

## **PRIMER INFORME**

### **REACTIVACIÓN DEL SEGMENTO ACTIVO MISCA EN LA FALLA PARURO SISTEMA DE FALLAS CHINCHAIPUJIO – PARURO – ACOMAYO**

#### **1. INTRODUCCIÓN.**

El día sábado 27 de setiembre de 2014 a las 21:35 (Hora local), ocurrió un sismo de magnitud 5.1 ML (escala de Richter), con epicentro a 7 km al suroeste de Paruro y una profundidad de 6 Km (Fuente: IGP).

El movimiento sísmico causó daños importantes en las localidades de Misca, Mollejato, Cusibamba Bajo y Moyoc y en menor intensidad en las localidades aledañas del distrito de Paruro, provincia de Paruro.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR, comisionó a los profesionales Lionel Fidel Smoll, Fabrizio Delgado Madera y Ronald Concha Niño de Guzman, para realizar la evaluación del área afectada. Los trabajos se realizaron del 29 de setiembre al 02 de octubre del presente año en coordinaciones con CENEPRED e INDECI.

Es importante mencionar que en junio de 2014, INGEMMET presentó el Boletín “Neotectónica y peligro sísmico en la región Cusco” (Benavente et.al, 2013); estudio que pone en evidencia un total de 53 estructuras plio-cuaternarias (entre ellas fallas activas) en la región. Los estudios detallados de las fallas, permitieron generar mapas de amenaza sísmica para movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos. Estos mapas, se calcularon a partir de las interacciones entre los mapas de susceptibilidad (a movimientos en masa y a procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos) y los mapas de iso-aceleraciones sísmicas deducidos de la magnitud máxima posible que una falla activa puede generar, para posteriormente elaborar los mapas de peligrosidad de movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos detonados por sismos; estos análisis se efectuaron para las fallas activas en la región Cusco, dentro de ellas se tomó como escenario la falla Paruro, determinando el grado de peligrosidad alta, media y baja.

El presente informe contiene información de campo (en la evaluación del sismo y las realizadas anteriormente para la confección del Mapa Neotectónico de la región Cusco); así como la revisión de información geológica y cartográfica (boletines técnicos, topografía e imágenes satelitales) que permitieron la evaluación post-sismo, y su influencia en la población, infraestructura y terrenos. Se emiten 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. PARÁMETROS DEL SISMO**

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) con los datos obtenidos a través de su Red Sísmica Nacional ha determinado los siguientes parámetros hipocentrales (Fuente: IGP).

- Día : 27 de setiembre
- Tiempo Origen : 21h 35m 28.0seg. (Hora Local).
- Latitud Sur : -13.81°

- Latitud Oeste : -71.89°
- Profundidad : 6 km
- Magnitud : 5.1ML (Richter).
- Intensidad : VII (MM) Misca.  
VI (MM) Cusibamba, Toroy, Moyoc.  
V (MM) Colcha, Rondocán.  
IV-III (MM) Yaurisque, Huanquite.  
III (MM) Cusco, Omacha.  
III-II (MM) Ccapi.  
II (MM) Urubamba, calca, Anta, Yanaoca, Huancarani.

Las observaciones de campo y cartografiado post sismo indican que se reactivó parte del Sistema de la falla Chinchapuquio – Paruro - Acomayo, tramo Miska. No hay ruptura superficial pero las grietas co sísmicas identificadas en el terreno están bien alineadas y localizadas a lo largo de la falla.

### 3. CONCEPTOS BÁSICOS

Para comprender el concepto de **falla geológica activa**, debemos tener en claro los siguientes temas:

- a) **Falla Geológica:** Son discontinuidades singulares que corresponden a planos de rotura o fracturación con desplazamiento relativo entre los bloques. Su origen es tectónico, es decir producto de los esfuerzos internos de la tierra. Tomado de Ingeniería Geológica (Gonzales de Vallejo et al, 2002).
- b) **Estructura Tectónica Capaz / Falla Activa:** Es una estructura tectónica (falla geológica) que puede generar terremotos o deformaciones en la superficie, es decir una **falla activa**. El concepto de falla activa se define en función de la edad de su último desplazamiento. Bajo el punto de vista neotectónico, es la que ha presentado deformaciones durante el régimen tectónico actual. Bajo el punto de vista de la ingeniería geológica y su aplicación a proyectos de ingeniería (obras de infraestructura), las fallas activas son las que han presentado movimiento en los últimos 10 000 años. Tomado de Ingeniería Geológica (Gonzales de Vallejo et al, 2002)

### 4. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

#### CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

La zona evaluada se caracteriza por presentar montañas escarpadas (cerros Yotocasa - 4100 msnm. y Huayruro - 4250 msnm) disectadas por ríos que formando valles profundos con laderas de pendientes de hasta 60°.

El poblado de Misca se encuentra asentado sobre cono deluvial; es decir sobre depósitos de antiguos flujos de barro que descienden del cerro Yotocasa.

El poblado de Cusibamba se encuentra emplazado sobre una terraza aluvial del río Paruro que desemboca en el río Apurímac a 2700 msnm.

#### CONTEXTO GEOLÓGICO

El área afectada por el sismo se caracteriza por presentar mayormente afloramientos de rocas sedimentarias y en menor proporción rocas intrusivas (Carlotto et al., 1996;

Carlotto et al., 2011). La edad de estas rocas varía desde el Cretácico medio hasta el cuaternario (Figura 1).

**Grupo Yuncaypata (Cretácico medio-superior)** Se presentan en las montañas al suroeste de Paruro; cerca a los poblados de Misca, Cusibamba y Araypallpa; este grupo ha sido dividido en cuatro formaciones, aunque en el área de estudio afloran tres: **La Formación Maras**; conformada por lutitas, limolitas, yesos y lentes de caliza que se presentan de manera caótica; Las calizas presentes en la zona de estudio corresponden a la **Formación Ayavacas**, que se presentan en afloramientos aislados dentro de la masa de lutitas y yesos de la formación Maras; y **La Formación Puquín**; se trata esencialmente de lutitas negras y rojas, intercaladas con capas e yesos y localmente por capas de areniscas de origen fluvial. En estas dos formaciones se desarrollan grandes deslizamientos y hacen que los terrenos sean relativamente estables.

**Formaciones Quilque y Chilca (Paleoceno inferior y superior)** Están compuestas de lutitas, areniscas, microconglomerados y conglomerados de color rojo, con un espesor medio de entre 100 y 200m; afloran en la parte alta de las montañas al oeste de Misca y Cusibamba.

**Grupo San Jerónimo (Eoceno medio-Oligoceno inferior)** Está conformado por las formaciones Kayra y Soncco. En la zona de estudio estas dos unidades están reconocidas ampliamente en las laderas cercanas a Toroy y Cusibamba bajo; la **Formación Kayra**; constituida por areniscas feldespáticas, intercalada con lutitas rojas; y la **Formación Soncco**; constituido por lutitas rojas, areniscas y conglomerados con clastos volcánicos en la parte superior.

**Grupo Tacaza (Oligoceno superior)** Se trata principalmente de conglomerados de conos aluviales, con areniscas feldespáticas, esta unidad aflora en la cima del cerro Yotocasa al suroeste del poblado de Paruro.

**Formación Paruro (Mioceno superior)** Conformado por lutitas y limolitas lacustres, areniscas y mayormente conglomerados en la parte superior que está asociado al sistema de fallas Yaurisque – Papres. Esta unidad aflora en las laderas bajas y medias del valle de Paruro.

**Depósitos coluviales**, se forman en las laderas de las montañas, conformados por una mezcla de arenas, limos y arcillas; estos depósitos incluyen a los deslizamientos como el originado en la parte alta de Misca.

**Depósitos aluviales**, corresponden a los conos o abanicos y a las terrazas aluviales, las que se hallan tanto en la desembocadura de la quebrada Paruro como en el fondo de valle del río Apurímac, están constituidos por gravas y bloques envueltos en una matriz areno-arcillosa.

**Depósitos fluviales**, estos depósitos han sido reconocidos en el fondo de los valles, donde están constituidos por bancos de gravas y arenas.

**Rocas intrusivas** se observan principalmente en el cerro Huayruro al sur de Cusibamba, y en las laderas bajas del valle del río Apurímac, se trata de gabros del macizo de Acomayo – Colcha que corta rocas mesozoicas de las formaciones Maras y Ayavacas, existen también sienita y microdioritas que cortan estos gabros.

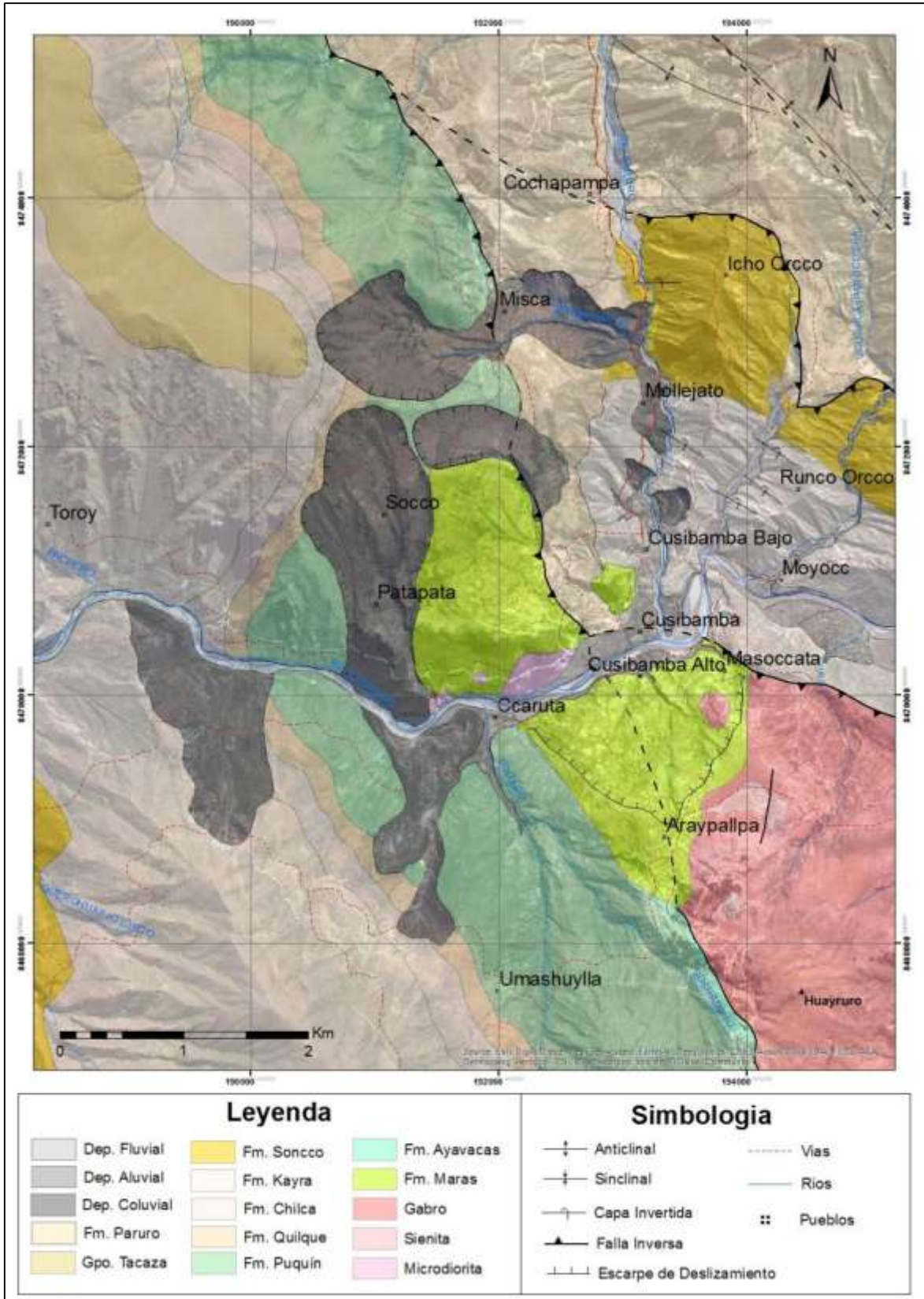


Figura 1: Mapa geológico de la zona de evaluada. (Modificado de Carlotto et al., 2011)



## 5. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA – ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS CHINCHAYPUJIO – PARURO – ACOMAYO

El sismo de setiembre último tuvo como escenario la zona de influencia del sistema de fallas Chinchaypujio – Paruro – Acomayo como se puede apreciar en la figura 2 (Benavente et.al, 2013). Este sistema se desarrolla en una longitud aproximada de 75 kilómetros.

Hacia el sur se puede reconocer este sistema en la localidad de Acomayo, donde presenta una dirección promedio de N120°E, (figura 3).



Figura 3: En líneas negras se observa los segmentos de la Falla Paruro localizada al sur de Paruro (Parte central).

A lo largo del sistema de fallas Chinchaypujio – Paruro – Acomayo, que corresponden a una reactivación o reactivaciones de una estructura geológica antigua, se observan fallas que cortan depósitos recientes (aluviales, coluviales, fluvio-glaciares), mostrando así su actividad a lo largo del tiempo (Cuaternario).

Benavente et.al, 2013 pone en evidencia la actividad tectónica de este sistema de fallas, la que está conformada por la falla Chinchaypujio, falla Pacaritambo, falla Paruro y la falla Acomayo. La reactivación de un segmento de la falla Paruro, situada al sureste de esta, produjo el sismo del 27 de setiembre.

La falla Paruro se extiende con dirección N150°E y buzamiento de 65°-70° hacia el oeste a lo largo de 11 kilómetros, entre los poblados de Yaurisque y Paruro. La deformación de esta falla se distribuye mediante un escarpe principal que generó un desplazamiento máximo vertical de 25 metros. Sólo en la sección norte, la falla se divide en 4 escarpes, generando según su distribución una estructura en echelón o cola de caballo (Figura 4).

La falla pone en contacto areniscas feldespáticas y lutitas de coloración rojiza de la Formación Puquín con depósitos aluviales y fluviales (Fotografía 5), asimismo se observan a lo largo de la traza facetas triangulares bien conservadas de 10 metros de altitud.

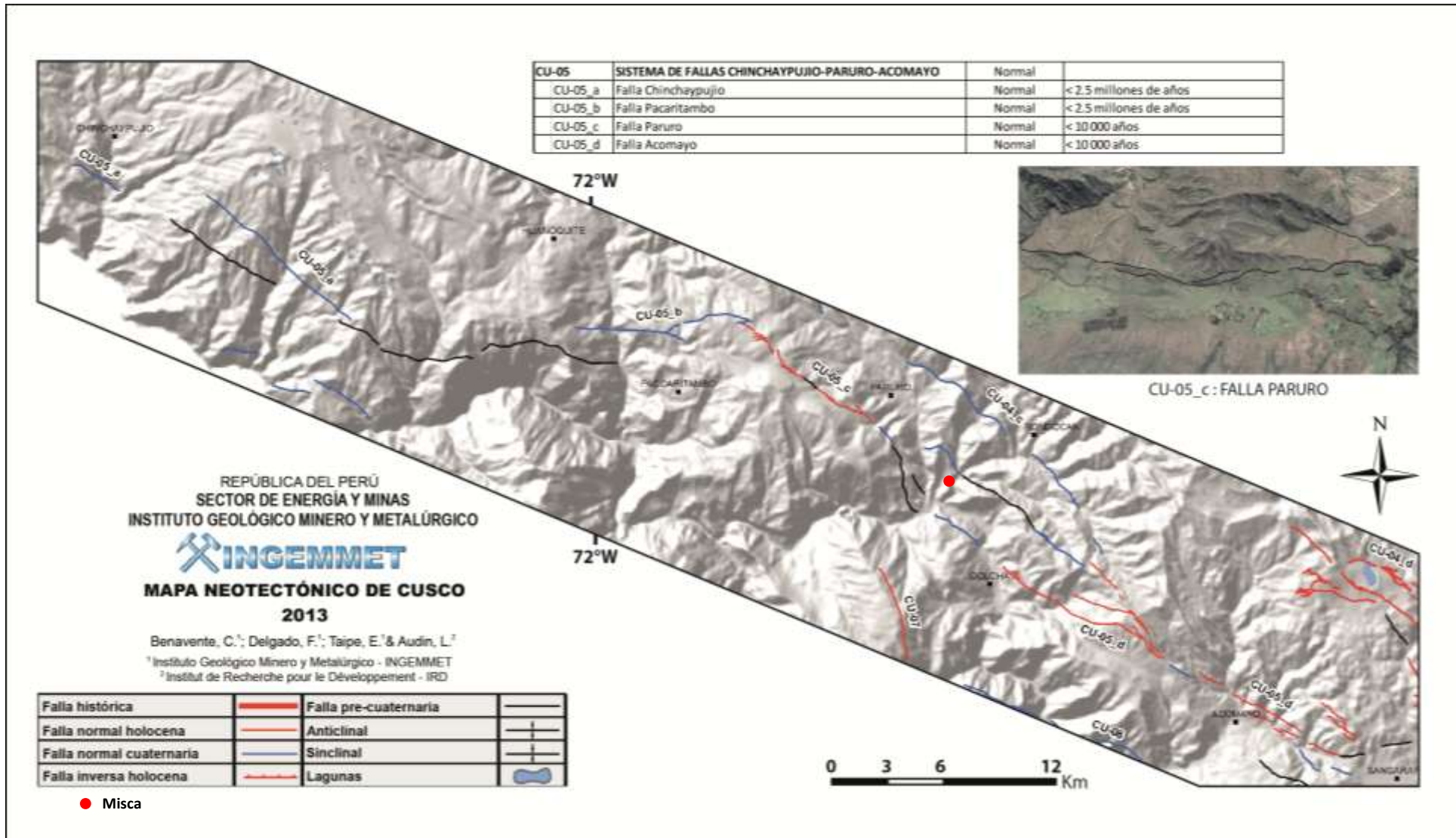


Figura 2: Segmento del Mapa Neotectónico de la Región Cusco que cubre el sistema de fallas activado: Falla Paruro





Figura 4: Segmento norte de la Falla Paruro donde se muestra la distribución de la deformación en estructura tipo cola de caballo o echelón. (Ver flechas).



Figura 5: Vista panorámica de un segmento de la Falla Paruro en donde se pueden observar el desnivel generado en la superficie producto de la actividad tectónica. La traza pone en contacto areniscas y lutitas de coloración rojiza con depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria.

Al este de los cerros Yotocjasa y Condorsenca se observa que los depósitos aluviales recientes se encuentran desplazados con movimientos de tipo normal y con saltos de

hasta 1 metro, estos movimientos están asociados a la actividad tectónica cuaternaria de la falla. La traza de falla en este sector es rectilínea.

Finalmente, la proyección norte de la falla muestra en los sectores de Patacancha y Pampa Huaylla una distribución en tipo echelón, donde el trazo principal presenta una dirección N150°E y los secundarios direcciones aproximadamente Este-Oeste, generándose así una deflexión en la estructura. Los escarpes secundarios, se encuentran morfológicamente bien conservados y originaron desniveles en la superficie que varían entre 0.7 y 1 metro (Figura 4.25). Por consiguiente, se propone que estas rupturas superficiales de hasta 1 metro se encuentran relacionadas con la actividad más reciente de la estructura, rupturas que se dieron con movimientos de tipo normal con componente de rumbo sinextral según el análisis microtectónico realizado.

Cabrera (1988), reporta en base a registros históricos que poblados como Paruro, Yaurisque, Rondocan, entre otros, fueron afectados grandemente o destruidos en su totalidad por sismos. Los catálogos sísmicos del IGP y de la USGS reportan sismos superficiales en los últimos años, por ejemplo el año 2003 dos eventos de 4.8 y 5 grados de magnitud (MI) en el mes de agosto y el año 2006 un sismo de 4.3 de magnitud (MI) en el mes de setiembre.

Hacia el sureste de la falla Paruro, esta se segmenta en tres segmentos, siendo el segmento entre Miska y Cusibamba el que se reactivó el 27 de setiembre (Figura 6).

El segmento Miska-Cusibamba se encuentra al sureste de la Falla Paruro, tiene una dirección N150°, el segmento reactivado tiene una longitud de 3.7 Km y va desde el cerro Puca Runto al puente Cusibamba en el río Apurímac, este segmento cruza los poblados de Miska y Cusibamba, los cuales fueron los más afectados, ocasionando pérdida de infraestructura y pérdida de vidas humanas.

Los estudios detallados de las fallas, permitieron generar mapas de amenaza sísmica para movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos. Estos mapas, se calcularon a partir de las interacciones entre los mapas de susceptibilidad (a movimientos en masa y a procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos) y los mapas de iso-aceleraciones sísmicas deducidos de la magnitud máxima posible que una falla activa pueden generar para posteriormente elaborar los mapas de peligrosidad de movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos detonados por sismos; estos análisis se efectuaron para las fallas activas en la región Cusco, dentro de ellas se tomó como escenario la falla Paruro, determinando el grado de peligrosidad alta, media y baja. En el Anexo 1 presentamos el mapa de Amenaza por movimientos en masa de la falla Paruro



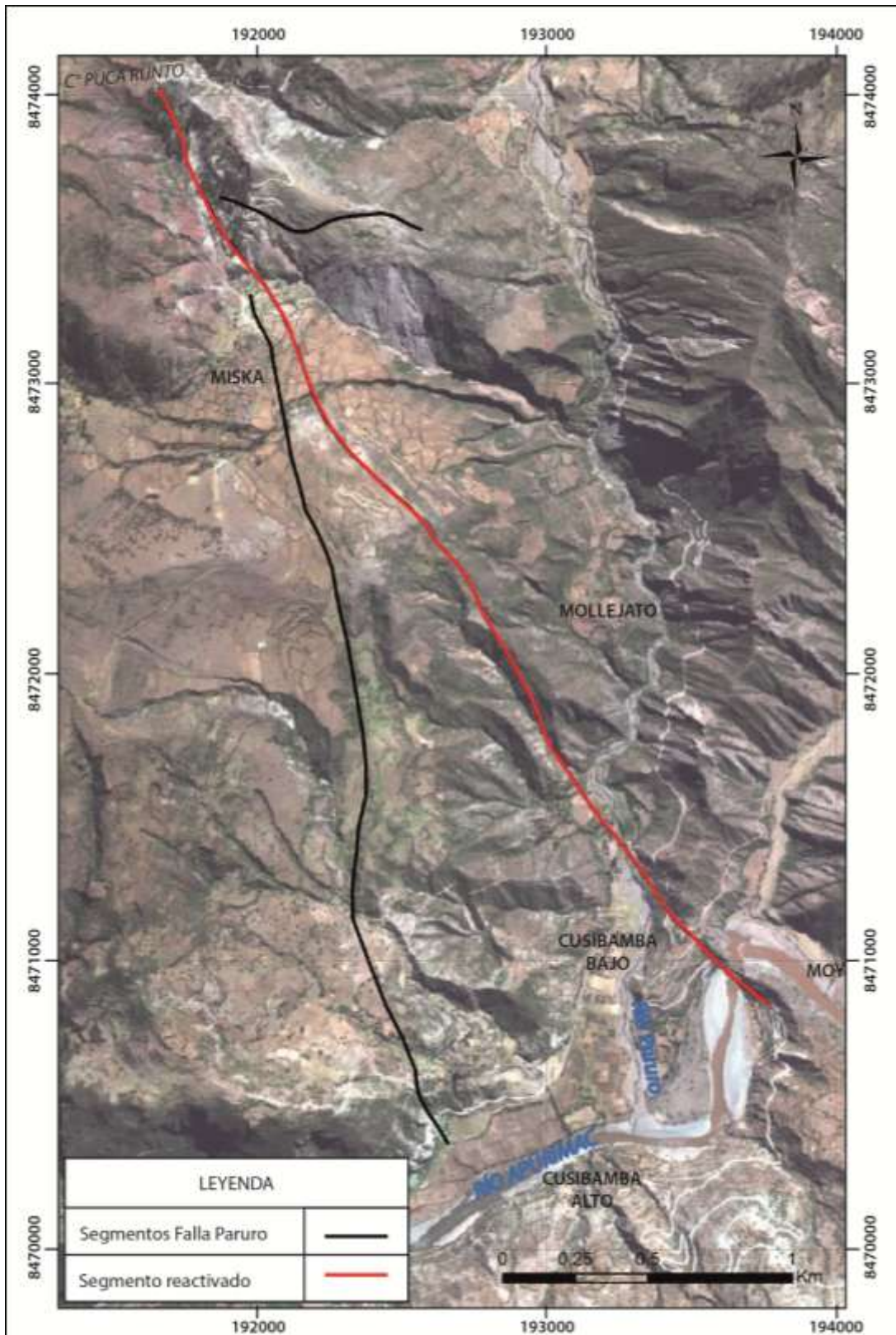


Figura 6: En línea roja se observa el segmento reactivado de la falla Paruro por el sismo del 27 de setiembre de 2014 (Segmento Miska y Cusibamba).

## 6. EFECTOS COSÍMICOS

Los terremotos pueden producir, además del movimiento vibratorio característico, una serie de efectos inducidos (efectos cosísmicos), que dan lugar a grandes deformaciones y roturas del terreno, como son los fenómenos de movimientos en masa y los fenómenos de licuefacción de suelos.

Los fenómenos que se pudieron observar en campo fueron los siguientes:

**DESLIZAMIENTOS:** En la zona evaluada la mayoría de los deslizamientos observados son superficiales y traslacionales, estos se observan principalmente en los cortes de carretera. Ver Fotos 1, 2, 3



Foto 1: Deslizamiento en la carretera Paruro – Accha, margen derecha del río Apurímac.



Foto 2: Deslizamientos traslacionales en areniscas. Tramo Misca – Cusibamba, margen izquierda del río Paruro.





Foto 3: Deslizamiento – flujo situado a la entrada del poblado.

**CAÍDA DE ROCAS – DERRUMBES:** Este se da por varios detonantes, uno de ellos son los sismos. En la zona evaluada se observan caídas de roca y derrumbes en la localidad de Miskas y otros que afectan la carretera Paruro – Accha, también se observan derrumbes en la carretera Cusibamba – Tincoc. Fotos 4 y 5.



Foto 4: Caída de derrubios en el tramo de la carretera Paruro - Miskas





Foto 5: Caída de rocas en tramos de la carretera Cusibamba-Tincoc.

**FRACTURAS Y GRIETAS:** Producto de la liberación de energía y a la respuesta de las ondas sísmicas a los materiales (suelo o roca). En la zona evaluada, estas afectan vías de comunicación carretera y terrenos de cultivo. Así tenemos agrietamientos en terrenos de cultivo y carretera Paruro – Accha y Cusibamba – Tincoc; así como en caminos vecinales (fotos 6, 7, 8, 9, 10, 11). La dirección preferente de las grietas son N110° N120° y llegan a tener aberturas de hasta 30cm, profundidades de 120cm; la mayoría de estas grietas son paralelas al segmento reactivado de la falla Paruro.



Foto 6: Grieta en el poblado de Miskas afectando el camino, un muro y una vivienda, presenta una dirección N65° y una abertura máxima de 10cm.



Foto 7: Grieta en el poblado de Miskas, tiene una longitud de 15m con dirección preferente N110°, la abertura máxima es de 7 cm, se observa un tipo de movimiento sinistral.



Foto 8: Grieta en la carretera Paruro-Accha, tiene una longitud de 45 m, con una dirección N152°, la abertura máxima es de 10 cm, presenta un desnivel de 2.5-3cm con dirección N55°.



Foto 9: Grieta en el poblado Cusibamba Bajo, tiene una longitud de 25m y afecta la carretera, la dirección principal es N112° y su abertura máxima con 10cm, se observa como las grietas estas en dirección de una vivienda destruida



Foto 10: Grieta en el poblado Cusibamba Bajo, tiene una longitud de 100 m, su dirección es N126°, una abertura máxima de 20cm y una profundidad de 120cm. viene afectando terrenos de cultivo y la prolongación de esta grieta está alineada a las viviendas destruidas en esta localidad.





Foto 11: Grieta en la carretera Paruro – Accha, margen izquierda del río Apurímac, presenta una dirección N85°, una abertura máxima de 10cm y presenta un desnivel de 6cm hacia el norte. Se observa que la prolongación de la grieta termina en un deslizamiento.

## 7. LOCALIDAD DE MISCA

La localidad de Misca ha sido el centro poblado más afectado por el sismo de setiembre último, debido a que el segmento reactivado se localiza en la cercanía del pueblo. En el Cuadro 1 y figuras 7, 8 y 9.

### ACCIONES A TOMAR:

- Para la reconstrucción de Misca se cuenta con dos alternativas que se muestran en la figura 7. La determinación del lugar definitivo dependerá del saneamiento de los mismos.

Las zonas recomendadas son: 1) algunos metros al sureste de su actual localización; y 2) a 350 m al sur de su actual localización, pasando la quebrada. Este lugar reúne mejores condiciones geológicas que el anterior.

- Mientras se urbaniza el Nuevo Misca, se recomienda trasladar la población a la zona de reubicación temporal al frente de la localidad Vitancur, en la margen derecha del río Paruro. Ver figuras 8 y 9. Zona estable a movimientos en masa.
- Se recomienda la demolición total de las casas dañadas en Misca, incluyendo el templo.
- Si se toma la decisión de la opción 1, al realizar el diseño del nuevo centro poblado considerar el drenaje de las filtraciones y oconales localizados en el área.

## EVENTO: SISMO DEL 27 DE SETIEMBRE DE 2014 – PARURO, CUSCO

**CUADRO 1**  
**EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA DE LA COMUNIDAD DE MISCA**  
 Distrito de Paruro, provincia Paruro

PARÁMETROS	RECONSTRUCCIÓN	REUBICACIÓN TEMPORAL (Frente de la localidad Vitancur, en la margen derecha del río Paruro)
<b>EFFECTOS DE SITIO</b>		
Entorno Geológico	Misca se localiza cerca al trazo de una falla geológica (reactivada por sectores – falla activa)	Planicie estructural correspondiente a la formación Paruro.
Sustrato	Lutitas rojas y areniscas	Areniscas y lutitas medianamente consolidadas
Tipo de depósito	Cono deluvial	
Peligro Geológico	Falla activa Misca (segmento activado del Sistemas de fallas Chinchaypujio – Paruro – Acomayo El 2008 se produjo, por intensas precipitaciones, un flujo de barro que afecto terrenos de cultivo, viviendas y el templo del pueblo	Sismos, debido a la cercanía de fallas activas Estable a movimientos en masa. Se recomienda no reubicar en los bordes de la planicie.
Pendiente del terreno	10° - 15°	5°
Suelo	Arenas arcillo – limosas, gravilla (20%), medianamente consolidadas, plásticas	Terrenos de cultivo (arenas arcillosas)
Presencia de agua	Presencia de filtraciones y bofedales en el terreno	
<b>BALANCE DE DAÑOS (1)</b>		
Viviendas Colapsadas	40	
Viviendas afectadas	15	
Colegio colapsado	2	
Colegio afectado		
Templo inhabitable	1	
<b>SOCIAL</b>	Siempre es problemático mover a las personas de su terruño	





Fotos mostrando los daños en las viviendas y templo en Misca.



Viviendas destruidas en Misca, obsérvese el tamaño de los mismos (dos pisos) y su diseño estructural (sin refuerzos)



Fotos que muestran infraestructura de adobe (con pocos daños) y concreto armado (sin daños)





Figura 7: Zonas de reubicación para la localidad de Misca: 1) Al este del poblado actual y al 2) al sur del poblado





Figura 8: Poblado de Misca y zona de reubicación temporal



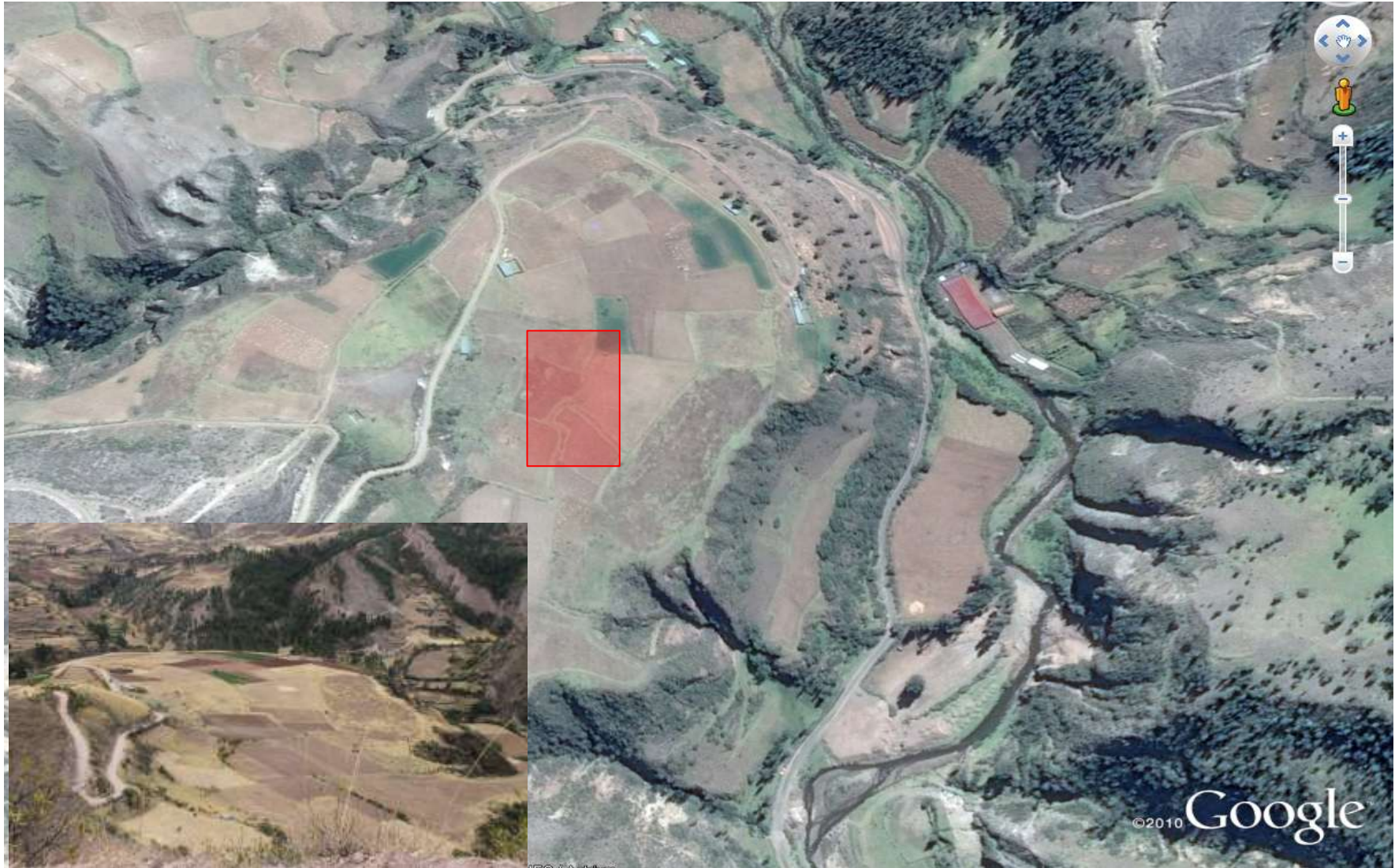


Figura 9: Zona de reubicación temporal de Misca

## **8. LOCALIDAD: CUSIBAMBA BAJO**

La localidad de Cusibamba Bajo es el segundo centro poblado más afectado por el sismo de setiembre último, debido a que el segmento reactivado cruza el valle al Norte del poblado (ver figura 6). En el Cuadro 2 y figura 10.

La zona de Cusibamba Bajo es considerado Zona Crítica a los peligros geológicos por erosión fluvial y flujos de detritos provenientes de la quebrada Cusibamba. Ver Anexo 2.

### **ACCIONES A TOMAR:**

- Para la reconstrucción de Cusibamba Bajo se cuenta con dos alternativas que se muestran en la figura 10. La determinación del lugar definitivo dependerá del saneamiento de los mismos.

Las dos zonas recomendadas reúnen las condiciones de seguridad física requeridas.

- Se recomienda la demolición total de las casas dañadas en Cusibamba Bajo, incluyendo el colegio.

## EVENTO: SISMO DEL 27 DE SETIEMBRE DE 2014 – PARURO, CUSCO

**CUADRO 2**  
**EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA DE LA COMUNIDAD DE CUSIBAMBA BAJO**  
**Distrito de Paruro, provincia Paruro**

PARÁMETROS	RECONSTRUCCIÓN	ZONA DE REASENTAMIENTO (a 600 m al suroeste del poblado actual)
<b>EFFECTOS DE SITIO</b>		
Entorno Geológico	Terraza aluvial en la margen derecha del río Paruro	Terraza aluvial en la margen derecha del río Paruro
Sustrato		
Tipo de depósito	Depósitos aluviales	Depósitos aluviales
Peligro Geológico	Erosión de riveras y flujos de detritos por la quebrada Cusibamba; así como posibles desbordes en épocas de lluvias excepcionales. Sismos por fallas activas	Posibles flujos de barro y detritos con origen en las quebradas y pequeñas cárcavas al este del centro poblado. Forestación de las laderas
Pendiente del terreno	2° - 5°	2° - 5°
Suelo	Gravas y arenas poco consolidadas, superficialmente terrenos de cultivo	Gravas y arenas poco consolidadas, superficialmente terrenos de cultivo
Presencia de agua	Nivel freático a nivel del río	Nivel freático a nivel del río
<b>BALANCE DE DAÑOS (1)</b>		
Viviendas Colapsadas		
Viviendas afectadas	70	
Colegio colapsado	1	
Colegio afectado		
Templo inhabitable		
<b>SOCIAL</b>	Siempre es problemático mover a las personas de su terruño	



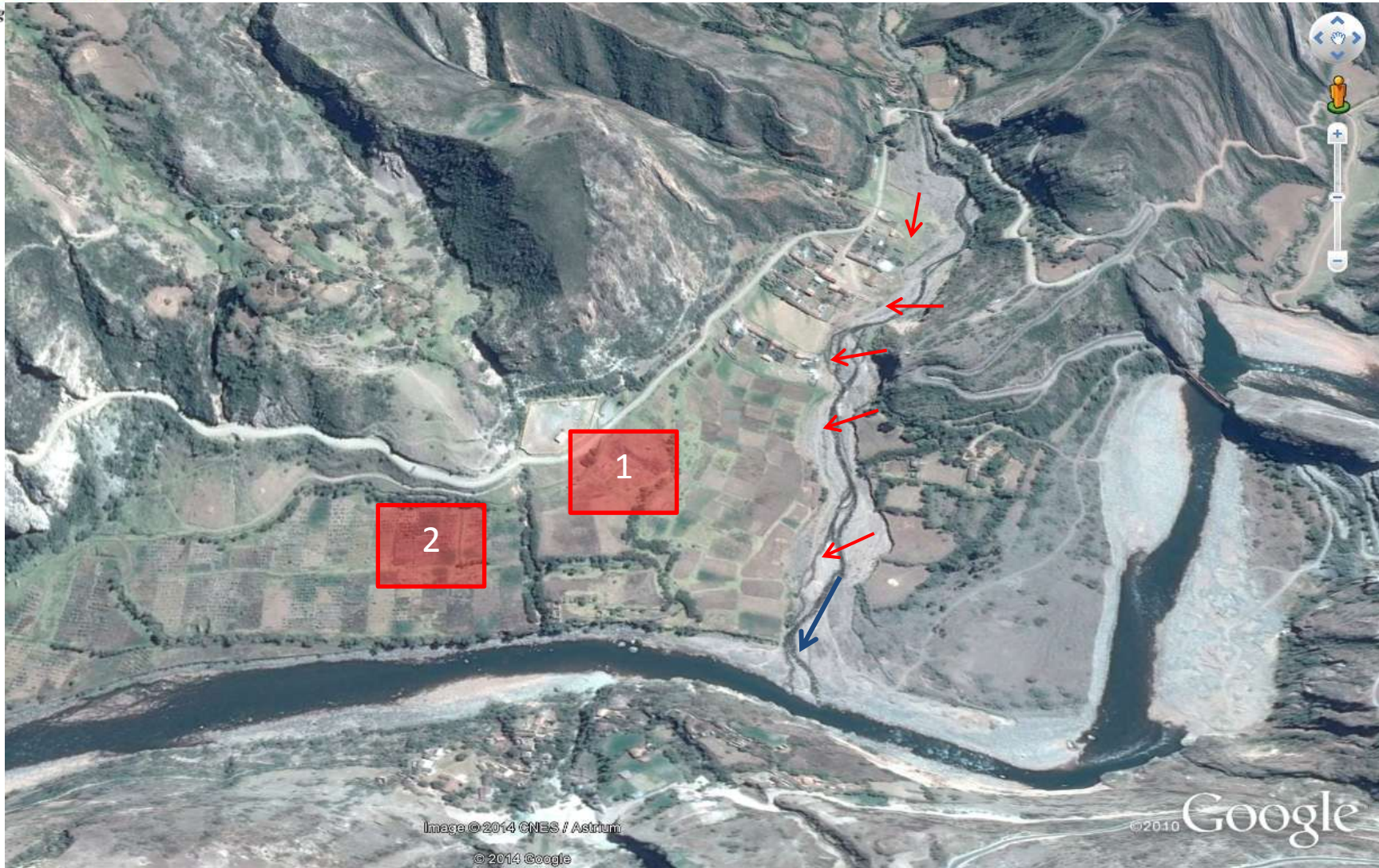


Figura 10: Posibles zonas de reubicación de Cusibamba Bajo. Teniendo en cuenta principalmente la acción erosiva de la quebrada Cusibamba (flecha azul). Zonas de erosión de riberas y posibles flujos de detritos con flechas rojas.





## 9. CONCLUSIONES

1. El sismo de setiembre último tuvo como escenario la zona de influencia del sistema de fallas Chinchaypujio – Paruro – Acomayo, sistema que se desarrolla en una longitud aproximada de 75 kilómetros cruzando los valles andinos al SO de la ciudad del Cusco. Por sus características morfológicas, geométricas y cinemáticas determinamos que esta estructura geológica **es activa**. Asimismo el sismo registrado el 27 de setiembre del presente es una reconfirmación de su actividad.
2. Las observaciones de campo y cartografiado post sismo indican que se reactivó parte del Sistema de la falla Chinchaypujio – Paruro - Acomayo, tramo Miska. No hay ruptura superficial pero las grietas cosísmicas identificadas en el terreno están bien alineadas y localizadas a lo largo de la falla.
3. Los estudios detallados de las fallas, en el Estudio Neotectónico de la región Cusco, realizado por INGEMMET, permitieron generar mapas de amenaza sísmica para movimientos en masa y procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos. Uno de estos correspondió a la falla Paruro, cuyos efectos cosísmicos coinciden con la simulación.
4. Se han localizado efectos cosísmicos (desprendimientos de rocas, derrumbes, deslizamientos, grietas en el terreno y otros) en el área evaluada, estos se presentan en la dirección y en el área de influencia del segmento reactivado. Estos afectan a vías de comunicación (carretera y caminos vecinales), terrenos de cultivo y algunas viviendas.
5. La localidad de Misca ha sido el centro poblado más afectado por el sismo de setiembre último; así como también Cusibamba Bajo, debido a que el segmento reactivado cruza ambas localidades.
6. La zona de Cusibamba Bajo es considerado Zona Crítica a los peligros geológicos por erosión fluvial y flujos de detritos provenientes de la quebrada Cusibamba.
7. En ambas localidades los daños en las viviendas se deben principalmente al tipo de construcción de las mismas. Viviendas en infraestructura, construidas con material noble y/o siguiendo normas de construcción ya establecidas no han sufrido daños significativos.

### **Nota:**

Se denomina **falla activa** a la estructura tectónica (falla geológica) que puede generar terremotos o deformaciones en la superficie. El concepto de falla activa se define en función de la edad de su último desplazamiento y en estos casos corresponden a movimiento en los últimos 10 000 años.



## 10. RECOMENDACIONES

1. Para la reconstrucción de Misca se recomiendan dos alternativas que se localizan en la misma área actual. La determinación del lugar definitivo dependerá del saneamiento de los mismos. La zona de reubicación 2, localizada al sur de la actual población, (pasando la quebrada), reúne mejores condiciones geológicas que la zona 1.
2. En el sector de Misca, si se toma la decisión de la opción 1, al realizar el diseño del nuevo centro poblado considerar el drenaje de las filtraciones y oconales localizados en el área.
3. Mientras se urbaniza el Nuevo Misca, se recomienda trasladar la población a la zona de reubicación temporal frente a la localidad de Vitancur, en la margen derecha del río Paruro.
4. Se recomienda la demolición total de las casas dañadas en Misca, incluyendo el templo.
5. Para la reconstrucción de Cusibamba Bajo se recomienda dos alternativas ubicadas en la misma zona. La determinación del lugar definitivo dependerá del saneamiento de los mismos.
6. Las dos zonas recomendadas reúnen las condiciones de seguridad física requeridas.
7. Se recomienda la demolición total de las casas dañadas en Cusibamba Bajo, incluyendo el colegio.
8. Para la reconstrucción de las localidades de Misca y Cusibamba Bajo, se recomienda realizar el plan urbanístico y el estudio de suelos (capacidad portante) respectivos. Realizar las obras de drenaje correspondientes si se localizan filtraciones u oconales.
9. Se recomienda viviendas de un solo piso y con 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 Misca de infraestructura urbana con estas características que no han sufrido daños o fueron poco afectados.
10. En caso de reactivaciones de fallas activas, los daños en infraestructura, usualmente están restringidos a una zona, de hasta 3 km de ancho a lo largo de la zona de ruptura falla, aunque rupturas subsidiarias pueden ocurrir hasta 5 o 6 km distantes de la falla principal. Por consiguiente, para la ubicación de obras de infraestructura importante se debe considerar la localización de las fallas geológicas y cada uno de sus segmentos, así mismo debe seguirse los lineamientos establecidos en las **Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones**.
11. Para la construcción de obras de infraestructura de mediana a gran magnitud; así como infraestructura urbana, en el área de influencia de la falla, 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.

12. Se recomienda un programa de monitoreo de las principales fallas activas en la región Cusco, empleando GPS diferencial. Trabajos que deberán ser coordinados con INGEMMET, siendo el Gobierno Regional un aliado importante

## REFERENCIAS

Audin, L., Lacan. P., Bondoux, F. 2008. Upperplate deformation and seismic barrier in front of Nazca subduction zone: The Chololo Fault system and active tectonics along the Coastal Cordillera, southern Peru. Tectonophysics.

Benavente C., Delgado G., Taípe, E., Audin L. & Pari W. 2013. Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco- Boletín N° 55 Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. INGEMMET

Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. 2002. INGENIERÍA GEOLÓGICA. Pearson Educación, Madrid 2002. 744 p.

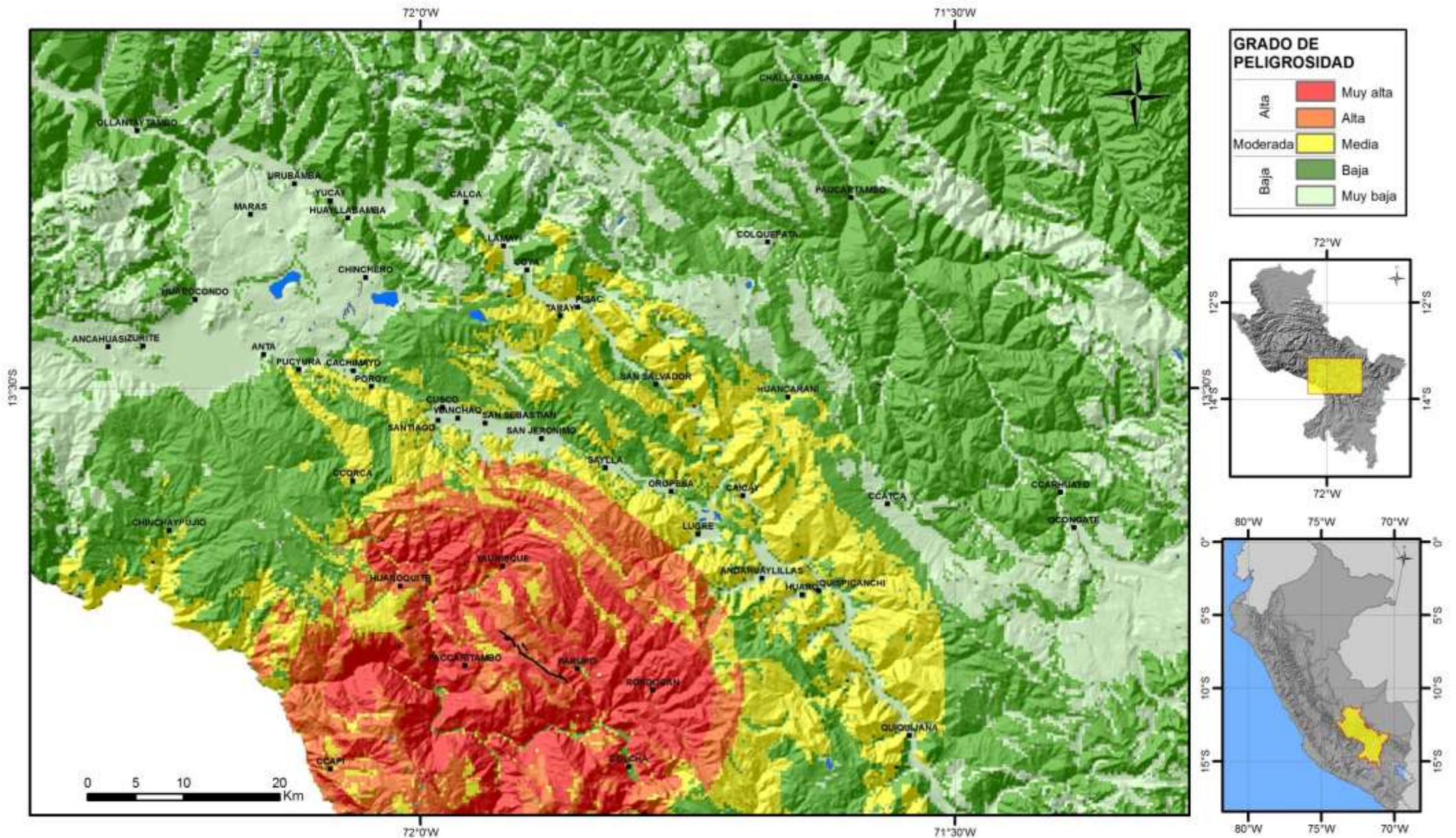
Macharé, J., Benavente, C., Audin, L. 2008. Síntesis del Mapa Neotectónico del Perú. INGEMMET. Boletín N° 40. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 103 p., 2009.

Vilchez, M. (2013). Informe de Zonas Críticas en la región Cusco (Preliminar). Proyecto GA-44.



# **ANEXO 1**

## **MAPAS DE PELIGROSIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA DETONADOS POR SISMOS: FALLA PARURO**



Mapa de peligrosidad por movimientos en masa, detonados por sismo. Escenario Falla Paruro (Benavente et al., 2013)

# **ANEXO 2**

## **ZONAS CRÍTICAS A LOS PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA DE PARURO, CUSCO**



**PROVINCIA DE PARURO**

N°	SECTOR (DISTRITO) Provincia	PELIGRO GEOLÓGICO	LATITUD	LONGITUD	COMENTARIO GEODINÁMICO	VULNERABILIDAD DAÑOS OCASIONADOS	RECOMENDACIONES
55	Yaurisque, Ranracasa  (Yaurisque) Paruro	Movimiento complejo (Deslizamiento Rotacional-flujo de tierra)	8486388	184773	Deslizamiento rotacional-flujo de tierra con un ancho de escarpa promedio de 450 m, el material removido se ha desplazado 3,5 km ladera abajo. Desplazamientos en temporada de lluvias está entre los 15 y 20 cm, terreno se presenta ondulado, removido e inestable, con formación de grietas transversales y terracetos en cerca de la escarpa principal del deslizamiento (comunidad de Ranraccasa). Presencia de hasta 3 juegos de grietas paralelas detrás de la escarpa principal. (Foto 104 y 105)	Poblados de Huancarqui, Labranniyoc, Ccochapata, Cchaccar, Sucsohuayco, Minasmocco, Chilcachillcayoc, Curuchura, Rajchemocco, RanraccasaToccorumi y Azulccochoa, asentados en el cuerpo del deslizamiento pueden ser afectados por desplazamientos violentos del terreno. Afecta 1,7 km de la carretera Yaurisque-Paruro. Afecta terrenos de cultivo. Un desplazamiento violento de terreno puede afectar poblado de Yaurisque, así como represar el río Yaurisque.	Implementar sistema de riego tecnificado de tipo aspersión. Drenaje de aguas subterráneas que aparecen en el cuerpo del deslizamiento, sacarlas fuera de la zona inestable. Implementar un sistema de alerta temprana en la comunidad de Yaurisque y sus anexos. Realizar el monitoreo del deslizamiento.

56	<b>Cusibamba Bajo-Huarobamba</b>  (Paruro, Pacaritambo) Paruro	Erosión fluvial, flujo de detritos, derrumbes	8470843	189698	Derrumbes activos en las quebradas tributarias del río Paruro (quebrada Jatunhuayjo) que generan flujos de detritos que se encausan y alcanzan el río Apurimac a la altura del poblado de Cusibamba Bajo, el cual es afectado con los materiales que acarrea y los procesos erosivos que genera. Tramo de unos 14 km de carretera que uno los poblados de Cusibamba Bajo con Huarobamba, Huata y Colquemarca, trazado en una ladera subvertical de la margen izquierda del río Apurimac, de los taludes inestables, se identificaron hasta siete tramos inestables desde donde se produce la caída de suelos y bloques de roca. (Fotos 106, 107 y 108)	Material caído desde el talud superior obstruye el paso de vehículos. Las caídas pueden comprometer la seguridad física de vehículos y personas que transitan por la zona. Pérdida de plataforma de carretera por derrumbes del talud inferior. Flujo de detritos de gran magnitud puede afectar el poblado de Cusibamba Bajo y la carretera.	Limpieza de la carretera. En zonas donde las condiciones lo permitan, se deben realizar trabajos de estabilización del talud superior de carretera mediante el perfilado o cortando terrazas. Encauzamiento del río Paruro con gaviones. Las viviendas del Cusibamba Bajo no deben de ser construidas cerca del cauce del río Paruro. Contemplar la posibilidad de reubicación de poblado.
----	---	---	---------	--------	---	--	--

Tomado de Vilches (2013)



Foto 1: Escarpa del deslizamiento-flujo de tierra de Ranraccasa.



Foto 2: Vista del cuerpo del deslizamiento-flujo de tierra, en el fondo el poblado de Yaurisque.



Foto 3: Carretera Cusibamba Bajo-Huaro Bamba trazado en la margen izquierda del valle del río Apurímac, en una ladera que supera los 40° de inclinación.





Foto 4: Talud de corte vertical de casi 40 m de altura, muy inestable, desde donde se produce la caída de bloques de roca y suelo.



Foto 5: Valle del río Paruro y del poblado de Cusibamba bajo asentado en su margen izquierda cerca a la desembocadura en el río Apurímac, afectado por procesos de erosión fluvial y huaycos, se han colocado espigones con gaviones para evitar que el poblado se afectado.



Foto 6: Localidad de Cusibamba Bajo, obsérvese los daños ocasionados por flujos de detritos y erosión causados por lluvias excepcionales. También flujos de detritos pueden ser ocasionados por los derrumbes y deslizamientos que se pueden producir quebrada arriba. Frente a Misca (al NE) se observa un deslizamiento activo que puede dañar Cusibamba Bajo

