

# GENERACION DE MAPAS PALEOISOSISTAS A PARTIR DE LA CORRELACION DE SISMITAS EN LA CUENCA CUATERNARIA CUSCO

Briant GARCIA<sup>1-2</sup>; Carlos BENAVENTE<sup>1</sup>; José CÁRDENAS<sup>2</sup>; Luís GALINDO<sup>2</sup>; Boris SANTOS<sup>2</sup>

(1) INGEMMET, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima-Perú.

[bgarcia@ingemmet.gob.pe](mailto:bgarcia@ingemmet.gob.pe)

(2) UNSAAC, Universidad San Antonio Abad del Cusco, Av. De la Cultura N°733, Cusco-Perú

## INTRODUCCIÓN

El análisis de las columnas estratigráficas realizadas el año 2010 por Benavente et al. y el estudio tectónico mediante trincheras o calicatas realizadas por Cabrera (1988), nos ayuda a comprender el funcionamiento tectónico de las fallas activas en la región Cusco. El número de reactivaciones holocenas está en relación con los diferentes paleosuelos afectados.

La información sobre el registro sísmico en el Cusco es insuficiente, solo se tienen crónicas históricas (Esquivel y Navia, D., 1775 & Silgado, 1978) donde mencionan la ocurrencia de sismos muy devastadores para la ciudad del Cusco, estos remontándose hasta la época Inca, Benavente et al. (2010). Sin embargo en el Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú, realizado por Alva, (2005), docente de Postgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería, se puede encontrar mapas isosistas realizada con la Escala de Intensidades de Mercalli modificada de los sismos mas importantes ocurridos en la Región Cusco en los últimos años, este Banco de datos menciona diferentes especialistas tales como Silgado, (1952); Carlotto, (1986); Ocola, (1981) y Huaco, (1986), mapas realizados para los sismos de 1950, 1980 y 1986 respectivamente. Dicha información es valiosa para la comparación entre la distribución de ondas sísmicas de la actualidad y las probables distribuciones de las ondas para sismos generados en el pleistoceno.

Con el estudio Geológico-Estructural, análisis de estructuras sedimentarias de deformación producto de licuefacción (sismitas), el registro histórico de sismos y el estudio sismoestratigráfico basado en la tabla de intensidades de Rodríguez-Pascua et al. (2004), se sugieren mapas de paleoisosistas para la Formación San Sebastián (Pleistoceno) que se desarrolla mas adelante.

## ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACION SAN SEBASTIAN EN LA CUENCA CUATERNARIA CUSCO

La Formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916), en la Depresión de Cusco (Fig. 1), donde sobreyace al basamento Cretácico y Terciario, así como a la Formación Chincheros.

La Formación San Sebastián se divide en 5 secuencias sedimentarias de tercer orden (Fig. 2). La primera secuencia (I) (Fig. 2), suprayace en discordancia erosional a la formación Pumamarca del Plioceno, aflora en las quebradas Huayrancalle y Quipiquilla (Fig. 2C, 2D) y esta compuesta por intercalaciones de arcillas, limolitas y niveles delgados de arena fina. En la parte media se observa 4

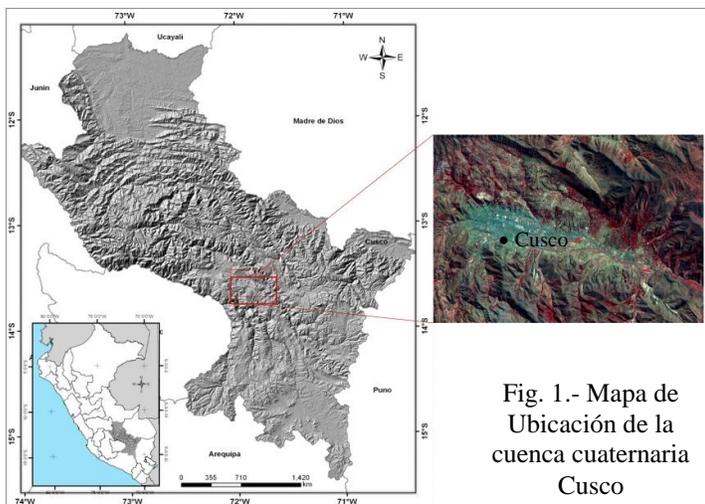


Fig. 1.- Mapa de Ubicación de la cuenca cuaternaria Cusco

m de diatomita deformadas (Fig. 2D, 2C) con niveles delgados de turba. Esta primera secuencia corresponde a un ambiente de sedimentación palustre-lacustre.

La segunda secuencia (II) (Fig.2) se encuentra mejor expuesta en la quebrada Teneria (Fig. 2I), y está constituida por gravas, arenas gruesas a finas con laminaciones cruzadas y niveles delgados de limolitas, los niveles de arena son de espesores considerables (20 m) y se pueden observar estructuras tipo ball and pillow (Fig. 2D, 2E y 2I). Esta secuencia corresponde a sedimentación de tipo fluvial.

La tercera (III) (Fig. 2) y cuarta secuencia (IV) (Fig. 2) son las mejores expuestas en la cuenca (Fig. 2), la tercera secuencia (III) (Fig.2) esta compuesta por arcillas, limolitas y arenas finas a medias. Además se pueden observar lentes de gravas y arenas en los niveles limolíticos. Una particularidad de esta secuencia es la presencia de slumps (2A, 2B, 2E, 2F, 2G, 2I). El medio de depósito de esta secuencia es de llanura de inundación.

La cuarta secuencia (IV) (Fig. 2), esta compuesta por arcillas con laminaciones paralelas y diatomita deformadas (Fig. 2A, 2B, 2F y 2G).El medio de sedimentación es lacustre.

La quinta secuencia (V) (Fig. 2), esta conformada por gravas con clastos subredondeados, arenas finas a gruesas y limolitas hacia la base, hacia el techo se observa gravas con clastos angulosos, toda esta secuencia corresponde a medios de sedimentación de tipo aluvial (Fig. 2A y 2B).

Durante la depositación fluvial y lacustre se produjeron dos importantes eventos sísmicos, quedando registrado como los de mayor magnitud en dichas secuencias, EV1 (ver Fig. 2 y 4) y EV2 (Fig. 2 y 5) de las columnas A, B, E, F, H e I (Fig. 2) principalmente, donde se observan estructuras de deformación tipo ball and pillow, diques sedimentarios, volcanes de arena y slumps. La correlación de las sismitas en las columnas elaboradas nos indicó dos principales eventos. De acuerdo a la tabla de caracterizaciones de sismitas, Rodríguez(1998) (Fig. 3) ambos eventos pudieron ser de magnitud  $>7$  (Fig. 4 y 5).

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS INTENSIDADES DE LA DEFORMACIÓN EN LA FORMACIÓN SAN SEBASTIAN

Rodríguez-Pascua et al. (2004), generó un esquema grafico de la deformación de sedimentos y su distribución durante la ocurrencia de sismos (Fig. 3), este esquema nos servirá como una herramienta para la generación de mapas paleoisosistas en la Cuenca Cuaternaria Cusco (Pleistoceno). La deformación se puede desarrollar en uno de los niveles licuefactables, en dos o en todos a la vez, por este motivo Rodríguez-Pascua propone una gradación de la "intensidad de la deformación", Rodríguez-Pascua et al. (2004), (Fig. 3):

- Grado I: sólo limos licuefactados.
- Grado II: limos y arenas licuefactados.
- Grado III: limos, arenas y/o gravas licuefactados.

Teniendo en cuenta los límites empíricos de la licuefacción (Atkinson, 1984; Thorson et al., 1986; Scott y Price, 1988; Audemard y De Santis, 1991; Papadopoulos y Lefkopoulos. 1993; Obermeier, 1996), el grado I correspondería a una magnitud superior a 5, mientras que el III sería superior a 7.5. El grado II sería una magnitud intermedia, pero la falta de estudios empíricos de licuefacción en estos materiales no podría establecer la magnitud exacta asociada a estos eventos, Rodríguez-Pascua et al. (2004).

## MAPAS PALEOISOSISTAS Y CORRELACION DE SISMITAS

Atendiendo a esta gradación de la deformación, y representando espacialmente los diferentes afloramientos con niveles deformados en la Formación San Sebastián de la cuenca en estudio, tales como estructuras de deformación, slumps, fallas sinsedimentarias y cambios en el buzamiento de

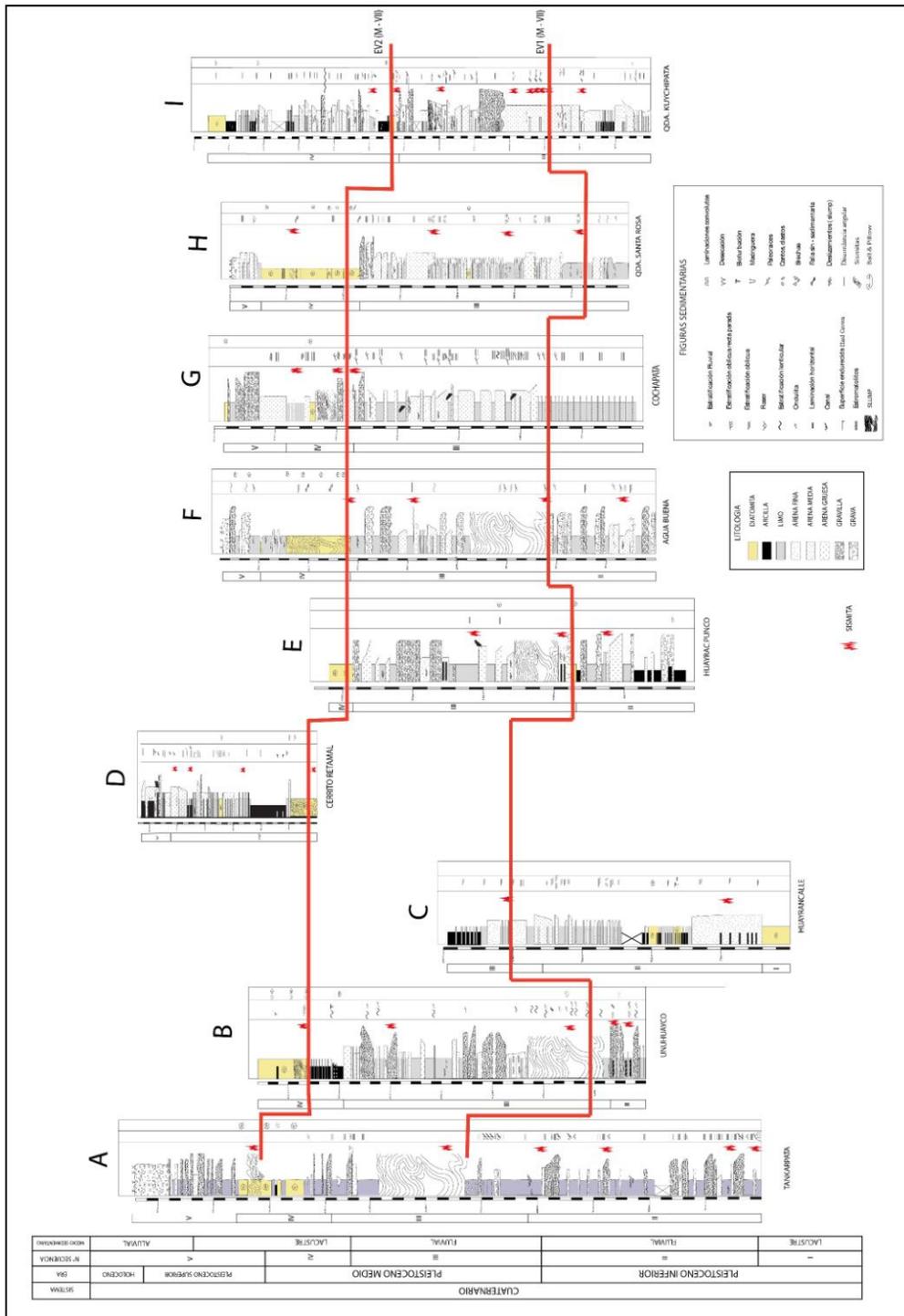


Fig.2.- Columnas Estratigráficas indicando los estratos con estructuras de deformación y los dos principales eventos sísmicos (EV1 y EV2).

estratos se han elaborado mapas paleoisostáticos (Fig.4 y 5). La correlación de estos niveles nos sugiere "zonas de igual intensidad de la deformación en Sismitas" o "paleoisostáticas" para la Cuenca cuaternaria del Cusco, uno para la secuencia fluvial (III) y otro para la secuencia lacustre (IV) (ver Fig. 2), ambos del Pleistoceno Medio. En el pleistoceno medio (Fig. 2) durante la sedimentación fluvial de la Formación San Sebastián se registran estructuras sedimentarias producidas por un sismo mayor a 7 grados de magnitud, con intensidades que disminuyen de SO a NE, lo que podría interpretarse que un posible epicentro se haya localizado hacia el sur este de la cuenca Cusco. Considerando que existen fallas activas en estas direcciones se podrían mencionar a las fallas de

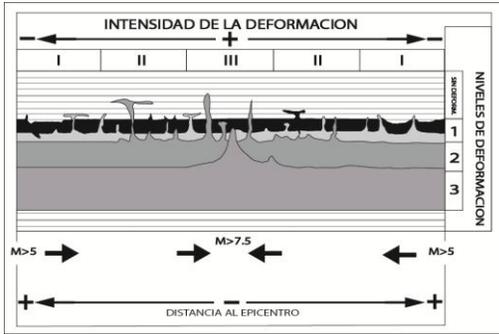


Fig. 3.- Esquema explicativo de la gradación de intensidades de la deformación para gravas, arenas y limos. Rodríguez – Pascua et al. (2004).

Paruro al Sur y Zurite al Oeste como las más importantes.

En la secuencia lacustre de la Formación San Sebastián, en el pleistoceno medio, también han sido registrados paleosismos caracterizados por el esquema de gradación de intensidades (Rodríguez-Pascua et al., 2004), tendrían también una magnitud de 7 grados, con intensidades que disminuyen de N a S, interpretándose la ubicación del epicentro al nor - noreste de la cuenca. Cabe mencionar que las fallas activas en esta dirección son la falla de Tambomachay y el sistema de fallas del Pachatusan, ambos al Noreste de Cusco.

Con los datos obtenidos en estos mapas de paleoisosistas no se puede obtener el epicentro exacto, pero la relación de las fallas mencionadas para ambos mapas son importantes por sus reactivaciones en el Holoceno y su posible relación con los paleosismos del Pleistoceno en nuestra zona de estudio. También han sido identificados niveles deformados en la sedimentación en el Pleistoceno inferior, pero los datos no son suficientes como para realizar un mapa paleoisosistas para esta época.

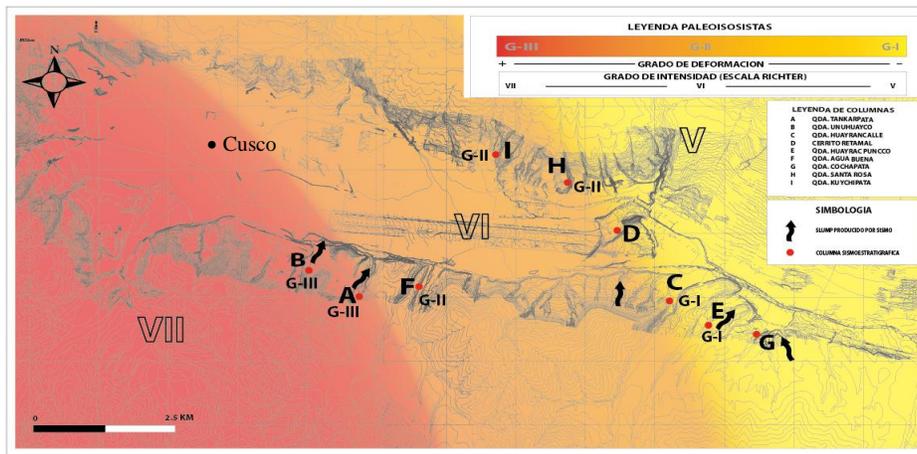


Fig. 4.-Mapa de Paleoisosistas (EV1) para la secuencia fluvial de la Formación San Sebastián.

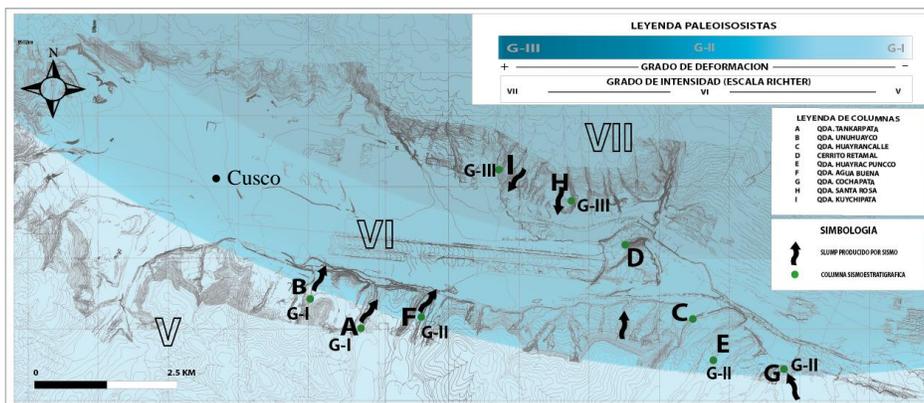


Fig. 5.-Mapa de Paleoisosistas (EV2) para la secuencia lacustre de la Formación San Sebastián.

## CONCLUSIONES

- Las estructuras deformadas (sismitas) están relacionadas al origen o reactivaciones de las fallas de los sistemas de fallas del Cusco y Vilcanota.
- Los mapas de paleoisosistas son un aporte para la determinación de zonas de riesgo sísmico, especialmente en áreas de deformación moderada en las que los sismos más importantes pueden estar separados por periodos de tiempos mayores que los registros instrumentales e históricos.
- La caracterización de las sismitas nos permite afirmar que en la cuenca cuaternaria del Cusco hubo sismos de magnitud mayor a 7. Resultado que concuerda con los estudios de Cabrera (1988).
- Además, si bien es cierto que, la recurrencia de estos sismos son períodos largos, podemos afirmar que también fueron de magnitud elevada debido a la huella que dejaron en el registro estratigráfico.
- Los mapas de paleoisosistas elaborados en este trabajo, son en algunos casos muy parecidos a los mapas de isosistas de los sismos registrados con instrumentación en los años 1950, 1980 y 1986.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido elaborado gracias a la colaboración de estudiantes de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco; mi mas sincero agradecimiento a Enoch Aguirre, Frank Motta, Luis Albinez, Deisy Arriola, Gael Araujo, Kennenth Alegre, Gabriela Ccallo, Paola Ruiz, Percy Meza, Raúl Zela y Jaime Zarate por su participación y ayuda en campo y gabinete.

## REFERENCIAS

- Alva, J. (2005). Banco de datos de mapas de isosistas en el Perú. Universidad Nacional de Ingeniería – FIC-UNI. Sección de Postgrado.
- Atkinson, G. (1984). Simple computation of the liquefaction of liquefaction probability for seismic hazard applications. *Earthquake Spectra*, 1 (1): 107-123.
- Audemard, A. y De Sanctis, F. (1991). Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 44: 5-16.
- Benavente, C., Cardenas, J., Concha, R., Garcia, B. & Morales, M. (2010). Sismoestratigrafía en la Cuenca Cuaternaria Cusco, Perú - Evidencias de Paleosismos. Resúmenes extendidos del XV Congreso Peruano de Geología, Cusco 2010. 1280-1283.
- Cabrera, J. (1988). Neotectonique et Sismotectonique su niveau de la subduction au Perou. These Dr. Université Paris. XI – Orsay – Francia. 275p.
- Carlotto, V., Cardenas, J., Carlier, G., (2011). Geología del Cuadrángulo de Cusco. 260p.
- Ericksen, G. (1954). The Cusco, Peru, Earthquake of May 21, 1950. 17p.
- Esquivel y Navia, D., (1775). Noticias Cronológicas de la gran ciudad del Cusco. Tomo I y II. [S.I.], [s.n.].
- Gregory, H.E. (1916) A geological reconnaissance of the Cuzco valley, Peru. *American Journal of Sciences*, 41(241): 1-100.
- Obermeier, S.F., (1996). Use of liquefaction-induced features for paleoseismic analysis—an overview of how liquefaction features can be distinguished from other features and how their distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. *Eng. Geol.* 44, 1–76.
- Papadopoulos, G.A. y Lefkopoulos, G. (1993). Magnitude-distance relations for liquefactions in soil from earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83 (3): 925-938.
- Rodriguez, M.A., Garduño, V., Israde, I., (2004). Zonación de intensidad de deformación sísmica en sedimentos lacustres pleistocenos de la cuenca de Acambay, Mexico. *Geo-Temas* 6(3): 187-190.
- Scott, B. y Price, S. (1988). Earthquake-induced structures in young sediments. *Tectonophysics*, 147: 165-170.
- Silgado, F. (1978). Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). INGEMMET. Bol. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 3, 130 p., 1978.
- Thorson, R.M., Claiton, W.S. y Seever, L. (1986). Geologic evidence for a large prehistorical earthquake in eastern of Connecticut. *Geology*. 14: 463-467.