



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



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 CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Mayo, 2021

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

Actividad sísmica en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni - Casiri (2020 – 2021). Distrito de Tarata – Región Tacna

Autores

Yanet Antayhua
Lizbeth Velarde
Katherine Vargas
Hernando Tavera
Juan Carlos Villegas

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

**ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL ENTORNO DE LA FALLA PACOLLO
Y VOLCANES PURUPURUNI - CASIRI (2020 – 2021)**

Distrito de Tarata – Región Tacna

Lima – Perú
Mayo, 2021

RESUMEN

Este estudio analiza las características sismotectónicas de la actividad sísmica ocurrida en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni-Casiri (distrito de Tarata – región Tacna), durante el periodo julio de 2020 a mayo de 2021.

Desde mayo de 2020 hasta mayo de 2021, en el área de estudio se ha producido dos periodos de crisis sísmica separados por otro en donde la ocurrencia de sismos era constante, pero con menor frecuencia. El primer periodo de crisis sísmica ocurrió en el periodo del 15 al 30 de julio del 2020 con la ocurrencia de 3 eventos sísmicos que alcanzaron magnitud de M4.2. El segundo periodo considera los meses de abril y mayo de 2021 con la ocurrencia continua de sismos de magnitudes moderadas, siendo de magnitud M5.0 el mayor ocurrido hasta la fecha.

La distribución espacial de la sismicidad ocurrida en el área de estudio, así como la información de deformación cortical sugieren que la falla Pacollo y otras paralelas de menor extensión, todas circundantes a los volcanes Casiri y Purupuruni, habrían sido reactivadas y serían las causantes de originar toda la actividad sísmica ocurrida a la fecha.

La actividad sísmica de magnitudes moderadas podría continuar ocurriendo durante los próximos días y/o meses; sin embargo, de acuerdo a sus características, observadas a la fecha, no está asociada a posibles reactivaciones de los volcanes Purupuruni y Casiri.

CONTENIDO

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Objetivos

2.- ESTRUCTURAS TECTÓNICAS

2.1.- Principales estructuras

3.- CARACTERÍSTICAS SISMOTECTÓNICAS

3.1.- Distribución de la sismicidad

3.2.- Deformación superficial

4.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico del Perú, a través del Centro Sismológico Nacional (CENSIS) y el Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), realiza el monitoreo y estudio de la actividad sísmica asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana y a la deformación cortical en superficie; así como la actividad volcánica que se desarrolla en toda la región sur del Perú. En este contexto, la actividad sísmica ocurrida en la provincia de Tarata (región Tacna) desde el mes de julio del 2020 a la fecha, ha sido monitoreada de manera continua a fin de comprender los procesos que han dado origen a esta sismicidad.

En efecto, en mayo del 2020, la red sísmica instalada en los alrededores de esta zona, permitió registrar el inicio de la actual crisis sísmica con la ocurrencia en el mes de julio del 2020, de hasta 7 sismos de magnitud moderada (M3.6 y M4.1) que alertaron a la población local. Según Velarde et al. (2020), estos sismos ocurrieron a 15 y 17 km al noreste del distrito de Tarata, a profundidades menores a 20 km (<20 km), típicos de sismos asociados a la reactivación de fallas geológicas locales. En este sentido, los autores antes indicados, concluyen que un sector de la traza de falla Pacollo fue reactivada.

Desde julio de 2020 a la fecha la actividad sísmica no ha cesado; por el contrario, se ha incrementado progresivamente hasta llegar a dar origen a un sismo de magnitud M5.0 que puso en evidencia la reactivación de fallas de menor tamaño, pero paralelas a la falla Pacollo. Ante este escenario, el Instituto Geofísico del Perú incrementó el número de estaciones sísmicas en el entorno del área en donde se desarrolla la crisis sísmica, llegando a elaborar un primer informe técnico en mes de agosto del 2020 (Velarde et al., 2020).

En este informe técnico, se analiza la actividad sísmica ocurrida durante el año 2021 y su correlación con la sismicidad ocurrida el año anterior a fin de realizar una nueva evaluación de la situación sismotectónica. La información que se presenta espera cumplir el rol de contribuir al conocimiento de los procesos de deformación presentes en el entorno de las estructuras volcánicas de Purupuruni y Casiri, además de la falla de Pacollo, con el único fin de que las autoridades regionales y locales (Tarata, Ticaco, Marayama y Susapaya de la región Tacna y de Capazo en la región Puno), puedan desarrollar actividades que pretendan reducir el posible riesgo al cual se encuentra expuesta la población.

1.1.- Objetivos

El presente informe técnico tiene como objetivo analizar la distribución espacial de la actividad sísmica ocurrida en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni - Casiri entre julio de 2020 y mayo de 2021. Asimismo, generar información técnica que permita a las autoridades regionales y locales realizar actividades que permitan reducir el riesgo al cual se podría encontrar la población de la zona.

2.- ESTRUCTURAS TECTÓNICAS

La zona de estudio está ubicada en la región Tacna, provincia de Tacna y distrito de Tarata, y en ella existen estructuras geológicas compuestas por fallas activas, volcanes activos y fuentes geotermales (Figura 1).

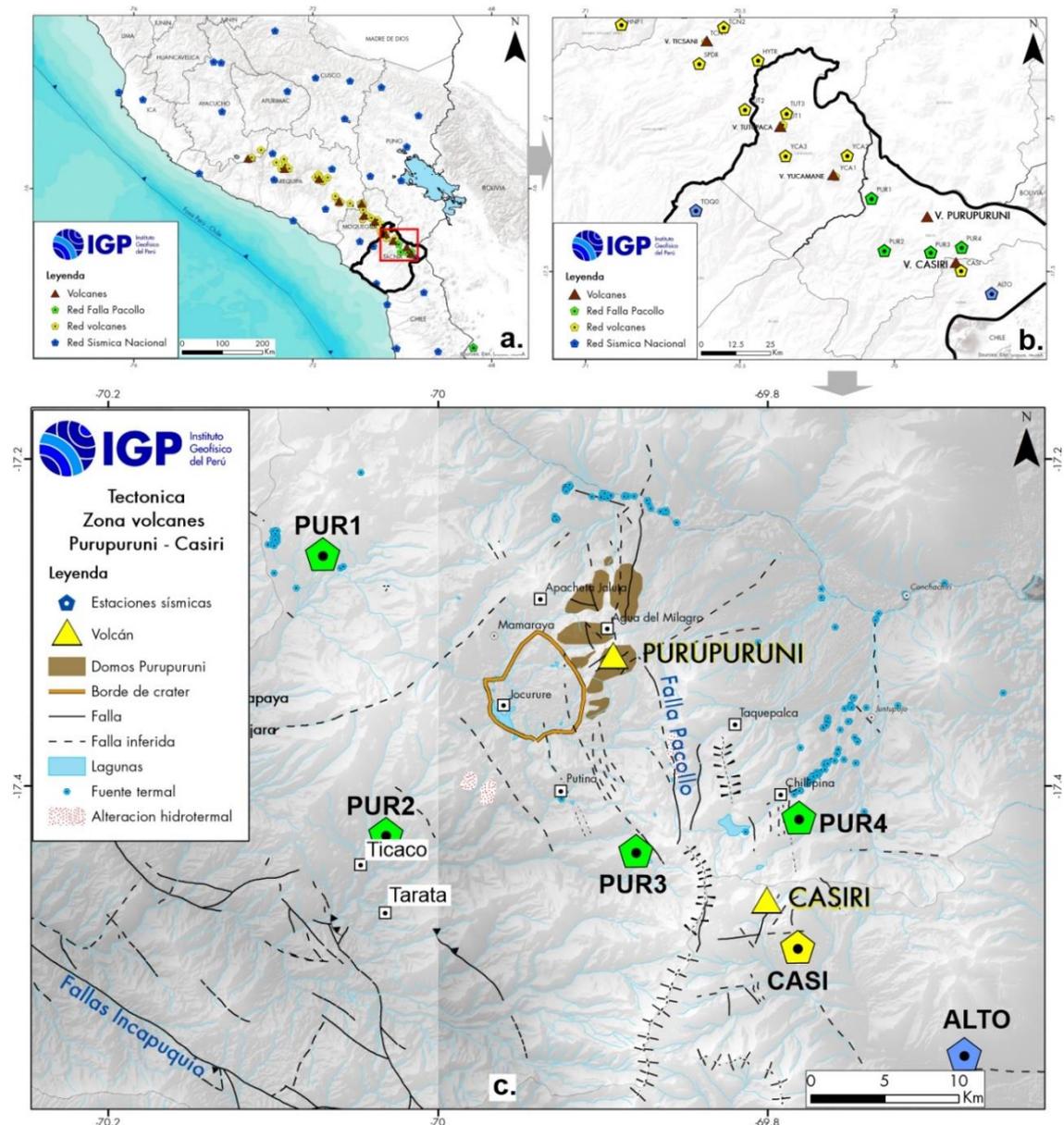


Figura 1.- a). Red Sísmica Nacional a cargo del IGP (íconos azules), red geofísica de volcanes (íconos amarillos) y red temporal en el entorno del volcán Purupuruni (íconos verdes). El cuadro en color rojo indica la zona de estudio; b) Red sísmica local de la falla Pacollo y ubicación de los volcanes Casiri y Purupuruni; c) Zona de estudio con la ubicación de estructuras como las fallas Incapuquio, falla Pacollo y lineamientos locales, así como los volcanes Casiri, Purupuruni.

2.1.- Estructuras principales

En las regiones Moquegua y Tacna destacan la presencia del sistema de fallas Incapuquio compuesto por una serie de segmentos de fallas de tipo normal, inversa y transcurrente con una longitud promedio de 200 km; constituyéndose de esta manera, como la estructura tectónica más importante del sur del Perú. En la zona de estudio, la traza del sistema de fallas Incapuquio aparece en el extremo suroeste y está compuesto por segmentos de falla de tipo inverso.

En el sector oriental del distrito de Tarata se distinguen diferentes trazas de fallas geológicas activas; entre ellas, la falla Pacollo que, de acuerdo a Mendivil (1969) formaría parte del sistema de fallas Incapuquio. Esta falla es de tipo normal con orientación NNO-SSE y una longitud aproximada de 16 km. En sus alrededores se observa la presencia de otras trazas de fallas paralelas con longitudes menores y que en los últimos años no han mostrado mayor actividad tectónica. Asimismo, entre las estructuras volcánicas Casiri y Purupuruni, se pueden observar la presencia de lineamientos con orientaciones NNO-SSE, N-S y O-E (Mendivil, 1969; Bromley et al., 2019; Cruz et al., 2020), que definen el desarrollo en el pasado de importantes procesos de deformación superficial.

En la zona de estudio, la actividad volcánica está representada por el volcán Purupuruni constituido por un conjunto de 4 domos de lava como parte de su última actividad eruptiva ocurrida hace 5300 ± 1100 años (Bromley et al., 2019), y por el volcán Casiri que presentó actividad eruptiva durante el Holoceno. Una muestra de lava fresca datada por Bromley et al. (2019) indicó una edad de 2600 ± 400 años.

Asimismo, la actividad hidrotermal que acompaña a estas dos estructuras volcánicas se manifiesta con la presencia de fuentes termales o manantiales que alcanzan temperaturas máximas de hasta 86 °C, con

presencia de pequeñas fumarolas. La fuente de calor de dicho sistema geotermal estaría localizada al sur-suroeste, probablemente asociada a la actividad del volcán Casiri.

3.- CARACTERÍSTICAS SISMOTECTÓNICAS

La información sísmica utilizada para el análisis de la deformación superficial que actualmente se desarrolla en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni – Casiri, proviene de las redes sísmicas administradas por el Instituto Geofísico del Perú y entre ellas, una red sísmica local compuesta por cinco estaciones instaladas para el registro de los procesos antes indicados (Figura 1). La información utilizada corresponden al periodo julio del 2020 a mayo del 2021, tiempo durante el cual se ha registrado la ocurrencia de al menos 10000 sismos con magnitudes moderadas, tal como se puede observar en la Figura 2: la estación CASI (Figura 2a), ubicada a 4 km del volcán Casiri, y en la estación PUR2 (Figura 2b), 19 km del volcán Purupuruni.

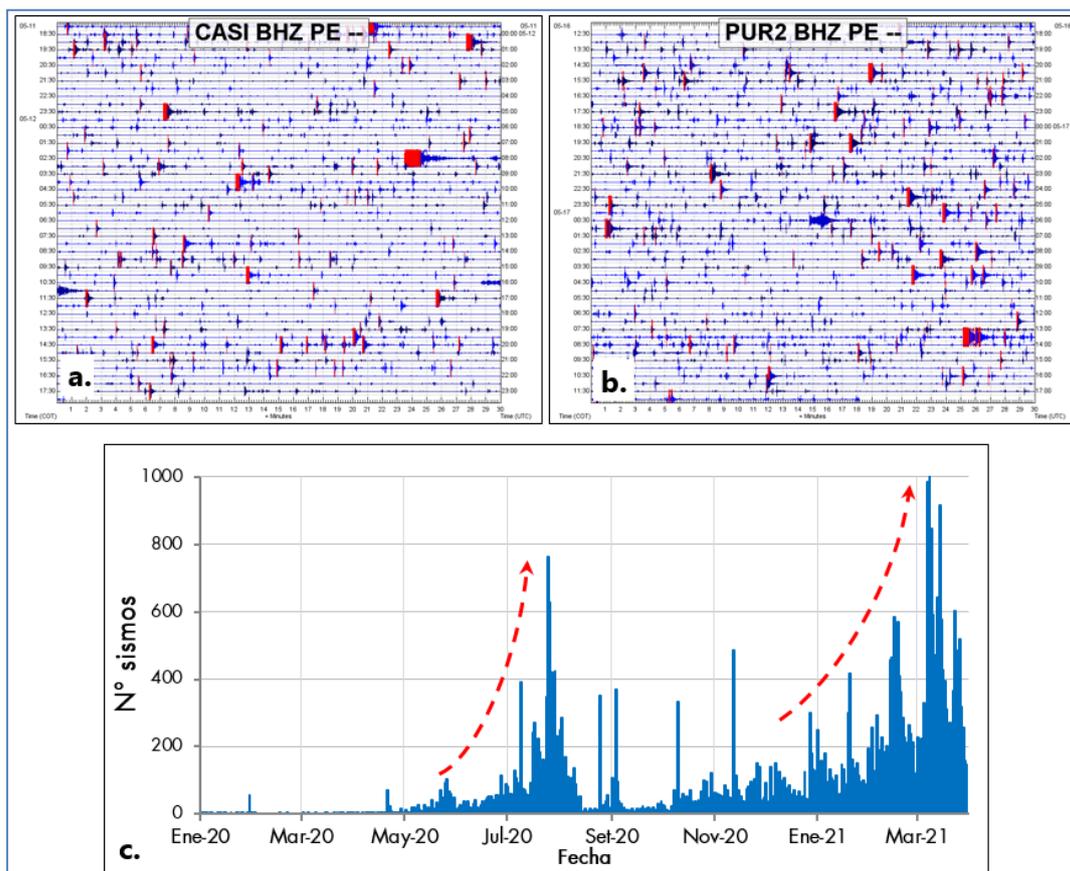


Figura 2.- a y b) Registro de numerosos sismos en la estación CASI ubicada a 4 km del volcán Casiri y en la estación PUR2 ubicado a 19 km del volcán Purupuruni; c) Número de sismos registrados durante el periodo mayo 2020-mayo 2021. Las flechas indican incrementos de actividad sísmica de julio de 2020 y mayo de 2021.

Durante este periodo de analisis, se ha observado que los procesos de deformación se desarrollaron con dos crisis sísmicas (mayor número de sismos), la primera en julio del 2020 y la segunda en marzo-abril del 2021, siendo el número máximo de sismos ocurridos en 48 horas de 100 sismos. De acuerdo a la magnitud de los sismos, en ambos periodos de crisis sísmicas ocurrieron sismos con magnitudes máximas de M4.0 y M5.0, generando en superficie niveles de intensidad en la escala de Mercalli Modificada de III a V (MM), sin producir daños personales ni estructurales.

Del total de la información sísmica registrada, se ha seleccionado aquellos que presentaron errores menores en sus parámetros hipocentrales, siendo un total de 120 eventos sísmicos que han ocurrido hasta profundidades de 20 km y presentando magnitudes hasta M5.0. Esta sismicidad permitirá evaluar de manera cuantitativa todos los procesos de deformación que se ha venido desarrollando en la zona de estudio (falla Pacollo y volcanes Purupuruni – Casiri).

3.1.- Distribución de la sismicidad

En la Figura 3 se presenta la distribución epicentral de los sismos ocurridos entre julio de 2020 y mayo de 2021, siendo sus características las siguientes:

- Durante el año 2020, la sismicidad ocurrió principalmente en el extremo oeste de la falla Pacollo, poniendo en evidencia su reactivación temporal.
- Durante el año 2021, La sismicidad se concentra en el extremo norte de la falla Pacolla, poniendo en evidencia la migración de la sismicidad y la posible reactivación de tramos no conocidos de la falla Pacollo.
- De acuerdo a las características de esta sismicidad, no tiene relación con los procesos que podrían indicar la posible reactivación de los volcanes Purupuruni o Casiri.

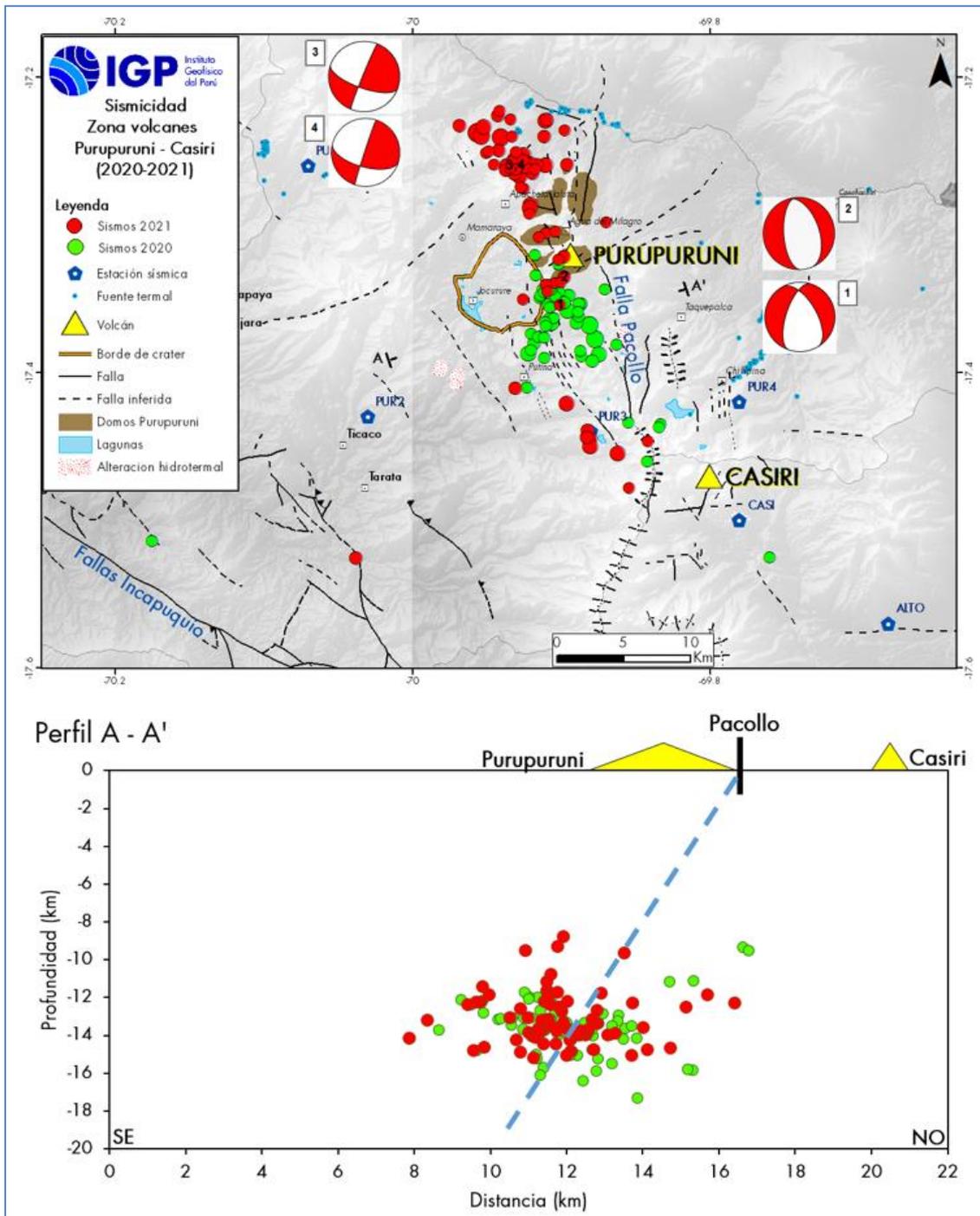


Figura 3.- Distribución de la sismicidad registrada durante julio de 2020 y mayo de 2021. Obsérvese el alineamiento de sismos a lo largo de la falla Pacollo. Las soluciones de mecanismos focales indican mecanismos de tipo normal (1, 2) y normal con componente de desgarre (3, 4). La figura inferior muestra la distribución de los sismos en profundidad. La línea discontinua sugiere el buzamiento de la falla Pacollo.

A fin de conocer la orientación de los esfuerzos causantes de la deformación local en el entorno de la falla Pacollo, se ha elaborado 4 mecanismos focales para sismos con magnitudes entre M2.5 y M4.1 (Figura 3). Estos mecanismos focales son de tipo normal puro para la falla de Pacollo y con componente de desgarre para el extremo norte de la misma falla, los cuales en conjunto muestran el desarrollo de procesos de extensión coherente con la geometría la falla Pacollo vista en superficie.

3.2.- Deformación superficial

Para el análisis y cuantificación de la deformación desarrollada en la zona de estudio, Vargas et al. (2021) emplearon técnicas InSAR mediante el uso de imágenes de radar, recolectadas por los satélites de observación pertenecientes a la Agencia Espacial Europea (Sentinel-1). A partir de esta información, en julio de 2020, después de la ocurrencia de la primera crisis sísmica, identificaron deformaciones locales en la superficie en dirección este-oeste, siendo el bloque oeste quien desarrolló hundimientos del orden de 12 cm y el levantamiento del bloque este de 4 cm, concordante con la sismicidad registrada y con la reactivación de la falla Pacollo (Figura 4).

De acuerdo al seguimiento de la deformación producida por la crisis sísmica de julio 2020, esta se habría desarrollado durante el año 2021 hacia el extremo norte de la falla Pacollo, aunque aún no ha sido posible cuantificar el desarrollo de deformaciones importantes (Figura 4).

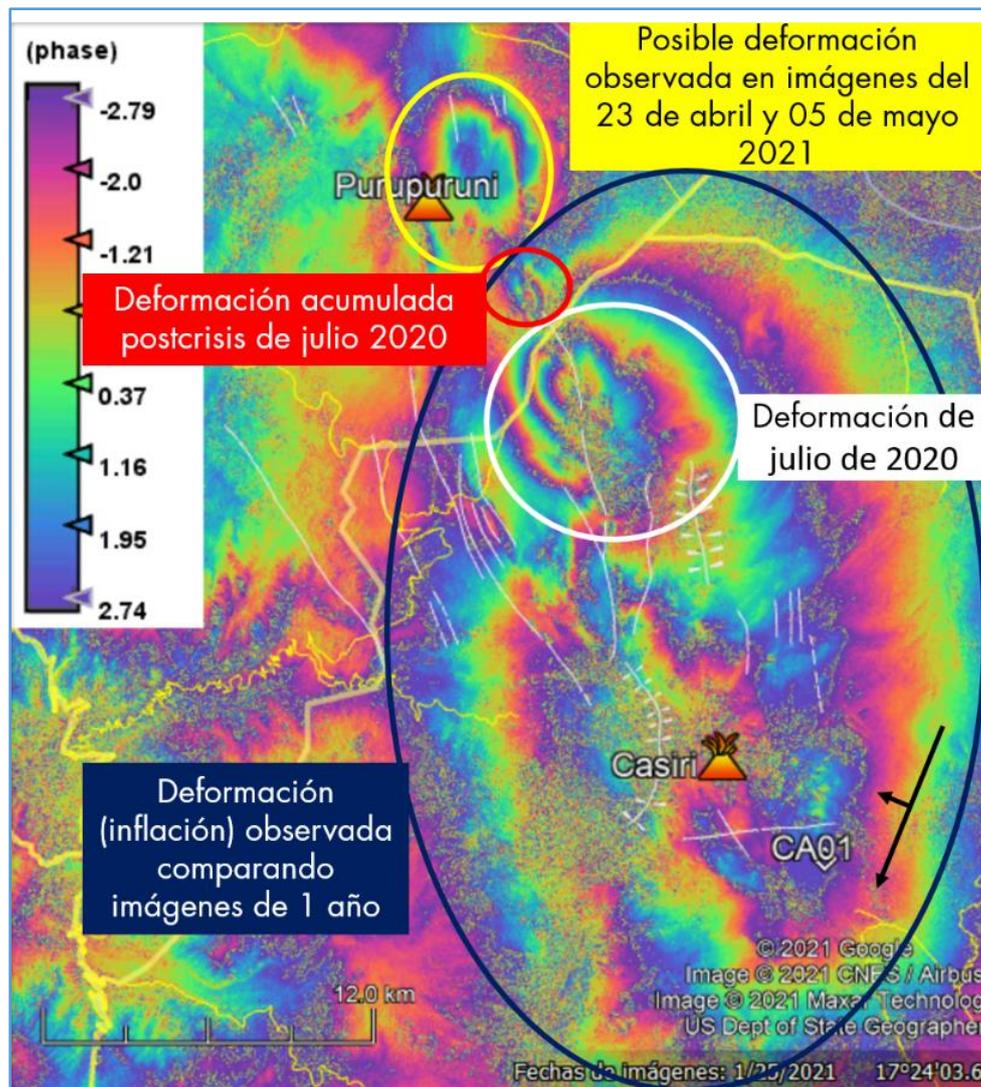


Figura 4.- Interferograma que muestra la deformación superficial observada en julio de 2020, deformación post crisis sísmica de julio 2020 y las posibles deformaciones observadas al norte y sur de la traza de la falla Pacollo (imágenes de abril y mayo de 2021).

4.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA

Desde julio de 2020 hasta mayo de 2021, se ha registrado más de 10 mil sismos con magnitudes muy pequeñas, que al ser registrados por una o dos estaciones, no pudieron ser localizados con precisión. Para efectos de este estudio, se ha seleccionado 120 eventos sísmicos correctamente localizados y con errores mínimos en sus parámetros hipocentrales; por lo tanto, permitirán analizar y comprender el desarrollo de los procesos de deformación superficial que se vienen produciendo en el entorno de la falla Pacollo y volcanes Purupuruni – Casiri. Los principales resultados del análisis de esta sismicidad se describen a continuación:

- Los sismos presentaron magnitudes menores a M4.5, siendo el sismo de mayor magnitud el ocurrido el 12 de mayo 2021, M5.0.
- Espacialmente, la sismicidad se distribuye de norte a sur, en el extremo occidental de la falla Pacollo hasta profundidades del orden de 20 km, sugiriendo la reactivación temporal de esta falla.
- Los mecanismos focales construidos para 4 sismos de magnitud moderada, muestran el desarrollo de procesos de extensión; es decir, de fallas normales coherentes con las características geométricas de la falla Pacollo.
- La deformación superficial observada usando técnicas de interferogramas muestra que el bloque oeste se ha hundido 12 cm y el bloque este, presenta un levantamiento del orden de 4 cm.
- La recurrente actividad sísmica produjo intensidades máximas de III a IV (MM) en las localidades de Tarata, Ticaco, Marayama y Susapaya de la región Tacna y en la localidad de Capazo en la región Puno, situación que mantuvo alerta a la población y autoridades locales y regionales.

En la Figura 5 se muestra un esquema sismotectónico en 3D que describe todo el proceso de deformación superficial en el entorno de la falla Pacollo, coherente con la tectónica local y regional.

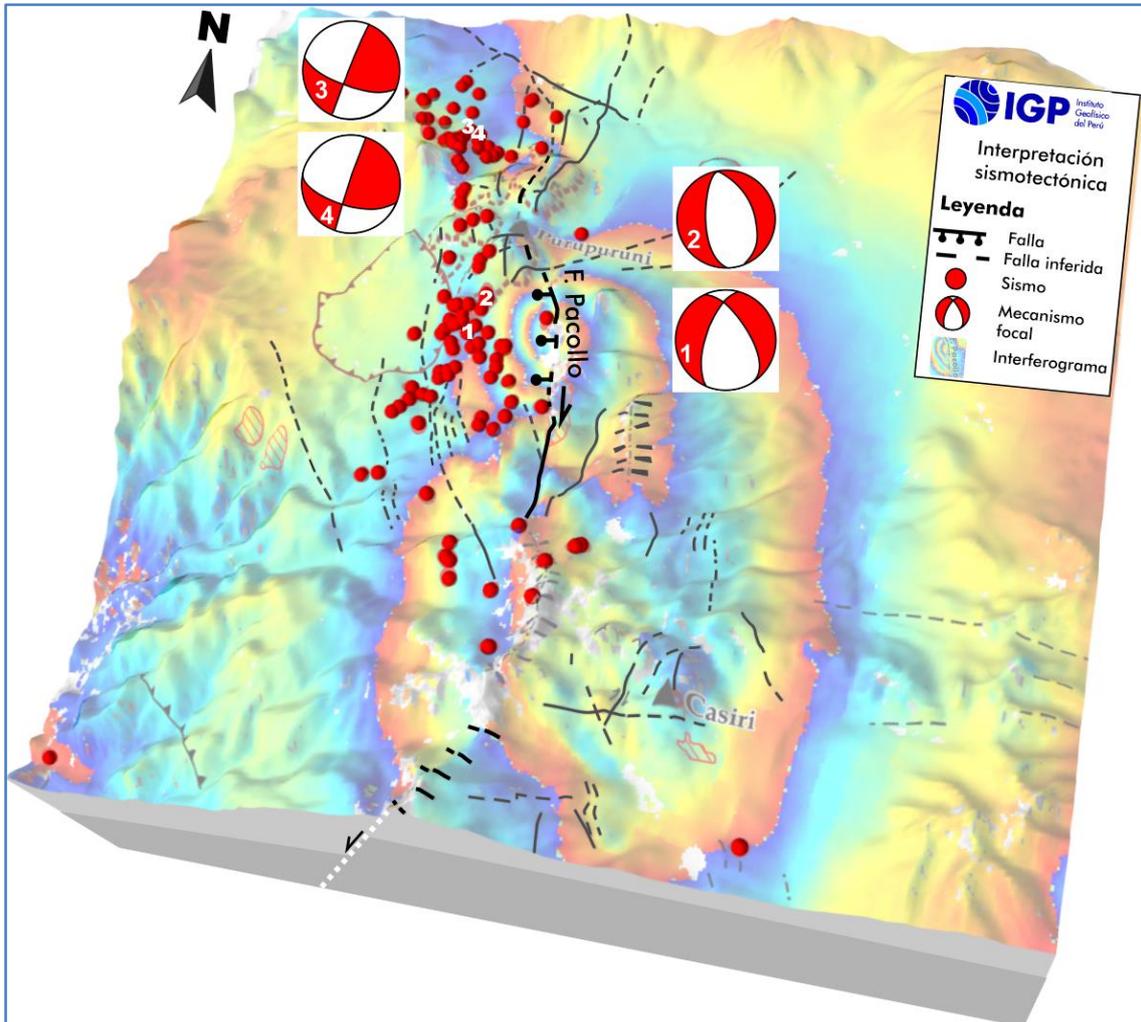


Figura 5.- Representación sismotectónica tridimensional que correlaciona la sismicidad y la deformación superficial a lo largo de la falla Pacollo. Los resultados muestran que la sismicidad está asociada a la reactivación temporal de la falla Pacollo.

Asimismo, considerando que la sismicidad está migrando de sur a norte, esta debe continuar ocurriendo durante los próximos días y/o meses, pudiendo reactivar trazas menores de fallas y lineamientos paralelos a la falla Pacollo. Respecto a los volcanes Casiri y Purupuruni, la actividad sísmica ocurrida hasta la fecha, no evidencia el ascenso del magma a superficie; por lo tanto, dichos volcanes no serían parte de futuros procesos eruptivos. Sin embargo, de presentarse un cambio en el comportamiento dinámico de los

volcanes, el IGP brindará la información correspondiente con la debida anticipación para el desarrollo de actividades orientadas a la gestión del riesgo volcánico en las áreas urbanas cercanas.

CONCLUSIONES

El análisis de la actividad sísmica ocurrida en el entorno de la falla Pacollo y a los volcanes Purupuruni - Casiri durante julio de 2020 y mayo de 2021 ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- La actividad sísmica presentó magnitudes entre M3.6 y M5.0 y percibidos en superficie por los habitantes de las localidades aledañas, con intensidades de III-IV MM.
- La distribución de la sismicidad en superficie y profundidad indican que tiene su origen en la reactivación temporal de la Pacollo y fallas y lineamientos menores, circundantes a los volcanes Purupuruni y Casiri.
- El análisis de los mecanismos focales para sismos de mayor magnitud, indican que la falla Pacollo ha desarrollado un proceso de deformación de tipo extensional; es decir, de tipo normal coherente con la geometría de dicha falla observada en superficie. El bloque del extremo oeste de la falla, ha mostrado hundimientos de 12 cm y el bloque del extremo este, levantamientos de 4 cm.
- Durante el periodo de analisis, la actividad sísmica ha desarrollado un proceso de migración de la sismicidad de sur a norte, lo cual sugiere que los sismos podrían continuar ocurriendo durante los próximos días y/o meses.
- De acuerdo a las características sismotectónicas de la zona de estudio, todo el proceso de deformación local no está asociado a posibles procesos eruptivos de los volcanes Purupuruni y Casiri. De cambiar los escenarios, el IGP brindara la información de manera oportuna.

RECOMENDACIONES

Debido al incremento progresivo de la sismicidad local en el distrito de Tarata, se recomienda lo siguiente:

- Mantenerse informado sobre el comportamiento de la actividad sísmica en el entorno de la falla Pacollo y alrededores, a través del Centro Sismológico Nacional (CENSIS), y del comportamiento dinámico de los volcanes Purupuruni y Casiri a través Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL), ambos servicios del Estado a cargo del Instituto Geofísico del Perú.
- Coordinar e informar a las autoridades locales sobre el escenario sismotectónico del área de estudio a fin de evitar información paralela, no válida, que genere incertidumbre y preocupación a la población local.
- Tener en cuenta que a la ocurrencia de sismos, las personas son afectadas por el colapso total o parcial de sus viviendas; por lo tanto, se les debe orientar para que cada familia pueda establecer sus rutas de evacuación en sus propias viviendas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bromley, G.R.M., Thouret, J., Schimmelpfennig, I. (2019). In situ cosmogenic ^3He and ^{36}Cl and radiocarbon dating of volcanic deposits refine the Pleistocene and Holocene eruption chronology of SW Peru. *Bull Volcanol* 81, 64. <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1325-6>.
- Cruz, V., Flores, R., y Y. Velarde (2020) - Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la zona geotermal Casiri - Kallapuma, región Tacna. INGEMMET, Boletín serie B: Geología Económica, 69, 250p. 4 mapas.
- Mendivil, S. (1965) Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (Hojas 35-x, 35-y). Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín, 10, 99 p., 2 mapas.
- 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>.
- Vargas, K., Villegas, J., Battaglia, M. (2021). Estudio de la deformación de la corteza asociada con la secuencia de sismos en el entorno de los volcanes Purupuruni y Casiri. (En revisión).

