

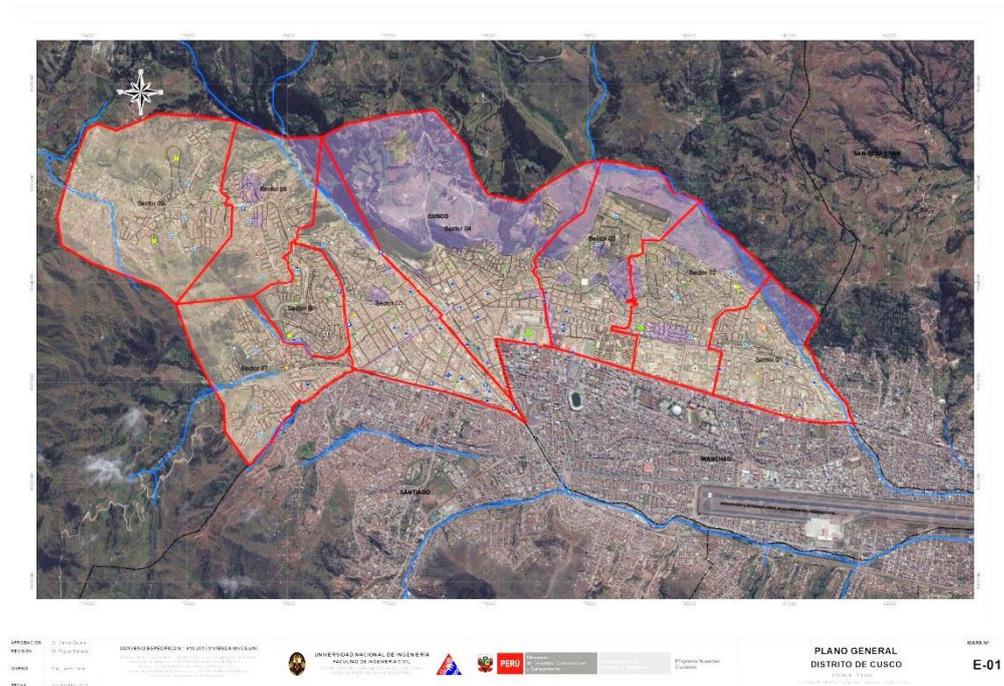


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



“ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO EN ZONAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DE CARABAYLLO Y EL AGUSTINO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA); DISTRITO DEL CUSCO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO); Y DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA)”

**PRODUCTO 05: DISTRITO DE CUSCO
TOMO I – RESUMEN EJECUTIVO
MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA Y EVALUACIÓN
DEL RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO UBICADA EN EL
DISTRITO DE CUSCO
RESUMEN EJECUTIVO**



LIMA – DICIEMBRE 2013



**PRODUCTO 05 - TOMO I
RESUMEN EJECUTIVO**

1. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

Con fecha 09 de Setiembre de 2013, el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un Convenio Específico, con la finalidad de iniciar los "Estudios de Microzonificación Geotécnica Sísmica y Evaluación del Riesgo en Zonas Ubicadas en los Distritos de Carabayllo y el Agustino (Provincia y Departamento de Lima); distrito del Cusco (provincia y departamento del Cusco); y distrito de Alto Selva Alegre (Provincia y Departamento de Arequipa). Estos estudios están siendo ejecutados por el CISMID.

El presente informe presenta un resumen de los principales resultados obtenidos para la zona de estudio del distrito de Cusco.

El distrito de Cusco se ubica en la provincia de Cusco, departamento de Cusco, limita con los siguientes distritos:

- Por el Norte con la provincia de Urubamba, provincia de Calca y la provincia de Anta.
- Por el Este con el distrito de San Sebastián.
- Por el Sur con el distrito de Wanchaq y el distrito de Santiago.
- Por el Oeste con el distrito de Poroy y el distrito de Ccorca.

El área de estudio para este distrito se encuentra definido en el Mapa II-1 del presente Tomo II, el cual fue proporcionado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

El objetivo principal del estudio es el desarrollo de Mapas de Microzonificación Geotécnica Sísmica, Peligros Naturales, Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la zona de estudio ubicada en el distritos de Cusco (Provincia y Departamento de Cusco), a través de un análisis de la sismicidad de la zona, condiciones geotécnicas, determinación de demandas en las edificaciones y finalmente la evaluación del riesgo sísmico.

Para ello fue necesario desarrollar como objetivos complementarios lo siguiente:

- Elaborar el estudio de microzonificación geotécnica y sísmica basado en el Peligro Sísmico, la Geotecnia, la Geofísica y la Dinámica de los Suelos en el área de estudio.
- Realizar la evaluación de eventos naturales que apliquen para el ámbito de estudio y representarlos en un mapa de peligros naturales.
- Determinar el grado de vulnerabilidad en áreas de ocupación urbana, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros.
- Análisis del riesgo sísmico en la zona de estudio.



- Análisis de riesgo sísmico de las redes de distribución de agua, en los lugares donde la disponibilidad de datos lo permita.
- Elaboración de bases de datos geoespaciales para la sistematización de la información generada.

La estrategia de trabajo fue considerar la organización de cuatro grupos, los mismos que trabajaron en forma paralela, de manera que se llegue al desarrollo del proyecto a tiempo cumpliendo el cronograma programado, las labores específicas de cada grupo fue el siguiente:

- Grupo 1: Este grupo desarrolló los trabajos de exploración geológica, geotécnica, geofísica y de dinámica de suelos. En gabinete este grupo generó el estudio de Peligro Sísmico y el estudio de microzonificación sísmica entre otros.
- Grupo 2: Este grupo se encargó de la identificación de los peligros naturales para el ámbito de estudio y de su representación en el mapa de peligros naturales.
- Grupo 3: Este grupo se encargó del trabajo de campo en las zonas urbanas del ámbito del estudio, donde se levantó información de campo para estimar el grado de vulnerabilidad en áreas de ocupación urbana, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros. Asimismo, diagnosticó la respuesta de la edificación a la aceleración máxima inducida por el sismo en base a los parámetros de verificación estructural. Utilizando la microzonificación producida por el grupo 1, generó el estudio del riesgo sísmico de las zonas urbanas involucradas en el estudio. Este análisis se realizó de manera muestral, considerando en la manzana de análisis la vivienda o edificación representativa. Finalmente el producto de evaluación del riesgo será interpolado para cubrir las áreas que no fueron evaluadas.
- Grupo 4: Este grupo se encargó del desarrollo del análisis de riesgo de las redes de distribución de agua, en aquellos lugares donde se contó con información disponible (catastro de redes de agua).

Los cuatro grupos trabajaron de manera coordinada intercambiando información con el único objetivo de generar un producto de calidad.

El informe final del presente estudio es presentado en tres tomos, el Tomo I corresponde a un resumen ejecutivo del estudio, el Tomo II corresponde a los estudios para el Diagnóstico del Riesgo y el Tomo III corresponde al procesamiento de la información para la Estimación del Riesgo. A continuación se presenta la descripción de los principales Mapas obtenidos para la zona de estudio del distrito de Cusco.



2. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Cusco y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa II-3, Tomo II) y de Isoperiodos (Mapa III-1 del presente Tomo III) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar tres zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-2 del presente Tomo III). A continuación se describen estas zonas:

Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas, que se encuentran en los cerros, y a los depósitos de gravas, que se registran alrededor del distrito del Cusco. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm², si se desplanta sobre la grava a una profundidad mínima de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm², si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana a una profundidad mínima de 0.4 m.

Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtremores del suelo en esta zona son menores a 0.25 s

Zona II

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia media a semi-dura y las arenas arcillosas de compacidad media, que se encuentran en la mayor parte del área de estudio. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, desplantada entre 1.00 y 1.50 m de profundidad, varía entre 0.70 y 2.5 kg/cm². En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtremores del suelo en esta zona son menores a 0.35 s



Zona III

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia media a semi-dura y las arenas arcillosas de compacidad media, que se encuentran en la mayor parte del área de estudio. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, desplantada entre 1.00 y 1.50 m de profundidad, varía entre 0.70 y 2.5 kg/cm². En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtemores del suelo en esta zona son mayores a 0.35 s

La Figura 1 muestra el mapa de Microzonificación Sísmica descrito.

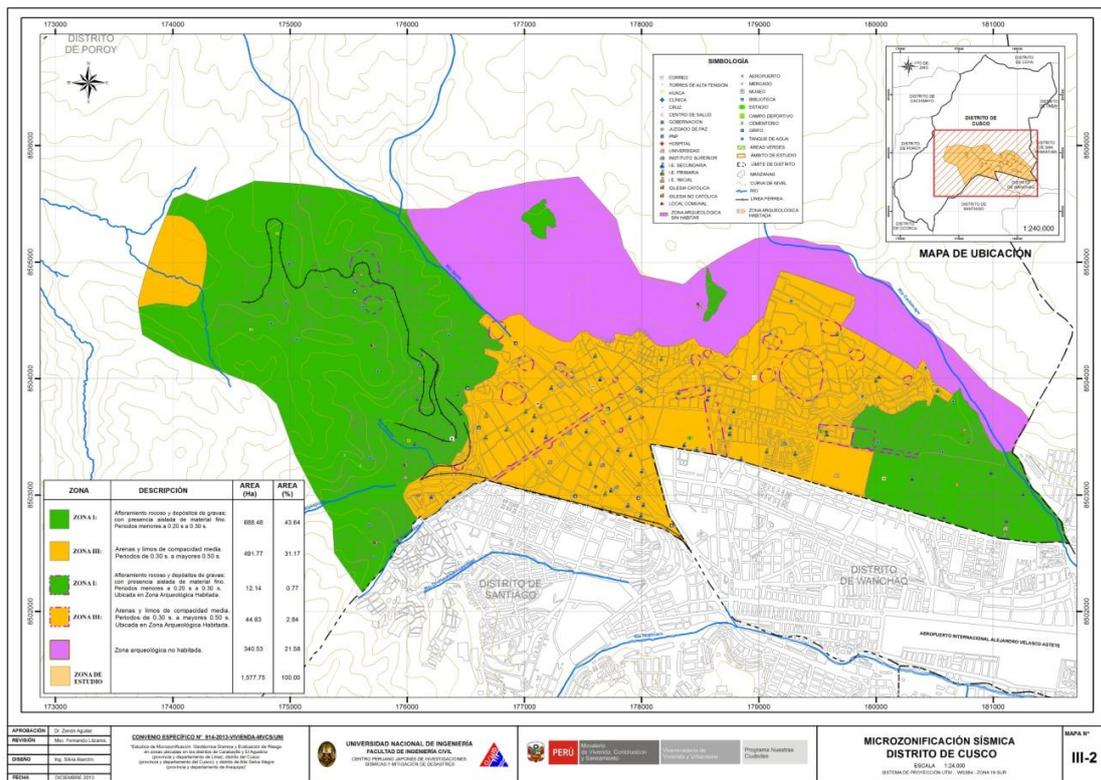


Figura 1. Mapa de Microzonificación Sísmica del Distrito de Cusco.



3. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE PELIGROS

El área de estudio del distrito del Cusco, está afectada por peligros naturales geológicos, que están relacionados a procesos de geodinámica externa (por climatología) y geodinámica interna (sismicidad). A lo largo de la historia, la ciudad del Cusco ha sido afectada por fuertes terremotos, asimismo por inundaciones, deslizamientos ocurridos mayormente por aguas de las lluvias que producen aumento del caudal del agua en los ríos y quebradas.

Actualmente, los terrenos naturales, han sido trastocados por actividad humana, relacionada a construcción de viviendas y diversas obras civiles.

Se ha sectorizado el distrito por intensidad de peligro, encontrándose peligros muy alto a peligros bajo.

Peligro Muy Alto

En la ciudad del Cusco, los sectores que están considerados como de peligro muy alto, están relacionados a los cauces de los ríos y quebradas aledañas al área urbana. Cusco está en una zona que presenta abundantes fenómenos pluviales, por ello aunque sus ríos y quebradas aumentan considerablemente su caudal, pese que no son cauces de gran longitud.

La litología donde estos ríos y quebradas se emplazan, está constituida por rocas sedimentarias de mediana a poca compactación, no presentando buena dureza, esto hace que las aguas erosionen estas rocas, produciendo valles de cierta profundidad con laderas de pendiente fuerte, en ciertos casos los cauces se encañonan.

Como consecuencia de la intensidad del aumento de las aguas pluviales, se producen procesos de geodinámica externa como deslizamientos de laderas, erosión de riberas, inundación y desbordes de los ríos y quebradas, flujos de lodo y rocas (huaycos).

El problema social, es que algunas de estas zonas consideradas como de peligro muy alto, están siendo ocupadas por familias que están construyendo sus viviendas. Si asociamos a la actividad sísmica, las ladera de pendiente moderada a fuerte que están siendo ocupadas por construcciones, se pueden deslizar, debido a que también influye la calidad de roca que es de consistencia deleznable.

Los sectores considerados de peligro muy alto se ubican a lo largo de los ríos y quebradas, principalmente al norte y oeste de la ciudad del Cusco, sectores que son los terrenos más altos de la ciudad, en estos sectores se encuentra el área que ocupa la zona arqueológica de mayor importancia de la ciudad de Cusco.



Los ríos que involucran los sectores de peligros muy altos, son el río Poroy, que pertenece a la cuenca hidrográfica del río Apurímac; los ríos Saphi, Cachimayo, Sipaspugio, Sacramayo, Pichu, que drenan el colector de aguas principal en la ciudad de Cusco, que es el río Huatanay, el cual desemboca en el río Vilcanota.

La zona de mayor peligro, se encuentra aledaña al río Saphi, debido a que es el río de mayor longitud, que trae más agua y que su cauce va directamente donde se encuentra la Plaza de Armas de la ciudad. Aunque se han hecho varias obras civiles para mitigar posibles daños de este río, como encausamientos, defensas ribereñas, diques para mitigar la velocidad de las aguas, en el área urbana el río está canalizado y techado, etc. No se puede soslayar una avenida con gran caudal de agua, que pueda desbordar el cauce, produciendo desbordes, acarreo de huaycos, destruir las obras civiles y afectar al centro histórico de la ciudad.

Peligro Alto

Las áreas de peligros altos, en la ciudad del Cusco, están relacionados a los cauces de los ríos y quebradas aledañas al área urbana, pero estas áreas, se encuentran mayormente en las laderas aledañas a los cauces.

Las laderas en estos cauces, son mayormente de pendientes moderadas a fuertes, están constituidas por materiales morrénicos o coluviales que descansan sobre rocas sedimentarias de baja compactación.

Esta zona está presente en los cauces de los ríos mencionados anteriormente, observándose también al este del área de estudio, en las laderas del río Cachimayo, en las laderas que conforman unas colinas donde se encuentran las urbanizaciones, Ayuda Mutua y Alto Los Incas.

Peligro Medio

Son aquellas áreas que forman laderas de pendiente moderada, los cerros así como las partes altas de las colinas y lomadas en la ciudad del Cusco. Estas laderas son mayormente de pendiente moderada, estables, conformada por rocas sedimentarias, que por intemperismo han formado depósitos coluviales; algunas laderas están cubiertas por materiales morrénicos.

También se aprecia estas áreas de peligro geológico medio, al sur este del área de estudio, involucra parte de los terrenos donde se encuentra el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete, terrenos aledaños a la margen izquierda del río Huatanay.



Peligro Bajo

Se emplazan mayormente en las áreas semi planas de la ciudad del Cusco. Estas áreas son algo ondulantes formando laderas que tienen una inclinación moderada hacia el este. Estas áreas mayormente están conformadas por depósitos morrénicos en la parte norte de la ciudad y rocas sedimentarias al sur del área de estudio.

No están afectados por el área de influencia de los cauces de los ríos y quebradas.

En la zona de peligro bajo, se encuentra la mayor parte de terrenos urbanizados o son consideradas como zona histórica como la Fortaleza de Sacsayhuamán, se ubica también en los alrededores de la Plaza de Armas, en el sector norte del distrito de Huanchac, y al oeste en el sector de Poroy.

La Figura 2 muestra el mapa de peligros descrito.

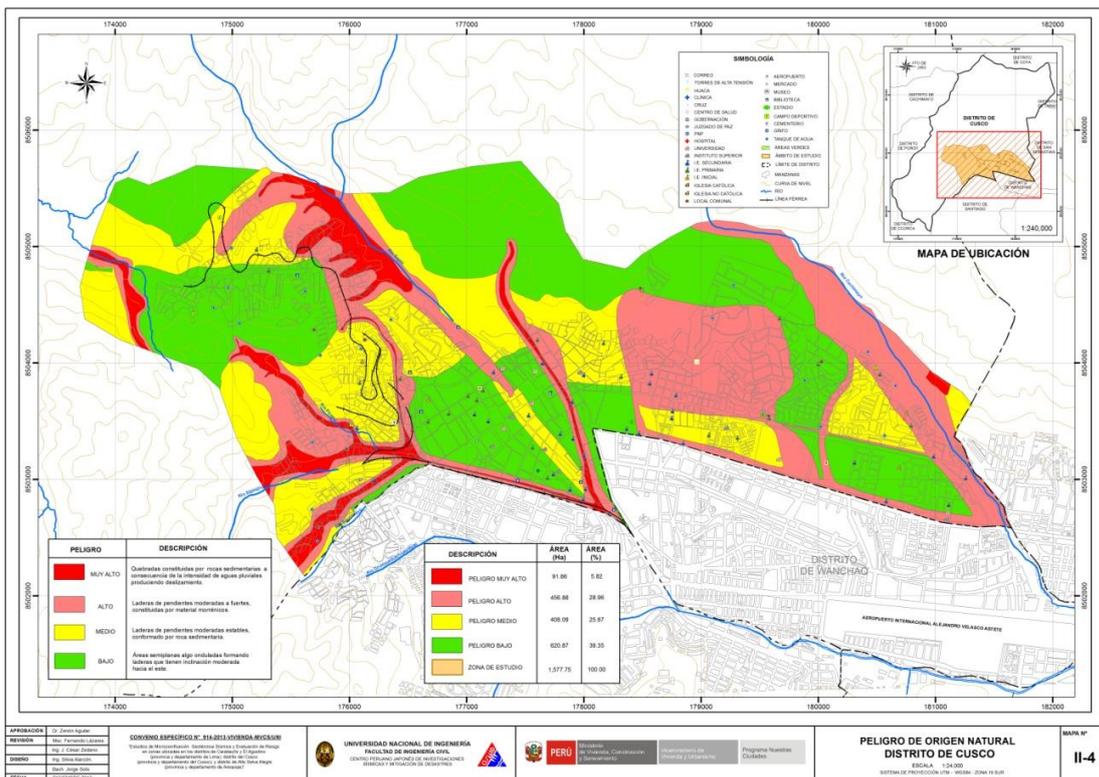


Figura 2. Mapa de Peligros del Distrito de Cusco.



4. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD

El desarrollo del mapa de vulnerabilidad se basa en el análisis estructural de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas evaluadas. El método desarrollado en CISMID es una ampliación de la metodología propuesta por Miranda en el artículo "Approximate Lateral deformation Demands in Multistory Buildings" del Journal of Structural Engineering, ASCE, 1999. El análisis propuesto por CISMID considera la aceleración mínima obtenida en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica y aplicada a todas las estructuras en estudio, simulando un solo tipo de suelo para que las condiciones de análisis sean las mismas para todas las edificaciones. Para el análisis se consideran como parámetros base, la demanda sísmica (aceleración de la base) material de edificación, número de pisos, sistema estructural y otros datos obtenidos del levantamiento de campo. Con los parámetros locales de suelo y los datos obtenidos en campo se desarrolla el análisis numérico de la estructura obteniendo las distorsiones de entrepiso por el método de los índices β_i , tal como se explica detalladamente en el Tomo III de este producto.

Posterior al análisis estructural bajo una demanda sísmica igual para todas las edificaciones, se clasifican éstas en tres niveles de vulnerabilidad: Nivel Bajo, edificaciones que resistirán un sismo severo, con daños menores, Nivel Medio, que son edificaciones en las cuales pueden producirse daños importantes, pero son llegar al colapso, y Nivel Alto, que son edificaciones con una alta probabilidad de falla, con graves daños y un probable colapso.

Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de Cusco, se tienen edificaciones con vulnerabilidades en los diferentes niveles considerados, siendo en su mayoría las edificaciones que tienen una vulnerabilidad media. Este resultado se basa en el desarrollo urbano del distrito de Cusco. La historia del desarrollo de este distrito tiene sus inicios en la época del incanato para luego fusionarse con las construcciones de la época colonial y republicana. El desarrollo inmobiliario en Cusco se está realizando en su periferia, pero lamentablemente la informalidad y la ocupación de terrenos en laderas hacen de este crecimiento un problema para la seguridad de los pobladores. Con respecto a las edificaciones en los asentamiento humanos, se ha obtenido una vulnerabilidad alta, ya que aún se siguen aplicando técnicas muy tradicionales de construcción además del uso del adobe como material de construcción.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la distribución de los diferentes niveles de vulnerabilidad encontrados en el distrito de Cusco. El desarrollo inicial del distrito se encuentra en la zona central de éste y es donde se encuentran las edificaciones más antiguas y de mayor densidad, siendo estas edificaciones las más vulnerables. El nuevo desarrollo del distrito, hacia la zona de la periferia, hacen de las viviendas también vulnerables por el uso de adobe y un tipo de mampostería que no cuenta con la supervisión de un profesional especialista en edificaciones, además de su ubicación sobre las laderas de las colinas.

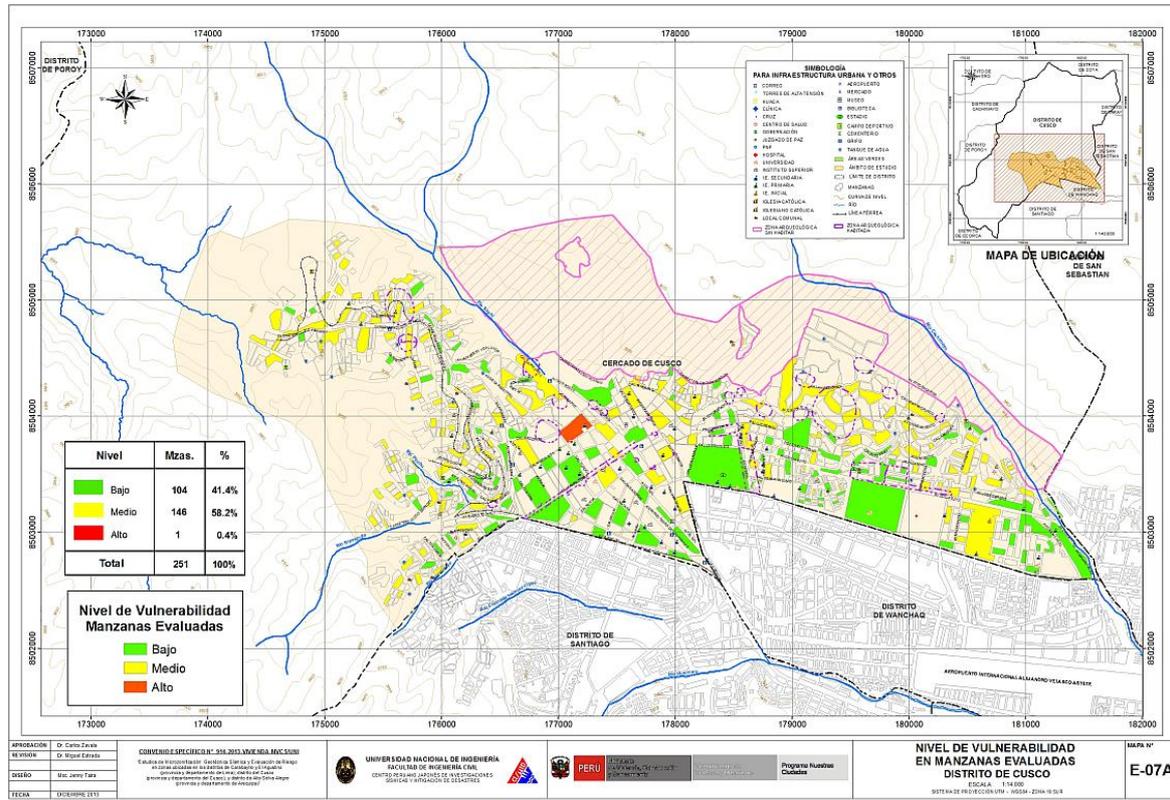


Figura 3. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Cusco.

5. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE RIESGO

Se define el Riesgo como la pérdida material o humana, debido a la acción de evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de éste y la vulnerabilidad de la edificación. Como se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la zona con mayor grado de riesgo es la parte norte y oeste del distrito. El cálculo de estos niveles de riesgo se basa en el cálculo de la vulnerabilidad de la edificación, al cual se le añade la información de las condiciones de las manzanas locales de suelo. Como se sabe los suelos con características de suelos blandos amplifican las ondas sísmicas produciendo demanda sísmicas mayores a las edificaciones construidas sobre éstos. Como se mencionó en la parte correspondiente a la geotecnia y microzonificación, aunque las aceleraciones son relativamente bajas, el problema principal es el material de la edificación y su ubicación en las laderas de los cerros que rodean a la ciudad. Las edificaciones de adobe y en muchas edificaciones de albañilería, no cuentan con un confinamiento adecuado que permita de alguna manera darle una mayor estabilidad y en general una mayor resistencia a la edificación. Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Cusco, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una edificación, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones y utilizando las metodologías presentadas en el Tomo III se estima el nivel de distorsión máxima, considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro. Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana en estudiada, dando como resultado de riesgo el costo de reposición de la edificación, es decir el costo que demande restaurar a la edificación a su estado antes del sismo. Calculado el

riesgo en una manzana se procede a la interpolación del valor del riesgo, considerando que las edificaciones aledañas son similares en cierta medida.

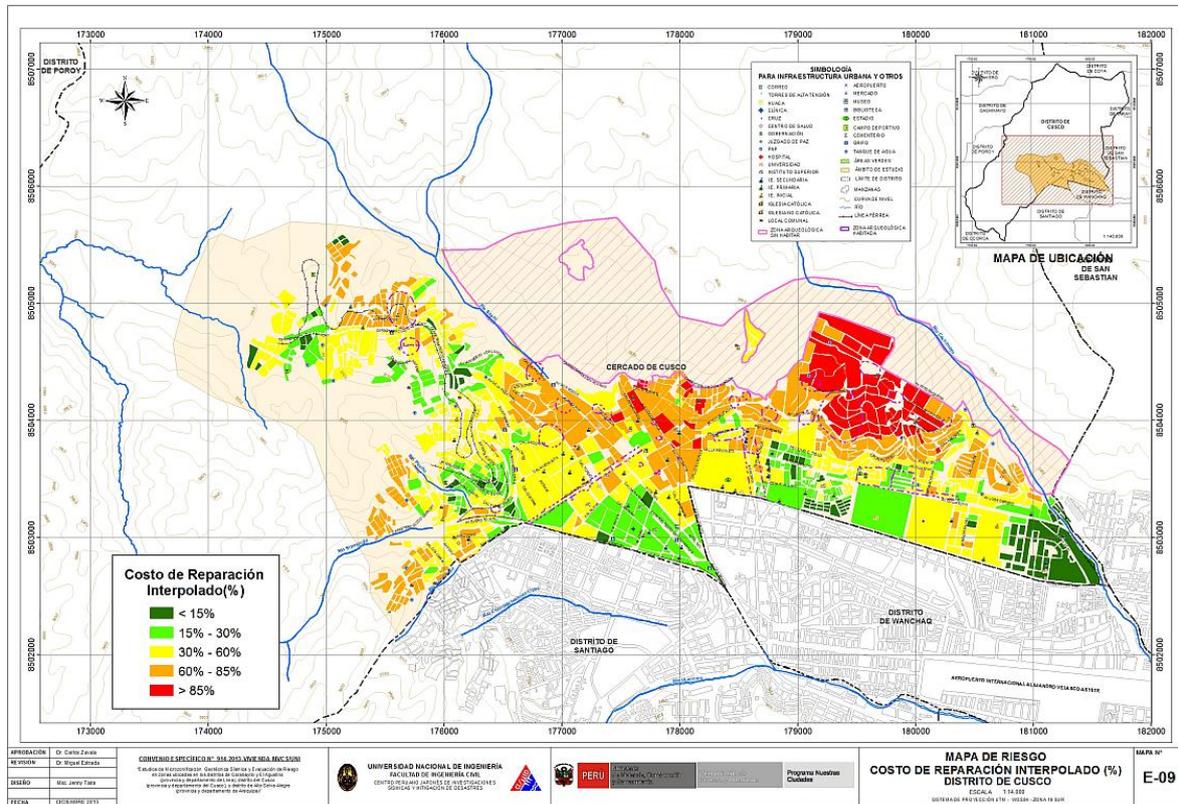


Figura 4. Mapa de Riesgo Interpolado del Distrito de Cusco.

6. DESCRIPCIÓN DEL MAPA DE SECTORES CRÍTICOS

Para el desarrollo del mapa de sectores críticos se han seleccionado las zonas evaluadas con un mayor nivel riesgo. Se han agrupado a las edificaciones con niveles de riesgo IV y V, es decir se presenta en el mapa las edificaciones con porcentajes de costo de reparación entre 60 y 85% y mayores a 85%. Finalmente, en el Tomo III del presente producto se presentan recomendaciones para la mejora estructural proponiendo sistemas de reforzamiento para diferentes tipologías constructivas. Como se puede apreciar en la Figura 5, las zonas con una mayor probabilidad de daño se encuentran en los asentamientos o desarrollos urbanos de reciente ocupación de las laderas de los cerros circundantes a la ciudad y en la zona del centro donde las edificaciones se encuentran deterioradas por la antigüedad de las mismas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

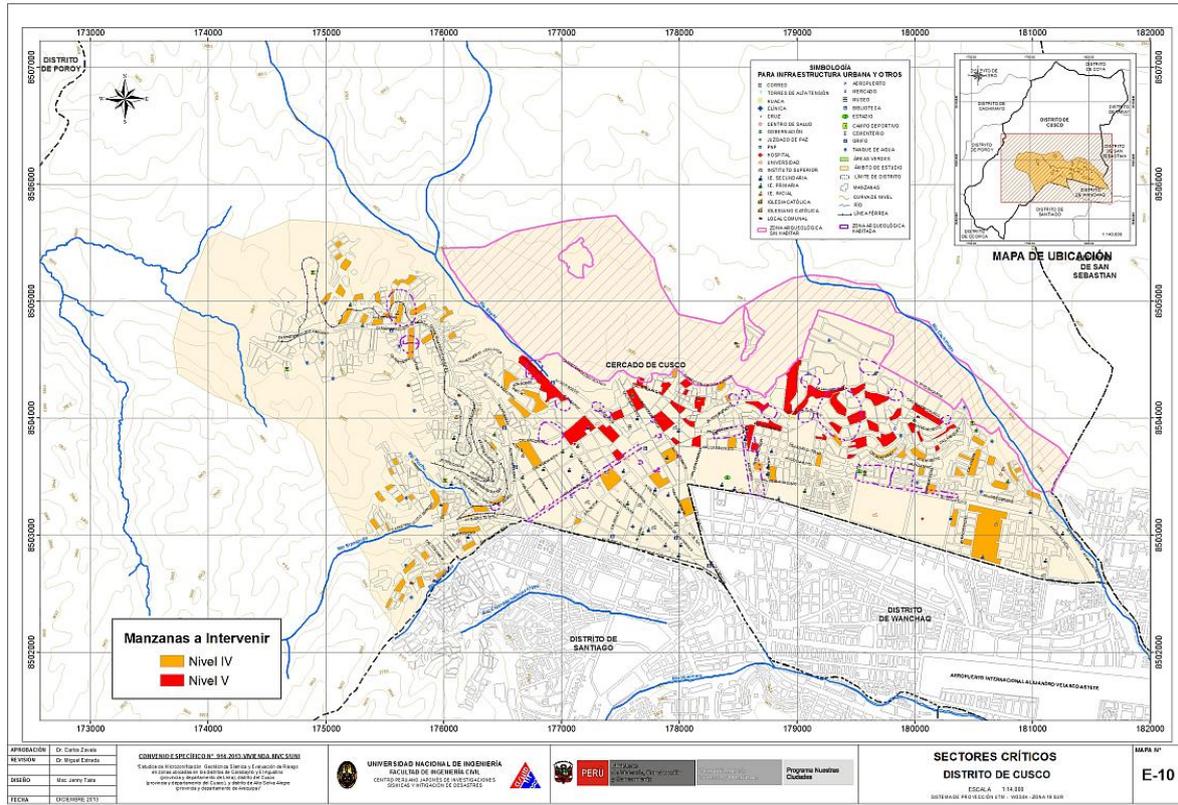


Figura 5. Mapa de Sectores Críticos del Distrito de Cusco.