

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE GEOLOGÍA GEOFÍSICA Y MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



**ESTUDIO GEOLÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DEL
VOLCÁN SARA SARA (AYACUCHO)**

Tesis presentada por el Bach.

KEVIN ARNOLD CUEVA SANDOVAL

**Para optar el Título Profesional de
INGENIERO GEÓLOGO**

Asesores:

Dr. Fredy F. García Zúñiga - UNSA

Dr. Marco A. Rivera Porras - INGEMMET

Arequipa – 2016

DEDICATORIA

A mis queridos padres:

Fredy Cueva Ugarte

Ana Sandoval Santamaría

A mis hermanos:

Anthony Cueva Sandoval

Ayrthon Cueva Sandoval

A mis compañeros del Observatorio Vulcanológico de INGEMMET, docentes y amigos de la escuela profesional de Ingeniería Geológica (UNSA).

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que me apoyaron en mi formación personal y profesional.

Agradezco principalmente a mis padres, Fredy Cueva Ugarte y Ana Sandoval Santamaría, por su apoyo y ayuda para superar los retos y obstáculos que se me presentaron y que ellos con su dedicación me encaminaron a buscar la mejor manera de solucionarlos.

A mis hermanos Anthony Cueva y Ayrthon Cueva, que fueron mi inspiración y que con su optimismo y perseverancia me ayudaron a continuar con mi metas trazadas en mi vida profesional. Así mismo agradezco a todos mis profesores por sus enseñanzas, consejos y experiencias impartidas durante mi transcurso por la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de San Agustín.

Agradezco a mis asesores Dr. Marco Rivera y Dr. Freddy García, que con su ayuda fueron mis guías y líderes para desarrollar esta tesis, con sus revisiones detalladas y sus recomendaciones que permitieron encontrar en mí el espíritu de investigador para desarrollarme como profesional en la vulcanología.

De una manera especial al Dr. Chris Harpel, Dr. Heather Wright, Ing. Luisa Macedo, Ing. Jersy Mariño, Ing. Rigoberto Aguilar e Ing. Jessica Vela, quienes me pudieron orientar para realizar con éxito este trabajo.

Agradezco al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico y al Observatorio Vulcanológico de INGEMMET, por haberme permitido realizar este estudio en sus instalaciones, así como también permitir el procesamiento de sus datos.

RESUMEN

El volcán Sara Sara está localizado a 12 km al SE del pueblo de Pausa, región Ayacucho y forma parte de la denominada Zona Volcánica Central de los Andes (ZVCA; de Silva y Francis, 1991). Se trata de un estratovolcán erosionado, con una forma irregular que se asemeja a un cono truncado, el cual presenta una altura de 5505 msnm.

Este volcán ha presentado una serie de procesos eruptivos en el pasado, los cuales han sido ordenados estratigráficamente de la siguiente manera preliminar:

En el primer episodio eruptivo “Sara Sara I – Basal” se emplazaron depósitos de flujos de lavas, erosionadas, de composición dacítica (65.1 – 67.8 wt. % SiO₂), producto de una actividad efusiva lávica. Posterior a ello se dió la formación de un conjunto de domos en el sector NE del volcán Sara Sara y un probable colapso de flanco que dió la depositación de una avalancha de escombros denominada “Renco” en inmediaciones de la localidad de Pausa, con un volumen aproximado de 2 a 2.5 km³.

La segunda etapa “Sara Sara II - Intermedio Inferior” estuvo dominada por un vulcanismo de tipo explosivo, producto de erupciones violentas de tipo subplinianas, además de una actividad extrusiva con el crecimiento y colapso de domos. Se emplazaron hasta diez depósitos entre flujos piroclásticos de pómez y ceniza y flujos piroclásticos de bloques y ceniza de composición dacítica a riolítica (65.1 – 73.6 wt. % SiO₂), cuyos afloramientos podemos encontrarlos por las quebradas ChaquiHuayjo, Jatunsora, Ullacha, Ullacha Chico, Culé y Pausa, ubicadas al SO, O y NE del volcán Sara Sara.

En la tercera etapa “Sara Sara III - Intermedio Superior” ocurrieron una serie de erupciones efusivas que emplazaron flujos de lava de composición dacítica, las cuales forman el actual edificio volcánico del Sara Sara, además de erupciones explosivas del tipo pliniano – subpliniano con al menos seis depósitos de caídas de lapilli de pómez de composición dacítica y riolítica (66.3 - 72.7 wt. % SiO₂) de hasta 8 m de espesor, ubicados mayormente al SE-O y SO del volcán Sara Sara. Uno de los depósitos de caídas más antiguos que yacen al Oeste del volcán, cerca de la laguna Parinacochas, ha sido datada en C14 de 49,200 y 44500 AP correspondiente al periodo del Pleistoceno Tardío (Thouret et al., 2003).

En la cuarta etapa denominada “Sara Sara IV – Reciente” se emplazaron flujos de lava dacíticos (65.2 – 66.1 wt. % SiO₂) en el sector Este del volcán Sara Sara, cerca del poblado de Casire, ligados a un vulcanismo efusivo. Estos flujos son los productos más jóvenes emitidos por el volcán,

presentando una longitud máxima de hasta 17 km desde un vento localizado al Este del Sara Sara hasta llegar al cañón del río Uchubamba.

Según el estudio petrográfico de las rocas del volcán Sara Sara, estas presentan fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol principalmente, con una textura porfirítica y matriz microlítica (flujos de lava); vesiculada, vítrea y fluidal (flujos piroclásticos y depósitos de caídas de pómez). En caso de los depósitos de tefras dacíticas y riolíticas, la pómez contiene abundante vidrio volcánico en la matriz, con presencia de vesículas alargadas y aplastadas en una textura fluidal.

Las rocas del volcán Sara Sara corresponden a la serie calco-alcalina fuertemente potásicas, con composiciones desde dacitas (65.1 – 69.8 wt. % SiO₂; 2.9-4.0 wt. % K₂O) hasta riolitas (70.1 – 73.6 wt. % SiO₂; 3.6-4.8 wt. % K₂O).

Con respecto a una evaluación de peligros del volcán Sara Sara, se tienen registros de que el volcán tuvo erupciones muy violentas en el pasado, suponiendo que en el caso de una probable reactivación de la cámara magmática y una erupción del volcán, la composición del magma sería del tipo dacítico debido a sus antecesoras erupciones, produciendo probablemente una serie de caídas de piroclastos, flujos piroclásticos u oleadas piroclásticas y lahares que se desplazarían por las principales quebradas ubicadas alrededor del volcán.

INTRODUCCIÓN

La subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental Sudamericana en el Sur del Perú produce la generación de magma, el crecimiento de volcanes y por ende la existencia de un arco volcánico. Actualmente la dirección de convergencia entre la placa de Nazca y la Sudamericana es N78°E, con una velocidad de 5-7 cm/año (*Somoza, 1998; Norabuena et al., 1999*). Este arco volcánico Plio-cuaternario de 1 000 km de largo es de naturaleza calco-alcalina con predominancias de andesitas, aunque es común encontrar magmas mucho más silíceos (*Delacour et al., 2007; Mamani et al., 2008*). El arco volcánico se encuentra situado sobre la cordillera occidental de los Andes, formando parte de la denominada Zona Volcánica Central de los Andes (CVZ; *de Silva y Francis, 1991*), sobre el cual se localizan todos los volcanes del sur del Perú.

Los estudios geológicos y vulcanológicos efectuados en el sur del Perú, han permitido visualizar la intensa actividad volcánica reciente manifestada por los siete volcanes activos, denominados como tal por que han tenido por lo menos una erupción durante el período correspondiente al Holoceno, es decir que mostraron actividad los últimos 10000 años aproximadamente, estos son el Sabancaya, Ubinas, Misti, Huaynaputina, Ticsani, Yucamane y Tutupaca (*Siebert et al., 2011*).

El volcán Sara Sara es considerado “potencialmente activo”, con registros de depósitos tales como flujos de lava, flujos piroclásticos con grandes espesores y enormes bloques de hasta más de 1 m (*Morche y Nuñez, 1998*) y depósitos de caída piroclásticas, en un radio de influencia de 20 km alrededor del volcán donde se encuentran emplazados importantes centros poblados y anexos tales como: Pausa, Tonsio, Renco, Casire, Huancara, Cayarac, Trapiche, Huacachipa, Gechcca, Quilcata, Acoquipa, Mirmaca, entre otros; donde habitan cerca de 20 mil habitantes (*INEI, 2009*), los cuales se verían afectados en caso de una eventual reactivación del volcán, así como también obras de infraestructura localizadas en la zona, causas justificables del motivo de la realización de esta tesis.

Esta tesis se ha desarrollado en el Observatorio Vulcanológico de INGEMMET y pretende caracterizar los depósitos emitidos, hacer un estudio petrográfico a detalle de las muestras recogidas y permitir saber acerca de la evolución magmática del volcán Sara Sara.

ESTUDIO GEOLÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DEL VOLCÁN SARA SARA (AYACUCHO)

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
INTRODUCCIÓN	V

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Ubicación	1
1.2 Accesibilidad.....	3
1.3 Trabajos anteriores.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general:	4
1.4.2 Objetivos específicos:	4
1.5 Metodología de trabajo.....	4
1.5.1 Trabajo en Gabinete	4
1.5.2 Trabajo de Campo	5
1.5.3 Trabajo de Laboratorio.....	5
1.6 Clima.....	6
1.7 Población e infraestructura.....	7

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 Volcanismo en el Perú.....	10
2.2 Unidades litológicas regionales.....	12
2.2.1 Grupo Yura.....	14

2.2.2 Grupo Tacaza	15
2.2.3 Formación Alpbamba	16
2.2.4 Grupo Barroso	17
2.3 Geología estructural y estructuras tectónicas regionales.....	19

CAPÍTULO III

GEOMORFOLOGÍA DEL VOLCÁN SARA SARA

3.1 Geoformas del volcán Sara Sara	21
3.1.1 Geoformas y unidades de origen glaciár	21
3.1.2 Geoformas y unidades de origen volcánico	25
3.1.3 Otras geoformas	26

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA DEL VOLCÁN SARA SARA

4.1 Estratigrafía preliminar del volcán Sara Sara.....	27
4.1.1 Depósitos volcanoclásticos antiguos	27
4.1.2 Edificio Sara Sara I - Basal	28
4.1.3 Edificio Sara Sara II - Medio inferior	33
4.1.4 Edificio Sara Sara III - Medio superior	47
4.1.5 Edificio Sara Sara IV - Reciente	57
4.1.6 Depósitos Cuaternarios	58

CAPÍTULO V

PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SARA SARA

5.1 Edificio Sara Sara I - Basal	62
Dacitas	62
Riolitas	64

5.2 Edificio Sara Sara II - Medio inferior	67
Dacitas.....	67
Riolitas	70
5.3 Edificio Sara Sara III - Medio superior	75
Dacitas.....	75
Riolitas	76
5.4 Edificio Sara Sara IV- Reciente	78
Dacitas.....	78

CAPÍTULO VI

GEOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS VOLCÁNICOS

6.1 Método analítico.....	81
6.2 Clasificación de la serie.....	81
6.3 Evolución de los elementos mayores	83
6.4 Diagramas de variación de elementos trazas.....	86
6.5 Diagramas multielementos.....	89
6.6 Diagramas de tierras raras	90

CAPITULO VII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

7.1 Evolución Geológica del volcán Sara Sara	92
7.2 Petrografía y Geoquímica de rocas del volcán Sara Sara.....	98
7.3 Evaluación de peligros	99

CONCLUSIONES	102
--------------------	-----

RECOMENDACIONES	103
-----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	104
-------------------	-----

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

- Foto 1.1** Vista del flanco Oeste del volcán Sara Sara, desde la laguna Parinacochas.
- Foto 2.1** Vista de la Formación Chocolate que aflora a 20 km al SO del volcán Sara Sara en la margen derecha aguas arriba del río Uchubamba.
- Foto 2.2** Secuencias sedimentarias estratificadas de la Fm. Hualhuani en el cerro Luicho, a 15 km al NE del volcán Sara Sara.
- Foto 2.3** Fotografía del contacto entre afloramientos de flujos de lavas al SE del volcán Sara Sara y lavas más antiguas que corresponden al Grupo Tacaza; las cuales se encuentran alteradas dentro de una matriz endurecida.
- Foto 2.4** Se muestra una fotografía con parte de la Ignimbrita Alpabamba, la cual aflora en los sectores NE, N del volcán Sara Sara.
- Foto 2.5** Afloramiento de lavas Pre-Sara Sara con fracturas verticales y diagonales, en la carretera hacia Pausa.
- Foto 3.1** Fotografía que muestra una delgada cobertura de hielo y nieve cubriendo al volcán Sara Sara. Vista del flanco Oeste del volcán.
- Foto 3.2** Imagen que muestra los circos glaciares visibles en el edificio del volcán Sara Sara.
- Foto 3.3** Ubicación de algunos valles glaciares en el sector SO del volcán Sara Sara.
- Foto 3.4** Delimitación de algunos depósitos morrénicos en el sector O del volcán Sara Sara. Morrenas del Pleistoceno 1 (PI-Mo1), Morrenas del Pleistoceno 2 (PI-Mo2) y Morrenas del Holoceno (H-Mo).
- Foto 3.5** Vista del sector Este del volcán Sara Sara, donde se puede apreciar un domo y los flujos de lava del Pre-Sara Sara y Casire del período Sara Sara IV a sus costados.
- Foto 4.1** Depósitos volcanoclásticos conformados por una secuencia de depósitos de caídas y flujos piroclásticos, así como por lahares estratificados ubicados en el sector NO del volcán Sara Sara.
- Foto 4.2** Afloramiento de flujos de lava de composición dacítica visible en el sector SO del volcán Sara Sara, donde se puede apreciar frentes de lavas con espesores de hasta 65 m.

- Foto 4.3** Afloramiento de avalanchas de escombros “Renco” depositada al costado y debajo del poblado de Pausa, con espesores de hasta 200m, ubicado en el sector NE del volcán Sara Sara.
- Foto 4.4** Fotografía del depósito de avalancha de escombros, donde se distinguen la facie matriz y la facie de bloques (60-70% de matriz y 30-40% de bloques).
- Foto 4.5** Colinas aisladas o “Hummocks” constituida por bloques incluidos dentro de una facie fina (material hidrotermalizado), pertenecientes a la parte más superficial del depósito de avalancha de escombros.
- Foto 4.6** Vista del depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Jatunsora”.
- Foto 4.7** Facies de bloques y de matriz en el afloramiento de las avalanchas de escombros”Acoquipa - Quilcata”.
- Foto 4.8** Afloramiento donde se ve un corte del depósito de avalancha de escombros con una potencia de más de 12 m, ubicado al costado derecho de la carretera Incuyo - Pausa.
- Foto 4.9** Depósito de avalancha de escombros que aflora en el poblado de Quilcata, dentro del cual se distinguen bloques de roca de hasta 5.0 m de diámetro.
- Foto 4.10** Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza dacítica “Pausa” que contienen bloques de más de 1 m ordenados en forma caótica.
- Foto 4.11** Fotografía donde se muestra al depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza “Mirmaca” de más de 6 m, en el sector NE del volcán Sara Sara.
- Foto 4.12** Fotografía donde se muestra al depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Mirmaca”, que aflora en el sector NE del volcán Sara Sara. Se puede observar bloques grises-rojizos englobados dentro de una matriz soportada.
- Foto 4.13** Fotografía del depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza “Ullacha I”, aflorando en la Quebrada Ullacha Grande, a 8 km al SO del volcán Sara Sara.
- Foto 4.14** Afloramiento del depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha I” visible en la quebrada Ullacha Grande, donde se aprecian enormes bloques de rocas de domo de hasta 1 m sobreyaciendo a un depósito intercalado de flujos de ceniza.

- Foto 4.15** Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha II” aflorando en la quebrada Ullacha Chico, al Oeste del volcán Sara Sara, donde se puede notar bloques que miden hasta más de 1 m.
- Foto 4.16** Secuencia de depósitos de caídas “Bouma”, con niveles de pómez ordenados con granoclasificación normal.
- Foto 4.17** Depósito de flujo piroclástico de composición riolítica denominado “Ullacha II” el cual presenta a las pómez imbricadas hacia una dirección preferencial.
- Foto 4.18** a) Parte basal del flujo piroclástico de pómez y ceniza “Angostura” en la quebrada del mismo nombre; b) Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza con espesor de hasta 6 m; c) Columna estratigráfica que muestran los depósitos que componen esta secuencia.
- Foto 4.19** Depósito de flujo piroclástico de composición dacítica, denominado “Culicotomana” algunas pómez presentan facies colores grises y blanquecinos.
- Foto 4.20** Flujo de lava de composición dacítica en el flanco SE y S del Sara Sara respectivamente.
- Foto 4.21** Depósito de caída “Basal”, el cual corresponde a una de las primeras erupciones explosiva del tipo pliniano, dispersadas al SE del Sara Sara, 9 km de la cima del volcán.
- Foto 4.22** Oleada piroclástica estratificada de color blanquecino, sobreyaciendo al depósito de caída “Basal”. En la parte superior se puede ver el depósito de caída “Jalane”, que cubre ambos depósitos.
- Foto 4.23** Depósito de caída “Jalane”, la cual presenta tres subniveles: a) Nivel superior de depósito de caída de lapilli de pómez y ceniza gris blanquecino, b) Nivel medio de ceniza y c) Nivel inferior de depósito de caída de lapilli de pómez blanquecino.
- Foto 4.24** Depósito de caída de lapilli de pómez riolítica “Llique”, en la carretera hacia Rauripa, al SE del volcán Sara Sara.
- Foto 4.25** Afloramiento en el sector de Llique, al Este del volcán Sara Sara donde se distingue: a) Depósito de caída de lapilli de pómez “Jalane”. b) Depósitos de oleadas piroclásticas de color gris y blanquecino. c) Depósito de caída de lapilli de pómez “Llique”. d) Depósito de oleada piroclástica estratificada. e) Depósito de caída de lapilli de pómez denominada “Llique II”.

Foto 4.26 Contacto entre los depósitos de caídas de “Llique” y “Llique II”, con su respectiva representación gráfica mediante una columna estratigráfica. Bt (Biotita), Pg (Plagioclasa).

Foto 4.27 A la izquierda, contacto entre caída riolítica “Llique” y dacítica “Huancara”, en la carretera Pausa-Marán, al SE del volcán Sara Sara, mientras que a la derecha columna estratigráfica de ambos depósitos de caídas.

Foto 4.28 Vista del flujo de lava en bloques Casire, ubicado al Este del volcán Sara Sara. Además se presenta una fotografía de una muestra de lava dacítica con fenocristales de plagioclasa de hasta 5 cm.

Foto 4.29 Afloramiento de depósito volcanoclástico-lahar por el sector Este del volcán Sara Sara.

Foto 5.1 Fotografías de secciones delgadas de lavas dacíticas correspondientes al “Sara Sara I” en luz polarizada y luz natural: a) Fenocristales de plagioclasa (Pg) y biotita (Bt) de más de 1 mm de tamaño, en una matriz microlítica. b) Fenocristales de plagioclasa (Pg) fracturada de bordes con textura “sieve” y anfíbol (Anf), en una matriz con abundantes microlitos de plagioclasa (Pg). c) Fenocristales de biotita (Bt) y plagioclasa (Pg) en una matriz microlítica. d) Cristales de plagioclasa (Pg) así como también de anfíbol (Anf) y biotita (Bt), fragmentados y oxidados, algunos presentando una textura “black”. e) Fenocristales de plagioclasa (Pg) con textura “tamiz” en los bordes, incluido en una matriz con abundantes microlitos de plagioclasa (Pg) y anfíbol (Anf). f) Fenocristal de clinopiroxeno en una matriz intersertal (Cpx) con inclusiones de óxidos en su interior.

Foto 5.2 Fotografías de secciones delgadas de bloques pertenecientes a la avalancha de escombros Renco del “Sara Sara I” en luz natural y polarizada: a) Fenocristales de sobrecrecimiento de plagioclasas (Pg). b) Fenocristal de plagioclasa (Pg) de forma subhedral con textura “tamiz” en los bordes, seguido de un intercrecimiento de plagioclasa. c) y d) Cristales de anfíbol (Anf) con gruesos bordes de oxidación. e) Fenocristales de anfíboles (Anf) y biotitas (Bt) oxidados. f) Aglomeramiento de plagioclasas (Pg) fragmentadas junto con biotitas (Bt) con textura “Black”, debido al reemplazamiento de algunos fenocristales por óxidos.

Foto 5.3 Fotografías de secciones delgadas de flujos piroclásticos de bloques y ceniza dacíticas del “Sara Sara II” en luz natural y polarizada: a) Fenocristal de anfíbol (Anf) zonado en una matriz con microcristales de plagioclasa euhedrales. b) Cristales de anfíboles (Anf) dentro de una matriz microlítica. c) Fenocristal de apatito (Ap) de forma euhedral, que mide 200

um. d) Fenocristales de anfíbol (Anf) con bordes de oxidación e) Fenocristales de plagioclasas (Pg) fragmentadas y biotita (Bt) ligeramente oxidada, en una matriz vesiculada. f) Fenocristales de biotitas (Bt) euhedrales en una matriz con abundantes microlitos y microcristales de plagioclasas.

Foto 5.4 Fotografías de secciones delgadas de depósitos de flujos piroclástico de bloques y ceniza riolíticas correspondientes al “Sara Sara II” en luz polarizada: a) Cristales de plagioclasas (Pg) euhedrales dentro de una matriz con abundantes vesículas. b) Fenocristales de anfíboles (Anf) con inclusiones de óxidos en su interior. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) ligeramente alterado en una matriz con textura fluidal d) Fenocristal de anfíbol (Anf) con inclusiones de óxidos en su interior e) Esferulita de vidrio volcánico con sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg). f) Fenocristal de anfíbol (Anf) con bordes de oxidación.

Foto 5.5 Fotografías de secciones delgadas de depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, correspondientes al “Sara Sara II” en luz natural y polarizada: a-b) Fenocristales de plagioclasa (Pg), dentro de una matriz vesiculada y fluidal, algunos presentan bordes reabsorbidos. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) y biotita (Bt), dentro de una matriz vesiculada. d) Sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg) blanquecina, sobre una alterada y zonada, fenocristales de plagioclasa (Pg), los cuales se encuentran fragmentados. f) Fenocristales de biotitas (Bt) de más de 1 mm, en una matriz vesiculada.

Foto 5.6 Fotografías de secciones delgadas de lavas dacíticas pertenecientes al “Sara Sara IV”: a) Fenocristal de biotita (Bt), con inclusiones de apatito (Ap) de forma anhedral. b) Fenocristales de plagioclasas (Pg) alteradas dentro de una matriz microlítica. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) fracturada, con inclusiones de biotitas (Bt) y con bordes de reacción. d) Fenocristales de biotitas (Bt) y plagioclasas (Pg) dentro de una matriz microlítica. e) Fenocristales de plagioclasas (Pg) y biotitas (Bt) ligeramente alterados. f) Fenocristal de plagioclasa (Pg) con inclusiones de biotitas (Bt) y óxidos de Fe-Ti.

Foto 7.1 El distrito de Pausa ubicado a 12 km al NE del volcán Sara Sara. En este distrito habitan más de 2 700 personas (INEI, 2009), dichos pobladores se dedican a la agricultura, ganadería y comercialización.

RELACIÓN DE FIGURAS

Fig. 1.1 Mapa de ubicación del volcán Sara Sara, localizado en la parte más septentrional de la Zona Volcánica Central de los Andes.

Fig. 2.1 A la izquierda, modelo teórico de generación de magmas en una margen continental activo, caso de los Andes de Sudamérica (Winter, 2001); a la derecha, mapa de Sudamérica donde se muestran las Zonas Volcánicas en los Andes (Ramos y Alemán, 2000).

Fig. 2.2 Distribución de la cadena de volcanes del Plio-Pleistoceno en el Sur del Perú, donde se puede apreciar la ubicación del Sara Sara, el cual se encuentra enmarcado.

Fig.2.3 Mapa Geológico del Cuadrángulo de Pausa.

Fig.2.4 Columna Estratigráfica General del Cuadrángulo de Pausa.

Fig. 2.5 Mapa de estructuras tectónicas y lineamientos regionales identificados en al área que comprende al volcán Sara Sara.

Fig. 4.1 Columna estratigráfica de la zona de Renco, al NE del volcán Sara Sara, donde se aprecia la avalancha de escombros Renco y un flujo piroclástico de bloques y ceniza sobreyaciéndolo.

Fig. 4.2 Mapa geológico preliminar del volcán Sara Sara.

Fig. 4.3 Columna estratigráfica donde se muestra a los depósitos de flujos piroclásticos ubicados al NE del volcán Sara Sara.

Fig. 4.4 Columna estratigráfica donde se muestra a los depósitos de flujos piroclásticos ubicados al O-SO del volcán Sara Sara.

Fig. 4.5 Columna estratigráfica donde se muestra la secuencia de depósitos de caída de lapilli de pómez ubicadas al SE del volcán Sara Sara.

Fig. 4.6 Mapa de isopacas del depósito de caída “Llique”.

Fig. 5.1 Mapa de ubicación de muestras tomadas en la zona de estudio del volcán Sara Sara.

Fig. 6.1 Diagrama de clasificación de rocas del volcán Sara Sara, “Total de alcalinos vs. Sílice” (TAS), de Le Bas et al. (1986).

Fig. 6.2 Composición de las rocas del volcán Sara Sara con el diagrama AFM de Kuno (1968).

Fig. 6.3 Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976), de rocas del volcán Sara Sara que muestra tendencias fuertemente potásicas.

Fig. 6.4 Diagramas de Harker que muestran las variaciones de elementos mayores con respecto a la sílice.

Fig. 6.5 Diagramas de variación de elementos traza versus el porcentaje en peso de sílice.

Fig. 6.6 Diagramas multielementales de rocas de las etapas evolutivas del volcán Sara Sara normalizados respecto al manto primitivo (Sun y McDonough, 1989).

Fig. 6.7 Diagrama de tierras raras normalizada a la condrita (Sun y McDonough, 1989), de las etapas evolutivas correspondientes al Pre-Sara Sara, Sara Sara I, II, III, IV.

Fig. 7.1 Columnas estratigráficas donde se muestran las correlaciones entre los diferentes depósitos de flujos piroclásticos que afloran en los sectores SO-O del volcán Sara Sara, correspondientes al Sara Sara II.

Fig. 7.2 Columnas estratigráficas donde se muestran las correlaciones entre los diferentes depósitos de caídas de lapilli de pómez que afloran en el sector SE del volcán, correspondientes al Sara Sara III.

Fig. 7.3 En la siguiente columna estratigráfica general, se muestran todos los depósitos emitidos durante los procesos eruptivos del volcán Sara Sara ocurridos durante el Pleistoceno.

TABLAS

Tabla N 1.1 Precipitaciones durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril del año 2010 al 2015.

Tabla N 1.2 Datos de temperatura y dirección del viento del año 2010 al 2015.

Tabla N 1.3 Proyecciones de población, según provincia y distrito del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

Tabla N 1.4 Proyecciones de población, según provincia y distrito del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

Tabla N 1.5 Proyecciones de población, según departamento y provincia del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

Tabla N 4.1 Tabla que muestra la descripción de los puntos tomados correspondientes al depósito de caída “Llique”.

Tabla N 5.1 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara I. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Cpx = clinopiroxeno.

Tabla N 5.2 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara II. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Ap = apatito.

Tabla N 5.3 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara III. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita.

Tabla N 5.4 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara IV. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Ap = apatito.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN:

El volcán Sara Sara se encuentra ubicado en la parte sur del Perú, aproximadamente a 240 km al NO de la ciudad de Arequipa y 250 km al SE de Ayacucho. Es el volcán más septentrional de la Zona Volcánica Central (ZVC) (*de Silva y Francis, 1991*) y forma parte de un grupo de volcanes potencialmente activos localizados en la Cordillera Occidental de los Andes del Sur Peruano. Políticamente se encuentra comprendido en el sector sur de la región de Ayacucho (Fig. 1.1), entre las provincias de Paúcar del Sara Sara y Parinacochas, a 12 km al SO del poblado de Pausa (Pueblo más cercano al edificio volcánico).

Sus coordenadas UTM son: 8305000 m N y 666700 m E, y se ubica al costado oriental de la laguna Parinacochas, dentro del cuadrángulo de Pausa (31-p). Corresponde a la zona 18 S, con Datum WGS-84.



Foto 1.1 Vista del flanco Oeste del volcán Sara Sara, desde la laguna Parinacochas.

1.2 ACCESIBILIDAD:

Las rutas de acceso para llegar al volcán Sara Sara son variadas, desde las regiones de Arequipa, Lima, Ica y Ayacucho, mediante 4 vías principalmente:

- Una vía corresponde a partir de la ciudad de Arequipa (por el sur) o desde Lima (por el norte), a 10 km aproximadamente al Sur de Chala (Carretera Panamericana Sur) se toma un desvío hacia el tramo Chaparra-Salla Salla, posteriormente se continua 5 km aproximadamente hasta llegar al poblado de Cayarac, donde se puede apreciar el flanco Oeste del volcán Sara Sara.
- Otra vía es tomar el tramo de Nazca-Puquio-Cora Cora-Incuyo, este último poblado ubicado a 12 km al NO del volcán Sara Sara. Desde allí se pueden tomar vías afirmadas o trochas carrozables que se acercan al flanco NO, O y SO del volcán Sara Sara.
- Una tercera vía es desde la ciudad de Arequipa hasta llegar a Atico por la Panamericana sur, luego se toma el desvío hacia Caravelí por aproximadamente 60 km, se continúa en una trocha afirmada por el tramo Caravelí-Cahuancho-Salla Salla-Cayarac-Flanco Este del volcán Sara Sara.
- Una última vía es desde la ciudad de Arequipa, por el tramo Majes-Corire-Chuquibamba-Oyolo-Marcabamba hasta llegar a Pausa, pueblo desde donde se puede apreciar el flanco Noreste del volcán Sara Sara (Fig. 1.1).

1.3 TRABAJOS ANTERIORES:

Existen pocos trabajos relacionados al estudio geológico – vulcanológico del volcán Sara Sara, así como también pocos relatos y/o escritos por cronistas e historiadores que describan la actividad pasada del volcán. Por ello, se debe tener en cuenta que este es un estudio que abarca la mayoría de los aspectos en forma general del edificio volcánico.

Los trabajos anteriores sobre el volcán Sabancaya que se han podido recopilar son los siguientes:

- Morche, M., Núñez, S., 1998. Realizó un estudio del riesgo geológico del volcán Sara Sara reflejado en el Boletín N° 21- Serie C – Geodinámica e Ingeniería Geológica – INGEMMET, Lima, Perú.
- Cartografiado geológico realizado por Pecho Gutiérrez, Víctor (1979) – Geología del cuadrángulo de Pausa; y Olchanski Lomprate, Enrique (1983) – Geología del Cuadrángulo de Cora Cora, publicado en los boletines del INGEMMET Serie “A” N° 37 y 34 respectivamente de la Carta Geológica Nacional.

- Álbum de Mapas de Riesgos Volcánicos de las Principales Ciudades del Suroeste del Perú, realizado por Fidel, Lionel; Morche, Wolfgang y Núñez, Segundo. (Boletines del INGEMMET N° 15 y 16 Serie “c”, respectivamente).

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 Objetivo general:

- Determinar la actividad eruptiva presentada por el volcán Sara Sara, mediante un cartografiado geológico de depósitos volcánicos, muestreo y toma de datos de campo, petrografía y composición química de rocas, con el fin de poder conocer el comportamiento y la geología de los productos emitidos por dicho volcán.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Realizar el cartografiado geológico del volcán Sara Sara, para poder identificar la distribución y alcance de los depósitos.
- Realizar el estudio petrográfico a detalle de las muestras obtenidas en las campañas de campo realizadas, para poder inferir la composición de las rocas del volcán Sara Sara.
- Estudiar el comportamiento geoquímico de las rocas emitidas por el volcán Sara Sara, y así poder determinar la evolución magmática preliminar del edificio volcánico.
- Obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología que se empleó para elaborar esta tesis consta de 3 partes, las cuales serán detalladas a continuación:

1.5.1 Trabajo en Gabinete

- Recopilación de material bibliográfico de estudios anteriores de geología, petrografía y geoquímica del volcán Sara Sara.
- Para el mapeo geológico preliminar del área que comprende al volcán Sara Sara, se realizó la fotointerpretación de la zona de estudio, se utilizaron 19 fotografías aéreas a escala 1/42000, tomadas por el Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN). Además, se utilizaron imágenes satelitales Rapid-Eye, Google Earth.

- Se utilizó una base topográfica a una escala 1:100000 otorgada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la cual fué modificada a una escala 1:25000 con fines de trabajos más exactos, donde se plotearon los datos provenientes de la fotointerpretación y cartografiado geológico.
- Para el procesamiento de imágenes satelitales, así como también para la digitalización del mapa geológico y estructural, se utilizaron los programas Arcgiss 10.1 y Envi 5.1.
- Se usó el Cuadrángulo de Pausa (hoja 31-p, Carta Geológica Nacional, INGEMMET), para realizar el mapeo geológico.
- Para el tratamiento de los datos analíticos de rocas se utilizó el programa Excel, y para la elaboración de diagramas y gráficos geoquímicos el programa IGPET.

1.5.2 Trabajo de Campo

- El trabajo de campo se dividió en 4 campañas de 12 días cada una, repartidas en los meses de Abril, Junio, Noviembre del 2015 y Abril del 2016, las cuales estuvieron financiadas por el INGEMMET.
- Este trabajo de campo consistió en lo siguiente:
 - Cartografiado geológico a escala 1/25000.
 - El muestreo de rocas volcánicas tomadas en distintos puntos del área de estudio, para un posterior estudio de secciones delgadas e interpretación de resultados del análisis geoquímico.
 - Se realizaron columnas estratigráficas de los depósitos encontrados en los alrededores del volcán Sara Sara y se correlacionaron con otras columnas según la similitud de sus características litológicas, petrográficas y geoquímicas.

1.5.3 Trabajo de Laboratorio

- Después del recojo de muestras durante las campañas de campo en el volcán Sara Sara, se procedió a elaborar una base de datos, la cual contiene el código de la muestra, sus coordenadas de ubicación (UTM/WGS84/ zona 18S) y una breve descripción de cada una.
- Las muestras recolectadas durante el trabajo de campo fueron enviadas para los respectivos análisis químicos por elementos mayores y trazas, al laboratorio “Dominios Oceánicos”, Universidad de Bretaña Occidental (Brest, Francia). La confección de las secciones delgadas estuvo a cargo del Laboratorio de Petrotomía del INGEMMET.

- El estudio petrográfico de las secciones delgadas fue realizado con un microscopio de marca LABOMED LX 400P, cuyo estudio se realizó en el OVI (Observatorio Vulcanológico de INGEMMET).

1.6 CLIMA:

El área que comprende al volcán Sara Sara presenta un clima templado a frío, la cual presenta precipitaciones entre los meses de diciembre a abril, y una ausencia de precipitaciones entre los meses de mayo a noviembre.

Los poblados de Pausa y Lampa registran temperaturas que oscilan entre 6° a 20°C, entre los 3000 a 4000 msnm (*Morche & Nuñez, 1998*) se tiene un clima templado a frío como en el caso de Quilcata e Incuyo al N-NO del Sara Sara, a partir de los 4000 msnm el clima es frío y seco con temperaturas entre los 0° y 6° C, mientras que en altitudes mayores de 5200 msnm las temperaturas están bajo cero y ocurren precipitaciones en forma de granizo o nieve (*Morche & Nuñez, 1998*).

Datos de temperatura, presión, humedad relativa, fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (*SENAMHI*), para lo cual consideraremos los datos obtenidos desde el año 2010 al 2015.

Año	PRECIPITACIÓN mm					Promedio
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Anual
2010	25.2	57.9	61.5	50.9	23.4	19.46
2011	52.9	138.2	125.7	37	34.4	32.37
2012	79.2	64	181.4	171.1	66.3	51.39
2013	61.7	65.6	141.3	51	0	25.75
2014	15.9	75.5	48.3	82.7	37.9	24.47
2015	0	73.8	0	169.5	0	121.65

Tabla N 1.1 Precipitaciones durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril del año 2010 al 2015.

Año	Temperatura Min. Promedio C°	Temperatura Max. Promedio C°	Dirección del Viento
2010	5.8	19.8	SW-1.6
2011	5.5	18.9	SW-1.6
2012	5.7	19.3	S-1.4
2013	5.7	19.5	S/SW-1.2
2014	6	19.4	S-1.2
2015	7.5	18.2	SW-1.0

Tabla N 1.2 Datos de temperatura y dirección del viento del año 2010 al 2015.

1.7 POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA

La mayor parte de la población que puede ser afectada en una probable erupción se concentra hacia el sector E del volcán Sara Sara, en la provincia de Paúcar del Sara Sara, la cual presenta distritos tales como Pausa, Colta, Corculla, Lampa, Marcabamba, Oyolo, Pararca, San Javier de Alpabamba, San José de Ushu y Sara Sara; además de otros centros poblados y caseríos ubicados cercanos al volcán como: Incuyo, Pararca, Quilcata, Mirmaca, Cayarac y numerosos anexos, con una población mínima de hasta 8 000 personas.

Pausa es la capital de la provincia de Paúcar del Sara Sara, pueblo más importante en población que se ubica en el margen oriental y aproximadamente a 12 km en línea recta de la cumbre del volcán Sara Sara.

Los datos que se presentan a continuación corresponden al resultado del último censo nacional XI de población y VI de viviendas efectuada en el año 2009, donde se puede apreciar los datos de las 2 provincias más cercanas al volcán Sara Sara, Paúcar del Sara Sara y Parinacochas, con sus respectivos distritos, mostrando la proyección de la población hacia el año 2015.

PROVINCIA / DISTRITO	2013			2014			2015		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
PÁUCAR DEL SARA SARA	11,018	5,770	5,248	11,004	5,777	5,227	10,989	5,783	5,206
PAUSA	2,875	1,438	1,437	2,835	1,415	1,420	2,792	1,390	1,402
COLTA	1,044	682	362	1,091	719	372	1,140	757	383
CORCULLA	483	259	224	469	252	217	455	246	209
LAMPA	2,521	1,278	1,243	2,524	1,279	1,245	2,528	1,280	1,248
MARCABAMBA	777	436	341	775	437	338	773	438	335
OYOLO	1,189	598	591	1,192	599	593	1,195	600	595
PARARCA	666	346	320	663	347	316	660	348	312
SAN JAVIER DE ALPABAMBA	532	269	263	535	270	265	538	271	267
SAN JOSE DE USHUA	180	93	87	178	92	86	177	91	86
SARA SARA	751	371	380	742	367	375	731	362	369

Tabla N 1.3 Proyecciones de población, según provincia y distrito del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

PROVINCIA / DISTRITO	2013			2014			2015		
	total	Hombres	Mujeres	total	Hombres	Mujeres	total	Hombres	Mujeres
PARINACOCNAS	32,432	16,911	15,521	32,838	17,169	15,669	33,242	17,426	15,816
CORA CORA	15,293	7,587	7,706	15,340	7,607	7,735	15,378	7,622	7,756
CHUMPI	2,751	1,398	1,353	2,704	1,378	1,326	2,656	1,357	1,299
PULLO	4,800	2,721	2,079	4,848	2,758	2,090	4,893	2,793	2,100
PUYUSCA	2,157	1,070	1,087	2,117	1,020	1,067	2,076	1,029	1,047

Tabla N 1.4 Proyecciones de población, según provincia y distrito del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

POBLACIÓN PROYECTADA SEGÚN DEPARTAMENTOS, PROVINCIAS Y DISTRITOS, 2013-2015

DEPARTAMENTO / PROVINCIA	2013			2014			2015		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
AYACUCHO	673,609	343,270	330,339	681,150	347,517	333,647	688,660	351,747	336,913
PÁUCAR DEL SARA SARA	11,018	5,770	5,248	11,004	5,777	5,227	10,989	5,783	5,206
PARINACOCHAS	32,432	16,911	15,521	32,838	17,169	15,669	33,242	17,426	15,816

Tabla N 1.5 Proyecciones de población, según departamento y provincia del año 2013 al 2015 (INEI, 2009).

Sobre las obras de infraestructura que se encuentran en los alrededores del volcán Sara Sara, podemos citar los siguientes.

- Mina “Luicho”, ubicada a 15 km al NE del volcán, la cual alberga una gran cantidad de población que se dedica a la explotación de minerales de oro.
- Proyecto - Presa Vado – Congoza en Ayacucho, que permitirá embalsar 12 millones de metros cúbicos de agua para mejorar la irrigación de 2265 hectáreas, beneficiando a los agricultores de los distritos de Pauza, Lampa, Pararca y Quilcata en la provincia Paúcar del Sara Sara, y Puyusca en la provincia de Parinacochas. La inversión realizada durante el 2013 en infraestructura vial, recursos hídricos, energía y saneamiento básico sumó aproximadamente 28 millones de soles.
- Conservación vial por niveles de servicio tramos II y III de la carretera Cora Cora-desvío Pausa-Pausa, en la provincia ayacuchana de Parinacochas, el proyecto vial tiene como fin articular la provincia de Paúcar del Sara Sara con Parinacochas y los distritos arequipeños de Yauca y Chala.

También se encuentran muchas viviendas, colegios, centros de salud, municipalidades, cercanas al volcán, que se verán seriamente afectadas ante una posible erupción volcánica si no se tiene planes de contingencia que ayuden a protegerlos.

CAPÍTULO II

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 VOLCANISMO EN EL PERÚ

La Zona Volcánica de los Andes Centrales (ZVAC) está localizada entre las latitudes 15° a 28° Sur y se extiende desde el Sur del Perú, Oeste de Bolivia, Noroeste de Argentina y el Norte de Chile. Esta zona tiene una longitud aproximada de 1400 km y se caracteriza por presentar una franja de 44 volcanes activos orientados en dirección Noroeste-Sureste en el Sur del Perú y Norte-Sur en el extremo Norte de Chile, con elevaciones comprendidas entre los 4500 a 6000 msnm (de Silva y Francis, 1991) (Fig. 2.1).

La ZVC en el sur del Perú alberga 7 volcanes activos (Simkin y Siebert, 1994), los cuales son el Ampato-Sabancaya, Misti, en Arequipa; Ubinas, Huaynaputina y Ticsani, en Moquegua; Tutupaca y Yucamane, en Tacna; así como también presenta volcanes denominados potencialmente activos como es el caso de Sara Sara en Ayacucho; Solimana, Coropuna, Chachani, en Arequipa. También, se puede apreciar una cuarentena de pequeños conos monogenéticos de escoria y ceniza ubicados en el sector de Andahua y Huambo (Fig. 2.2).

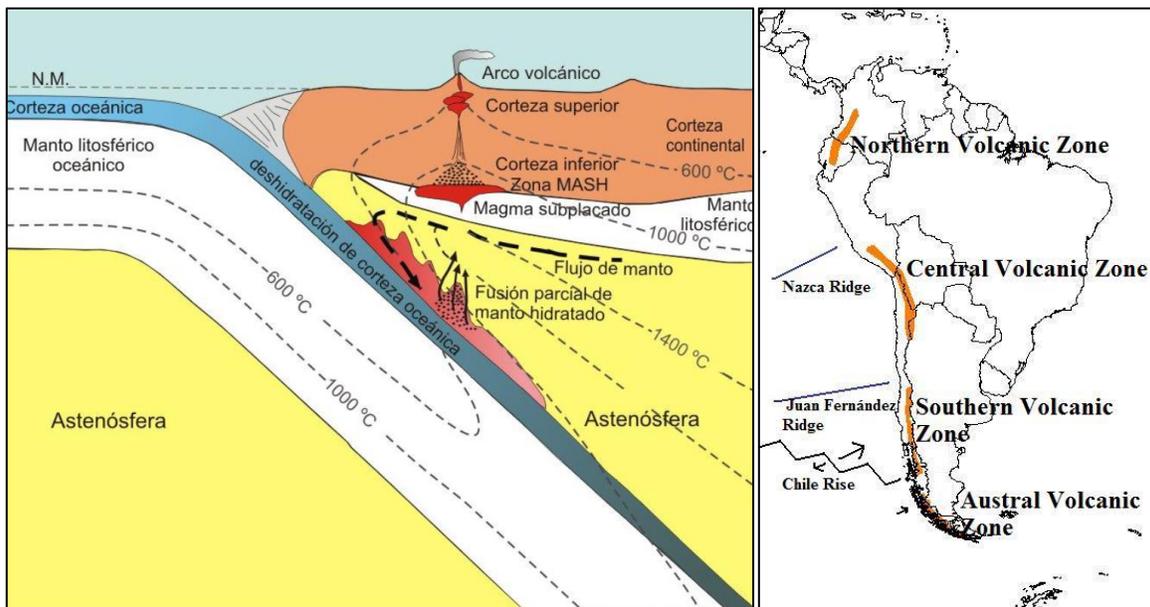


Fig.2.1 A la izquierda, modelo teórico de generación de magmas en una margen continental activo, caso de los Andes de Sudamérica (Winter, 2001); a la derecha, mapa de Sudamérica donde se muestran las Zonas Volcánicas en los Andes (Ramos y Alemán, 2000).

Los volcanes activos y potencialmente activos se emplazaron durante el Plio-Pleistoceno, emitiendo productos volcánicos dominados por emisiones de flujos de lava, depósitos de caídas y productos piroclásticos, donde predominan las rocas de composición andesítica, aunque también se encuentran rocas de composición dacítica y riolítica, mientras que las rocas de composición más básica (andesitas basálticas y basaltos) son raras o están ausentes.

Estratigráficamente, los volcanes del sur peruano están por encima de los 4000 msnm, y se encuentran sobreyaciendo a secuencias sedimentarias y volcánicas correspondientes al Mesozoico.

La mayoría de estos volcanes presentan una cubierta de hielo y nieve permanente o no permanente a partir de los 5400 msnm, siendo este un factor muy peligroso en la formación de lahares que serían perjudiciales para la población que vive cerca a estos volcanes.

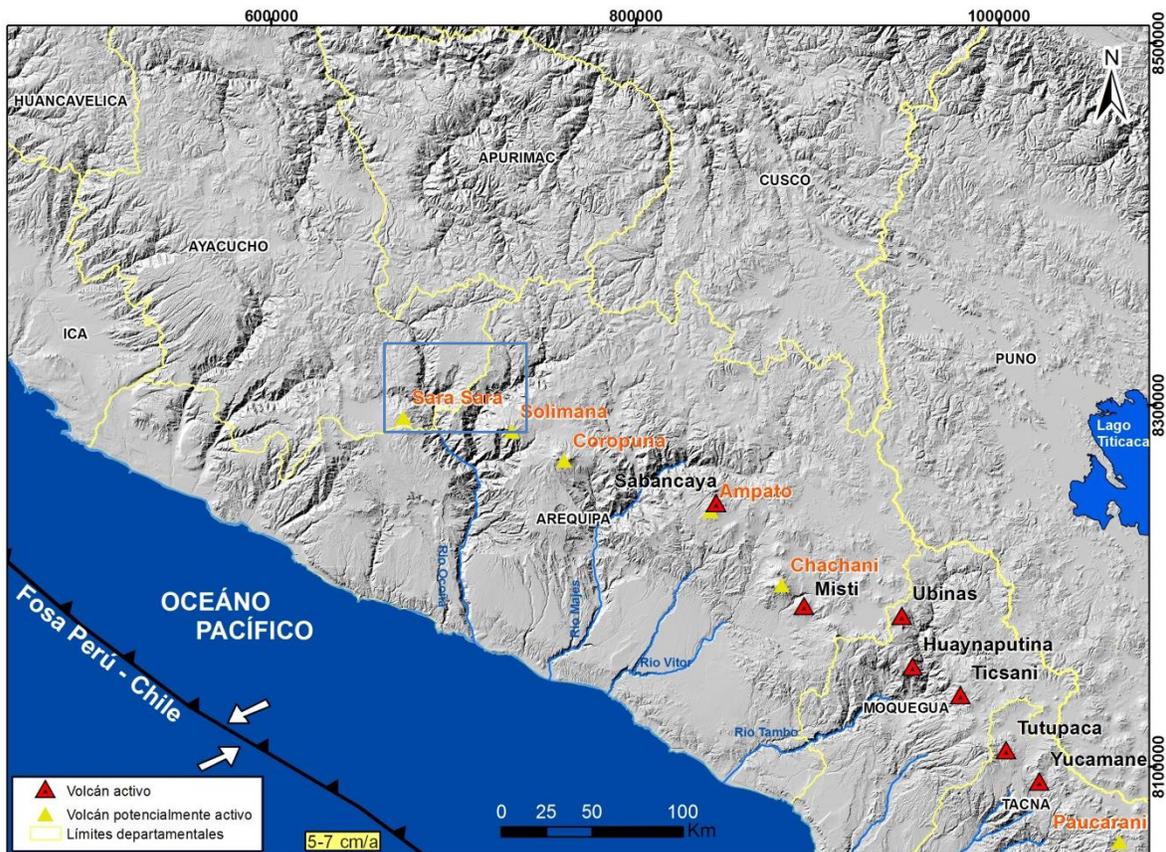


Fig.2.2 Distribución de la cadena de volcanes del Plio-Pleistoceno en el Sur del Perú, donde se puede apreciar la ubicación del Sara Sara, el cual se encuentra enmarcado.

Se han identificado rocas volcánicas, secuencias de ignimbritas y rocas sedimentarias que han sido depositadas en el área circundante, correspondientes a la base de los depósitos emitidos por el volcán Sara Sara, dichas secuencias en este estudio han sido denominadas “Pre-Sara Sara” que se presentan en un rango de tiempo que comprende desde del Cretáceo Superior hasta el Pleistoceno (Pecho, 1983 & Mamani et al., 2009).

Las rocas volcánicas del sustrato están representadas por secuencias lávicas y piroclásticas que afloran en el sector S-SE del volcán Sara Sara, correspondientes al Grupo Tacaza de 30 - 24 Ma (Mamani et al., 2009), ignimbritas rosáceas soldadas aflorando al NE y SO formando parte de la Formación Alpbamba de 19.4 – 18.0 Ma (Thouret et al., 2007) e ignimbritas del Grupo Caravelí de 8.9 Ma (Thouret et al., 2016), así como también flujos de lavas y depósitos piroclásticos andesíticos del Grupo Barroso de 10 - 1 Ma (Mamani et al., 2009), donde se tiene una datación de 1.62 +/- 0.03 Ma (Kaneoka & Guevara 1984) en el sector N del poblado de Quilcata, atribuidos antes de la formación del edificio volcánico.

Sobreyaciendo a estas secuencias volcánicas, se encuentran los depósitos del Sara Sara, los cuales corresponden a erupciones subplinianas a plinianas ocurridas en el Pleistoceno y Pleistoceno tardío (Morche & Nuñez, 1998).

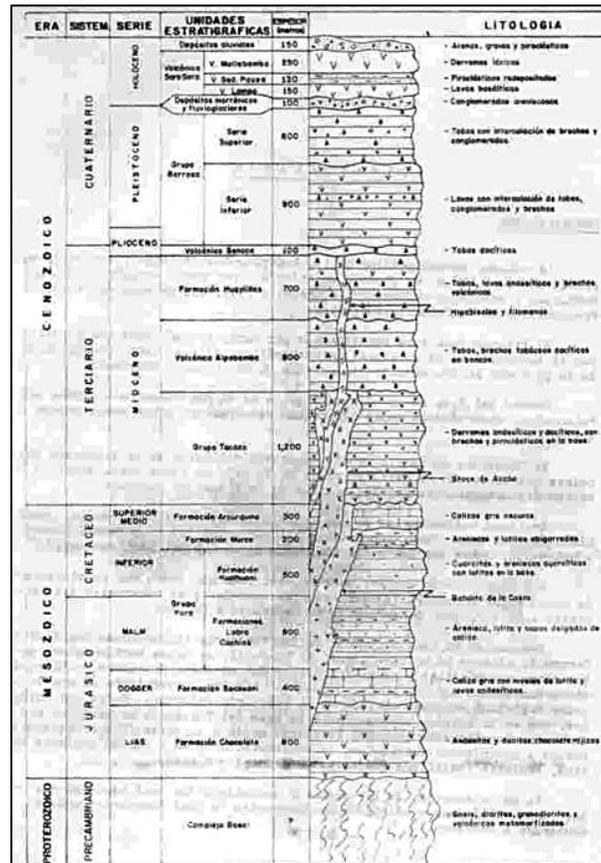


Fig.2.4 Columna Estratigráfica General del Cuadrángulo de Pausa.

2.2.1 Grupo Yura

2.2.1.1 Formación Chocolate

La Formación Chocolate (*Semperé et al., 2004*) fue anteriormente estudiada por *Jenks W. (1948)*, la cual fue reconocida 500 m aguas debajo de los baños termales de Socosani (Arequipa). Regionalmente estas rocas volcano-sedimentarias se exponen en tramos a lo largo de la costa sur del Perú desde la localidad de Paracas hasta la frontera con Chile (*Pecho, 1983*).

Se ha podido reconocer un afloramiento de la formación Chocolate a 20 km al SE del volcán Sara Sara (Foto 2.1), con una intercalación de depósitos volcánicos y sedimentarios de colores gris y rojizo oscuro con 800 m de espesor, aflorando en ambos flancos del cañón del río Marán.

En este afloramiento se encuentra ligeramente estratificado, con estructuras de deformación, cuyas capas tienen rumbos al NE y buzamientos de 15 y 30°, además de presentarse plegadas formando estructuras tipo “S”.



Foto 2.1 Vista de la Formación Chocolate que aflora a 20 km al SO del volcán Sara Sara en la margen derecha aguas arriba del río Uchubamba.

2.2.1.2 Formación Hualhuani

En el área de estudio a 15 km al NE del volcán Sara Sara en los cerros Luicho y Llamoc se han reconocido una secuencia de rocas sedimentarias pertenecientes al Grupo Yura representado por la Formación Hualhuani del Cretáceo (*Pecho, 1983*). Esta secuencia corresponde a una intercalación de areniscas cuarcíticas grises claras con niveles lutáceos especialmente en la parte más inferior del depósito, donde alcanza a medir hasta 600 m de espesor (Foto 2.2).

Este depósito presenta ciertos niveles con estratificación cruzada y un buzamiento hacia el SO. En este sector están ubicadas algunos yacimientos auríferos en formas vetas, los cuales viene siendo explotados actualmente.

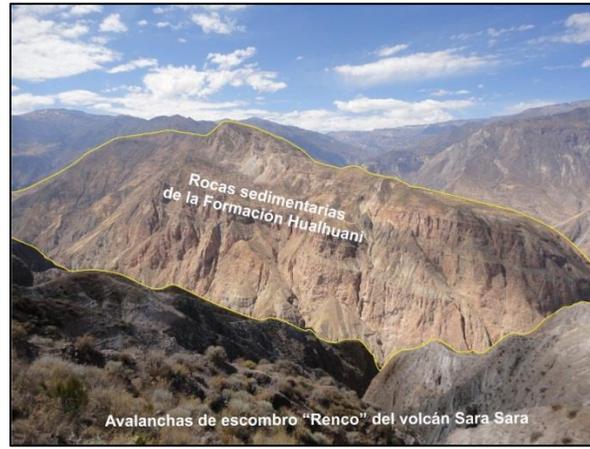


Foto 2.2 Secuencias sedimentarias estratificadas de la Fm. Hualhuani en el cerro Luicho, a 15 km al NE del volcán Sara Sara.

2.2.2 Grupo Tacaza

El grupo Tacaza está constituido por paquetes de aglomerados o brechas de tobas que tienen una matriz de ceniza fina poco consolidada, con intercalaciones de lavas andesíticas, alternadas con areniscas tobáceas (Palacios, 1994), el cuál presenta edades comprendidas desde los 30 Ma hasta los 24 Ma (Mamani et al., 2009), correspondientes al oligoceno. Los centros de emisión no han sido identificados debido a que probablemente fueron erosionados o cubiertos por depósitos más jóvenes.

Se han reconocido afloramientos correspondientes al Grupo Tacaza en la zona SE del volcán (Pecho, 1983), constituido por una potente secuencia piroclástica, con flujos de lava alterados que alcanzan a medir hasta 1000 m de espesor y flujos piroclásticos de bloques y ceniza endurecidos y consolidados. Estas secuencias piroclásticas llegan hasta el fondo del cañón del río Marán, el cual se une aguas abajo con el río Cotahuasi para formar el río Ocoña. Las lavas son estratificadas, de textura porfirítica, de composición andesítica y dacítica, con un color gris verdoso y gris rojizo.

En la zona SE del volcán, las rocas del Grupo Tacaza se encuentran en discordancia angular con rocas de la Formación Chocolate del Jurásico y con las rocas volcánicas del Sara Sara (Foto 2.3).

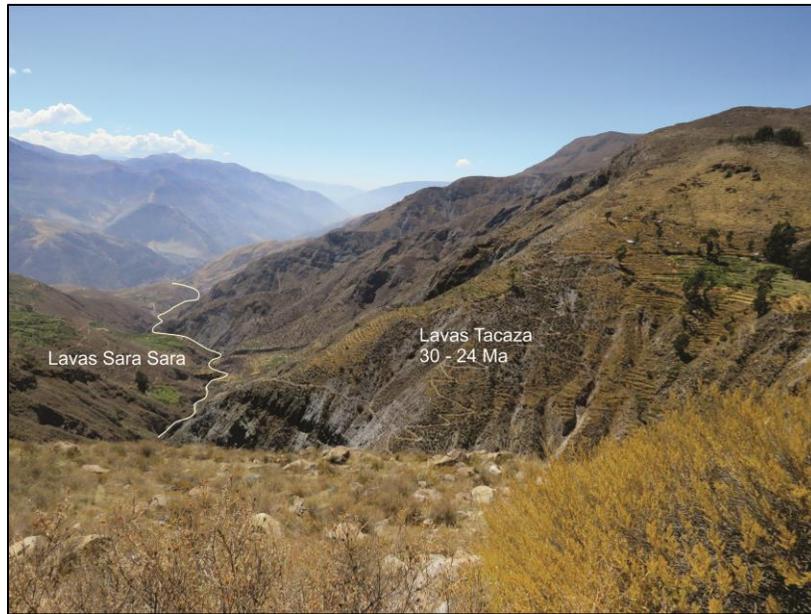


Foto 2.3 Fotografía del contacto entre afloramientos de flujos de lavas al SE del volcán Sara Sara y lavas más antiguas que corresponden al Grupo Tacaza; las cuales se encuentran alteradas dentro de una matriz endurecida.

2.2.3 Formación Alfabamba

La Formación Alfabamba está compuesta por ignimbritas de composición riolítica y dacítica; con facies lagunares conformadas por tobas re-depositadas, arcillas y areniscas de grano grueso a fino; a veces con estructuras sedimentarias como marcas de corriente, nódulos y estratificación cruzada (Palacios, 1994). Esta Formación está comprendida entre los 19.4 – 18 Ma (Thouret et al., 2007), correspondiente al Mioceno medio o superior y descansa en discordancia angular sobre el Grupo Tacaza.

En el área de estudio a 15 km al NE del volcán Sara Sara, se han reconocido unas ignimbritas pertenecientes a la formación Alfabamba (Guevara C., 1983). Litológicamente consta de una gruesa secuencia de ignimbritas blancas, rosadas o amarillentas alteradas, soldadas, que dan origen a grandes farallones (Foto 2.4), con espesores de hasta 800 m.



Foto 2.4 Se muestra una fotografía con parte de la Ignimbrita Alfabamba, la cual aflora en los sectores NE, N del volcán Sara Sara.

2.2.4 Grupo Barroso

El Grupo Barroso está representado por un conjunto de rocas volcánicas que se encuentran constituyendo un apilamiento horizontal de lavas andesíticas afaníticas, densas y depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza de color negro a gris oscuro. Estas lavas e ignimbritas se encuentran dispuestas en capas de varios metros de espesor, formando pequeñas superficies levemente horizontales, cubiertas por depósitos piroclásticos más recientes.

Este Grupo se encuentra dividido en: El arco del Barroso Inferior, el cual presenta una edad desde 10 Ma a 3 Ma ocupando la presente Zona Volcánica Central (*Mamani et al., 2009*), y el arco del Barroso Superior, el cuál presenta una edad desde 3 Ma a 1 Ma, localizado en la Cordillera Occidental (*Mamani et al., 2009*), correspondientes a los períodos del Mioceno Superior al Pleistoceno.

En la zona que comprende al volcán Sara Sara, el Grupo Barroso está representado por estratovolcanes bastantes erosionados e hidrotermalizados, con apilamientos de flujos de lava porfiríticas de composición andesítica en forma de capas levemente horizontales bien estratificadas, con inclinaciones concordantes con la geomorfología del terreno.

En el sector SE del área de estudio aflora una serie de depósitos de ignimbritas soldadas denominadas Caravelí de 9 Ma (*De la Rupelle, A. 2012*), correspondientes al Grupo Barroso Inferior.

Las rocas del sustrato emplazadas antes de los depósitos emitidos por el volcán Sara Sara, corresponden a flujos de lava denominados “Pre-Sara Sara”, extendiéndose en los sectores NO, N, NE y SE del volcán.

Flujos de lava de composición andesítica de decenas de metros de espesor, los cuales se encuentran fracturados en forma vertical y diagonal (Foto 2.5), con fenocristales de plagioclasa, piroxenos y anfíboles alterados, en una matriz afanítica con cristales de tamaños de más de 1 cm. *Kaneoka y Guevara (1984)* realizaron una datación de uno de estos flujos de lava en el sector Norte del volcán Sara Sara, obteniendo una edad de 1.62 +/- 0.03 Ma (Barroso Superior), correspondientes al período del Pleistoceno.



Foto 2.5 Afloramiento de lavas Pre-Sara Sara con fracturas verticales y diagonales, en la carretera hacia Pausa.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y ESTRUCTURAS TECTÓNICAS REGIONALES

El análisis estructural del área del volcán Sara Sara y la elaboración del mapa estructural de dicho volcán está basado en los trabajos de *Morche & Nuñez, 1998*, así como en la fotointerpretación y reconocimiento de estructuras con imágenes satelitales Rapid eye y fotografías aéreas de la zona de estudio.

El volcán Sara Sara se ubica dentro de un marco tectónico, el cual está expresado por diferentes lineamientos y fallas con direcciones NO-SE, NE-SO, EO, etc. (Fig. 2.5), de los cuales 2 sistemas aparecen al NE del volcán Sara Sara, con orientación NO-SE, que separa Ignimbritas de la Formación Alfabamba del Mioceno, con depósitos piroclásticos del volcán Sara Sara II.

Otro conjunto de fallas con orientación NE-SO aparece al SE del volcán Sara Sara y coincide con el cauce del río Pararca, donde se puede apreciar que sobre este sistema se puede observar una importante actividad geotermal a lo largo del lineamiento.

Una serie de continuos lineamientos de dirección NO-SE están ubicados en el sector Este del volcán Sara Sara en el río Uchubamba, lineamientos que separan los depósitos volcánicos terciarios de las series sedimentarias del Grupo Yura: La Formación Hualhuani por el Norte y la Formación Chocolate por el Sur, mediante discordancias angulares.

Otra estructura que se encuentra en la zona de estudio es una probable caldera de más de 20 km de diámetro, ubicada al NO del volcán Sara Sara, sobre la cual aflora la laguna Parinacochas. Esta supuesta caldera presenta una serie de lineamientos ubicados al borde, argumentando la existencia de la misma.

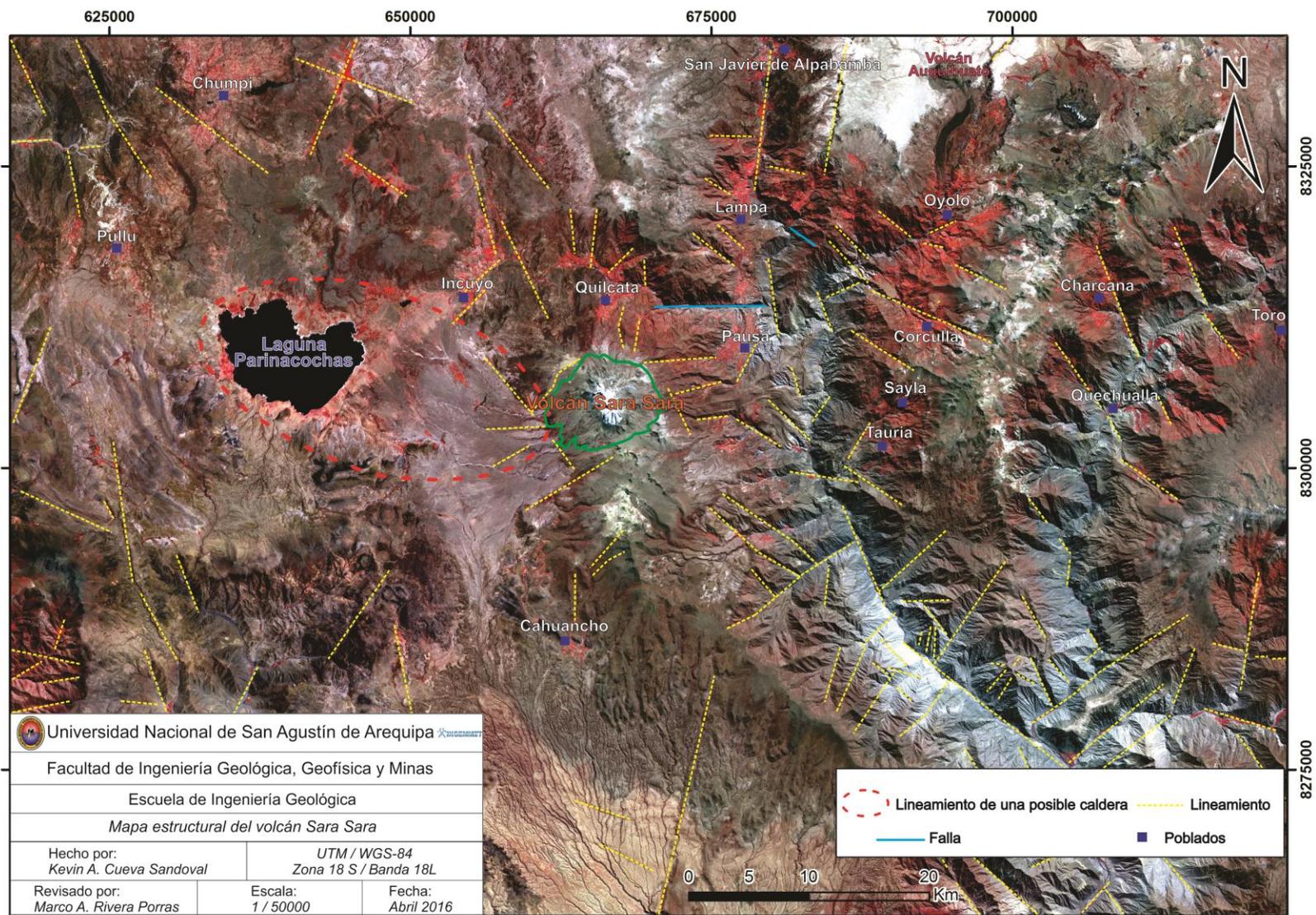


Fig. 2.5 Mapa de estructuras tectónicas y lineamientos regionales identificados en el área que comprende al volcán Sara Sara.

CAPÍTULO III

GEOMORFOLOGÍA DEL VOLCÁN SARA SARA

3.1 GEOFORMAS DEL VOLCÁN SARA SARA

Los rasgos geomorfológicos más resaltantes en esta zona de estudio son el estratovolcán Sara Sara, el cual presenta sus cumbres cubiertas esporádicamente por delgadas capas de hielo y nieve, la presencia de circos glaciares, valles glaciares y depósitos glaciares (morrenas) en los sectores SO, O y NO del volcán, peneplanicies y altiplanicies volcánicas en los sectores O, SO y S, domos y flujos de lava que componen el edificio volcánico, los cuales se encuentran alterados y erosionados debido a que han sido afectados por la intensa actividad a la que fueron sometidos durante las glaciaciones en el Pleistoceno.

Las unidades geomorfológicas se han clasificado de acuerdo a su origen como geoformas de origen glaciario y geoformas de origen volcánico, las cuales se describirán a continuación:

3.1.1 Geoformas y unidades de origen glaciario

En las áreas circundantes al volcán Sara Sara afloran depósitos que fueron afectados por la actividad glaciario registrada durante el Pleistoceno superior. Actualmente los sectores S y SO del volcán, presentan una actividad glaciario importante representada por varias generaciones de depósitos morrénicos. Entre estas geoformas de origen glaciario tenemos:

Cobertura Glaciario:

El volcán Sara Sara, presenta una delgada capa (30-40cm) de cobertura de hielo y nieve no permanente, ubicada entre 5000 a los 5505 msnm, el cual presenta geoformas de pendientes muy escarpadas y empinadas (Foto 3.1) en las zonas E, NE y NO del volcán Sara Sara. Esta cobertura glaciario está presente durante los primeros meses del año, meses de precipitaciones y van desapareciendo a mediados de año. Gracias a esta capa de hielo es que existe un importante abastecimiento de aguas para la mayoría de los poblados que se encuentran en los alrededores del volcán de estudio.



Foto 3.1 Fotografía que muestra una delgada cobertura de hielo y nieve cubriendo al volcán Sara Sara. Vista del flanco Oeste del volcán.

Circo Glaciar:

Se ha podido reconocer hasta 7 circos glaciares en los flancos O, N y NO del volcán Sara Sara, los cuales nos indican la intensa actividad volcánica-glaciar que se presentó en este volcán. Los circos glaciares presentan formas semicirculares, cóncavas y ovaladas, emplazadas generalmente en las zonas de cambio de pendiente del cono volcánico.



Foto 3.2 Imagen que muestra los circos glaciares visibles en el edificio del volcán Sara Sara.

Valle Glaciar:

Por el sector O-SO del volcán Sara Sara, se han encontrado valles glaciares pronunciados cerca de la quebrada Jatunsora. Estos valles se ubican entre 4 000-4 300 msnm, con una morfología cóncava y una forma de “U”. Se han registrado aproximadamente más de 5 valles glaciares, donde sus dimensiones promedio son de un ancho de 700 m y una longitud de 3.5 km, además de presentar geoformas de morrenas en sus costados laterales (Foto 3.3).

Los valles glaciares son originados por el desplazamiento del derretimiento del glaciar, tomando en cuenta que el área que más valles glaciares presenta es el flanco Sur-Suroeste del edificio volcánico. Estas geoformas sirvieron como zonas de encauzamiento de la desglaciación, conjuntamente con los depósitos morrénicos emplazados en el lugar.

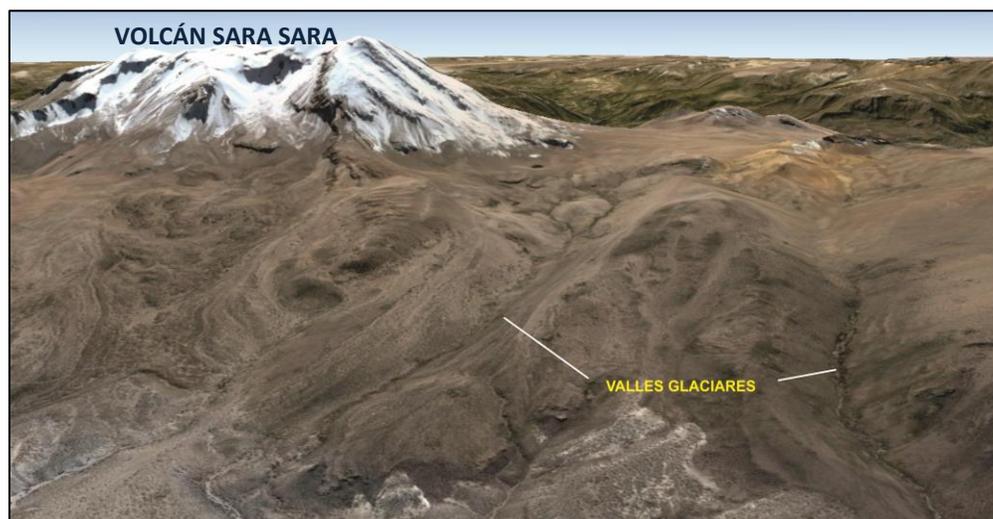


Foto 3.3 Ubicación de algunos valles glaciares en el sector SO del volcán Sara Sara.

Depósitos Morrénicos

Las morrenas corresponden a depósitos de acumulación, compuestos por bloques grises angulosos, distribuidos de forma heterogénea y desordenada, dentro de una matriz arenosa, regularmente consolidada.

Estas geoformas se encuentran visibles en los flancos S, SO, N y NE del volcán Sara Sara (Foto 3.4), específicamente en las quebradas Jatunsora, Huaytayoc, Quilcata, Chonta y Chilcana, mostrándose en forma de montículos en la planicie del terreno. Las morrenas están asociadas a los avances de los glaciares posteriores al LGM (Last Glacial Maximum), datados en el período de 10-14 ka (*Clapperton, 1993; Alcalá, 2007; Alley, 2000*).

Se han logrado identificar 3 generaciones de morrenas según la época de emplazamiento y su posición altitudinal (Fig. 3.2):

- a) Morrenas del Pleistoceno 1: Corresponden a los depósitos morrénicos más antiguos emplazados en la zona. Estos se encuentran a una altitud más baja que las demás, dentro de un rango entre 3800 y 4600 msnm, presentando superficies onduladas y suavizadas, relacionadas al último avance glaciario (LGM) ocurrido en el Pleistoceno (Alcalá, 2007).
- b) Morrenas del Pleistoceno 2: Corresponden a la segunda etapa de emplazamiento de morrenas, ocurrida en el período del Pleistoceno. Los depósitos se encuentran a una altitud entre 4000 y 4600 msnm, ocupando un rango de 4-6 km, por los sectores E, SE y NO de la cima volcán Sara Sara. Las superficies se presentan de formas más extendidas y menos suavizadas.
- c) Morrenas del Holoceno: Los depósitos morrénicos del Holoceno se relacionan con fases posteriores al reavance del glaciario, cuyos afloramientos se encuentran a una altitud entre 4100 y 4800 msnm, ubicados en las zonas más proximales, en un rango de 3-5 km del volcán Sara Sara. Estos depósitos presentan geformas más pronunciadas que las anteriores debido a su menor edad de su emplazamiento.

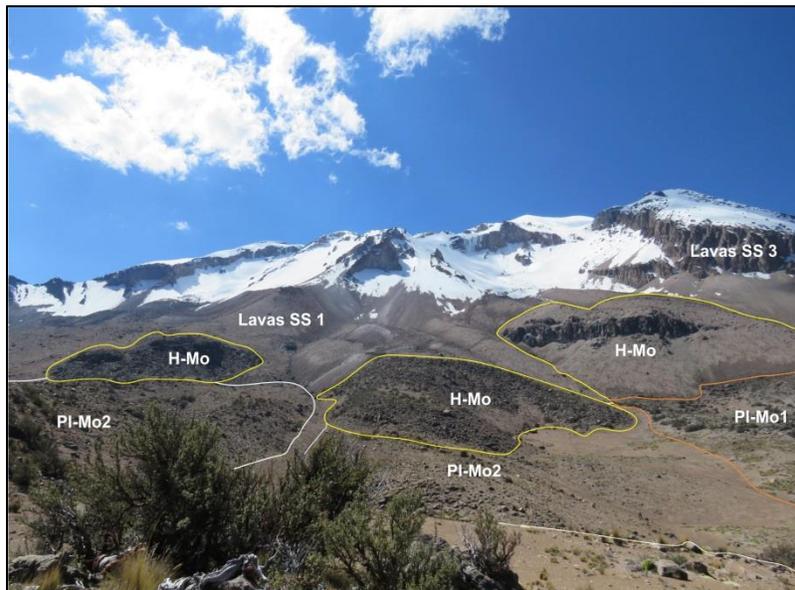


Foto 3.4 Delimitación de algunos depósitos morrénicos en el sector O del volcán Sara Sara. Morrenas del Pleistoceno 1 (PI-Mo1), Morrenas del Pleistoceno 2 (PI-Mo2) y Morrenas del Holoceno (H-Mo).

3.1.2 Geoformas y unidades de origen volcánico

En el volcán Sara Sara se han identificado diversas geoformas de origen volcánico, como son el estratocono, domos y flujos de lava, los cuales describiremos a continuación:

Estratocono volcánico Sara Sara

El estratocono del volcán Sara Sara está constituido por secuencias de flujos de lava alteradas e hidrotermalizadas, que presenta una pendiente de 20 – 30° de inclinación. Se trata de un estratovolcán erosionado, con una forma irregular que se asemeja a un cono truncado, el cual presenta una altura de 5505 msnm. Está conformado por una secuencia de lavas y piroclastos, los cuales se encuentran afectados por la erosión glaciaria que originaron las geoformas de circos glaciares.

Flujos de lava

El edificio volcánico del Sara Sara está representado por secuencias de flujos de lavas de composiciones dacíticas, ubicados en los flancos E, NE, O, S, y SO del volcán.

Según la petrografía, estas lavas presentan una textura porfirítica con predominancia de fenocristales de plagioclasas, biotitas y anfíboles de tamaños de hasta 5 cm. Se han podido diferenciar diferentes flujos de lava de acuerdo a su posición estratigráfica y composiciones petrológicas y geoquímicas, los cuales presentan frentes de lava con pendientes moderadas (5° - 30°) a fuertes (<60°).

Una de las lavas más extensas se ubica en el sector E del volcán Sara Sara que se prolonga hacia la localidad de Casire. Esta presenta bordes de encauzamiento o “leveés”, que corresponde a las geoformas laterales dejadas por la dinámica del flujo de lava (Foto 3.5).

Domo

Los domos presentan generalmente formas simétricas circulares, en forma de cúpula que sobreyacen a la superficie del terreno. En el área circundante al edificio volcánico del Sara Sara, se ha reconocido un domo correspondiente al cerro Itanezco, el cual se encuentra a 7 km al SE del volcán Sara Sara, presentando un diámetro de 1 km y una altura de hasta 500 m (Foto 3.5).

Los domos han sido formados por la alta viscosidad del magma que no permite que fluya demasiado lejos de su centro de emisión. Esta geoforma está constituida por flujos de lavas porfiríticas de color gris, con fenocristales de plagioclasa y anfíbol.

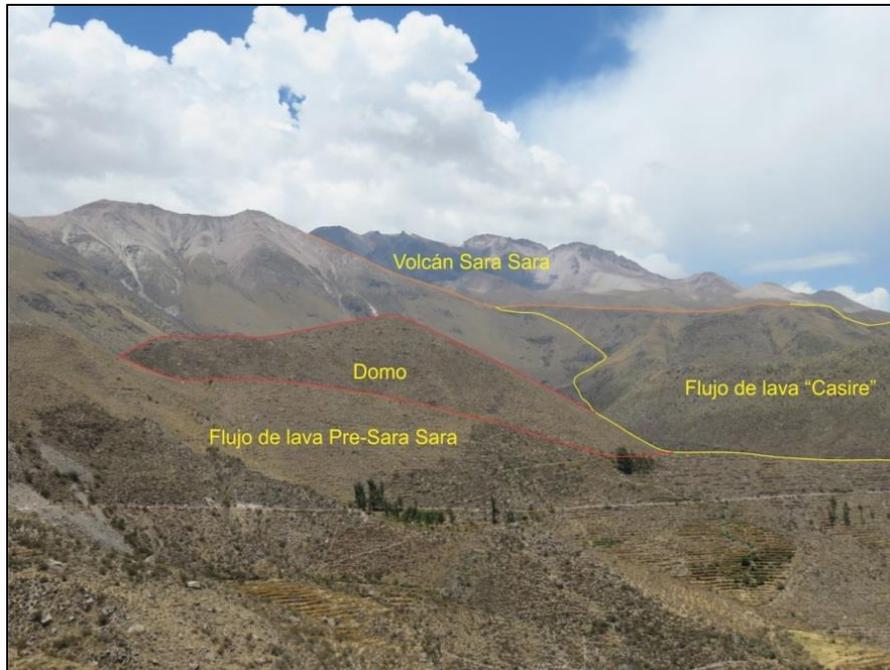


Foto 3.5 Vista hacia el sector Este del volcán Sara Sara, donde se puede apreciar un domo y los flujos de lava del Pre-Sara Sara y Casire del período Sara Sara IV a sus costados.

3.1.3 Otras geoformas

Planicie volcanoclástica:

Esta geoforma está localizada sobre los 3200 y 4600 msnm en el sector S, SO y O del volcán Sara Sara, la cual presenta extensas planicies de topografía horizontal y ligeramente ondulada con intercalaciones de depósitos piroclásticos. Por el lado occidental del edificio volcánico a 3272 msnm de altitud, se encuentra la laguna Parinacochas de 9 a 11 km de diámetro, que es el habitat de diversos tipos de faunas como es el caso de la parihuana. En el sector S, SO del volcán Sara Sara, esta morfología de planicie volcanoclástica presenta depósitos glaciares como morrenas y valles glaciares.

Valle interandino:

El valle interandino de los ríos Huanca Huanca, Marán y sus tributarios, se ha formado como secuencia de la erosión labrada en mesetas, donde las partes más inferiores corresponden a valles muy profundos y encañonados, quebradas muy profundas que llegan hasta los 1800 msnm. Todas estas geoformas corresponden casi a los bordes del límite de expansión de los productos emitidos por el volcán Sara Sara.

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA DEL VOLCÁN SARA SARA

4.1 ESTRATIGRAFÍA PRELIMINAR DEL VOLCÁN SARA SARA

4.1.1 DEPÓSITOS VOLCANOCLÁSTICOS ANTIGUOS

Corresponde a una secuencia de depósitos volcanoclásticos constituidos por depósitos intercalados de caídas de lapilli de pómez, lahares y flujos piroclásticos de pómez y ceniza que afloran por las quebradas Cachape y Añazo, a aproximadamente 8 km al NO del volcán Sara Sara, cerca del poblado de Gechcca (Foto 4.1). Estos depósitos están estratificados y son de colores blanquecinos, rojizos y amarillentos, debido al grado de oxidación, intemperismo y alteración al que han estado expuesto. En su mayoría son ligeramente masivos, con capas horizontales que en total miden 20-25 m de espesor. El espesor de las capas es variable, algunas son centimétricas que a veces alcanzan hasta 4 m cada una, caso de los depósitos de flujos de pómez y cenizas.



Foto 4.1 Depósitos volcanoclásticos conformados por una secuencia de depósitos de caídas y flujos piroclásticos, así como por lahares estratificados ubicados en el sector NO del volcán Sara Sara.

La estratificación subhorizontal se debe que se emplazaron en una zona plana. Mientras que el grado de alteración probablemente se deba a en determinado periodo fue invadido por la laguna Parinacochas que actualmente se encuentra a un distancia de 11 km del afloramiento, o porque está al límite de un borde de caldera donde aún existe actividad hidrotermal (Le Pennec et al., 2016).

4.1.2 SARA SARA I – BASAL

El “Sara Sara I” - Basal corresponde a la primera etapa de evolución del volcán Sara Sara, durante el cual se emplazaron los siguientes depósitos:

FLUJOS DE LAVA

La base del volcán Sara Sara está conformada principalmente por una secuencia de flujos de lavas de composición dacítica (65.1 – 67.8 wt. % SiO₂), que afloran al pie de los flancos NO, SO, Sur, SE y Este del edificio volcánico, entre los 4600 y 5150 msnm.

Es decir en los cerros Huayhua Ccahuarina y Carbonada Minuscula Huay, los flujos de lava son de color gris y algunos se encuentran erosionados e hidrotermalizados. En su mayoría presentan paredes verticales escarpadas con sus respectivos frentes de lavas.

Los flujos miden entre 40 y 80 m de espesor, en los sectores N y NO tienen una pendiente moderada (>30°), mientras que en los sectores E y SE, estos flujos se encuentran más estratificados y con una pendiente más suave (<30°). Las lavas presentan fracturas verticales, diaclasas. La formación de dichas diaclasas es inferida a la reducción del volumen en el proceso de enfriamiento y solidificación de la lava.

Las lavas andesíticas y dacíticas presentan un ensamble mineralógico constituido por fenocristales de plagioclasa de hasta 5 cm, anfíbol de 1 cm, biotita de 1 cm, piroxenos de 0.5 cm y óxidos de Fe-Ti englobados dentro de una matriz de color gris oscuro, con texturas porfirítica y microlítica.



Foto 4.2 Afloramiento de flujos de lava de composición dacítica visible en el sector SO del volcán Sara Sara, donde se puede apreciar frentes de lavas con espesores de hasta 65 m.

DEPÓSITO DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS “RENCO”

A 12 km al NE del volcán Sara Sara, entre los poblados de Tonsio-Pausa (Foto 4.3) y en áreas circundantes a las quebradas Ushpamarca y Sanquipucro, se encuentra un afloramiento de avalancha de escombros de hasta 150 - 200 m de espesor, con una matriz friable, sin estratificación y distribuidas con un mal sorteo. Al interior de dicha avalancha se distinguen facies o fragmentos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza de color gris claro, friable y masivo. La avalancha yace hasta cerca de la confluencia del río Pararca (a 15 km al Este del edificio volcánico), llegando a notarse por las áreas de Renco, extremo derecho de Pausa y camino a Marán desde el poblado de Casire.

Este depósito cubre un área aproximada de 12-16 km² y un volumen total de 2.0 a 2.5 km³, cubriendo el cerro Negro y descansando sobre ignimbritas soldadas descritas anteriormente.

El depósito de avalancha está constituido de dos facies: una facie matriz diluida hidrotermalizada, que contiene entre 60-70 % de matriz; y una facie de bloques hidrotermalizados que esta entre 30-40%. Los bloques hidrotermalizados a veces están intercalados con lentes de arcilla de color pardo y rosáceo (Foto 4.4).

En las facies de bloques, los fragmentos corresponden a bloques lávicos de formas angulosas y subangulosas que miden entre 0.1 a 2 m de diámetro. En los fragmentos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas se distinguen bloques juveniles grises, de composición riolítica (70.48 -70.97 wt. % SiO₂). Estos fragmentos contienen fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbol y óxidos de Fe – Ti, todos ellos distribuidos dentro de una matriz microlítica a vítrea.

El depósito de avalancha formó pequeñas colinas cónicas denominados “Hummocks”, al pie del flanco oriental del volcán Sara Sara, las cuales se encuentran constituidas por bloques de domo y material suelto hidrotermalizado. Los “hummocks” tienen alturas de 50-80 m, diámetros de 250 a 300 m, en cuyo interior los bloques están dispersas aleatoriamente (Foto 4.5).

Sobre este depósito se distingue un nivel de 20 cm de ceniza fina de color marrón, la cual a su vez es cubierto por un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de aproximadamente 2 m de espesor (Fig. 4.1). El depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza está constituido por fragmentos lávicos angulosos y subangulosos, distribuidos con un mal sorteo. Los bloques presentan en dos facies: una facie vesiculada con colores grises y otra facie más vítrea de colores negruzcos.



Foto 4.3 Afloramiento de avalanchas de escombros “Renco” depositada al costado y debajo del poblado de Pausa, con espesores de hasta 200m, ubicado en el sector NE del volcán Sara Sara.

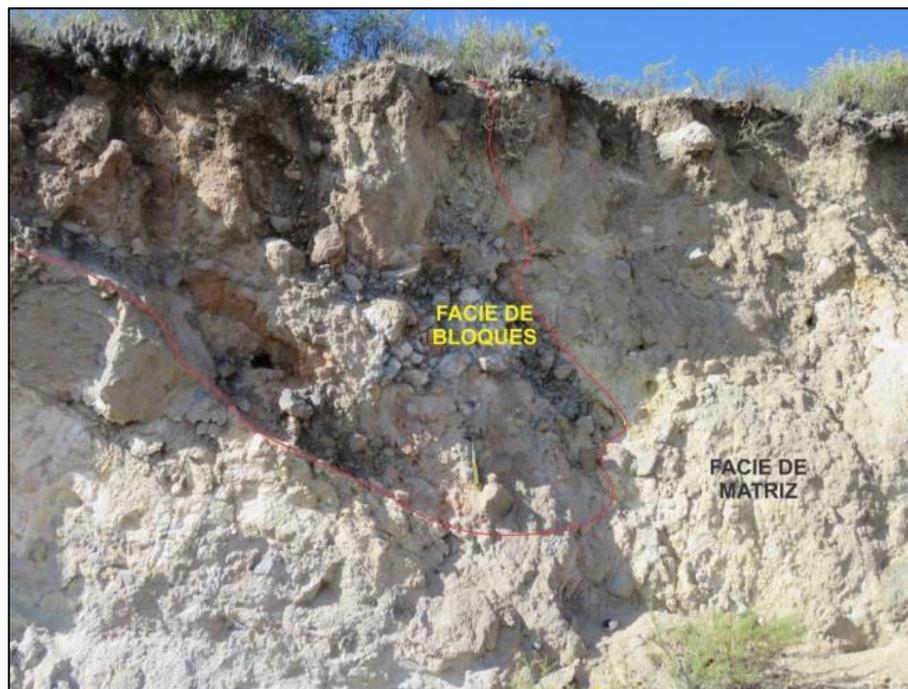


Foto 4.4 Fotografía del depósito de avalancha de escombros, donde se distinguen la facie matriz y la facie de bloques (60-70% de matriz y 30-40% de bloques).



Foto 4.5 Colinas aisladas o “Hummocks” constituida por bloques incluidos dentro de una facie fina (material hidrotermalizado), pertenecientes a la parte más superficial del depósito de avalancha de escombros.

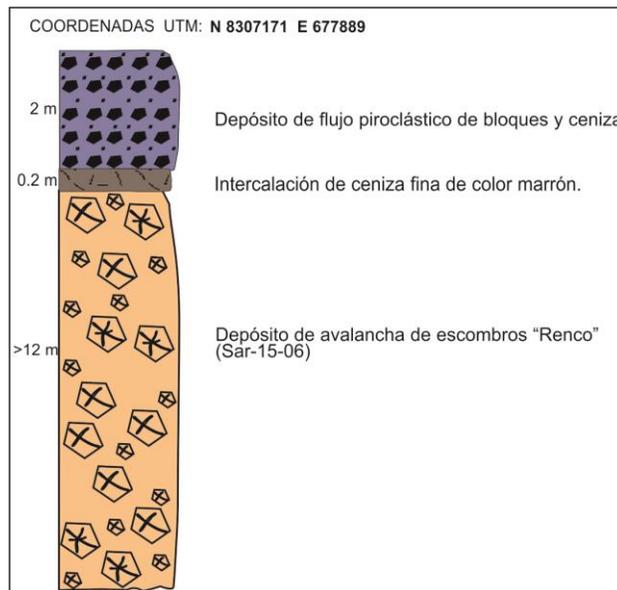
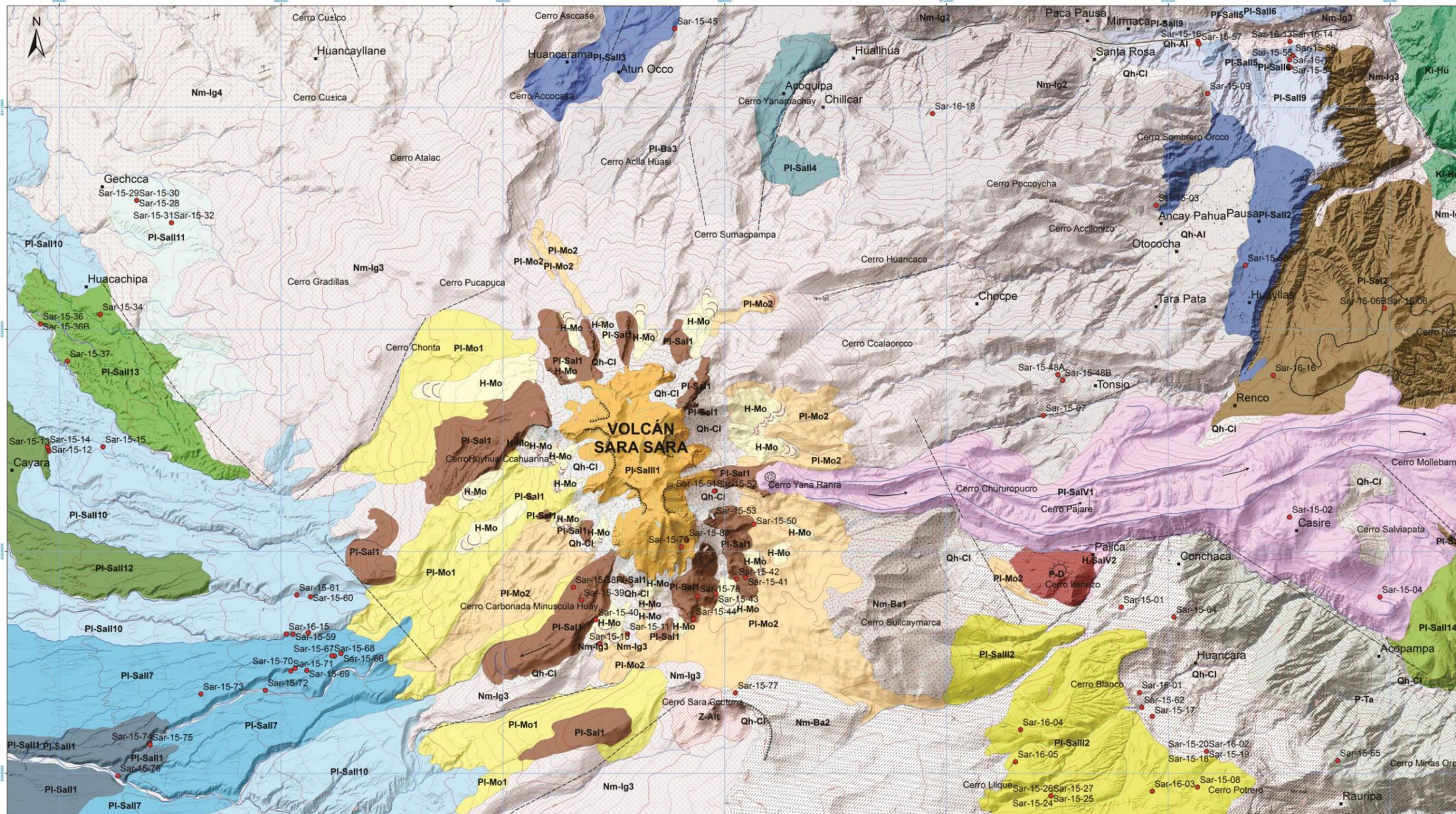


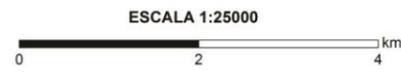
Fig. 4.1 Columna estratigráfica de la zona de Renco, al NE del volcán Sara Sara, donde se aprecia la avalancha de escombros Renco y un flujo piroclástico de bloques y ceniza sobreyaciéndolo.



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
VOLCÁN SARA SARA	OTROS DEPÓSITOS
<p>IV Depósito volcánico</p> <p>III Flujos de lavas de composición dacítica</p> <p>Depósito de caída de lapilli de pómez, de composición dacítica y riolítica</p> <p>Flujos de lava del cono superior, de composición dacítica</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color ocre rojizo</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza "Culicotomana" dacítico</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza, de composición riolítica</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza riolítico.</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza "Angostura" riolítico</p> <p>Depósito de flujos piroclásticos de composición riolítica "Ulacha"</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza "Mimaca" dacítico</p> <p>Depósito lacustrino</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza muy consolidado "Mimaca"</p> <p>Domo</p> <p>Depósito de avalancha de escombros "Acoquipa"</p> <p>Depósito de avalancha de escombros "Quilcata"</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza "Pausa"</p> <p>Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza "Jatunsoa" riolítico</p> <p>Depósito de avalancha de escombros "Renco"</p> <p>Flujo de lava dacítica del cono inferior</p>	<p>Depósito coluvial</p> <p>Qh-CI Acumulaciones de bloques, arena y limos</p> <p>Depósito aluvial</p> <p>Qh-AI Acumulaciones de arenas-limos en terrazas</p> <p>H-Mo1 Morrenas del Holoceno</p> <p>PI-Mo2 Morrenas del Pleistoceno</p> <p>PI-Mo1 Morrenas del Pleistoceno</p>
<p>GRUPO BARROSO</p> <p>Flujo de lavas de la base del Sara Sara.</p> <p>Lavas andesíticas grises porfíricas.</p> <p>Lavas andesíticas</p>	
<p>NEOGENO MIOCENO</p> <p>Ignimbrita intercalada con depósitos volcánicos y niveles de cineritas</p> <p>Ignimbrita Caraveli</p> <p>Ignimbritas rosadas bien soldadas.</p> <p>Ignimbritas soldadas</p>	
<p>GRUPO TACAZA</p> <p>Flujo de lavas grises, niveles porfíricos bien estratificados.</p>	
<p>FORMACIÓN HUALHUANI</p> <p>Cuarcitas y niveles de limoarcillas grises.</p>	

ESTRUCTURAS		
VOLCÁNICAS	TECTÓNICAS	OTROS
<p>Cuerdas de lava</p> <p>Dirección de flujo de lava</p>	<p>Falla probable y/o lineamiento</p> <p>Falla Normal</p>	<p>Escarpa de derrumbe y/o deslizamiento</p> <p>Contacto litológico</p> <p>Morrenas</p>

SIMBOLOGÍA	
<p>Zona de alteración hidrotermal</p> <p>Curvas de nivel</p> <p>Río y/o quebrada</p> <p>Límite de facie de avalancha de escombros</p>	<p>Buzamiento</p> <p>Ubicación de muestras y/o datación</p> <p>Poblados</p>



Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Facultad de Ingeniería Geológica, Geofísica y Minas

Escuela de Ingeniería Geológica

Mapa geológico preliminar del volcán Sara Sara

Hecho por: Kevin A. Cueva Sandoval	UTM / WGS-84 Zona 18 S / Banda 18L
Revisado por: Marco A. Rivera Porras	Escala: 1 / 25000
	Fecha: Setiembre 2016

Fig. 4.2 Mapa geológico preliminar del volcán Sara Sara.

4.1.3 EDIFICIO SARA SARA II - MEDIO INFERIOR

Durante la etapa Sara Sara II - Intermedio, ocurrió un vulcanismo explosivo, que emplazó principalmente depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, y flujos de bloques y cenizas de composición dacítica y riolítica, cuyos afloramientos se encuentran por las quebradas Pausa, Mirmaca, Culé, Angostura, Ullacha, etc; es decir localizadas en los sectores NE, NO, O y SO del volcán Sara Sara.

Se generaron también depósitos de avalanchas de escombros en el sector Norte del volcán Sara Sara, con enormes bloques visibles en los poblados de Quilcata y Acoquipa. Ambos tipos de depósitos los describiremos a continuación.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA “JATUNSORA”

Este depósito se encuentra ubicado entre 9 y 10 km al pie del flanco SO del volcán Sara Sara, en inmediaciones de las quebradas Jatunsora y Chaquiwayjo. Corresponde a un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza muy consolidado, de composición dacítica (67-68 wt. % SiO_2), con un sorteo regular, granoclasificación inversa, es decir con bloques más grandes en el tope del depósito. El depósito mide hasta 6 m de espesor, aproximadamente. Se caracteriza por presentar bloques juveniles porfiríticos y ligeramente alterados de colores blanquecinos, negruzcos y un brillo lustroso, de formas angulosas y subangulosas, con tamaños de hasta 1.5 m. Los bloques contienen fenocristales de plagioclasa, biotita y poco anfíbol, además de presentar vesículas alojadas en una matriz microlítica (Foto 4.6).

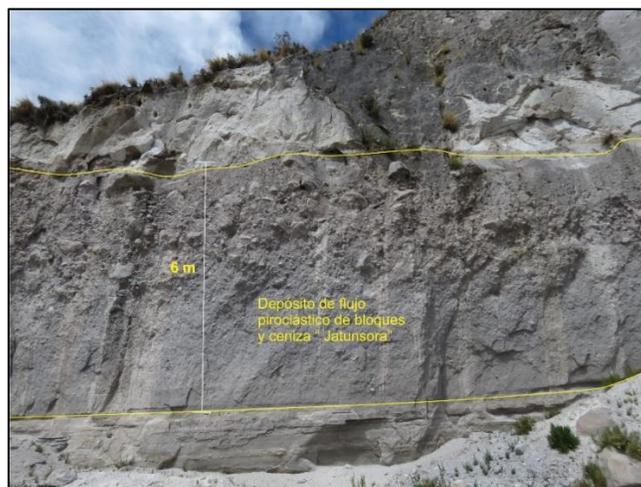


Foto 4.6 Vista del depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Jatunsora”.

DEPÓSITOS DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS “ACOQUIPA-QUILCATA”

En la parte baja de los poblados de Acoquipa y Quilcata, entre las quebradas Huampo, Quilcata y Acoquipa, ubicados al pie de los flancos N y NO del volcán Sara Sara se distinguen depósitos de avalanchas de escombros con espesores de más de 30 m. Estas avalanchas de escombros se encuentran compactadas, con un mal sorteo, presentando un menor contenido de bloques (40%) respecto a la matriz (60%) (Foto 4.7).

Estas avalanchas se encuentran sobreyaciendo los flujos de lavas andesíticas correspondientes al Grupo Barroso, encontrándose adosadas y coronando la parte alta de los poblados de Acoquipa y Quilcata.

Los bloques que contienen estas avalanchas son angulosos y subangulosos incluidos dentro de una matriz fina endurecida y oxidada de color rojiza. Los bloques que se encuentran dispersos sobre el poblado de Acoquipa y Quilcata, miden hasta 5.0 m de diámetro (Foto 4.8; 4.9), con una superficie lustrosa parecida a vidrio volcánico y están constituidos por fenocristales de plagioclasa y anfíbol, englobados principalmente dentro de una matriz vítrea.

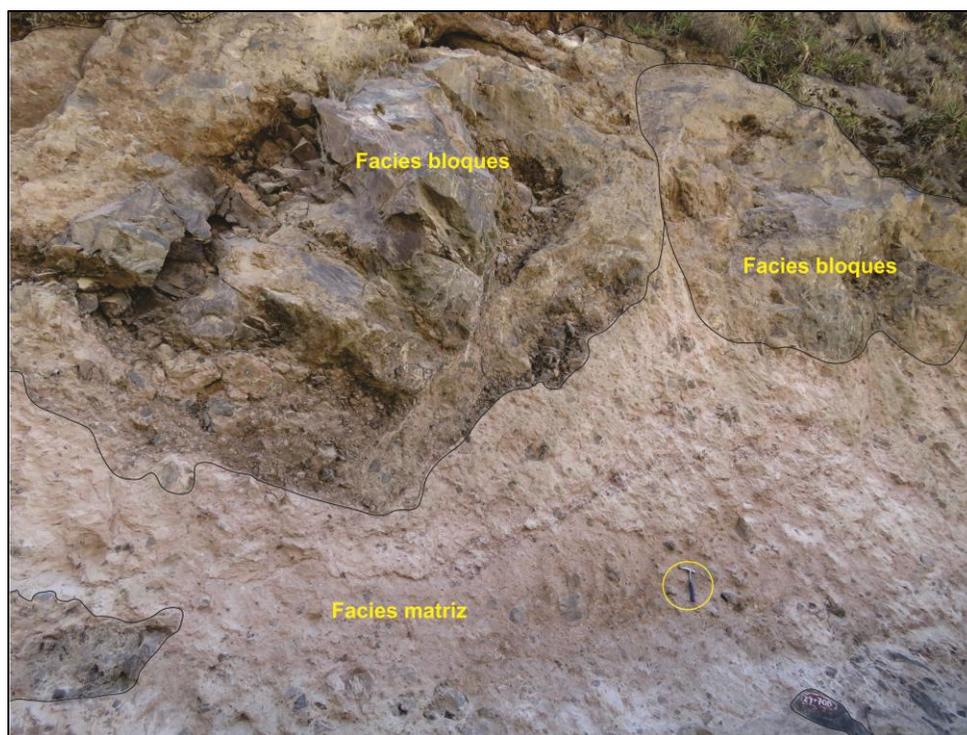


Foto 4.7 *Facies de bloques y de matriz en el afloramiento de las avalanchas de escombros "Acoquipa - Quilcata".*



Foto 4.8 Afloramiento donde se ve un corte del depósito de avalancha de escombros con una potencia de más de 12 m, ubicado al costado derecho de la carretera Incuyo - Pausa.



Foto 4.9 Depósito de avalancha de escombros que aflora en el poblado de Quilcata, dentro del cual se distinguen bloques de roca de hasta 5.0 m de diámetro.

Probablemente los depósitos son el resultado del colapso de una parte del flanco Noreste del volcán Sara Sara.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA “PAUSA”

Por la quebrada Ushpamarca cerca de la localidad de Pausa, a 11 km al NE del volcán Sara Sara se distingue un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de color gris-marrón, de composición dacítica (63-64 wt. % SiO₂). Este depósito de flujo piroclástico poco consolidado y mal sorteado (Foto 4.10), se encuentra sobreyaciendo al depósito de avalancha de escombros “Renco” correspondiente al “Sara Sara I”, con un espesor de aproximadamente 20 m.

Las rocas juveniles, que corresponde a rocas de domo, son de color gris pardo, de forma angulosa y subangulosa, llegando a presentar tamaños de más de 1 m de diámetro. Estos bloques están incluidos dentro de una matriz fina arena-limosa. Contienen fenocristales de plagioclasa de hasta 4 cm, biotita de 1 cm, anfíbol de 0.5 m y óxidos de Fe-Ti, dentro de una matriz de textura porfírica.



Foto 4.10 Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza dacítica “Pausa” que contienen bloques de más de 1 m ordenados en forma caótica.

DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS “MIRMACA”

En el margen derecho del río Mirmaca, entre 11 y 13 km al NE del volcán Sara Sara se distinguen los siguientes depósitos de flujos piroclásticos (Foto 4.11; 4.12):

- a) Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color verduzco y de composición dacítica, consolidado y un espesor de hasta 40 m. Las pómez son poco vesiculadas y densas, alcanzando tamaños de hasta 25 cm, y presentando un contenido de cristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, englobados dentro de una matriz vítrea. El depósito presenta abundantes fragmentos líticos (40%) de tamaños centimétricos y de naturaleza lávica en su interior.

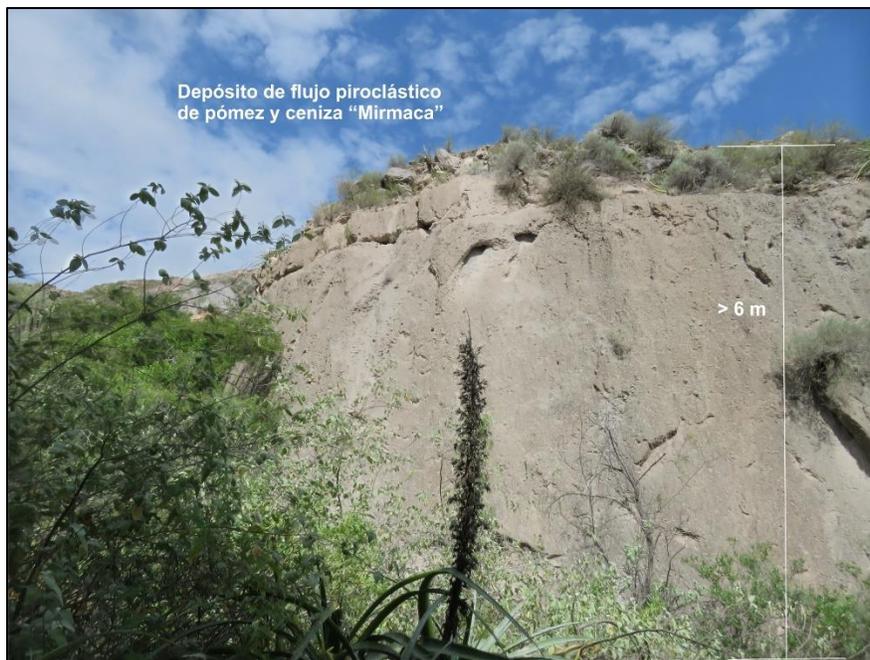


Foto 4.11 Fotografía donde se muestra al depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza “Mirmaca” de más de 6 m, en el sector NE del volcán Sara Sara.

- b) Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de composición dacítica, poco consolidado con una granoclasificación inversa y con un espesor de hasta 20 m.

Este depósito presenta bloques densos de hasta 2 m, de formas angulosas y subangulosas, de textura porfirítica, las cuales contienen fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol en una matriz microlítica de color gris oscuro. Además, al interior del depósito se distinguen abundantes fragmentos líticos lávicos.



Foto 4.12 Fotografía donde se muestra al depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Mirmaca”, que aflora en el sector NE del volcán Sara Sara. Se puede observar bloques grises-rojizos englobados dentro de una matriz soportada.

En la siguiente columna estratigráfica (Fig 4.3) podemos apreciar al depósito de avalancha de escombros “Renco” infrayaciendo a los depósitos de flujos piroclásticos “Mirmaca”. Esta secuencia piroclástica está constituida por un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de 40 m de espesor, cubierto por una capa de limos y arcillas ligeramente endurecidos y estratificados color anaranjada blanquecina, que alcanza los 3 m de espesor. Sobreyaciendo a esta última capa se encuentra un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Mirmaca”, el cual presenta un espesor de 20 m.

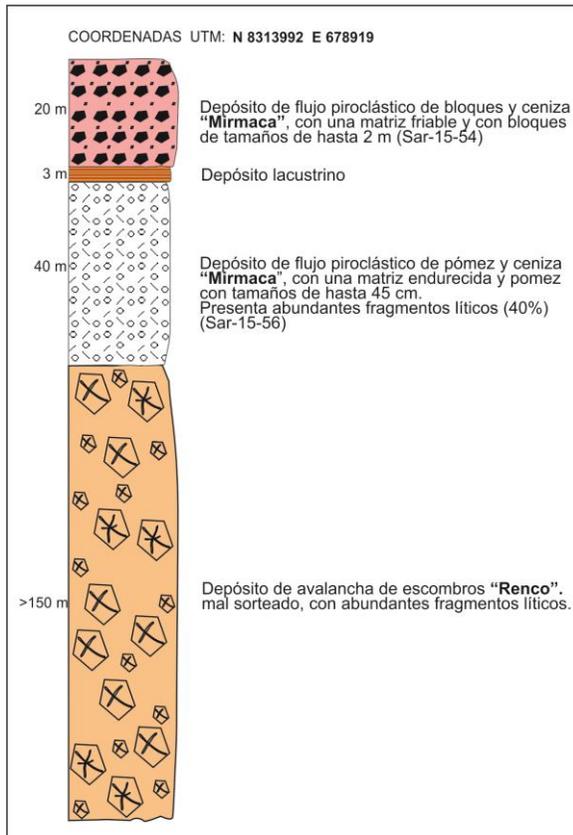


Fig. 4.3 Columna estratigráfica donde se muestra a los depósitos de flujos piroclásticos ubicados al NE del volcán Sara Sara.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA “ULLACHA I”

Corresponde a un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza dacítico-riolítico (69-70 wt. % SiO₂) de color blanquecino de 25 m de espesor, el cual yace entre 8 a 9 km al pie del flanco SO del volcán Sara Sara (Quebrada Chaquihuayjo). Este depósito presenta un sorteo regular, una gradación normal de la pómez dentro de una matriz deleznable. La pómez es fibrosa, presenta tamaños de hasta 5 cm, ricos en cristales de biotita y pobres en anfíbol y plagioclasa dentro de una matriz vesiculada. Los fragmentos líticos son de formas angulosas y subangulosas, no alterados de hasta 9 cm, presentando una abundancia de ellos en la base del depósito (Foto 4.13).

Este depósito no presenta estratificación, ni variaciones laterales, pero se han podido observar chimeneas de elutriación (pipes) asociadas a la salida de gases calientes posteriores al emplazamiento del depósito.



Foto 4.13 Fotografía del depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza “Ullacha I”, aflorando en la Quebrada Ullacha Grande, a 8 km al SO del volcán Sara Sara.

Sobreyaciendo a este depósito de flujo piroclástico, podemos observar intercalaciones de flujos de cenizas finas de color gris-marrón. Este afloramiento tiene un espesor de aproximadamente de 4 m, el cual se encuentra infrayaciendo al depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha I” (Fig. 4.4).

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA “ULLACHA I”

Corresponde a un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de composición dacítica-ríolítica (66-71 wt. % SiO₂) visible en la quebrada Chaquihuayjo, al pie del flanco Oeste del Sara Sara.

Este depósito mal sorteado y masivo presenta un espesor mayor de 14 m. Contiene principalmente bloques subangulosos, con tamaños de más de 1 m y con un brillo lustroso en su superficie (Foto 4.14). Estos bloques están distribuidos de manera caótica, clasto soportado con poco o casi nada de matriz. Los bloques presentan fenocristales de plagioclasa, biotita, poco anfíbol y óxidos de Fe-Ti, en una pasta con abundante vidrio volcánico. Los fragmentos de líticos oxidados predominan en el techo del depósito.



Foto 4.14 Afloramiento del depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha I” visible en la quebrada Ullacha Grande, donde se aprecian enormes bloques de rocas de domo de hasta 1 m sobreyaciendo a un depósito intercalado de flujos de ceniza.

Sobreyaciendo a este depósito se encuentra un depósito de caída de lapilli de pómez homogéneo, blanquecina, de composición dacítica y que mide hasta 0.5 m de espesor. La pómez presenta fenocristales de plagioclasa y anfíbol principalmente, dentro de una matriz vesiculada. Dicho depósito se encuentra entre horizontes de flujos de ceniza de 10 cm (Fig. 4.4).

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA “ULLACHA II”

Corresponde a un depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza de color blanquecino que aflora en la quebrada Ullacha Chico, entre 6 y 7 km al oeste del volcán Sara Sara, sobreyaciendo al depósito de caída de lapilli de pómez antes mencionado (Fig. 4.4). El mencionado depósito tiene 12 m de espesor. Se encuentra ligeramente consolidado, con un mal sorteo y una granoclasificación inversa.

El depósito está constituido principalmente por bloques densos de composición dacítica (68-69 wt. % SiO₂), y textura porfírica, de formas subangulosas a subredondeadas (Foto 4.15), un poco vesiculados, presentando cristales de plagioclasa de más de 1 cm de tamaño, biotita de 0.5 cm, anfíbol de hasta 0.2 cm, y óxidos de Fe-Ti. Los bloques miden hasta 30 cm de diámetro. Algunos bloques presentan una textura en “corteza de pan”.

La proporción entre bloques/matriz de este depósito es del orden de 40/60 a 30/70, respectivamente.

La parte inferior del depósito es de grano fino, friable y suelto, de color gris, mientras que la parte superior del depósito es rojiza, y predominan bloques angulosos densos. Se puede apreciar una ligera estratificación en el techo del depósito, con algunas coloraciones rojizas en el tope.



Foto 4.15 Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha II” aflorando en la quebrada Ullacha Chico, al Oeste del volcán Sara Sara, donde se puede notar bloques que miden hasta más de 1 m.

SECUENCIA DE DEPÓSITOS DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ Y CENIZA “BOUMA”

Sobreyaciendo al depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza “Ullacha II”, se distingue una secuencia intercalada de depósitos de caídas de lapilli fino y cenizas (Foto 4.16), la cual se encuentra aflorando por las quebradas Jatunsora y Ullacha Chico, localizadas a 6 km en el sector SO del volcán Sara Sara.

Corresponde a una serie de capas de caídas de ceniza de composición dacítica-riolítica en forma intercalada, los cuales presentan un espesor total promedio de aproximadamente 90 cm. Este depósito de caída presenta una granoclasificación normal, donde la pómez más grande se encuentra en la parte inferior del depósito.

La pómez presenta cristales de biotita y plagioclasa en una matriz vesiculada. Algunos niveles de la base son ricos en fragmentos líticos. Este depósito es muy característico debido a la gran cantidad de capas intercaladas que presentan.

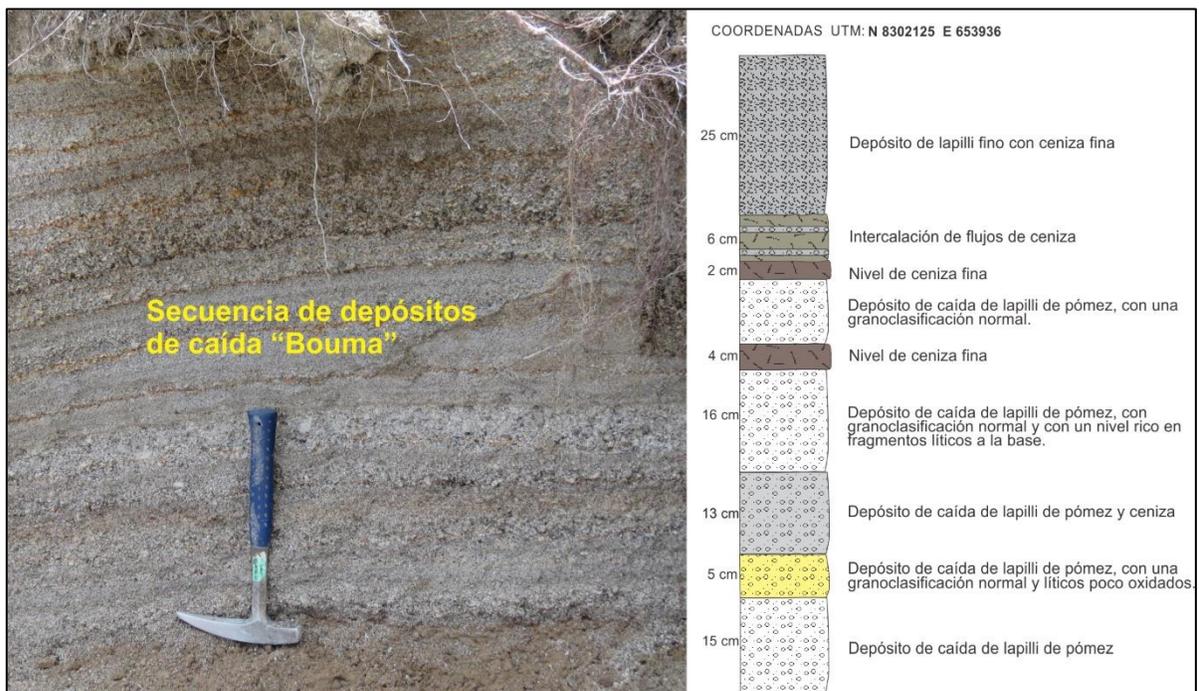


Foto 4.16 Secuencia de depósitos de caídas “Bouma”, con niveles de pómez ordenados con granoclasificación normal.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA “ULLACHA II”

En la quebrada ChaquiHuayjo, a 8 km del flanco SO del volcán Sara Sara se distingue un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color blanquecino, de 12 m de espesor y de composición dacítica (69-70 wt. % SiO_2) (Fig. 4.4). Dicho depósito se encuentra sobreyaciendo a la secuencia intercalada de depósitos de caídas y cenizas Bouma. Las pómez de este depósito presentan una granoclasificación inversa.

El depósito presenta un sorteo regular, cuyas pómez ligeramente densas, son de forma redondeada a subredondeada. En este depósito la pómez presenta una ligera imbricación, con una dirección preferencial hacia el volcán (Foto 4.17). En la base del depósito abunda la ceniza y en el techo la pómez. La pómez presenta una asociación mineral compuesta por fenocristales ricos en biotita, con plagioclasa y anfíbol, en una matriz con abundante vidrio volcánico.

Este depósito de flujo piroclástico está constituido por bombas pumíticas (30-40 vol. %) englobadas dentro de una matriz de ceniza (60-70 vol. %), con tamaños de hasta 25 cm; mientras que los fragmentos líticos llegan a medir hasta 35 cm, y están presentes en cantidades de 10 a 15 %.

Aparentemente, este depósito presenta dos 2 niveles: en el nivel superior se pueden notar pómez de mayor tamaño respecto al primer nivel, correspondiendo a diferentes pulsos y cantidades de energía expulsada durante la erupción volcánica.



Foto 4.17 Depósito de flujo piroclástico de composición riolítica denominado “Ullacha II” el cual presenta a las pómez imbricadas hacia una dirección preferencial.

A continuación se presenta una columna estratigráfica (Fig 4.4) donde se muestra los depósitos de flujos piroclásticos que afloran en la quebrada Ullacha al SO del volcán Sara Sara, antes mencionados:

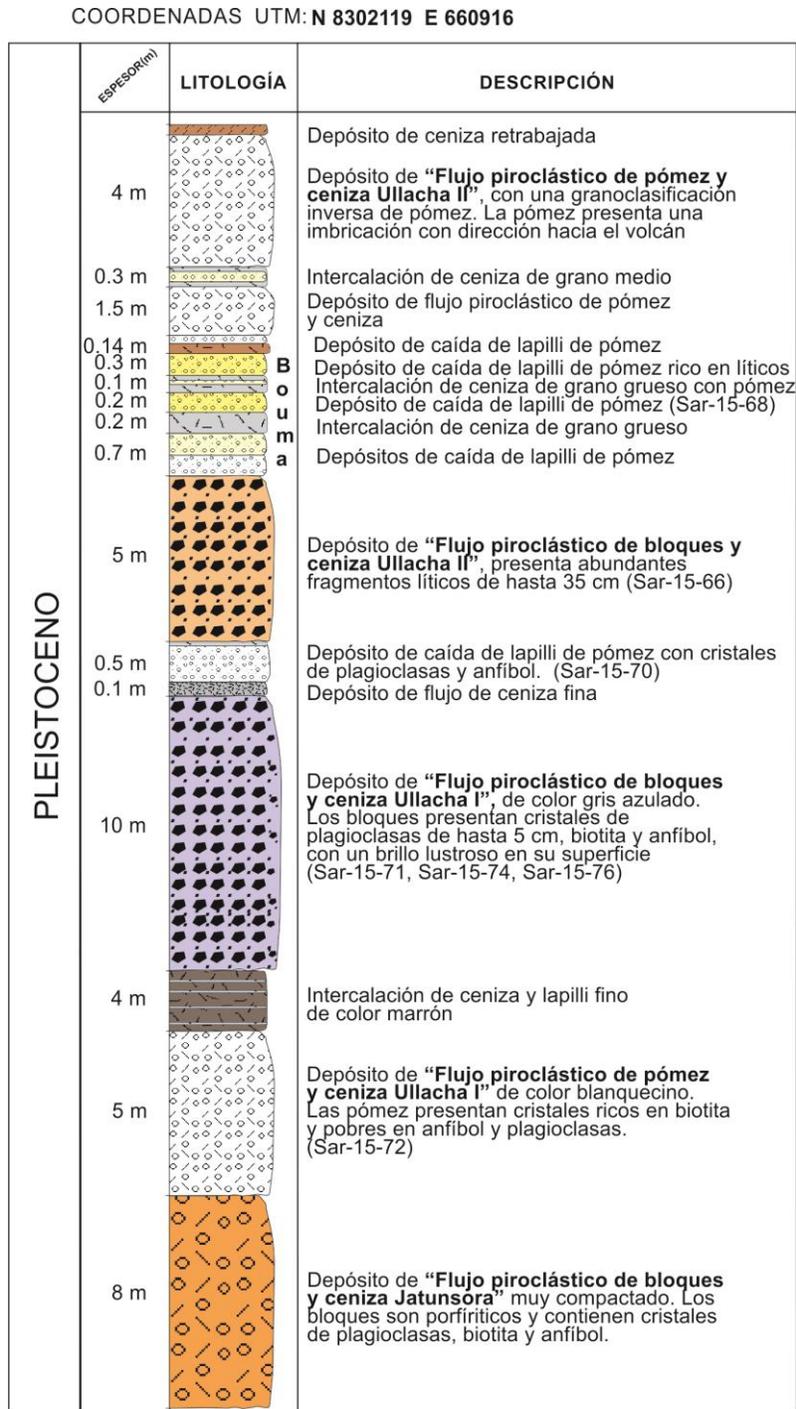


Fig. 4.4 Columna estratigráfica donde se muestra a los depósitos de flujos piroclásticos ubicados al O-SO del volcán Sara Sara.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA “ANGOSTURA”

En las quebradas Angostura y Putaca, entre 5 y 7 km al O-NO del volcán Sara Sara se distingue un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color blanquecino y de composición riolítica (Foto 4.18). El depósito es relativamente homogéneo con un sorteo regular, presenta una gradación normal y un espesor de hasta 8 m. La pómez es fibrosa y poco vesiculada, alcanzan a medir hasta 8 cm. Estas pómez contienen cristales de plagioclasa y biotita englobados dentro de una matriz vítrea. Además en el depósito se distinguen fragmentos líticos lávicos (3-5%) de formas angulosas a subredondeadas.

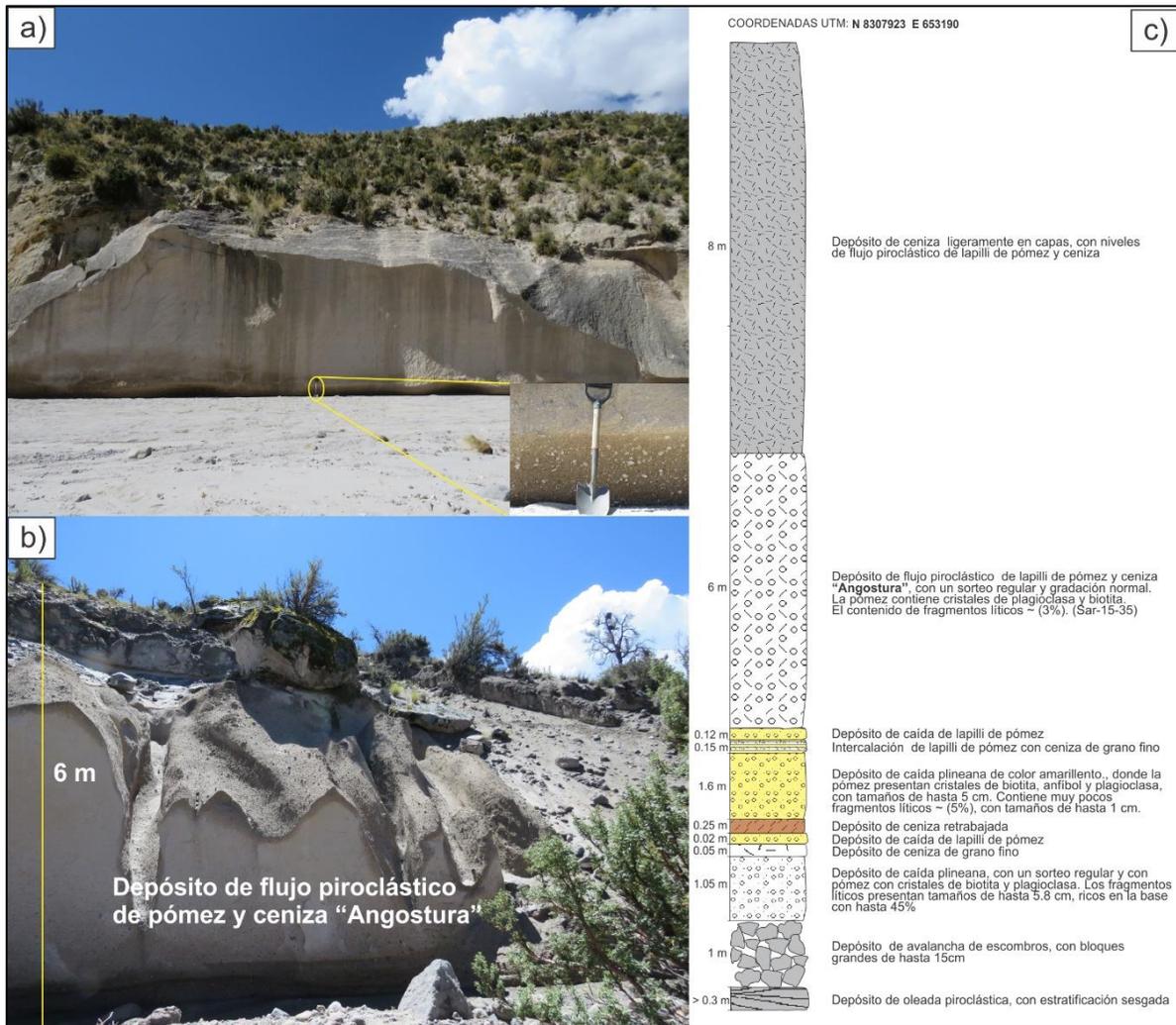


Foto 4.18 a) Parte basal del flujo piroclástico de pómez y ceniza “Angostura” en la quebrada del mismo nombre; b) Depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza con espesor de hasta 6 m; c) Columna estratigráfica que muestran los depósitos que componen esta secuencia.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA “CULICOTOMANA”

En las quebradas Cule y Culicotomana, entre 8 y 10 km al NO del volcán Sara Sara, se distingue un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza de color blanquecino y de composición dacítica. Este depósito mide más de 30 m de espesor y presenta un sorteo regular (Foto 4.19).

Las pómez presentan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, conjuntamente con óxidos de Fe-Ti que están presentes principalmente en la matriz. Se ha encontrado pómez de más de 25 cm de diámetro que tiene 2 colores diferentes, correspondiendo a distintas facies. Una primera facie es fibrosa con un centro blanquecino y una segunda facie es más densa con bordes de colores grises.

Presenta fragmentos líticos lávicos predominando en la base del depósito con un 90 %, notándose también en el nivel medio del afloramiento. Además de que se puede apreciar niveles superiores estratificados debido al contenido de agua, otorgándole colores medio amarillentos rosáceos en el techo del depósito, característico de este tipo de flujos piroclásticos.

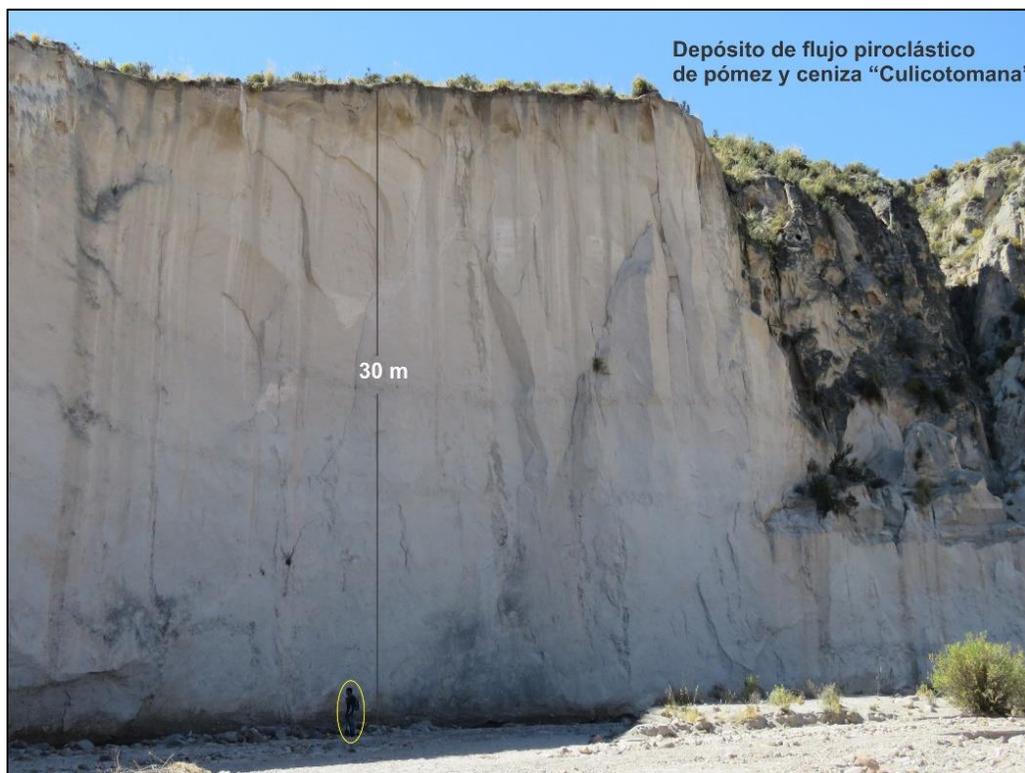


Foto 4.19 Depósito de flujo piroclástico de composición dacítica, denominado “Culicotomana” algunas pómez presentan facies de colores grises y blanquecinos.

4.1.4 EDIFICIO “SARA SARA III” - MEDIO SUPERIOR

Durante la tercera etapa denominada “Sara Sara III” - Intermedio superior, ocurrió un vulcanismo que empezó con una fase efusiva para terminar con una fase explosiva, compuesto principalmente por flujos de lava que forman el actual estratocono y por depósitos de caídas dacíticas y riolíticas ubicados al SE y SO del volcán Sara Sara. Ambos depósitos son descritos a continuación:

FLUJOS DE LAVAS

El estratocono superior del volcán Sara Sara está conformado por flujos de lava de color gris rojizo de composición dacítica (64-65 wt. % SiO₂), distribuidos de manera casi horizontal, aflorando entre los 4800 y 5505 msnm (Foto 4.20). Estas lavas tienen textura porfírica y se encuentran ligeramente alteradas y oxidadas debido al intemperismo. Presentan una asociación mineral constituida de fenocristales de plagioclasa (4 cm), biotita (0.5 cm) y poco anfíbol (0.1 cm), en una matriz microlítica de color gris rojizo.



Foto 4.20 Flujo de lava de composición dacítica en el flanco SE y S del Sara Sara respectivamente.

En el sector Este del volcán Sara Sara, los flujos de lava presentan paredes escarpadas verticales con un espesor que varía entre 20 y 40 m, con una pendiente moderada a alta (>40°). Presenta una longitud aproximada de 2 a 3 km alrededor del edificio volcánico. Estas lavas fueron afectadas por la glaciación tardiglaciaria, actualmente se aprecian pequeños circos glaciares que surcan sus flancos.

DEPÓSITOS DE CAÍDAS

En el sector SE, SO y O, por las quebradas Huancara, Llique y Jalane a más de 7 y 9 km del volcán Sara Sara, se distingue una secuencia de depósitos de caídas de lapilli de pómez de composiciones dacíticas a riolíticas, correspondientes a erupciones plinianas y subplinianas que presentó este volcán. Se ha reconocido al menos seis depósitos principalmente. A continuación se muestra una columna estratigráfica (Fig. 4.5) de dichos depósitos:

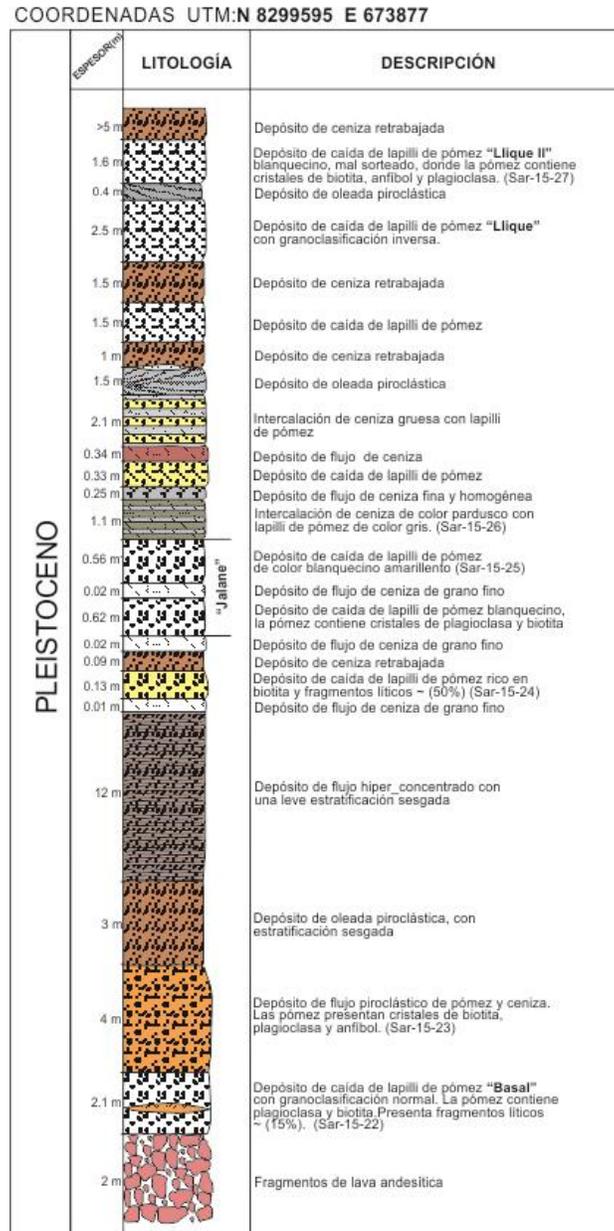


Fig. 4.5 Columna estratigráfica donde se muestra la secuencia de depósitos de caída de lapilli de pómez ubicadas al SE del volcán Sara Sara.

DEPÓSITO DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ “BASAL”

En la quebrada Huancara, entre 9 y 10 km al SE del volcán Sara Sara, se distingue un depósito de caída de lapilli de pómez de composición riolítica (71-73 wt. % SiO₂) y de color blanquecino anaranjado. El depósito es bien sorteado y homogéneo con una granoclasificación normal, donde el tamaño de la pómez disminuye desde la base hasta el tope (Foto 4.21). Este depósito de caída está sobreyaciendo a ignimbritas y flujos de lavas del Grupo Barroso (Fig 4.5).

La pómez tiene una textura fibrosa y forma subredondeada, con tamaños de hasta 14 cm de diámetro y se presentan un poco alteradas. Por su parte, los fragmentos líticos lávicos están entre 40-45%, y están enriquecidos en la base del afloramiento. Las pómez presentan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita englobados en una pasta de textura vesiculada y fluidal. Las vesículas tienen forma redondeada de hasta 1 cm.

Este depósito aparentemente contiene un depósito de flujo de pómez intrapliniana, donde la caída descende a la misma vez que el flujo piroclásticos que se encuentra sobreyaciendo.

Se presenta como el depósito de caída más antiguo de la serie visible al SE del volcán, emitido por una erupción del tipo pliniana, con un aproximado IEV (Índice de Explosividad Volcánica) > 3, debido al gran espesor (5.1 m) que presenta el depósito.

DEPÓSITO DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA “BASAL”

Sobreyaciendo a este depósito de caída de lapilli de pómez “Basal” se encuentra un depósito de flujo piroclástico de pómez y ceniza (Foto 4.22) blanquecina de composición riolítica que mide 4 m de espesor a 9 km al NE del volcán Sara Sara, que aparentemente está vinculado a este depósito de caída (Fig 4.5).

La pómez presenta fenocristales de plagioclasa y biotita principalmente, dentro de una matriz con abundante vidrio volcánico.

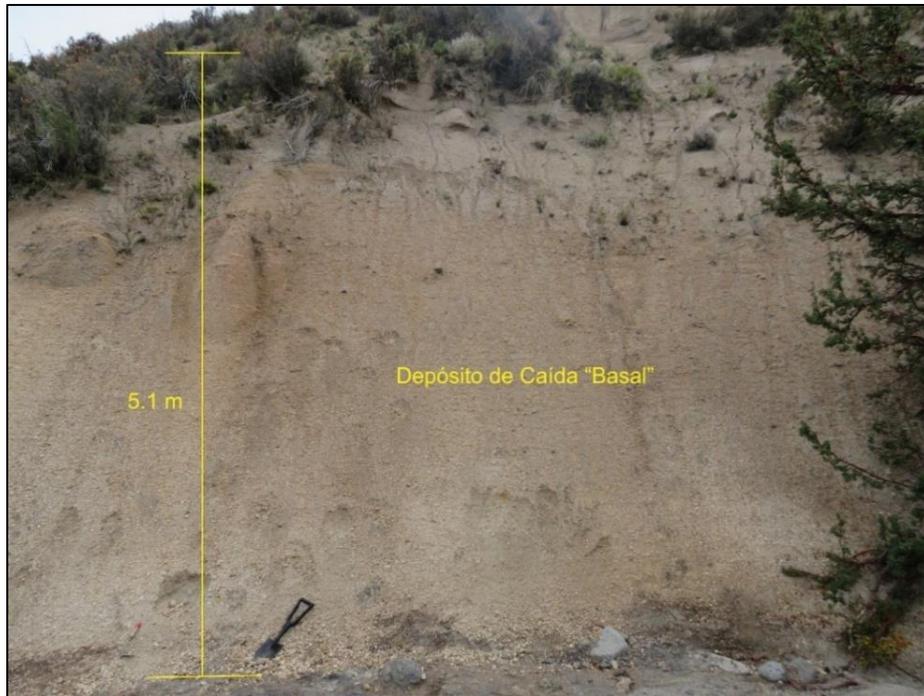


Foto 4.21 Depósito de caída “Basal”, el cual corresponde a una de las primeras erupciones explosiva del tipo pliniano, dispersadas al SE del Sara Sara, 9 km de la cima del volcán.



Foto 4.22 Oleada piroclástica estratificada de color blanquecino, sobreyaciendo al depósito de caída “Basal”. En la parte superior se puede ver el depósito de caída “Jalane”, que cubre ambos depósitos.

DEPÓSITO DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ “JALANE”

En inmediaciones de la quebrada Jalane y Huancara, entre 9 y 10 km al SE del volcán Sara Sara se distingue un depósito de caída de lapilli de pómez de color blanquecino a ligeramente amarillento, poco consolidado y con un sorteo regular. Estratigráficamente, se encuentra sobreyaciendo a una intercalación de capas de ceniza de color gris de 1-2 cm y un depósito de caída de lapilli de pómez de color amarillento de 13 cm de espesor. Estos últimos presentan fenocristales de biotita (Fig. 4.5).

Este depósito es de composición riolítica (70-71 wt. % SiO₂), con un espesor de 1.3 m. El depósito presenta 3 subniveles: La parte inferior corresponde al depósito de caída de color blanquecino, un sorteo regular y un espesor de 35 cm, con mayor cantidad de pómez. La parte media corresponde a una capa de ceniza de color gris blanquecino de 5 cm, mientras que la parte superior corresponde al depósito de caída de pómez pero con mayor cantidad de matriz fina de color amarillento blanquecino y con un espesor de 45 cm (Foto 4.23). Las pómez miden hasta 30 cm y estas se encuentran vesiculadas. Están constituidas de fenocristales de plagioclasa, biotita y óxidos de Fe-Ti. Cabe mencionar, que las biotitas están alteradas y se encuentran distribuidas dentro de una matriz de textura vesiculada.

Este depósito también contiene fragmentos líticos hidrotermalizados y oxidados entre 40 y 45%. Estos son de colores rojizos y amarillentos. Algunos fragmentos lávicos presentan bordes de oxidación en forma de aureola de color anaranjado en sus alrededores. Estos se encuentran en mayor abundancia en la parte media del depósito.



Foto 4.23 Depósito de caída “Jalane”, la cual presenta tres subniveles: a) Nivel superior de depósito de caída de lapilli de pómez y ceniza gris blanquecino, b) Nivel medio de ceniza y c) Nivel inferior de depósito de caída de lapilli de pómez blanquecino.

INTERCALACIONES DE DEPÓSITOS DE CAÍDAS-FLUJOS DE CENIZA Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS

Sobreyaciendo al depósito de caída “Jalane”, encontramos una intercalación de niveles de caídas de lapilli de pómez de colores amarillentos y grises, con horizontes de flujos de ceniza fina y oleadas piroclásticas. La secuencia mide en total 1.3 m.

Encima de esta secuencia se distingue un depósito de caída de lapilli de pómez de color amarillento de composición riolítica, cuyas pómez contienen fenocristales de plagioclasa y biotita. Estas últimas están en mayor proporción volumétrica (Fig. 4.5). El depósito tiene un espesor de 0.33 m.

Encima de estos depósitos se distingue una secuencia de flujo piroclástico de pómez y ceniza de 2.1 m de espesor, sobre la cual yace una capa de 1.5 m de oleada piroclástica. Dicho depósito de oleada piroclástica es de color gris, no consolidado, con estratificación cruzada o sesgada. Sobre esta oleada, yace un depósito de caída de color blanquecino de 2.5 m de espesor intercalada con depósitos de ceniza re trabajada. Toda esta secuencia infrayace al depósito de caída “Llique” (Fig. 4.5).

DEPÓSITO DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ “LLIQUE”

En el sector SE del volcán Sara Sara, cerca de la quebrada Lloquepucre y Llique, se distingue un potente depósito de caída de lapilli de pómez de 3.8 m de espesor (Foto 4.24). Este depósito aflora sobre depósitos de caídas y flujos piroclásticos descritos anteriormente.

El depósito de caída “Llique” es de color blanquecino y de composición riolítica (70-71 wt. % SiO₂), masivo, con un sorteo regular, homogéneo y una granoclasificación inversa con pómez más grandes visibles en el techo del depósito y las pómez más pequeñas en la base, correspondiendo al depósito de una erupción de tipo pliniana.

La pómez se encuentra conservada, vesiculada y fibrosa presentándose en formas subangulosas y subredondeadas. Presenta tamaños de hasta 30 cm y una asociación mineral de fenocristales de biotita, anfíbol y plagioclasa dentro de una textura vesiculada y fluidal.

Algunas pómez se presentan en dos facies, una primera facie de pómez de color blanquecina densa y una segunda facie de pómez blanquecina vesiculada en su interior, con un núcleo de color anaranjado.

El depósito, además presenta pocos fragmentos líticos (1-5%) de lavas, sin evidencias de líticos oxidados. En la carretera hacia Marán (SE del Sara Sara), el depósito presenta un tope de 30 cm de espesor, compuesto por 40 a 45 % de fragmentos líticos lávicos, bien aplastados (Foto 4.27), con una imbricación hacia el volcán, quizás producto de un removimiento del depósito debido a la pendiente.

En la parte más superficial del depósito se encuentran pómez de mayor tamaño, con un aspecto de balísticos suponiendo que tuvieron una trayectoria de desplazamiento en forma de parábola. Debido a su gran espesor que presenta a tan solo 6 km del volcán, posiblemente este depósito es producto de una erupción pliniana que tuvo un IEV (Índice de Explosividad Volcánica) igual a 4-5. Estudios sedimentológicos posteriores podrán afirmar o descartar tal hipótesis.

Este depósito aflora también en el sector SO del edificio volcánico, cerca de la quebrada Chaquihuayjo, en donde tiene 3.8 m de espesor. En esta zona el depósito es masivo sin estratificación; donde la pómez presenta fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, con pómez de tamaños de hasta 20 cm y con fragmentos líticos lávicos (7%) de hasta 8 cm.



Foto 4.24 Depósito de caída de lapilli de pómez riolítica “Llique”, en la carretera hacia Rauripa, al SE del volcán Sara Sara.



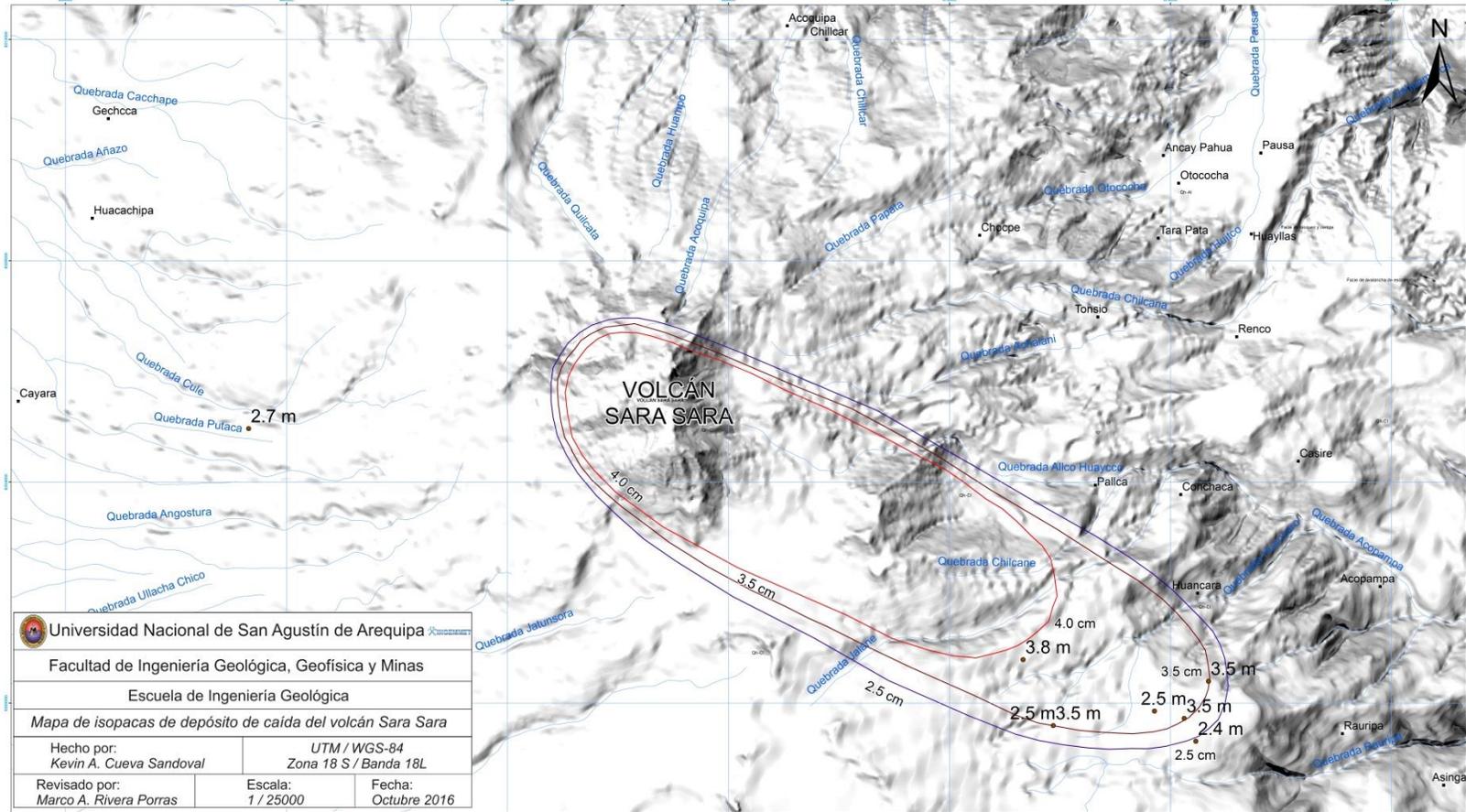
Foto 4.25 Afloramiento en el sector de LLique, al Este del volcán Sara Sara donde se distingue: a) Depósito de caída de lapilli de pómez “Jalane”. b) Depósitos de oleadas piroclásticas de color gris y blanquecino. c) Depósito de caída de lapilli de pómez “Llique”. d) Depósito de oleada piroclástica estratificada. e) Depósito de caída de lapilli de pómez denominada “Llique II”.

En base a la toma de medidas de espesor de los afloramientos de depósitos de caída de lapilli de pómez “Llique”, ubicados en las inmediaciones de los sectores SE del volcán (Foto 4.24), se pudo obtener la siguiente tabla:

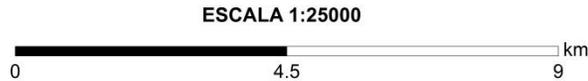
FECHA	SECTOR	E	N	ESPESOR	NOMBRE
jun-16	SE del Sara Sara	676459	8299312	2.4 m	Caída "Llique"
abr-16	SE del Sara Sara	675711	8299857	2.5 m	Caída "Llique"
abr-16	SE del Sara Sara	673880	8299594	2.5 m	Caída "Llique"
abr-16	SE del Sara Sara	676688	8300395	3.5 m	Caída "Llique"
abr-16	Camino a Marán SE	682443	8301114	1.4 m	Caída "Llique"
nov-15	Sector de Conchaca, SE	676100	83012816	3.8 m	Caída "Llique"
jun-15	SE del SS: Rauripa	676249	8299723	3.5 m	Caída "Llique"
abr-16	SE del SS: Rauripa	673880	8299594	3.5 m	Caída "Llique"
abr-16	SE del SS: Rauripa	673334	8300786	3.8 m	Caída "Llique"

Tabla N 4.1 Tabla que muestra la descripción de los puntos tomados correspondientes al depósito de caída “Llique”.

Con estos datos, limitados en el espacio, se pudo elaborar un mapa de isopacas preliminar de 2.5, 3.5 y 4 cm, en la cual se puede notar que el eje de dispersión de la pluma fue hacia el SE del volcán Sara Sara (Fig. 4.6).



 Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa		
Facultad de Ingeniería Geológica, Geofísica y Minas		
Escuela de Ingeniería Geológica		
Mapa de isopacas de depósito de caída del volcán Sara Sara		
Hecho por: Kevin A. Cueva Sandoval	UTM / WGS-84 Zona 18 S / Banda 18L	
Revisado por: Marco A. Rivera Porras	Escala: 1 / 25000	Fecha: Octubre 2016



LEYENDA

	Isopaca caída Llique 4.0 cm		Drenaje
	Isopaca caída Llique 3.5 cm		Poblados
	Isopaca caída Llique 2.5 cm		

Fig. 4.6 Mapa de isopacas del depósito de caída “Llique”.

DEPÓSITO DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ “LLIQUE II”

En el sector de la quebrada Jalane, localizada entre 8 y 9 km al SE del volcán Sara Sara, se encuentra un depósito de caída de lapilli de pómez de color blanquecino de composición dacítica (69-70 wt. % SiO₂), que presenta una granoclasificación inversa, mal sorteo y un espesor de hasta 1 m (Foto 4.26). Este depósito de caída de lapilli de pómez sobreyace al depósito “Llique”. La pómez es densa y poco vesiculada, constituida por cristales de plagioclasa, anfíbol y biotita. El depósito presenta también abundantes fragmentos líticos (30-35%) no alterados en la base, en mayor cantidad en comparación del depósito de caída “Llique” descrita anteriormente, presentando formas angulosas y subangulosas.

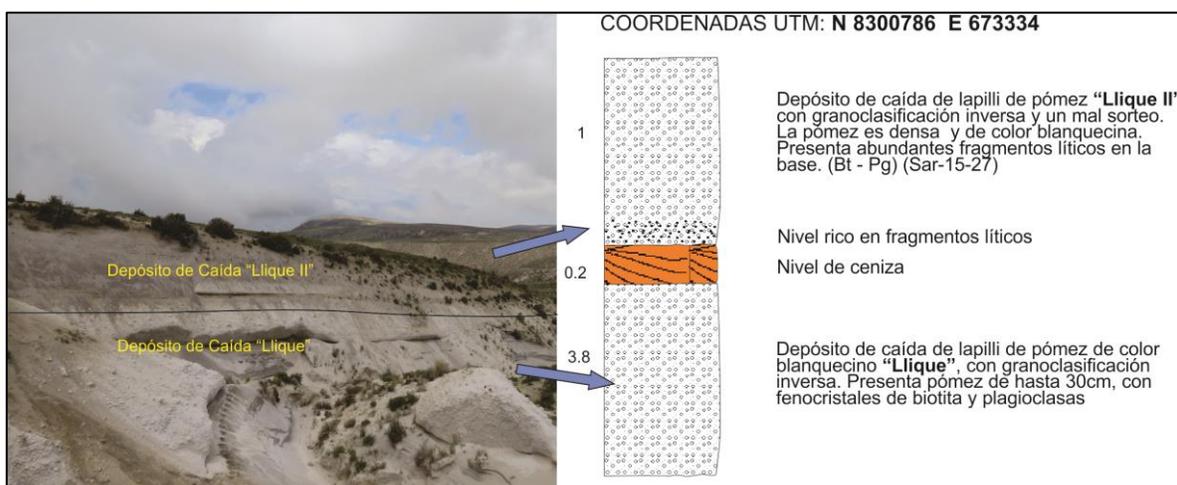


Foto 4.26 Contacto entre los depósitos de caídas de “Llique” y “Llique II”, con su respectiva representación gráfica mediante una columna estratigráfica. Bt (Biotita), Pg (Plagioclasa).

DEPÓSITO DE CAÍDA DE LAPILLI DE PÓMEZ “HUANCARA”

En la carretera Pausa-Cahuacho, entre 10 y 16 km al SE del volcán Sara Sara se distingue un depósito de caída de lapilli de pómez dacítico de color gris blanquecino, que tiene un sorteo bueno a regular, espesor de 1.4 m, granoclasificación normal de la pómez y un espesor de hasta 55 cm denominado “Huancara”. Este depósito está cubriendo a la caída de lapilli de pómez “Llique” (Foto 4.27).

La pómez del depósito presentan formas subangulosas, y contienen gran cantidad de fenocristales de anfíbol, biotita, plagioclasa y óxidos de Fe-Ti. Se han encontrado 2 facies de pómez: una de color gris y otra de color blanquecina.

La parte superior y la base del depósito se distinguen un enriquecimiento de fragmentos líticos (25 - 35%). Apparently, corresponds to one of the last explosive episodes produced by this volcano.

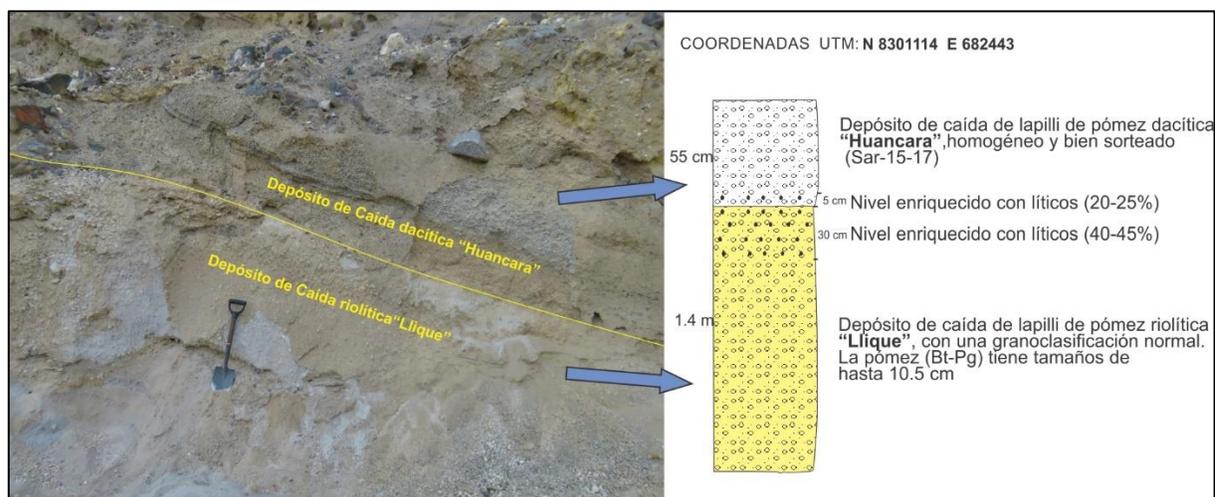


Foto 4.27 A la izquierda, contacto entre caída riolítica "Llique" y dacítica "Huancara", en la carretera Pausa-Marán, al SE del volcán Sara Sara, mientras que a la derecha columna estratigráfica de ambos depósitos de caídas.

4.1.5 EDIFICIO SARA SARA IV - RECIENTE

The Sara Sara IV - "Reciente" phase is the last period of activity shown by the Sara Sara volcano, corresponding primarily to an effusive vulcanism, composed by a sequence of lava flows in blocks, which emerge from the East sector of the volcanic edifice and will be described later:

FLUJOS DE LAVAS EN BLOQUES "CASIRE"

In the East sector of the Sara Sara volcano, a sequence of lava flows of dacitic composition (65.22 - 66.06 wt. % SiO₂), which present a porphyritic texture in a microlitic matrix, has been recognized. These lavas emerge up to the Casire settlement. This sequence corresponds to the final stage of the volcanic activity.

These lava flows ascended to the surface through a vent located on Cerro Yana Ranra, 1.5 km from the East flank of the volcanic edifice, between the quebradas Allco Huayco and Achalani, presenting a displacement of up to 17 km to reach the Uchubamba river, with a width of 1.2

km en su parte central y un espesor de 200 m aproximadamente. Presenta pendientes bajas a moderadas ($<30^\circ$) en los flancos del afloramiento. En la parte central del depósito predominan las cuerdas de lava, mientras que en los bordes se presentan los leveés (Foto 4.28).

El afloramiento es compacto de color gris, compuesto por lavas que presentan fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, principalmente, dentro de una matriz porfírica-microlítica. Se encuentra sobreyaciendo a los niveles de flujos piroclásticos de bloques y ceniza y la avalancha de escombros encontrados en el sector oriental del volcán Sara Sara.

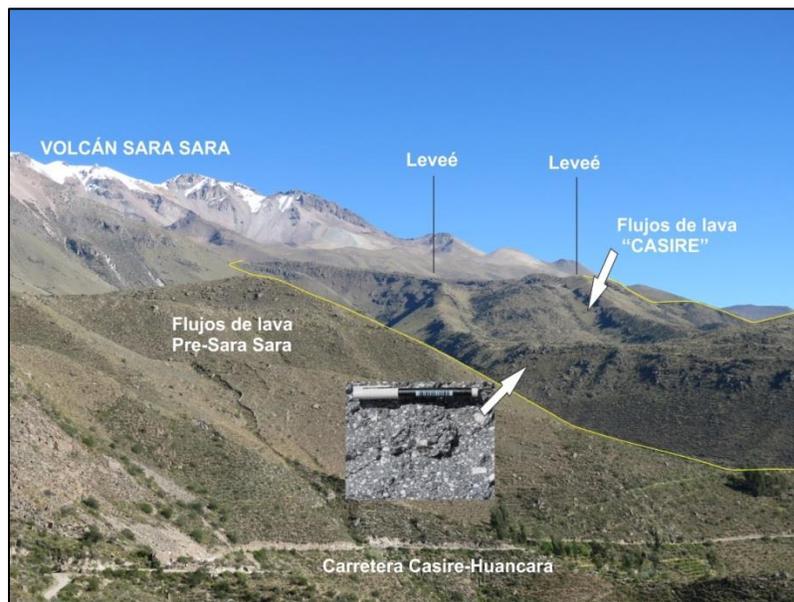


Foto 4.28 Vista del flujo de lava en bloques Casire, ubicado al Este del volcán Sara Sara. Además se presenta una fotografía de una muestra de lava dacítica con fenocristales de plagioclasa de hasta 5 cm.

4.1.6 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

LAHARES

En los sectores Este (cerca del poblado de Pallca) y SO (quebradas Angostura, Ullacha Grande, Chaquihuayjo y Putaca) se distinguen afloramientos de lahares o flujos de lodo, los cuales presentan varios niveles en forma de intercalaciones. Están conformados por fragmentos de bloques líticos, lapilli, cenizas y sedimentos. Algunos lahares presentan abundantes clastos de fragmentos líticos redondeados y ceniza, mientras que en otros predomina la matriz arenosa. Se puede apreciar una pseudostratificación, interpretando una corriente debido al dinamismo del depósito.

Estos depósitos de lahares son esencialmente contemporáneos a la erupción, producto de algún tipo de desestabilización de material piroclástico previamente depositado (Foto 4.29).



Foto 4.29 Afloramiento de depósito volcanoclástico-lahar por el sector Este del volcán Sara Sara.

DEPÓSITOS ALUVIALES

En las riberas de los ríos Pararca, Mirmaca, Uchubamba es decir al N, NE y E del volcán Sara Sara se distinguen depósitos aluviales. Estos están constituidos por bloques y lavas subredondeadas, envueltos en una matriz arenosa blanquecina poco plástica y no cohesiva. Estos depósitos están sujetos a procesos erosivos en las riveras fluviales dependiendo del volumen de sedimentos que arrastren dichos ríos durante los periodos de avenidas. Se han encontrado terrazas aluviales de amplias extensiones en la zona NE del volcán Sara Sara, sobre el cual están asentados algunos pueblos al Norte de Mirmaca y San Sebastián de Sacraca a unos 14 km al NE del volcán Sara Sara. Actualmente el área de estas terrazas es usada como zonas para cultivo.

DEPÓSITOS COLUVIALES

En los flancos de los cerros Sullcaymarca, Salviapata, Sombrero Orcco al NE, E, SE y en las faldas cercanas al volcán Sara Sara se encuentran afloramientos de depósitos coluviales. Los depósitos coluviales consisten en grandes bloques y fragmentos angulosos, con muy poca matriz de material fino. Constituyen depósitos muy inestables en laderas donde las rocas han sufrido procesado de elevado intemperismo, cuyos fragmentos se van reacomodando lentamente, buscando su nivel de equilibrio.

CAPÍTULO V

PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS DEL VOLCÁN SARA SARA

Se realizó el estudio petrográfico de 76 secciones delgadas de depósitos lávicos, depósitos de caídas y flujos piroclásticos del volcán Sara Sara utilizando un microscopio polarizado, contrastando diferentes texturas y asociaciones mineralógicas para determinar variación en las diversas fases evolutivas.

Las muestra tomadas se plotearon en un mapa de ubicación de muestras, las cuales abarcan los distintos flancos del volcán (Fig. 5.1).

A continuación se presenta una descripción detallada de las muestras emplazadas en las diversas etapas:

5.1 EDIFICIO SARA SARA I - BASAL

Los depósitos corresponden a flujos de lava y de avalanchas de escombros desde dacíticos a riolíticos, cuyos depósitos serán descritos a continuación:

DACITAS

FLUJOS DE LAVA

Corresponden a flujos de lava que afloran en el sector Sur, SE y Este del volcán Sara Sara (Sar-15-38; Sar-15-39; Sar-15-40; Sar-15-41; Sar-15-42; Sar-15-43; Sar-15-44; Sar-15-50; Sar-15-51; Sar-15-52; Sar-15-53; Sar-15-78). Estos flujos de lava presentan colores grises rojizos, con paredes bien escarpadas e intemperizadas, conteniendo cristales de plagioclasa de hasta 4 cm, anfíbol, biotita y algunos clinopiroxenos. La roca presenta una textura porfirítica y una matriz microlítica-intersertal, con presencia de microlitos de plagioclasa y anfíbol. En dichas rocas se distinguen entre 40-45 % de fenocristales, 50-55 % de matriz y 5-10 % de vesículas.

La asociación mineral consiste de fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbol, y clinopiroxenos donde el fenocristal que más abunda es la **plagioclasa** (45-50 %), presentándose como fenocristales (<4 cm) y microcristales (50-100 μm). De acuerdo a su textura, se pueden reconocer 2 tipos. El primer tipo corresponde a fenocristales subhedrales, ligeramente fracturados y alterados, con algunas inclusiones de óxidos en su interior de hasta 200 μm y con presencia de bordes reabsorbidos. El segundo tipo corresponde a fenocristales euhedrales - subhedrales, con bordes de disolución y una textura “sieve” de un ancho de hasta 130 μm , para dar pase a un intercrecimiento de la plagioclasa blanquecina limpia en los bordes (Foto 5.1; b).

El **anfíbol** constituye el 15-20% de los fenocristales del total de la muestra, presentando tamaños de hasta 1.8 mm y formas subhedrales. Algunos cristales presentan bordes de hasta 50 μm completamente oxidados (Foto 5.1; e).

La **biotita** constituye del 20-25% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 1.7 mm (Foto 5.1; a y c). Los fenocristales tienen hábitos euhedrales-subhedrales ligeramente fracturados y con inclusiones de apatito de hasta 50 μm . Algunos presentan textura tipo “black, por reemplazamiento de óxidos (Foto 5.1; d).

El **clinopiroxeno** se presenta en menor proporción, el cual constituye del 5-10 % de los fenocristales de la muestra, con formas subhedrales ligeramente fracturadas (Foto 5.1; f). Los minerales opacos constituidos por **óxidos** de Fe-Ti constituyen del 10-15 % de los fenocristales de la muestra, distribuidos en la matriz o reemplazando a algunos cristales.

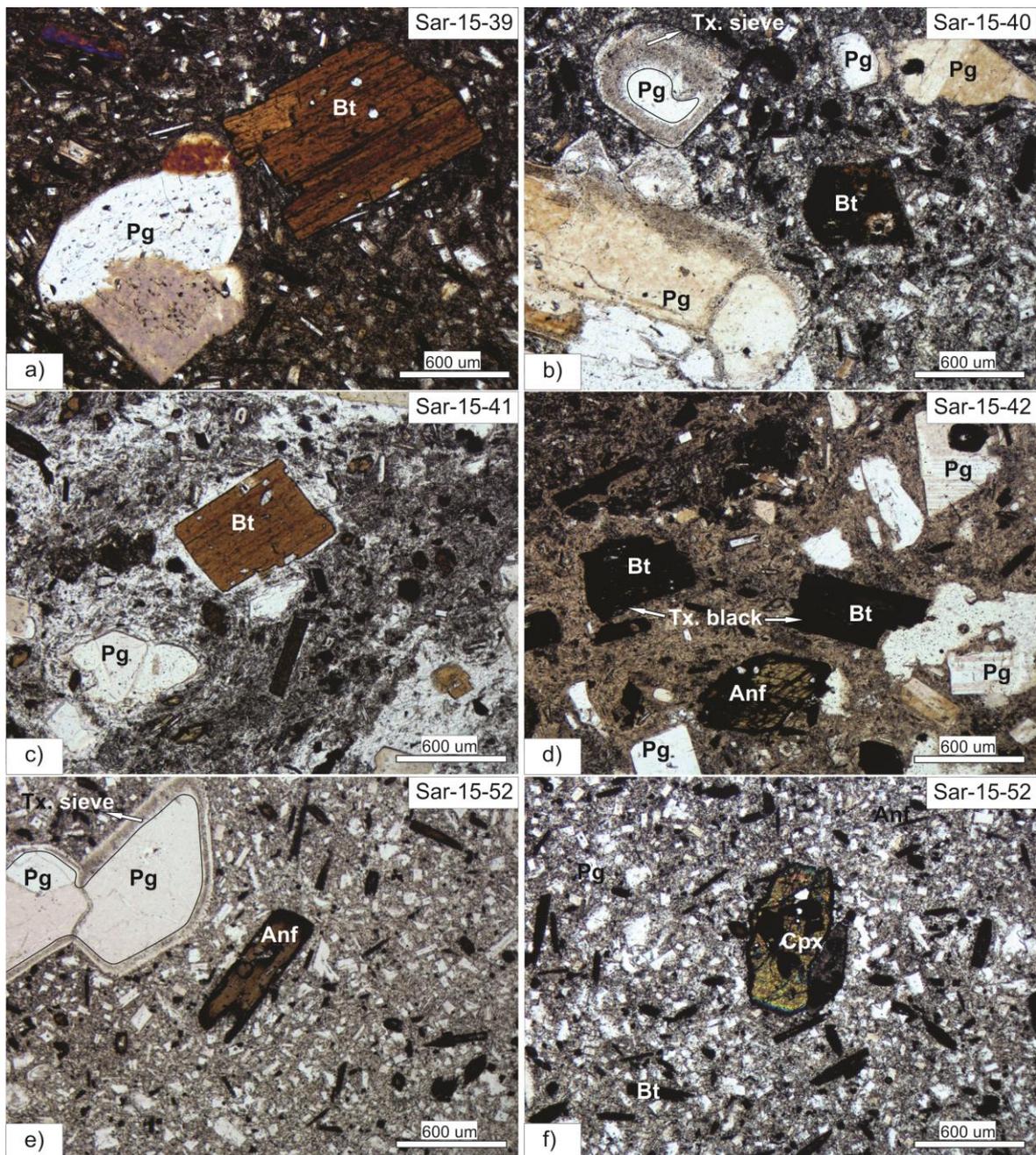


Foto 5.1 Fotografías de secciones delgadas de lavas dacíticas correspondientes al “Sara Sara I” en luz polarizada y luz natural: a) Fenocristales de plagioclasa (Pg) y biotita (Bt) de más de 1 mm de tamaño, en una matriz microlítica. b) Fenocristales de plagioclasa (Pg) fracturada de bordes con textura “sieve” y anfíbol (Anf), en una matriz con abundantes microlitos de plagioclasa (Pg). c) Fenocristales de biotita (Bt) y plagioclasa (Pg) en una matriz microlítica. d) Cristales de plagioclasa (Pg) así como también de anfíbol (Anf) y biotita (Bt), fragmentados y oxidados, algunos presentando una textura “black”. e) Fenocristales de plagioclasa (Pg) con textura “tamiz” en los bordes, incluido en una matriz con abundantes microlitos de plagioclasa (Pg) y anfíbol (Anf). f) Fenocristal de clinopiroxeno en una matriz intersertal (Cpx) con inclusiones de óxidos en su interior.

RIOLITAS

DEPOSITO DE AVALANCHA DE ESCOMBROS

Las rocas de las facies de bloques de la avalancha de escombros “Renco” (Sar-15-06; Sar-15-06B) afloran en el sector NE del volcán Sara Sara, cerca al poblado Pausa - Renco. Estas rocas presentan una textura microlítica y glomeroporfirítica, con una matriz compuesta por microlitos de plagioclasa y vidrio volcánico. Contienen entre 30-35 % de fenocristales, 55-60 % de matriz y 5-10% de vesículas, con un ensamble mineralógico constituido por fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita.

El fenocristal que más abunda es la **plagioclasa** (55-60 %), con tamaños de hasta 2.5 mm. Se pueden reconocer 3 tipos: El primer tipo está constituido por fenocristales euhedrales a subhedrales, poco fracturados, con una textura “sieve” en el núcleo del cristal, además de presentar inclusiones de óxidos en el interior con tamaños de hasta 100 μm . El segundo tipo presenta fenocristales subhedrales fragmentados en sobrecrecimiento de otro cristales de plagioclasa (Foto 5.2; a). El tercer tipo está constituido por fenocristales euhedrales-subhedrales, la cual presenta una zonación donde: la zona interna está limpia con inclusiones de óxidos de Fe-Ti, en la zona intermedia aparece una textura “sieve” de 90 μm de grosor, mientras que en el zona externa (borde), se presenta un intercrecimiento de plagioclasa blanquecina. (Foto 5.2; b). Se presentan también cumulos de fenocristales de plagioclasas en la matriz.

Presenta además fenocristales de **biotita** que han sido reemplazados totalmente por óxidos, proceso denominado pseudomorfismo (Foto 5.2; e y f).

El **anfíbol** constituye también el 15-20 % de los fenocristales del total de la muestra. Con tamaños hasta de 1.6 mm. Los fenocristales son euhedrales a subhedrales, algunos poco fracturados, fragmentados y con bordes de oxidación, marcando un relieve fuerte (Foto 5.2; c y d). También se puede apreciar inclusiones de óxidos en su interior o el reemplazamiento total de los cristales por los óxidos.

Los **óxidos** de Fe-Ti constituyen del 10-15 % de los fenocristales de la muestra. Se presenta como inclusiones en las plagioclasas y en los anfíboles, así como también en la matriz o como bordes de reacción en los anfíboles.

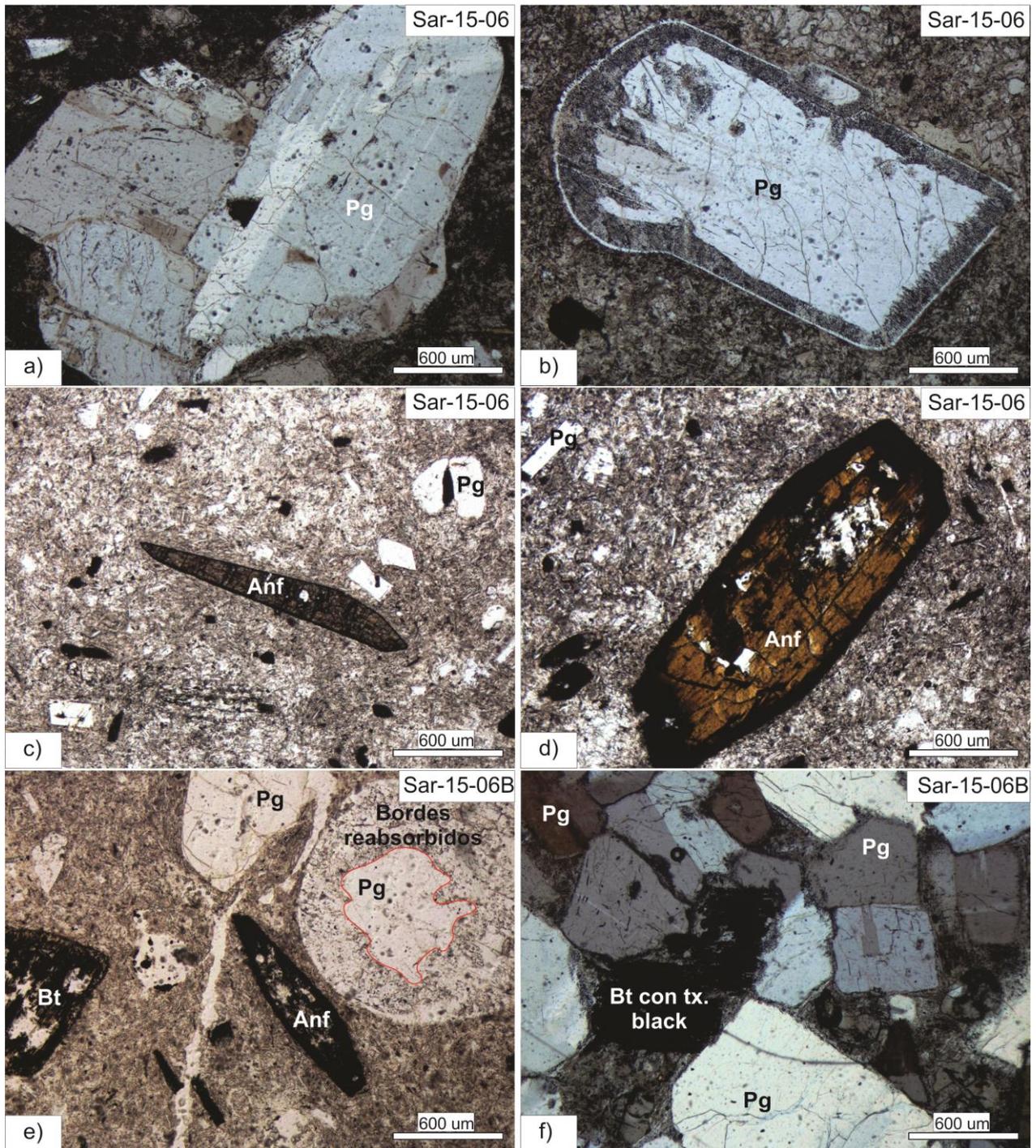


Foto 5.2 Fotografías de secciones delgadas de bloques pertenecientes a la avalancha de escombros Renco del “Sara Sara I” en luz natural y polarizada: a) Fenocristales de sobrecrecimiento de plagioclasas (Pg). b) Fenocristal de plagioclase (Pg) de forma subhedral con textura “tamiz” en los bordes, seguido de un intercrecimiento de plagioclase. c) y d) Cristales de anfíbol (Anf) con gruesos bordes de oxidación. e) Fenocristales de anfíboles (Anf) y biotitas (Bt) oxidados. f) Aglomeramiento de plagioclasas (Pg) fragmentadas junto con biotitas (Bt) con textura “Black”, debido al reemplazamiento de algunos fenocristales por óxidos.

Se presenta un cuadro resumen de las muestras analizadas de los depósitos correspondientes al Sara Sara I, cuyas características petrográficas más resaltantes se muestran a continuación:

SARA SARA I		
DEPÓSITO	FLUJOS DE LAVA	AVALANCHA DE ESCOMBROS
Tipo petrográfico	Dacita	Riolita
Fenocristales vol. %	40-45	30-35
Matriz vol. %	50-55	55-60
Vesículas vol. %	5-10	5-10
Max. Tamaño de los cristales	6.5 mm	4.0 mm
Textura	Porfirítica con una matriz microlítica e intersertal	Microlítica - Glomeroporfídica con una matriz de microlitos y vidrio volcánico
Ensamble mineralógico	Pg-Bt-Anf-Cpx	Pg-Bt-Anf
Características texturales	Pg "sieve" + Pg alteradas; Bt oxidadas ; Anf con corona de oxidación	Pg clara + Pg "sieve" + Pg zonada; Anf oxidados

Tabla. 5.1 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara I. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Cpx = clinopiroxeno

5.2 EDIFICIO SARA SARA II - MEDIO INFERIOR

Los depósitos corresponden a flujos piroclásticos de composiciones dacíticas y riolíticas, los cuales serán descritos a continuación:

DACITAS

DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS DE BLOQUES Y CENIZA

En los sectores SE y SO del volcán Sara Sara, cerca de la quebrada Pausa, Chaquihuayjo y Ullacha Chico se encontraron los depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza denominados Mirmaca (Sar-15-54), Pausa (Sar-15-63), Jatunsora (Sar-15-66) y Ullacha II (Sar-15-75). Se tratan de depósitos con bloques densos, con una textura microlítica, ligeramente vesiculada, matriz intersertal compuesta por microlitos y microcristales de plagioclasa y anfíbol, presentando un contenido de 30-35 % de fenocristales, 55-60 % de matriz y 10-15 % de vesículas.

La asociación mineral consiste de fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbol y apatito, donde el fenocristal más abundante es la **plagioclasa** (40-45 %), presentando tamaños de hasta 1.1 cm. De acuerdo a su textura, se pueden reconocer 1 tipo, el cual está constituido por fenocristales euhedrales- subhedrales ligeramente fracturados y oxidados, donde algunos presentan un sobrecrecimiento de plagioclasas en su interior, además de presentar inclusiones de biotitas y óxidos en la matriz. Se presentan también microcristales de plagioclasas de 100 µm en promedio, así como también cumulos de microlitos de plagioclasa y de anfíbol en la matriz.

Después de la plagioclasa, el mineral más abundante es el **anfíbol** (25-30 %) con tamaños de hasta 1.5 mm. Algunos anfíboles presentan una textura “black”, debido a que han sido reemplazados totalmente por los óxidos, así como también algunos cristales de anfíbol zonados (Foto 5.3; a).

La **biotita** constituye del 20-25% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 1.0 mm, presentándose en forma de fenocristales subhedrales, algunos oxidados. También se puede encontrar cristales de **apatito**, presentando un aspecto translucido, constituyendo del 5-10 % de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños desde 0.2 hasta 1.5 mm (Foto 5.3; c).

Los **óxidos** de Fe-Ti constituyen del 5-10 % de los fenocristales de la muestra, se encuentran en los bordes o como inclusiones en los cristales.

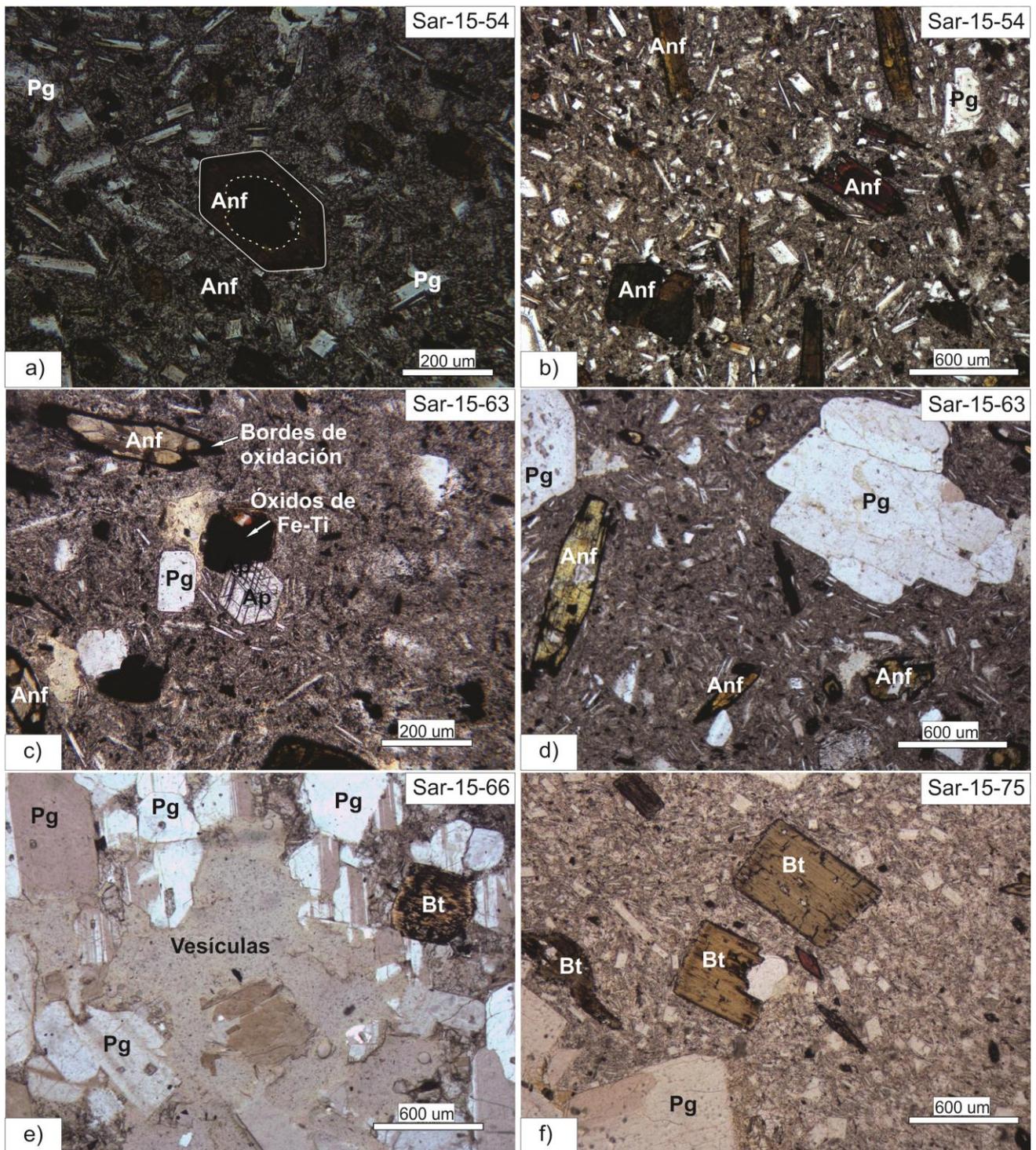


Foto 5.3 Fotografías de secciones delgadas de flujos piroclásticos de bloques y ceniza dacíticas del “Sara Sara II” en luz natural y polarizada: a) Fenocristal de anfíbol (Anf) zonado en una matriz con microcristales de plagioclasa euhedrales. b) Cristales de anfíboles (Anf) dentro de una matriz microlítica. c) Fenocristal de apatito (Ap) de forma euhedral, que mide 200 μm . d) Fenocristales de anfíbol (Anf) con bordes de oxidación e) Fenocristales de plagioclasas (Pg) fragmentadas y biotita (Bt) ligeramente oxidada, en una matriz vesiculada. f) Fenocristales de biotitas (Bt) euhedrales en una matriz con abundantes microlitos y microcristales de plagioclasas.

DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS DE PÓMEZ Y CENIZA

En los sectores SO y NE del volcán Sara Sara, cerca de la quebrada Culicotomana, Culé y Pausa se encontraron depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza denominados Culicotomana (Sar-15-34; Sar-15-36) y Mirmaca (Sar-15-56; Sar-15-57).

Las pómez se caracterizan por presentar una textura vesiculada con una matriz vítrea, además de un contenido de 15-20 % de fenocristales, 45-50 % de matriz y 35-40 % de vesículas. Las vesículas predominantes son de formas elongadas casi esféricas y aplastadas, las cuales se encuentran en la matriz y como inclusiones en algunas plagioclasas.

La asociación mineral consiste de fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, donde el fenocristal más abundante es la **plagioclasa** (35-40 %), con tamaños de hasta 3.0 mm. De acuerdo a su textura, se han podido reconocer hasta 2 tipos: El primer tipo está constituido por fenocristales subhedrales ligeramente fracturados y fragmentados, con algunas inclusiones de óxidos en su interior y bordes de reabsorción. El segundo tipo presenta fenocristales euhedrales-subhedrales ligeramente fragmentados y fracturados, con una textura “sieve” en el núcleo del cristal y con franjas de disolución de óxidos hasta de 150 μm .

La **biotita** constituye el 25-30% de los fenocristales del total de la muestra, presentando tamaños de hasta 1.2 mm. Los fenocristales son de forma euhedral, ligeramente fracturados y con inclusiones de óxidos en su interior de hasta 150 μm .

Por su parte, el **anfíbol** constituye del 20-25 % de los fenocristales del total de la muestra con tamaños desde hasta 1.1 mm, con formas subhedrales, ligeramente fracturados, fragmentados. Todos o algunos presentan bordes completamente oxidados de hasta 20 μm . En algunos casos ambos cristales aparecen completamente alterados por una pasta criptocristalina constituida por óxidos de Fe – Ti, este tipo de textura se denomina “black”.

Los **óxidos** presentan tamaños de hasta 150 μm , constituyendo el 10-15 % de los fenocristales de la muestra, donde algunos se encuentran en los bordes o como inclusiones en los cristales.

RIOLITAS

DEPÓSITOS DE FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA

En los sectores O-SO del volcán Sara Sara, por las quebradas Chaquihuayjo y Ullacha Chico, aflora un depósito de flujo piroclásticos de bloques y ceniza denominado Ullacha II (Sar-15-67; Sar-15-69; Sar-15-71; Sar-15-74; Sar-15-76), poco consolidado, de color gris. Los bloques se caracterizan por presentar una textura vesiculada - fluidal, con una matriz vítrea con abundantes vesículas – vidrio volcánico y un contenido de 25-30 % de fenocristales, 40-45 % de matriz y 30-35 % de vesículas, donde las vesículas presentan formas alargadas y aplastadas, con direcciones de flujo.

La asociación mineral consiste principalmente de fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, donde el fenocristal que más abunda es la **plagioclasa** (45-50 %), con tamaños de hasta 1.0 cm. Se observan 2 tipos: El primer tipo consiste de fenocristales subhedrales, los cuales presentan delgados bordes de oxidación de 40 μm , el segundo tipo está constituido por fenocristales euhedrales limpios, fragmentados formando cumulos, donde se presentan inclusiones de óxido de hasta 600 μm en su interior y fenocristales de biotita.

La **biotita** constituye del 25-30% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 1.8 mm (Foto 5.4; b y c). Se presentan en forma de fenocristales euhedrales-subhedrales. La mayor cantidad de biotita se presenta reemplazada por óxidos, debido a un proceso de pseudomorfismo.

El **anfíbol** constituye del 10-15% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 2.4 mm. Están en forma de fenocristales subhedrales-anhedrales, completamente oxidados y fragmentados (Foto 5.4; f). Algunos presentan bordes de reacción de óxidos y otras están completamente reemplazadas con una textura “black”, y contienen óxidos en forma de inclusiones.

En algunas muestras también se encontraron **esferulitas** radiales de vidrio volcánico de origen secundario, con textura concéntrica, las cuales constituye del 5-10 % de los fenocristales de la muestra (Foto 5.4; e). Estas esferulitas de sílice presentan tamaños de hasta 1.8 mm, presentándose en sobrecrecimiento de plagioclasa e inclusiones de anfíbol. Por último, los minerales opacos corresponden a **óxidos** y constituyen el 10-15 % de los fenocristales de la muestra.

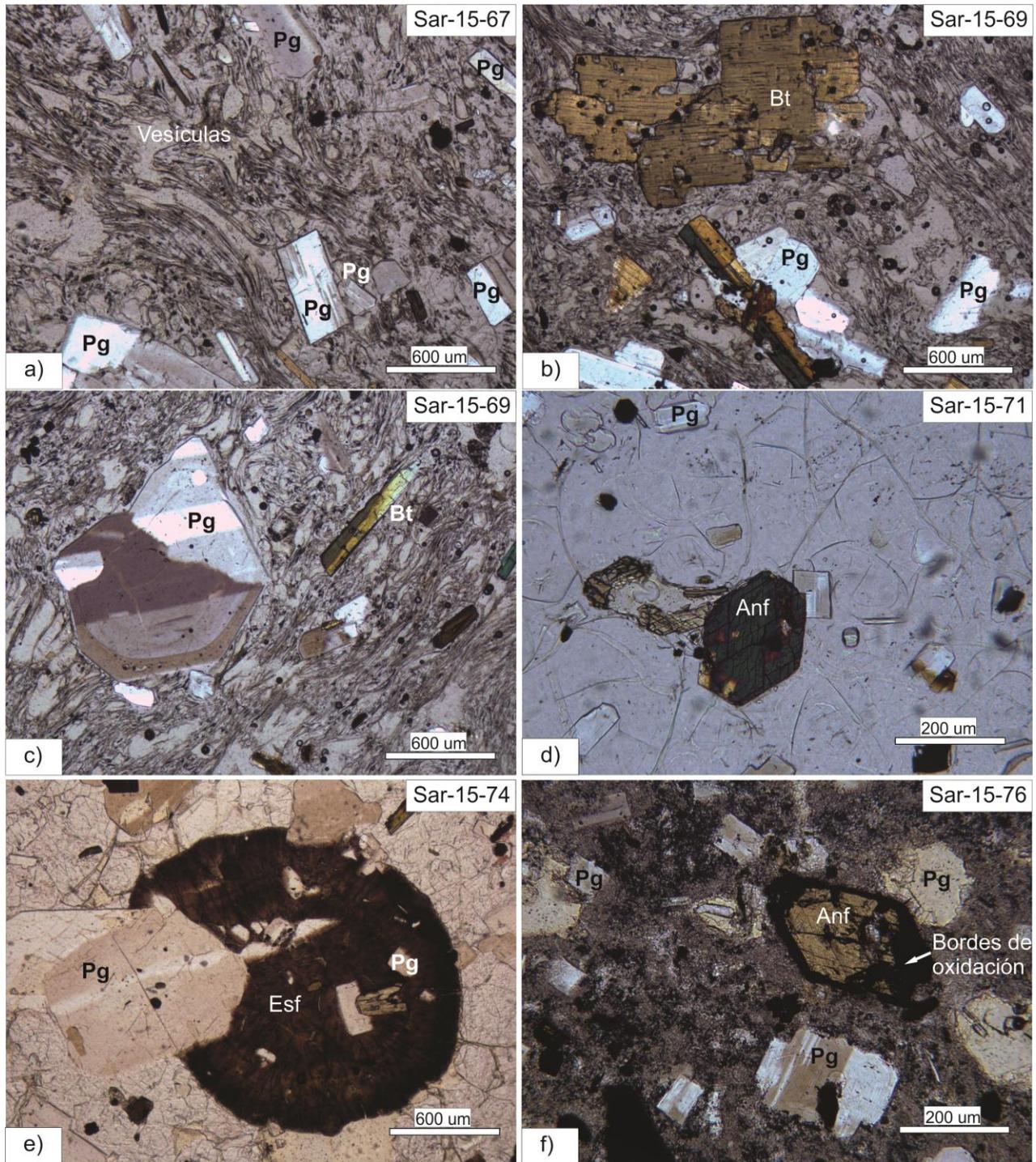


Foto 5.4 Fotografías de secciones delgadas de depósitos de flujos piroclástico de bloques y ceniza riolíticas correspondientes al “Sara Sara II” en luz polarizada: a) Cristales de plagioclasas (Pg) euhedrales dentro de una matriz con abundantes vesículas. b) Fenocristales de anfíboles (Anf) con inclusiones de óxidos en su interior. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) ligeramente alterado en una matriz con textura fluidal d) Fenocristal de anfíbol (Anf) con inclusiones de óxidos en su interior e) Esferulita de vidrio volcánico con sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg). f) Fenocristal de anfíbol (Anf) con bordes de oxidación.

DEPÓSITOS DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS DE POMEZ Y CENIZA

Por las quebradas Ullacha Chico y Chaquihuayjo al SO del volcán Sara Sara, se reconocieron los depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza Angostura (Sar-15-35; Sar-15-58; Sar-15-59; Sar-15-61), Ullacha I (Sar-15-72) y Ullacha II (Sar-15-73).

La pómez se caracteriza por presentar una textura vesiculada, fluidal, ligeramente glomeroporfírica, con una matriz vítrea vesiculada. Las vesículas predominantes presentan formas alargadas, elongadas y aplastadas dentro de una matriz con textura fluidal, con tamaños desde 10 μm a 250 μm .

Las rocas presentan un contenido de 10-15 % de fenocristales, 45-50 % de matriz y 40-45% de vesículas con un ensamble mineralógico compuesto por fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, donde la **plagioclasa** es el fenocristal más abundante constituyendo el 45-50 % de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 7 mm.

Se observan 2 tipos: el primer tipo está constituido por fenocristales euhedrales-subhedrales un poco alterados, zonados y fracturados, con algunas inclusiones de óxidos y biotitas en su interior (Foto 5.5; d). El segundo tipo está constituido por algunos fenocristales subhedrales ligeramente fracturados, con una textura “sieve” en los bordes.

Los fenocristales de **biotita** constituyen el 25-30 % de los fenocristales del total de la muestra, presentando tamaños de hasta 1.8 mm. Estas tienen formas euhedrales-subhedrales-tabulares, fragmentados, con inclusiones de óxidos de Fe-Ti en su interior. Algunas biotitas presentan delgados bordes de oxidación y con inclusiones de apatito hasta de 200 μm (Foto 5.5; c y f), mientras que el **anfíbol** constituye del 5-10% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños desde 0.4 hasta 0.8 mm.

Por último, los **óxidos** de Fe y Ti constituyen del 10-15 % de los fenocristales de la muestra formando parte de la matriz o en forma de inclusiones en algunos cristales.

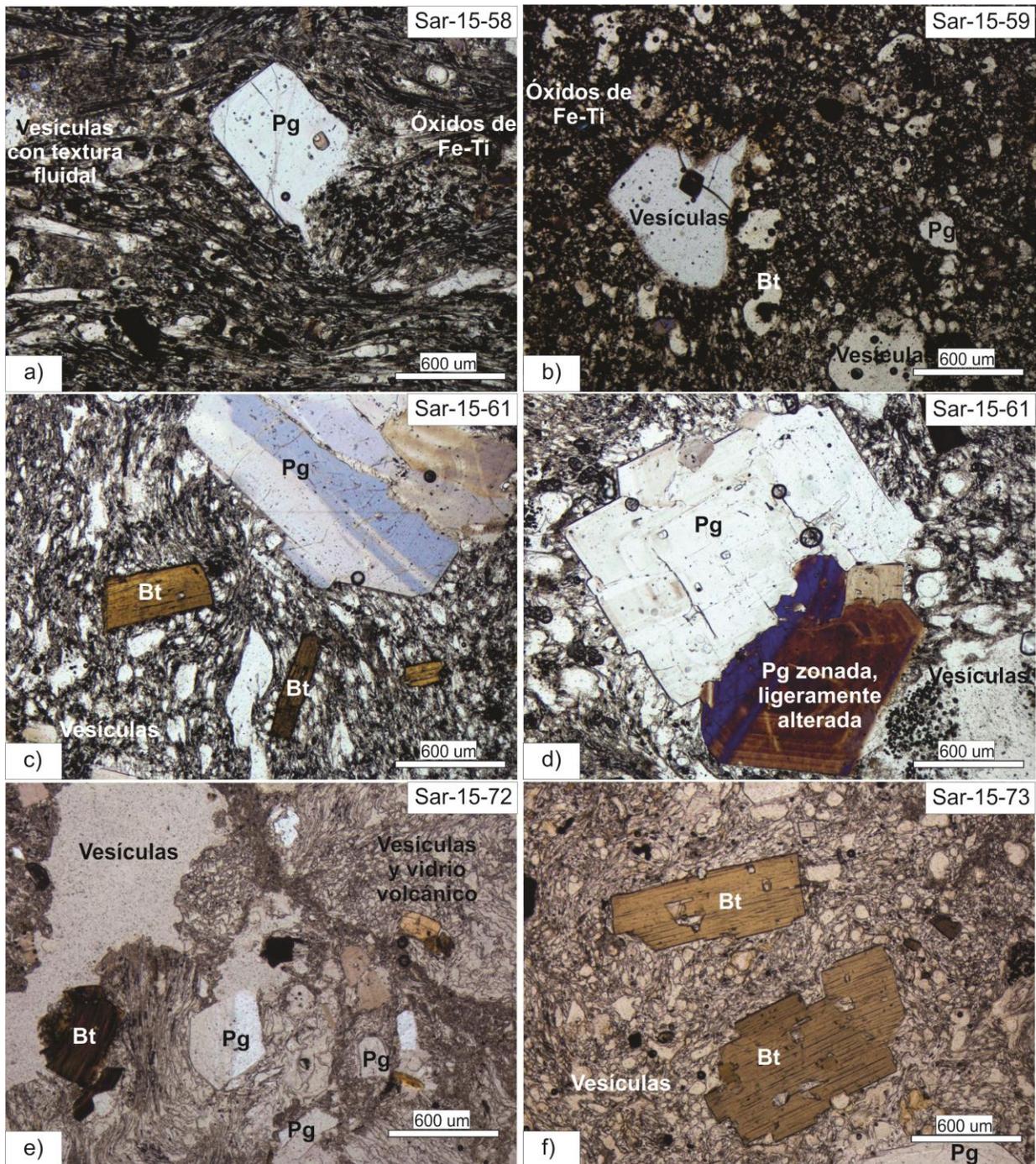


Foto 5.5 Fotografías de secciones delgadas de depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, correspondientes al “Sara Sara II” en luz natural y polarizada: a-b) Fenocristales de plagioclasa (Pg), dentro de una matriz vesiculada y fluidal, algunos presentan bordes reabsorbidos. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) y biotita (Bt), dentro de una matriz vesiculada. d) Sobrecrecimiento de plagioclasa (Pg) blanquecina, sobre una alterada y zonada, fenocristales de plagioclasa (Pg), los cuales se encuentran fragmentados. f) Fenocristales de biotitas (Bt) de más de 1 mm, en una matriz vesiculada.

Se presenta un cuadro resumen de las muestras analizadas de los depósitos correspondientes al Sara Sara II, cuyas características petrográficas más resaltantes se muestran a continuación:

SARA SARA II				
	DEPÓSITO			
	FLUJO PIROCLÁSTICO DE BLOQUES Y CENIZA		FLUJO PIROCLÁSTICO DE PÓMEZ Y CENIZA	
Tipo petrográfico	Dacita	Riolita	Dacita	Riolita
Fenocristales vol.%	30-35	25-30	15-20	10-15
Matriz vol.%	55-60	40-45	45-50	45-50
Vesículas vol.%	10-15	30-35	35-40	40-45
Max. Tamaño de los cristales	5 mm	1 cm	4 mm	4 mm
Textura	Microlítica - Vesiculada - con una matriz intersertal	Vesiculada - Fluidal con una matriz vítrea	Vesiculada con una matriz vítrea	Vesiculada - Fluidal con una matriz vítrea
Ensamble mineralógico	Pg-Anf-Bt-Ap	Pg-Bt-Anf	Pg-Bt-Anf	Pg-Bt-Anf
Características Texturales	Pg blanquecina; Anf "Black" por la oxidación + Anf zonados	Pg ligeramente alterada; Esferulitas de vidrio volcánico + Anf "black"	Pg "sieve" en el núcleo + Anf "black"	Pg alterados; Bt con delgados bordes de oxidación

Tabla. 5.2 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara II. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Ap = apatito

5.3 EDIFICIO SARA SARA III - MEDIO SUPERIOR

DACITAS

FLUJOS DE LAVA

Se presentan también flujos de lava (Sar-15-80), que cubren la cima del volcán Sara Sara. Estos flujos de lava son de color gris con textura porfirítica con una matriz constituidos por microlitos de plagioclasa, biotita y anfíbol. Presenta un contenido de 30-35% de fenocristales, 60-65 % de matriz y 1-5 % de vesículas, con un ensamble mineralógico compuesto por fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol.

La **plagioclasa** constituye el 40-45 % de los fenocristales del total de la muestra, presentando tamaños de hasta 5 mm. Se han podido reconocer hasta 2 tipos: el primer tipo está constituido por fenocristales de formas euhedrales-subhedrales, ligeramente fracturados y fragmentados, con algunas inclusiones de óxidos. El segundo tipo está constituido de fenocristales subhedrales, alterados y fracturados, la cual presenta una textura “sieve” en los bordes con un grosor de 50 μm , seguido de un intercrecimiento de plagioclasas limpias de 35 μm .

La **biotita** constituye del 20-25% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 1.8 mm. Los fenocristales son de forma subhedral, ligeramente fracturados, donde algunos presentan inclusiones de plagioclasas. El **anfíbol** se presenta en una menor proporción, constituyendo el 15-20% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 0.2 mm, el cual se presenta en forma subhedral con bordes de oxidación de hasta 40 μm , además contiene inclusiones de plagioclasa de hasta 90 μm . Finalmente, los **óxidos** constituyen de los 5-10 % de los fenocristales de la muestra, contenidos en la matriz o en forma de inclusiones.

DEPÓSITOS DE CAÍDAS DE LAPILLI DE PÓMEZ

Por la quebrada Huancara al SE del volcán Sara Sara, se distinguen los depósitos de caídas de lapilli de pómez Llique II, Huancara (Sar-15-17). Dichos depósitos contienen pómez que presentan un color blanquecino – amarillento, de textura afanítica, vesiculada, con un contenido de 5-10 % de fenocristales, 45-50 % de matriz y 45-50% de vesículas.

Las pómez presentan un ensamble mineralógico constituido por fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol, en cuya pasta se distinguen abundantes vesículas de formas redondeadas, casi esféricas. La **plagioclasa** es el fenocristal que más abunda, constituyendo el 40-45 % de los fenocristales del

total de la muestra, con tamaños de hasta 1.2 mm. Se presenta en forma de fenocristales subhedrales ligeramente fracturados o fragmentados, alterados, con textura “sieve” en sus bordes, además de inclusiones de óxidos en el interior del cristal.

El **anfíbol** constituye del 20-25% de los fenocristales del total de la muestra con tamaños desde 0.1 hasta 0.6 mm, presentándose en forma de fenocristales y microcristales en la matriz. La **biotita** constituye el 15-20% de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños que varían entre 0.2 hasta 1.3 mm. Estas son de forma de fenocristales euhedrales-subhedrales con inclusiones de óxidos en su interior. Algunas biotitas se encuentran en forma de microlitos en la matriz. Finalmente, los **óxidos** constituyen del 15-20 % de los fenocristales de la muestra, dentro de la matriz con formas irregulares o reemplazando a algunos cristales, en un proceso de pseudomorfismo.

RIOLITAS

DEPÓSITOS DE CAÍDAS DE LAPILLI DE PÓMEZ

Cerca de la quebrada Llique, al SE del volcán Sara Sara, se han encontrados los depósitos de caídas de lapilli de pómez: Basal (Sar-15-22), Jalane (Sar-15-25) y Llique (Sar-15-08A; Sar-15-08B; Sar-15-20), Llique (Sar-15-27) donde la pómez se caracteriza por presentar una textura vesiculada, fluidal, con una matriz vítrea y con un contenido de 10-15 % de fenocristales, 45-50 % de matriz y 40-45% de vesículas.

El fenocristal que más abunda es la **plagioclasa** que mide hasta 2.2 mm de tamaño, con el 40-45 % del total de fenocristales. Está constituida por fenocristales subhedrales casi fracturados y fragmentados, los cuales presentan una textura “sieve” y abundantes inclusiones de vesículas de hasta 120 µm en el interior del cristal. En algunas plagioclasas se muestra un sobrecrecimiento de anfíbol de 0.7 mm. La **biotita** es el fenocristal más abundante después de la plagioclasa, constituyendo el 25-30% del total de fenocristales, con tamaños desde 0.2 hasta 0.8 mm. Los fenocristales son de formas euhedrales a subhedrales, ligeramente fracturados y con pequeñas inclusiones de óxidos en su interior. Se encuentran también fragmentos de biotitas en la matriz, mientras que el **anfíbol** constituye del 15-20 % de los fenocristales del total de la muestra. Los **óxidos** constituyen del 10-15 % de los fenocristales de la muestra, presentándose como inclusiones en la plagioclasa, anfíbol y biotita. En la pasta se distinguen abundantes **vesículas** elongadas, redondeadas, alargadas, que llegan a medir hasta 600 µm.

Se presenta un cuadro resumen de las muestras analizadas de los depósitos correspondientes al Sara Sara III, cuyas características petrográficas más resaltantes se muestran a continuación:

SARA SARA III			
	DEPÓSITO		
	FLUJO DE LAVA	DEPÓSITO DE CAÍDA	
Tipo petrográfico	Dacita	Dacita	Riolita
Fenocristales vol.%	30-35	5-10	10-15
Matriz vol.%	60-65	45-50	45-50
Vesículas vol.%	1-5	45-50	40-45
Max. Tamaño de los cristales	6.5 mm	2 mm	1.1 mm
Textura	Porfírica con una matriz microlítica	Afanítica - Vesiculada - Fluidal con una matriz vítrea	Vitrofídica - Vesiculada
Ensamble mineralógico	Pg-Bt-Anf	Pg-Bt-Anf	Pg-Bt-Anf
Características Texturales	Pg "sieve" en los bordes + Bt fracturadas	Pg "sieve" en los bordes + Pg alteradas; Bt con inclusiones de óxidos	Pg "sieve"; Bt oxidadas; Anf oxidados

Tabla. 5.3 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara III. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita

5.4 EDIFICIO SARA SARA IV - RECIENTE

DACITAS

DEPÓSITOS DE FLUJOS DE LAVA

En el sector Este del volcán Sara Sara se distingue flujos de lava en bloques (Sar-15-02; Sar-15-04) con unas extensiones de hasta 17 km del volcán. Las lavas contienen 35-40 % de fenocristales, 50-55 % de matriz, y 5-10 % de vesículas, presentando una textura porfirítica con una matriz constituida por microlitos de plagioclasas. Las rocas presentan un ensamble mineralógico constituido por fenocristales de plagioclasa, anfíbol y biotita, además de presentar abundantes microlitos de plagioclasa y anfíbol.

La **plagioclasa** constituye el 50-55 % de los fenocristales del total de la muestra, con tamaños de hasta 4.0 mm. En la muestra se pueden reconocer hasta 2 tipos: El primer tipo está constituido por fenocristales subhedrales, fracturados, los cuales presentan inclusiones de biotitas con tamaños de 0.2 a 0.4 mm (Foto 5.6; c y f). El segundo tipo está constituido por fenocristales fragmentados alterados, de plagioclasa con inclusiones de óxidos en su interior. Algunas plagioclasas presentan un aparente sobrecrecimiento de biotitas.

Después de la plagioclasa, la **biotita** es el mineral más abundante, con el 30-35 % de los fenocristales del total de la muestra y tamaños desde 0.5 hasta 1.0 mm. Estas presentan formas euhedrales con bordes de reacción de óxidos de 30 μm . La biotita se encuentra ligeramente fragmentada, además presenta inclusiones de óxidos y de apatito de hasta 230 μm (Foto 5.6 a).

El **anfíbol** constituye del 15-20 % de los fenocristales del total de la muestra, presentando tamaños desde 0.1 a 1.3 mm, presentándose en forma de fenocristales subhedrales con bordes de reacción de óxidos. Algunos anfíboles se encuentran como inclusiones en las plagioclasas.

Finalmente, también se distinguen los **óxidos** como en las demás muestras, constituyendo el 5-10 % de los fenocristales de la muestra, presentándose en forma de inclusiones en las plagioclasas y en la biotita, así como también en la matriz.

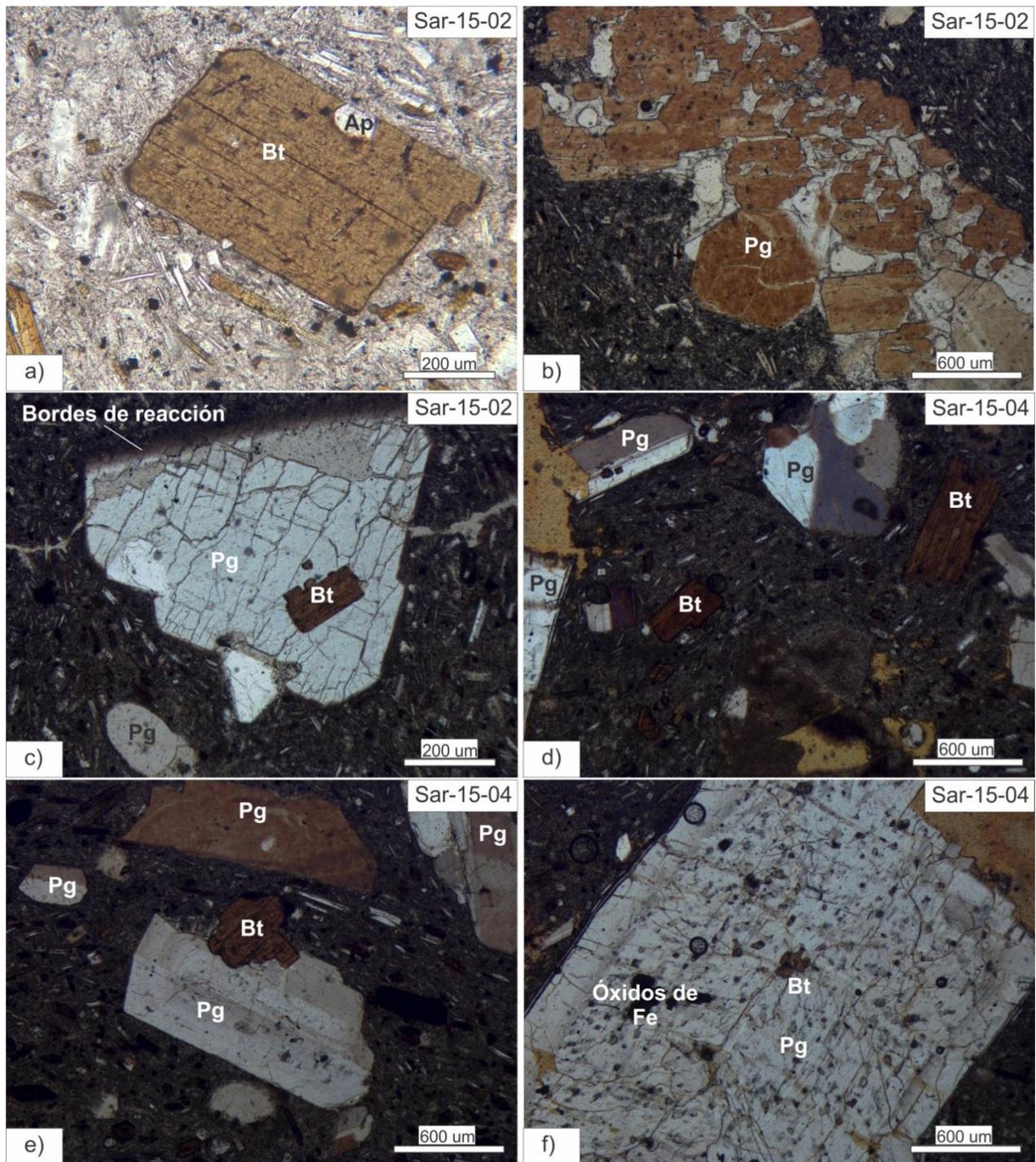


Foto 5.6 Fotografías de secciones delgadas de lavas dacíticas pertenecientes al “Sara Sara IV”: a) Fenocristal de biotita (Bt), con inclusiones de apatito (Ap) de forma anhedral. b) Fenocristales de plagioclasas (Pg) alteradas dentro de una matriz microlítica. c) Fenocristal de plagioclasa (Pg) fracturada, con inclusiones de biotitas (Bt) y con bordes de reacción. d) Fenocristales de biotitas (Bt) y plagioclasas (Pg) dentro de una matriz microlítica. e) Fenocristales de plagioclasas (Pg) y biotitas (Bt) ligeramente alterados. f) Fenocristal de plagioclasa (Pg) con inclusiones de biotitas (Bt) y óxidos de Fe-Ti.

Se presenta un cuadro resumen de las muestras analizadas de los depósitos correspondientes al Sara Sara IV, cuyas características petrográficas más resaltantes se muestran a continuación:

SARA SARA IV	
DEPÓSITO	FLUJO DE LAVA
Tipo petrográfico	Dacita
Fenocristales vol.%	35-40
Matriz vol.%	50-55
Vesículas vol.%	5-10
Max. Tamaño de los cristales	4 mm
Textura	Porfírica - Microlítica
Ensamble mineralógico	Pg-Bt-Anf
Características Texturales	Pg blanquecinas fracturadas + Pg con bordes reabsorbidos; Bt con ligeros bordes de oxidación + Bt con inclusiones de Ap; Anf oxidados

Tabla. 5.4 Resumen de las características petrográficas del edificio Sara Sara IV. La abreviación que se utiliza en el texto y el cuadro es la siguiente: Pg = plagioclasa; Anf = anfíbol; Bt = biotita; Ap = apatito

CAPÍTULO VI

GEOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS VOLCÁNICOS

El estudio geoquímico está basado en el análisis de las muestras obtenidas en el campo, correspondientes a las etapas de formación Sara Sara I, II, III y IV.

6.1 MÉTODO ANALÍTICO

El análisis de los elementos mayores y trazas en roca total fue realizado a un grupo de 55 muestras, gracias al convenio de cooperación entre el INGEMMET y el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD). Las muestras corresponden principalmente a flujos de lava, depósitos de caídas y flujos piroclásticos. Dichos análisis fueron efectuados en la Universidad Bretagne Occidental, Brest (Francia), bajo la dirección de la Dra. Céline Liorzou. Todos los elementos fueron analizados mediante el método de espectrometría de emisión atómica por acoplamiento inductivo de plasma (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES).

El estudio geoquímico tiene como objetivo determinar las características geoquímicas de rocas del volcán Sara Sara, así como identificar los diferentes procesos petrogenéticos que intervinieron en la génesis y evolución de los magmas de dicho volcán.

Después de haber obtenido los resultados de los análisis geoquímicos, se realizó el tratamiento respectivo donde todos los análisis de elementos mayores fueron recalculados al 100% en base anhidra y se expresó la totalidad de hierro en forma de Fe_2O_3 . A continuación se presenta los resultados del estudio geoquímico de rocas del volcán Sara Sara.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LA SERIE

En la clasificación química internacional de rocas volcánicas, es decir en el diagrama TAS ("Total de Alcalinos versus Sílice") de Le Bas *et al.*, (1986) (Fig. 6.1), las muestras del volcán Sara Sara tienen una composición dacítica (65.1 – 69.9 wt. % SiO_2) a riolítica (70.1 – 73.6 wt. % SiO_2), estando las riolitas en mayor proporción volumétrica (50-55 %), respecto a las dacitas (45-50 %).

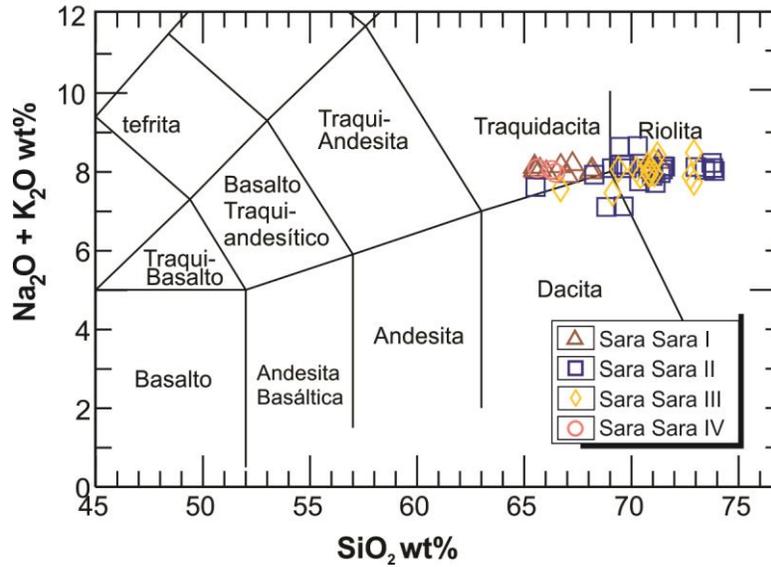


Fig. 6.1 Diagrama de clasificación de rocas del volcán Sara Sara, “Total de alcalinos vs. Sílice” (TAS), de Le Bas et al. (1986).

Para poder determinar el tipo de la serie magmática, los resultados de los análisis fueron ploteados en el diagrama triangular AFM (álcalis-FeO-MgO) de Kuno (1968) (Fig. 6.2), en el cual se observa que las rocas del volcán Sara Sara muestran una línea de enriquecimiento en alcalinos, clásico de la serie calco-alcalina y típico de las rocas volcánicas de la Zona Volcánica Central (CVZ) de los Andes, asociadas a un ambiente geodinámico de convergencia de placas (subducción).

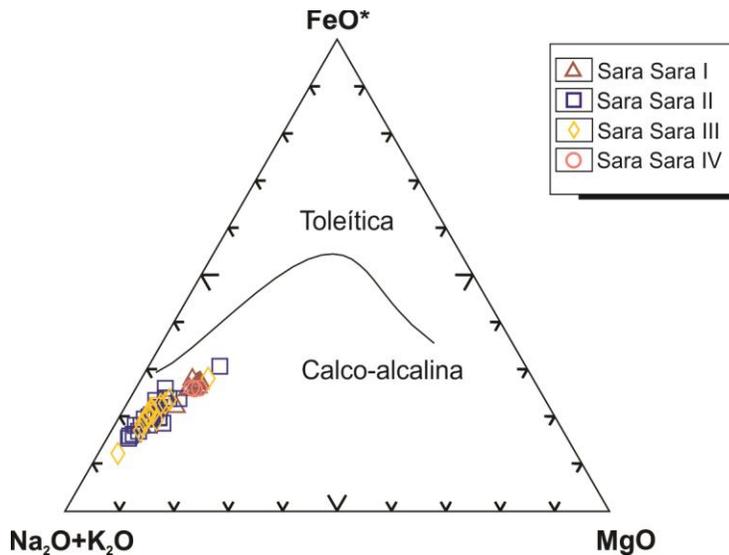


Fig. 6.2 Composición de las rocas del volcán Sara Sara con el diagrama AFM de Kuno (1968).

Por otro lado, en el diagrama K_2O en función de SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976) (Fig. 6.3), se observa que las lavas y depósitos piroclásticos del volcán Sara Sara presentan un alto contenido en

potasio (2.9-4.8 wt. % K_2O), característico de los estrato-volcanes de la Zona Volcánica Central de los Andes (CVZ) y del sur peruano; como los estrato-volcanes Misti (*Ruprecht y Wörner, 2007; Rivera, 2010; Tepley et al., 2013*), Huaynaputina (*Lavallée et al., 2009*) y Ubinas (*Thouret et al., 2005; Rivera, 2010*).

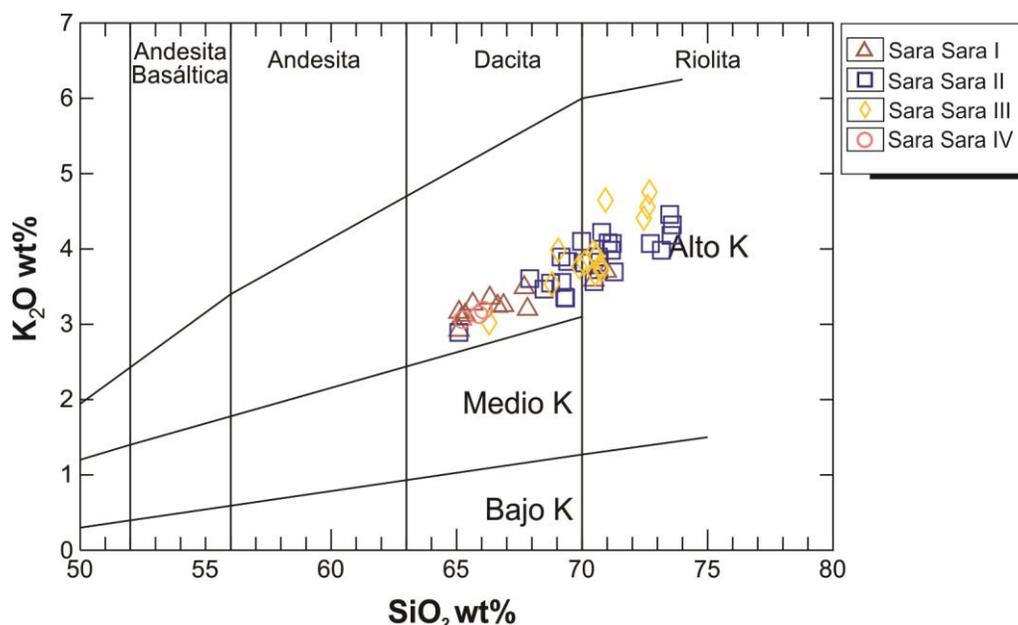


Fig. 6.3 Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976), de rocas del volcán Sara Sara que muestra tendencias fuertemente potásicas.

6.3 EVOLUCIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORES

Los elementos mayores (SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO) son aquellos que se encuentran en mayor abundancia en las rocas con respecto a los elementos traza, los cuales corresponden $>1\%$ en peso (*Mason y Moore, 1982*). Estos elementos mayores y trazas son útiles puesto que en base a sus comportamientos es posible clasificar y establecer la evolución magmática (*Wilson, 1989*), esto mediante el uso de diagramas binarios de variación tipo Harker.

En los diagramas de Harker se gráfica el óxido con respecto a la SiO_2 que generalmente es usado como un indicador de fraccionamiento. Estos diagramas sirven en primer lugar para poner en evidencia la existencia de linajes o tendencias evolutivas, en segundo lugar para determinar los procesos petrogenéticos responsables de la diversidad geoquímica. Es así que con estos diagramas es posible conocer el rol de las diferentes fases minerales asociadas a procesos de evolución magmática como, por ejemplo, la cristalización fraccionada.

A nivel de los elementos mayores, el Al_2O_3 , Fe_2O_3^* , MgO , TiO_2 y CaO presentan una marcada correlación negativa con respecto a la SiO_2 , a diferencia de una marcada correlación positiva que presenta el K_2O vs SiO_2 . Estas tendencias son típicas de magmas generados en márgenes continentales activos.

Todos los óxidos muestran una buena correlación describiendo tendencias lineales, a diferencia del Na_2O y P_2O_5 , los cuales presentan una dispersión entre 67–73 wt. % SiO_2 (Fig. 6.4). La dispersión en los niveles de Na_2O podría sugerir contaminación y/o asimilación durante el proceso de diferenciación, sin embargo se puede observar una vaga tendencia negativa, lo cual podría sugerir cristalización de plagioclasa progresivamente más sódica.

La disminución del CaO y el incremento de K_2O con respecto del SiO_2 señalan el fraccionamiento de la plagioclasa, marcando tendencias que pueden estar relacionadas con procesos de evolución magmática tales como la cristalización fraccionada (*Wilson, 1989*).

En el diagrama Al_2O_3 se observa que las rocas del volcán Sara Sara presentan una tendencia casi linear negativa a medida que la SiO_2 aumenta. Esta disminución puede estar asociada al fraccionamiento de la plagioclasa. Se puede observar una ligera dispersión entre 67–69 wt. % SiO_2 . La tendencia observada en los diagramas muestra claramente una compleja evolución magmática.

La disminución en forma linear de la concentración en MgO respecto a la SiO_2 (Fig. 6.4), podría estar asociada a la cristalización del clinopiroxeno y el anfíbol, desde las andesitas a riolitas.

El TiO_2 y Fe_2O_3 (Fig. 6.4) presentan una correlación linear negativa bien marcada, que puede estar asociada al fraccionamiento del titano-magnetita y la biotita durante la diferenciación de la serie.

En el diagrama de P_2O_5 se observa una ligera correlación negativa, con algunos datos dispersos. Esto sugiere un proceso de fraccionamiento del apatito durante la evolución magmática.

En general, los diagramas muestran buenas correlaciones lineales que son compatibles con un modelo de evolución de cristalización fraccionada.

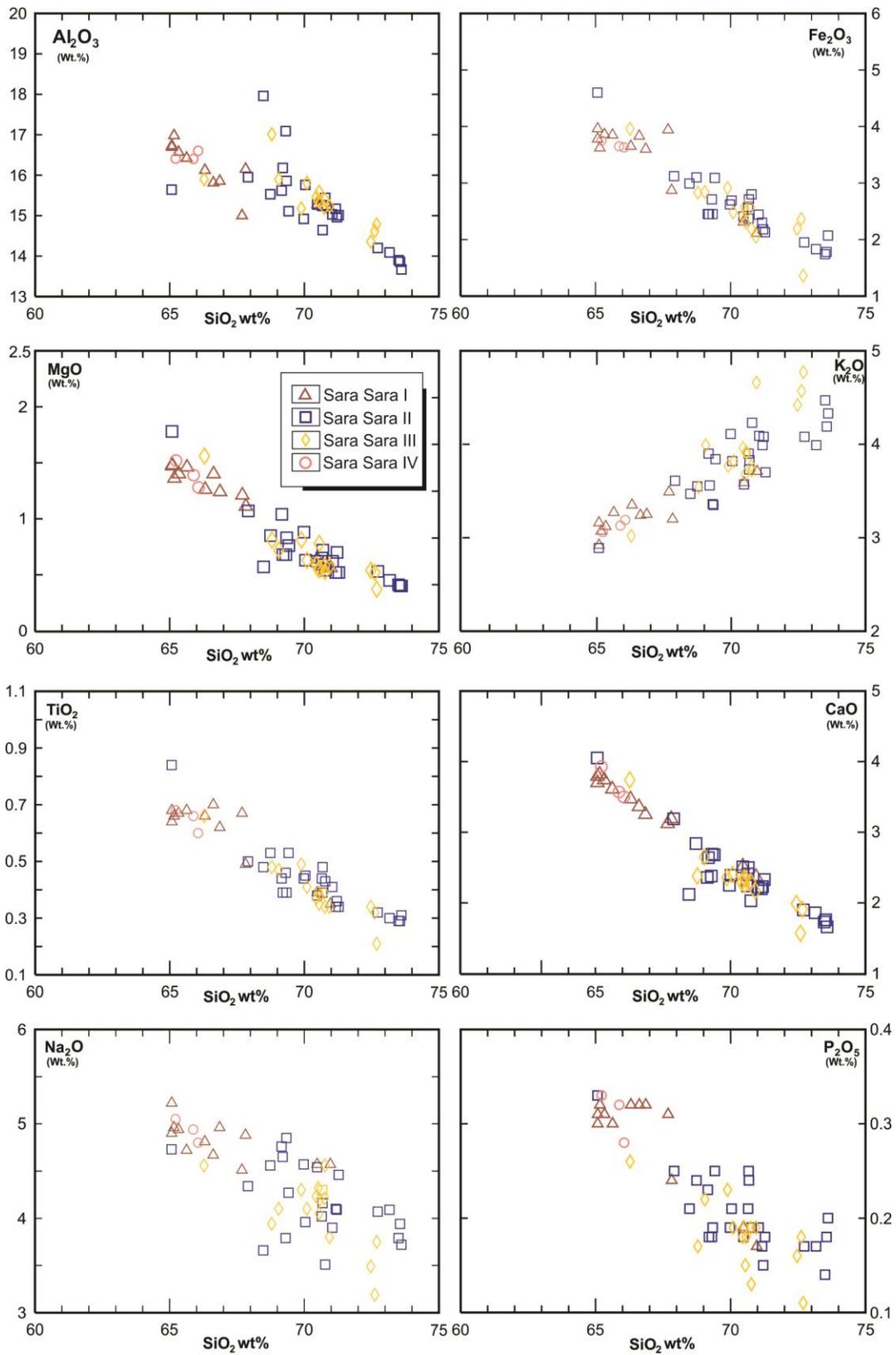


Fig. 6.4 Diagramas de Harker que muestran las variaciones de elementos mayores con respecto a la sílice.

6.4 DIAGRAMAS DE VARIACIÓN DE ELEMENTOS TRAZAS

Los elementos traza (Rb, Sr, Y, Nb, Zr, Cr, Ni, Ga, Ba, Pb, Th, U, etc) son aquellos que están presentes en una roca, mineral o fluido con concentraciones menores al 0.1 % en peso (1000 ppm) (*Krauskopf y Bird, 1995*). Los elementos trazas proveen información genética importante del origen y la evolución de los magmas, por lo cual, el origen de la fase fundida y sus procesos de evolución pueden ser identificados de manera más sencilla con los elementos traza (*White, 2007*). Los elementos traza pueden mostrar preferencia por la fase líquida o por la fase sólida, por lo cual se les agrupa como elementos incompatibles y compatibles, respectivamente.

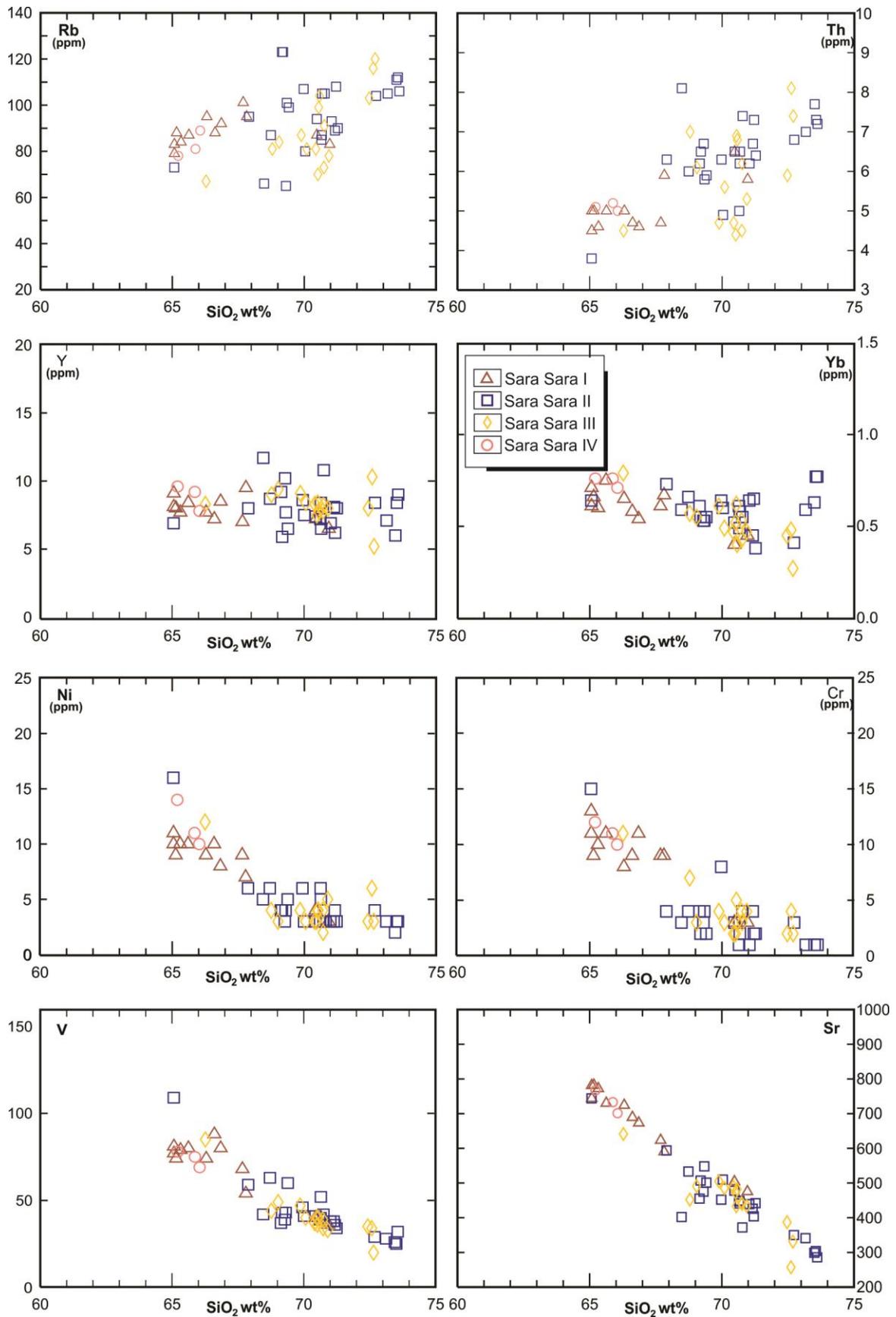
Se correlacionan algunos elementos traza de rocas del volcán Sara Sara con respecto a la sílice, la cual fue tomada como índice de diferenciación (Fig. 6.5). En esos diagramas se aprecian que los elementos de gran radio iónico (LILE) caso del Rb, presenta correlaciones positivas con una ligera dispersión de los valores respecto a la SiO₂ mostrando un comportamiento incompatible.

El Sr en general presenta una correlación negativa a medida que la SiO₂ aumenta. Este comportamiento puede ser el resultado del fraccionamiento de la plagioclasa en el magma residual. Por otro lado, las tierras raras ligeras (LREE) como es el caso del La y Ce, muestran una ligera correlación negativa. Las tierras raras medianas (MREE) como el Sm muestran una ligera correlación negativa también, la disminución del Sm puede representar el fraccionamiento del anfíbol y clinopiroxeno. Entre las tierras raras pesadas (HREE) caso del Yb, este muestra una marcada disminución de los valores durante la diferenciación de andesitas a riolitas. El Dy y Yb presentan una clara tendencia negativa relacionada al aumento de SiO₂ mostrando un comportamiento compatible.

Los elementos de transición tales como Ni y Cr a pesar de presentar una dispersión de los valores, estos disminuyen respecto a la concentración en SiO₂. Esto puede estar asociado al fraccionamiento de los piroxenos.

El V y Sc muestran correlaciones negativas muy marcadas con respecto a la SiO₂. El empobrecimiento de V está ligado al fraccionamiento de los óxidos de Fe-Ti durante la evolución de los magmas. La disminución del Sc indica una buena incorporación de este elemento en el anfíbol, al igual que se puede notar la disminución del Y respecto a la SiO₂.

En general, los diagramas de elementos traza no presentan cambios significativos entre las diferentes etapas evolutivas del volcán Sara Sara (Fig. 6.5).



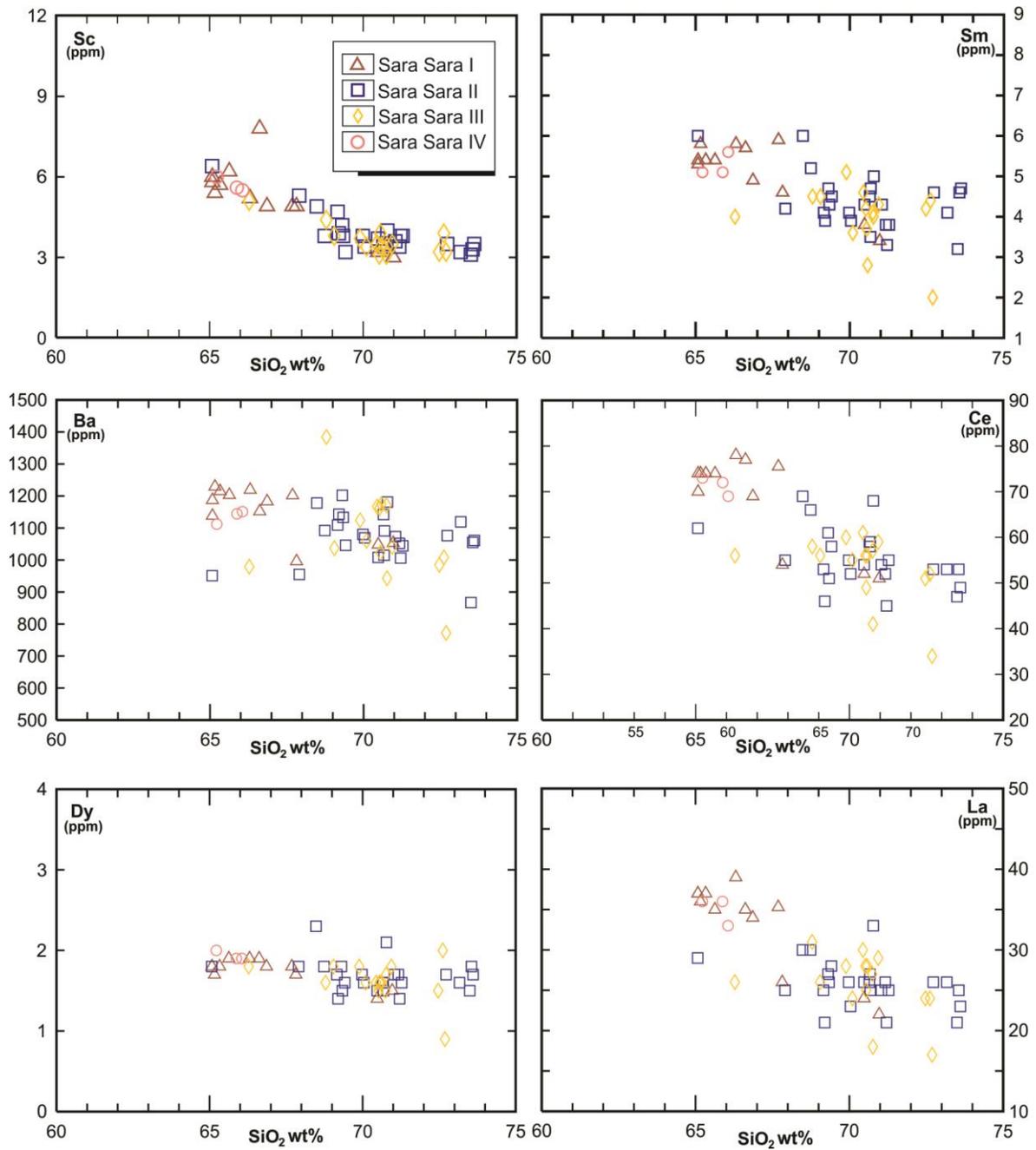


Fig. 6.5 Diagramas de variación de elementos traza versus el porcentaje en peso de sílice.

6.5 DIAGRAMAS MULTIELEMENTOS

Se presentan diagramas de espectros multielementales de los productos de las diferentes etapas de formación del volcán Sara Sara. En estos diagramas los valores en elementos trazas han sido normalizados con respecto a la composición del manto primitivo (*Sun y McDonough, 1989*) (Fig. 6.6).

En los diagramas multielementos de las rocas del Sara Sara se presentan todas las características inherentes a los magmas de arco:

(1) Son muy enriquecidos en LILE (Ba, Rb, Th, K) y tierras raras ligeras (LREE: La, Ce); el enriquecimiento de estos elementos es característico de un manto fuente de tipo enriquecido y/o contaminación por la corteza continental (*Wilson, 1989*).

(2) El conjunto de rocas presentan una anomalía negativa en P y Ti. La anomalía en P sugiere el fraccionamiento de fosfatos durante la diferenciación, como es el caso del apatito. Mientras que la anomalía en Ti sugiere que este es incorporado en los óxidos de Fe-Ti.

(3) Los elementos de fuerte potencial iónico (HFSE) como el Nb y Zr presentan una anomalía negativa, que podría sugerir estabilidad de las fases residuales (fero-titaníferas y/o anfíbol) en el sólido residual (*Wilson, 1989*). La anomalía en Zr es más marcada en algunas lavas dacíticas.

Todas las particularidades descritas anteriormente son propias de los magmas de arco generados por fusión parcial de la cuña del manto metasomatizado por fluidos acuosos derivados del "slab" (*Tatsumi, 1989; McCulloch y Gamble, 1991; Davidson et al., 1991; Smith y Leeman, 1993*).

El bajo enriquecimiento en Ti, Y, Yb del conjunto de rocas relativo al manto primitivo está probable relacionado a la presencia de fases minerales (por ejemplo anfíbol) que fraccionan estos elementos compatibles. Cabe señalar que todas estas características mencionadas son típicas en márgenes continentales activas de la Zona Volcánica Central de los Andes - CVZ (*Wilson, 1989*).

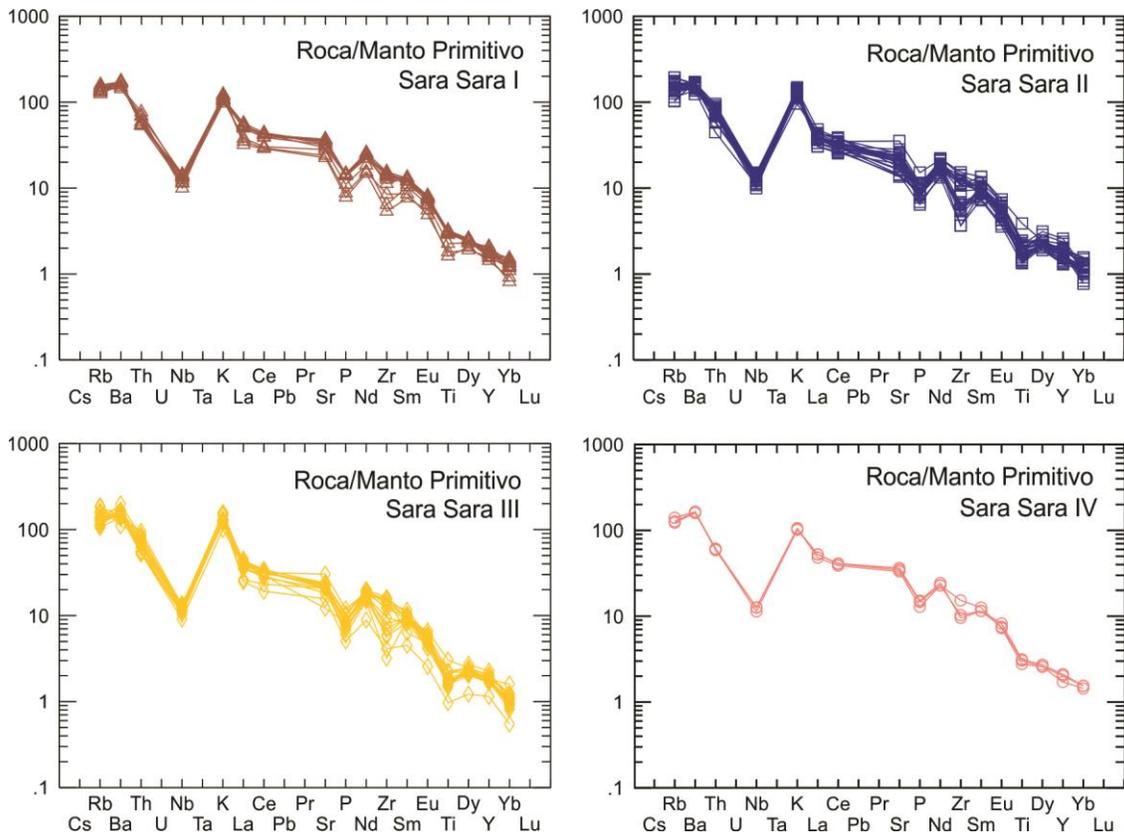


Fig. 6.6 Diagramas multielementales de rocas de las diversas etapas evolutivas del volcán Sara Sara normalizados respecto al manto primitivo (Sun y McDonough, 1989).

6.6 DIAGRAMAS DE TIERRAS RARAS

Los espectros de Tierras Raras (REE) de las rocas del volcán Sara Sara normalizados a las condritas (Sun y McDonough, 1989), son presentados en un diagrama semi-logarítmicos (Fig. 6.7). En estos diagramas se pueden apreciar que las rocas del volcán Sara Sara presentan un ligero enriquecimiento en tierras raras ligeras - LREE ($17 < La_N < 36$) y un ligero empobrecimiento en tierras raras pesadas - HREE ($0.27 < Yb_N < 1.4$).

Todas las muestras presentan concentraciones altas en LREE (tierras raras ligeras) y empobrecimiento de HREE (tierras raras pesadas), un comportamiento típico de los magmas de las márgenes continentales activas como la ZVC.

En general los espectros son casi paralelos. El efecto de subparalelismo confirma la importancia del proceso de cristalización fraccionada en la evolución de los líquidos (*Rivera y Mariño, 2004*) (Fig. 6.7).

Otra característica del diagrama es la ligera o mínima anomalía en Eu, lo cual sugiere que la plagioclasa tuvo un rol importante durante la evolución de dichas rocas. Sin embargo, la inexistencia de anomalías en Eu puede deberse al hecho que esta no ha sido incorporado dentro de la plagioclasa, presentando fuertes estados de oxidación en el que Eu está en forma de Eu^{+3} (*Davidson et al., 1990*), además de que esta ausencia pueda ser también por una fuerte presión de agua, la cual produjo una reducción de la cristalización de la plagioclasa (*Rivera, 2010*). En los diagramas se observa una fuerte anomalía negativa en el Er siendo más notorio en el Sara Sara III.

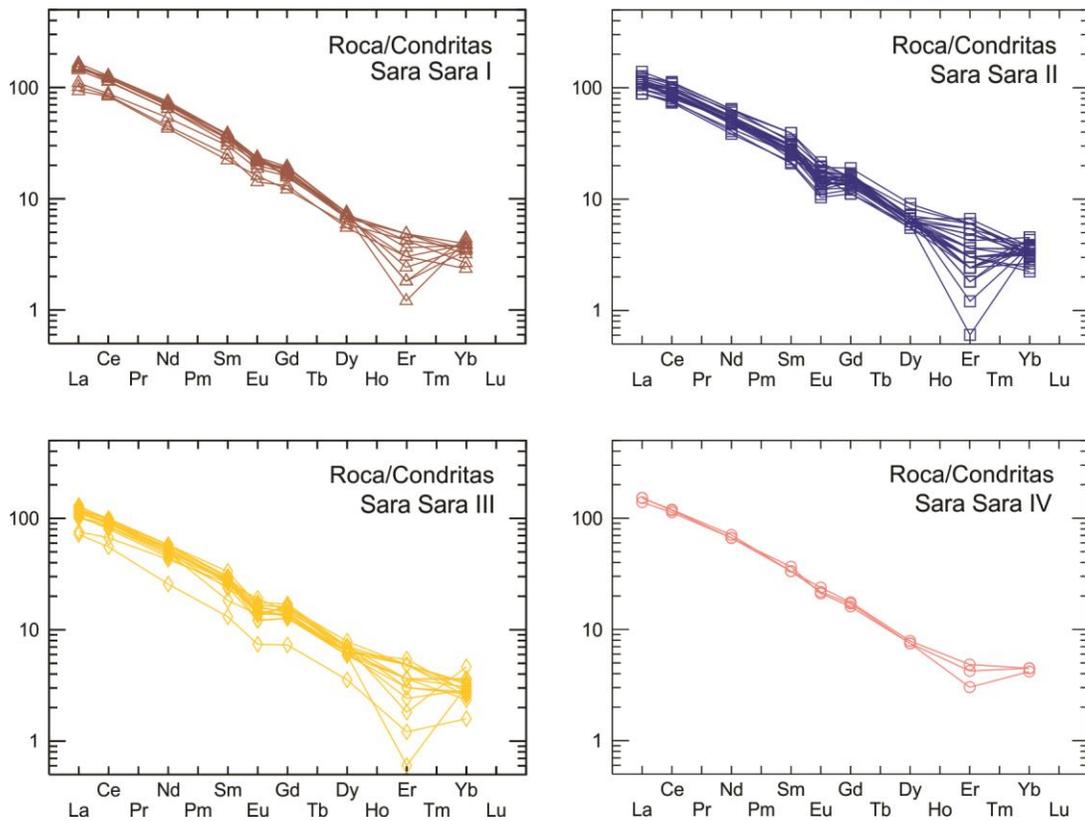


Fig. 6.7 Diagrama de tierras raras normalizada a la condrita (*Sun y McDonough, 1989*), de las etapas evolutivas correspondientes al Pre-Sara Sara, Sara Sara I, II, III y IV.

CAPITULO VII

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

7.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL VOLCÁN SARA SARA

El volcán ha presentado erupciones efusivas (Sara Sara I y IV) con emisiones de flujos de lava y explosivas (Sara II y III) con emisiones de flujos piroclásticos y depósitos de caída, principalmente, así como colapsos de parte del edificio volcánico, produciendo avalanchas de escombros en los sectores N - NE y E.

Los depósitos pertenecientes a erupciones pasadas del volcán Sara Sara, han sido ordenados preliminarmente de acuerdo a su posición estratigráfica vista en el campo, los cuales corresponden a las siguientes etapas:

La primera etapa denominada “Sara Sara I” - Basal, corresponde un vulcanismo efusivo con flujos de lavas dacíticas, que formaron la base del actual edificio volcánico del Sara Sara (Foto 4.2), encontrándose asentadas sobre las lavas e ignimbritas de los Grupos Tacaza y Barroso correspondientes al Mioceno - Pleistoceno Superior (*Pecho, 1983 y Mamani et al., 2009*) Probablemente, luego de las emisiones de los flujos de lava comenzó a emplazarse una serie de domos en los sectores NE y N del volcán como parte de una actividad extrusiva que originaron depósitos de avalanchas de escombros denominada “Renco”, visible en el sector NE del volcán Sara Sara, con un espesor de hasta 200 metros, un área de 12 a 16 km² y un volumen de 2 a 2.5 km³, compuesta por una matriz hidrotermalizada y una facie de bloques de domo, sugiriendo que probablemente hubo un proceso de explosión y posterior colapso de este complejo de domos.

La etapa “Sara Sara II” - Intermedio Inferior, se inició con el emplazamiento de un complejo de domos ubicados en las quebradas Jatunsora, ChaquiHuayjo, Ullacha, Pausa y Mirmaca en los sectores SO, Oeste y NE del volcán Sara Sara como consecuencia de una actividad extrusiva, los cuales colapsaron (colapsos de gravedad o por explosión) dejando consigo hasta 5 depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza de composición dacítica a riolítica, con enormes bloques de domo de varios metros de diámetro.

Ocurrieron también una serie de erupciones explosivas de tipo plinianas y subplinianas con enormes columnas de ceniza, las cuales cuando descendieron formaron enormes depósitos de flujos

piroclásticos de pómez y cenizas y oleadas piroclásticas, encausándose en las principales quebradas ubicadas al Oeste, SO y NE del volcán Sara Sara.

Para poder ubicar y correlacionar los diferentes afloramientos que se han encontrado por parte de los depósitos de flujos piroclásticos antes descritos, se procedió a realizar la siguiente descripción (Fig. 7.1):

La primera correlación mostrada a continuación, corresponde a 4 columnas estratigráficas realizadas por las quebradas Ullacha, Ullacha Chico y Chaquihuayjo al O-SO del volcán Sara Sara, donde se puede apreciar la comparación entre los depósitos de flujos piroclásticos “Ullacha I y II”, además del depósito de caída “Bouma” y otros depósitos de caídas con menor volumen y espesor, pertenecientes al Sara Sara II. Se puede notar que la mayoría de flujos piroclásticos se emplazaron por los sectores occidentales del edificio volcánico, suponiendo que por estas zonas, al pie del volcán existían una serie de domos que probablemente fueron los causantes de la formación de estos depósitos.

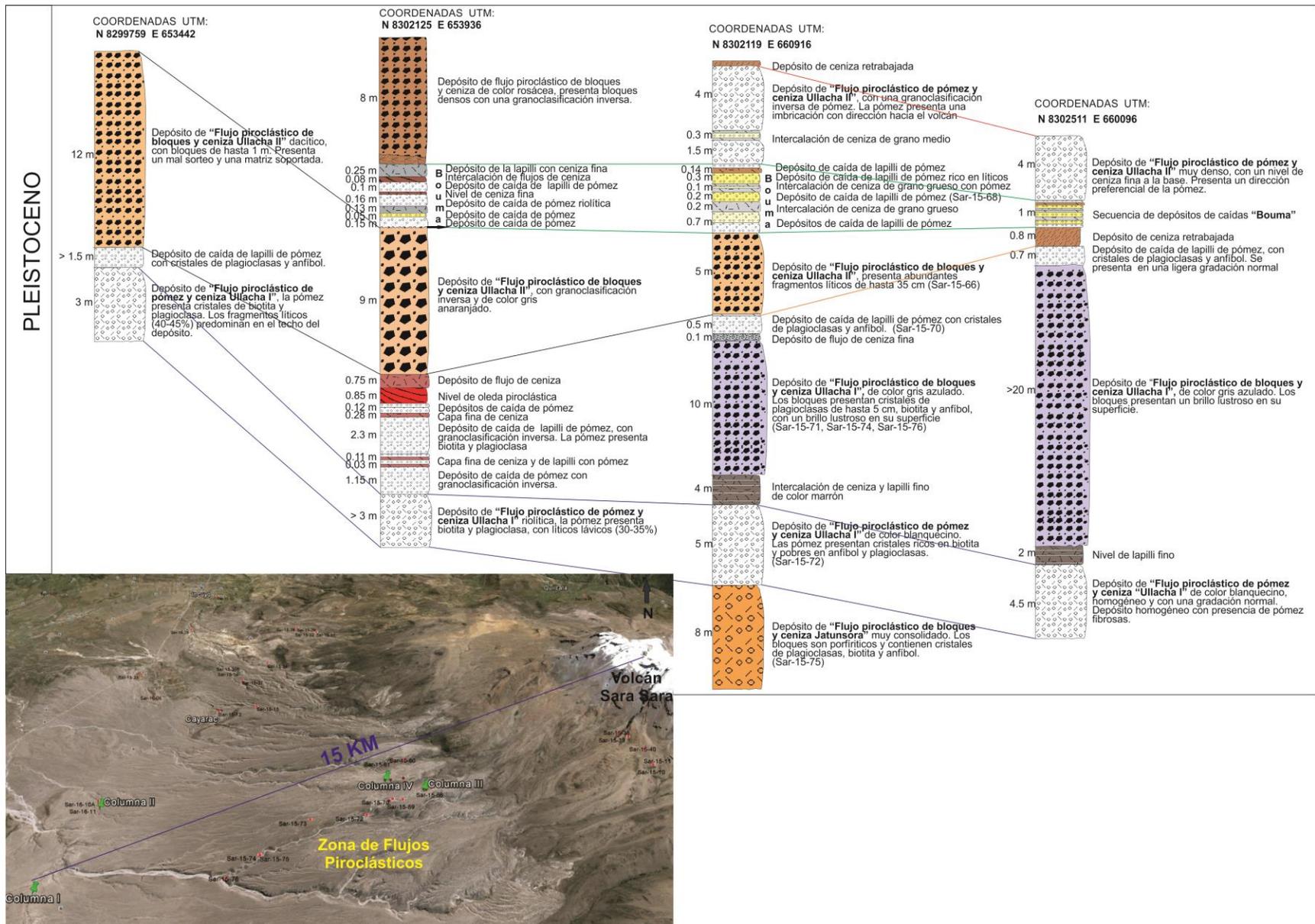


Fig. 7.1 Columnas estratigráficas donde se muestran las correlaciones entre los diferentes depósitos de flujos piroclásticos que afloran en los sectores SO-O del volcán Sara Sara, correspondientes al Sara Sara II.

Posteriormente, en la etapa “Sara Sara III” - Intermedio Superior se emplazó una secuencia de flujos de lava de composición dacítica, que formaron el actual edificio volcánico Sara Sara.

Luego se produjeron erupciones violentas del tipo pliniano ocurridas en el volcán, cuyos productos fueron principalmente depósitos de caídas de lapilli de pómez dacíticas y riolíticas de hasta más de 5 m de espesor, que cubrieron extensiones de hasta 25 km de radio y presentando un eje de dispersión hacia el SE y SO del Sara Sara, suponiendo un cambio de dirección debido a las corrientes que hubieron en el momento de la erupción.

Estas erupciones probablemente produjeron unos Índice de Explosividad Volcánica (IEV) de hasta 4 y 5, debido a los espesores y los alcances de los depósitos registrados.

Para poder ubicar y correlacionar los diferentes afloramientos que se han encontrado por parte de los depósitos de caídas antes descritos, se procedió a realizar la siguiente descripción (Fig. 7.2):

La correlación que se presentará más adelante corresponde a 3 columnas estratigráficas, las cuales se realizaron por las quebradas Llique y Huancara, en el sector SE del volcán Sara Sara. En estas columnas hemos podido encontrar depósitos de caídas de composición riolítica denominados desde el más antiguo al más joven como depósito de caída Basal, Jalane, Llique, Llique II.

Estos depósitos sugieren que durante la actividad eruptiva explosiva del volcán Sara Sara, se produjeron enormes columnas eruptivas de más de 10 km, cuyo eje de dispersión fue hacia el SE del volcán.

Finalmente en una última etapa de actividad “Sara Sara IV”, se produjo un emplazamiento de flujos de lava de composición dacítica, correspondientes a un vulcanismo efusivo. Esta etapa se encuentra evidenciada por un afloramiento muy sobresaliente y distinguido a simple vista, ubicado en el sector E del volcán Sara Sara cerca del poblado de Casire, con bordes de encauzamientos (geoforma del tipo leveé), un ancho de 1.2 km y una longitud máxima de hasta 17 km desde el volcán hasta el cañón del río Uchubamba.

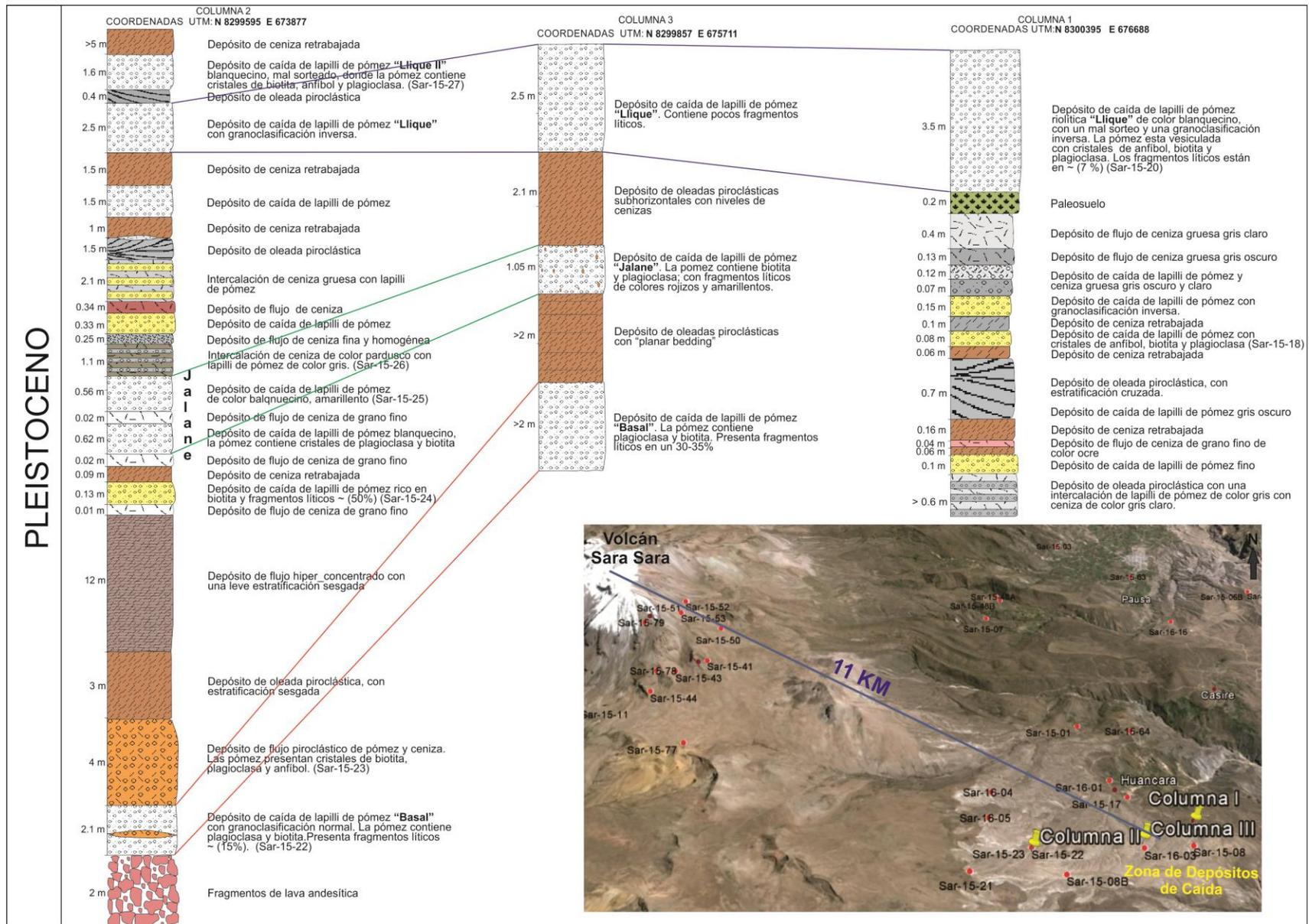


Fig. 7.2 Columnas estratigráficas donde se muestran las correlaciones entre los diferentes depósitos de caídas de lapilli de pómez que afloran en el sector SE del volcán, correspondientes al Sara Sara III.

La columna estratigráfica presentada (Fig 6.3), muestra todos los depósitos emitidos por el volcán Sara Sara, divididos en 4 etapas evolutivas: Sara Sara I, II, III y IV.

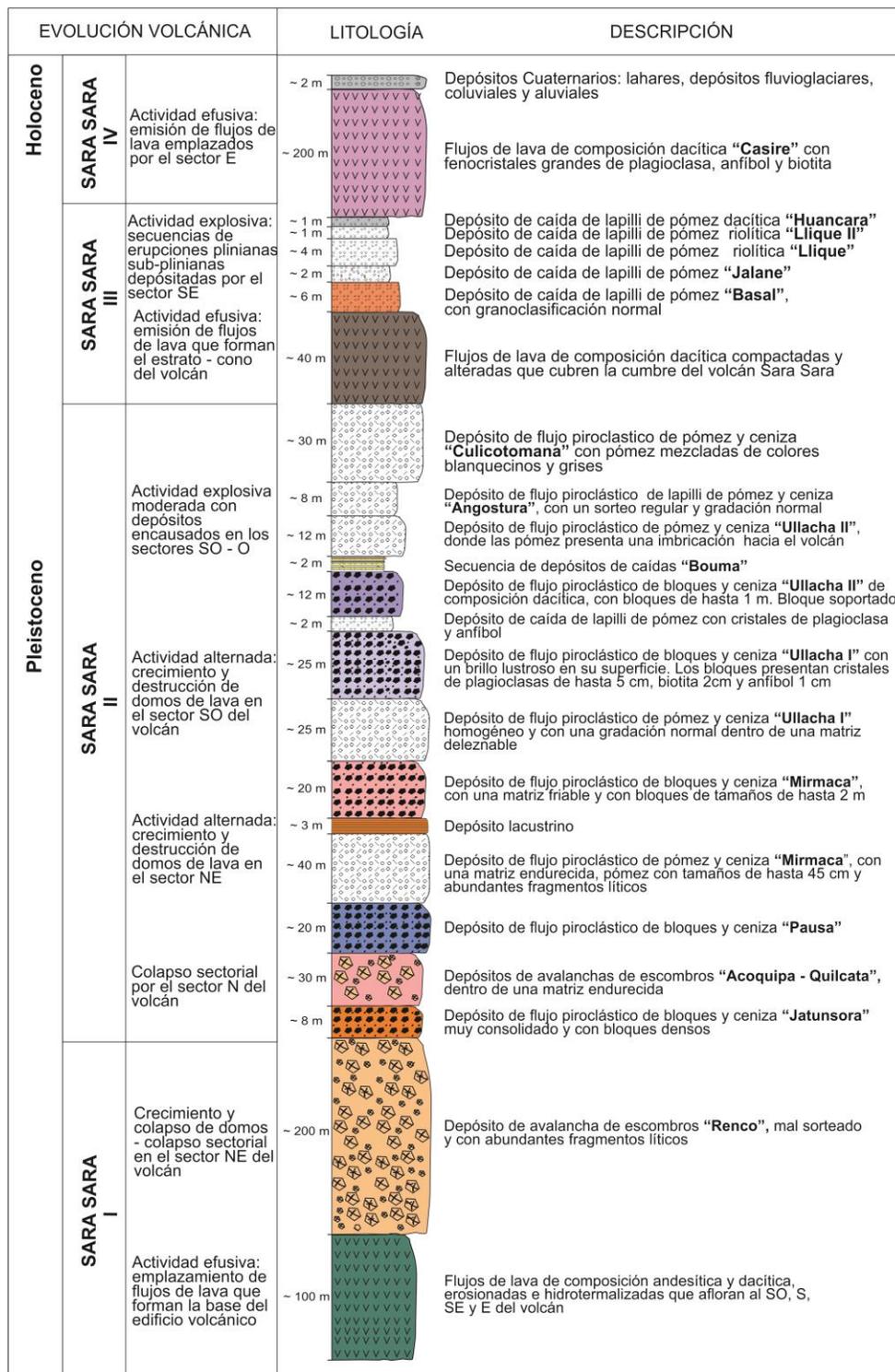


Fig. 7.3 En la siguiente columna estratigráfica general, se muestran todos los depósitos emitidos durante los procesos eruptivos del volcán Sara Sara ocurridos durante el Pleistoceno.

7.2 PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DE ROCAS DEL VOLCÁN SARA SARA

Las variaciones petrográficas van desde dacitas con contenido de plagioclasa, anfíbol, biotita, hasta riolitas (plagioclasa, biotita, anfíbol y vidrio volcánico). Se determinó que gran parte de las muestras analizadas presentan una predominante textura porfírica, vesiculada con una matriz microlítica, vítrea y fluidal, donde la plagioclasa y la mayoría de cristales de biotitas y anfíboles se encuentran con bordes de oxidación. En algunas muestras de rocas (lavas y rocas de domo) se puede notar que la matriz contiene microlitos de plagioclasa, anfíbol, biotita y óxidos de Fe-Ti, y en otras rocas (pómez) producto de flujos piroclásticos y caídas, presentan una matriz cubierta por abundantes vesículas y vidrio volcánico.

De acuerdo a las variaciones texturales y composiciones químicas de los minerales, algunos de los fenocristales de plagioclasa de los depósitos correspondientes al Sara Sara I y III presentan texturas de desequilibrio como la denominada “sieve” con una apariencia de esponja, atribuidas a un proceso de disolución intensa, la cual puede afectar enteramente al cristal dejando espacios abiertos en la estructura celular del mineral y de sobrecrecimiento, ubicadas mayormente en los bordes del cristal.

Algunos de los fenocristales de anfíboles y biotitas tienen coronas de oxidación, inclusiones de óxidos y textura “black”, la cual es descrita por el reemplazamiento total de un cristal por algún tipo de óxido, en un proceso de pseudomorfismo. Estas características son más abundantes en los depósitos correspondientes al Sara Sara I, II y III. Los fenocristales de plagioclasa y biotitas en el Sara Sara IV, generalmente se encuentran en mayor proporción y no se encuentran alterados.

La presencia de abundante vesículas y de vidrio volcánico, se da principalmente en los depósitos de flujos piroclásticos de composición dacítica-riolítica y en los depósitos de caída riolítica dentro de una matriz vítrea. Estos cambios texturales se dan específicamente en las etapas correspondientes al Sara Sara II y III. En los depósitos del Sara Sara IV, las vesículas disminuyen considerablemente.

Los productos volcánicos del volcán Sara Sara corresponden a rocas calco-alcalinamente fuertemente potásicas, con composiciones desde dacitas (65.1 – 69.8 wt. % SiO₂; 2.9-4.0 wt. % K₂O) hasta riolitas (70.1 – 73.6 wt. % SiO₂; 3.6-4.8 wt. % K₂O), predominando las riolitas en la mayoría de rocas volcánicas provenientes de este edificio volcánico.

Los magmas del volcán Sara Sara han sido emitidos mediante flujos de lava, flujos piroclásticos y depósitos de caída de composición dacítica a riolítica, dentro de procesos de cristalización fraccionada más asimilación, así como probablemente a procesos de mezcla entre magmas de bajo y alto contenido de sílice.

En los diagramas de elementos mayores se observa tendencia negativa en el Al_2O_3 , Fe_2O_3^* , MgO , TiO_2 y CaO con respecto a la SiO_2 , a diferencia de una marcada correlación positiva del K_2O_5 con respecto a la SiO_2 , mostrando un comportamiento incompatible, lo cual indicaría que el líquido magmático residual se enriqueció en K_2O durante el proceso de cristalización fraccionada. En general se describe una buena correlación de los óxidos salvo en el Na_2O y P_2O_5 , que muestran dispersión entre 68-72 Wt. % SiO_2 .

Los elementos como el Sc, Ni, V, Sr, Y, Yb, Dy y Er presentan tendencias negativas, es decir son compatibles. Mientras que los elementos como el Rb y ligeramente el Th presentan una correlación positiva, mostrando un comportamiento incompatible que sugieren procesos de cristalización fraccionada asociados probablemente a procesos de contaminación o asimilación cortical.

Las muestras presentan altas concentraciones elevadas en Rb y Th. Asimismo, en los diagramas multielementos se observan anomalías negativas en Nb y P, típico de magmas calco-alcinos de márgenes continentales activos relacionados a procesos de subducción. Los diagramas de Tierras Raras (REE) muestran una fuerte anomalía en el Er, sobre todo en las unidades del Sara Sara III, sin embargo se presenta una ligera anomalía negativa de Eu por parte del fraccionamiento de la plagioclasa, característica de magmas calco-alcinos.

Todas las muestras presentan un enriquecimiento en tierras raras ligeras (LREE) y empobrecimiento en tierras raras pesadas (HREE) cuyos espectros se encuentran dispuestos en paralelo, clásico de márgenes continentales activos como la ZVC.

7.3 EVALUACIÓN DE PELIGROS

De acuerdo a los estudios geológicos y vulcanológicos realizados, se ha podido observar que el estratovolcán Sara Sara durante el pasado ha generado una intermitente y variada actividad volcánica que se inició durante el Pleistoceno con episodios efusivos lávicos, variando a extrusivo, posteriormente explosivo y finalmente nuevamente efusivo. Esto se demuestra con los afloramientos de depósitos que se encuentran en los alrededores del volcán.

Los estudios presentados en esta tesis están basados en datos de campo, en la fotointerpretación - mapeo geológico, el estudio petrográfico y geoquímico de las rocas que emitió el volcán. Con ello se pudo diferenciar los diferentes tipos de depósitos presentados, los cuales son indispensables en la evaluación de amenazas. Por ello, podemos determinar que existen cuatro tipos principales de amenazas volcánicas para los 20 000 habitantes que viven dentro de un radio de influencia de aproximadamente 20 km del volcán.



***Foto 7.1** El distrito de Pausa ubicado a 12 km al NE del volcán Sara Sara. En este distrito habitan más de 2 700 personas (INEI, 2009), dichos pobladores se dedican a la agricultura, ganadería y comercialización.*

CAÍDAS DE TEFRAS

Con respecto a las caídas de tefras, se pueden distinguir abundantes depósitos de lapilli de pómez producto de erupciones plinianas y subplinianas que cubrieron distancias mayor de 14 km del volcán, sobre todo con dirección SE y SO del volcán. Esto debido a que se han encontrado depósitos de caída pliniana que afloran por las quebradas Jalane y Llique, al oeste del poblado de Huancara, con espesores de hasta 6 m. En una eventual erupción pliniana, el volcán podría emitir estos tipos de depósitos, causando estragos en la superficie y clima de la zona.

FLUJOS DE BARRO O LAHARES

Entre los meses de diciembre y julio, el volcán Sara Sara presenta una delgada capa de hielo y nieve en un promedio de 30 - 40 cm de espesor y cubre un área de aproximadamente 2 a 3 km². Una erupción subpliniana, pliniana o explosión de domo generaría flujos piroclásticos o tefras calientes, los cuales podrían interaccionar con el hielo y nieve a la vez que fundirlo y producir flujos de barro, los cuales se desplazarían desde la parte alta del volcán hacia las zonas más bajas. Cuando estos flujos de barro se desplacen, irán acumulando gran cantidad de materiales sueltos como ceniza, lapilli y bloques. La amenaza por flujos de barro o lahares está basada en los depósitos encontrados en las quebradas Allco Huaycco al SE del volcán, Ullacha Grande, Chaquihuayjo y Culé al SO del volcán Sara Sara, con un espesor aproximado de hasta 20 m, los cuales fueron transportados y depositados con la ayuda del agua proveniente de la lluvia y fusión de la nieve del Sara Sara. Se ocurriese un lahar, este podría afectar gravemente a la población o viviendas que se encuentre a su paso, causando grandes desastres.

FLUJOS PIROCLÁSTICOS

Los flujos piroclásticos son producto de erupciones vulcanianas y plinianas. En caso de ocurrencia de flujos piroclásticos estos podrían canalizarse por las diversas quebradas que surcan al volcán. Esto debido a la evidencia de depósitos de flujos piroclásticos de pómez y ceniza, oleadas piroclásticas y flujos piroclásticos de bloques y ceniza, que se desplazaron por las quebradas Mirmaca, Huaytayoc al NE, Ullacha Chico, Ullacha Grande al SO y Jatunsora, Chaquihuayjo, Angostura, Putaca y Culé al Oeste, con espesores a veces de hasta 30 m, en un radio de influencia de 5 a 10 km al oeste del edificio volcánico. Durante su recorrido causarían destrucción por enterramiento e incineración de todo lo que se encuentre a su paso (tierras de cultivo, poblados, y fauna que se encuentra hasta los 18 km al Oeste del volcán Sara Sara).

AVALANCHA DE ESCOMBROS

Hay muy poca probabilidad de que ocurra un colapso o derrumbe de una parte de alguno de los flancos del Sara Sara, pero si hay que rescatar la existencia de varios circos glaciares localizados en la cumbre del volcán Sara Sara. Se han podido registrar la existencia de depósitos de avalanchas en los sectores NE y N del volcán, como es el caso de la avalancha de escombros Renco, con un espesor de hasta 200 m. Si se produjese una avalancha de escombros de parte de uno de los flancos del volcán Sara Sara, generaría muchos daños a su paso, ya que los fragmentos que caerían serían de varios metros, afectando todo lo que encuentre cerca al edificio volcánico.

CONCLUSIONES

En base al cartografiado geológico, estudios petrográficos de secciones delgadas e interpretación de los análisis geoquímicos de rocas del volcán Sara Sara, se llegan a las siguientes conclusiones:

- Los productos emitidos por el volcán Sara Sara han sido preliminarmente ordenados de acuerdo a su posición estratigráfica encontrados en el campo: El Sara Sara I – Basal (efusivo) con flujos de lavas en la base del volcán y un depósito de avalancha de escombros, ubicado al NE del volcán. El Sara Sara II – Intermedio Inferior (explosivo) con hasta 10 depósitos de flujos piroclásticos en los sectores NE, O y SO del volcán. El Sara Sara III – Intermedio Superior (explosivo) con una secuencia de hasta 6 depósitos de caídas en el sector SE – SO, cuyas erupciones probablemente tuvieron un Índice de Explosividad Volcánica de hasta 4-5 y el Sara Sara IV – Reciente (efusivo), con flujos de lava al Este del volcán.
- Los estudios petrográficos muestran que durante la evolución del volcán Sara Sara, hubo una variación en los ensambles mineralógicos de las rocas. Las variaciones petrográficas van desde dacitas hasta riolitas, con texturas porfíricas y vesiculadas, con matrices microlíticas, vítreas e intersertales respectivamente. De acuerdo a las variaciones texturales y composiciones químicas de los minerales, algunos de los fenocristales de plagioclasa del Sara Sara I y III presentan texturas de desequilibrio como la denominada “sieve”, ubicadas mayormente en los bordes del cristal. Algunos de los fenocristales de anfíboles y biotitas tienen coronas de oxidación, inclusiones de óxidos y textura “black”. Estas características son más abundantes en los primeros depósitos emitidos por el volcán, correspondientes al Sara Sara I, II, III. Los fenocristales de plagioclasa y biotitas en el Sara Sara IV, generalmente se encuentran en mayor proporción y no están alterados. Se encuentran también abundantes vesículas y vidrio volcánico en los depósitos de flujos piroclásticos de composición dacítica-riolítica y en los depósitos de caída del Sara Sara II y III. En los depósitos del Sara Sara IV, las vesículas disminuyen considerablemente.
- Los flujos de lava, flujos piroclásticos y depósitos de caídas del volcán Sara Sara son de naturaleza dacítica hasta riolítica. La composición de las rocas abarca desde dacitas (65.1 – 69.9 wt. % SiO₂) a riolitas (70.1 – 73.6 wt. % SiO₂). Los diagramas de Harker indican que la evolución magmática fue influenciada probablemente por procesos de diferenciación magmática como la cristalización fraccionada, posiblemente asociada a procesos de asimilación cortical. También, el comportamiento de elementos como la dispersión del Rb y el Th sugieren procesos de cristalización fraccionada asociados a procesos de contaminación

o asimilación cortical durante la evolución del edificio del volcán Sara Sara. Todas las muestras presentan un enriquecimiento en tierras raras ligeras (LREE) y empobrecimiento en tierras raras pesadas (HREE) cuyos espectros se encuentran dispuestos en paralelo, clásico de márgenes continentales activos como la ZVC.

- En el caso de una probable reactivación de la cámara magmática y una erupción del volcán Sara Sara, la composición del magma podría ser del tipo dacítico, debido a sus antecesoras erupciones, produciendo probablemente una serie de caídas de piroclastos, flujos piroclásticos, ondas basales y lahares que se desplazarían por las quebradas del área del volcán.

RECOMENDACIONES

El volcán Sara Sara es catalogado como potencialmente activo y cuenta con un registro de erupciones históricas muy representativas y peligrosas, debido a ello se recomiendan seguir las siguientes recomendaciones, para tomarlo en cuenta y mitigar daños ante un posible caso de una futura reactivación del volcán:

- Realizar dataciones de los productos emitidos por el volcán Sara Sara para poder determinar la edad de las erupciones y los intervalos de recurrencia de las mismas. Así, poder tener un mejor control en la evolución del volcán.
- Realizar análisis isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{143}\text{Nd}/^{142}\text{Nd}$, para determinar los procesos de generación de magmas y determinar la evolución de los magmas.
- Realizar el modelamiento del emplazamiento de las avalanchas de escombros y flujos piroclásticos, para conocer las velocidades de emplazamiento y de esta manera realizar la evaluación ante una posible erupción del volcán Sara Sara.
- Elaborar un mapa de peligros del volcán Sara Sara, para poder reconocer las áreas más peligrosas y vulnerables, adoptándolo como una medida preventiva en la respectiva zona de estudio.
- Impartir charlas informativas, de capacitaciones y de orientación, a las autoridades del Gobierno Regional de Ayacucho, autoridades municipales y distritales, Defensa Civil, instituciones educativas y a la población que reside en el área estudiada, para implementar planes de emergencia y de evacuación ante una probable erupción del volcán.
- Realizar un monitoreo volcánico con estaciones temporales, para poder tener un mejor control de su estado de actividad.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, R., (2015). Long-lived magmatic systems: The post-caldera Chachani volcanic complex case study (Perú). Tesis de maestría, Francia p. 54.

ÁLCALA, J., (2007). Evolución de los glaciares en el Complejo Volcánico Ampato (Perú). Universidad Complutense de Madrid, España. Tesis de diploma de estudios avanzados, p. 86.

ALLEY, R., (2000). The younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. Department of Geosciences and Environment Institute. The Pennsylvania State University, Deike Building. University Park, PA 16802, USA. Elsevier 213-226.

ALLMENDINGER, R.W., JORDAN, T.E., KAY, S.M. ISACKS, B., (1997). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes: Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, v. 25, p. 139-174.

BREITKREUZ, C., FREIBERG, B., ARNOSIO, M., (2006). Cartilla de texturas volcánicas.

CACYA, L., (2006). Volcán Misti: Sedimentología, geoquímica y correlación tefro-estratigráfica del depósito de caída de pómez “Autopista” de 14 000 años, Arequipa, 111 pp.

CLAPPERTON, C., (1993). Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, Amsterdam (Holland), 769 pp.

DAVIDSON, J. P., DE SILVA, S. L., HOLDEN. P., HALLIDAY, A. N., (1990). Small-scale disequilibrium in a magmatic inclusion and its more silicic host. Journal of Geophysical Research; 95:17661-17675.

DELACOUR, A.; GERBE, M.-C.; THOURET, J.-C.; WÖRNER, G. PAQUEREAU, P. (2007) - Magma evolution of Quaternary minor volcanic centres in southern Peru, Central Andes. Bulletin of Volcanology, 69(6): 581-608.

DE LA RUPELLE, A.; THOURET, J. C.; CUBUKCU, H. E.; JICHA, B.; BRACARD, E.; GERBE, M.-C.; LE PENNEC, J.-L.; DIOT, H.; BOIVIN, P. (2012). New stratigraphic, chronologic and magnetic fabric constrains for Neogene and Quaternary ignimbrites in the Central Andes (South Perú). EGU General Assembly 2012, Vienna, Austria. p.4807

DE PAOLO, D.J., (1981). Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. Earth Planetary Science Letters 53, 89–202.

- DE SILVA, S. Y FRANCIS, P., (1991). Volcanoes of the Central Andes. Springer, Berlín, 216 pp.
- DELGADO, R., (2012). Estudio Geológico, petrográfico y geoquímico del Complejo Volcánico Ampato – Sabancaya, Arequipa. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín. 169 pp.
- FIDEL, S., MORCHE, W., NUÑEZ, S., (1997) a. Inventario de los volcanes del Perú. Boletín N°15, Serie C, INGEMMET, Lima, Perú.
- FIDEL, S., MORCHE, W., NUÑEZ, S., (1997) b. Álbum del riesgo volcánico en el sur del Perú. Boletín N° 16, Serie C, INGEMMET, Lima, Perú.
- GUEVARA, C., DÁVILA, D. (1983). Estratigrafía terciaria del área Cora Cora – Pacapausa. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. T-71. p. 281-289
- INEI - Censos Nacionales (2007): IX de Población VI de Vivienda.
- INRENA – Intendencia de recursos hídricos – ATDR Ocoña-Pausa Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Ocoña – Estudio hidrológico, Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA intendencia de recursos hídricos administración técnica del distrito de riego Ocoña-pausa, 1103–1106.
- IRVINE, T.N., BARAGAR, W.R.A., (1971). A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science 8, 523–548.
- KANEOKA, I., GUEVARA, C., (1984). K-Ar Age determinations of late Tertiary and Quaternary Andean volcanic rocks, Southern Perú – Geochemical Journal, 233-239.
- KOSAKA, R., GONZÁLES, E., ARIAS, H., MINAYA, A., (2001). Evaluación de peligros de Caravelí. Convenio UNSA – INDECI Proyecto PER 98/108 PNUD, Arequipa, Perú, 13 - 26.
- KRAUSKOPF, K., BIRD, D., (1995). Introduction to Geochemistry. International Earth and Planetary Sciences Series. McGraw-Hill, 1995. p. 647.
- 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. Geological Society of America Bulletin, 122(1-2): 162-182.
- MANRIQUE, N., (2013). Evolución vulcanológica del edificio reciente del complejo volcánico Tutupaca, Tacna. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín. 112 pp.

- MARIÑO, J., (2001). Estudio geológico, vulcanológico y evaluación de peligros del volcán Ticsani, Sur del Perú. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Ingenierías.
- MASON, B. AND MOORE, C.B. (1982). Principles of Geochemistry. Wiley & Sons, New York. p. 46.
- MORCHE, M., NUÑEZ, S., (1998). Estudio del riesgo geológico del volcán Sara Sara. - Boletín N°21- Serie C – Geodinámica e Ingeniería Geológica – INGEMMET, Lima, Perú. p. 58
- NORABUENA, E.O.; DIXON, T.H.; STEIN, S. HARRISON, C.G.A. (1999) - Decelerating Nazca-South America and Nazca-Pacific plate motions. Geophysical Research Letters, 26(22): 3405-3408.
- OLCHAUSKI, E., (1980). Geología de los cuadrángulos de Chala, Jaquí, Cháparra y Cora Cora. – Boletín N°34, Serie A, INGEMMET, Lima, Perú.
- PALACIOS, O. (1994). Geología de los cuadrángulos de Chulca y Cayarani, Instituto Geológico, Mineros y Metalúrgico, Perú. Boletín 51 Serie A, 73p.
- PECHO, V., (1983). Geología de los cuadrángulos de Pausa y Caravelí. –Boletín N°37, Serie A, INGEMMET, Lima, Perú.
- PECCERILLO, P., TAYLOR, S.R., (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area. Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, 63–81.
- RAITH M., RAASE P., REINHARDT J. (2012). Guía para la microscopia de minerales en lámina delgada, p. 134.
- RAMOS, V.A., ALEMAN, A., (2000). Tectonic evolution of the Andes. In: Cordani, U.G., et al. (Eds), Tectonic Evolution of South America. 31st Int. Geol. Cong., Rio de Janeiro, p. 635-685.
- RIVERA, M., (1998). El volcán Ubinas (Sur del Perú): Geología, historia eruptiva y evaluación de las amenazas volcánicas actuales. Tesis de Ingeniero. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, p. 114.
- RIVERA, M., MARIÑO, J. (2004). Volcán Yucamane (Sur del Perú) geología, petrología y evaluación preliminar de las amenazas volcánicas. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v. 98, p. 7-27.

RIVERA, M. (2010) - Genèse et évolution des magmas andésitiques à rhyodacitiques récents des volcans Misti et Ubinas (Sud du Pérou). Thèse Docteur, Université Blaise Pascal-Clermont Ferrand II, 407 p.

RIVERA, M., (2012). Evolución Petrológica y Geoquímica del Complejo volcánico Ampato Sabancaya, INGEMMET, Lima, Perú.

SEMPERÉ, T.; T FORNARI, M.; ACOSTA, J.; FLORES, A.; JACAY, J., (2004). Estratigrafía, geocronología, paleogeografía y paleotectónica de los depósitos de antearcodel sur del Perú. P. 533-536.

SIEBERT, L.; SIMKIM, T. KIMBERLEY, P. (2011) - Volcanoes of the world. 3. ed. Washington, D.C.: Smithsonian Institution, Berkeley, CA: University of California Press, 551 p.

SIMKIM, T. SIEBERT, L. (1994) - Volcanoes of the world: a regional directory, gazetteer, and chronology of volcanism during the last 10,000 years. 2a. ed. Tucson, AR: Geoscience Press, 349 p.

SOMOZA, R. (1998) - Updated Nazca (Farallon)-South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the Central Andean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(3): 211-215.

SUAÑA, E., (2012). Evolución tefroestratigráfica, petrológica y geoquímica del complejo volcánico Chachani, Arequipa. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín. p. 112.

SUN, S., MCDONOUGH, W.F., (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basin*, Geological Society of America, Special Paper 42, 313–345.

TAYLOR, H.P. (1986). Igneous rocks: II. Isotopic case studies of circumpacific magmatism. In *Stable Isotopes in high temperature geological processes*. Valley, J.W., Taylor, H.P., O'Neil, J.R., editors. Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy* 16, 273–285.

THOURET, J.C., WÖRNER G., GUNNELL Y., SINGER B., ZHANG X., SOURIOT T., (2007). Geochronologic and stratigraphic constraints on Neogene incision and Miocene uplift of the Central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 263, 151–166.

THOURET, J.C., JUVIGNE, E., MARIÑO, J., MOSCOL, M., LOUSCH, I., DÁVILA, J., LEGELEY-PADOVANI, A., LAMADON, S., RIVERA, M. (2002) - Late Pleistocene and

Holocene tephrostratigraphy and chronology in southern Peru. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 93: 45-61.

THOURET, J.C., JICHA, B.R., PAQUETE, J.L., CUBUKCU, E.H., (2016). A 25 myr chronostratigraphy of ignimbrites in south Perú: implications for the volcanic history of the Central Andes. *Journal of the Geological Society*, pp. 734-756.

VELA, J., (2015). Estudio tefro-estratigráfico de los depósitos asociados con las erupciones recientes del volcán Yucamane, Tacna. Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de San Agustín. 118 pp.

VENTURELLI, M., FRANGIPANE, M., WEIBEL, M., ANTIGA, D., (1978). Trace element distribution in the Cenozoic lavas of the Nevado Coropuna and Andagua Valley, Central Andes of Southern Perú. – *Bulletin of Volcanology*. 41, 213-228.

WHITE, W.M. (2007). *Geochemistry*. Chapter 7: Trace elements in igneous processes, John-Hopkins University Press.

WILSON, M., (1989). *Igneous Petrogenesis. A global tectonic approach*. Chapter 7: Active continental margins. Ed. Unwin Hyman, London, 191–225.

WINTER, J. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Ed. Prentice Hall. New Jersey. p. 796.

WÖRNER G., MOORBATH S., HARMON R.S., 1992, Andean Cenozoic volcanics reflect basement isotopic domains: *Geology*, v. 20, p. 1103-1106.

ANEXOS

Muestra	Tipo de roca	Fenocristales %Vol.	Matriz %Vol.	Vesículas %Vol.	Textura	Max. Tamaño de los cristales	Ensamble Mineralógico	Observaciones
Sar-15-01	Andesita	30-35	55-60	1-5	Microlítica, glomeroporfídica	8 mm	Pg - Anf - Cpx	Pg "sieve" en los bordes; Cpx en aglomerados
Sar-15-02	Dacita	30-35	50-55	5-10	Microlítica	2.2 mm	Pg - Anf - Bt	Pg con bordes reabsorbidos + Pg "sieve"; Anf con bordes de reacción de óxidos
Sar-15-03	Andesita	40-45	45-50	1-5	Porfírica, microlítica	2.2 mm	Pg - Anf	Pg zonada + Pg "sieve"; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-04	Dacita	30-35	50-55	5-10	Porfírica, microlítica	4 mm	Pg - Anf - Bt	Pg clara; Bt con bordes de reacción
Sar-15-06	Riolita	25-30	55-60	5-10	Microlítica, vitrofídica	2.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg zonada + Pg "sieve"; Anf con oxidación
Sar-15-06 B	Riolita	25-30	55-60	5-10	Microlítica, vitrofídica, glomeroporfídica	4 mm	Pg - Anf - Opx	Pg clara + Pg "sieve"; Anf con oxidación
Sar-15-07	Riolita	30-35	45-50	10-15	Microlítica, vitrofídica, glomeroporfídica	0.6 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" ; Anf "black" + Anf con coronas de oxidación
Sar-15-08	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, vitrofídica	0.8 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara + Pg "sieve"
Sar-15-08 B	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, vitrofídica	1.1 mm	Pg - Anf	Bt con oxidación; Anf con oxidación
Sar-15-09	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, vitrofídica	3.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" + Pg con intercrecimiento
Sar-15-10	Andesita	45-50	30-35	10-15	Porfírica, microlítica	2.6 mm	Pg - Anf - Cpx - Opx	Pg clara + Pg "sieve" + Pg con oxidación; Anf "black"
Sar-15-11	Andesita	45-50	30-35	10-15	Porfírica, microlítica, vitrofídica	2.7 mm	Pg - Anf - Cpx	Pg zonada + Pg con bordes de reabsorbidos; Anf con oxidación
Sar-15-12	Riolita	25-30	35-40	25-30	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	3.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg fragmentadas; Anf con oxidación
Sar-15-13	Riolita	25-30	35-40	25-30	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	2.2 mm	Pg - Bt - Anf	Anf con oxidación y alteración
Sar-15-14	Riolita	10-15	45-50	30-35	Vesiculada, vitrofídica	2.1 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con inclusiones de Bt
Sar-15-15	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, glomeroporfídica	7 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" en los bordes; Anf con oxidación
Sar-15-16	Dacita	10-15	35-40	40-45	Microlítica, vesiculada	1.2 mm	Pg - Anf - Bt	Pg fragmentadas; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-17	Dacita	5-10	35-40	45-50	Vesiculada	1.2 mm	Pg - Anf - Bt	Pg "sieve" en los bordes + Pg alteradas
Sar-15-18	Riolita	5-10	35-40	45-50	Vesiculada, vitrofídica	1.1 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con inclusiones de Anf; Bt con inclusiones de Pg
Sar-15-19	Riolita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada, vitrofídica, fluidal	1 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con inclusiones de Anf; Anf con oxidación
Sar-15-20	Riolita	1-5	45-50	40-45	Vesiculada, vitrofídica, fluidal	2 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con bordes de reacción; Bt con inclusiones de óxidos

Tabla de datos del estudio petrográfico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Muestra	Tipo de roca	Fenocristales %Vol.	Matriz %Vol.	Vesículas %Vol.	Textura	Max. Tamaño de los cristales	Ensamble Mineralógico	Observaciones
Sar-15-21	Andesita	35-40	40-45	10-15	Porfírica, microlítica, intersertal	2.2 mm	Pg - Anf - Cpx - Oliv	Pg zonada + Pg "sieve"; Anf con oxidación
Sar-15-22	Riolita	10-15	45-50	30-35	Afanítica, vesiculada, vitrofídica	2.2 mm	Pg - Bt - Anf	Bt con inclusiones de óxidos
Sar-15-23	Dacita	25-30	35-40	25-30	Vesiculada, vitrofídica	1.3 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con golfos de oxidación; Anf con oxidación
Sar-15-24	Riolita	15-20	35-40	40-45	Vesiculada, fluidal	1 mm	Pg - Bt - Anf	Anf y Bt con oxidación
Sar-15-25	Riolita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada, vitrofídica	0.8 mm	Pg - Anf	Pg con inclusión de vesículas; Anf y Bt con oxidación
Sar-15-26	Riolita	15-20	35-40	40-45	Vesiculada, fluidal	1.3 mm	Pg - Bt - Anf	Anf con oxidación
Sar-15-27	Dacita	5-10	45-50	40-45	Vesiculada	1.7 mm	Pg - Anf	Pg clara fragmentada
Sar-15-28	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	2 mm	Pg - Anf	Pg con bordes de reacción; Anf con alteración
Sar-15-29	Dacita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada	1.2 mm	Pg - Anf - Bt	Anf y Bt con oxidación
Sar-15-30	Dacita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada, vitrofídica	0.8 mm	Pg - Anf	Pg alteradas
Sar-15-31	Riolita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	2.1 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara fracturada + Pg con alteración
Sar-15-32	Dacita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	1.4 mm	Pg - Bt - Anf	Anf con oxidación
Sar-15-33	Andesita	40-45	40-45	5-10	Porfírica, microlítica, intersertal	2.2 mm	Pg - Anf - Cpx	Pg con alteración + Pg "sieve" en los bordes; Anf "black"
Sar-15-34	Dacita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada	1.2 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara; Pg "sieve" en su interior; Bt con bordes de oxidación
Sar-15-35	Riolita	10-15	40-45	35-40	Microlítica, vesiculada	1.8 mm	Pg - Bt	Pg con bordes de reacción; Bt con inclusiones de apatito
Sar-15-36	Dacita	5-10	40-45	40-45	Vesiculada	1.2 mm	Pg - Anf	Pg con bordes de reacción; Anf poco oxidado
Sar-15-37	Dacita	25-30	55-60	5-10	Microlítica, vesiculada, vitrofídica, intersertal	1.1 mm	Pg - Anf - Bt - Ap	Pg "sieve" + Pg con alteración; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-38	Dacita	30-35	50-55	5-10	Porfírica, microlítica, vitrofídica	1.8 mm	Pg - Anf - Bt	Pg "sieve" en los bordes; Anf con una corona de oxidación
Sar-15-39	Dacita	30-35	50-55	5-10	Porfírica, microlítica, vitrofídica	4.0 mm	Pg - Anf - Bt	Pg "sieve" en los bordes; Bt con bordes de oxidación; Anf con oxidación
Sar-15-40	Andesita	20-25	60-65	5-10	Porfírica - microlítica	3.5 mm	Pg - Anf	Pg clara + Pg "sieve"; Anf con oxidación

Tabla de datos del estudio petrográfico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Muestra	Tipo de roca	Fenocristales %Vol.	Matriz %Vol.	Vesículas %Vol.	Textura	Max. Tamaño de los cristales	Ensamble Mineralógico	Observaciones
Sar-15-41	Dacita	35-40	45-50	10-15	Porfírica, microlítica, vesiculada	3.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" en los bordes
Sar-15-42	Dacita	35-40	45-50	10-15	Porfírica, microlítica, vesiculada	2.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara; Anf "black"; Bt con oxidación
Sar-15-43	Dacita	25-30	55-60	5-10	Porfírica, microlítica	3.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con bordes de reacción
Sar-15-44	Dacita	25-30	55-60	5-10	Porfírica, microlítica, intersertal	2.4 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve"; Bt con oxidación
Sar-15-45	Riolita	30-35	50-55	5-10	Vesiculada, esferulítica, vitrofídica	2.2 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara + Pg con alteración; Esferulitas de vidrio volcánico; Bt con oxidación
Sar-15-46	Riolita	5-10	45-50	35-40	Afanítica, vesiculada	0.9 mm	Pg - Biot - Anf	Pg con alteración; Bt con bordes de oxidación
Sar-15-47	Riolita	5-10	45-50	35-40	Afanítica, vesiculada	1.4 mm	Pg - Biot - Anf	Pg con sobrecrecimiento; Anf con oxidación
Sar-15-48	Riolita	20-25	60-65	10-15	Vesiculada, vitrofídica, fluidal	6 mm	Pg - Anf - Cpx	Pg "sieve" + Pg con bordes reabsorbidos; Cpx con inclusiones de pg
Sar-15-48 B	Riolita	30-35	45-50	10-15	Microlítica, intersertal	1 cm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve"; Anf "black"; Bt con oxidación
Sar-15-49	Andesita	30-35	50-55	5-10	Porfírica, microlítica, intersertal	2.4 mm	Pg - Anf	Pg "sieve"; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-50	Dacita	25-30	55-60	5-10	Porfírica, microlítica	6 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con bordes de reabsorción + Pg "sieve" en los bordes
Sar-15-51	Dacita	25-30	55-60	5-10	Porfírica, microlítica	5.3 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara + Pg con una corona de reacción; Anf "black"
Sar-15-52	Dacita	25-30	60-65	5-10	Porfírica, microlítica	1 cm	Pg - Anf	Pg "sieve" en los bordes; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-53	Dacita	30-35	50-55	5-10	Porfírica, microlítica	2 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve"; Anf "black"
Sar-15-54	Dacita	25-30	55-60	5-10	Microlítica, vitrofídica	3 mm	Pg - Anf	Pg "sieve" + Pg con bordes de reacción; Anf zonado
Sar-15-56	Dacita	10-15	35-40	40-45	Vesiculada, vitrofídica	4 mm	Pg - Anf - Bt	Pg con bordes de reacción + Pg "sieve" en los bordes
Sar-15-57	Dacita	15-20	35-40	35-40	Vesiculada, vitrofídica	2.1 mm	Pg - Anf	Pg clara; Bt con bordes de oxidación
Sar-15-58	Riolita	15-20	35-40	35-40	Vesiculada, vitrofídica, fluidal	1.6 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara + Pg con alteración; Anf y Bt con oxidación
Sar-15-59	Riolita	10-15	40-45	40-45	Vesiculada, vitrofídica	2.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg poco alterada; Anf con inclusiones de pg
Sar-15-60	Riolita	10-15	40-45	40-45	Vesiculada, vitrofídica	1.1 mm	Pg - Anf	Anf un poco alterado

Tabla de datos del estudio petrográfico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Muestra	Tipo de roca	Fenocristales %Vol.	Matriz %Vol.	Vesículas %Vol.	Textura	Max. Tamaño de los cristales	Ensamble Mineralógico	Observaciones
Sar-15-61	Riolita	15-20	35-40	45-50	Vesiculada, vitrofídica, glomeroporfídica, fluidal	1.6 mm	Pg - Bt - Anf	Pg zonada + Pg con alteración; Anf con alteración
Sar-15-62	Andesita	60-65	20-25	5-10	Porfírica, microlítica, glomeroporfídica	5 mm	Pg - Anf - Cpx - Oliv	Pg zonada + Pg "sieve"; Anf con sobrecrecimiento de Pg
Sar-15-63	Dacita	20-25	35-40	5-10	Microlítica, glomeroporfídica	1.5 mm	Pg - Anf - Cpx - Ap	Pg clara + Pg "sieve"; Anf con bordes de oxidación
Sar-15-66	Dacita	20-25	35-40	5-10	Microlítica, intersertal	5.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg fragmentada + Pg "sieve"; Anf "black"
Sar-15-67	Riolita	20-25	30-35	40-45	Vesiculada, vitrofídica, fluidal	2.7 mm	Pg - Bt - Anf	Pg fragmentada + Pg clara + Pg con sobrecrecimiento de Bt
Sar-15-68	Riolita	15-20	30-35	45-50	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	0.8 mm	Pg - Bt - Anf	Bt con inclusiones de Pg; Anf un poco oxidado
Sar-15-69	Riolita	20-25	30-35	40-45	Vesiculada, fluidal	2.0 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con alteración + Pg zonada; Bt con alteración
Sar-15-71	Riolita	15-20	55-60	20-25	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	2.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg con alteración + Pg fragmentadas
Sar-15-72	Riolita	10-15	30-35	40-45	Vesiculada, vitrofídica	1.5 mm	Pg - Bt - Anf	Anf con oxidación
Sar-15-73	Riolita	15-20	35-40	40-45	Vesiculada, fluidal, vitrofídica	4.0 mm	Pg - Bt - Anf - Cpx	Pg con alteración + Pg y Cpx con sobrecrecimiento de Bt
Sar-15-74	Riolita	15-20	55-60	20-25	Vitrofídica	2.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg clara; Esferulitas de vidrio volcánico
Sar-15-75	Dacita	25-30	50-55	10-15	Vesiculada, microlítica, vitrofídica	1 cm	Pg - Bt - Anf	Pg con bordes de disolución de óxidos + Pg "sieve"
Sar-15-76	Riolita	25-30	55-60	5-10	Microlítica, vitrofídica	3.6 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" en los bordes; Bt y Anf con bordes de oxidación
Sar-15-78	Dacita	25-30	55-60	5-10	Porfírica, microlítica	6.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve" + Pg sobrecrecimiento + Pg con alteración
Sar-15-80	Dacita	25-30	60-65	1-5	Porfírica, microlítica, intersertal	6.5 mm	Pg - Bt - Anf	Pg "sieve"; Pg con sobrecrecimiento

Tabla de datos del estudio petrográfico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS I	SS I	SS I	SS I	SS I	SS I	SS I
Localización	Flanco E	Flanco E	Flanco SO	Flanco SO	Flanco SO	Flanco SE	Flanco SE
N	8308379	8308379	8303352	8303121	8302767	8303528	8303241
E	679898	679898	665270	665418	665675	668375	667838
Tipo de roca	P.F de bloques y ceniza riolítica	P.F de bloques y ceniza riolítica	Lava dacítica				
Muestra	Sar-15-06	Sar-15-06B	Sar-15-38	Sar-15-39	Sar-15-40	Sar-15-41	Sar-15-43
SiO ₂	70.97	70.48	65.08	60.31	66.31	67.82	65.08
Al ₂ O ₃	15.15	15.27	16.69	15.30	16.12	16.15	16.73
Fe ₂ O ₃	2.11	2.31	3.96	3.56	3.65	2.87	3.78
MgO	0.56	0.64	1.47	1.29	1.26	1.11	1.48
CaO	2.37	2.52	3.70	3.45	3.47	3.19	3.79
Na ₂ O	4.57	4.57	4.90	4.56	4.81	4.88	5.22
K ₂ O	3.71	3.59	3.16	2.88	3.35	3.20	2.92
TiO ₂	0.35	0.39	0.68	2.88	0.66	0.49	0.64
P ₂ O ₅	0.17	0.19	0.31	2.88	0.32	0.24	0.30
MnO	0.04	0.04	0.06	2.88	0.05	0.05	0.06
ppm							
Rb	83	87	82.6	84.2	94.7	95.5	79.4
Sr	475	504	744	772	724	590	781
Y	6.5	7.2	8.1	7.7	7.7	9.5	9.1
Zr	60	95	157	162	173	72	141
Nb	7.1	9.4	8.8	9.9	9.5	10.3	8.1
Ba	1053	1048	1187	1215	1219	996	1138
La	22	24	37.0	37.5	39.4	26.3	36.8
Ce	51	52	73.8	73.9	77.8	53.6	69.9
Nd	20	21	33.3	33.4	35.2	24.8	30.5
Sm	3.4	3.8	5.4	5.4	5.8	4.6	5.3
Eu	0.93	0.82	1.16	1.36	1.37	1.08	1.29
Gd	2.5	2.7	3.5	3.2	4.0	3.3	3.4
Dy	1.5	1.4	1.8	1.8	1.9	1.7	1.8
Er	0.7	0.5	0.2	0.8	0.6	0.8	0.7
Yb	0.45	0.40	0.71	0.60	0.65	0.67	0.61
Sc	3.0	3.2	6.0	5.7	5.2	4.9	5.8
V	36	40	81	79	74	54	77
Cr	3	3	11	10	8	8.6	12.9
Co	3.4	4.4	9.3	8.9	7.5	5.7	7.9
Ni	3	4	11	10	9	7.1	10.3
Th	5.8	6.5	5.0	4.6	5.0	5.9	4.5

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS I	SS II	SS II				
Localización	Flanco SE	Flanco SE	Flanco E	Flanco E	Flanco E	Flanco E	Flanco O
N	8302781	8304491	8305090	8305086	8304600	8306446	8305805
E	667442	668526	667829	667813	667800	673745	655817
Tipo de roca	Lava dacítica	P. F. de bloques y ceniza riolítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica				
Muestra	Sar-15-44	Sar-15-50	Sar-15-51	Sar-15-52	Sar-15-53	Sar-15-07	Sar-15-12
SiO ₂	65.16	65.63	66.62	66.86	67.69	70.48	71.28
Al ₂ O ₃	16.98	16.42	15.81	15.85	15.00	15.27	15.01
Fe ₂ O ₃	3.62	3.85	3.83	3.60	3.94	2.41	2.13
MgO	1.36	1.46	1.40	1.24	1.21	0.62	0.52
CaO	3.82	3.61	3.36	3.25	3.12	2.51	2.33
Na ₂ O	4.96	4.72	4.67	4.96	4.51	4.54	4.46
K ₂ O	3.07	3.27	3.24	3.25	3.49	3.57	3.70
TiO ₂	0.66	0.68	0.70	0.62	0.67	0.38	0.34
P ₂ O ₅	0.32	0.30	0.32	0.32	0.31	0.18	0.18
MnO	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.04	0.05
ppm							
Rb	87.6	87.0	88.0	91.6	101.1	94	90
Sr	782	730	689	673	623	478	442
Y	8.0	8.4	7.2	8.5	7.0	7.4	8.0
Zr	155	169	150	159	126	67	55
Nb	9.7	8.3	10.0	9.7	10.2	9.0	7.7
Ba	1229	1203	1152	1183	1202	1008	1044
La	35.8	35.0	35.0	34.4	35.3	26	25
Ce	74.5	74.3	76.5	68.7	75.5	54	55
Nd	33.0	32.4	33.9	30.0	32.2	22	22
Sm	5.8	5.4	5.7	4.9	5.9	4.3	3.8
Eu	1.24	1.27	1.32	1.23	1.35	0.85	0.71
Gd	3.7	3.9	3.6	3.7	3.7	2.7	2.9
Dy	1.7	1.9	1.9	1.8	1.8	1.5	1.6
Er	0.5	0.3	0.3	0.8	0.4	0.6	0.5
Yb	0.66	0.75	0.58	0.54	0.61	0.52	0.38
Sc	5.4	6.2	7.8	4.9	4.9	3.7	3.8
V	74	80	88	80	68	41	34
Cr	9	11	9	11.0	9	3	2
Co	8.6	9.2	8.7	7.5	9.1	5.3	2.9
Ni	9	10	10	8.0	9	3	3
Th	5.0	5.0	4.7	4.6	4.7	6.5	6.4

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II
Localización	Flanco O	Flanco O	Flanco O	Flanco NE	Flanco NO	Flanco NO	Flanco NO	Flanco NO	Flanco NO
N	8305848	8305883	8305883	8313191	8310323	8310323	8310323	8309920	8309920
E	655800	655788	656788	676532	657396	657396	657396	658023	658023
Tipo de roca	P. F. de bloques y ceniza riolítica	Caida de pómez riolítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	P. F. de pómez y ceniza dacítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	Caida de pómez dacítica	Caida de pómez dacítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	Caida de pómez riolítica
Muestra	Sar-15-13	Sar-15-14	Sar-15-15	Sar-15-16	Sar-15-28	Sar-15-29	Sar-15-30	Sar-15-31	Sar-15-32
SiO ₂	72.73	71.17	70.67	68.74	70.78	68.48	69.31	73.61	70.04
Al ₂ O ₃	14.20	15.17	15.24	15.53	15.44	17.96	17.09	13.67	15.76
Fe ₂ O ₃	1.95	2.30	2.37	3.10	2.80	2.99	2.71	2.07	2.69
MgO	0.53	0.52	0.59	0.85	0.54	0.57	0.68	0.40	0.63
CaO	1.90	2.20	2.41	2.84	2.03	2.12	2.38	1.66	2.39
Na ₂ O	4.07	4.10	4.30	4.56	3.51	3.66	3.79	3.72	3.96
K ₂ O	4.08	3.99	3.73	3.55	4.23	3.47	3.36	4.33	3.82
TiO ₂	0.32	0.34	0.39	0.53	0.43	0.48	0.46	0.31	0.45
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.25	0.24	0.19	0.21	0.18	0.20	0.21
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ppm									
Rb	104	89	87	87	105	66	65	106.3	80.3
Sr	350	426	447	533	372	402	475	286	510
Y	8.4	8.1	8.4	8.7	10.8	11.7	10.2	9.0	7.5
Zr	60	62	73	125	159	171	128	62	139
Nb	9.8	8.1	8.1	7.1	10.6	10.2	10.5	10.3	9.0
Ba	1076	1052	1015	1092	1181	1178	1202	1061	1069
La	26	26	27	30	33	30	27	23.2	23.2
Ce	53	52	58	66	68	69	61	48.6	51.9
Nd	23	23	25	28	30	30	26	23.6	23.7
Sm	4.6	3.8	3.5	5.2	5.0	6.0	4.7	4.7	3.9
Eu	0.71	0.79	1.00	1.14	0.89	1.12	0.72	0.80	0.89
Gd	2.6	2.8	3.1	3.3	3.3	3.9	3.4	3.5	2.9
Dy	1.7	1.7	1.6	1.8	2.1	2.3	1.8	1.7	1.6
Er	0.5	0.4	0.9	0.3	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6
Yb	0.41	0.45	0.49	0.66	0.55	0.59	0.53	0.77	0.60
Sc	3.5	3.4	3.5	3.8	4.0	4.9	4.2	3.5	3.4
V	29	38	40	63	42	42	39	32	41
Cr	3	4	3	4	4	3	3	1	0
Co	3.6	3.9	4.1	5.5	4.7	5.6	5.5	3.7	2.9
Ni	4	3	6	6	3	5	3	3	3
Th	6.8	6.7	6.2	6.0	7.4	8.1	6.7	7.2	4.9

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II
Localización	Flanco NO	Flanco NO	Flanco O	Flanco O	Flanco N	Flanco E	Flanco E	Flanco NE	Flanco NE
N	8308269	8307923	8308099	8307425	8313418	8307182	8307082	8312720	8312937
E	656739	653190	655663	656148	667100	674007	674093	678191	678247
Tipo de roca	P. F. de pómez y ceniza riolítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	P. F. de pómez y ceniza dacítica	P. F. de pómez y ceniza dacítica	P. F. de pómez y ceniza dacítica	P.F de bloques y ceniza dacítica	P.F de bloques y ceniza dacítica	P.F de bloques y ceniza dacítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica
Muestra	Sar-15-34	Sar-15-35	Sar-15-36	Sar-15-37	Sar-15-45	Sar-15-48A	Sar-15-48B	Sar-15-54	Sar-15-56
SiO ₂	73.50	71.04	69.98	69.34	69.16	67.91	69.20	65.07	70.68
Al ₂ O ₃	13.90	15.03	14.92	15.86	15.62	15.95	16.18	15.64	14.64
Fe ₂ O ₃	1.74	2.44	2.62	2.45	2.45	3.12	2.45	4.60	2.71
MgO	0.41	0.62	0.88	0.83	1.04	1.07	0.68	1.78	0.72
CaO	1.73	2.22	2.25	2.69	2.36	3.19	2.64	4.05	2.50
Na ₂ O	3.79	3.90	4.57	4.85	4.76	4.34	4.65	4.73	4.16
K ₂ O	4.47	4.09	4.11	3.35	3.90	3.61	3.56	2.89	3.83
TiO ₂	0.29	0.41	0.44	0.39	0.44	0.50	0.39	0.84	0.48
P ₂ O ₅	0.14	0.19	0.19	0.19	0.23	0.25	0.18	0.33	0.24
MnO	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
ppm									
Rb	110.6	93.4	107.5	100.6	123.0	95.4	123.2	73.4	105.0
Sr	299	439	452	548	455	594	507	744	441
Y	6.0	6.9	8.6	7.7	9.2	8.0	5.9	6.9	6.5
Zr	71	103	124	122	41	157	76	123	120
Nb	9.5	8.6	9.5	8.6	10.8	8.7	8.6	7.8	8.7
Ba	867	1073	1080	1133	1109	955	1143	951	1091
La	20.7	24.6	26.2	25.6	25.3	25.2	21.0	28.6	25.5
Ce	47.0	54.1	54.7	50.6	52.8	55.3	45.7	62.4	58.7
Nd	18.6	23.6	23.2	22.6	22.5	24.6	19.7	29.0	24.8
Sm	3.2	4.3	4.1	4.3	4.1	4.2	3.9	6.0	4.7
Eu	0.60	0.84	0.95	0.78	0.88	1.02	0.93	1.24	1.05
Gd	2.3	2.7	2.9	2.9	3.0	3.3	2.3	3.2	2.9
Dy	1.5	1.7	1.7	1.5	1.7	1.8	1.4	1.8	1.5
Er	0.1	1.1	0.9	0.5	0.6	0.4	0.5	0.2	0.5
Yb	0.63	0.64	0.64	0.53	0.61	0.73	0.55	0.64	0.58
Sc	3.1	3.6	3.8	3.8	4.7	5.3	3.9	6.4	3.4
V	26	38	46	43	37	59	43	109	52
Cr	1	1	8.3	4.4	4.2	4	2	15	2
Co	2.1	3.7	5.2	4.5	5.2	6.1	4.7	11.7	5.3
Ni	2	3	6.0	3.8	4.1	6	4	16	5
Th	7.7	6.2	6.3	5.8	6.2	6.3	6.5	3.8	6.5

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS II	SS II	SS II	SS II	SS II	SS III	SS III	SS III	SS III
Localización	Flanco NE	Flanco O	Flanco O	Flanco O	Flanco O	Flanco SE	Flanco SE	Flanco SE	Flanco SE
N	8313140	8302535	8302503	8303182	8303213	8299752	8299077	8312250	8301025
E	676552	660492	660215	660530	660286	676526	674376	676706	675711
Tipo de roca	P. F. de pómez y ceniza dacítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	Caida de pómez riolítica	P. F. de pómez y ceniza riolítica	Caida de pómez riolítica	Caida de pómez riolítica	Surge dacítico	Caida de pómez dacítica
Muestra	Sar-15-57	Sar-15-58	Sar-15-59	Sar-15-60	Sar-15-61	Sar-15-08A	Sar-15-08B	Sar-15-09	Sar-15-17
SiO ₂	69.42	73.17	71.21	70.65	73.56	70.52	70.75	69.05	66.28
Al ₂ O ₃	15.11	14.09	14.96	15.26	13.86	15.36	15.19	15.90	15.90
Fe ₂ O ₃	3.09	1.83	2.18	2.58	1.78	2.58	2.57	2.84	3.96
MgO	0.76	0.45	0.70	0.65	0.40	0.55	0.58	0.72	1.56
CaO	2.68	1.86	2.23	2.24	1.76	2.35	2.30	2.65	3.74
Na ₂ O	4.27	4.09	4.09	4.02	3.94	4.32	4.21	4.10	4.56
K ₂ O	3.84	3.99	4.08	3.90	4.19	3.68	3.77	3.99	3.02
TiO ₂	0.53	0.30	0.36	0.44	0.29	0.39	0.39	0.47	0.66
P ₂ O ₅	0.25	0.17	0.15	0.21	0.18	0.19	0.19	0.22	0.26
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
ppm									
Rb	99.2	105.3	107.6	84.5	111.9	70	73	84	67
Sr	501	341	404	449	304	473	442	491	641
Y	6.5	7.1	6.2	7.2	8.4	7.5	7.8	9.4	8.3
Zr	134	64	41	139	62	174	172	134	138
Nb	8.7	9.1	9.5	9.5	10.0	7.9	7.4	9.0	6.5
Ba	1046	1119	1006	1142	1055	1162	1171	1037	979
La	27.6	25.5	21.2	25.9	25.1	28	27	26	26
Ce	58.1	53.4	45.3	59.3	52.9	56	57	56	56
Nd	26.0	23.2	18.5	25.6	23.8	25	24	26	25
Sm	4.5	4.1	3.3	4.5	4.6	4.2	4.1	4.5	4.0
Eu	1.05	0.81	0.64	0.93	0.84	0.86	0.85	1.02	1.11
Gd	3.3	2.9	2.5	3.2	3.4	2.8	2.7	3.5	3.0
Dy	1.6	1.6	1.4	1.6	1.8	1.5	1.5	1.8	1.8
Er	0.8	0.4	0.4	0.8	0.3	0.6	0.1	0.8	0.3
Yb	0.55	0.59	0.65	0.61	0.77	0.52	0.53	0.55	0.79
Sc	3.2	3.2	3.8	3.4	3.3	3.1	3.1	3.8	5.1
V	60	28	36	39	25	40	39	49	85
Cr	2	1	2	1	0	2	4	3	11
Co	5.4	3.2	4.6	3.6	2.2	3.9	4.1	4.7	9.0
Ni	5	3	4	3	3	3	4	3	12
Th	5.9	7.0	7.3	5.0	7.3	4.4	4.5	6.1	4.5

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS III	SS III	SS III	SS III				
Localización	Flanco SE	Flanco SE	Flanco SE	Flanco SE				
N	8300395	8300395	8300395	8299594	8299594	8299594	8299594	8299594
E	676688	676688	676688	673880	673880	673880	673880	673880
Tipo de roca	Caida de pómez riolítica	F. P. de pomez y ceniza riolítica	Caida de pómez riolítica	Caida de pómez riolítica	Caida de pómez riolítica			
Muestra	Sar-15-18	Sar-15-19	Sar-15-20	Sar-15-22	Sar-15-23	Sar-15-24	Sar-15-25	Sar-15-26
SiO ₂	70.58	70.94	70.44	72.47	72.69	72.62	70.10	70.77
Al ₂ O ₃	15.33	15.23	15.46	14.36	14.78	14.62	15.81	15.40
Fe ₂ O ₃	2.48	2.05	2.42	2.19	1.36	2.36	2.48	2.19
MgO	0.55	0.58	0.59	0.54	0.37	0.52	0.63	0.53
CaO	2.34	2.17	2.29	1.99	1.91	1.57	2.40	2.30
Na ₂ O	4.20	3.80	4.23	3.49	3.75	3.19	4.10	4.56
K ₂ O	3.91	4.66	3.96	4.42	4.77	4.57	3.82	3.72
TiO ₂	0.38	0.34	0.37	0.34	0.21	0.32	0.41	0.34
P ₂ O ₅	0.18	0.19	0.18	0.16	0.11	0.18	0.19	0.13
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
ppm								
Rb	104	78	81	103	120	116	81	91
Sr	482	434	489	387	331	257	485	440
Y	7.8	8.0	8.3	8.0	5.2	10.3	8.4	8.2
Zr	175	77	182	90	46	66	106	36
Nb	9.1	8.3	8.0	9.5	8.2	9.3	8.7	9.0
Ba	1175	1041	1167	985	772	1008	1060	943
La	28	29	30	24	17	24	24	18
Ce	56	59	61	51	34	52	55	41
Nd	23	25	27	22	12	23	23	20
Sm	2.8	4.3	4.6	4.2	2.0	4.4	3.6	4.0
Eu	0.80	0.91	0.78	0.71	0.43	0.96	0.94	0.80
Gd	2.8	3.0	3.4	2.6	1.5	3.3	2.9	3.3
Dy	1.6	1.8	1.6	1.5	0.9	2.0	1.6	1.7
Er	0.6	0.5	0.9	0.5	0.2	0.8	0.4	0.8
Yb	0.40	0.47	0.47	0.45	0.27	0.48	0.49	0.43
Sc	3.4	3.5	3.5	3.2	3.2	3.9	3.4	3.4
V	40	33	37	35	20	34	40	34
Cr	3	4	2	2	2	4	3	3
Co	3.1	3.6	3.3	3.3	3.3	3.7	4.3	3.3
Ni	4	5	3	3	3	6	3	2
Th	6.8	5.3	4.7	5.9	7.4	8.1	5.6	6.2

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.

Periodo	SS III	SS III	SS III	SS IV	SS IV	SS IV
Localización	Flanco SE	Flanco SE	Flanco SE	Flanco E	Flanco E	Flanco E
N	8299594	8296803	8295149	8304619	8303176	8307830
E	673880	677339	676079	678188	6798113	682035
Tipo de roca	Caida de pómez dacítica	Caida de pómez riolítica	Caida de pómez dacítica	Lava dacítica	Lava dacítica	Lava dacítica
Muestra	Sar-15-27	Sar-15-46	Sar-15-47	Sar-15-02	Sar-15-04	Sar-15-49
SiO ₂	68.79	70.55	69.89	65.88	65.22	66.06
Al ₂ O ₃	17.01	15.59	15.18	16.40	16.41	16.60
Fe ₂ O ₃	2.83	2.31	2.91	3.65	3.75	3.63
MgO	0.81	0.78	0.81	1.39	1.52	1.28
CaO	2.38	2.26	2.36	3.57	3.93	3.50
Na ₂ O	3.94	4.05	4.30	4.94	5.05	4.80
K ₂ O	3.54	3.91	3.77	3.13	3.06	3.19
TiO ₂	0.48	0.35	0.49	0.66	0.68	0.60
P ₂ O ₅	0.17	0.15	0.23	0.32	0.33	0.28
MnO	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
ppm						
Rb	81	98.9	86.9	81	78	88.9
Sr	452	433	505	733	767	701
Y	9.0	8.4	9.1	9.2	9.6	7.8
Zr	149	64	160	115	107	171
Nb	8.6	9.4	9.8	9.0	8.1	9.0
Ba	1384	1023	1124	1144	1112	1151
La	31	25.1	27.8	36	36	33.0
Ce	58	48.5	59.6	72	73	69.3
Nd	27	21.2	27.4	31	33	31.0
Sm	4.5	3.7	5.1	5.1	5.1	5.6
Eu	0.81	0.70	0.97	1.26	1.38	1.22
Gd	3.2	2.6	3.3	3.5	3.6	3.3
Dy	1.6	1.6	1.8	1.9	2.0	1.9
Er	0.8	0.6	0.6	0.7	0.8	0.5
Yb	0.57	0.62	0.61	0.76	0.76	0.71
Sc	4.4	3.9	3.7	5.6	6.0	5.5
V	44	36	47	75	78	69
Cr	7	4.5	4.4	11	12	10
Co	5.9	4.1	4.8	8.5	9.4	7.7
Ni	4	3.6	4.3	11	14	10
Th	7.0	6.9	4.7	5.2	5.1	5.0

Tabla de datos del estudio geoquímico realizado a muestras de rocas del volcán Sara Sara.