

Informe Geológico post-sismo del 01 de diciembre de 2016:
segmento Parina, Sistema de fallas Ocuvirí-Orduña

Informe Técnico A6739

**Evaluación Geológica Post-sismo
del 01 de diciembre de 2016:
Reactivación del segmento Parina
Sistema de fallas Ocuvirí-Orduña
Puno**

LAGUNA
ANANTA

**GABINO F. DELGADO M.
ENOCH AGUIRRE A.
EDU TAIPE M.**

Diciembre, 2016



CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN	1
2.0	PARÁMETROS DEL SISMO	1
3.0	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO	3
4.0	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA – ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS OCUVIRI - ORDUÑA	5
	- SEGMENTO PARINA	5
5.0	EFFECTOS COSISMICOS	9
5.1	EFFECTOS GEOLÓGICOS	9
5.2	EFFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES	15
	. LOCALIDADES AFECTADAS	17
	. DESCRIPCIÓN DE DAÑOS EN EL DISTRITO OCUVIRI	19
5.3	FACTORES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS	24
	CONCLUSIONES	25
	RECOMENDACIONES	26
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	
	REFERENCIAS	
	ANEXO 1: Metodología para el análisis de la peligrosidad (mapas de peligrosidad)	
	LISTADO DE FOTOS Y FIGURAS	

EVALUACIÓN GEOLÓGICA POST-SISMO DEL 01 DE DICIEMBRE DE 2016: REACTIVACIÓN DEL SEGMENTO PARINA SISTEMA DE FALLAS OCUVIRI-ORDUÑA PUNO

1.0 INTRODUCCIÓN.

El sábado 01 de diciembre de 2016 a las 17:40 (Hora local), ocurrió un sismo de magnitud 6.2 Mw, a 10 km de profundidad (Fuente: USGS) [Ver figura 01]. Este evento causó daños importantes en los poblados de los distritos Lampa, Paratia, Vila Vila, Ocuvi, Santa Lucía, Cabanilla y Palca.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR y la Alta Dirección, con el conocimiento previo de ubicación del sismo y el análisis geológico previo con imágenes satelitales disponibles, envió una comisión conformada por los profesionales Gabino Fabrizio Delgado Madera, Enoch Aguirre Alegre y Edu Taipe Maquerhua profesionales del grupo de Neotectónica y monitoreo de fallas activas, para realizar la evaluación geológica post-sismo del área afectada. El trabajo se realizó del 07 al 12 de diciembre, poniendo énfasis en la identificación de procesos geológicos detonados por el sismo (e.g. fallas geológicas, grietas, procesos de movimientos en masa, licuefacción de suelos, etc.).

El presente informe contiene información geológica de campo pre y post sismo, así como, textos de boletines técnicos, mapas, topografía e imágenes satelitales. Asimismo, se contrastaron los daños en infraestructura (viviendas y obras de ingeniería) con el contexto geológico de la zona. Finalmente, emitimos conclusiones y recomendaciones que los gobiernos locales, provinciales e instituciones inmersas en el tema de desastres y prevención deberán tener en cuenta para la gestión adecuada del territorio.

2.0 PARÁMETROS DEL SISMO

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con los datos obtenidos a través de su Red Sísmica determinó los siguientes parámetros del evento sísmico (Fuente: USGS).

- Día : 01 de diciembre de 2016
- Tiempo Origen : 21h 58m 58seg. (Hora Local).
- Latitud Sur : -15.294°
- Longitud Oeste : -70.823°
- Profundidad : 10 km ± 1.7 km
- Magnitud : 6.2 Mw
- Intensidad : VI (MMI) Ocuvi.
V (MMI) Vila Vila, Palca, Condorama, Paratia, Ocoruro.
IV (MMI) Puno, Arequipa.
III (MMI) Cusco, Tacna, Abancay.

Observaciones de campo y cartografiado post sismo, sugieren que el mismo está relacionado a la reactivación del segmento de falla geológica Parina que forma parte del Sistema de Fallas Ocuvi-Orduña, cuya evidencia es el desplazamiento o ruptura superficial (salto de falla) encontrado a lo largo de su traza.

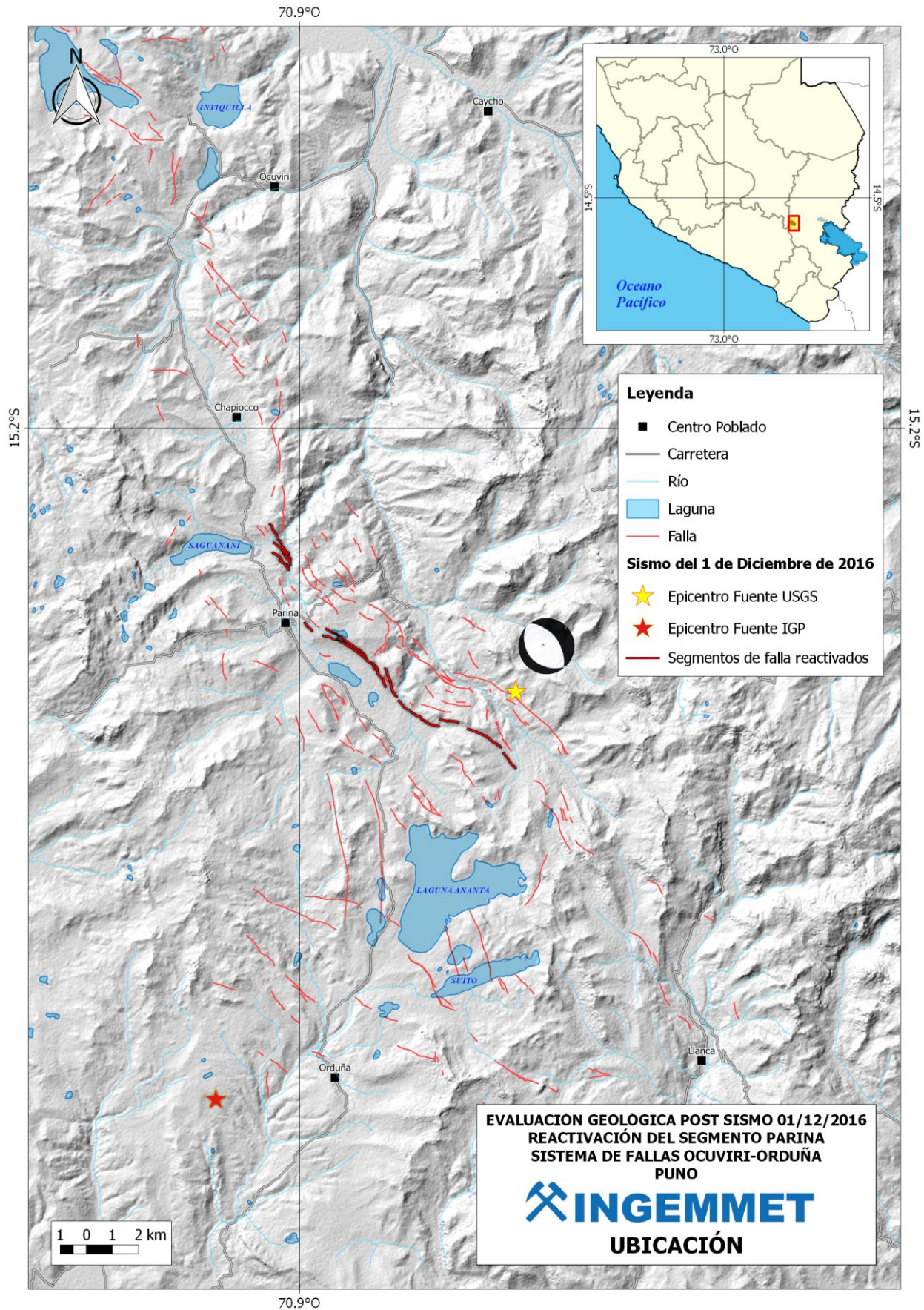


Figura 01: Ubicación del sismo del 01 de diciembre del 2016.

3.0 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

La zona evaluada corresponde a un sector del Altiplano en el sur de Perú, que es una planicie con superficie relativamente ondulada debido a la erosión por actividad glacial, razón por la que se observan morrenas y depósitos fluvioglaciares. Este se ubica a alrededor de los 4600msnm. En cuanto a su estratigrafía, tomando como referencia los trabajos de Sanchez y Zapata (2003) de la Dirección de geología Regional de INGEMMET, las unidades geológicas que afloran en el área están agrupadas en areniscas cuarzosas del Paleozoico en el extremo noreste junto a rocas del Cretácico e intrusivos; calizas del cretácico afloran al sur oeste del centro poblado Orduña; flujos andesíticos del Paleógeno al norte de los centros poblados Condorama, Chapioco, Ocuvi, Caycho y al oeste del centro poblado Chivay; aglomerados volcánicos e ignimbritas del Neógeno-Mioceno se hallan al sur de los centros poblados antes mencionados, conglomerados polimícticos del Neógeno-Plioceno se hallan al extremo noroeste; en cuanto a las rocas volcánicas se tienen, riolitas al sur este de Condorama y dacitas al sur oeste de Parina, al este de Orduña y al este de Llanca; un pórfido andesítico al norte de Palca; finalmente se hallan depósitos cuaternarios morrénicos, fluvioglaciares y aluviales que es donde se asientan la mayoría de los centros poblados de la región (figura 02).

Evaluación geológica post sismo del 01 de diciembre de 2016:
 Reactivación del segmento Parina, sistema de fallas Ocuvi-Orduña

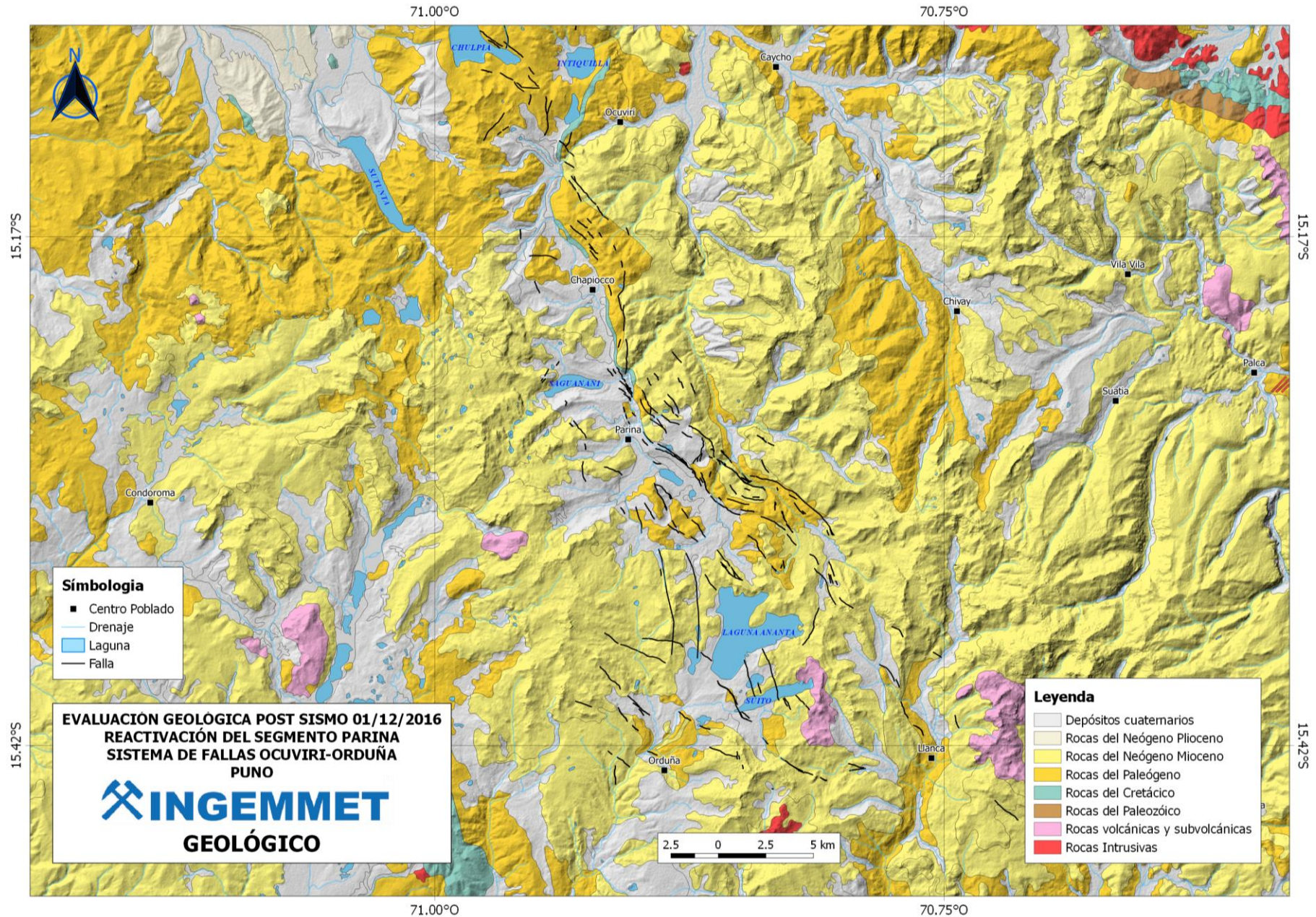


Figura 02: Mapa geológico de la zona evaluada. Tomado de Sanchez, A. y Zapata, A. (2003).

4.0 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA – ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS OCUVIRI-ORDUÑA

El sistema de fallas Ocuvi-Orduña es un control estructural NO-SE de aproximadamente 45 km de longitud, conformado por fallas geológicas normales que buzanan al suroeste, cortando rocas volcánicas, morrenas, depósitos fluvio-glaciares y aluviales (figura 04).

SEGMENTO PARINA

Es el segmento que se reactivó el 01 de diciembre de 2016; según la evidencia encontrada en campo tiene 14 kilómetros longitud (figura 03) y una dirección promedio N125°. Su cinemática es de tipo normal buzando al suroeste, afectando principalmente depósitos morrénicos, los mismos que guardan el registro de reactivaciones recientes.

Hacia el noroeste, cerca de la represa Saguanani, presenta una dirección N110°, donde presenta un escarpe principal de 25m cortando una morrena; en el fondo de valle limitando bofedales se tiene un escarpe de 1m. y hacia la margen derecha del río Saguanani se observan otros segmentos con escarpes de hasta 10m, los mismos que también cortan morrenas. Asociados a la actividad de la falla también se encontraron facetas triangulares y sagponds. En su parte central el segmento de falla tiene una dirección N130°, aquí también corta depósitos morrénicos y a la laguna Llampuna. En la margen izquierda de la quebrada Llachucane se encontró un escarpe de 8m, en la margen derecha un escarpe de 12m donde marca el límite entre los depósitos morrénicos y la zona de bofedal. Hacia el sureste presenta una dirección N155° y afecta depósitos volcánicos de los Grupos Tacaza y Sillapaca. Se encontró un escarpe de 2m y sagponds asociados.

La ruptura superficial primaria y otras evidencias geológicas permiten afirmar que el sismo del 01 de diciembre no es la máxima magnitud posible que esta falla puede generar, sino que puede generar sismos mayores a 6.5 Mw. Trabajos detallados en fallas geológicas activas realizados por el INGEMMET en las regiones de Cusco y Arequipa (Benavente *et al.*, 2013 y 2016) muestran la metodología (Anexo 1) que permite generar escenarios de peligrosidad sísmica con relación a la atenuación de la aceleración teniendo en cuenta la fuente sismogénica (Falla geológica) a partir de la magnitud (máxima posible o registrada), cinemática, geometría de la falla, propiedades litológicas de la zona y otros datos directos obtenidos en campo.

La figura 04 muestra el mapa de atenuación de la aceleración que representa el peligro sísmico, en donde según la escala de colores las tonalidades rojas muestran las aceleraciones máximas y las azules la atenuación de la aceleración. Se observa que la zona de mayor aceleración se ubica adyacente al segmento reactivado, que es coherente al reconocimiento post sismo en donde las localidades más afectadas fueron Parina y Quillisani, las más próximas a la falla y por ende con mayores daños que el resto.

La figura 05 muestra un interferograma, que se obtuvo a partir de procesar imágenes obtenidas por el satélite Sentinel 1 mediante el método de Interferometría Radar InSAR (SAR – Radar de Apertura Sintética) que es una técnica geodésica muy usada para el estudio de la deformación co-sísmica, post-sísmica e Inter-sísmica. Ésta técnica, basada en la utilización de imágenes satelitales radar, puede producir mapas densos de los desplazamientos del suelo sobre grandes áreas con una precisión milimétrica (Gonzales, K. *et al.*, 2009). Este interferograma muestra el terreno deformado debido a la reactivación del segmento Parina.

Evaluación geológica post sismo del 01 de diciembre de 2016:
 Reactivación del segmento Parina-sistema de fallas Ocuvi-Orduña

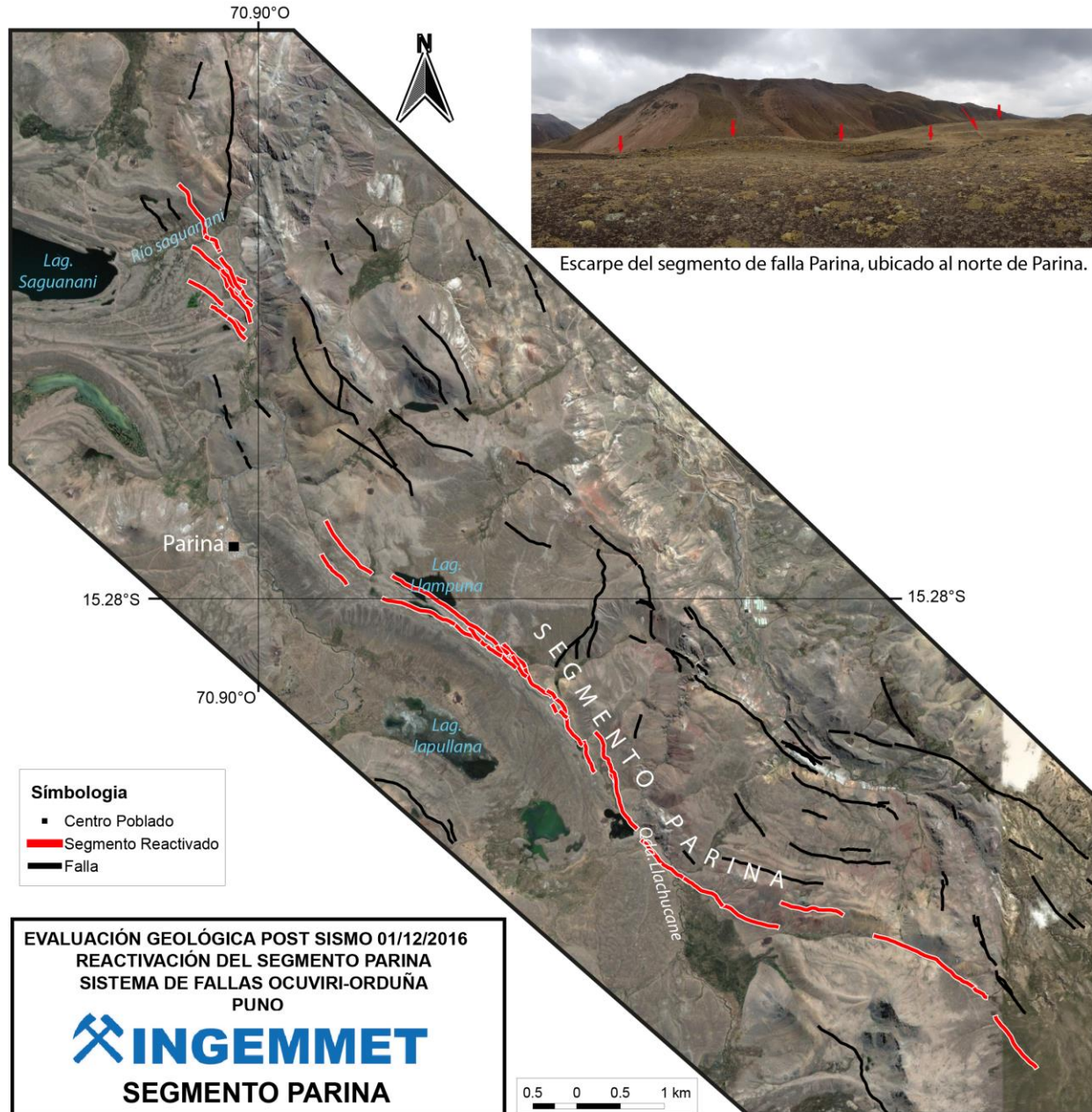


Figura 03. Segmento de falla Parina. La línea gruesa de color rojo con bordes blanco, es el segmento reactivado que generó el sismo del 01 de diciembre.

Evaluación geológica post sismo del 01 de diciembre de 2016:
 Reactivación del segmento Parina-sistema de fallas Ocuvirí-Orduña

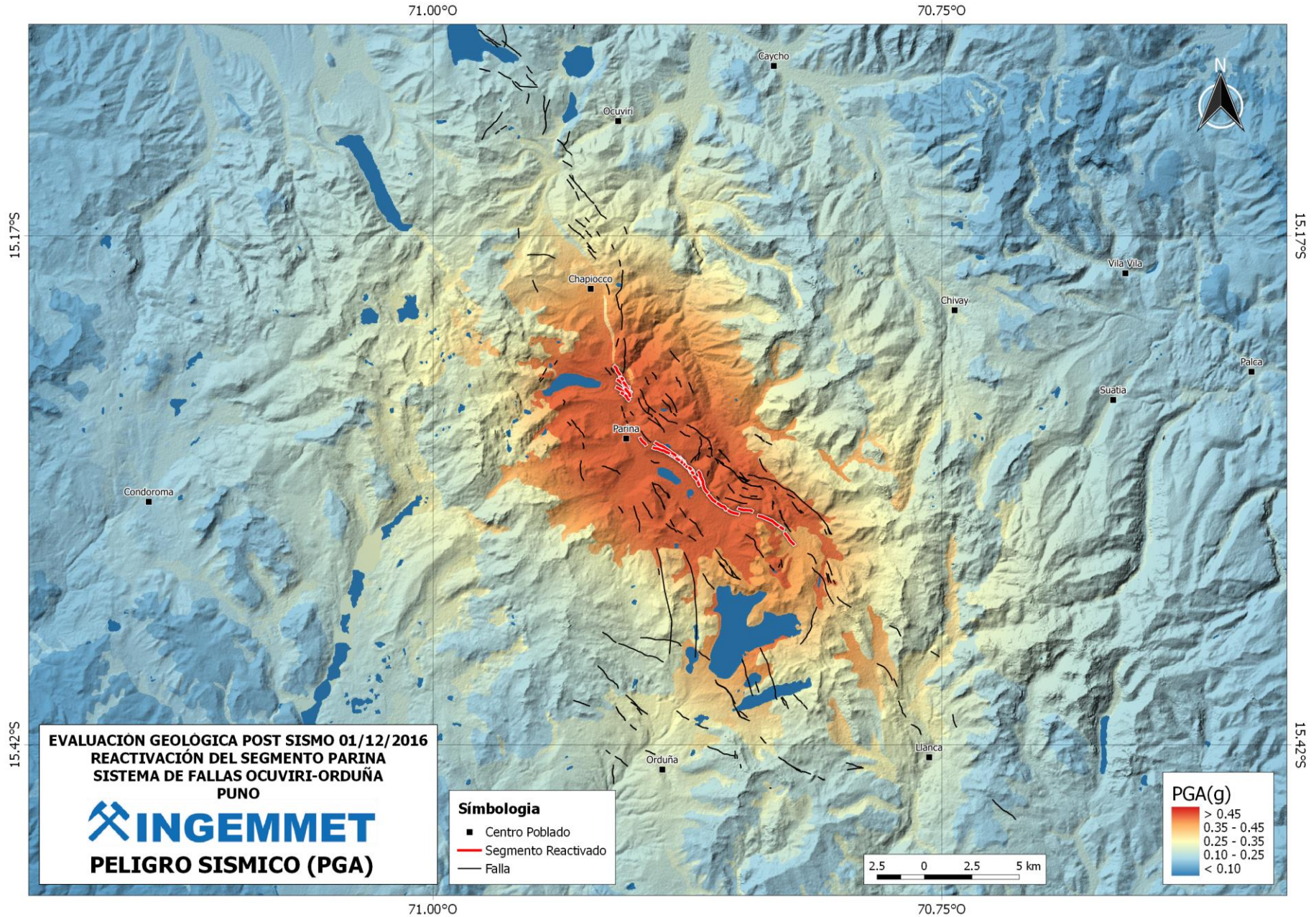


Figura 04: Mapa de aceleración sísmica. En línea roja se observa el segmento reactivado que originó el sismo del 01 de diciembre de 2016.

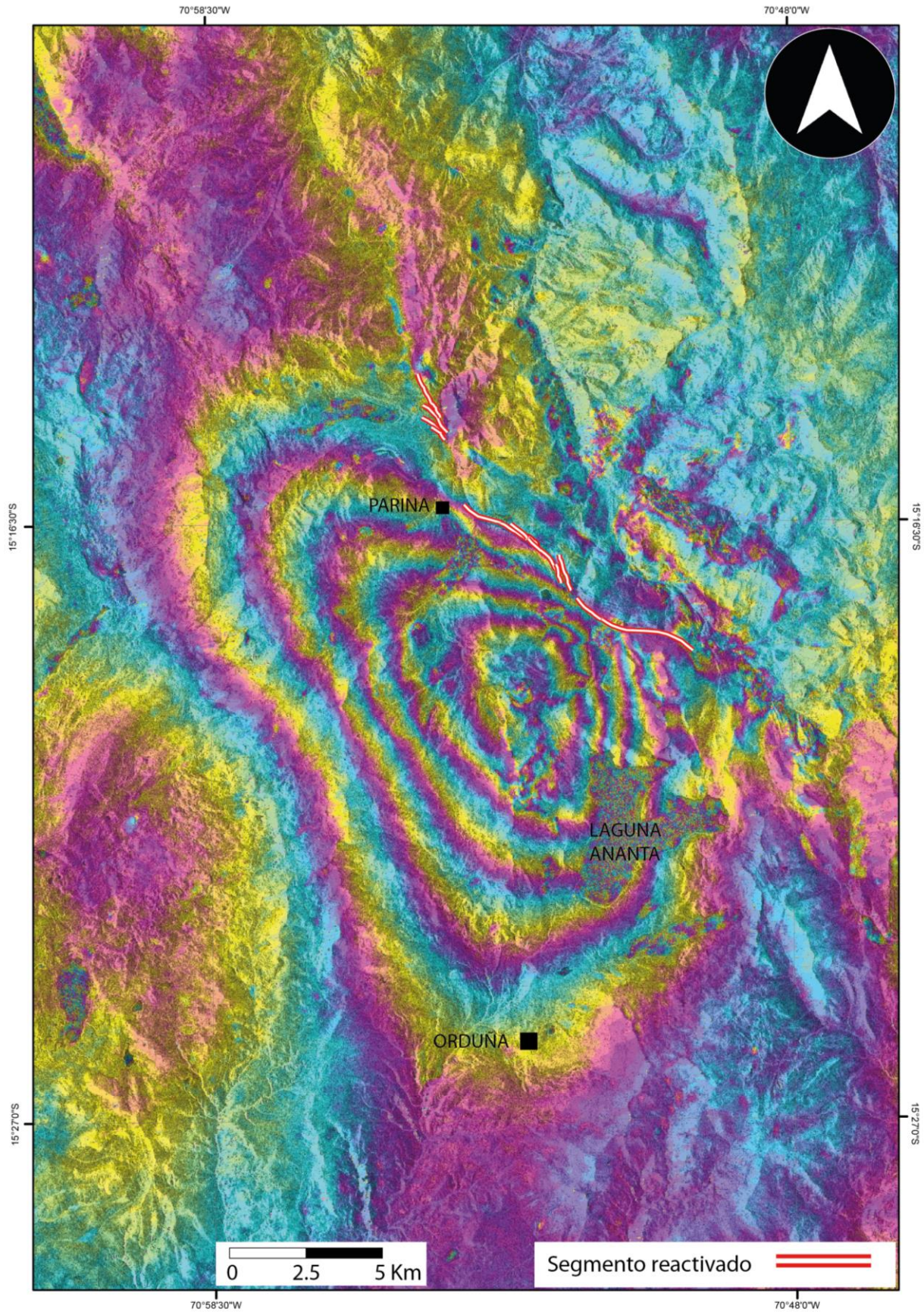


Figura 05. Imagen INSAR proporcionada por el área de teledetección del Ingemmet, donde muestra la deformación cosísmica generada por el sismo del 01 de diciembre.

5.0 EFECTOS COSÍSMICOS

Los terremotos, además del movimiento vibratorio característico, pueden producir una serie de efectos inducidos y simultáneos al instante de ocurrir el terremoto (efectos cosísmicos), que pueden ser geológicos como los fenómenos de movimientos en masa, licuefacción de suelos y la característica ruptura superficial o escarpe de falla; o los producidos directamente sobre la fábrica de las construcciones como grietas, subsidencias y caídas. (ver figura 06).

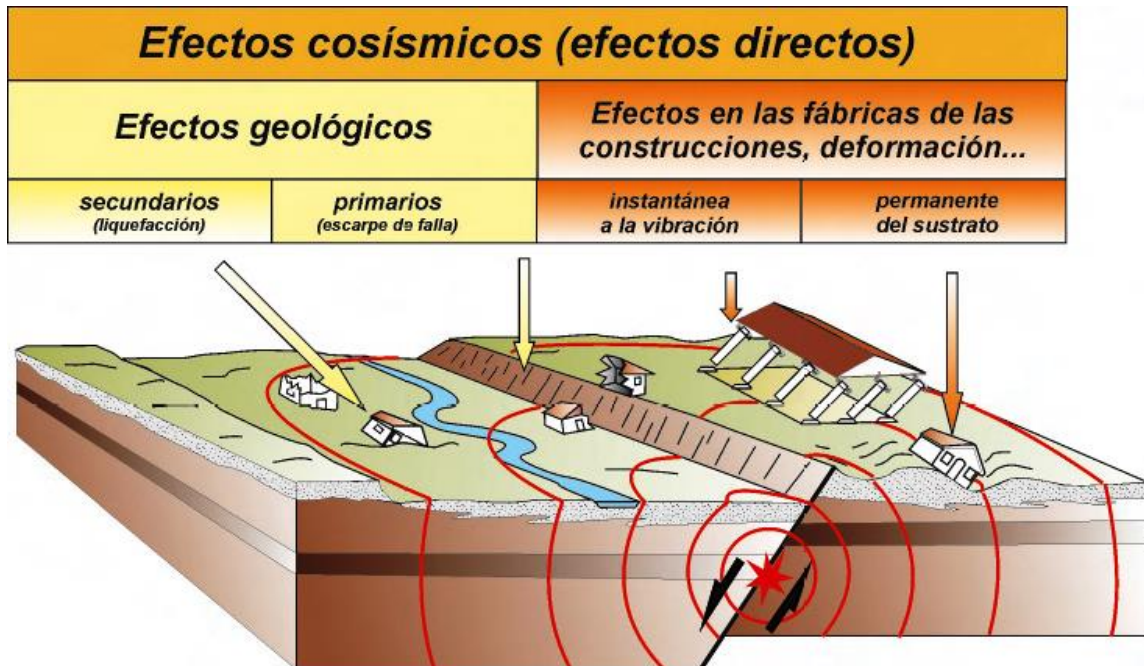


Figura 06: Diagrama de distribución de efectos cosísmicos (efectos directos). (Tomado de Rodríguez-Pascua et al., 2011)

5.1 Efectos Geológicos

Vienen a ser los efectos producidos en el terreno:

- **Efecto primario:** Escarpe de falla (ruptura superficial)
- **Efecto secundario:** Procesos de licuefacción de suelos
- **Otros efectos:** Procesos de movimientos en masa (deslizamiento, derrumbes, caída de rocas, etc.) y las grietas en el terreno que se generaron con el movimiento sísmico.

La metodología de análisis aplicables a estos efectos son las técnicas clásicas de la geología teniendo en cuenta una vista pre y post sismo.

Efecto primario: Como efecto primario, generado por la reactivación del segmento de falla Parina, se tiene un desnivel o ruptura superficial de máximo 30 cm y aberturas de 15cm, a lo largo de 14 km que viene a ser la longitud total del segmento reactivado. (figuras 07, 08, 09).

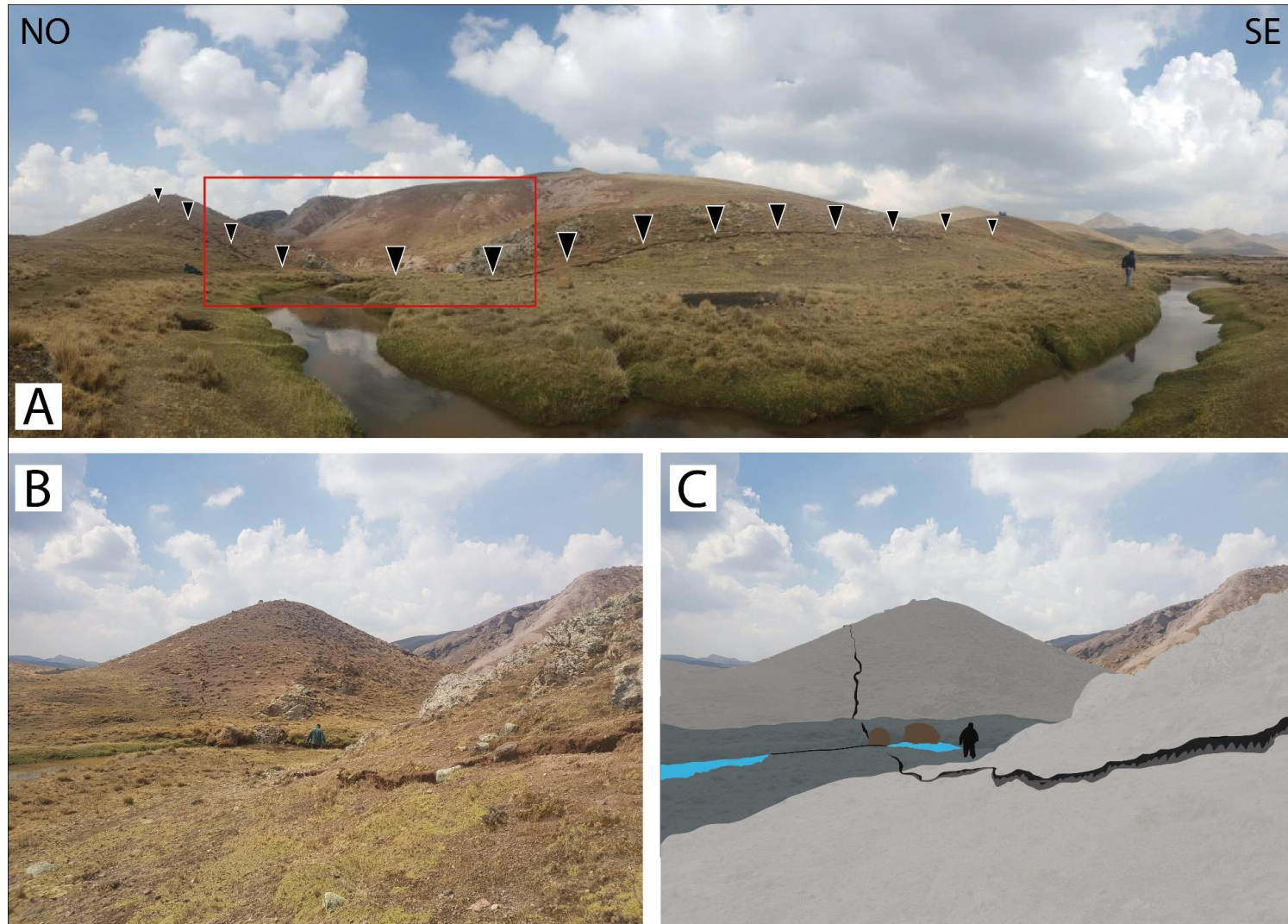


Figura 07. A) Evidencia de ruptura superficial en el sistema de fallas Ocuvi-Orduña, asociado al sismo de 6.3 Mw (USGS) del 01 de diciembre. B) Foto de detalle de la ruptura de falla. C) Interpretación de la foto B, mostrando un escarpe de falla de hasta 30 cm.



Figura 08. Ruptura superficial asociada al sismo del 01 de diciembre, se pudo evidenciar una ruptura máxima de 30 cm.

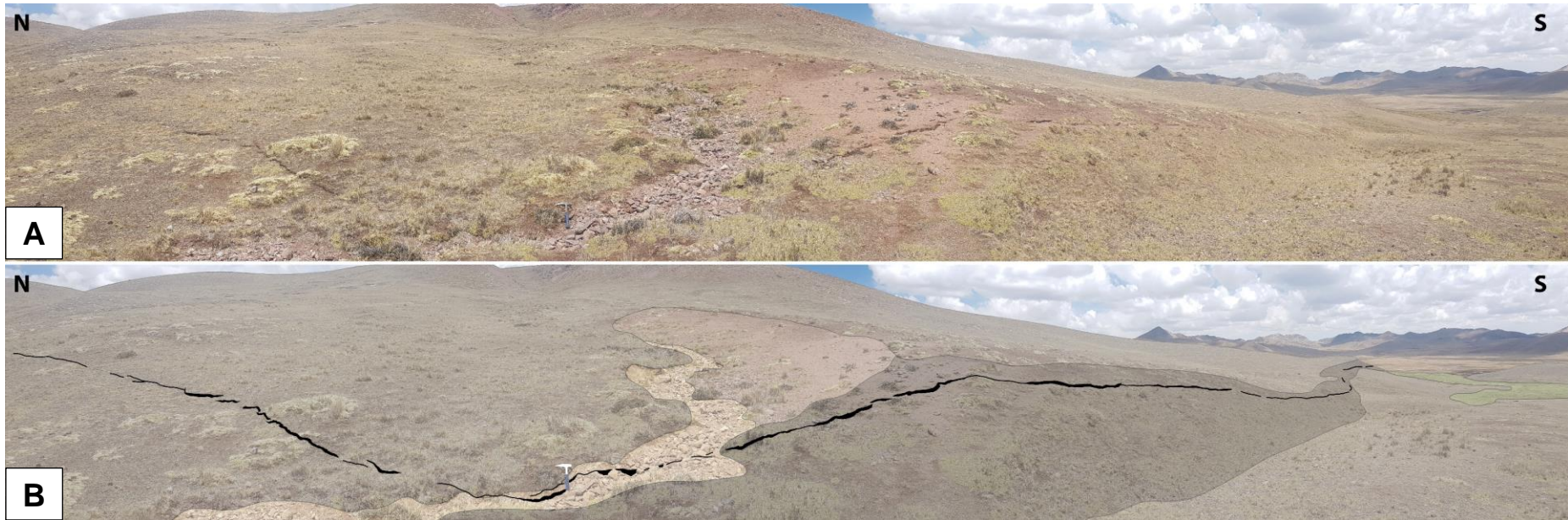


Figura 09. A) Foto de detalle de la ruptura de falla. B) Interpretación de la foto A, mostrando un escarpe de falla que afecta un pequeño drenaje.

Efecto secundario: Como efecto secundario se tienen los procesos de licuefacción de suelos, algunos de estos se ubican paralelos a segmentos de falla y otros se ubican en zonas alejadas, pero sobre depósitos inconsolidados y con evidencias del nivel freático muy superficial (figura 10).

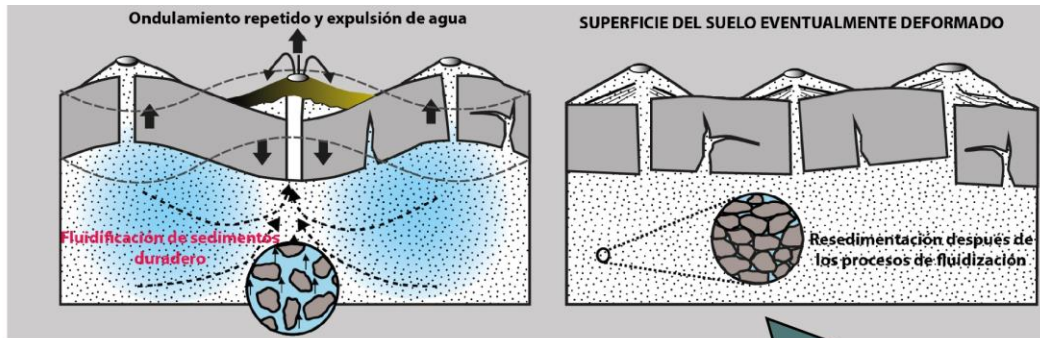


Figura 10. Detalle de volcancos de arena formados adyacentes a lagunas, en la parte superior una explicación de su origen tomado de Rodríguez Pascua et al., 2015.

Otros efectos: entre los cuales destaca el de Jatun Ayllu, que es un derrumbe (caída de rocas) de aproximadamente 10000m^3 generando un dique de 15m de ancho que represó el río del mismo nombre (foto 01, 02) dando lugar a un espejo de agua de 250m^2 . Dejando en alerta poblados que se encuentran aguas abajo.



Foto 01: Derrumbe (Caída de rocas) represando el río Jatun Ayllu, las flechas rojas indican la zona de desprendimiento o arranque.

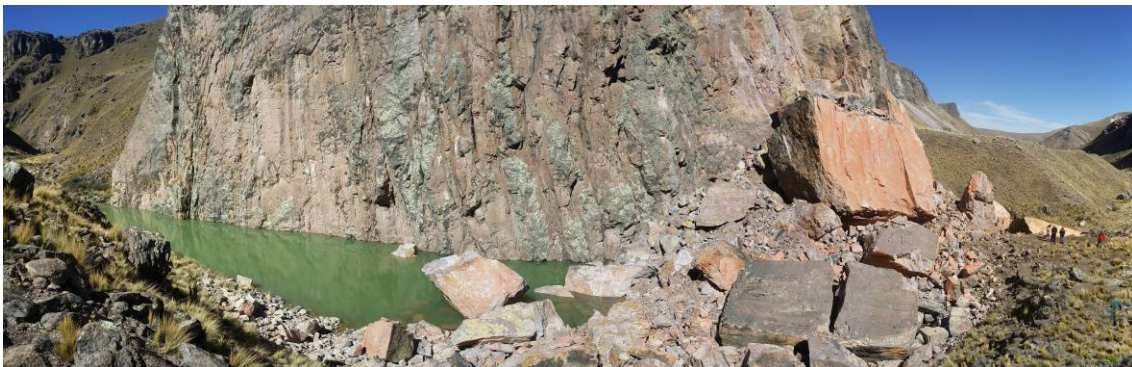


Foto 02. Represamiento formado por el derrumbe del 01 de diciembre.

FRACTURAS Y GRIETAS: que afectan vías de comunicación (carreteras y trochas carrozables) y algunos terrenos de cultivo (foto 03) en zonas muy cercanas a los segmentos reactivados. También debido al movimiento vibratorio continuo producido por las ondas sísmicas se observó bloques movidos y en algunos casos volteados (foto 04), estos se ubican en su mayoría cerca al segmento reactivado.



Foto 03: Grietas en el terreno y carretera generadas por el sismo del 01 de diciembre, llegando a presentar abertura de hasta 10cm.

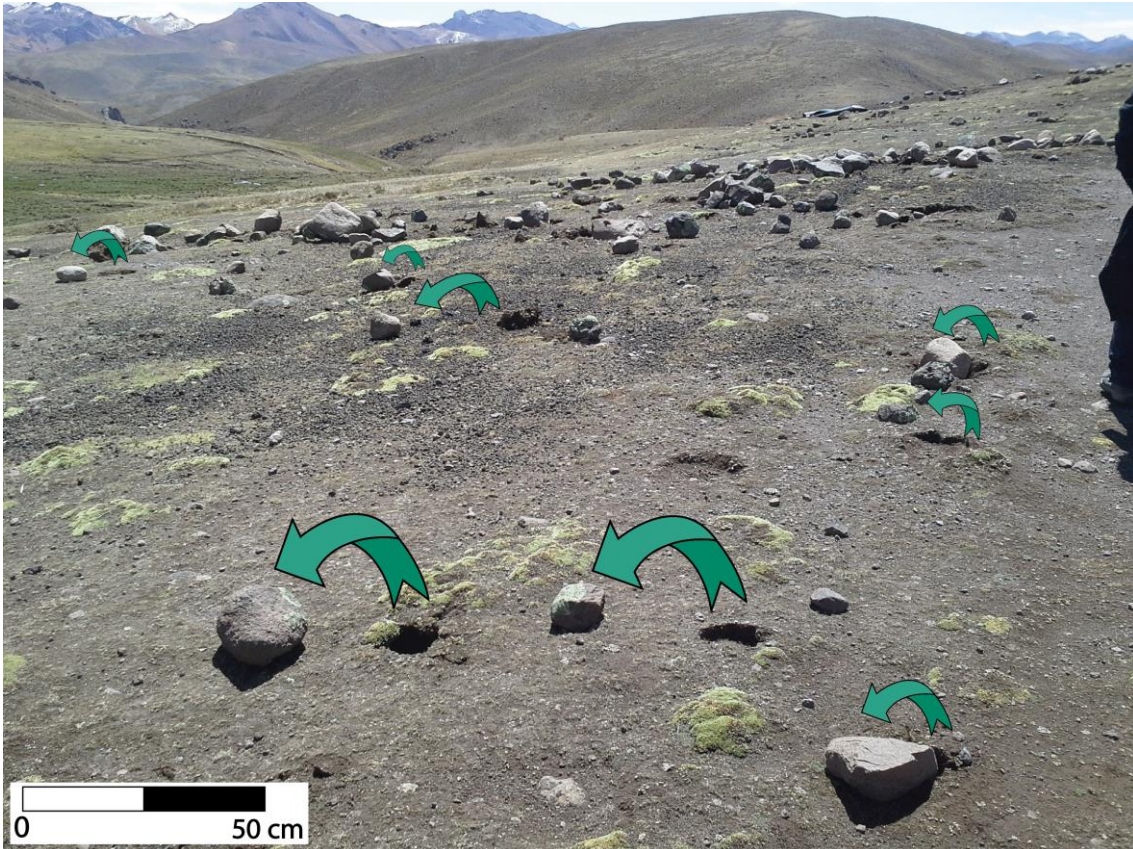


Foto 04: Bloques de roca individuales movidos, en algunos casos volteados, por la vibración del terreno frente a las ondas sísmicas.

5.2. Efectos en las construcciones (Localidades afectadas)

Estos efectos son los daños generados en las edificaciones e infraestructura por efecto del paso de las ondas sísmicas (figura 11). Se producen como respuesta frágil a la deformación elástica del sustrato; fracturas que corresponde a las deformaciones instantáneas a la vibración producida por el terremoto (figuras 12 y 13): fracturas penetrativas y fracturas conjugadas.

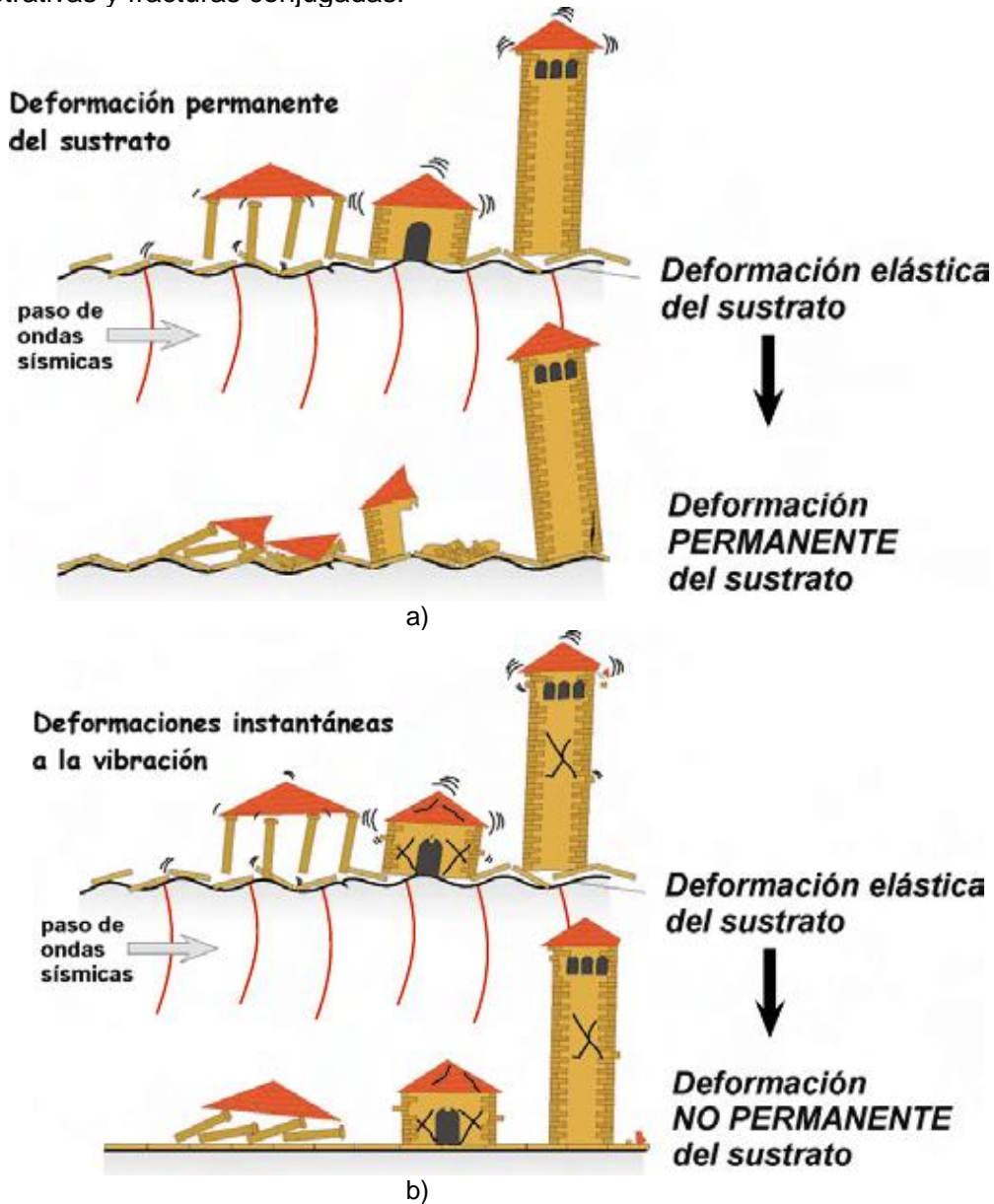


Figura 11: Momento de deformación de infraestructura y sustrato. a) Paso de las ondas sísmicas, afecta las edificaciones debido a la deformación elástica del sustrato (suelo), pero debido al tipo de suelo este puede quedar deformado permanentemente, pueden observarse en el terreno vasculamientos, plegamientos, fracturas y grietas. b) Paso de las ondas sísmicas, afecta las edificaciones debido a la deformación elástica del sustrato (suelo), pero debido al tipo de suelo este no sufre ninguna deformación permanentemente, solo se puede observar en las edificaciones agrietamientos y/o deformaciones debido a la dirección de las ondas sísmicas. (Tomado de Giner-Robles *et al.*, 2011)

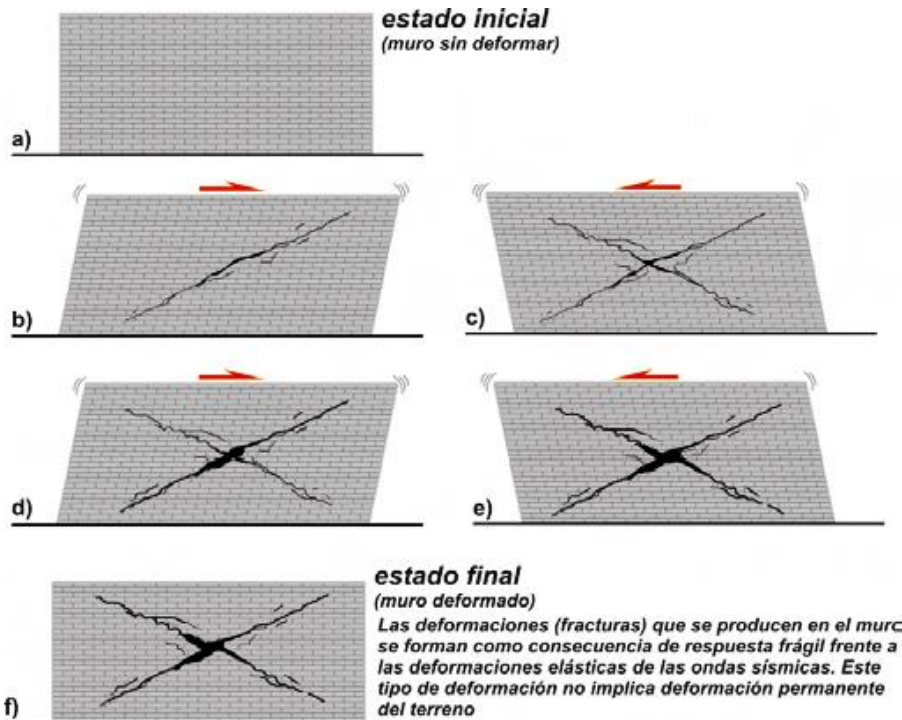


Figura 12: Fracturación en un muro por movimientos sísmicos de carácter cíclico y paralelos al mismo. Suelen aparecer con mucha frecuencia en muros de ladrillo. Se producen fisuras en cada uno de los ciclos, provocando fracturas conjugadas (en forma de cruz o aspa) que suelen aparecer con un ángulo de 45°. Este tipo de deformaciones son producidas por las ondas sísmicas y no implican la deformación permanente del terreno; son el resultado del comportamiento frágil del muro frente a las deformaciones elásticas inducidas por las ondas sísmicas. (Tomado de Giner-Robles et al., 2011)

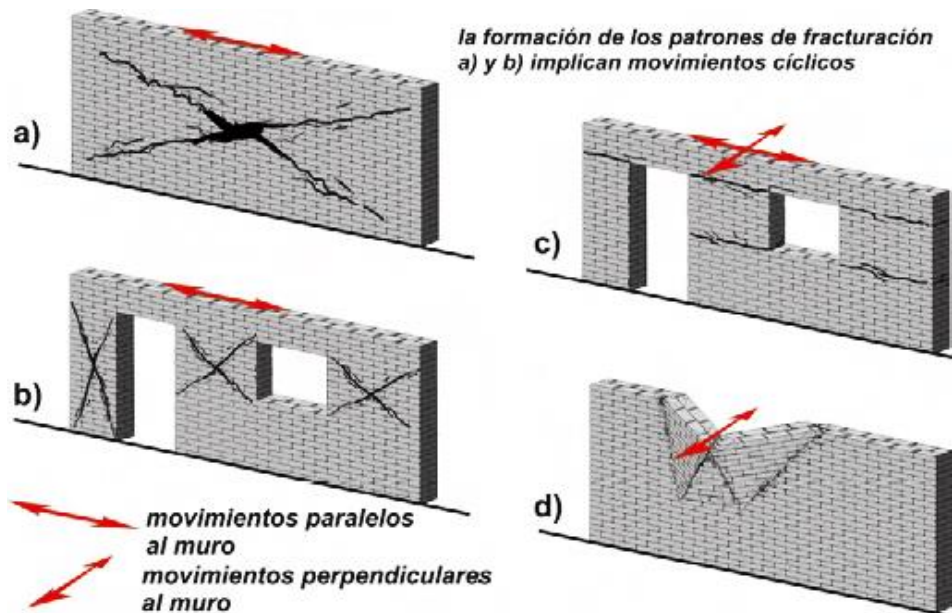


Figura 13: Patrones de fracturación de un muro inducidos por cargas horizontales. Los dos primeros (a y b) se forman por movimientos cíclicos paralelos a la traza del muro (fracturas conjugadas) (ver figura 7.24). Los patrones de fracturación del caso (d) se forman por movimientos perpendiculares al muro. En el caso del patrón de fisuración (c) puede estar producido tanto por movimientos perpendiculares como paralelos al muro. No obstante, en terremotos instrumentales este último tipo de fracturación suele indicar un movimiento perpendicular a la estructura muraria. (Tomado de Giner-Robles et al., 2011)

LOCALIDADES AFECTADAS

Debido al sismo generado por la reactivación del segmento Parina, muchas de las poblaciones ubicadas en la provincia de Lampa fueron afectadas con la destrucción de infraestructura y muerte de una persona.

De la totalidad de viviendas empadronadas en la provincia de Lampa, 1935 viviendas sufrieron daños y fueron catalogadas en tres tipos de viviendas (Indeci, 2016) [figura 14]:

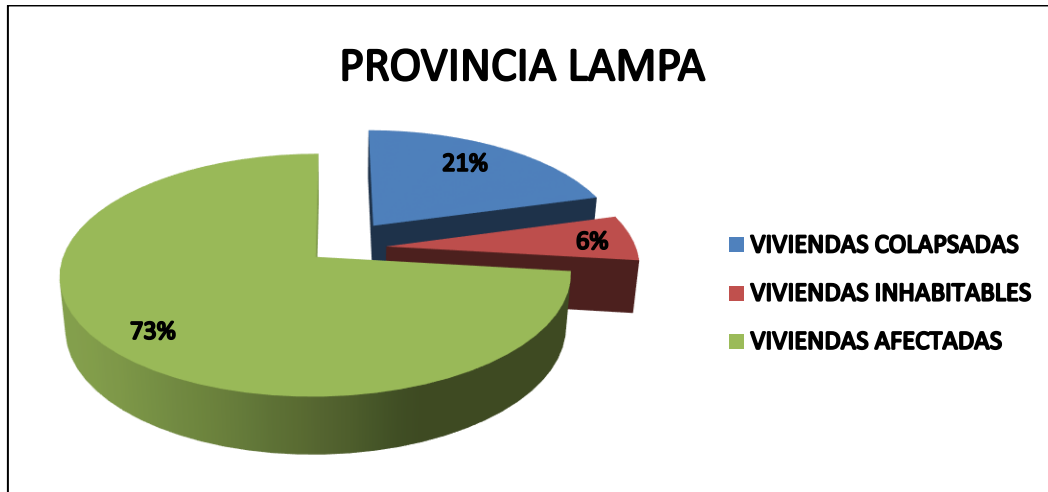


Figura 14. Distribución de las viviendas que sufrieron daños en la provincia de Lampa.

- **Viviendas afectadas:** Presentan fisuras superficiales y poco importantes en las paredes, dichas viviendas no ponen en riesgo la integridad física de las personas, por tanto, pueden ser reparadas y seguir siendo habitadas. Se identificaron 1415 en la provincia de Lampa (INDECI, 2016).
- **Viviendas inhabitables:** Presentan grietas y/o daños de consideración en paredes y techos, por lo que no pueden ser habitadas al presentar riesgo de colapso. De este tipo se identificaron 120 en la provincia de Lampa (INDECI, 2016).
- **Viviendas colapsadas:** Techos y paredes colapsados debido al movimiento sísmico, evidentemente no pueden ser habitadas. Se identificaron 400 en la provincia de Lampa (INDECI, 2016), en su mayoría situadas en el distrito Ocuvi (figura 15).

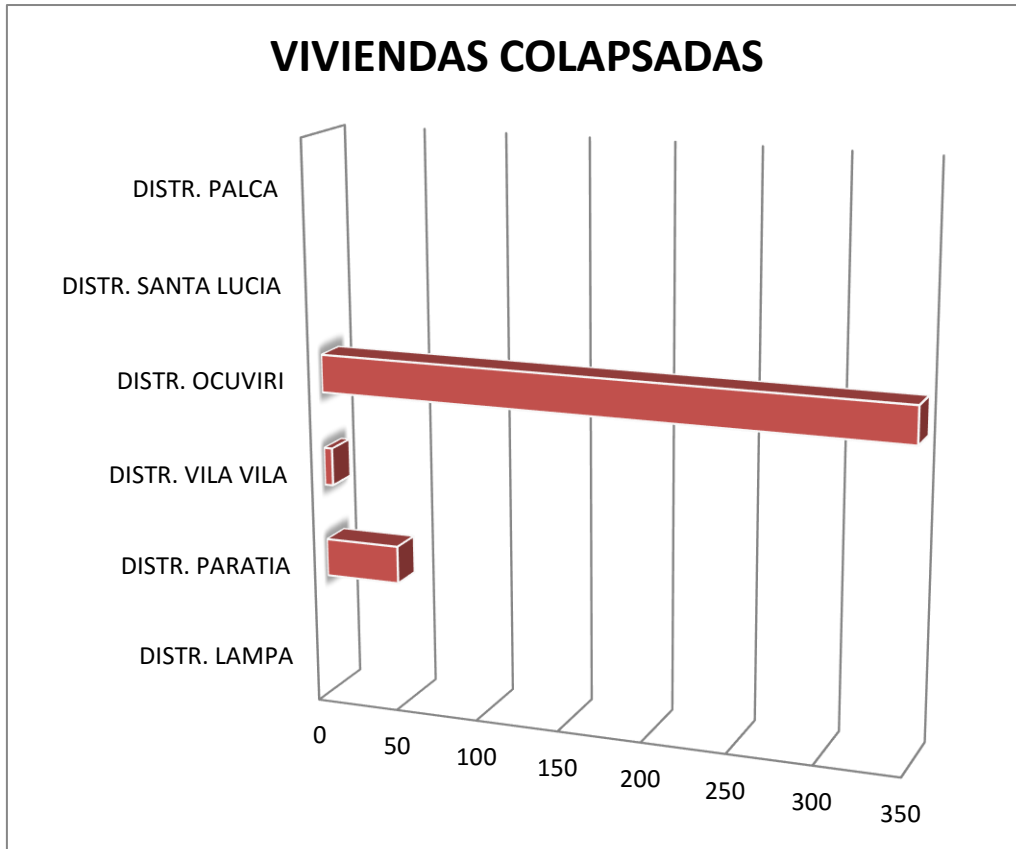


Figura 15. Distribución de viviendas colapsadas por distritos en la provincia de Lampa, donde se observa que Ocuvi presenta mayores daños, datos tomados de INDECI, 2016.

DESCRIPCIÓN DE DAÑOS EN EL DISTRITO OCUVIRI

Ocuvi es uno de los distritos más afectados por el sismo del 01 de diciembre, ya que sus centros poblados o asentamientos dispersos, en su mayoría son casas construidas con adobe, emplazadas sobre depósitos fluvio-glaciares, aluviales y coluviales.

Los daños ocasionados por la reactivación del segmento Parina fueron: viviendas colapsadas, deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas, agrietamientos en el terreno y procesos de licuefacción, todos debido a la relación amplificación de onda, tipo de suelo y tipo de construcción (fotos 05 y 06).

Las localidades que registraron más daños fueron Parina, Quillisani, entre otros, debido a su cercanía al segmento de falla reactivado (figura 03).

Haciendo un resumen de los saldos en daño (INDECI, 2016) se tiene:

- **Vida y salud:**
 - Personas Damnificadas : 350
 - Personas afectadas : 363
 - Personas fallecidas : 1 (niña 5 años, Poblado Quillisani)
 - Personas heridas : 18

- **Viviendas y locales públicos:**
 - Viviendas colapsadas : 350
 - Viviendas inhabitables : ----
 - Viviendas afectadas : 363
 - II.EE. afectadas : 3

- **Transporte**
 - Carreteras afectadas (Km) : 0.20

- **Infraestructura**
 - Represa : 1



Foto 05: Daños en viviendas, la mayoría de viviendas se encuentran agrietadas. Poblado Parina.



Foto 06: Vivienda colapsada por efecto de la amplificación de ondas sísmicas, el suelo y el tipo de construcción.

ACCIONES A TOMAR:

- Para la reconstrucción de las viviendas afectadas se debe movilizar a las familias afectadas a zonas de **reubicación temporal** mientras se reconstruyen sus viviendas. La determinación del lugar definitivo **dependerá del saneamiento legal de los mismos** y los estudios de suelos, con fines de cimentación, a realizar.
- Se recomienda la demolición total de las viviendas dañadas, luego de realizada la reubicación.
- El diseño de las nuevas viviendas, debe considerar drenaje para las aguas pluviales y también para las filtraciones que se pudieran dar.
- Debido a la alta sismicidad por fallas activas se recomienda viviendas de dos pisos como máximo con techo aligerado a dos aguas y material noble. Si se trabaja con adobe, diseñar los refuerzos y/o amarres correspondientes y columnas en cantidad y ubicación suficientes para su resistencia a los sismos; se tienen ejemplos en Parina y todo el distrito Ocuvi de viviendas que no sufrieron daños (fotos 07 y 08).



Foto 07: Construcción de un piso de material noble que no sufrió daños por efecto del sismo, nótese la vivienda de adobe con los muros colapsados.



Foto 08: Vivienda de un piso de material noble, las paredes y ventanas no sufrieron daño.

Dentro de la infraestructura afectada se encuentra la represa Saguanani; se trata de una represa de piedra (mezcla de enrocado y concreto), que luego del sismo del 01 de diciembre presentó grietas en el flanco izquierdo del dique, producto de la vibración generada por las ondas sísmicas. Estas generaron el reacomodo de las partículas y por acción del peso del dique este descendió unos centímetros. Las grietas presentan una abertura de hasta 2.5 cm y un desnivel de 2 cm (fotos 09, 10).



Foto 09. Grieta en la margen izquierda del dique de la represa Saguanani con presencia de grietas, por efecto del sismo ocurrido el 01 de diciembre.



Foto 10. Detalle de la abertura y desnivel producto del asentamiento del dique en la margen izquierda.

5.3 FACTORES GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

El último sismo indica que sismos originados por activación de fallas activas, provocan considerable destrucción en áreas con viviendas mal construidas y/o mal diseñadas. Los sismos de los últimos dos años como los de Nepal, Italia y Tanzania, así como Misca en Cusco y Yanque en Arequipa, advierten que en las evaluaciones de peligrosidad se debe tomar en cuenta los sismos provocados por fallas activas.

En la evaluación post-sismo, se vio que los daños principalmente se relacionan a:

- a) Antigüedad y pésima calidad de construcción de las edificaciones que se ven a lo largo del distrito de Ocuvi (elaboradas en adobe), mismas que no cuentan con un diseño sismo-resistente;
- b) El tipo suelo sobre el que se construyeron las viviendas, que se constituye en su mayoría de depósitos fluvioglaciares, coluviales y morrenas, en estado poco o nada consolidado, con nivel freático muy superficial, evidenciado por la presencia de manantes, define una zona de características geotécnicas incompetentes frente a un evento sísmico, ya que permiten la amplificación de las ondas sísmicas retrasando su paso por el mismo y consecuente mayor tiempo de vibración del suelo.

Es importante mencionar que, de la localidad de Ocuvi a Orduña se puede observar un número importante de fallas geológicas activas, tanto en la margen derecha como en la izquierda, que dan evidencia de una intensa actividad sísmica en la zona, que por sus características (evidencia de escarpes de más de 20m como es el caso del segmento Parina) se puede afirmar que en esta zona pueden ocurrir eventos sísmicos de hasta 7 Mw de magnitud máxima.

CONCLUSIONES

1. El sismo del 01 de diciembre fue producto de la reactivación del segmento de falla denominado Parina (Sistema de fallas Ocuvi-Orduña) que, por sus características morfológicas, geométricas y cinemáticas, corresponde a una estructura geológica **activa (falla)**, confirmado por el sismo antes mencionado.
2. En la evaluación de campo post-sismo se determinó una ruptura superficial primaria cuyo escarpe mayor tiene 30 cm; también se identificaron procesos de licuefacción de suelos alineados y localizados a lo largo del segmento reactivado.
3. Los efectos co-sísmicos (desprendimientos de rocas, derrumbes, grietas en el terreno y otros) afectaron vías de comunicación (carreteras y caminos vecinales), terrenos de cultivo y viviendas. Cabe resaltar el derrumbe (caídas de rocas) que represó el río Jatun Ayllu.
4. Parina y Quillisani son los poblados más afectados, debido a que el segmento reactivado y el epicentro del sismo se encuentran muy cerca a estas poblaciones.
5. Los suelos en el área evaluada corresponden en su mayoría a depósitos no consolidados; con características geotécnicas incompetentes que amplifican las ondas sísmicas (ocasionan una mayor vibración de la superficie y reacomodo de partículas) originando hundimientos, asentamientos, colapso de viviendas y, en zonas donde la napa freática es superficial, procesos de licuefacción de suelos.
6. Los daños en viviendas se deben principalmente a que no han sido diseñadas y construidas tomando un criterio técnico profesional, sin considerar el tipo de suelo donde se asientan, sumado a la antigüedad de las mismas; características que las hace muy vulnerables frente a sismos. Esto no se ha presentado en viviendas e infraestructura construidas con material noble y siguiendo las normas de construcción pertinentes.

RECOMENDACIONES

1. Para los poblados afectados se recomiendan movilizar a las familias afectadas a zonas de **reubicación temporal**. La determinación del lugar definitivo **dependerá del saneamiento de los mismos**. Las zonas determinadas deberán reunir las mejores condiciones geológicas y seguridad física.
2. Luego de la reubicación temporal, se recomienda la demolición total de las casas dañadas.
3. Se recomienda viviendas de diseño sismo-resistente hasta dos pisos con techo aligerado a dos aguas. Dichas viviendas pueden ser de material noble o adobe, sin embargo, si se trabaja con adobe, se deben diseñar los refuerzos y/o amarres correspondientes, así como columnas en cantidad y ubicación suficientes para su resistencia a los sismos. Se tienen ejemplos en el poblado de Parina y Ocuvi de infraestructura urbana con estas características que no han sufrido daños o fueron poco afectados. Para los diseños de viviendas se recomienda utilizar el manual para la reducción del riesgo Sísmico de Viviendas en el Perú (Kuroiwa, 2016)
4. Para la construcción de obras de infraestructura de mediana a gran envergadura (represas) y urbana, dentro del área de influencia de las fallas activas, se recomienda realizar el análisis sísmico determinístico, que relaciona los eventos sísmicos a fallas activas o potencialmente activas para representar su atenuación en el lugar. De esta manera tendremos el diseño sísmico apropiado.
5. En cuanto a la represa Saguanani, se recomienda hacer limpieza y mantenimiento del dique, y trabajos de reforzamiento del mismo a cargo de personal técnico especializado.
6. Referente al derrumbe en Jatun Ayllu, Se debe iniciar las obras de desembalse del represamiento, para ello se debe realizar un canal que sirva para el desfogue del agua. Este canal debe de ser de geometría recta y ubicada en la margen derecha del río. El desfogue debe ser de manera lenta y avisando a los pobladores para la evacuación respectiva de presentarse cualquier inconveniente.
7. Los centros poblados ubicados aguas abajo del represamiento, deben construir gaviones o enrocados para protegerse de desbordes e inundaciones futuras.
8. Se recomienda estudios de paleosismología y un programa de monitoreo de las principales fallas activas en la región Puno especialmente a lo largo del sistema de fallas Ocuvi-Orduña. Trabajos que deberán ser coordinados con INGEMMET, siendo el Gobierno Regional un aliado importante.

Lima, 29 de diciembre de 2016.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Escarpe de falla:** Forma de relieve resultado de la ruptura superficial que aparece como consecuencia de las reactivaciones de una falla. Es el resultado directo del movimiento de una falla y representa la superficie expuesta del plano de falla antes de su modificación por erosión y meteorización (PMA, 2008).
- **Facetas triangulares:** Es una superficie plana de forma triangular o trapezoidal, con la base mayor hacia abajo, normalmente corresponde al afloramiento de una parte del plano de falla al pie de colinas y montañas.
- **Falla geológica activa:** Se denomina así a aquella estructura tectónica que puede generar terremotos o deformaciones de la superficie. El concepto de falla geológica activa también se define en función de la edad de su última reactivación que debe estar comprendida dentro de los últimos 10 000 años.
- **Licuefacción de suelos:** Es la transformación de un sedimento en estado granular sólido al estado líquido como resultado del aumento en la presión del agua intergranular (de los poros). La causa puede ser el sacudimiento (cíclico) del sedimento por ondas sísmicas. El sedimento así licuado puede ser expulsado hacia arriba, rompiendo en su trayecto los sedimentos suprayacentes y resultando en la extrusión en superficie y la formación de volcanes de arena (PMA, 2008).
- **Neotectónica:** Es una parte de la geología, dedicada al estudio de los movimientos y deformaciones de la corteza terrestre actuales o recientes en el tiempo geológico.
- **Sagponds:** Viene a ser un pequeño cuerpo de agua que ocupa una depresión cerrada o hundimiento, que se forma por efecto del movimiento activo o reciente de una falla generando el entrapamiento del drenaje (USGS).
- **Volcán de arena:** Pequeño montículo de arena producido cuando capas arenosas debajo de la superficie se licuan como resultado de una sacudida sísmica, causando que la arena haga erupción hacia la superficie de la tierra a través de fisuras o túneles de animales en las capas superiores arcillosas (PMA, 2008).

REFERENCIAS

Benavente, C et al. (2016, en revisión) Evolución del relieve, Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

Benavente, C.; Delgado, F.; Taípe, E.; Audin, L & Pari, W. (2013) - Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 55, 245p.

Giner-Robles, J.L.; Silva Barroso, P.G.; Pérez-López, R.; Rodríguez-Pascua, M.A.; Bajardí Azcárate, T.; Garduño-Monroy, V.H. y Lario Gómez, J. (2011). Evaluación del daño sísmico en edificios históricos y yacimientos arqueológicos. Aplicación al estudio del riesgo sísmico. Proyecto EDASI. Serie Investigación. Fundación MAPFRE; 96 p

Gonzales, K., Froger, J.L., Audin, L. y Macedo, O. (2009). Ejemplos de deformación producto de la tectónica extensiva en las zonas de Huambo-Cabanaconde en Arequipa y Calacoa-Huaytire en Moquegua, de los andes centrales vistos por interferometría radar – inSar.Bol. Soc. Geol. Perú 103: 109-124

Indeci, 2016. Movimiento Sísmico en la provincia de Lampa – Puno. Informe de Emergencia N° 871 - 23/12/2016 / COEN - INDECI / 15:00 HORAS (Informe N° 12) 27p.

Kuroiwa, J. (2016). Manual para la reducción del riesgo sísmico de viviendas en el Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Dirección General de Programas y Proyectos en Vivienda y Urbanismo. 110p.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas. 2008. Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 7,320p.

Rodríguez Pascua, M.A; Silva, P.; Pérez-Lopez, R.; Giner-Robles, J.L.; González, F. & Del – Moral, B. (2015) - Polygenetic sand volcanoes: On the features of liquefaction processes generated by a single event (2012 Emilia Romagna 5.9 Mw earthquake, Italy). Quaternary International 357 (2015) 329 – 335.

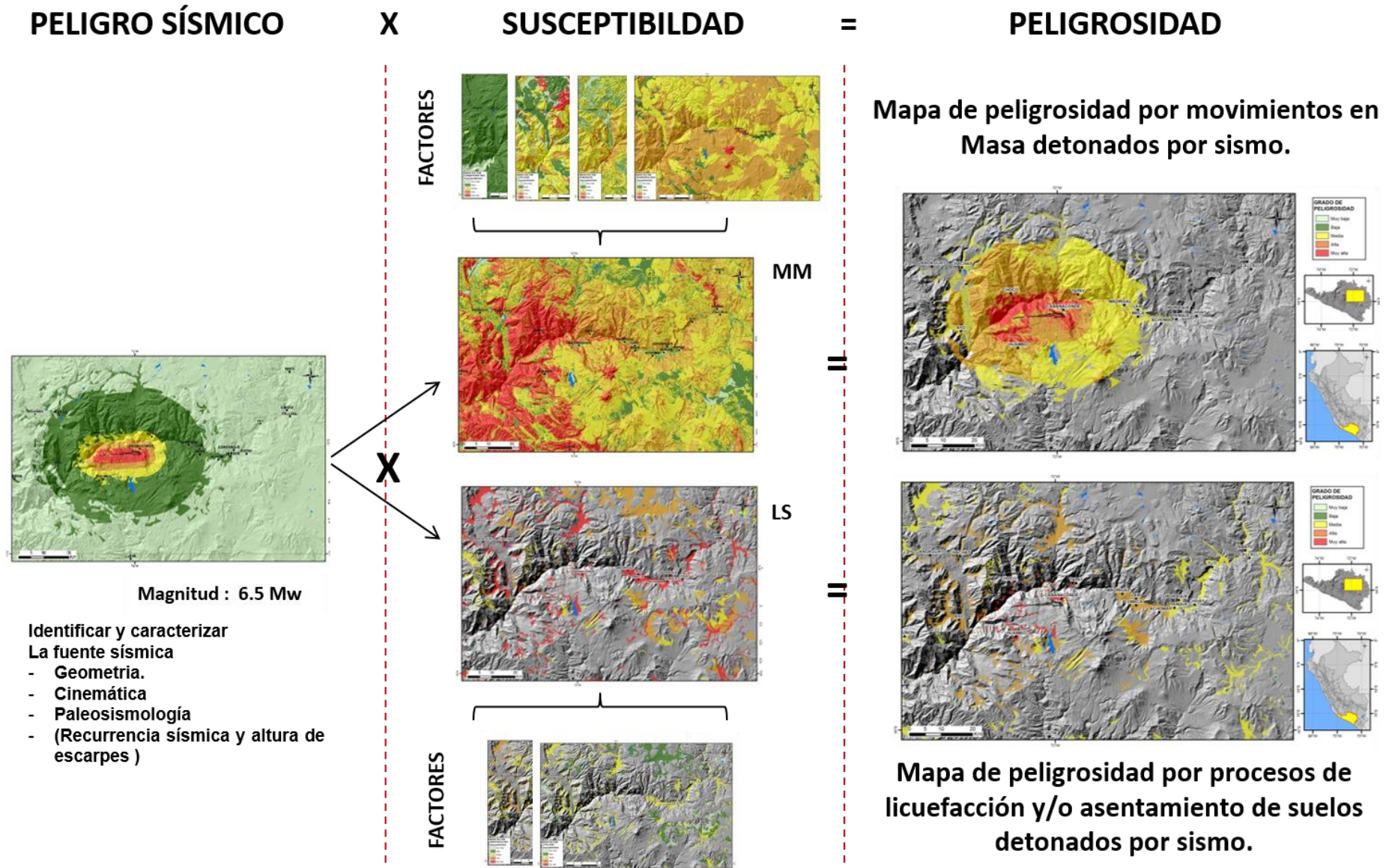
Rodríguez-Pascua, M. A.; Pérez-López, R.; Giner-Robles, J. L.; Silva, P.G.; Garduño-Monroy, V.H. & Reicherter, K. (2011). A Comprehensive Classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in Archaeoseismology: application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. Quaternary International. In press. QUATINT-D-10-00171R2.

Sánchez Fernández, Agapito Wilfredo; Zapata Montes, Alberto Alex (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Sicuani (29-t), Nuñoa (29-u), Macusani (29-v), Limbani (29-x), Sandia (29-y), San Ignacio (29-z), Yauri (30-t), Azángaro (30-v), Putina (30-x), La Rinconada (30-y), Condoroma (31-t), Ocuvi (31-u), Juliaca (31-v), Callalli (32-t) y Acora (32-x). Lima: INGEMMET, 2003. 52 p.

USGS: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us10007e55#executive>
<http://landslides.usgs.gov/learn/glossary.php>

ANEXO 1

MAPAS DE PELIGROSIDAD



Análisis de la peligrosidad

Metodología de la elaboración de mapas de Amenaza (peligrosidad) por movimientos en masa y procesos de licuación de suelos y/o asentamientos detonados por sismo (Benavente *et.al*, 2013, 2016).

LISTADO DE FOTOS Y FIGURAS

FOTOS

- Foto 01: Derrumbe (Caída de rocas) represando el río Jatun Ayllu, las flechas rojas indican la zona de desprendimiento o arranque. pág. 13
- Foto 02. Represamiento formado por el derrumbe del 01 de diciembre. pág. 13
- Foto 03: Grietas en el terreno y carretera generadas por el sismo del 01 de diciembre, llegando a presentar abertura de hasta 10cm. pág. 14
- Foto 04: Bloques de roca individuales movidos, en algunos casos volteados, por la vibración del terreno frente a las ondas sísmicas. pág. 14
- Foto 05: Daños en viviendas, la mayoría de viviendas se encuentran agrietadas. Poblado Parina. pág. 20
- Foto 06: Vivienda colapsada por efecto de la amplificación de ondas sísmicas, el suelo y el tipo de construcción. pág. 20
- Foto 07: Construcción de un piso de material noble que no sufrió daños por efecto del sismo, nótese la vivienda de adobe con los muros colapsados. pág. 21
- Foto 08: Vivienda de un piso de material noble, las paredes y ventanas no sufrieron daño. pág. 22
- Foto 09. Grieta en la margen izquierda del dique de la represa Saguanani con presencia de grietas, por efecto del sismo ocurrido el 01 de diciembre. pág. 23
- Foto 10. Se observa en detalle la abertura y desnivel producto del asentamiento del dique en la margen izquierda. pág. 23

FIGURAS

- Figura 01: Mapa de ubicación del sismo del 01 de diciembre del 2016. pág. 2
- Figura 02: Mapa geológico de la zona evaluada. Tomado de Sanchez, A. y Zapata, A. (2003). pág. 4
- Figura 03. Segmento de falla Parina. La línea gruesa de color rojo con bordes blanco, es el segmento reactivado que generó el sismo del 01 de diciembre. pág. 6
- Figura 04: Mapa de aceleración sísmica. En línea roja se observa el segmento reactivado que origino el sismo del 01 de diciembre de 2016. pág. 7
- Figura 05. Imagen INSAR proporcionada por el área de teledetección del Ingemmet, donde muestra la deformación cosísmica generada por el sismo del 01 de diciembre. pág. 8
- Figura 06: Diagrama de distribución de efectos cosísmicos (efectos directos). (Tomado de Rodríguez-Pascua et al., 2011). pág. 9
- Figura 07. A) Evidencia de ruptura superficial en el sistema de fallas Ocuvi-Orduña, asociado al sismo de 6.3 Mw (USGS) del 01 de diciembre. B) Foto de detalle de la ruptura de falla. C) Interpretación de la foto B, mostrando un escarpe de falla de hasta 30 cm. pág. 10
- Figura 08. Ruptura superficial asociada al sismo del 01 de diciembre, se pudo evidenciar una ruptura máxima de 30 cm. pág. 11
- Figura 09. A) Foto de detalle de la ruptura de falla. B) Interpretación de la foto A, mostrando un escarpe de falla que afecta un pequeño drenaje. pág. 11
- Figura 10. Detalle de volcanes de arena formados adyacentes a lagunas, en la parte superior una explicación de su origen tomado de Rodríguez Pascua et al., 2015. pág. 12
- Figura 11: Momento de deformación de infraestructura y sustrato. a) se observa el paso de las ondas sísmicas, afecta las edificaciones debido a la deformación elástica del sustrato (suelo), pero debido al tipo de suelo este puede quedar deformado permanentemente, pueden observarse en el terreno vasculamientos, plegamientos, fracturas y grietas. b) se observa el paso de las ondas sísmicas, afecta las edificaciones debido a la deformación elástica del sustrato (suelo), pero debido al tipo de suelo este no sufre ninguna deformación permanentemente, solo se puede observar en las edificaciones agrietamientos y/o deformaciones debido a la dirección de las ondas sísmicas. (Tomado de Giner-Robles et al., 2011). pág. 15
- Figura 12: Fracturación de un muro por movimientos sísmicos de carácter cíclico y paralelos al mismo. Suelen aparecer con mucha frecuencia en muros de ladrillo. Se

producen fisuras en cada uno de los ciclos, provocando fracturas conjugadas (en forma de cruz o aspa) que suelen aparecer con un ángulo de 45°. Este tipo de deformaciones son producidas por las ondas sísmicas y no implican la deformación permanente del terreno; son el resultado del comportamiento frágil del muro frente a las deformaciones elásticas inducidas por las ondas sísmicas. (Tomado de Giner-Robles et al., 2011). pág. 16

- Figura 13: Patrones de fracturación de un muro inducidos por cargas horizontales. Los dos primeros (a y b) se forman por movimientos cíclicos paralelos a la traza del muro (fracturas conjugadas) (ver figura 7.24). Los patrones de fracturación del caso (d) se forman por movimientos perpendiculares al muro. En el caso del patrón de fisuración (c) puede estar producido tanto por movimientos perpendiculares como paralelos al muro. No obstante, en terremotos instrumentales este último tipo de fracturación suele indicar un movimiento perpendicular a la estructura muraria. (Tomado de Giner-Robles et al., 2011). pág. 16
- Figura 14. Distribución de las viviendas que sufrieron daños en la provincia de Lampa. pág. 17
- Figura 15. Distribución de viviendas colapsadas por distritos en la provincia de Lampa, donde se observa que Ocuvi presenta mayores daños, datos tomados de INDECI,2016. pág. 18