

Inventario del Patrimonio Geológico en Torno a la Ciudad de Arequipa, Perú

Andy Ancalle^{1,2}, Jersy Mariño¹, Carla Arias¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico-INGEMMET, Observatorio Vulcanológico del INGGEMMET

² Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú (aancalleq@unsa.edu.pe)

Palabras clave: Patrimonio geológico, Geodiversidad, Inventario,

INTRODUCCIÓN

Hoy en día se ha puesto en manifiesto la importancia de cuidar y revalorar el patrimonio geológico y la geodiversidad. Desde 2002, el INGGEMMET toma la iniciativa de desarrollar el estudio del patrimonio geológico peruano, Zavala y Fidel (2002), recomiendan realizar un inventario nacional de lugares de interés geológico, el Ingemmet (2007), presenta la "Guía Geoturística de Marcahuasi". Ingemmet (2009), la "Guía Geoturística Reserva Nacional de Paracas. Ingemmet (2016), la "Guía Geoturística del valle de los volcanes de Andahua", Ingemmet (2019), el estudio de la "Geodiversidad y patrimonio geológico en el valle del Colca". Ingemmet (2022), evalúa el "Patrimonio geológico en la región Puno". Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado un inventario del patrimonio geológico en torno a la ciudad de Arequipa.

UBICACIÓN

La ciudad de Arequipa o también conocida como la ciudad blanca, es la capital de la región del mismo nombre, ubicada al suroeste del Perú; a una altitud de 2.335 msnm. Se encuentra ubicado en la Zona Volcánica de los Andes Centrales de Sudamérica (ZVC), mirando en nuestra área de estudio a los volcanes Misti, Chachani y Pichu Pichu.

CONTEXTO GEOLÓGICO

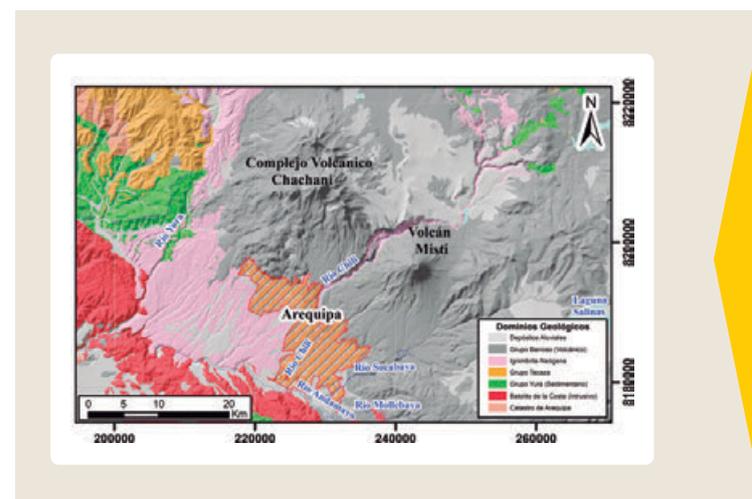
La diversidad geológica en torno a la ciudad de Arequipa se representa en la figura 1. Se encuentra el grupo barroso (Complejo Volcánico Chachani, volcán Misti y volcán Pichu Pichu) (Aguilar, et al. 2022; Mariño, et al. 2016). Ignimbritas neógenas (Ignimbrita Río Chili, Ignimbrita la Joya, Ignimbrita Aeropuerto y el Tufo Yura) (Paquereau, et al. 2006).

Formación Chocolate, Formación Socosani, Grupo Yura (Formación Puente, Formación Cachios, Formación Labra, Formación Gramadal, Formación Hualhuani), Formación Murco y Formación Arcurquina. El Batolito de la costa. Grupo Tacaza y la Formación Huanca (Vargas, 1970).

Petrologicamente se pueden encontrar rocas sedimentarias principalmente del tipo (calizas, lutitas, areniscas, margas, limolitas y conglomerados), rocas volcánicas como (andesitas, dacitas y riolitas), rocas intrusivas como (granodiorita, tonalitas y gabrodioritas) y rocas metamórficas como (gneis).

Geocronológicamente hay rocas del precámbrico como el gneis Charcani, formaciones del jurásico-cretácico como el Grupo Yura y depósitos piroclásticos del holoceno y pleistoceno del Volcán Misti y el Complejo Volcánico Chachani.

En el contexto geológico de Arequipa, se puede observar orígenes respecto a esfuerzos de tensión y



► Fig. 1 Mapa de dominios geológicos en torno a la ciudad de Arequipa (Modificado de INGGEMMET).

compresión, por lo cual se han producido intrusiones plutónicas (batolito de la costa). Tenemos el Sistema de Fallas Cincha-Lluta-Incapuquio, Falla Ayo-Lluta-Arequipa, Falla Chili y Falla Aguada Blanca. Los recursos hídricos en Arequipa se manifiestan en aguas subterráneas (manantiales, fuentes termales, pozos y bofedales). En cuanto a la actividad minera hay depósitos metálicos (Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., etc.) y no metálicos (Cemento Yura S.A., etc.).

METODOLOGÍA

El proceso de valoración de geositios, inicia con una serie de fases previas a tener en cuenta antes de iniciar con las dos etapas esenciales de la valoración (inventario y cuantificación). Estas fases previas según Carcavilla (2007), consiste en: 1. Realizar la delimitación de la zona de estudio bajo ciertos criterios geológicos, administrativos, naturales o arbitrarios, 2. Recopilación bibliográfica y/o revisión de la literatura geológica como artículos científicos y tesis, nacionales e internacionales, así también: libros, presentaciones en congresos, normas y leyes de gestión del medio natural y cultural, mapas, crónicas, etc. artículos y contribuciones en publicaciones electrónicas. 3. Otro punto importante es la parte geológica del área de estudio como unidades, estructuras geológicas en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Según Elízaga y Palacio (1996), el objetivo general de un inventario de Sitios de Interés Geológicos (SIGs) debe ser: "Lograr el mayor grado de conocimiento de las características (geológicas de un lugar)" y deberá ser realizado "con un grado de detalle que permita una evaluación tanto del propio como de la incidencia del soporte geológico sobre la actividad humana" también afirman dichos autores que "a partir de los puntos elegidos pueda reconstruirse la historia geológica, su morfología y procesos actuales y sus características de utilización del territorio, recursos y actividad humana en su incidencia sobre el soporte geológico".

INVENTARIO

Es la primera etapa del proceso de valoración, el cual consiste en la 1. Identificación de potenciales geositios principalmente que destaquen en representatividad, integridad, rareza, conocimiento

científico y que cuenten con un gran valor geológico (Arias, 2021 y Brilha, 2005). 2. La evaluación cualitativa donde se evalúa aquellos geositios con características según tres aspectos fundamentales propuestas por Cendrero (1996), a. Valor intrínseco,

b. Potencial de uso y c. La necesidad de protección.

3. Selección de geositios en base a la evaluación cuantitativa se elige a los geositios pasan a ser estudiados con detalle, ello con la 4. caracterización de geositios donde se describe su ubicación, descripción geológica, valor intrínseco, potencial de uso, la necesidad de protección, un texto descriptivo y acompañado de un panel fotográfico (Modificado de Arias, 2021).

CRITERIOS EVALUADOS		VALORES				
		0	1	2	3	4
Valor intrínseco	Científico	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Educativo	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Turístico	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Potencial de uso	Accesibilidad		Difícil	Moderado	Fácil	
	Estado de vía		Malo	Regular	Bueno	
	Visibilidad		Malo	Regular	Bueno	
Necesidad de protección	Deterioro		Poco	Medio	Avanzado	
	Vulnerabilidad		Baja	Media	Alta	
	Grado de preservación		Baja	Media	Alta	

► Fig. 2 Criterios para la evaluación cualitativa (Arias, 2021).

Para la selección de geositios se consideran como mínimo el 50% de la suma total del valor intrínseco (Pantoja, 2017; Arias, 2021). En el valor intrínseco se evalúan los criterios: Científico, educativo y turístico, como se muestra en la figura 2, donde la suma total es de 12 puntos, para que el potencial geositio sea seleccionado debe tener un puntaje mayor a 6.

A continuación, se presenta algunos de los geositios los cuales fueron inventariados en la zona de estudio:

a. Quebrada Culebrillas (9 puntos)

Ubicado en el distrito de Uchumayo, es un importante afloramiento de la unidad blanca bien consolidada de hace 1.66 Ma de la ignimbrita Aeropuerto de Arequipa, la quebrada es angosta y se encuentra muy erosionada por diversos factores ambientales. Así mismo, en el geositio se pueden apreciar petroglifos

grabados en las paredes de la quebrada que posiblemente corresponda al periodo Horizonte Medio de la cultura Wari. Cada año en épocas de precipitación esta quebrada es afectada por lahares principalmente, además del peligro inminente por caída de rocas, por lo cual el geositio necesita urgente protección. El geositio posee un gran interés geomorfológico, volcánico y cultural.

de caída Fibroso I, depósito de caída Sacarosa, depósito de caída Fibroso II, depósito de caída Autopista, depósito de caída Sándwich Inferior, depósito de caída Sándwich Superior, depósito de caída 2ka, depósito de caída siglo XV, cenizas del Huaynaputina de 1600 d.C. El geositio posee un gran interés volcánico y tefroestratigráfico, además de ser importante para educar y realizar investigación científica.

c. Cráter del Misti (9 puntos)

Ubicado en los distritos de Cayma, Alto Selva Alegre, Miraflores y Chiguata. El cráter histórico del volcán Misti se encuentra emplazado en el cráter de hace 2 mil años del volcán Misti, la cumbre está conformada por un cráter elongado en dirección SE-NO. El cráter posee un diámetro de 935 m, con una profundidad de 150 m. La forma actual de dicho cráter se originó durante la erupción subpliniana de hace 2050 años. Dentro del cráter, y en su extremo sureste, se emplaza un pequeño cono intracrático, que en promedio posee un diámetro de 530 m y una profundidad de 200 m, donde se emplaza un domo de lava de 100 m de diámetro. El cráter en mención posiblemente está relacionado a erupciones de baja a moderada magnitud, ocurridos posteriormente a la erupción de 2050 BP, probablemente durante época histórica. La cima del volcán Misti alcanza una altura de 5822 msnm, y el piso del cráter está a 5550 msnm. Al llegar a la cima desde la ruta Chiguata, se puede observar la cruz del Misti, la garganta del diablo y el camino hacia el cráter del volcán Misti. El geositio posee un gran interés geomorfológico, volcánico y cultural.



► Fig. 3 Ingreso a la Quebrada Culebrillas, donde se pueden apreciar los petroglifos tallados en las paredes de la ignimbrita aeropuerto en estructura de disyunciones columnares.

b. Caídas Arcoíris (9 puntos)

Ubicado en el distrito de Cayma. En el geositio tenemos hasta veinte depósitos de caída con una discordancia angular particular, que le da la apariencia de arcoíris al afloramiento. Los depósitos de caída más importantes desde la base hacia al techo son: depósito



► Fig. 4 Depósitos de caída piroclástica del volcán Misti a 9.5km del mismo, afloramiento al costado de la carretera a la escuela de policías.



► Fig. 5 Vista SE donde se muestra el cráter histórico del volcán Misti, más al fondo el volcán Pichu Pichu.

d. Cerro Pillo (7 puntos)

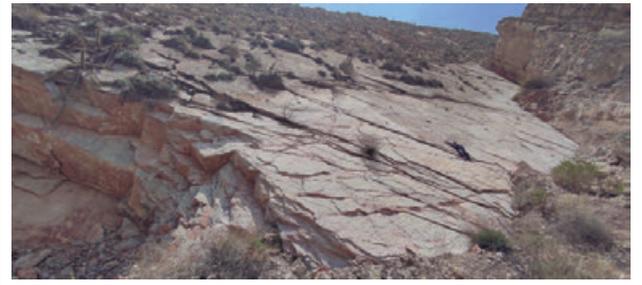
Ubicado en el distrito de Socabaya. El geositio se trata de una intrusión plutónica del tipo batolítico, donde se encuentran rocas intrusivas de diferentes tipos como, gabrodiorita, aplitas y en algunas zonas se encuentran gneis. También se encuentran fenocristales de anfíboles, cuarzos masivos y estructuras como sills, stocks y diques. El geositio tiene un gran interés geomorfológico, petrológico y mineralógico.



► Fig. 6 Vista N desde el cerro Pillo, al fondo se aprecian los volcanes Misti y Chachani.

e. Calizas Tabulares de la Formación Arcurquina (7 puntos)

Ubicado en el distrito de Yura camino a Liquirca, este sobreyace a la formación Murco y subyace a la formación Chilcane. Estructuralmente las rocas calcáreas se encuentran fuertemente plegadas formando sinclinales y anticlinales. Petrológicamente está constituido por wackestone, packstone bioturbadas, y mudstone. En el geositio se puede encontrar fósiles como ostrácodos, equinodermos y bivalvos. El geositio posee un gran interés geomorfológico, estratigráfico, paleontológico, tectónico y petrológico, además de ser un hermoso



► Fig. 7 Calizas tabulares distinguibles de hasta 1000m de espesor.

paraje por su estética paisajística y por su importancia para realizar investigación científica y educativa.

f. Fuente Termal Tapia (7 puntos)

Ubicado en el distrito de Yura, a un costado del río Yura, en el geositio se aprecian hasta 3 surgimientos, una de ellas embalsada (poza), alrededor de este se encuentran rocas: como calizas y conglomerados. también Ignimbrita, las cuales favorecen a que aflore la fuente termal, la temperatura medida en este lugar es de 33.2 °C. El geositio tiene un gran interés geomorfológico e hidrogeológico.



► Fig. 8 Poza Tapia, al costado del río Yura.

CONCLUSIONES

Arequipa presenta una importante geodiversidad, pero carece de un estudio detallado de su patrimonio geológico, por lo que es indispensable realizar un proceso de valoración acorde a nuestra área de estudio, donde predominan geositios de interés volcánico debido a la presencia del arco volcánico frontal. La geomorfología por la actividad tectónica y sedimentaria por la gran cuenca de sedimentación.

Los geositos en torno a la ciudad de Arequipa fueron principalmente de interés geomorfológico, volcánico, estratigráfico, petrológico, mineralógico, paleontológico, hidrogeológico, tectónico, sedimentológico y minero.

A partir del proceso de valoración, en esta primera etapa se identificaron 36 potenciales geositos, pero después de aplicar la evaluación cualitativa se seleccionaron y caracterizaron 33.

PERSPECTIVAS A FUTURO

Los resultados son aún preliminares pues actualmente se siguen identificando más potenciales geositos que tengan las características geológicas "singulares y representativas" para enriquecer el inventario.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a mis padres por todo su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

También quiero agradecer al equipo del Volcán Misti, M.Sc. Jersy Mariño, M.Sc. Kevin Cueva, Ing. Carla Arias, Ing. Juan Cuno y colega Andres Tisce por haber aportado en mi formación personal y profesional.

Por último, quiero agradecer a todos los integrantes del Observatorio Vulcanológico del INGEMMET.

REFERENCIAS

- ▶ Acosta, J.; Rodríguez, I.; Huanacuni, D. & Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - INGEMMET. (2011). Memoria sobre la geología económica de la región Arequipa. INGEMMET, Dirección de recursos minerales y energéticos, 43 p.
- ▶ 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>.
- ▶ 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.
- ▶ Brilha, J. (2005). Patrimonio geológico e geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage Editores, 183 p.
- ▶ Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites. *Geoheritage*, pp 120-130.
- ▶ Carcavilla, L.; Lopez, J. & Duran, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Madrid, Spain: Instituto Geológico y Minero de España, 360 p.
- ▶ Carpio, J.; Quispe, B.; Peña, F. & Sulca, P. (2022). Hidrogeología de la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili (132). INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología, 15, 381 p.
- ▶ Cendrero, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. In: El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, pp 17-27.

- ▶ Díaz, A. & Ramírez, J. (2010). Estudio Geológico- Económico de Rocas y Minerales Industriales de Arequipa y Alrededores. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 22, 163 p.
- ▶ Elízaga, E. & Palacio, J. (1996). Valoración de puntos y/o lugares de interés geológico. El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización, 61-79.
- ▶ Mamani, M.; Wörner, G. & Sempéré, T. (2010). Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): tracing crustal thickening and magma generation through time and space. Geol Soc Am Bull, 122: 162-182.
- ▶ Mariño, J.; Rivera, M.; Thouret, J.C. & Macedo, L. (2016). Geología y Mapa de Peligros del Volcán Misti. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica y Ingeniería Geológica, 60, 170 p.
- ▶ Mariño, J.; Cueva, K.; Thouret, J.-C.; Arias, C.; Finizola, A.; Delcher, E.; Fauchard, C.; Donnadieu, F.; Labazuy, P.; Japura, S.; Gusset, R.; Sanchez, P.; Ramos, M.; Macedo, L.; Lazarte, I.; Thouret, L.; Del Carpio, J.; Jaime, L. & Saintenoy, T. (2021). Multidisciplinary Study of the Impacts of the 1600 CE Huaynaputina Eruption and a Project for Geosites and Geo-touristic Attractions. *Geoheritage*, 13-64
- ▶ Martínez, P. (2021). Identificación, caracterización y cuantificación de geositos, para la creación del I geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío [Memoria para optar al Título de Geólogo]. Universidad de Chile.
- ▶ Pantoja, I. (2017). Geopatrimonio de la Península la Carmela, región de Aysén, Chile [Tesis de Geólogo]. Universidad Nacional Andrés Bello.
- ▶ Paquereau-Lebti, P.; Thouret, J.-C.; Wörner, G. & Fornari, M. (2006). Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, Southern Peru: Stratigraphical and petrological correlations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. p. 251-275.
- ▶ 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.
- ▶ Sánchez, A.; Zapata, A. & Zambrano, K. (2015). Contexto geológico de Arequipa para la caracterización del Patrimonio Geológico. 1er Simposio Geoparques. p. 48-51.
- ▶ Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 24, 64 p.
- ▶ Zavala, B. & Fidel, L. (2002). Necesidad de un inventario geológico para su protección y conservación como patrimonio geológico. Congreso Peruano de Geología. 11, p. 1007-1024.
- ▶ Zavala, B.; Mariño, J. & Peña, F. (2016). Guía Geoturística del valle de los volcanes de Andahuay, INGEMMET. Boletín, Serie I: Patrimonio y Geoturismo, 6, 424 p.
- ▶ Zavala, B.; Churata, D. & Varela, F. (2019). Geodiversidad y patrimonio geológico en el valle del Colca. INGEMMET, Boletín, Serie I: Patrimonio y Geoturismo, 9, 303 p.