



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES ACTIVOS DE LA REGIÓN TACNA

Informe Técnico N°022-2023/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Setiembre, 2023

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera
Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

Estado del conocimiento sobre la actividad de los volcanes activos de la región Tacna

Autores

Katherine Vargas
Marco Rivera
Jorge Mamani
Erick Soto
Jorge Concha
David Valdivia
José del Carpio

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES ACTIVOS DE LA REGIÓN TACNA

Lima – Perú
Septiembre, 2023

RESUMEN

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), a través de su servicio el Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo e investigación de los volcanes activos ubicados en el sur peruano. En la región Tacna, los volcanes activos Tutupaca, Yucamane, Casiri y Purupuruni, son monitoreados de manera permanente con equipos geofísicos como sismómetros, inclinómetros, GNSS, cámaras de vigilancia e imágenes satelitales, con el objeto de reportar diaria y mensualmente la actividad de estos colosos. Toda la información generada, se encuentra disponible en la página web del CENVUL, como reportes, boletines e informes técnicos.

Asimismo, se realizan campañas temporales para reforzar el monitoreo volcánico con instrumentos que evalúan la deformación, geoquímica de fluidos, temperatura y parámetros físico-químicos de las fuentes termales cercanas a los volcanes. En estas salidas de campo, además de recolectar datos, se realiza la difusión del conocimiento a las autoridades y población sobre las actividades de monitoreo que realiza el IGP, así como los peligros volcánicos al que están expuesto las personas que habitan en sus alrededores, empleando un lenguaje sencillo y claro.

En la región Tacna los volcanes están en nivel de actividad verde, registrando solo leve actividad sísmica que actualmente están dentro de los parámetros habituales. Solo entre los años 2020 y 2021 se detectó actividad sísmica en el entorno de los volcanes Purupuruni y Casiri, asociado a la reactivación de fallas geológicas que causaron deformación en superficie y la afectación de algunas viviendas. De esta manera, el IGP contribuye en la gestión del riesgo volcánico para que las autoridades y población cuenten con información precisa, actualizada y veraz sobre el estado de sus volcanes.

INDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

2. VOLCANES ACTIVOS DE LA REGIÓN TACNA

2.1. VOLCÁN TUTUPACA

2.1.1. Historia eruptiva

2.1.2. Sistema de monitoreo volcánico

2.1.3. Peligro volcánico

2.1.4. Acciones de difusión

2.2. VOLCÁN YUCAMANE

2.2.1. Historia eruptiva

2.2.2. Sistema de monitoreo volcánico

2.2.3. Peligro volcánico

2.2.4. Acciones de difusión

2.3. VOLCÁN CASIRI

2.3.1. Historia eruptiva

2.3.2. Sistema de monitoreo volcánico

2.3.3. Peligro volcánico

2.3.4. Acciones de difusión

2.4. VOLCÁN PURUPURUNI

2.4.1. Historia eruptiva

2.4.2. Sistema de monitoreo por campañas

2.4.3. Peligro volcánico

2.4.4. Acciones de difusión

2.5. SEMÁFORO DE ALERTA VOLCÁNICA

2.6. COMUNICACIÓN Y CAPACITACIONES

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) en la década de los años 1990 inició el monitoreo geofísico e investigación de los volcanes activos del sur de Perú. En el año 2018, mediante el proyecto de inversión "Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Alerta ante el Riesgo Volcánico y del Observatorio Vulcanológico en la Macro Región Sur del Perú", financiado por el Estado peruano, implementa la nueva sede del Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS), ubicado en la ciudad de Arequipa, distrito de Sachaca, el mismo que alberga al Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), servicio oficial responsable del monitoreo permanente de 12 volcanes activos y potencialmente activos.

En el marco de sus actividades y funciones, el IGP, a través del CENVUL, realiza el monitoreo de la actividad de los volcanes activos de la región Tacna entre ellos: Tutupaca, Yucamane, Casiri y Purupuruni, empleando equipos instalados de manera permanente y temporal, como sismómetros, estaciones GNSS, inclinómetros, videocámaras, espectrómetros de gases DOAS, entre otros (Figura 1). Este monitoreo multidisciplinario es complementado con el empleo de sistemas satelitales (SENTINEL 1 y 2, MIROVA, OMI, TROPOMI, etc.) que permiten hacer un seguimiento continuo de la actividad volcánica.

Los datos del monitoreo volcánico son procesados y analizados, cuyos resultados son plasmados en boletines y alertas vulcanológicas, que son difundidas en la página web del CENVUL (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/productos-boletines>), el aplicativo móvil "Volcanes Perú" y a los grupos de WhatsApp de los Centro de Operaciones de Emergencia de cada región, provincia e INDECI. Asimismo, el IGP realiza estudios e investigaciones sobre los volcanes activos que son publicados como informes técnicos, los cuales pueden ser descargados libremente del Repositorio Geofísico Nacional (REGEN, <https://repositorio.igp.gob.pe/>). Como parte de la gestión del conocimiento, el IGP realiza talleres de inducción y capacitación a las autoridades y población, a

fin de que conozcan la actividad de los volcanes de sus regiones, tipos de peligros volcánicos a los cuales están expuestos los poblados e interpreten correctamente los productos de monitoreo generados por el CENVUL. En caso de crisis volcánicas, el IGP asesora permanentemente a las autoridades nacionales, regionales y locales de GRD para la acertada y correcta toma de decisiones en la atención de la emergencia (Del Carpio et al., 2023).

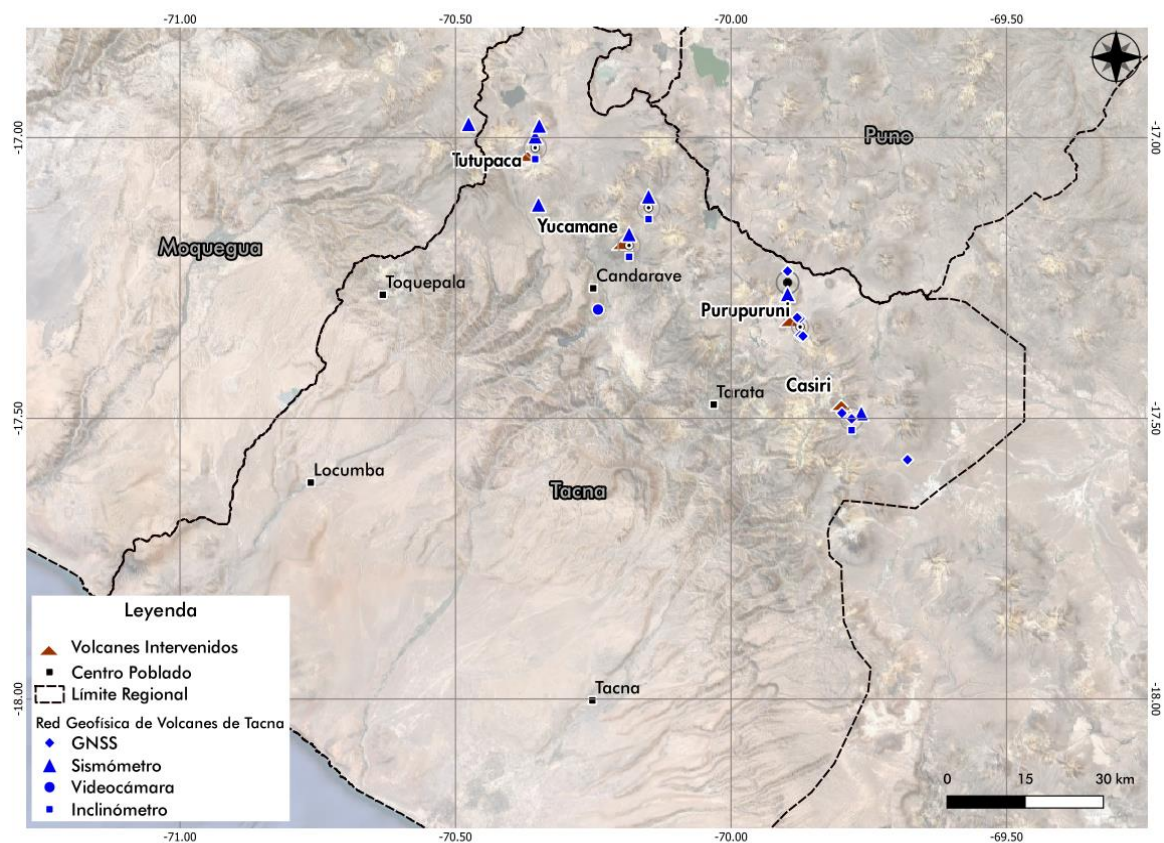


Figura 1. Redes de monitoreo volcánico del IGP desplegadas en los volcanes de la región Tacna.

El presente informe tiene como objetivo mostrar la información generada por el IGP sobre el estudio, investigación y monitoreo de volcanes activos de la región Tacna con enfoque en la gestión del riesgo de desastres, en atención al oficio n.º 328-2023-ORSCDNCOER/GOB.REG.TACNA. Esta información contribuirá en la “actualización de los planes de contingencia ante los peligros que puedan suscitarse” en la región Tacna.

2. VOLCANES ACTIVOS DE LA REGIÓN TACNA

En la zona altoandina de la región Tacna se distinguen cuatro volcanes activos: Tutupaca, Yucamane, Casiri y Purupuruni, que presentaron erupciones explosivas durante los últimos miles a cientos de años atrás. De estos volcanes solo el volcán Tutupaca presentó una erupción explosiva importante entre los años 1787 y 1802. En inmediaciones de dichos volcanes se ubican importantes poblados como la ciudad de Candarave, ubicada a 10 km al suroeste del volcán Yucamane y 28 km al sureste del volcán Tutupaca. Además de ubican importes recursos hidroenergéticos, como las lagunas Aricota, Vilacota, entre otros.

A continuación, se presenta información por cada volcán según los puntos de interés solicitados por la Oficina Regional de Seguridad Ciudadana, Defensa Nacional y COER (ORSCDNCOER) del Gobierno Regional de Tacna.

2.1. VOLCÁN TUTUPACA

El volcán Tutupaca (17° 01'S, 70° 12'W; 5790 m s.n.m.) es un estrato-volcán ubicado en la zona altoandina de la región Tacna, a 28 km al noroeste de la ciudad de Candarave. Actualmente, se observa frecuentes emisiones de fumarolas de coloración blanquecina (Macedo et al., 2016: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>) y es considerado un volcán de moderada peligrosidad (Del Carpio et al., 2022: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.1.1. Historia eruptiva

El Tutupaca es un volcán relativamente joven, constituido por domos de lava dacíticos y andesíticos del Pleistoceno superior y Holoceno, es decir, se ha construido hace menos de 100,000 años. Presentó su última erupción explosiva con Índice de Explosividad Volcánica (IEV) 3, entre los años 1787 y 1802

(Samaniego et al., 2015), caracterizada por el crecimiento y explosión de un domo de lava y el consecuente colapso del edificio volcánico que generó depósitos de avalanchas de escombros distribuidos al pie de su flanco este y norte del volcán (Samaniego et al., 2015; Manrique et al., 2020).

2.1.2. Sistema de monitoreo volcánico

La red de vigilancia permanente del volcán Tutupaca está compuesta de un total de 3 estaciones vulcanológicas que integran 4 instrumentos: 3 sismómetros de banda ancha y 1 inclinómetro, los cuales están instalados sobre las laderas del volcán, así como, en su entorno. La instrumentación operativa consigna los equipos de monitoreo de carácter permanente y con capacidad de transmisión de datos en tiempo real (Figura 2). Sobre la figura se describe el empleo de la diversidad de instrumentos. (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.1.2.1 Monitoreo Sísmico

El monitoreo sísmico consiste en detectar, a través de sismómetros, vibraciones del suelo producidas por el fracturamiento de rocas o por el movimiento del magma o gases en el interior del volcán. Estos procesos físicos producen eventos sísmicos diferentes que pueden o no ser perceptibles para la población.

Durante el periodo 2023, en el volcán Tutupaca se detecta niveles bajos de actividad sísmica. Desde enero hasta la fecha de emisión de este informe en total se han identificado 36 sismos de tipo volcano-tectónicos (VT) que estarían asociados a procesos de ruptura de rocas que ocurren en el interior del volcán. La mayor actividad se registró en el mes de agosto, con 12 sismos de tipo VT (Figura 3). Este tipo de actividad es “habitual” en el volcán Tutupaca, en periodos de calma o reposo.

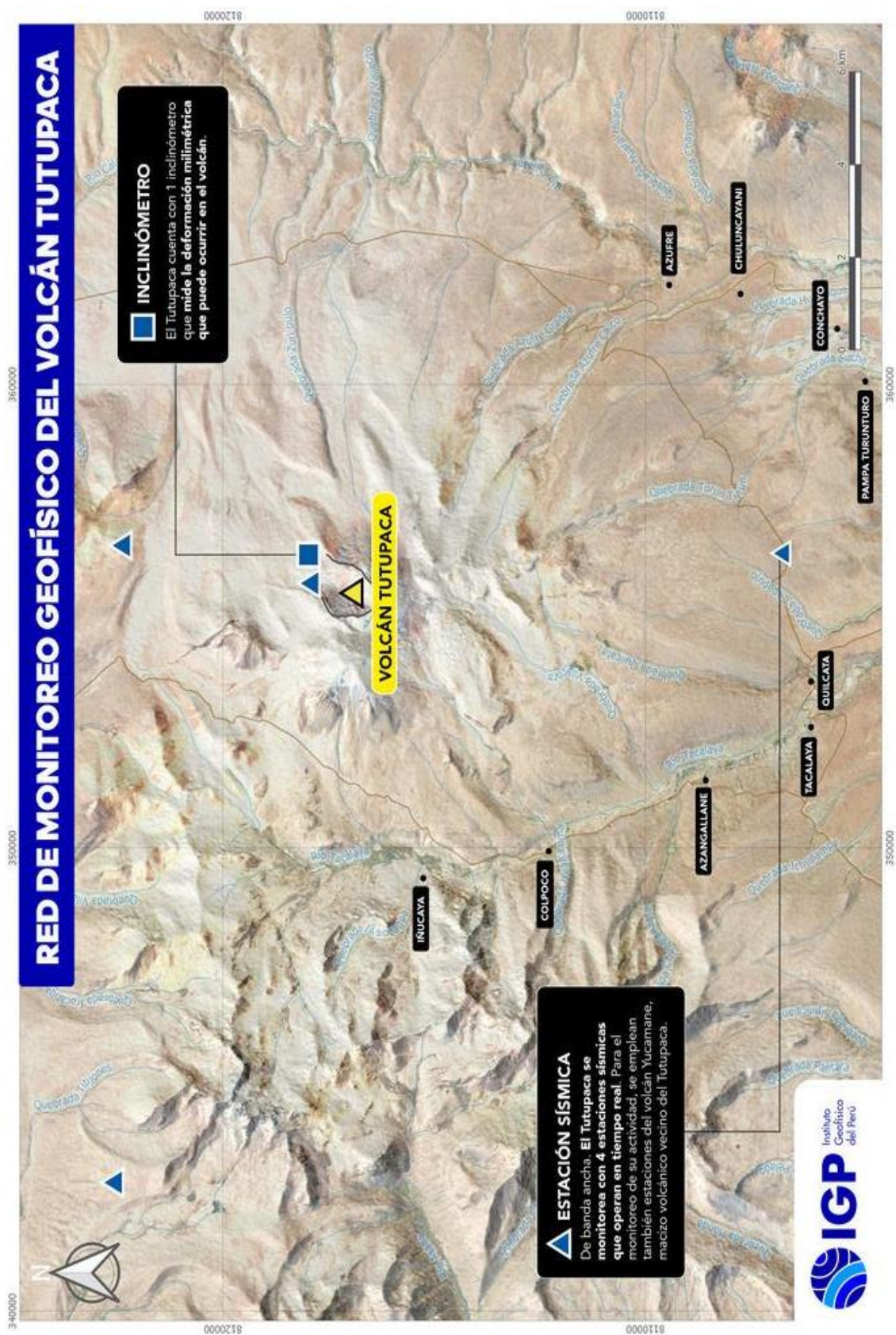


Figura 2. Red de monitoreo geofísico del volcán Tutupaca
(<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/volcanes-monitoreados>).

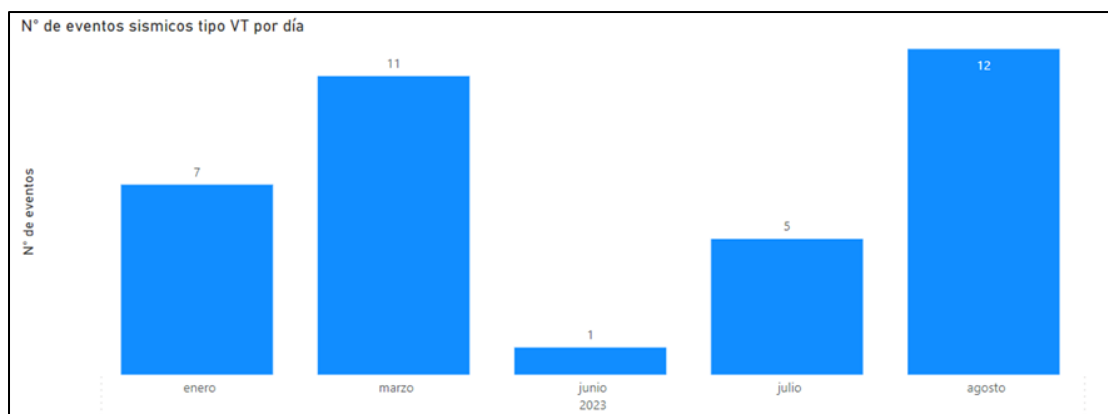


Figura 3. Sismicidad durante el año 2023 en el volcán Tutupaca.

2.1.2.2 Monitoreo de la deformación superficial

Para el monitoreo de la deformación del volcán Tutupaca, el IGP analiza la información en tiempo real de un inclinómetro, el cual desde su instalación a fines del año 2019 hasta la fecha no ha mostrado deformación alguna del macizo volcánico. En cuanto al monitoreo temporal de la deformación, se aplican las técnicas de Interferometría Diferencial de Apertura Sintética - DInSAR (análisis mensual mediante procesamiento de imágenes satelitales), así como Medida Electrónica de distancias (EDM, empleando una estación total) y GNSS (análisis anual, con 7 puntos de control temporales en los alrededores del volcán Tutupaca, Figura 4). Los resultados preliminares de las mediciones GNSS, muestran desplazamientos mínimos que se encuentran dentro de los niveles normales detectados en dicho volcán (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4782>).

2.1.2.3 Monitoreo Geoquímico

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) realiza el monitoreo geoquímico de fluidos volcánicos del volcán Tutupaca, mediante la recolección y toma de datos físico-químicos temporales en campo, utilizando diversas técnicas y equipos especializados que permite obtener una visión completa de la actividad volcánica.



Figura 4. Instalación de GNSS temporal en el volcán Tutupaca.

Una de las técnicas de geoquímica empleadas es la medición de flujo del gas volcánico SO_2 , que se realiza utilizando un equipo espectrómetro, conocido como DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy). El DOAS permite cuantificar el flujo del gas volcánico SO_2 , gas presente en el magma antes y durante una erupción volcánica, lo que proporciona información valiosa sobre el nivel de actividad volcánica y las posibles amenazas asociadas. Además de la medición del gas SO_2 , se llevan a cabo mediciones de la temperatura y parámetros físico-químicos de las fuentes termales que existen en las proximidades del volcán Tutupaca. Los parámetros medidos son la temperatura, la conductividad, el pH y la concentración de sólidos disueltos en estas fuentes. Estos datos ayudan a comprender mejor el estado de la actividad dinámica del volcán Tutupaca.

Para el monitoreo temporal de las fuentes termales en las cercanías del volcán Tutupaca, se utilizaron como puntos de referencia las fuentes termales TUTU1 y TUTU2, ambas ubicadas en las proximidades del volcán Tutupaca (Figura 5).

Fuente Termal TUTU1:

- Coordenadas: -17.089° de latitud y -70.303° de longitud
- Altitud: 4315 m s.n.m.

Fuente Termal TUTU2:

- Coordenadas: -17.081° de latitud y -70.301° de longitud
- Altitud: 4334 m s.n.m.

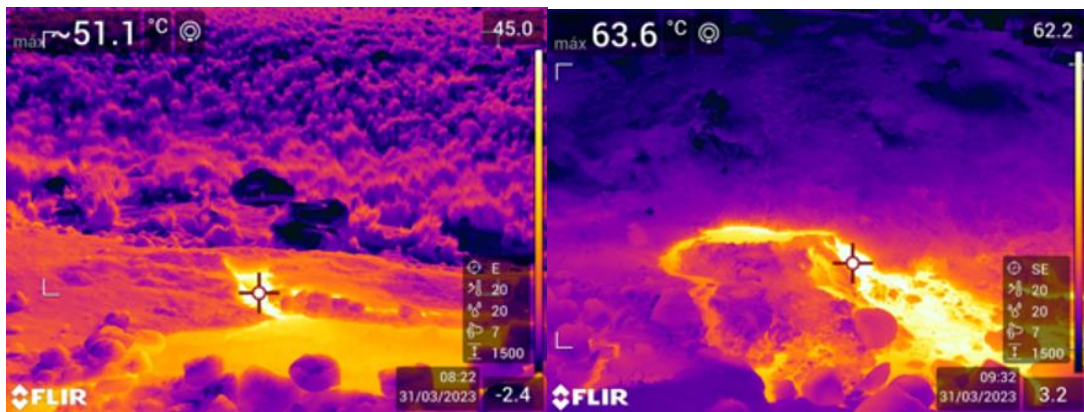


Figura 5. imágenes térmicas de la fuente termal TUTU1 (izquierda) y fuente termal TUTU2 (derecha).

Asimismo, se utiliza una cámara FLIR (Forward-Looking Infrared) para adquirir imágenes térmicas del volcán (Figura 5). Esta cámara permite visualizar las variaciones de temperatura en la superficie del volcán y detectar posibles anomalías térmicas que podrían indicar actividad volcánica inusual.

2.1.3. Peligro volcánico

En caso de una reactivación del volcán Tutupaca, este puede generar erupciones explosivas con emisiones de tefras (ceniza, lapilli, bloques), así como eventuales flujos piroclásticos, avalancha de escombros (Samaniego et al., 2015), lahares (Rivera et al., 2018) y flujos de lavas. Estos fenómenos podrían afectar a poblados ubicados en un radio de 30 km alrededor del volcán, como la capital de

provincia, Candarave, así como a los centros poblados de Cairani, Camilaca, Suches, Huaitire, Curibaya, Huanuara y Quilahuani. Por otro lado, los productos emitidos durante la erupción también pueden afectar los canales de irrigación y bocatomas, destinados para el riego de numerosos terrenos agrícolas. Existen también obras civiles e infraestructuras mayores como tuberías de agua y estaciones de bombeo de agua que usan las minas de Toquepala y Cuacone, y obras viales importantes como la carretera binacional Ilo-Desaguadero, carretera Tacna-Candarave-Puno, etc. Por último, hay que considerar también que una eventual erupción de este volcán puede emitir cenizas que puede contaminar las lagunas de Aricota y Suches que son reservas de agua de suma importancia para la región. (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>).

Del Carpio et al. (2022), estiman que aproximadamente 63 personas estarían expuestas ante la ocurrencia de descenso de lahares. En un radio de 30 km del volcán Tutupaca se encuentran redes viales, la represa Cularjahuire Pasto Grande, los proyectos mineros Suyawi y Quellaveco, 4 centros de salud y 32 instituciones educativas (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

Para delimitar las zonas de peligro por descenso de lahares (flujos de lodo volcánico), en caso ocurran lluvias intensas o una erupción volcánica del Tutupaca, se ha realizado el modelamiento numérico utilizando el programa LaharZ (Figura 6), para lo cual se ha tomado los siguientes volúmenes con base en datos de campo: volúmenes de agua de hasta 1 500 000 m³ (alto peligro), de hasta 7 000 000 m³ (moderado peligro) y de hasta 12 000 000 m³ (bajo peligro). El resultado es un mapa de escenario de peligros que muestra zonas de bajo, moderado y alto peligro,

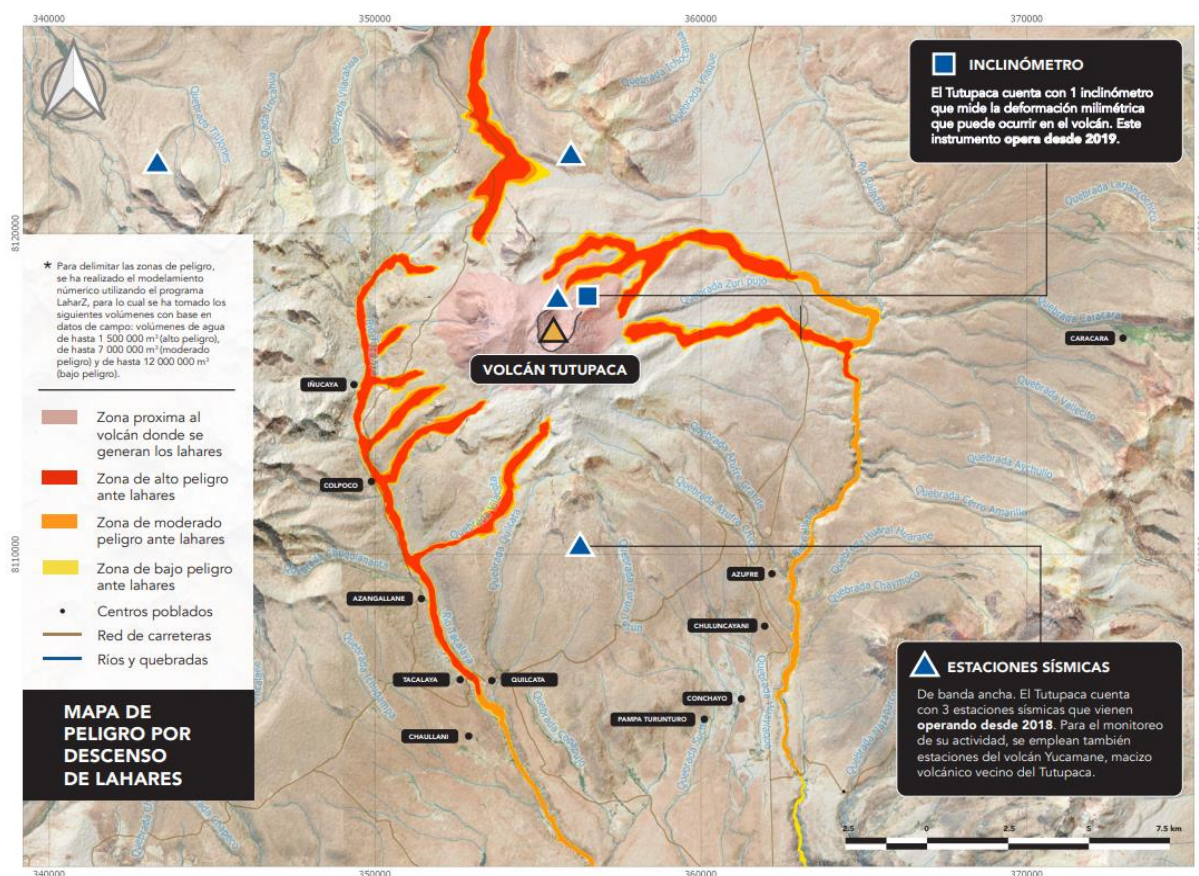


Figura 6. Mapa de escenario de peligro por descenso de lahares en el volcán Tutupaca (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5162>).

2.1.4. Acciones de difusión

2.1.4.1. Acceso libre a la información

Diariamente, el CENVUL reporta el estado de actividad de todos los volcanes monitoreados de la región Tacna, entre ellos del volcán Tutupaca, información que es compartida por correo electrónico con el COEN y secretarios técnicos de Defensa Civil. Además se encuentra disponible en la página web del CENVUL (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/productos-reportes>).

Asimismo, el CENVUL emite boletines vulcanológicos de manera mensual en la cual se detalla el comportamiento dinámico de la actividad del volcán Tutupaca (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologiconacional/productos-boletines>).

2.1.4.2. Socializando la información

Con el objetivo de difundir el conocimiento sobre las erupciones volcánicas y los peligros asociados al volcán Tutupaca en la población de la región Tacna, especialmente de aquella que está expuesta al peligro volcánico, se viene elaborando materiales de difusión como folletos y cuadrípticos descritos con un lenguaje simple y sencillo. En ese sentido, se ha elaborado un cuadríptico sobre los peligros volcánicos que puede ser accedido en el REGEN a través del siguiente enlace:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5162>

El IGP realiza la entrega de material de difusión en cada campaña de monitoreo, visitando caseríos, centros poblados y localidades en el entorno del volcán Tutupaca (Figura 7).



Figura 7. Entrega de material de difusión a poblador de Tacalaya (al fondo volcán Tutupaca).

2.2. VOLCÁN YUCAMANE

El volcán Yucamane (17°11'S; 70° 12'W, 5550 m s.n.m.) se encuentra ubicado en el sector NE del departamento de Tacna, a solo 11 km al noreste de

la ciudad de Candarave. En realidad este volcán es parte de un complejo volcánico conformado por tres conos volcánicos, conocidos como volcán Yucamane, Calientes y Yucamane chico (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>) y es considerado un volcán de moderada peligrosidad (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.2.1. Historia eruptiva

El volcán Yucamane, durante el Holoceno, presentó erupciones explosivas de tipo vulcaniana a subpliniana que emitieron varios depósitos de caída de ceniza y pómez. La última erupción que presentó el Yucamane ocurrió hace 3000 años A.P. (antes del presente), durante el cual emitió depósitos de caída de tefras (lapilli de pómez) y flujos piroclásticos. En aquel entonces las tefras fueron dispersadas a más de 20 km en dirección Este y sureste, mientras que los flujos piroclásticos se emplazaron al pie del flanco Este del volcán (Rivera et al., 2020).

2.2.2. Sistema de monitoreo volcánico

La red de vigilancia permanente del volcán Yucamane está compuesta por un total de 4 estaciones vulcanológicas que integran 6 instrumentos: 3 sismómetros de banda ancha, 2 inclinómetros y 1 cámara de vigilancia, los cuales están instalados sobre el volcán, así como, en su entorno. La instrumentación operativa consigna a los equipos de monitoreo de carácter permanente y con capacidad de transmisión de datos en tiempo real (Figura 8). Sobre la figura se describe el empleo de la diversidad de instrumentos. (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

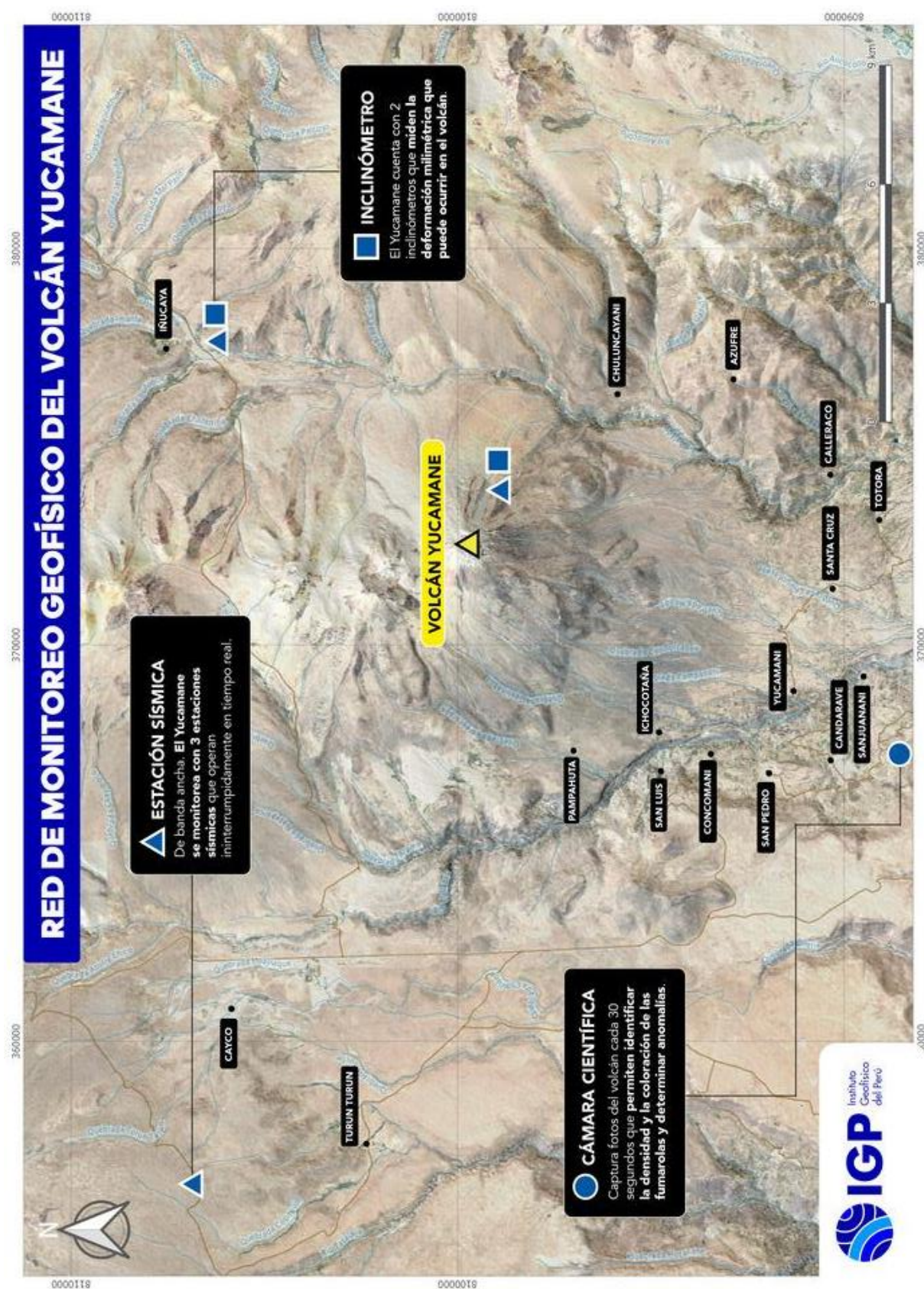


Figura 8. Red de monitoreo geofísico del volcán Yucamane
(<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/volcanes-monitoreados>).

2.2.2.1 Monitoreo Sísmico

Durante los meses de enero a agosto de 2023, la actividad sísmica del volcán Yucamane ha mostrado un ligero incremento en el número de sismos de tipo volcano-tectónicos (VT), que estarían asociados a procesos de ruptura de rocas que ocurren en el interior del volcán. En total se detectaron 599 sismos de tipo VT, siendo el mes de agosto en la cual se registró la mayor actividad con 260 sismos de tipo VT (Figura 9), posiblemente asociado a la activación de fallas geológicas cercanas.

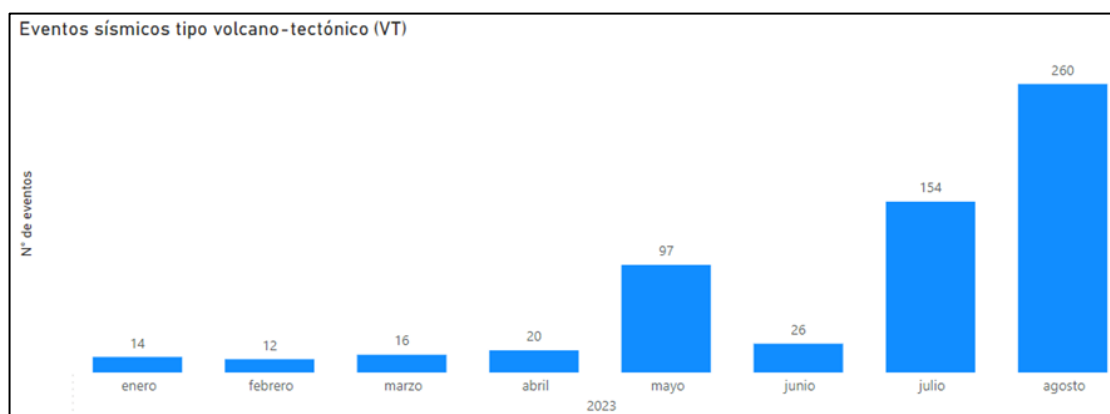


Figura 9. Sísmicidad durante el año 2023 en el volcán Yucamane.

2.2.2.2 Monitoreo de la deformación superficial

Para el monitoreo de la deformación del volcán Yucamane, el IGP analiza la información en tiempo real de dos inclinómetros, que desde su instalación a fines del año 2019 hasta la fecha no han mostrado anomalía de deformación. Además, el monitoreo temporal de la deformación, se realiza mediante la aplicación de la técnica DInSAR (análisis mensual), equipos como una estación total y GNSS (análisis anual, con 5 puntos de control temporales en los alrededores del volcán Yucamane, Figura 10). Los resultados del monitoreo temporal con ambas técnicas, muestran desplazamientos mínimos asociados a la actividad de fallas geológicas locales (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4782>).



Figura 10.- Instalación de GNSS temporal en el volcán Yucamane.

2.2.2.3 Monitoreo Geoquímico

El monitoreo geoquímico del volcán Yucamane que realiza el IGP combina la medición de gases volcánicos con medición de los parámetros físico-químicos de fuentes termales y la captura de imágenes térmicas, con una cámara FLIR para obtener una comprensión integral de la actividad volcánica y garantizar la seguridad de la población asentada en áreas aledañas (Figura 11).



Figura 11.- Instalación de cámara FLIR en el volcán Yucamane.

2.2.3. Peligro volcánico

Este volcán en caso de una reactivación puede presentar erupciones explosivas o efusivas como ha presentado en el pasado. Entre los principales peligros volcánicos que puede presentar están los flujos piroclásticos, caídas de tefras, flujos de lavas, avalanchas de escombros y lahares que pueden afectar los poblados de Candarave, Cairani, Camilaca, Huanuara, Susapaya y Ticaco, cuya población se dedica principalmente a la agricultura y ganadería. También en inmediaciones del Yucamane se ubican canales y pequeñas bocatomas, así como obras viales, como un tramo de la carretera Binacional Ilo – Desaguadero, carretera Tacna-Candarave-Puno. Asimismo, se encuentran por la zona reservas de agua como son las lagunas de Aricota y Vilacota (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>).

Del Carpio et al. (2022), estiman que aproximadamente 53 personas estarían expuestas ante el descenso de lahares, 9469 personas expuestas a la caída de tefras, 1089 personas a la ocurrencia de flujos piroclásticos y 510 personas expuestas al peligro de avalanchas de escombros del volcán Yucamane. En un radio de 30 km se encuentran redes viales, las represas Huayñuma y Cularjahuiria, el proyecto mineros Suyawi, 13 centros de salud y 98 instituciones educativas (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

Para delimitar las zonas de peligro por descenso de lahares (flujo de lodo volcánico) en el volcán Yucamane, se ha realizado el modelamiento numérico utilizando el programa LaharZ (Figura 12), para lo cual se ha tomado los siguientes volúmenes de agua con base en datos de campo: volúmenes de agua de hasta 200 000 m³ (alto peligro), de hasta 1 000 000 m³ (moderado peligro) y de hasta 2 500 000 m³ (bajo peligro) (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5165>). La Figura 12 muestra las áreas de bajo, moderado y alto peligro por descenso de lahares.

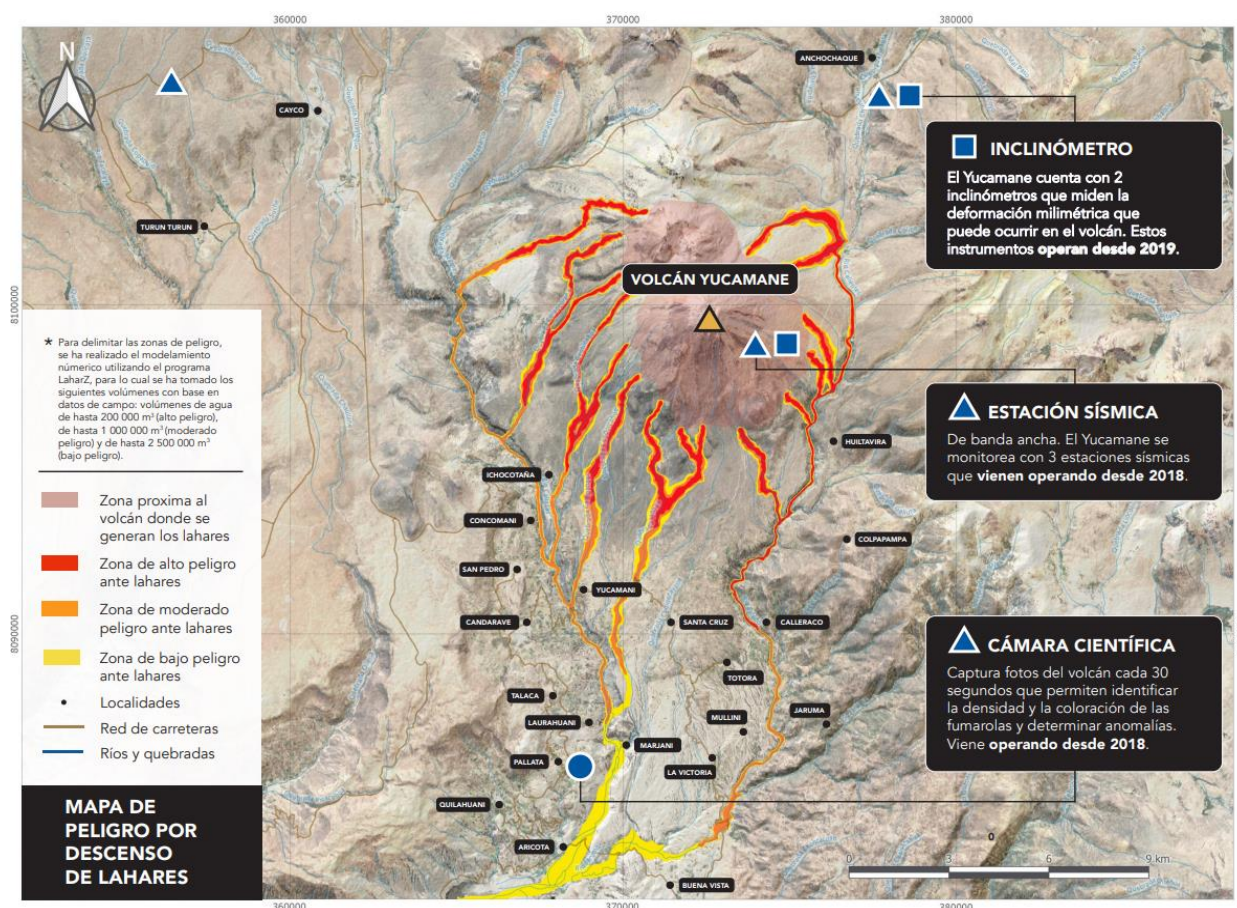


Figura 12. Mapa de peligro por descenso de lahares en el volcán Yucamane
(<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5165>).

2.2.4. Acciones de difusión

2.2.4.1. Acceso libre a la información

Al igual que para el volcán Tutupaca, el IGP diariamente reporta acerca del comportamiento dinámico del volcán Yucamane, información que es compartida a través del correo electrónico al COEN, secretarios técnicos y se encuentra disponible en la página web del CENVUL (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/productos-reportes>).

Asimismo, de manera mensual son emitidos boletines vulcanológicos del Yucamane que detallan sobre el comportamiento dinámico de dicho

volcán (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologiconacional/productos-boletines>) .

2.2.4.2. Socializando la información

En los últimos años el IGP ha elaborado un cuadríptico sobre el volcán Yucamane, que puede ser accedido en el REGEN a través del siguiente enlace:

<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5165>

El IGP realiza la entrega del material de difusión en cada campaña de monitoreo, visitando caseríos, centros poblados y localidades que se ubican en el entorno del volcán Yucamane. En junio de 2022, se realizó la entrega de cuadrípticos en la municipalidad de Candarave (Figura 13, izquierda) y en marzo de 2023 a pobladores de la localidad de Yucamani (Figura 13, derecha).



Figura 13.- Entrega de material de difusión en municipalidad de Candarave (izquierda) y a pobladores de Yucamani (derecha).

2.3. VOLCÁN CASIRI

El volcán Casiri ($17^{\circ}28'S$; $69^{\circ}48'W$, 5650 m s.n.m.) se encuentra ubicado a 75 km al noreste de la ciudad de Tacna y a 25 km del volcán Tacora (situado en territorio chileno), justo en la frontera con Perú y es considerado un volcán de baja peligrosidad.

(<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>)

(<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.3.1. Historia eruptiva

El Casiri es un complejo volcánico andesítico emplazado en el Pleistoceno superior-Holoceno (Bromley et al., 2019), está compuesto por domos y flujos de lava que sobreyacen a volcanes antiguos hidrotermalizados y erosionados del Pleistoceno inferior. El edificio volcánico más joven, en su cima presenta un domo de lava de 100 m de altura y 200 m de diámetro. Hacia el sur de este edificio se distinguen depósitos de flujos piroclásticos probablemente ligados al colapso de domos de lava. En la parte inferior oeste y sur de este cono volcánico se distinguen flujos de lava datados entre 6.0 ± 0.9 y 2.6 ± 0.4 ka (Bromley et al., 2019) que muestra que es un complejo volcánico activo.

2.3.2. Sistema de monitoreo volcánico

La red de vigilancia permanente del volcán Casiri está compuesta de 1 estación vulcanológica que integra 1 sismómetro y 1 inclinómetro.

2.3.2.1 Monitoreo Sísmico

Durante los días 25 y 26 de julio de 2020, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) reportó la ocurrencia de 7 sismos con magnitudes entre M3.6 y M4.1, y epicentros ubicados entre 15 y 17 km al NE del distrito de Tarata (Tacna), entre los volcanes Casiri y Purupuruni (Velarde et al., 2020: <https://repositorio.igp.gob.pe/20.500.12816/4832>). Durante el año 2021, la actividad sísmica presentó magnitudes entre M3.6 y M5.0, con migración de la sismicidad de sur a norte, sugiriendo la reactivación temporal de la falla Pacollo y lineamientos menores, circundantes a los volcanes Purupuruni y Casiri (Antayhua et al., 2021: <https://repositorio.igp.gob.pe/20.500.12816/4944>).

Recientemente, entre los meses mayo y junio de 2023 la actividad sísmica del volcán Casiri ha mostrado un incremento de sismos de tipo volcano-tectónicos (VT) (Figura 14). Estos eventos sísmicos estarían asociados a procesos de ruptura de rocas que ocurren en el interior del volcán. En total se han registrado 1358 sismos de tipo VT. El pico con mayor actividad sísmica se registró en el mes de junio con un total de 690 sismos VT. La actividad sísmica detectada durante el año 2023, es menor comparada con la actividad a la registrada durante las crisis de los años 2020 y 2021, ya que durante esos años se registró un mayor número de sismos de mayor energía y magnitud.

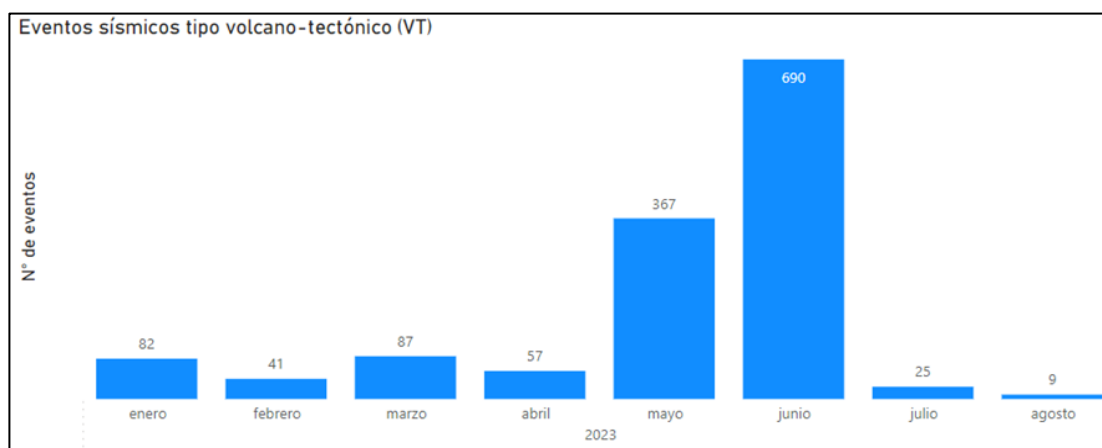


Figura 14. Sísmicidad durante el año 2023 en el volcán Casiri.

2.1.2.2 Monitoreo de la deformación superficial

El monitoreo de la deformación del volcán Casiri se realiza mediante un inclinómetro que funciona en tiempo real, así como a través del empleo de imágenes de radar mediante la técnica DInSAR (análisis mensual), EDM y GNSS (análisis semestral, con 7 puntos de control temporales en los alrededores del volcán Casiri, Figura 15).



Figura 15. Instalación de GNSS temporal en el volcán Casiri.

El análisis de los datos de deformación y la actividad sísmica registrada en 2019 a 2021, ha permitido identificar la presencia de 4 zonas de deformación asociadas a fallas activas, principalmente a la reactivación de la falla Pacollo (Vargas et al., 2022: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5269>). Debido a la deformación registrada en los años 2020 y 2021, desde noviembre de 2022 se cuenta con 2 estaciones GNSS permanentes, cuyos datos son recolectados de manera trimestral. Estos equipos GNSS fueron donados por el Volcano Disaster Assistance Program (VDAP) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

2.3.2.3 Monitoreo Geoquímico

El monitoreo geoquímico del volcán Casiri realizado por el IGP combina la medición del flujo de gases volcánicos, estudios físico-químicos de fuentes termales y la captura de imágenes térmicas con ayuda de una cámara FLIR, para obtener una comprensión integral de la actividad volcánica del Casiri, que permita brindar información oportuna a las autoridades y población cercana.

Para el monitoreo de fuentes termales en cercanías al volcán Casiri se tomó como referencia los siguientes puntos (Figuras 16 y 17):

- Fuente CAS1 - Coordenadas UTM: 418355, 8076825
- Fuente CAS2 - Coordenadas UTM: 418373, 8076906
- Fuente CAS3 - Coordenadas UTM: 418386, 8076970
- Fuente CAS4 - Coordenadas UTM: 418672, 8077249
- Fuente CAS5 - Coordenadas UTM: 418735, 8077250
- Fuente CAS6 - Coordenadas UTM: 418758, 8077270
- Fuente CAS7 - Coordenadas UTM: 418773, 8077287
- Fuente CAS8 - Coordenadas UTM: 418789, 8077303
- Fuente CAS9 - Coordenadas UTM: 418837, 8077403
- Fuente CAS10 - Coordenadas UTM: 418847, 8077283
- Fuente CAS11 - Coordenadas UTM: 418720, 8077137
- Fuente CAS12 - Coordenadas UTM: 418733, 8077135



Figura 16. Monitoreo de fuentes termales en los alrededores del volcán Casiri.

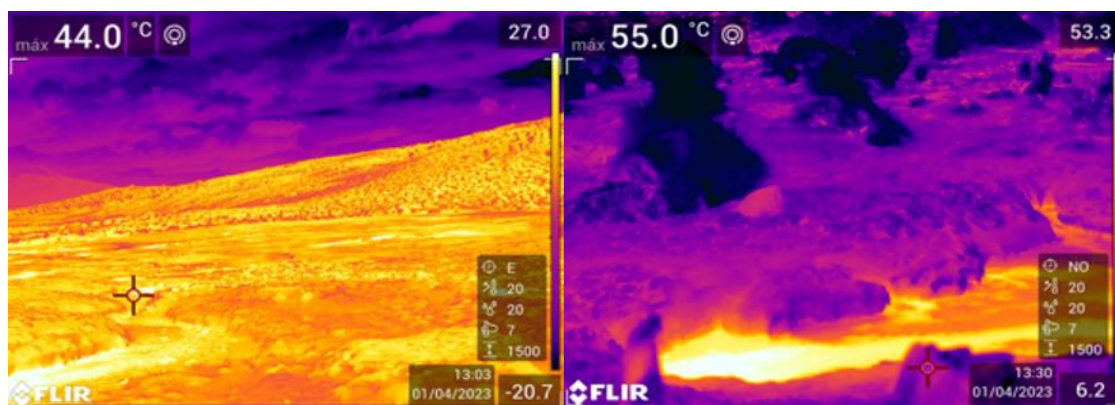


Figura 17. Imágenes térmicas en los alrededores de las fuentes termales del volcán Casiri.

2.3.3. Peligro volcánico

El volcán Casiri no cuenta con muchos estudios geofísicos o geológicos realizados. En caso de una eventual reactivación puede presentar erupciones explosivas y efusivas, que pueden dar lugar a cuatro tipos principales de peligros volcánicos: peligros por caídas de tefras, peligro por emplazamiento de flujos piroclásticos, peligro por lahares y por flujos de lava.

También, en el caso de una reactivación del volcán Casiri se puede presentar el crecimiento de domos de lava y/o la emisión de flujos de lava. En un radio de 30 km existe una población aproximada de 5 mil 860 habitantes expuestos a una eventual erupción del volcán Casiri. Además, el Casiri se encuentra dentro del Área de Conservación Regional Vilacota – Maure, en tal sentido, una erupción con emisión de ceniza u otro producto contaminaría esta importante área, además de sus fuentes de agua y recursos hidrobiológicos de la región Tacna. Asimismo, en sus inmediaciones de dicho volcán se ubican 14 centros de salud, 63 instituciones educativas, las represas Casiri, Paucarani y Condorpico, 1 tambo, 1 subestación eléctrica, el proyecto minero Atascapa, vías de comunicación, líneas de transmisión eléctrica y sitios arqueológicos que podrían verse afectados por una erupción de este volcán (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.3.4. Acciones de difusión

2.3.4.1. Acceso libre a la información

El IGP en base al monitoreo permanente que realiza el CENVUL diariamente reporta sobre el comportamiento dinámico del volcán Casiri, el mismo que es compartido a través del correo electrónico al COEN, secretarios técnicos y se encuentra disponible en la página web del CENVUL (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/productos-reportes>).

Asimismo, se emiten de manera mensual boletines vulcanológicos que detallan el comportamiento dinámico de la actividad del volcán Casiri (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologiconacional/productos-boletines>) .

2.2.4.2. Socializando la información

El IGP realiza la entrega de material de difusión como cuadrípticos, folletos o afiches en cada campaña de monitoreo, visitando caseríos, centros poblados y localidades en el entorno del volcán Casiri (Figura 18).



Figura 18. Entrega de material de difusión a poblador del sector de Paucarani (al fondo volcán Casiri).

2.4. VOLCÁN PURUPURUNI

El volcán Purupuruni (17.32°S; 69.9°W, 5315 m s.n.m) se ubica en la Región Tacna, a 48 km al noroeste de la frontera con Chile. Este coloso está conformado por un grupo de siete domos de lava que tienen entre 1 km y 4.5 km de diámetro (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/797>). Dado que el volcán presenta muy baja actividad dinámica y no existe población importante en sus inmediaciones es considerado como un volcán de baja peligrosidad (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.4.1. Historia eruptiva

El volcán Purupuruni, está formado por un conjunto de domos y domos colada, poco dispersos, que se elevan hasta 300 m de altura por encima de la altiplanicie. Su substrato está conformado por depósito de flujos piroclásticos consolidados. Los domos de lava de este volcán se encuentran cubiertos por acumulaciones de ceniza remobilizada por el viento. La edad del domo ubicado al sureste es de $5,3 \pm 1,1$ ka; denominando este complejo de domos como activo (Bromley et al., 2019).

2.4.2. Sistemas de monitoreo por campañas

En el volcán Purupuruni, aún no se cuenta con instrumentación cuyos datos lleguen en tiempo real a las oficinas del CENVUL, por el momento, se realiza el monitoreo por campañas.

2.3.2.1 Monitoreo Sísmico

Además de la crisis sísmica registrada en el entorno de los volcanes Purupuruni y Casiri en los años 2020 y 2021, por la activación de la falla Pacollo, se registraron señales sísmicas de tipo Largo Periodo (LP),

probablemente asociadas a la actividad hidrotermal del volcán Purupuruni (<https://repositorio.igp.gob.pe/20.500.12816/4832>).

2.1.2.2 Monitoreo de la deformación superficial

El monitoreo de la deformación superficial de la corteza en el entorno del volcán Purupuruni se realiza con 3 estaciones GNSS permanentes (instaladas desde noviembre de 2022), que fueron donados por el Volcano Disaster Assistance Program (VDAP) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) debido a la deformación registrada en los años 2020 y 2021 (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5269>). Los datos de las estaciones GNSS permanentes, son recolectados de manera semestral.

Asimismo, el monitoreo de la deformación es reforzado con las técnicas DInSAR, EDM y puntos GNSS temporales (análisis semestral, con 9 puntos de control temporales en los alrededores del volcán Purupuruni, Figura 19).



Figura 19. Instalación de la estación total temporal del IGP en el volcán Purupuruni.

2.3.2.3 Monitoreo Geoquímico

El monitoreo geoquímico del volcán Purupuruni combina la medición de gases volcánicos, estudios físico-químicos de fuentes termales y la captura de imágenes térmicas con la cámara FLIR para obtener una comprensión integral acerca de la actividad volcánica y garantizar la seguridad de la población cercana.

Para el monitoreo de fuentes termales en cercanías al volcán Purupuruni se tomó como referencia los siguientes puntos (Figura 20):

- Fuente PUR1 - Coordenadas UTM: 401905, 8095945
- Fuente PUR2 - Coordenadas UTM: 401911, 8095946
- Fuente PUR3 - Coordenadas UTM: 401963, 8095980
- Fuente PUR4 - Coordenadas UTM: 401983, 8095999
- Fuente PUR5 - Coordenadas UTM: 402107, 8096132
- Fuente PUR6 - Coordenadas UTM: 401897, 8096181
- Fuente PUR7 - Coordenadas UTM: 401916, 8096188
- Fuente PUR8 - Coordenadas UTM: 402109, 8096259
- Fuente PUR9 - Coordenadas UTM: 402185, 8096361
- Fuente PUR10 - Coordenadas UTM: 402168, 8096255

2.4.2. Peligro volcánico

El volcán Purupuruni no cuenta con muchos estudios. Pero con base al trabajo realizado por Bromley et al. (2019), en caso de una reactivación volcánica puede presentar erupciones explosivas que pueden generar cuatro tipos principales de peligros volcánicos: peligros por caídas de tefras, peligro por emplazamiento de flujos piroclásticos, peligros por lahares y peligros por flujos de lava.



Figura 20. Instalación de la cámara FLIR en una zona de fuentes termales al norte del volcán Purupuruni.

En un radio de 30 km vive una población aproximada de 5 940 personas expuestas a una eventual erupción del volcán Purupuruni, y al igual que el Casiri, se encuentra dentro del Área de Conservación Regional Vilacota – Maure. Asimismo, en las inmediaciones de dicho volcán se ubican 13 centros de salud, 61 instituciones educativas, la represa Jaruma, 1 tambo, vías de comunicación y líneas de transmisión eléctrica podrían verse afectados por una erupción de este volcán (<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>).

2.4.3. Acciones de difusión

2.2.4.1. Socializando la información

El IGP realiza la entrega de material de difusión sobre el volcán Purupuruni en las campañas de monitoreo que realiza, visitando caseríos, centros poblados y localidades en el entorno del volcán Purupuruni. En

noviembre de 2021, se realizó la entrega de cuadrípticos en la localidad de Mamaraya, ubicada al oeste del volcán Purupuruni (Figura 21).



Figura 21.- Entrega de material de difusión en centro poblado de Mamaraya.

2.5. SEMÁFORO DE ALERTA VOLCÁNICA

El semáforo volcánico es un sistema de información que muestra los diferentes niveles de actividad (pre-eruptiva y eruptiva) que presenta un volcán con base en los parámetros sísmicos, deformación, térmico, geoquímico y visual. El semáforo de alerta volcánica considera cuatro (04) colores relacionados con niveles de actividad volcánica (Tabla 1). Dicha información ha sido proporcionada a INDECI y la PCM para su incorporación en el documento del Sistema de Alerta Temprana en caso de erupciones volcánicas, actualmente en proceso de elaboración (Del Carpio et al., 2023).

Los umbrales son valores numéricos que se obtienen con base en registros instrumentales procedentes de las disciplinas de monitoreo volcánico: sísmicos, deformación, térmicos, geoquímicos y visuales obtenidos desde el año 2018 (Tabla 1). Se consideran los siguientes umbrales de actividad volcánica consignados en el semáforo de alerta volcánica para la emisión de avisos.

Nivel de Actividad	Manifestaciones físicas y químicas de acuerdo al método y técnica de monitoreo				
	Nivel de sismicidad volcánica	Nivel de deformación	Actividad visual	Anomalías geoquímicas y/o térmicas	Acciones
Periodo de actividad	VERDE	- La sismicidad se encuentra en su nivel base y/o presenta leve variación en el número y energía de los sismos. - Algunos volcanes presentan usualmente decenas de sismos Volcano Tectónicos (VT) diarios, menos frecuente es la ocurrencia de sismos Largo Periodo (LP) y algunos presentan señales sísmicas de tipo Híbrido. - El número de sismos diarios, de altas frecuencias (VT) y/o bajas frecuencias (LPs y Tornillos), se incrementa en un 25% en un periodo que puede variar entre horas, días o semanas. - En algunas ocasiones se presentan enjambres sísmicos.	No hay cambios en la deformación superficial del volcán, tanto en la componente vertical y/o horizontal (nivel base).	Los valores de temperatura superficial del cráter, así como, la temperatura y composición de las fuentes térmicas próximas a los volcanes están dentro de los parámetros normales.	- Mantener el monitoreo constante. - Emisión boletín vulcanológico de manera mensual informando sobre el nivel de actividad volcánica.
	AMARILLO	- Detección de sismos tremor, asociados al ascenso de magma y a la perturbación del sistema hidrotermal. - Incremento de la sismicidad con respecto al nivel anterior. - Generalmente, las señales sísmicas de tipo Híbrido y LPs, ambas asociadas a la circulación de fluidos volcánicos, se incrementan en más del 25%. - Se registran explosiones por día.	- Incremento de velocidad de deformación de las componentes vertical y/o horizontal respecto al nivel anterior. - Registro de anomalías de deformación que evidencian el ascenso de magma. - Detección de emplazamiento de domos mediante imágenes radar.	- Incremento del 5% al 20% de la temperatura de fumarolas en el cráter y/o fuentes térmicas próximas al volcán. - Los niveles de densidad de SO₂ sobrepasan continuamente los 10 DU.	- Emisión boletín vulcanológico de manera semanal. - Mantener el monitoreo constante.
	NARANJA	- Detección de sismos tremor, asociados al ascenso de magma y a la perturbación del sistema hidrotermal. - Incremento de la sismicidad con respecto al nivel anterior. - Generalmente, las señales sísmicas de tipo Híbrido y LPs, ambas asociadas a la circulación de fluidos volcánicos, se incrementan en más del 25%. - Se registran explosiones por día.	- Emisiones fumarólicas constantes con alturas superiores a los 500 m sobre el cráter. - Se observa pequeños pulsos de ceniza y/o aparición de nuevos puntos de emisión observados en el cráter y/o en las laderas del volcán. - Se detectan anomalías térmicas. - Se registra constantemente emisión de térras (ceniza, lapilli, escoria, etc.) con alturas inferiores a 6 km sobre la cima del volcán que tendrían alcance local y regional. - Detección de anomalías térmicas menores a 100 megavatios (MW). - Se observa el emplazamiento de domos de lava.	- Emanaciones constantes de vapor de agua y gases (SO₂, CO₂, etc.). - Incremento sostenido de la temperatura de la superficie del cráter y/o fuentes térmicas, con respecto al nivel anterior. - Aparición de nuevas fuentes térmicas, campos fumarólicos y/o geiser próximo al volcán. - Los niveles de densidad de SO₂ sobrepasan continuamente los 15 DU.	- Emisión un boletín de manera semanal informando sobre el incremento de la actividad. - Mantener el monitoreo constante, y el seguimiento de la actividad volcánica debe ser riguroso.
	ROJA	- Se incrementa en más del 50% el número y la energía de las señales sísmicas (Explosiones, LP, VT, Tremor, etc.), considerados como de nivel crítico. - Se registran señales asociadas a nuevos aportes de magma y/o incremento de señales de tipo Híbrido. - Explosiones más frecuentes y energéticas	- Incremento crítico de velocidad de las componentes vertical y/o horizontal. - Registro de importantes anomalías de deformación que evidencian el ascenso de magma. - Detección de emplazamiento de domos de lava con riesgo de colapso y generación de flujos piroclásticos y/o avalanchas.	- Incremento de la tasa de emisión de gases volcánicos, principalmente, SO₂ y CO₂, con respecto al nivel anterior. - Cambio de composición de las fuentes térmicas y/o incremento del pH del agua. - Aparición de nuevas fuentes fumarólicas en amplias áreas. - Los niveles de densidad de SO₂ sobrepasan los 20 DU.	- Reunión permanente del grupo de especialistas. - Emisión reporte vulcanológico diario informando sobre la actividad. - Evaluar permanentemente el estado de las variables de monitoreo. - Emisión de pronósticos sobre la actividad con una ventana máxima de 7 a 15 días.

Tabla 1. Umbrales de los parámetros geofísicos, geoquímicos, visuales y satelitales para la emisión de avisos.

2.6. COMUNICACIÓN Y CAPACITACIÓN

Con el objetivo de proporcionar información de manera oportuna y adecuada, el IGP, a través del CENVUL, ha establecido canales de comunicación para compartir con las autoridades y funcionarios de la ORSCDN-COER Tacna los productos de monitoreo de los volcanes tacneños Tutupaca, Yucamane y Casiri, así como del volcán Ubinas, macizo moqueguano que, en su actual erupción, expulsa cenizas volcánicas que representan un peligro para ciertos distritos y provincias de la región Tacna.

En esa línea, se remite diariamente mediante correo electrónico enviado desde la cuenta cenvul@igp.gob.pe un reporte vulcanológico diario con información actualizada de la actividad de los volcanes tacneños durante el día. En el transcurso de 2023, se han emitido y enviado 254 reportes (al 11 de septiembre de 2023). Además, de manera mensual, el IGP ha cumplido con emitir boletines vulcanológicos de los tres volcanes tacneños mencionados, los que explican el comportamiento dinámico de cada volcán. Hasta septiembre de 2023, se han publicado 9 boletines vulcanológicos de cada volcán, los que han sido enviados a la ORSCDN-COER Tacna, vía correo electrónico y WhatsApp, además, por supuesto, de estar alojados en la web del CENVUL para descarga y consulta gratuita de cualquier autoridad o ciudadano (<https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/productos-boletines>).

Con la finalidad de seguir manteniendo una adecuada comunicación y relación de trabajo con el Gobierno Regional de Tacna, se recibió en abril de 2023, en las instalaciones del IGP en Arequipa, la visita de los consejeros regionales Oswaldo Tellez y Fredd Calisaya (Figura 22). Ellos recibieron una explicación detallada sobre el rol del IGP en el monitoreo volcánico en el Perú, de manera específica para el caso de los volcanes tacneños. Del mismo modo, con el objetivo de fortalecer los conocimientos de los funcionarios de la ORSCDN-COER Tacna, el IGP realizó en junio de 2023 un taller de capacitación en las

instalaciones del COER Tacna dirigido a todo su personal profesional (Figura 23), en donde se les explicó aspectos generales en vulcanología, los peligros volcánicos, los métodos de monitoreo y el estado de los volcanes tacneños. Asimismo, se compartió material educativo a cada integrante de la ORSCDN-COER Tacna presente en esta actividad.



Figura 22. Visita de consejeros del GORE Tacna a la sede del IGP en Arequipa.



Figura 23. Realización de taller de capacitación a funcionarios del COER Tacna en junio de 2023.

CONCLUSIONES

- En la región Tacna, el Instituto Geofísico del Perú monitorea los volcanes Tutupaca, Yucamane, Casiri y Purupuruni, con equipos geofísicos que proporcionan información sísmica, de deformación, geoquímica, temperatura y parámetros fisicoquímicos de estos colosos. Todos los reportes (actividad diaria), boletines (actividad mensual) e informes técnicos son publicados en la página web del CENVUL, para su libre descarga.
- Se han elaborado mapas de escenario de peligro por descenso de lahares (flujos de lodo) de los volcanes Tutupaca y Yucamane, considerando tres tipos de volúmenes para delimitar las zonas de bajo, moderado y alto peligro.
- El IGP ha publicado tres informes técnicos que explican la crisis sísmica suscitada en el entorno de los volcanes Purupuruni y Casiri entre los años 2020 y 2021, asociado a la reactivación de fallas geológicas con consecuente deformación superficial.
- Como parte de las actividades de difusión de la actividad volcánica en la región Tacna, el IGP vienen elaborando cuadrípticos que resumen el monitoreo volcánico que realiza y los tipos de peligros volcánicos al que están expuestos la población aledaña a los colosos tacneños, los cuales han sido entregados en campañas de monitoreo a autoridades y población. Asimismo, se ha recibido en las instalaciones del IGP en Arequipa, a representantes del Gobierno Regional Tacna y, se ha realizado un taller de capacitación en las instalaciones del COER- Tacna a sus funcionarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Antayhua, Y., Velarde, L., Vargas, K., Tavera, H., Villegas, J. (2021) Actividad sísmica en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni - Casiri (2020 – 2021). Distrito de Tarata – Región Tacna. Informe técnico n° 010-2021/IGP. Repositorio IGP: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4944>.
- Bromley G., Thouret J-C., Schimmelpfennig I., Mariño J., Valdivia D., Rademaker K., Vivanco S., ASTER Team, Aumaître G., Bourlès D., Keddadouche K., (2019). In situ cosmogenic ³He and ³⁶Cl and radiocarbon dating of volcanic deposits refine the Pleistocene and Holocene eruption chronology of SW Peru. Bulletin of Volcanology 81:64 (16 p.). DOI:[10.1007/s00445-019-1325-6](https://doi.org/10.1007/s00445-019-1325-6)
- Del Carpio, J., Rivera, M., Torres, J., Tavera, H., & Puma, N. (2022). Evaluación del Peligro Volcánico en Perú: una herramienta para la gestión del riesgo de desastres. Informe Técnico N°029-2022/IGP, Instituto Geofísico del Perú, Ciencias de la Tierra Sólida, Lima. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5276>.
- Del Carpio, J., Rivera, M., Centeno, R., Torres, J., Lazarte, I., Vargas, K., Concha, J. (2023). *Estado del conocimiento sobre la actividad de los volcanes activos de Arequipa*. Informe Técnico N°010-2023/IGP, <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5427>
- Macedo, O., Taipe, E., Del Carpio, J., Ticona, J., Ramos, D., Puma, N., Aguilar, V., Machacca, R., Torres, J., Cueva, K., Cruz, J., Lazarte, I., Centeno, R., Miranda, R., Álvarez, Y., Masias, P., Vilca, J., Apaza, F., Chijcheapaza, R., Calderón, J., Cáceres, J y Vela, J. (2016). *Evaluación del riesgo volcánico en el Sur del Perú, situación de la vigilancia actual y requerimientos de monitoreo en el futuro*. Informe Técnico Instituto Geofísico del Perú (IGP)-- Instituto Geofísico UNSA- Instituto Geológico Minero Metalúrgico, Arequipa - Perú., mayo 2016, 75 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/797>
- Manrique, N.; Samaniego, P.; Médard, E.; Schiavi, F.; Mariño, J. & Liorzou, C. (2020). Pre-eruptive magmatic processes associated with the historical (218±14 aBP) explosive eruption of Tutupaca volcano (southern Peru).

- Bulletin of Volcanology, 82(1): 6. <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1335-4>.
- Rivera, M., Samaniego, P., Vela, J., Le Pennec, J., Guillou, H., Paquette, J., & Liorzou, C. (2020). 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. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106787>
- 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(51), 1-18. doi:10.1007/s00445-015-0937-8
- Vargas, K., Villegas, J.C., 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. Repositorio IGP: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5269>.
- Velarde L., Tavera H., Vargas K., Villegas J.C. (2020). Análisis de la crisis sísmica ocurrida en julio de 2020 en el distrito de Tarata (región Tacna). Informe técnico n° 003- 2020/IGP. Repositorio IGP: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4832>

