

EVIDENCIAS DE DEPÓSITOS DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO SILLAPACA, REGIÓN PUNO, PERÚ

Abraham Gamonal Sánchez ¹; Juan Carlos Gómez Avalos ¹; Juan Manuel Sánchez ²; José Luis Macías ³

¹; Instituto Geofísico del Perú ² Instituto Politécnico-UNAM México, ³ Instituto de Geofísica-UNAM México
¹agamonal@axil.igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

En el extremo SE del país, entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, se extiende una cadena de montañas, denominado Complejo Volcánico Sillapaca, formación geológica, conformada principalmente por lavas de composición andesítica. Este complejo ha experimentado colapsos de grandes masas de materiales (avalanchas de escombros), eventos altamente destructivos (Leyrit, 2000) que modifican y configuran la morfología actual del terreno. Evidencias de estos colapsos, son los depósitos de avalanchas de escombros (DAE) observados en dos sectores distintos: Pinaya y Santa Lucía, este último ubicado en la margen derecha del río Cabanillas y cubren un área de 8 km² aproximadamente. La distribución espacial y las características granulométricas sugieren que la fenomenología de estos eventos extremos es distinta. Por tanto, conocer las condiciones que desencadenaron la ocurrencia de las avalanchas de escombros mencionadas permitirá entender la evolución geológica de la zona y la configuración morfológica actual, así como también documentar paleo-eventos extremos.

CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La geología de la zona está conformada principalmente por rocas de origen volcánico, que afloran entre la Cordillera Occidental y el Altiplano. Dentro de estas, las lavas ande síticas del complejo Sillapaca de 12 a 14 M.A de antigüedad (Palacios, 1995), son las que predominan en el área, las cuales junto a las rocas volcánicas de los Grupos Tacaza, Palca y Barroso, se formaron durante el volcanismo que tuvo lugar entre el Eoceno y Mioceno (Klinck et al., 1996). La configuración estructural del área de estudio es compleja, debido a los constantes pulsos que han dado origen a diversos complejos volcánicos, controlados por sistemas de fallas regionales, como lo son: Urcos – Ayaviri, Sibayo – Caylloma, Condorama y principalmente el sistema Cuzco – Lagunillas. La presencia de este sistema de fallas, de dirección NW-SE, predispone la ocurrencia de avalancha de escombros, debido a que desestabiliza las rocas que conforman el complejo Sillapaca; así también constituyen zonas de debilidad que pueden funcionar como las zonas de arranque de grandes masas colapsadas.

ASPECTOS GEODINÁMICOS

Las avalanchas de escombros, generalmente dejan una morfología típica, que incluye un anfiteatro y una serie de *hummocks* o montículos, aunque esto no ocurre en todos los casos (Ui et al., 2000). También presentan dos tipos de facies, la facie de bloque y la facie de matriz (Glicken, 1991). En la primera, predominan los bloques como componente principal corresponde por lo general a la zona de *hummocks* grandes bloques y próxima a la fuente; mientras que en la segunda predomina la matriz y tiende a llegar más lejos de la fuente como flujo granular, dejando un depósito de morfología plana. Los depósitos resultantes, de características texturales distintas según su localización a la fuente, se muestran en la figura 1. Se reconoce la fase avalancha de escombros y su transición a flujo de escombros, en ambas facies, la granulometría de sus componentes es bien marcada, mientras que en la primera predominan los bloques fracturados, en la segunda, el tamaño de estos decrece hasta el predominio de matriz.

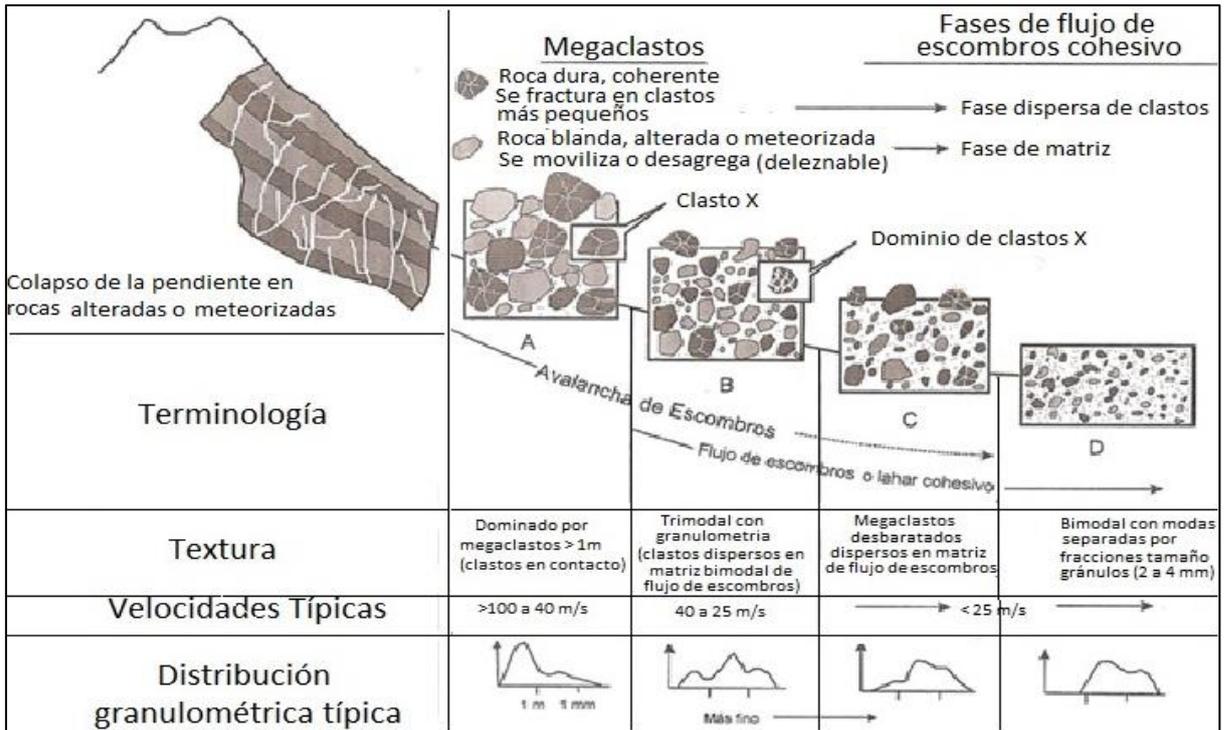


Figura 1: Diagrama que muestra las etapas de formación de una avalancha de escombros y flujo de escombros (Bernard, 2009).

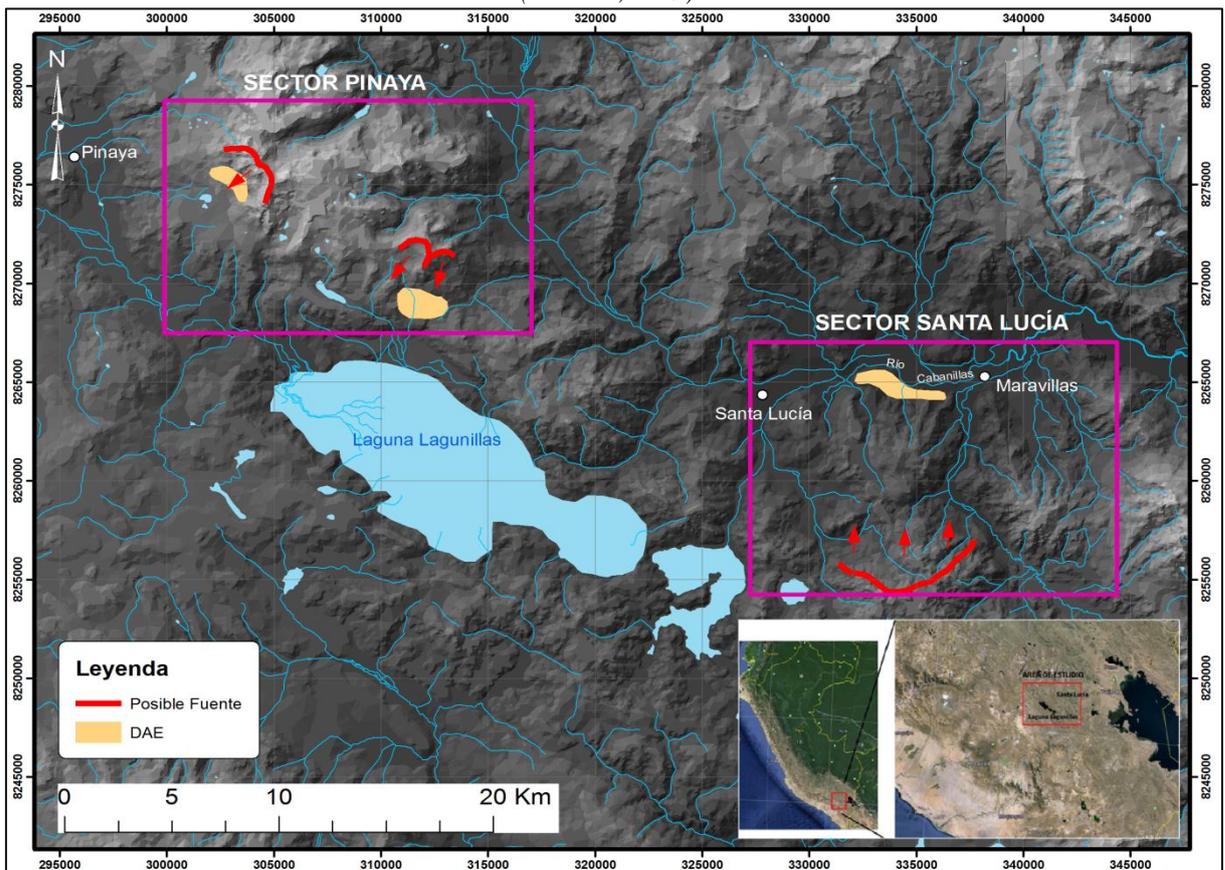


Figura 2: Depósitos de avalanchas de escombros observados en campo, estos pueden observarse desde Pinaya hasta Santa Lucía y culminando en el sector Maravillas.

Los DAE observados en campo se distribuyen en distintos sectores, las causas de ocurrencia de estos, pueden estar asociados a procesos tectónicos, sismicidad o por el ascenso de magma dentro de

edificios volcánicos del complejo Sillapaca. Para la investigación se ha dividido la zona de estudio en dos sectores: Pinaya y Santa Lucía, entre los dos abarcan un área aproximada de 370 km^2 , Figura 2.

SECTOR 1: PINAYA

Se localiza al Noroeste del área de estudio y abarca aproximadamente 170 km^2 . Se observan fuentes de DAE de composición andesítica, a 8 km al NW de la laguna Lagunillas, los cuales alcanzan los 5 100 m de altura sobre el nivel del mar. El anfiteatro presenta dirección NE-SW, con una dirección de material movilizado de N-S. En la zona media (a 2 km aprox.) se observa un relieve ondulado, con colinas bajas y alargadas, estas corresponden a grandes bloques de material movilizado desde la fuente hasta este sector, denominado *hummocks*. En la zona distal se observan pequeños canales por donde se infiere se movilizó la fase flujo de escombros, de la cual no se ha observado evidencia, Foto1

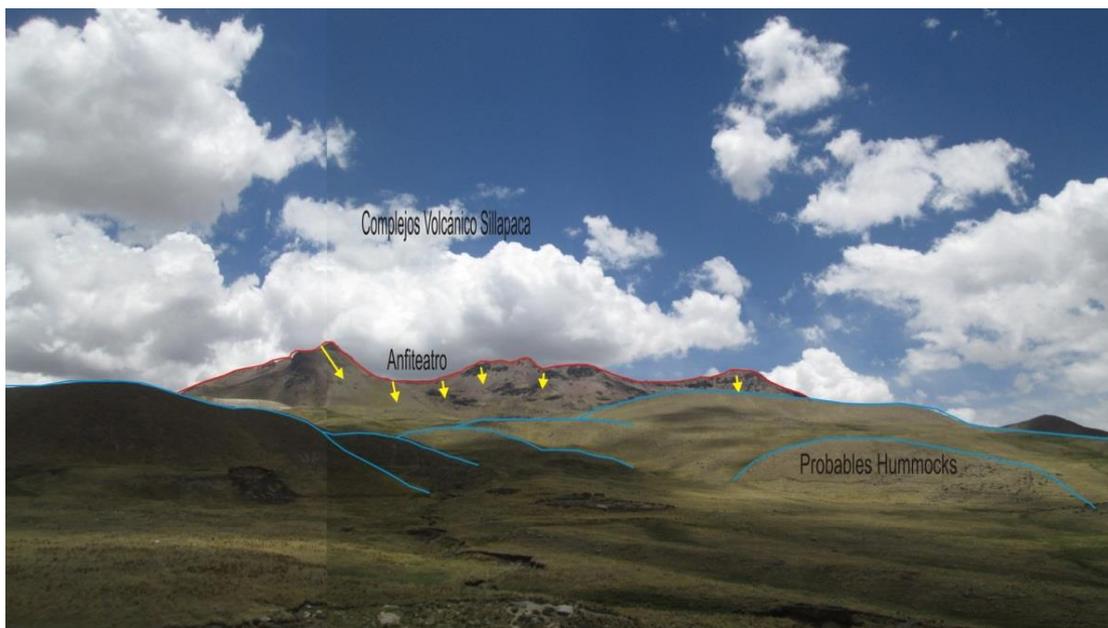


Foto 1: Disposición de un probable colapso de uno de los edificios volcánicos del complejo Sillapaca, el cual originó el desplazamiento de materiales que cambiaron el relieve, dando paso a colinas de baja elevación, los denominados hummocks.

SECTOR 2: SANTA LUCÍA

Se localiza en la parte media de la zona de estudio, en las inmediaciones del poblado de Santa Lucía y abarca un área aproximada de 200 km^2 (sector en estudio). En el DAE, se han distinguido dos facies: de bloques y mixta. En ambos casos las rocas predominantes son de composición andesítica, las cuales se muestran intensamente fracturadas en la facie de bloques, tipo de fracturamiento conocido como “rompecabezas”, indicando que el mecanismo de formación se debe al colapso de una gran masa de material, Foto 2. La facie mixta corresponde a una mezcla de bloques de mediano tamaño, los cuales se encuentran inmersos en una matriz arenosa, con presencia de limos y arcillas, Foto 3. La facie flujo pudo haber alcanzado el río Cabanillas, aportando material que pudo haber colmatado parte del cauce, generando gruesos bancos de terrazas. La fuente de estos depósitos probablemente se ubica a 9 km aproximadamente, al Sur de donde afloran estos depósitos. Según la Figura 1, corresponde a la facie de bloques del DAE, caracterizado por grandes bloques fracturados. Los sectores Pinaya y Santa Lucía, presentan depósitos de diferentes recorridos, el primero, según lo observado, los materiales se encuentran cercanos a la fuente; mientras que en el segundo caso, se ubican a mayor distancia por lo que predominan la facie mixta y de flujo de escombros, que alcanzan el curso del río Cabanillas. Este último presenta terrazas altas, no común en un río de baja gradiente. Posiblemente esto se debe al aporte de materiales provenientes de las avalanchas descritas.

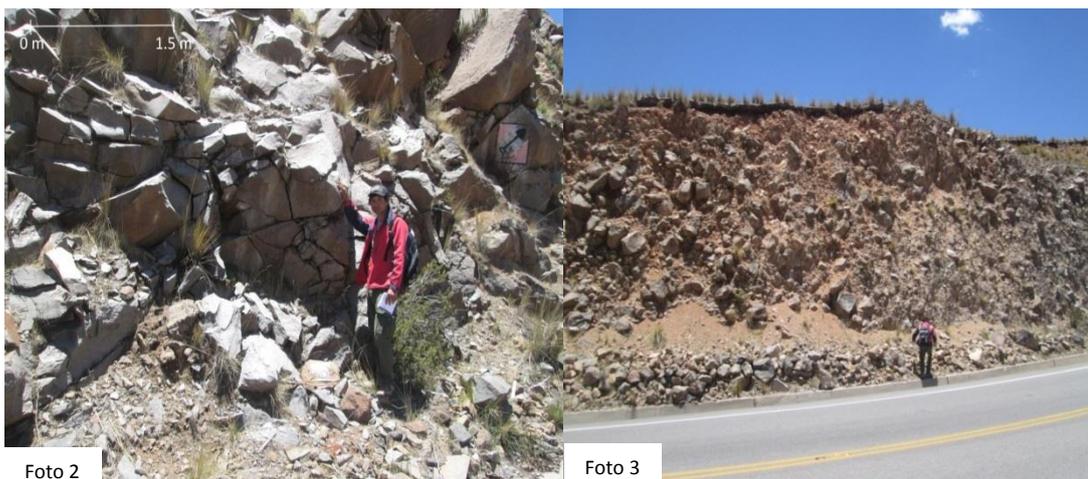


Foto 2: Bloques quebrados de andesita porfirítica, textura conocida como “rompecabezas”, se ubican a 5 km al Este del poblado de Santa Lucía y a 9 km de la fuente.

Foto 3: Facie mixta de un DAE, en la cual se observan bloques andesíticos de mediano tamaño (40 cm de diámetro en promedio) inmersos en una matriz arenosa de la misma composición. Se ubica a 4.5 km al Este del poblado de Santa Lucía y a 9.2 km de la fuente.

CONCLUSIONES

- El sistema de fallas Cusco-Lagunillas, de dirección NW-SE, funciona como un factor condicionante para la ocurrencia de avalancha de escombros, debido a que constituye una zona de debilidad que puede funcionar como zonas de arranque para el colapso de grandes masas de material.
- Los depósitos de avalancha de escombros observados en el sector de Pinaya se encuentran cercanos a la fuente, reconociéndose el predominio de hummocks.
- El sector de Santa Lucía se presentan depósitos de avalanchas de escombros (DAE) que han alcanzado distancias mayores a los 9 km, por lo que predominan las facies mixta y de flujo de escombros. Estos alcanzan el curso del río Cabanillas el cual presenta terrazas altas, no común en un río de baja gradiente. Posiblemente esto se debe al aporte de materiales provenientes de las avalanchas suscitadas en este sector.

REFERENCIAS

1. Bernard, B. (2009), Distinguishing volcanic debris avalanche deposits from their reworked products: the Perrier sequence (French Massif Central). *Bull. Volcanology*.
2. Carlotto, V. (2013), Paleogeographic and tectonic control on the evolution of Cenozoic basins in the Altiplano and Western Cordillera of southern Perú: *Tectonophysics* Volume 589, Pag. 195–219.
3. Glicken, H., 1991, Sedimentary architecture of large volcanic-debris avalanches, *en* Fisher, R.V., Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in Volcanic Settings*: Tulsa, OK, SEPM, SEPM Special Publication 45, 99–106
4. Klinck, B.A., Ellison, R.A., Hawkins, M.P., Palacios, O., De la Cruz, J.S., De la Cruz, N.S *Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del Lago Titicaca. Sur del Perú. INGEMMET. Bol. Serie A: Carta Geológica Nacional*, v. 42, 253 p.
5. Leyrit, H. (2000). Flank collapse and debris avalanche deposits.
6. Palacios, O. et al (1995), *Geología del Perú. INGEMMET. Bol. Serie A: Carta Geológica Nacional*, Bol. 42, 83 p.
7. Ui, T., Takarada, S, and Yoshimoto, M., 2000, Debris Avalanches, *en* Sigurdsson, H. (ed.), *Encyclopedia of Volcanoes*: Academic Press, 617- 626.

EVIDENCIAS DE DEPÓSITOS DE AVALANCHAS DE ESCOMBROS EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO SILLAPACA, REGIÓN PUNO, PERÚ

Autores

1. Abraham Gamonal Sánchez; 1. Juan Carlos Gómez Arslan; 2. Juan Manuel Sánchez; 3. José Luis Macías

1. Instituto Geofísico del Perú; 2. Instituto Pédagogico - UNPM Mito; 3. Instituto de Geofísica - UNPM Mito

Introducción

En el extremo SE del país, entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, se extiende una cadena de montañas, denominada Complejo Volcánico Sillapaca, formación geológica, conformada principalmente por lavas de composición andesítica, Figura 1. Este complejo ha experimentado colapsos de grandes masas de materiales (avalanchas de escombros), eventos altamente destructivos (Leyrit, 2000) que modifican y configuran la morfología actual del terreno. Evidencias de estos colapsos, son los depósitos de avalanchas de escombros (DAE) observados en dos sectores distintos, Figuras 2: Pinaya y Santa Lucía, este último ubicado en la margen derecha del río Cabanillas y cubren un área de 8 aproximadamente. La distribución espacial y las características granulométricas sugieren que la fenomenología de estos eventos es distinta. Por tanto, conocer las condiciones que desencadenaron la ocurrencia de las avalanchas de escombros mencionadas permitirá entender la evolución geológica de la zona y la configuración morfológica actual, así como también documentar paleoeventos extremos.

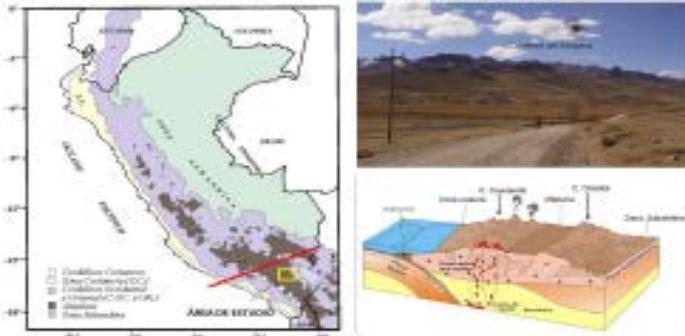
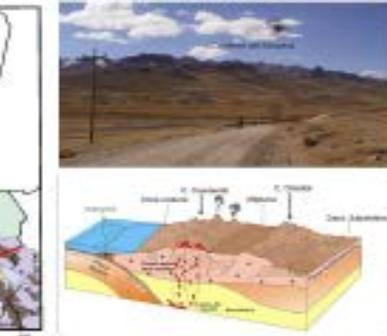


Figura 1: Mapa tectónico de la zona de estudio.

**Resultados Preliminares****1. SECTOR PINAYA**

Se observan fuentes de DAE de composición andesítica, a 8 km al NW de la laguna Lagunillas, las cuales alcanzan los 5 100 m de altura sobre el nivel del mar. El anfiteatro presenta dirección NE-SW con una dirección de material movilizado de N-S. En la zona media (a 2 km aprox.) se observa un relieve ondulado, con colinas bajas y alargadas, estas corresponden a grandes bloques de material movilizado desde la fuente hasta este sector, denominado hummocks. En la zona distal se observan pequeños canales por donde se infiere se movilizó la fase flujo de escombros, de la cual no se ha observado evidencia, Figura 4.



Figura 4: Fuente de Depósitos de Avalanchas de Escombros (DAE). Se observa actividad hidrotermal en las inmediaciones de Pinaya, en el extremo Noroeste de la zona de estudio.

**2. SECTOR SANTA LUCÍA**

En el DAE, se han distinguido dos facies de bloques y matriz. En ambos casos las rocas predominantes son de composición andesítica, las cuales se muestran internamente fracturadas en la facie de bloques, tipo de fracturamiento conocido como "rompecajones", indicando que el mecanismo de formación se debe al colapso de una gran masa de material. Foto A. La facie matriz corresponde a una mezcla de bloques de mediano tamaño, los cuales se encuentran inmersos en una matriz arenosa, con presencia de limas y arcillas. Foto B. La facie flujo pudo haber alcanzado el río Cabanillas, aportando material que pudo haber colmado parte del cauce, generando gruesos bancos de limas. La fuente de estos depósitos probablemente se ubica a 9 km aproximadamente, al Sur de donde afloran estos depósitos. Corresponde a la facie de bloques del DAE, caracterizado por grandes bloques fracturados. Los sectores Pinaya y Santa Lucía, presentan depósitos de diferentes recorridos, el primero, según lo observado, los materiales se encuentran cercanos a la fuente; mientras que en el segundo caso, se ubican a mayor distancia por lo que predominan la facie matriz y de flujo de escombros, que alcanzan el curso del río Cabanillas. Este último presenta limas altas, no común en un río de baja gradiente. Posiblemente esto se debe al aporte de materiales provenientes de las avalanchas descritas.

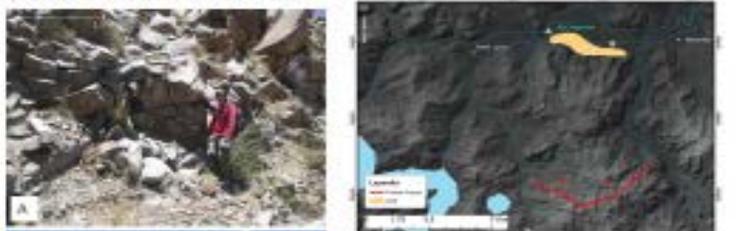


Foto A: Bloques quebrados de andesita porfírica, textura conocida como "rompecajones", se ubican a 5 km al Este del poblado de Santa Lucía.
Foto B: Foto aérea de un DAE, en la cual se observan bloques andesíticos de mediano tamaño (40 cm de diámetro en promedio) inmersos en una matriz arenosa de la misma composición. Se ubica a 4,5 km al Este del poblado de Santa Lucía y a 8,2 km de la fuente.

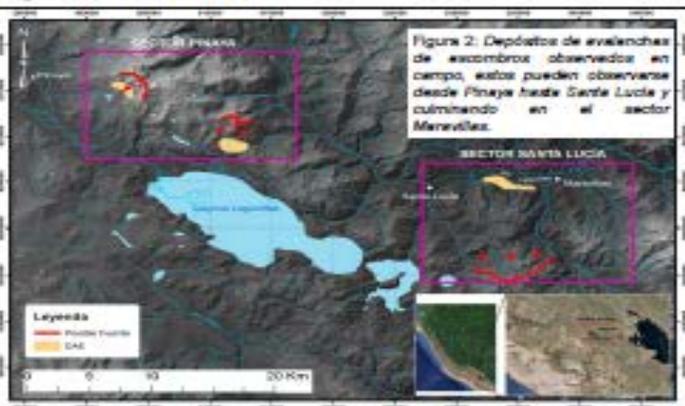


Figura 2: Depósitos de avalanchas de escombros observados en campo, estos pueden observarse desde Pinaya hasta Santa Lucía y culminando en el sector Menevilás.

Configuración geológica del área de estudio

La geología de la zona está conformada principalmente por rocas de origen volcánico, que afloran entre la Cordillera Occidental y el Altiplano. Dentro de estas, las lavas andesíticas del complejo Sillapaca de 12 a 14 M.A de antigüedad (Falcón, 1995), son las que predominan en el área, las cuales junto a las rocas volcánicas de los Grupos Tacaza, Palca y Berro, se formaron durante el volcanismo que tuvo lugar entre el Eoceno y Mioceno (Kinosh et al., 1996). La configuración estructural del área de estudio es compleja, debido a los constantes pulsos que han dado origen a diversos complejos volcánicos, controlados por sistemas de fallas regionales, como lo son: Uros - Ayeviri, Sibayo - Caylloma, Condoroma y principalmente el sistema Cuzco - Lagunillas. La presencia de este sistema de fallas, de dirección NW-SE, predispone la ocurrencia de avalanchas de escombros, debido a que inestabiliza las rocas que conforman el complejo Sillapaca; así también constituyen zonas de debilidad que pueden funcionar como las zonas de arranque de grandes masas colapsadas, Figura 3.



Figura 3: Geología del área de estudio.

Conclusiones

El sistema de fallas Cuzco-Lagunillas, de dirección NW-SE, funciona como un factor condicionante para la ocurrencia de avalanchas de escombros, debido a que constituye una zona de debilidad que puede funcionar como zonas de arranque para el colapso de grandes masas de material. Los depósitos de avalancha de escombros observados en el sector de Pinaya se encuentran cercanos a la fuente, reconociéndose el predominio de hummocks. El sector de Santa Lucía se presentan depósitos de avalanchas de escombros (DAE) que han alcanzado distancias mayores a los 9 km, por lo que predominan las facies matriz y de flujo de escombros. Estos alcanzan el curso del río Cabanillas el cual presenta limas altas, no común en un río de baja gradiente. Posiblemente esto se debe al aporte de materiales provenientes de las avalanchas suscitadas en este sector.

Referencias

Arévalo, B. (2005). Delimitación volcánica del área andesita de la zona de estudio. Boletín de Geología del Perú - Ingeniería (Perú) (Minedu) 35. Volcanología.
Cabrera, Y. (2010). Paleogeografía and tectónica control en los volcanes del Altiplano and Sierrita Cordillera de Arequipa Perú. Doctorado en Geología. UNM.
Cabrera, Y., (2011). Sedimentary evolution of large volcanoes in the Altiplano, in Palau, S.V., Smith, D.A. (eds.), Sedimentation in the Andes. Tectonics, Climate, and the Environment. Springer, Publication 42, 99-104.
Cisneros, R.A., Gómez, R.A., Ramírez, M.P., Palacios, D., De la Cruz, J.E., De la Cruz, H.G. Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al este del Lago Titicaca. Sur del Perú. INIGEOLOGÍA. Sur. Serie A. Carta Geológica Nacional, n. 41, 237 p.
Leyrit, H. (2000). Field evidence and debris avalanche deposits. In Leyrit, H., K., Stenstrom, C. (Eds.), Volcaniclastic Studies from Laguna in the Andes. Oxford and Bern: Balkema Publishers, CD, pp. 111-126.
Palacios, D. et al. (1997). Geología del Perú. INIGEOLOGÍA. Sur. Serie A. Carta Geológica Nacional, No. 40, 30 p.
Pérez, D. et al. (1997). Geología del Perú. INIGEOLOGÍA. Sur. Serie A. Carta Geológica Nacional, No. 41, 237 p.