

ESTRATIGRAFÍA DE LAS CUENCAS LACUSTRES COLCA Y OMATE: EJEMPLOS DE PALEOSISMICIDAD Y TECTÓNICA ACTIVA DEL ARCO VOLCÁNICO CUATERNARIO Y ACTUAL DE LOS ANDES CENTRALES DEL SUR DEL PERÚ

Benavente, C¹., Delgado, F¹. & Audin, L².

¹*Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, Av. Canadá 1470, Lima, Peru; cbenavente@ingemmet.gob.pe*

²*Institut de recherche pour de développement IRD, Francia*

INTRODUCCIÓN

El Arco Volcánico Cuaternario del sur del Perú forma parte de la Cordillera Occidental, cuya elevación máxima es de 6000 m (Fig.1), este arco se ubica aproximadamente a 280 km de la fosa oceánica y se localiza a 115 km de profundidad sobre el plano de Benioff-Wadati (*Barazangi & Isacks, 1976*). En la actualidad, se registran sismos superficiales en el Antearco y el Arco Volcánico Cuaternario, cuyos hipocentros corresponden con trazas de fallas cartografiadas a lo largo del sur del Perú (*Sébrier et al., 1985; Audin et al., 2006, Benavente et al., 2010, Benavente & Audin, 2010*).

Adyacentes a esta cadena de volcanes, se observan depósitos de grano fino y estratificación paralela correspondientes a cuencas lacustres que se formaron durante el Cuaternario, producto de glaciaciones, de actividad volcánica y tectónica; procesos que quedaron registrados en la estratigrafía de las cuencas cuaternarias de los valles del Colca y Omate, en las regiones de Arequipa y Moquegua respectivamente (Figura 1).

La realización de trincheras transversales a las fallas es imposible, ya que el área de estudio está cubierto por material volcánico, lo que restringe la formación de cuñas coluviales, por este motivo el estudio de las estructuras de origen sísmico desarrollado en sedimentos no consolidados cobra especial importancia, siendo el tema central del presente artículo. Finalmente, haremos un análisis y correlación de la data obtenida con los estudios neotectónicos y sismológicos realizados por *Benavente et al., (2010), Antayhua (2002) y David (2007)*.

En tal sentido, contribuimos al conocimiento y valoración de la actividad neotectónica, paleosísmica y sísmica del Arco Volcánico Cuaternario, con nuevas evidencias obtenidas en las cuencas cuaternarias de los valles del Colca y Omate.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y NEOTECTÓNICO

La cadena volcánica actual está constituida por estratovolcanes con un cráter central, domos y conos monogenéticos de escorias de lavas asociados a flujos <5 000 B.P (*Delacour et al., 2007; De Silva & Francis, 1991*). Los depósitos volcánicos cuaternarios muestran evidencias de haber sido erosionados y retrabajados por la actividad glacial, es así, que observamos morrenas y depósitos fluvio-glaciares cubriendo dichos depósitos.

Benavente et al. (2010) describen un control estructural NO-SE en el arco volcánico Cuaternario a lo largo de aproximadamente 200 km, corredor estructural conformado por fallas normales con buzamientos opuestos y que cortan depósitos volcánicos cuaternarios, glaciares y fluvio-glaciares. Asimismo, *Sébrier et al. (1985)* estudian las fallas de Trigal y Solarpampa, ubicadas en las alturas del Cañon del Colca, entre las localidades de Huambo y Cabanaconde; fallas con orientaciones E-O, constituidas por segmentos que se extienden a lo largo de 30 km cortando depósitos volcánicos cuaternarios y fluvio-glaciares. *David (2007) y Antayhua (2002)* analizaron la actividad sísmica de esta área, identificando su distribución tanto en superficie como en profundidad y hallando mecanismos focales.

ESTRATIGRAFÍA DE LOS DEPÓSITOS DEL PLEISTOCENO

Durante el Cuaternario se desarrollaron glaciaciones, actividades volcánicas y tectónicas; procesos que modelaron la topografía y que permitieron la formación de lagos. Claros ejemplos son los afloramientos de los depósitos lacustres de los valles del Colca y Omate.

CUENCA COLCA

En la cuenca del Colca levantamos 11 columnas estratigráficas detalladas. El reconocimiento estratigráfico y el análisis de las dataciones realizadas en el sector por diversos investigadores (<http://www.ingemmet.gob.pe/form/plantilla01.aspx?Opcion=296>), nos permitió identificar tres represamientos del río Colca. El primero ubicado entre Yanque–Pinchollo y los dos siguientes represamientos, posiblemente contemporáneos, ubicados entre Chivay-La Calera y Canocota-Tuti.

Yanque – Pinchollo

Entre Yanque-Pinchollo los depósitos lacustres se encuentran en discordancia angular sobre los depósitos volcánicos del Grupo Tacaza y de los centros volcánicos Huarancante y Mismi del Plioceno. La primera secuencia del paleolago tiene 100 m de espesor y está compuesta de limoarcillitas con estratificación paralela, areniscas de grano medio a fino y niveles delgados (2-5 cm) de calizas de tipo packstone, litología que corresponde a sedimentación de tipo lacustre profundo (Figura 2). Asimismo se pudo observar fallas sin-sedimentarias y 8 niveles de sismitas, mayormente *volcanes de arena* y *slumps*, estos últimos varían entre 0.20 m a 2 m de espesor (Figura 2).

La segunda secuencia se encuentra mejor expuesta en la zona de Ichupampa (30 m) y está constituida por intercalaciones de limoarcillitas con laminaciones paralelas, areniscas con laminaciones oblicuas; la parte media al tope de la secuencia se encuentra compuesto por conglomerados polimícticos con clastos de 8 cm de diámetro. Esta secuencia corresponde a una zona de transición donde los depósitos provenientes de las márgenes de la cuenca se interestratifican con los depósitos finos del lago. Sedimentológicamente corresponde a un medio lacustre marginal. Se identificaron la mayor cantidad de estructuras sedimentarias deformadas o sismitas, un total de 12, siendo las estructuras principales el tipo *ball and pillow* y *flame*.

La tercera secuencia aflora entre las localidades de Yanque, Lari y Achoma, y está constituida por conglomerados polimícticos con clastos subredondeados a redondeados de 12 cm de diámetro en promedio. Esta secuencia corresponde a una sedimentación de tipo fluvial.

La cuarta secuencia se encuentra expuesta entre Lari y Pinchollo y está compuesta por intercalaciones de limoarcillitas con niveles delgados de areniscas finas y cenizas volcánicas blanquecinas hacia la base; así como microconglomerados y conglomerados en la parte media. Esta secuencia corresponde a una sedimentación de tipo lacustre. En Achoma se observa en los últimos 2 metros de la secuencia, 8 niveles de *slumps* intercaladas con cenizas volcánicas (Figura 1c), esta ritmicidad infrayace en discordancia a unas lavas andesíticas datadas por *Klinck et al.*, (1986) en 0.90 Ma.

La quinta secuencia aflora entre Lari y Madrigal, está compuesta por conglomerados polimícticos con clastos subredondeados a redondeados y diámetro promedio de 18 cm. Corresponde a una sedimentación de tipo fluvial.

Chivay – La Calera

Los depósitos lacustres ubicados entre Chivay y La Calera se encuentran en discordancia angular a los depósitos volcánicos del Mismi. Su espesor total es de aproximadamente 10 metros y está constituido hacia la base por intercalaciones de limoarcillitas y arenas con laminaciones en ripples, hacia el techo la secuencia se hace más granocreciente y contiene niveles delgados de calizas de tipo packstone. Sedimentológicamente corresponde a un medio lacustre somero.

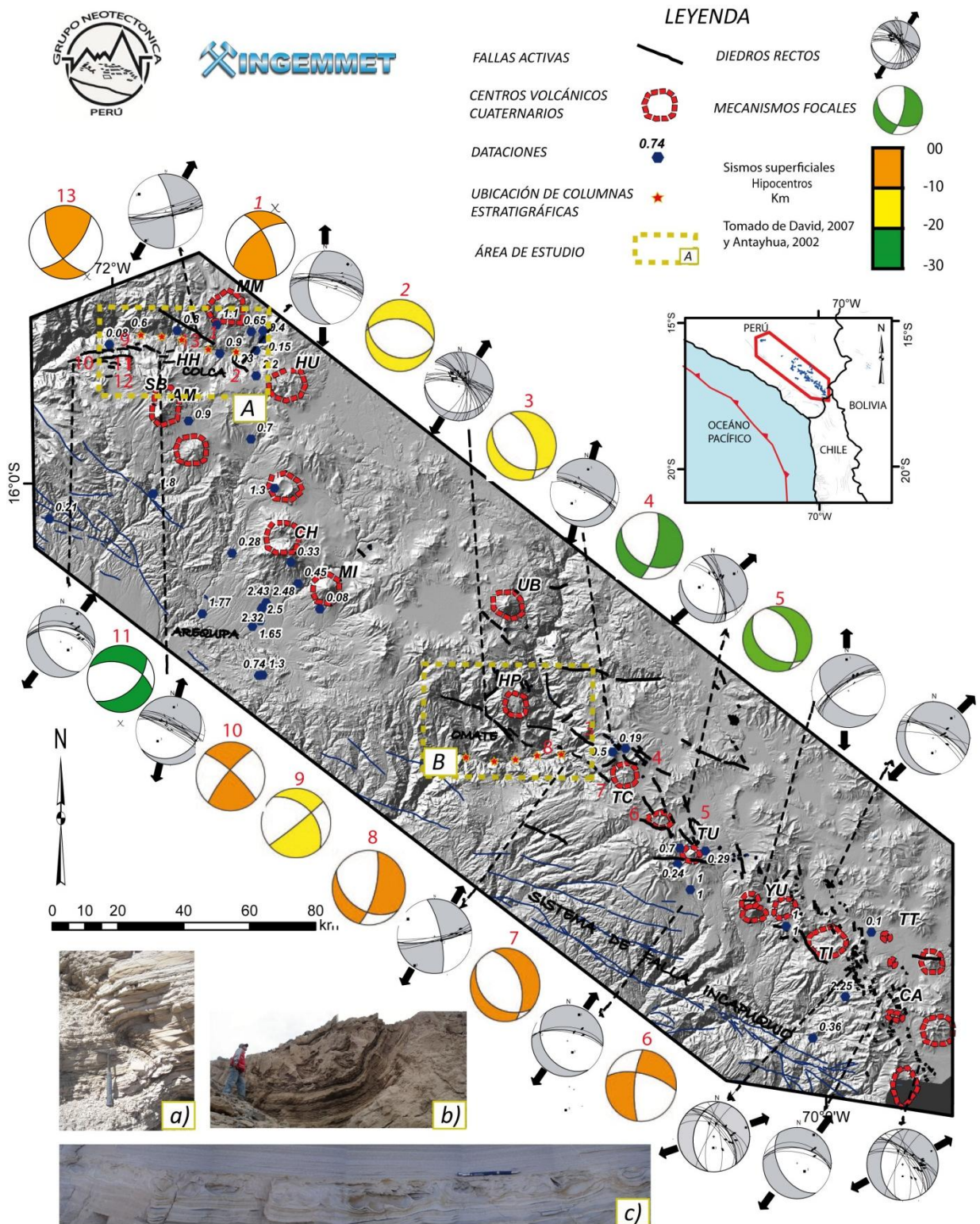


Figura 1: Fallas cuaternarias y activas en líneas negras, centros volcánicos en rojo. Los diedros rectos son tomados de Benavente et al. (2010) y los mecanismos focales de Antayhua (2008) y David (2007), éstos según su profundidad (ver escala). Las fotografías muestran: a) Falla inversa afectando depósitos lacustres de Omate-Moquegua; b) Slump del paleopago ubicado en Quinistaquillas y c) Slump interestratificado con niveles de cenizas ubicado en Acoma- valle del Colca.

Canocota – Tuti

Entre Canocota y Tuti los depósitos lacustres se encuentran en discordancia angular sobre lavas del pleistoceno (Figura 1). Se observaron tres secuencias; la primera granocreciente de un espesor de 25

metros y compuesta de limoarcillitas, areniscas de grano medio con laminaciones en ripples y clastos blandos. Identificamos 20 niveles de entre *slumps*, *volcanes de arena*, *ball and pillow* y *diques de arenas*; la estructura más representativa es un *slump* de 4.5 metros de espesor ubicado en el tope de la secuencia. Estos depósitos corresponden a un medio lacustre.

La segunda secuencia tiene un espesor de 15 metros y está compuesta por arenas con estratificación paralela intercaladas con niveles centimétricos de limoarcillitas y canales de conglomerados. Se pudo observar fallas sin-sedimentarias y 10 niveles de sismitas. La litología nos sugiere un ambiente de sedimentación tipo fluvial.

La tercera secuencia tiene un espesor aproximado de 30 metros y está compuesto por limoarcillitas con laminaciones paralelas e intercaladas con arenas de grano medio, así mismo se observaron niveles centimétricos de calizas de tipo packstone y sismitas de tipo *flame*. El medio de sedimentación es de tipo lacustre.

CUENCA OMATE - QUINISTAQUILLAS

Entre Omate y Quinistaquillas levantamos 9 columnas estratigráficas detalladas, llegando a identificar tres paleolagos que fueron limitados por avalanchas de escombros provenientes del flanco sur del volcán Huaynaputina. A continuación describimos la estratigrafía de cada paleolago.

La Guisa - Pampa San Lorenzo

Los depósitos lacustres se ubican en discordancia sobre rocas volcánicas del Plioceno. Por el espesor de los depósitos lacustres (220 metros) podemos indicar que se trató de una laguna extensa de forma alargada. Se observa tres secuencias claras, la primera compuesta por intercalaciones de limoarcillitas y niveles centimétricos de arenas de grano fino a medio con laminaciones cruzadas hacia la base. La segunda secuencia compuesta por intercalaciones de arenas de grano fino a grueso con laminaciones en ripples y paralelas; y niveles centimétricos de limoarcillitas. La tercera secuencia está constituida casi íntegramente por limoarcillitas con laminaciones paralelas. Suprayaciendo esta secuencia se tiene en discordancia erosiva un nivel de conglomerados (50 m aproximadamente) con matriz ignimbrítica, en donde se pueden reconocer a pesar del transporte, cristales de biotitas, pómez y líticos. Asimismo se pudieron identificar 30 niveles de estructuras sedimentarias deformadas, entre las más importantes tenemos las estructuras de tipo *flame*, *volcanes de arena*, *diques sedimentarios* y *slumps*.

Quinistaquillas I

Los depósitos lacustres al nivel de Quinistaquillas se restringen en el puente que conduce a la ciudad de Moquegua, estos depósitos se encuentran en discordancia angular a depósitos volcánicos. Estratigráficamente está compuesta por intercalaciones de limoarcillitas, arenas de grano medio a fino y niveles de cenizas volcánicas hacia la base; el tope la secuencia estratigráfica está compuesta por arenas de grano medio a grueso, calizas de tipo packstone y niveles de limoarcillitas con laminaciones paralelas. Además se pudieron identificar 28 niveles de *slumps*, siendo el más impresionante el ubicado en la parte media de la sección estratigráfica (Fig. 1b) donde alcanza un espesor aproximado de 25 metros.

Quinistaquillas II

Al este del poblado de Quinistaquillas se identificaron depósitos con estratificación rítmica de 9.3 metros de espesor. La secuencia está compuesta por conglomerados y arenas finas a gruesas hacia la base, limoarcillitas intercaladas con niveles de cenizas volcánicas de la parte intermedia al tope de la columna; esta última parte de la columna se encuentra afectada por una falla de tipo normal, que genero un desplazamiento de 1 metro. Asimismo identificamos 9 niveles de sismitas.

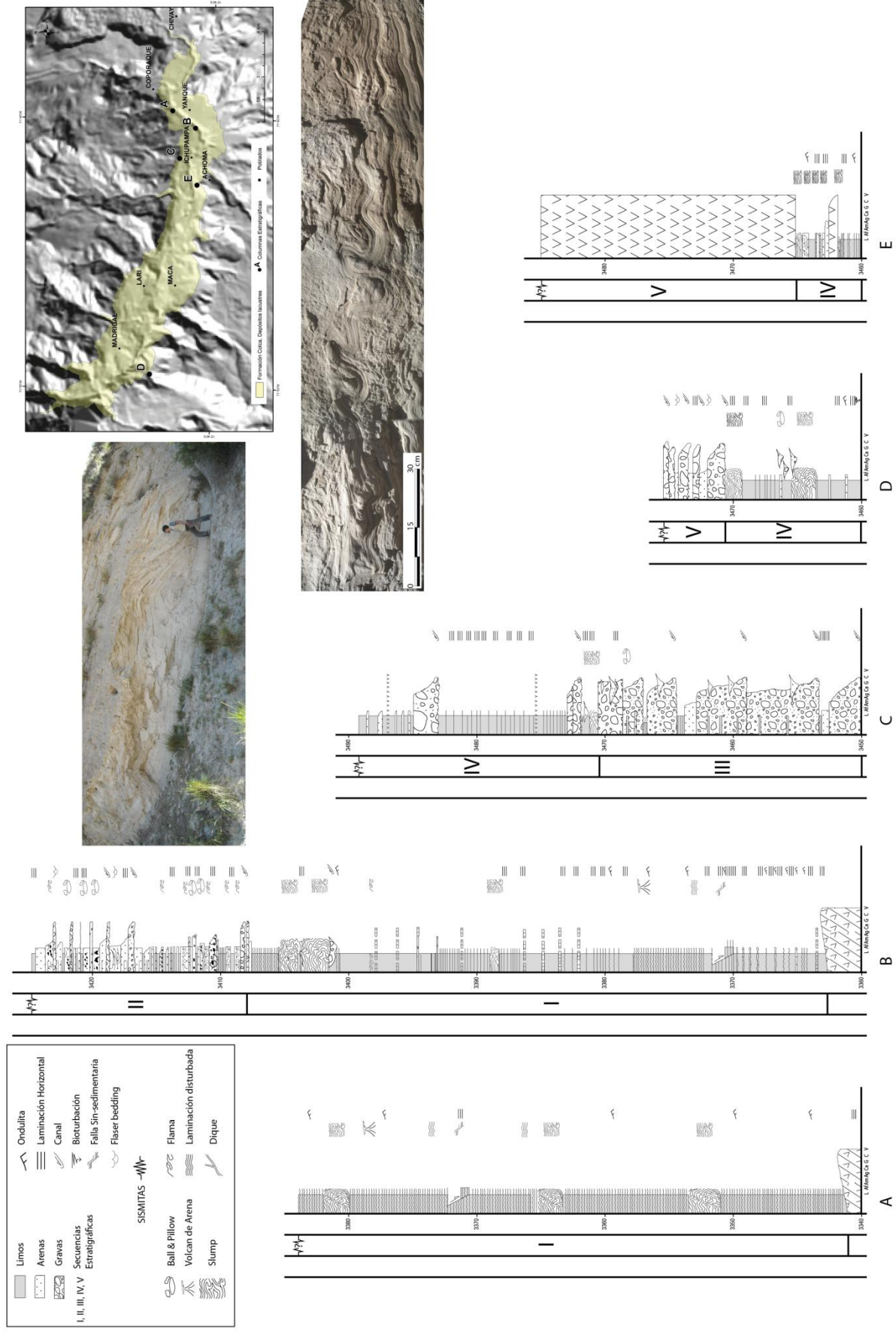


Figura 2: Muestra las columnas estratigráficas levantadas en el paleo-lago que se ubica entre las localidades de Yanque y Pinchollo. Se pueden observar en las columnas estratigráficas la ubicación de las sismitas, siendo estas de tipo: slumps, volcanes de arena, flame, ball and pillow, entre otras. A la izquierda se muestra la ubicación de las columnas en el valle del Colca. Asimismo se pueden observar dos fotografías mostrando slumps de diferentes escalas y que pueden ser correlacionadas a lo largo del borde de la cuenca.

INTERPRETACIONES Y CONCLUSIONES

Durante el Cuaternario se desarrollaron varias glaciaciones de escala continental, actividad volcánica y sísmica superficial, procesos que permitieron modelar la topografía para la formación de lagos durante el Cuaternario. Por posición estratigráfica podemos señalar que el lago ubicado entre Yanque y Pinchollo se formó entre 1.8 Ma? (Pleistoceno inferior) y 0.6 Ma, esta última edad es resultado de la datación de las lavas de Achoma por el método K-Ar (*Klinck et al., 1986*), lavas que se encuentran suprayaciendo a la secuencia IV del paleolago. Los dos siguientes paleolagos, contemporáneos probablemente, están ligados al emplazamiento de las lavas del volcán Mismi (0.14 Ma; *Thouret et al., 2007*). De la misma forma, realizamos dos dataciones de los depósitos suprayacentes al paleolago de La Guisa y Pampa San Lorenzo, dando como resultados una edad de 0.47 ± 0.13 y 0.46 ± 0.16 Ma, sugiriendo una formación cuaternaria de los lagos.

Por consiguiente, las sismitas identificadas y correlacionadas en las cuencas del Colca y Omate-Quinistaquillas, nos indican que durante el Cuaternario el Arco Volcánico tuvo elevada actividad tectónica, además la caracterización de las sismitas utilizando la propuesta de *Rodríguez et al., (2009)* sugieren sismos con magnitudes mayores a 6 grados. Estas sismitas por su distribución espacial tienen estrecha relación con las fallas cartografiadas por *Benavente et al., (2010)*, donde muestran fallas normales a lo largo de 200 km aproximadamente (*Benavente et al., in prep*).

Asimismo, *David (2007)* y *Antayhua (2002)* mediante análisis sismológicos ponen en evidencia actividad tectónica en la zona de estudio y establecen una distribución de la sismicidad intracontinental por debajo del arco volcánico coherente con la cinemática de las fallas identificadas (Figura 1), donde a partir de los análisis microtectónicos y de mecanismos focales se observa un régimen extensivo con la dirección del σ_1 aproximadamente N-S. Este estado de esfuerzos tectónicos es generado por el peso litosférico del Arco Volcánico Cuaternario y Actual (~60 km de espesor de corteza), donde hay un incremento en el esfuerzo vertical litosférico, el cual produce la compensación del esfuerzo generado por la subducción.

REFERENCIAS

- Antayhua, Y., Tavera, H., Bernal, I., Aguilar, V 2002. Localización hipocentral y características de la fuente de los sismos de Maca (1991), Sepina (1992) y Cabanaconde (1998) región del volcán Sabancaya (Arequipa). Sociedad Geológica del Perú, Boletín, n. 93, pp. 63-71.
- Audin, L., Lacan, P., Tavera, H. & Bondoux, F. (2008). Upper plate deformation and seismic barrier in front of Nazca subduction zone: The Chololo Fault System and active tectonics along the Coastal Cordillera, southern Peru. *Tectonophysics* 459, pp. 145-185.
- Barazangi W, Isacks BL (1976) Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology* 4:686-692
- Benavente C., Carlotto, V. & Castillo, B. 2010. Extensión en el Arco Volcánico actual del sur del Perú. Congreso Peruano de Geología, 15, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 5 p.
- Benavente, C. & Audin, L. 2012. Geometría, morfología y peligro sísmico de la Falla Purgatorio Mirave-antearco del sur del Perú. Sociedad Geológica del Perú, Boletín, n. 103, pp. 185-196.
- Benavente, C., Audin, L., Delgado, F., (in prep). Soft sediment deformation within seismogenic of the Arc Volcanic Quaternary: Andes Centrales Southern Perú.
- David, C. (2007). Deformación actual de ante-arco t del arco del Oroclino de los Andes Centrales. Tesis optar grado de Doctor en Ciencias mención Geología. Pp. 292
- Delacour, A., Paquereau, P., Gerbe, M., Toureth, J., Worner, G. 2002. Quaternary minor volcanic centres in southern Perú, IRD, pp. 175-178
- De Silva, S.L., and Francis, P.E. (1991). *Volcanoes of the Andes*: Berlin, Springer-Verlag, 216 p.
- INGEMMET (2010). Actualización de base de datos de Edades Radiométricas en el Perú (en web), consulta 31 de mayo del 2010
- Klink, B., Ellison, R., Hawkins, M. 1986. The geology of the Cordillera Occidental and Altiplano West of Lake Titicaca Southern Perú. British Geological Survey, INGEMMET, 1986.
- Rodríguez-Pascua, M.A., Bischoff, et al., Garduño, V., Pérez R., Giner, R. Israde, I., Calvo, J., Williams, R. 2009. Estimation of the tectonic slip-rate from Quaternary lacustrine facies within the intraplate Albacete province (SE of Spain), *Sediment. Geol.* (2009), doi:10.1016/j.sedgeo.2009.06.007
- Sébrier, M., Mercier, J., Megard, F., Laubacher, G. & Carey-Gailhardis, E. (1985). Quaternary normal and reverse faulting and the state of stress in the Central Andes of south Perú. *Tectonics*, vol. 4, N°7, pp. 739-780.
- Thouret, J.-C., Wörner, G., Gunnell, Y., Singer, B., Zhang, X. & Souriot, T. 2007. Geochronologic and stratigraphic constraints on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 263, 151-166, doi:10.1016/j.epsl.2007.07.023.