

# ESTUDIO PRELIMINAR ACERCA DE LA GEOLOGÍA, PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL VOLCÁN SARA SARA (AYACUCHO) EN EL SUR DEL PERU

## *Preliminary study into geology, petrography and geochemistry of the Sara Sara volcano (Ayacucho) in south Peru*

**Kevin Cueva<sup>1-2</sup>, Marco Rivera<sup>1</sup>, Pablo Samaniego<sup>3a</sup>, Jean-Luc Le Pennec<sup>3b</sup>, Céline Lourzu<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico de INGEMMET – Barrio Magisterial Nro. 2 – B16 Umacollo – Arequipa

<sup>2</sup> Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Av. Independencia s/n – Cercado – Arequipa

<sup>3a</sup> Laboratoire Magmas et Volcans, Université Clermont-Auvergne, CNRS, IRD, 5, rue Kessler, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

<sup>3b</sup> Laboratoire Magmas et Volcans – IRD, Alemania N32-188 y Guayanas, Quito – Ecuador<sup>4</sup> Laboratoire Domaines Océaniques, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale, Rue Dumont d'Urville, 29280 Plouzané, Francia

### ABSTRACT

The Sara Sara volcano (5505 masl.) is a composite volcano located south of the department of Ayacucho in Perú. This volcano is characterized by a series of eruptions of magnitude between 3 and 5. According to the stratigraphy and location of the Sara Sara erupted deposits, (1) the first eruptive episode termed "Sara Sara I" was effusive with lava flows, (2) the period "Sara Sara II" was dominated by an explosive activity resulting in pumice and ash-rich pyroclastic-flow deposits, followed by (3) growth and collapse of summit domes. Later, the period "Sara Sara III" was dominated by fallout deposits, products of Plinian and sub-Plinian eruptions. (4) The most recent effusive eruptive period termed "Sara Sara IV" produced relatively youthful lava flows. The rocks show a mineralogical ensemble of plagioclase, quartz, biotite, amphibole, oxides and volcanic glass. The composition of lavas ranges from dacites (65.1-69.9 wt.% SiO<sub>2</sub>) to rhyolites (70.1-73.6 wt.% SiO<sub>2</sub>). Los diagramas de elementos traza no presentan cambios significativos entre las diferentes etapas evolutivas del volcán Sara Sara.

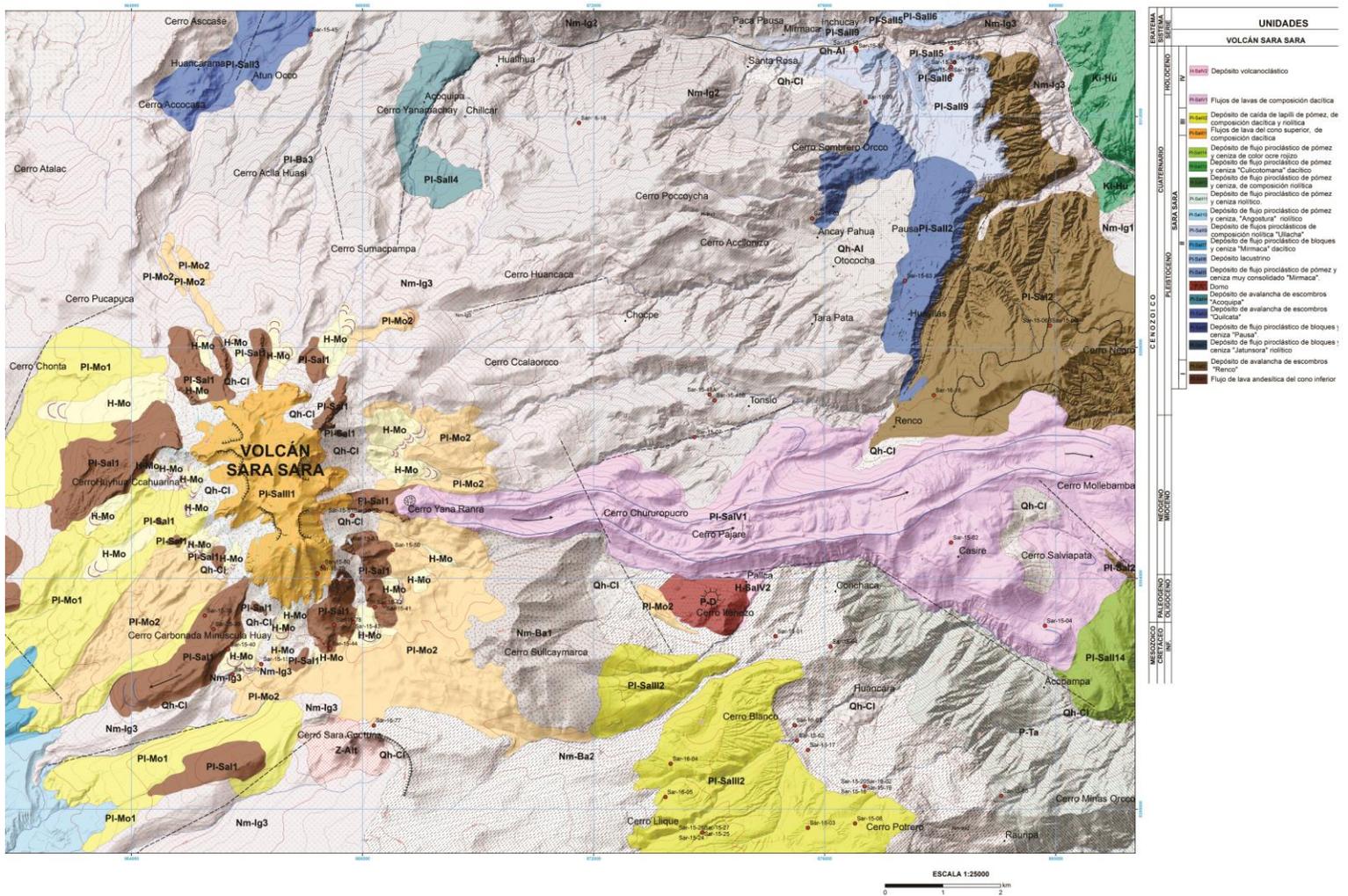
**Palabras claves:** Volcán compuesto, flujos piroclásticos, caída piroclástica, pómez, Volcán Sara Sara.

**Keywords:** Composite volcano, pyroclastic density currents, tephra fallout, pumice, Sara Sara volcano.

### INTRODUCCIÓN

El volcán Sara Sara se encuentra ubicado a 240 km al NO de la ciudad de Arequipa, en el departamento de Ayacucho. Es un volcán localizado en la parte más septentrional de la Zona Volcánica Central de los Andes (CVAZ, de Silva y Francis, 1991). Se ubica en la región de Ayacucho (Fig. 1), entre las provincias de Paúcar del Sara Sara y Parinacochas, a 12 km al SO del poblado de Pausa, el cual constituye el centro poblado (3000 habitantes) más cercano al volcán. Se trata de un estratovolcán de edad Pleistocénica (Morche y Nuñez, 1998), con una forma irregular que se asemeja a un cono truncado, cuyo punto más elevado se encuentra a 5505 m sobre el nivel del mar (snm). En base al cartografiado geológico, a los estudios estratigráficos, al análisis de imágenes satelitales y al estudio de la composición química y mineralogía de las muestras de este volcán, se pudo establecer

cuatro etapas evolutivas para este centro de emisión (desde “Sara Sara I” hasta “Sara Sara IV”). Flujos de lava y voluminosos flujos piroclásticos y depósitos de caída piroclástica tuvieron un radio de dispersión mayor de 20 km alrededor del volcán.



**Fig. 1** Mapa geológico preliminar del volcán Sara Sara, localizado en la parte más septentrional de la Zona Volcánica Central de los Andes.

## METODOLOGÍA

Para realizar dicho estudio, entre los años 2015 y 2016 se realizaron cuatro campañas de campo en los alrededores del volcán Sara Sara con el objeto de realizar el cartografiado geológico de los depósitos emitidos por el volcán, elaboración de columnas estratigráficas, la correlación estratigráfica y el muestreo de los productos emitidos por el volcán. En gabinete se procedió con el estudio de secciones delgadas con un microscopio petrográfico, correlaciones de columnas estratigráficas y la elaboración e interpretación de la data geoquímica analizada en el Laboratorio Domaines Océaniques (Universidad de Bretagne Occidentale, Francia). Todo ello con el objetivo de conocer características de la actividad volcánica pasada, así como determinar el modo de evolución de los magmas.

## RESULTADOS

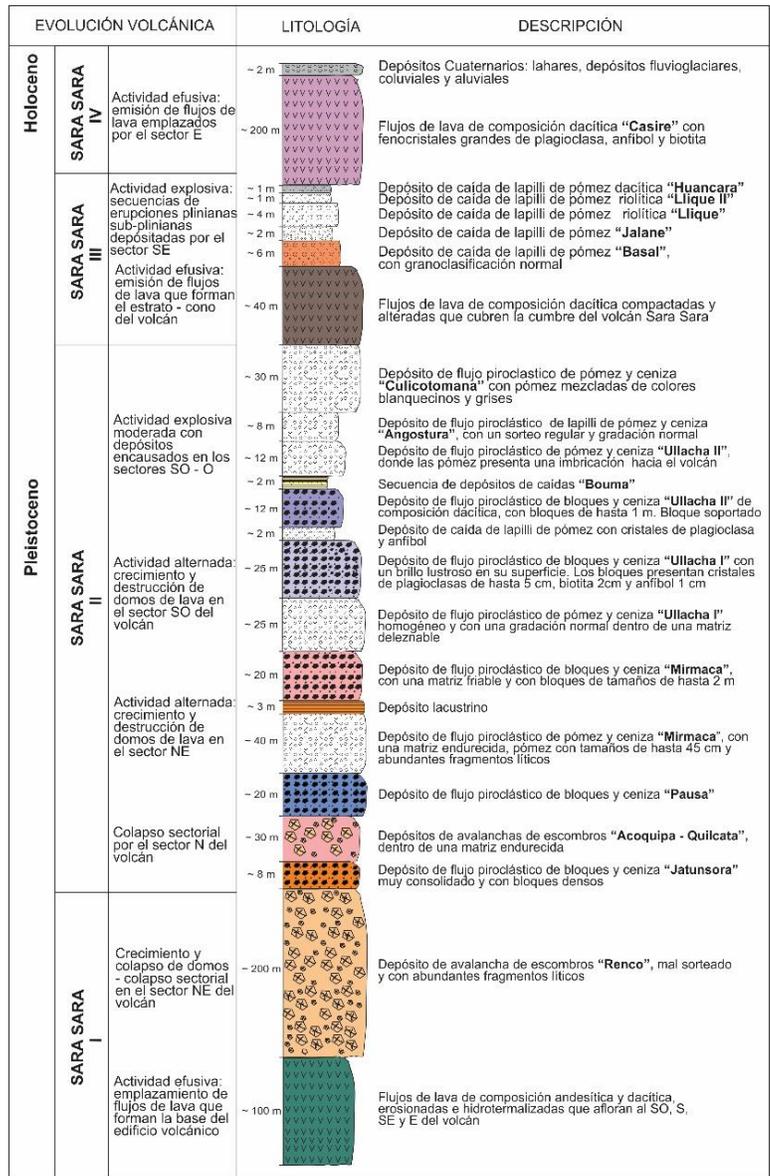
### EVOLUCIÓN MAGMÁTICA

Como se puede apreciar en la columna estratigráfica generalizada (Fig. 2), en el primer episodio eruptivo “Sara Sara I” se emplazaron flujos de lavas de composición dacítica (65.1–67.8 wt. % SiO<sub>2</sub>), producto de una actividad efusiva. Las lavas descansan sobre lavas andesíticas pertenecientes al Grupo Barroso de edad desde 3 a 1 Ma (Mamani et al., 2010; Thouret et al., 2016). La segunda etapa “Sara Sara II” estuvo dominada por un vulcanismo de tipo explosivo, producto de erupciones violentas de tipo plinianas ubicadas al Oeste del volcán, además de una actividad extrusiva con el crecimiento y colapso de domos (Fig. 2). Se emplazaron hasta diez depósitos entre flujos piroclásticos de pómez y cenizas, y flujo de bloques y ceniza de composición dacítica a riolítica (65.1–73.6 wt. % SiO<sub>2</sub>), así como depósitos de caídas de lapilli de pómez.

En la etapa “Sara Sara III” ocurrieron una serie de erupciones efusivas que emplazaron flujos de lava en bloques de composición dacítica, las cuales forman parte del actual edificio volcánico del Sara Sara. Además, presentó erupciones explosivas del tipo pliniano -

subpliniano que depósitos al menos seis capas de caídas de lapilli de pómez de composición dacítica y riolítica (66.3-72.7 wt. % SiO<sub>2</sub>) de hasta 5 m de espesor, ubicados mayormente al SE-O y SO del volcán Sara Sara.

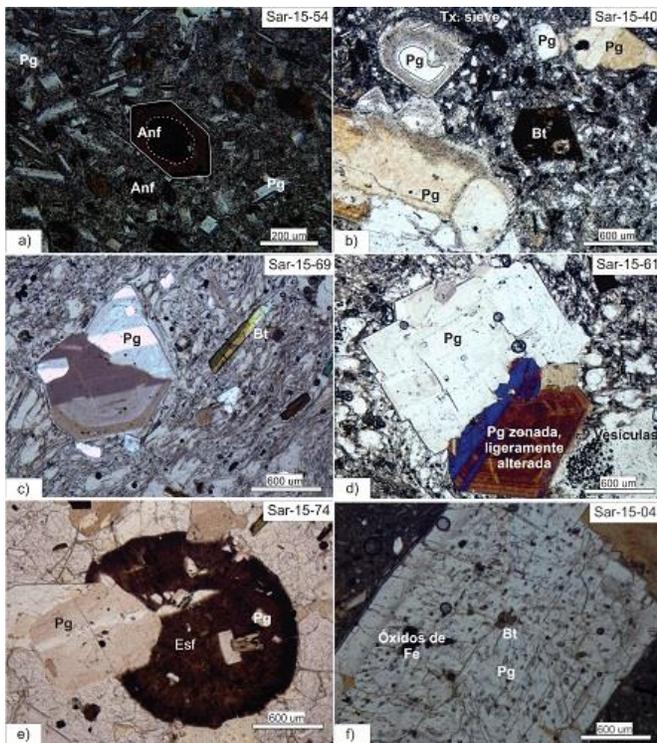
En la cuarta etapa denominada “Sara Sara IV” emitió flujos de lava dacíticos (65.2 – 66.1 wt. % SiO<sub>2</sub>) a través de un cráter localizado justo al pie del flanco Este del volcán Sara Sara (Fig. 2). Estos flujos descendieron al Este en dirección a poco más de 14 km en dirección al río Marán.



**Fig. 2** Columna estratigráfica generalizada de los depósitos emitidos durante las cuatro etapas de formación del volcán Sara Sara.

## PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS

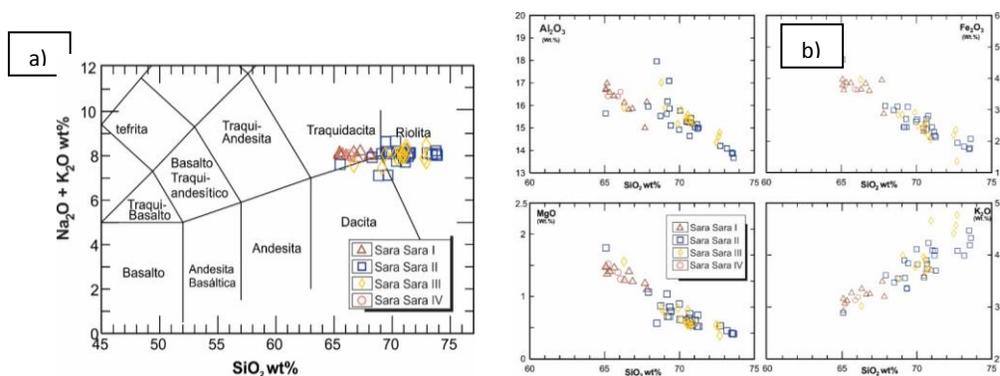
Las rocas dacíticas y riolíticas del volcán Sara Sara están constituidas por fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita, anfíbol, óxidos y vidrio volcánico, con una textura porfirítica y matriz microlítica (flujos de lava); vesiculada, vítrea y fluidal (flujos piroclásticos y depósitos de caídas de pómez). Los depósitos de flujos de lava en el Sara Sara I, II, IV, presentan cristales de plagioclasa de forma euhedral de hasta 5 cm. Con respecto a los fenocristales de plagioclasa, algunos que corresponden al Sara Sara I (flujos de lava), Sara Sara II (flujos piroclásticos de pómez y ceniza) y Sara Sara III (depósitos de caídas) presentan texturas de desequilibrio “sieve” ubicadas en los bordes del cristal (Fig. 3). Los fenocristales de plagioclasa en el Sara Sara II (flujos piroclásticos de bloques y ceniza) y Sara Sara IV (flujos de lava) con caras limpias e inclusiones de óxidos de Fe-Ti y biotitas. La petrografía del volcán Sara Sara muestra que no existen muchas diferencias entre las etapas Sara Sara I y IV, siendo muy homogéneo en cuanto a sus características de acuerdo a cada depósito.



**Fig. 3** Fotografías de secciones delgadas de lavas y pómez de los depósitos emitidos por el volcán Sara Sara: a) Roca de domo de un flujo piroclástico de bloques y ceniza dacítico donde se ve un fenocristal de anfíbol (Anf) zonado en una matriz con microcristales de plagioclasa euhedrales. b) Lava dacítica con fenocristales de plagioclasa (Pg) fracturadas con bordes de textura “sieve” y biotita (Bt) oxidada, en una matriz con abundantes microlitos de plagioclasa (Pg). Muestras de flujos piroclásticos riolíticos correspondientes al Sara Sara II y III c) Roca de domo con fenocristales de plagioclasa zonados (Pg) en una matriz con textura fluidal. d) Pómez con sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg) blanquecina, sobre una alterada y zonada (Pg) e) Esferulita de vidrio volcánico con sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg). f) Fenocristal de plagioclasa (Pg) con inclusiones de biotitas (Bt) y óxidos de Fe-Ti.

## GEOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS VOLCÁNICOS

Las rocas del volcán Sara Sara presentan composiciones desde dacitas (65.1–69.8 wt. % SiO<sub>2</sub>; 2.9–4.0 wt. % K<sub>2</sub>O) hasta riolitas (70.1–73.6 wt. % SiO<sub>2</sub>; 3.6–4.8 wt. % K<sub>2</sub>O) (Fig. 4a). A nivel de los elementos mayores, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, presentan una marcada correlación negativa con respecto a SiO<sub>2</sub>, a diferencia de una marcada correlación positiva que presenta el K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub> (Fig. 4b). En general, los diagramas muestran buenas correlaciones lineares que son compatibles con un modelo de evolución de cristalización fraccionada probablemente ocurrido al interior de una cámara magmática. De la misma manera los diagramas de elementos traza no presentan cambios significativos entre las diferentes etapas evolutivas del volcán Sara Sara.



**Fig. 4** a) Diagrama de clasificación de rocas del volcán Sara Sara, “Total de alcalinos vs. Sílice” (TAS).

b) Diagrama de Harker que muestran las variaciones de elementos mayores con respecto a la sílice.

## CONCLUSIONES

El volcán Sara Sara tuvo episodios eruptivos muy explosivos como los generados durante la etapa “Sara Sara II”, así como efusivos en el “Sara Sara I y IV” con emisiones de flujos de lava visibles en la base y al Este del volcán. Las rocas dacíticas y riolíticas del volcán Sara Sara, muestran un ensamble mineralógico constituido de plagioclasa, cuarzo, biotita, anfíbol, óxidos de Fe-Ti y vidrio volcánico. Se presentan textura de desequilibrio denominada “sieve” en los flujos de lava (“Sara Sara I” y III), flujos piroclásticos (“Sara Sara II”) y depósitos de caídas (“Sara Sara III”), a diferencia de los flujos piroclásticos de bloques y ceniza que presentan inclusiones de biotitas, apatito, óxidos de Fe-Ti, etc. La composición de las rocas abarca desde dacitas (65.1–69.9 wt. %  $\text{SiO}_2$ ) hasta riolitas (70.1 – 73.6 wt. %  $\text{SiO}_2$ ) indica la explosividad de los periodos eruptivos del volcán. Los diagramas de elementos traza no presentan cambios significativos entre las diferentes etapas evolutivas del volcán Sara Sara. El volcán Sara Sara ha emitido depósitos en un radio de influencia de 20 km alrededor del volcán donde se encuentran emplazados importantes centros poblados y anexos tales como: Pausa, Tonsio, Huancara, Quilcata, Mirmaca, entre otros. Una población total de casi 20000 habitantes (INEI, 2009) se vería afectada en caso de una eventual reactivación del volcán, así como también obras de infraestructura localizadas en la zona.

## REFERENCIAS

- De Silva S., Francis, P. (1991). Volcanoes of the Central Andes. Springer, Berlín, 216 pp.
- Thouret, J., Jicha, B., Paquette, J., Cubukcu, E. (2016) – A 25 myr chronostratigraphy of ignimbrites in South Perú: implications for the volcanic history of the Central Andes. *J. Geol. Soc. London* 173, 734-756. DOI: 10.1144/jgs2015-162.
- Mamani, M., Wörner, G. Sempere, T. (2009) – Geochemical variation 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. Amer. Bull.* 122, 1-2, 162-182.
- Morche, M., Núñez, S. (1998). Estudio del riesgo geológico del volcán Sara Sara. - Boletín N°21- Serie C – Geodinámica e Ingeniería Geológica – INGEMMET, Lima, Perú, 58 p.
- Pecho, V. (1983). Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí. –Boletín N°37, Serie A, INGEMMET, Lima, Perú.