



## XVIII Congreso Peruano de Geología

# ESCENARIO DE RIESGO SÍSMICO Y MOVIMIENTOS EN MASA PRODUCIDO POR LA POSIBLE REACTIVACIÓN DE LA FALLA TAMBOMACHAY (CUSCO)

Sheila Yauri<sup>1</sup> y Beneff Zuñiga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil, Calle Ricardo Angulo Ramírez N° 694, Perú ([syauri@indec.gov.pe](mailto:syauri@indec.gov.pe))

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Defensa Civil, Calle Ricardo Angulo Ramírez N° 694, Perú ([bzuñiga@indec.gov.pe](mailto:bzuñiga@indec.gov.pe))

### 1. Introducción

Desde el punto de vista geodinámico, la región Cusco es considerada como una zona de alta actividad sísmotectónica (Huamán, 1987). Sólo en el último milenio, la zona urbana de Cuzco ha sido destruida por varios sismos superficiales con magnitudes mayores de 5.0 ML, especialmente los ocurridos en 1650, 1905, 1950 y 1986, algunos de ellos con posible origen en el sistema de fallas de Tambomachay, Qoricocha y probable falla Cusco. En este sentido, la falla Tambomachay constituye uno de los generadores de peligro sísmico latentes para la ciudad de Cusco. Tomando en cuenta su ubicación (adyacente a la ciudad) y la continua actividad sísmica, es necesario estimar el riesgo que representa esta estructura geomorfológica para esta ciudad. Los peligros asociados a esta como los movimientos en masa, licuefacción y/o asentamientos del suelo han sido mayores ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. En el presente estudio se propone un escenario de riesgo, por exposición, en la zona urbana de la ciudad de Cusco, tomando en cuenta como peor escenario un sismo de magnitud 6.5Mw en la falla Tambomachay, tal como propone Benavente et al. (2013). Para ello, se evalúa los factores de vulnerabilidad por exposición, fragilidad y resiliencia. Los resultados de este estudio pretenden servir como herramienta para la Gestión Reactiva (GR) de los Gobiernos locales de Cusco.

### 2. Área de estudio

El área de estudio, zona urbana de Cusco, se encuentra ubicada en el borde Oeste de la cordillera Oriental, dentro del departamento del mismo nombre (Figura 1). Hidrográficamente se ubica dentro de la cuenca del río Vilcanota, sub cuenca Cusco, la cual consta de tres microcuencas: Saphy, Huancaro y Huatanay.

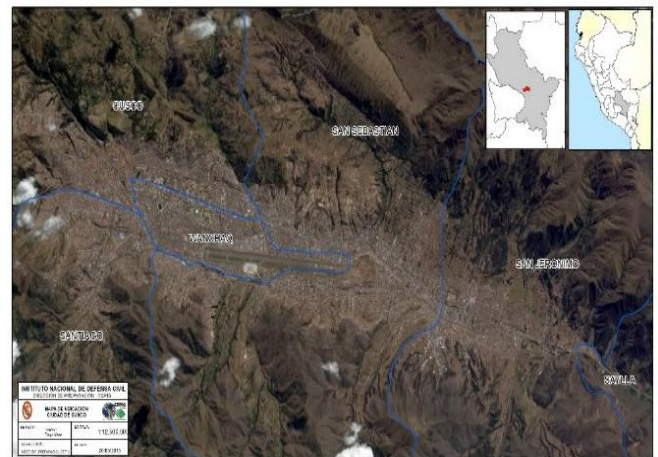


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.

### 3. Antecedentes

En la región Cusco existen una serie de fallas tectónicas activas, como el sistema de Fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sucuaní (SFZCUS). Según Carloto (1998), Sempere et al. (2005) y Carlier et al. (2005), la ciudad de Cusco se encuentra ubicada en una zona de fallas regionales activa desde épocas paleozóicas hasta neógenas. Estudios realizados desde la década de los 80s ponen en evidencia la existencia de fallas cuaternarias y activas que se alinean de Norte a Sur, tales como: Zurite, Chincheros, Tambomachay, Tamboray, Qoricocha, Patachusan, Ocongate, Langui-Layo. La Falla Tambomachay se encuentra ubicada a 4 km al norte de la ciudad de Cusco. Se extiende en dirección N120°E, con buzamiento entre 70°- 80° hacia el Sur, en una extensión de 20 km, limitando una cuenca rellena de depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario.

#### 4. Metodología y Resultados

La metodología utilizada para la evaluación de este escenario se basa en la propuesta dentro de la Guía de Estimación de Riesgo para la Gestión Reactiva, INDECI (2016).

Dado que la ciudad de Cusco se encuentra rodeada de importantes sistemas de fallas, el peor escenario sísmico considerado es el originado por un posible sismo con epicentro en la falla Tambomachay, cuyos parámetros se definen en la Tabla 1. Para el análisis del peligro a movimientos en masa, se utilizó los mapas de peligro propuestos por Benavente et al. (2013) y el elaborado por la Municipalidad Provincial de Cusco, dentro de su Plan de Desarrollo Urbano al 2021. Para el análisis del peligro sísmico y los peligros asociados, se utilizó el mapa de aceleración máxima del suelo (Benavente, 2013), así como los mapas de tipo de suelo, elaborados mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), datos de capacidad portante a una profundidad entre 1 y 3 m y mapa de nivel freático para la ciudad de Cusco; todos ellos elaborados dentro del Programa Ciudades Sostenibles (PCS, 2004).

Parámetros del sismo probable	
Magnitud (Mw)	6.5
Profundidad (km)	10
Buzamiento	65° SO

Tabla 1: Parámetros del escenario probable (Benavente, 2013).

Los factores de vulnerabilidad evaluados son:

**Vulnerabilidad por Fragilidad:** Se evalúa las siguientes variables: a) Material de construcción de las viviendas, b) Estado de conservación, c) Número de pisos de las edificaciones. La base de datos utilizada fue proporcionada por la Municipalidad Provincial de Cusco.

En total, se estima que 46% de las viviendas de la zona urbana de Cusco fueron construidas con ladrillo, bloque de cemento, piedra con cal y cemento, mientras que, el 52% de las viviendas son construidas de adobe, tapial y/o madera, siendo únicamente el 2% de quincha, estera o piedra con barro. En cuanto al estado de conservación, se tiene que el 25% de las edificaciones presentan conservación Buena, 48 % Regular y cerca de 19% Malo y 9% de las viviendas están aún en construcción. En cuanto a los niveles de las edificaciones, se observa un predominio de edificaciones de dos niveles con 46% del total de viviendas; mientras que, el 32% de las mismas son de un nivel y únicamente 13% de más de tres niveles.

**Vulnerabilidad por Fragilidad:** Para estimar el grado de vulnerabilidad por exposición de la zona urbana de Cusco, se considera como principal indicador la ubicación de viviendas y medios de vida dentro de zonas de peligro a movimientos en masa y licuación de suelos. La mayor cantidad de población y vivienda se ubica en la zona norte de la ciudad de Cusco, en los extremos de los distritos San Sebastián y Cusco y en el extremo sur de los distritos de Santiago, San Sebastián y San Jerónimo. De acuerdo a este

escenario, cerca del 42% de la población se ubica en zona de vulnerabilidad Muy Alta, 2% en Alta, 39% en zona de vulnerabilidad Media y cerca de 16% en zona de vulnerabilidad Baja a movimientos en masa.

#### 4.1. Estimación de riesgo a movimientos en masa

De acuerdo a la evaluación realizada, el 26% de las viviendas se ubican en zona de Muy Alto riesgo, 26% en zona de Alto riesgo, 47% en zona de riesgo Medio y únicamente 1% en zona de riesgo Bajo (Figura 2).

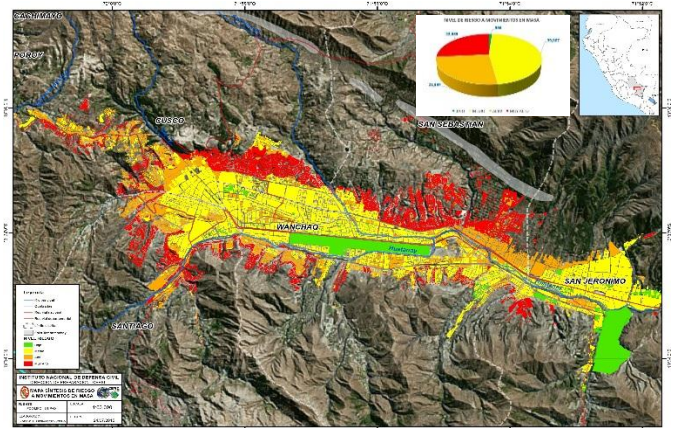


Figura 2: Mapa de síntesis de riesgo de movimientos en masa debido a la posible reactivación de la falla Tambomachay.

#### 4.2. Estimación de riesgo sísmico

Dependiendo de las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas se puede generar amplificación o atenuación de las ondas sísmicas. Los estudios de microzonificación sísmica-geotécnica ayudan a evaluar y zonificar de acuerdo al comportamiento dinámico del suelo. Dado que la ciudad de Cusco no cuenta con mapa de zonificación sísmica-geotécnica, para el análisis se usa los mapas de peligro elaborados dentro de PCS. Los sectores más críticos, de acuerdo a la Figura 3, corresponden al distrito de Cusco (zonas de Balconcillo, centro histórico, Independencia, otros), Santiago (Dignidad Nacional, Illariy Qospo y otros), San Sebastián (Las Palmeras, Diego Quispe Tito Las Casuarinas, otros), San Jerónimo (Retamales, Jardines, otros). De este análisis, se ha identificado que un 47% de la población de Cusco se encuentra ubicada en zona de Muy Alto riesgo sísmico, 45% en zona de Alto riesgo y 8% en zona de riesgo Medio. Dada las características geotécnicas de la ciudad de Cusco, el peligro que representa la falla Tambomachay y la vulnerabilidad física existente, más del 50% de la ciudad de Cusco se encuentra en Alto riesgo sísmico (Tabla 2).

Tabla 2: Cantidad de viviendas en Riesgo Sísmico.

NIVEL	VIVIENDA	% VIVIENDA
MEDIO	6,501	8
ALTO	38,544	45
MUY ALTO	40,414	47

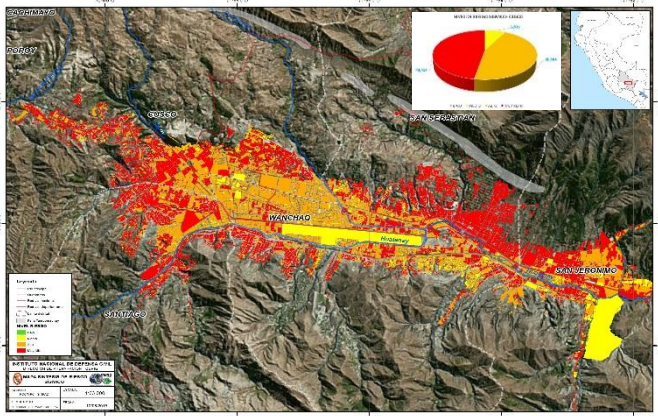


Figura 3: Mapa de síntesis de riesgo sísmico debido a la posible reactivación de la falla Tambomchay.

## 5. Conclusiones

La evaluación y análisis realizado en el presente estudio, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

- El peor escenario sísmico de la ciudad de Cusco, se basa en la posible reactivación de la falla Tambomachay, mediante un sismo de magnitud 6.5Mw, profundidad de 10 km.
- El 42% de la población de Cusco se encuentra ubicada dentro de zona de Muy Alto peligro a movimientos en masa, 2% en zona de peligro Alto, 39% en peligro Medio y 16% en zona de peligro Bajo. Mientras que, el 26% de viviendas se ubican en zona de riesgo Muy Alto, 26% riesgo Alto, 47% riesgo Medio y 1% riesgo Bajo a movimientos en masa.
- El 14% de Instituciones educativas se encuentran expuestas en zona de Muy Alto peligro a movimientos en masa, 51% en zona de peligro medio y 35% en zona de peligro bajo.
- El 47% de viviendas presentan riesgo sísmico Muy Alto, 45% Alto y 8% Medio.

## 6. Recomendaciones

- La DDI en coordinación con el gobierno provincial de Cusco y municipalidades distritales realizar campañas de sensibilización y educación a la población en temas relacionados a peligros de origen natural recurrentes en la zona, con especial énfasis en sismos por fallas corticales y movimientos en masa.
- La Municipalidad provincial de Cusco, solicitar a las instituciones técnico-científicas la ejecución de un estudio de microzonificación sísmica-geotécnica en la zona urbana de la ciudad de Cusco, con la finalidad de contar con información como precisa sobre parámetros como el tipo de suelo, capacidad portante, periodos de vibración del suelo; datos importantes y necesarios para una mejor caracterización del comportamiento dinámico del suelo de la ciudad de Cusco y por ende una mejor estimación de los niveles de riesgo.

- La DDI mantener comunicación con las instituciones técnico científicas encargadas del monitoreo de la sismicidad y deformación cortical (IGP, INGEMMET, otros) con la finalidad de asesorar al gobierno regional de Cusco y distritos involucrados en la toma de decisiones para la atención de las emergencias que se pudieran suscitar.
- Las instituciones técnico-científicas establecer comunicación constante con el INDECI, autoridades regionales, locales y población involucrada para que den a conocer sobre los peligros a los que están expuestos y tomen las medidas de preparación correspondientes.

## Agradecimientos

Se agradece a la Municipalidad Provincial de Cusco por el apoyo e información proporcionada, a la Dirección Desconcentrada de Cusco por el apoyo en el levantamiento de información a través de encuestas. Al Ing. Carlos Walter Barrientos Guzmán por compartir su experiencia y conocimiento sobre la geología local de Cusco.

## Referencias

- Benavente, C., Delgado, F., Taipe, E., Audin, L. & Pari, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, p. 55, 245.
- Carlotto, V. & Cuenca, J. (1987). Aspectos geológicos del sismo del 5 de abril de 1986 en el Cusco. En: Congreso Peruano de Geología, 6, Lima 1987, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 50.
- Carlier, G., Lorand, J. P., Liégeois, J. P., Fornari, M., Soler, P., Carlotto, V., Cardenas, J. (2005). Potassic-ultrapotassic mafic rocks delineate two lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano. *Geology*, 33, p. 601-604.
- Huamán, D. (1987). El sismo de Cusco del 5 de abril 1986: Aspectos sismotectónicos. En Congreso Peruano de Geología, 6, Lima 1987, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p.49.