

**SGP**
FUNDADA 1924**Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Análisis de la microsismicidad asociada a las fallas de Tambomachay y Qoricocha, Cusco

Patricia Guardia y Hernando TaveraDirección de Sismología, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú (Pguardia@igp.gob.pe; hjtavera@geo.igp.gob.pe)

RESUMEN

Se analiza la distribución espacial de la sismicidad asociada a las fallas de Tambomachay y Qoricocha, registrada durante un periodo de 12 meses haciendo uso de una red sísmica local compuesta por siete estaciones de banda ancha. Durante este periodo se registró 152 microsismos cuyos parámetros hipocentrales fueron calculados evaluando 6 modelos de velocidad.

La distribución espacial de la microsismicidad asociada a las fallas de Tambomachay y Qoricocha consta de 64 eventos, con magnitudes $M_l < 2.0$ y profundidad < 10 km. En profundidad la actividad microsísmica sugiere que las fallas de Tambomachay y Qoricochabuzan, que buzanan en dirección SO con ángulos próximos a 50° , corresponden a procesos de deformación por extensión.

1. Introducción

A lo largo de los Andes peruanos se observan fallas geológicas que evidencian la continua deformación de la Cordillera como resultado del proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. El sistema de fallas de la región del Cusco forma parte de este proceso, siendo de los más importantes en Sudamérica. Este sistema considera a las fallas de Tambomachay, Qoricocha, Chincheros, Tamboray, Zurite, entre otras. Las fallas más cercanas a la ciudad de Cusco son las de Tambomachay y Qoricocha, y por lo tanto representan un constante peligro para esta ciudad.

La falla de Tambomachay (Sébrier et al., 1982) se localiza 4 km al norte del Cusco. Tiene una orientación aproximada E-O, pero hacia el este su rumbo cambia a NO-SE. Su evolución durante el Cenozoico incluyó movimientos inversos y de rumbo que definieron su traza en superficie. Durante el Cuaternario se han formado escarpas de 400 m que indican movimientos normales con inclinaciones al SE y con buzamientos que varían entre 60° - 70° al sur. Las escarpas de la falla pueden ser vistas sobre 18 km de longitud, presentan alturas de ~ 2 m y localmente llegan hasta 4 m (Fig. 1).

Asimismo, la falla Qoricocha se encuentra 7 km al norte de la falla de Tambomachay y presenta algunas escarpas

de falla sobre una longitud de 3 km. Las escarpas tienen una orientación $N100^\circ E$ y buzanan en dirección SO. El análisis microtectónico de Cabrera et al (1987) mostró evidencias de movimientos extensionales recientes. En dirección oeste, la falla corta morrenas recientes y por su morfología es de fácil observación. En el extremo noreste del lago Qoricocha, la falla presenta una escarpa de 1.5 km que corta flujos volcánicos plio-cuaternarios.

La sismicidad histórica de la región del Cusco es aparentemente mínima debido principalmente a la falta de información sobre la ocurrencia de sismos en el pasado prehispánico. Según Silgado (1978), los únicos sismos que afectaron a la ciudad de Cusco y para los cuales existe alguna referencia, son los de 1650, con una magnitud estimada de 7.2 (I_{max} , X MM), y el de 1950, con magnitud 6.0 (I_{max} , VIII). Ambos sismos produjeron importantes daños y destrucción en la ciudad de Cusco y alrededores. Aunque se desconoce la ubicación de sus epicentros, por el nivel de los daños en la ciudad de Cusco se asume que fueron originados por la reactivación de la falla de Tambomachay.

Para los últimos 50 años, se tiene información sobre la ocurrencia de sismos con posible origen en la falla de Urcos (1965) y en la de Chincheros (1986); en este último

sismo, se registraron intensidades de VII (MM) en la ciudad de Cusco, ocasionando daños importantes en viviendas de adobe, además de deslizamientos locales. Otros de menor magnitud, pero que han producido intensidades del orden de IV-V (MM), ocurrieron en los años 1995 (Pillpinto-Acos), 1996 (Anta-Cusco), 1998 (Quillabamba), 1999 (Cusco), y durante el año 2003 (Lucre, Acomayo, y Capacmarca). A la fecha no existe evidencia de sismos con origen en las fallas de Tambomachay y Qoricocha.

En la actualidad, la sismicidad instrumental en la región de Cusco no es muy frecuente, pero ocurren sismos con magnitudes del orden de 4.0 ML alrededor de la localidad de Andahuaylillas (al sur de la ciudad de Cusco) que son percibidos en la ciudad de Cusco.

En este estudio, se pretende conocer la geometría y patrón de deformación de las fallas de Tambomachay y Qoricocha utilizando información sísmica obtenida de una red sísmica local que operó en torno a la misma durante un año.

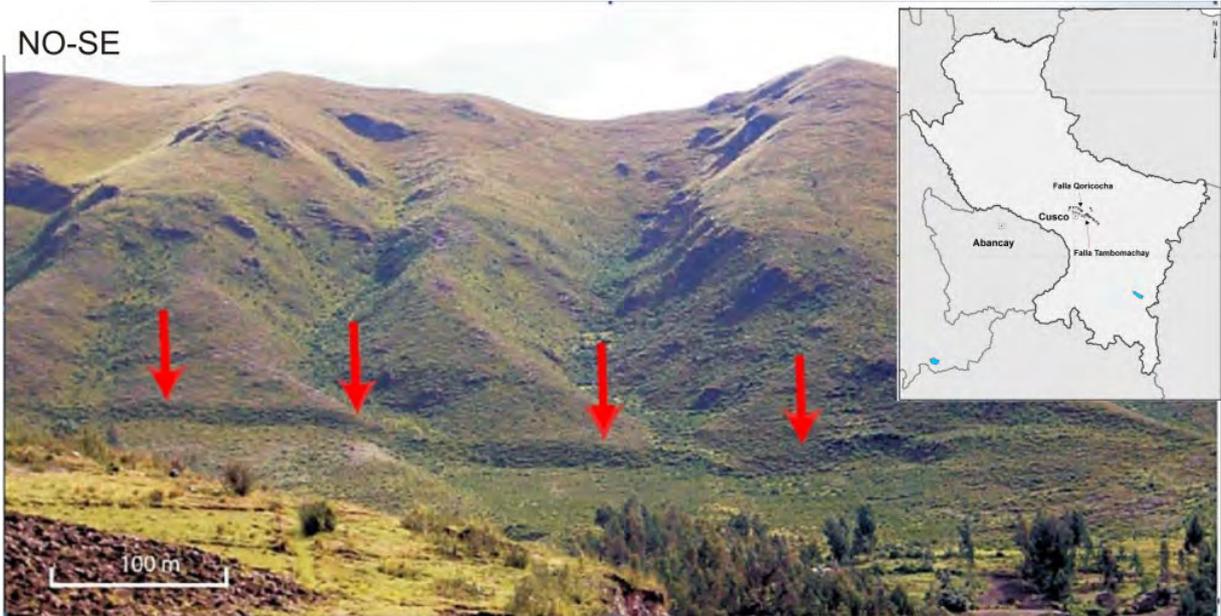


Figura 1. Vista panorámica de la falla Tambomachay. Las flechas indican la traza de la falla (Audin, 2008).

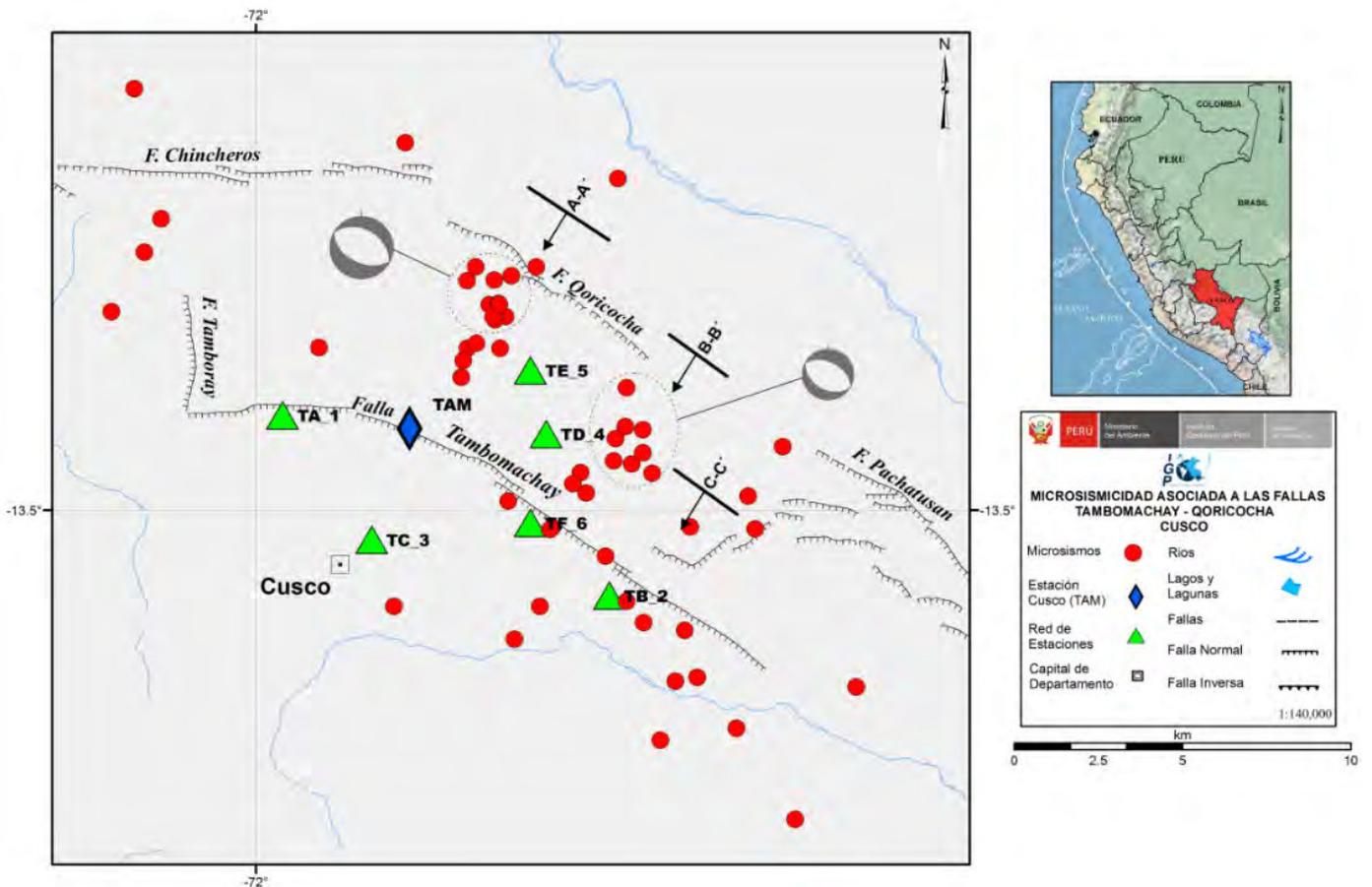


Figura 2. Actividad microsísmica asociada a las fallas de Tambomachay y Qoricocha.

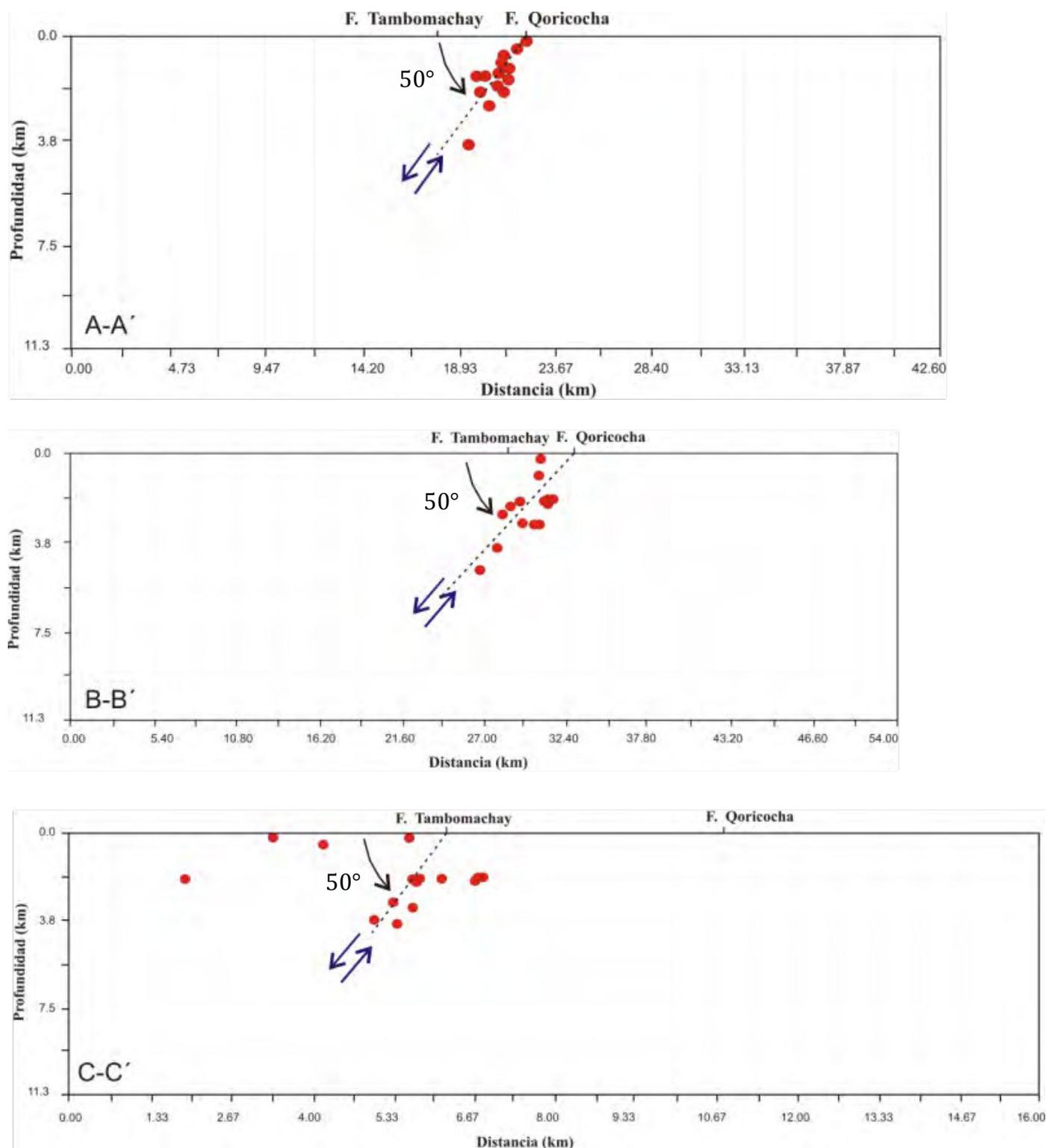


Figura 3. Perfiles sísmicos en profundidad de acuerdo a la Figura 2.

2. Análisis de la microsismicidad

Durante un periodo de un año (de noviembre de 2011 a noviembre de 2012), se mantuvo operativa una red sísmica local compuesta por 7 estaciones de banda ancha entorno a la falla de Tambomachay. El análisis de la información permitió identificar 152 eventos microsísmicos. De ellos, sólo 64 presentaron hipocentros entorno a las fallas de Qoricocha y Tambomachay. Estos eventos presentaron magnitudes menores a 2.0 ML y

focos hasta profundidades de 10 km (Fig. 2).

En la Figura 2 se observa un agrupamiento de epicentros en el extremo SO de la falla de Qoricocha, otro al sur en un área sin evidencia de traza de falla alguna, y otros epicentros más dispersos en el extremo SO de la falla de Tambomachay. Esta distribución sugiere que ambas fallas desarrollan procesos de deformación muy lenta. El segundo agrupamiento de microsismicidad sugiere que en

dicha área podrían producirse sismos que definirían en superficie una escarpa de falla que una a las fallas de Qoricocha y Pachatusan.

Para analizar la distribución de la microsismicidad en profundidad, se han trazado tres perfiles perpendiculares a las trazas de las fallas de Tambomachay y Qoricocha (Fig. 2). Los resultados se presentan en la Figura 3, donde se observa que en el perfil A-A', correspondiente a la falla de Qoricocha, la microsismicidad se distribuye en profundidad siguiendo un plano que sugiere que la traza de la falla alcanza profundidades de 10 km con una inclinación hacia el SO del orden de 50°. Similar situación se presenta en el perfil B-B', confirmando que un futuro sismo formaría una traza de falla con la misma geometría que la falla de Qoricocha. El perfil C-C' muestra focos sísmicos dispersos en profundidad, pero sugiere que la traza de la falla de Tambomachay podría presentar una inclinación del orden de 50° en dirección SO, aunque se requiere más información para definir su geometría en profundidad con mayor precisión.

Considerando que el número de estaciones sísmicas utilizadas en este monitoreo sísmico no fue numeroso, se ha visto por conveniente calcular mecanismos focales compuestos utilizando como información las polaridades de las ondas P (Fig. 2). Para los agrupamientos de sismos asociados a la falla de Qoricocha, los mecanismos focales sugieren procesos de deformación por extensión con planos nodales orientados en dirección NO-SE, siendo el plano nodal asociado a la falla de Qoricocha el que presenta un ángulo de buzamiento de 48° a 54°, lo cual sugiere procesos extensionales orientados NE-SO. Estos resultados son coherentes con lo observado en los perfiles de sismicidad. Para la falla de Tambomachay no fue posible construir mecanismo por no contar con suficiente información.

3. Conclusiones

El análisis de la microsismicidad asociada a las fallas de Tambomachay y Qoricocha ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

Ambas fallas generan actividad microsísmica con eventos con magnitudes menores a 2.0 ML y profundidades de hasta 10 km.

La microsismicidad asociada a la falla de Qoricocha sugiere que su plano de falla buza en dirección SO con un ángulo de ~50°.

Se ha registrado actividad microsísmica en un área libre de trazas de falla, pero su distribución en profundidad y mecanismos focales sugieren el desarrollo de procesos de deformación similar al de la falla de Qoricocha. Esta microsismicidad sugiere que nuevos eventos sísmicos podrían generar en superficie una traza de falla que uniría a las fallas de Qoricocha y Pachatusan.

No se ha registrado microsismicidad representativa de la falla de Tambomachay, pero es posible que su plano de falla esté buzando hacia el SO con un ángulo de ~50°.

Referencias

- Cabrera, J., Sébrier, M., Mercier, J. 1987. Active normal faulting in high plateaus of Central Andes: the Cusco region (Peru). *Annales Tectonicae*, v. 2, p. 116-138.
- Dorbath, C., Dorbath, L., Cisternas, A., Deverchère, J., Diament, M, Ocola, L., Morales, M. 1986. On crustal seismicity of the Amazonian foothill of the central Peruvian Andes. *Geophysical Research Letters*, v. 13, p. 1023-1026.
- Macharé, J., Benavente, C., Audin, L. 2009. Síntesis descriptiva del mapa neotectónico 2008. *Boletín del INGEMMET, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, v. 40, 103 p.
- Sébrier, M., Huamán, D., Blanc, J.L., Macharé, J., Bonnot, D., Cabrera, J. 1982. Observaciones acerca de la neotectónica del Perú. *Instituto Geofísico del Perú, Lima*, 107 p.
- Silgado, E. 1978. Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974). *Boletín del INGEMMET, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, v. 3, 130 p.