



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



**EL SISMO DE LUCRE DEL 16 DE ABRIL, 2024 (M4.1):
SISMOTECTÓNICA Y GESTIÓN DEL RIESGO
(Provincia Quispicanchi, Región Cusco)**

Informe Técnico N°018-2024/IGP CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA



Lima – Perú
Abril, 2024

Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Edmundo Norabuena

Informe Técnico

El sismo de Lucre del 16 de abril, 2024 (M4.1): Sismotectónica y Gestión del Riesgo
(Provincia de Quispicanchi- Región Cusco)

Autor

Hernando Tavera
Cristian Mamani
Mariana Vivanco

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

**EL SISMO DE LUCRE DEL 16 DE ABRIL, 2024 (M4.1):
SISMOTECTÓNICA Y GESTIÓN DEL RIESGO**

(Provincia de Quispicanchi- Región Cusco)

Lima – Perú
Abril, 2024

RESUMEN

El 16 de abril del 2024 ocurre un sismo de magnitud M4.1 con epicentro a 7 km al norte de la localidad de Lucre (provincia de Quispicanchi, región Cusco), siendo seguido por 15 réplicas reportadas por el CENSIS hasta el día 25 de abril 2024. Este sismo tuvo su origen en la reactivación temporal de la falla Pachatusan, como parte del sistema de fallas de Tambomachay que se distribuye en la región Cusco, desde la localidad de Zurite hasta la frontera con la región Puno.

Este sismo produjo daños estructurales en un gran número de viviendas de la localidad de Lucre, incluyendo la comisaria, iglesia y la municipalidad. A diferencia de la localidad de Oropesa, la más cercana al epicentro del sismo, la localidad de Lucre se encuentra al borde de lagunas y de bofedales, situación que facilita la presencia de suelos saturados y que, al ocurrir un sismo, amplifican los niveles de sacudimiento del suelo.

Los sismos son parte de la geodinámica regional y por ello, seguirán ocurriendo con menor o mayor magnitud; sin embargo, el reducir el riesgo por exposición es responsabilidad de las sociedades.

INDICE

RESUMEN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- TECTÓNICA LOCAL

3.- EL SISMO DEL 16 DE ABRIL, 2024

3.1.- Parámetros hipocentrales

3.2.- Intensidades

3.3.- Réplicas

4.- EFECTOS EN SUPERFICIE

4.1.- Daños en viviendas

4.2.- Suelos

5.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

1.- INTRODUCCIÓN

En el borde occidental de América de Sur se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana y en el caso del Perú, se realiza a una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999). Este proceso es responsable de la actual geodinámica y geomorfología presente sobre todo el territorio peruano y de la ocurrencia de sismos de diversas magnitudes con origen en tres fuentes sismogénicas: la fricción de placas (oceánica y continental), deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera y la deformación cortical a niveles superficiales.

El análisis de la distribución espacial de su sismicidad en Perú (Figura 1) ha permitido identificar la ubicación de las principales fuentes sismogénicas, todas descritas ampliamente por Tavera y Buforn (2001) y Bernal y Tavera (2002). En este escenario, los sismos con magnitudes mayores a M7.0 ocurren con mayor frecuencia frente a su borde occidental produciendo altos niveles de sacudimiento del suelo, tal como sucedió en la región Sur de Perú el 23 de junio de 2001 (M8.2) y en Pisco, el 15 de agosto de 2007 (M8.0).

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales, son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen niveles de sacudimientos del suelo suficientes como para producir daños de consideración en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo, los sismos ocurridos debido a la reactivación de fallas tectónicas presentes en las regiones de San Martín, Ancash, Junín, Ayacucho, Cusco, Arequipa, Moquegua y Tacna, entre las principales, todos con magnitudes entre M4.0 y M5.7.

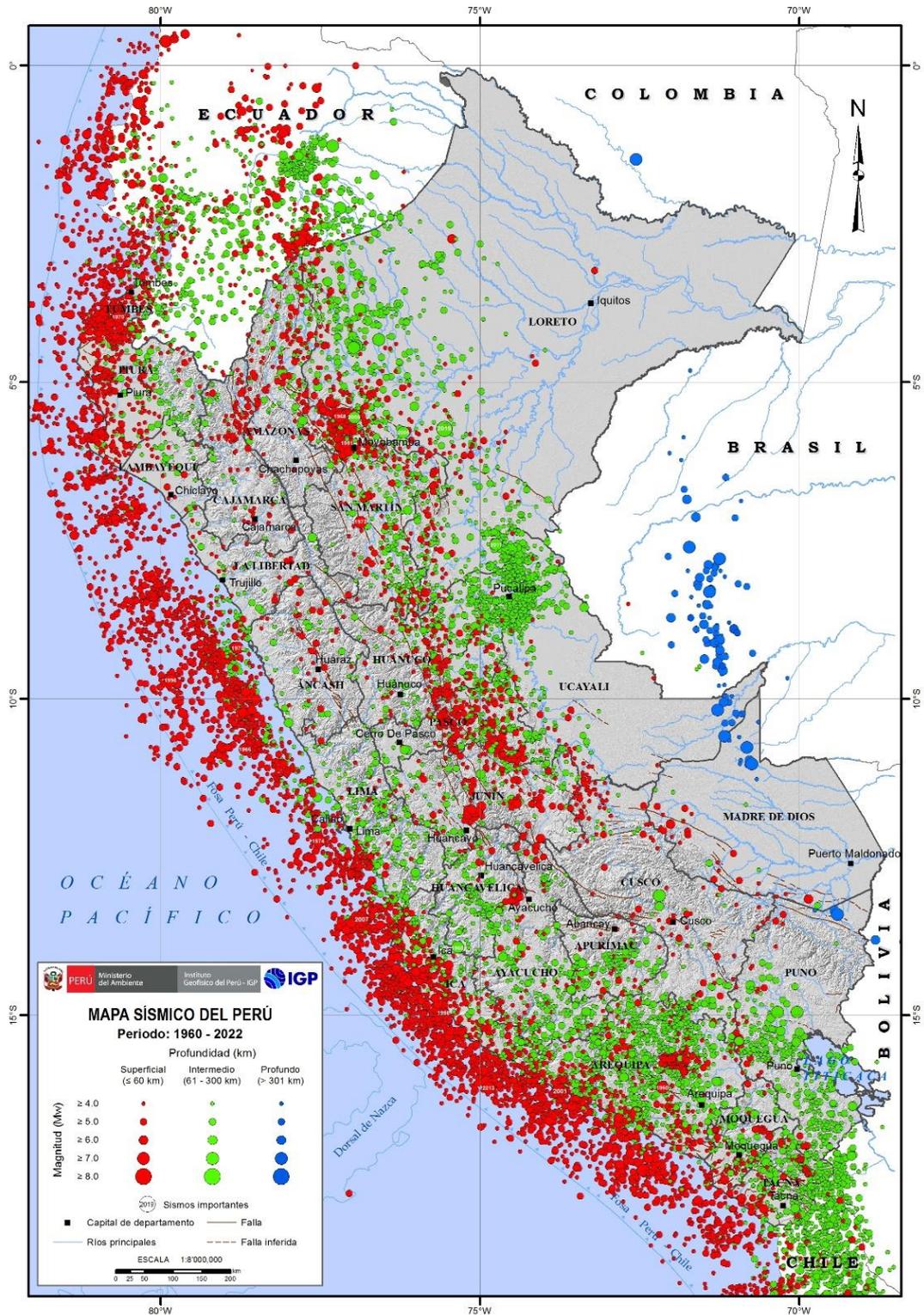


Figura 1: Mapa Sísmico del Perú para el periodo 1960 y 2022. La magnitud de los sismos es diferenciado por el tamaño de los círculos y la profundidad de sus focos por el color de los mismos.

En la región del Cusco, el día 16 de abril del 2024 ocurre un sismo de tipo cortical con una magnitud moderada de M4.1 y epicentro ubicado a 7 km al norte de la localidad de Lucre (provincia de Quispicanchi – región Cusco). El sismo ocurrió a una profundidad de 11 km (foco superficial) y los niveles de sacudimiento del suelo produjeron daños en viviendas de adobe en las localidades de Lucre y Oropesa en donde se evaluaron intensidades de V en la escala de Mercalli Modificada (MM).

En este informe se presenta y se describe los parámetros hipocentrales del sismo de Lucre (M4.1) y réplicas; además de los daños y efectos observados en superficie, así como su interpretación sismotectónica.

2.- TECTÓNICA LOCAL

La región del Cusco es prácticamente atravesada de norte a sur por el sistema de fallas de Tambomachay, la que se inicia en las cercanías de la localidad de Zurite, para continua al este de la ciudad de Cusco y llegar hasta la frontera con la región de Puno (Figura 2). Este sistema esta compuesto por un gran número de ramales de fallas que, de manera local, van tomando diferentes nombres, tal es el caso de la falla Pachatusan ubicada al este de las áreas urbanas de Oropesa, Lucre y Andahuaylillas.

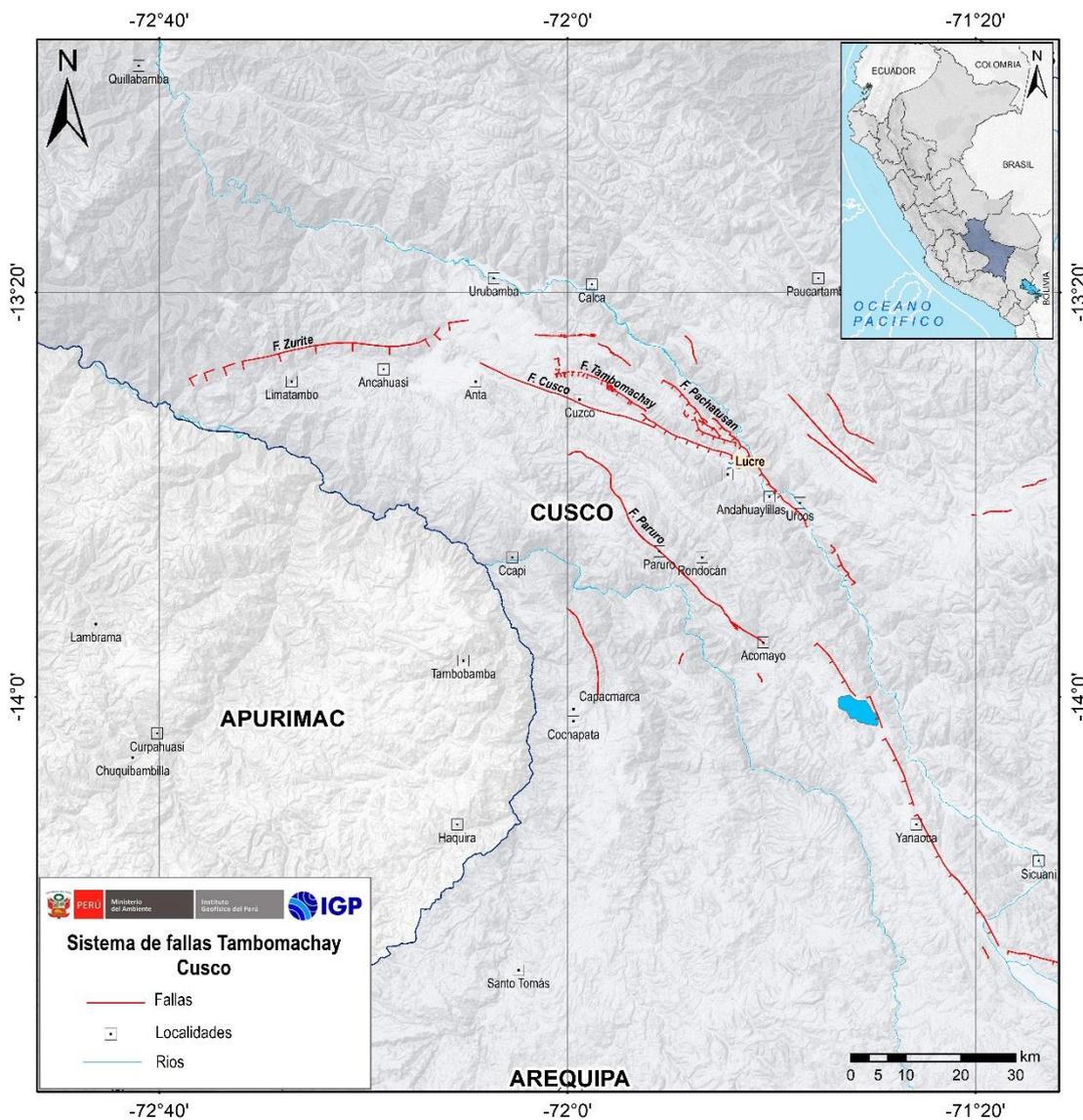


Figura 2: Región Cusco y ubicación del sistema de fallas de Tambomachay.

El sistema de fallas de Tambomachay históricamente ha dado lugar a sismos de moderada magnitud, los mismos que por presentar sus focos a profundidades menores a 20 km, han generado altos niveles de sacudimiento del suelo con el consecuente daño a viviendas en superficie, sumados a procesos de licuación de suelos y deslizamientos. Históricamente, el sismo que produjo mayor afectación en la ciudad del Cusco ocurrió en el 21 de mayo de 1950 con una magnitud $M6.0$, sin embargo, no fue posible determinar que falla tectónica fue la fuente de origen (Figura 3). El sismo de mayor magnitud ocurrido recientemente en Cusco corresponde al 5 de abril de 1986 ($M5.4$) con una profundidad de 19 km, llegando a reactivar un tramo de la falla Chincheros – Qoricocha. Este evento sísmico fue seguido por réplicas durante casi 30 días. Según el mapa de intensidades (Figura 4), las áreas urbanas con mayores daños en viviendas fueron Calca, Lamay, Pisac, Kayra y Cusco. Asimismo, este sismo habría producido la muerte de 9 personas por el colapso de sus viviendas, 80 heridos y 13 mil damnificados.

Otros sismos ocurridos en la región Cusco recientemente son, por ejemplo, el sismo de Capacamrca del 8 de agosto de 2003 con una magnitud $M5.2$ (Figura 5) y el sismo de Paruro del 27 setiembre de 2014 con una magnitud de $M5.1$ (Figura 6); ambos eventos sísmicos fueron seguidos por un gran número de réplicas por varios días, además de producir daños en viviendas precarias y deslizamientos de tierra y piedras en vías de carreteras.

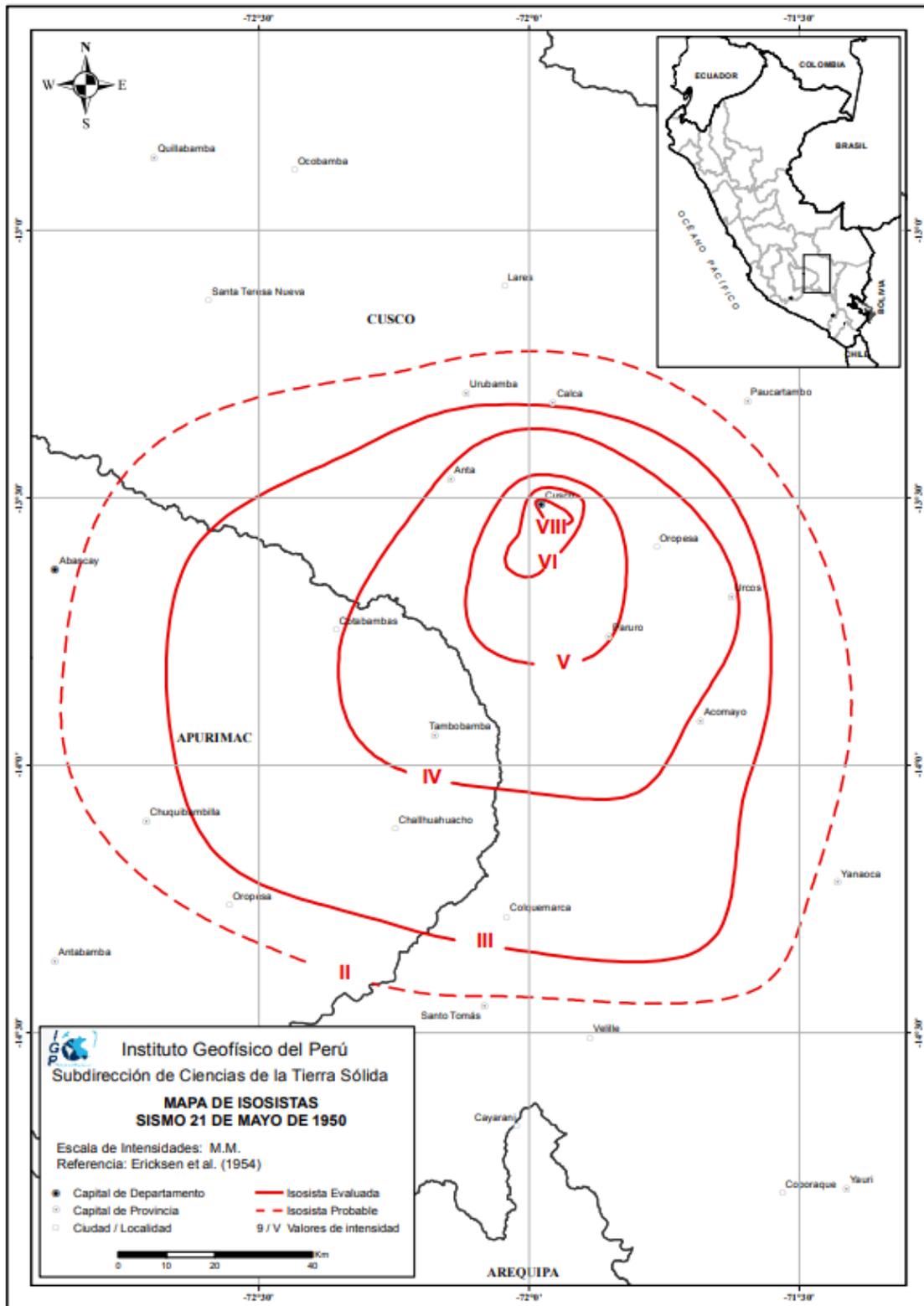


Figura 3: Mapa de intensidades del sismo de 1950 ocurrido en la Región Cusco con origen en el sistema de falla de Tambomachay.

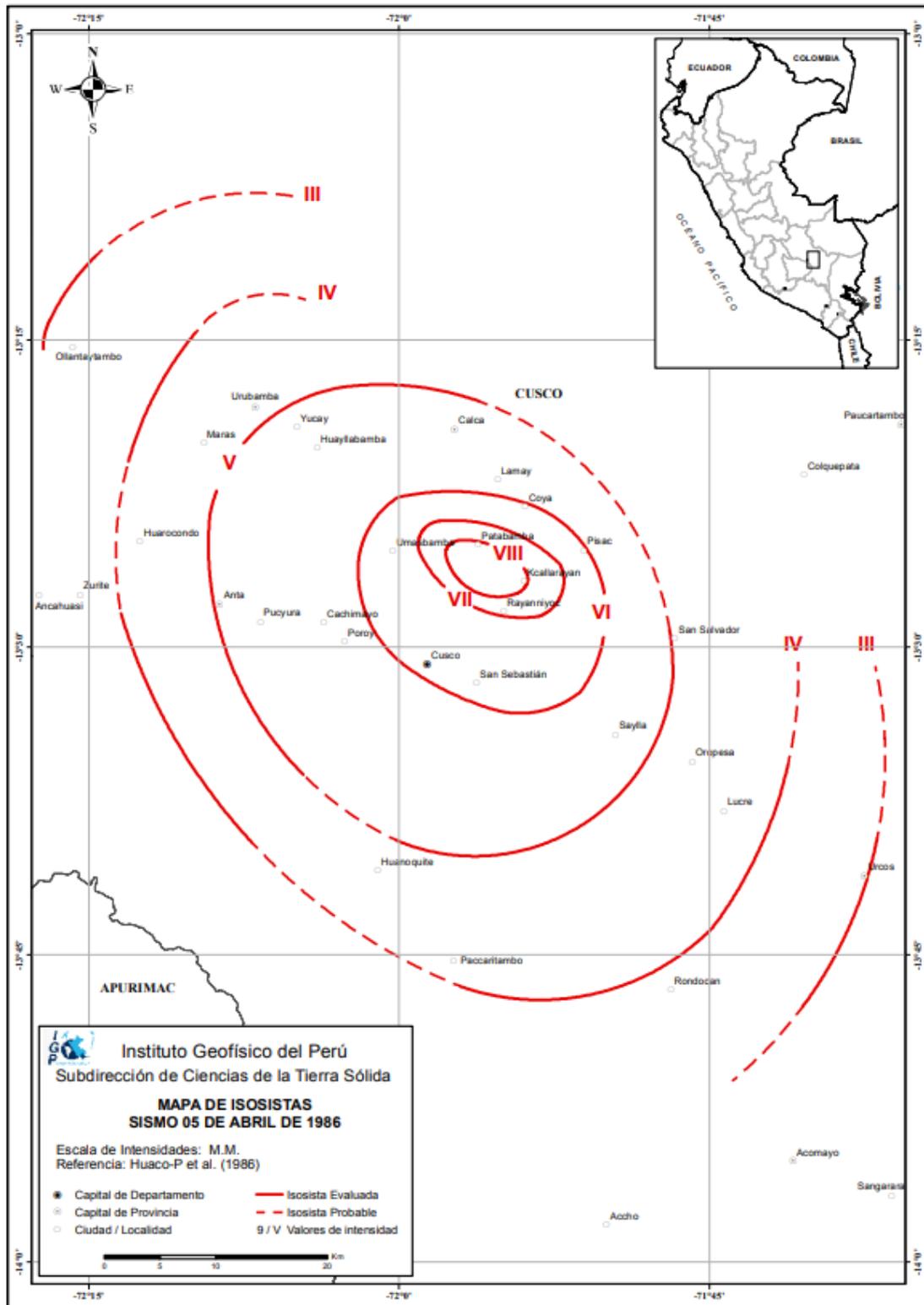


Figura 4: Mapa de intensidades del sismo de 1986 ocurrido en la Región Cusco con origen en el sistema de falla de Tambomachay.

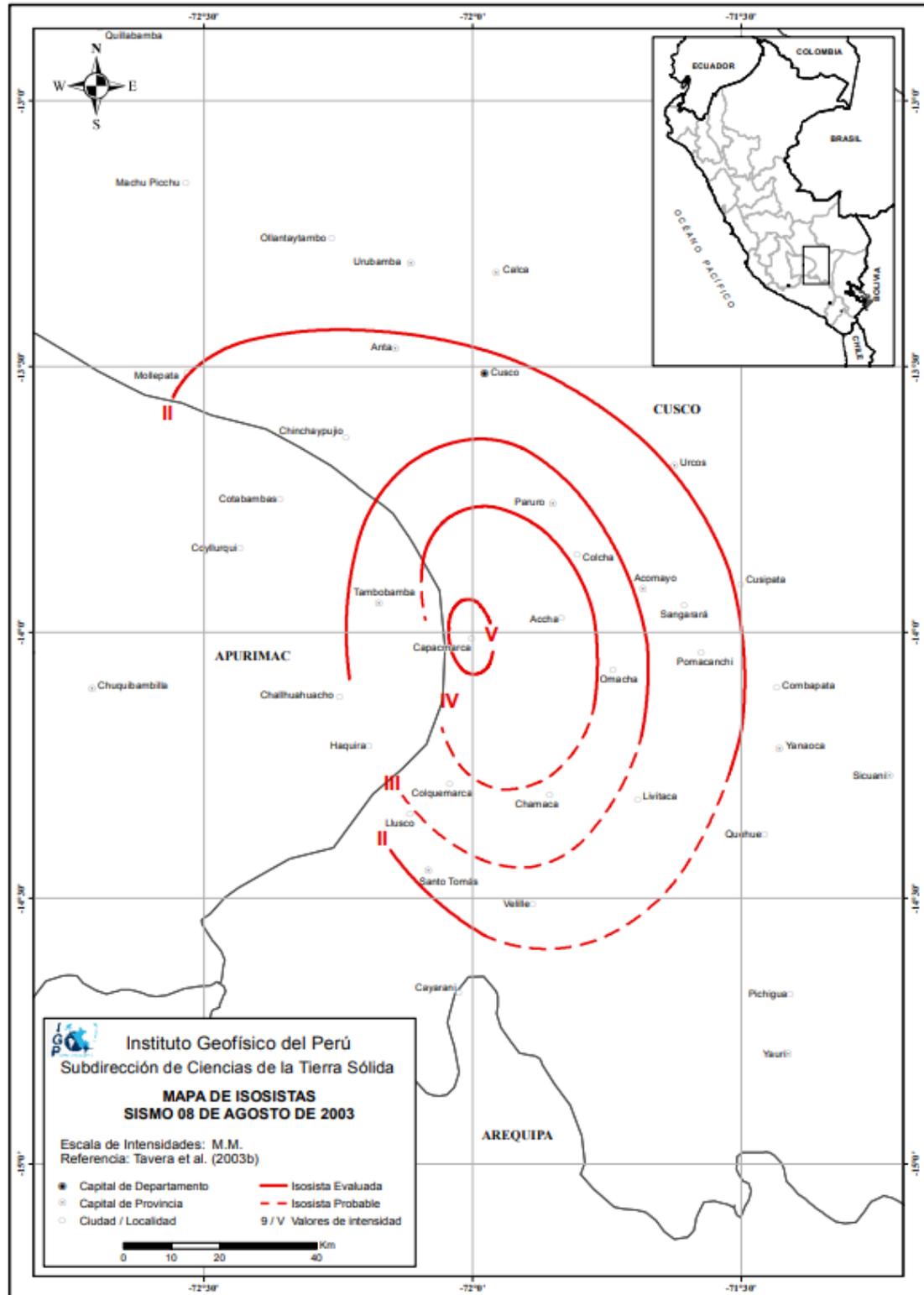


Figura 5: Mapa de intensidades del sismo de 2003 ocurrido en la Región Cusco con origen en el sistema de falla de Capacmarca.

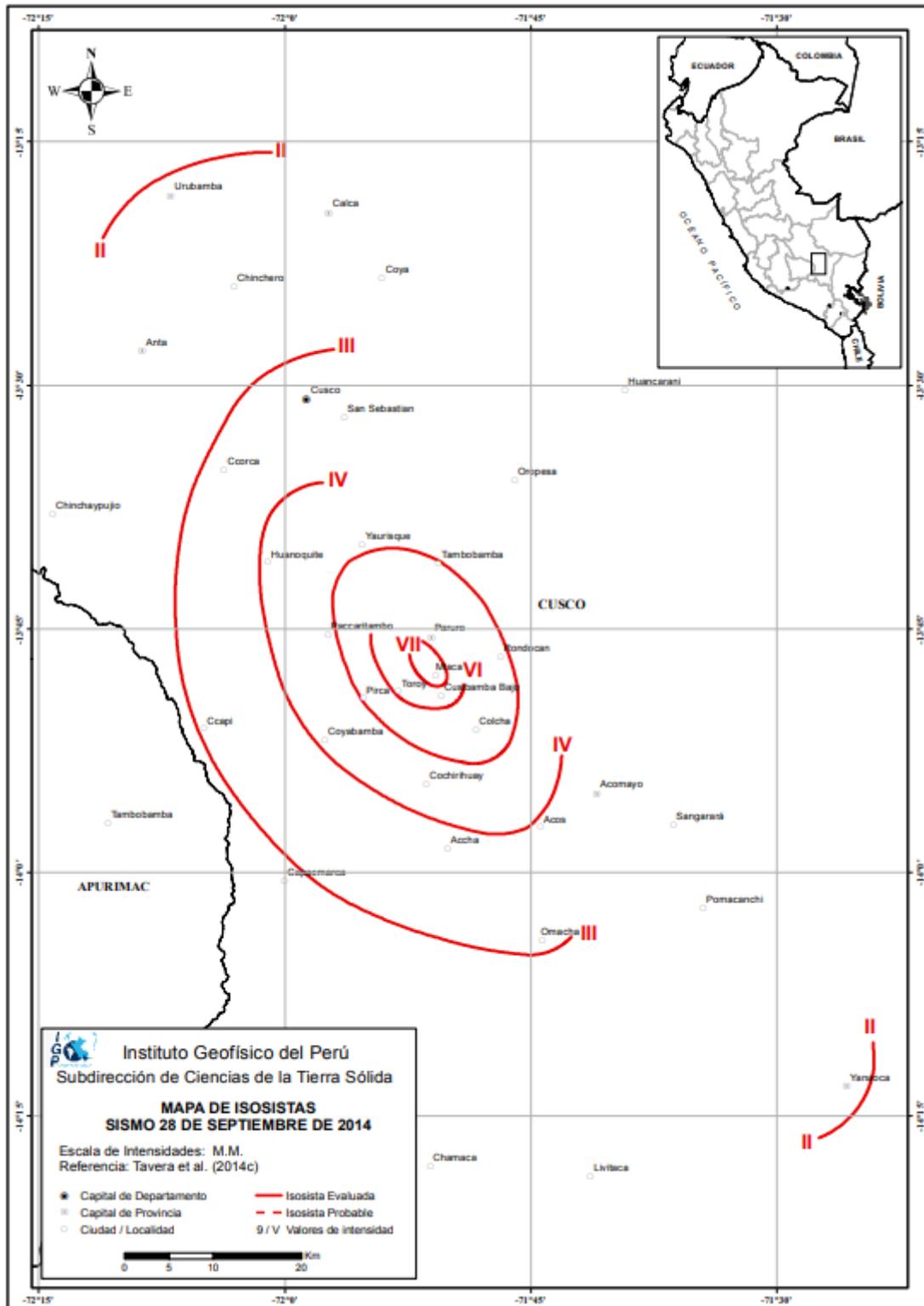


Figura 6: Mapa de intensidades del sismo de 2014 ocurrido en la Región Cusco con origen en el sistema de falla de Paruro.

3.- SISMO DEL 16 DE ABRIL, 2024

3.1.- Parámetros hipocentrales

Los parámetros hipocentrales del sismo del 16 de abril del 2024 fueron reportados por el Centro Sismológico Nacional a cargo de Instituto Geofísico del Perú (IGP) utilizando información de la Red Sísmica Nacional (Reporte IGP/CENSIS/RS 2024-0241), ver Figura 7:

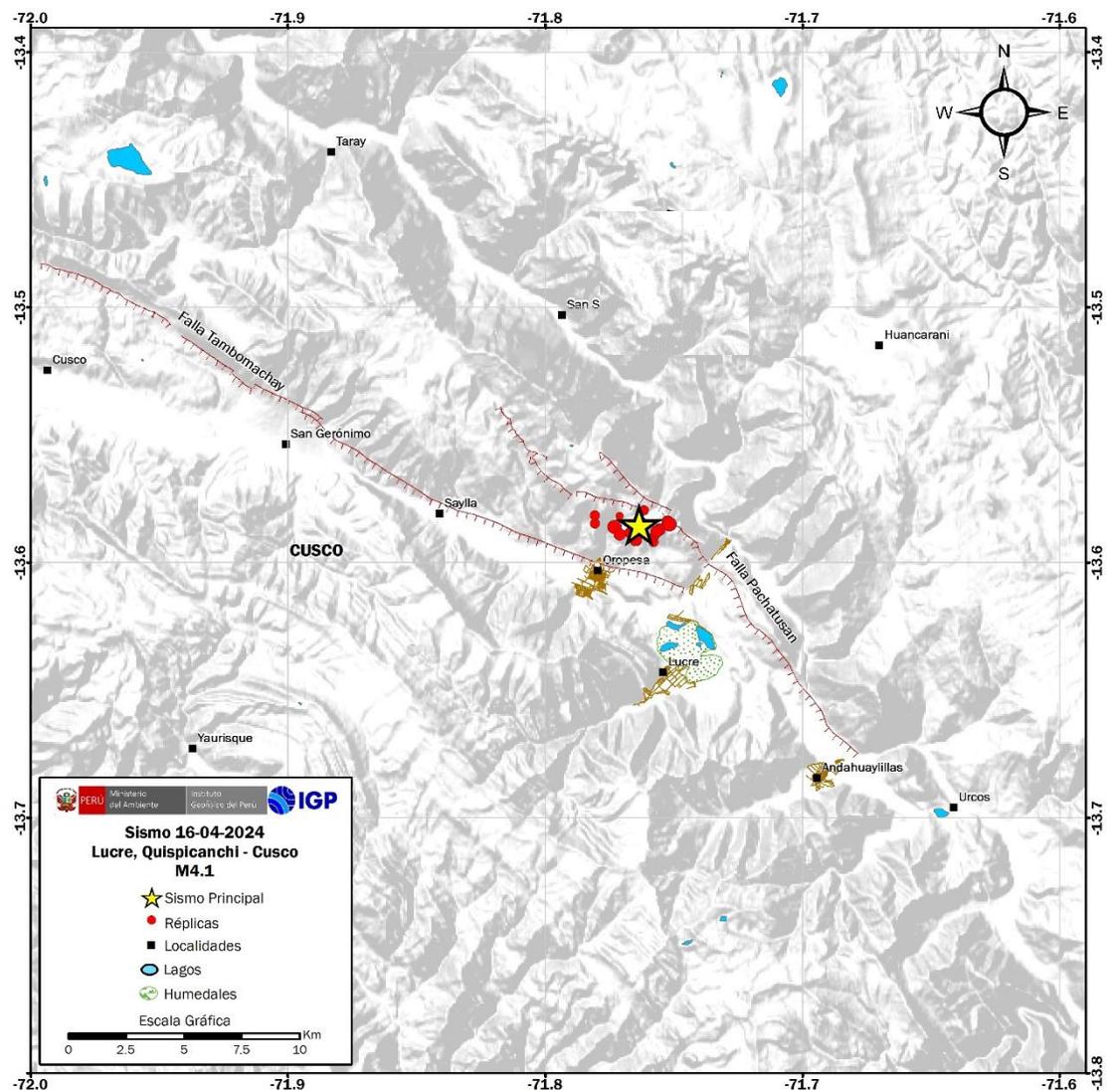


Figura 7: Distribución epicentral del sismo de Lucre del 16 de abril 2024 (M4.1) y de su serie de réplicas reportados por el CENSIS hasta el día 25 de abril 2024.

Tiempo Origen: 01h 56min del día 17 de abril, 2024 (Hora Universal)
 20h 56min del día 16 de abril, 2024 (Hora Local)

Latitud Sur: -13.575°

Longitud Oeste: -71.747°

Profundidad: 11 km

Magnitud: M4.1

Epicentro: A 7 km al N de la localidad de Lucre (región Cusco)

Intensidad Máxima: V (MM) en la localidad de Lucre.

De acuerdo a esta información, el sismo del 16 de junio (M4.1) tuvo su origen en la reactivación temporal de la falla tectónica de Pachatusan ubicada al este de las áreas urbanas de Oropesa, Lucre y Andahuaylillas. Asimismo, y según la Tabla 1, este sismo fue seguido hasta el día 25 de abril por 15 réplicas reportadas por el CENSIS y de ellas, las ocurrida los días 24 y 25 de abril con magnitudes de M3.5 y M3.7, produjeron importantes sacudimientos del suelo que contribuyeron a incrementar los daños en viviendas y la alarma en la población.

Tabla 1: Parámetros hipocentrales e intensidades (MM) del sismo de Lucre y principales réplicas reportados por el CENSIS hasta el día 25 de abril 2024.

Fecha	Hora_UTC	Latitud (°)	Longitud (°)	Prof. (km)	Magnitud	Intensidad (MM)
17/04/2024	01:56:55	-13.575	-71.747	11	4.1	V Lucre, Huacarpay; IV Oropesa
17/04/2024	02:13:27	-13.576	-71.757	12	3.6	
17/04/2024	05:49:55	-13.571	-71.755	8	2.5	
17/04/2024	17:52:16	-13.574	-71.764	13	2.7	
18/04/2024	03:17:06	-13.569	-71.745	7	2.8	
18/04/2024	11:37:33	-13.582	-71.741	14	2.7	
18/04/2024	12:08:30	-13.578	-71.751	11	2.8	
22/04/2024	00:50:29	-13.581	-71.748	12	3.2	
22/04/2024	12:03:51	-13.577	-71.739	10	3.1	
22/04/2024	12:48:07	-13.571	-71.764	10	3	
22/04/2024	21:55:14	-13.579	-71.75	11	3.1	
23/04/2024	05:20:00	-13.579	-71.741	12	3	
24/04/2024	22:58:54	-13.575	-71.735	12	3.7	IV Lucre, Huacarpay; III Oropesa
25/04/2024	07:43:11	-13.577	-71.74	9	3.5	III Lucre, Huacarpay, Oropesa
25/04/2024	11:34:32	-13.573	-71.736	10	3.1	

3.2.- Intensidades

Después de ocurrido el sismo de Lucre, se realizó la evaluación del radio de percepción del sacudimiento del suelo y los posibles daños, y efectos que el sismo podría haber producido en el área epicentral. Las evaluaciones fueron realizadas por el personal del Centro Sismológico Nacional (CENSIS) mediante encuestas vía línea telefónica a dos o tres personas de cada área urbana y la información obtenida fue interpretada con la escala de Mercalli Modificada (Figura 8):

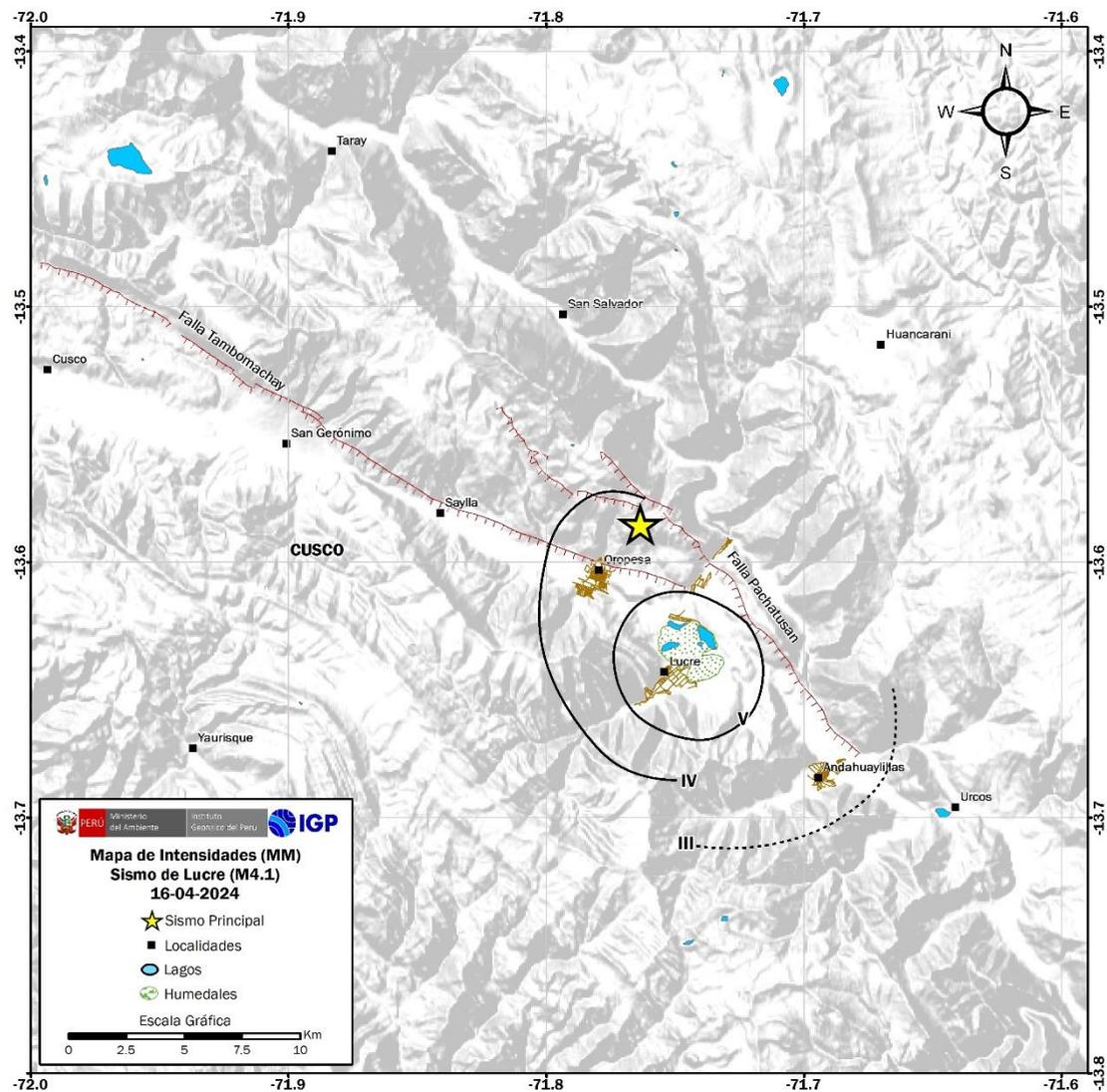


Figura 8: Mapa de intensidades (Mercalli Modificada) del sismo del 16 de abril de 2024 (M4.1)

- *Lucre (Intensidad V-MM)*: El sacudimiento del suelo causó pánico en la población. Se produjo el colapso de dos viviendas; además de quedar inhabitables una vivienda y la comisaria. Por otro lado, 50 viviendas, 1 templo, 6 Instituciones Educativa y 1 Centro de Salud, presentan rajaduras y desprendimiento de estuco.
- *Huacarpay (Intensidad V-MM)*: El sacudimiento del suelo causó pánico en la población. Algunas viviendas presentan rajaduras y desprendimiento de estuco. Caída de rocas en la carretera Piñipampa-Huacarpay. El tramo afectado fue de 10 metros.
- *Oropesa (Intensidad IV-MM)*: El movimiento del suelo fue percibido por toda la población. Daños en algunas viviendas con rajaduras y desprendimiento de estuco.

De acuerdo a lo indicado, los daños observados en la zona epicentral se han producido en viviendas que aún mantienen la construcción tradicional de zonas andinas; es decir, viviendas de adobe, piedras y calaminas. Del mismo modo, en zonas de alta pendiente se produjeron deslizamientos de piedra y tierra; afectando principalmente a las carreteras.

3.3.- Réplicas

Después de ocurrido el sismo de Lucre del 16 de abril 2024 con magnitud M4.1, le siguieron hasta el día 25 de abril un total de 15 réplicas reportadas por el CENSIS – IGP. En la Figura 9 se muestra las señales correspondientes al sismo de Lucre y de una serie de réplicas registradas en la estación Abra Patahuasi (APAT) ubicada a 65 km e dirección ESE del epicentro del sismo. Sin embargo, durante este periodo réplicas de menor magnitud fueron ocurriendo en el tiempo, pero al ser muy locales, no fue posible determinar de manera correcta sus epicentros,

pero todas ellas fueron parte del proceso de reactivación de la falla Pachatusan.

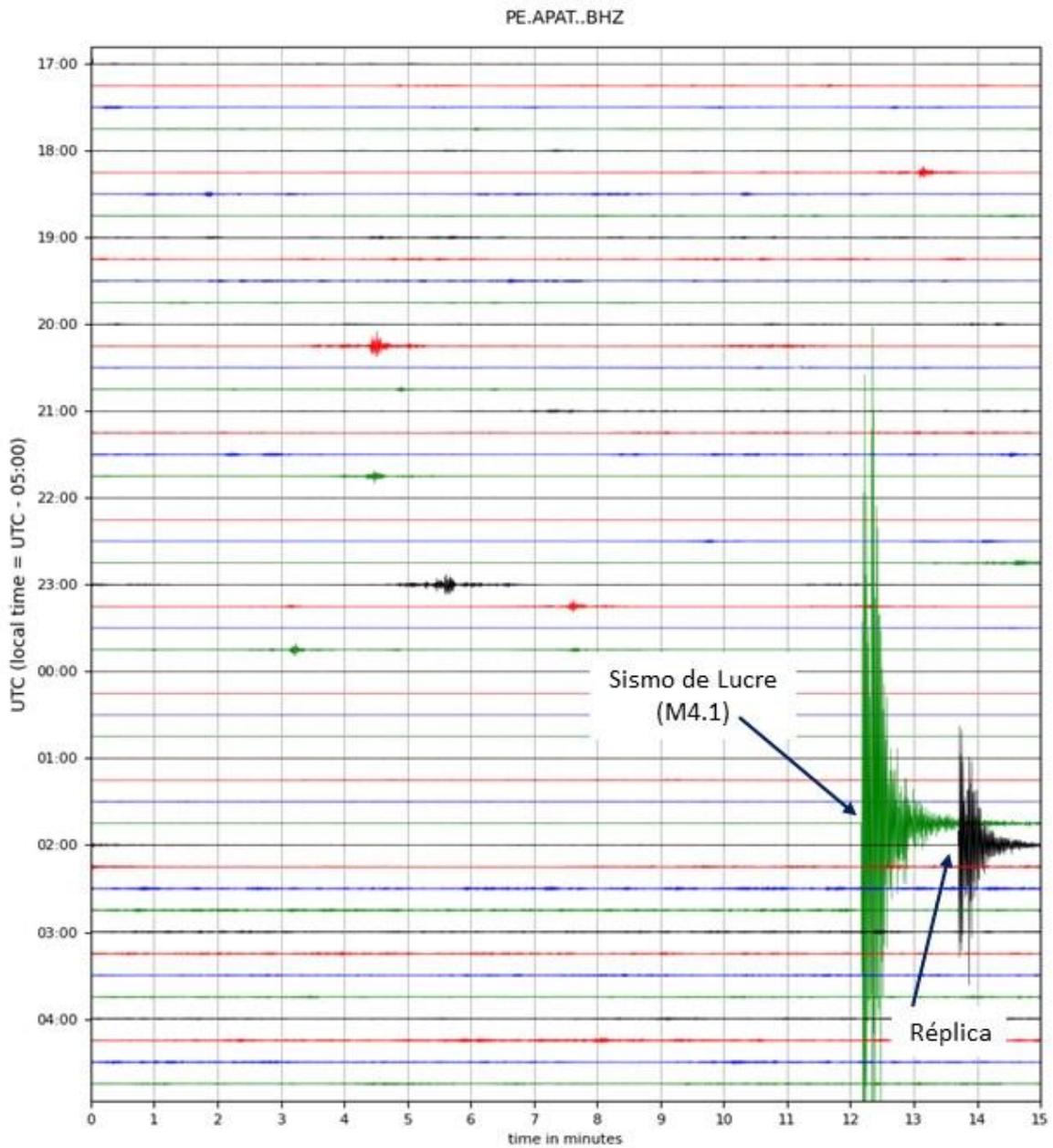


Figura 9: a) Sismograma de la estación Abra Patahuasi (APAT) y el registro del sismo de Lucre y serie de réplicas

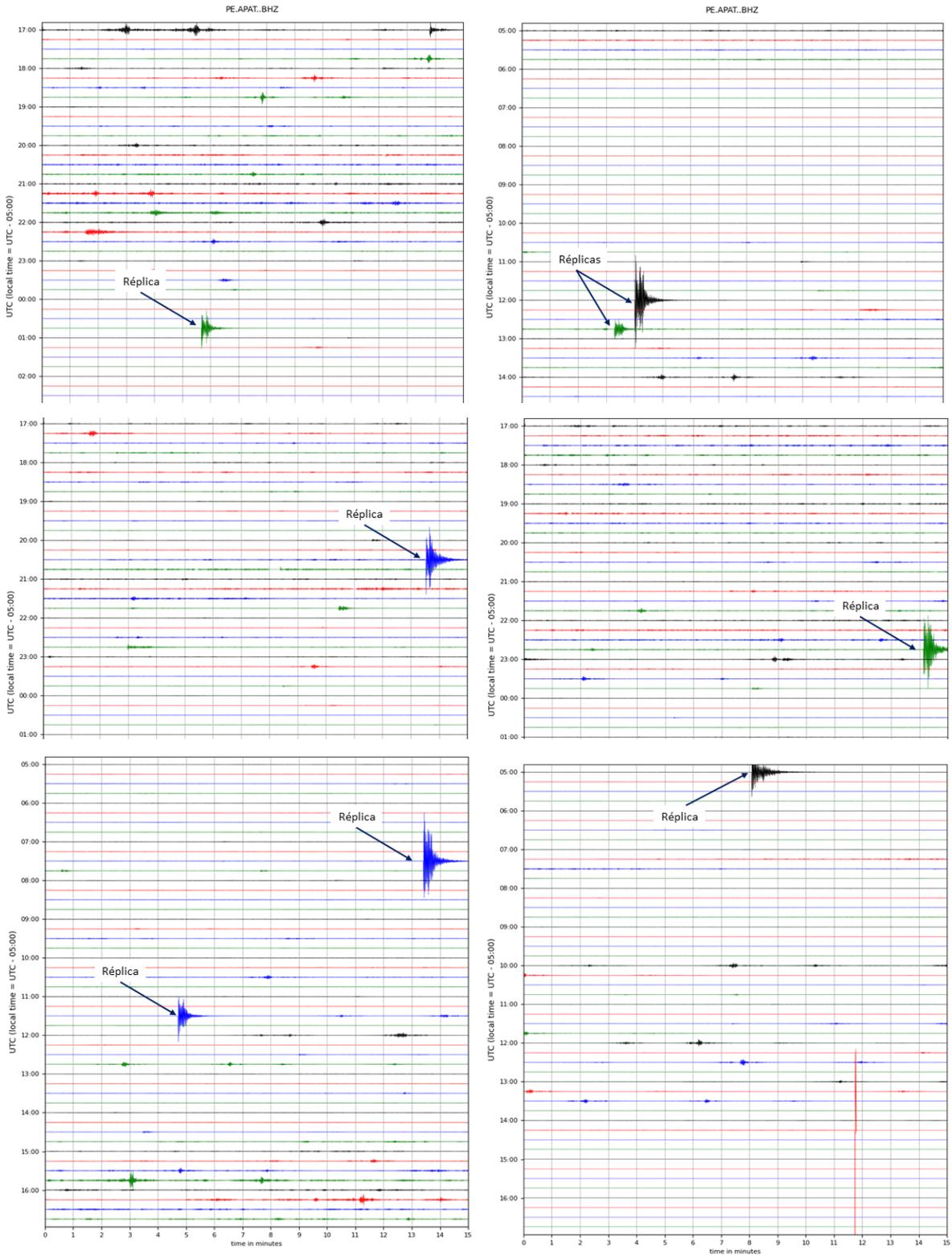


Figura 9: b). Sismograma de la estación Abra Patahuasi (APAT) y el registro de serie de réplicas del sismo de Lucre

4.- EFECTOS EN SUPERFICIE

A la ocurrencia de sismos que generen altos sacudimientos del suelo en zonas continentales, tres son los efectos secundarios más importantes que se producen: (a) daño total o parcial en viviendas de adobe, (b) deslizamientos de piedras y tierra en áreas con pendientes y (c), el desarrollo de procesos de licuación de suelos.

4.1.- Daños en viviendas

A la ocurrencia del sismo de Lucre del 16 de abril (M4.1), los niveles altos del sacudimiento del suelo se concentraron en un área reducida que considera el área urbana de la localidad de Lucre y en la cual se produjo el colapso de algunas viviendas de adobe que obligaron a varias familias a pernoctar en las calles, otras viviendas presentaron; además de colegios y la iglesia (Figura 10).

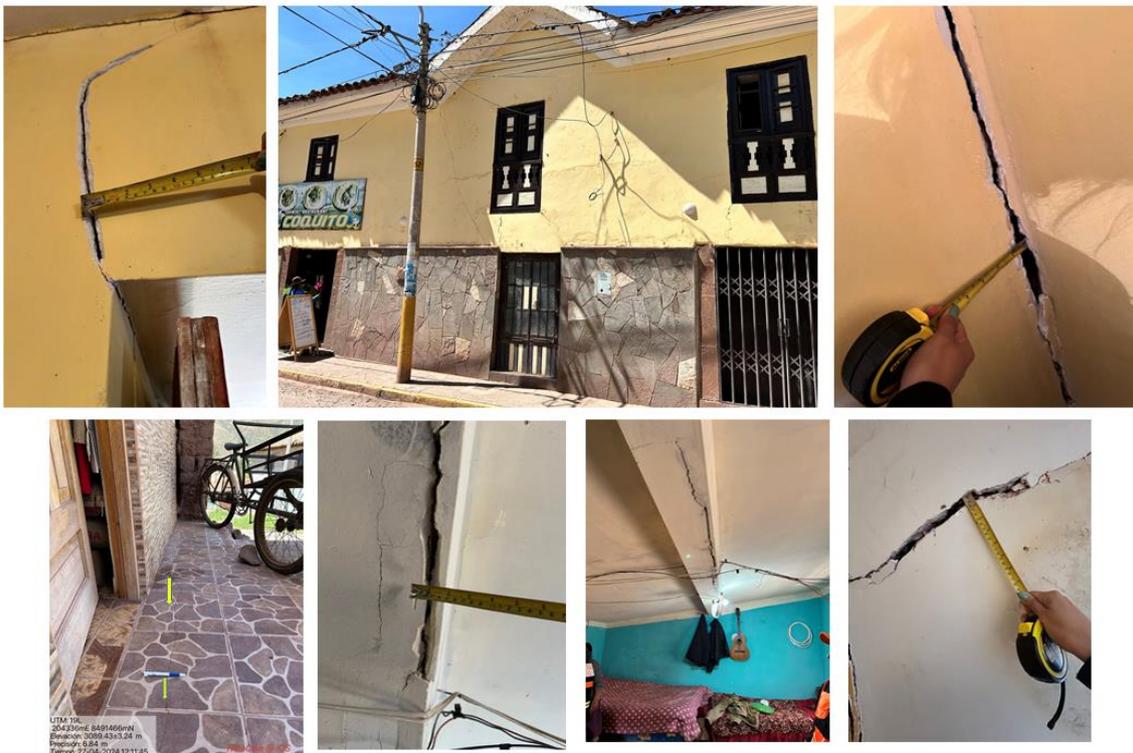


Figura 10: a) Daños en viviendas de Lucre, construidas con material de adobe y estucos de yeso, debido a los sacudimientos del suelo producidos por el sismo de Lucre. Obsérvese las fisuras en paredes, techos y pisos, este último por problemas de suelos no compactos.



Figura 10: b) Daños en iglesia, comisaría y municipalidad de Lucre construidas con material de adobe y estucos de yeso debido a los sacudimientos del suelo producidos por el sismo de Lucre. Obsérvese las fisuras en paredes.

4.2.- Suelos

Los suelos de la ciudad de Lucre-Huacarpay están constituidos por gravas mal graduadas y gravas arcillosas en las llanuras de inundación del río Huatanay, grava arcillosa en el cono deyectivo del río Lucre que incluye el área urbana, arcillas inorgánicas de baja plasticidad con capacidad portante muy baja en Huacarpay y lagunas, humedales y áreas agrícolas bajas de Lucre (Figura 11). A la ocurrencia de un sismo, este tipo de suelos amplifican la amplitud de las ondas sísmicas y con ello, el nivel de sacudimiento de las capas más superficiales generando en superficie el incremento de daños en estructuras no adecuadas; además de procesos de licuación

En estas condiciones y de acuerdo a la zonificación geotécnica de Lucre y Huacarpay (INDECI – PNUD, 2011), la capacidad portante del suelo es en promedio de 0.88 a 1.3 kg/cm²; es decir, los suelos son muy baja capacidad portante debido a que están constituidos por arcilla inorgánica formando suelos pantanosos y suelos no consolidados al ser áreas inundables por el curso de los

ríos Lucre y Huatanay respectivamente y/o por el desborde de las lagunas durante lluvias extraordinarias (Figura 12).



Figura 11: Localidad de Lucre y presencia de lagunas y de bofedales que facilitan la existencia en el subsuelo de capas freáticas.

5.- INTERPRETACIÓN SISMOTECTÓNICA

La distribución espacial de epicentro del sismo de Lucre y de su serie de réplicas que afectaron con altos niveles de sacudimiento del suelo en las localidades de Lucre y Oropesa, tuvieron su origen en la reactivación temporal de la falla Pachatusan, como parte del sistema de fallas de Tambomachay que cruza a la región Cusco, desde la localidad de Zurite hasta la frontera con la región Puno (Figura 13).

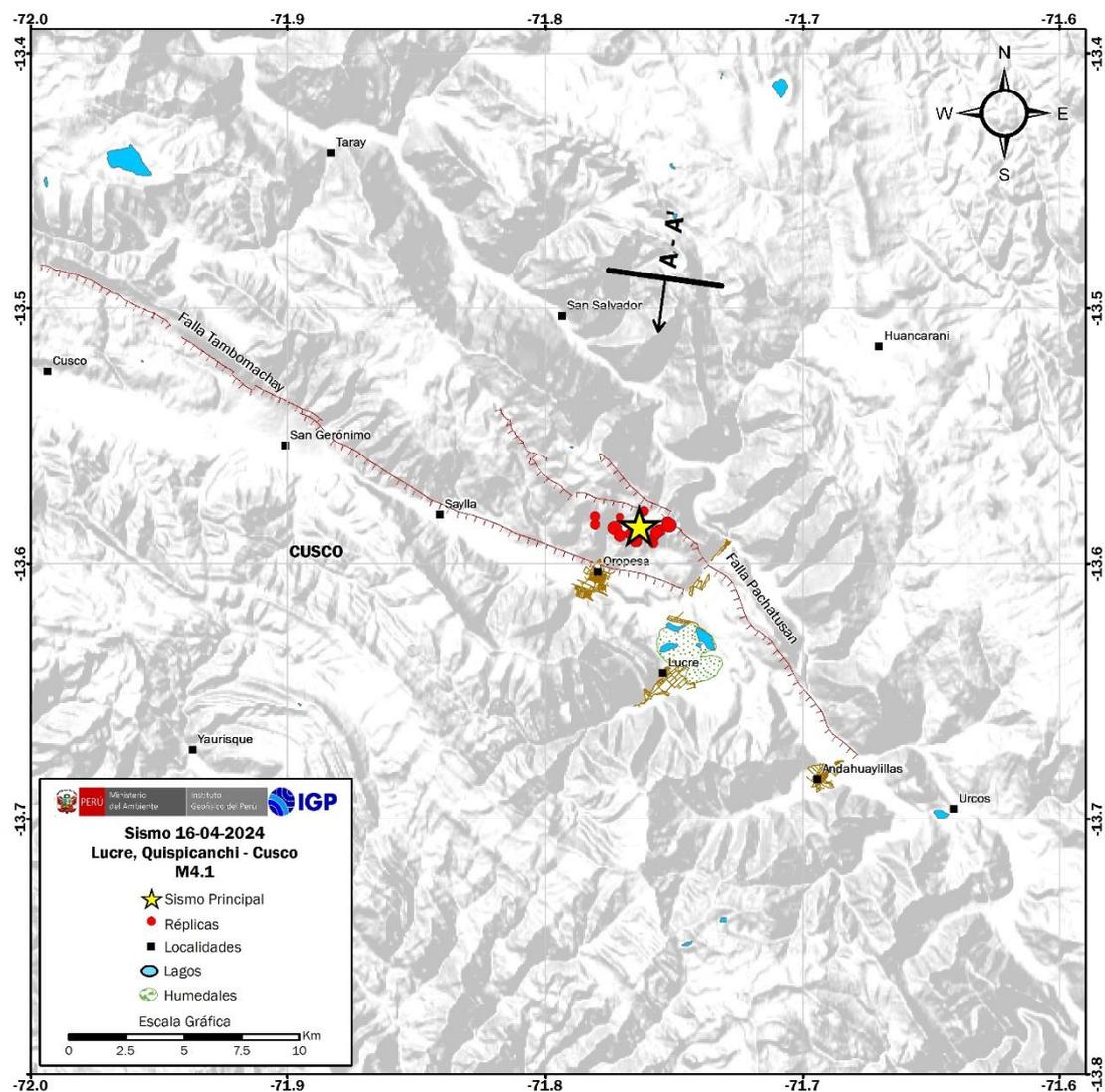


Figura 13: Distribución espacial del sismo de Lucre del 16 de abril 2024 (M4.1) y de su serie de réplicas. A-A' indica la orientación del perfil sísmico elaborado para analizar la distribución de la sismicidad en profundidad.

Según la Figura 14, la distribución en profundidad del sismo de Lucre y de su serie de réplicas muestran que la falla alcanza una profundidad del orden de 15 km y buzamiento en dirección SSO-NNE con un ángulo del orden de 50°.

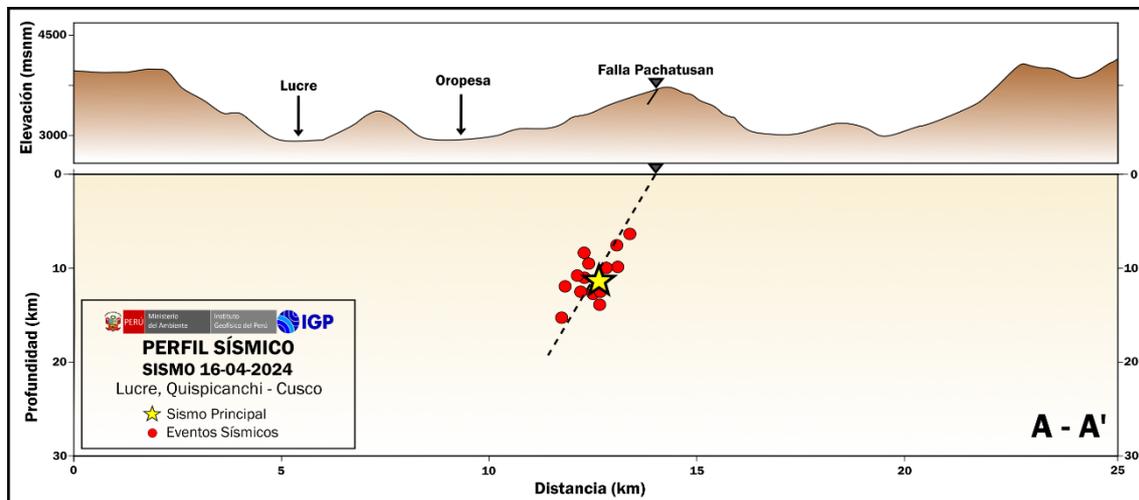


Figura 14: Distribución en profundidad del sismo de Lucre y su serie de réplicas. La falla alcanzó una profundidad de 15 km con un buzamiento de 50° en dirección SSO.

Conocida la geodinámica de la región Cusco, debe entenderse que las diferentes fallas tectónicas existentes, como parte del sistema de fallas Tambomachay, han dado origen, están dando origen y seguirán dando origen a sismos que producirán altos niveles de sacudimiento del suelo, afectando a las áreas urbanas cercanas y produciendo procesos de licuación de suelos y deslizamientos.

CONCLUSIONES

- La región del Cusco se caracteriza por presentar un complejo proceso de deformación superficial puesta en evidencia con la presencia del sistema de fallas Tambomachay, desde la localidad de Zurite, pasando por la ciudad de Cusco hasta la frontera con la región Puno. Este sistema está compuesto por un gran número de trazas de fallas de varia longitud que en el pasado han producido sismos importantes como los ocurridos en los años 1950, 1986, 2003 y 2014, todos con magnitudes menores a M6.0.
- El sismo del 16 de abril de 2024 (M4.1) y su serie de réplicas, habrían tenido su origen en la reactivación temporal de la falla Pachatusan ubicada en el extremo este de las localidades de Oropesa, Lucre y Andahuaylillas.
- El sismo de Lucre y los ocurridos en años anteriores, han mostrado que los sacudimientos de suelo al paso de las ondas sísmicas, solo han causado daños en viviendas, templos y colegios construidos con adobe y estuques de yeso. Asimismo, deslizamientos de tierra y piedras que siempre interrumpen el tránsito vehicular.
- Los daños en las viviendas de la localidad de Lucre se deben a la calidad de las construcciones (adobe) y a la existencia de suelos no compactos con diversos niveles de saturación de agua (lagunas y bofedales). Para fines de cimentación, en condiciones normales, los suelos son aptos para edificaciones ligeras (un piso); para mayores, ya hay la necesidad de hacer diseño apropiado de cimentación, asesoría y capacitación en sistemas constructivos en zonas geotécnicas de baja capacidad portante.

BIBLIOGRAFIA

- Cabrera, J. (1988). Neotectonique et sismotectonique dans la Cordillera Andine au niveau du changement de geometrie de la subducción: la región del Cusco. These Docteur en Sciences. Universite de Paris-Sud. Francia
- Dorbath, L., A. Cisternas, y Dorbath C. (1990). Assesment of the size of large and great historical earthquakes in Peru, Bull.Seims.Soc.Am., Vol. 80, N° 3, pp. 551-576.
- INDECI – PNUD (2011). Mapa de peligros y medidas de mitigación ante desastres en Lucre y Huacarpay. Informe Final.
- Silgado, E. "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Bol. 3, Serie C, Instituto de Geología y Minería, Lima-Perú, 133 pp., 1978.
- Thouret, J.C., et al (1995a): La actividad eruptiva del volcán nevado Sabancaya (Sur de Perú): geología, sensores remotos, evaluación y mapeo de zonas de riesgo. Resúmenes Sismo de Ichupampa del 14 de Agosto, 2016 (Chivay – Arequipa) Centro Nacional de Monitoreo Sísmico – Acelerométrico / CTS – IGP 16 Extendidos. Seminario Taller: Evaluación de la Litósfera en los Andes peruanos y sus márgenes. ProgramaPICG, 188. Lima-Perú.
- Tavera, H. et al (2021) Sismo de Paruro (Cusco) del 27 de setiembre 2014 (5.1ML). Informe Técnico IGP - CIENCIAS DE LA TIERRA SÓLIDA.

