

2017



# Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8Mw

**INDECI - DIPRE**

CEPIG

**INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI)**  
**DIRECCIÓN DE PREPARACIÓN**  
**SUBDIRECCIÓN DE SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE ESCENARIOS DE RIESGO DE DESASTRES**

**ESCENARIO SÍSMICO PARA LIMA METROPOLITANA Y CALLAO: SISMO 8.8 Mw**

**Instituto Nacional de Defensa Civil**

**Dirección de Preparación**

**Calle Dr. Ricardo Angulo Ramírez Nº 694 Urb. Corpac, San Isidro, Lima-Perú.**

**Teléfono: (511) 224-3600**

**Sitio web: [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)**

Lic. ZUAZO MANTILLA, Luis Alfonso

**Jefe (e) del INDECI**

Lic. ZUAZO MANTILLA, Luis Alfonso

**Secretario General**

Sr. COLOMA DIEZ CANSECO, José

**Director de Preparación**

Ing. RUIZ PAHUACHO, Juber

**Sub Director de Sistematización de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres (SD-SIER) y  
Coordinador del CEPIG – INDECI**

**Elaboración:**

M.Sc. Sheila Yauri

**Colaboración:**

**Equipo Técnico del IGP**

Dr. Hernando Tavera

Dr. Juan Carlos Villegas-Lanza

**Equipo Técnico SD-SIER/CEPIG**

Lic. Beneff Zuñiga

Lic. Lorena Bustamante

Lic. Silvia Passuni

Ing. Mario Valenzuela

Tec. Hector Picha

Bach. Abel Mallqui

**Instituciones**

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática - INEI

Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES

Dirección de Hidrografía y Navegación – DHN

## Contenido

INTRODUCCIÓN.....	3
I. OBJETIVOS .....	4
II. ANTECEDENTES .....	4
III. TERREMOTO DE 1746.....	7
IV. ANTECEDENTES - ESCENARIOS SÍSMICOS EXISTENTES.....	9
V. DATOS Y METODOLOGÍA.....	11
VI. PARÁMETROS SÍSMICOS DEL ESCENARIO .....	12
VII. RESULTADOS .....	13
7.1. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR SISMO .....	13
7.1.1. A NIVEL NACIONAL.....	13
7.1.2. A NIVEL DE LIMA METROPOLITANA Y CALLAO .....	18
7.2. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD .....	24
7.3. ANÁLISIS DEL RIESGO EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO ....	31
7.4. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR TSUNAMI.....	37
7.5. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	40
7.6. ANÁLISIS DEL IMPACTO ESPERADO.....	44
7.7. ELEMENTOS EXPUESTOS .....	47
7.7.1. INSTITUCIONES EDUCATIVAS.....	47
7.7.2. CENTROS DE SALUD .....	49
VIII. CONCLUSIONES.....	52
IX. REFERENCIAS .....	53

## INTRODUCCIÓN

Geográficamente el territorio peruano se encuentra ubicado dentro del conocido “Cinturón de Fuego del Pacífico”, lugar donde se emplazan las denominadas zonas de convergencia, que son fronteras de placas tectónicas que colisionan entre sí, dando lugar a los procesos de subducción, mediante el cual, las placas oceánicas se introducen por debajo de las continentales produciendo terremotos y tsunamis de gran magnitud en la Tierra.

Frente a la zona costera del territorio peruano, y de gran parte de Sudamérica, se extiende la zona de contacto de la placa oceánica Nazca que se introduce a una velocidad constante bajo la placa continental Sudamericana, originando una serie de procesos cíclicos que dan lugar a la ocurrencia de terremotos como los ocurridos en Arequipa en el 2001 y Pisco en el 2007. Por ésta razón, **las ciudades costeras del territorio peruano se encuentran en permanente exposición al peligro de sismos y tsunamis.**

A la fecha se cuenta con valiosa información proveniente de investigaciones científicas que han puesto en evidencia que en la zona de contacto de las placas de Nazca y Sudamericana, a lo largo del margen peruano, actualmente existe al menos tres áreas con importante acumulación de energía sísmica, también conocidas como asperezas o zonas de acoplamiento sísmico, que darán lugar a terremotos de gran magnitud en el futuro. La más importante de estas zonas, en términos de tamaño y magnitud estimada, se ubica frente a la costa central de Perú, abarcando la región Lima y parte de las regiones de Ancash por el norte e Ica por el sur. Las investigaciones postulan que de liberarse la energía sísmica acumulada desde el gran terremoto de 1746, hace ya más de 270 años, se podría generar un sismo de magnitud entre 8.5 y 8.8Mw (magnitud momento). Este sismo sería el repetitivo del ocurrido en 1746; por lo tanto, presentaría intensidades similares a las que se estimaron para este evento.

Asimismo, debido a la súbita liberación de energía sísmica y a la deformación del piso oceánico, se espera efectos secundarios como la ocurrencia de un tsunami con olas de hasta 24 metros de altura, que podrían arribar a la zona costera entre los primeros 15 a 20 minutos después de ocurrido el sismo. Por otro lado, debido al sacudimiento del suelo se espera la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes, volcamientos de suelo y/o rocas, licuación de suelos, entre otros, generando daños en la infraestructura y el bloqueo de las vías de acceso que comunican a Lima con otras ciudades del interior del país.

En el presente documento se esquematiza el escenario sísmico esperado para Lima Metropolitana y Callao, tomando como base información técnico-científica relacionada al peligro de la ocurrencia de un sismo y sus efectos asociados como tsunamis y movimientos en masa. Asimismo, se hace uso de información estadística actualizada de población y vivienda y de la infraestructura pública existente en el área de estudio a fin de estimar los posibles daños y/o afectaciones.

## I. OBJETIVOS

### 1.1. Objetivo General

- ✓ Proponer y evaluar el escenario más crítico de riesgo por sismo y tsunami en Lima Metropolitana y Callao.

### 1.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar la información científica referente al peligro de ocurrencia de un sismo y sus efectos asociados proporcionada por las instituciones técnico científicas de Perú y determinar el escenario más crítico para la costa central.
- ✓ Estimar la vulnerabilidad física, social y económica en Lima Metropolitana y Callao.
- ✓ Determinar los niveles de riesgo por sismo y tsunami en Lima Metropolitana y Callao.
- ✓ Determinar la cantidad de población, viviendas e infraestructura pública que podría ser afectada ante la ocurrencia del escenario propuesto.

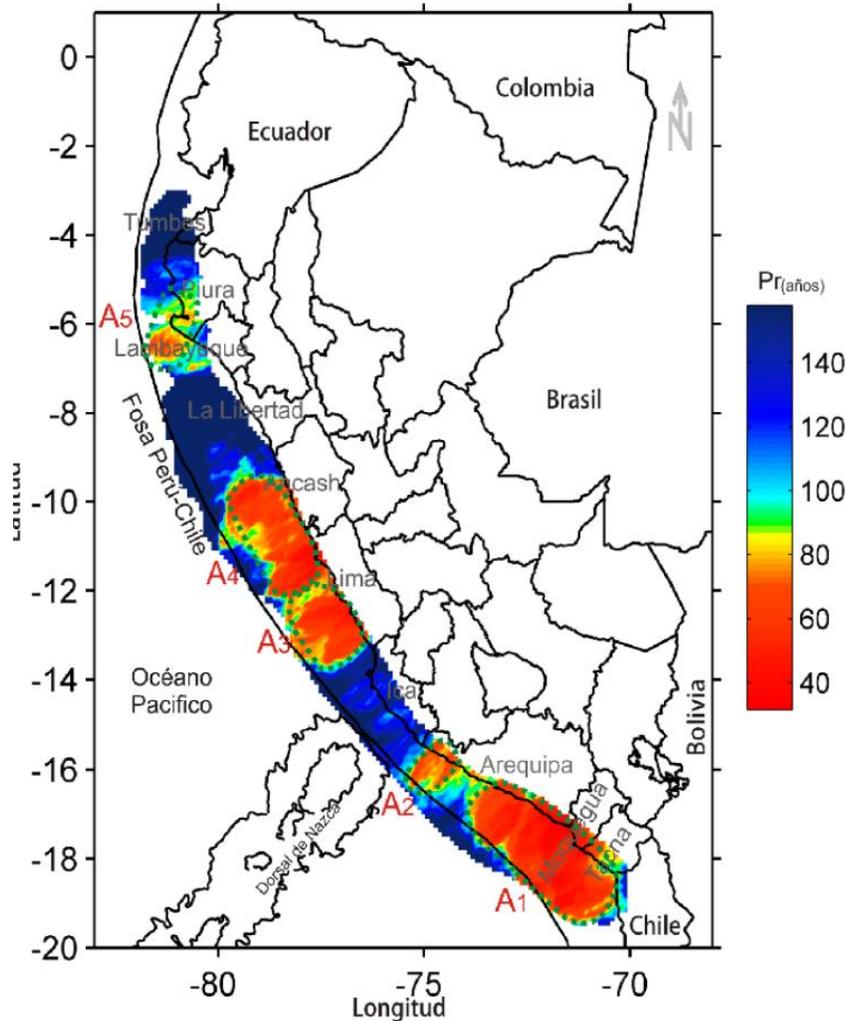
## II. ANTECEDENTES

Las zonas más propensas ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, a lo largo del borde occidental de Perú, se han documentado a través de una serie de estudios efectuados por instituciones de investigación nacional e internacional como el Instituto Geofísico del Perú (IGP), Instituto de Investigación de Francia (IRD), entre otros.

La primera metodología se basa en el análisis de las áreas de ruptura de sismos ocurridos en el pasado y sus consecuentes lagunas sísmicas, las cuales se definen como áreas donde en el pasado han ocurrido eventos de gran magnitud y se espera la ocurrencia de otro de similares características. De acuerdo a Tavera (2014), se ha identificado la presencia de una laguna sísmica en la región central del Perú que vendría acumulando energía sísmica desde el año 1746 (hace 270 años). Los sismos que ocurrieron en los años 1940, 1966, 1970 y 1974, con magnitudes menores o iguales a 8.0 Mw, no habrían liberado el total de la energía sísmica acumulada en dicha región.

La segunda metodología se basa en cálculos estadísticos, que utilizan como dato de entrada un catálogo sísmico homogéneo y una serie de algoritmos propuestos por Wiemer y Zúñiga (1994), con el cual se busca identificar las áreas de mayor o menor probabilidad de ocurrencia de sismos de una determinada magnitud. Así Condori y Tavera (2012), hicieron uso del catálogo sísmico del Perú para el periodo 1960 – 2012 e identificaron, en el borde occidental de Perú, la presencia de 5 áreas que se interpretan como asperezas, cuyas dimensiones permitieron estimar la magnitud de los sismos que podrían generar cada una. **Las asperezas identificadas frente a la costa de la región central de Perú (A3 y A4), estarían asociadas al terremoto de 1746. De acuerdo a las dimensiones de ambas asperezas, la liberación de energía acumulada en esta zona podría generar un sismo de magnitud 8.8Mw.** Según esta metodología se tendría una

probabilidad mayor a 70% de producir sismos importantes en los próximos 75 años (Figura 1).



**Figura. 1:** Mapa de periodos de retorno para las asperezas identificadas en la región occidental de Perú (Condori y Tavera 2012).

La tercera y más reciente metodología que se ha aplicado en el Perú proviene del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual permite monitorear los movimientos de la superficie terrestre con nivel de precisión inferior al milímetro. Dichos movimientos están directamente asociados al proceso de acumulación de energía y deformación que se produce en la zona de contacto de las placas tectónicas y que se propagan a la superficie de la corteza terrestre. Al medir la deformación de la superficie terrestre con GPS se puede identificar las zonas que acumulan energía sísmica y que darán lugar a los futuros terremotos. Así, en un primer estudio Chlieh et al. (2011), haciendo uso de observaciones GPS recolectadas entre los años 1994 y 2005, lograron identificar la existencia de cuatro zonas de acumulación de energía o acoplamiento sísmico (asperezas). **Para la región central se ha identificado dos áreas de acoplamiento (A1) siendo la ubicada al norte, la de mayor tamaño. Ambas parecen estar conectadas formando una zona con**

longitud, paralela a la costa, de 350 km. La magnitud del sismo ha sido estimada entre 8.5 - 8.7Mw. Estas áreas estarían asociadas al terremoto de 1746 (Figura. 2).

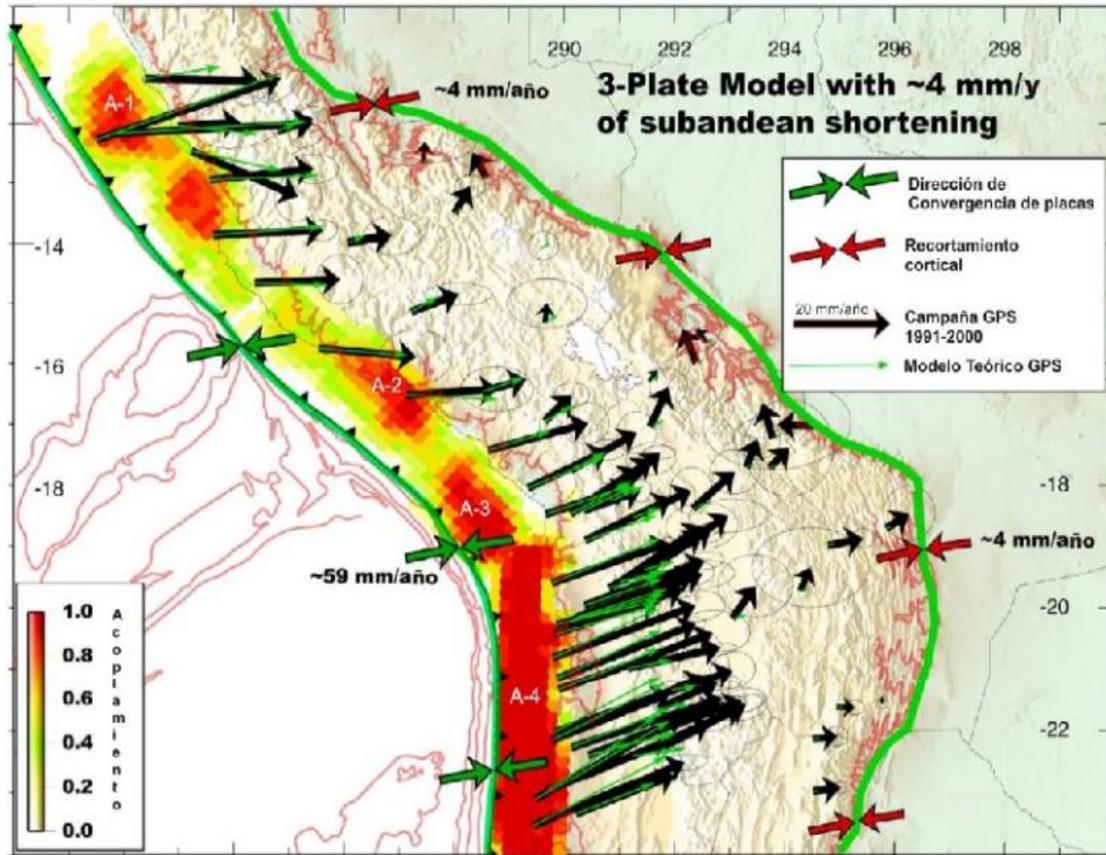
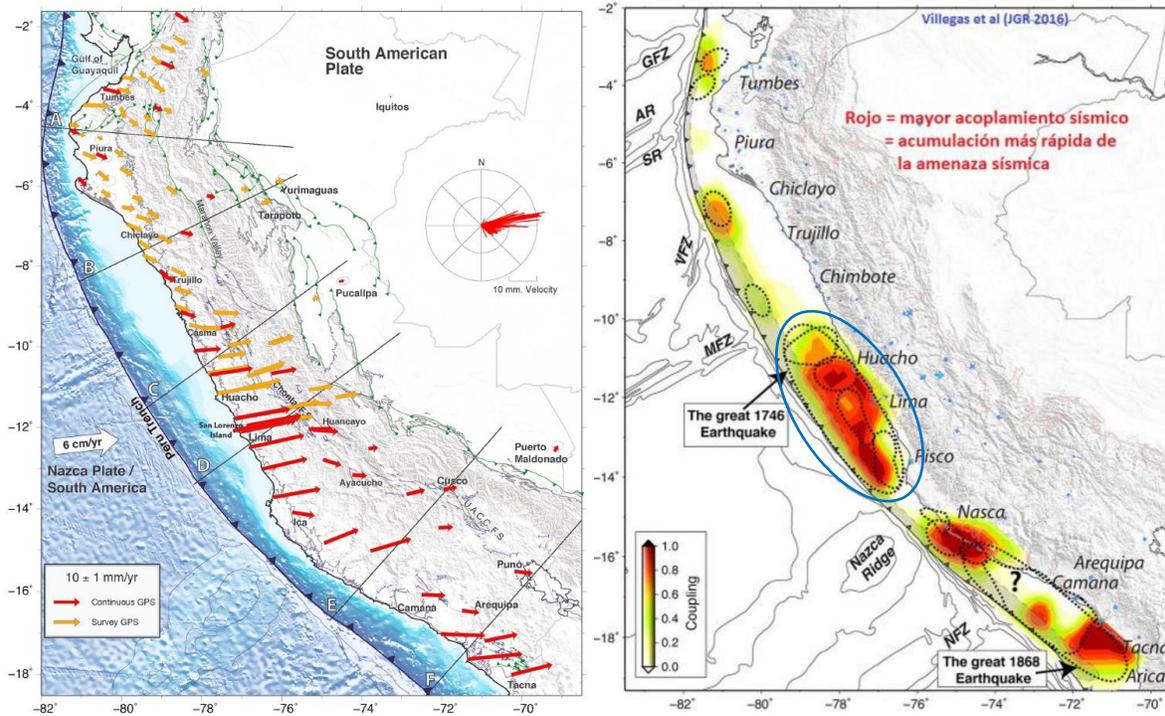


Figura. 2: Mapa de acoplamiento intersísmico a partir de datos GPS (Chlieh et al., 2011).

Una investigación de mayor detalle y alcance, a escala de todo el borde occidental de Perú, ha sido recientemente publicado por Villegas-Lanza et al. (2016). Dichos autores realizaron observaciones geodésicas desde el año 2008 al 2014 en todo el país, logrando caracterizar en detalle la deformación de la corteza terrestre asociada a la acumulación de energía sísmica en la zona de contacto de placas tectónicas, lo que les permitió identificar las asperezas o zonas de mayor acoplamiento sísmico y que representan un peligro latente para la ocurrencia de terremotos de gran magnitud. De acuerdo a este estudio, la **zona acoplada con mayor dimensión se ubica frente a la costa de la región central de Perú, abarcando una longitud de 470 km, la cual de liberar toda la energía sísmica acumulada hasta la fecha, podría generar un sismo de magnitud entre 8.6 - 8.8Mw** (Figura 3).



**Figura 3:** a) Mapa de deformación de la corteza terrestre medido con GPS para el Perú, y b) Mapa de acoplamiento sísmico para la zona de subducción del Perú modelada a partir de datos GPS (Villegas-Lanza et al., 2016).

En general, las tres metodologías descritas anteriormente evidencian de manera clara la existencia de una zona de acumulación de energía sísmica frente a la región central de Perú, cuyas estimaciones de magnitud, serían similares al terremoto de 1746. Siendo así, este sismo además de generar aceleraciones y/o sacudimientos del suelo del orden de 500 - 900  $\text{cm/s}^2$  (Pulido et al., 2015), produciría un tsunami cuyas olas presentarían varios metros de altura y cientos metros de inundación afectando de manera severa la zona costera de la región central del Perú. Este tsunami afectaría principalmente a las ciudades ubicadas en la costa de las regiones de Lima, Ancash e Ica.

### III. TERREMOTO DE 1746

A fin de tener una idea de las características y magnitud de los daños que podría ocasionar el sismo que se espera en la región central del Perú y más específicamente en Lima Metropolitana y Callao, es necesario tener en cuenta las características que tuvo el sismo de 1746. Dorbath et al. (1990), quien a su vez recoge los reportes consolidados de Silgado (1978), indica lo siguiente:

*“El 28 de octubre de 1746, ocurrió el peor terremoto que Lima experimentó durante su historia (Montandon, 1962; Davidson, 1936). Después de 1687 se había construido una nueva ciudad que era el orgullo del reino con su plan geométrico y riguroso y sus prestigiosos edificios públicos y religiosos, sólo “comparables con los italianos ...”. La ciudad contaba con 60 000 habitantes, 74 iglesias y 14 monasterios y conventos (Hales,*

1752). Hubo un solo sacudimiento, que duró menos de 3 minutos. Muy pocos edificios, alrededor de 25, no se derrumbaron. Lo mismo ocurrió en Callao, Chancay, Huaura, Supe, Pativilca y todos los pueblos y aldeas por encima de los 10°S fueron arrasados o muy dañados, la situación era la misma al sur, al menos hasta Cañete. Toda la región, limitada al norte por Cajamarquilla, al este con Jauja y Huancavelica y al sur con Palpa y Nazca. El terremoto fue sentido en Guayaquil (Ecuador), en la misión jesuita ubicada en la confluencia de los ríos Marañón y Huallaga en la cuenca amazónica y en el Cuzco y Tacna al sur de Perú. **En Lima se registraron cerca de 500 réplicas durante los siguientes 4 meses, media hora después del sismo, un tsunami inundó el Callao, cuya ola principal alcanzó más de 20 m de altura y entró a más de 5 km del interior.** Entre las 23 naves que permanecían en el puerto, 19 fueron hundidas y 4 fueron arrojadas sobre la ciudad. Según un misionero jesuita, "Callao era una confusa acumulación de arena y grava y la ubicación anterior de esta ciudad sólo estaba marcado por dos puertas y unas pocas secciones de las murallas que rodeaban la ciudad "(Anónimo, 1767). Una modificación costera permanente fue reportada en Callao por Lyell (1846). **Las olas dañaron severamente los puertos a lo largo de la costa.** Heck (1947) y Berninghausen (1962) describieron un tsunami en 1724 que corresponde exactamente al de 1746. El terremoto junto con el tsunami causó la muerte de miles de personas. En el Callao murieron 3800 personas de su población de 4000. Tres mil caballos y mulas perecieron en Lima. La zona de ruptura se extiende desde aproximadamente 10°S hasta 13°S, sobre unos 350 km, por lo tanto, se le asigna una  $M_w = 8.6$ , pero el valor del tsunami es mayor a  $M_t = 9.0-9.2$ .

De repetirse un evento de similares características sísmicas al ocurrido en 1746, "los daños serían cuantiosos" debido al crecimiento urbano horizontal y vertical en Lima y Callao; así como, a la vulnerabilidad física y social existente principalmente en las zonas antiguas de Lima y zonas periféricas. Además, se debe tomar en cuenta que muchas de las viviendas en Lima y Callao ya fueron afectadas por los sismos ocurridos en 1966 (8.0Mw) y 1974(7.9Mw).

Por otro lado, según la historia sísmica de Perú (Figura 4), desde 1500 (antes de esta fecha no se tiene registros históricos escritos) hasta la fecha, se asume que el sismo más grande que ha ocurrido durante este periodo en la región central del Perú corresponde al de 1746 ( $M_w = 8.6 - 8.8$ ) y que los sismos de  $M_w > 7.5$  que han ocurrido en los últimos años (áreas de color rojo), no habrían liberado suficiente energía sísmica; por lo cual, el evento que se espera que ocurra en el futuro sería el repetitivo del ocurrido en 1746 (área de color gris).

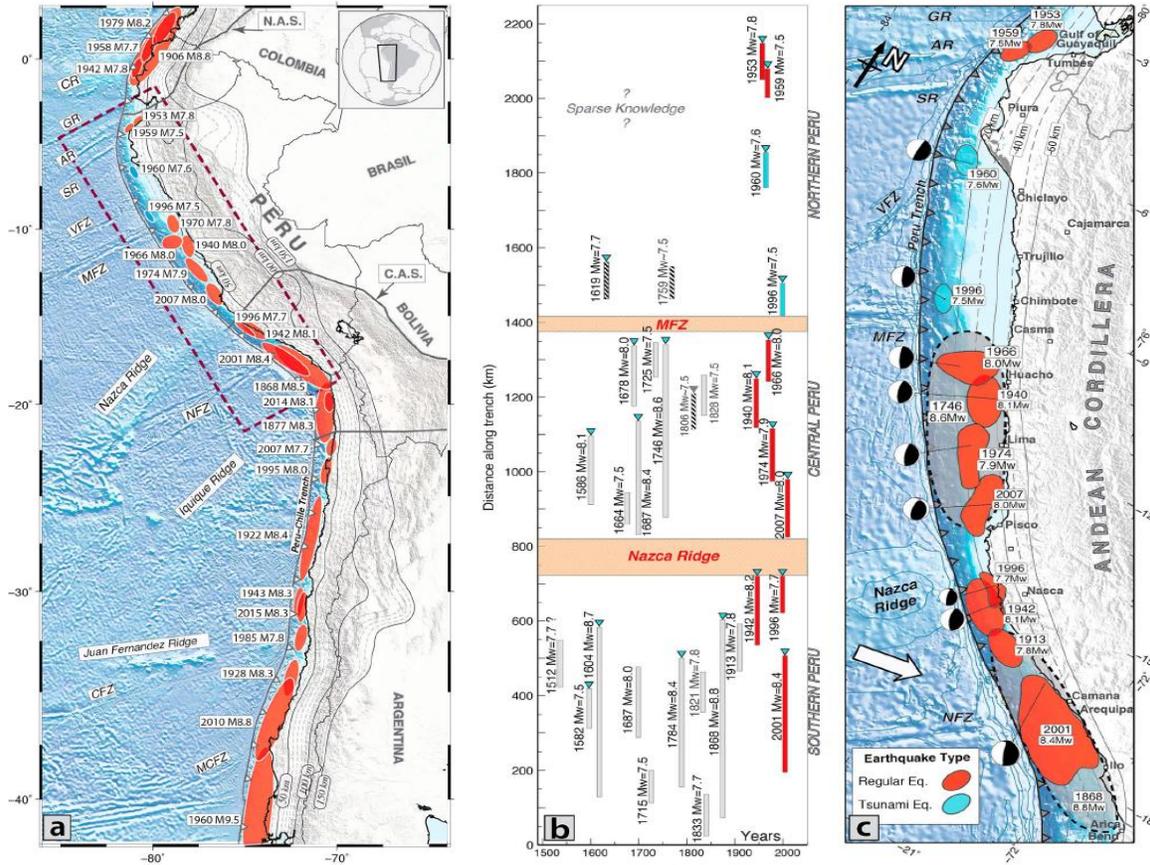


Figura 4: Mapa de áreas de ruptura de los sismos de gran magnitud que históricamente han ocurrido a lo largo de la costa peruana (Villegas-Lanza et al, 2016).

#### IV. ANTECEDENTES - ESCENARIOS SÍSMICOS EXISTENTES

En los últimos años se vienen desarrollando investigaciones que buscan profundizar en el conocimiento de la sismicidad y las condiciones de generación de un tsunami, con especial énfasis en el borde occidental de la región central, debido a que en sus ciudades se concentra casi la tercera parte de la población a nivel nacional; además de ser centros económicos e institucionales del Perú.

En este escenario, es oportuno profundizar en el conocimiento de las vulnerabilidades existentes, estimando los posibles niveles de afectación mediante la evaluación de los elementos expuestos y otros que permitan generar información útil para planificar la respuesta ante una posible situación de emergencia.

En el año 2005, el CISMID a solicitud de la APESEG elaboró el mapa de zonificación sísmica para Lima Metropolitana y Callao, el mismo que se constituye como el principal insumo para la identificación y mapeo de población y viviendas vulnerables por exposición.

Asimismo, en el año 2009, por encargo del INDECI a través del financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) realizó el estudio denominado “Diseño del escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao”, el mismo que concluye con la estimación de que unas 200,347 viviendas podrían colapsar y otras 348,329 se verían altamente afectadas: se estimó también que habría 51,019 personas fallecidas y 686,105 heridos.

Por otro lado, en el año 2010 en el marco del el proyecto SIRAD, financiado por PNUD, INDECI, IRD, COOPI y la Comisión Europea, el IGP elaboró mapas de zonificación Sísmico-Geotécnica para los distritos de Pucusana, Santa María, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Santa Rosa y El Agustino, los cuales permitieron conocer las propiedades sísmicas y dinámicas de sus suelos y completar el Mapa de Zonificación propuesto para Lima Metropolitana y Callao por CISMID/APESEG (2005). Adicionalmente, la DHN elaboró cartas de inundación por tsunami en la que identificaron las máximas distancias de ingreso de las olas para un sismo de magnitud 8.5Mw y 9.0Mw.

En el año 2010, JICA el CISMID con participación de instituciones técnico científicas peruanas, iniciaron en el Perú el proyecto: “Fortalecimiento de Tecnologías para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú”, en el marco del programa denominado "Asociación de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible (SATREPS)", cuyo principal objetivo fue generar conocimiento que contribuya a la mitigación de desastres originado por terremotos y tsunamis. Dentro de este proyecto, entre otros estudio, se evaluó el peligro de tsunami para la costa del Callao, tomando como escenario extremo el terremoto de 1746 y las áreas de acoplamiento sísmico propuesto por Chlieh et al. (2011).

En el año 2012, a solicitud de la municipalidad de Lima Metropolitana, con el financiamiento de Oxfam, el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) realizó la actualización del estudio denominado “Diseño del escenario sobre el impacto de Sismo de gran intensidad en Lima Metropolitana y Callao – DEIS 2012”. Los resultados muestran una cantidad estimada de 68,006 fallecidos y 779,338 heridos; así como un total de 122,541 viviendas destruidas y 193,489 inhabitables.

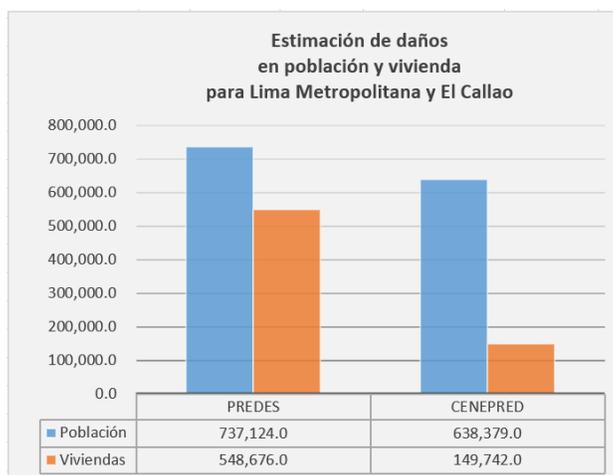
En el año 2013, el Centro Nacional de Estimación y Prevención de Desastres (CENEPRED), utilizando el mapa de zonificación Sísmica-Geotécnica de CISMID y el proyecto SIRAD, buscó determinar las probables áreas críticas a priorizar ante la ocurrencia de un sismo y tsunami para Lima Metropolitana. En ese marco llegó a identificar 46,997 viviendas y 449,263 habitantes en condiciones de muy alto riesgo, así como 23,368 viviendas y 89,974 habitantes expuestos a riesgo de tsunami. Los datos de estos escenarios son mostrados en la Tabla 1 y Figura 5.

**Tabla 1: Cantidad de población y viviendas afectadas según escenarios existentes.**

Fuente	Año	Población*			Total población afectada	Vivienda**			Total viviendas afectadas
		Muy alto	Alto	Medio		Muy alto	Alto	Medio	
PREDES	2009	51,019	686,105		737,124.0	200,347	348,329		548,676.0
CENEPRED	2013	189,116	449,263	2,472,090	3,110,469	46,997	102,745	563,565	713,307

\*En el caso de PREDES Muy alto se refiere a población fallecida, Alto se refiere a población herida y Bajo a población no afectada.

\*\*En el caso de PREDES Muy alto se refiere a viviendas colapsadas, Alto se refiere a viviendas afectadas y Bajo se refiere a viviendas no afectadas.



**Figura 5:** Datos de población y viviendas afectadas según escenarios de PREDES y CENEPRED.

En general, todos estos estudios, a excepción del realizado por PREDES (2012), utilizan como información la cantidad de población y viviendas reportadas por el INEI durante el CENSO del 2007. PREDES (2012), utiliza la cantidad de población proyectada a nivel distrital para el año 2012.

## V. DATOS Y METODOLOGÍA

Para el análisis del riesgo sísmico en la zona urbana de Lima y Callao, se realiza la evaluación del peligro por sismo en base a la información científica elaborada por los entes nacionales especializados en sismología e ingeniería sísmica, siendo los más importantes los siguientes:

- ✓ **Tavera (2014).** Escenario de sismo y tsunami en el borde occidental de la región central del Perú.
- ✓ **Tavera (2017).** Actualización del escenario por sismo, tsunami y exposición en la región central del Perú.
- ✓ **Tavera (2017).** Estimación del riesgo por exposición a partir de mapas de isosistas en Perú.
- ✓ **Villegas-Lanza et al., (2016).** Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation.
- ✓ **CISMID (2016).** Mapa de zonificación sísmica para Lima y Callao.

Para la estimación de la vulnerabilidad y riesgo, se hace uso de la información estadística actualizada y proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), entre ellas:

- ✓ **INEI.** Población proyectada al 2017
- ✓ **INEI.** Población y viviendas del Sistema de Focalización de Hogares SISFOH (2012-2013).
- ✓ **INEI.** Viviendas del Pre CENSO 2016

Para el cálculo de los impactos en población y vivienda, se hace uso de la metodología propuesta por PREDES (2009 y 2012) y aplicada en los siguientes estudios:

- ✓ **PREDES (2009).** Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú.
- ✓ **PREDES (2012).** Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran intensidad en Lima Metropolitana y Callao.

El presente escenario se diferencia de los ya existentes, por contar con información actualizada sobre la microzonificación sísmica de los distritos de Lima Metropolitana y Callao elaborados por el CISMID (2015) e IGP (2009); así como, del censo de población y vivienda elaborado para el Sistema de Focalización de Hogares (SISFOH – 2012 y 2013), datos del Pre-Censo 2016 (ambos a nivel de vivienda) y datos de proyecciones de población a nivel de distrito para el año 2017.

Para el cálculo del peligro, vulnerabilidad y riesgo, se hace uso de la metodología propuesta por CENEPRED (2013) e INDECI (2012), para la ponderación de las variables, se hace uso del método propuesto por Saaty (1980), el cual permite estimar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores y en base a ello designarles pesos o ponderaciones.

## VI. PARÁMETROS SÍSMICOS DEL ESCENARIO

Tomando en cuenta la información técnica y científica existente y actualizada por el IGP, el presente escenario de riesgo se basa en un sismo de gran magnitud con epicentro en la zona de alto acoplamiento sísmico evidenciado por Villegas-Lanza et al. (2016) y cuyos parámetros más cercanos se muestran en las Tablas 2 y 3.

**Tabla 2:** *Parámetros sísmicos del escenario propuesto.*

ESCENARIO SÍSMICO	
Magnitud	8.8 Mw
Profundidad	35 km
Intensidad Max.	>VIII (MM)

**Tabla 3:** *Parámetros del tsunami.*

ESCENARIO DE TSUNAMI	
Magnitud sismo	8.8 Mw
Altura de ola	15 m en el Callao
Tiempo de arribo	15-20 minutos

## VII. RESULTADOS

### 7.1. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR SISMO

#### 7.1.1. A NIVEL NACIONAL

De ocurrir el sismo pronosticado para la costa central de Perú, con parámetros similares o cercanos a los propuestos en este estudio, inevitablemente afectará gran parte del territorio peruano. Los daños mayores serían en áreas costeras próximas a la zona de ruptura (dependiendo del tipo de suelo y la vulnerabilidad física existente). Conforme se incrementa la distancia, los daños serán moderados y en otros únicamente percibido por la población.

Para estimar la cantidad de población y viviendas, a nivel nacional, que podrían ser afectadas ante la ocurrencia de este evento, se necesitaría contar con información básica como es el mapa de zonificación sísmica-geotécnica (que proporciona las características dinámicas del suelo) a nivel nacional. Sin embargo, debido a que a la fecha no todas las ciudades de Perú cuentan con esta información, para estimar los efectos que produciría este sismo, se recurre al uso de otro parámetro sísmico importante como es el grado de intensidad que alcanzaría un evento de estas características.

En este sentido, se considera el mapa de intensidades macrosísmicas inferidas por Dorbath et al, (1990) para el sismo de 1746 (Tabla 4), que tiene características similares a las establecidas para este escenario.

**Tabla 4:** Descripción de daños en función a las intensidades en la escala de Mercalli Modificada (Dorbath et al., 1990).

INTENSIDADES	DESCRIPCIÓN (Dorbath et al., 1990)	IGP (2016)
<b>Zona 1: Int. &gt;VIII</b>	Área donde las construcciones de tipo C, principalmente adobe, sufrieron de severa a completa destrucción. Construcciones de tipo A y B de mampostería los daños fueron parciales o intensos. Fisuras en el suelo y zonas de alta pendiente.	Área de destrucción y ocurrencia de efectos secundarios
<b>Zona 2: Int. entre V-VII</b>	Zona de menor daño.	Área de daño mayor y ocurrencia de efectos secundarios
<b>Zona 3: Int. entre II-IV</b>	Zona donde el sismo fue únicamente sentido.	Área de daño menor y poca percepción del sacudimiento del suelo

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, el escenario que se plantea en esta sección es únicamente una estimación a gran escala de los lugares que serían sometidos a diferentes niveles de intensidad. En la Figura 7 se muestra tres zonas con diferentes niveles de intensidad, definidos por Dorbath et al. (1990) para el sismo de 1746. Se considera que en el área de intensidad >VIII (MM) se presentarán los mayores daños aunque, como es obvio estos dependerán de otros factores como el tipo de suelo y la vulnerabilidad de las construcciones (material, diseño, distribución, estado de conservación, calidad, otros), entre otros.

De acuerdo a las áreas de intensidad, se estima que un total de 182 distritos estarían expuestos y/o sometidos a intensidad  $\geq$ VIII (MM), 596 a intensidades entre V y VII (MM) y 1,083 a intensidad entre II y IV (MM). Ver Tabla 5.

**Tabla 5:** Cantidad de distritos que estarían expuestos y/o sometidos a diferentes grados de intensidad en la escala de Mercalli Modificada (MM).

DISTRITOS EXPUESTOS A DIFERENTES NIVELES DE INTENSIDAD ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA (MM)				
INTENSIDAD	AREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	DESCRIPCIÓN	N° DISTRITOS*
>VIII	1,092	10.2	Destrucción y efectos secundarios	182
V-VII	31,602	24.0	Daño mayor y efectos secundarios	596
II-IV	40,037	57.6	Daño menor y percepción del sismo	1,083
* Ubicados total o parcialmente dentro de la zona de intensidad				

De igual manera, Tavera (2017), tomando en cuenta la cantidad de población y viviendas del censo 2007 (INEI) y las áreas de intensidad propuestos por Dorbath et al. (1990) para el terremoto de 1746, calcula la cantidad de distritos, población y viviendas que podrían ser afectados por un sismo similar al ocurrido en 1746 (Tabla 6). De esta manera, se concluye que los resultados para la población y viviendas expuestas ante el sismo propuesto en este estudio, son cercanos a los obtenidos por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Ver Tabla 7.

**Tabla 6:** Cantidad de distritos, población y viviendas que podrían ser afectados por un sismo similar al terremoto de 1746 (IGP, 2017).

Intensidades del sismo de 1746 (Dorbath et al. (1990))		
	VIII (MM)	VII - VIII (MM)
Distritos	161	701
Vivienda	2'330,829	3'770,671
Población	9'307,699	14'368,247

**Tabla 7:** Cantidad de población y viviendas expuestas y/o sometidas a intensidades > VIII (MM).

REGIÓN	PROVINCIAS	POBLACIÓN	VIVIENDA
ANCASH	4	40,880	7,787
CALLAO	1	995,810	212,587
ICA	1	420,765	42,301
LIMA	10	9,838,897	2,035,630
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>11,296,352</b>	<b>2,298,305</b>



**Figura 6:** Cantidad de población y viviendas expuestas y/o sometidas a intensidades  $> VIII$  (MM).

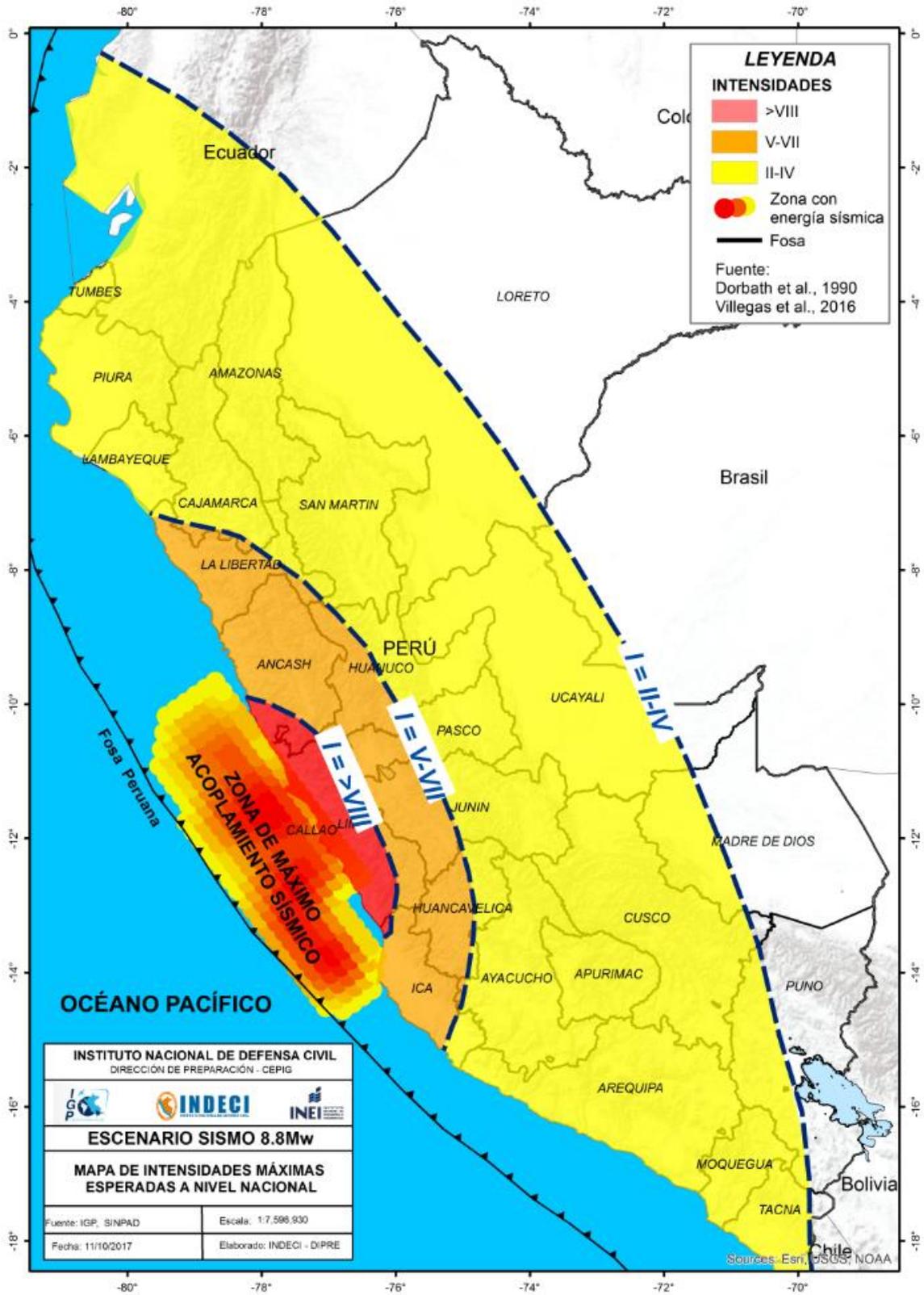


Figura 7: Áreas de intensidades sísmicas que produciría un sismo de 8.8Mw, similares a las del terremoto de 1746.

Como se observa en la Figura 8, gran parte de las provincias y distritos ubicados en la zona occidental de la región Lima se verían sometidas a intensidades > VIII (MM). En cuanto a Lima Metropolitana y El Callao, evidentemente serían expuestas a las más altas intensidades debido a su cercanía a la zona de ruptura, además se espera que ocurran efectos de licuefacción de suelos en la costa, efectos de subsidencia, asentamiento y otros peligros asociados como tsunami, movimientos en masa, derrame de sustancias químicas (puerto Callao), incendios, explosiones, entre otros. La Tabla 8 muestra la cantidad de población y viviendas de Lima Metropolitana y Callao que se verían expuestas a intensidades mayores a VIII (MM), es decir prácticamente el 100%.

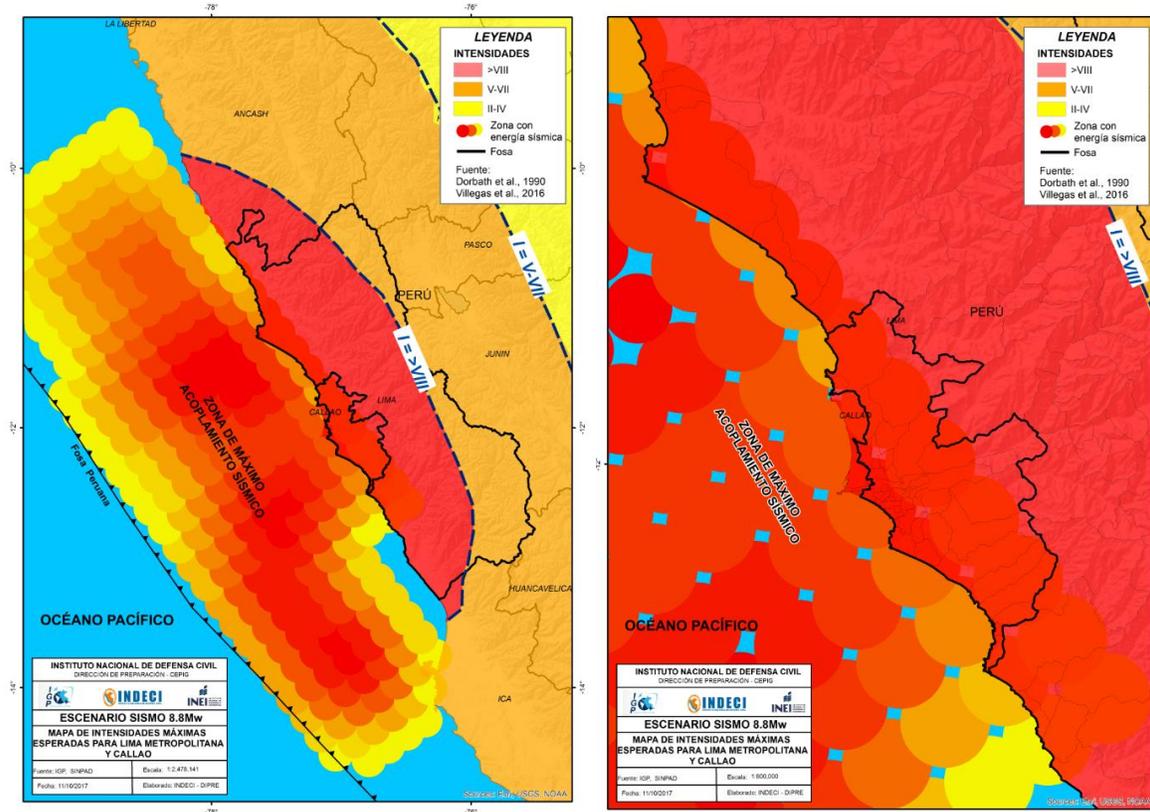


Figura 8: Departamentos, provincias y distritos que se verían sometidos a intensidades >VIII (MM).

Tabla 8: Cantidad de población y viviendas expuestas y/o sometidas a intensidades > VIII (MM) en Lima Metropolitana y Callao.

PROVINCIA Y DISTRITO	POBLACIÓN*	VIVIENDAS**
CALLAO	1,042,496	310,909
LIMA	9,174,855	2,990,371
<b>LIMA METROPOLITANA</b>	<b>10,217,351</b>	<b>3,301,280</b>

\* INEI: Población proyectada al 2017

\*\* INEI: Viviendas pre censo 2016

### 7.1.2. A NIVEL DE LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

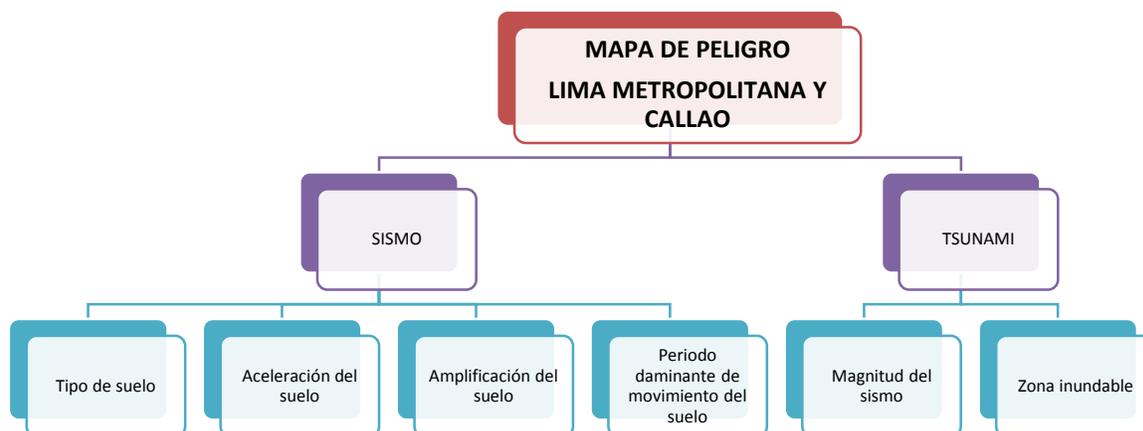
Según la Ley N° 29664, el peligro es definido como la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definida.

En este sentido, para definir el mapa de peligro por sismo, se evalúa una serie de parámetros que ayudan a caracterizar la fuerza o sacudimiento que puede producir un sismo de determinadas características en Lima Metropolitana y Callao. Uno de estos parámetros es la aceleración del suelo y su relación con el comportamiento dinámico de las estructuras, los mismos que dependen además de los factores que se describen en las Tablas 9 y 10.

**Tabla 9:** Parámetros que intervienen en las aceleraciones máximas de una estructura durante un sismo.

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
<i>La aceleración máxima del suelo</i>	Fuerza sísmica máxima, relacionada con el daño que puede causar un sismo. Parámetro usado para evaluar el comportamiento de edificaciones muy rígidas y/o frágiles, muros, taludes u otros.
<i>El periodo fundamental o dominante del movimiento del suelo</i>	Parámetro que caracteriza el movimiento del suelo y que permite estimar los efectos locales como la resonancia.
<i>El periodo de vibración del edificio</i>	Parámetro que determina de qué manera un edificio vibra u oscila de un lado a otro.

En consecuencia, para la elaboración del escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao, se considera como parámetros de análisis los establecidos en la Figura 9.

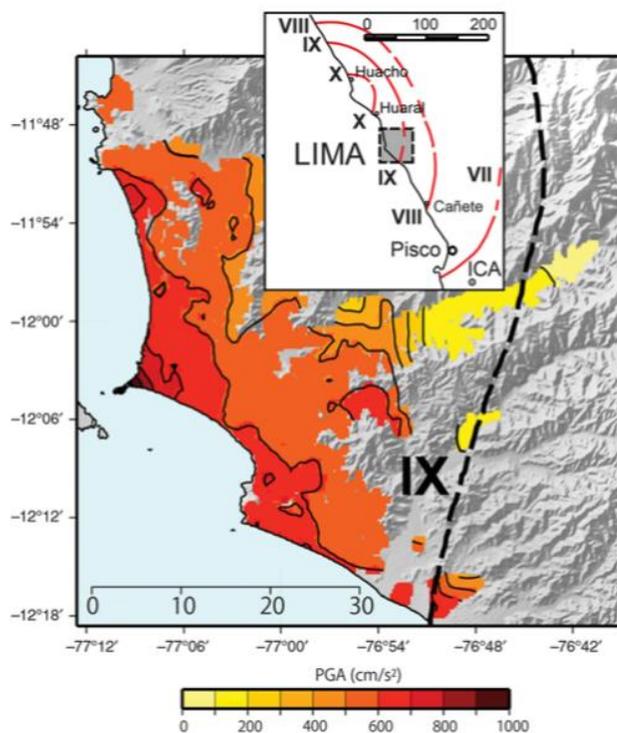


**Figura 9:** Parámetros evaluados para estimar el peligro por sísmico y tsunami en Lima Metropolitana y Callao.

Los datos utilizados fueron proporcionados por entidades especializadas y con ellos se procedió a evaluar y establecer el criterio para la estimación del peligro por sismo para Lima Metropolitana y Callao.

1. **Zonificación de suelo:** Mapa de zonificación sísmica-geotécnica elaborado por el CISMID e IGP, en el cual se establecen los tipos de suelos de acuerdo a la Norma E.030 (Figura 11).
2. **Aceleraciones del suelo:** La fuerza sísmica máxima que experimenta una estructura durante un sismo depende de la aceleración máxima del suelo. Para conocer el nivel de aceleración o sacudimiento del suelo que podría experimentar Lima y Callao, se usa el mapa de aceleraciones propuesta por Pulido et al. (2015) para un sismo de magnitud 8.8Mw - 8.9Mw.
3. **Amplificación del suelo:** Permite establecer, de acuerdo al tipo de suelo, los valores de la amplificación del suelo para Lima Metropolitana y Callao.
4. **Periodo dominante del movimiento del suelo:** Tomada de la Norma Técnica E-030 de acuerdo al tipo de suelo.

Los parámetros que definen cada uno de los tipos de suelos, están en función de lo establecido en la Norma E.030. Para caracterizar mejor el peligro, tomando en cuenta un sismo de magnitud 8.8Mw, se hace uso de las aceleraciones propuestas por Pulido et al. (2015). Este estudio indica que la aceleración máxima promedio en el centro de Lima (donde los suelos son competentes), sería entre 2 a 3 veces más grande que el observado en los sismos de 1966 (8.0Mw) y 1974 (7.9Mw); mientras que, los espectros simulados en el centro de Lima muestran valores de hasta 4 veces más grande al observado durante estos sismos (Figura 10).



**Figura 10:** Aceleración máxima para Lima Metropolitana y Callao, tomando en cuenta el acoplamiento sísmico existente en la costa central de Perú (Pulido et al., 2015).

**Tabla 10:** *Parámetros evaluados para la determinación del peligro por sismo.*

PARÁMETROS EVALUADOS PARA EL MAPA DE PELIGRO POR SISMO					
TIPO DE SUELO	ZONA	AMPLIF. (S)	ACELERAC.	ACEL. MAX.	PERIODO
Suelo I	ZONA 4	0.80	Pulido et al. (2015)	0.16	0.3
Suelo II		1.00		0.50	0.4
Suelo III		1.05		0.63	0.6
Suelo IV		1.10		0.88	1.0

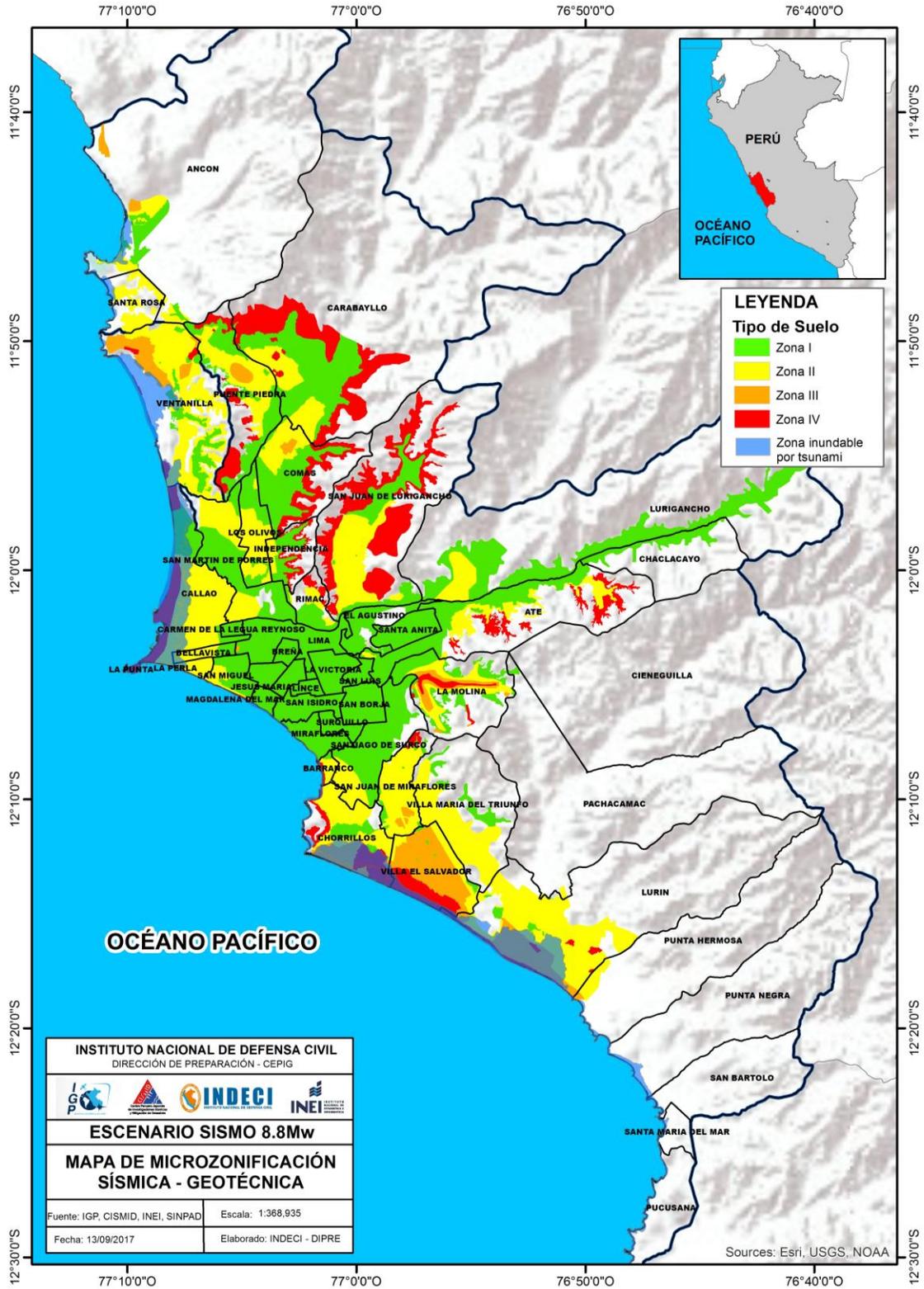


Figura 11: Mapa de microzonificación sísmica-geotécnica para Lima metropolitana y Callao (CISMID, 2015 e IGP, 2010), según la Norma E.030.

En base a esta información, se elaboró el mapa de peligro por sismo para Lima Metropolitana y Callao y se establecieron niveles de peligro desde Bajo, Medio, Alto hasta el Muy Alto. Esta información muestra que de presentarse el escenario propuesto en este estudio, gran parte de la zona costera de Lima y Callao presentaría peligro Muy Alto y Alto, así como las zonas periféricas de los distritos de Carabaylo, Comas, Puente Piedra, Independencia, San Juan de Lurigancho, Ate Vitarte y La Molina. Mientras que los distritos que se ubican en la zona centro de la provincia de Lima presentan un nivel de peligro Medio. Las zonas de Lurigancho y Chaclacayo presentarían peligro Bajo (Figura 12).

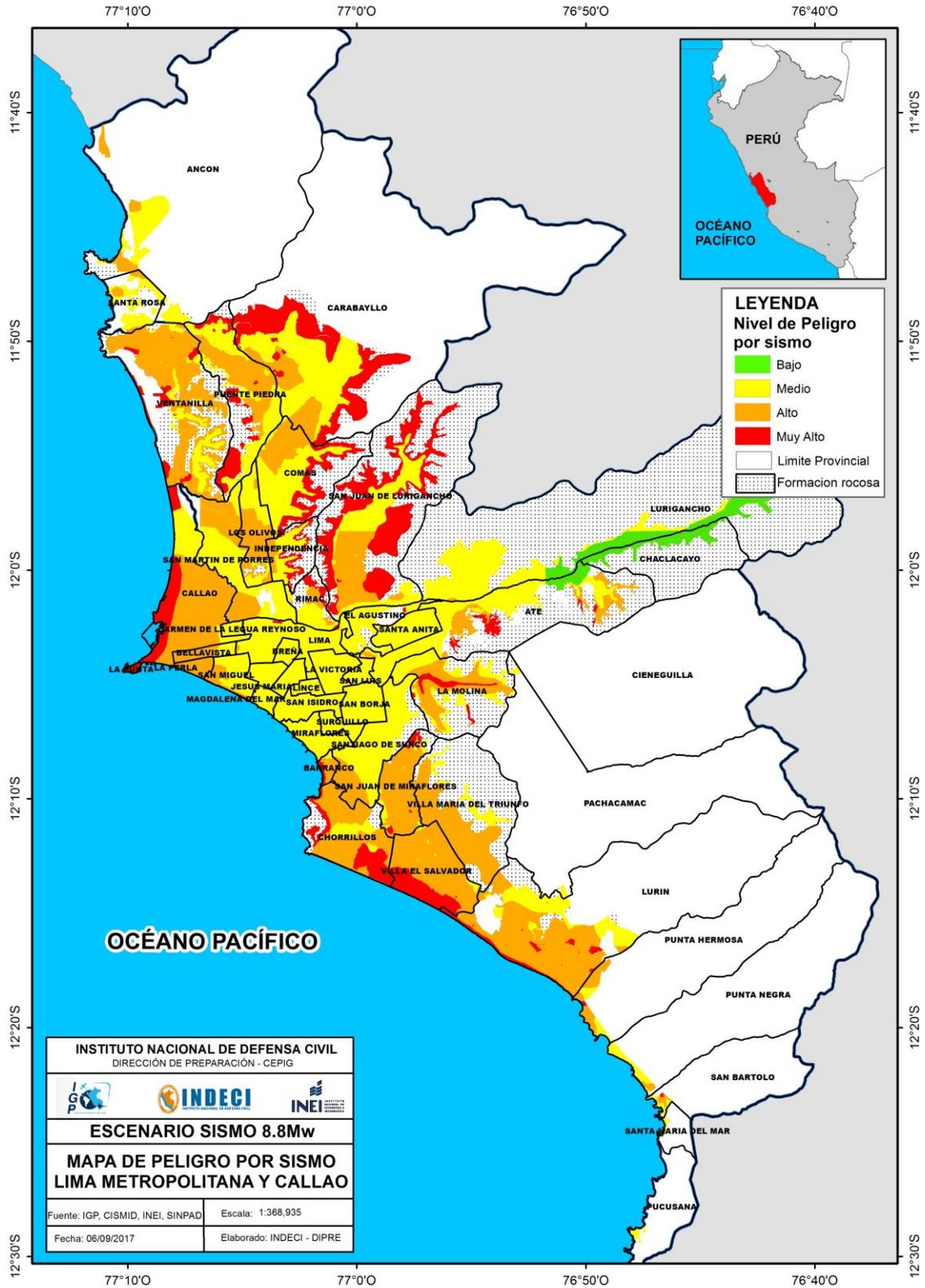
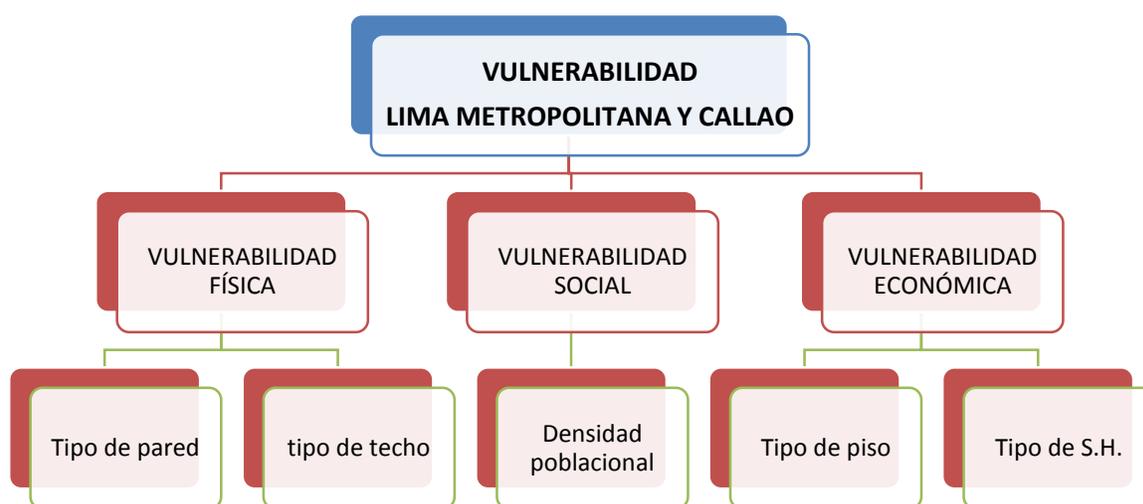


Figura 12: Mapa de peligro por sismo para Lima Metropolitana y Callao, considerando la zonificación de suelos propuesta por CISMID (2015).

## 7.2. ANÁLISIS DE LA 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. El análisis de la vulnerabilidad es el proceso mediante el cual se evalúan las condiciones existentes de la población expuesta y sus medios de vida.

En este sentido, los parámetros utilizados en este estudio, para la evaluación de la vulnerabilidad, se muestran en la Figura 13 y su cálculo, análisis e interpretación fue realizada usando las metodologías propuesta por CENEPRED e INDECI (2015). Las Tablas 11 y 12 muestran los indicadores evaluados y sus respectivas ponderaciones o pesos. Los resultados obtenidos se presentan en los mapas de las Figuras 14, 15, 16, 17 y 18.



**Figura 13:** Parámetros evaluados para estimar la vulnerabilidad en Lima Metropolitana y Callao.

**Tabla 11:** Parámetros y ponderaciones utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad física en Lima Metropolitana y Callao.

VULNERABILIDAD FÍSICA					
N°	TIPO DE PARED	POND. 0.7	TIPO DE TECHO	POND. 0.3	
1	LADRILLO	2	CONCRETO ARMADO	2	
2	PIEDRA Y SILLAR	3	MADERA	1	
3	ADOBE Y TAPIA	4	TEJAS	3	
4	QUINCHA	2	CALAMINA, FIBRA CEMENTO	3	
5	PIEDRA CON BARRO	4	CAÑA/ESTERA CON BARRO	4	
6	MADERA	1	ESTERA	4	
7	ESTERA	1	PAJA, PALMERA	4	
8	OTRO	3	OTRO	4	

**Tabla 12:** Parámetros y ponderaciones utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad económica en Lima Metropolitana y Callao.

VULNERABILIDAD ECONÓMICA					
TIPO DE PISO	POND.	0.7	TIPO DE SERVICIOS HIGIÉNICOS	POND.	0.3
PARQUET O MADERA PILIDA		1	RED PÚBLICA DENTRO		1
LÁMINAS ASFÁLTICAS, VINILOS, SIMILARES		2	RED PÚBLICA FUERA		2
LOSETAS		2	POZO SÉPTICO		3
MADERA		2	POZO CIEGO O NEGRO/LETRINA		4
CEMENTO		3	RÍO, ACEQUIA, CANAL		4
TIERRA		4	NO TIENE		4
OTRO		4			

Para el cálculo de la vulnerabilidad social, se considera la densidad poblacional a nivel de manzana.

Las Figuras 14, 15, 16, 17, 18 muestran el mapa síntesis de la vulnerabilidad física, social y económica correspondiente a la zona urbana de Lima y Callao. Este análisis permite identificar zonas con muy alto grado de vulnerabilidad, principalmente en los distritos de Ancón, San Rosa, Carabaylo, Los Olivos, San Juan de Lurigancho, Lima Cercado, Lurigancho, Ate, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, entre otros. Mientras que, gran parte de los distritos de Lima y Callao presentan algún porcentaje de vulnerabilidad Alta, y los distritos de La Molina, Santiago de Surco, Miraflores, San Isidro, San Borja entre otros, presentan vulnerabilidad Media. Existe un reducido porcentaje de viviendas con vulnerabilidad Baja.

Cabe señalar que en este estudio, no se analiza la vulnerabilidad de la infraestructura pública o privada; sin embargo, se hace el análisis de su exposición por ubicación de acuerdo a los niveles de peligro por sísmico. Estas zonas, junto con las que no se cuenta con información de vulnerabilidad, son representadas en el mapa con polígonos de color gris.

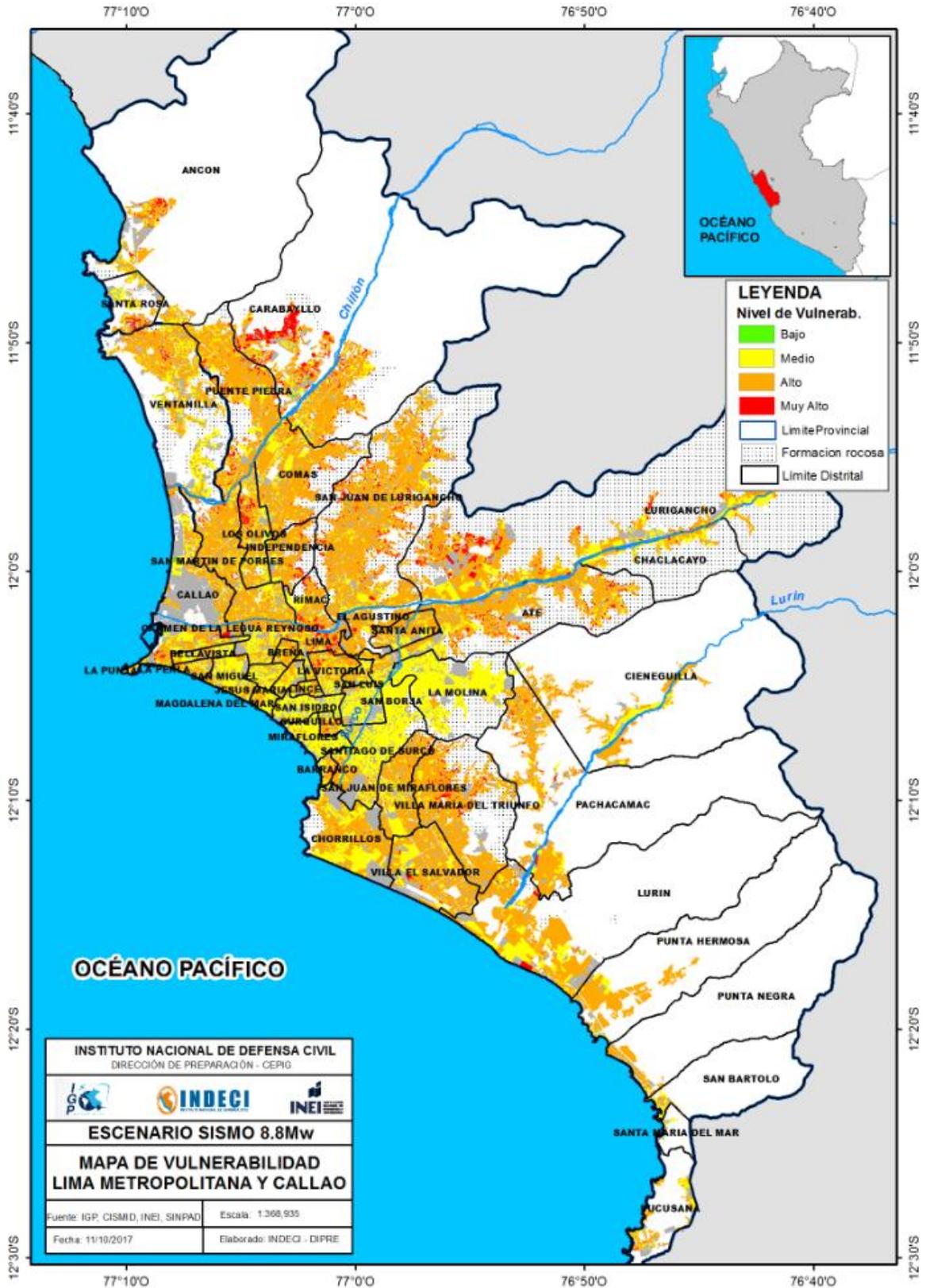


Figura 14: Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao.

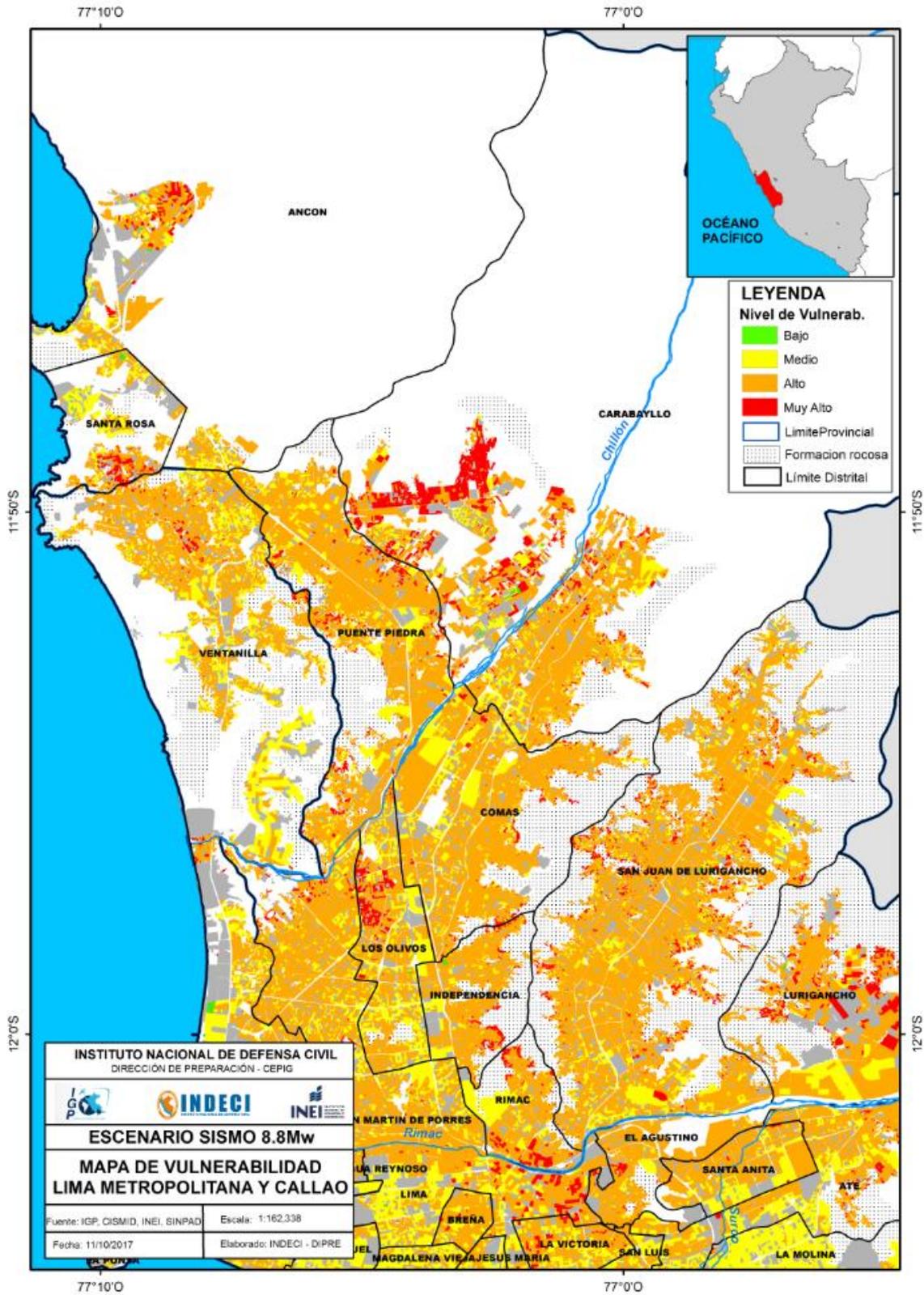


Figura 15: Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao (Zona Norte).

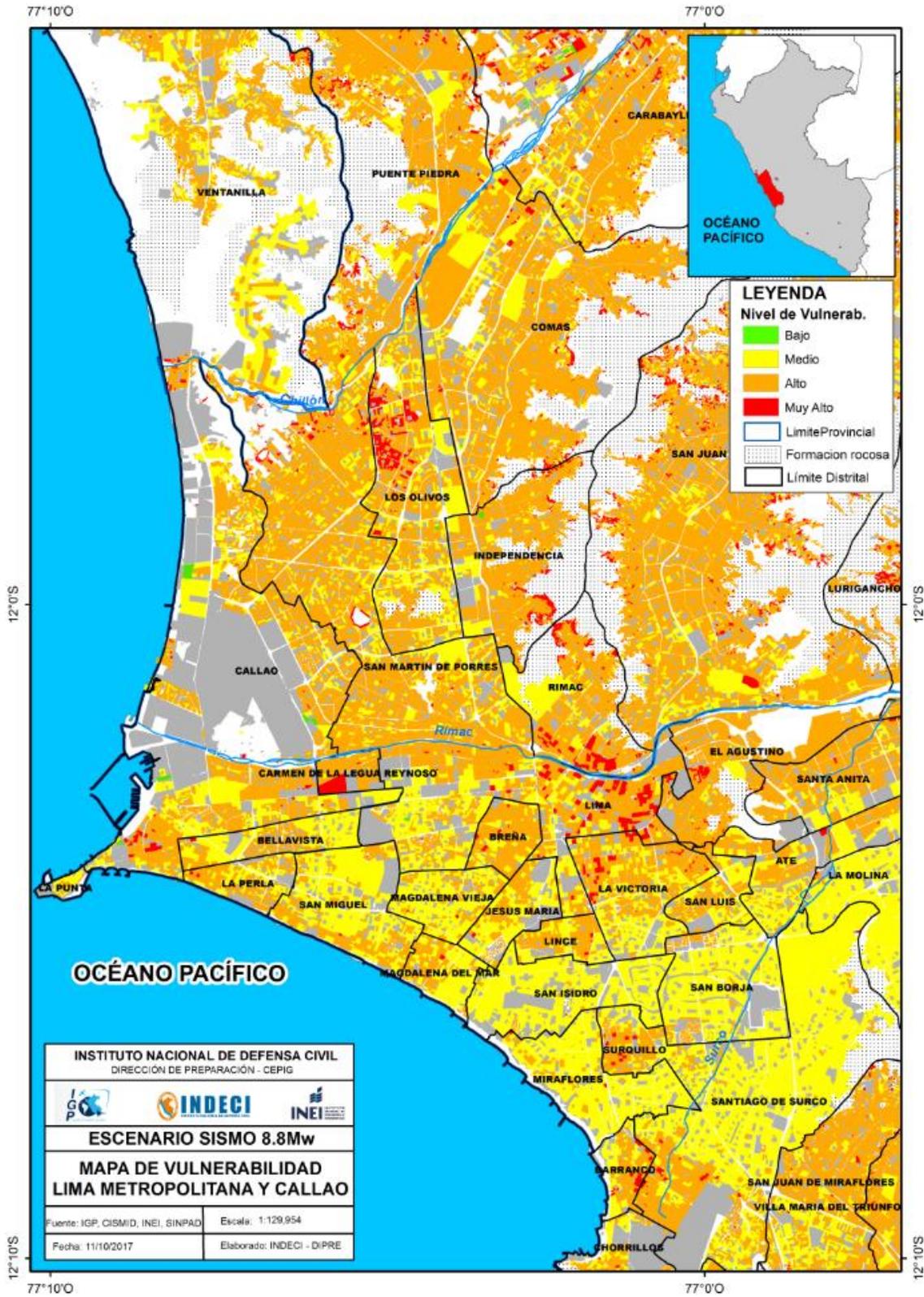


Figura 16: Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao (Zona Centro).

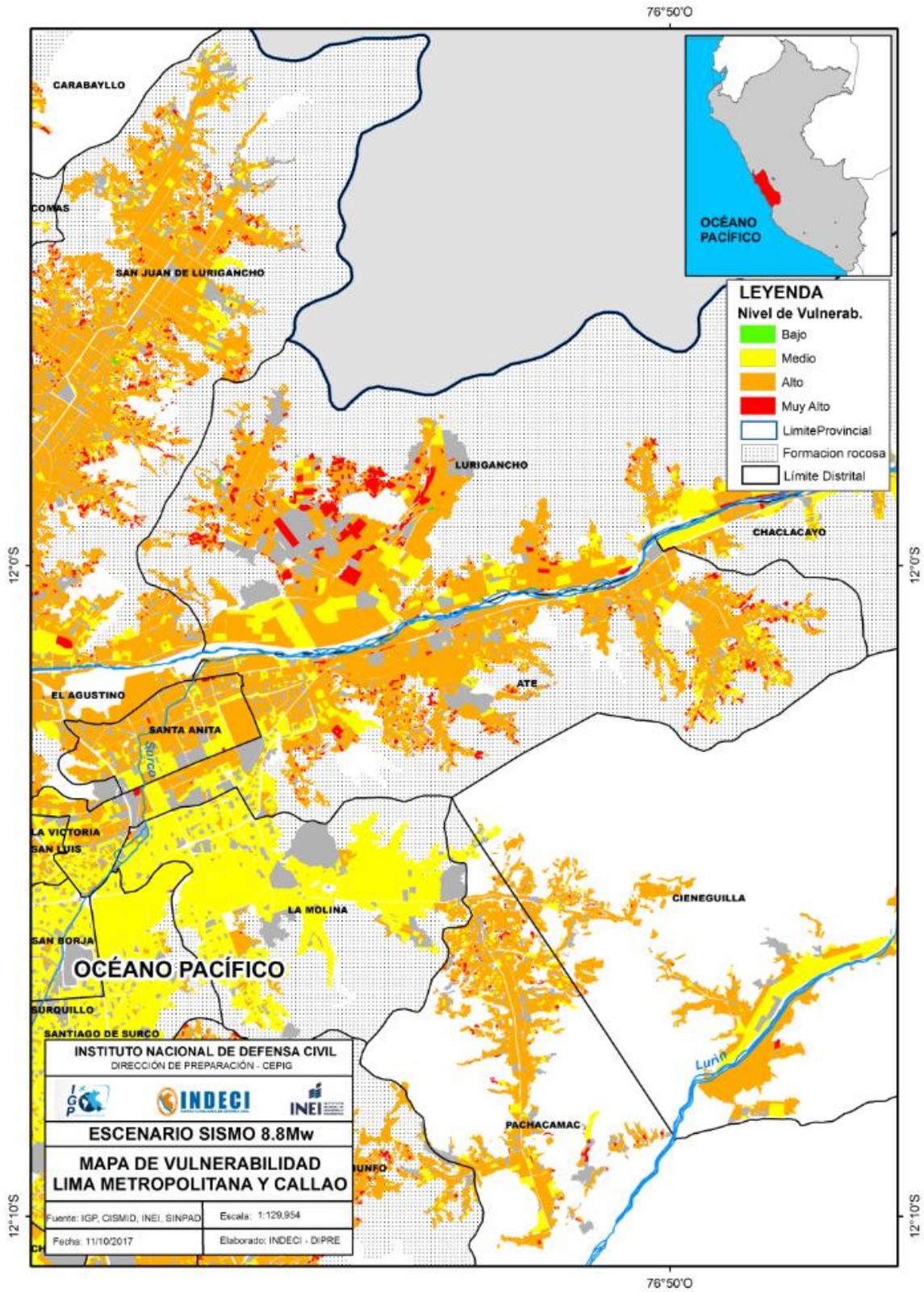


Figura 17: Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao (Zona Este).

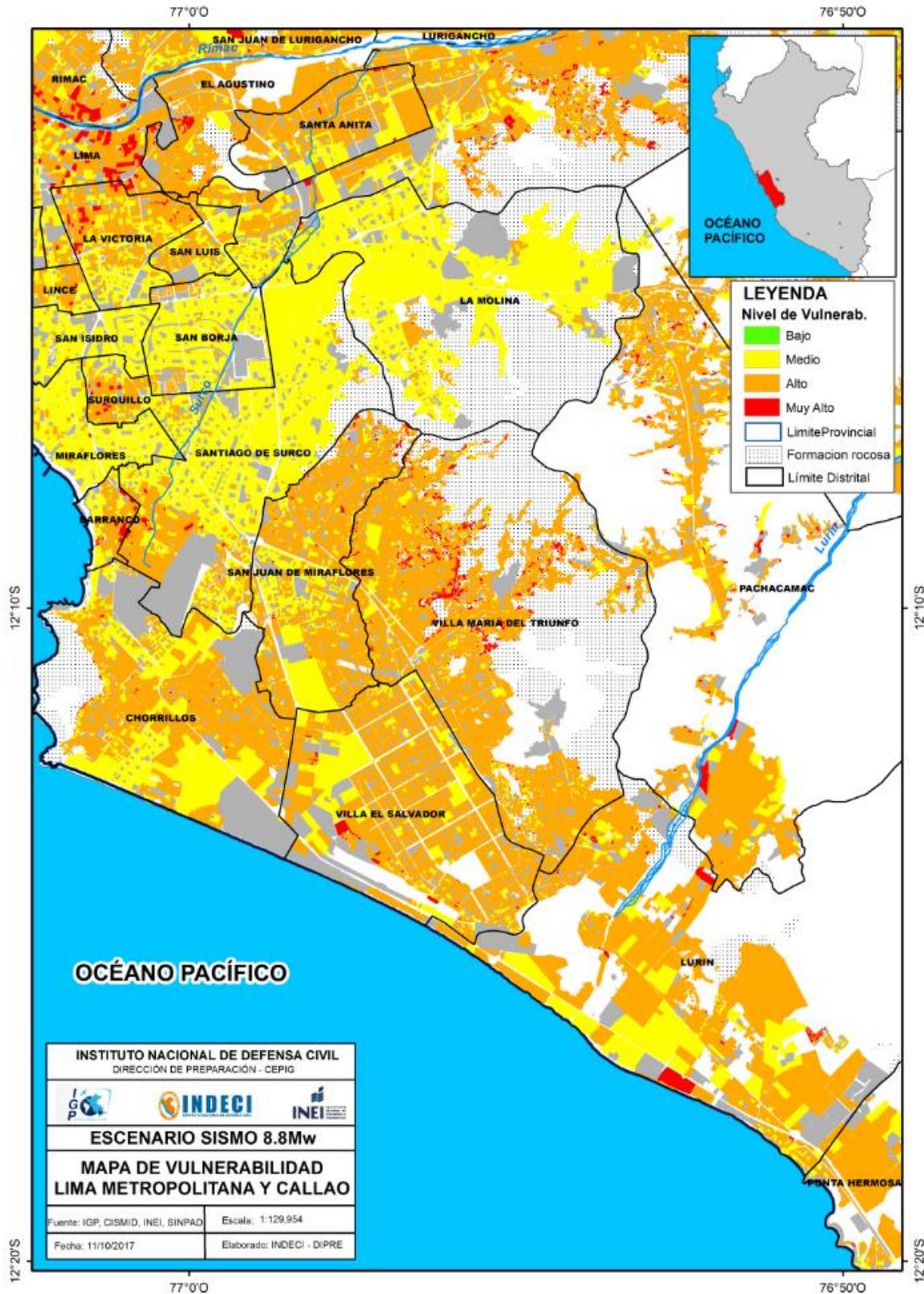


Figura 18: Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao (Zona Sur).

### 7.3. ANÁLISIS DEL RIESGO EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO

El riesgo de desastre es la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro. En este caso, se evalúa el peligro por sismo utilizando la siguiente expresión:

$$R_{ie} \Big|_t = f (P_i, V_e) \Big|_t$$

Para estimar el riesgo por sismo y tsunami en Lima Metropolitana y Callao, se hace uso de la matriz de doble entrada, en donde los niveles de peligro están reflejados en las filas y los niveles de vulnerabilidad en las columnas (Tabla 13).

**Tabla 13:** Matriz de doble entrada para el cálculo del riesgo sísmico.

Peligro Muy Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio
P V	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

El mapa final de riesgo sísmico para la zona urbana de Lima y Callao, con sus diferentes niveles (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto), se muestra en la Figura 19. Las zonas que resaltan por su mayor nivel de riesgo sísmico son las que se ubican en los distritos periféricos de Lima. Por el norte se encuentran principalmente los distritos de San Juan de Lurigancho, Comas, Carabaylo, Independencia, Puente Piedra. Por el centro, se tiene a Callao, La Punta, Ate, El Agustino, Rímac y por el sur: Chorrillos, Villa El Salvador, Lurín, Punta Negra, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores principalmente. El detalle a nivel de distrito, se muestran en las Figuras 19, 20, 21, 22 y 23.

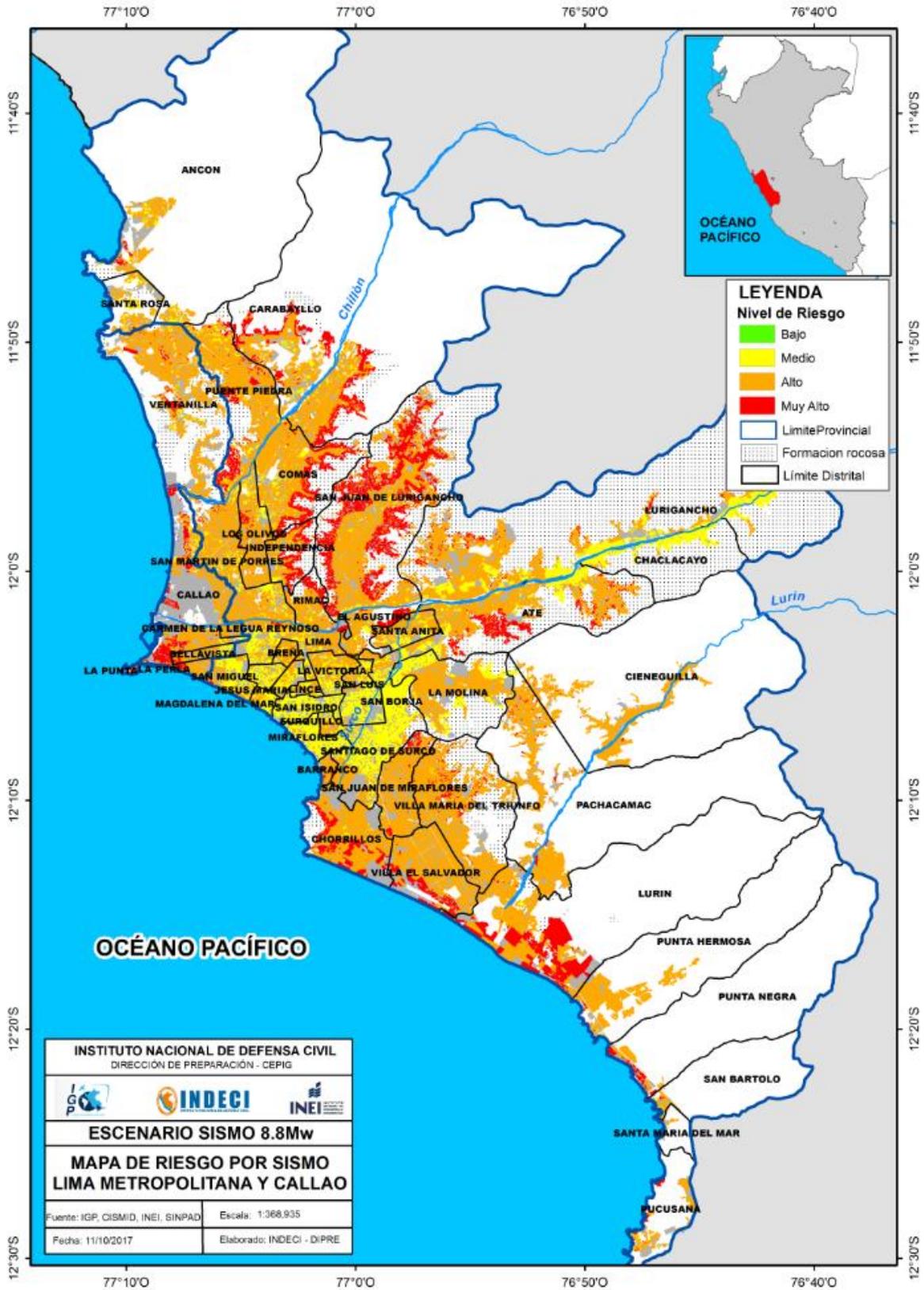


Figura 19: Mapa de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao.

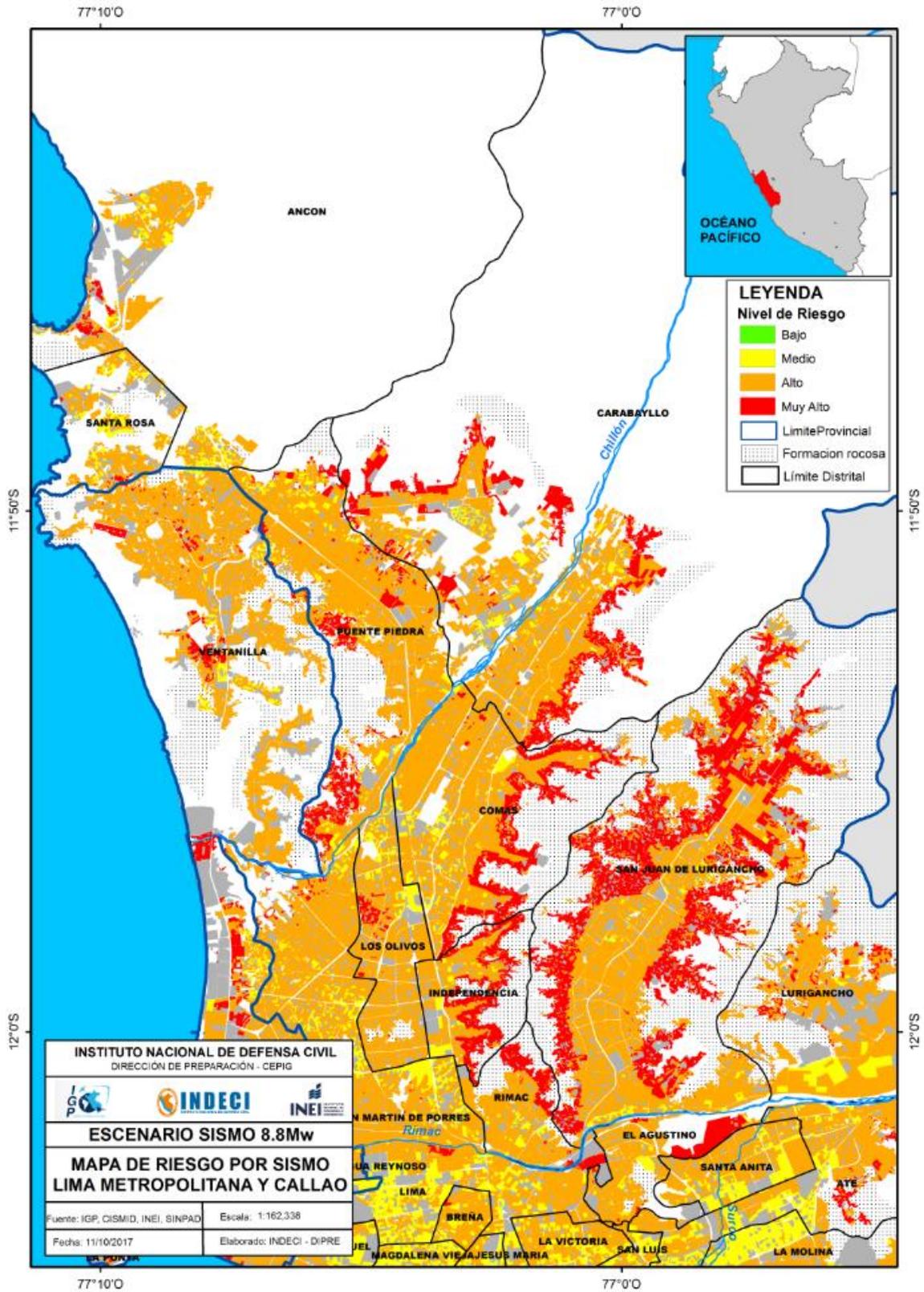


Figura 20: Mapa de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao (Zona Norte).

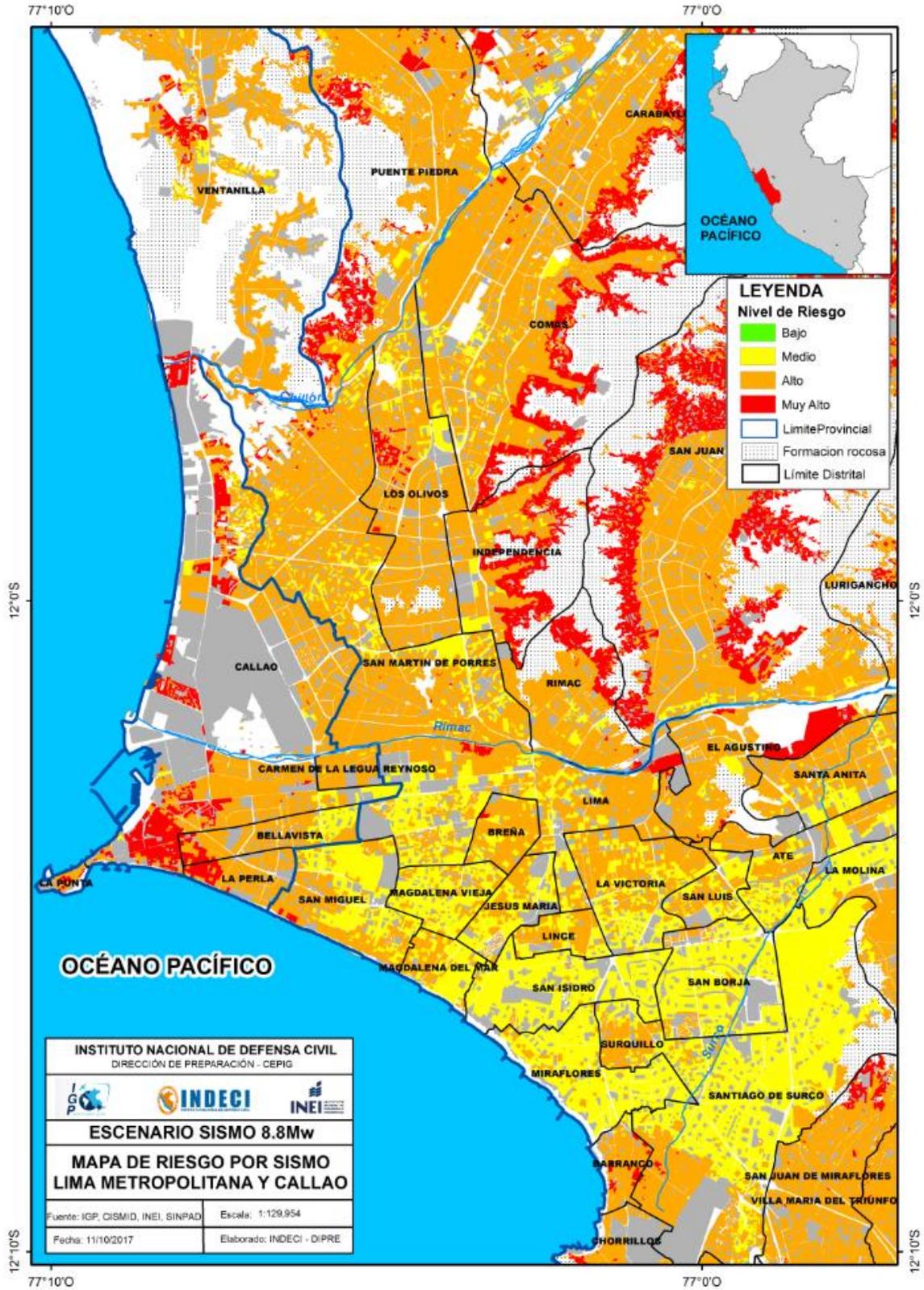


Figura 21: Mapa de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao (Zona Centro).

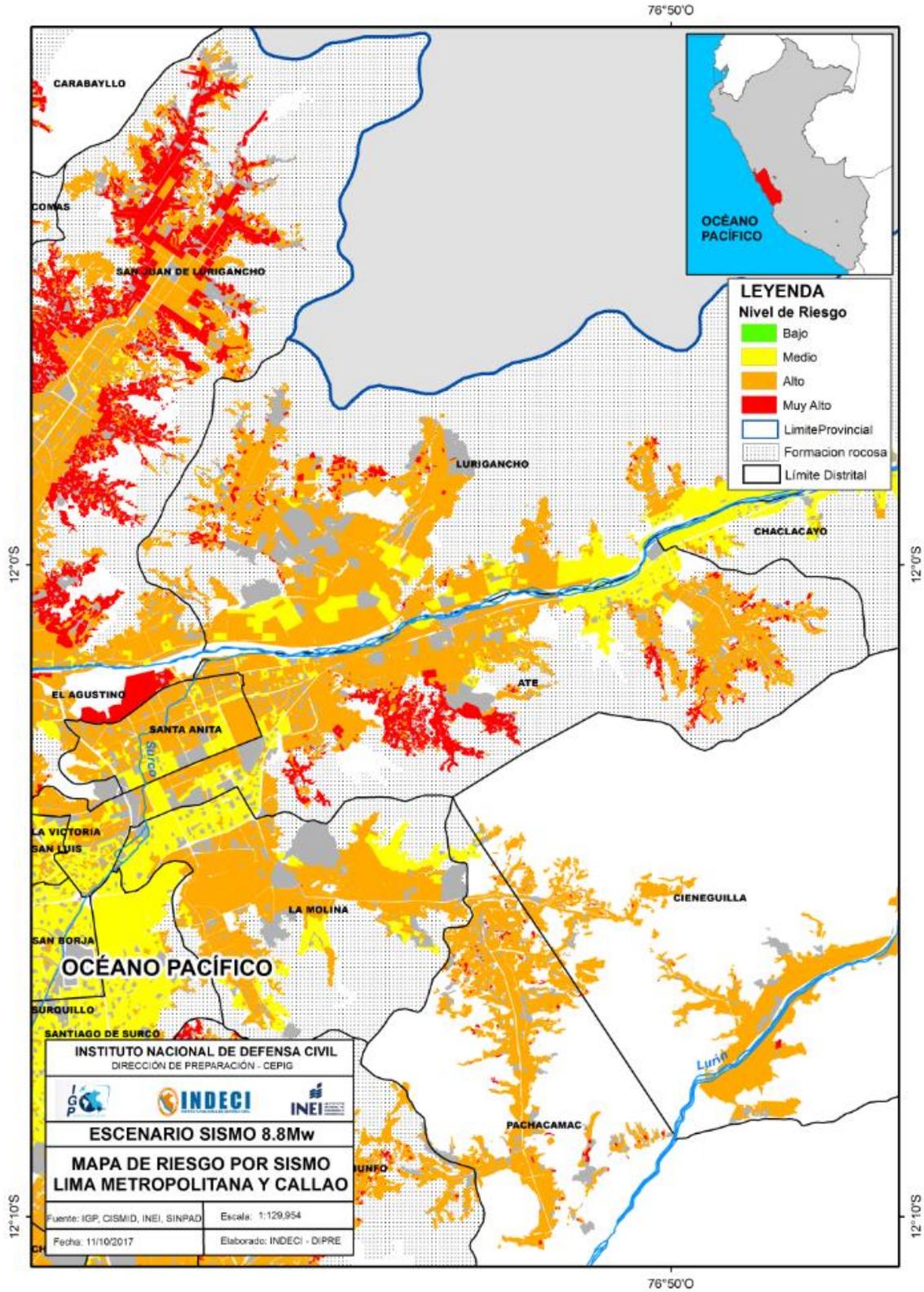


Figura 22: Mapa de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao (Zona Este).

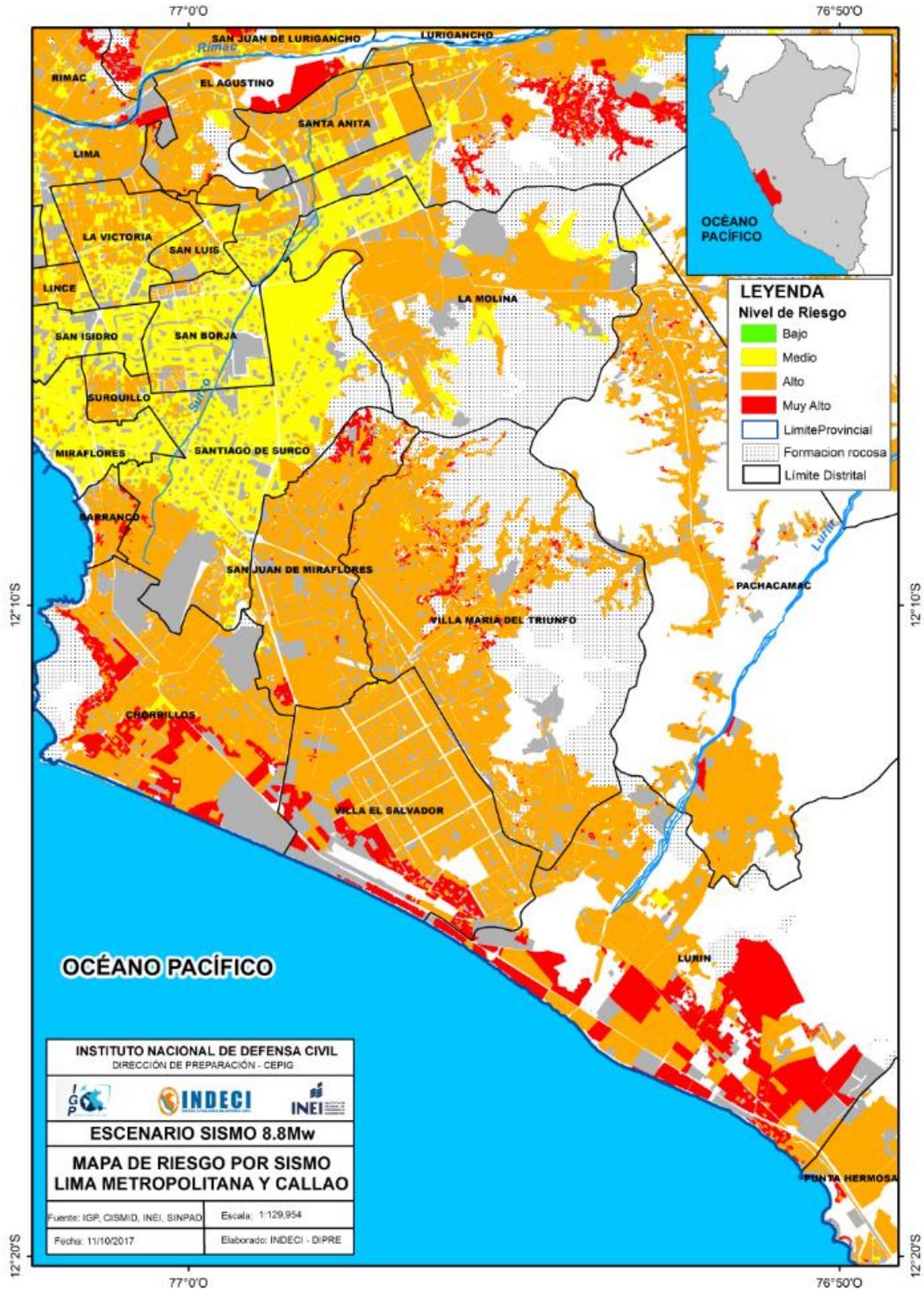
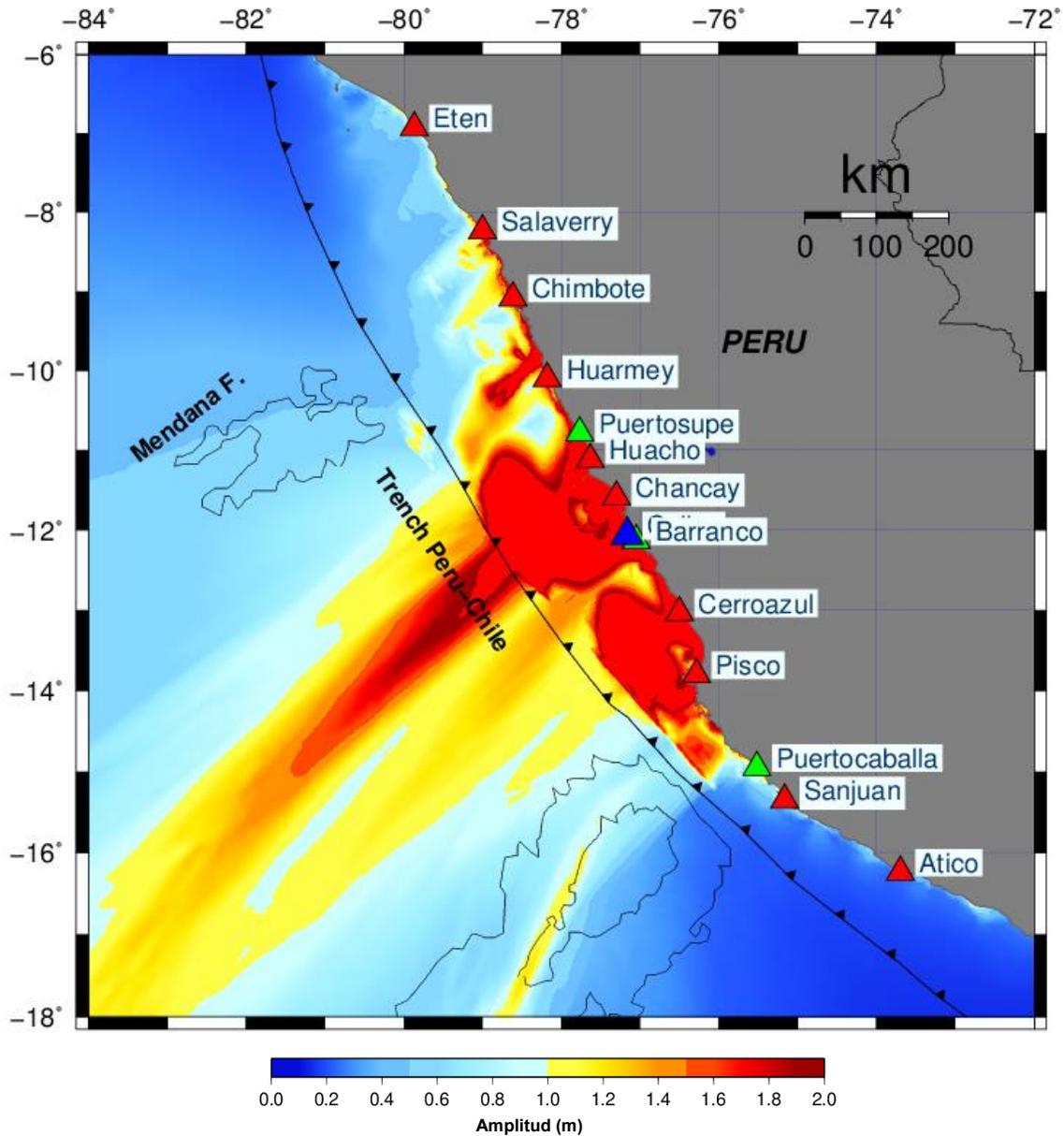


Figura 23: Mapa de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao (Zona Sur).

#### 7.4. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR TSUNAMI

De ocurrir un sismo de gran magnitud, tal como lo planten las investigaciones científicas, indudablemente se espera la ocurrencia de un tsunami de grandes proporciones que afectaría severamente la costa central de Perú (Figura 24). Asimismo, este tsunami se propagaría en todo el Océano Pacífico, pudiendo generar mayor impacto en las costas del hemisferio sur, particularmente en las costas de Nueva Zelanda y Australia, debido probablemente a efectos de directividad de las olas.



**Figura 24:** Mapa de propagación y amplitud de las olas del tsunami generado con la fuente sísmica propuesta por Chlieh et al. (2011), Yauri et al. (2011).

Para establecer las zonas inundables por tsunami, a lo largo de la costa de Lima Metropolitana y Callao, se hace uso de los resultados obtenidos en el proyecto SATREPS y cuya fuente de generación del tsunami se basa en el acoplamiento sísmico propuesto por Chielh et al. (2011), similar al sismo ocurrido en 1746 (8.8Mw). Para los demás distritos, se hace uso de las zonas inundables establecidas por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) que considera como fuente principal un sismo de magnitud 8.5Mw y 9.0Mw.

Los resultados muestran que cerca de 332,354 personas y 82,477 viviendas se ubican en zonas inundables por tsunami, principalmente en los distritos de Ancón, San Rosa, Ventanilla, Callao, Chorrillos, Villa el Salvador, Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, San María del Mar y Pucusana (Tabla 14 y Figura 25). La cantidad de población y viviendas que podrían ser impactadas se consideran dentro de las estadísticas generales de este escenario sísmico.

Cabe señalar que además de afectar población y viviendas costeras, también se generaría un gran impacto en la infraestructura del Terminal Portuario del Callao, por lo cual se recomienda realizar un estudio específico para estimar los daños e impacto que podría generar un tsunami de estas características.

**Tabla 14:** Población y vivienda expuesta al peligro de tsunami.

CANTIDAD DE POBLACIÓN Y VIVIENDAS EXPUESTAS AL PELIGRO DE TSUNAMI		
ESCENARIO	POBLACIÓN	VIVIENDAS
MUY ALTO	332,354	82,477
<b>TOTAL</b>	<b>332,354</b>	<b>82,477</b>

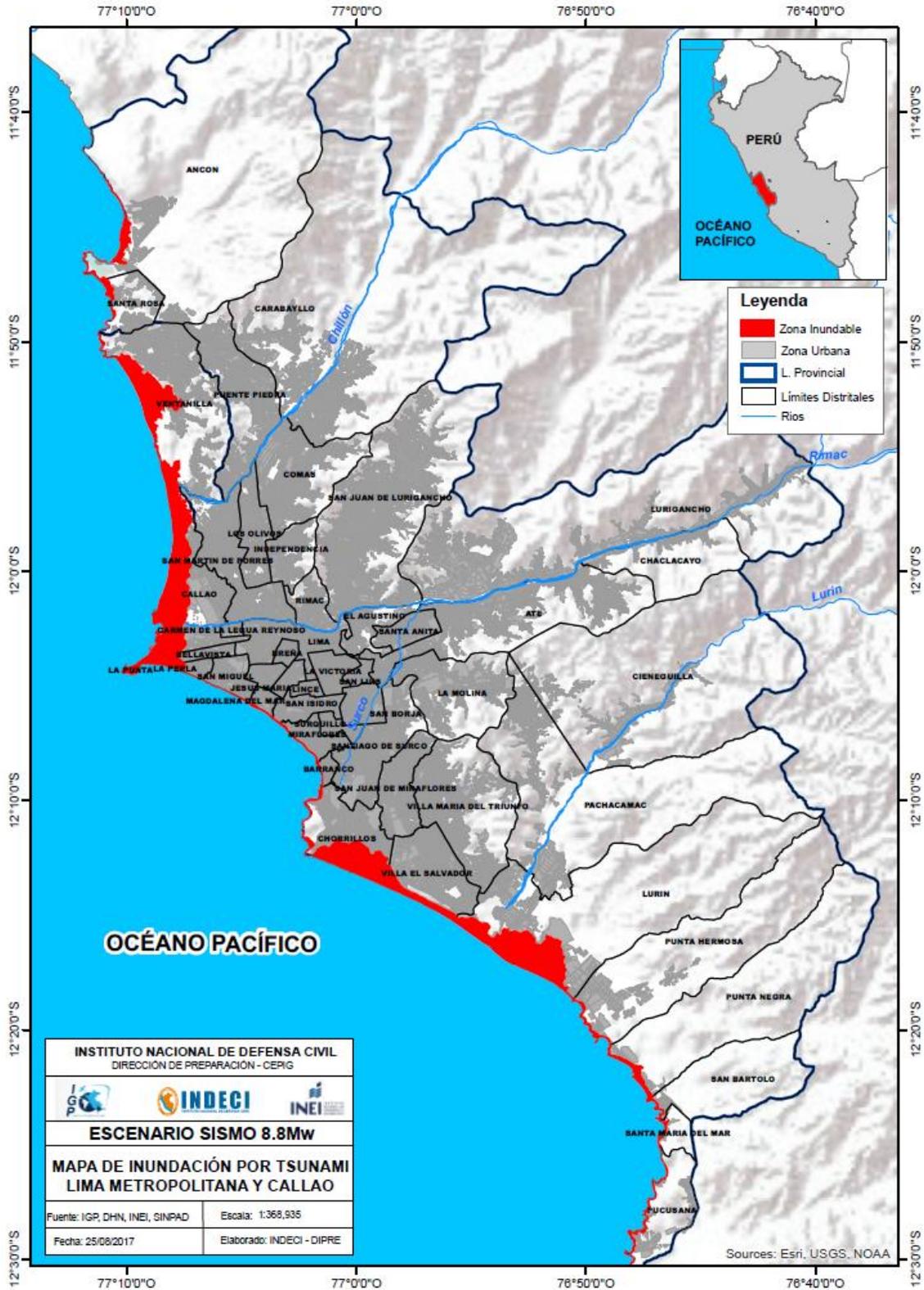


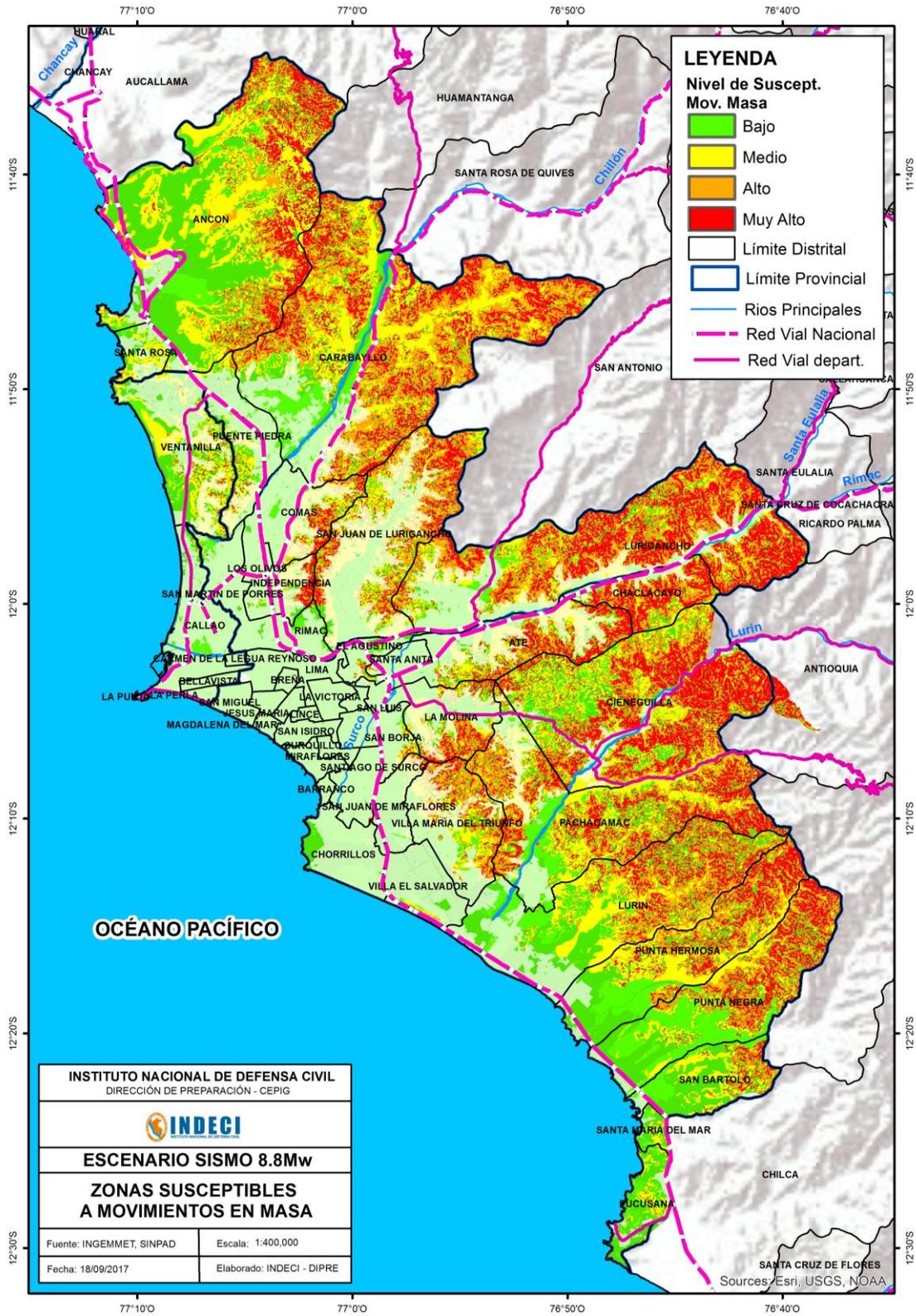
Figura 25: Mapa de inundación por tsunami, tomando en cuenta una fuente sísmica similar o cercana al sismo de 1746.

## 7.5. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA

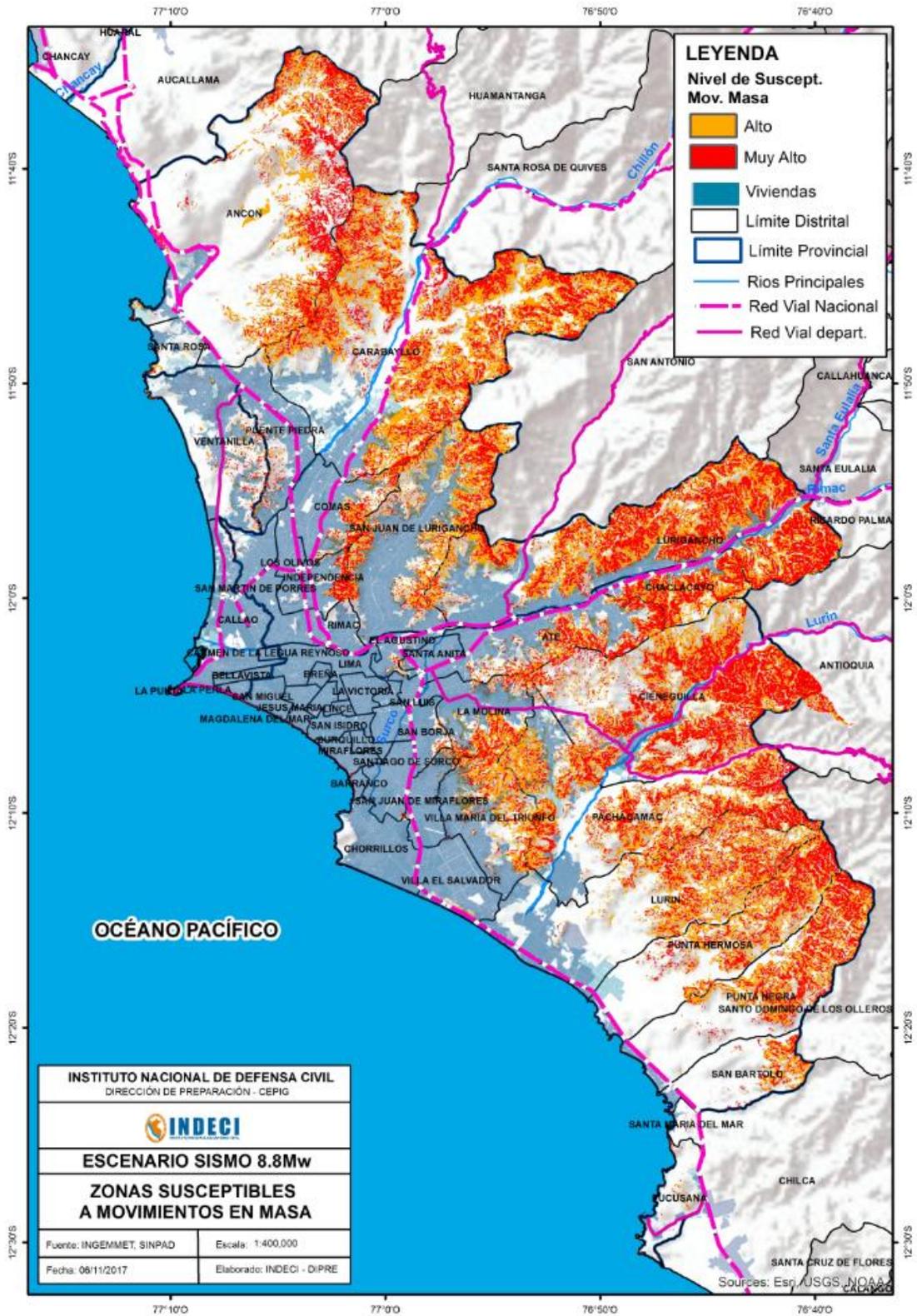
Uno de los peligros asociados a los sismos de pequeña, moderada y gran magnitud son los movimientos en masa. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), mediante un análisis estadístico multivariante elaboró el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para Lima Metropolitana y Callao (Figura 26), tomando los siguientes parámetros de evaluación: pendiente, litología, cartografía de deslizamientos, cobertura y uso de suelo e hidrología.

Haciendo uso de esta información se procedió a evaluar e identificar las vías de acceso a la ciudad de Lima que presentan mayor probabilidad de ser afectadas por derrumbes, caídas de rocas o deslizamientos que podrían activarse tras un sismo de las proporciones indicadas en este escenario sísmico. En este sentido, las vías que presentan mayor susceptibilidad a ser afectadas o bloqueadas son las siguientes:

- **Carretera Panamericana Norte:** comunica los distritos del norte de Lima (San Martín de Porres, Independencia, Los Olivos, Comas, Puente Piedra y Ancón) con los departamentos del norte del país (Arequipa, La Libertad, Lambayeque, Piura y Tumbes). Cuenta con varias vías de penetración a los demás departamentos del norte del país. En cuanto al peligro de movimientos en masa, gran parte del su tramo (dentro de la provincia de Lima) presenta baja susceptibilidad a caídas de rocas o derrumbes a excepción del tramo que se ubica a lo largo del distrito de Ancón (antigua Panamericana Norte), el cual podría ser afectada por su activación. Mientras que el tramo paralelo presenta baja susceptibilidad por lo cual se tendría acceso casi normal por esta vía (Figura 26).
- **Carretera Central:** comunica los distritos ubicados al este de Lima (Ate Vitarte, Santa Anita, Chaclacayo y Lurigancho) con los departamentos del centro del país (Junín, Pasco, Huánuco, Ucayali), además cuenta con varias ramas de penetración en cada uno de estos departamentos. Gran parte de los tramos ubicados al este (dentro de la provincia de Lima) se ubican cerca de las zonas de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa, por lo cual existe la posibilidad de que estos tramos sean afectados o bloqueados por caída de rocas, deslizamientos u otros tipos de movimientos en masa, que serían desencadenados por la ocurrencia de un sismo de las características indicadas. Se requiere realizar una evaluación más detallada para tomar medidas de contingencia (Figura 26).
- **Carretera Panamericana Sur:** comunica los distritos del sur de Lima (Surco, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador, Lurín, Punta Hermosa y Pucusana) con los departamentos del sur del país (Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna), además cuenta con varias vías de penetración a los demás departamentos del sur. Gran parte de este tramo presenta baja susceptibilidad a movimientos en masa (dentro de la provincia de Lima), por lo cual se espera que estas vías se encuentren operativas y aptas para el transporte de Bienes de Ayuda Humanitaria, transporte de equipos de primera respuesta y otros.
- **Carreteras que conduce a Canta y Antioquía:** Gran parte de los tramos, principalmente los ubicados hacia el este, se encuentran en zonas de alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa; por lo cual existe la posibilidad de que estos tramos sean afectados o bloqueados por caída de rocas, deslizamientos, otros movimientos en masa, desencadenado por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Se requiere tomar medidas de contingencia (Figura 26).



**Figura 26:** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para Lima Metropolitana y Callao, exposición de vías de acceso.



**Figura 27:** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para Lima Metropolitana y Callao, exposición de viviendas.

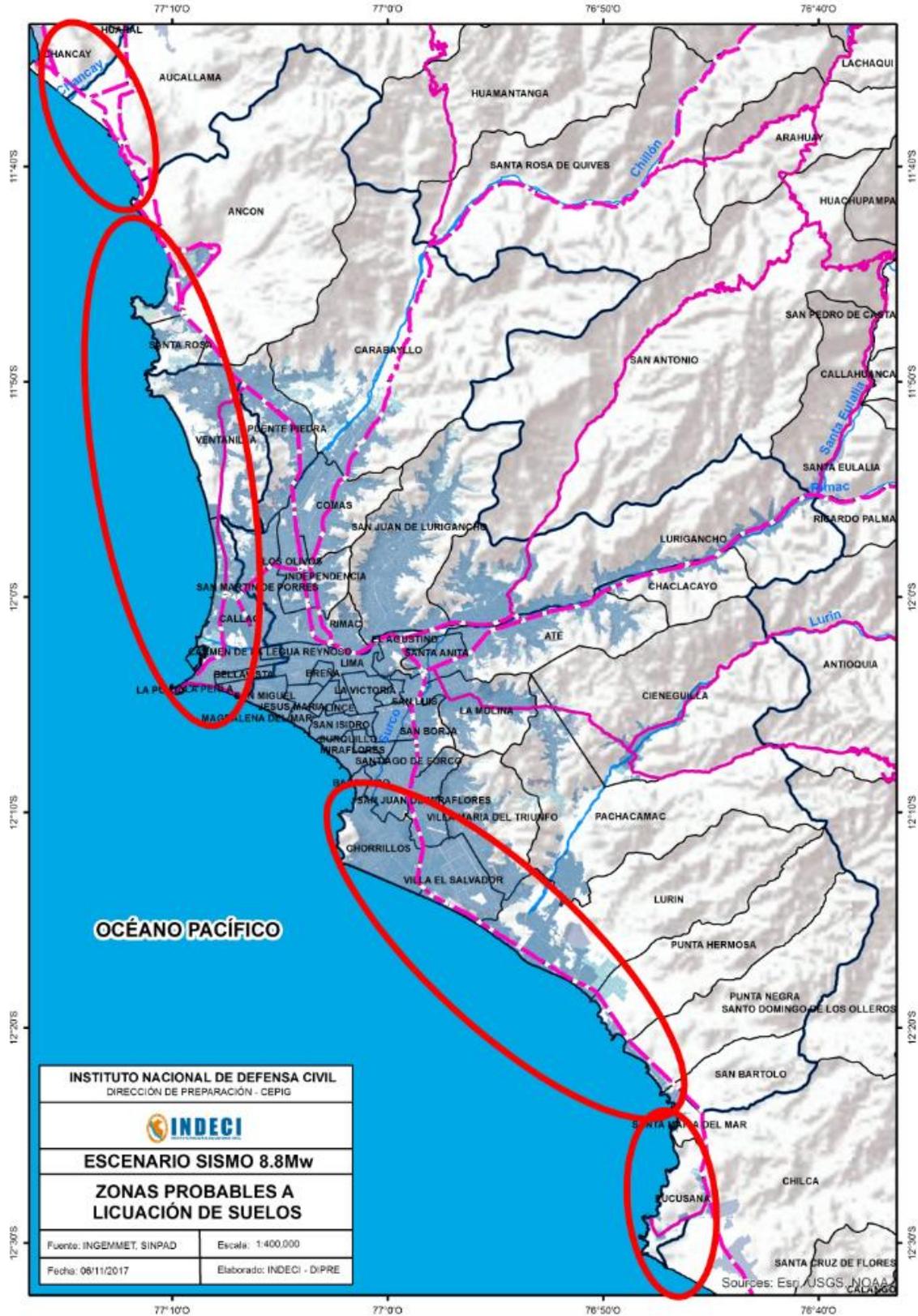


Figura 28: Mapa de zonas probables a licuación de suelos.

Asimismo, como se observa en la Figura 27, los distritos que presentan mayor susceptibilidad a movimientos en masa (derrumbes, caída de rocas, otros) y que cuentan con población expuesta a este peligro, son principalmente los siguientes: Carabaylo, Comas, San Juan de Lurigancho, Independencia, Lurigancho, Chaclacayo, Ate, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, La Molina, entre otros.

## 7.6. ANÁLISIS DEL PELIGRO POR LICUACIÓN DE SUELOS

Otro efecto que puede producir un sismo, de las características que se proponen en este escenario, es el proceso de licuación de suelos. Para que se presente este fenómeno, se debe contar con algunas características básicas tanto del sismo como del suelo, como por ejemplo: aceleración del suelo, duración del sismo (ambos parámetros relacionados a la magnitud del sismo), granulometría, densidad relativa, nivel freático (estos últimos relacionados con las características del suelo). Dentro del área de estudio, se puede señalar algunas zonas que presentarían mayor probabilidad de generar el proceso de licuación de suelos y que en sismos históricos han evidenciado su ocurrencia (Figura 28). Sin embargo, se recomienda realizar una evaluación más detallada a fin de identificar con mayor precisión aquellas zonas e infraestructura pública y privada que podrían ser afectadas por el proceso de licuación de suelos generando daños por asentamientos, fallas de flujo, pérdida de capacidad portante (deformación, asentamiento, inclinación, hundimiento) y volcanes de arena como los observados en el terremoto de 2007 (8.0Mw).

## 7.6. ANÁLISIS DEL IMPACTO ESPERADO

Tomando en cuenta la metodología propuesta por PREDES (2009 y 2012), para un sismo de magnitud 7.2 y 8.0Mw se estima la cantidad de población y viviendas que serían impactadas o afectadas en Lima Metropolitana y Callao, con un sismo de magnitud 8.8Mw. Para este cálculo se utilizó la cantidad de vivienda levantada en el marco del Sistema de Focalización de Hogares (SISFOH), población proyectada a nivel de distrito para el año al 2017 y cantidad de viviendas del Pre-Censo 2016 (Tabla 15).

**Tabla 15:** Cantidad de población y viviendas según INEI.

	VIVIENDAS (Pre-Censo 2016)	POBLACIÓN Proyectadas al 2017
CALLAO	310,909	1,042,496
LIMA	2,990,371	9,174,855
LIMA Y CALLAO	3,301,280	10,217,351

De acuerdo a la metodología propuesta por PREDES para el cálculo del impacto en la población y viviendas, se asocian los rangos de afectación/daño a cada nivel de riesgo (Muy Alto, Alto, Medio y Bajo) obtenido a partir del mapa de peligro por sismo y tsunami en los distritos de Lima Metropolitana y Callao (Tabla 16, 17 y 18).

**Tabla 16:** Nivel de afectación/daño en las edificaciones.

Nivel de daño	% de edificaciones
Muy Bajo	0.01% a 15%
Moderado	15% a 30%
Alto	30% a 60%
Muy Alto	Más de 60%

**Tabla 17:** Rangos de población por tipo de afectación de acuerdo a niveles de riesgo (PREDES, 2012).

	RANGOS	FALLECIDOS	HERIDOS	NO AFECT	TOTAL
POBLACIÓN AFECTADA	0	0,025%	0,200%	99,775%	100,0%
	10	0,100%	1,000%	98,900%	100,0%
	20	0,200%	1,800%	98,000%	100,0%
	30	0,300%	3,000%	96,700%	100,0%
	40	0,400%	4,000%	95,600%	100,0%
	50	0,500%	6,000%	93,500%	100,0%
	60	0,800%	8,200%	91,000%	100,0%
	70	1,000%	12,000%	87,000%	100,0%
	80	1,300%	19,000%	79,700%	100,0%
	90	1,500%	24,000%	74,500%	100,0%
	100	2,000%	30,000%	68,000%	100,0%

**Tabla 18:** Rangos de viviendas por tipo de afectación de acuerdo a niveles de riesgo (PREDES, 2012).

	RANGOS	DESTRUIDAS	INHABIT	NO AFECT	TOTAL
VIVIENDA AFECTADA	0	0,100%	1,00%	98,900%	100,0%
	10	0,200%	2,00%	97,800%	100,0%
	20	0,500%	2,50%	97,000%	100,0%
	30	1,000%	3,50%	95,500%	100,0%
	40	2,000%	4,00%	94,000%	100,0%
	50	3,000%	5,00%	92,000%	100,0%
	60	5,000%	6,00%	89,000%	100,0%
	70	30,000%	50,00%	20,000%	100,0%
	80	30,000%	50,00%	20,000%	100,0%
	90	30,000%	50,00%	20,000%	100,0%
	100	30,000%	50,00%	20,000%	100,0%

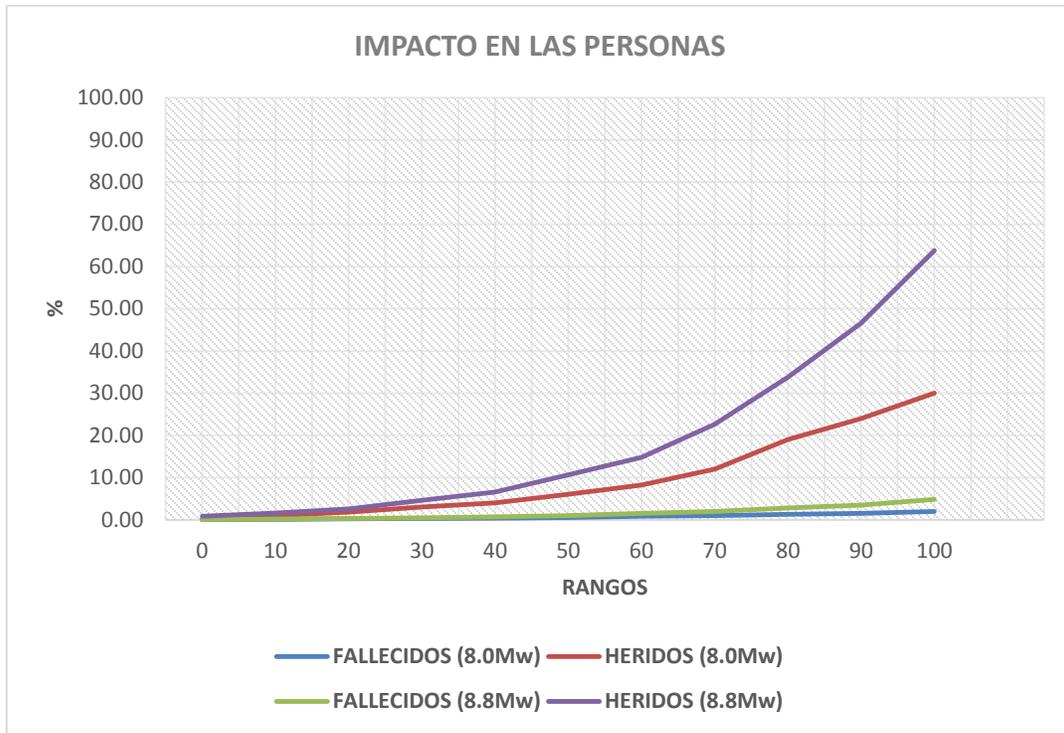


Figura 29: Comparación entre cantidad de fallecidos y heridos para el escenario propuesto por PREDES (sismo 8.0Mw) y el propuesto en este estudio (sismo 8.8Mw).

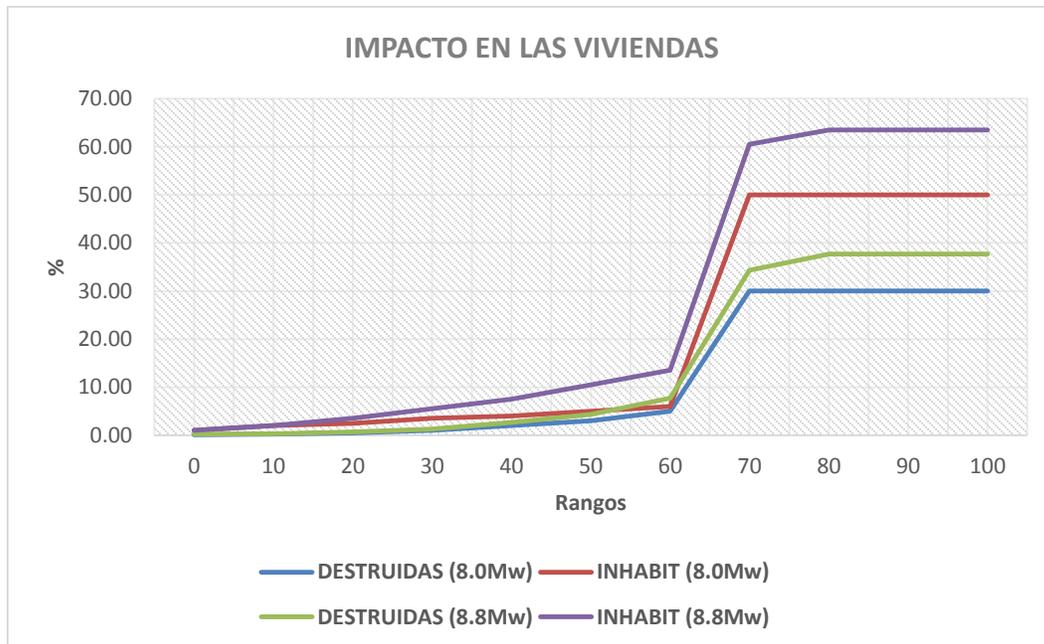


Figura 30: Comparación entre cantidad de viviendas destruidas e inhabitables para el escenario propuesto por PREDES (sismo 8.0Mw) y el propuesto en este estudio (sismo 8.8Mw).

De acuerdo al INEI (Tabla 19), para el año 2017 la cantidad de población y viviendas que tiene Lima Metropolitana y Callao es 10'217,351 habitantes y cerca de 3'301,280 viviendas. Las Figuras 29 y 30 muestran el porcentaje de población y viviendas impactadas para un escenario de sismo con magnitud 8.0Mw y 8.8Mw.

De ocurrir un sismo de magnitud 8.8Mw con tsunami en Lima Metropolitana y Callao, donde hoy en día se cuenta con más de 10'200,000 habitantes, **se estima un total de 110,313 fallecidos, 2'096,824 heridos, 353,497 viviendas destruidas y 623,882 viviendas inhabitables (Tabla 19).**

**Tabla 19:** Impacto en la población y viviendas, según el nivel de riesgo por sismo y tsunami, tomando en cuenta el escenario de un sismo de magnitud 8.8Mw.

NIVELES DE RIESGO	POBLACIÓN AL 2017	VIVIENDAS AL 2016	PERSONAS FALLECIDAS	PERSONAS HERIDAS	VIVIEND DESTRUIDAS	VIVIENDAS INHABITABLES
MUY ALTO	1,428,459	432,682	68,566	911,357	163,120	274,753
ALTO	7,658,611	2,391,947	36,34	1,133,474	184,180	322,913
MEDIO	1,130,276	476,649	5,369	51,993	6,196	26,216
<b>TOTAL</b>	<b>10,217,351</b>	<b>3,301,280</b>	<b>110,310</b>	<b>2,096,824</b>	<b>353,496</b>	<b>623,882</b>

A fin de que los Gobierno Regionales y Locales tomen acciones de preparación y repuesta, de manera focalizada, se presentan los probables impactos por el sismo y tsunami a nivel de provincia (Tabla 20).

**Tabla 20:** Impacto en la población y viviendas, según el nivel de riesgo por sismo y tsunami, tomando en cuenta el escenario de un sismo de magnitud 8.8Mw.

PROVINCIA	POBLACIÓN AL 2017	VIVIENDAS AL 2016	PERSONAS FALLECIDAS	PERSONAS HERIDAS	VIVIEND DESTRUIDAS	VIVIENDAS INHABITABLES
CALLAO	1,042,496	310,909	12,865	239,661	39,915	68,965
LIMA	9,174,855	2,990,371	97,445	1,857,163	313,581	554,917
<b>TOTAL</b>	<b>10,217,351</b>	<b>3,301,280</b>	<b>110,310</b>	<b>2,096,824</b>	<b>353,496</b>	<b>623,882</b>

## 7.7. ELEMENTOS EXPUESTOS

### 7.7.1. INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Considerando el mapa de peligro sísmico para Lima Metropolitana y Callao, se estima la cantidad de instituciones educativas ubicados y/o expuestas según el nivel de peligro. La Tabla 21, indica la cantidad de Instituciones Educativas, alumnos y docentes que se encontrarían dentro de cada zona de riesgo. Cabe señalar que para este análisis, únicamente se toma en cuenta el mapa de peligro por sismo, mas no se hace la evaluación de los factores de vulnerabilidad en cada una de ellas. No se estiman los daños y/o impactos que se generarían.

**Tabla 21:** Cantidad de instituciones educativas, alumnos y docentes expuestos.

NIVEL DE RIESGO	N° I.E.	N° ALUMNOS	N° DOCENTES
BAJO	228	18,727	1,123
MEDIO	5,723	791,959	43,313
ALTO	4,016	469,324	26,100
MUY ALTO	1,052	97,538	4,657
ND	488	35,581	1,643
<b>SUMA</b>	<b>11,019</b>	<b>1,377,548</b>	<b>75,193</b>

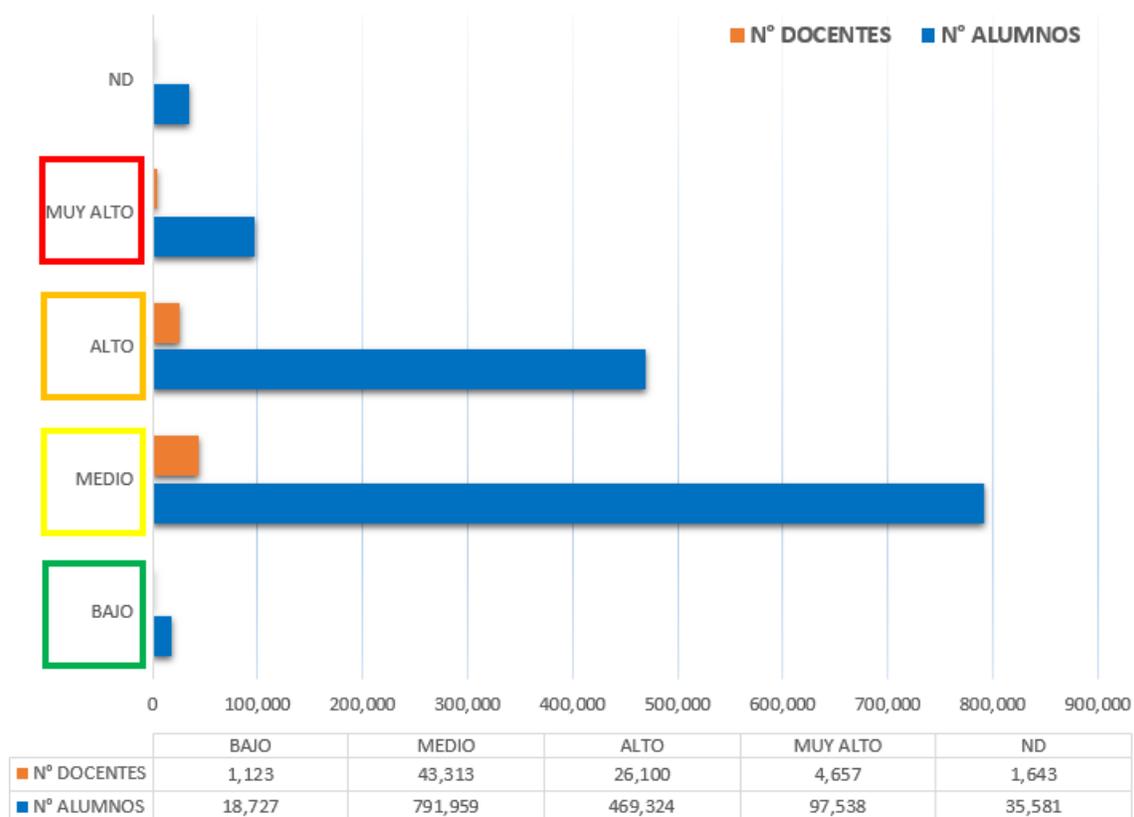
La Figura 31, muestra que cerca del 50% de instituciones educativas se encuentran en zona de peligro Medio, 35% en zonas de peligro Alto y 9% en zonas de peligro Muy Alto y el 4% restante se ubica en zonas que no cuentan con mapa de riesgo sísmico.



**Figura 31:** Instituciones educativas expuestas por nivel de riesgo.

La Figura 32, muestra que la mayor cantidad de alumnos y docentes se ubican en zona de riesgo Medio, con un total de 469,324 alumnos y 26,100 docentes.

### Cantidad de Alumnos y Docentes Expuestos



**Figura 32:** Cantidad de alumnos y docentes expuestos de acuerdo al nivel de riesgo.

#### 7.7.2. CENTROS DE SALUD

De acuerdo al MINSA, los centros de salud se clasifican en función a su grado de complejidad y características funcionales comunes, contando para ello con Unidades Productoras de Servicios de Salud (UPSS). La Tabla 22, muestra las categorías de los establecimientos de salud de acuerdo al MINSA.

La cantidad de centros de salud que se encuentran ubicados y/o expuestos en zonas de peligro por sismo, de acuerdo a su nivel, es la siguiente: 51 centros de salud ubicados en zonas de peligro Muy Alto, 149 en zonas de peligro Alto, 201 en zonas de peligro Medio y 14 en zonas de peligro Bajo (Tabla 23).

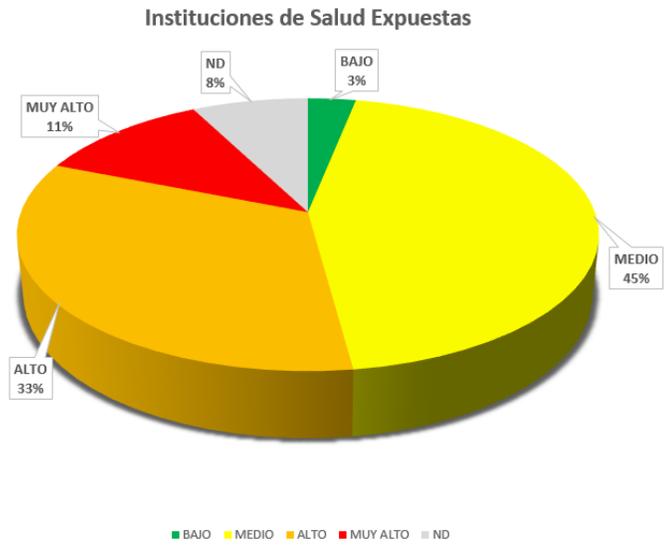
**Tabla 22:** Categorías de establecimientos de salud por niveles de atención, de acuerdo a la Norma Técnica de Salud.

<b>PRIMER NIVEL DE ATENCIÓN</b>		CATEGORÍA I-1
		CATEGORÍA I-2
		CATEGORÍA I-3
		CATEGORÍA I-4
<b>SEGUNDO NIVEL DE ATENCIÓN</b>	Establecimientos de salud de Atención General	CATEGORÍA II-1
	Establecimientos de salud de Atención Especializada	CATEGORÍA II-E
<b>TERCER NIVEL DE ATENCIÓN</b>	Establecimientos de salud de Atención General	CATEGORÍA III-1
	Establecimientos de salud de Atención Especializada	CATEGORÍA III-E
		CATEGORÍA III-2

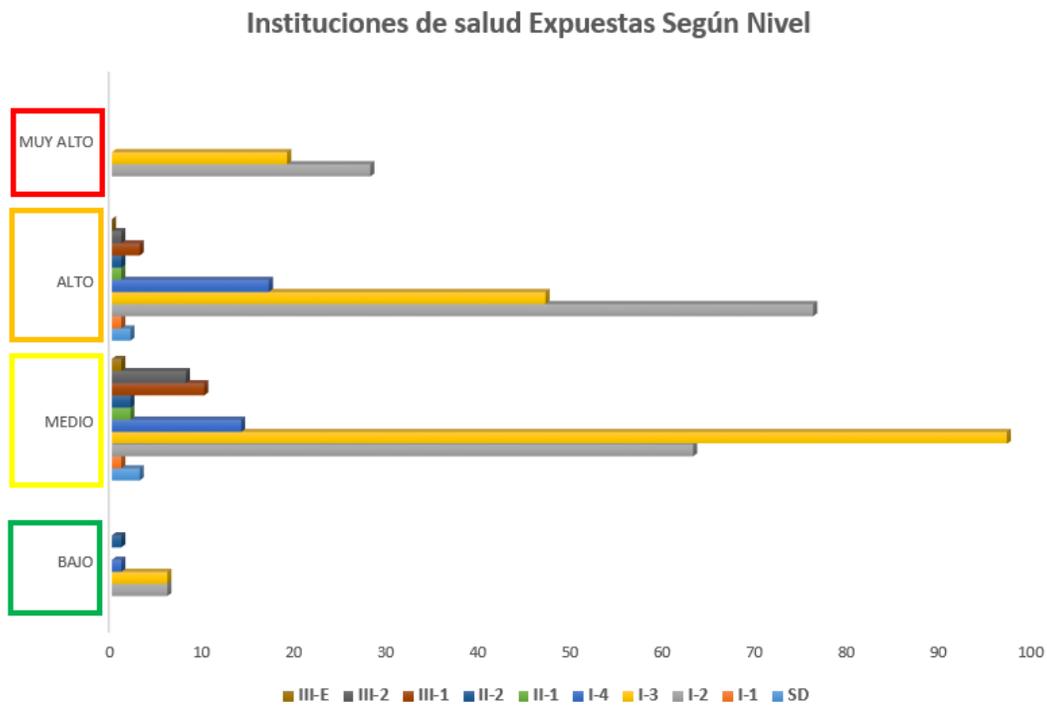
**Tabla 23:** Cantidad de instituciones de salud expuestas.

NIVEL DE PELIGRO	NIVEL DE ATENCIÓN										TOTAL
	SD	I-1	I-2	I-3	I-4	II-1	II-2	III-1	III-2	III-E	
<b>BAJO</b>			6	6	1		1				14
<b>MEDIO</b>	3	1	63	97	14	2	2	10	8	1	201
<b>ALTO</b>	2	1	76	47	17	1	1	3	1	0	149
<b>MUY ALTO</b>			28	19							51
<b>ND</b>		1	21	11	1						34
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>194</b>	<b>180</b>	<b>37</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>449</b>

La Figura 33 muestra que cerca del 45% de centros de salud se ubica en zonas de peligro Medio, 33% en zonas de peligro Alto, 11% en zonas de peligro Muy Alto y únicamente 3% en zonas de peligro Bajo. Asimismo, la Figura 34 muestra la distribución de instituciones de salud de acuerdo al nivel de riesgo y a su nivel de complejidad.



**Figura 33:** Cantidad de instituciones de salud expuestas de acuerdo al nivel de riesgo.



**Figura 34:** Instituciones de salud expuestas, según nivel de peligro sísmico.

## VIII. CONCLUSIONES

- El escenario crítico por sismo en Lima Metropolitana y Callao se basa en un sismo de magnitud 8.8Mw, el cual inevitablemente generaría un tsunami en la costa central de Perú.
- Se estima que un total de 184 distritos se verían expuestos y/o sometidos a intensidades superiores a VIII (MM), 596 a intensidades entre V-VII (MM) y 1,083 a intensidades entre II-IV (MM).
- La cantidad de población y viviendas de las regiones y provincias que estaría sometida a intensidades mayores a VIII (MM), zona de mayor impacto, sería de acuerdo al siguiente detalle: Ancash se estima un total de 40,880 habitantes y 7,787 viviendas expuestas, Ica se estima un total de 420,765 habitantes y 42,301 viviendas expuestas, Lima se estima un total de 9'838,897 habitantes y 2'035,630 viviendas expuestas, y para el Callao se estima un total de 995,810 habitantes y 212,587 viviendas expuestas.
- Debido a la proximidad al área de ruptura del sismo esperado, se estima que el 100% de la población y viviendas de Lima Metropolitana y Callao se verían sometidos a sacudimientos del suelo equivalentes a intensidades mayores a VIII (MM). En esta zona se espera importante destrucción y efectos secundarios.
- De acuerdo a la cantidad de población y viviendas existentes al 2017, se estima que cerca de 332,354 personas y 82,477 viviendas se encontrarían expuestos al peligro de tsunami.
- Un total de 5,723 (50%) instituciones educativas se encuentran en zona de peligro por sismo con nivel Medio, 4,016 (35%) en zonas de peligro con nivel Alto y 1,052 (9%) en zonas de peligro con nivel Muy Alto.
- Un total de 51 centros de salud se ubican en zonas de peligro por sismo con nivel Muy Alto, 149 en zonas de peligro con nivel Alto, 201 en zonas de peligro con nivel Medio y 14 en zonas de peligro con nivel Bajo.
- Tomando en cuenta el escenario de sismo planteado, los daños que se estiman para Lima Metropolitana y Callao son los siguientes: 110,313 fallecidos, 2'096,824 heridos, 353,497 viviendas destruidas y 623,882 viviendas inhabitables.

## IX. REFERENCIAS

- APESEG (2005).** Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao, CISMID, 10 pag.
- CENEPRED (2013).** Manual para la evaluación de riesgo originado por fenómenos naturales. 2da Versión.
- CISMID (2005).** Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 42 distritos de Lima y Callao: Ayuda Memoria, Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de ingeniería Civil.
- CISMID (2016).** Actualización de la microzonificación sísmica de la ciudad de Lima. The international symposium for CISMID 25th Anniversary. Paper n° ts-6-1.
- Condori, C., Tavera, H. (2012).** Áreas probables de ruptura sísmica en el borde occidental del Perú a partir de la variación del parámetro “b”. Bol. Soc. Geol. Perú 106: 23-36.
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avoac, J-P. (2011).** Interseismic coupling and seismic potential along Central Andes subduction zone. J. G. R. Vol 116, B12405, doi:10.1029/2010JB008166.
- Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990).** Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. Bull. Seism. Soc. Am., 80, 551-576.
- INEI (2017).** Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades indígenas.
- INGEMMET (2015).** Boletín 59 Peligros Geológicos en el área se Lima Metropolitana y la Región Callao. ISSN 1560-9928. Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 59.
- PREDES (2009).** Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, Perú.
- PREDES (2012).** Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran intensidad en Lima Metropolitana y Callao. DEIS (2012).
- Pulido et al. (2015).** Scenario source model and strong motion for future mega-earthquakes: Application to Lima, Central Perú. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 105, N° 1, 368-386 p.
- Saaty, T.L. (1980).** The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- Silgado, E. (1978).** Historia de los sismos más notables ocurridos en Perú, 1513-1974. Inst. Geol. Minero de Perú, 131 pag.
- SIRAD (2010).** Investigación sobre el peligro sísmico en el área Metropolitana de Lima y Callao. Informe de Actividades N° 3. Proyecto SIRAD Sistema de información sobre recursos para la atención de desastres. Volumen 13.
- SISFOH (2012-2013).** El Sistema de Focalización de Hogares.
- Tavera (2017).** Actualización del escenario por sismo, tsunami y exposición en la región central del Perú.
- Tavera, H. (2014).** Escenario de sismo y tsunami en el borde occidental de la región central de Perú.
- Villegas-Lanza, J. C., M. Chlieh, O. Cavalié, H. Tavera, P. Baby, J. Chire-Chira, and J.-M. Nocquet (2016),** Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2016JB013080.
- Wiemer, S. y F. R. Zúñiga (1994).** ZMAP, EOS Transactions, 75, American Geophysical Union.
- Yauri et al. (2011).** Tsunami hazard assessment for the central coast of Peru using numerical simulations for the 1974, 1966 and 1746 earthquakes. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering.