



**ESCENARIO DE RIESGO SÍSMICO Y
MOVIMIENTO EN MASA PRODUCIDO POR
LA REACTIVACIÓN DE LA FALLA
TAMBOMACHAY, PROVINCIA DE CUSCO**

DIRECCION DE PREPARACION - CEPIG

2015



INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI)

**ESCENARIO DE RIESGO SÍSMICO Y MOVIMIENTO EN MASA PRODUCIDO POR LA
REACTIVACIÓN DE LA FALLA TAMBOMACHAY, PROVINCIA DE CUSCO (MAYO
2015)/Perú**

**Gral. E.P (r) Oscar Iparraguirre Basauri
Director de Preparación del INDECI**

**Juber Ruiz Pahuacho
Coordinador del CEPIG - INDECI**

**Elaboración:
Ing. Sheila Yauri Condo**

**Colaboración:
Lic. Beneff Zuñiga**

**Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima: INDECI. Dirección de Preparación, 2015.
Calle Dr. Ricardo Angulo Ramírez N° 694 Urb. Córpac, San Isidro Lima-Perú, San Isidro,
Lima Perú.**

Teléfono: (511) 2243600

Sitio web: www.indeci.gob.pe



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
I. OBJETIVOS	6
II. SITUACIÓN GENERAL	6
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
2.2. ACCESIBILIDAD	7
2.3. EXTENSIÓN	7
2.4. POBLACIÓN	7
2.5. CLIMA	8
III. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA	9
3.1. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y TECTÓNICA DE CUSCO	9
3.1.1. GEOLOGÍA	10
3.1.2. Geomorfología.....	14
3.1.3. Tectónica activa	18
IV. CARACTERÍSTICA GENERAL DEL ÁREA	21
V. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	21
5.1. MOVIMIENTOS EN MASA	23
5.2. DESLIZAMIENTOS PRINCIPALES	24
5.2.1. Deslizamiento Pícol	24
5.2.2. Deslizamiento del Bosque (Sacramayo).....	25
5.3. SISMOS	25
5.3.1. Sismo del 21 de mayo de 1950	26
5.3.2. Sismo del 5 de abril de 1986	28
5.3.3. Sismo de Paruro Cusco.....	29
5.3.4. Sismicidad debido a la falla Tambomachay	30
VI. ESCENARIO SÍSMICO	31
6.2. MAPA DE PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	33
6.3. MAPA DE PELIGRO POR LICUEFACCIÓN DE SUELOS	34
VII. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	35
7.1. VULNERABILIDAD POR FRAGILIDAD	36
7.2. VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN	46
7.3. ELEMENTOS EXPUESTOS	49
7.3.1. Instituciones educativas expuestas	49
7.3.2. Servicios de salud expuestos.....	52
7.3.3. Servicio de transportes.....	52
7.3.4. Vías de acceso	56
7.4. VULNERABILIDAD POR RESILIENCIA.....	60
7.5. MAPA SÍNTESIS DE VULNERABILIDAD	61
VIII. ESTIMACIÓN DE RIESGO A MOVIMIENTOS EN MASA	63



IX. ESTIMACIÓN DE RIESGO SÍSMICO	66
X. CONCLUSIONES	72
XI. RECOMENDACIONES	73
XII. BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA	79



INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista geodinámico, la región Cusco es considerada como una zona de alta actividad sísmotectónica (Huamán, 1987). Sólo en el último milenio, la zona urbana de Cuzco ha sido destruido por varios sismos superficiales con magnitudes mayores de 5.0 ML, especialmente los ocurridos en 1650, 1905, 1950 y 1986, algunos de ellos con posible origen en el sistema de fallas de Tambomachay, Qoricocha o la probable falla Cusco. Silgado (1978) señala que *las pérdidas ocasionadas por estos dos últimos terremotos fueron grandes y la recuperación larga y penosa*.

En este sentido, la falla Tambomachay constituye uno de los generadores de peligro sísmico latentes para la ciudad de Cusco. Más aún, tomando en cuenta su ubicación, adyacente a la ciudad, y la constante actividad que ha generado esta falla en los últimos años, resulta necesario realizar el monitoreo sísmico y geodésico a escala local, con la finalidad de determinar la cantidad de energía sísmica acumulada a lo largo de la falla y cuantificar el potencial peligro que representa para la ciudad de Cusco. Asimismo, estimar el riesgo que representa la reactivación súbita de esta estructura geomorfológica para la población de la ciudad de Cusco, tomando en cuenta para ello, los peligros asociados a ésta, tales como: Movimientos en masa, licuefacción y/o asentamientos del suelo que puedan producirse durante un sismo de gran magnitud.

En este sentido, el presente estudio propone un escenario de riesgo en la zona urbana de la ciudad de Cusco, tomando en cuenta como peor escenario, un sismo de magnitud 6.5ML ubicado a una profundidad de 10 km y con ruptura a lo largo de la falla Tambomachay, parámetros propuestos por Benavente (2010). Para ello, se evalúa algunos factores de vulnerabilidad y se identifica los principales elementos expuestos.

El resultado de este estudio pretende servir como herramienta para la Gestión Reactiva (GR) de instituciones y entidades de los tres niveles de Gobierno inmersas dentro de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Destres (SINAGERD). Además, emitir recomendaciones para implementar acciones de Preparación y Respuesta de la población y autoridades locales ante la ocurrencia de un evento sísmico en la zona.

I. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es proponer un escenario de riesgo sísmico y movimiento en masa para la provincia de Cusco, cuyo origen es la reactivación de la falla Tambomachay.

Los objetivos específicos son:

- Evaluar la vulnerabilidad por Exposición, Fragilidad y Resiliencia de la zona urbana de Cusco, considerado como escenario sísmico la reactivación la falla Tambomachay.
- Estimar el riesgo sísmico y de movimiento en masa dentro de la zona de estudio.
- Proponer medidas para la preparación y respuesta ante la ocurrencia de estos eventos.

II. SITUACIÓN GENERAL

2.1. Ubicación Geográfica

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



Figura 1: Mapa de ubicación de la provincia de Cusco.



Cuadro 1: Datos de ubicación y límites de la provincia de Cusco.

Lugar	Descripción
Región	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	Cusco, Santiago, Wanchaq, San Sebastián, San Jerónimo
Límites	Norte : Provincia de Calca Sur : Provincia de Paruro Este : Provincias de Paucartambo y Quispicanchis Oeste : Provincia de Anta

2.2. Accesibilidad

Para acceder a la ciudad de Cusco, se cuenta con tres diferentes vías de acceso: terrestre, férrea y aérea.

Las dos principales vías de acceso terrestres son:

- Lima-Ica-Abancay-Cusco, tiempo promedio de viaje de 18 horas.
- Lima-Arequipa-Cusco, tiempo promedio de viaje de 28 horas.

2.3. Extensión

La provincia de Cusco tiene una extensión superficial promedio del territorio de 617 km², en la cual se emplaza una población promedio de 367,791 habitantes (Cuadro 2).

2.4. Población

De acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda realizado el 2007 por el INEI, la provincia de Cusco cuenta con una población total de 367,791 habitantes entre hombres y mujeres, distribuida en un área estimada de 617 km² (Cuadro 2).

De acuerdo a las estadísticas, la población de Cusco entre los años 1981 y 2007 se incrementó en 159,751 habitantes; es decir, un promedio de 6,144 habitantes por año. Dicho crecimiento se explicaría tanto por el alto índice de natalidad, como por los procesos de migración interna y externa, especialmente del interior de la región hacía el área urbana de Cusco, junto a una fuerte presencia de migrantes nacionales y extranjeros debido al atractivo turístico y comercial que representa esta ciudad.

Cuadro 2: Datos estadísticos del distrito de Cusco (Censo, 2007).

Distrito	Extensión (km ²)	Población (hab)	Viviendas	Densidad (Hab/km ²)
Cusco	116.22	108,798	28.476	936.1
San Jerónimo	103.34	31,687	8.942	279.2
San Sebastián	89.44	74,712	18.109	955.6
Santiago	69,72	83,721	21.168	950.6
Wanchaq	6.38	59,134	14.690	8546.1
TOTAL	315.38	358,052	91.385	929.76

2.5. Clima

El clima es templado con notable diferencia de temperatura durante la noche.

a) Precipitaciones

De acuerdo al registro de precipitaciones pluviales de la estación granja Kcayra, se observa que los meses de mayor precipitación son entre enero a marzo (durante la estación de verano), siendo en los últimos cinco años su máximo de 161.9 mm (Figura 2). Sin bien es cierto, en este escenario, no se toma en cuenta las lluvias intensas como evento desencadenante, hay que considerar que de ocurrir un sismo durante este periodo, las consecuencias podrían ser mucho mayores debido a la inestabilidad de las zonas de alta pendiente por acción de las lluvias intensas.



Figura 2: Tabla de precipitaciones promedio registradas en la estación Granja Kcayra, durante el periodo 2010-2014.

b) Temperatura

La temperatura promedio, en la ciudad de Cusco, fluctúa entre los 11°C y 16°C. Temperaturas máximas entre 22°C y 29°C y mínimas entre 7°C y -4°C. De acuerdo al registro en la estación Granja Kcayra, en los últimos años Cusco ha experimentado temperaturas máximas de hasta 21.9 °C, durante el año 2013 y mínima de 3.5°C, durante los años 2010 y 2012 (Figura 3). Debido a la geomorfología de la ciudad de Cusco, compuesta por un valle y cerros aledaños, presenta un clima seco (entre abril y octubre) y otro templado (entre noviembre y marzo).

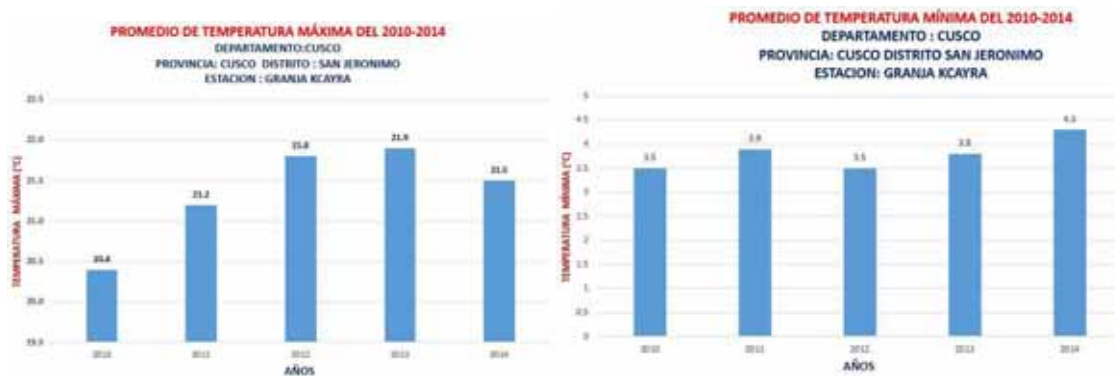


Figura 3: Tabla de temperatura promedio registrada en la estación Granja Kcayra, durante el periodo 2010-2014.

III. DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA ZONA

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental, zona de altiplanicies, en la cuenca alta del río Vilcanota, sub cuenca Huatanay, las cuales presentan una dirección NO-SE. Esta provincia se encuentra rodeada de un complejo sistema de fallas, tales como: Tambomachay, Qoricocha, Zurite, Chincheros, Pachatusan, Paruro, entre otras, la cual convierte a la ciudad de Cusco en una zona altamente expuesta a la ocurrencia de sismos de pequeña a moderada magnitud, acompañado en muchos casos de otros fenómenos asociados como movimientos en masa y/o asentamientos.

3.1. Geología, Geomorfología y Tectónica de Cusco

3.1.1. Geología

De acuerdo al cuadrángulo de Cusco, Boletín 138 Serie A de la Carta Geológica Nacional, se describe la geología local y regional.

- **Grupo Yuncaypata (Cretácico medio-superior)**

Anteriormente formación Yuncaypata Kalafatovich 1957 posteriormente es elevado al rango de Grupo Yuncaypata (Carlotto et al., 1991) el nombre deriva de la localidad de Yuncaypata ubicada a 5 Km. al norte de la ciudad del Cusco. Las rocas pertenecientes a esta formación afloran ampliamente entre Sacsayhuaman y Tambomachay (norte de la ciudad de Cusco).

En el cretáceo superior, la transgresión marina alcanzó su máxima extensión donde el mar incursiona a la cuenca continental y comienza la sedimentación calcárea, se presenta mayormente en la parte septentrional de la cuenca del Huatanay. Este grupo ha sido dividido en 4 formaciones (Carlotto et.al 1996): Paucarbamba, Maras, Ayavacas y Puquín, con un espesor que varía de 400 a 600m. Dentro del área de estudio se presentan las siguientes formaciones:

- **Formación Ayavacas o calizas Yuncaypata (Kis-ay)**

Se presentan en afloramientos aislados dentro de la formación Maras, estas calizas son micríticas, de color gris claro a oscuro, se ha podido reconocer facies margosas gris oscuras, facies Mudstone bioturbadas, Wackestone, Packstone, se determinó que las calizas Ayavacas pertenecen a una plataforma carbonatada poco profunda (Figura 4).

- **Formación Puquín (Ks-pu)**

Aflora al oeste de la ciudad del Cuzco y en el valle del río Saphy; compuesta esencialmente de lutitas negras y rojas, intercaladas con capas de yesos y localmente por capas de areniscas de origen fluvial. Las calizas pueden ser utilizadas como material de construcción o para producir cal. Los yesos son explotados en gran cantidad y constituyen la principal fuente de producción de la cuenca, particularmente entre Huacarpay y Huambutío. A veces donde existe la intercalación de lutitas y yesos se ha podido reconocer deslizamientos, derrumbes e hundimientos particularmente al norte de Oropesa (Figura 4).

- **Grupo San Jerónimo (Eoceno medio-Oligoceno inferior)**

La sedimentación es continental, depositándose potentes series continentales rojas, el color rojo indica que las zonas expuestas a la erosión experimentaban un clima cálido con alternancia de estación seca y húmeda

(Marocco 1978), este grupo se presentan ampliamente al sur y norte de San Jerónimo, oeste de la cuenca en el distrito de Santiago, Lucre y se prolonga hasta Andahuayllillas. Está conformado por las formaciones Kayra y Soncco.

- **Formación Kayra (Peo-ky)**

Tiene un espesor de 3,000m, está constituida por areniscas intercaladas con lutitas rojas, de origen fluvial, siendo la prolongación lateral de la formación Muñani, esta unidad es una de las más importantes, no solamente por la extensión de los afloramientos y el espesor de sedimentos, sino también porque constituye el principal acuífero de la subcuenca. Además, son rocas muy favorables para las obras civiles. Yacimientos de cobre y plata en mantos, son conocidos en las areniscas, muchas de las cuales han sido explotadas artesanalmente, como en la mina Uspha, al sur de San Jerónimo, o la mina Tambomachay al norte de Cuzco. Sobre esta formación se emplazan asentamientos humanos como Barrio de Dios (margen derecha del río Huancaro), urbanizaciones como: Viva el Perú, Manco Ccapac y General Ollanta.

- **Formación Soncco (Eoceno superior – Oligoceno inferior)**

Se ha dividido en 2 miembros:

Soncco I (Peo-SOI): aflora en los mismos lugares donde lo hace la formación Kayra, está constituido por lutitas rojas de llanura de inundación, intercaladas con niveles areniscas finas.

Soncco II (Peo-SOII): está compuesto por areniscas con clastos blandos y conglomerados con clastos volcánicos de un sistema fluvial altamente entrelazados, de procedencia S y SO. Se tiene 2 dataciones radiométricas al techo de la unidad, una K/Ar, sobre las plagioclasas de 29.9 +1.4 Ma. (Carlotto 2007), y otra de Ar/Ar de 30 Ma (Fornari, 2002).

- **Intrusivo diorita (P/di)**

Al norte de la ciudad del Cuzco, San Blas y en Sacsayhuamán, afloran pequeños cuerpos de composición diorítica donde resalta el stock de Sacsayhuamán con una apófisis denominada el rodadero de aproximadamente 200m de diámetro, que muestra superficies pulidas y acanaladas que cubren casi todo el afloramiento de diorita y constituyen una serie de resbaladeros en forma de tobogán naturales, es una roca maciza densa de grano fino y de textura granular, con cristales de coloración oscura de augita y pequeños agregados de epidota, están compuestos de plagioclasas, ortosa, augita, titanita, apatita, ilmenita, epidota. El comportamiento de este macizo rocoso ante un sismo, depende del grado de alteración y fracturamiento pudiendo ser desde bueno a malo dependiendo su estado.

- **Formación Pumamarca (Plioceno) Nom-pu**

Aflora entre el valle del Cuzco y la meseta de Sacsayhuamán. Está constituida por un conjunto sedimentario caótico formado por bloques de calizas, brechas y limolitas, que han provenido de la erosión del grupo Yuncaypata. El espesor estimado es de 200m. Las características geotécnicas de esta unidad son malas debido a la heterogeneidad de los materiales y a los diferentes grados de compactación, presencia de manantiales, fuertes pendientes.

Durante el sismo del 5 de abril de 1985, algunas viviendas de las urbanizaciones de Uchullo Alto y los Incas; así como, viviendas circundantes a la vía de acceso a Sacsayhuaman. Por otro lado, se produjo desprendimientos de calizas en el sector de Mosocllacta (quebrada de Quencomayo), generando la muerte de una persona.

- **Formación San Sebastián (Pleistoceno) Q-sa**

Aflora en el piso y en los bordes del valle. La mayoría de las edificaciones de la ciudad del Cuzco han sido construidas sobre los depósitos de esta formación. Esta unidad se divide en dos secuencias: la primera está constituida por areniscas fluviales de canales entrelazados, lutitas lacustres o palustres, niveles diatomíticos y calcáreos. La segunda está compuesta por conglomerados y arenas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca Cuzco. Los sedimentos muestran estructuras compresivas sin-sedimentarias como flexuras y sismitas, lo que demuestra una actividad sísmica durante el depósito de las mismas. Los sedimentos lacustres de la formación San Sebastián definen el antiguo Lago Morkill. Las secuencias de conos aluviales, se sitúan en los bordes de la cuenca y particularmente en las desembocaduras de las cuencas hidrográficas que antiguamente constituían los afluentes del lago (Saphy, Picchu, Huancaro, Incas-Tambillo, Cachimayo) que actualmente alimentan el río Huatanay.

Desde el punto de vista geotécnico, los sedimentos lacustres y palustres tienen un comportamiento pésimo, tanto en las cimentaciones, así como, su comportamiento en las laderas (Fotografía No 3). En efecto, en la ladera norte las capas de diatomitas, turbas e incluso arcillas de la formación San Sebastián se inclinan a favor de la pendiente favoreciendo a la formación de deslizamientos, tal como lo ocurrido en la APV. Primero de mayo y en el sector norte de San Sebastián y particularmente en la APV. Luis Vallejo Santi. El comportamiento mecánico de las gravas es relativamente bueno para la cimentación de edificaciones; sin embargo, si existe saturación de agua, la cimentación de la edificación podría dañarse por la presencia de agua (Figura 4).

- **Depósitos coluviales (Q-co)**

Se encuentran en las laderas de las montañas, resaltan los existentes al norte de Oropesa, Larapa y al pie de las laderas. Están conformados por una mezcla de limos y gravas. Estos depósitos incluyen a los deslizamientos, por lo que estas zonas son consideradas de riesgo para las construcciones en general.

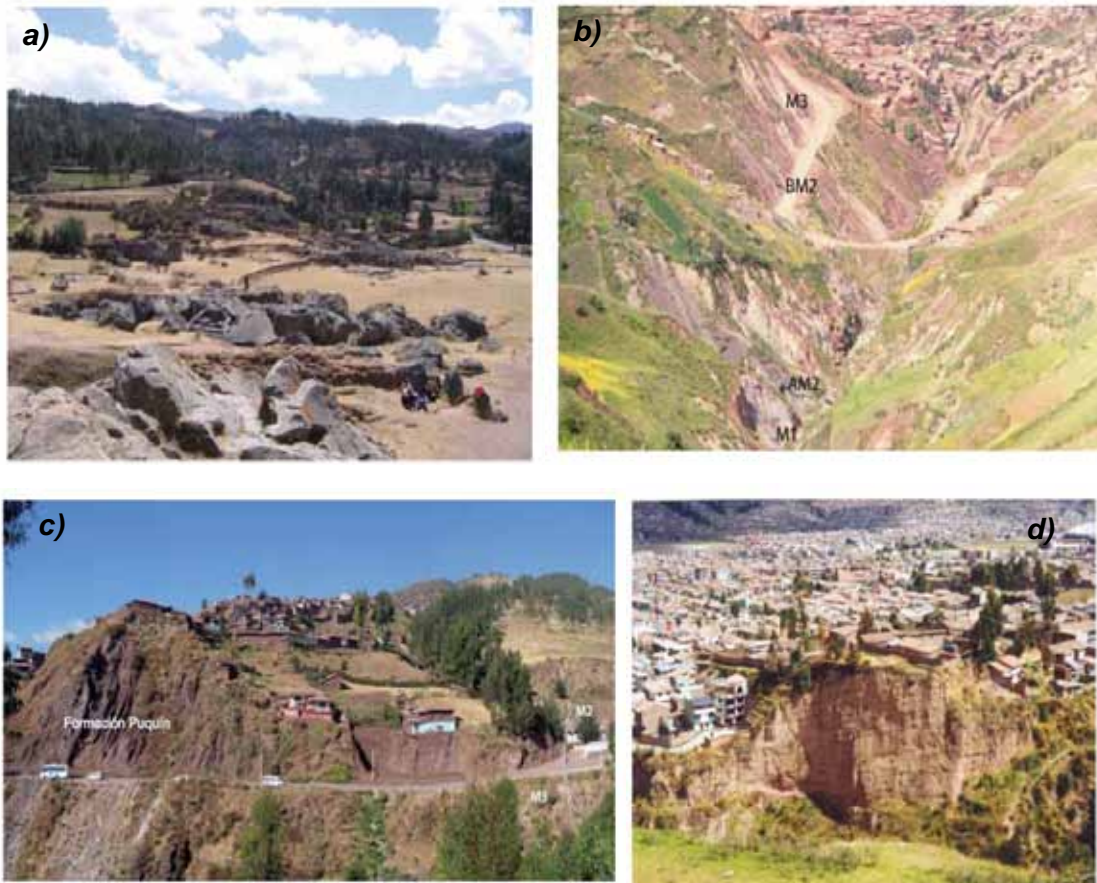


Figura 4: Vistas de a) Formación Ayabaca o calizas Yuncaypata, b y c) Formación Puquín, zona oeste de Cusco y d) Formación San Sebastián, valle Cusco, zona norte (Fotos: Cuadrángulo Cusco - INGEMMET).

- **Depósitos fluviales (Q-fl)**

Se presentan en las márgenes de los ríos Huatanay y Lucre a manera de terrazas. Están conformados por bancos de gravas y arenas, formando terrazas. Las terrazas bajas constituyen zonas vulnerables, ya que durante las avenidas máximas, son afectadas por inundaciones y erosiones, por lo que no se deben construir viviendas.

3.1.2. Geomorfología

Geomorfológicamente la zona de estudio es bastante joven con un lento desarrollo de sus agentes modeladores, prueba de ello los ríos son jóvenes, inestables, torrentosos (en la cabeceras), desarrollo de cárcavas incipientes, constantes erosiones y arrastres de materiales de los ríos tributarios y otros, hace que la zona en su conjunto constituya una región geomorfológicamente inestable (Figura 5). Entre las principales unidades se tiene las siguientes:

a) Altas Cumbres

Con elevaciones que llegan a los 4,800 msnm, como las altas cumbres del Pachatusán y Picol, con áreas notablemente glaciares y ocurrencia de nieve durante el invierno. Se ubican en la divisoria de aguas de las cuencas del río Vilcanota y el río Huatanay. Debido al rumbo de los estratos y su posición estructural poseen un perfil asimétrico, con las pendientes más abruptas hacia el valle del Vilcanota, están emplazadas en el volcánico Mitú.

b) Zonas de Montañas

○ Montañas del Pachatusán

Aledañas a las altas cumbres constituidas por elevaciones también importantes y algunas zonas de pequeñas mesetas y pequeñas lagunas, constituidas mayormente por volcánico Mitú, formación Huancané, formación Huambutio en pequeña proporción. Presenta extensas áreas glaciares con depósitos morrénicos. Igualmente constituyen el flanco sur del anticlinal del Vilcanota que tiene una dirección WNW-ESE.

○ Montañas de Ccorao

Ubicadas al oeste de las montañas del Pachatusán, igualmente se encuentran en la divisoria de las aguas de los dos valles principales de la zona. Entre sus relieves más importantes tenemos el Huaynapicol (4,448 msnm.), Sencca (4,423 msnm.) ubicada al norte de la ciudad del Cuzco, limitada por la meseta de Sacsayhuamán, por la falla Tambomachay se emplazan en las capas rojas del grupo San Jerónimo.

○ Montañas de Picchu:

Constituidas por elevaciones que llegan a los 4,000 msnm. Se ubican al oeste de la ciudad del Cuzco, dividen las cuencas del río Huatanay al este y la del río Izcuchaca hacia el oeste.



En estas montañas nacen los principales afluentes formadores del río Huatanay. Se emplazan en capas rojas y el grupo Yuncaypata.

- **Montañas de Vilcaconga:**

Ubicadas al sur de la cuenca del río Huatanay; las altitudes promedio de sus elevaciones son de 4,000msnm. (Huanacaure 4,089 m, Pucará 4,196m, Chaquicocha 4,365m), constituyen una gran hilera de elevaciones con rocas bastantes deformadas, constituyen la divisoria de aguas de las grandes cuencas del río Vilcanota (de la que es parte el río Huatanay y el río Apurímac, alimentan a la cuenca del río Huatanay varios afluentes importantes que son: Huancaró, Choco, Huamancharpa, Kayra, Rinconada y otros. Se emplazan en las capas rojas del grupo San Jerónimo y el grupo Yuncaypata.

c) Mesetas

Ubicadas por debajo de las zonas de montañas, los controles son básicamente estructurales y litológicos, en estas zonas las rocas son menos competentes que las rocas confortantes de las montañas. Esencialmente se ubican sobre lutitas, evaporitas y algo de caliza pertenecientes al grupo Yuncaypata, están controladas igualmente por estructuras andinas, así mismo cubiertas en su mayor parte por suelo cuaternario reciente y volcánico reciente en algunos casos, entre las más notorias tenemos:

- **Meseta de Sacsayhuamán**

Ubicada el norte y NE de la ciudad del Cuzco, comienza a escasos 800m. De la plaza principal del Cuzco. Es una gran llanura limitada por las montañas de Ccorao hacia el norte, las de Picchu hacia el oeste la ciudad del Cuzco hacia el sur. Hacia el norte también está limitada por una gran estructura de falla conocida como Tambomachay (Sebrier et al., 1982). La erosión diferencial de las glaciaciones ha producido una penillanura con una altitud promedio de 3,600msnm. (Ciudad del Cuzco 3,350 msnm), existe una diferencia de altitud de 300m. Con referencia a la llanura fluvial del río Huatanay. Se emplaza casi enteramente sobre rocas de la formación Yuncaypata (pelitas, evaporitas y en menor proporción calizas).

- **Meseta de Huaccoto:**

Ubicada en el flanco noreste del valle del Huatanay. El control de la morfología es estructural y litológico (falla Pachatusán y rocas de la formación Yuncaypata-Huambutío y Huancané), corresponde a una zona de deformación de flanco del anticlinal del Vilcanota hacia el norte

y NE está limitado por las montañas del Pachatusán, hacia el sur por el flanco noreste del valle del Huatanay.

Comienza alrededor de los 4000msnm. Hasta los 4,200msnm. Altitud promedio de 4,100msnm. El desnivel con el fondo del valle es de 800m. (Llanura fluvial a 3,200msnm.), es un gran receptáculo temporal de aguas. Existe un importante afloramiento de rocas lávicas cuaternarias controlada por una falla regional (Marocco, 1978).

d) Flancos de valle

- **Flancos del Valle Huatanay**

Flanco Noreste del Huatanay

Tiene considerable extensión (18km) y es de una gran complejidad estructural y litológica (ver plano geológico). Comprende la zona de mayor deformación de flanco del anticlinal del Vilcanota. Desde 3,150msnm (Fondo del valle) hasta 3,900msnm. Con un desnivel de 750m zona de gran acumulación de materiales coluviales. Alberga igualmente una serie de deslizamientos antiguos y modernos siendo una zona de gran actividad geodinámica. En promedio su pendiente es mayor a 30°.

Flanco sureste del Huatanay:

De gran extensión prácticamente desde las cabeceras del río Huatanay hasta la desembocadura de éste con 21km. de longitud y un ancho promedio de 150m. Emplazada íntegramente sobre rocas pelíticas, areniscas y conglomerados del grupo San Jerónimo. Es un flanco menos dinámico que el anterior, excepto en cárcavas y valles transversales. Tiene un desnivel promedio de 550m. (3,700msnm hasta 3,150msnm. en el fondo del valle). Las pendientes son mucho más moderadas que en el flanco anterior (30° promedio).

Flanco oeste del río Huatanay:

Corresponde a las nacientes del río Huatanay por debajo de las cumbres de Picchu, Tica Tica, zona de grandes alimentadores de agua a la cuenca, emplazada en rocas del grupo Yuncaypata y grupo San Jerónimo. Tiene una longitud de 10km. y un ancho de 550m. Presenta pendientes que superan los 45° (promedio 45°), es una zona de complejidad estructural y litológica (numerosas estructuras de gran variedad de rocas con grandes acumulaciones de materiales coluviales) Además muestra zonas de fuerte intemperismo y meteorización con recientes desprendimientos de rocas. Zona de fuerte dinámica.

e) Llanura Lagunar Fluvio Aluvial del Huatanay:

Denominada también “Depresión del Cuzco” (Candía y Carlotto 1985). Constituida por la llanura o fondo del valle del Huatanay (valle del Cuzco), ver **Figura 5**. Las diferentes glaciaciones e interglaciaciones acumulan desde los materiales glaciares aluviales conocidos como formación “Pumamarca” luego el material lagunar “formación San Sebastián”; los materiales aluviales del río Huatanay y los coluviales antiguos y recientes, con una extensión de 25km de largo por 2km con un área de 32km². En la ciudad del Cuzco se distinguen dentro de esta unidad, terrazas y cono terrazas sucesivas (Córdova y Escobedo R. 1990) las cuales son las siguientes:

- **Terraza III:**

Ubicada entre 14 a 20m del lecho del río Huatanay, es la más antigua, se observa en las cabeceras de la llanura (cercana al río Saphy).

- **Terraza II:**

Se ubica entre 8 y 11m del nivel del río Huatanay, conforma la plataforma del antiguo Cuzco. Testifican el retroceso y migración del río Huatanay.



Figura 5: Características del valle Cuzco.

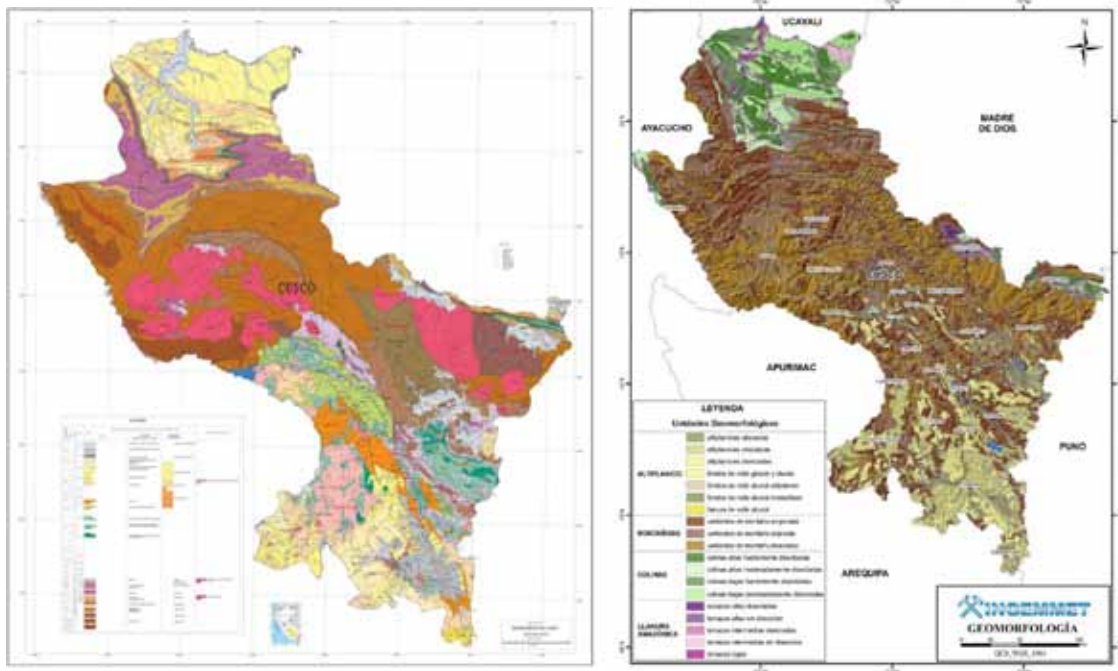


Figura 6: Mapa geológico y geomorfológico de la provincia de Cusco (Fuente: INGEMMET).

○ **Terraza I:**

Es la más reciente a menos de 8m del cauce principal y marca el último proceso erosivo del río Huatanay. En estas terrazas que se extienden a lo largo del valle se asientan numerosas urbanizaciones nuevas (Miraflores, Retamales Electro Perú, Versalles entre otras).

Las Figura 6a y 6b, muestran las características geológicas y geomorfológicas del departamento de Cusco.

3.1.3. Tectónica activa

En la región Cusco existen una serie de fallas tectónicas activas, dentro de las cuales se observa el sistema de Fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sucuni (SFZCUS). Según Carlotto (1998), Sempere et al. (2005), Carlier et al. (2055) la ciudad de Cusco se encuentra ubicada en una zona activa de fallas regionales desde épocas paleozóicas hasta neógenas. Estudios realizados desde la década de los 80s ponen en evidencia la existencia de fallas cuaternarias y activas que se alinean de Norte a Sur, tales como: Zurite, Chincheros, Tambomachay, Tamboray, Qoricocha, Patachusan, Ocongate, Langui-Layo (Figura 7).

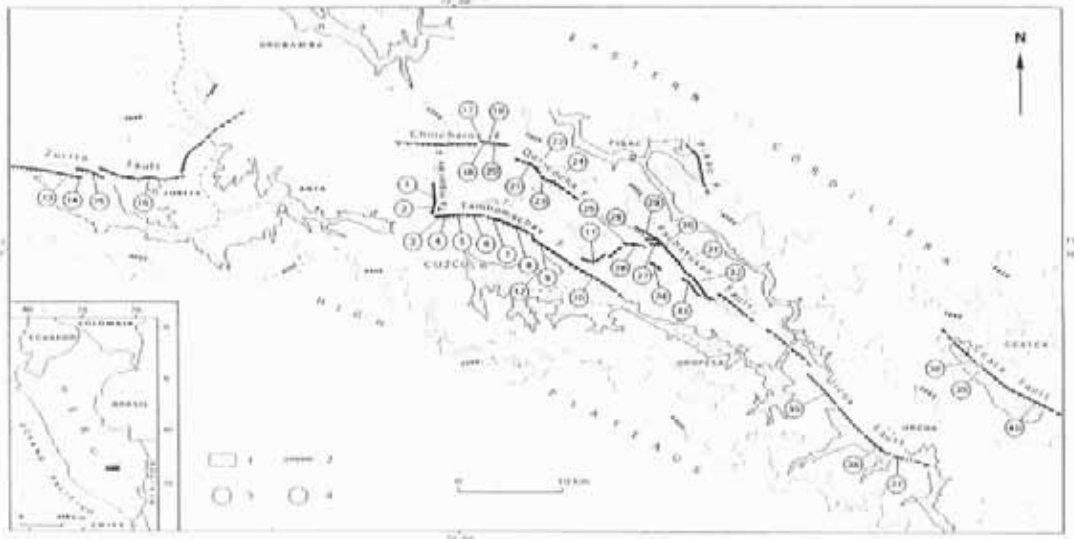


Figura 7: Principales sistemas de fallas en la región Cusco (Cabrera, 1988).

- Falla Tambomachay

Esta falla se encuentra ubicada a 4 km al norte de la ciudad de Cusco. Se extiende en dirección N120°E, con buzamiento entre 70°- 80° hacia el Sur, en una extensión de 20 km, limitando una cuenca rellena de depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Su ubicación adyacente a la ciudad de Cusco representa un peligro latente (Benavente et al., 2013).

El cartografiado realizado por profesionales del INGEMMET muestra escarpas con alturas máximas de 600 m producto de su dinámica. Las más recientes, probablemente del Holoceno, presenta alturas que varían entre 2 y 20 m, ubicadas al pie de la cordillera donde se observa el contacto fallado de rocas del basamento con depósitos aluviales cuaternarios (Gregory, 1916; Morocco, 1977). A lo largo de la falla se observa una serie de deslizamientos producto de la tectónica. Estudios microtectónicos, realizados por Huamán (1987), Cabrera (1988) y Benavente et al. (2010), evidencian movimientos de tipo normal, los cuales habrían sido precedidos por movimientos de tipo inverso, siniestral y normal.

De acuerdo al análisis morfoestructural, realizado por INGEMMET, la falla Tambomachay se divide en tres segmentos:

- **Segmento Oeste:** Con escarpe principal rectilíneo degradado y erosionado con desplazamiento vertical de hasta 100 m y con escarpes secundarios conservados. Presenta buzamiento de bajo ángulo, con dirección Este-Oeste. Hacia el Oeste se conecta con la falla Tambora alineada en dirección Norte - Sur.

- **Segmento Centro:** De longitud de 10 km, presenta un escarpe de falla principal rectilíneo con escarpes paralelos y buzamiento opuesto al sur, afectando depósitos lacustres y aluviales con movimientos de tipo normal.
- **Segmento Este:** Con cuatro segmentos paralelos de fallas en direcciones NO-SE. Uno de ellos en la corona del deslizamiento Pícol, generando un desnivel de 3.5 m producido por el movimiento de la falla. Otro de 2.5 km de longitud que cruza el deslizamiento de Pícol, generando un desnivel de 10 m. Finalmente, un segmento en la quebrada Thuniyoq a lo largo de 2.7 km.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el INGEMMET y al monitoreo de la sismicidad regional y local realizada por el IGP, se evidencia la deformación y liberación de energía sísmica a través de sismos de pequeña a moderada magnitud en las proximidades de la falla Tambomachay. Teniendo en cuenta estas características y que además Cusco es una ciudad potencialmente turística que durante todo el año alberga gran cantidad de turistas nacionales y extranjeros, resulta de vital importancia proponer medidas tanto de reducción de la vulnerabilidad, así como, de medidas de preparación para la respuesta de la población y autoridades dentro de la zona de estudio (Figura 8).

UBICACIÓN DE LA FALLA TAMBOMACHAY

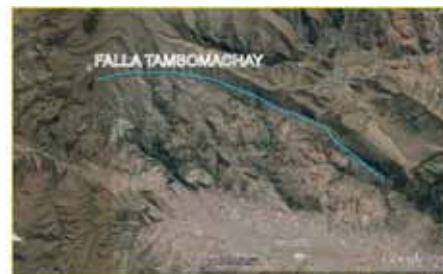


Figura 8: Mapa de localización de la falla Tambomachay.

- **Falla Qoricocha**

Este sistema de fallas se localizadas a 15 Km al noreste de la ciudad de Cusco y bordea la parte oriental y septentrional de la laguna de Qoricocha. La primera denominada Falla Huanacaure, tiene orientación N120°E, aflora en una extensión de 8 Km y es una falla normal con buzamiento entre 70° y 80° hacia el Sur. En 1986 esta falla generó un sismo de magnitud 5.4Mb con ruptura en superficie de 0.15 m (Cabrera y Sébrier, 1998). Este sismo produjo una serie de réplicas a lo largo de las fallas Tambomachay y Pachatusan, los cuales, según INGEMMET, habrían generado su reactivación.

IV. CARACTERÍSTICA GENERAL DEL ÁREA

La ciudad de Cusco es considerada como la capital histórica del país y la octava ciudad más poblada (Figura 9). En 1983 fue declarada como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, el 22 de diciembre del mismo año, mediante Ley N° 23765, el Gobierno Peruano la designa como la Capital Turística del Perú y Patrimonio Cultural de la Nación. Además, es considerada como la Roma de América, debido a que alberga gran cantidad de monumentos históricos. Este hecho ha dado lugar, en los últimos 10 años, al acelerado incremento del área urbana hasta en un 76%, pero en algunos casos de manera desordenada, precaria y sin tener en cuenta los peligros existentes.



Figura 9: Vista panorámica de la ciudad de Cusco (Foto: Wikipedia).

V. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Dentro de la zona de estudio se han identificado una serie de peligros de origen natural, producidos por procesos en el interior y en la superficie de la tierra; así como, procesos hidrometeorológicos. En el 2004, dentro del Proyecto Ciudades Sostenibles (PCS), elaborado por el Programa de Desarrollo para las Naciones Unidas (PNUD) e Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), se identificaron una serie de peligros existentes dentro de los ocho distritos de la provincia de Cusco, entre ellos los producidos por fenómenos climáticos, geodinámicos, geológicos, geotécnicos y otros (Cuadro 3).

Cuadro 3: Tabla de peligros identificados dentro de la provincia de Cusco (Fuente: Proyecto Ciudades Sostenibles, 2004).

Peligros	Descripción	Origen
Peligro Climático	Erosión de riberas, inundaciones y nivel freático alto	Precipitaciones pluviales, sólidas intensas (Diciembre-Abril)
Peligro Geodinámico	Deslizamiento de taludes, flujos de lodo y derrumbes	Cambios en la topografía de la zona, Filtraciones de agua, erosión, entre otros
Peligro Geotécnico	Asentamiento de suelos	Suelos de baja calidad
Peligro Geológico estructural	Fallas geológicas	Desplazamiento relativo de bloques, en este estudio se considera la falla Tambomachay
Peligro Sísmico	Amplificación sísmica	Sismos de magnitud elevada en la ciudad de Cusco

Por su parte la Municipalidad Provincial de Cusco, dentro de Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023, en la sub componente de gestión de Riesgos de Desastres, ha identificado los lugares más susceptibles a movimientos en masa e inundaciones dentro de la provincia de Cusco, proponiendo como resultado un mapa de peligros.

Por otro lado INGEMMET, como parte del estudio de fallas activas, evaluó el Peligro Sísmico de la región Cusco, presentando como resultados escenarios de peligro por movimientos en masa tomando en cuenta las fallas activas dentro de esta región.

Para los objetivos del presente estudio, se utiliza el mapa de peligro a movimientos en masa elaborados tanto por la Municipalidad Provincial de Cusco y el INGEMMET, tomando como principal detonante la reactivación repentina de la falla Tambomachay. Asimismo, se evalúa los peligros asociados (Figura 10).

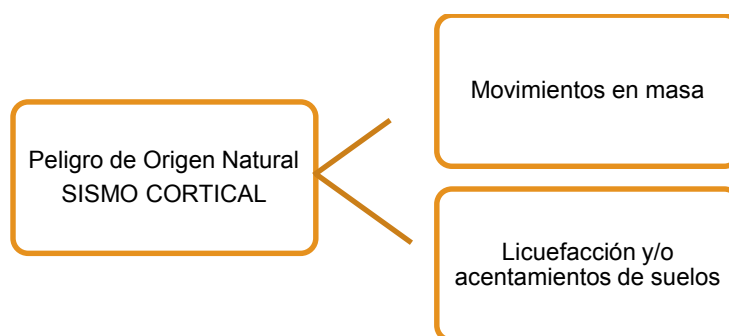


Figura 10: Peligros considerados en el presente estudio.

5.1. Movimientos en masa

Los movimientos en masa incluyen todos aquellos procesos de movilización lenta hasta extremadamente rápida, ladera abajo, de una masa compuesta por roca, detritos y/o tierra, debido al efecto de la gravedad u otros factores desencadenantes (Cruden, 1991). Se clasifican de acuerdo al tipo de movimiento, material involucrado y velocidad de desplazamiento. Por ejemplo, la reptación de suelos, cuyo movimiento es lento, a veces imperceptibles y/o difusos; mientras que, los deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden fácilmente definir sus límites o superficies de ruptura (Crozier, 1999a, en Glade y Crozier, 2005). La Figura 11, muestra los tipos de deslizamientos de acuerdo a la Guía de Evaluación de Amenazas: Movimientos en Masa en la Región Andina (2007), tales como: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales y reptaciones.

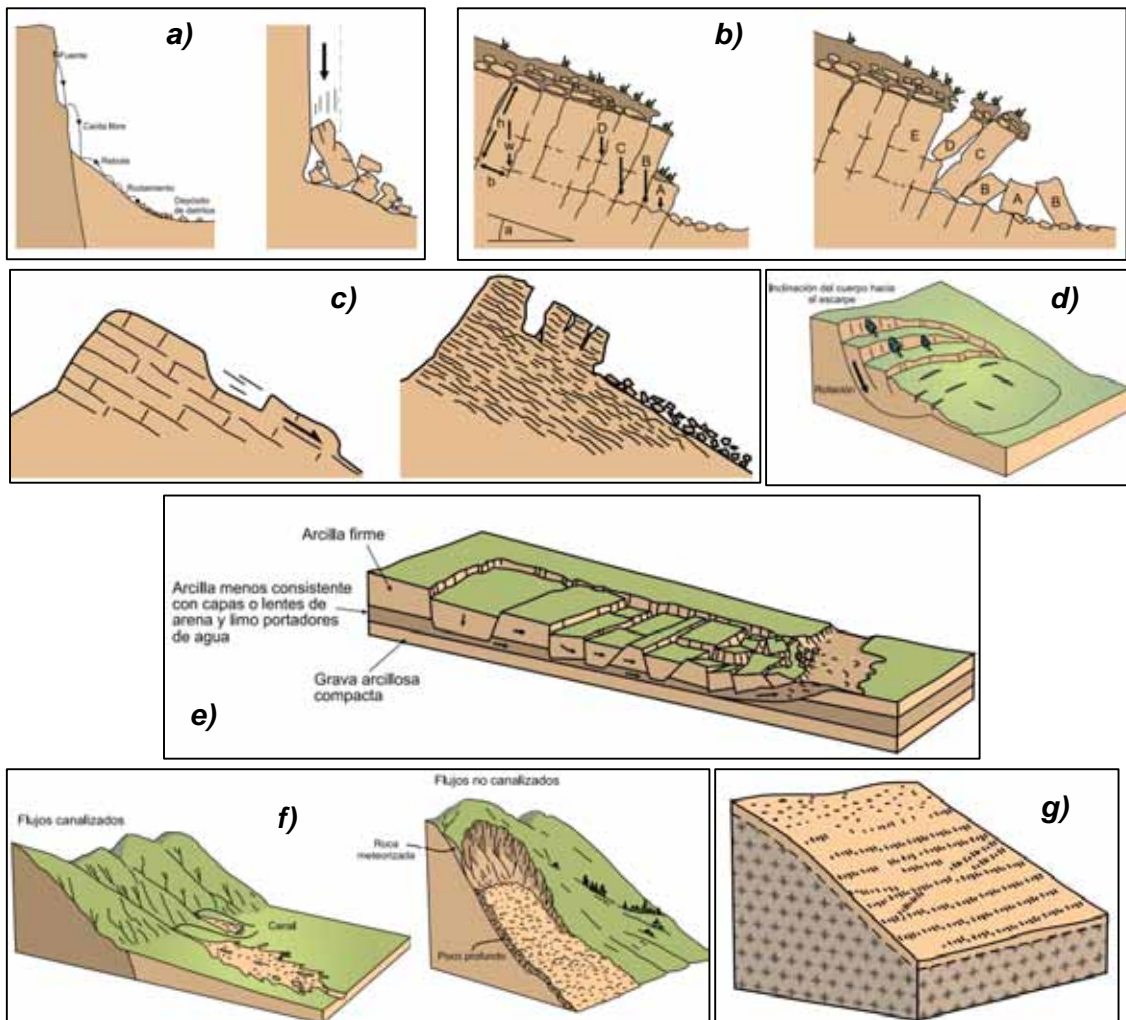


Figura 11: Caída de rocas o colapso, b) vuelcos, c) deslizamiento traslacional, d) deslizamiento rotacional, e) propagación lateral, f) flujos, g) Reptación.

5.1.1. Factores condicionantes: se debe a las características intrínsecas que representan debilidades inherentes en rocas y suelos en laderas, tales como factores geológicos (litología, estratigrafía, otros) y estructurales (Topografía, pendientes, otros).

5.1.2. Factores desencadenantes: se debe a factores que tienen una acción activa en movimientos en laderas, los cuales originan la inestabilidad, tales como: Fenómenos de **origen natural** (precipitaciones, filtración de aguas, variación de temperatura, acciones erosiva de los vientos, acción de la gravedad, sismos, cambios de la presión hidrostática por acciones hidrometeorológicas, otros) y los **inducidos por el hombre** (deforestación, corte de talud, socavaciones, explotaciones mineras, usos inadecuado de riegos, asentamientos humanos en terrenos de capacidad portante baja o ubicados en laderas inestables, otros). De éstos los más recurrentes y dañinos son los producidos por la acción múltiple de lluvias intensas y sismos.

Según Keefer (1984), los deslizamientos de rocas son detonados por sismos de magnitud $\geq 4.0ML$ y las avalanchas con sismo de magnitud $\geq 6.0ML$. En función a la intensidad sísmica, las caídas de roca se dan generalmente en sismos con intensidad $\geq VI$; deslizamientos, desplazamientos laterales y flujos con intensidad $\geq VII$; mientras que, las intensidades de IV y V son poco probables que generen movimiento en masa. Por otro lado, durante las precipitaciones pluviales (diciembre a abril) todas las quebradas, cárcavas, son reactivadas y sufren procesos geodinámicos.

5.2. Deslizamientos Principales

5.2.1. Deslizamiento Pícol

Deslizamiento rotacional más importante en la ciudad de Cuzco por encontrarse muy cerca de aéreas urbanizadas como Larapa, en donde la expansión urbana es desordenada. La falla se encuentra en estado activo debido a la presencia de grietas retrogresivas y ensanchadas, registradas en su cabecera. El detonante más importante podría ser la reactivación de la falla Tambomachay, cuyo recorrido corta este movimiento de forma transversal.



5.2.2. Deslizamiento del Bosque (Sacramayo)

Se encuentra ubicado en el sector Noroeste de la ciudad del Cuzco, dentro de la microcuenca Sacramayo. Este deslizamiento tuvo sus primeras manifestaciones en octubre de 1984, provocando la destrucción de muchas viviendas. En años posteriores, el constante avance de este deslizamiento en época de lluvias ponía en riesgo la seguridad física de la población de las urbanizaciones de El Bosque, Independencia, Av. Ejército, e incluso la posibilidad de embalse en la vía asfaltada Cuzco-Abancay.

5.3. Sismos

Documentos históricos desde la época de la conquista, muestran que la región Cusco ha sido afectada por una serie de sismos superficiales de tipo intraplaca con pequeña a moderada magnitud, generando daños y pérdidas materiales y humanas como los ocurridos en 1950 y 1986.

En la actualidad, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a través de la Red Sísmica Nacional (RSN) viene monitoreando la sismicidad a nivel nacional. Más aún, a fin de monitorear la microsismicidad alrededor de la falla Tambomachay, ha realizado campañas de medición mediante la colocación de una Red Sísmica Local de sismómetros y equipos geodésicos para monitorear su actividad y/o desplazamiento debido a que ésta representa un gran peligro para la provincia de Cusco.

En la Figura 12a, se muestra el mapa sísmico de la ciudad de Cusco a partir del Catálogo Sísmico Nacional del IGP, el cual evidencia los sismos ocurridos desde 1960 al 2014. Los círculos de color rojo, representan los sismos superficiales generados por la deformación cortical o fallas geológicas; mientras que, los círculos de color verde representan los ocurridos a profundidades intermedias; es decir, sismos de subducción que ocurren en la interfaz de contacto de las placas de Nazca y Sudamérica. La Figura 12b, muestra la sismicidad local registrada por el IGP mediante una red sísmica local compuesta por seis estaciones sísmica ubicadas en las inmediaciones de la falla Tambomachay y en donde se observa la presencia de sismos superficiales formando una alineación alrededor de la falla.

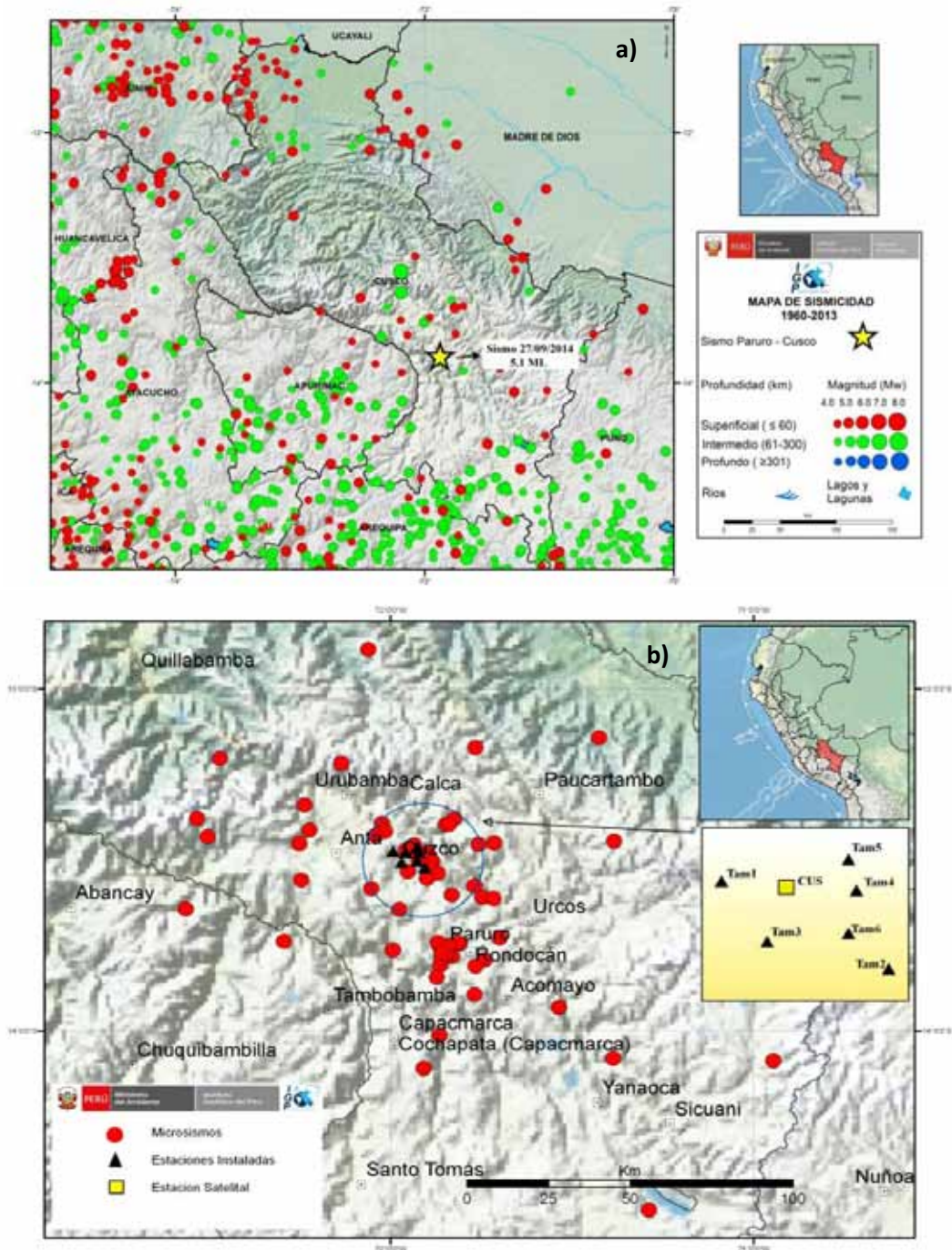


Figura 12: a) Mapa de sismicidad regional y b) Mapa de sismicidad local en torno a la falla Tambomachay (Fuente IGP).

5.3.1. Sismo del 21 de mayo de 1950

Uno de los sismos más grandes y recientes, tuvo una magnitud de 7.0Mw e intensidad de VIII en la escala de Mercalli Modificada. Produjo el 50% de daños en las viviendas, 120 muertos y 275 heridos (Silgado, 1978).

Durante el sismo se produjo licuefacción del suelo generando el levantamiento del nivel freático al sur de la cuenca del Cusco, con niveles de hasta 40 cm en la superficie (Silgado, 1952b). Información periodística y fotográfica de este terremoto indican la formación de grietas importantes en zona agrícolas de San Sebastián. El titular de "La Tierra se Abre en San Sebastián" da indicios de la existencia de una falla en esta zona, la cual podría haber sufrido desplazamiento relativo durante dicho evento. Esta característica hace suponer la posible presencia de una falla geológica a lo largo del valle de Cusco. En relación a esta falla, Silgado (1952), indica que hacia el SE de San Sebastián, se generaron extensas fisuraciones en una longitud de 5 km con aberturas de hasta 2 m de profundidad y 10 - 50 m de longitud. Se presentaron deslizamientos en laderas escarpadas y taludes de gravas aluviales (Figura 13 y 14).



Figura 13: Imágenes del terremoto de 1950 a) Templo de Santo Domingo y b) Compañía de Jesús (Fotos: Revista Life).

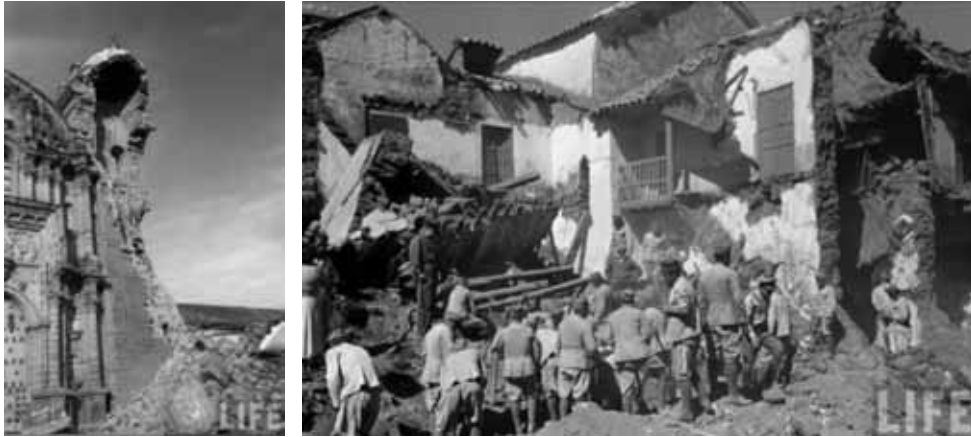


Figura 14: a) calle Tulumayo, b) paraninfo de la UNSAC, C) Damnificados.

De acuerdo a Jorge E. Alva Hurtado “Silgado, Fernández-Concha y Ericksen (1952) notaron en el lado sur del Valle, al sureste del pueblo de San Sebastián, una zona de extensa fisuración. También observaron dos pequeñas fracturas en una zona pantanosa situada a 300 m. al sur de San Sebastián, de las cuales surgió agua y arena durante el terremoto. Los hoyos producidos por la eyección tenían cerca de 2 m. de diámetro y la arena alrededor de la fractura un espesor de 1 a 2 cm. Durante el movimiento sísmico estas fracturas y otras producidas a lo largo del cerro, vertieron chorros de agua que alcanzaron 1 a 2 m. de altura. El nivel de la napa freática se levantó en el lado sur del Valle. Áreas que habían estado casi secas antes del terremoto, aparecieron cubiertas con 10 a 40 cm de agua, semana y media después del sismo. El agua en un pozo de la Hacienda San Antonio subió a 1.80 m. por encima de su nivel normal, después del terremoto“.

5.3.2. Sismo del 5 de abril de 1986

Sismo con magnitud de 5.4Mw, foco superficial e intensidades entre IV y VI en la escala de Mercalli Modificada. Según Cabrera y Sébrier (1998), éste sismo fue localizado a 8km al NE de la ciudad de Cusco (Figura 15). Fue generado por la reactivación de la fallas Chinchero-Qoricocha, presentó una longitud de 3 km y desplazamiento de hasta 10 cm, con extensión en dirección Norte-Sur. Causó la muerte de 7 personas, 80 heridos y aproximadamente 13,000 damnificados.

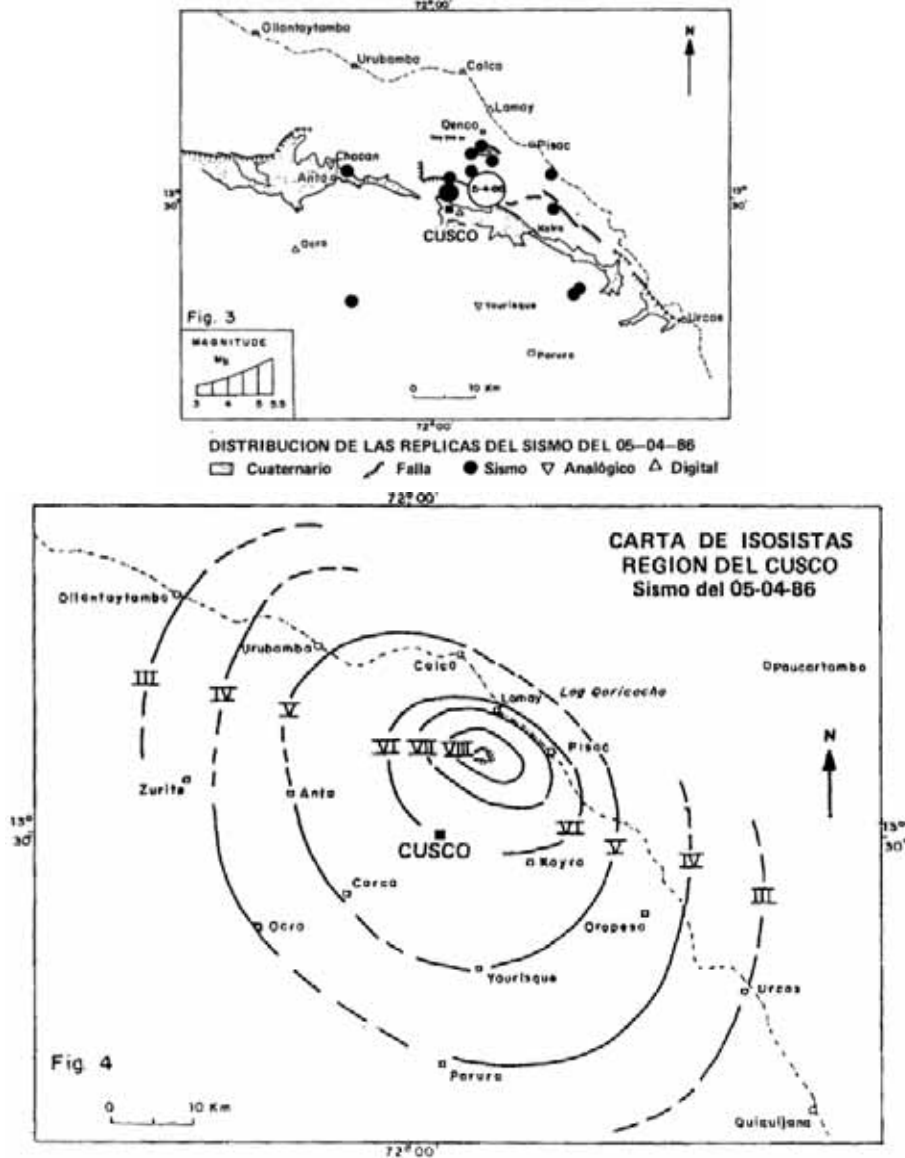


Figura 15: Mapa de localización epicentral e intensidades del sismo de 1986 (Huamán, 1987).

5.3.3. Sismo de Paruro Cusco

El 27 de setiembre del 2014 a las 21:35 horas, se produjo un sismo con magnitud 5.1 ML, ubicado a 7 Km al SO de Paruro a una profundidad de 8 Km. Las intensidades observadas fueron de V-VI en Paruro (Comunidad Misca) y Rondocán, y de II - III en Cusco (Figura 16).

Produjo daños personales y materiales en la localidad de Misca, distrito de Paruro, provincia de Paruro, región Cusco. De acuerdo al COE – Salud, éste sismo produjo un total de cuatro heridos y ocho fallecidos, entre ellos cuatro niños y cuatro adultos. Asimismo, cuatro instituciones educativas fueron afectadas, dos en Misca y dos en Cusibamba (MINEDU).

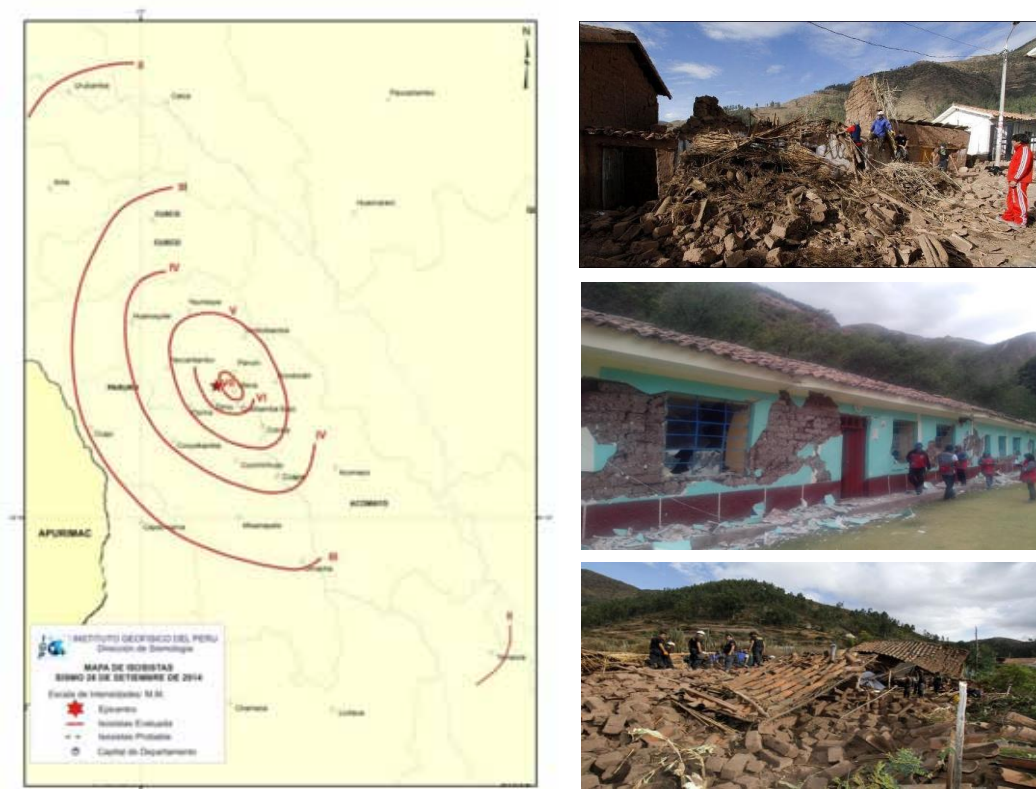


Figura 16: Mapa de intensidades sísmicas en la escala de Mercalli Modificada (MM) y daños generados tras el sismo de Paruro (2014), Fuente: IGP.

Otros sismos que también sacudieron la región Cusco ocurrieron en 1581, 1590, 1650, 1707, 1744, 1746, 1905, 1928, 1941, 1943, 1950, 1965 y 1980.

5.3.4. Sismicidad debido a la falla Tambomachay

El proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana ha generado a lo largo del tiempo deformación cortical dentro de la placa, en especial sobre y alrededor de la cordillera de los Andes. Los sistemas de fallas son evidencia de este proceso. En este contexto, la falla Tambomachay, evidencia que lo largo de la historia, ésta ha liberado energía sísmica acumulada a través de sismos de pequeña y moderada magnitud que han producido en algunos casos efectos asociados como movimientos en masa y licuefacción del suelo.

A fin de encontrar una relación entre la magnitud de un sismo y los tipos de movimientos en masa que puedan producirse, Keefer (1984) presenta umbrales que se describen en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Posibilidad de deslizamientos causado por sismos (Keefer, 1984).

Magnitud del sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelo y alteración de masas de suelo.
4.5	Deslizamiento de translación, rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos.
6.0	Avalanchas de roca.
6.5	Avalanchas de suelo

Dado que los deslizamientos, desencadenados por un sismo, dependen de la magnitud del mismo y de factores condicionantes como la topografía, geología, hidrogeología y otros, es común que después de un sismo aparezcan grietas de tensión en taludes de gran altura. En este sentido, la frecuencia y distribución de los deslizamientos están relacionados con el mapa de isosistas, siendo más frecuentes en los sectores de mayor intensidad sísmica y menos frecuente en las áreas de menor intensidad.

Por otro lado, la dirección de los deslizamientos puede tener una tendencia hacia la dirección más fuerte del sismo, la cual es generalmente normal a la dirección de la falla que produce el movimiento sísmico (Sassa-Fukuoka 1995). Más aún, después de ocurrido un sismo generalmente continúan presentándose deslizamientos aislados de materiales que fallan en un proceso más lento.

VI. Escenario Sísmico

Dado que la ciudad de Cusco se encuentra rodeada de importantes sistemas de fallas, el peor escenario sísmico que se considera en este estudio es el originado por un sismo con epicentro en la falla Tambomachay a una profundidad de 10 km y con magnitud de 6.5Mw (Cuadro 5), propuesto por Benavente et al., 2013.

Cuadro 5: Parámetros del sismo probable, originado por la reactivación de la falla Tambomachay.

Parámetros de sísmicos (Benavente, 2013)	
Magnitud (Mw)	6.5
Profundidad (km)	10
Buzamiento	65° SO

Benavente et al. (2013), tomando en cuenta estos parámetros, propone para la ciudad de Cusco el mapa de aceleración máxima del suelo (PGA), evaluando para ello factores como: tipo de suelo (obtenido en función de sus edades, cenozoicas y cuaternarias) y distancia con respecto a la falla Tambomachay. La Figura 17, muestra el mapa de aceleraciones del suelo para la ciudad de Cusco y alrededores, cuyos valores alcanzan hasta los 0.29 g, valor que es catalogado como Muy Alto.

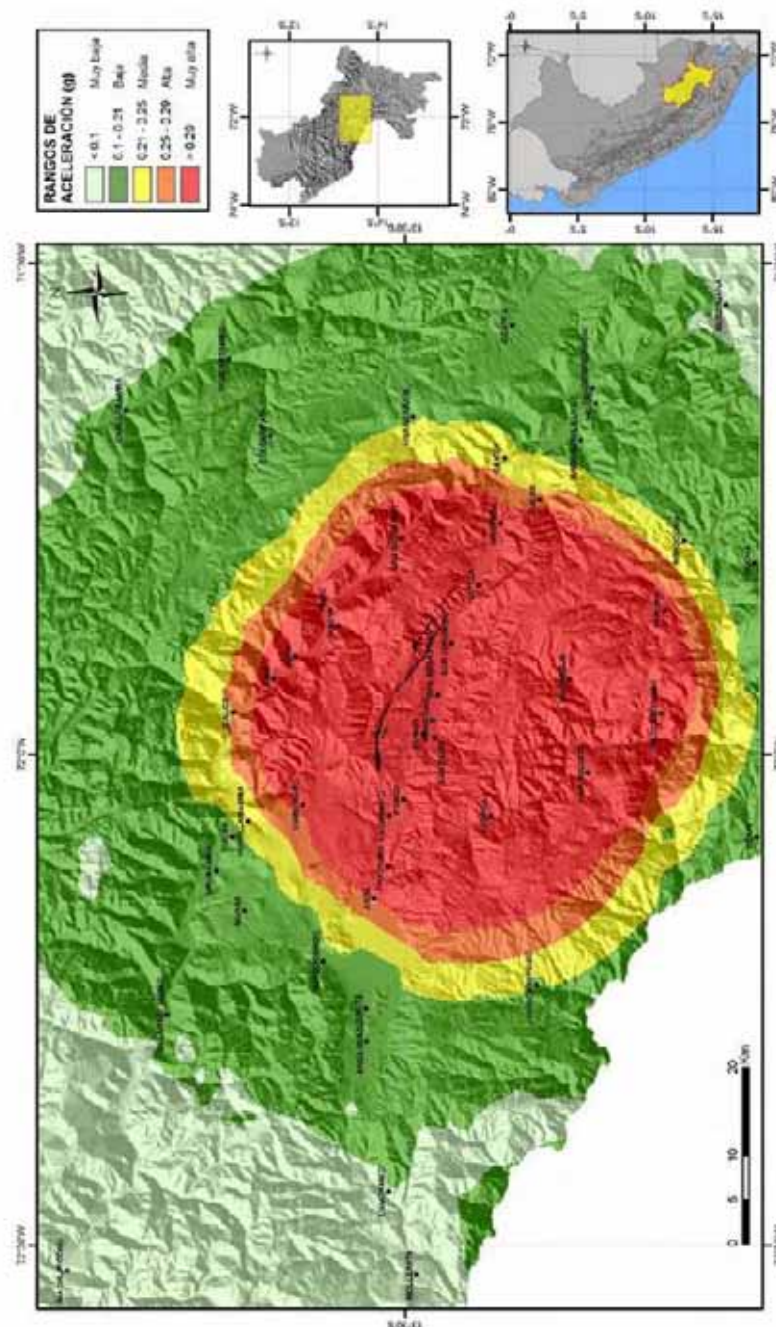


Figura 17: Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA (Benavente et al, 2013).

Por otro lado, para evaluar un escenario sísmico, es importante tener en cuenta que la capacidad de destrucción de un sismo además de depender de su magnitud, depende también de factores como: la distancia al epicentro, características del suelo y sobre todo de la resistencia de las estructuras que serán sometidas a esfuerzos.

6.2. Mapa de peligro por movimientos en masa

El mapa de peligro a movimientos en masa, para la ciudad de Cusco, fue determinado por Benavente et al., 2013, para cuyo análisis consideró el mapa de susceptibilidad y el de aceleraciones máximas horizontales (Figura 18). El primero fue analizado considerando ponderaciones de acuerdo a los parámetros condicionantes. Por ejemplo, la Litología considera un factor de alto peso (0.4), seguido de Geomorfología (0.3), Pendiente del terreno (0.2), Cobertura vegetal y Uso de suelos (0.1), siendo éste último el factor de más bajo peso, por ser menos preponderante en la generación de movimientos en masa. Mientras que, el segundo fue calculado mediante las ecuaciones de atenuación para periodos entre 0.1 y 5 segundos.

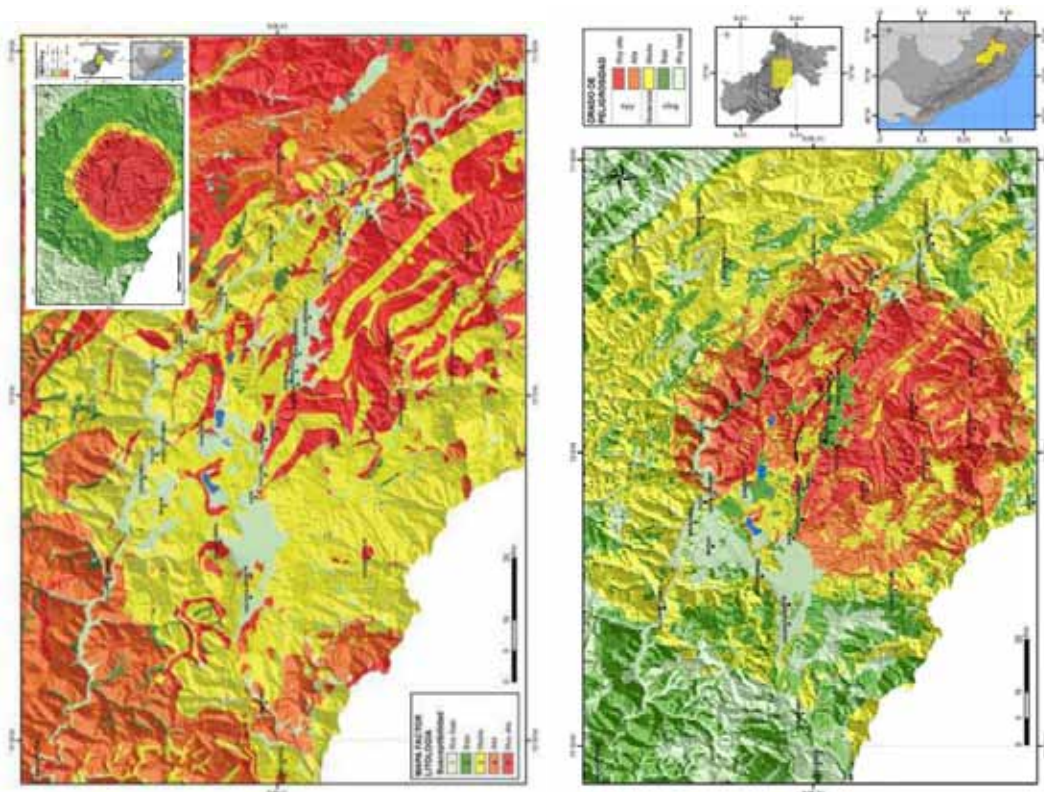


Figura 18: a) Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y de aceleraciones máximas, b) Mapa de peligro a movimientos en masa para la ciudad de Cusco, tomando como fuente la reactivación de la falla Tambomachay (Benavente et al., 2013).

Por otro lado, con la finalidad de realizar una mejor identificación de las zonas de peligro a movimientos en masa, a escala local, se utiliza el mapa elaborado por la Municipalidad Provincial de Cusco dentro de su Plan de Desarrollo Urbano, Cusco al 2021 (Figura 19).

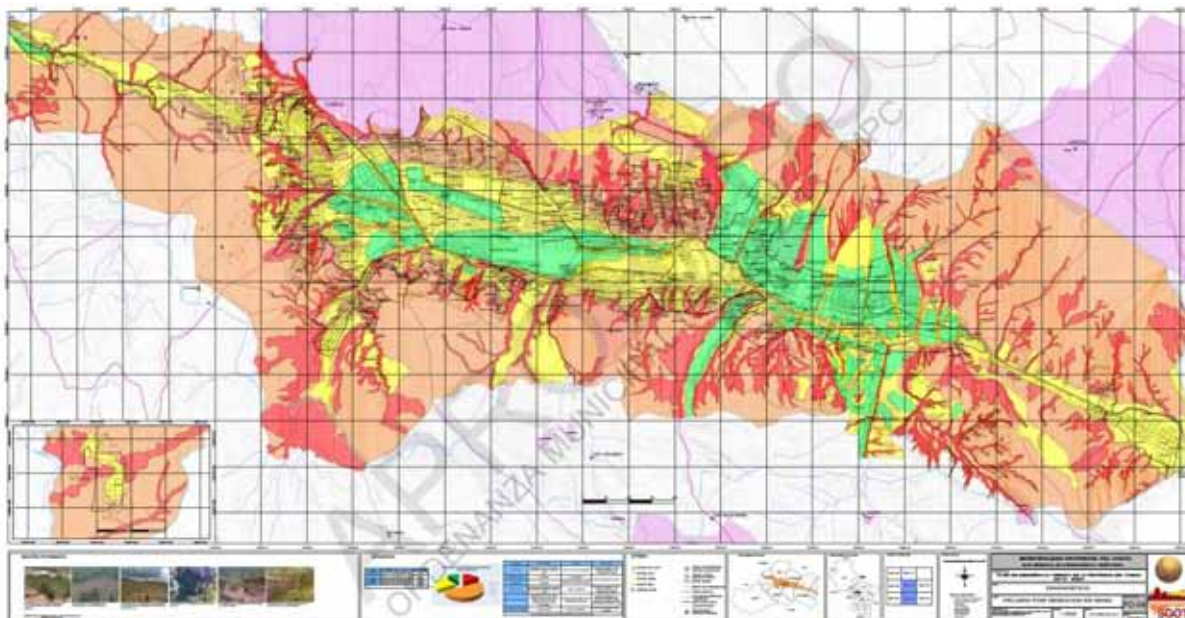


Figura 19: Mapa de Peligro a movimientos en masa propuesto por la municipalidad provincial de Cusco.

6.3. Mapa de peligro por licuefacción de suelos

Además del peligro a movimientos en masa, Benavente et al. (2013) identifica las zonas de alta susceptibilidad a licuefacción de suelos y propone un mapa de Peligro por licuefacción de suelos y/o asentamientos del terreno (Figura 20).

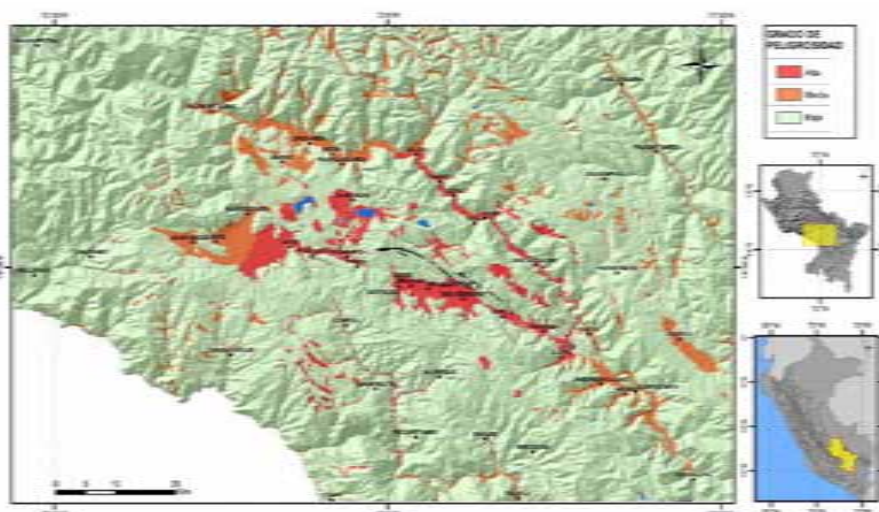


Figura 20: Mapa de susceptibilidad a efectos de licuefacción del suelo y/o asentamientos del terreno (Benavente et al., 2013)

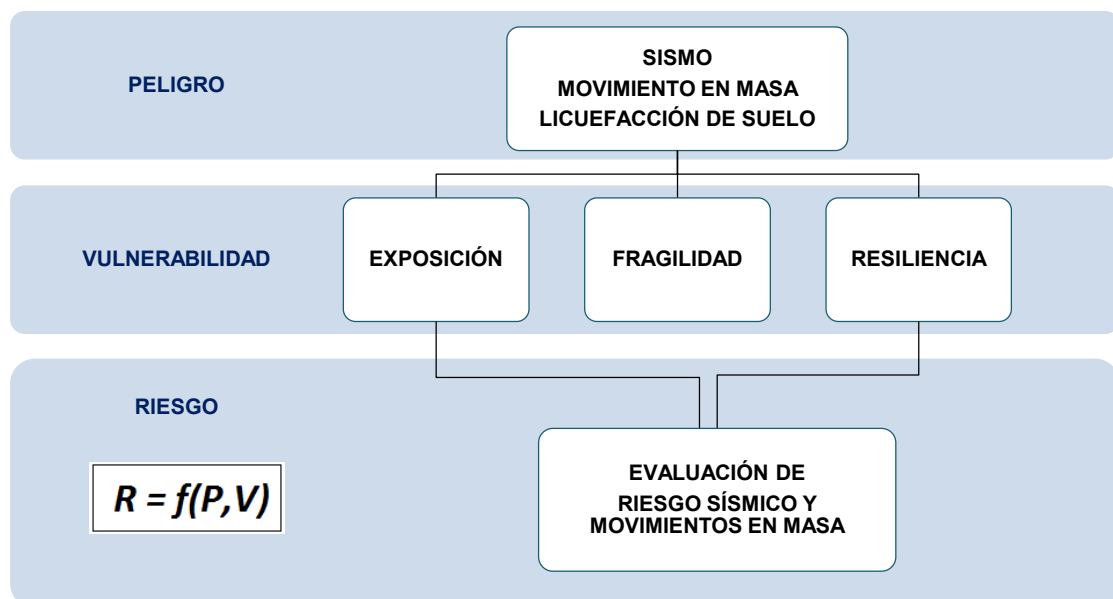
VII. Análisis de vulnerabilidad

Según el reglamento de la Ley N°29664, La vulnerabilidad es la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza; mientras que, el análisis de la vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se evalúa las condiciones existentes de los factores de la vulnerabilidad: **exposición**, **fragilidad** y **resiliencia** de la población y de sus medios de vida.

En este estudio, se evalúa la vulnerabilidad de la zona urbana de la provincia de Cusco, considerando los factores de exposición y fragilidad de la población y de sus medios de vida. En cuanto al factor de resiliencia, dado que Cusco es una zona muy extensa para obtener información a nivel de lote y/o manzana, se hace la evaluación (mediante muestreo) en zonas identificadas como de alto riesgo.

La metodología que se utiliza, se basa en la superposición de mapas de diferentes variables, las cuales permiten identificar zonas de riesgo. El primer paso consiste en determinar el grado de peligro al cual está expuesta la población de Cusco, el segundo paso consiste en identificar el grado de vulnerabilidad dentro de la zona de estudio. Finalmente, la interacción de ambos factores permite establecer un escenario de riesgo (Figura 21).

Figura 21: Metodología para la determinación del riesgo sísmico y de movimientos en masa.



7.1. Vulnerabilidad por Fragilidad

Está relacionada con indicadores referidos a la calidad o tipo de material utilizado, el estado de conservación, el número de pisos y otras variables físicas de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales), de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego).

En este estudio, por la característica de la información con que se cuenta, se estima el nivel de vulnerabilidad, en su componente de fragilidad, considerando únicamente las siguientes variables:

- a) *Material de construcción*
- b) *Estado de conservación*
- c) *Número de pisos de las edificaciones*

La base de datos utilizada fue proporcionada por la Municipalidad Provincial de Cusco, elaborada para el Plan de Desarrollo Urbano Cusco 2013-2023. Para una evaluación más precisa, se recomienda realizar levantamiento de información complementaria.

a) **Material de construcción de las viviendas**

Para evaluar la vulnerabilidad física de la zona urbana de Cusco, se considera como primer factor el tipo de material de las edificaciones. La Figura 22, claramente muestra las zonas donde predominan las construcciones de material de baja resistencia (quincha, adobe, tapial o madera); especialmente en zonas periféricas de la zona urbana de Cusco.

En total, se estima que 46% de las viviendas de la zona urbana de Cusco son de ladrillo, bloque de cemento, piedra con cal y cemento, mientras que, el 52% de las viviendas son construidas de adobe, tapial y/o madera, siendo únicamente el 2% de quincha, estera o piedra con barro (Figura 23).

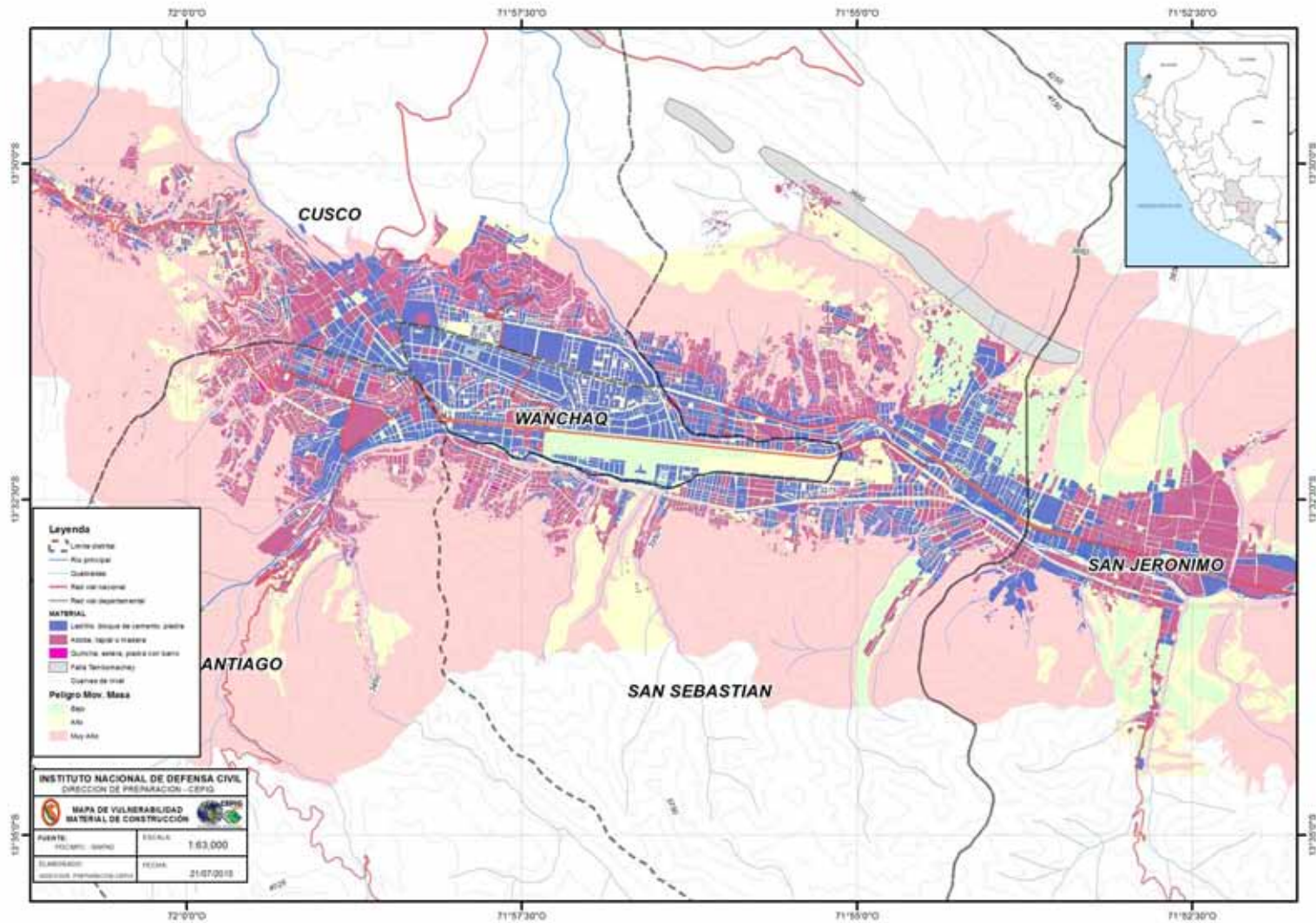


Figura 22: Mapa de viviendas de la ciudad de Cusco, según el material de construcción.

El Cuadro 6, muestra los diferentes tipos de material de construcción existentes dentro de la zona urbana de Cusco, además de un ejemplo de cada una de ellas.

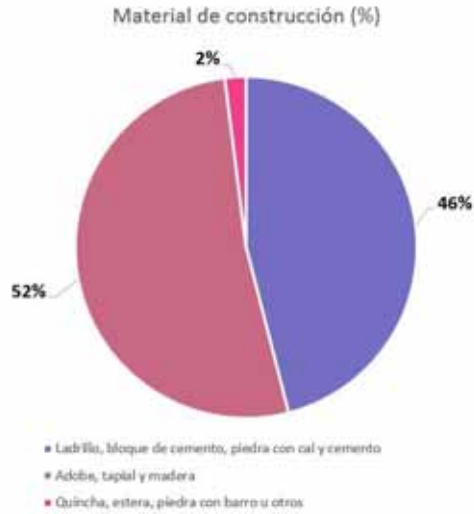


Figura 23: Estadística del estado de construcción de las viviendas ubicadas dentro de la zona urbana de Cusco.

Cuadro 6: Ejemplo de viviendas de acuerdo al tipo de material de construcción.

Material de construcción	Ejemplo	Ejemplo
Ladrillo, bloque de cemento o piedra y cal		
Adobe, tapial o madera		



a) Estado de conservación de las viviendas

Otro aspecto a considerarse, de igual importancia, es el estado de conservación de las viviendas, cuya característica ayuda a identificar aquellas más propensas al colapso ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud y/o posterior deslizamiento o derrumbes.

Las edificaciones que regularmente son reparadas o cuentan con mantenimiento resistirán mejor ante el sacudimiento o aceleración del suelo; mientras que, las edificaciones que presentan estado de conservación malo, son más propensas al colapso y por consecuencia presentan un alto riesgo para sus habitantes. En Cusco es necesario el mantenimiento permanente de las edificaciones debido al deterioro y/o erosión que sufren producto de las lluvias intensas que se presentan en la zona. La población comúnmente para mitigar los daños, en viviendas de adobe, cubren las paredes y techos con plástico, especialmente aquellas ubicadas en la periferia de la ciudad. Por otro lado, la formación de cárcavas en zonas de alta pendiente y con suelos de baja resistencia ha dado lugar a la exposición, deterioro e inestabilidad de las viviendas.

En cuanto a las viviendas construidas a base de ladrillo y cemento, si estas cumplen con la norma Sismo resistente E-030, las estructuras resistirán más, dando la garantía de:

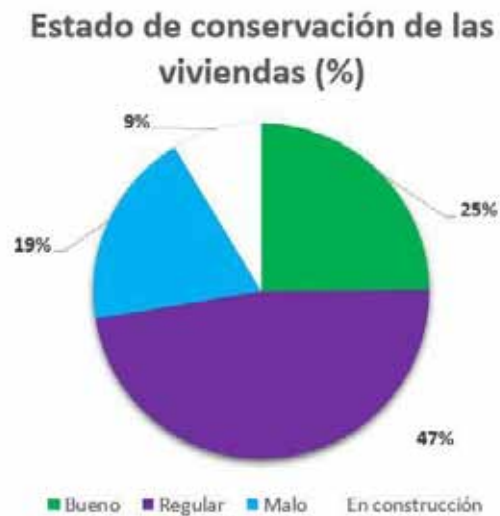
- Evitar pérdida de vidas
- Asegurar la continuidad de los servicios
- Minimizar los daños de la edificación

Sin embargo, muchas de estas viviendas dentro de la zona urbana de Cusco son auto-construcción, por tanto, no siguen las normas vigentes y mucho menos se toma en cuenta el tipo de suelo en donde se construye.

De acuerdo al análisis de la base de datos proporcionada por la Municipalidad Provincial de Cusco, se tiene que el 25% de las edificaciones presentan estado de conservación Buena, 48 % Regular y cerca de 19% Malo y un 9% de las viviendas están aún en etapa de construcción (Figura 24 y 25). Este indicador muestra claramente el predominio de viviendas con estado de conservación regular, lo cual es importante tener en cuenta para evaluar la vulnerabilidad y riesgo, pero principalmente para proponer medidas para su reparación y/o mantenimiento.

En cuanto a la distribución espacial, se tiene que en su mayoría, las viviendas con estado de conservación malo se ubican en la periferia de Cusco, especialmente dentro de los distritos de San Jerónimo, San Sebastián y el centro histórico, correspondiente a los distritos de Cusco y Wanchaq. La Cuadro 7, presenta ejemplos de la característica de las viviendas de la zona urbana de Cusco.

Figura 24: Estadística del estado de construcción de las viviendas ubicadas dentro de la zona urbana de Cusco.



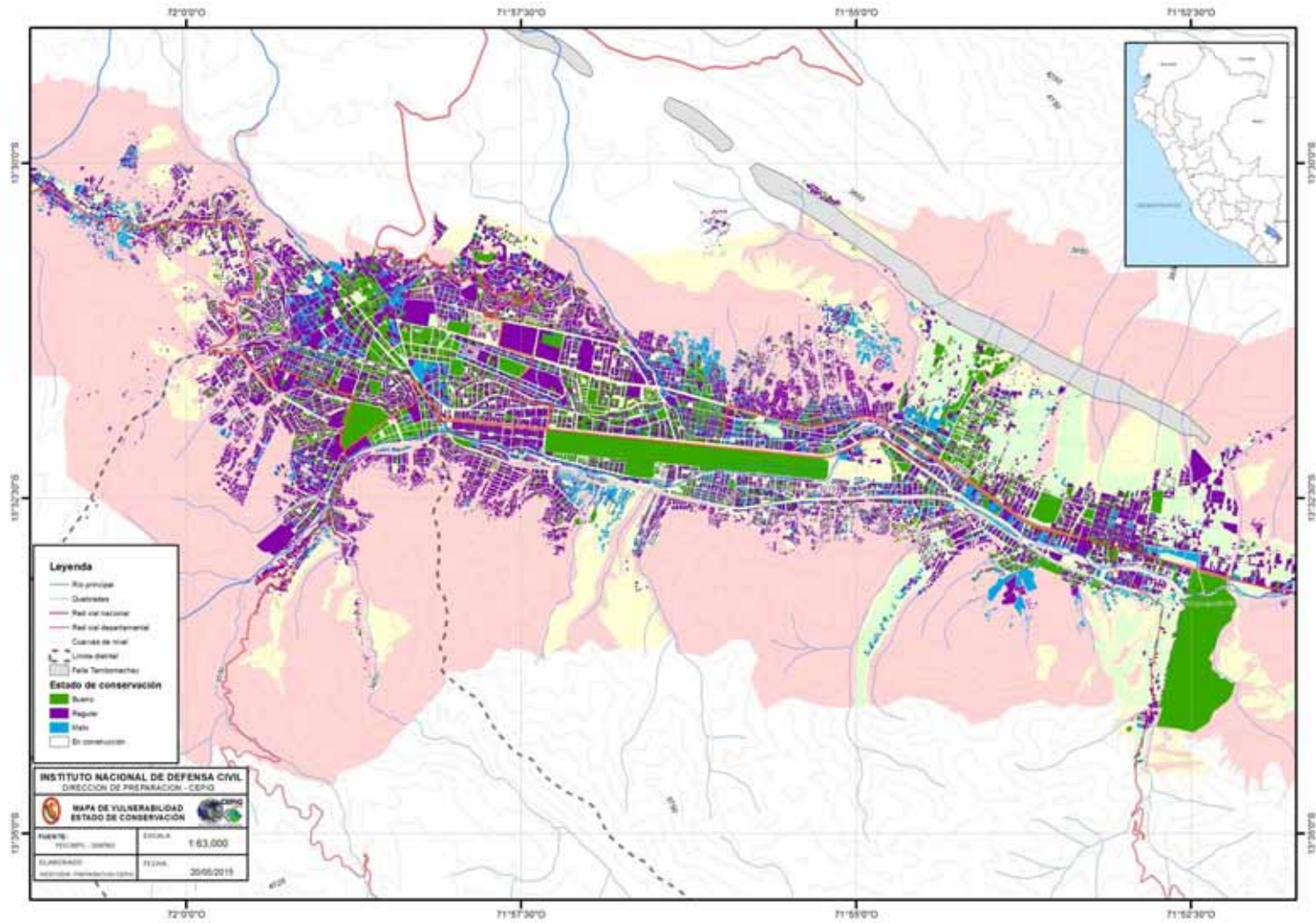






Figura 25: Mapa de viviendas de la ciudad de Cusco, según el estado de conservación.

Cuadro 7: Descripción del estado de conservación de las viviendas de la zona urbana de Cusco.

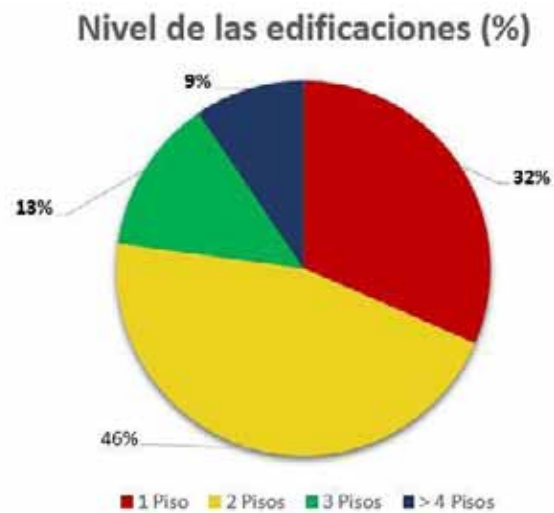
Estado de conservación	Ejemplo	Ejemplo
<p>Bueno</p> <p>Aquellas viviendas que reciben mantenimiento permanente y que presentan ligeros desgates debido al uso normal.</p>		
<p>Regular</p> <p>Aquellas viviendas que reciben mantenimiento esporádico, por tanto no presentan deterioro o presentan deterioro debido al uso normal.</p>		
<p>Malo</p> <p>Aquellas viviendas que presentan deterioro, por acción de las lluvias intensas, uso normal u otros factores externos. No reciben mantenimiento regular</p>		

b) Número de niveles de las edificaciones

Otro aspecto a tomar en cuenta para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones es el número de pisos. Este indicador proporciona información de la vulnerabilidad de las edificaciones en función al peso o masa de dicha estructura. En este sentido, la vulnerabilidad aumenta en cuanto se incrementa también el número de pisos.

En la ciudad de Cusco, se observa un predominio de edificaciones de dos niveles, siendo el 46% del total de las viviendas existentes en la zona urbana. Mientras que, el 32% de las viviendas son de un nivel y únicamente 13% de más de tres niveles (Figura 26 y 27). Como se observa en la figura, las viviendas de más de tres pisos se distribuyen de manera irregular en todos los distritos de la provincia de Cusco. En su mayoría corresponden a edificios comerciales, hoteles, departamentos, entre otros. El Cuadro 8, muestra ejemplos de viviendas y/o estructuras en función al número de pisos.

Figura 26: Estadística del nivel de las construcciones de las viviendas ubicadas dentro de la zona urbana de Cusco.



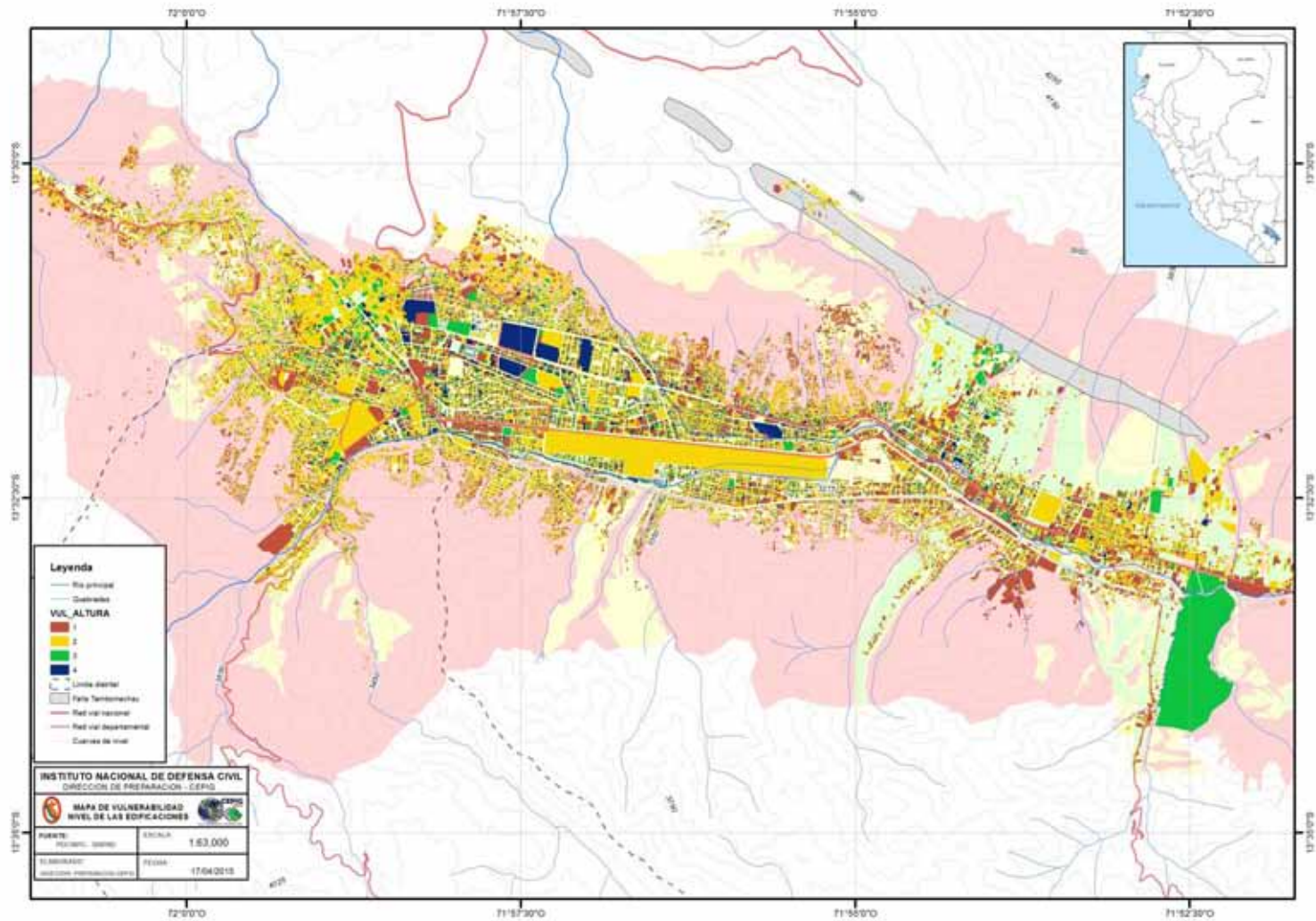





Figura 27: Mapa de predominancia de número de pisos de la zona urbana de Cusco.

Cuadro 8: Descripción del nivel de las edificaciones existentes dentro de la zona urbana de Cusco.

Estado de conservación	Descripción	Ejemplo
<p>1 Piso</p> <p>Viviendas con un nivel de construcción</p>		
<p>2 pisos</p> <p>Viviendas con dos niveles de construcción.</p>		
<p>3 pisos</p> <p>Viviendas con tres niveles de construcción.</p>		
<p>>4 pisos</p> <p>Viviendas con cuatro o más niveles de construcción.</p>		

7.2. Vulnerabilidad por Exposición

Para estimar el grado de vulnerabilidad por exposición de la zona urbana de Cusco, se considera como principal indicador la ubicación de viviendas y medios de vida dentro de zonas de peligro sísmico y de movimientos en masa.

a) Localización de viviendas dentro de zonas de peligro a movimientos en masa

Tomando en cuenta la base de datos del censo realizado por INEI (2007), se estima la cantidad de población y viviendas ubicadas dentro de zonas con peligro a movimientos en masa.

La mayor cantidad de población y vivienda expuesta, se ubica en la zona norte de la ciudad de Cusco, en los extremos de los distritos San Sebastián y Cusco y en el extremo sur de los distritos de Santiago, San Sebastián y San Jerónimo. De acuerdo a este escenario, cerca del 23% de la población se ubica en zona de vulnerabilidad Muy Alta, 46% en zona de vulnerabilidad Media y cerca de 31% en zona de vulnerabilidad Baja. El mismo porcentaje se observa en cuanto a las viviendas expuestas (Figura 28 y 29).

Cuadro 9: Cantidad de población y vivienda expuesta a movimientos en masa.

NIVEL	POBLACIÓN	VIVIENDA	% POBLACIÓN
BAJO	55,341	14,285	16
MEDIO	137,247	34,596	39
ALTO	7,777	2,166	2
MUY ALTO	147,632	37,360	42

Fuente de datos: INEI (2007)

Figura 28: Porcentaje de población ubicada en zona de peligro a movimientos en masa.



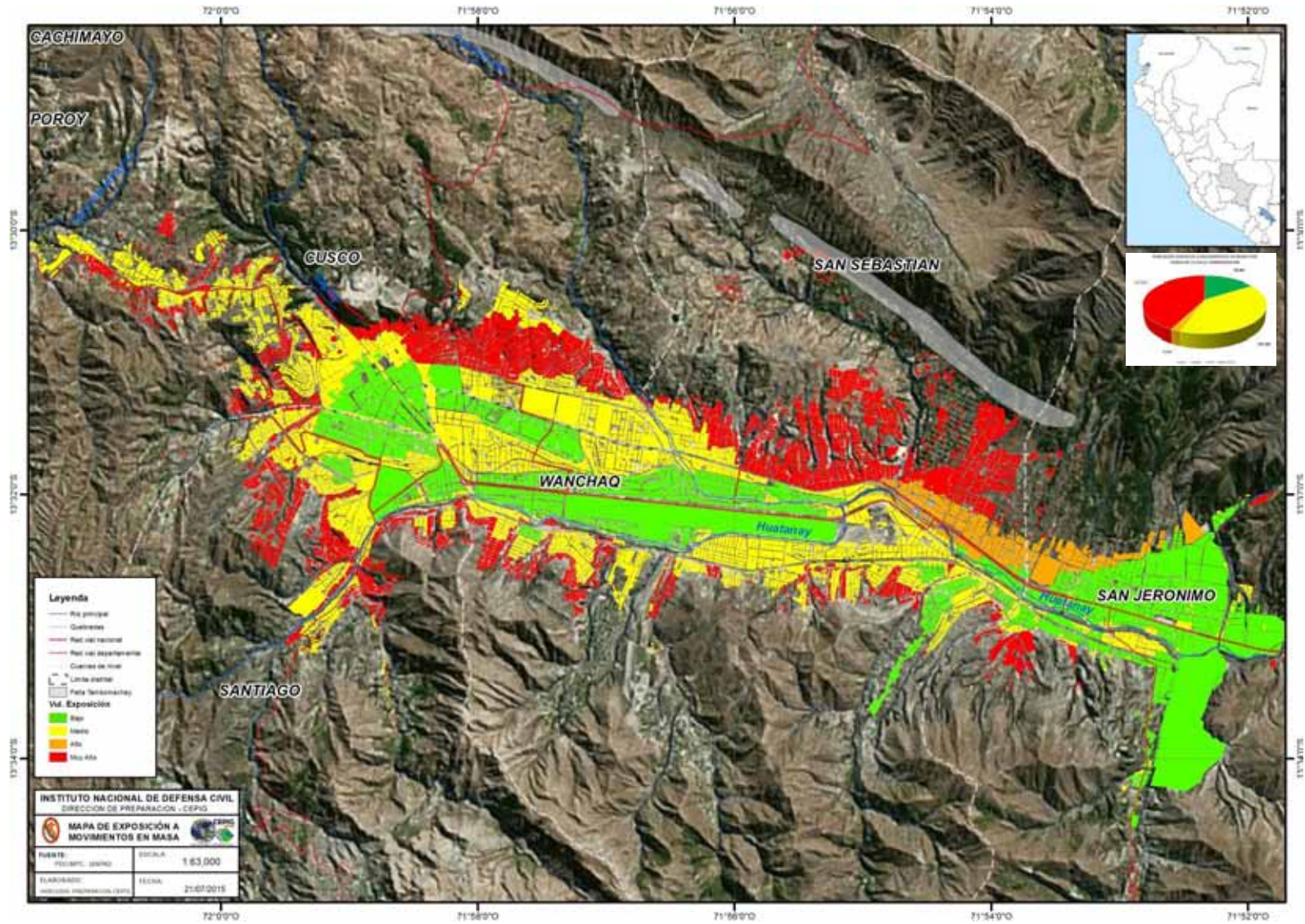


Figura 29: Viviendas de la zona urbana de Cusco ubicadas dentro de zonas de peligro a movimientos en masa.

De acuerdo a la Figura 30 y Cuadro 10, el distrito de Cusco es el que presentaría mayor población y vivienda expuesta en zona de Alto peligro a movimientos en masa (18%), seguido de los distritos de Santiago (11%), San Sebastián (10%), San Jerónimo (3%).

Los demás distritos están exentos al peligro de movimientos en masa; sin embargo, presentan peligro a licuefacción de suelos, fenómeno que es muy frecuente en zonas con presencia de nivel freático superficial. En el caso de la ciudad de Cusco, durante el sismo ocurrido en 1986, se observaron efectos de licuefacción, por lo cual es necesario analizar sus efectos.

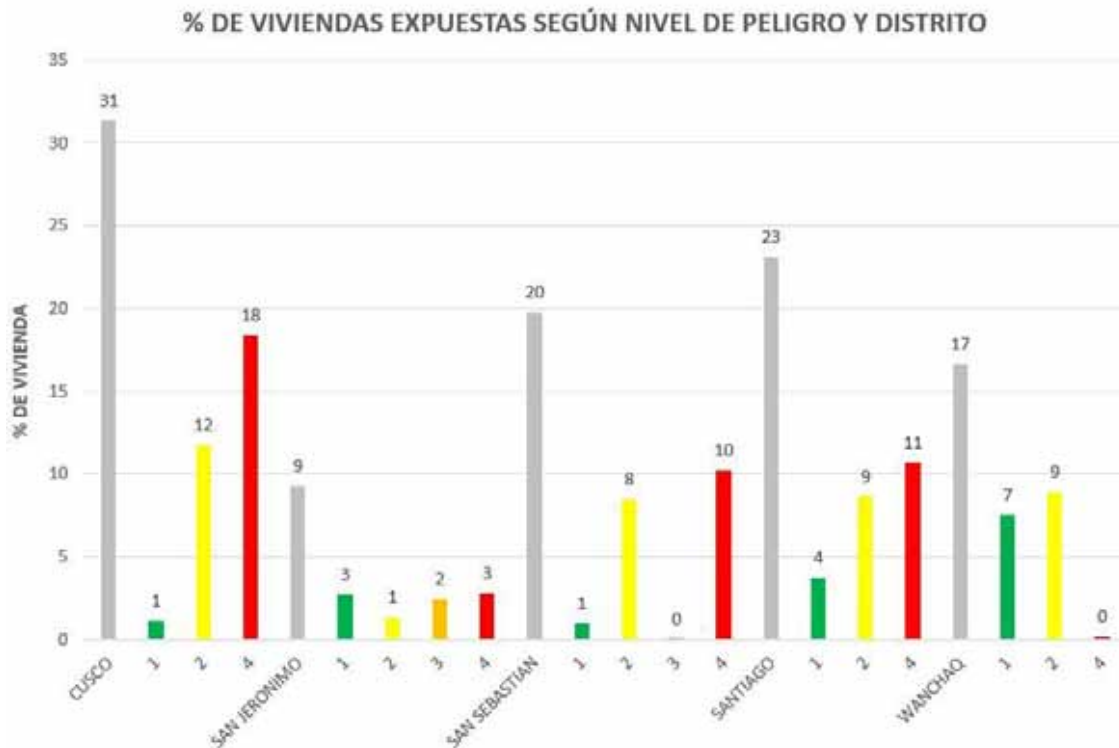


Figura 30: Vivienda expuesta al peligro de movimientos en masa, tomando en cuenta los datos de INEI (2007).

Cuadro 10: Datos de población y vivienda expuesta a movimientos en masa.

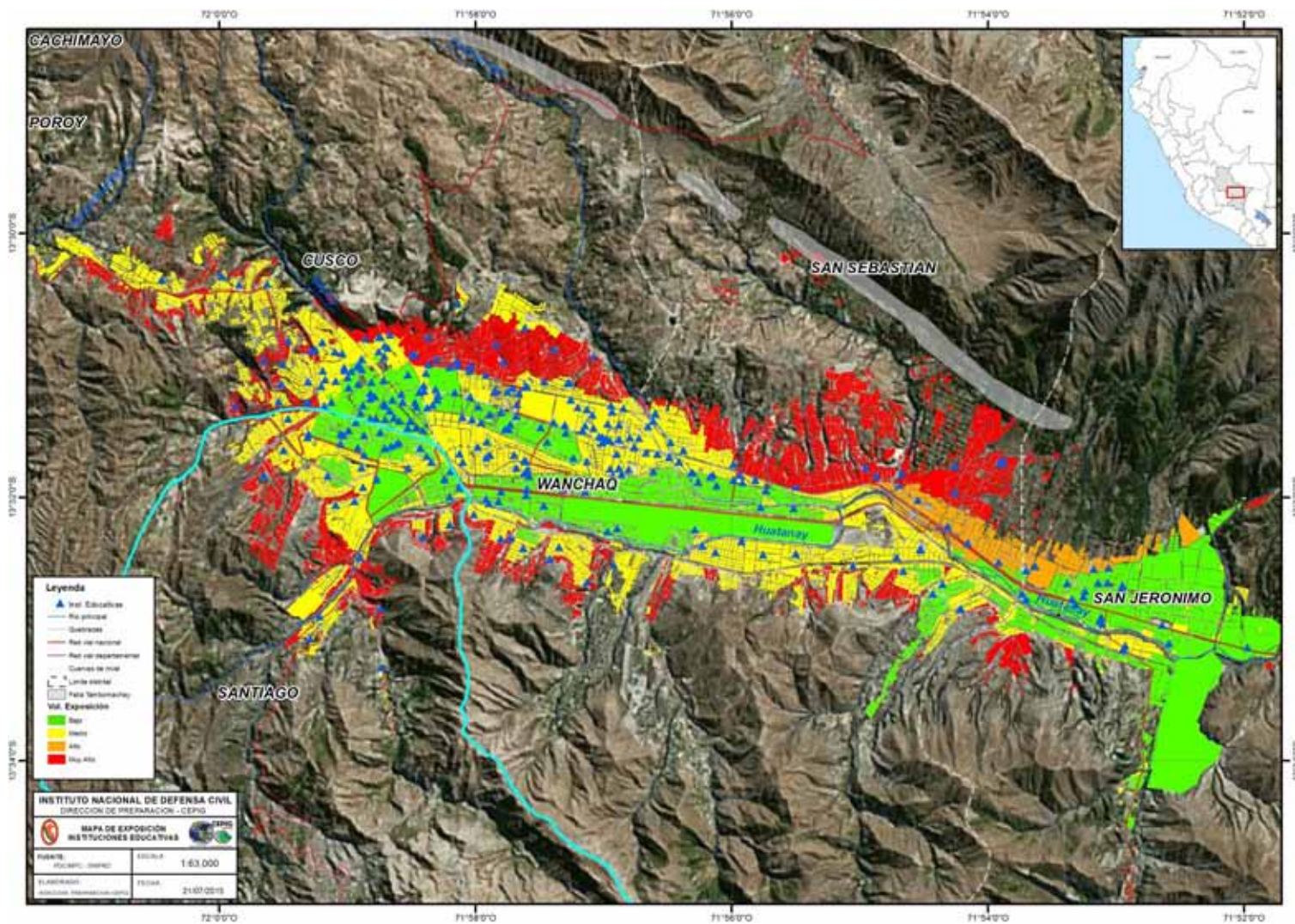
POBLACIÓN EXPUESTA A MOVIMIENTOS EN MASA			
DISTRITOS	POBLACIÓN	VIVIENDA	% POB.
BAJO	55,341	14,285	16
CUSCO	4,200	1,036	
SAN JERONIMO	8,562	2,405	
SAN SEBASTIAN	3,674	888	
SANTIAGO	11,375	3,327	
WANCHAQ	27,530	6,629	
MEDIO	137,247	34,596	39
CUSCO	40,828	10,402	
SAN JERONIMO	4,455	1,175	
SAN SEBASTIAN	31,503	7,498	
SANTIAGO	29,870	7,646	
WANCHAQ	30,591	7,875	
ALTO	7,777	2,166	2
SAN JERONIMO	7,691	2,148	
SAN SEBASTIAN	86	18	
MUY ALTO	147,632	37,360	42
CUSCO	60,711	16,222	
SAN JERONIMO	8,970	2,468	
SAN SEBASTIAN	36,936	9,051	
SANTIAGO	40,113	9,444	
WANCHAQ	902	175	
TOTAL	347,997	88,407	100

7.3. ELEMENTOS EXPUESTOS

En este ítem se estima la cantidad de infraestructura expuesta, dato que es necesario ya que su afectación y/o destrucción causarían un impacto importante en la población y en la economía de Cusco al impedir el funcionamiento normal de los servicios como educación, transporte, así como el traslado de bienes de ayuda humanitaria en caso de materializarse el riesgo.

7.3.1. Instituciones educativas expuestas

Del total de las Instituciones educativas ubicadas dentro de la zona de estudio, el 14% (41 I.E.) se encuentra dentro de zona de Muy Alta vulnerabilidad a movimientos en masa, 51% (154 I.E.) en zona de vulnerabilidad Media y 35% (107 I.E.) en zona de vulnerabilidad Baja (Figura 31).



Mapa 31: Mapa de Instituciones Educativas expuestas ante la ocurrencia de movimientos en masa.

En general las instituciones educativas se ubican en zonas de baja pendiente; es decir, en zonas poco expuestas a movimientos en masa. En este caso es necesario evaluar el fenómeno de licuefacción de suelos y peligro sísmico, tomando en cuenta la calidad del suelo. El Cuadro 11, enlista la cantidad de Instituciones educativas expuestas.

Cuadro 11: Cantidad de Instituciones Educativas expuestas.

INSTITUCIONES EDUCATIVAS EXPUESTAS			
NIVEL Y MODALIDAD	CANTIDAD	%	
BAJO	98		
02: Inicial - Jardín	36	32	
03: Inicial – Cuna-jardín	6		
05: Inicial - Programa no escolarizado	3		
06: Primaria	18		
07: Secundaria	14		
08: Básica Alternativa – CEBA	5		
09: Básica Especial	2		
10: Superior Pedagógica - ISP	1		
11: Superior Tecnológica - IST	6		
12: Superior Artística - ESFA	1		
13: Técnico Productiva – CETPRO	6		
MEDIO	151		
01: Inicial - Cuna	1		50
02: Inicial - Jardín	49		
03: Inicial – Cuna-jardín	7		
05: Inicial - Programa no escolarizado	6		
06: Primaria	39		
07: Secundaria	19		
08: Básica Alternativa – CEBA	7		
09: Básica Especial	4		
10: Superior Pedagógica - ISP	1		
11: Superior Tecnológica - IST	4		
13: Técnico Productiva – CETPRO	14		
ALTO	7		
02: Inicial - Jardín	3	2	
06: Primaria	1		
07: Secundaria	1		
11: Superior Tecnológica - IST	1		
13: Técnico Productiva – CETPRO	1		
MUY ALTO	46		
02: Inicial - Jardín	18	15	
03: Inicial – Cuna-jardín	2		
05: Inicial - Programa no escolarizado	6		
06: Primaria	14		
07: Secundaria	2		
08: Básica Alternativa – CEBA	1		
09: Básica Especial	1		
12: Superior Artística - ESFA	1		
13: Técnico Productiva – CETPRO	1		
TOTAL	302		100

7.3.2. Servicios de salud expuestos

De acuerdo a la base de datos del GEOMINSA, los centros de salud se clasifican en función a su grado de complejidad y características funcionales comunes. El Cuadro 12 y Figura 32 muestra la cantidad de servicios de salud expuestos según el nivel y categoría. De acuerdo a este análisis, una infraestructura de MINSA se ubica en zona de Muy Alto peligro a movimientos en masa y 6 en zona de peligro Medio y Bajo, respectivamente.

Cuadro 12: Cantidad de Servicios de Salud expuestos.

NIVEL DE PELIGRO	DISTRITO	HOSPITAL	CENTRO DE SALUD
ALTO	SAB SEBSATIAN		1
MEDIO	CUSCO	1	1
	SAN SEBASTIAN	1	2
	WANCHAQ		1
BAJO	SANTIAGO	2	1
	WANCHAQ	2	
	SAN JERÓNIMO		1

7.3.3. Servicio de transportes

- Aeropuerto

La provincia de Cusco cuenta con un aeropuerto internacional denominado TNTE. ALEJANDRO VELASCO ASTETE, el cual viene operando desde 1964. Se ubica en el distrito de Wanchaq, colindando con el distrito de San Sebastián. Debido a la importancia histórica y sus denominaciones, la ciudad de Cusco recibe vuelos nacionales e internacionales todo el año.

Figura 32: Aeropuerto TNTE. ALEJANDRO VELASCO ASTETE- Cusco (Foto: Google).



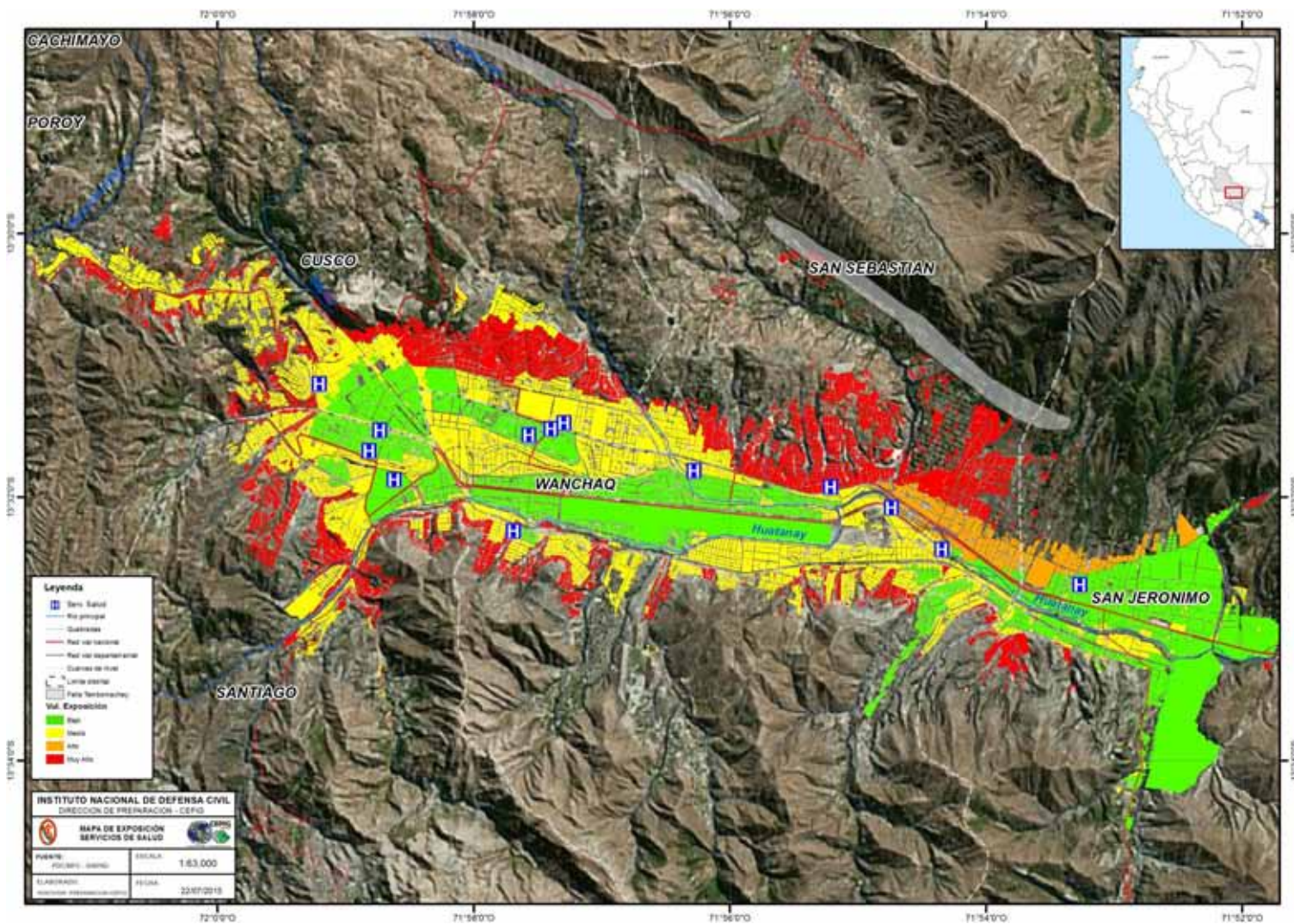


Figura 33: Mapa de servicios de salud expuestos a movimientos en masa (Fuente: GEOMINSA).

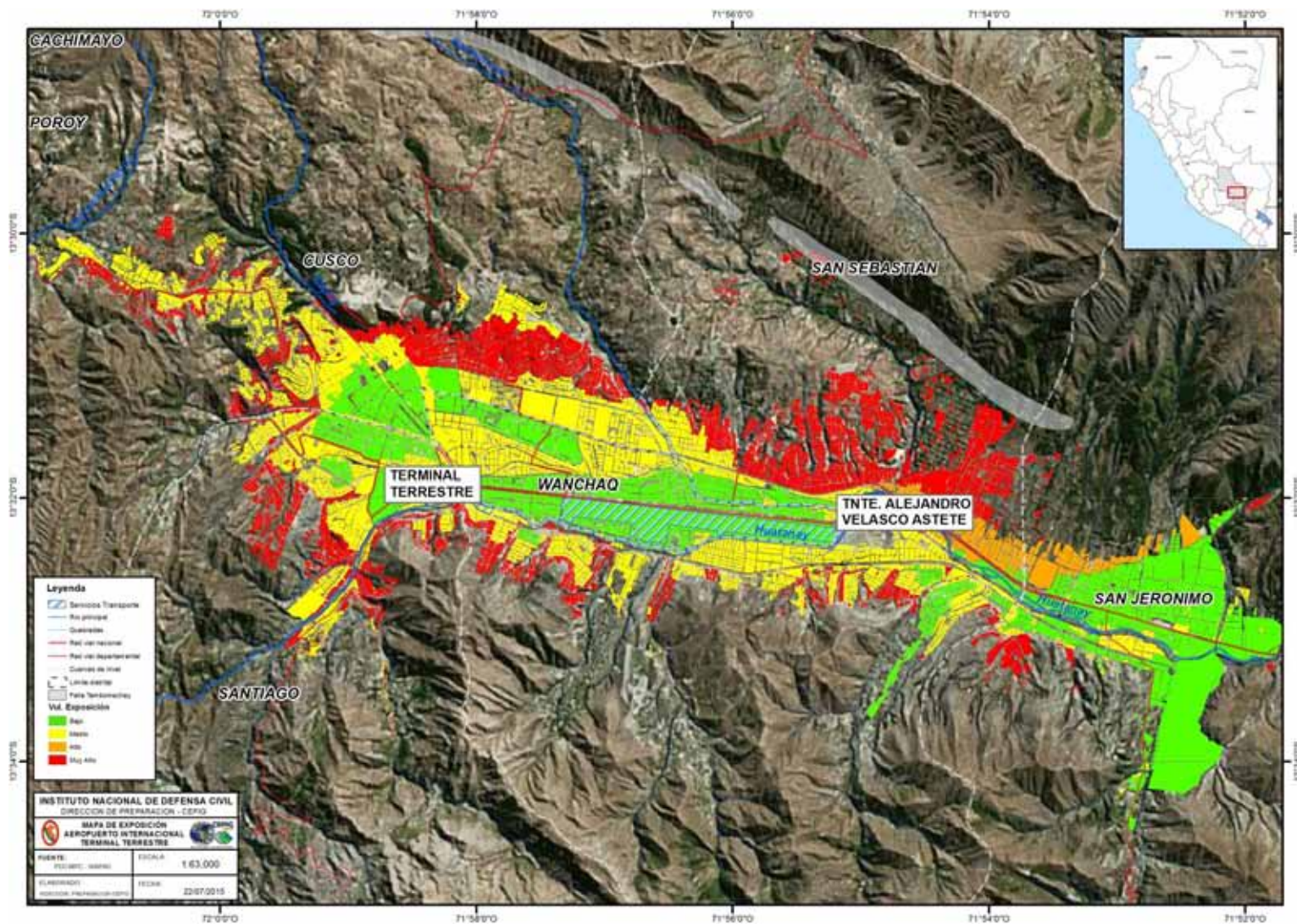


Figura 34: Mapa de exposición del aeropuerto y terminal terrestre, ciudad de Cusco.

De acuerdo al mapa de exposición, el aeropuerto se ubica en zona de Bajo peligro a movimientos en masa; sin embargo, se debe considerar la tipología del suelo en la que se asienta la estructura del aeropuerto y afectos secundarios como licuefacción del suelo, que podrían ocurrir e interrumpir su libre funcionamiento (Figura 33).

Cuadro 13: Cantidad de Vuelos nacionales e internacionales.

NOMBRE	CANTIDAD (2014)
Vuelos Nacionales	2'468,363
Vuelos Internacionales	17,496

- Terminal Terrestre

El Terminal terrestre de la ciudad de Cusco, cuenta con 53 empresas de transporte que brindan servicio, cubriendo una variedad de destinos turísticos. Su atención es de lunes a domingo en el horario de 5:00 a.m. hasta las 11:00 p.m. (Figura 34 y 35). Los principales destinos son: Puerto Maldonado, Puno, Juliaca, Arequipa, Ayacucho, Nazca, Andahuaylas y Lima. Asimismo, cuenta con destinos internacionales como: Santiago (Chile), La Paz (Bolivia) y Bueno Aires (Argentina).

De acuerdo al mapa de peligro a movimientos en masa, la estructura que corresponde al terminal terrestre se ubica en zona de baja exposición a este peligro.



Figura 35: Terminal terrestre de la ciudad de Cusco (Fuente: google).

7.3.4. Vías de acceso

Debido al desarrollo urbano y económico de la ciudad de Cusco, el parque automotor se ha incrementado notablemente. De acuerdo a los datos de la Municipalidad Provincial de Cusco (PDC, 2021), hasta el año 2011, se contaba con un total de 82,917 vehículos; es decir, en promedio un vehículo por familia. La mayor cantidad de éstos son vehículos menores, seguido de automóviles, camionetas, station wagon, entre otros (Figura 36).

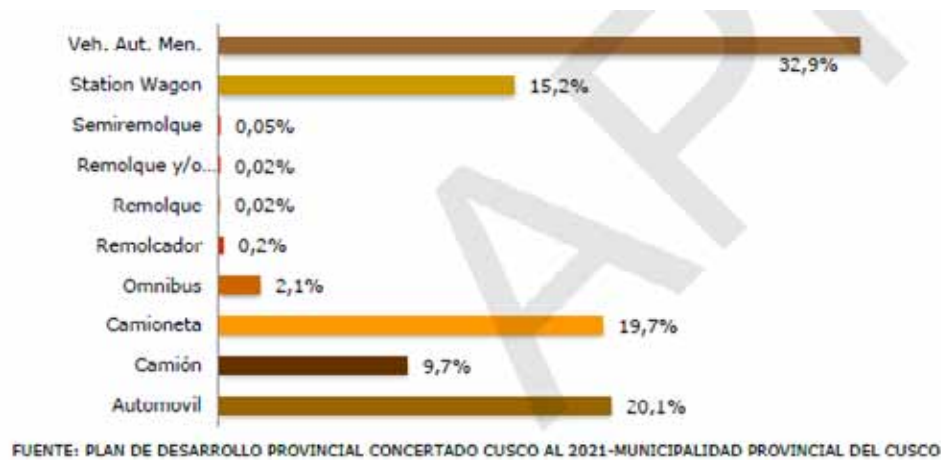


Figura 36: Composición del parque automotor de la ciudad de Cusco al 2011 (Fuente: PDC/MPC).

Los autobuses corresponden a un 2.1% del total de vehículos que circulan en la ciudad de Cusco. Además de vehículos de transporte local, se cuenta con una serie de vehículos que prestan servicios interprovinciales y departamentales, muchos de los cuales se organizan en terminales informales, ubicados principalmente en los distritos de Santiago, Cusco y Wanchaq. Por otro lado, se cuenta con servicios de taxi, servicios turísticos, servicios escolares, servicio de transporte de carga y abastecimiento de la ciudad, entre otros.



La Figura 37, muestra la exposición de las principales vías de acceso a la ciudad de Cusco. Ante la ocurrencia de un sismo, producto de la reactivación de la falla Tambomachay, muchos de los tramos de las principales vías de acceso a la ciudad se verían afectados por deslizamientos de tierra, roca, flujos de detritos, derrumbes y otros.

Los tramos que presentan mayor grado de exposición, cerca de la ciudad, se ubican a lo largo del distrito de Cusco, Santiago y San Sebastián, los cuales conducen a Pisac, Abancay y Sicuani, así como un tramo de la red vial que se dirige a Paruro y Rondocan. Dentro de la carretera que conduce a Pisac, cerca de 4.7 km presentan Muy Alta vulnerabilidad por exposición a movimientos en masa y cerca de 5 km a lo largo de la carretera que conduce a Urubamba, Abancay y Lima.

La Figura 38, muestra las rutas de acceso alternas que podrían ser utilizados ante la interrupción de las ya indicadas líneas arriba. La vía de acceso que se comunica con la ciudad de Juliaca y Arequipa es la que presenta menor peligro a movimientos en masa, por lo cual podría ser considerada como una ruta de acceso para el transporte de la ayuda humanitaria necesaria. Por otro lado, si el aeropuerto de Cusco no se ve afectado, este podría ser usado para el traslado de ayuda humanitaria desde los aeropuertos de Arequipa y/o Juliaca.

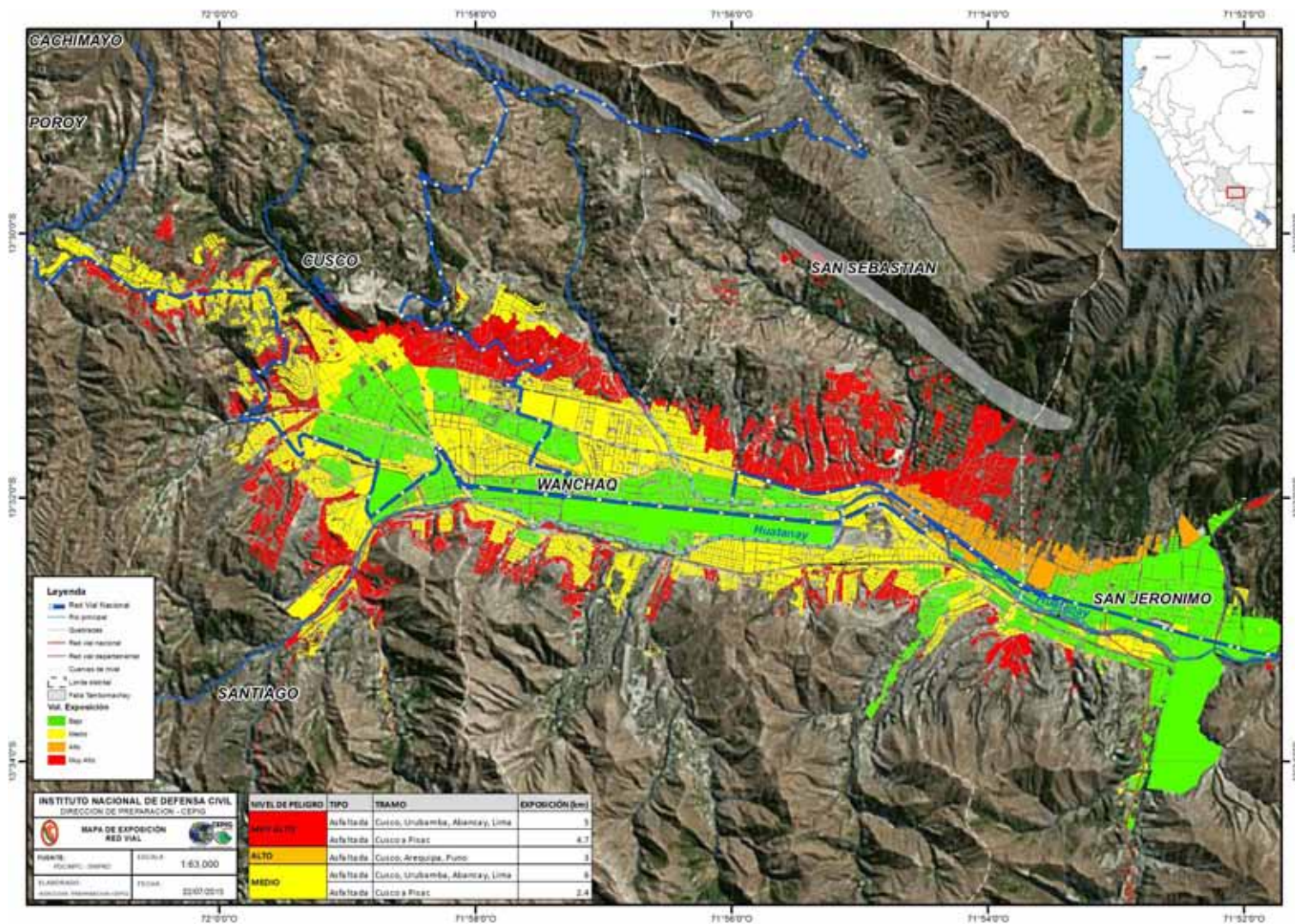


Figura 37: Mapa de vías de acceso a la ciudad de Cusco.

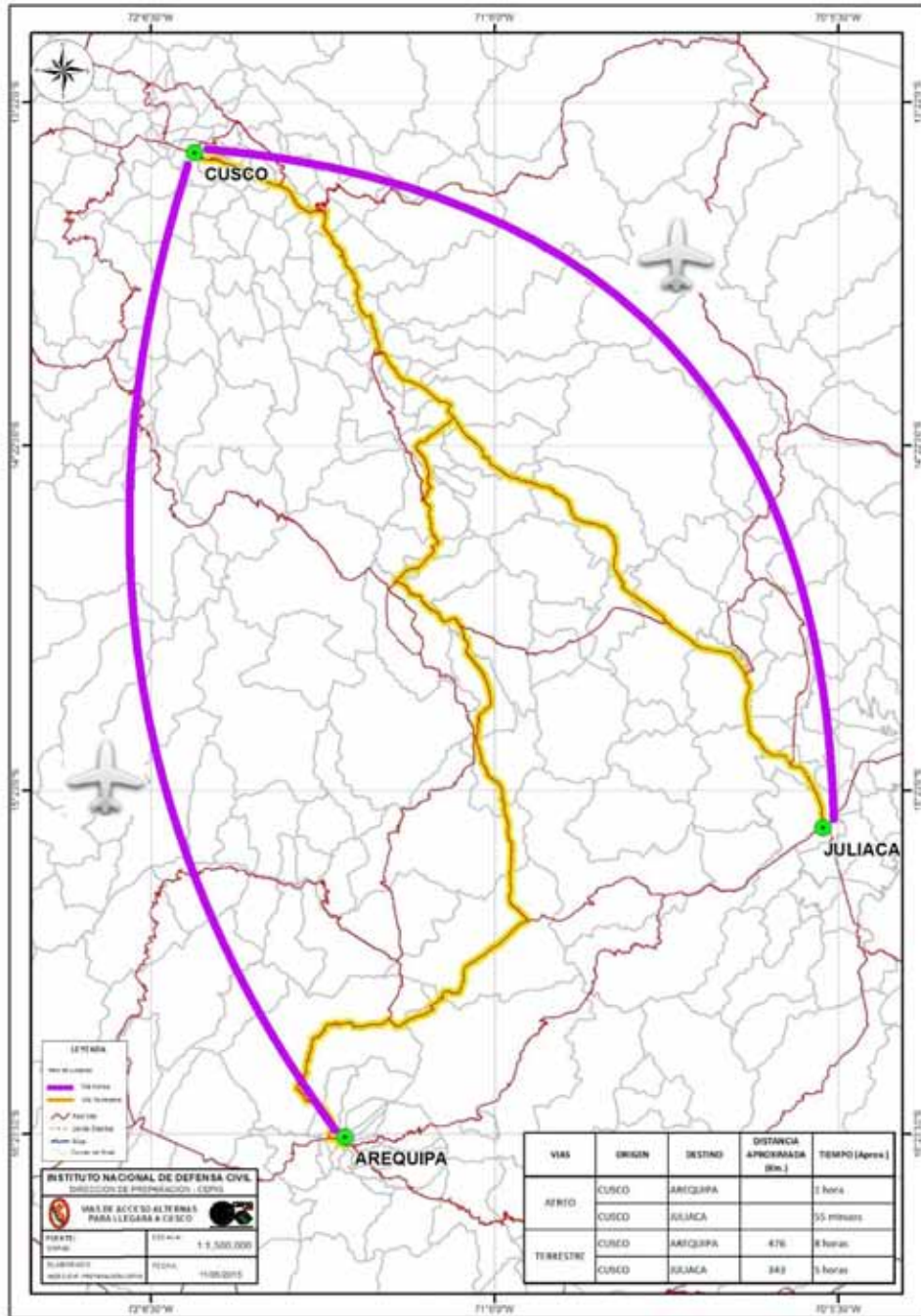


Figura 38: Mapa de rutas de acceso alternas con que contaría la ciudad de Cusco, ante la interrupción de las vías de acceso alternas.

7.4. Vulnerabilidad por Resiliencia

A fin de estimar el grado de vulnerabilidad de la población, dentro de la zona de estudio, se realizó encuestas a la población para conocer el grado de resiliencia con enfoque a la capacidad que tiene la población para responder ante la materialización del riesgo; es decir, el grado de conocimiento, organización y preparación. Para ello se planteó una serie de preguntas (Figura 39).

De esta encuesta se puede destacar que gran parte de la población conoce y acepta el peligro, tiene conocimientos de eventos históricos, conocen las rutas de evacuación y algunas veces han participado en simulacros; en general indican estar preparados para enfrentar un desastre. Sin embargo, indican también que no conocen sobre la influencia de la falla Tambomachay, no participan en talleres, no se organizan localmente para enfrentar una emergencia, no conoce la labor del INDECI.

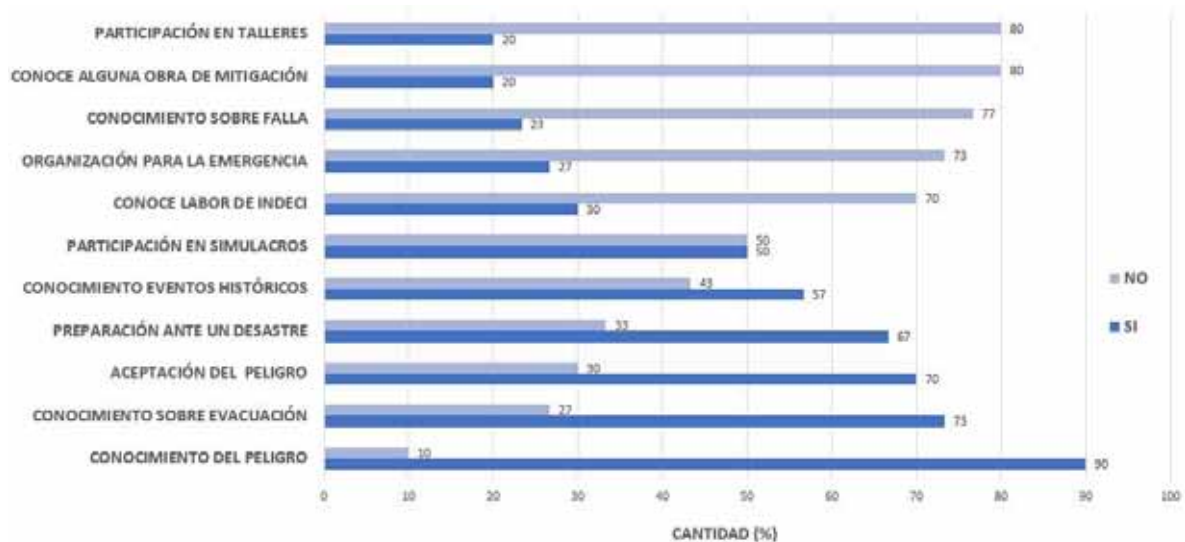


Figura 39: Resultado de las encuestas realizadas a la población ubicada en zonas de riesgo a movimientos en masa.

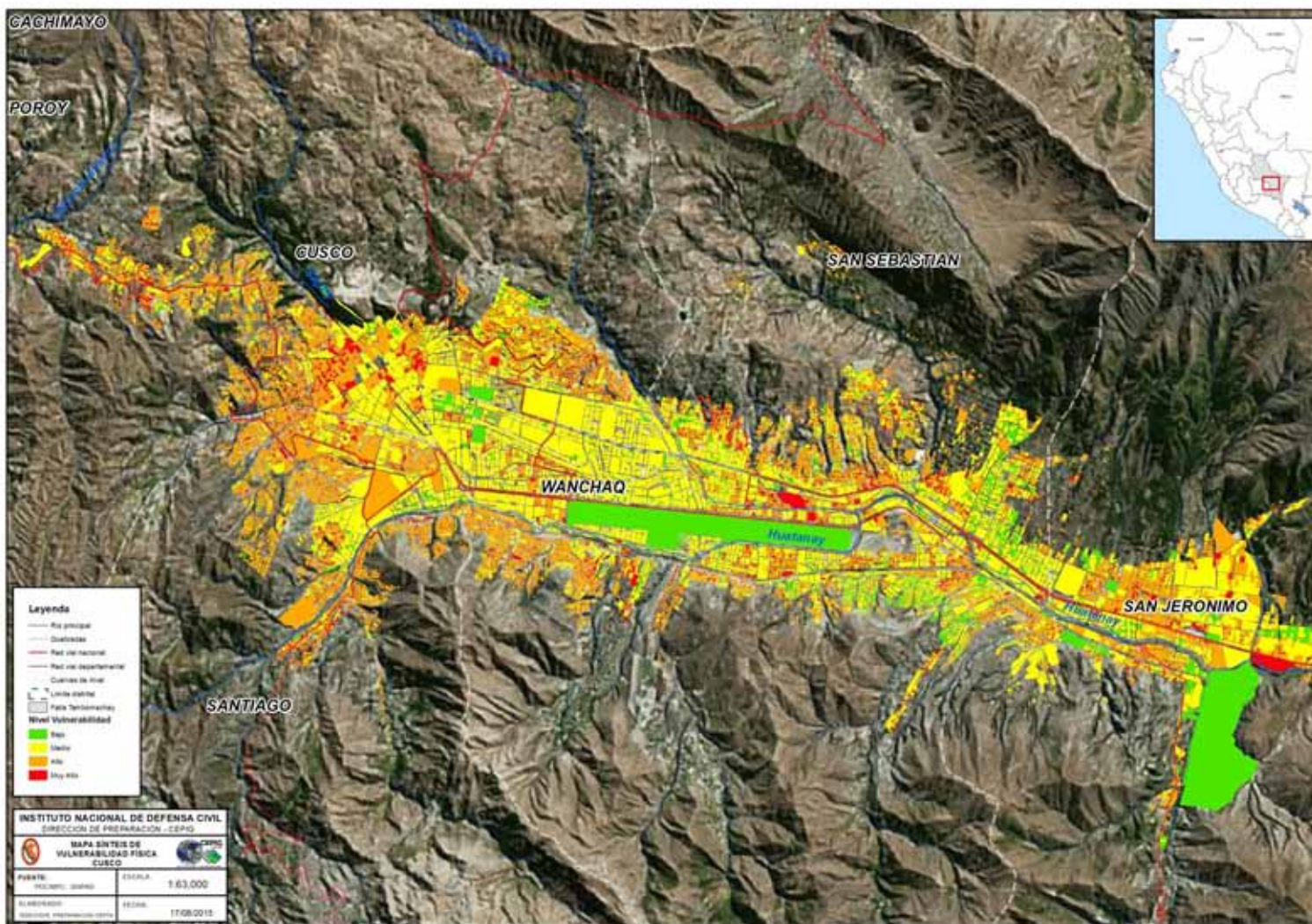
El conocimiento acerca de los peligros y los daños que éstos pueden generar, así como las medidas de prevención y reducción que se deben adoptar son parte de la resiliencia de las personas. Dentro del área de estudio, se observa un bajo nivel de conocimiento sobre el peligro que representa la falla Tambomachay, inadecuada organización, bajo nivel de participación de la población en simulacros que realiza INDECI a nivel nacional y municipalidad a nivel local.



7.5. Mapa síntesis de vulnerabilidad

Tomando en cuenta las características de fragilidad y exposición de las viviendas, se obtiene el mapa síntesis de vulnerabilidad de la ciudad de Cusco (Figura 40). En este mapa, cada vivienda presentan un grado de vulnerabilidad de acuerdo a un rango que va desde Bajo a Muy Alto. La mayor cantidad de viviendas con vulnerabilidad Alta se ubican en el centro histórico, debido a que muchas de estas construcciones presentan estado de conservación entre malo a regular y/o son construcciones de adobe, tapial o madera con estado de conservación regular a malo. Gran parte de estas construcciones son usadas como centros comerciales, restaurantes, hospedajes, entre otros. El resto de viviendas vulnerables se distribuyen dentro y principalmente en el extremo de los distritos de Santiago, San Sebastian, San Jerónimo y Wanchaq.

Este mapa demuestra que debido a la actividad turística, Cusco está creciendo de manera acelerada, desordenada y en condiciones precarias, sin tomar en cuenta los peligros a los que está expuesta y sobre todo las características geológicas que hacen de Cusco una zona altamente expuesta.



Mapa 40: Mapa síntesis de vulnerabilidad física de la ciudad de Cusco.



Este mapa constituye información valiosa, la cual permitirá proponer medidas de reducción de la vulnerabilidad y por consecuencia del riesgo existente dentro de la ciudad de Cusco. Para ello las zonas con vulnerabilidad Alta deben ser evaluadas por especialista a fin de proponer medidas de reforzamiento y/o mantenimiento de las estructuras.

VIII. ESTIMACIÓN DE RIESGO A MOVIMIENTOS EN MASA

Tomando en cuenta los mapas de vulnerabilidad física y de exposición a movimientos en masa se elaboró el mapa final de riesgo para la ciudad de Cusco (Figura 41). De acuerdo a este escenario, la zona que presenta mayor riesgo a movimientos en masa son aquellas ubicadas en la zona norte del distrito de Cusco, zona norte y sur del distrito de San Sebastián, zona Sur y Sur Oeste de Santiago.

Por otro lado, si bien es cierto este escenario considera únicamente a la falla Tambomachay como factor desencadenante, es necesario considerar que hay otros factores recurrentes de movimientos en masa, dentro de la provincia de Cusco, tales como las lluvias intensas. A pesar de ello, se sigue construyendo en zonas de alta pendiente, sin considerar el tipo de suelo y sobre todo sin tomar en cuenta las normas de construcción, generando de esta manera el incremento de la vulnerabilidad de la ciudad de Cusco.

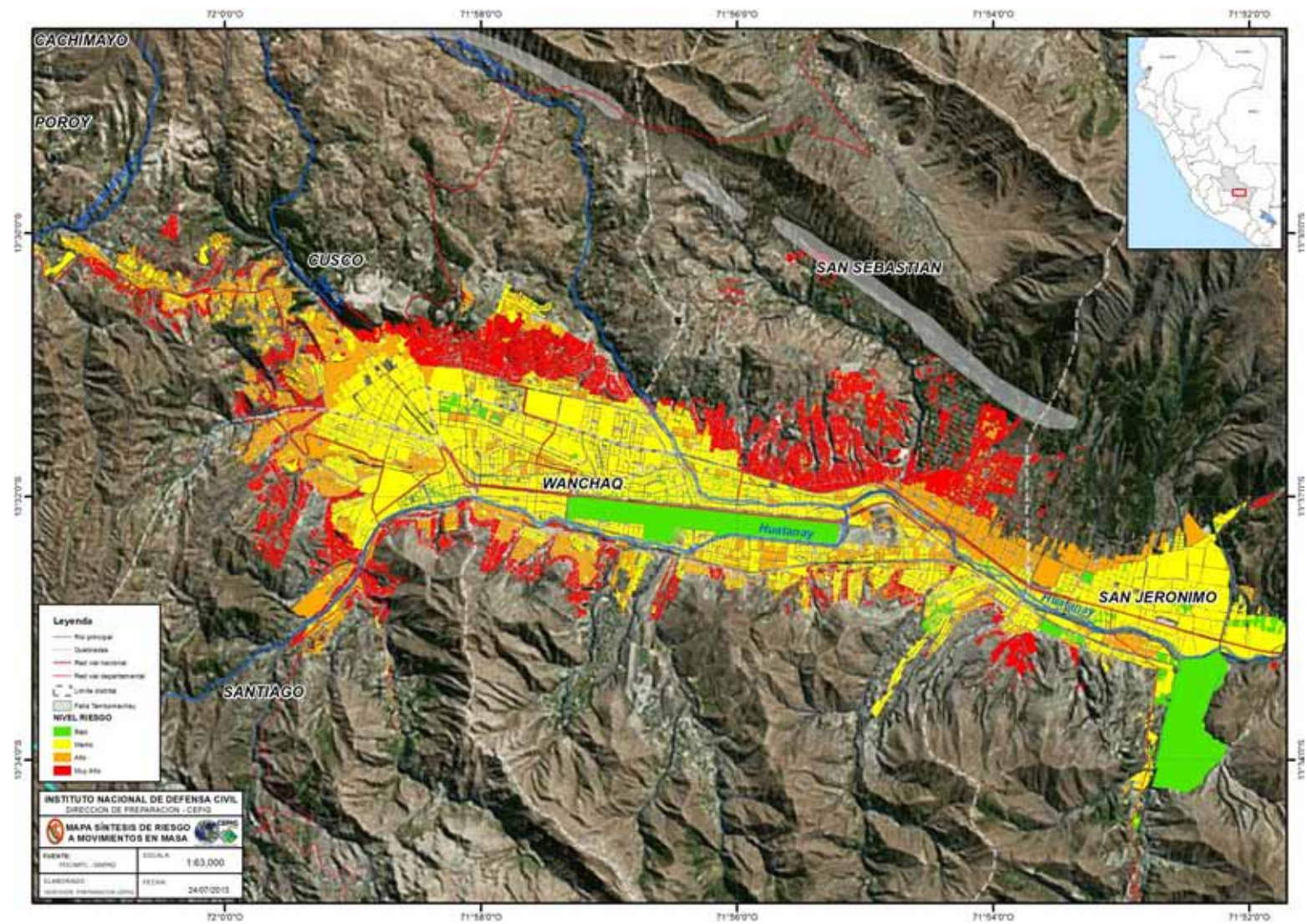


Figura 41: Mapa de síntesis de riesgo de movimientos en masa debido a la reactivación de la falla Tambomachay.

De acuerdo a este mapa, el 26% de las viviendas se ubican en zona de Muy Alto riesgo, 26% en zona de Alto riesgo, 47% en zona de riesgo Medio y únicamente 1% en zona de riesgo Bajo (Figuras 41 y 42).

Cuadro 14: Cantidad de viviendas ubicadas en zona de riesgo a movimientos en masa, detonados por la reactivación de la falla Tambomachay.

NIVEL	VIVIENDAS	% VIVIENDAS
MUY ALTO	22,639	26
ALTO	21,997	26
MEDIO	39,867	47
BAJO	956	1



Figura 42: Cantidad de viviendas ubicadas en zona de riesgo a movimientos en masa.

De manera local, una zona de alto riesgo es la quebrada de Huamancharpa, donde también se produjo deslizamientos durante el sismo de 1982. Durante época de lluvias, esta zona representa alto riesgo debido a los deslizamientos de roca y suelo a lo largo de la quebrada de Saphy. La municipalidad de Cusco ha realizado la construcción de gaviones para estabilizar esta zona. Tomando en cuenta estas



características, ante la ocurrencia de un sismo producido por la falla Tambomachay, la reactivación de estas zonas podría genera serios daños.

Otra de las zonas de alto riesgo se ubica en la urbanización de Larapa, zona adyacente al deslizamiento El Picol (uno de los deslizamiento más grande de Cusco) en donde se asienta gran parte de viviendas de material noble, organismos públicos y privados, entre otros. Para realizar la mitigación de daños que pudiera generar este deslizamiento, la Municipalidad Provincial de Cusco, ha realizado la construcción de dos disipadores los cuales son monitoreados y descargados en cuanto se incrementa los flujos de roca y detritos. Sin embargo, no se tiene en cuenta que gran parte de las aguas que discurren hacia este disipador se filtran hacia la parte baja afectando las viviendas. Por otro lado, esta zona presenta mayor peligro debido a su cercanía a la falla Tambomachay, cuyo plano principal de la falla pasa entre los disipadores 1 y 2.

IX. ESTIMACIÓN DE RIESGO SÍSMICO

Uno de los principales factores responsables de los daños generados en las estructuras lo constituyen las condiciones locales de sitio. Dependiendo de las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas se puede generar amplificación o atenuación de las ondas sísmica. Los estudios de microzonificación sísmica-geotécnica ayudan a evaluar y zonificar de acuerdo al comportamiento dinámico del suelo tomando en cuenta parámetros como el periodo de vibración del suelo, velocidad de propagación de las ondas de corte, propiedades mecánicas del suelo, entre otros.

Dado que a la fecha Cusco no cuenta con un mapa de microzonificación sísmica-geotécnica, para elaborar el mapa de riesgo sísmico, se considera y evalúa el mapa de suelos del proyecto Programas Ciudades Sostenibles (PCS), cuyo proyecto evaluó y determinó el tipo de suelo de la ciudad de Cusco, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Ver Figura 43a. Para fines del presente estudio se simplificó en cuatro tipos:

- Suelos Finos (Arcillas, limos y arenas)
- Grava (Gravas o suelos gravosos)
- Orgánicos (Turberas y arcillas orgánicas)
- Roca (Afloramiento de macizo rocoso)

Además se cuenta con la evaluación de la capacidad portante, cuyo parámetro depende del tipo de suelo, de las cimentaciones y ensayos de penetración dinámica (SPT) a una profundidad entre 1 y 3 m. Asimismo, se toma en cuenta el mapa de nivel freático, identificado mediante métodos directos e indirectos tales como presencia de vegetación, calicatas o perforaciones. En general, estos mapas muestran la presencia de suelos finos y gravas en las inmediaciones de la depresión de Cusco (Figura 43b), con valores típicos de ensayos de penetración estándar característico de suelos medianamente densos a densos correspondiente a suelos del tipo S2 (según norma E-030). Además de presencia de aguas superficiales someras en la zona Sur de la ciudad de Cusco.

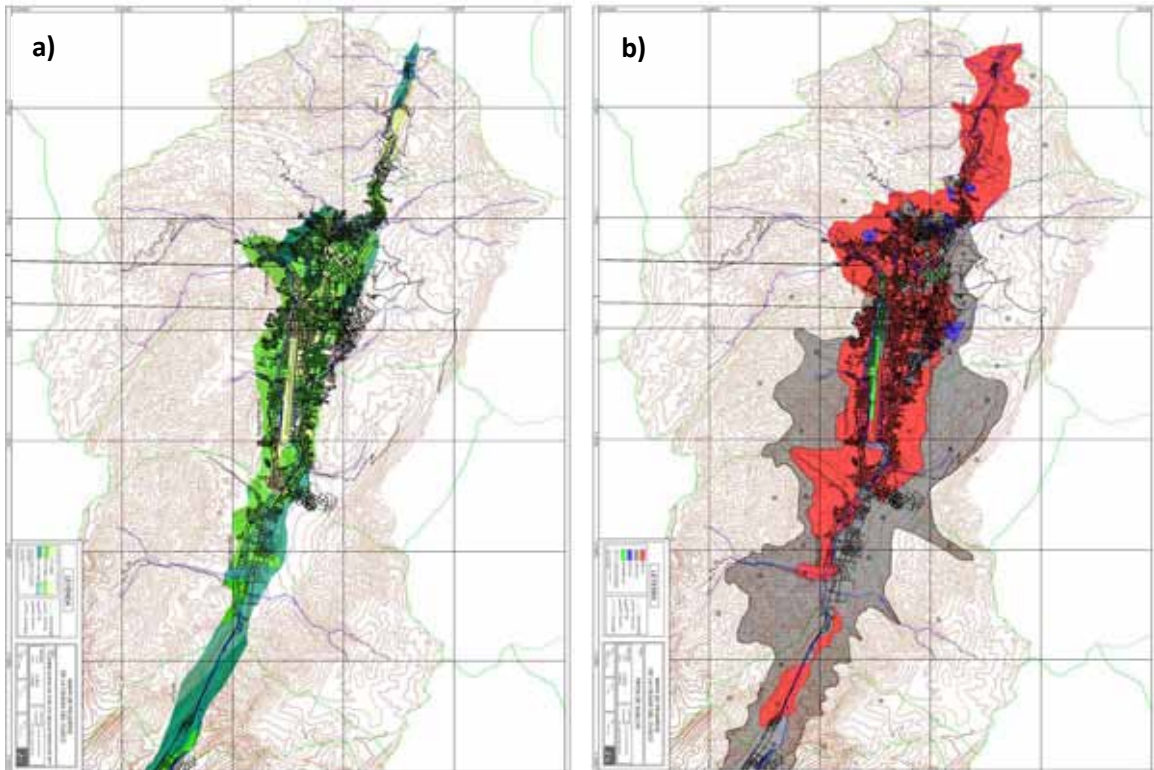


Figura 43: a) Mapa de Suelos según ensayo SPT y b) Mapa de tipo de suelos para la ciudad de Cusco (Fuente: PCS, 2004).

Adicionalmente, para la evaluación del riesgo sísmico, tomando en cuenta la reactivación de la falla Tambomachay, se considera el mapa de aceleraciones máximas horizontales propuesto por Benavente et al., 2013, el cual toma como escenario un sismo de magnitud 6.5Mw (Figura 44). Como se evidencia en el mapa, las máximas aceleraciones del suelo se darían en las zonas circundantes a la falla Tambomachay, por lo cual se considera un peligro sísmico Muy Alto en las

inmediaciones a la ciudad de Cusco, con aceleraciones de hasta 0.29 g. Dado que este es un dato empírico, también se considera los valores de aceleración máxima correspondientes para la ciudad de Cusco y establecidas dentro de la Norma E-030, para una probabilidad de 10% de ser excedido en 50 años y cuyo valor de aceleración es de 0.3 g.

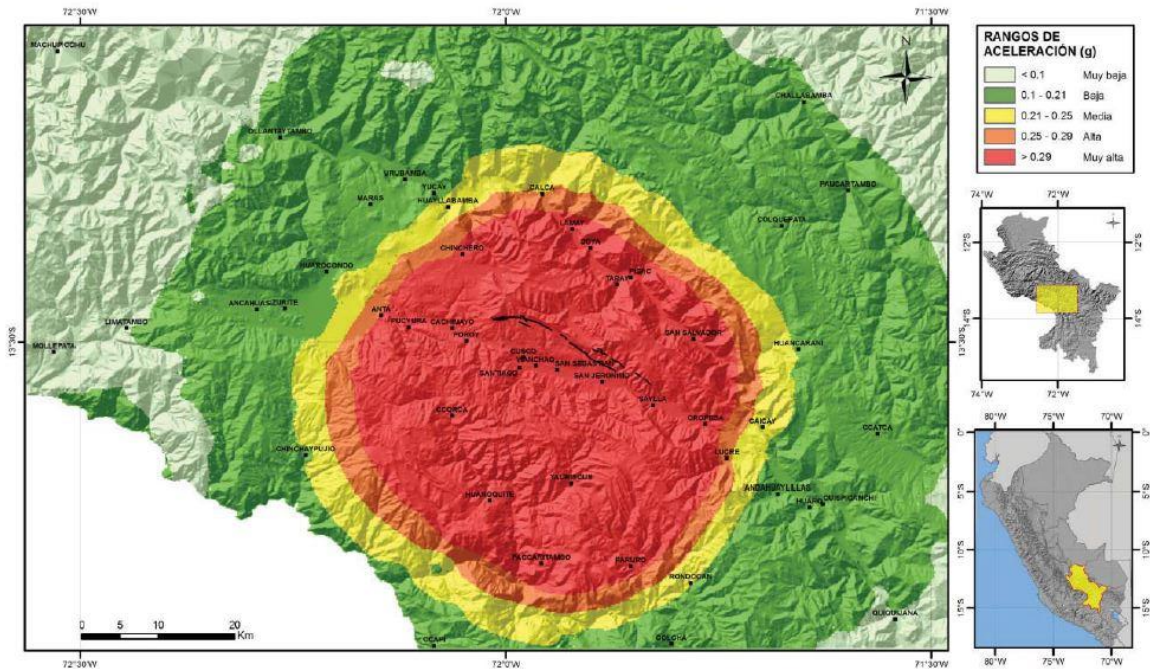


Figura 44: Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g (Fuente: INGEMMET, 2013).

Tomando en cuenta el Peligro sísmico Muy Alto en esta región, así como los factores de vulnerabilidad existentes, se elaboró el mapa de estimación de riesgo sísmico (Figura 45). Los sectores más críticos corresponden a los distritos de Cusco (zonas de Balconcillo, centro histórico, Independencia, otros), Santiago (Dignidad Nacional, Illariy Qospo y otros), San Sebastián (Las Palmeras, Diego Quispe Tito Las Casuarinas, otros), San Jerónimo (Retamales, Jardines, otros).

Tomando en cuenta el nivel de aceleración esperado, además de generar el colapso de las viviendas debido a la vulnerabilidad propia de las estructura y tipo de suelo en la cual están asentadas, también se espera la ocurrencia del fenómeno de licuefacción y hundimientos del terreno debido a la saturación de agua de algunas formaciones en las que se asienta la ciudad de Cusco. Las zonas aledañas al aeropuerto como las urbanizaciones y el parque industrial podrían ser las que sufran mayor daño por efecto de licuefacción de suelos.



En esta zona el nivel freáticos se encontraría a partir de 0.5 m ya que muchas de las cimentaciones de viviendas presentan permanente humedad, lo cual se debería a la presencia de depósitos lacustres en el interior y fluvial en superficie formando capas sucesivas de arcillas limosas.

Otra de las zonas críticas es la zona del centro de Cusco principalmente a lo largo del lecho de los ríos que atraviesan la ciudad Av. Sol y Tulumayo los cuales estarían formados por rellenos no consolidados (desmontes y material orgánico), los cuales están constituidos por gravas y arenas con contenido de limo compacto, ubicados entre 4 y 5 m por debajo de la pista existente, además del nivel freático ubicado aproximadamente a 3.5 m de profundidad. Tomando en cuenta la distancia a la falla, es de esperarse que las urbanizaciones cercanas a la falla presenten mayor grado de peligro.

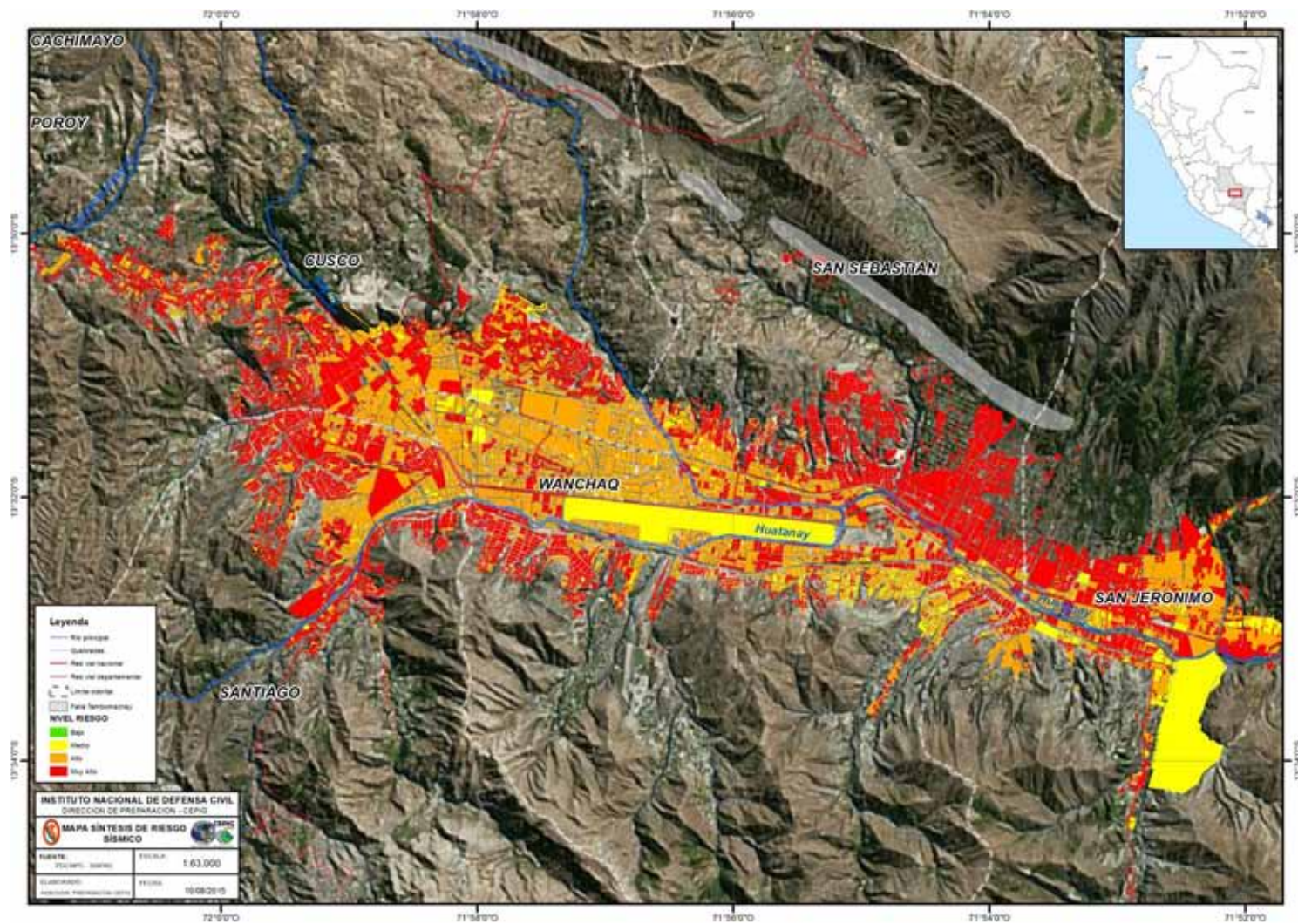


Figura 45: Mapa de zonificación sísmica para la ciudad de Cusco.

De este análisis, se ha identificado que un 47% de la población de Cusco se encuentra ubicada en zona de Muy Alto riesgo sísmico, 45% en zona de Alto riesgo y 8% en zona de riesgo Medio (Cuadro 15 y Figura 46).

Cuadro 15: Cantidad de viviendas en zona de riesgo sísmico debido a la reactivación de la falla Tambomachay.

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

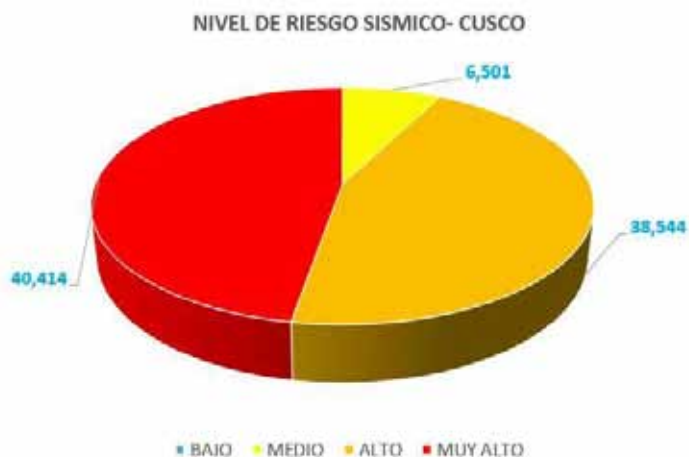


Figura 46: Cantidad de viviendas ubicadas en zona de riesgo sísmico, según niveles.

Finalmente, es importante resaltar que el escenario sísmico seguido de movimiento en masa, considerado en el presente estudio, considera únicamente como factor desencadenante un sismo de moderada magnitud; sin embargo, también las lluvias intensas que son características de esta zona pueden ser otro factor desencadenante de movimientos en masa o en el peor caso la ocurrencia de ambos eventos al mismo tiempo (precipitaciones intensa y sismo). En este sentido, de ocurrir el escenario planteado en este estudio durante épocas de intensas lluvias,



donde el suelo se encuentra completamente saturado y las viviendas predispuestas por la erosión debido a la acción de las lluvias, los daños podrían incrementarse.

Estas características en muchos casos ya son observadas en la periferia de la ciudad de Cusco. Ejemplo la formación de cárcavas que han generado derrumbes, hundimiento del terreno, incrementando la vulnerabilidad propia de las viviendas construidas sin técnicas de construcción o con material precario. Otras zonas de riesgo son los ríos que en temporada de lluvias intensas, podrían sufrir erosión y deslizamiento de grandes volúmenes de rocas, pudiendo generar represamiento y posterior desborde del río, el cual generaría inundación en zonas importantes de la ciudad de Cusco.

X. CONCLUSIONES

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

- El peor escenario sísmico de la ciudad de Cusco, se basa en la reactivación repentina de la falla Tambomachay, mediante un sismo de magnitud 6.5Mw, profundidad de 10 km, parámetros propuestos por Benavente et al. (2013).
- De acuerdo a la base de datos proporcionado por la Municipalidad Provincial de Cusco, el 25% de viviendas dentro de la zona de estudio presenta estado de conservación Bueno, 48% regular, 19% malo.
- De acuerdo a la base de datos proporcionado por la Municipalidad Provincial de Cusco el 32% de las viviendas de la zona de estudio son construcciones de un piso, 46% de dos pisos, 13% de tres pisos y 9% de igual o mayor a cuatro pisos.
- De acuerdo a la base de datos proporcionado por la Municipalidad Provincial de Cusco, 46% de las viviendas, dentro de la zona de estudio, son construidas de ladrillo, bloque de cemento y/o piedra con cal y cemento, 52% son de adobe, tapial y madera y únicamente el 2% de quincha, estera o piedra con barro.
- El 42% de la población de Cusco se encuentra ubicada dentro de zona de Muy Alto peligro a movimientos en masa, 2% en zona de peligro Alto, 39% en Medio y 16% en zona de peligro Bajo.
- Tomando en cuenta la base de datos del INEI (2007), a nivel de manzanas, el 18% de viviendas expuestas a peligro Muy Alto se ubican en el distrito de Cusco, 10% y 11% en San Sebastián y Santiago, respectivamente. Los demás distritos presentan peligro a movimientos en masa con niveles entre Medio y Bajo.



- 14% de Instituciones educativas se encuentran expuestas en zona de Muy Alto peligro a movimientos en masa, 51% en zona de peligro medio y 35% en zona de peligro bajo.
- Un Centro de Salud del distrito de San Sebastián, se encuentra expuesto al peligro de movimiento en masa con nivel de Muy Alto, un total de 6 Centros de Salud y Hospitales de los distritos de Cusco, San Sebastián y Wanchaq a peligro Medio y 6 Centros de Salud y Hospitales, ubicados en los distritos de Santiago, Wanchaq y San Jerónimo a peligro Bajo.
- El aeropuerto Tnte. Alejandro Velasco Astete y el Terminal Terrestre presentan Bajo peligro a movimientos en masa.
- Las vías de acceso que podrían ser interrumpidas por movimientos en masa son las que se ubican en los distritos de Cusco, Santiago y San Sebastián, los cuales conducen (entre otros) a Pisac, Abancay, Sicuani, así como Paruro y Rondocan.
- Dos sitios arqueológicos, una iglesia ubicada en el distrito de Cusco y otra en el distrito de Wanchaq están expuestos y/o ubicados en zona de peligro Muy Alto. Un museo y una iglesia del distrito de Cusco, se ubican en zona de peligro Medio. Cuatro iglesias y un museo del distrito de Cusco se ubican en zona de peligro Bajo.
- Considerando como factor detonante la reactivación de la falla Tambomachay, dentro de la zona de estudio, el riesgo a movimientos en masa es el siguiente: 26% de las viviendas presentan riesgo Muy Alto, 26% riesgo Alto, 47% riesgo Medio y 1% riesgo Bajo.
- La evaluación del riesgo sísmico, dentro de la zona de estudio, muestra que el 47% de viviendas presentan riesgo sísmico Muy Alto, 45% riesgo sísmico Alto y 8% riesgo sísmico Medio.

XI. RECOMENDACIONES

Para la DDI Cusco

- ✓ En coordinación con el gobierno regional de Cusco y municipalidades distritales realizar campañas de sensibilización y educación a la población y autoridades en temas relacionados a peligros de origen natural recurrentes en la zona, con especial énfasis en sismos por fallas corticales y movimientos en masa.



- ✓ Como parte de labores de Preparación para la respuesta, fomentar la realización de simulacros de sismo, a nivel local, dirigido a la población e instituciones educativas.
- ✓ En coordinación con el gobierno regional de Cusco y municipalidades distritales, promover capacitaciones dirigidas a la población, en temas relativos a técnicas de construcción y mantenimiento de viviendas afectadas por las lluvias intensas.
- ✓ Asesorar a los gobiernos locales para la elaboración de sus planes de contingencia ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud seguido de movimientos en masa.
- ✓ Capacitar a los GR y GL en la implementación de sus Grupos de trabajo y Plataformas de Defensa Civil, así como su plan de trabajo. Asimismo, en la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) e implementación de sus Centros de Operaciones de Emergencia.
- ✓ Mantener constante comunicación con las instituciones técnico científicas encargadas del monitoreo de la sismicidad y deformación cortical (IGP, INGEMMET, otros) con la finalidad de asesorar al gobierno regional de Cusco y distritos involucrados en la toma de decisiones para la atención de las emergencias que se pudieran suscitar.

Para el Gobierno Regional de Cusco y Municipalidades distritales involucradas

- ✓ Conformar los grupos de trabajo para la Gestión de Riesgos de Desastres, a fin de articular la gestión Prospectiva, Correctiva y Reactiva, los cuales deberán estar integrados por los responsables de las unidades orgánicas de cada institución.
- ✓ El gobierno regional de Cusco en coordinación con la DDI - Cusco deberá promover la instalación de las plataformas de Defensa Civil, en los distritos y localidades en riesgo, con la finalidad de apoyar en la Gestión Reactiva de la población bajo su jurisdicción.



- ✓ Los Gobiernos locales deberán coordinar con el Gobierno Regional de Cusco para operar los almacenes locales, los mismos que deben contar con ayuda humanitaria para la atención de las emergencias que se puedan presentar.
- ✓ Realizar trabajos de reducción del riesgo tales como estabilización de taludes, gaviones, etc. en zonas identificadas como de alto peligro a movimientos en masa.
- ✓ Realizar un programa de capacitación a personal de la municipalidad a fin de realizar una rápida y mejor Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) ante la ocurrencia de una emergencia.
- ✓ Se recomienda que la municipalidad provincial de Cusco, solicite a las instituciones técnico-científicas la ejecución de un estudio de microzonificación sísmica-geotécnica en la zona urbana de la ciudad de Cusco, con la finalidad de definir con mayor precisión parámetros como el tipo de suelo, capacidad portante, periodos de vibración del suelo; datos importantes y necesarios para una mejor caracterización del comportamiento dinámico del suelo de la ciudad de Cusco y por ende una mejor estimación del riesgo sísmico.

Para las Instituciones Técnico-científicas (IGP, INGEMMET, UNIVERSIDADES, OTROS)

- ✓ Realizar el monitoreo y estudio de la sismicidad en torno a las fallas activas ubicadas dentro de la provincia de Cusco, con la finalidad de que los gobiernos regionales y locales estén informados e implementen las recomendaciones que se desprendan de esas observaciones.
- ✓ Establecer comunicación constante con el INDECI, autoridades regionales, locales y población involucrada para que den a conocer sobre los peligros a los que están expuestos y tomen las medidas de preparación correspondientes.

Para la Población

- ✓ Participar activamente en las actividades de preparación que realice el Gobierno Regional y municipalidades distritales de Cusco.

- ✓ Organizarse a través de los comités de base y organizaciones sociales a fin de participar y realizar acciones dentro de la Gestión Reactiva, dando prioridad los procesos de Preparación y Respuesta.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- **Benavente, C., Cárdenas, J., Concha R., García, B., & Morales, M. (2010).** Evidencias de paleosismos en la estratigrafía de la cuenca cuaternaria Cusco. XV Congreso Peruano de Geología, Cusco. Resúmenes extendidos pp. 1280-1283, Sociedad Geológica del Perú.
- **Benavente, C., Delgado, F., Taipe, E. (2013).** Neotectónica y Peligro Sísmico en la región del Cusco. Boletín N°55, Serie C, INGEMMET.
- **Cabrera J. (1988).** Néotectonique et sismotectonique dans la cordillere Andine au niveau du changement de géométrie de la subduction: La Région de Cuzco (Pérou). Thesis, pp. 268, Univ. Paris-Sud, Orsay, 1988.
- **Cabrera, J., and M. Sébrier (1998).** Surface rupture associated with a 5.3-mb earthquake: The 5 April 1986 Cuzco earthquake and kinematics of the Chincheros-Quoricocha faults of the High Andes, Peru, Bull. Seismol. Geol. Soc. Am., 88(1), 242–255.
- **Cabrera, J. (1988).** Neotectónica et sismotectonique dans la Cordillere Andine au niveau du changement de geometrie de la subducción: la región de Cusco, Perou. These Docteur 3eme cycle, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, 275 pag.
- **CANDIA, F, CARLOTTO, V. (1985).** Estudio Geológico de la Zona Huambutío-Lamay (Departamento de Cusco). Tesis de Ingeniero, Universidad de Cusco, 88 p.
- **Carlier, G., J. P. Lorand, J. P. Liegeois, M. Fornari, P. Soler, V. Carlotto, and J. Cardenas (2005).** Potassic-ultrapotassic mafic rocks delineate two lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano, Geology, 33, 601–604, DOI:10.1130/G21643.1.



- **Carlotto, V. (1998).** Évolution Andine et Raccourcissement au niveau de Cuzco (13–16°S) Pérou: Enregistrement sédimentaire, chronologie, controles paléogéographiques, évolution cinématique, Ph.D. thesis, 159 pp., Univ. Joseph Fourier, Grenoble, France.
- **Carlotto, V. (2007).** Deslizamiento de Chingo Grande Saylla (Cusco): Informe de inspección, informe inédito. Lima: INGEMMET, 8 p (disponible A. T. INGEMMET A6562).
- **CARLOTTO, V.; JAILLARD, E.; CARLIER, G. & CARDENAS J. (1991).** Evoluciónestratigráfica Mesozoica de la región de Cusco. VII Cong. de Geol., Res. 599-604 p., Lima.
- **Carlotto V.; CARLIER, G.; CARDENAS, J.; GIL, W.; CHAVEZ, R. (1996).** The RedBeds of San Jeronimo Group (Cuzco-Peru) Marker of the Inca 1 Tectonic Event.International Symposium on Andean Geodinamics, Saint-Malo. ORSTOMed.
- **CORDOVA, E. (1990).** Estudio de Áreas de Expansión Urbana de la Ciudad del Cusco. IIUN, 13 p. Cusco.
- **Fornari, M., E. Baldellon, F. Espinoza, I. Ibarra, N. Jiménez, and M. Mamani (2002).** Ar-Ar dating of late Oligocene–early Miocene volcanism in the Altiplano, paper presented at 5th International Symposium on Andean Geodynamics, IRD Toulouse, France.
- **GREGORY, W. (1916).** Geologic reconnaissance of the Cuzco Valley, Perou. American Journal of Science. Fourth series, Vol. II, n. 241.
- **Huamán, D. (1987).** El sismo de Cusco del 5 de abril 1986: Aspectos sismotectónicos. En Congreso Peruano de Geología, 6, Lima 1987, Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p.49.
- **MAROCCO, R. (1978).** Estudio Geológico de la Cordillera de Vilcabamba. INGEOMIN. Bol.4.Serie D. 157 p
- **MAROCCO, R. (1977).** Un segment de la Chaîne des Andes Péruviennes: la déflexion d'Abancay.Etude géologique de la Cordillère Orientale et les Hauts Plateaux entre Cuzco etSan Miguel-Sud du Pérou (12°30' S y 14°00'S).Tesis. USTL. Montpellier. 141 p.



- **Sébrier, M., Huaman, D., Macharé J., Blanc, J., Bonnot, D. & Cabrera, J. (1982).** Observaciones acerca de neotectónica del Perú. Proyecto SISRA-GRUPO PERUANO DE NEOTECTÓNICA-Instituto Geofísico del Perú. 110 p.
- **Sempere, T., Jacay, J., Carlotto, V., Martínez, W., Bedoya, C., Fornari, M., Roperch, P., Acosta, H., Acosta, J., Cerpa, L., Flores, A., Ibarra, I., Torre, O., Mamani, M., Meza, P., Odonne, F., Orós, Y., Pino, A., Rodríguez, R. (2004).** Sistemas transcurrentes de escala litosférica en el sur del Perú. Publicación Especial SGP N° 5: 105 - 110p.
- **Silgado, E. (1978).** "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
- **Servicio nacional de geología y minería publicación geológica multinacional N° 4 (2007).** Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.

ANEXO 1: FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA

1. Centros poblados de Huayllarcocha y Yucaypata



Figura 9: Viviendas ubicadas en los centros poblados de Huayllarcocha y Yucaypata. Presentan rajaduras, hundimiento y colapso. La vegetación permanente durante todo el año indica la saturación del suelo (limos-arcillas). La reptación del suelo se ve reflejado por la posición oblicua que presentan los árboles, claros indicadores de la dirección del movimiento de las masas de suelos.



Figura 10: Viviendas de dos niveles construidas de adobe en zonas de pendiente moderada. Los suelos están compuestos de limos y arcillas cuya saturación de agua se incrementa en épocas de lluvias causando inestabilidad en las laderas de los cerros.

2. DESLIZAMIENTO “EL PICOL”



Figura 11: Deslizamiento El Picol (escarpa de aprox. 1500 m) ubicado en el cerro Huaynapicol, entre los distritos de San Jerónimo y San Sebastian. Presenta dos disipadores de energía o contenedores de flujos de detritos generados durante todo el año, principalmente durante época de lluvias intensas.



Figura 12: Disipadores de energía cerca de las urbanizaciones de Larapa y Santa María. a) Corresponde al disipador 1 y b) Corresponde al disipador 2, en donde se descarga los flujos de detritos y lodo que se acumulan en el tiempo. Existencia de viviendas alrededor del disipador número 1. Material compuesto por gravas, arenas y arcillas. Urbanizaciones de Larapa, Cachimayo y Santa María son las más expuestas ante posible deslizamiento.

3. EXTREMO NORTE DE LA CIUDAD DE CUSCO



Figura 13: Zonas como Mirador, Huayracpunco, Buena Vista, Ucchullo Alto, entre otros se ubican en zona de moderada-alta pendiente. Presentan saturación, erosión durante las lluvias, discurrimiento y formación de cárcavas. La Av. Argentina y Circunvalación están expuestas a los deslizamientos o derrumbes que se puedan generar.



Figura 14: Viviendas al borde del talud, en la margen derecha de la vía principal. Presentan vulnerabilidad alta por exposición y fragilidad. La mayoría son viviendas de adobe con fisuras y grietas con asentamientos que son recurrentes en época de lluvia. Urgen medidas de estabilización del talud.



Figura 15: Viviendas ubicadas al extremo de la vía principal. Se observa erosión del talud por la acción de las lluvias intensas, dejando expuestas de las redes de agua. Viviendas de concreto estabilizadas y soportadas únicamente por columnas.



Figura 16: Panorama de la distribución de viviendas y tipología. Viviendas de concreto y de adobe asentadas en la zona de pendiente.



Figura 17: Viviendas ubicadas en zonas de alta pendiente, con exposición a la erosión pluvial. Algunas son cubiertas con plásticos de color azul a fin de protegerlas de las lluvias intensas. Presentan inestabilidad y alta vulnerabilidad por exposición y fragilidad.

4. CUENCA SAPHY



Figura 18: Foto panorámica de la zona norte de Cusco y cuenca Saphy.



Figura 19: Gaviones y diques para canalizar las aguas del río Saphy, el cual representa un alto peligro para la zona del centro histórico de producirse deslizamientos, embalses y posterior desembalse. Su canalización pasa por las calles Plateros, Plaza de Armas, Av. El Sol hasta desembocar en el río Huncaro; a la altura del terminal terrestre.



Figura 20: Zona de derrumbe y uso de medidas de protección mediante el uso de geomallas, ubicado dentro del campamento municipal de la provincia de Cusco.



Figura 21: Deslizamiento de suelos limo-arcillosos, ubicado en la margen derecha del río Saphy. Presenta una cabecera de 50 m aprox. y un escarpe de falla en la corona del deslizamiento de 5 m; este podría ocasionar embalsamiento del río en periodos de lluvias intensas.

5. MICROCUENCA CACHIMAYO



Figura 22: Deslizamientos en ambas márgenes del río Cachimayo, debido a su alta pendiente y la presencia de factores desencadenantes como las lluvias intensas y presencia de sismicidad debido a las fallas activas dentro en esta región.

6. CENTRO HISTÓRICO



Foto 23: Viendas típicas del centro históricos de Cusco, construidas con base de Piedra y paredes de adobe, en su mayoría de dos y tres pisos. Muchas de ellas presentan fisuras en sus paredes.