente que el Estado peruano ha hecho suya. En virtud de esta confianza, hoy el IGP cuenta con el Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), el servicio de vigilancia volcánica que opera las 24 horas del día, y desde el cual se emiten alertas, reportes y boletines sobre la evolución del comportamiento de 13 volcanes activos y potencialmente activos del país. El CENVUL, con su labor de vigilancia permanente, es aliado vital de los gobiernos regionales y locales, del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) para la gestión del riesgo volcánico en el Perú.

Quienes formamos parte del SINAGERD tenemos claro que no es posible gestionar el riesgo sin el respaldo de la ciencia. Confiamos en que esta misma perspectiva sea compartida por cada peruano y peruana. Sabemos que es un proceso, pero creemos que la generación periódica de productos científicos, como este mapa de peligros del volcán Purupuruni, ayudará a que cada persona comprenda mejor la amenaza que enfrenta en su entorno y que la prevención debe estar basada en información científica oficial, confiable y oportuna. Esta es nuestra labor en el IGP: hacer «ciencia para protegernos, ciencia para avanzar».

RESUMEN

El volcán Purupuruni está ubicado a 83 km al noreste de la ciudad de Tacna. Es un volcán activo constituido por tres generaciones de domos de lava dacíticos, emplazados durante el Holoceno y el Pleistoceno superior: cuatro domos de la primera generación, cinco de la segunda y dos domos recientes de la tercera, emplazados sobre flujos de lava dacíticos subhorizontales que yacen en una zona de altiplanicie volcánica. Sobre la base de estudios previos de la actividad volcánica del Purupuruni y el comportamiento de volcanes peruanos análogos, se consideran cuatro escenarios ante una eventual nueva erupción: el primero contempla una erupción de tipo vulcaniana (Índice de Explosividad Volcánica: IEV 1-2); el segundo contempla una erupción efusiva con emisión de flujos de lava; el tercero contempla una erupción con crecimiento y colapso de domo, y el cuarto contempla una erupción explosiva de tipo subpliniana (IEV 3-4).

Sobre la base de estudios previos y de la modelización de procesos volcánicos mediante programas especializados, se elaboraron cuatro mapas de peligros, presentados en un solo póster:

a) Mapa de peligros volcánicos múltiples para la zona proximal, que considera la ocurrencia de flujos de lava, domos de lava, flujos piroclásticos, lahares, avalanchas de escombros y caída de proyectiles balísticos.

b) Mapa de peligros por caídas de cenizas asociadas a una erupción vulcaniana (IEV 1-2), en el que la zona de alto peligro (rojo) se prolonga a 55 km al sur, 48 km al norte, 60 km al noroeste y 86 km al sureste del volcán Purupuruni. Esta área puede ser cubierta por depósitos de cenizas con espesores que varían de 5 cm en áreas proximales (10-15 km del volcán) a menos de 1 cm en áreas distales. La zona de moderado peligro (naranja) se prolonga a aproximadamente 94 km al sur, 74 km al norte, 80 km al noroeste y 203 km al sureste del Purupuruni. Dicha zona puede ser cubierta por la caída de ceniza, que formaría una capa de pocos milímetros de espesor. La zona de bajo peligro (amarillo) se prolonga a más de 111 km al sur, sobrepasando la frontera Perú-Chile. También se prolonga a 158 km al norte, 180 km al noroeste y más de 60 km al sureste (frontera Perú-Bolivia). Esta área puede ser cubierta por depósitos de cenizas con espesores menores a 1 mm.

c) Mapa de peligros por caídas piroclásticas asociadas a una erupción subpliniana (IEV 3-4), en el que la zona de alto peligro (rojo) se prolonga 96 km al sur, 51 km al norte, 62 km al noroeste y más de 50 km al sureste (frontera Perú-Bolivia). Esta área puede ser cubierta por depósitos de ceniza de algunos decímetros a varios centímetros de espesor. La zona de moderado peligro (naranja) se prolonga a más de 108 km hacia el sur (frontera Perú-Chile), 188 km al norte, 250 km al noroeste y más de 50 km al sureste del volcán Purupuruni (frontera Perú-Bolivia). En esta zona, los depósitos de ceniza podrían presentar espesores de varios milímetros a algunos centímetros durante una erupción de IEV 3, y de varios decímetros durante una erupción de IEV 4. Dependiendo de la dirección del viento, la ceniza podría depositarse sobre los techos de las viviendas y generar afectaciones según el espesor acumulado. La zona de bajo peligro (amarillo) se prolonga a más de 120 km hacia el sur (sobrepasando la frontera Perú-Chile), 528 km al norte, 527 km al noroeste y más de 50 km al sureste, con influencia en el territorio boliviano. Durante una erupción de IEV 3, esta zona podría recibir depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm, cuya presencia podría pasar inadvertida en determinados sectores. En caso de una erupción de IEV 4, los depósitos podrían alcanzar espesores de varios milímetros a algunos centímetros.

d) Mapa de peligros por lahares, en el que la zona roja es considerada de alto peligro y corresponde al área más propensa a ser afectada por lahares de menor volumen (150 000 m^3), asociados a erupciones de baja a moderada magnitud (IEV 1-2) o lluvias intensas. La zona naranja, denominada de moderado peligro, puede ser afectada por lahares de moderado volumen (350 000 m^3) y la zona amarilla se considera de bajo peligro y presenta menor posibilidad de ser afectada por lahares muy voluminosos (500 000 m^3), asociados a erupciones de gran magnitud (IEV $\geq$ 3) o lluvias muy intensas.

En caso de una eventual erupción del volcán Purupuruni, centros poblados como Tarata, Sitajara, Susapaya y Yanabroco, así como localidades menores como Cano, Pamputa, Challapalca, Mamuta, Pampa Collota, Capaso, Jihuaña, Ccalaccalani y otros, así como terrenos de cultivo, pastizales y obras de infraestructura ubicados en un radio de 30 km del Purupuruni, podrían verse afectados por los productos volcánicos, como caídas de cenizas y eventuales lahares. Asimismo, se vería afectado el ganado que habita la zona.

CONTENIDO

7 Presentación

9 Resumen

14 Introducción

15 Condiciones climatológicas

17 Aspecto socioeconómico

20 Cobertura vegetal

22 Tipos de erupciones volcánicas

22 Erupción estromboliana

22 Erupción vulcaniana

23 Erupción pliniana (subpliniana-ultrapliniana)

23 Erupción efusiva

24 Los peligros volcánicos

24 Caída de piroclastos (tefras)

25 Flujos de lava

25 Flujos y oleadas piroclásticas

26 Lahares (flujos de lodo y escombros)

26 Avalanchas de escombros

26 Gases volcánicos

28 El volcán Purupuruni

28 Morfología

28 Geología e historia eruptiva

32 Contexto estructural

33 Datos y metodología para la elaboración de mapas
33 Metodología para la elaboración de mapas
33 Simulación de procesos volcánicos con programas informáticos especializados
36 Escenarios eruptivos considerados
40 Resultados: mapas de peligros del volcán Purupuruni
40 Mapa de peligros volcánicos múltiples para la zona proximal
42 Mapa de peligros por caídas de cenizas durante una erupción vulcaniana (IEV 1-2)
44 Mapa de peligros por caídas piroclásticas durante una erupción subpliniana (IEV 3-4)
46 Mapa de peligros por lahares
48 Conclusiones
50 Referencias

PURUPURUNI

Elevación
5315 m s. n. m.

Región
Tacna

Provincia
Tarata

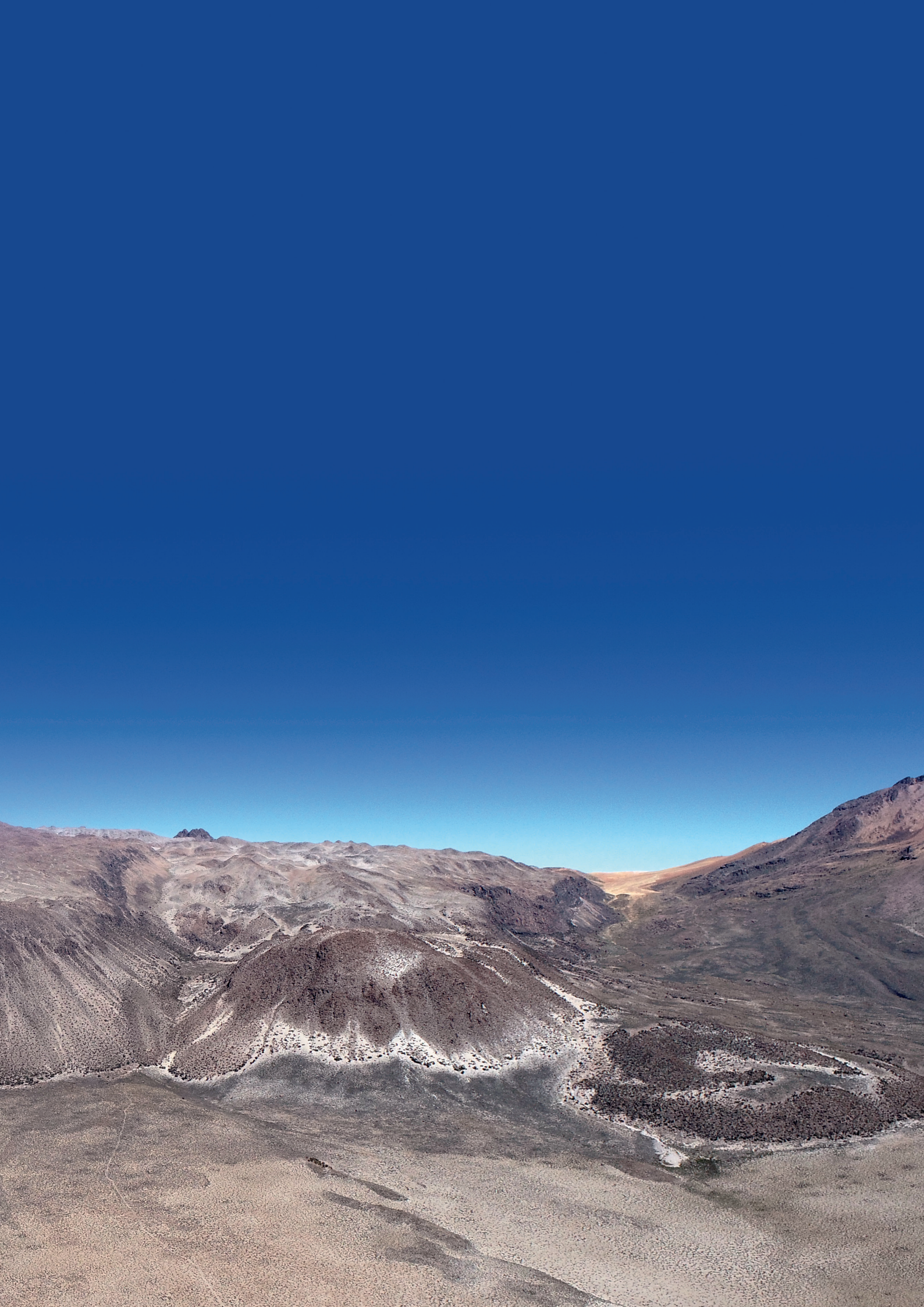
Última erupción
Hace 5300 años aprox.

Población en un radio de 30 km
10 213 personas

Inicio de vigilancia en tiempo real
2021

Instrumentos y técnicas de vigilancia
3 estaciones sísmicas
1 receptor GNSS
Sistemas satelitales





1. Introducción

En el sur del Perú, en las regiones de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna, existe una cadena de volcanes activos y potencialmente activos emplazados durante el Pleistoceno-Holoceno. Esta cadena volcánica forma parte de la denominada Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC; De Silva & Francis, 1991), que debe su origen al proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental sudamericana. Dicha cadena de volcanes está ubicada aproximadamente a 240 km al este del borde occidental de la placa sudamericana, paralela a la fosa Perú-Chile.

Los estudios geológicos, geofísicos y vulcanológicos efectuados en el sur del Perú en las últimas décadas han permitido visualizar las características de la actividad volcánica pasada y reciente manifestada por los volcanes activos y potencialmente activos existentes a lo largo de la cadena volcánica: Auquihuato, Sara Sara, Solimana, Coropuna, Sabancaya, Misti, Chachani, Ubinas, Huaynaputina, Ticsani, Tutupaca, Yucamane, Casiri y Purupuruni. En épocas históricas, cinco de estos volcanes —Ubinas, Tutupaca, Misti, Sabancaya y Huaynaputina— causaron enormes estragos a varios poblados, terrenos de cultivo y obras de infraestructura localizadas en sus inmediaciones. La reactivación sucesiva de los volcanes Sabancaya (1990-1998 y 2013-2026) y Ubinas (2006-2009; 2013-2017, 2019 y 2023-2024), así como el alto grado de exposición de los habitantes de la ciudad de Arequipa (1 080 635 habitantes) frente a una eventual reactivación del volcán Misti, han llevado al Instituto Geofísico del Perú (IGP) a desarrollar un programa destinado a realizar estudios de evaluación de peligros volcánicos tendientes a elaborar mapas de peligros de los volcanes activos del sur peruano.

El volcán Purupuruni (17.31° S; 69.90° O; 5315 m s. n. m.) se ubica en los distritos de Ticaco y Tarata, provincia de Tarata, región de Tacna (Figura 1), a 23 km al noreste de la ciudad de Tarata y a 83 km al noreste de la ciudad de Tacna. La principal vía de acceso parte de la ciudad de Tacna y sigue la ruta PE-38, que une los centros poblados de Tarata y Challapalca (Figura 1).

Los trabajos previos de Bromley et al. (2019), entre otros, han puesto en evidencia la ocurrencia de erupciones efusivas y el crecimiento de domos del volcán Purupuruni durante el Holoceno y probablemente el Pleistoceno superior. En efecto, la morfología poco erosionada de los domos que

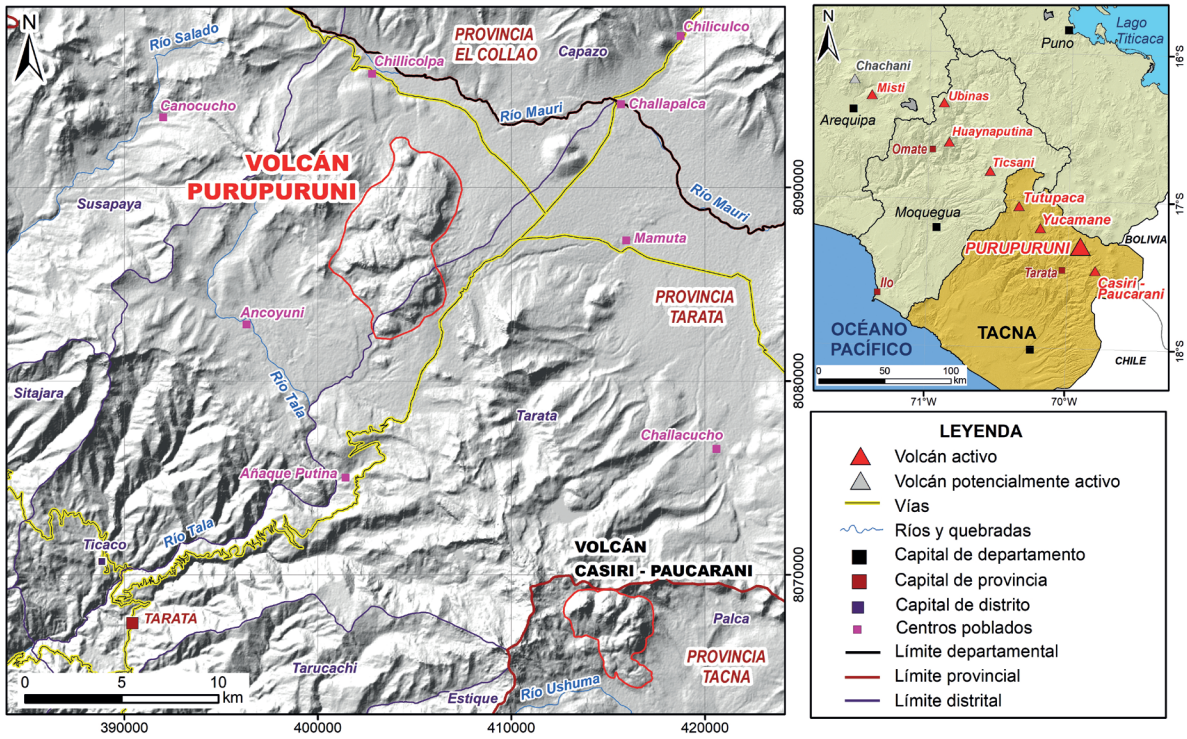


Figura 1. Mapa de ubicación del volcán Purupuruni y principales vías de acceso.



Figura 2. Vista del sector suroeste del volcán Purupuruni, el cual está constituido por domos y flujos de lava.

conforman este volcán sugiere su emplazamiento en una etapa muy reciente. Según el catálogo "Volcanes Activos del Mundo" (Siebert et al., 2010), este volcán no ha presentado erupciones históricas.

El volcán Purupuruni puede reactivarse en el futuro y generar una erupción cuyos productos pueden afectar áreas aledañas donde se ubican poblaciones dedicadas principalmente a la ganadería y agricultura. Además, en áreas aledañas existen importantes obras de infraestructura (carreteras, represas, canales de agua, etc.) que pueden verse afectadas por una eventual erupción del volcán Purupuruni. El objetivo central del presente estudio es presentar los mapas de peligros del volcán Purupuruni que muestran las zonas que podrían ser afectadas o impactadas por sus productos durante futuras erupciones, con el propósito de brindar a la sociedad, a las instituciones del SINAGERD (INDECI, CENEPRED, etc.) y a las autoridades locales y regionales (gobiernos regionales de Tacna y Puno, municipalidades provinciales y distritales, etc.) un documento oficial que permita efectuar un adecuado ordenamiento territorial, la formulación de proyectos de desarrollo, la elaboración de planes de prevención y el manejo de una eventual crisis volcánica del Purupuruni.

1.1 Condiciones climatológicas

Se realizó un análisis de los registros de temperaturas máximas y mínimas y de precipitaciones acumuladas diarias de las áreas circundantes al volcán Purupuruni, obtenidas de las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ubicadas en el entorno del volcán Purupuruni, entre ellas Challapalca, ubicada a 11.2 km al noreste del Purupuruni, Vilacota, ubicada a 25 km al noroeste del Purupuruni, Susapaya, a 25.1 km al suroeste del Purupuruni y Tarata, a 25.2 km al suroeste del volcán Purupuruni. Los datos generales de las estaciones meteorológicas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de ubicación y operatividad de las estaciones meteorológicas de SENAMHI instaladas en inmediaciones del volcán Purupuruni (Fuente: SENAMHI, 2026).

Nombre	Coordenadas		Altitud (m s. n. m.)	Periodo de Registro	Cuenca
	Latitud	Longitud			
Susapaya	17°20'51.8" S	70°08'05" O	3468	1965-2025	Sama
Vilacota	17°04'44.6" S	70°02'34.9" O	4390	2000-2025	Mauri
Capazo	17°10'57.69" S	69°44'20.72" O	4423	2001-2025	Mauri
Challapalca	17°14'14" S	69°48'47" O	4280	1964-2017	Mauri
Tarata	17°28'45.7" S	70°02'11.9" O	3100	1963-2025	Sama

1.1.1 Temperatura

Para analizar la temperatura, se utilizaron los datos de las tres estaciones meteorológicas que se describen a continuación:

Entre 2000 y 2025, la estación meteorológica Susapaya registró una temperatura máxima promedio de 17.4 °C y una temperatura mínima promedio de 4.4 °C. La temperatura máxima registrada fue de 29.8 °C y la temperatura mínima de –21 °C (Figura 3).

Entre 2001 y 2025, la estación meteorológica Capazo registró una temperatura máxima promedio de 13.8 °C y una temperatura mínima promedio de –5.8 °C. Durante este periodo, la temperatura máxima registrada fue de 26.5 °C y la mínima de –17.4 °C, excluyendo un registro extremo aislado de –40.2 °C, correspondiente al 14 de noviembre de 2008 (Figura 3).

Entre 1963 y 2025, la estación meteorológica Tarata registró una temperatura máxima promedio de 19.6 °C y una temperatura mínima promedio de 4.6 °C. La temperatura máxima fue de 30.6 °C y la temperatura mínima de –6.6 °C (Figura 3).

1.1.2 Precipitación

Para analizar la precipitación, se utilizaron datos de cuatro estaciones meteorológicas del SENAMHI: Tarata, Susapaya, Vilacota y Challapalca. Durante el periodo 1963-2025, la estación meteorológica Tarata registró una mayor frecuencia de días con lluvia entre diciembre y marzo (Tabla 2), con precipitaciones que alcanzaron valores de 47.6 mm (Figura 4). Entre mayo y noviembre se registró una época de menores precipitaciones, con valores de entre 0.1 mm y 20.7 mm.

Entre 1965 y 2025, la estación meteorológica Susapaya registró una mayor recurrencia de precipitaciones, principalmente entre diciembre y marzo (Tabla 2), con valores que alcanzaron 40.0 mm (Figura 4). Entre abril y noviembre se presentó una época de menores precipitaciones, con valores de entre 0.1 mm y 30.6 mm. Sin embargo, en febrero se registraron precipitaciones inusuales de entre 51.4 mm y 67.7 mm.

Entre 2000 y 2025, la estación meteorológica Vilacota registró un régimen pluviométrico estacional, caracterizado por una mayor recurrencia de precipitaciones entre diciembre

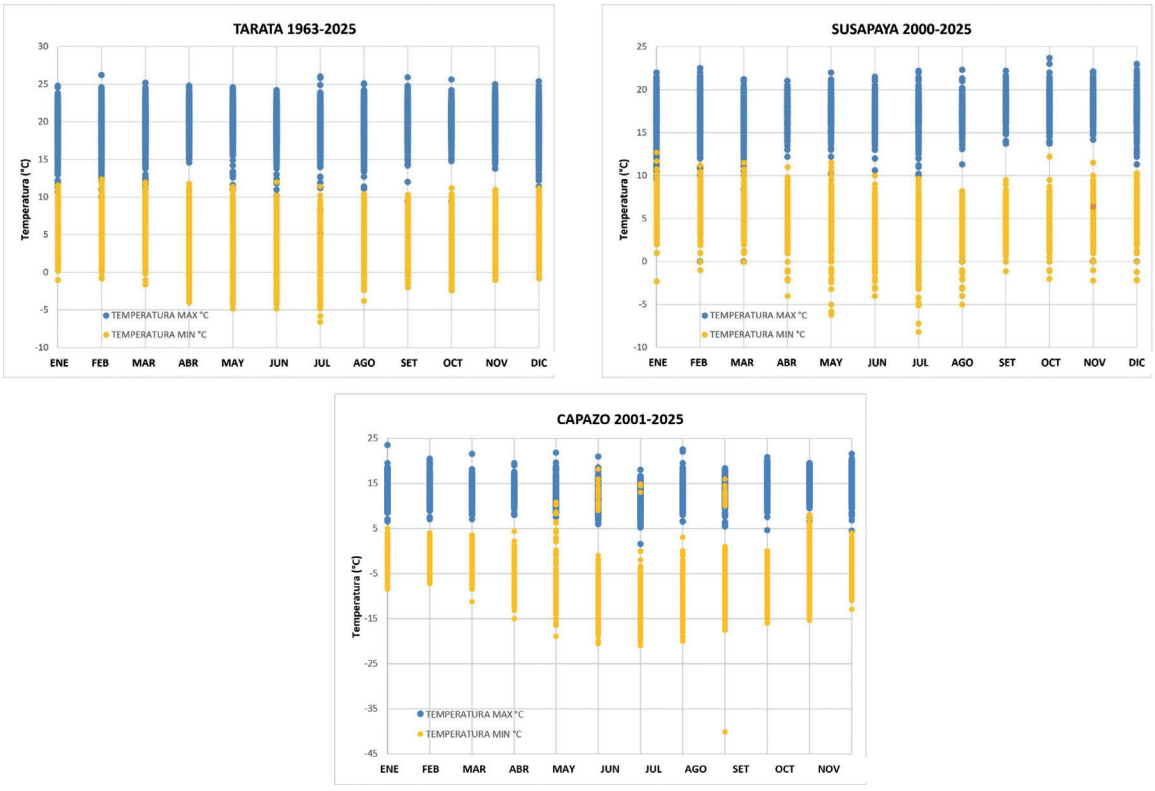


Figura 3. Gráficos de temperatura máxima y mínima diaria según el mes, de las estaciones meteorológicas de Tarata, Susapaya y Capazo (Fuente: SENAMHI, 2026).

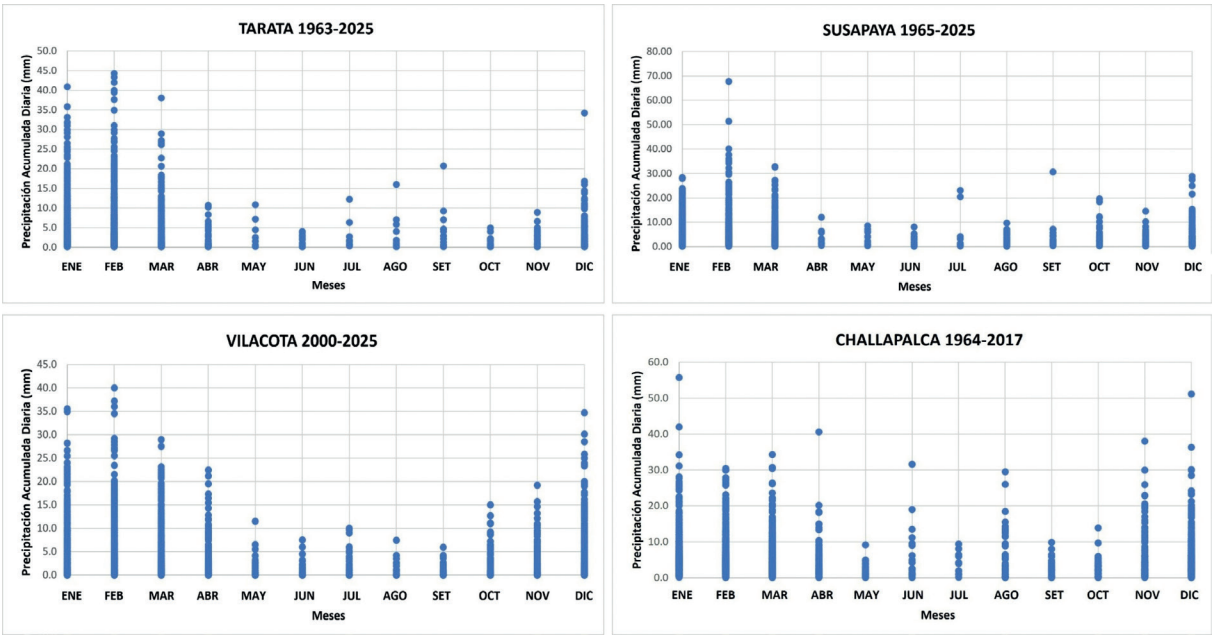


Figura 4. Gráficos de precipitación acumulada diaria según el mes, pertenecientes a las estaciones meteorológicas Tarata, Susapaya, Vilacota y Challapalca, ubicadas alrededor del volcán Purupuruni (Fuente: SENAMHI, 2026).

Tabla 2. Promedio de días con precipitación de cada mes, de acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas Challapalca (1964-2017), Susapaya (1965-2025), Tarata (1963-2025) y Vilacota (2000-2025), ubicadas alrededor del volcán Purupuruni (Fuente: SENAMHI, 2026).

PROMEDIO DE DÍAS CON LLUVIA												
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Challapalca	16	16	14	5	1	1	0	1	1	2	4	10
Susapaya	10	10	6	0	0	0	0	0	0	1	1	4
Tarata	12	12	8	1	0	0	0	0	0	0	1	4
Vilacota	18	18	16	6	1	1	1	1	1	3	4	11

y abril (Tabla 2), periodo durante el cual se alcanzaron valores de 40.0 mm (Figura 4). Entre mayo y noviembre se presentó una época de menores precipitaciones, con valores de entre 0.1 mm y 19.2 mm.

Entre 1964 y 2017, la estación meteorológica Challapalca registró un régimen pluviométrico estacional, caracterizado por una época de mayor recurrencia de precipitaciones entre noviembre y marzo (Tabla 2), durante la cual se alcanzaron valores de 34.3 mm (Figura 4). Entre abril y octubre se presentó una época de menores precipitaciones, con valores de entre 0.1 mm y 18.5 mm. Sin embargo, entre diciembre y enero se registraron precipitaciones de entre 42.0 mm y 55.7 mm.

1.2 Aspecto socioeconómico

1.2.1 Datos poblacionales

En un radio de 30 km del volcán Purupuruni se ubican 10 distritos (Tabla 3) en los que viven aproximadamente 10 213 personas (INEI, 2025).

1.2.2 Vivienda e infraestructura

En un radio de 30 km del volcán Purupuruni se ubican 10 distritos, en los que existen 7952 viviendas particulares, 4540 viviendas particulares con ocupantes presentes y 4812 hogares (Tabla 4).

Además, se han contabilizado 8 comisarías, 23 centros de salud, 129 centros educativos, redes viales vecinales y departamentales (Tabla 5) y una represa (Figura 5), cuyas ubicaciones se presentan en la Figura 6.

Tabla 3. Número de habitantes de los distritos ubicados en un radio de 30 km del volcán Purupuruni (Fuente: INEI, 2025).

n.°	DISTRITO	CANTIDAD DE HABITANTES 2025
1	CANDARAVE	2237
2	QUILAHUANI	605
3	SITAJARA	352
4	SUSAPAYA	468
5	ESTIQUE PAMPA	160
6	ESTIQUE	183
7	TARUCACHI	383
8	TARATA	3186
9	TICACO	594
10	CAPAZO	2045
TOTAL		10 213

Tabla 4. Número de viviendas particulares, viviendas con ocupantes presentes y hogares ubicados en un radio de 30 km de la cima del volcán Purupuruni (Fuente: INEI, 2025).

n.°	DISTRITO	VIVIENDAS PARTICULARES CENSADAS	VIVIENDAS PARTICULARES CON OCUPANTES PRESENTES QUE VIVEN PERMANENTEMENTE	HOGARES CENSADOS
1	CANDARAVE	1782	867	931
2	QUILAHUANI	492	263	271
3	SITAJARA	309	196	200
4	SUSAPAYA	594	249	259
5	ESTIQUE PAMPA	172	61	77
6	ESTIQUE	208	83	84
7	TARUCACHI	300	181	207
8	TARATA	2329	1261	1352
9	TICACO	512	268	285
10	CAPAZO	1254	1111	1146
TOTAL		7952	4540	4812

Tabla 5. Infraestructuras en un radio de 30 km desde la cima del volcán Purupuruni (Fuente: INEI, 2025).

INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD
Comisarías	8
Centros de salud	23
Centros educativos	129
Red vial departamental	300 km
Red vial vecinal	500 km



Figura 5. Vista de la represa Jarumas II, ubicada a 6 km al suroeste del volcán Purupuruni.

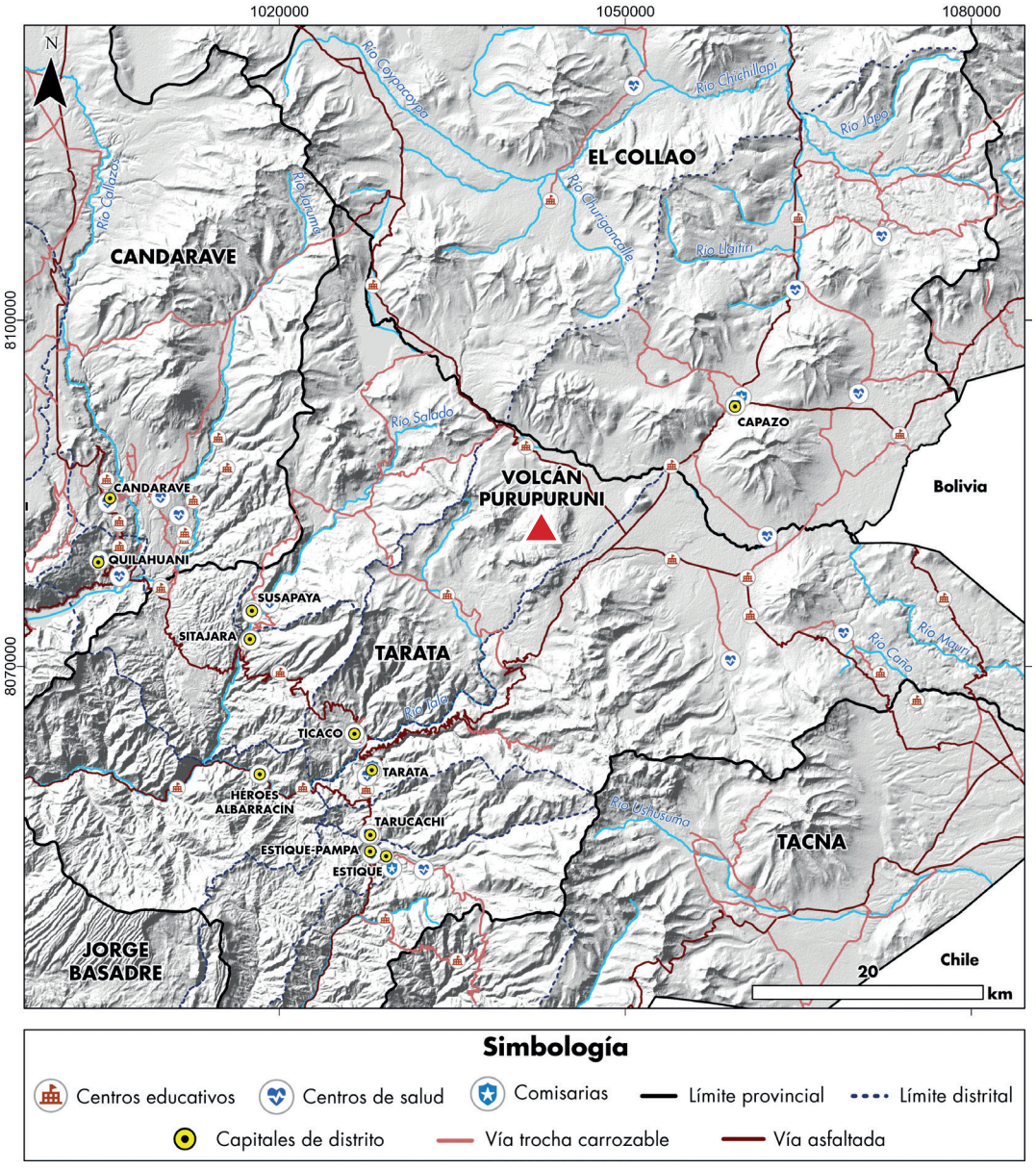


Figura 6. Mapa de ubicación de obras de infraestructura existentes alrededor del volcán Purupuruni (Fuente: INEI, 2025; Ministerios de Educación, Salud, Transportes y Comunicaciones e Interior).

1.3 Cobertura vegetal

En la zona del volcán Purupuruni, en un radio de 40 km de dicho volcán y entre los 4300 m s. n. m. y 4800 m s. n. m., la vegetación predominante es el pajonal andino (Figura 7), mientras que por encima de los 4800 m s. n. m. la vegetación es escasa. En la meseta ubicada al suroeste del volcán Purupuruni existen bofedales y, en menor proporción, lagunas.

A continuación, se detalla el tipo de vegetación existente en áreas aledañas al volcán Purupuruni.

- **Bofedal**

También llamado "oconal" o "turbera", constituye un ecosistema hidromórfico presente a partir de los 4200 m s. n. m. (Figura 7). Los bofedales se encuentran al suroeste, noroeste y noreste del volcán Purupuruni y se alimentan del agua proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (puquial) y de la precipitación pluvial. La poca disponibilidad de oxígeno debido al drenaje deficiente favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de las raíces muertas de las plantas y de la materia orgánica del suelo.

- **Bosque relicto altoandino**

Este bosque se encuentra distribuido sobre terrenos montañosos y la altiplanicie, entre 4200 m s. n. m. y 4500 m s. n. m. (Figura 7). Este tipo de vegetación se distingue al sureste, oeste y norte del volcán Purupuruni. Este bosque, considerado «relicto» debido a su reducida superficie, está representado por el género *Polylepis*, conocido localmente como "queñoal", "quinual" o "quenual", el cual está conformado por más de 19 especies, por ejemplo, *Polylepis canoi, P. flavipila, P. incana, P. incarum, P. lanata, P. microphylla, P. multijuga, P. pauta, P. pepei, P. racemosa, P. reticulata, P. rugulosa, P. sericea, P. subsericans, P. subtusalbida, P. tarapacana, P. tomentella, P. triacontandra* y *P. weberbaueri* (Mendoza & Cano, 2011).

- **Pajonal andino**

Corresponde a una cobertura vegetal dominada principalmente por herbazales altoandinos, que existe entre los 4000 m s. n. m. y 4800 m s. n. m. Se desarrolla en superficies casi planas, laderas empinadas, escarpes, depresiones y valles glaciares. Esta cobertura comprende tres subunidades distintas desde los puntos de

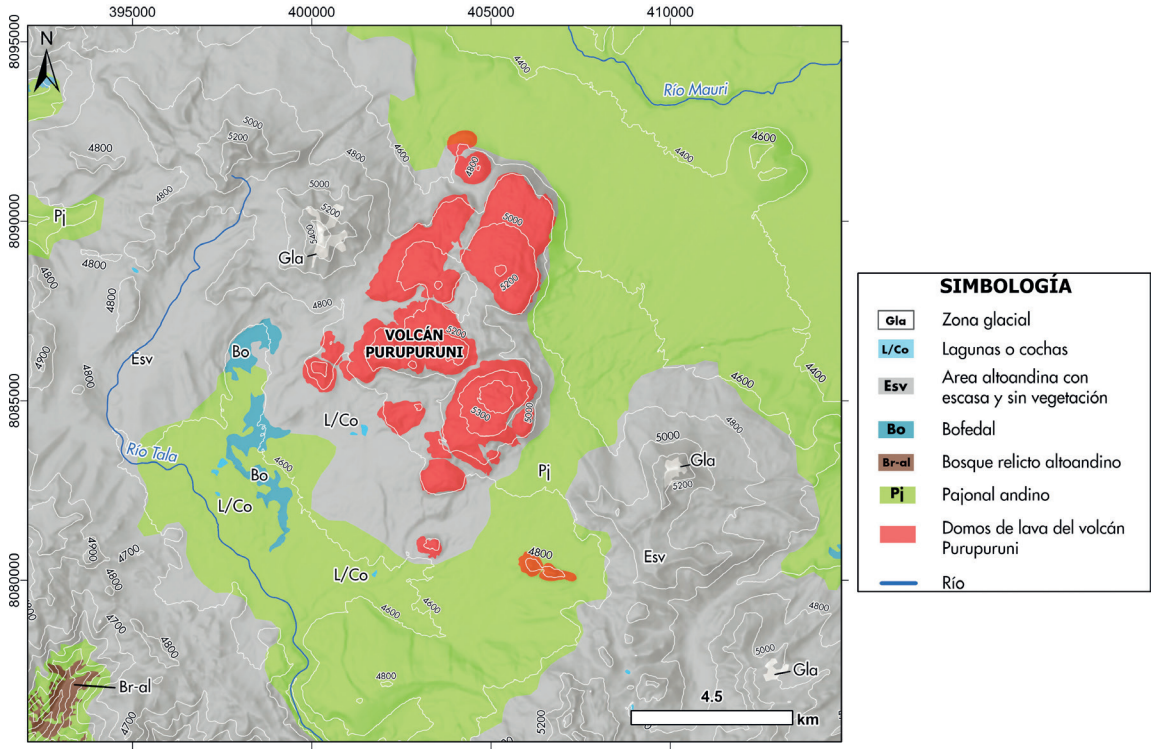


Figura 7. Cobertura vegetal en un radio de 40 km alrededor del volcán Purupuruni (Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015).

vista fisonómico y florístico: pajonal, césped y tolar. El pajonal está conformado por hierbas en forma de manojos, que pueden alcanzar hasta 80 cm de altura, con predominio de especies de los géneros *Calamagrostis, Stipa* y *Festuca*. En términos de uso, el pajonal andino constituye una fuente importante de forraje para la ganadería altoandina, especialmente para camélidos y ganado ovino. Por su parte, el césped presenta hierbas de porte bajo, generalmente menores a 15 cm, dominadas por gramíneas, graminoides y especies almohadilladas. El tolar se caracteriza por el predominio de arbustos resinosos, con especies como *Parastrephia lepidophylla, Parastrephia phylicaeformis y Baccharis tricuneata*.

En la zona del volcán Purupuruni, por encima de los 4500 m s. n. m., la cobertura vegetal disminuye debido a las condiciones climáticas extremas, lo que da lugar a suelos desnudos.

- ## Área altoandina con vegetación escasa o ausente

Corresponde a aquellas zonas sin cobertura vegetal, como las zonas de glaciares, áreas periglaciares, lagunas, ríos y represas.

2. Tipos de erupciones volcánicas

A nivel global, los volcanes activos y potencialmente activos pueden presentar distintos tipos de erupciones, las cuales se clasifican según su estilo eruptivo y nivel de explosividad. Generalmente, el tipo de erupción que puede presentar un volcán depende de los estilos eruptivos registrados en su pasado reciente. En el pasado, el volcán Purupuruni presentó principalmente erupciones efusivas con crecimiento de domos y emplazamiento de flujos de lava; eventualmente, también pudo experimentar erupciones explosivas de bajo Índice de Explosividad Volcánica (IEV 1-2).

Las erupciones explosivas se clasifican en erupciones estrombolianas, vulcanianas y plinianas (subplinianas y ultraplinianas). Por su parte, las erupciones efusivas incluyen las de tipo hawaiano. A continuación, se describen los principales tipos de erupciones volcánicas.

2.1 Erupción estromboliana

Las erupciones estrombolianas son de baja explosividad y producen explosiones discretas, separadas por intervalos de segundos a varias horas. Los productos piroclásticos generados en estas erupciones presentan tamaños variables (bombas, lapilli y ceniza), con dispersión y alcance limitados. También pueden producir flujos de lava capaces de recorrer algunos kilómetros de distancia. En este tipo de erupciones generalmente intervienen magmas básicos. En el Perú, ejemplos de volcanes asociados a este tipo de actividad eruptiva son los volcanes monogenéticos de Andahua, Huambo, Yura y otros. Las tefras emitidas pueden dispersarse a varios kilómetros del centro eruptivo.

2.2 Erupción vulcaniana

Las erupciones de tipo vulcaniano (IEV 1-2) son originadas por la liberación súbita de gases acumulados en el conducto volcánico. Este tipo de erupción, de leve a moderada explosividad, genera columnas de gases y cenizas de hasta 20 km de altura (Sigurdsson et al., 2000) que los vientos pueden dispersar a decenas o centenares de kilómetros del volcán, y expulsa fragmentos de roca volcánica que caen principalmente en zonas cercanas al cráter del volcán.

En el sur del Perú, el volcán Sabancaya, ubicado en la provincia de Caylloma, presenta desde noviembre de 2016 un comportamiento vulcaniano, con explosiones frecuentes que generan columnas de gases y cenizas que alcanzan entre 2 km y 5 km de altura sobre la cima del volcán (Figura 8). De manera similar, el volcán Ubinas, ubicado en Moquegua, ha presentado durante las dos últimas décadas erupciones de tipo vulcaniano con explosiones que generan columnas eruptivas de hasta 6.5 km de altura (Figura 8), lo que ha provocado caídas recurrentes de ceniza en áreas aledañas.

En el futuro, el volcán Purupuruni puede presentar actividad explosiva de tipo vulcaniano con emisión de cenizas y gases que podrían afectar áreas aledañas, donde se ubican centros poblados menores dedicados principalmente a la ganadería.

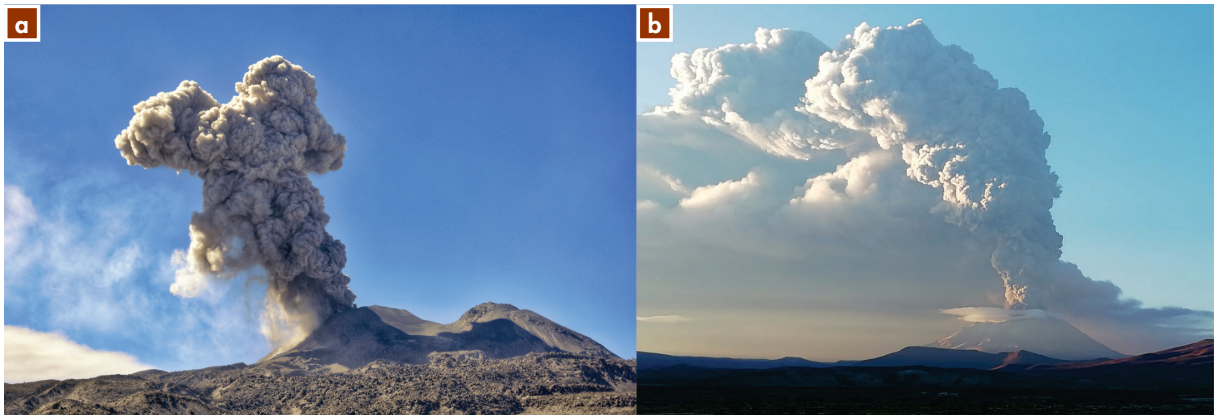


Figura 8. Vista de volcanes que presentaron erupciones vulcanianas de Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 1-2: a) Actividad explosiva de julio de 2024 del volcán Sabancaya. b) Erupción del volcán Ubinas ocurrida el 19 de julio de 2019.

2.3 Erupción pliniana (subpliniana-ultrapliniana)

Son erupciones explosivas potentes en las que intervienen magmas ácidos e intermedios que presentan alta viscosidad y alta concentración de volátiles disueltos. La alta concentración de volátiles origina la fragmentación del magma y la generación de columnas eruptivas que pueden ascender varias decenas de kilómetros de altura sobre la cima del volcán, incluso hasta 50 km (erupciones ultraplinianas). El material piroclástico emitido puede ser dispersado por los vientos y caer posteriormente, formando extensos mantos de tefras (lapilli y ceniza) que recubren la topografía preexistente; en determinadas condiciones, las columnas eruptivas pueden colapsar y generar flujos piroclásticos que viajan a ras del suelo a altas velocidades (incluso superiores a 100 km/h).

Por tanto, las erupciones plinianas (subplinianas y ultraplinianas) son erupciones magmáticas explosivas de conducto abierto que generan grandes volúmenes de caída de tefras (cenizas, lapilli, bombas) y flujos piroclásticos de gran alcance. En el sur del Perú, la erupción del volcán Huaynaputina en 1600 (IEV 6) constituye un claro ejemplo de este tipo de actividad explosiva, durante la cual se emplazaron depósitos con un volumen estimado de entre 13 km^3 y 14 km^3 de caída piroclástica, y se estima que la columna eruptiva alcanzó cerca de 32 km de altura sobre la cima del volcán (Prival et al., 2020; Mariño et al., 2021).

Entre los volcanes que han presentado erupciones explosivas de gran magnitud se encuentran El Chichón (México), en 1982, y Pinatubo (Filipinas), en 1991. Por su parte, los volcanes Láscar (Chile), en abril de 1993, y Calbuco (Chile), en abril de 2015, constituyen ejemplos de erupciones subplinianas de IEV 4 (Figura 9).

2.4 Erupción efusiva

Las erupciones efusivas generan flujos de lava que se emplazan como corrientes de roca fundida expulsadas por el cráter o fracturas existentes en los flancos de un volcán. Los volcanes presentes en los Andes del sur del Perú generalmente emiten lavas andesíticas, andesitas básicas y dacíticas, es decir, lavas viscosas, cuya velocidad de desplazamiento es baja, de algunos metros por día. Estos flujos rara vez alcanzan distancias superiores a 8 km desde su fuente de emisión (Francis, 1993).



Figura 9. Vista de volcanes que presentaron erupciones explosivas subplinianas con Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 4: a) Volcán Láscar, erupción del 19 de abril de 1993 (Fotografía de Ckelar Volcanes), y b) Volcán Calbuco, erupción del 23 de abril de 2015 (fotografía Barria C.).

3. Los peligros volcánicos

Diversos estudios vulcanológicos han compilado los principales peligros que pueden generar los volcanes activos, como el Purupuruni, durante una erupción. Entre ellos se incluyen caídas de ceniza y pómez, flujos de lava, flujos y oleadas piroclásticas por crecimiento y destrucción de domos, lahares (flujos de lodo), avalanchas de escombros y gases volcánicos (Blong, 1984; Tilling, 1989; Blong, 2000; Bignami et al., 2012). Estos peligros se representan en la Figura 10. A continuación, se describen estos fenómenos para el caso del volcán Purupuruni.

3.1 Caída de piroclastos (tefras)

Las erupciones explosivas emiten fragmentos de roca o piroclastos hacia la atmósfera y forman una columna eruptiva o pluma volcánica densa que, a veces, puede alcanzar varios kilómetros de altura. Posteriormente, la columna de ceniza y gases es transportada y dispersada por los vientos a distancias de varios kilómetros. En ese sentido, los fragmentos más grandes y densos caen cerca del volcán y se denominan bombas o bloques (>64 mm), mientras que las partículas de menor tamaño, denominadas lapilli (2-64 mm) y ceniza (<2 mm), son transportadas por el viento a grandes distancias, para luego caer y formar una capa de varios milímetros o centímetros de espesor. La distancia alcanzada por los

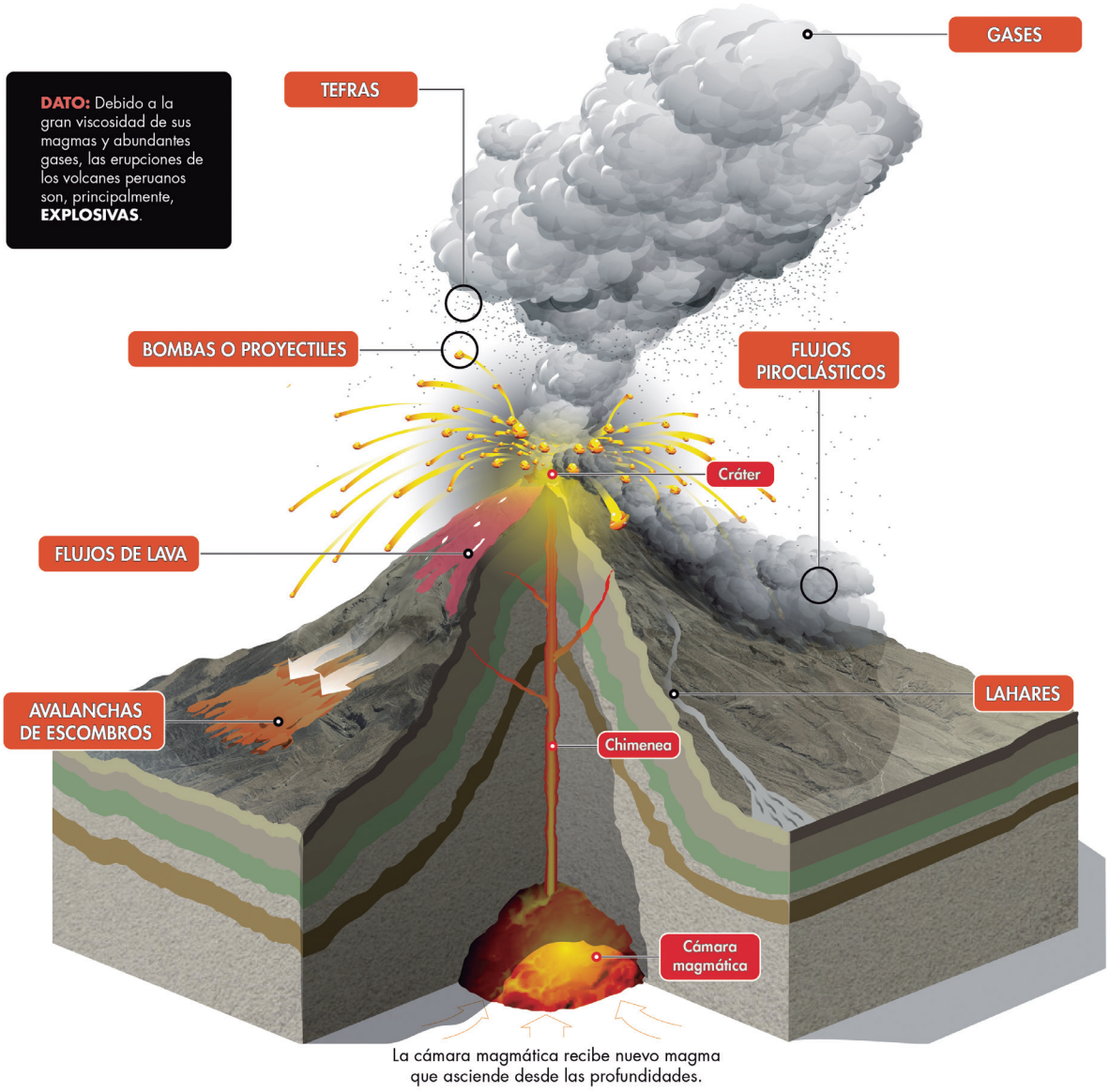


Figura 10. Tipos de peligros volcánicos que puede presentar un volcán como el Purupuruni.

fragmentos de roca depende de la magnitud de la erupción, de la densidad de los fragmentos y de la velocidad del viento al momento de la erupción. Las partículas pueden cubrir y afectar áreas extensas, de decenas a centenares de kilómetros cuadrados (Cas & Wright, 1987).

Estas partículas pueden causar problemas de salud en las personas, contaminar fuentes de agua, colapsar los techos por el peso acumulado, afectar los cultivos, interrumpir el tráfico aéreo, entre otros efectos (Tilling, 1989).

En el sur del Perú, todos los volcanes activos han presentado, a lo largo de su evolución, actividad explosiva, con emisión de volúmenes variables de ceniza, lapilli, escorias y eventualmente flujos piroclásticos. En el caso del volcán Purupuruni, probablemente generó erupciones explosivas de bajo IEV, pues sobre los domos de lava y al pie de dichos domos existen delgados depósitos de ceniza retrabajada, mezclada con material coluvial, lo que sugiere que la actividad explosiva de dicho volcán en el pasado, al menos en el Holoceno, fue limitada y probablemente poco recurrente.

En el Perú, durante los últimos 500 años, al menos cinco volcanes —Sabancaya, Misti, Ubinas, Huaynaputina y Tutupaca— entraron en erupción, afectando poblados, obras de infraestructura y el medio ambiente. Un ejemplo del impacto de esta actividad lo constituyen los efectos nocivos provocados por la gran erupción pliniana del volcán Huaynaputina ocurrida en 1600 d. C., que afectó gran parte del sur peruano. Asimismo, los volcanes Ubinas (actividad 2005-2009; 2013-2016; 2019; 2023-2024) y Sabancaya (actividad 1990-1996; 2016-2026) generaron erupciones explosivas con la emisión de ingentes cantidades de ceniza y gases (Samaniego et al., 2016; Rivera et al., 2014; Gerbe & Thouret, 2004; Machacca et al., 2023) que afectaron poblados, terrenos de cultivo y fuentes de agua ubicados en áreas aledañas.

3.2 Flujos de lava

Los flujos de lava son corrientes de roca fundida expulsadas por el cráter o fracturas existentes en los flancos de un volcán durante erupciones volcánicas (Figura 10). La lava puede fluir por el fondo de los valles y quebradas y alcanzar varios kilómetros de distancia. Estos flujos rara vez recorren más de 8 km de distancia desde el centro de emisión (Francis, 1993).

En el sur del Perú, todos los volcanes activos y potencialmente activos han presentado, a lo largo de su evolución, actividad efusiva con la emisión de flujos de lava, emplazados en áreas proximales. Eventualmente, estos flujos han alcanzado distancias de hasta 12 km de la fuente o del cráter. El volcán Purupuruni ha emitido algunos flujos de lava, visibles en su sector norte, sobre la altiplanicie volcánica.

Los flujos de lava, al descender por los flancos de los volcanes, pueden calcinar, sepultar y destruir los elementos que encuentran a su paso. Sin embargo, debido a su desplazamiento generalmente lento, suelen ofrecer mayores posibilidades de evacuación de la población (Tilling, 1989).

3.3 Flujos y oleadas piroclásticas

Las erupciones explosivas importantes pueden generar flujos piroclásticos, ahora conocidos como corrientes de densidad piroclástica. Estas corrientes consisten en mezclas de ceniza, fragmentos de roca y gases calientes (300 °C a 800 °C) (Nakada, 2000). Los flujos piroclásticos descienden por los flancos de los volcanes a ras de la superficie (Figura 10) y a grandes velocidades, comprendidas entre 100 m/s y 300 m/s (Hoblitt et al., 1995). Poseen generalmente 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 sale con facilidad del valle, sobrepasa relieves importantes como lomas o cerros y afecta áreas considerables. Estos flujos y oleadas destruyen y calcinan todo lo que encuentran a su paso (Tilling, 1989).

Los estudios vulcanológicos realizados durante los últimos 30 años muestran que la gran mayoría de los volcanes activos del sur peruano, como Misti, Ubinas, Yucamane, Tutupaca, Ticsani, Sara Sara y Huaynaputina (Thouret et al., 2001; Thouret et al., 2005; Mariño & Thouret, 2003; Samaniego et al., 2015; Rivera et al., 2020a; Rivera et al., 2020b; Mariño et al., 2021), presentaron durante su evolución erupciones explosivas con la emisión de flujos piroclásticos de volúmenes variables, cuyos depósitos se encuentran en sus alrededores. En el caso del volcán Purupuruni, a más de 4 km al sur y suroeste de dicho volcán se distinguen depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza, ligados al crecimiento y destrucción de domos. Un depósito de flujos de bloques y ceniza, visible al norte de la represa Jarumas, a 12 km al suroeste de los domos recientes, mide 8 m de espesor.

3.4 Lahares (flujos de lodo y escombros)

Los lahares o flujos de lodo son mezclas de fragmentos de rocas volcánicas de tamaños diversos movilizados por el agua, que fluyen rápidamente (20-60 km/h) por valles y quebradas que descienden desde los volcanes (Figura 10). Se generan en periodos de erupción o de tranquilidad volcánica, principalmente ligados a lluvias intensas (Tilling, 1989), aunque también pueden provenir de la fusión del hielo o de la nieve que permanece en la cima de los volcanes, o del desborde de lagunas cratéricas.

Los lahares, eventualmente, pueden salir de sus cauces o desbordarse en los abanicos de inundación, tal como ocurrió con los lahares que destruyeron la ciudad de Armero en Colombia. En efecto, luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en noviembre de 1985, los productos volcánicos calientes fundieron una parte del casquete glaciar de dicho volcán (Naranjo et al., 1986), lo que dio lugar a la formación de lahares. El área inundada o afectada por el desborde de los lahares depende del volumen de agua y de materiales sueltos disponibles, así como de la pendiente y topografía de los valles o quebradas. Generalmente, destruyen todo a su paso y pueden alcanzar grandes distancias (>100 km), e incluso generar inundaciones cerca del cauce de ríos y quebradas (Tilling, 1989).

La mayoría de los volcanes activos de los Andes peruanos, como el Misti, Sabancaya, Ubinas, Coropuna y Sara Sara, presentan este tipo de peligro, sobre todo durante los periodos de lluvia (diciembre a marzo), cuando ocurren precipitaciones intensas en sus laderas o cumbres. El volumen y la distancia recorrida por un lahar dependen del volumen de agua, el volumen del material suelto, la presencia de hielo o nieve en la cima de un volcán y la pendiente del volcán. En el Purupuruni, las quebradas que descienden desde la cima de los domos son de corto recorrido y los lahares encontrados en sus inmediaciones son poco desarrollados y de corta longitud.

3.5 Avalanchas de escombros

Las avalanchas de escombros son derrumbes o colapsos de un sector de un volcán (Figura 10). Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del cono volcánico, presencia de fracturas o fallas tectónicas, movimientos sísmicos fuertes y explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y comúnmente pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia de un volcán. Estas se desplazan a gran velocidad. Por ejemplo, en el caso del monte St. Helens (EE. UU.), la avalancha asociada a una erupción lateral dirigida alcanzó velocidades del orden de 240 km/h (Glicken, 1996).

Las avalanchas de escombros tienen mayor movilidad, sobre todo si son voluminosas (a mayor volumen, mayor velocidad y mayor distancia recorrida). Su movilidad depende de diversos factores, como la reología del flujo, la pendiente del terreno, la formación de una zona de alto cizallamiento en la base y la presencia de fluidos hidrotermales o magmáticos (Ui et al., 2000).

Las avalanchas de escombros entierran y destruyen todo lo que encuentran a su paso. Además, pueden generar lahares y crecientes, a partir del desagüe de agua represada por la avalancha (Tilling, 1989).

En el sur del Perú, varios volcanes activos y potencialmente activos, como el Misti, Ticsani, Tutupaca, Ubinas, Yucamane, Huaynaputina y Sara Sara, han presentado derrumbes de flanco que han generado depósitos de avalanchas de escombros distribuidos en áreas aledañas (Thouret et al., 2001; Mariño & Thouret, 2003; Thouret et al., 2005; Samaniego et al., 2015; Rivera et al., 2020a; Mariño et al., 2021). En el volcán Purupuruni y sus áreas aledañas no se han identificado depósitos de avalanchas de escombros. Dado el volumen limitado de los domos, así como su ubicación en una zona plana y la altura de los cuerpos de domos, estos solo podrían generar derrumbes de bloques de roca, cuyo recorrido sería limitado, y se acumularían al pie de los domos.

3.6 Gases volcánicos

Durante las erupciones volcánicas se produce una importante liberación de gases, principalmente vapor de agua, además de dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, monóxido de carbono, ácido fluorhídrico, azufre, nitrógeno, cloro, flúor, etc. (Hoblitt et al., 1995).

Los gases volcánicos se diluyen y dispersan rápidamente; sin embargo, pueden alcanzar concentraciones altas en las zonas bajas o depresiones muy cercanas al volcán, donde

pueden provocar intoxicaciones e incluso la muerte de personas y animales. Los gases también pueden condensarse y adherirse a partículas de ceniza, así como reaccionar con las gotas de agua y provocar lluvias ácidas que pueden causar corrosión, daños en los cultivos y contaminación del agua y los suelos. Frecuentemente, los efectos nocivos están restringidos a un radio menor de 10 km del volcán (Tilling, 1989). En el volcán Purupuruni no se han identificado emisiones de gases volcánicos, por lo que el peligro es muy bajo.

4. El volcán Purupuruni

4.1 Morfología

El volcán Purupuruni (5315 m s. n. m.) corresponde a un complejo de domos dacíticos (SiO_2 66 wt.%), constituido por colinas ovaladas dispersas. Existen al menos once domos de lava aplanados y dispersos, algunos de ellos superpuestos (Figura 11). Asimismo, está conformado por flujos de lava dacíticos. Los mencionados domos y flujos de lava están ubicados en una zona de altiplanicie y yacen sobre flujos de lava dacíticos (Figura 11), depósitos volcanoclásticos e ignimbritas del Pleistoceno y Mioceno, dispuestos en capas subhorizontales.

Los domos de lava tienen diámetros que varían entre 0.3 km y 3.7 km y alturas de entre 200 m y 387 m. Sobre los domos de lava y al pie de dichos domos se distinguen acumulaciones de ceniza retrabajada y material coluvial de color gris (Figura 11).

4.2 Geología e historia eruptiva

Los domos de lava del volcán Purupuruni muestran diferentes grados de erosión y meteorización, lo que sugiere al menos tres etapas de formación ocurridas durante el Pleistoceno y el Holoceno, que se describen a continuación.

- ### Domos de lava de la primera generación (Dm1)

Comprenden al menos cuatro domos que presentan un alto grado de erosión y meteorización. Estos domos están ubicados de manera dispersa al suroeste y sureste del volcán Purupuruni (Figuras 12, 13 y 14) y presentan diámetros de entre 0.3 km y 0.8 km. Generalmente, en sus inmediaciones se distinguen depósitos de morrenas. Por el grado de meteorización de sus afloramientos se asume que se emplazaron durante el Pleistoceno.

- ### Domos de lava de la segunda generación (Dm2)

Comprenden al menos cinco domos de lava que se encuentran al sur (Figuras 13 y 15) y noroeste del volcán Purupuruni. Estos domos están erosionados, aunque poco meteorizados, y presentan diámetros de entre 1 km y 3.7 km. Por el grado de meteorización de las rocas, se asume que son del Pleistoceno superior-Holoceno.

- ### Domos de lava de la tercera generación (Dm3)

Comprenden dos domos de lava de mayor diámetro (2.4-3.7 km) ubicados en los extremos oriental y meridional del volcán Purupuruni (Figuras 13 y 15). Uno de dichos domos que aflora al sureste del volcán Purupuruni ha sido datado mediante el método cosmogénico, por Bromley et al. (2019) en aproximadamente 5300 ± 1100 años antes del presente (Figuras 13 y 15). Por ello, se presume que ambos se emplazaron durante el Holoceno. Dado que el Purupuruni presentó actividad eruptiva durante el Holoceno, se considera un volcán activo y podría reactivarse en el futuro.

En el sector sur y suroeste del volcán Purupuruni (sector de Jucurure) se distinguen depósitos de flujos de bloques y cenizas de composición dacítica de hasta 12 m de espesor (Figura 16). Dichos flujos son de color gris claro, masivos, sueltos y contienen bloques de roca densa que miden hasta 2 m de diámetro. Debido a que estos depósitos afloran en superficie, probablemente se emplazaron en las últimas etapas de la actividad volcánica.

Además, al norte y noroeste del volcán Purupuruni, en la cuenca del río Mauri, existe una amplia zona de fuentes geotermales denominada "Borateras" (Vargas et al., 2012).

La disposición de los domos de lava del volcán Purupuruni, emplazados en una zona de altiplanicie y que cortan flujos de lava e ignimbritas riolíticas, así como la existencia de fuentes geotermales ubicadas al noroeste del volcán Purupuruni, sugieren la presencia de una caldera volcánica, por donde se habrían emplazado los diversos materiales del Purupuruni, cuya actividad se habría iniciado en el Pleistoceno inferior o Mioceno.



Figura 11. Vista del sector norte del volcán Purupuruni donde se distinguen domos y flujos de lava.



Figura 12. Vista del sector sur del volcán Purupuruni donde se distinguen domos de lava pertenecientes a tres generaciones, así como flujos de lava.

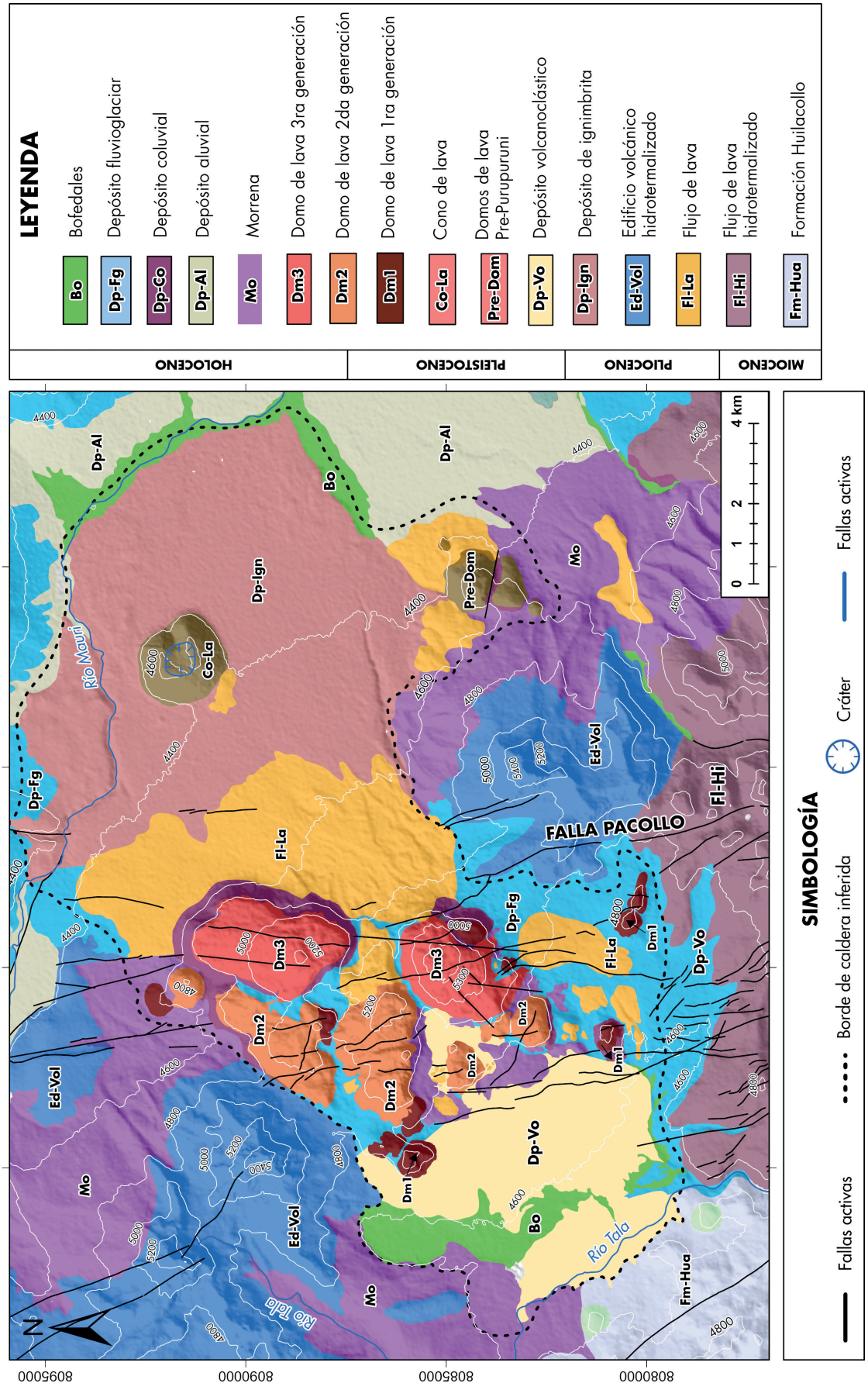


Figura 13. Mapa geológico del volcán Purupuruni y estructuras asociadas (modificado de Bromley et al., 2019).



Figura 14. Vista de un domo de lava de la primera generación visible al suroeste del volcán Purupuruni.

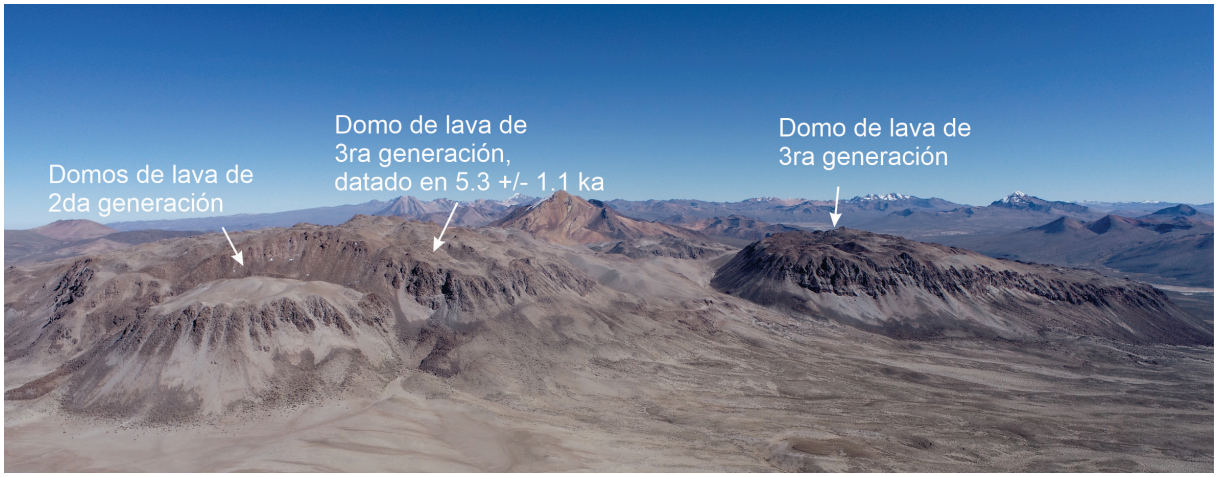


Figura 15. Vista del sector sur del volcán Purupuruni donde se distinguen domos de lava de la segunda y tercera generación, cubiertos por depósitos de cenizas retrabajadas de color gris.



Figura 16. Vista de la represa Jarumas, sector suroeste del volcán Purupuruni, donde se distingue un depósito de flujos de bloques y ceniza emplazado a 6 km al sur del volcán Purupuruni.

4.3 Contexto estructural

En inmediaciones del volcán Purupuruni se distinguen varios sistemas de fracturas y fallas geológicas de corta extensión y de tipo tensional, principalmente de rumbos N05°E, N85°E y S05°E (Figura 13), visibles en los sectores noroeste, centro y sureste del volcán Purupuruni. La falla sinestral N05°E atraviesa el domo-colada más voluminoso, ubicado en el extremo noreste del volcán.

La falla Pacollo, de tipo normal, se prolonga hacia el sur del Purupuruni, entre los cerros Pacollo y Sorpresani, y se considera la más activa (Vargas et al., 2022). Esta falla de rumbo N05°O tiene una longitud de aproximadamente 6.5 km y se caracteriza por presentar una escarpa pronunciada en el bloque oriental, que corta rocas volcánicas del Grupo Barroso.

El emplazamiento de los domos de lava del volcán Purupuruni coincide con la intersección de fallas con orientación norte-sur, noroeste-sureste y noreste-suroeste, lo que sugiere un control estructural significativo en la localización y la evolución del complejo de domos.

5. Datos y metodología para la elaboración de mapas

5.1 Metodología para la elaboración de mapas

La metodología empleada para la elaboración de los mapas de peligros comprendió las siguientes actividades:

- Recopilación de material bibliográfico destinado a determinar el contexto geológico del volcán Purupuruni, su actividad volcánica pasada y el contexto estructural.
- Procesamiento de imágenes satelitales PeruSAT de alta resolución del volcán Purupuruni y sus alrededores, proporcionadas por CONIDA.
- Elaboración de un modelo digital de elevación (MDE) del volcán Purupuruni y sus alrededores, a través de imágenes satelitales de alta resolución.
- Trabajos de campo para el reconocimiento de depósitos volcánicos emitidos en el pasado por el volcán Purupuruni.
- Evaluación del peligro volcánico, para lo cual se consideraron cuatro escenarios eruptivos futuros (erupción vulcaniana, erupción efusiva, erupción con crecimiento de domo y erupción subpliniana), teniendo en cuenta que un escenario representa una situación hipotética que describe los fenómenos y efectos de una erupción. Los escenarios se construyeron sobre la base de erupciones presentadas por volcanes análogos, que se complementaron con información geológica y geofísica del volcán obtenida mediante estudios científicos. La definición de un escenario también ayuda en las tareas de prevención y la planificación de la respuesta ante la ocurrencia de una erupción.
- Modelamiento de procesos volcánicos con el programa Ash3D (Mastin et al., 2009), VolcFlow (Kelfoun & Druitt, 2005) y LaharZ (Schilling, 1998).
- Elaboración de gráficos y tablas diversas.
- Elaboración de los mapas de peligros del volcán Purupuruni.

5.2 Simulación de procesos volcánicos con programas informáticos especializados

Se han realizado simulaciones de diversos procesos volcánicos, que se describen a continuación:

5.2.1 Dispersión de ceniza: *software* Ash3D

Para modelar la dispersión de ceniza emitida durante una erupción volcánica existen diversos programas informáticos, entre ellos Ash3D (Mastin et al., 2009), que es un programa informático basado en los principios eulerianos tridimensionales, desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y cuyos fundamentos se describen por Schwaiger et al. (2012). Es una herramienta utilizada para calcular la cantidad de ceniza depositada y su concentración en el aire, y también puede utilizarse para recrear eventos pasados y realizar escenarios futuros de dispersión de ceniza en caso de erupciones volcánicas. El programa Ash3D modela el transporte de ceniza volcánica dividiendo la atmósfera en una cuadrícula tridimensional y calculando el flujo de masa a través de las caras de las celdas (Mastin et al., 2009).

Las condiciones iniciales de este programa se basan en que una erupción explosiva inyecta tefra a través de una columna de celdas sobre el volcán y distribuye la masa verticalmente usando el sistema Suzuki (Suzuki, 1983; Carey, 1996), y posteriormente resuelve la ecuación de advección, difusión y sedimentación para simular el transporte y depósito de partículas de ceniza eyectadas a la atmósfera (Schwaiger et al., 2012). La advección del viento se calcula usando datos preexistentes que varían con el tiempo y métodos de volúmenes finitos. La velocidad de caída, distribución y duración del transporte están condicionadas por el tamaño de grano designado por el programa. La distribución vertical de la masa y la elevación se calculan usando la ecuación de Suzuki (1983).

El usuario ingresa variables a través de una plataforma virtual, como el nombre del volcán, la fecha, la hora y la duración de la erupción, la altura de la pluma y el volumen emitido expresado en kilómetros cúbicos (km^3) de roca densa equivalente (DRE) y la duración de la simulación. Entre los resultados del modelo se incluyen la concentración (mg/m^3) y la altura de la nube de cenizas (km), el espesor de los depósitos (mm y pulgadas), el tiempo de llegada de la nube y de deposición de ceniza después de la erupción (h), así como los aeropuertos afectados. Para la simulación de la dispersión de cenizas mediante el modelo Ash3D, se consideraron dos de los cuatro escenarios eruptivos definidos para el volcán Purupuruni: una erupción de tipo vulcaniana (IEV 1-2) y una erupción de tipo subpliniana (IEV 3-4). Los parámetros utilizados en ambas simulaciones se presentan en las tablas 6 y 7, respectivamente.

- ## Parámetros utilizados en la simulación Ash3D

Para la simulación de la deposición de ceniza del volcán Purupuruni en caso de un escenario de erupción vulcaniana (IEV 1-2) se consideró un volumen de ceniza expresado como roca densa equivalente (DRE) de 0.002 km^3, volumen frecuente en erupciones explosivas de tipo vulcaniano como la presentada por el volcán Tungurahua (Ecuador), el 14 de julio de 2006 (Bustillos & Samaniego, 2011) y por el volcán Ubinas (Moquegua) durante los últimos 500 años (Thouret et al., 2005; Samaniego et al., 2020). También se consideró una altura de la pluma volcánica de 6.5 km (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros eruptivos utilizados para la simulación de dispersión de ceniza con el código Ash3D, para un escenario eruptivo de tipo vulcaniano de IEV 1-2.

Escenario eruptivo	IEV 1-2
Duración de la simulación	24 horas
Duración de la erupción	3 horas
Altura sobre el nivel del cráter (km)	6.5
Altura sobre el nivel del mar (km)	12
Volumen DRE (km^3)	0.002

Por otra parte, para simular la deposición de ceniza del volcán Purupuruni en un escenario de erupción de tipo subpliniana (IEV 3-4), se consideró un volumen DRE de ceniza de 0.3 km^3. Este y otros parámetros utilizados para la simulación de un escenario eruptivo de IEV 3-4 se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros eruptivos utilizados para la simulación con el código Ash3D, para el escenario eruptivo de tipo subpliniano de IEV 3-4.

Escenario eruptivo	IEV 3-4
Duración de la simulación	24 horas
Duración de la erupción	7 horas
Altura sobre el nivel del cráter (km)	14.6
Altura sobre el nivel del mar (km)	20
Volumen DRE (km^3)	0.3

Una vez definidos los escenarios eruptivos, se realizaron 1152 simulaciones para cada escenario, con los datos de viento registrados entre 2010 y 2025. En todos los casos, la dirección del viento predominante ha sido hacia el sureste y el suroeste del volcán Purupuruni. Los datos de viento se obtuvieron del Centro Nacional de Predicción Ambiental de los EE. UU.

5.2.2 Descenso y desborde de flujos: código VolcFlow

Para simular el área de alcance, la velocidad y la profundidad de lahares, flujos piroclásticos y otros tipos de flujos volcánicos, se cuenta con el programa VolcFlow, que es un código euleriano de diferencias finitas escrito en el programa MATLAB. Este código determinista se basa en las ecuaciones de conservación de la masa y del momento para simular fluidos newtonianos o de Bingham bajo ciertos criterios reológicos (Kelfoun & Druitt, 2005). Utiliza parámetros de flujo reológico como la viscosidad, la densidad, la cohesión y los ángulos de fricción interna y basal. El código VolcFlow resuelve ecuaciones en un sistema de coordenadas local relacionado con la topografía del terreno, donde *x* e *y* representan las coordenadas paralelas a la superficie topográfica,

mientras que *h* corresponde a la profundidad, medida perpendicularmente a estas. El código VolcFlow se ha utilizado ampliamente para simular diferentes flujos gravitacionales, con una variación de los parámetros de simulación de acuerdo con la reología y las características de cada tipo de flujo, como lahares y flujos piroclásticos, especialmente en volcanes (Kelfoun & Druitt, 2005; Cárdenas Quiroga et al., 2013; Gueugneau, 2014; Vásconez et al., 2019; Kelfoun & Vallejo Vargas, 2016; Warwick et al., 2022). Detalles sobre el código VolcFlow y sus aplicaciones para simulaciones de lahares se pueden encontrar en Cárdenas Quiroga et al. (2013) y Vásconez et al. (2019).

En el presente estudio, el código VolcFlow fue utilizado para modelar lahares (Tabla 8) y flujos piroclásticos (Tabla 9).

5.2.3 Descenso y desborde de flujos: modelo LaharZ

Para complementar y contrastar los resultados de las simulaciones numéricas de los diferentes peligros asociados al volcán, se empleó el programa LaharZ (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998), implementado mediante LaharZ_py, principalmente para estimar y contrastar el alcance potencial de los flujos mediante la metodología del cono de energía (Malin & Sheridan, 1982). Esta metodología permite establecer una relación entre la distancia horizontal alcanzada por un flujo y la diferencia de elevación entre su punto de generación y el límite de alcance, constituyendo una aproximación para evaluar su movilidad y extensión potencial.

Tabla 8. Parámetros utilizados para simular lahares mediante el código VolcFlow.

ESCENARIO ERUPTIVO	Volumen	Tiempo	Densidad	Cohesión	Viscosidad
	m^3	s	(kg/m^3)	Pa	Pa·s
Alto peligro	150 000	10 800	1300	1	1
Moderado peligro	350 000	10 800	1300	10	1
Bajo peligro	500 000	10 800	1300	20	1

Tabla 9. Parámetros utilizados para simular flujos piroclásticos mediante el código VolcFlow.

ESCENARIO ERUPTIVO	Volumen (Dm2-Dm3)	Densidad	Tiempo de simulación	Cohesión
	$\times 10^6$ m^3	kg/m^3	s	Pa
Alto peligro	1.6 12.8 14.0 20.8 24.0	1600	800	4000
Moderado peligro	2.8 22.4 24.5 36.4 42.0	1600	800	4000
Bajo peligro	4.0 32.0 35.0 52.0 60.0	1600	800	4000

El método del cono de energía ha sido ampliamente utilizado para definir las zonas de peligro proximales y mediales alrededor de un volcán. Este método postula que el alcance horizontal (L) de un flujo piroclástico o una avalancha de escombros es función de la diferencia de alturas (H) entre el punto de generación del flujo o la cima de un volcán y el punto de alcance del depósito (Figura 17). La relación H/L es un indicador de la movilidad del flujo. Así, para una relación H/L cercana 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.

Los alcances obtenidos mediante el programa LaharZ_py fueron contrastados con los resultados de las simulaciones numéricas realizadas para los lahares, avalanchas de escombros, lavas y flujos piroclásticos. La integración de estos resultados permitió establecer las zonas potencialmente expuestas a los diferentes peligros volcánicos y contribuyó a la elaboración del mapa multipeligros.

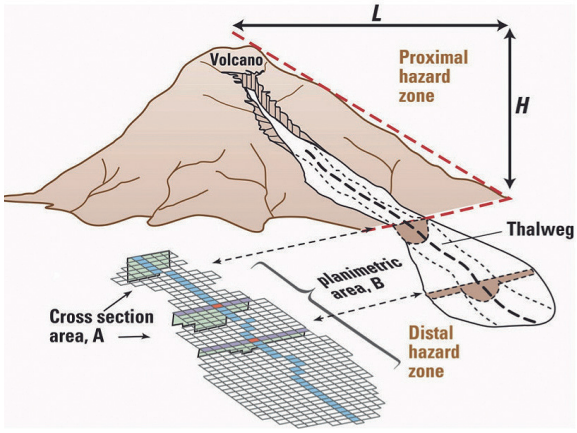


Figura 17. Relaciones entre la distancia (L) y la diferencia de altura (H) asociadas al alcance de los flujos (Schilling, 1998).

5.3 Escenarios eruptivos considerados

Los mapas de peligros fueron elaborados sobre la base de cuatro escenarios eruptivos. Un escenario representa una situación hipotética que describe los fenómenos y efectos de una erupción para un volcán determinado. Para establecer los tipos de escenarios eruptivos que podría presentar el volcán Purupuruni en el futuro, se analizaron los tipos de erupciones registrados en el pasado y su recurrencia, a partir de los estudios geológicos previos (Bromley et al., 2019; Vargas et al., 2022) y datos de campo del volcán Purupuruni, así como de un análisis de la morfología actual del volcán Purupuruni y otros aspectos descritos a continuación:

- La magnitud de las erupciones pasadas, establecida en función del trabajo de campo y datos bibliográficos recopilados que permitieron determinar la distribución de los productos volcánicos.
- Los dinamismos eruptivos futuros, es decir, los tipos de erupciones que podría generar el volcán Purupuruni.
- El comportamiento de otros volcanes peruanos, considerados como «análogos» al Purupuruni, tales como el Ticsani y otros.

Se definieron cuatro escenarios eruptivos ante una posible erupción del volcán Purupuruni, los cuales se detallan a continuación.

5.3.1 Erupción de tipo vulcaniana (IEV 1-2)

Las erupciones vulcanianas son eventos explosivos violentos que emiten ceniza, bloques, bombas, escorias y eventualmente pómez a la atmósfera. Las explosiones ocurren en intervalos de minutos a horas e incluso días. Estas explosiones generan columnas eruptivas de menos de 20 km de altura (Sigurdsson et al., 2000).

En las últimas décadas, algunos volcanes activos del sur del Perú, como el Sabancaya (Arequipa) y el Ubinas (Moquegua), han presentado actividad explosiva de tipo vulcaniana con la emisión de cenizas y gases.

En el caso del volcán Sabancaya (Arequipa), durante su actividad eruptiva de 1990-1998, generó explosiones con formación de columnas de gases y ceniza que fueron dispersadas por los vientos entre 20 km y 30 km de distancia principalmente hacia el este del volcán (Guillande et al., 1992; Thouret et al., 1994). Posteriormente, durante su proceso eruptivo iniciado en 2016 la dispersión de ceniza ocurre predominantemente en dirección Este, sureste y noreste del volcán.

Por su parte, el volcán Ubinas, durante la erupción del 19 de julio de 2019 (IEV 2), generó una columna densa y sostenida de cenizas y gases de más de 5500 m de altura sobre la cima del

volcán. Posteriormente, las cenizas emitidas fueron dispersadas por los vientos hacia zonas distales del volcán, hacia el sur y el sureste, afectando principalmente poblados cercanos del valle de Ubinas y algunas localidades de las regiones de Moquegua, Tacna, Puno, así como algunas ciudades de Bolivia, como La Paz. 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 (Aguilar et al., 2019).

En la parte superior de los domos del Purupuruni y sus laderas se distinguen delgados depósitos de ceniza retrabajada, asociados posiblemente a erupciones vulcanianas ocurridas en el pasado.

Por otro lado, durante y después de las erupciones vulcanianas es frecuente la formación de lahares, sobre todo si la erupción ocurre en periodos de lluvia (diciembre a marzo). Esto ocurrió durante erupciones recientes del volcán Ubinas (erupción de 2006-2009; 2019; 2023-2024), las cuales ocurrieron en periodos lluviosos; la interacción del agua de lluvia con la ceniza emitida por el Ubinas generó lahares que descendieron por las quebradas y ríos que drenan de sus flancos sur y sureste del volcán, afectando terrenos de cultivo, vías de acceso, canales de agua, puentes, etc. También durante el proceso eruptivo más reciente del volcán Sabancaya (2016-actualidad), frecuentemente en periodos de lluvia, se generaron lahares en las quebradas aledañas al volcán Sabancaya, Ampato y Hualca Hualca. Algunos lahares alcanzaron el río Colca, situado a más de 15 km al norte del cráter del Sabancaya.

En caso de presentar una erupción explosiva, el volcán Purupuruni emitiría cenizas a la atmósfera, las cuales posteriormente caerían sobre la superficie del suelo. En periodos de lluvia (diciembre a marzo) estas cenizas depositadas podrían ser removilizadas por las aguas de lluvia y generar lahares. Dichos lahares pueden descender por las quebradas que drenan de los domos de lava en dirección noreste, sureste y suroeste, afectando un tramo de la carretera que une los centros poblados de Tarata y Challapalca, así como la represa Jarumas II. Esta interpretación se basa en la existencia de variados depósitos de lahares visibles en quebradas del sector norte y suroeste del volcán Purupuruni.

Asimismo, si el Purupuruni presentara una erupción vulcaniana (IEV 2), podría generar flujos piroclásticos de poco volumen y limitado alcance (Sigurdsson et al., 2000). Por ejemplo, en la erupción vulcaniana del volcán Reventador (Ecuador) en 1976, la cual tuvo un IEV 2, o del volcán Tungurahua (Ecuador) en 2006 y 2010 que también tuvo un IEV 2, se generaron flujos piroclásticos que viajaron a más de 4 km de distancia del cráter del volcán (Aguilera et al., 1988; Hall et al., 2013).

5.3.2 Erupción de tipo efusivo con emisión de lavas

Durante el Pleistoceno superior y el Holoceno, el volcán Purupuruni generó principalmente erupciones efusivas con el crecimiento de domos de lava y emisión de flujos de lava (Figura 13) de composición dacítica (Bromley et al., 2019). En el futuro, podría ocurrir otra erupción efusiva con emisión de flujos de lava del Purupuruni. Las lavas emitidas podrían emplazarse en áreas cercanas al volcán, con distancias que difícilmente superarían los 4 km, debido a la escasa altura de los domos (menos de 400 m) y a la pendiente subhorizontal de las áreas circundantes. Las lavas podrían causar daños en carreteras, bofedales y canales de agua.

5.3.3 Erupción con crecimiento y colapso de domo

El volcán Purupuruni puede generar una erupción con la formación de un domo de lava, ya que en el pasado ha generado este tipo de actividad. Este tipo de domo puede formarse cuando la lava extruida desde el conducto volcánico es demasiado viscosa para desplazarse a más de uno o varios cientos de metros de distancia (Francis, 1993). Durante el crecimiento de un domo, sus bordes pueden volverse inestables y colapsar, lo que da lugar a la formación de flujos piroclásticos.

El escenario que describe una futura erupción con el crecimiento y colapso de un domo de lava está basado en la existencia de al menos once domos de lava que conforman el volcán Purupuruni, ligados a la actividad eruptiva ocurrida durante el Pleistoceno y Holoceno. Eventualmente, el colapso o derrumbe progresivo de dicho domo de lava puede dar lugar a la formación de flujos piroclásticos que pueden recorrer distancias de más de 6 km de la cima del volcán, como ocurrió en el pasado en el Purupuruni y durante la erupción de 1802 del volcán Tutupaca (Samaniego et al., 2015), durante la cual los flujos piroclásticos de bloques y cenizas llegaron a poco más de 10 km

de distancia del volcán. En inmediaciones del volcán Purupuruni se han identificado depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, especialmente a 6 km al suroeste del domo más reciente, asociados a eventos eruptivos ocurridos en el pasado. En tal sentido, en una eventual erupción existe la posibilidad de que se generen nuevamente estos procesos y depósitos.

5.3.4 Erupción subpliniana (IEV 3-4)

Las erupciones explosivas de tipo subpliniana (IEV 3-4) generan columnas de ceniza, escorias, lapilli de pómez y gases que alcanzan alturas de 3 km a 20 km sobre la cima de los volcanes. Posteriormente, los materiales piroclásticos o tefras emitidos son dispersados por los vientos a varias decenas de kilómetros de distancia, e incluso sobrepasan fácilmente los 100 km. Durante el transporte parte de la tefra cae cubriendo la superficie del terreno. Dichas erupciones también pueden generar flujos piroclásticos (Sigurdsson et al., 2000).

En las últimas décadas en el continente sudamericano han ocurrido erupciones subplinianas de IEV 3 como la del volcán Nevado del Ruiz (Colombia), ocurrida en noviembre de 1985, con un IEV 3, que dejó un depósito de ceniza en áreas aledañas. La isópaca de 1 cm de espesor se identificó a 35 km de distancia del volcán Nevado del Ruiz (Naranjo et al., 1986).

Asimismo, el 16 de agosto de 2006 el volcán Tungurahua (Ecuador) desarrolló una erupción explosiva de tipo subpliniana de IEV 3 que produjo una columna eruptiva de lapilli de pómez, ceniza y gases de 16 km de altura, cuyo material fue dispersado principalmente en dirección oeste, hacia el océano Pacífico, ubicado a más de 100 km de distancia. En aquel entonces, el Tungurahua emitió un volumen de tefra de entre 47×10^6 m^3 y 67×10^6 m^3 (Eychenne et al., 2012). Además, generó flujos y oleadas piroclásticas, y un flujo de lava. La ceniza depositada alcanzó 10 cm de espesor a 10 km del volcán, y 1 cm a 20 km.

En el pasado, la mayoría de los volcanes del sur del Perú han presentado este tipo de erupción. Hace aproximadamente 3085 años, el volcán Yucamane (Tacna) desarrolló una erupción subpliniana de IEV 3 que depositó una capa de caída de lapilli de pómez de 50 cm de espesor a 2 km del pie de los flancos sureste y este del volcán (Rivera et al., 2020b).

En el caso del volcán Purupuruni aún no se han reportado depósitos asociados a erupciones subplinianas de IEV 3, por lo que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de erupciones es moderada a baja.

Durante una erupción subpliniana de IEV 3 también pueden producirse flujos piroclásticos. Un ejemplo es la erupción del volcán Ubinas, ocurrida en 1667 d. C. y clasificada con un IEV 3 (Thouret et al., 2005), que generó flujos piroclásticos cuyos depósitos se encuentran a 3 km al oeste del cráter. Sin embargo, dependiendo del volumen de magma y de la pendiente del terreno, estos flujos pueden alcanzar distancias mayores. Durante la erupción subpliniana de IEV 3 del volcán Yucamane, ocurrida aproximadamente 3085 años antes del presente (AP), se emitieron flujos piroclásticos de pómez y ceniza que se emplazaron a distancias de hasta 6 km al noreste del cráter, donde sus depósitos alcanzan 7 m de espesor (Rivera et al., 2020b).

Por otra parte, durante erupciones subplinianas de IEV 4 las columnas eruptivas de tefras (ceniza, lapilli de pómez, etc.) y gases generados pueden sobrepasar los 20 km de altura sobre el cráter y producir depósitos de caída de tefra y flujos piroclásticos (Sigurdsson et al., 2000). Existen algunos ejemplos de erupciones subplinianas recientes de IEV 4, ocurridas en el continente sudamericano. Por ejemplo, en el sur de Chile, el volcán Calbuco durante los días 22 y 23 de abril de 2015 produjo una erupción explosiva de tipo subpliniana de IEV 4 (Figura 9), que generó una pluma de piroclastos de 15 km a 17 km de altura. El volumen de material emitido fue de 0.38 km^3 (Segura, 2016). Además, dicha erupción generó flujos piroclásticos de 0.03 km^3 que alcanzaron hasta 6 km de distancia al noreste del volcán (Castruccio et al., 2016; Romero et al., 2016).

El volcán Láscar (Chile), durante los días 19 y 20 de abril de 1993, desarrolló una erupción subpliniana de IEV 4 que produjo una columna eruptiva de lapilli de pómez, ceniza y gases de 25 km de altura (Figura 9), emitiendo un volumen total de 10^8 m^3 de magma (Pavez et al., 2006). Los flujos piroclásticos generados durante dicha erupción se emplazaron hasta 8.5 km de distancia al noroeste y 4 km al sureste de la cima (Sparks et al., 1997). La pluma eruptiva fue arrastrada cientos de kilómetros hacia el sureste, llegando incluso hasta la costa atlántica de Argentina y Brasil. Los mayores espesores medidos se registraron en la ladera este del volcán Láscar, a 5 km del cráter, donde alcanzaron hasta 80 cm de espesor, con pómez de hasta 0.4 m de diámetro.

Los espesores disminuyeron rápidamente a medida que aumentaba la distancia al cráter, alcanzando entre 3 cm y 5 cm en la laguna Aguas Calientes, a 25 km al sureste del volcán; entre 1 cm y 3 cm en el Alto del Lari, a 45 km del volcán, y 1 cm en el paso de Sico, a 70 km al sureste del volcán Láscar (Viramonte et al., 1995).

También cabe mencionar la erupción del volcán Reventador (Ecuador), ocurrida el 3 de noviembre de 2002, que alcanzó un IEV 4. Dicha erupción generó una columna eruptiva de 17 km de altura. Durante este evento, la ceniza llegó hasta Quito, ubicada a más de 80 km al oeste del volcán, dejando un depósito milimétrico y forzando el cierre del antiguo aeropuerto Mariscal Sucre por 10 días. Los flujos piroclásticos bajaron por las quebradas del volcán hasta el río Quijos y destruyeron tramos del oleoducto en construcción. El volumen de caída piroclástica fue de 0.3 km^3 y el de los depósitos de corrientes de densidad piroclástica fue de 0.04 km^3 (Le Pennec et al., 2003; Hall et al., 2004).

En el pasado, en la región de Moquegua, los volcanes Ubinas y Ticsani también han presentado erupciones subplinianas. La erupción subpliniana del volcán Ticsani de IEV 4 emplazó depósitos de caída de tefras a más de 50 km del cráter (Mariño & Thouret, 2003). En el caso del volcán Purupuruni aún no se han reportado depósitos asociados a erupciones subplinianas de IEV 4, por lo que la posibilidad de ocurrencia de este tipo de erupciones es baja.

Las erupciones subplinianas (IEV 3-4) también pueden generar lahares, especialmente si los flujos piroclásticos se emplazan sobre casquetes glaciares y originan la fusión de hielo y nieve (Major & Newhall, 1989), como ocurrió durante la erupción del volcán Nevado del Ruiz en 1985, que tuvo un IEV 3 (Pierson et al., 1990). Asimismo, pueden originarse lahares durante lluvias intensas.

En caso de una erupción subpliniana del volcán Purupuruni (IEV 3-4), también podrían generarse lahares que descenderían por las diferentes quebradas que drenan de los domos de lava en dirección a la altiplanicie. Dada la escasa altura de los domos y la pendiente subhorizontal del terreno, los lahares se desplazarían cientos de metros o algunos kilómetros.

6. Resultados: mapas de peligros del volcán Purupuruni

Se elaboraron cuatro mapas de peligros para una potencial erupción del volcán Purupuruni. Estos mapas son: 1) mapa de peligros múltiples para la zona proximal; 2) mapa de peligro por caída de ceniza para un escenario de erupciones leves a moderadas, de tipo vulcaniano (IEV 1-2); 3) mapa de peligro por caída de tefras para un escenario de erupción explosiva subpliniana (IEV 3-4); y 4) mapa de peligros por lahares. Dichos mapas, a diferente escala, han sido integrados para una mejor visualización en un solo formato A1 (ver mapa de peligros).

6.1 Mapa de peligros volcánicos múltiples para la zona proximal

Las zonas próximas a los volcanes (menos de 10 km alrededor del cráter) son susceptibles de verse afectadas por diversos procesos volcánicos, que pueden ocurrir de manera casi simultánea durante una erupción.

En el marco del presente estudio, se elaboró un mapa de peligros múltiples que identifica áreas que podrían verse afectadas por diversos procesos volcánicos como flujos piroclásticos, flujos de lava, domos de lava, avalanchas de escombros, lahares y eyección de proyectiles balísticos. Se obtuvo mediante la superposición de las áreas que cubrirían dichos productos volcánicos, lo que permitió elaborar un mapa integrado de peligros múltiples (Figura 18). Además, las zonas de alto, moderado y bajo peligro se determinaron a partir de escenarios eruptivos establecidos en función del Índice de Explosividad Volcánica (IEV).

6.1.1 Zona de alto peligro (rojo)

Comprende un área proximal, ligeramente alargada de noreste a suroeste (Figura 18), que incluye los terrenos ocupados por los domos y flujos de lava del volcán Purupuruni, así como diversas quebradas y sectores de la altiplanicie volcánica circundante, que pueden ser severamente afectados por la ocurrencia de flujos de lava, crecimiento de domo de lava, proyectiles balísticos, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros y lahares (flujos de lodo). Cualquier tipo de erupción puede afectar dicha área, inclusive las de bajo IEV (1-2), como las que pudieron ocurrir durante el Holoceno y el Pleistoceno superior.

Los límites de la zona de alto peligro se encuentran entre 1 km y 4 km de distancia de los domos de lava recientes del volcán Purupuruni (Figura 18). Los mayores alcances, de 3 km a 4 km, se presentan hacia el norte, este, noreste y sureste, mientras que los menores, de 1 km a 2 km, se registran hacia el oeste de los domos recientes.

Los límites de la zona de alto peligro coinciden con el alcance de un gran número de flujos de lava del volcán Purupuruni, que se encuentran entre los 2 km y 4 km de distancia desde su punto de emisión. Por otro lado, los proyectiles balísticos generados durante erupciones vulcanianas recientes (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, caso de los volcanes Ubinas y Sabancaya (Rivera et al., 2014; Thouret et al., 1994). Asimismo, durante una eventual erupción podría producirse en esta zona el crecimiento de un domo de lava como ha ocurrido en el Holoceno. Además, un eventual colapso o derrumbe de los domos de lava puede generar flujos piroclásticos y avalanchas de escombros que afectarían dicha zona.

En el volcán Purupuruni la probabilidad de ocurrencia de erupciones vulcanianas es moderada a alta, debido a que este tipo de erupciones posiblemente ocurrieron antes y durante el Holoceno.

En resumen, la zona de alto peligro (rojo) podría verse afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones explosivas pequeñas a moderadas de tipo vulcaniano (IEV 1-2), así como por flujos de lava, domos de lava, proyectiles balísticos y avalanchas de escombros.

6.1.2 Zona de moderado peligro (naranja)

La zona de moderado peligro colinda directamente con la zona de alto peligro y comprende algunas colinas y laderas de volcanes extintos aledaños al Purupuruni, así como sectores de la altiplanicie. Sus límites se extienden de 4 km a 5 km hacia el este, sureste y noreste de los domos de lava recientes; de

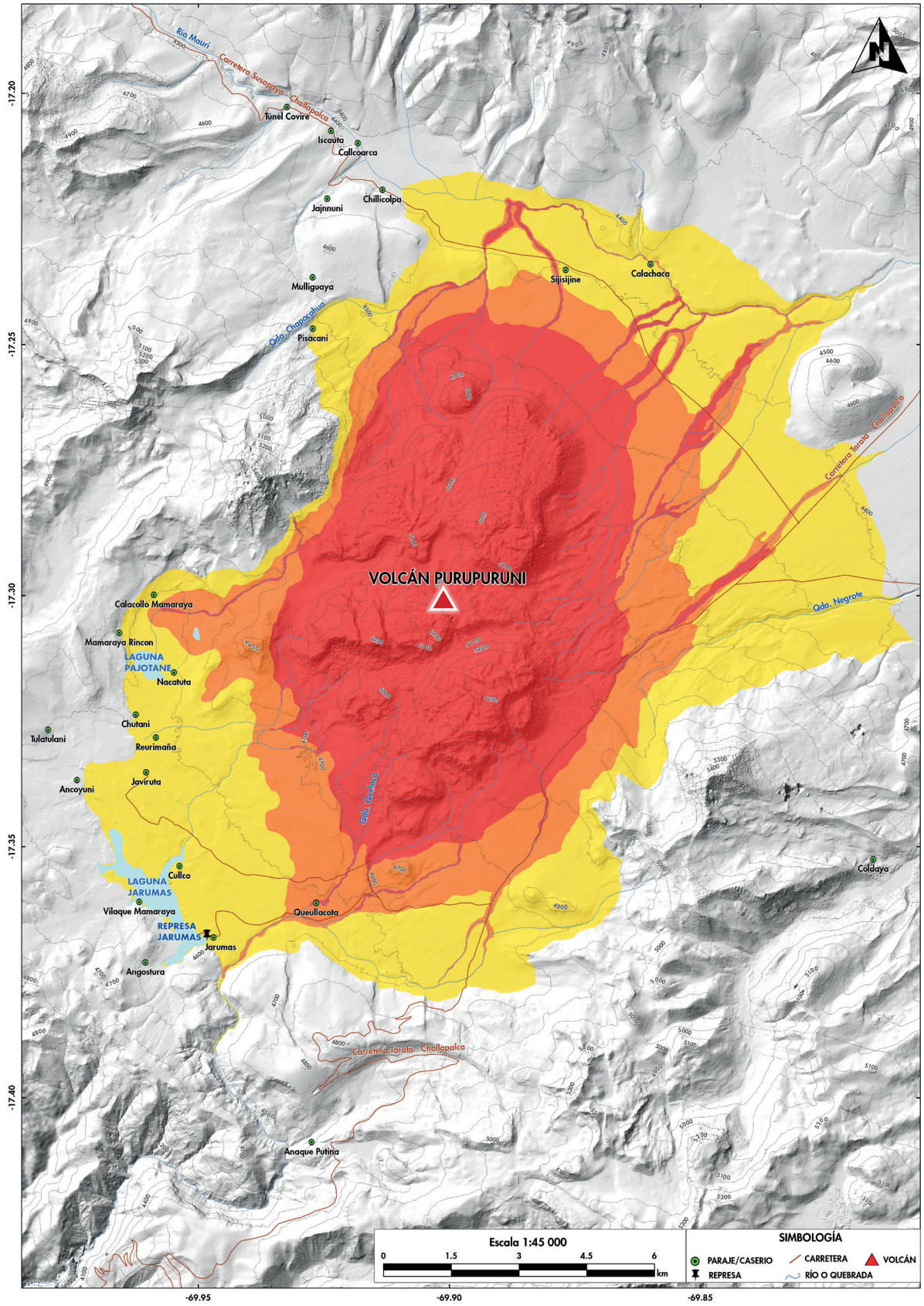


Figura 18. Mapa de peligros múltiples para la zona proximal en el que se muestran las zonas de peligro por el emplazamiento de flujos piroclásticos, flujos de lava, avalanchas de escombros, lahares y eyección de proyectiles balísticos.

2 km a 4.5 km hacia el suroeste y de 1 km a 4.5 km hacia el oeste (Figura 18). Esta zona podría verse afectada por flujos y oleadas piroclásticas, lahares, proyectiles balísticos y avalanchas de escombros en caso de que ocurra una erupción explosiva de mayor magnitud (IEV 3).

Se consideró este escenario porque las erupciones subplinianas han sido frecuentes en algunos volcanes del sur del Perú, como en el volcán Tutupaca (Tacna), que en el año de 1802 presentó una erupción subpliniana de IEV 3 que generó flujos piroclásticos que viajaron hasta 10 km del volcán (Samaniego et al., 2015). Además, en las últimas décadas, en el continente sudamericano han ocurrido erupciones subplinianas de IEV 4, como la que ha presentado el volcán Láscar (Chile) en abril de 1993, en la cual se generaron flujos piroclásticos que viajaron hasta 8.5 km de distancia al noroeste y 4 km al sureste de la cima del volcán (Sparks et al., 1997).

Por otro lado, el alcance máximo de proyectiles balísticos se encuentra dentro de un radio menor a 4 km del centro de emisión, según datos tomados de Blong (1984). Esta distancia se encuentra dentro de los límites de la zona de moderado peligro (sector oriental). Además, durante una erupción efusiva del volcán Purupuruni pueden ser emitidos flujos de lava que pueden cubrir la zona de moderado peligro. Un eventual colapso o derrumbe de los domos de lava puede generar flujos piroclásticos y avalanchas de escombros que afectarían dicha zona. Asimismo, durante lluvias intensas pueden generarse lahares que afectarían la zona.

En resumen, la zona de moderado peligro (naranja) puede ser afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones explosivas subplinianas de IEV 3, así como por flujos de lava, proyectiles balísticos, avalanchas de escombros y lahares.

6.1.3 Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro colinda directamente con la zona de moderado peligro y comprende algunas colinas y laderas de volcanes extintos aledaños al Purupuruni, así como sectores de la altiplanicie volcánica circundante. Sus límites se extienden de 4.5 km a 10 km hacia el este y noreste del volcán Purupuruni; de 4.5 km a 6.5 km hacia el suroeste y de aproximadamente 3.5 km a 5 km hacia el norte (Figura 18). Esta zona podría verse afectada por flujos y oleadas piroclásticas, lahares y avalanchas de escombros en caso de que ocurra una erupción explosiva de tipo subpliniano (IEV 4).

Las distancias recorridas por los flujos piroclásticos descritos anteriormente son comparables con las registradas durante la erupción subpliniana (IEV 4) del volcán Calbuco (Chile), ocurrida los días 22 y 23 de abril de 2015, cuando estos flujos alcanzaron hasta 6 km hacia el noreste del volcán (Castruccio et al., 2016; Romero et al., 2016). De manera similar, durante la erupción subpliniana (IEV 4) del volcán Láscar (Chile), ocurrida los días 19 y 20 de abril de 1993, los flujos piroclásticos se desplazaron hasta 8.5 km hacia el noroeste y 4 km hacia el sureste de la cima del volcán (Sparks et al., 1997). Por otra parte, un eventual colapso o derrumbe de gran magnitud en el volcán Purupuruni podría generar avalanchas de escombros que afectarían el área evaluada. Asimismo, las lluvias intensas podrían desencadenar lahares que también afectarían dicha área.

En resumen, la zona de bajo peligro (amarilla) podría verse afectada por flujos piroclásticos generados durante erupciones subplinianas (IEV 4), así como por avalanchas de escombros y lahares de gran volumen. Sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de erupciones subplinianas en el volcán Purupuruni es muy baja.

6.2 Mapa de peligros por caídas de cenizas durante una erupción vulcaniana (IEV 1-2)

El mapa de peligros por caídas de cenizas para un escenario de erupción vulcaniana del volcán Purupuruni (IEV 1-2) muestra tres zonas de peligro: zona de alto peligro en rojo, zona de moderado peligro en naranja y zona de bajo peligro en amarillo (Figura 19).

6.2.1 Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro (Figura 19), representada en color rojo, se extiende 55 km hacia el sur, 48 km hacia el norte, 60 km hacia el noroeste y 86 km hacia el sureste del volcán Purupuruni. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores que varían desde 5 cm en las áreas proximales (10-15 km del volcán) hasta menos de 1 cm en las áreas distales.

Esta estimación se basa en la dispersión de

ceniza registrada durante erupciones vulcanianas recientes de los volcanes Sabancaya y Ubinas.

6.2.2 Zona de moderado peligro (naranja)

La zona de moderado peligro (Figura 19), representada en color naranja, se extiende 94 km hacia el sur, 74 km hacia el norte, 80 km hacia el noroeste y 203 km hacia el sureste del volcán Purupuruni. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza de algunos milímetros de espesor, cuya acumulación podría generar impactos moderados. Asimismo, dependiendo de la dirección del viento, podrían registrarse caídas de ceniza sobre los techos de las viviendas.

Esta estimación se basa en la dispersión de ceniza registrada durante la erupción vulcaniana del volcán Sabancaya en el periodo 1990-1998 (IEV 2), durante la cual se registraron depósitos de ceniza de 1 mm de espesor a 30 km al este del cráter (Thouret et al., 1994). Asimismo, se consideran los depósitos de ceniza asociados a la actividad eruptiva del volcán Sabancaya iniciada en 2016, con espesores de 1 mm registrados a 20 km al este y al noreste del cráter.

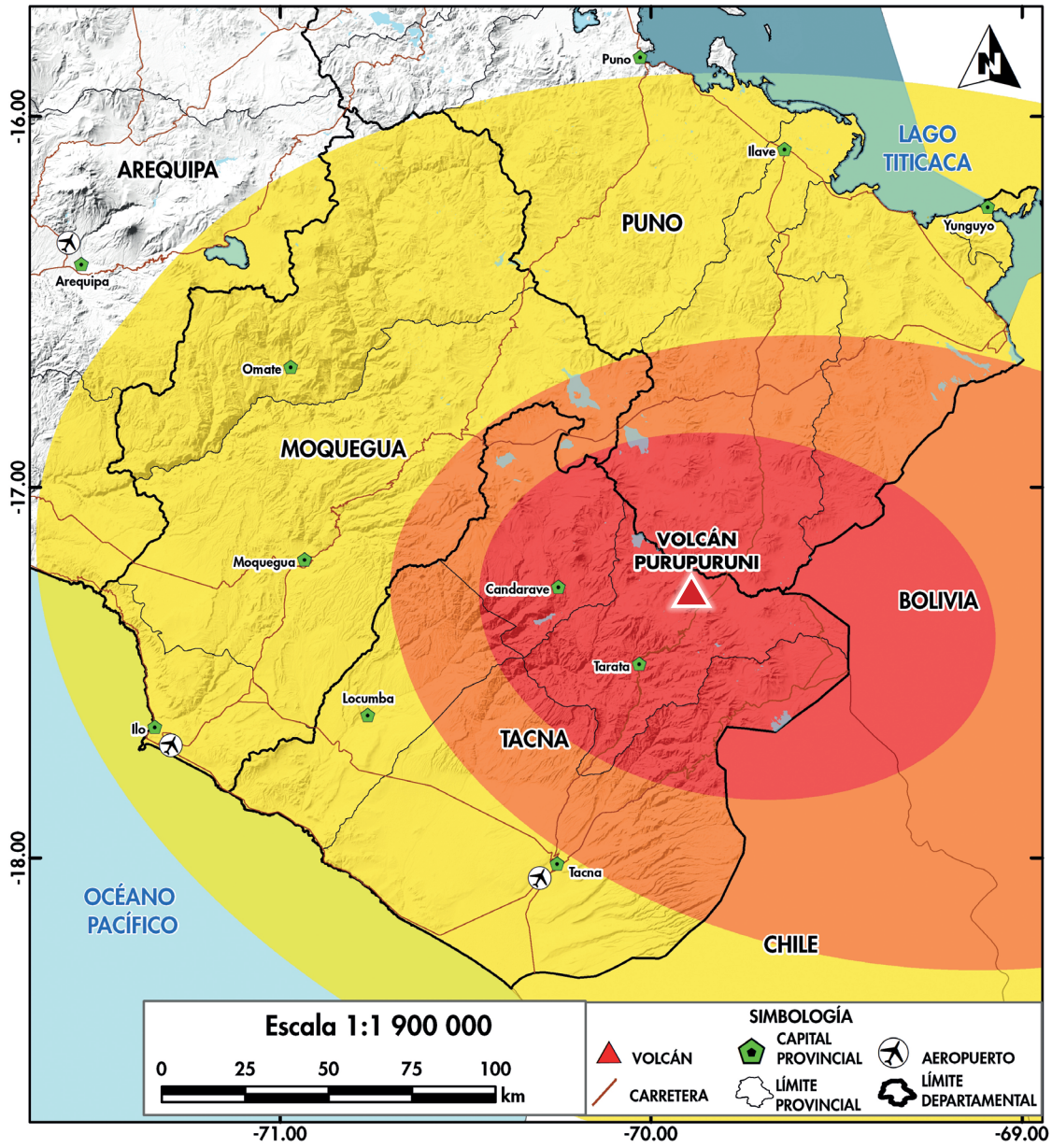


Figura 19. Mapa de peligro por caída de ceniza del volcán Purupuruni para un escenario eruptivo de tipo vulcaniano con IEV 1-2 (simulación USGS, 2026).

6.2.3 Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro (Figura 19), representada en color amarillo, se extiende más de 111 km hacia el sur, sobrepasando la frontera entre Perú y Chile; 158 km hacia el norte; 180 km hacia el noroeste y más de 60 km hacia el sureste, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm, cuyos efectos serían de bajo impacto. Aunque la caída de ceniza podría pasar inadvertida en algunos sectores, su presencia podría ser perceptible para la población, dependiendo de la dirección del viento.

Esta estimación se basa en la dispersión de ceniza registrada durante la actividad eruptiva del volcán Sabancaya iniciada en 2016, durante la cual se identificaron depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm a más de 30 km al este del volcán.

6.3 Mapa de peligros por caídas piroclásticas durante una erupción subpliniana (IEV 3-4)

No se han identificado depósitos asociados a erupciones subplinianas en las inmediaciones del volcán Purupuruni. Por ello, se considera que la probabilidad de ocurrencia de este tipo de erupciones es baja. No obstante, por analogía con otros volcanes de características similares, no se descarta la posibilidad de que ocurran en el futuro.

El mapa de peligros por caídas piroclásticas, elaborado para un escenario de erupción subpliniana del volcán Purupuruni, presenta tres zonas de peligro: alto, moderado y bajo, representadas en rojo, naranja y amarillo, respectivamente (Figura 20).

6.3.1 Zona de alto peligro (rojo)

La zona de alto peligro (Figura 20), representada en color rojo, se extiende 96 km hacia el sur, 51 km hacia el norte, 62 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste del volcán Purupuruni, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores que varían desde algunos centímetros hasta varios decímetros. Las áreas comprendidas en un radio de 10-15 km del volcán podrían experimentar los mayores impactos, debido a la acumulación de depósitos de tefra de 10-20 cm de espesor.

Durante erupciones subplinianas con IEV 3, esta zona podría verse afectada por caídas de ceniza y lapilli de pómez, que formarían depósitos de varios centímetros de espesor.

Los espesores estimados son coherentes con los registrados durante la erupción subpliniana (IEV 3) del volcán Tungurahua (Ecuador), ocurrida en agosto de 2006, durante la cual se reportaron depósitos de ceniza con espesores de entre 4 cm y 5 cm a 10 km del cráter (Eychenne et al., 2012).

Durante erupciones subplinianas con IEV 4, esta zona podría verse afectada por caídas de lapilli y bloques de pómez, que formarían depósitos con espesores que varían desde varios centímetros hasta algunos decímetros. Esta estimación se basa en la dispersión de materiales piroclásticos registrada durante erupciones subplinianas recientes (IEV 4) ocurridas en Sudamérica. Por ejemplo, durante los días 19 y 20 de abril de 1993, el volcán Láscar (Chile) presentó una erupción subpliniana (IEV 4) que generó una columna eruptiva de 25 km de altura, compuesta por lapilli de pómez, ceniza y gases (Figura 9). La pluma eruptiva fue transportada por los vientos cientos de kilómetros hacia el sureste, hasta alcanzar la costa atlántica de Argentina y Brasil. Los mayores espesores de los depósitos se registraron en la ladera este del volcán Láscar, a 5 km del cráter, donde alcanzaron hasta 80 cm. Estos espesores disminuyeron rápidamente con la distancia al cráter, alcanzando entre 3 cm y 5 cm en la laguna Aguas Calientes, ubicada a 25 km al sureste, y entre 1 cm y 3 cm en el Alto del Lari, a 45 km del volcán Láscar (Viramonte et al., 1995).

6.3.2 Zona de moderado peligro (naranja)

La zona de moderado peligro (Figura 20), representada en color naranja, se extiende más de 108 km hacia el sur, hasta la frontera entre Perú y Chile; 188 km hacia el norte; 250 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste, hasta la frontera entre Perú y Bolivia. Los espesores de los depósitos de ceniza podrían variar según la magnitud de la erupción: de varios milímetros a algunos centímetros para un escenario de IEV 3, y de varios decímetros para una de IEV 4. La acumulación de ceniza y sus posibles efectos

sobre las viviendas dependerían del espesor depositado y de las condiciones de dispersión.

Durante erupciones subplinianas con IEV 3, esta zona podría verse afectada por caídas de ceniza que formarían depósitos con espesores que varían desde varios milímetros hasta algunos centímetros. Esta estimación se basa en antecedentes eruptivos, como la erupción del volcán Nevado del Ruiz (Colombia), ocurrida en noviembre de 1985, durante la cual se registraron depósitos de ceniza de aproximadamente 2 cm de espesor a 30 km del volcán.

Durante erupciones subplinianas con IEV 4, esta zona podría verse afectada por caídas de ceniza, lapilli y bloques de pómez, que formarían depósitos de varios decímetros de espesor (Figura 20). Esta estimación se basa en la dispersión de materiales piroclásticos registrada durante erupciones subplinianas (IEV 4) de otros volcanes, como el Ticsani. En efecto, la erupción del volcán Ticsani, datada en aproximadamente 11 000 años AP (IEV 4), generó depósitos de caída de ceniza de alrededor de 50 cm de espesor a 30 km del cráter (Mariño & Thouret, 2003).

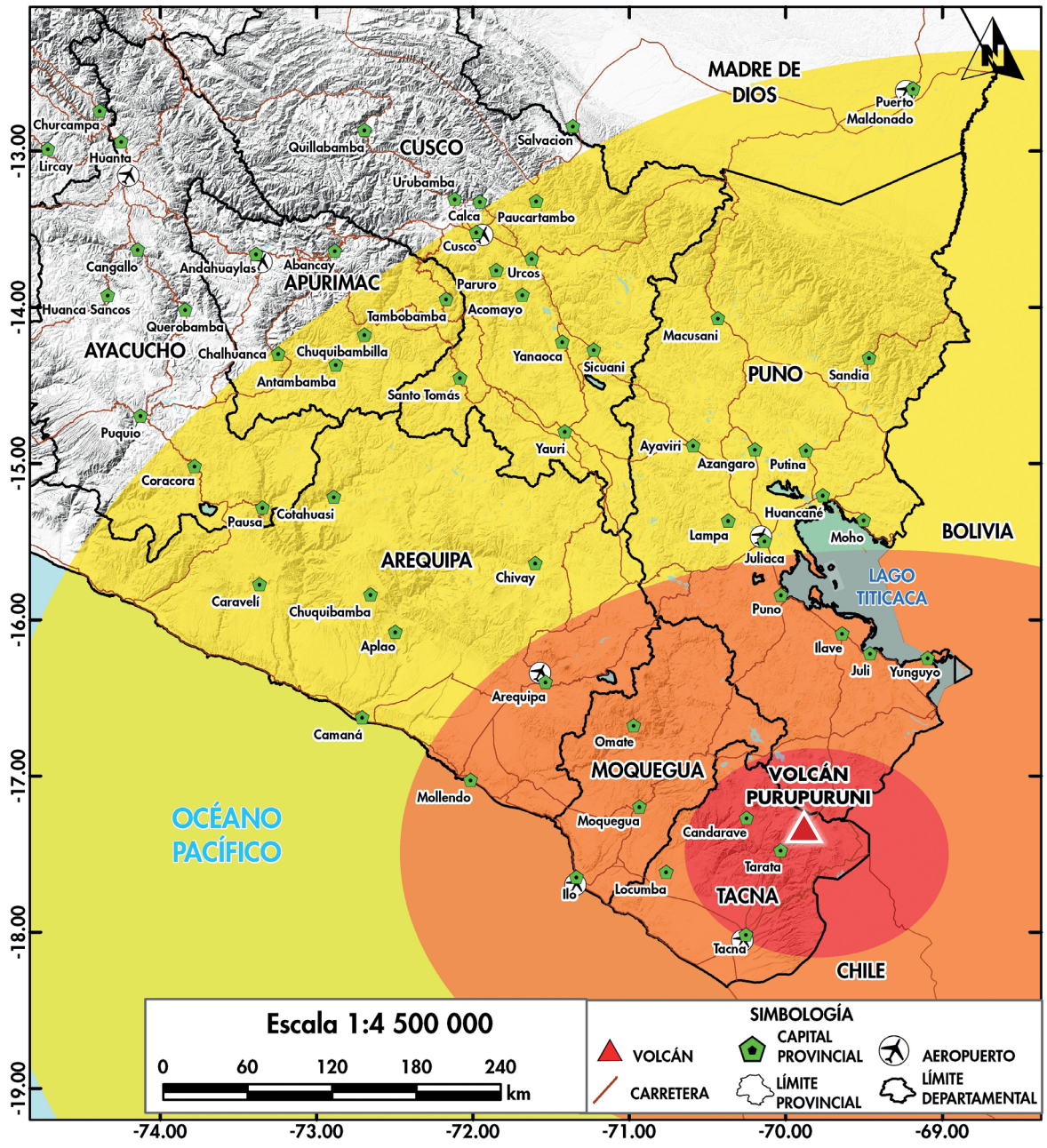


Figura 20. Mapa de peligro por caída de tefras del volcán Purupuruni para un escenario eruptivo tipo subpliniano con IEV 3-4 (simulación USGS, 2026).

Asimismo, se consideran los depósitos generados durante la erupción subpliniana (IEV 4) del volcán Láscar (Chile), ocurrida los días 19 y 20 de abril de 1993, que produjo una columna eruptiva compuesta por lapilli de pómez, ceniza y gases (Figura 9). La pluma eruptiva fue transportada por los vientos cientos de kilómetros hacia el sureste, hasta alcanzar la costa atlántica de Argentina y Brasil. Los espesores de los depósitos disminuyeron rápidamente con la distancia al cráter, alcanzando entre 3 cm y 5 cm en la laguna Aguas Calientes, a 25 km al sureste del volcán; entre 1 cm y 3 cm en el Alto del Lari, a 45 km del volcán, y 1 cm en el paso de Sico, a 70 km al sureste del volcán Láscar (Viramonte et al., 1995).

Otro antecedente corresponde a la erupción subpliniana (IEV 4) del volcán Reventador (Ecuador), ocurrida el 3 de noviembre de 2002. Durante este evento, la ceniza alcanzó la ciudad de Quito, ubicada a más de 80 km al oeste del volcán, donde se depositó una capa de espesor milimétrico (Le Pennec et al., 2003; Hall et al., 2004).

6.3.3 Zona de bajo peligro (amarillo)

La zona de bajo peligro (Figura 20), representada en color amarillo, se extiende más de 120 km hacia el sur, sobrepasando la frontera entre Perú y Chile; 528 km hacia el norte; 527 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia.

Durante erupciones subplinianas con IEV 3, esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm, cuya distribución dependería principalmente de la dirección de los vientos. Esta estimación se basa en antecedentes eruptivos, como la erupción del volcán Nevado del Ruiz (Colombia), ocurrida en noviembre de 1985, durante la cual se registraron depósitos de ceniza con espesores de entre 2 mm y 3 mm a 50 km del volcán. Asimismo, durante la erupción del volcán Tungurahua (Ecuador), ocurrida en agosto de 2006 (IEV 3), se reportaron depósitos de ceniza con espesores de entre 0.7 cm y 0.8 cm a 20 km del volcán (Eychenne et al., 2012).

Durante erupciones subplinianas con IEV 4, esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores que varían desde varios milímetros hasta algunos centímetros. Esta estimación se basa en la dispersión de ceniza registrada durante la erupción explosiva (IEV 4) del volcán Láscar (Chile), ocurrida en abril de 1993, cuya pluma eruptiva fue transportada por los vientos cientos de kilómetros hacia el sureste, hasta alcanzar la costa atlántica de Argentina y Brasil. En las áreas distales, los depósitos de ceniza alcanzaron espesores de entre 1 cm y 3 cm a 45 km del volcán y de 1 cm a 70 km al sureste del cráter (Viramonte et al., 1995). Asimismo, durante la erupción subpliniana (IEV 4) del volcán Calbuco (Chile), ocurrida en 2015, se registraron depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm en la localidad de Neuquén (Argentina), ubicada a 510 km al noreste del cráter (Romero et al., 2016).

6.4 Mapa de peligros por lahares

Se dispone de pocas estimaciones de los volúmenes de lahares generados en los volcanes activos del sur del Perú. Los estudios realizados en el volcán Misti indican que los lahares con volúmenes máximos de entre 1.5 millones de m^3 y 4 millones de m^3 estarían asociados a erupciones explosivas de magnitud moderada (IEV 1-2) (Delaite et al., 2005). Por su parte, los lahares con volúmenes máximos de entre 9 millones de m^3 y 10 millones de m^3 serían menos frecuentes, con intervalos de recurrencia estimados de 1000-5000 años, y estarían asociados a erupciones explosivas de mayor magnitud (IEV $\geq$ 3) (Delaite et al., 2005; Vargas-Franco et al., 2010).

Posteriormente, Thouret et al. (2022) consideraron tres volúmenes de lahar para elaborar escenarios de peligro asociados a lluvias intensas en el volcán Misti (Arequipa): 150 000 m^3, 350 000 m^3 y 500 000 m^3. A partir de estos antecedentes y considerando las condiciones meteorológicas del entorno del volcán Purupuruni, se seleccionaron tres volúmenes para las simulaciones: 150 000 m^3 para lahares de menor volumen, considerados más frecuentes, y 350 000 m^3 y 500 000 m^3 para lahares de mayor volumen, considerados menos frecuentes y potencialmente asociados a erupciones explosivas de gran magnitud o lluvias muy intensas.

Los resultados de las simulaciones permitieron elaborar el mapa de peligros por lahares (Figura 21), en el que se identifican tres zonas de peligro. La zona roja, de alto peligro, corresponde al área con mayor probabilidad relativa de verse afectada por lahares de menor volumen (150 000 m^3), asociados a erupciones de baja a moderada magnitud (IEV 1-2) o lluvias intensas. La zona naranja, de moderado peligro, podría verse afectada por lahares de volumen intermedio (350 000 m^3), mientras que la zona amarilla,

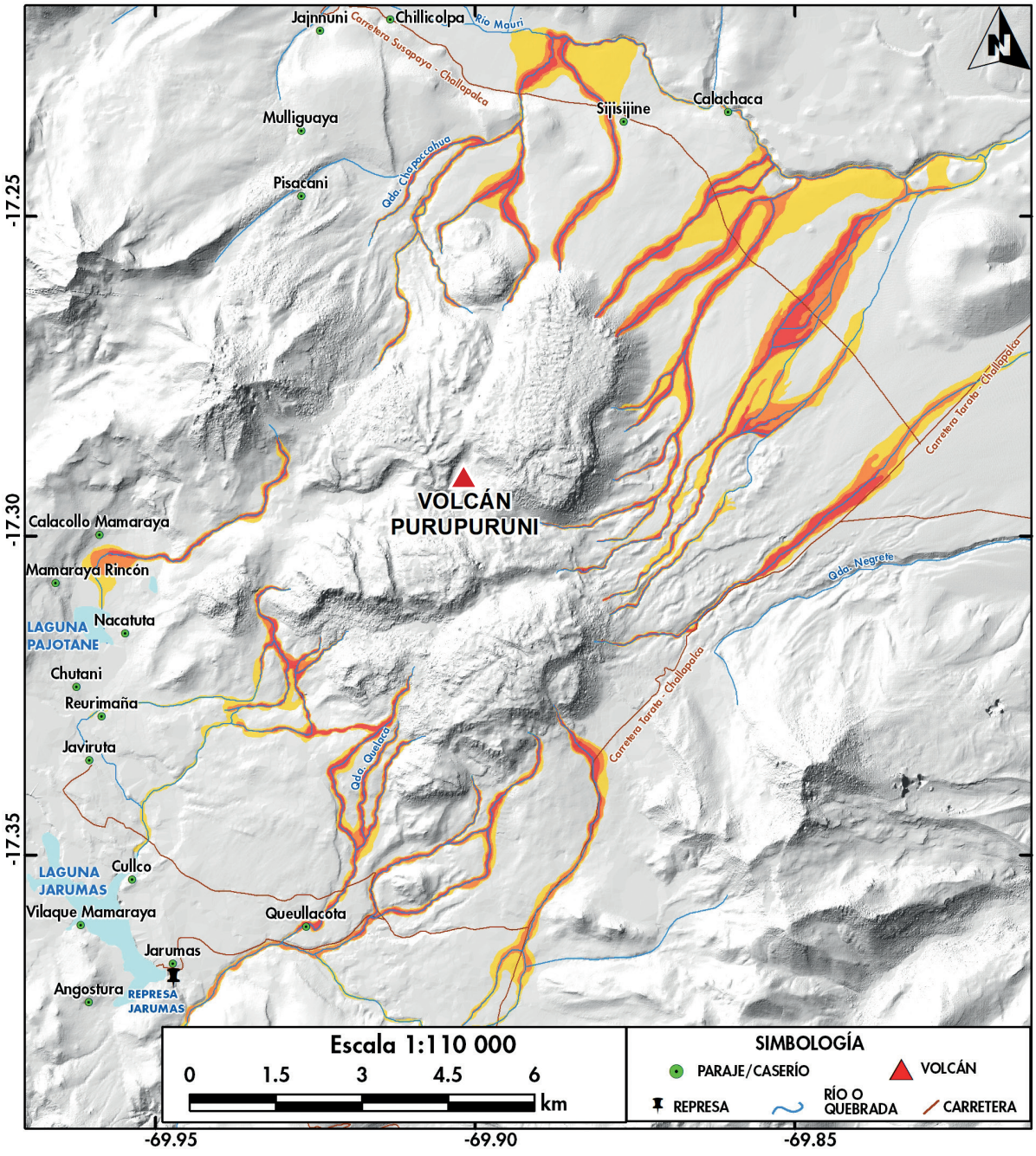


Figura 21. Mapa de peligro de lahares del volcán Purupuruni que considera tres escenarios de peligro: alto (rojo), moderado (naranja) y bajo (amarillo).

de bajo peligro, corresponde al área con menor probabilidad relativa de verse afectada por lahares de gran volumen (500 000 m^3). Los lahares de 350 000 m^3 y 500 000 m^3 podrían estar asociados a erupciones explosivas de gran magnitud (IEV ≥ 3) o episodios de lluvias muy intensas.

Ante la ocurrencia de lahares, podrían verse afectados tramos de las carreteras Tarata-Puno y Susapaya-Puno, así como canales de agua y otras obras de infraestructura.

Conclusiones

- El volcán Purupuruni es un complejo de domos y flujos de lava ubicado en la zona altoandina de la región de Tacna, provincia de Tarata, distritos de Ticaco y Tarata. Durante el Pleistoceno superior y el Holoceno, habría presentado actividad efusiva, caracterizada por el emplazamiento de flujos de lava y el crecimiento de domos, así como episodios de destrucción de domos y, posiblemente, erupciones explosivas de baja a moderada magnitud.

- Para evaluar los peligros asociados a una eventual reactivación del volcán Purupuruni, se definieron cuatro escenarios eruptivos: una erupción explosiva de tipo vulcaniana (IEV 1-2), una erupción efusiva con emisión de flujos de lava, un escenario de crecimiento y colapso de domos, y una erupción explosiva de tipo subpliniana (IEV 3-4).

- Sobre la base de los estudios realizados y los escenarios eruptivos considerados, se elaboraron cuatro mapas de peligros volcánicos, presentados en un solo póster: a) mapa de peligros volcánicos múltiples para la zona proximal; b) mapa de peligros por caída de ceniza durante una erupción vulcaniana (IEV 1-2); c) mapa de peligros por caídas piroclásticas durante una erupción subpliniana (IEV 3-4), y d) mapa de peligros por lahares.

- El **mapa de peligros volcánicos múltiples para la zona proximal** considera los peligros asociados a flujos de lava, flujos piroclásticos, proyectiles balísticos, avalanchas de escombros y lahares. La zona de alto peligro, representada en rojo, presenta una configuración ligeramente alargada en dirección noreste-suroeste. Sus mayores alcances, de 3 km a 4 km desde los domos, se registran hacia el norte, este, noreste y sureste, mientras que los menores, de 1 km a 2 km, se presentan hacia el oeste del volcán Purupuruni. La zona de moderado peligro, representada en naranja, se extiende de 4 km a 5 km desde los domos hacia el este, sureste y noreste; de 2 km a 4.5 km hacia el suroeste y de 1 km a 4.5 km hacia el oeste. Por su parte, la zona de bajo peligro, representada en amarillo, alcanza distancias de 4.5 km a 10 km hacia el este y noreste de los domos; de 4.5 km a 6.5 km hacia el suroeste y de 3.5 km a 5 km hacia el norte del volcán.

- En el **mapa de peligros por caída de ceniza durante una erupción vulcaniana (IEV 1-2)**, la zona de alto peligro, representada en rojo, se extiende 55 km hacia el sur, 48 km hacia el norte, 60 km hacia el noroeste y 86 km hacia el sureste del volcán Purupuruni. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores que varían desde 5 cm en las áreas proximales (10-15 km del volcán) hasta menos de 1 cm en las áreas distales. La zona de moderado peligro, representada en naranja, se extiende 94 km hacia el sur, 74 km hacia el norte, 80 km hacia el noroeste y 203 km hacia el sureste. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza de algunos milímetros de espesor, cuya acumulación podría generar impactos moderados. Asimismo, dependiendo de la dirección del viento, podrían registrarse caídas de ceniza sobre los techos de las viviendas. La zona de bajo peligro, representada en amarillo, se extiende más de 111 km hacia el sur, sobrepasando la frontera entre Perú y Chile; 158 km hacia el norte; 180 km hacia el noroeste y más de 60 km hacia el sureste, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm, cuyos efectos serían de bajo impacto. La caída de ceniza podría pasar inadvertida para la población en determinados sectores.

- En el **mapa de peligros por caídas piroclásticas durante una erupción subpliniana (IEV 3-4)**, la zona de alto peligro, representada en rojo, se extiende aproximadamente 96 km hacia el sur, 51 km hacia el norte, 62 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste del volcán Purupuruni, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Durante una erupción subpliniana, esta zona podría verse afectada por caídas de ceniza y lapilli de pómez, que formarían depósitos con espesores que varían desde varios centímetros hasta algunos decímetros. La zona de moderado peligro, representada en naranja, colinda con la zona de alto peligro y presenta una configuración elíptica alrededor del centro eruptivo. Esta zona se extiende más de 108 km hacia el sur, sobrepasando la frontera entre Perú y Chile; 188 km hacia el norte; 250 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Durante una erupción explosiva de IEV 3, esta zona podría verse afectada por depósitos de ceniza con espesores de varios milímetros a algunos centímetros, mientras que, en un escenario de erupción de IEV 4, los depósitos

podrían alcanzar varios decímetros de espesor. Por su parte, la zona de bajo peligro, representada en amarillo, se extiende más de 120 km hacia el sur, sobrepasando la frontera entre Perú y Chile; 528 km hacia el norte; 527 km hacia el noroeste y más de 50 km hacia el sureste, sobrepasando la frontera entre Perú y Bolivia. Durante un escenario de erupción explosiva de IEV 3, esta zona podría recibir depósitos de ceniza con espesores inferiores a 1 mm. En un escenario de IEV 4, los espesores podrían variar desde varios milímetros hasta algunos centímetros.

- En el **mapa de peligros por lahares**, la zona de alto peligro, representada en rojo, corresponde al área con mayor probabilidad de verse afectada por lahares de hasta 150 000 m^3, asociados a lluvias intensas o erupciones volcánicas de baja a moderada magnitud. Por su parte, la zona de moderado peligro, representada en naranja, podría verse afectada por lahares de 350 000 m^3, mientras que la zona de bajo peligro, representada en amarillo, corresponde al área con menor probabilidad de verse afectada por lahares de 500 000 m^3. Ante la ocurrencia de estos eventos, podrían verse afectados tramos de las carreteras Tarata-Puno y Susapaya-Puno, así como canales de agua y otras obras de infraestructura.

- Los mapas de peligros volcánicos del volcán Purupuruni elaborados en este estudio constituyen instrumentos técnicos de apoyo para las instituciones del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), las autoridades regionales y locales, y la población. Su información contribuirá a la planificación territorial, la formulación de proyectos de desarrollo, la elaboración de planes de prevención, la gestión reactiva del riesgo de desastres y la preparación y respuesta ante una eventual crisis volcánica del Purupuruni.

Referencias

- Aguilar, R., Ortega, M., Manrique, N., Apaza, F., Rivera, M., & Harpel, C. (2019, 9-13 de diciembre). *Characteristics of the beginning of the 2019 eruptive crisis at Ubinas volcano (Peru)* [Póster]. AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, Estados Unidos. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2709

- Aguilera, E., Almeida, E., & Balseca, W. (1988). El Reventador: An active volcano in the sub-Andean zone of Ecuador. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, 43*, 853-875.

- Bignami, C., Bosi, V., Costantini, L., Cristiani, C., Lavigne, F., & Thierry, P. (2012). *Handbook for volcanic risk management: Prevention, crisis management, resilience*. MIAVITA Team.

- Blong, R. J. (1984). *Volcanic hazards: A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press.

- Blong, R. J. (2000). Volcanic hazard and risk management. En H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, & J. Stix (Eds.), *Encyclopedia of volcanoes* (pp. 1215-1228). Academic Press.

- Bromley, G. R. M., Thouret, J.-C., Schimmelpfennig, I., Mariño, J., Valdivia, D., Rademaker, K., Vivanco López, S. P., ASTER Team, Aumaître, G., Bourlès, D., & Keddadouche, K. (2019). In situ cosmogenic ^{3}He and ^{36}Cl and radiocarbon dating of volcanic deposits refine the Pleistocene and Holocene eruption chronology of SW Peru. *Bulletin of Volcanology, 81*(11), artículo 64. https://doi.org/10.1007/s00445-019-1325-6

- Bustillos, J., & Samaniego, P. (2011). Volcán Tungurahua: Tamaño de las erupciones explosivas. En D. Andrade Varela (Ed.), *Memorias de las Séptimas Jornadas en Ciencias de la Tierra* (pp. 131-134). Escuela Politécnica Nacional. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-08/010054876.pdf

- Cárdenas Quiroga, E. A., Porras Rodríguez, P., & Morales Martín, L. Y. (2013). Empleo del programa VolcFlow para simular flujos piroclásticos del volcán Cerro Machín, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 23*(2), 157-172. https://doi.org/10.18359/rcin.228

- Carey, S. (1996). Modeling of tephra fallout from atmospheric eruptions. En R. Scarpa & R. I. Tilling (Eds.), *Monitoring and mitigation of volcano hazards* (pp. 429-463). Springer.

- Cas, R. A. F., & Wright, J. V. (1987). *Volcanic successions: Modern and ancient*. Allen & Unwin.

- Castruccio, A., Clavero, J., Segura, A., Samaniego, P., Roche, O., Le Pennec, J.-L., & Droguett, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). *Bulletin of Volcanology, 78*, artículo 62. https://doi.org/10.1007/s00445-016-1058-8

- De Silva, S. L., & Francis, P. W. (1991). *Volcanoes of the Central Andes*. Springer-Verlag.

- Delaite, G., Thouret, J.-C., Sheridan, M., Labazuy, P., Stinton, A., Souriot, T., & van Westen, C. J. (2005). Assessment of volcanic hazards of El Misti and in the city of Arequipa, Peru, based on GIS and simulations, with emphasis on lahars. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 140*, 209-231.

- Eychenne, J., Le Pennec, J.-L., Troncoso, L., Gouhier, M., & Nédélec, J.-M. (2012). Causes and consequences of bimodal grain-size distribution of tephra fall deposited during the August 2006 Tungurahua eruption (Ecuador). *Bulletin of Volcanology, 74*, 187-205. https://doi.org/10.1007/s00445-011-0517-5

- Francis, P. (1993). *Volcanoes: A planetary perspective*. Oxford University Press.

- Gerbe, M.-C., & Thouret, J.-C. (2004). Role of magma mixing in the petrogenesis of tephra erupted during the 1990-98 explosive activity of Nevado Sabancaya, southern Peru. *Bulletin of Volcanology, 66*, 541-561.

- Glicken, H. (1996). *Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens volcano, Washington* (Open-File Report 96-677). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr96677

- Gueugneau, V. (2014). *Évaluation du logiciel VolcFlow pour la simulation numérique de lahars et application aux risques associés* [Informe de trabajo de estudio e investigación]. Université Blaise Pascal Clermont II.

- Guillande, R., Thouret, J.-C., Huamán, D., & Le Guern, F. (1992). *L'activité éruptive actuelle du volcan Nevado Sabancaya (Sud du Pérou) et l'évaluation des menaces et des risques: Géologie, cartographie et imagerie satellitaire* [Informe técnico]. Géosciences Consultants.

- Hall, M. L., Ramón, P., Mothes, P., Le Pennec, J.-L., García, A., Samaniego, P., & Yepes, H. (2004). Volcanic eruptions with little warning: The case of Volcano Reventador's surprise November 3, 2002 eruption, Ecuador. *Revista Geológica de Chile, 31*(2), 349-358.

- Hall, M. L., Steele, A. L., Mothes, P. A., & Ruiz, M. C. (2013). Pyroclastic density currents (PDC) of the 16-17 August 2006 eruptions of Tungurahua volcano, Ecuador: Geophysical registry and characteristics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 265*, 78-93. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.08.011

- Hoblitt, R. P., Walder, J. S., Driedger, C. L., Scott, K. M., Pringle, P. T., & Vallance, J. W. (1995). *Volcano hazards from Mount Rainier, Washington* (Open-File Report 95-273). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr95273

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Censos Nacionales 2025: Resultados*. https://censos2025.inei.gob.pe/resultados

- Iverson, R. M., Schilling, S. P., & Vallance, J. W. (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. *Geological Society of America Bulletin, 110*(8), 972-984. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110%3C0972:ODOLIH%3E2.3.CO;2

- Kelfoun, K., & Druitt, T. H. (2005). Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 110*, B12202.

- Kelfoun, K., & Vallejo Vargas, S. (2016). VolcFlow capabilities and potential development for the simulation of lava flows. *Geological Society, London, Special Publications, 426*, 337-343. https://doi.org/10.1144/SP426.8

- Le Pennec, J.-L., Hidalgo, S., Samaniego, P., Ramón, P., Yepes, H., & Eissen, J.-P. (2003). Magnitud de la erupción del 3 de noviembre del 2002 del volcán El Reventador. En *Memorias de las Quintas Jornadas en Ciencias de la Tierra* (pp. 97-99). Escuela Politécnica Nacional.

- Machacca, R., Lesage, P., Tavera, H., Pesicek, J. D., Caudron, C., Torres, J. L., Puma, N., Vargas, K., Lazarte, I., Rivera, M., & Burgisser, A. (2023). The 2013-2020 seismic activity at Sabancaya volcano (Peru): Long lasting unrest and eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 435*, artículo 107767. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107767

- Major, J. J., & Newhall, C. G. (1989). Snow and ice perturbation during historical volcanic eruptions and the formation of lahars and floods. *Bulletin of Volcanology, 52*(1), 1-27.

- Malin, M. C., & Sheridan, M. F. (1982). Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science, 217*(4560), 637-640.

- Mariño, J., Cueva, K., Thouret, J.-C., Arias, C., Finizola, A., Antoine, R., Delcher, E., Fauchard, C., Donnadieu, F., Labazuy, P., Japura, S., Gusset, R., Sánchez, P., Ramos, D., Macedo, L., Lazarte, I., Thouret, L., Del Carpio, J., Jaime, L., & Saintenoy, T. (2021). Multidisciplinary study of the impacts of the 1600 CE Huaynaputina eruption and a project for geosites and geotouristic attractions. *Geoheritage, 13*, artículo 64. https://doi.org/10.1007/s12371-021-00577-5

- Mariño, J., & Thouret, J.-C. (2003). Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 95*, 7-31. http://hdl.handle.net/20.500.12816/1261

- Mastin, L. G., Guffanti, M., Servranckx, R., Webley, P., Barsotti, S., Dean, K., Durant, A., Ewert, J. W., Neri, A., Rose, W. I., Schneider, D. J., Siebert, L., Stunder, B., Swanson, G., Tupper, A., Volentik, A., & Waythomas, C. F. (2009). A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 186*(1-2), 10-21. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.01.008

- Mendoza, W., & Cano, A. (2011). Diversidad del género Polylepis (Rosaceae, Sanguisorbeae) en los Andes peruanos. *Revista Peruana de Biología, 18*(2), 197-200.

- Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal*: Memoria descriptiva. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.

- Nakada, S. (2000). Hazards from pyroclastic flows and surges. En H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, & J. Stix (Eds.), *Encyclopedia of volcanoes* (pp. 945-955). Academic Press.

- Naranjo, J. A., Sigurdsson, H., Carey, S. N., & Fritz, W. J. (1986). Eruption of the Nevado del Ruiz volcano, Colombia, on 13 November 1985: Tephra fall and lahars. *Science, 233*, 961-963.

- Pavez, A., Remy, D., Bonvalot, S., Diament, M., Gabalda, G., Froger, J.-L., Julien, P., Legrand, D., & Moisset, D. (2006). Insight into ground deformations at Lascar volcano (Chile) from SAR interferometry, photogrammetry and GPS data: Implications on volcano dynamics and future space monitoring. *Remote Sensing of Environment, 100*(3), 307-320. https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.013

- Pierson, T. C., Janda, R. J., Thouret, J.-C., & Borrero, C. A. (1990). Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 41*(1-4), 17-66.

- Prival, J.-M., Thouret, J.-C., Japura, S., Gurioli, L., Bonadonna, C., Mariño, J., & Cueva, K. (2020). New insights into eruption source parameters of the 1600 CE Huaynaputina Plinian eruption, Peru. *Bulletin of Volcanology, 82*, artículo 7. https://doi.org/10.1007/s00445-019-1340-7

- Rivera, M., Cueva, K., Le Pennec, J.-L., Vela, J., Samaniego, P., Manrique, N., & Soncco, Y. (2020a). *Geología y evaluación de los peligros del volcán Sara Sara (Ayacucho)* (Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n.° 78). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

- Rivera, M., Samaniego, P., Vela, J., Le Pennec, J.-L., Guillou, H., Paquette, J.-L., & Liorzou, C. (2020b). The eruptive chronology of the Yucamane-Calientes compound volcano: A potentially active edifice of the Central Andes (southern Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 393*, 1-20.

- Rivera, M., Thouret, J.-C., Samaniego, P., & Le Pennec, J.-L. (2014). The 2006-2009 activity of Ubinas volcano (Peru): Petrology of the 2006 eruptive products and insights into genesis of andesite magmas, magma recharge and plumbing system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 270*, 122-141.

- Romero, J. E., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M., & Perugini, D. (2016). Eruption dynamics of the 22-23 April 2015 Calbuco volcano (southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 317*, 15-29. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.02.027

- Samaniego, P., Rivera, M., Manrique, N., Schiavi, F., Nauret, F., Liorzou, C., & Ancellin, M.-A. (2020). Linking magmatic processes and magma chemistry during the post-glacial to recent explosive eruptions of Ubinas volcano (southern Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 407*, artículo 107095. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107095

- Samaniego, P., Rivera, M., Mariño, J., Guillou, H., Liorzou, C., Zerathe, S., Delgado, R., Valderrama, P., & Scao, V. (2016). The eruptive chronology of the Ampato-Sabancaya volcanic complex (southern Peru). *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 323*, 110-128.

- Samaniego, P., Valderrama, P., Mariño, J., van Wyk de Vries, B., Roche, O., Manrique, N., Chédeville, C., Liorzou, C., Fidel, L., & Malnati, J. (2015). The historical (218 ± 14 aBP) explosive eruption of Tutupaca volcano (southern Peru). *Bulletin of Volcanology, 77*, artículo 51. https://doi.org/10.1007/s00445-015-0937-8

- Schilling, S. P. (1998). *LAHARZ: GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones* (Open-File Report 98-638). U.S. Geological Survey.

- Schwaiger, H. F., Denlinger, R. P., & Mastin, L. G. (2012). Ash3D: A finite-volume, conservative numerical model for ash transport and tephra deposition. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117*. https://doi.org/10.1029/2011JB008968

- Segura, A. (2016). *Erupción subpliniana de abril de 2015 del volcán Calbuco, Andes del Sur: Génesis, dinámica y parámetros físicos de la columna eruptiva y depósitos piroclásticos de caída asociados* [Tesis, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142799

- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberley, P. (2010). *Volcanoes of the world* (3.ª ed.). University of California Press.

- Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., & Stix, J. (Eds.). (2000). *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press.

- Sparks, R. S. J., Gardeweg, M. S., Calder, E. S., & Matthews, S. J. (1997). Erosion by pyroclastic flows on Lascar volcano, Chile. *Bulletin of Volcanology, 58*(7), 557-565.

- Suzuki, T. (1983). A theoretical model for dispersion of tephra. En D. Shimozuru & I. Yokoyama (Eds.), *Arc volcanism: Physics and tectonics* (pp. 93-113). Terra Scientific Publishing Company.

- Thouret, J.-C., Arapa, E., Charbonnier, S., Guerrero, A., Kelfoun, K., Córdoba, G., & Santoni, O. (2022). Modeling tephra fall and sediment-water flows to assess their impacts on a vulnerable building stock in the city of Arequipa, Peru. *Frontiers in Earth Science, 10*, artículo 865989. https://doi.org/10.3389/feart.2022.865989

- Thouret, J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Legeley-Padovani, A., Suni, J., & Frechen, M. (2001). Geology of El Misti volcano near the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin, 113*(12), 1593-1610. https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113%3C1593:GOEMVN%3E2.0.CO;2

- Thouret, J.-C., Guillande, R., Huamán, D., Gourgaud, A., Salas, G., & Chorowicz, J. (1994). L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud Pérou): Reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques. *Bulletin de la Société Géologique de France, 165*(1), 49-63.

- Thouret, J.-C., Rivera, M., Wörner, G., Gerbe, M.-C., Finizola, A., Fornari, M., & Gonzales, K. (2005). Ubinas: The evolution of the historically most active volcano in southern Peru. *Bulletin of Volcanology, 67*, 557-589.

- Tilling, R. I. (1989). Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems. *Reviews of Geophysics, 27*(2), 237-269.

- Ui, T., Takarada, S., & Yoshimoto, M. (2000). Debris avalanches. En H. Sigurdsson, B. Houghton, S. R. McNutt, H. Rymer, & J. Stix (Eds.), *Encyclopedia of volcanoes* (pp. 617-626). Academic Press.

- Vargas, K., Villegas, J., Rivera, M., & Tavera, H. (2022). *Deformación superficial y secuencia sísmica en el entorno de los volcanes Purupuruni y Casiri (región Tacna)* (Informe Técnico n.° 026-2022/IGP Ciencias de la Tierra Sólida). Instituto Geofísico del Perú.

- Vargas, V., Cruz, V., Antayhua, Y., Rivera, M., Chirif, H., & West, J. (2012). *Estudio geotérmico campo Borateras* (Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n.° 47). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

- Vargas-Franco, R. D., Thouret, J.-C., Delaite, G., van Westen, C. J., Sheridan, M. F., Siebe, C., Mariño, J., Souriot, T., & Stinton, A. (2010). Mapping and assessing volcanic and flood hazards and risks, with emphasis on lahars, in Arequipa, Peru. En G. Groppelli & L. Viereck-Goette (Eds.), *Stratigraphy and geology of volcanic areas* (Geological Society of America Special Paper 464, pp. 267-282). Geological Society of America. https://doi.org/10.1130/2010.2464(13)

- Vásconez, F., Vásconez, R., & Mothes, P. (2019). Flujos de lodo del volcán Carihuairazo provocados por el terremoto de Ambato, Ecuador, en 1698 y su reconstrucción numérica con perspectivas a futuro. *Revista Geofísica, 69*, 11-29. https://doi.org/10.35424/rgf.v0i69.823

- Viramonte, J., Becchio, R., Bolli, M. I., Petrinovic, I., Seggiaro, R., & Tejada, A. (1995). *Informe sobre la erupción del volcán Láscar de abril de 1993*. Instituto Geonorte, Universidad Nacional de Salta.

- Warwick, R., Williams-Jones, G., Kelman, M., & Witter, J. (2022). A scenario-based volcanic hazard assessment for the Mount Meager Volcanic Complex, British Columbia. *Journal of Applied Volcanology, 11*, artículo 5. https://doi.org/10.1186/s13617-022-00114-1

Información clave para ti

Puedes consultar el mapa de peligros del volcán Purupuruni, las **alertas**, **reportes** y **boletines** vulcanológicos generados por el IGP a través de nuestros diferentes canales de comunicación.

RECUERDA: la primera acción de prevención es mantenerse al tanto de la actividad volcánica con la información oficial que genera el IGP.

APP **#IGP**

Web **IGP**

REGEN



Volcán Purupuruni: vista desde el sector sureste.



IGP
Instituto Geofísico del Perú

@igp.peru
@igp_peru
@igp.peru
@igp_videos
@institutogeofisicodelperu
@igp.peru