

# Identificación de potenciales geositios alrededor del Complejo Volcánico Casiri - Tacna

Nadya Calderón<sup>1,2</sup>, Rigoberto Aguilar<sup>1</sup>, Nélida Manrique<sup>1</sup>, Carla Arias<sup>1</sup>, Leonardo Zevallos<sup>2</sup>, David Arteaga<sup>1</sup>, Carla Palacios<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico del INGEMMET, Arequipa, Perú - [ncalderon@ingemmet.gob.pe](mailto:ncalderon@ingemmet.gob.pe)

<sup>2</sup> Escuela de Ingeniería Geológica - FGGM - UNSA, Arequipa, Perú

**Palabras clave:** geositio, turismo, vulcanismo, Casiri, Tacna.

## INTRODUCCIÓN

El patrimonio geológico son aquellos elementos abióticos o características de la naturaleza que permiten comprender la historia de nuestro planeta, teniendo así un valor significativo para la investigación científica, la educación, la estética y el desarrollo cultural (Urban et al., 2022).

El geopatrimonio comprende aquellos elementos y características de la geodiversidad de la Tierra que se considera que tienen un valor significativo por razones intrínsecas, científicas, educativas, culturales, espirituales, estéticas, ecológicas o ecosistémicas y, por lo tanto, deben ser conservados. El geopatrimonio constituye un legado del pasado que debe mantenerse en el presente y transmitirse en beneficio de las generaciones futuras (Sharples 2002; Crofts et al., 2020).

En un contexto de historia de la ciencia el geopatrimonio en su forma actual en términos de alcance y objetivos, es un esfuerzo relativamente nuevo que ha ganado impulso solo en los últimos años, es decir, la última parte del siglo XX (Gray 2004). De igual manera el campo de estudio del geopatrimonio es relativamente muy joven en el Perú. Entre el 2000 y 2002 se propuso realizar el estudio del patrimonio geológico peruano (Rivas et al., 2000) y se recomendó elaborar un inventario de puntos de interés geológico para su protección y conservación como patrimonio geológico del Perú (Zavala & Fidel, 2002).

Basándose en estas dos declaratorias públicas, el INGEMMET, en el año 2006 apertura el proyecto "Patrimonio y Geoturismo", categorizando al patrimonio geológico como un tema de interés nacional que, a partir de ello, el proyecto ha logrado

identificar sitios de interés geológico en el territorio peruano resaltando el alto potencial que tiene el Perú para tener más de un geoparque, ha brindado asesoramiento técnico para la designación del geoparque "Colca y Volcanes de Andagua", ha generado material de difusión y educación de geopatrimonio y ha sometido artículos en revistas indexadas.

El territorio peruano se encuentra en una zona de subducción de placas, donde la placa de Nazca se subduce debajo de la placa sudamericana, por lo que

existe una actividad volcánica importante (Lonsdale, 2002) por tanto un gran número de geositios se encuentran en zonas volcánicas, por lo cual, durante los últimos años, el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET también participa y apoya en el estudio y valoración de geositios en zonas volcánicas con el fin de asegurar su conservación y sensibilizar a las poblaciones aledañas a dichos sectores (e.g. Aguilar et al., 2022, Mariño et al., 2021, Manrique et al., 2020).



► Fig. 1 Mapa del sur del Perú con la ubicación de los volcanes activos y potencialmente activos.

El Complejo Volcánico Casiri (CVC) está ubicado en la región Tacna, sur del Perú, y forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes (Fig. 1) (Aguilar et al., 2021).

El área de estudio abarca una amplia complejidad de ambientes volcánicos y morfológicos relacionados a la actividad del CVC. Cercanos al CVC se ubican varios caseríos y centros poblados donde las principales actividades económicas son la ganadería y la agricultura; actividades que no suelen ser muy rentables para los pobladores de dichos sectores.

Uno de los objetivos de este estudio es identificar, evaluar y valorar los geositorios localizados en el CVC y sus alrededores, exponiendo el gran potencial geoturístico que presenta dicho sector como una alternativa para la creación de nuevas actividades económicas en la región que permitan el desarrollo sostenible en nuestro país.

Metodología La identificación de los posibles geositorios se realizó en dos etapas; la primera, netamente bibliográfica, donde en base a lo publicado en el boletín "Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la zona geotermal Casiri-Kallapuma, región Tacna" (Cruz et al., 2020) se determinaron los primeros potenciales geositorios (11) relacionados o cercanos al CVC. La segunda etapa se llevó a cabo en la

primera campaña de campo realizada por el proyecto "GA-17F: Estudiar y evaluar los peligros asociados a los volcanes Chachani y Casiri" desarrollado por el INGEMMET donde se identificaron tres nuevos potenciales geositorios.

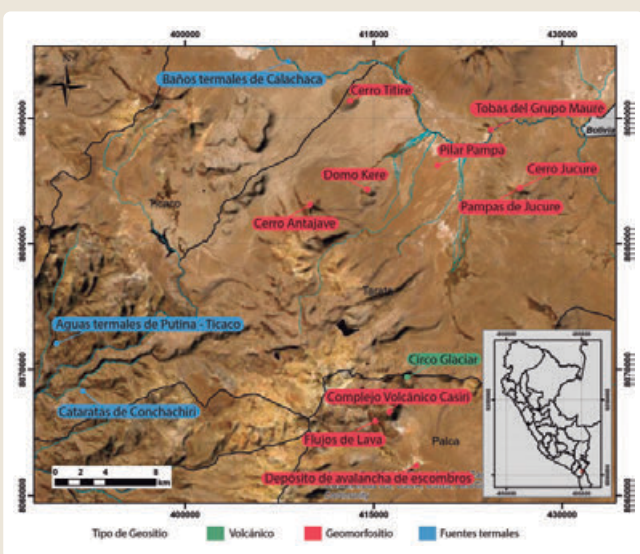
El término potencial geositorio engloba a todos los lugares postulados en base a sus características geológicas previa a una evaluación cualitativa que certifique si cumple o no con las condiciones establecidas para ser considerado como un geositorio.

La determinación de los geositorios dio paso a su compilación en el itinerario de los potenciales geositorios en los alrededores del CVC.

Posterior a ello se evaluó el valor intrínseco de los posibles geositorios (e.g. Arias, 2021, Pereira, 2007). La metodología utilizada fue la propuesta por Pereira (2007) en función de su valor científico, educativo y turístico de cada geositorio. El puntaje máximo que podría obtener cada geositorio postulado es de 4pts en cada criterio, es aquí donde los sitios son evaluados a partir de sus características geológicas, su capacidad para ser utilizado como fuente de referencia para dar cátedra acerca de procesos geológicos de forma didáctica e instructiva, así como su potencial para ser explotado como un bien turístico.

### Potenciales Geositorios del Área de Estudio

El CVC, se encuentra en el distrito de Palca, provincia y región de Tacna, aproximadamente a 76 km del centro de la ciudad de Tacna. El Casiri muestra una geología



► Fig.2 Mapa de ubicación de los potenciales geositorios dentro del área de estudio del CVC.



► Fig.3 Vista del sector sur-este del complejo volcánico Casiri.

bastante compleja en donde se observan depósitos volcánicos, glaciares y estructuras tectónicas que afectan el complejo, que resultan de gran interés para ser considerados como potenciales geositios.

Está constituido por al menos cinco edificios volcánicos coalescentes (Fig. 3). El edificio más joven presenta en su cima, un domo circular bien conservado en forma de cúpula. Las rocas de este domo tienen aspecto escoráceo de color pardo oscuro. La superficie de este domo es rugosa, y en forma de bosque de piedras, donde se observan algunas "agujas".

### 1. Flujos de lava del holoceno

Al oeste del edificio más joven, se observan al menos cuatro episodios de flujos de lava en bloques. Estos flujos de lava bien conservados, sin evidencia de glaciación, descienden en una serie de lóbulos de flujo superpuestos desde la cima del edificio (Fig. 3). Dos de estos flujos de lava fueron datadas por el método cosmogénico  $^{36}\text{Cl}$ , arrojando edades de  $2.6 \pm 0.4\text{ka}$  y  $6.0 \pm 0.9\text{ka}$  (Bromley et al., 2019). Estos flujos de lava muestran algunas estructuras de emplazamiento como levées, crestas de avance de 50 a 100 m de altura y lóbulos que varían entre 50 y 500 m de ancho.

### 2. Circo glaciar

El circo glaciar se encuentra a 3.12 km al noreste del complejo volcánico Casiri (Fig.4).

Esta estructura exhibe una escarpa en forma de herradura abierta hacia el sureste, con ~800 m de ancho y ~1200 m de largo. En el área interna de la escarpa aflora un glaciar rocoso con forma lobular de área aproximada a 25.7 hectáreas.

### 3. Depósito de avalancha de escombros

El depósito de avalancha de escombros se encuentra a 4.76 km al SSE del complejo volcánico Casiri (Fig. 4).

El afloramiento de depósito de avalancha de escombros se encuentra emplazado sobre unaplanicie. Se observan estructuras de tipo hummocks de material de bloques de lava de hasta 30 m de ancho por 5 m de alto. Este afloramiento se encuentra bien conservado y debido a su cercanía con la laguna de Paucarani se aprecia un panorama muy atractivo.



► Fig. 4 Geositios en un radio de influencia de 5km desde el cráter el edificio Paucarani del CVC.

### 4. Cerro Antajave

El estratovolcán Antajave, se encuentra a 17.64 km del complejo volcánico Casiri.

Se caracteriza por estar constituido por la secuencia volcánica de lavas andesíticas más antiguas del área, exponiendo un espesor aproximado de 400 m paralelo al arco volcánico Barroso de orientación NO-SE. Presenta lineamientos principales en dirección N-S con componente normal y un salto vertical aproximado de 250 m (Cruz et al., 2020).

### 5. Domo Cerro Kere

El cerro Kere se encuentra al SO del anexo de Mamuta, y aflora en el flanco oriental de la Cordillera del Barroso a unos 17.72 km del complejo volcánico Casiri.

Según Cruz et al., 2020, el cerro Kere se formó a partir de las intrusiones superficiales de lavas en la estructura de los edificios volcánicos existentes durante la actividad volcánica post glaciar, y su forma relieve actual se debe a las últimas glaciaciones durante el Holoceno. El domo Kere se encuentra fracturado con orientación N-S, con buzamiento moderado hacia el este. Se observa en las laderas, depósitos de arenas eólicas y residuales.

### 6. Pilarpampa

La pampa altiplánica de Pilarpampa se encuentra a 19.99 km del complejo volcánico Casiri.

Según Cruz et al., 2020, la pampa altiplánica de Pilarpampa en sus inicios fue una zona de depresión que posteriormente han sido rellenadas por



materiales detríticos o piroclásticos del Grupo Maure y permanece cubierto por depósitos fluvioglaciares. La pampa de Pilarpampa, así como las pampas de Titire, Chijitacape y Juntopujo; presentan fuentes termales con altas anomalías térmicas identificadas en la superficie que alcanzan los 44 °C, estas pampas

forman una gran depresión rellena con orientación NO-SE, asociada a flujos de agua termal y la influencia térmica del río Maure (Cruz et al., 2020).

### **7. Cerro Jucure**

El cerro Jucure, o "estrato volcán Jucure", se encuentra a 20.64 km del complejo volcánico Casiri. El cerro Jucure se formó a partir de continuas erupciones durante el Plioceno (5.5 a 8.4 Ma). Caracterizado por presentar afloramientos tabulares, compuestos principalmente por lavas de andesitas y traquiandesitas de color gris en todo el entorno del cono volcánico. Posteriormente, las glaciaciones del Pleistoceno y Holoceno erosionaron en la parte baja de este volcánico modelando su actual geomorfología (Cruz et al., 2020).

### **8. Pampas de Jucure**

Las Pampas de Jucure se encuentran al pie del flanco SE del cerro Jucure a 20.64 km del complejo volcánico Casiri.

Las Pampas de Jucure se caracterizan por mantener una pendiente horizontal aproximada de 1.5°, con relieve suave, ondulado, de regular extensión, y se encuentran delimitadas por formas topográficas positivas como los conos volcánicos y otras manifestaciones volcánicas pertenecientes al Grupo Barroso. Formadas por arenas y/o depósitos cuaternarios provenientes principalmente de la erosión de las rocas volcánicas. Presenta presencia de depósitos de sínter y salmueras geotérmicas en forma de costras; y extensiones de bofedales (Cruz et al., 2020).

### **9. Tobas del Grupo Maure**

Las tobas del Grupo Maure se encuentran a 23.8 km del complejo volcánico Casiri.

El grupo Maure es considerado como un depósito volcánico-sedimentario de litología variable que consiste desde su base en intercalaciones de brechas, conglomerados, areniscas, tobas, limolitas, andesitas

basálticas y sedimentos lacustres. El afloramiento se encuentra por el cerro Huancarama (Chiluyo) hasta llegar al anexo de Conchachiri, donde presenta capas de tobas vítreas de hasta 20 m de espesor bien conservadas, las cuales infrayacen a una capa de un metro de espesor de conglomerado monomítico compacto (Cruz et al., 2020).

### **10. Cerro Titire**

El cerro Titire se encuentra a 24.98 km del complejo volcánico Casiri, y exhibe una forma cónica parcialmente erosionada, presenta los flancos del cono tapizado por depósitos fluvioglaciares y morrénicos surcados por quebradas dispuestas radialmente. Predomina el sistema de lineamiento en dirección N-S que coincide con la orientación de la falla Pacollo y la actividad fisural de arco volcánico. Relacionado con el tercer evento de la secuencia litológica del grupo Barroso en la zona oeste, vemos que está compuesto de lavas traquiandesíticas y andesitas basálticas de espesor aproximado a 417 m (Cruz et al., 2020)

### **11. Cataratas de Conchachiri**

Las Cataratas de Conchachiri se encuentran a 24.48 km del complejo volcánico Casiri.

Las Cataratas de Conchachiri son caídas de agua de hasta 6 m de altura que se han formado debido en el curso del río Maure, en torno a este sector se encuentran bofedales.

### **12. Aguas Termales de Putina-Ticaco**

Las aguas termales de Putina-Ticaco se encuentran a 27 km del cráter del volcán Casiri.

Las aguas termales de Putina-Ticaco son una de las manifestaciones de aguas termales ligadas al sistema geotermal del Casiri-Kallapuma llegando a alcanzar temperaturas de hasta 45 °C (Cruz et al., 2020). Este sector ya es aprovechado a partir de piscinas rurales de roca que son visitadas por pobladores y turistas con la premisa de ser curativas.

### **13. Baños termales de Calachaca**

Los baños termales de Calachaca se encuentran a 28.98 km del cráter del volcán Casiri.

El agua de los baños termales de Calachaca son cloruradas-bicarbonatadas siendo un indicador de que

el agua de la fuente está sufriendo mezcla con agua superficial fría que se infiltra del río Maure. Las Aguas termales de Calachaca tienen una temperatura superior a 40 °C, y el lugar cuenta con dos fuentes termo-medicinales aptas para el baño de los visitantes.

Según los resultados de la evaluación cualitativa de los 14 geositios, se seleccionan de acuerdo a su valor intrínseco (Tabla 1). Para ello se considera como mínimo el 50% de la suma total, para que el geositio sea seleccionado (Pereira, 2070), es decir, el valor mínimo que debe obtener el potencial geositio es de 6.

Potenciales Geositios		Valor intrínseco 0 (Nulo)- 4 (Muyalto)			
		Científico	Educativo	Turístico	VI Total
ID	NOMBRE				
1	Complejo Volcánico Casiri	2	4	3	<b>9</b>
2	Flujo de lava	2	3	3	<b>8</b>
3	Depósito de avalancha de excombros	3	3	3	<b>9</b>
4	Cerro Antajave	2	3	2	<b>7</b>
5	Domo Kere	2	3	2	<b>7</b>
6	Pilar Pampa	2	2	3	<b>7</b>
7	Cerro Jucure	2	3	2	<b>7</b>
8	Pampas de Jucure	2	3	2	<b>7</b>
9	Tobas del Grupo Maure	2	2	2	<b>6</b>
10	Cerro Titire	2	3	2	<b>7</b>
11	Circo glaciar	1	3	3	<b>7</b>
12	Cataratas de Conchachiri	2	3	3	<b>8</b>
13	Aguas Termales de Putina - Ticaco	3	2	3	<b>8</b>
14	Baños termales de Calachaca	3	4	4	<b>11</b>

► Fig. 5 Tabla de evaluación cualitativa de los potenciales geositios en el área de estudio del CVC.

## CONCLUSIONES

Este trabajo expone la identificación de 14 potenciales sectores de interés geológico y turístico con base en sus características geomorfológicas, litológicas, paisajísticas; ubicados dentro del área de estudio del CVC.

La evaluación cualitativa como parte del inventario de los potenciales geositios determina que las 14 propuestas cumplen con el puntaje mínimo requerido, es decir, son aptos para ser considerados geositios y poder empezar con su caracterización.

Los geositios propuestos en este trabajo serán analizados y evaluados con mayor detalle. Esta información puede servir como base para la promoción de nuevas alternativas de desarrollo económico como el geoturismo, así como una nueva propuesta educativa para el reconocimiento de ambientes volcánicos en el Distrito de Palca, Región Tacna.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto GA-17F, por ello, se hace extensivo el agradecimiento a todos los miembros del proyecto y al magister Leonardo Zevallos Valdivia, docente de la escuela profesional de Ingeniería Geológica, UNSA.

## REFERENCIAS

- ▶ Aguilar, R.; Thouret, J.; Samaniego, P.; Wörner, G.; Jicha, B.; Paquette, J.; Suaña, E. & Finizola, A. (2022). Growth and evolution of long-lived, large volcanic clusters in the Central Andes: The Chachani Volcano Cluster, southern Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 426, 107539.  
<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107539>
- ▶ Aguilar, R.; Taipe, E.; Antayhua, Y.; Ortega, M.; Apaza, F. & Cruz, L. (2021) "Hazard assessment studies and multiparametric volcano monitoring developed by the Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico in Peru", *Volcanica*, 4(S1):73-92. doi: 10.30909/vol.04.S1.7392.
- ▶ Arias, C. (2021). Recursos geoturísticos generados a partir del impacto de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600 d.C. como patrimonio geológico [Tesis de ingeniero geólogo]. Universidad Nacional del Altiplano.
- ▶ Bromley, G.R.M.; Thouret, J.; Schimmelpfennig, I.; Mariño, S.; Valdivia, D.; Rademaker, K.; Vivanco, S.; Aster Team; Aumaître, G.; Bourlès, D. & Keddadouche, K. (2019). In situ cosmogenic <sup>3</sup>He and <sup>36</sup>Cl and radiocarbon dating of volcanic deposits refine the Pleistocene and Holocene eruption chronology of SW Peru. *Bulletin of Volcanology*, 81(11), 64. <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1325-6>.
- ▶ Crofts, R.; Gordon J.E., Brilha, J.; Gray, M.; Gunn, J.; Larwood, J.; Santucci, V.L.; Tormey, D. & Worboys, G.L. (2020) Guidelines for geoconservation in protected areas. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 31. IUCN, Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.230/IUCN.CH.2020.PAG.31.en>.
- ▶ Cruz, V.; Flores, R. & Velarde, Y. (2020). Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la zona geotermal Casiri-Kallapuma, región Tacna. *INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica*, 69, 315p., 4 mapas. <https://hdl.handle.net/20500.12544/2801>.
- ▶ Gray, M. (2004) *Geodiversity valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- ▶ Lonsdale, P. (2005) Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate. *Tectonophysics*, 404(3-4):237-264, ISSN 0040-1951, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.011>
- ▶ 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/s00445-019-13019-1335-4>.
- ▶ Mariño, J.; Cueva, K.; Thouret, J.; Arias, C.; Finizola, A.; Antoine, R.; Delcher, E.; Fauchard, C.; Donnadiou, F.; Labazuy, P.; Japura S.; Gusset, R.; Sanchez, P.; Ramos, D.; Macedo, L.; Lazarte, I.; Thouret, L.; Del Carpio, J.; Jaime, F. & Saintenoy, T. (2021) - Multidisciplinary Study of the Impacts of the 1600 CE Huaynaputina Eruption and a Project for Geosites and Geo-touristic Attractions. *Geoheritage*, 13(3): Article 64. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00577-5>

- ▶ Martínez, P. (2010). Identificación, caracterización y cuantificación de geositos, para la creación del I geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria, Universidad de Chile, Santiago, 34– 154 p.
- ▶ Pereira, P.; Pereira, D. & Alves, C. (2007). Avaliação do Património Geomorfológico: proposta de metodologia. Geomorphological heritage assessment: a methodology proposal. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos. Volume V, APGeom, Lisboa, p.235- 247.
- ▶ Rivas, F.; Rivera, M. & Guadalupe, E. (2000) El Patrimonio Geológico y una Metodología para su evaluación. Un tema de Protección Ambiental y Ordenación del Territorio. Resúmenes X Congreso Peruano de Geología.
- ▶ Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Hobart, Tasmania, Australia: Tasmanian Parks & Wildlife Service. [www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf). Accessed 21 Dec 2020.
- ▶ Urban, J.; Radwanek-Bąk, B. & Margielewski, W. (2022). Geoheritage Concept in a Context of Abiotic Ecosystem Services (Geosystem Services) – How to Argue the Geoconservation Better. *Geoheritage* 14, 54. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00688-7>
- ▶ Zavala, B. & Fidel, L. (2002) - Necesidad de un inventario de puntos de interés geológico para su protección y conservación como patrimonio geológico. En: Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, 2002. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p.194.