



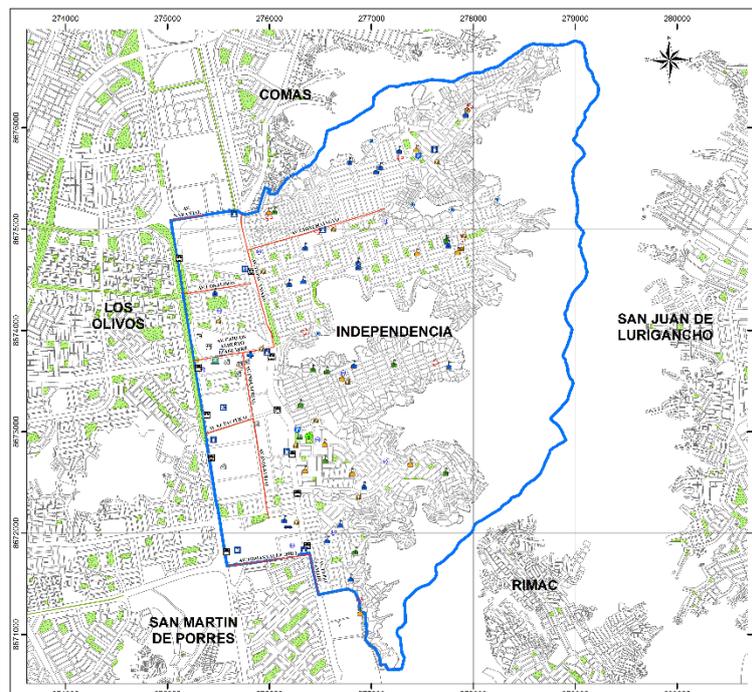
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



# **“INVESTIGACIÓN SOBRE EL RIESGO DE DESASTRES DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA CON ENFOQUE DE BARRIO”**

**INFORME:**

**ESTUDIO DE PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
POR SISMO Y EVENTOS DE REMOCIÓN EN MASA POR  
DEFECTO DE LLUVIAS INTENSAS EN EL DISTRITO DE  
INDEPENDENCIA**



**LIMA - 2016**



**ESTUDIO DE PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR SISMO Y EVENTOS  
DE REMOCIÓN EN MASA POR DEFECTO DE LLUVIAS INTENSAS EN EL  
DISTRITO DE INDEPENDENCIA**

Responsables del Proyecto:  
**Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales**  
**Dr. Ing. Carlos Zavala Toledo**  
**PhD. Ing. Miguel Estrada Mendoza**

Jefe de Ingeniería Geotécnica y Geofísica  
**Dr. Ing. Selene Quispe Gamero**

Jefe de Geología:  
**Ing. Julio Zedano Cornejo**

Jefe de SIG:  
**Ing. Silvia Alarcón Presentación**

Trabajos de Campo y Análisis de Datos:

<b>MSc. Jorge Morales Tovar</b>	<b>Bach. Ing. Cinthia Calderón Cahuana</b>
<b>MSc. Mary Criss Suárez Antúnez</b>	<b>Bach. Ing. Jhony Loli Oncoy</b>
<b>MSc. Erika Flores Terreros</b>	<b>Bach. Ing. Marco Tejada Silva</b>
<b>Ing. Gabriela Cunia Pérez</b>	<b>Bach. Ing. Grover Riveros Soto</b>
<b>Bach. Ing. Lucio Estacio Flores</b>	<b>Bach. Lic. Manuel Medina Gonzales</b>
<b>Bach. Ing. Daniel Escalante Mariño</b>	<b>Bach. Ing. Zuleima Churasi Lapa</b>
<b>Bach. Ing. Alexander Soto Cárdenas</b>	<b>MSc. Nadia Macavilca Rojas</b>



## ÍNDICE

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. GENERALIDADES.....	7
2.1. Objetivo.....	7
2.2. Ubicación del Área de Estudio.....	7
3. PELIGROS DE ORIGEN GEOLÓGICO.....	7
3.1. Factores Condicionantes de los Peligros Geológicos.....	8
3.2. Estratificación de los Niveles de Peligros Geológicos.....	14
4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.....	16
4.1. Metodología.....	16
4.2. Peligro Sísmico Probabilístico.....	18
5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO.....	20
5.1. Tipos de Suelos.....	20
5.2. Microzonificación Geotécnica.....	21
6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO.....	23
6.1. Mapa de Zonas de Isoperiodos.....	23
7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	24
7.1 Zona I.....	26
7.2 Zona II.....	26
7.3 Zona IV.....	26
7.3 Zona V.....	27
8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO.....	27
9. DETERMINACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LOS EJES ZONALES ERMITAÑO Y UNIFICADA DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA.....	28
10. DETERMINACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LOS BARRIOS EL VOLANTE II Y III Y VILLA EL ÁNGEL.....	32
11. ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA.....	34
REFERENCIAS.....	36



## LISTA DE APÉNDICES

- Apéndice A: Evaluación de Peligros Geológicos.
- Apéndice B: Evaluación del Peligro Sísmico.
- Apéndice C: Caracterización Geotécnica del Suelo.
- Apéndice D: Caracterización Dinámica del Suelo.

## LISTA DE MAPAS

- Mapa I-1: Ubicación de la Zona de Estudio.
- Mapa I-2: Microzonificación Sísmica.
- Mapa I-3: Aceleración Máxima Esperada.
- Mapa E-7A Mapa de Vulnerabilidad Sísmica Actualizado del Distrito de Independencia
- Mapa E-09 Mapa de Riesgo Sísmico Actualizado del Distrito de Independencia



## RESUMEN

El presente trabajo describe primero la evaluación de la microzonificación sísmica para el distrito de Independencia. Esta evaluación se ha realizado con la información generada para los mapas de peligro de origen geológico (Apéndice A), microzonificación geotécnica (Apéndice C), y zonas de isoperiodos (Apéndice D). Así mismo, se ha evaluado las aceleraciones máximas esperadas en el terreno, resultados que se han obtenido utilizando el estudio de peligro sísmico probabilístico (Apéndice B).

La microzonificación sísmica obtenida para el distrito de Independencia comprende cuatro zonas. La Zona I está conformada por depósitos de gravas de compacidad media a densa. El periodo de vibración de estos depósitos son menores a 0.2 s. Esta zona presenta un peligro geológico de bajo a medio. La Zona II está conformada por depósitos de arena de compacidad media a densa. El periodo de vibración de estos depósitos de arenas se encuentra en el rango mayor o igual a 0.2 y menores a 0.4 s. Esta zona presenta un peligro geológico de medio a alto. La Zona IV corresponde a las zonas de peligro geológico alto. Por último se tienen la Zona V, la cual corresponde a los rellenos no controlados, que por su naturaleza la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006) exige que la cimentación de la vivienda convencional no deba construirse sobre este material, por lo que deberán ser reemplazados en su totalidad antes de iniciar la construcción de la cimentación.

Tomando como base el análisis de peligro sísmico probabilístico, para el que se encontró una aceleración de  $467.29 \text{ cm/s}^2$  en suelo tipo "C" para un periodo de retorno de 475 años y considerando los factores de amplificación asociados para las diferentes zonas, se proyectan los siguientes valores de aceleración máxima del suelo: Zona I de  $467.29 \text{ cm/s}^2$ ; para la Zona II una aceleración de  $560.75 \text{ cm/s}^2$ ; para la Zona IV de  $654.21 \text{ cm/s}^2$  y para la Zona V de  $700.93 \text{ cm/s}^2$ .

El presente informe también describe la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas y el riesgo sísmico de los ejes zonales Ermitaño y Unificada, así como también de los barrios El Volante II, El Volante III y Villa El Ángel (localizados dentro del eje zonal Unificada) Los resultados obtenidos de esta evaluación han permitido actualizar los mapas de vulnerabilidad y riesgo sísmico del distrito de Independencia.



## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las investigaciones realizadas por diversos investigadores peruanos y extranjeros, la ciudad de Lima está esperando un terremoto de gran magnitud en los próximos años, cuya ocurrencia se estima en un lapso de tiempo aproximado de 20 años. La magnitud momento ( $M_w$ ) estimada para este evento sísmico es de 8.8 a más. Con el fin de mitigar el impacto que podría tener este evento natural en nuestra sociedad, actualmente se está realizando diversos estudios de microzonificación, así como la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico. Como antecedente se tiene los estudios de microzonificación y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones para una serie de distritos de Lima Metropolitana, incluyendo el distrito de Independencia, que viene realizando el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) a solicitud del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, desde el año 2010, en el marco del proyecto de Transferencia de Tecnologías para la Mitigación del Riesgo de Desastres por Sismos y Tsunamis (SATREPS) y a partir del año 2013 en el marco del programa “0068 Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres” del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

En este contexto, el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) han suscrito el convenio específico de cooperación denominado “Investigación sobre el Riesgo de Desastres del Distrito de Independencia con Enfoque de Barrio”, con el fin de analizar y definir vulnerabilidades ante sismos y eventos de remoción en masa a nivel del Distrito de Independencia, con énfasis en ejes zonales y barrios específicos, definir el riesgo de desastres y medidas de reducción de riesgo, con la finalidad de promover el desarrollo sostenible a través de medios de vida más seguros con un enfoque de barrio. Con ese fin, para evaluar y tomar medidas de reducción de riesgo es necesario utilizar los resultados de un estudio de microzonificación sísmica, el cual se presenta en este informe denominado “Microzonificación Sísmica del Distrito de Independencia”.

A continuación se describe los trabajos complementarios que se desarrollaron para proponer la microzonificación sísmica y a partir de esta información evaluar la vulnerabilidad y riesgo sísmica del distrito de Independencia.



## 2. GENERALIDADES

### 2.1. Objetivo

Uno de los objetivos del presente estudio es elaborar un mapa de Microzonificación Sísmica para el distrito de Independencia, integrando para ello diferentes especialidades como geología, geotécnica y geofísica; y complementando éstas con otros estudios realizados anteriormente en el distrito. A partir de esta información, generar el mapa de aceleraciones sísmicas esperadas a nivel de superficie del suelo, que conjuntamente con la evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas, sirve de base para evaluar el riesgo sísmico del distrito de Independencia. Cabe indicar que el estudio se limita a las áreas urbanas actuales y áreas adyacentes a éstas que podrían influenciar en ellas.

### 2.2. Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio comprende el distrito de Independencia. El distrito de Independencia se ubica en la provincia de Lima, departamento de Lima y colinda con:

- El distrito de Comas por el norte.
- Los distritos de San Martín de Porres y El Rímac por el sur.
- El distrito de San Juan de Lurigancho por el este.
- El distrito de Los Olivos por el oeste.

El Mapa I-1 muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

## 3. PELIGROS DE ORIGEN GEOLÓGICO

Los peligros de origen geológico en el distrito de Independencia, están relacionados a procesos de geodinámica externa y geodinámica interna (sismicidad). El Mapa A-3E Peligro de Origen Geológico del Apéndice A presenta los peligros geológicos identificados en el distrito, donde se aprecia la extensión que éstos ocupan en la zona de estudio. En el informe del Apéndice A se resalta el grado de amenaza y/o peligrosidad determinado, habiéndose clasificado en tres niveles: bajo, medio y alto, definidos por la intensidad de peligro que representan para los pobladores del distrito de Independencia. Cabe indicar que este estudio sigue los criterios establecidos por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre (CENEPRED, 2014) y el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2015). Así mismo, los colores utilizados para representar cada peligro son también los establecidos por CENEPRED y CISMID.

A continuación se detalla los factores que condicionan los peligros geológicos, tales como fuertes pendientes, flujos de escombros, caída de rocas, así como también suelos inestables en laderas, que conforman el suelo de cimentación de muchas viviendas, en su mayoría de material precario.

### 3.1. Factores Condicionantes de los Peligros Geológicos

#### 3.1.1. Grado de Inclinación de las Laderas

El nivel de peligro por pendiente se define en función al grado de inclinación de las laderas, que generan inestabilidad de las masas de suelos y rocas, así como contribuyen a la tendencia del material a fracturarse, caer, deslizarse, o fluir bajo condiciones variadas, por acción de la gravedad terrestre o flujos de agua de lluvias extraordinarias.

En el distrito de Independencia actualmente se puede observar que las zonas planas, semiplanas y de poca pendiente se encuentran urbanizadas; por lo que la expansión urbana se está dando hacia los cerros o laderas de fuerte pendiente, este crecimiento urbano se caracteriza por ser desordenado y desarticulado (ver Figura 01).



**Figura 01.** Vista panorámica donde se aprecia el terreno del distrito de Independencia con diferentes pendientes.

El estudio denominado “Viviendas en Laderas” realizado en el marco del Programa Barrio Mío y que forma parte del Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano Lima y Callao 2035 de la Municipalidad Metropolitana de Lima (2014) establece que las zonas planas



(0-12%), semiplanas (12%-20%), y moderadas (20-35%) son habitables, sin embargo las zonas de fuerte pendiente (>35%) son consideradas zonas no habitables.

Utilizando los criterios establecidos líneas arriba, se ha utilizado las herramientas del programa ArcGIS para elaborar el mapa de pendientes a partir de un modelo digital del terreno (MDT). El MDT es una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z respecto a un sistema de georreferenciación conocido. El MDT utilizado en este estudio ha sido obtenido del servicio de descargas del USGS Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

El Mapa A-3.A Peligro de Origen Geológico: Pendientes (del Apéndice A), representa el mapa de pendientes del distrito de Independencia. En el estudio se ha considerado que los terrenos planos o con poca pendiente (<12 %) representan un peligro bajo, los terrenos con laderas semiplanas (12 – 20 %) y/o moderadas (20 – 35 %) representan un peligro medio, y los terrenos de fuerte pendiente (> 35 %) representan un peligro alto. Esta clasificación sigue los criterios establecidos por INDECI, así como también lo que la literatura indica. Se puede observar en este mapa que los terrenos planos se localizan al oeste del área de estudio (color verde), conformado por todo el eje de la Zona Industrial Comercial, así como también las urbanizaciones ubicadas a lo largo de la Av. Túpac Amaru, como las urbanizaciones El Milagro y Las Violetas (eje zonal El Ermitaño), entre otros. Los terrenos con pendiente entre 12 y 35% predominan en la parte central (color amarillo), mientras que las laderas de fuerte pendiente (mayor a 35 %) se localizan al este de la zona de estudio representado por un color naranja. En este mapa también se puede observar fotografías tomadas durante la exploración de campo, con el fin de representar las condiciones actuales de cada peligro geológico por pendiente.

### 3.1.2. Caída de Rocas

Este tipo de peligro se presenta en las laderas de fuerte pendiente, en las que se observa bloques sueltos producto de la erosión esferoidal, que ante precipitaciones pluviales e infiltración del agua, movimientos sísmicos y vientos fuertes, entre otros, puede generar caída de roca, como también derrumbes.

En el distrito de Independencia se ha estado reportando una constante caída de rocas a través del tiempo. Los estudios publicados por el INGEMMET: “Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana – Primer reporte” (2009) y el “Boletín 59 Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao” (2015) señalan que los ejes zonales de Independencia y El Ermitaño son las zonas en las que continuamente se han estado reportando este peligro. La Figura 02 muestra los bloques

de roca sueltas en las laderas de fuerte pendiente, la foto fue tomada en el eje zonal de Tahuantisuyo.



**Figura 02.** Laderas de fuerte pendiente con bloques de rocas sueltas.

En la Figura 02 se puede apreciar que los cerros donde se han identificado los bloques de rocas sueltas son de composición lítica intrusiva, las cuales al ser afectadas por intemperismo físico se disgregan, resultando bloques de roca sueltas de forma irregular de diversos tamaños, en algunos casos alcanzando más de 3 m de diámetro. En esta figura también se puede apreciar que las laderas donde se encuentran estos bloques de roca son de fuerte pendiente, por lo que la ocurrencia de un evento sísmico de magnitud considerable puede ocasionar su caída, lo que puede generar daños importantes e incluso la destrucción de las viviendas que yacen sobre estas laderas. Diferentes estudios indican que la ciudad de Lima está expuesta a la ocurrencia de un gran terremoto en un futuro muy cercano, dado que existe un silencio sísmico en esta región desde 1746. La magnitud momento ( $M_w$ ) estimada para este gran evento sísmico es mayor a 8.8 (Dorbath et al., 1990; Sladen et al., 2010; y Pulido et al., 2012). Por lo tanto, la mitigación de desastres por terremoto es una de las importantes medidas que actualmente la ciudad de Lima debe abordar, debido al impacto que este peligro natural puede ocasionar con respecto a la pérdida de vidas humanas así como también a los daños de las estructuras.



El Mapa A-3.B Peligro de Origen Geológico: Caída de Rocas del Apéndice A, muestra las áreas donde se han identificado este peligro natural, que están conformadas principalmente por las zonas de fuerte pendiente del AA.HH. Señor de los Milagros Payet, los barrios de Sarita Colonia, Misti, Melgar (eje zonal Túpac Amaru), los barrios de Prado, Carmen Alto, Valle Young (eje zonal Tahuantinsuyo), los barrios de Mariátegui, 3 de Octubre (eje zonal Independencia), los barrios de La Fraternidad, San Albino (eje zonal El Ermitaño), entre otros. Esta delimitación se ha realizado con las inspecciones de campo así como también con la ayuda de imágenes satelitales. En este mapa, las zonas de alto peligro geológico por caída de rocas se ha representado por un color naranja con un achurado de líneas plomas inclinadas. El nivel de peligro asignado a esta zona se evidencia con las fotografías del lugar insertas en dicho mapa.

### 3.1.3. Flujos de Escombros a través de Cárcavas y Quebradas

En el área de estudio existen cárcavas y quebradas de fuerte pendiente y poco recorrido, que en la actualidad se encuentran inactivas. El tipo de peligro asociado a este factor corresponde a los terrenos susceptibles a sufrir los efectos de los procesos naturales como inundaciones o flujos de escombros (huaycos) producidos por eventos hidrometeorológicos extraordinarios. El nivel de peligro que éstos representan se ve incrementado en las partes altas debido a la acumulación de detritos y escombros en las laderas y en el lecho de las quebradas.

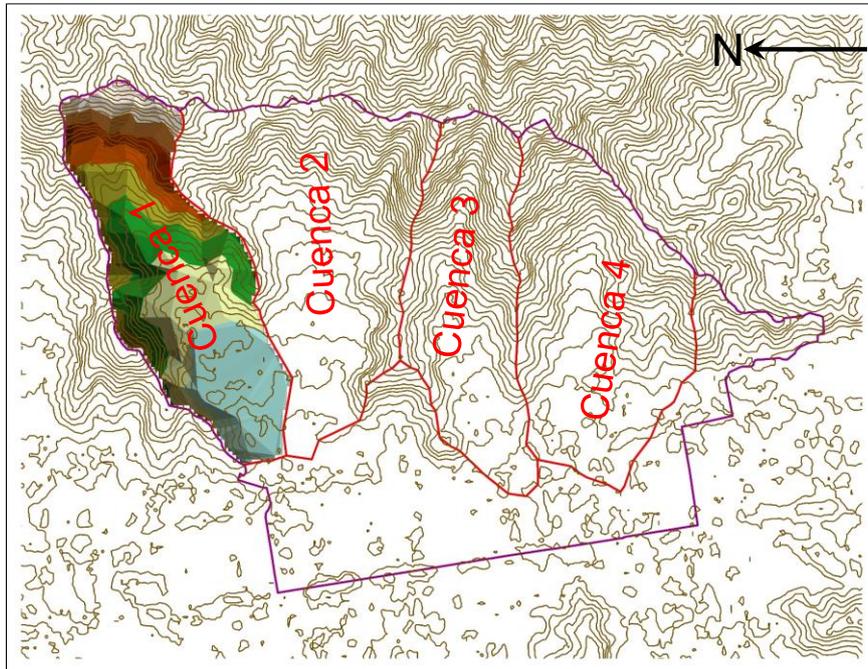
Actualmente en el distrito de Independencia muchas de las viviendas se encuentran asentadas en pleno cauce de las cárcavas y quebradas, como se aprecia en la Figura 03, encontrándose expuesta a un alto nivel de peligro, pues éstas podrían ser activadas durante lluvias extraordinarias que pueden ser provocadas por el Fenómeno El Niño. Para evaluar este potencial peligro, se ha realizado un análisis de inundación utilizando información registrada desde 1968 a 1990.



**Figura 03.** Viviendas asentadas en pleno cauce de una quebrada, que se encuentran expuesta a inundaciones o flujos de escombros.

En este estudio se ha utilizado el método racional el cual consiste en calcular el caudal máximo a partir de la precipitación, estimado sobre la base de las características de la cuenca. Para ello se ha procedido primero a delimitar y modelar las cuencas existentes en el distrito de Independencia utilizando un modelo digital del terreno (MDT), como se aprecia en la Figura 04. Para la simulación hidráulica, el caudal se ha calculado utilizando información de la estación pluviométrica Hipólito Unanue, la cual es la más próxima al área de estudio. La información obtenida contiene datos de precipitación registrados desde el año 1968 hasta 1990, el cual contiene los registros del Fenómeno El Niño (1982 – 1983). Esta información se encuentra disponible en el Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos (SNIRH) (<http://portal.snirh.gob.pe/>).

El escenario de peligro se ha definido para un periodo de retorno de 100 años debido a que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural dentro de este rango de tiempo es alta.



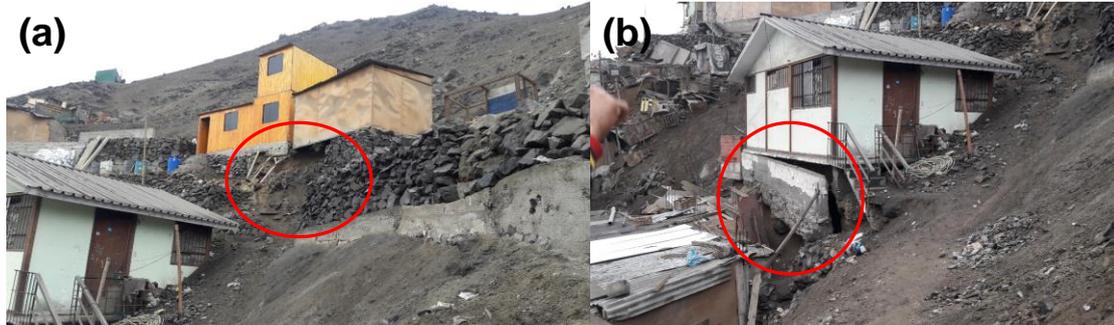
**Figura 04.** Delimitación y modelamiento de las cuencas existentes en el distrito de Independencia.

Los resultados de este estudio indican inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. El área de inundación del cauce de quebradas se presenta en el Mapa A-3.C del Apéndice A. En este estudio, se ha catalogado el peligro de origen geológico por inundaciones o flujo de escombros como un peligro medio debido a sus características hídricas, como se aprecia en el Mapa A-3.C, el cual es representado por un color amarillo con un achurado de líneas celestes. Sin embargo, existen áreas afectadas y/o alimentadas por caídas de rocas y material suelto proveniente de las laderas de fuerte pendiente. Estas áreas se las ha catalogado como un nivel de peligro alto, representado en el Mapa A-3.C de color naranja con un achurado de líneas celestes. En el Mapa A-3.C se puede apreciar que las áreas con un peligro alto se presentan en la parte alta de las cuencas.

#### 3.1.4. Suelos Inestables

Este factor está asociado a las masas de rocas intensamente meteorizadas o alteradas y a los depósitos de suelos sueltos y rellenos no controlados que se encuentran en la superficie de las laderas y sobre las cuales se han cimentado edificaciones precarias. En las Figuras 05 (a) y (b) se puede apreciar que una práctica común de las construcciones informales en ladera es la realización de una explanación cortando parcialmente el cerro y construyendo un precario muro de contención para rellenar el talud, así mismo el relleno no sigue ningún control técnico; como consecuencia ocurre

el desplome del muro como se observa en estas figuras, dejando a las edificaciones en una condición muy inestable.



**Figura 05.** Vivienda de material rustico construido sobre rellenos no controlados en ladera.

En el Mapa A-3.D Peligro de Origen Geológico: Suelos Inestables del Apéndice A se puede apreciar los lugares donde se ha identificado este peligro, el cual es catalogado como peligro alto y representado por un color naranja con un achurado de líneas rojas.

### 3.2. Estratificación de los Niveles de Peligros Geológicos

Sobre la base de los factores que condicionan los peligros geológicos identificados en la zona de estudio, se ha elaborado la estratificación de los niveles de peligros geológicos como se muestra en el Mapa A-3.E Peligros Múltiples en el Distrito de Independencia, que se presenta en el Apéndice A. Seguidamente se describe esta estratificación.



### 3.2.1. Peligro Alto

Se considera a las laderas de fuerte pendiente de los cerros presentes en el distrito de Independencia, ubicado al este del distrito, como se observa en el Mapa A-3.E del Apéndice A. Las laderas son de pendiente fuerte, conformada por rocas ígneas intrusivas, donde existen bloques de rocas sueltas de tamaños heterométricos. Aunque debido a que son laderas de fuerte pendiente, no existe mayormente construcciones, pero en las partes bajas hay asentamientos humanos con construcciones precarias.

Existen bloques de rocas sueltas en los cerros, que por lluvias extraordinarias (por ejemplo el Fenómeno del Niño) o eventos sísmicos de magnitud considerable, pueden caer ladera abajo; también se pueden producir deslizamientos de masas de suelo suelto y rocas intemperizadas, afectando a la población asentada en la parte baja de estas laderas.

Las laderas donde se pueden producir caída de rocas se ubican al Este del distrito, donde se aprecian cárcavas que provienen de las cumbres de los cerros. Estos cerros son predominantemente de composición lítica intrusiva, las cuales cuando son afectadas por intemperismo físico, se disgregan generando bloques sub redondeados en algunos casos de más de 3 m de diámetro. Los bloques que están ubicados en las laderas de fuerte pendiente, se pueden deslizar debido a lluvias o sismos intensos.

Los barrios afectados serían:

Sarita Colonia, Misti, Melgar, en el sector de Túpac Amaru.

Barrios de Prado, Carmen Alto, Valle Young en el sector de Tahuantinsuyo.

Barrios de Mariátegui, 3 de Octubre en el sector de Independencia.

Barrios de La Fraternidad, San Albino, en el sector de Ermitaño.

Se considera también peligro alto a los suelos inestables conformados por rellenos heterogéneos, suelos residuales o coluviales, que se encuentran sobre las rocas en laderas de fuerte pendiente y que son propensas a deslizarse por efectos de sismos o por flujos de agua de lluvias o de riego. Las viviendas que han sido cimentadas precariamente sobre suelos inestables, con muros de pirca inadecuados, son altamente vulnerables y en muchos casos se encuentran al borde del colapso.

### 3.2.2. Peligro Medio

Se considera a las laderas de los cerros con pendiente moderada y pequeñas quebradas de corto recorrido, que podrían ser afectadas por fuertes lluvias excepcionales, produciendo pequeños huaycos y deslizamientos mayormente de derrubios, con la agravante que en estos terrenos se encuentran asentamientos



humanos con construcciones de viviendas muy precarias. En el Mapa A-3 del Apéndice A se observa que la zona de peligro medio, se encuentra en la parte Este del distrito, siendo la mayor parte de terrenos con construcciones precarias.

Los sectores considerados con el rango de peligro medio son:

Cárcavas de las partes altas del sector Túpac Amaru, barrio de Bellavista.

Cárcavas de las partes altas del sector Tahuantinsuyo, barrios Prado, Carmen Alto.

Cárcavas de las partes altas del sector Independencia, barrio 3 de Octubre.

Cárcavas de las partes altas del sector Ermitaño, barrio San Albino.

Cárcavas de las partes altas del sector Unificada, barrios El Volante, El Milagro.

### 3.2.3. Peligro Bajo

Corresponde a las zonas de peligro geológico de baja magnitud, las cuales se ubican en los terrenos planos, al Oeste del distrito. Estas áreas son donde los terrenos están conformados por depósitos aluviales, materiales disgregados acarreados por las aguas del río Rímac, constituidos por terrenos sobre depósitos cuaternarios de origen aluvial, formado por gravas-arcillosas a gravas-limosas de consistencia firme, pendiente desde muy suave a suave ( $0^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ).

En el Mapa A-3.E del Apéndice A se observa la zona de peligro bajo, que colinda con la carretera Panamericana Norte y la avenida Túpac Amaru. Esta zona consiste en un área plana o semi plana, estando actualmente la mayor parte de estos terrenos urbanizados y donde se encuentran zonas comerciales importantes.

## 4. EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO

### 4.1. Metodología

El análisis de peligro sísmico probabilístico consiste en la evaluación de la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo, tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro de interés para el diseño ingenieril.

La predicción de eventos futuros puede ser realizada por medio de modelos estadísticos, en base a datos pasados. Actualmente el modelo más usado es el de Poisson. Este asume que los eventos sísmicos son espacial y temporalmente



independientes y que la probabilidad de que dos eventos sísmicos ocurran en el mismo sitio y en el mismo instante es cero. Estas suposiciones, por lo general, no se ajustan a la ocurrencia de eventos de baja magnitud, sin embargo representan adecuadamente la ocurrencia de los movimientos grandes, que son los de mayor interés para fines ingenieriles. Por esta razón, el modelo de Poisson es ampliamente utilizado para evaluar el peligro sísmico probabilísticamente.

Es fundamental para el análisis definir fuentes sismogénicas y leyes de atenuación.

Las fuentes sismogénicas utilizadas son las propuestas por Gamarra (2009). Él basó la determinación de las fuentes en mapas de distribución de epicentros, así como en las características tectónicas del área de influencia. La actividad sísmica en el Perú es el resultado de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana, así como del proceso de reajustes tectónicos del aparato andino. Esto permite agrupar a las fuentes en continentales y de subducción. Las fuentes de subducción modelan la interacción de las Placas Sudamericana y de Nazca. Las fuentes continentales o corticales están relacionadas con la actividad sísmica superficial andina. Luego de definir la geometría de las fuentes es necesario evaluar los parámetros de sismicidad local. Para esto, dividió el catálogo sísmico en función al número de fuentes, determinándose de esta manera los eventos delimitados en cada fuente. Dado que el proceso de Poisson postula la utilización de datos mutuamente independientes, procedió a eliminar los eventos sísmicos catalogados como réplicas. Para ello se empleó la metodología propuesta en el proyecto piloto "Global Seismic Hazard Assessment Project" (GSHAP), basado en la relación de Maeda (1996).

Se utilizaron las fuentes de subducción F3, F4 y F5, asumiendo que estas fuentes presentan mecanismos focales del tipo compresivo, o de falla inversa, los cuales corresponden a sismos de subducción de interfase. Así mismo, se utilizó las fuentes de subducción de intraplaca superficial F8, F9 y F10, e intraplaca intermedia, F12, F13 y F14, asumiendo que estas fuentes presentan mecanismos focales del tipo tensional, o de falla normal. Por su parte, para las fuentes continentales fueron consideradas para el análisis, las fuentes F15, F16, F17, F18, F19 y F20.

Una vez determinada la tasa de actividad de cada una de las fuentes sísmicas, es necesario evaluar los efectos que, en términos de intensidad sísmica, produce cada una de ellas en un sitio de interés. Para ello se requiere saber que intensidad se presentará en el lugar de interés, si en la  $i$ -ésima fuente ocurriera un temblor con magnitud dada. Para esto se utilizan las leyes de atenuación.

Las leyes de atenuación pueden adoptar muy diversas formas y para estimar el peligro sísmico se ha empleado las leyes de atenuación para ordenadas espectrales de Youngs



et al (1997), CISMID (2006) y Zhao et al (2006) que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo. Así mismo, se ha utilizado el modelo de atenuación para ordenadas espectrales propuesta por Sadigh et al (1997) para sismos continentales.

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes y los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, el peligro sísmico puede calcularse considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas analizadas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se proyectará la estructura.

El peligro sísmico del área del proyecto se ha determinado utilizando la información pertinente en la literatura técnica y así como el programa de cómputo CRISIS 2007 versión 7.6, desarrollado por Ordaz et al. (1999), que emplea métodos numéricos conocidos.

El peligro expresado en términos de las tasas de excedencia de intensidades  $S_a$ , se calcula mediante la siguiente expresión (Esteve, 1970):

$$v(S_a/R_0, p) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} Pr(A > sa/M, R_0) dM \quad (10)$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas  $N$ , y  $Pr(A > sa/M, R)$ , es la probabilidad que la intensidad exceda cierto valor, dadas la magnitud del sismo  $M$ , y la distancia entre la  $i$ -ésima fuente y el sitio  $R$ . Las funciones  $\lambda(M)$  son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas, la cual fue descrita anteriormente. La integral se realiza desde  $M_0$  hasta  $M_u$ , lo cual indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Las fuentes sismogénicas de subducción y continentales se presentan en los Mapas B-1 y B-2 y sus coordenadas geográficas se indican en las Tablas 1 y 2.

#### 4.2. Peligro Sísmico Probabilístico

Para la evaluación del peligro sísmico probabilístico en el distrito de Independencia, se ha considerado las coordenadas geográficas presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas Geográficas para evaluación de Peligro Sísmico.

Zona de Estudio	Coordenadas	
	Longitud (W)	Latitud (S)

Distrito de Barranco	-77.04	-11.99
----------------------	--------	--------

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos con el programa CRISIS 2007 versión 7.6 correspondiente a las máximas aceleraciones horizontales esperadas en el punto de análisis para diversos tipos de suelos. Estos valores se han estimado para los diferentes modelos de atenuación utilizados y para los periodos de retorno de 475, 950 y 2500 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Tabla 2. Aceleraciones espectrales para  $T = 0.0$  s para diferentes periodos de retorno.

Modelo de Atenuación Ponderado	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración horizontal Máxima (cm/s <sup>2</sup> ) de diferentes Modelos de atenuación para un periodo de retorno de:					
			50	100	200	475	1000	2500
Roca (Tipo B)	-77.04	-11.99	184.28	239.88	299.11	388.17	468.06	573.06
Suelo (Tipo C)	-77.04	-11.99	170.31	239.55	327.14	467.29	609.27	830.10

Modelo de Atenuación Ponderado	Longitud (W)	Latitud (S)	Aceleración horizontal Máxima (g) de diferentes Modelos de atenuación para un periodo de retorno de:					
			50	100	200	475	1000	2500
Roca (Tipo B)	-77.04	-11.99	0.19	0.24	0.30	0.40	0.48	0.58
Suelo (Tipo C)	-77.04	-11.99	0.17	0.24	0.33	0.48	0.62	0.85

La Norma de Diseño Sismorresistente E.030 define el coeficiente sísmico de diseño a aquel obtenido con un 10% de probabilidad de excedencia y un periodo de exposición sísmica de 50 años, el cual corresponde a un evento sísmico de 475 años de periodo de retorno.

Lo anterior significa que en la zona evaluada, la aceleración horizontal máxima del sismo de diseño para un suelo del Tipo B (roca) corresponde a 0.40g considerando la media (P.50) del modelo de atenuación ponderado, y así mismo, se propone valores de aceleración horizontal máxima de 0.48 g para suelo tipo C (suelo muy denso).



## 5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO

La caracterización geotécnica de los suelos que subyacen sobre el distrito de Independencia se ha realizado utilizando información geotécnica recopilada. En este estudio se ha recopilado un total de 47 calicatas, 01 pozo, y 06 perfiles de rocas en taludes existentes. Para mayor detalle de esta información revisar el Apéndice C del presente trabajo. Con la información generada se ha delimitado los diferentes tipos de suelos con características geotécnicas similares a diferentes profundidades, como se aprecia en los mapas de tipos de suelos a 1.0 y 2.5 m de profundidad, denominados Mapas C-2 y C-3 en el Apéndice C, respectivamente. A continuación se describe los materiales de suelos encontrados en la zona de estudio.

### 5.1. Tipos de Suelos

#### 5.1.1. Afloramientos Rocosos

Los afloramientos rocosos identificados en el distrito de Independencia corresponden a las rocas ígneas intrusivas y sedimentarias. Tales afloramientos se han identificado en los sondajes TR-01, TR-02, TR-03, TR-04, TR-05 y TR-06, cuyos registros se presentan en el Anexo C-1.

Los afloramientos rocosos se exponen al este del área de estudio, como se aprecia en los Mapas C-2 y C-3 del Apéndice C.

#### 5.1.2. Gravas

Son materiales de suelo que pertenecen a los depósitos coluvial, coluvio-aluvial y aluvial. Se caracterizan por ser densos, de bordes subredondeados, en la parte baja del distrito, y angulosos, en la parte elevada, y de humedad baja. Estos depósitos de grava yacen sobre las formaciones rocosas, así como también subyacen a los materiales superficiales como arenas, limos y arcillas, a partir de 1.5 m de profundidad.

Estos depósitos de grava subyacen sobre la mayor parte del distrito de Independencia, y están representados por los sondajes representativos CR-01, CR-09, CR-15, CR-20, y CR-29, cuyos registros se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C.

#### 5.1.3. Limos y Arcillas

Son materiales finos, de consistencia media y de poco espesor. Se encuentran en la superficie y, en algunos casos, intercalados con gravas y arenas. Se encuentran en sectores específicos como se aprecia en el Mapa C-2. Estos materiales están



representados por los sondeos CR-04, CR-06, y CR-12, cuyos registros se muestran en el Anexo C-1 del Apéndice C.

#### 5.1.4. Rellenos No Controlados

Son depósitos antrópicos, tales como materiales demolición de construcciones antiguas, basura, etc. Son materiales heterogéneos sin selección, constituidos por diversos materiales que van desde gravas, arenas y finos hasta concreto, ladrillos, maderas y desechos. Estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico, por lo que, se recomienda su remoción total. Estas acumulaciones han sido identificadas en sectores específicos del distrito de Independencia, como en la calicata CR-30, cuyo registros se presenta en el Anexo C-1 del apéndice C.

### 5.2. Microzonificación Geotécnica

A partir de la delimitación de los tipos de suelos con características geotécnicas similares, cuyo producto se muestra en los Mapas C-2 y C-3 del Apéndice C, se ha elaborado el Mapa C-4 Microzonificación Geotécnica para el distrito de Independencia. En este mapa se aprecia que la zona de estudio está conformada por cuatro zonas, las cuales representan que lugares son favorables o desfavorables para las viviendas existentes o proyectadas del tipo convencional, en función del tipo de suelo, su grado de compacidad y las condiciones particulares del lugar. Para mayor detalle sobre la elaboración de la microzonificación geotécnica para el área de estudio revisar el Apéndice C del presente trabajo. A continuación se describen cada una de las zonas identificadas en la microzonificación geotécnica.

#### 5.2.1. Zona I

Esta zona incluye a los depósitos de grava coluvio-aluvial y aluvial, materiales de suelos que se han identificado en las calicatas representativas CR-01, CR-09, CR-15, CR-20, y CR-29, cuyos registros se presentan en el Anexo C-1 del Apéndice C. En el Mapa C-4 se aprecia que los estratos de grava se encuentran depositados en casi toda la parte plana del área de estudio.

Los materiales de suelo descrito en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales. La capacidad de carga admisible de esta zona está entre 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos y si fuera el caso este deberá ser removido en su totalidad.



### 5.2.2. Zona II

Esta zona está conformado por depósitos de arena coluvio-aluvial y aluvial de compacidad media a densa, cuyo espesor es mayor a 3 m. Esta zona está representado por los sondajes representativos CR-08, CR-06, CR-14, CR-18, y CR-31, cuyos registros se muestran en el Anexo C-1 del Apéndice C. Estos materiales inconsolidados se encuentran depositados al noroeste de la zona de estudio, como se aprecia en el Mapa C-4 del Apéndice C.

Los depósitos de suelos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales. La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.0 \text{ kg/cm}^2$  si se desplanta sobre la arena, y entre  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  y  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  si se desplanta sobre los limos y arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos, y si fuera el caso este deberá ser removido en su totalidad.

### 5.2.3. Zona IV

Esta zona comprende los cerros que tienen la mayor altimetría en el distrito de Independencia, conformados por rocas del tipo ígneas intrusivas y sedimentarias. En el Mapa C-4 se aprecia que estos afloramientos rocosos se exponen al norte y al este del área de estudio. En la actualidad se pueden observar que las viviendas construidas sobre estos cerros de fuerte pendiente, en su mayoría son construcciones precarias.

El estudio de peligros geológicos presentado en el apéndice A del presente proyecto, indica que estas laderas de pendiente fuerte se consideran de peligro alto debido a que por fenómenos de geodinámica externa como por ejemplo la ocurrencia de lluvias extremas (durante el Fenómeno de Niño) se produciría el desprendimiento y/o caída de rocas, lo que afectaría a las viviendas construidas sobre estos afloramientos rocosas.

### 5.2.4. Zona V

Esta zona corresponde a acumulaciones de materiales transportados y depositados por el hombre, estos consisten de relleno de desmonte, materiales de demolición de construcciones antiguas, así como también materiales de suelo que van desde gravas, arenas, finos hasta escombros, maderas y desechos. La Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006) los denomina Rellenos No Controlados; así mismo, la norma establece que la cimentación de la vivienda convencional no deberá construirse sobre este material, por lo que deberán ser reemplazados en su totalidad antes de iniciar la construcción de la cimentación.



Este estudio ha identificado que los rellenos no controlados se encuentran en sectores específicos del área de estudio. En el Mapa C-4 del Apéndice C se puede identificar estos rellenos no controlados, el cual está representado por la calicata CR-30, cuyo registro se muestra en el Anexo C-1 del mismo apéndice.

## 6. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL SUELO

La caracterización dinámica de los depósitos de suelos en el distrito de Independencia se ha realizado utilizando información recopilada y ejecutada. En este estudio se ha recopilado 48 registros de microtemores medidos en forma puntal, ensayo que permite estimar el periodo de vibración del suelo; también se ha recopilado 20 perfiles de velocidad de onda S, 04 de ellos han sido estimados con el ensayo de medición de microtemores en arreglos, 15 con el método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) y uno con el ensayo de medición de microtemores en arreglos multicanal (MAM). Para mayor detalle de esta información revisar las tablas y anexos del Apéndice D del presente estudio. Así mismo, se ha llevado a cabo en este estudio 40 mediciones de microtemores en forma puntal, información que se presenta a mayor detalle en el mismo apéndice.

Con toda la información generada en este estudio, se ha procedido a elaborar el Mapa D-3 de Zonas de Isoperiodos, con el fin de identificar cuáles son las zonas más propensas a amplificar más que otras las vibraciones del terreno durante un evento sísmico de magnitud considerable. Cabe recalcar que esta zonificación se ha realizado en función de las propiedades dinámicas de los suelos tales como el periodo de vibración de los estratos sedimentarios y los valores de velocidad de onda de corte de estos depósitos. Para mayor detalle de la caracterización dinámica de los suelos en el distrito de Independencia revisar el Apéndice D. A continuación se describe cada zona.

### 6.1. Mapa de Zonas de Isoperiodos

El Mapa D-3 del Apéndice D muestra las zonas definidas según los intervalos de período de vibración, los cuales están relacionados con las velocidades de ondas de corte encontradas. La descripción de estas zonas se presenta a continuación.

#### 6.1.1. Zona I

La zona I comprende el área con períodos de vibración menores a 0.20 s. Los perfiles de velocidad de onda de corte representativos obtenido con el método MASW (MASWR-01, MASWR-03 y MASWR-05) indican que los depósitos de suelos que subyacen esta zona presentan velocidades de onda de corte mayores a ~200 m/s en la superficie, los



cuales van incrementándose con la profundidad, alcanzando el orden de los ~600 m/s a más a una profundidad aproximada de 30 m. En el Mapa D-3 del Apéndice D se observa que esta zona abarca la mayor parte del área de estudio. Los periodos de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

### 6.1.2. Zona II

La zona II comprende el área con períodos de vibración mayor o igual a 0.20 s y menor a 0.30 s. Los perfiles Vs representativos obtenido con el ensayo MASW (MASWR-04) indican que los depósitos de suelos que subyacen esta zona presentan velocidades de onda de corte mayores a ~200 m/s en la superficie, los cuales van incrementándose con la profundidad, alcanzando velocidades de onda de corte del orden de ~500 m/s a una profundidad aproximada de 30 m. En el Mapa D-3 del Apéndice D se observa que esta zona se ubica al norte y oeste del área de estudio. Los periodos de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

### 6.1.3. Zona III

La zona III comprende el área con períodos de vibración mayor o igual a 0.30 s y menor a 0.40 s. Esta zona se encuentra ubicada al oeste del área de estudio, como se aprecia en el Mapa D-3 del Apéndice D. Los periodos de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

## 7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

La norma E0.30 de Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2006a) define la microzonificación sísmica como un estudio multidisciplinario, que investiga los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuefacción de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. El estudio suministra información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica no deben ser utilizados para fines de diseño y/o construcción de algún proyecto específico en algún punto particular del área de estudio. Adicionalmente, estos resultados no reemplazan a los estudios exigidos en la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismo Resistente y la Norma Técnica E.050 de Suelos y Cimentaciones, que son de obligatorio cumplimiento.



Para el presente estudio se consideraron diferentes disciplinas en mapas que muestran diferentes resultados. El resultado de la evaluación de los peligros geológicos es mostrado en el mapa de Peligro de Origen Geológico (ver mapa A-3.E, Apéndice A). Las características geotécnicas son mostradas en el mapa de Microzonificación Geotécnica (ver mapa C-4, Apéndice C). Por otro lado, las características dinámicas son mostradas en el mapa de Zonas de Isoperiodos (ver mapa D-3, Apéndice D). Los resultados de estos mapas, relacionados con la definición de microzonificación sísmica, son superpuestos para la elaboración del Mapa de Microzonificación Sísmica (ver mapa I-2).

En el Mapa I-2 se puede observar que la microzonificación sísmica del distrito de Independencia presenta cuatro zonas, cuyas descripciones se presentan en los siguientes ítems.



### 7.1 Zona I

Esta zona comprende a los depósitos de gravas de compactación media a densa. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales. La capacidad de carga admisible de esta zona está entre 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos no controlados.

Los depósitos de suelos que subyacen sobre esta zona presentan periodos de vibración lateral menores a 0.20 s. Estos depósitos de grava presentan velocidades de onda de corte mayores a ~200 m/s en la superficie, valores que se incrementan con la profundidad, alcanzando el orden de los ~600 m/s a más, a profundidades aproximadas de 30 m.

El peligro geológico de esta zona es de bajo a medio. Comprende las laderas de poca pendiente (< 12%), semiplanas (12–20 %) y/o moderadas (20–35 %).

### 7.2 Zona II

Esta zona incluye a las áreas conformadas por arenas de compactación media a densa, los cuales presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones convencionales. La capacidad de carga admisible en esta zona varía entre 1.0 kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la arena. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los materiales de suelos que subyacen sobre esta zona, presentan periodos de vibración mayor o igual a 0.2 y menor a 0.4 s. Los depósitos de arena de esta zona se caracterizan por tener velocidades de onda de corte mayores a ~200 m/s en la superficie, incrementándose con la profundidad, con velocidades de onda de corte del orden de ~500 m/s a una profundidad promedio de 30 m.

El peligro geológico de esta zona es de medio a alto. Comprende las áreas expuestas a inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad, o flujos de escombros y los terrenos semiplanos (12–20 %) y/o de pendiente moderada (20–35 %).

### 7.3 Zona IV

Esta zona corresponde a las áreas que son consideradas con peligro geológico alto, conformada por las laderas de fuerte pendiente (> 35%), las zonas expuestas a caídas



de rocas, el cauce de quebradas expuestas a flujos de escombros e inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad y los suelos inestables sobre los cuales se encuentran asentadas viviendas precarias o rústicas. Debido al alto nivel de peligro, esta zona debe ser declarada como intangible, donde no se debe permitir la construcción de nuevas edificaciones.

### 7.3 Zona V

Esta zona corresponde a los rellenos no controlados, es decir acumulaciones de materiales transportados y depositados por el hombre, que consisten de relleno de desmonte, materiales de demolición de construcciones antiguas, así como también materiales de suelo que van desde gravas, arenas, escombros, maderas y desechos. La Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006) establece que no se debe construir ningún tipo de edificación sobre estos depósitos de rellenos heterogéneos, por lo que en caso de querer construir en estas áreas, se deberá reemplazar la totalidad de estos materiales por un relleno controlado conformado por material seleccionado.

## 8. MAPA DE ACELERACIONES MÁXIMAS ESPERADAS DEL SUELO

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC, 2006). El valor de aceleración horizontal máxima de diseño en este tipo de suelo para el distrito de Independencia es de  $467.29 \text{ cm/s}^2$ . Los valores de aceleración máxima esperados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica I-2, se obtienen multiplicando el factor del suelo propuesto en la Norma de Diseño Sismo Resistente E.030 por la aceleración máxima PGA de  $467.29 \text{ cm/s}^2$  de la Tabla 1:

Tabla 1. Factores de amplificación y aceleraciones máximas

Zona	Factor	Aceleración Máxima ( $\text{cm/s}^2$ )
I	1.0	467.29
II	1.2	560.75
IV	1.4	654.21
V	1.5	700.93

Los valores obtenidos para el área de estudio son mostrados en el Mapa I-3 del presente informe.



## 9. DETERMINACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LOS EJES ZONALES ERMITAÑO Y UNIFICADA DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA

Se define el riesgo sísmico como la pérdida material o humana, debido a la acción de un evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de éste y la vulnerabilidad de la edificación.

Para este propósito es necesario conocer el peligro sísmico del área de estudio y asimismo la vulnerabilidad de las edificaciones en el área.

El peligro sísmico, para este análisis se basa en las aceleraciones máximas por el tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica sísmica de la zona, luego de haber caracterizado el comportamiento dinámico de los suelos en función de su sismicidad, revisar el mapa I-3.

Por otro lado se puede identificar el tipo de sistema estructural y diagnosticar la respuesta sísmica de éste, producto de la aceleración máxima inducida por el sismo evaluado en el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones. De esta manera puede estimarse el nivel de daño, ya que la respuesta sísmica de una edificación es dependiente de la caracterización dinámica del suelo.

Existen métodos de simulación del riesgo basados en la superposición de la estadística del daño sobre edificaciones durante los sismos, a través del levantamiento de información post evento, que al sobreponerse con las aceleraciones máximas producidas, generan curvas de aceleración versus nivel de daño esperado para un determinado sismo. Estas curvas reciben el nombre de Curvas de Fragilidad, ya que muestra lo frágil que un determinado material y/o sistema estructural puede ser frente a determinado nivel de aceleraciones inducidas sobre el sistema.

Asimismo existen métodos basados en la evaluación de la respuesta sísmica de los sistemas estructurales bajo cierto nivel de aceleración inducida y la estimación de su nivel de daño. Este tipo de metodología ha sido adoptada en el presente estudio. La estimación de la respuesta sísmica ha sido desarrollada utilizando el programa SRSND (Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño) (Zavala et al., 2004). En el caso del riesgo se debe de considerar un escenario sísmico para un sismo severo, que usualmente es un escenario cuyas aceleraciones son superiores a la aceleración máxima del suelo que propone la norma sísmica NTE-E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, que considera un sismo con periodo de retorno de 475 años con la probabilidad de ser excedida en 10%. El sismo de la norma considera una aceleración máxima en el suelo de 450 gals.



Para el distrito de Independencia se considera las aceleración máximas encontradas en el estudio de microzonificación sísmica del distrito de 654 gals seguida de 560 gals y 467 gals, con el cual se desarrolla la simulación de la respuesta sísmica de las edificaciones de los sectores estudiados, determinándose la respuesta en términos de distorsión y de manera que se evalúa el daño estructural en las edificaciones.

Para la determinación del riesgo sísmico de los ejes zonales Ermitaño y Unificada, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones, utilizando la metodología presentada en los artículos SEAOC (1999) y NTE-E-030 (2016), donde 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.

Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica ( $\Delta\delta_j/h_j$ ) en cada lote. Este costo de reparación ( $C_r$ ) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando  $\lambda$  y  $\varepsilon$  parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

$$C_r = \left[ \left( \frac{\Delta\delta_j}{h_j} \right) / \lambda \right]^\varepsilon / 100$$

El diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el costo de reparación cuyos resultados producen el mapa que representa el riesgo de los sectores estudiados.

En el caso de los ejes zonales, se presentan los resultados del análisis de riesgo expresado como porcentaje del costo de reposición, como se presenta en la Tabla 2, donde puede leerse que el daño en los sectores estudiados se inicia en un daño leve que afectaría al 22.3% de las edificaciones. El daño moderado representa un 22.9% de afectación en las viviendas, que significa que las estructuras tendrían un costo de reposición entre el 30% al 60% del costo de una edificación nueva. Seguidamente se cuantifica un daño severo en 5.7% de las viviendas. Lo alarmante se da en que el 49.1% tienen posibilidad de presentar colapso o daño irreparable, ya que el costo de reposición llegaría a valores entre el 85% al 100% del valor de una vivienda nueva.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas  
y Mitigación de Desastres**

**Convenio PREDES - UNI**



Tabla 2. Resultados del Análisis de Riesgo Ejes Zonales Ermitaño y La Unificada.

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	14	8.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	25	14.3%	22.3%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	40	22.9%	22.9%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	10	5.7%	5.7%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	86	49.1%	49.1%	Colapso

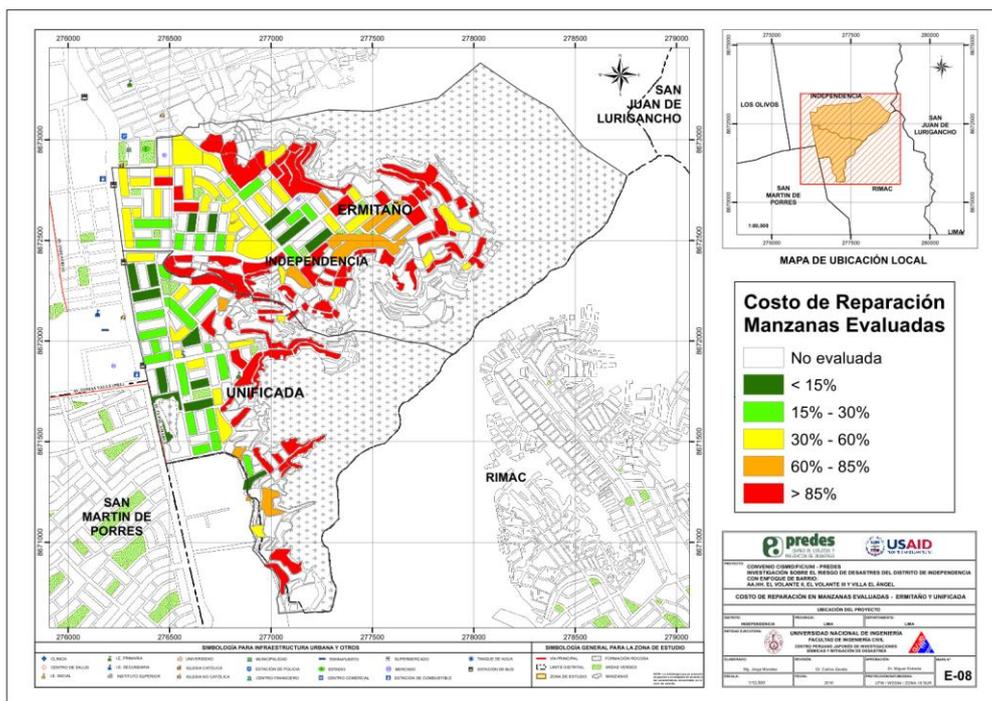
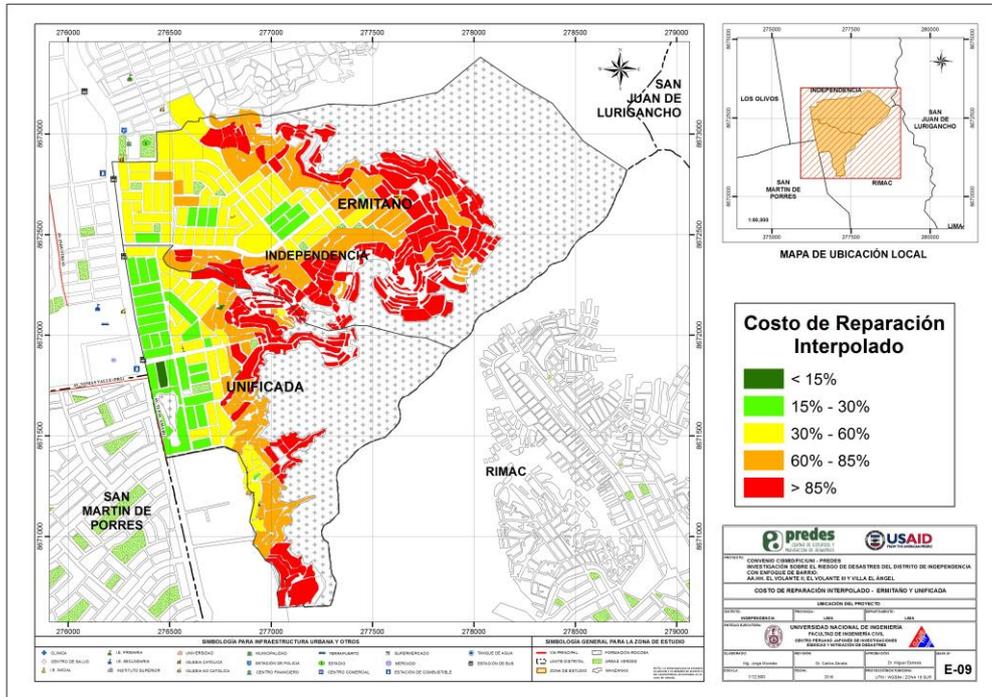


Figura 06. Riesgo Sísmico de los Ejes Zonales El Ermitaño y La Unificada.

La Figura 07 muestra el mapa E-09 el cual es la representación interpolada del riesgo levantado en campo en los ejes zonales de Unificada y Ermitaño.



**Figura 07.** Mapa de Riesgo Sísmico Interpolado para de los Ejes Zonales El Ermitaño y La Unificada.

## 10. DETERMINACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN LOS BARRIOS EL VOLANTE II Y III Y VILLA EL ÁNGEL

Para la determinación del riesgo sísmico se procede de la misma manera que ha sido descrita en los párrafos anteriores, con la diferencia que en el trabajo de campo se considera como unidad de evaluación cada una de las edificaciones que se encuentran en los barrios El Volante II y III y Villa El Ángel.

En el caso de los AA.HH. Volante II y III se presentan los resultados del análisis de riesgo expresado como porcentaje del costo de reposición, como se presenta en la Tabla 3, donde puede leerse que el daño en los sectores estudiados se inicia en el daño moderado representa un 15.7% de afectación en las viviendas, que significa que las estructuras tendrían un costo de reposición entre el 30% al 60% del costo de una edificación nueva. Seguidamente se cuantifica un daño severo en 2% de las viviendas. Lo alarmante se da en que el 82.4% tienen posibilidad de presentar colapso o daño irreparable, ya que el costo de reposición llegaría a valores entre el 85% al 100% del valor de una vivienda nueva.

Tabla 3: Resultados del Análisis de Riesgo AA.HH. Volante II y III

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	0	0.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	0	0.0%	0.0%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	16	15.7%	15.7%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	2	2.0%	2.0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	84	82.4%	82.4%	Colapso
			102	100.0%		

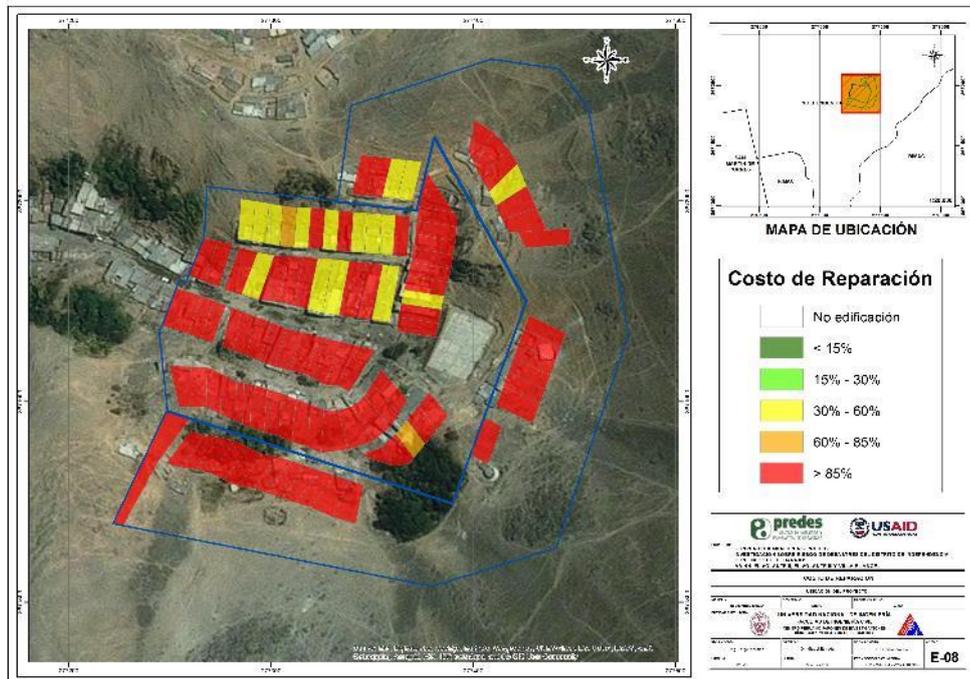


Figura 1 Riesgo Sísmico del AA.HH. Volante II y Volante III

Los resultados del diagnóstico del riesgo en el AA.HH. Villa El Ángel son presentados en la Tabla 4. Puede leerse en esta tabla que el 12.6% de las viviendas sufrirían un daño moderado, es decir sus costos de reposición estarían en un rango entre 30% al 60%. Seguidamente las viviendas cuyo rango de costo de reposición se encuentra entre el 60% al 85% que representa el daño severo representaría un 4.7% de las viviendas de la zona de estudio. Finalmente el 82.6% de las viviendas de esta área podrían sufrir colapso en sus estructuras, lo que representa a posibilidad de irreparabilidad de las edificaciones en esta zona, que al igual que en caso del Volante II y III, muestra la influencia del sitio, pendiente, amplificación local, autoconstrucción, materiales inapropiados, lo que constituye un agravante para estas viviendas.

Tabla 4 : Resultados del Análisis de Riesgo del AA.HH. Villa El Ángel

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	0	0.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	0	0.0%	0.0%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	32	12.6%	12.6%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	12	4.7%	4.7%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	209	82.6%	82.6%	Colapso
			253	100.0%		

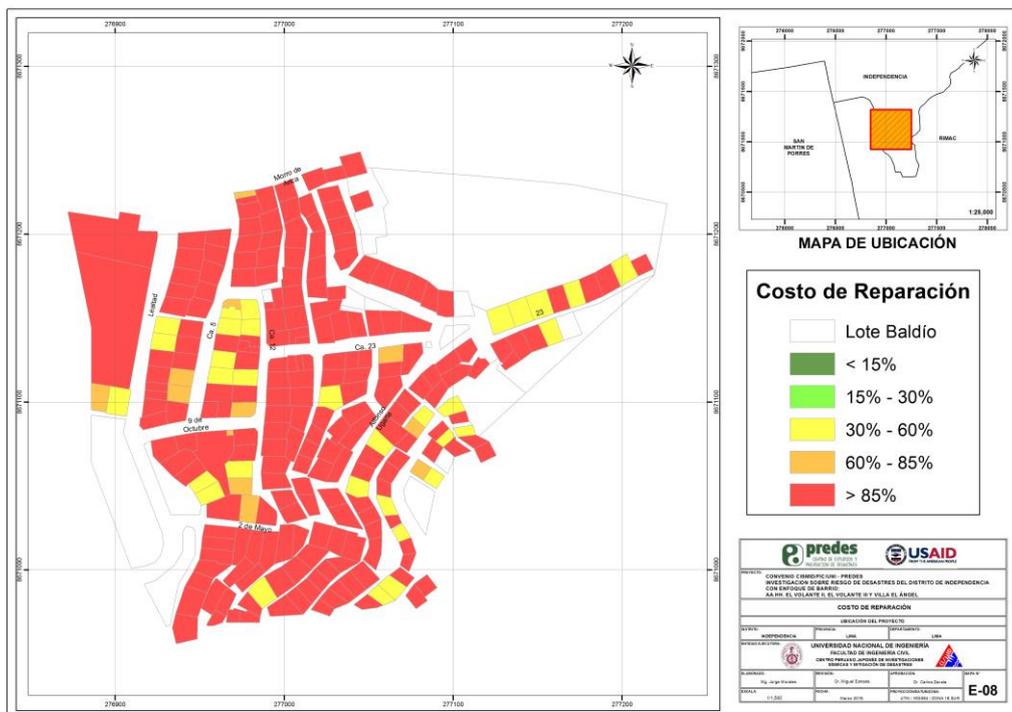


Figura 2 Riesgo Sísmico del AA.HH. Villa El Ángel

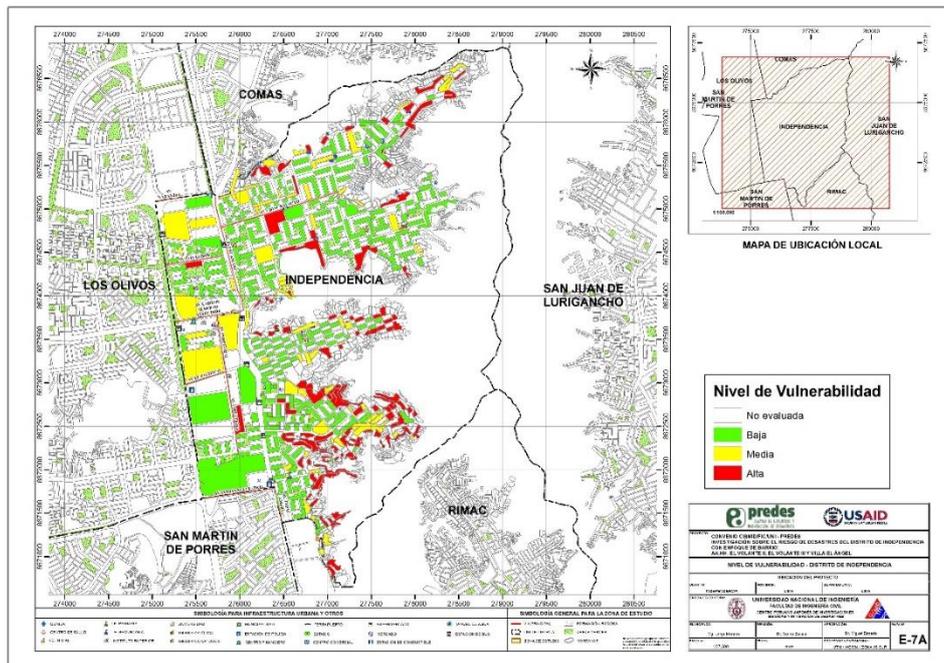
## 11. ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA

Los datos correspondientes a este estudio (barrios del AA.HH. El Ángel, AA.HH. El Volante II y III, Ejes zonales de La Unificada y El Ermitaño, son incorporados a la base de datos que produjo CISMID el año 2013 cuando se desarrolló el Estudio de Microzonificación y Riesgo Sísmico del Distrito de Independencia en el marco del Programa PREVAED – PP-068.

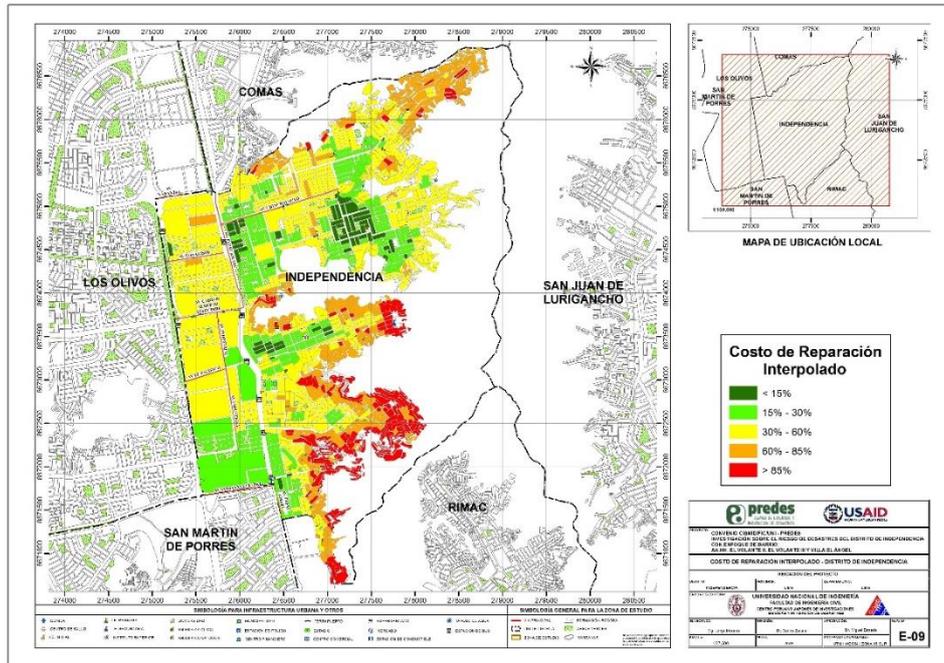
La incorporación de estos datos produce los mapas de vulnerabilidad y riesgo sísmico actualizados con la información producida por el presente estudio, dando énfasis a las zonas emergentes con pendientes en los asentamientos humanos del distrito de Independencia.

Los mapas de vulnerabilidad y riesgo actualizados para el distrito de Independencia se muestran en las Figuras 08 y 09.

En la Figura 9, donde se muestra el mapa de riesgo interpolado para el distrito de Independencia, se aprecia que en las zonas altas del distrito hay una gran concentración de viviendas que presentan un alto riesgo, entre los factores más importantes que afectan a este resultado es la informalidad de las viviendas y las condiciones topográficas del terreno, con altas pendientes. Sin embargo, también se puede apreciar que en la zona este de la urbanización Tahuantinsuyo hay un gran sector con niveles de riesgo medio, este resultado se produce por el crecimiento urbano ya consolidado y por la relativa baja pendiente que tiene esta zona.



**Figura 08.** Mapa de Vulnerabilidad Sísmica Actualizado del Distrito de Independencia.



**Figura 09.** Mapa de Riesgo Sísmico Actualizado del Distrito de Independencia.

## REFERENCIAS

- Aki, K., 1957, "Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors", Bulletin Earthquake Research Institute Tokyo University, 25, 415-457.
- Anomohanran, O., 2013, "Seismic refraction method: A technique for determining the thickness of stratified substratum", American Journal of Applied Sciences, 10, 857-862.
- Asten, M.W., Henstridge, J.D., 1984, "Array Estimators and the use of Microseisms for Sedimentary Basin Reconnaissance", Geophysics, 49, 1828-183.
- Bard, P., 1998, "Microtremor Measurements: A tool for site effect estimation? The effects of Surface Geology on Seismic Motion", pp. 1251-1279.
- Capon, J., 1969, "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis", Proc. IEEE, v. 57, pp. 1408-1418.
- Chávez J. (2006), "Leyes de Atenuación para Aceleraciones Espectrales en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.



- Cho, I., Tada, T. y Shinozaki, Y., 2004, "A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms", *Geophysics* Vol. 69, pp.1535-1551.
- Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J, 1999, "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Esteva, L., 1970, "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Nakamura, Y., 1989, "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface", *Quarterly Report Railway Technical Research Institute.*, 30, 25-33.
- International Code Council - ICC, "International Building Code", USA, 2006.
- Ordaz, M. y Veras F., 2003, "Criterios generales para la definición de espectros sísmicos de sitio".
- Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016, "Norma Técnica E-030, Diseño Sismorresistente (NTE-E-030)", Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Sadigh K., Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R.R., 1997, "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", *Seismological Research Letters*, Volume 68, Number 1, January/February.
- SENCICO, 2006a, "Norma E.030, Diseño Sismo Resistente", Lima, Perú.
- SENCICO, 2006b, "Norma E.050, Suelos y Cimentaciones", Lima, Perú.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC), 1999, "Recommended Lateral Forces Requirements and Commentary (the Blue Book)", California: SEAOC.
- Tada, T., Cho, I., Shinozaki, Y., 2007, Beyond the SPAC Method: Exploiting the Wealth of Circular-Array Methods for Microtremor Exploration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97, 2080-2095.
- Tada, T., Cho, I., Shinozaki, Y., 2010, "Analysis of Love-wave components in microtremors", *Joint Conference Proceedings, 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (5ICEE)*, Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 115-124.
- Tokimatsu, K., Miyadera, Y., Kuwayama, S., 1992a, "Determination of Shear Wave Velocity Structures from Spectrum Analyses of Short-Period Microtremors", *Proc., 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 1, 253-258.
- Tokimatsu, K., Shinzawa, K., Kuwayama, S., 1992b, "Use of short-period microtremors for Vs profiling", *J. Geotechnical Eng.*, 118 (10), 1544-1558.
- Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R., 1997, "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", *Seismological Research Letters*, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.
- Zavala, C. y Aguilar, A., 2004, "SRSND - Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño", CISMID-FIC-UNI.



## **ANEXO I Mapas**