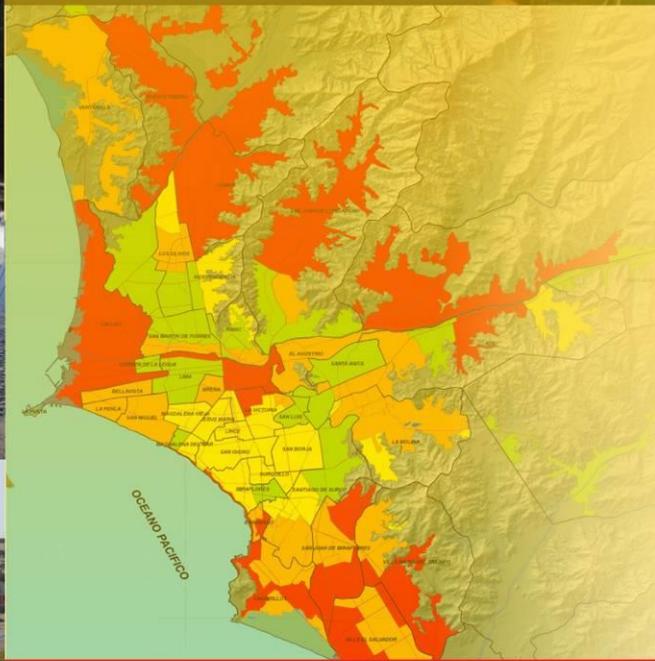




DISEÑO DE ESCENARIO SOBRE EL IMPACTO DE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO, PERÚ



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE



© Centro de Estudios y Prevención de Desastres – PREDES – Abril 2009

Martín de Porres 161 - San Isidro - Lima - Perú
Teléfonos: 051 1 2210251; 051 1 4423410
E mail: postmast@predes.org.pe
Web: <http://www.predes.org.pe>

Documento del Proyecto

“Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao”

Nombre del solicitante
Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Coordinación INDECI:
Ing. Alberto Bisbal Sanz - Director Nacional de Prevención

Financiamiento:
Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE

Ejecución:
Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES

Equipo Técnico de PREDES

Arq. José M. Sato Onuma, M. Ing	– Coordinador del Proyecto
Arq. Roberto Medina Manrique	– Especialista en Vulnerabilidad
Bach. Ing. Alfonso Díaz Calero	– Especialista en SIG e Integración de datos
Bach. Arq. Fabiola Díaz Pantaleón	– Asistente del Proyecto

Asesor en modelamiento SIG y dimensionamiento de Afectación:
Dr. Ing. Miguel Estrada Mendoza

Apoyo Técnico
Red Humanitaria Nacional

Edición Final, diseño y diagramación:
Héctor Chambi Olgún
Arq. Roberto Medina Manrique

Fotografías:
Banco de fotos PREDES / ver referencias

Queda terminantemente prohibido su impresión o difusión sin permiso expreso del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

AGRADECIMIENTOS:

Para la realización de este proyecto, el concurso de las siguientes personas e instituciones ha sido de fundamental importancia:

Ángel Chávez Deza - Oficial Nacional de Programa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) - Embajada de Suiza,

Dr. Hernando Tavera – Investigador Científico Superior del Instituto Geofísico del Perú – IGP

Dr. Ing. Carlos Alberto Zavala Toledo – Director del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres CISMID

Ana María Rebaza – Office for the Coordination of Humanitarian Affairs OCHA / Organización de las Naciones Unidas.

A todos ellos va nuestra gratitud por los acertados aportes recibidos.

Capítulo 1	
INTRODUCCIÓN Y ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO	
1.1. Introducción	6
1.2. Antecedentes del estudio	8
1.3. Aspectos Básicos	10
1.3.1. Objetivos del Estudio	10
1.3.2. Metodología del Estudio	10
1.3.3. Alcances del Estudio	12
1.3.4. Contenido del trabajo	13
Capítulo 2	
ESTIMACIÓN DEL PELIGRO Y LA VULNERABILIDAD ANTE SISMOS Y TSUNAMI	
2.1. Estimación del Peligro Sísmico	15
2.1.1. Criterios de estimación del Peligro	15
2.1.2. Zonificación Sísmica de Lima Metropolitana y Callao	16
2.2.- Estimación del Peligro por Tsunami	18
2.2.1. Área de peligro por tsunامي en Lima Metropolitana y Callao	18
2.2.2. Criterios de estimación del peligro por tsunامي	19
2.3.- Estimación de la Vulnerabilidad	23
2.3.1. Método para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Lima Metropolitana y Callao	23
2.3.1.1. Identificación de Sectores Homogéneos por tipo de edificación	23
2.3.1.2. Indicadores de estimación de vulnerabilidad.	25
Capítulo 3	
ESTIMACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO Y MAGNITUD DE LOS IMPACTOS	
3.1. Definición y Características del Escenario de Riesgo Sísmico en Lima	37
3.2. Análisis de Niveles de riesgo de edificaciones por sismo	39
3.3. Descripción de los niveles de impacto y daños en el escenario propuesto para Lima Metropolitana y Callao	42
3.3.1. A nivel de población y vivienda	42
3.3.2. Avance a nivel de equipamiento básico, estaciones de servicio y bomberos	44
Capítulo 4	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1. Conclusiones	47
4.2. Recomendaciones	49
ANEXOS	
Anexo A. Información obtenida para el estudio	52
Anexo B. Mapas de zonificación sísmica a nivel de Lima Metropolitana y Callao (CISMID) y tabla de datos de tipo de suelo por sectores	53
Anexo C. Mapa de la Zona de disturbación, líneas de refracción, cálculo de llegada de primera ola y niveles de inundación para determinar el peligro por tsunامي asociado al escenario de sismo.	56
Anexo D. Mapa de cálculo de llegada de la primera ola a consecuencia de un tsunامي asociado al escenario sísmico en el Callao	57
Anexo E. Tabla de tiempos de llegada de primera ola por línea de refracción.	58
Anexo F. Cuadro de escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MM-56)	59
Anexo G. Tabla de datos base, tablas y mapas de de variables de vulnerabilidad consideradas a nivel sector en Lima Metropolitana y Callao: Estado de conservación, Altura de Edificación, Material de Construcción, Tipo de vivienda.	60
Anexo H. Mapa de estimación de niveles de riesgo y daños de viviendas por sector.	66
Anexo I. Tabla de daños en población y viviendas de acuerdo a niveles de riesgo sísmico por sector.	68
Anexo J. Mapa de estimación de niveles de riesgo y área de peligro de inundación por tsunامي asociado.	72
Anexo K. Mapa de ubicación de centros educativos por tipo de suelo, en Lima Metropolitana y Callao	73
Anexo L. Mapa de ubicación de principales establecimientos de salud, por tipo de suelo en Lima Metropolitana y Callao.	77
Anexo M. Mapa de ubicación de estaciones de servicio por tipo de suelo en Lima Metropolitana y Callao.	78
Anexo N. Mapa de ubicación de primeras estaciones de bomberos por tipo de suelo en Lima Metropolitana y Callao.	79
Anexo O. Resumen del estudio de WAPMEER	80
Anexo P. Guía de Aplicación para los procesos de automatización y caracterización del impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao.	82
Anexo Q. Lista de acrónimos	92
Anexo R. Bibliografía	93

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN Y ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.1. Introducción

A nivel internacional como en el Perú, se producen cuantiosos daños a consecuencia de movimientos sísmicos. La razón más importante, a nuestro modo de ver, es el crecimiento no planificado y sin control de las ciudades ubicadas en zonas con alto peligro sísmico, ocupando zonas denominadas no urbanizables,¹ y generando el riesgo de sufrir grandes pérdidas humanas, materiales y económicas en caso de materializarse un terremoto.

De acuerdo a información del *United States Geological Survey* (USGS),² el número anual promedio de terremotos con magnitud entre 7 y 7.9 en la escala de Richter, es de 18 y para terremotos con magnitud mayor a 8 es 1 (ver Tabla 1). Este promedio no ha variado con los años, sin embargo, los daños se han incrementado. Estos daños incluyen víctimas mortales, cuantiosos daños materiales y miles de personas damnificadas. Como ejemplos, se puede citar el terremoto de Taiwán del 20 de septiembre de 1999, de magnitud 7.6, que dejó 2400 muertos, 50.000 damnificados y 53.000 edificios dañados, con pérdidas estimadas en 14.000 millones de dólares; el terremoto de Turquía del 17 de agosto de 1999, de magnitud 7.4, produjo 830 muertos, cerca de 600.000 damnificados 82.000 viviendas dañadas y pérdidas estimadas entre 3.000 y 6.500 millones de dólares; y el terremoto de Sichuan (China) del 12 de mayo del 2008, de magnitud 7.9, que produjo 69.227 muertos, 374.643 heridos y 17.923 personas desaparecidas.

Tabla 1. Frecuencia de Terremotos basados en observaciones desde 1900 (USGS)

Descripción	Magnitud	Promedio Anual
Destructivo	>8	1
Grande	7 – 7.9	18
Fuerte	6 – 6.9	120
Moderado	5 – 5.9	800
Ligero	4 – 4.9	6.200 (estimado)
Menor	3 – 3.9	49.000 (estimado)
Muy pequeño	<3.0	Magnitud 2-3: cerca 1.000 por día Magnitud 1-2: cerca de 8000 por día

Fuente: USGS

Nuestro país se encuentra ubicado dentro del denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” y casi al borde del encuentro de dos placas tectónicas, la Sudamericana y la de Nasca, en donde se produce el efecto de subducción, el que ha provocado un gran número de sismos de gran poder destructivo en la parte occidental de nuestro territorio. Por otro lado, se producen sismos locales y regionales que tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales; estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, tienen un gran poder destructor.

Adicionalmente a lo señalado, debemos tener presente que existe un silencio sísmico en la región costa centro de nuestro país, donde se ubica Lima Metropolitana y Callao (con casi la tercera parte de la población del país). Gran parte del crecimiento de la ciudad ha sido invasivo y originado en la llegada de migrantes rurales que se han asentado en los arenales de la periferia, en quebradas de las estribaciones andinas o han ocupado antiguas viviendas del centro histórico, lo que ha incrementado exponencialmente los problemas de urbanismo

¹ Zonas con altas pendientes, con suelos sueltos o deleznales, principalmente arenosos, antiguos rellenos sanitarios, cauces de quebradas, antiguas zonas agrícolas inundables por grandes avenidas de ríos, zonas inundables por tsunamis, etc. Estas zonas antes del crecimiento de las ciudades estaban fuera de sus límites (Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Independencia, Arq. Roberto Medina M)

² De: Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas, por Ulises Mena Hernandez, Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio de 2002.

de Lima, y con ello su vulnerabilidad sísmica.³ Además, es sede de las principales actividades administrativas, económicas a nivel público y privado, y nodo central de las redes de transporte terrestre, aéreo y marítimo del Perú. Es así que, Lima está expuesta a un gran impacto destructivo producto de la materialización del peligro sísmico.

Este impacto no ha sido estudiado hasta la fecha con la profundidad requerida, aparte que la ciudad de Lima carece de un Plan de Emergencia y Plan de Contingencia ante Terremotos y Tsunamis, así como de una planificación de actividades y acciones de prevención que deben realizar los sectores y/o instituciones con relación a este tema.

Este documento, de carácter preliminar, parte del interés del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el oportuno apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) ante la necesidad de contar, en forma rápida, con información para ser usada en una simulación de protocolo de actuación básico por desastre sísmico en Lima y Callao.⁴ Constituye un primer intento de estimación del nivel de exposición ante un sismo severo y un tsunami asociado, en un área donde viven los más de 8 millones de habitantes de Lima Metropolitana y Callao⁵, así como la estimación de daños a nivel de población y viviendas. Para esto se plantea un solo escenario, en base a la información existente y disponible por parte de entidades públicas, y ejecución en un limitado tiempo de dos meses.

Para este estudio, la estimación del riesgo sísmico de Lima Metropolitana y Callao engloba dos aspectos principales: el peligro sísmico y un tsunami asociado; y la estimación de la vulnerabilidad de la población y las estructuras residenciales. Lamentablemente, el conocimiento actual de estos dos aspectos en Lima Metropolitana y Callao es limitado por la escasa cantidad de estudios sobre la predicción, ubicación y cuantificación de la fuerza del sismo de acuerdo al tipo de suelo, mientras que para la estimación de la vulnerabilidad de las estructuras residenciales, se carece de información actual de detalle sobre las características de las edificaciones existentes, especialmente cualitativa, así como de densidad poblacional.⁶

Para el análisis de la información se ha utilizado un sistema de información geográfica, que ha facilitado la integración de información provista de diferentes fuentes y sobre todo, la visualización de los resultados de manera georreferenciada, permitiendo la modelización del escenario de manera visual.

Cabe mencionar que paralelamente a este estudio, a solicitud de COSUDE, se entregó información a la institución suiza WAPMEER (Agencia Mundial para Monitoreo Planetario y Reducción del Riesgo Sísmico) que realizó sus propios estimados preliminares de pérdidas por posibles sismos futuros cerca a Lima, del cual se incluye un resumen como anexo.⁷

Consideramos necesario generar información más detallada e instrumentos específicos con la finalidad de concertar acciones para brindar una mayor seguridad a Lima Metropolitana y Callao; así como, brindar a las entidades de los Sistemas Nacional y Regionales de Defensa Civil elementos básicos para la reducción del riesgo de desastres, tanto a nivel de prevención como de preparativos para la respuesta.

³ **Maskrey A. y Romero Gilberto.** Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima Metropolitana. Lima: PREDES; 1986.

⁴ La simulación se llevó a cabo los días 12 y 13 de marzo de 2009

⁵ 7 605,742 habitantes en Lima Metropolitana y 415,888 habitantes en la Provincia Constitucional del Callao, según el INEI – Censos Nacionales 2007, XI de Población y VI de Vivienda.

⁶ A la fecha, marzo de 2009, el censo de población y vivienda realizado en el 2007, por el INEI, se encuentra a nivel de distrito. Esta entidad nacional todavía no procesa la información a nivel de manzana. La información anterior data del censo de 1993, por lo que se encuentra obsoleta.

⁷ **Wyss M., Trendafiloski, G., Rosset, P., Wyss B.** Preliminary loss estimates for possible future earthquakes near Lima, Peru. World Agency for Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction –WAPMEER. Switzerland, 2009.

1.2. Antecedentes del Estudio

Lima y la región central de la costa del Perú han sufrido una larga lista de eventos sísmicos, que han sido documentados desde la conquista española, ocasionando inmensa destrucción en los últimos cinco siglos. La Tabla 2 resume los datos de éstos terremotos.

Podemos decir que las características del suelo tendrán una importancia preponderante en el nivel de daños por un terremoto de gran magnitud. Lima Metropolitana se asienta en su mayor parte sobre una suave llanura de material aluvional, con pendiente de 4 á 5% en dirección NE-SO. Éstos depósitos aluviales proceden de las cuencas del río Rímac o del río Chillón, ríos de pronunciada pendiente que arrastran abundante material erosionado. El suelo de la zona central de Lima, conglomerado de canto rodado y grava en una matriz limo-arenosa y con una napa freática muy profunda, es sísmicamente adecuado por su compacidad y resistencia, mostrando capacidades de carga promedio de 3 kg/cm². Más cerca del litoral, en la parte central del Callao, encontramos estratos superficiales de capas de arena limosas arcillosas y una napa freática a 2 ó 3 metros, que permiten una presión admisible de 0,5 á 1 kg/cm². Por otro lado, en La Molina el suelo es de sedimentos de limo-arena-arcilla con gravas y lodos, y la napa freática está a unos 13 metros, siendo la resistencia del terreno de 0,5 á 1,5 kg/cm². Asimismo, se reconocen como suelos sísmicamente desfavorables los de sedimentos aluviales arenosos en Chorrillos, los acantilados costeros y antiguos depósitos de basura en las riberas del río Rímac y San Martín de Porres.⁸

Existen diversos estudios sobre el peligro y la vulnerabilidad ante un sismo severo seguido de un tsunami en Lima Metropolitana, realizados por instituciones y expertos reconocidos.⁹¹⁰¹¹¹²¹³ Sin embargo, no se cuenta con un estudio de modelación del escenario de un grave sismo que afectaría Lima Metropolitana y el Callao, que nos permita conocer el posible impacto que se generaría, especialmente en la infraestructura y servicios básicos, para adoptar las medidas de prevención y preparación que sean necesarias.

A continuación se presenta un cuadro sobre los terremotos destructivos en el litoral central, ocurridos en los últimos cinco siglos.

⁸ **Nelson Morales-Soto, Carlos Zavala.** Terremotos en el Litoral Central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2008; 25(2): 217, 217-24.

⁹ **Kuroiwa J.** Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos: investigaciones efectuadas en el periodo 1973-1976. Lima. Defensa Civil; 1977.

¹⁰ **Kuroiwa J.** Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1997.

¹¹ **Tavera H, Heras H.** Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de "b". Bol. Soc. Geol. Perú. 2002; 93: 63-71.

¹² **Roque R, Trefogli, C.** Actualización del plan de evacuación ante tsunamis en las costas del Callao y evaluación post-desastre (1995- 1996). [Tesis de Bachiller] Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1996.

¹³ **Instituto Nacional de Desarrollo Urbano.** Diagnóstico sobre vulnerabilidad y riesgo de las áreas críticas de Lima Metropolitana. Lima: Ministerio de Vivienda; 1982.

Tabla 2. Terremotos destructivos ocurridos en el litoral central del Perú en los últimos cinco siglos. ¹⁴

Fecha hora	Características del evento	Descripción de los efectos
1552, julio 2 05.30 h		Algunos daños en Lima. El rey Carlos V ordenó que la altura de las construcciones se limitara a seis varas (5,2 m).
1578, junio 17 12.05 h	Intensidad: VII MM	Destrucción de casas, templos y el palacio del Virrey.
1586, julio 09 19.00 h		Destrucción de Lima y Callao, estuvo acompañado por maremoto. Cerca de 22 muertos.
1609, octubre 19 20.00 h		Destrucción similar al anterior. La Catedral sufrió fuertes daños.
1630, noviembre 27 10.30 h		Destrucción de algunos edificios, varios muertos.
1655, noviembre 13 14.45 h		Terremoto destructivo en Lima, agrietó la Plaza de Armas y la iglesia de los Jesuitas. Daños en el Callao.
1678, junio 17 19.45 h		Se produjo fuerte destrucción en Lima.
1687, octubre 20 04.15 h	Magnitud: 8,0 (Ritcher) Intensidad: IX MM	Fue el terremoto más destructor ocurrido en Lima desde su fundación. Lima y Callao quedaron reducidos a escombros. El maremoto en el Callao causó 100 muertes.
1746, octubre 28 22.30 h	Intensidad: X MM Epicentro: 11,6° S y 77,5° O	Es el terremoto más fuerte ocurrido en la historia de Lima, donde de 3000 casas solo 25 quedaron en pie, muriendo 1141 de sus 60 mil habitantes. El Callao fue totalmente destruido por el sismo y el tsunami que lo sucedió, muriendo 4800 de sus 5 mil habitantes. Fue sentido desde Guayaquil hasta Tacna.
1806, diciembre 01 (7,10)		Fuerte sismo de larga duración (1,5 a 2 minutos). Algunos daños.
1828, marzo 30		Fuerte sismo, 30 muertos.
1897, septiembre 20 11.25 h		Fuerte sismo causó daños en las edificaciones. En el Callao la intensidad fue muy alta.
1904, marzo 04 05.15 h	Magnitud: 7,2 (Ritcher) Intensidad: VII-VIII MM	Los mayores daños ocurrieron en La Molina, Chorrillos y el Callao.
1932, junio 19 21.23 h		Algunos daños en Lima, daños graves en el Rímac y el Callao.
1940, mayo 24 (11) 11.35 h	Magnitud: 8,2 Ms (Ritcher) Intensidad: VIII MM Aceleraciones = 0,4 g Epicentro: 11,2°S y 77,79°O (120 km NO de Lima) Hipocentro: 50 Km	Cinco mil casas destruidas en el Callao, 179 muertos y 3 500 heridos en Lima, 80% de vivienda colapsada en Chorrillos, el malecón se agredió y hundió en tramos. Grandes daños en construcciones antiguas en Lima. Daños en construcciones de concreto armado en el Callao (Compañía Nac. de Cerveza) y 2 edificios de la Universidad Agraria de La Molina. Hundimientos en la zona portuaria con daños a los muelles y la vía férrea. Interrupción de Panamericana Norte por deslizamientos de arena en sector Pasamayo. Tsunami con olas de 3 m de altura que anegó totalmente los muelles.
1966, octubre 17 16.41 h	Magnitud: 7,5 (Ritcher) Intensidad: VIII-IX MM Epicentro: 10,7°S y 78,7° O Hipocentro = 38 Km	Los mayores daños ocurrieron en San Nicolás, a 120 Km de Lima, IX MM, Huacho VIII MM y Puente Piedra. En Lima alcanzó VI MM en la parte central. En las zonas antiguas del Rímac y del Cercado, zonas adyacentes a los cerros y una banda a lo largo del río Rímac, incluyendo el Callao, llegó a VII MM. En La Molina VIII MM. La aceleración registrada fue de 0.4 g y el período predominante 0.1 seg. Los mayores daños se registraron en los edificios de poca altura, en edificios altos hubo grietas en muros de tabiquería.
1970, mayo 31 (12) 15.33 h	Magnitud: 7,8 (Ritcher) Intensidad: VIII MM Hipocentro: 35 km Aceleraciones: 0,1g Epicentro: 09,2° S y 78,8° O	Uno de los más destructivos sismos en el siglo en el hemisferio sur. La mayor destrucción ocurrió a 350 Km de Lima. Causó 65 mil muertes, 160 mil heridos y daños estimados en 550 millones de US\$. En Lima registró aceleraciones de 0,1 g a pesar que el epicentro estuvo a 400 Km al NO. Los mayores daños ocurrieron en La Molina.
1974, octubre 3 09.31 h	Intensidad: IX MM Aceleraciones=0,26g Epicentro: 12° S y 77,8° O	Con epicentro localizado a 70 Km al S-SW de Lima registró aceleraciones máximas de 0.26 g y período dominante de 0.2 seg. Los mayores daños ocurrieron en La Molina, VIII-IX, donde 2 edificios de concreto armado colapsaron y otros resultaron muy dañados. En el Callao y Chorrillos, VII -VIII algunas construcciones de concreto armado sufrieron daños y las de adobe colapsaron.
2007, agosto 15 ¹⁵ 18.41 h	Magnitud: 7,0 Ritcher, 7,9Mw Intensidad MM: Pisco VII-VIII, Lima VI, Huancavelica V Epicentro: 60 km de Pisco Hipocentro: 40 km	El sismo causó la muerte a 593 personas, heridas a 1291. Destruyó 48 208 viviendas, otras 45 500 quedaron inhabitables y 45 813 fueron afectadas; 14 establecimientos de salud fueron destruidos y 112 afectados.

¹⁴ Nelson Morales-Soto, Carlos Zavala. Terremotos en el Litoral Central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2008; 25(2): 219

¹⁵ Tavera H. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007. (7.9 Mw). Lima: Instituto Geofísico del Perú; 2008.

1.3 Aspectos Básicos

1.3.1. Objetivos del Estudio

1.3.1.1. Objetivo General

Apoyar al fortalecimiento del Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI) a través de la elaboración de un estudio de construcción de escenario por terremoto en Lima y el Callao, que permita planificar futuras acciones de prevención de riesgos y medidas de mejora para los mecanismos de respuesta rápida, sirviendo de insumo para la elaboración del Plan de Operaciones de Emergencia y/o Plan de Contingencia ante un terremoto.

1.3.1.2. Objetivos Específicos

1. Construir el escenario de desastre sísmico en Lima Metropolitana y Callao, de producirse hipotéticamente un terremoto tipo 8 en escala de Richter.
2. Estimar, a nivel de distritos de Lima y el Callao, el posible impacto de un sismo de gran magnitud y un tsunami en Lima Metropolitana y Callao sobre las personas y sus viviendas, e identificar según niveles, el grado de afectación.

1.3.2. Metodología del Estudio

Este estudio se realizó mediante una coordinación estrecha entre el INDECI (a través de la Dirección Nacional de Prevención - DNP) y los especialistas de PREDES, para determinar la profundidad del estudio, en base a las limitaciones de tiempo e información disponible. Asimismo, se contó con la valiosa contribución del Dr. Hernando Tavera del IGP para determinar los parámetros del probable sismo y la asesoría del Dr. Miguel Estrada del CISMID para aspectos técnicos.

Para plantear los indicadores necesarios en el diseño del modelo de impacto hemos construido una hipótesis que guíe esta investigación:

Hipótesis

El conocimiento del nivel de peligro existente y la estimación de la vulnerabilidad de Lima Metropolitana y Callao a nivel de distrito, nos permite generar escenarios de los posibles impactos de un sismo severo y tsunami en la vida y salud de las personas, construcciones y actividades, para tomar medidas de mitigación y prevención.

De acuerdo a esta hipótesis, se determinó trabajar con fuentes secundarias existentes, conseguidas por INDECI y PREDES, y con el apoyo de COSUDE.¹⁶ La información conseguida es muy limitada, por lo que queda la tarea de construirla para poder obtener resultados de mayor precisión.

El ámbito de aplicación en Lima Metropolitana y Callao está determinado por el “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao” del CISMID (2005), que

¹⁶ Ver anexo A

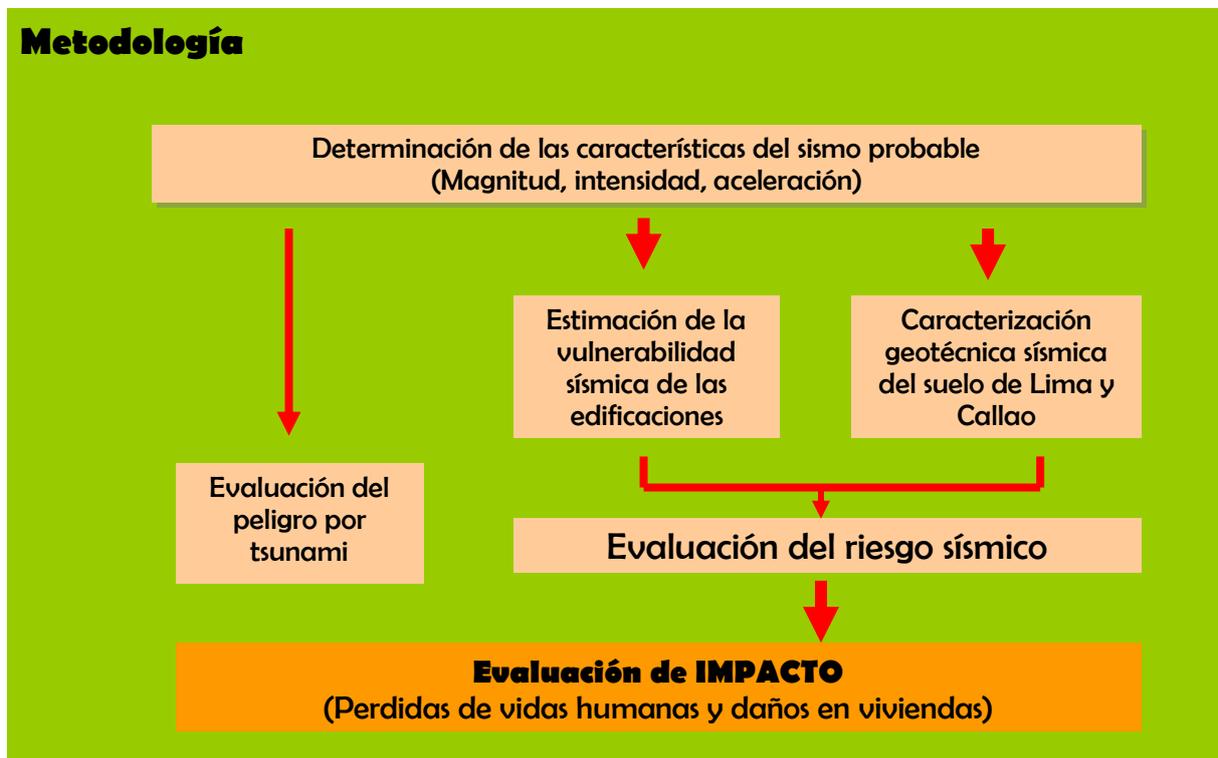
no incluye distritos como Santa Rosa y los del extremo Sur de Lima (Pachacámac¹⁷, Lurín, Punta Negra, Punta Hermosa, San Bartolo, Santa María y Pucusana).

Con respecto al tsunami provocado por el sismo, el estudio calcula el peligro, altura máxima de ola y su tiempo de llegada a la costa de Lima.

Sobre una base geográfica georreferenciada en un Sistema de Información Geográfica,¹⁸ se ha construido la simulación informática que presenta el grado de afectación directa de población y vivienda ante el escenario del sismo planteado, por sectores homogéneos, basados en los distritos de Lima Metropolitana y Callao. Este escenario se plantea en un día de semana por la madrugada (4 a.m.), donde la gran mayoría de las personas se encuentra en sus viviendas.

Como un avance de estimación de riesgo de infraestructura importante, se presenta la ubicación, sobre la zonificación sísmica del CISMID, de instituciones educativas, establecimientos de salud (hospitales/clínicas), estaciones de bomberos y estaciones de servicio (Grifos de combustible). Se incluye además las vías principales de Lima Metropolitana y Callao, para futuras aplicaciones en simulacros y planes.

En resumen, la metodología usada es la siguiente:



Esta metodología permite:

- Una instrumento sencillo y fácil de manejar por el INDECI y otras instituciones, para la construcción de protocolos, plan de emergencia y planes de prevención.
- Disponibilidad de resultados en un plazo corto de tiempo.
- Posibilidad del análisis integral del riesgo sísmico y estimar impactos directos en Lima Metropolitana y Callao.

¹⁷ El estudio incluye sólo una parte del área ocupada del distrito de Pachacámac.

¹⁸ La "Guía de aplicación para los procesos de automatización y caracterización del impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao" se incluye como Anexo M.

- Servir de base para realizar a mediano plazo otros productos más precisos y detallados.
- Desarrollar un sistema abierto y versátil, pudiendo modificarse con sencillez en base a una actualización de datos en el tiempo.
- Realizar el escenario de simulación de daños provocados por terremotos en sectores urbanos basados en los distritos y representar los resultados cartográficamente mediante un Sistema de Información Geográfica.

1.3.3 Alcances del estudio

1.3.3.1. Área del estudio

Este estudio para Lima Metropolitana y Callao (Lima Metropolitana y el Callao) se limita a 41 de sus 48 distritos, evaluados en el estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico del CISMID del año 2005, por ser la fuente principal en el tema de estimación del peligro sísmico.

Tabla 3.- Distritos de Lima y Callao incluidos en el estudio

Lima Norte	Lima Sur	Lima Central	Lima Este	Callao
1. Ancón	9. Chorrillos	13. Barranco	28. Ate Vitarte	36. Bellavista
2. Carabaylo	10. San Juan de Miraflores	14. Breña	29. Chaclacayo	37. Callao
3. Comas	11. Villa María del Triunfo	15. Cercado de Lima	30. Lurigancho (Chosica)	38. Carmen de la Legua
4. Independencia	12. Villa El Salvador	16. Jesús María	31. Cieneguilla	39. La Perla
5. Los Olivos		17. Lince	32. La Molina	40. La Punta
6. Puente Piedra		18. Magdalena	33. San Juan de Lurigancho	41. Ventanilla
7. Rímac		19. Miraflores	34. Santa Anita	
8. San Martín de Porres		20. Pueblo Libre	35. El Agustino	
		21. San Borja		
		22. San Isidro		
		23. San Luis		
		24. San Miguel		
		25. Surquillo		
		26. Surco		
		27. La Victoria		

1.3.3.2. Parámetros a regir:

Debido a la gran extensión de Lima Metropolitana y Callao (2672 Km² Lima Metropolitana y 146.98 Km² la Provincia Constitucional del Callao) y a la información disponible por parte de entidades públicas y privadas, el nivel de detalle con el que se ha trabajado es el de distrito y, en algunos muy extensos donde se ha conseguido información¹⁹, a nivel de sectores de planificación (áreas homogéneas urbanas).

¹⁹ Esta información se ha recabado principalmente de los Planes de Desarrollo Concertado de los distritos de la ciudad, que se encuentran en sus respectivas páginas web.

Además, de acuerdo a coordinaciones con la DNP se han incluido puntos críticos como infraestructura vital ante la ocurrencia de un sismo, a tener en cuenta en futuros estudios de escenarios. En nuestro caso, al fijar el sismo supuesto a las 4 a.m., cuando la gran mayoría de personas estará en sus casas, se ha estudiado las principales características de las viviendas.

1.3.4. Contenido del trabajo

Este trabajo se divide en cuatro capítulos, los cuales describen la problemática planteada, la metodología de análisis de la estimación del riesgo sísmico y el cálculo de los daños en el escenario fijado.

En el capítulo 1, se describe el estudio, sus antecedentes y aspectos básicos, así como el contenido del trabajo.

En el capítulo 2, se determina el nivel de profundidad del estudio y se hace el análisis general del riesgo sísmico y tsunami asociado de Lima Metropolitana y Callao; el tipo de suelos asociado al peligro y la vulnerabilidad sísmica a nivel distrital y de zonas homogéneas. Este análisis se basa en el estado del arte de estos conceptos, así como del nivel de información secundaria obtenida para cada uno de los ítems, proveniente de instituciones nacionales, y de información del equipo de trabajo. También muestra los procedimientos seguidos para la construcción de la base de datos de este estudio.

En el capítulo 3, se da a conocer el escenario específico de riesgo y el modelo de los posibles impactos, describiendo cualitativa y cuantitativamente estos impactos directos, así como su ubicación espacial en Lima Metropolitana y Callao.

En el capítulo 4, se hace el comentario de las conclusiones generales de los resultados, y las recomendaciones pertinentes para la utilización de los resultados en futuras investigaciones de detalle.

Además, el documento se complementa con los respectivos anexos donde se muestra la información secundaria obtenida para la ejecución de este estudio, los mapas y tablas desagregados del estudio, así como el resumen sobre el estudio realizado por la Institución Científica Suiza WAPMERR, y la guía de aplicación para los procesos de automatización y caracterización del impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao.

Capítulo 2

ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO Y DE TSUNAMI

2.1. Estimación del Peligro Sísmico

2.1.1. Criterios de estimación del Peligro

Lima, a pesar de ser la capital del Perú y tener la tercera parte de su población, así como concentrar las principales actividades político-administrativas, económicas e industriales, carece de un estudio de peligros ante sismos a detalle. Por lo tanto, para estimar el peligro sísmico se ha tomado como base el más reciente estudio realizado sobre el tema, denominado “Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao”, finalizado en abril de 2005 por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID, de la Universidad Nacional de Ingeniería a pedido de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG)²⁰.

La zonificación sísmica Lima y Callao es la información de base para el modelo de impacto sísmico, sintetizando las condiciones locales del sitio que permiten definir las áreas de la ciudad donde se generarían los mayores impactos al producirse un sismo severo. La amplificación sísmica es un efecto de estas condiciones locales de sitio y depende fuertemente de las condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas de la zona en estudio, en este caso de Lima Metropolitana y Callao.

El efecto del tipo de suelo sobre la amplitud y la naturaleza de las ondas sísmicas ha sido reconocido desde hace mucho tiempo como factor crucial en la estimación del Peligro Sísmico. El estudio del CISMID trata de hallar funciones de transferencia, mediante diversas técnicas, con el fin de multiplicar éstas por los espectros fuentes hallados previamente, para así obtener el espectro fuente representativo del sitio a nivel local.

Para esto, se explica los resultados más importantes de este estudio, que apoyan la determinación de la zonificación sísmica de Lima Metropolitana y Callao:

A.- Distribución de Suelos en Lima Metropolitana y Callao

Se identifican zonas geotécnicas que agrupan tipos de suelos con características similares de acuerdo a los perfiles estratigráficos y a las características geomecánicas del terreno encontrado en el área de estudio.

B.- Comportamiento Dinámico del Terreno en Lima Metropolitana y Callao

Para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno en el área de Lima y Callao se han realizado mediciones de microtrepidaciones, consistente en el monitoreo y procesamiento de los registros de microvibraciones ambientales que se producen tanto por fuente naturales como artificiales. Este ensayo geofísico permite determinar el periodo predominante de vibración natural del terreno y en algunos casos el factor de amplificación sísmica, parámetros que definen el comportamiento dinámico del terreno durante un evento sísmico.

Para corroborar los resultados de estos ensayos, en las zonas menos competentes (áreas específicas localizadas en las Zonas II, III y IV), se realizaron análisis de

²⁰ Los resultados de este estudio se limitan a una zonificación sísmica gruesa para distritos en donde se tienen infraestructuras aseguradas. Al no contar con la base de datos original, se ha digitalizado y georreferenciado los planos en extensión pdf, proporcionados por INDECI, lo que da un margen de error considerable en los límites de la zonificación sísmica, especialmente en las correspondientes a zona V.

amplificación sísmica considerando un modelo unidimensional de propagación de ondas y para el caso del distrito de la Molina se ha realizado el análisis de amplificación sísmica con un modelo bidimensional. El análisis unidimensional fue realizado con el programa SHAKE 91 (Schnabel, 1972), utilizando como señal de ingreso los registros de los sismos de Lima de 1966, 1970 y 1974, escalados a cuatro niveles de aceleración máxima: 0.1g, 0.2g, 0.3g y 0.4g. Los resultados de este análisis han permitido definir curvas de factores de amplificación sísmica en las zonas evaluadas para sismos moderados a severos con aceleraciones máximas mayores o iguales a 0.3g. De manera similar, el análisis bidimensional realizado en el distrito de La Molina, muestra que los factores de amplificación sísmica varían en forma considerable en función de la ubicación de las áreas evaluadas con respecto a la cuenca.

2.1.2.- Zonificación Sísmica de Lima Metropolitana y Callao

Las zonas geotécnicas sísmicas se determinan con las características mecánicas y dinámicas determinadas de los suelos que conforman el terreno de cimentación del área de estudio, y las consideraciones dadas por el Código de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Construcciones (Norma E-030, 2003). (Ver mapa en el anexo B).

A.- ZONA I (Peligro bajo)

Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava potentes que conforman los conos de deyección de los ríos Rímac y Chillón, y los estratos de grava coluvial-eluvial de los pies de las laderas, que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido, con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de microtrepidaciones que varían entre 0.1 y 0.3 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo en esta zona es $S=1.0$ y el periodo natural del suelo es $T_s=0.4$ s, correspondiendo a un suelo tipo S1 de la Norma Sismorresistente Peruana

B.- ZONA II (Peligro medio)

En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por un estrato superficial de suelos granulares finos y suelos arcillosos, cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m. Subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o grava coluvial. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de microtrepidaciones en esta zona varían entre 0.3 y 0.5 s. Para la evaluación del peligro sísmico a nivel de superficie del terreno, se considera que el factor de amplificación sísmica por efecto local del suelo en esta zona es $S=1.2$ y el periodo natural del suelo es $T_s=0.6$ s, correspondiendo a un suelo S2 de la Norma Sismorresistente Peruana.

C.- ZONA III (Peligro Alto)

Esta zona está conformada en su mayor parte por los depósitos de suelos finos y arenas de gran espesor que se presentan en algunos sectores de los distritos de Puente Piedra, La Molina y Turín, y en los depósitos de arenas eólicas que cubren parte de los distritos de Ventanilla y Villa El Salvador, que se encuentran en estado suelto. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos varían entre 0.5 y 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo S3 de la Norma Sismorresistente Peruana, con un factor de amplificación sísmica $S=1.4$ y un periodo natural de $T_s=0.9$ s.

D.- ZONA IV (peligro muy alto)

Esta zona está conformada por los depósitos de arenas eólicas de gran espesor y sueltas, depósitos marinos y suelos pantanosos que se ubican en la zona del litoral de los distritos de Ventanilla, Callao, Chorrillos, Villa El Salvador y Turín, así como la zona de canteras de este material en el distrito de Pachacámac. En esta zona se ubica también el distrito de La Punta, cuyo perfil estratigráfico particular, con un estrato de grava superficial sobre un depósito potente de arcilla, genera periodos relativamente largos, y un sector del distrito de Pachacámac, cuyos depósitos profundos de arena generan periodos largos. Los periodos predominantes encontrados en estos suelos son mayores que 0.7 s, por lo que su comportamiento dinámico ha sido tipificado como un suelo S4 de la Norma Sismorresistente peruana, asignándoles un factor de amplificación sísmica $S=1.6$ y un periodo natural de $T_s=1.2$ s (caso especial según la Norma).

E.- ZONA V (Zonas Puntuales)

Están constituidos por áreas puntuales conformadas por depósitos de rellenos sueltos de desmontes heterogéneos que han sido colocados en depresiones naturales o excavaciones realizadas en el pasado, con potencias entre 5.0 y 15.0 m. En esta zona se incluyen también a los rellenos sanitarios que en el pasado se encontraban fuera del área urbana y en la actualidad han sido urbanizados. Se mencionan las áreas que han sido identificadas en el presente estudio, las cuales se encuentran ubicadas en los distritos del Rímac, Surquillo, Bellavista, La Perla, San Juan de Miraflores y San Juan de Lurigancho, no descartándose la existencia de otras similares. El comportamiento dinámico de estos rellenos es incierto por lo que requieren un estudio específico que está fuera del alcance del presente trabajo.

En la Tabla 3 se resumen las características de las diferentes zonas geotécnicas para Lima Metropolitana y Callao

Tabla 4. Resumen de Zonificación Sísmica de Lima – Niveles de Peligro en Lima Metropolitana y Callao

Zonas Sísmicas	Nivel de Peligro	Periodos de vibración natural (en segundos)	Factor de amplificación sísmica (S)	Periodo natural del Suelo (Ts)	Correspondencia con el Tipo de Suelo de la Norma Sismorresistente Peruana
ZONA I	Bajo	0.1 a 0.3	1.0	0.4 s	S1
ZONA II	Medio	0.3 a 0.5	1.2	0.6 s	S2
ZONA III	Alto	0.5 a 0.7	1.4	0.9 s	S3
ZONA IV	Muy Alto	0.7 a >	1.6	1.2s	S4
ZONA V	Zona crítica puntual	ND	ND	ND	ND

ND: No determinado
Fuente: CISMID
Elaboración: Propia

2.2. Estimación del Peligro por Tsunami

2.2.1. Área de peligro por tsunami en Lima Metropolitana y Callao

Por su ubicación geográfica, Lima Metropolitana y Callao se ha visto atacada por una gran cantidad de sismos de gran intensidad y muchos de ellos han generado la ocurrencia de tsunamis. En las costas peruanas se tiene un registro de tsunamis desde más de 500 años, con 117 tsunamis generados por sismos (Silgado, 1978) los cuales se pueden volver a repetir si las condiciones del mecanismo sísmico los permiten. Actualmente, en la costa peruana se han desarrollado muchos centros poblados y poblaciones consolidadas se han expandido en dirección norte o sur a lo largo de la línea de costa, este es el caso de Lima Metropolitana que tiene más de 80 kilómetros de costa habitada desde Ancón hasta Lurín, la cual la hace muy vulnerable a ser afectada por un tsunami.

En el presente estudio se determinará el tiempo de llegada de la primera ola y su altura máxima tomando en cuenta las condiciones de batimetría del fondo marino frente a la costa de la ciudad de Lima así como su topografía.

El tipo de tsunami que se asume es de tipo cercano, es decir a menos de 1000 kilómetros de la costa, ya que este tipo de tsunami genera olas con tiempos de llegada entre 10 y 20 minutos. Básicamente el cálculo se basa en las fórmulas desarrolladas por Yamaguchi y Silgado.

2.2.1.1.- Objetivo y alcances

A.- Objetivo

El objetivo del trabajo es obtener la altura máxima de ola y el tiempo de llegada de la primera ola a las costas de Lima, producidas por un tsunami de origen cercano, así como la delimitación de los diferentes niveles de inundación en las costas de Lima Metropolitana y Callao.

B.- Alcance

El nivel de análisis se realizará a través de la generación de las curvas de refracción basadas en la batimetría del fondo marino y el cálculo de la altura máxima se calculará usando dos metodologías, una que toma en cuenta la magnitud del sismo y la otra que considera solamente la batimetría frente a la costa. El área afectada se basará en los diferentes niveles topográficos hasta una altura de ola máxima.

2.2.1.2.-Ámbito de estudio

El área de estudio comprende toda la línea de costa que va desde Ancón (11° 46' 26" S, 77° 10' 16" W) por el norte hasta Lurín (12° 16' 42" S, 76° 56' 21" W) por el sur. Esta zona de estudio comprende los distritos de Ancón, Santa Rosa, Ventanilla, San Martín de Porres, Callao, La Punta, La Perla, San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco, Chorrillos, Villa el Salvador y Lurín.

2.2.2. Criterios de estimación del peligro por tsunami

A.- Características del Sismo

Se ha asumido un evento sísmico tsunamigénico con las siguientes características (ver explicación en el punto 3.1 de este documento):²¹

Ubicación:	a 70 kilómetros al oeste del Distrito de la Punta
Epicentro:	12° 04' 04" S, 77° 48' 39" W
Magnitud:	8.0 (Mw)
Intensidad máxima:	VIII (Mercalli Modificada)
Profundidad:	33 km.

B.- Batimetría y topografía

La batimetría de la zona de estudio se ha conseguido a través del servicio de General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, <http://www.gebco.net/>) donde se puede encontrar la batimetría de todos los océanos en formato de malla de puntos con coordenadas x, y, z cada 30 segundos de arco, más o menos unos 90 metros. Estos datos se pueden obtener libremente desde la British Oceanographic Data Centre (BODC).

Con respecto a la topografía de la zona costera se tomó información la topografía provista por el servicio de mapas Google Earth, el cual se ha usado para la interpolación de datos y generación de curvas de nivel hasta un nivel de 80 metros.

Por la geografía de la costa limeña se identifica claramente que el área del Distrito de La Punta sería el lugar de llegada de las primeras olas y por lo tanto el primero en ser afectado en el caso de un eventual tsunami.

C.- Cálculo del tiempo de llegada de la primera ola

El cálculo del tiempo de llegada de la primera ola se realiza a través del "Modelo de Propagación de un Tsunami a través del Diagrama de Refracción" (Godoy & Monge. Metodología para la evaluación del riesgo de tsunamis, 1975).

Primero se determina la zona perturbada a través del cálculo de una elipse con centro en el epicentro 12° 04' 04" S, 77° 48' 39" W con el eje mayor paralelo a la zona de generación de sismos y con una longitud calculada por la siguiente fórmula:

$$\log S = \frac{2}{3} M - 2.93$$

Donde:

S = Longitud del eje mayor

M = Magnitud del sismo

El eje menor perpendicular a la dirección del eje mayor tiene una longitud calculada por la siguiente fórmula:

²¹ Los datos de magnitud, intensidad máxima y profundidad del sismo probable fueron provistos por el Dr. Hernando Tavera del Instituto Geofísico del Perú.

$$b = (3.77 - 0.42M)S$$

Donde:

b = Longitud del eje menor
 M = Magnitud del sismo
 S = Longitud del eje mayor

Para el caso del sismo asumido frente a la costa de Lima las longitudes de los ejes son:

Eje mayor = 253.12 km
 Eje menor = 103.78 km

La ubicación de la zona disturbada se puede observar en el Anexo C.

A partir del borde de esta elipse es que se generan las olas que se moverán en todos los sentidos y por supuesto hacia la costa limeña.

Luego se calculan y dibujan cada una de las líneas de refracción, la distancia que hay entre cada una de estas líneas depende del tiempo que se le asigne para el cálculo y de la profundidad batimétrica, es decir la distancia entre la superficie libre del agua y el fondo marino. La distancia recorrida por la ola se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$d = \Delta t \sqrt{gZ}$$

Donde:

d = Distancia recorrida por la ola (m)
 Δt = Intervalo de tiempo entre ola (s)
 g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)
 Z = Altura batimétrica (m)

La Figura 1 muestra un diagrama del avance de las olas hacia la costa.

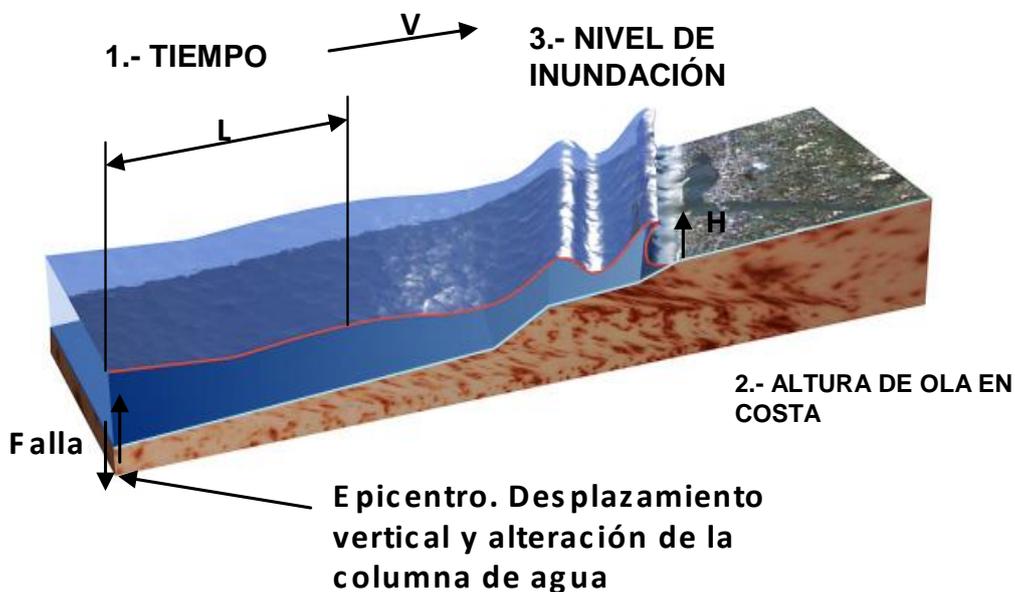


Figura 1. Esquema del avance de una ola hacia la costa.

Para este estudio se fijó el intervalo de tiempo en 60 segundos. Se obtuvieron, entonces, las respectivas distancias de viaje de la primera ola como se muestra en el Anexo C.

El distrito de la Punta es el lugar donde llegarían las olas producto del tsunami, con un tiempo de llegada de 11 minutos y para el resto del litoral el tiempo de llegada está entre 17 y 20 minutos.

D.-Cálculo de la altura máxima de ola

D.1.-Cálculo de la altura máxima según Yamaguchi

Es una fórmula empírica desarrollada por el investigador japonés Yamaguchi (1962) que relaciona la distancia entre la costa y la proyección de la línea batimétrica -100 metros, esta fórmula empírica nace de la observación de las características del tsunami que afectó el área de Sanriku, Japón en 1896. Estas observaciones concluyen que en aguas pocas profundas, menos de 100 metros, la pérdida por fricción es significativa y que la altura de la ola decrecía al incrementarse la distancia recorrida. Yamaguchi (1962) generaliza la altura de la ola a la entrada de una bahía con la siguiente fórmula:

$$H = 12.3e^{-0.067D}$$

Donde:

H = Altura de la ola máxima (m)

D = Distancia desde la costa hasta la proyección de la línea batimétrica -100 m (km)

D.2.- Cálculo de la altura máxima según Silgado

Silgado (1978) generaliza la altura de la ola a la entrada de una bahía mediante un análisis estadístico de los sismos y sus efectos entre 1749 hasta 1974 y deriva una fórmula regional para el cálculo de la altura de ola para el Perú y Norte de Chile:

$$\log(H) = 0.79M - 5.70$$

Donde:

H = Altura de la ola máxima (m)

M = Magnitud del sismo

Aplicando las dos fórmulas anteriores se tiene las alturas de olas respectivas:

Altura de ola según Yamaguchi:	3.40 m
Altura de ola según Silgado:	4.20 m

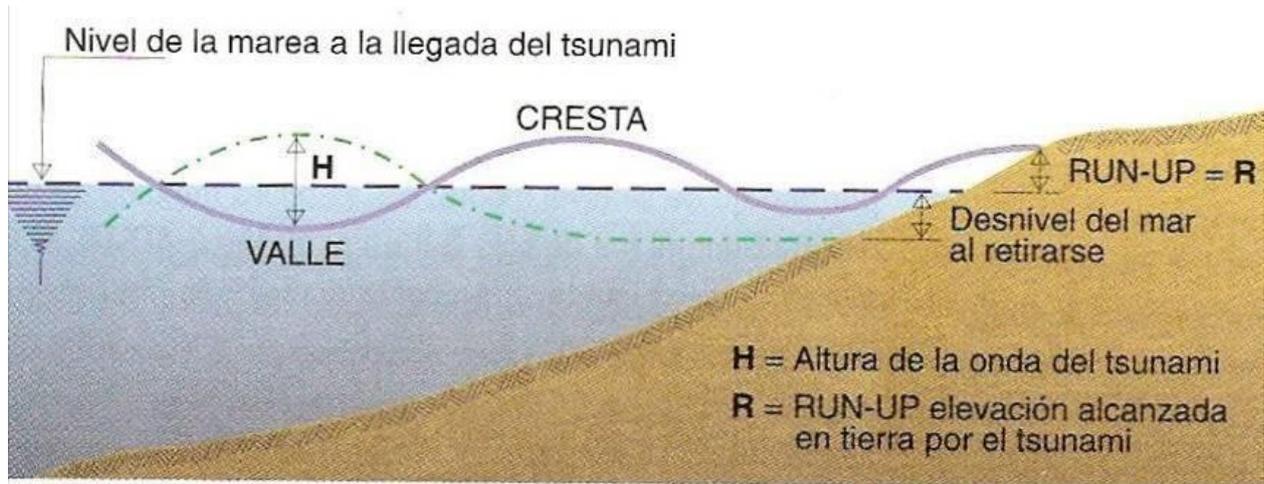
Finalmente estos valores tienen que ser corregidos por las condiciones locales de mareas altas y bajas. Según los datos de la Dirección de Hidrografía y Navegación se tiene un nivel de pleamar de 1.33 m.

Finalmente los valores corregidos para el nivel de ola máximo serán:

Altura de ola corregida según Yamaguchi: 4.73 m (5 metros)

Altura de ola corregida según Silgado: 5.53 m (6 metros)

Se concluye que la altura de ola máxima es 6.0 metros.



La ola, así caracterizada, llega a la costa de Lima Metropolitana y Callao en diversos tiempos de acuerdo a su distancia desde la zona disturbada, así como a la batimetría del lecho marino. (Ver detalle de tiempos de llegada en el Anexo E). Existe una modificación del comportamiento de la ola debido a presencia de la isla San Lorenzo, por lo que el tiempo de llegada es calculado en el Callao de manera gráfica (ver mapa de detalle en el anexo D)

2.3. Estimación de la Vulnerabilidad

Para generar el escenario de riesgo de este estudio, se ha estimado la vulnerabilidad en base indicadores cuantitativos trabajados en base a una fuente reciente, como es el último censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el año 2007, cuyos resultados por vivienda y población se encuentran a la fecha a nivel de distrito.

Estos indicadores (ver detalle en la parte B, del punto 2.3.1.) se aplican a sus respectivos distritos y, en los casos de que el distrito es muy extenso, poblado y heterogéneo en cuanto a niveles socioeconómicos y antigüedad de viviendas, que se traduce en diferentes tipologías de viviendas, se han generado sectores urbanos homogéneos.²²

2.3.1. Método para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Lima Metropolitana y Callao

2.3.1.1. Identificación de sectores homogéneos por tipo de edificación

La base para la sectorización de Lima Metropolitana y Callao, para efectos de este estudio, son los distritos de los cuales se tiene información de población y vivienda, provenientes del Censo Nacional 2007 elaborado por el INEI. Sin embargo, algunos distritos son muy extensos y heterogéneos, y sus indicadores no reflejan la realidad. Por lo tanto, estos distritos se han sectorizado en áreas homogéneas en cuanto a características de las edificaciones y usos.

Tabla 5. Distritos no sectorizados del proyecto

DISTRITO	POBLACION
ANCÓN	33.367
BREÑA	81.909
CARABAYLLO	213.386
CHACLACAYO	41.110
CIENEGUILLA	26.725
COMAS	486.977
EL AGUSTINO	180.262
JESÚS MARIA	66.171
LINCE	55.242
PUEBLO LIBRE	74.164
PUENTE PIEDRA	233.602
SAN BORJA	105.076
SAN ISIDRO	58.056
SAN LUIS	54.634
SAN MIGUEL	129.107
SANTA ANITA	184.614
SURQUILLO	89.283
BELLAVISTA	75.163
CALLAO	415.888
CARMEN DE LA LENGUA	41.863
LA PERLA	61.698,00
LA PUNTA	4.370
VENTANILLA	277.895

²² Estos sectores urbanos homogéneos se basan en las sectorizaciones realizadas por las mismas municipalidades distritales en sus respectivos Planes de Desarrollo Concertados, que han sido recopilados de sus páginas web. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Distritos sectorizados del proyecto

DISTRITO	POBLACIÓN	SECTORES
LIMA	299.493	6 sectores, por tener zonas con diversa antigüedad, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de conservación.
ATE	478.278	6 sectores, distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación. Extraído de su página web.
BARRANCO	33.903	2 sectores, cuenta con una zona muy antigua y deteriorada, donde predomina el adobe como material de construcción.
CHORRILLOS	286.977	5 sectores. Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
INDEPENDENCIA	207.647	2 sectores, uno moderno con grandes centros comerciales y el otro residencial en proceso de consolidación. Tomada de su Plan de Desarrollo Concertado.
LA MOLINA	132.498	5 sectores. Sectorización tomada de su página web.
LA VICTORIA	192.724	3 sectores. Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
LOS OLIVOS	318.140	8 sectores con características diversas en sus construcciones de carácter residencial. Extraído de su página web.
LURIGANCHO	169.359	2 sectores, separando la zona de Jicamarca y Cajamarquilla, de su zona que se desarrolla a lo largo de la Carretera Central.
MAGDALENA DEL MAR	50.764	2 sectores. Se esta diferenciando el sector residencial en proceso de densificación.
MIRAFLORES	85.065	2 sectores. Se esta diferenciando el sector residencial en proceso de densificación.
RÍMAC	176.169	4 sectores, Distrito complejo con una zona muy antigua y diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación.
SAN JUAN DE LURIGANCHO	898.443	8 sectores, distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación. Extraído de su página web.
SAN JUAN DE MIRAFLORES	362.643	7 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación. Extraído de su página web.
SAN MARTIN DE PORRES	579.561	2 sectores, divididos de acuerdo a estado de conservación y grado de consolidación de las viviendas.
SANTIAGO DE SURCO	289.597	4 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación
VILLA EL SALVADOR	381.790	5 sectores. Divididos de acuerdo a estado de conservación y grado de consolidación de las viviendas. Sectorización realizada a partir de información de su Plan de desarrollo concertado.
VILLA MARIA DEL TRIUNFO	378.470	7 sectores. Distrito con diversos tipos de ocupación residencial, lo que se refleja en el material de construcción y el estado de consolidación. Extraído de su pagina web.

2.3.1.2. Indicadores de estimación de vulnerabilidad.

La estimación de la vulnerabilidad de las edificaciones residenciales de los sectores y distritos, depende de múltiples factores: material de vivienda predominante, antigüedad, tipología constructiva y sistema estructural, altura de edificación, estado de conservación, intensidad de uso, y existencia de servicios, entre otros factores.

En este estudio, por su carácter general y con objeto de hacerlo viable, sólo se han considerado algunos de estos factores, para establecer un primer escenario de daños, siendo necesarias aproximaciones con mayor cantidad de variables en estudios posteriores.

Los parámetros considerados son el material de construcción predominante en muros, la tipología constructiva predominante de viviendas, el estado de conservación y la altura de edificación. Los primeros dos parámetros han sido obtenidos del Censo de Población y Vivienda del año 2007, realizado por el INEI. El tercero ha sido inferido a partir de los dos primeros, la ubicación y número de las zonas en proceso de densificación dada por el INEI²³ y de estudios realizados por PREDES sobre el tema, así como por bibliografía especializada. Los valores del parámetro de altura de edificación se han obtenido de un pequeño trabajo de campo en algunos distritos y del conocimiento del equipo técnico y los consultores sobre los diferentes distritos de Lima.

Estos parámetros tienen indicadores, los cuales han sido agrupados de la siguiente manera:

A. Densidad Poblacional

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, las áreas de uso residencial, que admiten actividades compatibles como comercio y servicios, se desagregan en las siguientes densidades:

Densidad Alta (RDA)	450 - más	Hab/ha
Densidad Media– Alta (RDMA)	350 – 450	Hab/ha
Densidad Media (RDM)	250 – 350	Hab/ha
Densidad Media – Baja (RDMB)	150 – 250	Hab/ha
Densidad Baja (RDB)	70 – 150	Hab/ha

En este estudio se ha tomado sólo el área urbana neta para determinar la densidad, sin incluir las áreas no ocupadas. De acuerdo a esto, se ha encontrado hasta densidad media alta, que la colocamos como de nivel de vulnerabilidad alto. En los distritos que cuentan con información de población por sector, se ha calculado la densidad real por dicho sector, en los demás distritos sectorizados que no cuentan con información por sector, se ha asumido la densidad distrital como si fuera uniforme.

²³ Compendio Estadístico Perú 2008. INEI.

B. Material de Construcción Predominante

De los ocho tipos de materiales de construcción de muros que aparecen en los cuadros del INEI (que deben servir para una descripción a nivel nacional), se han elegido cuatro de acuerdo a su preponderancia en Lima Metropolitana y Callao. Estos materiales son:

<p>Ladrillo o bloque de cemento</p>	<p>Es el material predominante en la ciudad de Lima, en los sistemas constructivos de albañilería confinada, albañilería por muro portante y edificaciones con losas y vigas de concreto armado con cerramiento de ladrillos. Lamentablemente en las zonas en proceso de consolidación o consolidadas recientemente en la periferia de la ciudad, este material ha sido usado en edificaciones hechas por autoconstrucción, sin asesoramiento técnico, por lo que su nivel de vulnerabilidad es medio.</p>	
<p>Adobe</p>	<p>Material predominante de las viviendas antiguas. Se caracteriza por su alta rigidez estructural, pero de poca resistencia en caso de un sismo, pudiendo llegar a colapsar de manera súbita.</p>	
<p>Madera</p>	<p>Material liviano predominante en zonas de expansión urbana en proceso de consolidación, especialmente en áreas de pendiente alta o en arenales. No es muy vulnerable en caso de sismo por ser de un piso, salvo en caso de colapso de la terraza donde se asienta.</p>	
<p>Quincha / Estera</p>	<p>Materiales livianos, existentes en menor medida en la ciudad de Lima. Encontramos quincha en los segundos pisos de edificaciones antiguas cuyo primer piso es de adobe, y esteras en ocupaciones incipientes.</p>	

C.- Tipología Constructiva de Vivienda

De los ocho tipos de tipologías constructivas que aparecen en los cuadros del INEI (que sirven para una descripción a nivel nacional), se han elegido cuatro de acuerdo a su preponderancia en Lima Metropolitana y Callao y a su pertinencia en el estudio.

Estas tipologías constructivas son:

<p>Casa Independiente</p>	<p>Tipo de vivienda predominante debido a la cultura de tener un lote de terreno donde construir. La mayoría de estas viviendas son unifamiliares, aunque por desdoblamiento familiar pueden ser bifamiliares. La densidad varía en cada zona de Lima de acuerdo al tamaño de lote, siendo menor en los distritos centrales y mayor en la periferia.</p>	
<p>Departamento en Edificio</p>	<p>Tipo de vivienda promovido por el proceso de densificación de los distritos centrales y modernos de Lima, donde han pasado a predominar por encima de las viviendas independientes. Su densidad es alta (edificaciones entre 6 y 14 pisos).</p>	
<p>Quinta</p>	<p>Tipo de vivienda predominante en los distritos más antiguos de Lima. Conforman inmuebles de alta densidad, la mayoría de ellos tugurizados y en mal estado de conservación.</p>	
<p>Vivienda Improvisada</p>	<p>Tipo de vivienda predominante en distritos periféricos de Lima, principalmente en zonas sin fácil acceso ocupados de manera informal por migrantes o por desdoblamientos familiares.</p>	

D. Estado de Conservación de Vivienda

Este parámetro es importante para poder estimar más a detalle la vulnerabilidad de las viviendas de un distrito. En él está implícito su antigüedad, así como la intensidad del uso que ha soportado a lo largo del tiempo, en base a la resistencia de su material de construcción predominante.

Tenemos las siguientes:

<p>Deteriorada</p>	<p>Viviendas en mal estado de conservación, con el consiguiente aumento de la vulnerabilidad de la infraestructura y del riesgo de los habitantes que la habitan.</p>	
<p>En consolidación</p>	<p>Viviendas en proceso de construcción en la periferia de la ciudad, ocupada de manera informal en la mayoría de los casos. La infraestructura tiene varios materiales de construcción y sin rigidez estructural. Su vulnerabilidad es medio a medio alto, pues la mayoría esta hecha por autoconstrucción, sin asesoramiento técnico.</p>	
<p>Densificada</p>	<p>Viviendas con alta densidad, por ser edificios de departamentos construidos en los últimos años (la mayoría con el apoyo del Programa Mi Vivienda) o por crecimiento vertical de viviendas unifamiliares. Su nivel de vulnerabilidad es medio a medio bajo.</p>	
<p>Consolidada</p>	<p>Viviendas unifamiliares o bifamiliares concluidas, en barrios residenciales de clase alta, media y media baja. Su vulnerabilidad es baja.</p>	

E.- Altura de Vivienda

Se ha estimado de acuerdo al conocimiento del equipo de PREDES y de los consultores de Lima Metropolitana y Callao, así como de información de las páginas web de las respectivas municipalidades distritales. Son:

<p>1 piso</p>	<p>Correspondiente a viviendas ubicadas en zonas periféricas de algunos distritos de Lima Metropolitana y Callao, principalmente en Lima Norte, Lima Sur y San Juan de Lurigancho.</p>	
<p>2 pisos</p>	<p>Correspondiente a viviendas ubicadas en distritos con viviendas consolidadas, principalmente unifamiliares.</p>	
<p>3 pisos</p>	<p>Correspondiente a viviendas unifamiliares en proceso de densificación por autoconstrucción, así como viviendas deterioradas y antiguas (la altura de cada nivel corresponde a 1.5 de la altura actual), Esta densificación con sistemas constructivos y accesos deficientes, hacen que tengan una vulnerabilidad alta.</p>	
<p>4 ó más pisos</p>	<p>Viviendas en edificios de densidad media alta y alta, en distritos centrales. No han sido probados en un sismo severo. El principal acceso es por ascensores, por lo que se asume una vulnerabilidad alta en caso de evacuación.</p>	

Tabla 7.- Resumen de Parámetros e Indicadores de estimación de vulnerabilidad a nivel de sector urbano

Parámetros	Indicadores	Descripción	Nivel de Vulnerabilidad
Población			
Densidad	Nº de población por distrito (sector) / Área ocupada por distrito (sector)	Media Alta (RDMA) Media (RDM) Media Baja (RDMB) Baja (RDB)	Muy Alto Alto Medio Bajo
Vivienda			
Material de construcción predominante	Mayor cantidad de viviendas con el mismo material constructivo de muros en un distrito / sector	Adobe Quincha Albañilería Madera	Muy Alto Alto Medio Bajo
Tipología constructiva de vivienda	Mayor cantidad de viviendas con la misma tipología constructiva en un distrito / sector	Vivienda Improvisada Quinta Edificio Casa Independiente	Muy Alto Alto Medio Bajo
Estado de conservación de viviendas	Mayor cantidad de viviendas con el mismo estado de conservación en un distrito / sector	Deteriorada En consolidación Densificada Consolidada	Muy Alto Alto Medio Bajo
Altura de Vivienda	Nº de pisos predominante en el distrito / sector	4 pisos a más 3 pisos 2 pisos 1 piso	Muy Alto Alto Medio Bajo

Los niveles de vulnerabilidad tienen las siguientes ponderaciones para la estimación del escenario de impacto:

NIVELES DE VULNERABILIDAD	
MUY ALTO	4
ALTO	3
MEDIO	2
BAJO	1

A continuación se tiene en la Tabla 8 los niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sectores-

Tabla 8.- Niveles de vulnerabilidad potencial estimados por sectores (Ver anexo G)

N°	Distrito	Código del Sector	Densidad				VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total	
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Ha)										Tipo
1	LIMA		299.493,00		2.162,40	138,50										
	Lima 01	L1				138,50	Baja	1	Adobe	4	Quinta	3	Deteriorada	4	3	4
	Lima 02	L2				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Quinta	3	Deteriorada	4	3	3
	Lima 03	L3				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificada	2	3	2
	Lima 04	L4				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Lima 05	L5				138,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Lima 06	L6				138,50	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	Deteriorada	4	1	3
2	ANCON	AN	33.367,00		1.130,32	29,52	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
3	ATE		478.278,00		4.360,13	109,69										
	Ate 01	A1		55.848,00	468,13	119,30	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Ate 02	A2		41.669,00	551,91	75,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Ate 03	A3		109.347,00	798,15	137,00	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Ate 04	A4		58.598,00	657,00	89,19	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Ate 05	A5		53.977,00	921,11	58,60	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
	Ate 06	A6		158.838,00	963,82	164,80	Media Baja	2	Madera	1	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
4	BARRANCO		33.903,00		274,52	123,50										
	Barranco 01	B2				123,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Densificada	2	2	2
	Barranco 02	B3				123,50	Baja	1	Adobe	4	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	3
5	BREÑA	BR	81.909,00		321,09	255,10	Media	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	2
6	CARABAYLLO	CR	213.386,00		2.547,28	83,77	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
7	CHACLACAYO	CHA	41.110,00		768,12	53,52	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
8	CHORRILLOS		286.977,00		3.033,26	94,61										
	Chorrillos 01	CH1				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	2
	Chorrillos 02	CH2				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Chorrillos 03	CH3				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
	Chorrillos 04	CH4				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Chorrillos 05	CH5				94,61	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
9	CIENEGUILLA	CI	26.725,00		1.310,05	20,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
10	COMAS	CO	486.977,00		3.310,52	147,10	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2

Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

N°	Distrito	Código del Sector	Densidad					VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Há)	Tipo									
11	EL AGUSTINO	EA	180.262,00		1.214,70	148,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	3	3
12	INDEPENDENCIA		207.647,00		990,88	209,56										
	Independencia 01	I1		23.526,00	268,84	87,51	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Independencia 02	I2		184.121,00	722,04	255,00	Media	3	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
13	JESUS MARIA	JM	66.171,00		435,05	152,10	Media Baja	2	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	3	2
14	LA MOLINA		132.498,00		2.949,64	44,92										
	La Molina 01	M1				44,92	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	3	2
	La Molina 02	M2				44,92	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	3	2
	La Molina 03	M3				44,92	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	La Molina 04	M4				44,92	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	3	2
	La Molina 05	M5				46,46	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	3	2
15	LA VICTORIA		192.724,00		908,22	212,20										
	La Victoria 01	V1				212,20	Media Baja	2	Albañilería	2	Quinta	3	Deteriorada	4	3	3
	La Victoria 02	V2				212,20	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Deteriorada	4	2	2
	La Victoria 03	V3				212,20	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	3	2
16	LINCE	L	55.242,00		274,97	200,90	Media Baja	2	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	3	2
17	LOS OLIVOS		318.140,00		1.826,38	174,19										
	Los Olivos 01	LO1		41.268,00	310,75	132,80	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
	Los Olivos 02	LO2		40.607,00	183,16	221,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	En consolid	3	1	2
	Los Olivos 03	LO3		39.760,00	264,01	150,60	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Los Olivos 04	LO4		41.389,00	285,44	145,00	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Los Olivos 05	LO5		39.662,00	159,22	249,10	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	1	1
	Los Olivos 06	LO6		40.553,00	176,78	229,40	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Los Olivos 07	LO7		36.667,00	327,38	112,00	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
	Los Olivos 08	LO8		38.234,00	119,63	319,60	Media	3	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
18	LURIGANCHO		169.359,00		5.669,87	29,87										
	Lurigancho 01	LU1				29,87	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	1	2
	Lurigancho 02	LU2				29,87	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indep	1	Consolidada	1	2	2
20	MAGDALENA DEL MAR		50.764,00		330,28	153,70										
	Magdalena 01	MA1				153,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indep	1	Densificación	2	2	2
	Magdalena 02	MA2				153,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	3

Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

N°	Distrito	Código del Sector	Densidad					VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Há)	Tipo									
21	PUEBLO LIBRE	PL	74.164,00		460,65	161,00	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Densificación	2	3	2
22	MIRAFLORES		85.065,00		918,73	92,59										
	Miraflores 01	MI1				92,59	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	3
	Miraflores 02	MI2				92,59	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Densificación	2	2	2
24	PUENTE PIEDRA	PP	233.602,00		3.106,41	75,20	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	2
25	RIMAC		176.169,00		902,04	195,30										
	Rímac 01	R1				195,30	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Deteriorada	4	2	2
	Rímac 02	R2				195,30	Media Baja	2	Adobe	4	Casa Indepen	1	Deteriorada	4	2	3
	Rímac 03	R3				195,30	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	Rímac 04	R4				195,30	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
26	SAN BORJA	SB	105.076,00		1.029,15	102,10	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	3
27	SAN ISIDRO	SI	58.056,00		971,97	59,73	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	3
28	SAN JUAN DE LURIGANCHO		898.443,00		5.687,15	157,98										
	SJL 01	SL1		98.129,00	783,15	125,30	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	SJL 02	SL2		141.597,00	785,34	180,30	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	SJL 03	SL3		73.524,00	512,36	143,50	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	SJL 04	SL4		172.019,00	710,53	242,10	Media Baja	2	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	2	3
	SJL 05	SL5		102.445,00	594,57	172,30	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	2	2
	SJL 06	SL6		172.675,00	651,11	265,20	Media	3	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	2	3
	SJL 07	SL7		126.146,00	421,19	299,50	Media	3	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	2	3
	SJL 08	SL8		11.908,00	1.228,90	9,69	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	1	2
29	SAN JUAN DE MIRAFLORES		362.643,00		2.610,19	138,93										
	SJM 01	SJM1		89.972,00	627,42	143,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	2
	SJM 02	SLM2		33.146,00	291,27	113,80	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	SJM 03	SLM3		99.473,00	424,92	234,10	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
	SJM 04	SJM4		23.681,00	62,91	376,40	Media Alta	4	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	2
	SJM 05	SJM5		53.889,00	559,30	96,35	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	2
	SJM 06	SJM6		47.325,00	480,95	98,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	2
	SJM 07	SJM7		15.158,00	163,43	92,75	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
30	SAN LUIS	SL	54.634,00		349,10	156,50	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2

Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

N°	Distrito	Código del Sector	Densidad					VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Há)	Tipo									
31	SAN MARTIN DE PORRES		579.561,00		3.266,97	177,40										
	San Martín de Porres 01	SM1				177,40	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	San Martín de Porres 02	SM2				177,40	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Deteriorada	4	3	
32	SAN MIGUEL	SM	129.107,00		972,92	132,70	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Densificación	2	2	
33	SANTA ANITA	SA	184.614,00		1.030,21	179,20	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
34	SANTIAGO DE SURCO		289.597,00		2.912,86	99,42										
	SS 01	SS1				99,42	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	
	SS 02	SS2				99,42	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	SS 03	SS3				99,42	Baja	1	Albañilería	2	Edificio	2	Densificación	2	4	
	SS 04	SS4				99,42	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
35	SURQUILLO	SR	89.283,00		462,61	193,00	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Densificación	2	3	
36	VILLA EL SALVADOR		381.790,00		3.408,04	112,03										
	VES 01	VS1		2.575,00	208,67	12,34	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	VES 02	VS2		305.125,00	1.669,17	182,80	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	VES 03	VS3		16.492,00	994,69	16,58	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	1	
	VES 04	VS4		55.598,00	347,70	159,90	Media Baja	2	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	1	
	VES 05	VS5		2.000,00	187,79	10,65	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	
37	VILLA MARIA DEL TRIUNFO		378.470,00		2.738,57	138,20										
	VMT 01	VMT1		122.460,00	681,85	179,60	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	VMT 02	VMT2		40.353,00	290,10	139,10	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	VMT 03	VMT3		29.264,00	165,43	176,90	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
	VMT 04	VMT4		55.079,00	454,82	121,10	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	
	VMT 05	VMT5		54.394,00	537,49	101,20	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	
	VMT 06	VMT6		61.420,00	561,43	109,40	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	
	VMT 07	VMT7		15.500,00	47,46	326,60	Media	3	Albañilería	2	Casa Indepen	1	En consolid	3	1	
38	BELLAVISTA	BV	75.163,00		459,15	163,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	
39	CALLAO	CL	415.888,00		5.214,90	79,75	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Deteriorada	4	3	
40	CARMEN DE LA LENGUA	CA	41.863,00		194,08	215,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	1	
41	LA PERLA	LP	61.698,00		328,71	187,70	Media Baja	2	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	

N°	Distrito	Código del Sector	Densidad					VUL POBLAC	Material de Vivienda Predom	VUL MATE	Tipo de vivienda predom	VUL VIV	Estado de conservación	VUL CONSER	Altura de Edificación predom VUL	Total
			Población distrital	Población por zona	Área neta (Ha)	Densidad (Hab/Há)	Tipo									
42	LA PUNTA	PT	4.370,00		59,60	73,32	Baja	1	Albañilería	2	Casa Indepen	1	Consolidada	1	2	2
43	VENTANILLA	VE	277.895,00		3.685,61	75,40	Baja	1	Madera	1	Improvisada	4	En consolid	3	2	3

LEYENDA

DISTRITO	Nombre del Distrito y algunos casos dividido en sectores
DENSIDAD	Densidad
VUL_POBLAC	Vulnerabilidad en función a la densidad
MATERIAL	material de construcción
VUL_MATE	Vulnerabilidad en función del tipo de material
TIPO_VIV	Tipo de Vivienda
VUL_VIV	Vulnerabilidad en función del tipo de vivienda
CONSERVACI	Estado de Conservación
VUL_CONSER	Vulnerabilidad en función del estado de conservación
ALT_EDIF	Altura de Edificaciones
POBLAC	Población
AREA	Área en has
L1	Código del sector

NIVELES DE VULNERABILIDAD

MUY ALTO	4
ALTO	3
MEDIO	2
BAJO	1

Capítulo 3

ESTIMACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO Y MAGNITUD DE LOS IMPACTOS

3.1. Definición y Características del Escenario de Riesgo Sísmico en Lima

Algunas instituciones y reconocidos expertos con estudios en peligro sísmico y vulnerabilidad de Lima, han alertado sobre las consecuencias de un sismo severo de alta magnitud.²⁴ De la literatura existente se extrae lo siguiente:²⁵

1. El registro histórico revela que Lima ha sufrido el impacto de 43 grandes sismos, y los terremotos de 1586, 1655, 1687 y 1746 alcanzaron intensidades destructivas del orden de IX a X en la escala de Mercalli Modificada.²⁶
2. El Callao fue afectado por tsunamis en 1586, 1687 y 1746, produciendo este último pérdidas catastróficas.²⁷
3. En tanto no se disponga de predicción científica para eventos sísmicos, se emplea el criterio de recurrencia sísmica. La fórmula de Gutenberg y Richter, aplicada por Deza para la región sismotectónica de Lima ($\log N = 5,63 - 0,85 M_b$) establece que para un sismo de magnitud entre 7,8 Mb y 8,5 Mb el periodo de recurrencia sería aproximadamente de 100 años.²⁸
4. Se reporta que en el presente siglo se activaron dos áreas sísmicas vecinas a Lima: Chimbote-Huacho: activada en los sismos del 31 de mayo de 1970 y 17 de octubre de 1974; Lima-Pisco: activada en el sismo del 3 de octubre de 1974. El área sísmica Huacho-Lima faltaría activarse (el epicentro del sismo del 24 de mayo de 1940 es impreciso).²⁹

Por lo tanto, se considera que un sismo con magnitud entre 7,5 a 8,0 grados en la escala de Richter, e intensidades VII a IX en la escala de Mercalli modificada, podrían causar severos daños en 187.000 viviendas en Lima Metropolitana y Callao, afectando unas 800.000 personas, según se coteja de los trabajos del INADUR en 1983³⁰, Kuroiwa en 1977³¹, Instituto Nacional de Defensa Civil 1994³² y el INDECI 1999³³. Recientes estudios revelan que parte de los antiguos hospitales de Lima podrían salir transitoriamente de operación tras el sismo, por daños en su estructura o en sus procesos funcionales y organizativos³⁴.

Según referencias del Dr. Hernando Tavera^{35 36}, de su bibliografía y para este estudio, se tienen los siguientes parámetros:

²⁴ Especialmente **Ocola L.** Notas sobre el peligro sísmico de Lima y departamentos del sur del Perú. Lima: Defensa Civil; 1997.

²⁵ **Morales N.** Impacto de Desastres y Situaciones de Emergencia en el Ámbito de la Salud en el Perú. Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Copyright© 2000 ISSN 1025 – 5583. Vol. 62, N°2 - 2001

²⁶ **Tavera H, Heras H.** Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de "b". Bol Soc Geol Peru. 2002; 93: 63-71.

²⁷ **Silgado E.** Magnitud, frecuencia, período de retorno de terremotos y riesgos sísmicos en la costa del Perú entre 9° y 13° de latitud sur. Lima: Sociedad Geográfica de Lima; 1975.

²⁸ **Kuroiwa J.** Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos: investigaciones efectuadas en el periodo 1973-1976. Lima. Defensa Civil; 1977.

²⁹ **Tavera H, Heras H.** Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de "b". Bol Soc Geol Peru. 2002; 93: 63-71.

³⁰ **Inadur.** Diagnóstico sobre Vulnerabilidad y Riesgo de las Áreas Críticas de Lima Metropolitana, Plan Alfa Centauro. Ministerio de Vivienda, Defensa Civil. Lima, 1983.

³¹ **Kuroiwa J.** Protección de Lima Metropolitana ante Sismos Destructivos. UNI/CNDC. Lima, 1977.

³² **Instituto Nacional de Defensa Civil.** Proyecto "Identificación, localización y calificación de viviendas tugurizadas con riesgo de colapso en Lima Cercado". INDECI. Lima, 1994.

³³ **Instituto Nacional de Defensa Civil.** Plan Wiracocha. INDECI. Lima, 1999.

³⁴ **Morales N, Sato J.** Vulnerabilidad Funcional y Organizativa. En: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales del Perú. OPS/OMS. Lima, 1997.

³⁵ **Tavera H y Bernal I.** Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Referencia: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, V. 98, 85-96 (2004)

³⁶ **Tavera H.** Peligro sísmico en Lima y el país. Referencia: Revista del Centro de Estudios y Prevención de Desastres, Año 8, Número 14, 30-35 (2001).

1. La historia sísmica del borde occidental de Lima como departamento, ha sido muy heterogénea; es decir, no se puede definir un sismo de magnitud promedio como representativo para Lima. Solo existe el megasismo de 1746, al que se le atribuye una magnitud del orden de 9 Mw (grados en magnitud momento) y longitud de ruptura de 500 km, prácticamente desde la Fractura de Mendaña hasta la Dorsal de Nazca. Este sismo para la época de ocurrencia habría producido intensidades del orden de IX (MM)
2. Posterior a este sismo, la historia nos informa sobre sismos con magnitudes de hasta 7.7 Mw, a excepción del ocurrido en 1940 con posible epicentro debajo o frente a la localidad de Barranca.
3. Existe gran probabilidad que se repita -por el tiempo de exposición- el sismo de 1940 con una magnitud próxima a 8 Mw; es decir, similar en energía liberada al sismo de Pisco de 2007. El área de ruptura tendría una geometría que mostraría la propagación de la energía en dirección SE paralela a la línea de costa.
4. Dependiendo las características de cada distrito de Lima Metropolitana, la aceleración máxima promedio de origen por el sismo sería del orden de 350 á 400 cm/seg², amplificándose en suelos menos competentes. Mayores daños son de esperarse en los distritos del Rímac y Cercado, principalmente por la antigüedad de las viviendas. El Agustino por la construcción precaria de viviendas sobre los cerros, Urbanizaciones ubicadas en las riberas de los ríos Rímac - Lurín, distritos de la zona sur de Lima por estar sobre suelos de arena, urbanizaciones en Chorrillos por tener la capa freática cerca a la superficie, urbanizaciones del distrito de La Molina por presentar suelos no compactos.
5. Por departamento, los daños abarcarían todo el departamento de Lima y Ancash con intensidades máximas en dirección oriental de VI-VII. El sismo tendría una área de grandes daños a moderados hasta las ciudades de Ica por el sur, Trujillo por el norte y Huancayo - Pasco por el Este.

EVENTO SÍSMICO MÁXIMO PROBABLE	<p>Magnitud. 8,0 Mw (15,26-28). Intensidades máximas. VIII escala Mercalli Modificada, entre Lima Metropolitana y Chimbote ³⁷ Aceleraciones máximas promedio. 350 – 400 gals ³⁸, 22,23. Epicentro. Frente a Lima ³⁹. Hipocentro. Profundidad: 33 km. Extensión afectada. Para este estudio se presupone efectos destructivos restringidos solo a Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao. Sin embargo un evento real afectaría a los departamentos de Lima, Ancash, Ica, Huánuco, Junín, Pasco, Huancavelica.</p>
---------------------------------------	---

Tsunami Probable Esta hipótesis está sustentada en base al estudio del tsunami del 3 de octubre de 1974, 09h21m29s (29).	<p>Características: Tren de olas de unos seis metros de altura que alcanzarán la línea costera poco después de ocurrido el terremoto. Dirección de las olas: oeste-este u oeste-sureste. Velocidad de desplazamiento aproximada: 400 km/h. Ancho de las olas: hasta 200 km. Altura de las olas: 6 metros Tiempo experimental promedio de llegada a la costa: 18 minutos. Tiempo medido de llegada a La Punta: 11 minutos Zona de inundación: Variable, de acuerdo a la cota del terreno, con rangos de impacto por la altura de la máxima inundación prevista). Extensión afectada. El litoral de Lima Metropolitana, el puerto y la franja costera de la Provincia Constitucional del Callao.</p>
---	--

³⁷ Ver anexo C, que explica los significados de la escala de intensidad de Mercalli Modificada.

³⁸ Ivan J, Meneses J, Guzmán V. Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. Tacna: V Congreso Nacional de Ingeniería Civil; 1984. Disponible en: http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis17_a.pdf

³⁹ Instituto Nacional de Defensa Civil. Plan Wiracocha (para simulacro de desastre en la II Región). Lima: INDECI; 1999.

3.2. Análisis de niveles de riesgo de edificaciones por sismo

La estimación del riesgo sísmico está basada en muchos factores, los cuales son muy difíciles de modelar matemáticamente, por lo tanto se deben usar una formulación que involucre tanto los aspectos teóricos como los empíricos. La base de los estudios de riesgo sísmico tiene tres grandes cimientos:

- El estudio y estimación del peligro sísmico, que es la determinación de los parámetros que identifican a un probable sismo en un determinado lugar con determinadas características geotécnicas. Para el cálculo del riesgo un parámetro muy importante es la aceleración máxima del terreno a presentarse en un evento sísmico de gran magnitud.
- La evaluación estructural, en el caso de edificaciones esta evaluación se basa en la vulnerabilidad estructural, calculada en base a las distorsiones de entrepiso del sistema estructural y la calidad y tipo de material de construcción; y
- El cálculo de la pérdida producida en las edificaciones por las dos características anteriores, este cálculo se basa en resultados de experimentación donde para cada tipo de sistema estructural y material constitutivo se evalúa el daño producido y por lo tanto el costo necesario para llevar esa edificación a las condiciones en las que estaba antes del evento sísmico.



3.2.1.- Parámetros del cálculo del impacto en relación al escenario de riesgo

El cálculo del riesgo sísmico para el escenario de sismo diseñado en este documento para Lima Metropolitana y Callao, se basa en los trabajos realizados por el CISMID para la determinación de la vulnerabilidad de las edificaciones para APESEG (2005) y en la ciudad de Pisco (2007), a través de un programa de cómputo desarrollado para tal fin⁴⁰.

Este programa fue diseñado para calcular el valor de reparación del daño producido por un sismo a una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la misma utilizando un método de aproximación. Para este proyecto se ha generalizado o uniformizado las características de las viviendas en cada uno de los sectores de estudio realizando de esta manera un estudio por sectores y no por unidades de vivienda.

Tomando como referencia la información contenida en el Informe del Producto 5 de CISMID para la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) para el Plan de Reconstrucción y Prevención de Desastres para las Ciudades Afectadas por el Terremoto del 15 de Agosto de 2007, el cálculo del daño en las edificaciones se realiza haciendo un análisis de la respuesta sísmica de las edificaciones, tomando como parámetros de entrada:

- a.- Las **aceleraciones máximas del suelo**, estas aceleraciones máximas están evaluadas con la aceleración máxima del escenario sísmico y amplificadas según el tipo de suelo donde se encuentre la edificación;
- b.- La **tipología estructural de las edificaciones**, que son extraídas desde un catálogo de tipologías desarrolladas durante varios años de investigación por el CISMID y que representan la mayoría de sistemas de edificación en la zona urbana de Lima, y que van de acuerdo con las tipologías descritas en el capítulo de evaluación de la vulnerabilidad.
- c.- Otros parámetros que son considerados como dato de ingreso para el análisis es el **material de la edificación, el número de pisos, sistema estructural predominante y estado de conservación de la edificación**, extraídos de la evaluación de la vulnerabilidad.

Una vez obtenidos todos los datos requeridos, el cálculo del riesgo se basa en la metodologías de índices β_i que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices β_i por el desplazamiento espectral (S_d) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio (H) dando como una aproximación de la distorsión de entrepiso la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right) = \frac{\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4}{H} S_d$$

Donde:

- El índice β_1 es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos.
- El índice β_2 relaciona la aproximación de la distorsión máxima contra la distorsión en un sistema real.

⁴⁰ El modelado de los niveles de impacto y daños fue realizado en el programa de cómputo desarrollado por el Dr. Carlos Zavala para estos estudios y adaptado por el equipo de PREDES para aplicarlo a sectores urbanos

El índice β_2 relaciona la fuerza de la respuesta con la sobrerresistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural.

El índice β_4 produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, también para cada tipología estructural y tipo de material, que expresa una medida de ductilidad.

Finalmente, el periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce un diagnóstico del desplazamiento y de las distorsiones para cada piso. 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 para cada unidad de estudio. Este costo se representa como un porcentaje del costo de la estructura en su condición antes del sismo.

En este estudio se identificaron 106 áreas urbanas con son el resultado de combinar las divisiones distritales, las tipologías de edificación y los diferentes tipos de suelos.

En el Mapa R-01 del anexo H se puede apreciar el resultado del análisis de riesgo, expresado en los diferentes niveles de costo de reparación que está directamente relacionado con el nivel de daño de la edificación. Se ha considerado 4 niveles de afectación, que son descritos en la Tabla 7:

- De 0,01% á 15% edificaciones con niveles de daño muy bajo
- De 15% á 30% edificaciones con niveles de daño moderado
- De 30% á 60% edificaciones con niveles de daño alto
- Más de 60% edificaciones con un nivel de daño muy alto

Tabla 7.- Escala de daños del estudio (PREDES)

Nivel de riesgo/ daño	Relación de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Descripción del estado de daño
Bajo	0,01 – 15%	Ninguno	Localizado	Daño no estructural puntual (grietas en muros y tabiques), posible daño en componentes mecánicos y eléctricos. Costo de reparación menor al 15% del valor de mercado.
Moderado	15% - 30%	Ligero	Moderado Extensivo	Daño estructural ligero y no estructural considerable, costo de reparación menor al 30% del valor de mercado.
Alto	30% - 60%	Considerable	Cercano al total	Daño estructural considerable y no estructural excesivo. Se requiere reparar o reemplazar muchos elementos estructurales. El edificio se desaloja durante la reparación.
Muy Alto	60% - 100%	Grave	Grave Colapso	Edificio declarado en ruina. Más económico demoler que reparar. Posible colapso total en terremoto o futuras réplicas.

Elaboración: Equipo Técnico PREDES

Fuente: Escala de definición de daño de acuerdo al EERI (Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California); Escala de daños de acuerdo a Whitman, 1973, NHRC (Natural Hazards Centre, Universidad de Macquarie, Australia)

3.3. Descripción de los niveles de impacto y daños en el escenario propuesto para Lima Metropolitana y Callao

3.3.1. A nivel de población y vivienda

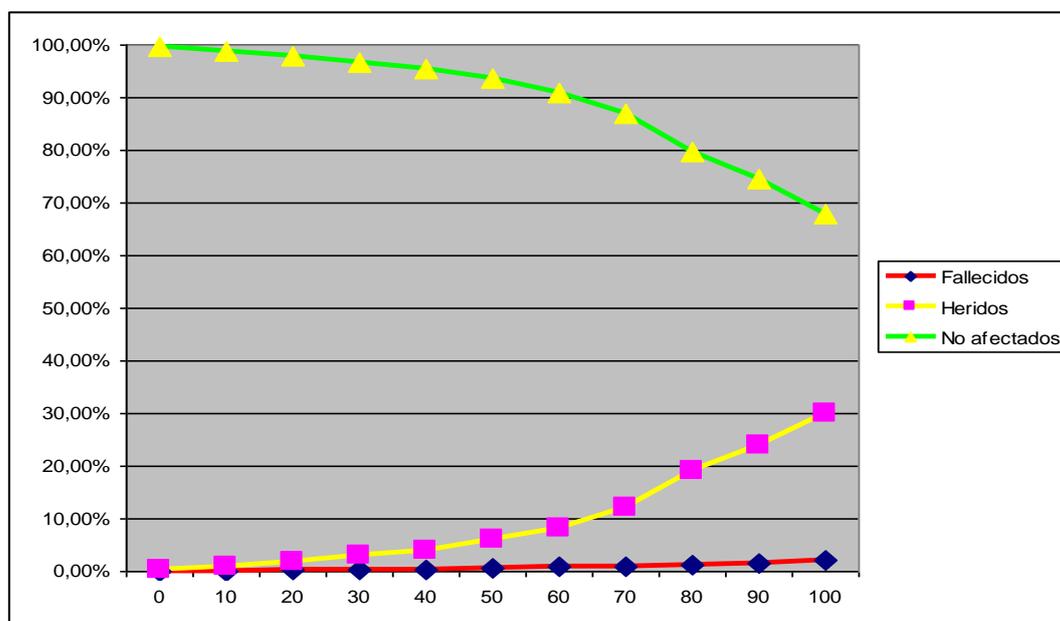
De acuerdo al nivel de riesgo por sector y al nivel de daños descrito en el punto 3.2.1., estimamos los rangos a aplicar a la población por cada sector en que hemos dividido Lima Metropolitana y Callao, estos son los siguientes, para determinar los daños máximos que podría generar el escenario de riesgo sísmico descrito:

Tabla 8.- Rangos de población por tipo de afectación de acuerdo a niveles de riesgo, en el escenario propuesto

	RANGOS	Fallecidos	Heridos	No afectados	TOTAL
POBLACIÓN AFECTADA	0	0,10%	0,20%	99,70%	100,00%
	10	0,10%	1,00%	98,90%	100,00%
	20	0,20%	1,80%	98,00%	100,00%
	30	0,30%	3,00%	96,70%	100,00%
	40	0,40%	4,00%	95,60%	100,00%
	50	0,50%	6,00%	93,50%	100,00%
	60	0,80%	8,20%	91,00%	100,00%
	70	1,00%	12,00%	87,00%	100,00%
	80	1,30%	19,00%	79,70%	100,00%
	90	1,50%	24,00%	74,50%	100,00%
	100	2,00%	30,00%	68,00%	100,00%

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

Grafico representativo de los rangos de población por tipo de afectación de acuerdo a niveles de riesgo, en el escenario propuesto



Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

El cuadro de estimación del número máximo de fallecidos, heridos y no afectados, por sector urbano, se encuentra detallado en la tabla I.1 del Anexo I.

En total, en Lima Metropolitana y Callao, si se materializa el escenario de sismo descrito en este estudio, tendríamos los siguientes daños máximos en la población.

Tabla 9.- Resumen de daños máximos en la población de acuerdo al escenario propuesto

POBLACIÓN	
FALLECIDOS	51019
HERIDOS	686105
NO AFECTADOS	7548603
TOTAL	8285727

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

En cuanto a la vivienda, estimamos los rangos a aplicar por cada sector en que hemos dividido Lima Metropolitana y Callao, para determinar los daños máximos que podría generar el escenario de riesgo sísmico descrito:

Tabla 10.- Rangos de viviendas por tipo de afectación de acuerdo a niveles de riesgo, en el escenario propuesto.

	RANGOS	Destruídas	Inhabitables	No afectadas	TOTAL
VIVIENDA AFECTADA	0	0,10%	1,00%	98,90%	100,00%
	10	0,20%	2,00%	97,80%	100,00%
	20	0,50%	2,50%	97,00%	100,00%
	30	1,00%	3,50%	95,50%	100,00%
	40	2,00%	4,00%	94,00%	100,00%
	50	3,00%	5,00%	92,00%	100,00%
	60	5,00%	6,00%	89,00%	100,00%
	70	30,00%	50,00%	20,00%	100,00%
	80	30,00%	50,00%	20,00%	100,00%
	90	30,00%	50,00%	20,00%	100,00%
100	30,00%	50,00%	20,00%	100,00%	

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

El cuadro de estimación del número máximo de viviendas destruidas, inhabitables y no afectadas, por sector urbano, se encuentra detallado en la tabla I.2 del Anexo I. En total, en Lima Metropolitana y Callao, si se materializara el escenario de sismo descrito en este estudio, tendríamos los siguientes daños máximos en la vivienda.

Tabla 11.- Resumen de daños máximos en viviendas de acuerdo al escenario propuesto

VIVIENDAS	
DESTRUIDAS	200347
INHABITABLES	348328
VIV, NO AFFECTADA	1331583
TOTAL	1880257

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

3.3.2. Avance a nivel de equipamiento básico, estaciones de servicio y bomberos

Se ha tomado en cuenta equipamientos principales e infraestructuras importantes en un escenario de riesgo que deben tenerse en cuenta para la estimación del riesgo en futuros estudios⁴¹. En este documento se han catalogado de acuerdo a su ubicación en función de la zonificación geotécnica sísmica (tipos de suelo por sector en Lima Metropolitana y Callao - Ver anexos K, L, M, N) También se incluye en los mapas las vías principales que dan acceso a los diversos sectores de Lima de acuerdo a su jerarquía (expresa, arterial y colectora). Estos son:

Tabla 12.- Tipo de infraestructura e indicador utilizado para los resultados

Infraestructura	Indicador utilizado
Principales establecimientos de salud - Hospitales y Clínicas	Ubicación con respecto a la zonificación sísmica de Lima Metropolitana y el Callao.
Instituciones educativas (inicial, primaria y secundaria)	Ubicación con respecto a la zonificación sísmica de Lima Metropolitana y el Callao.
Estaciones de servicio (grifos de combustible)	Ubicación con respecto a la zonificación sísmica de Lima Metropolitana y el Callao.
Estaciones de bomberos	Ubicación con respecto a la zonificación sísmica de Lima Metropolitana y el Callao.

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

Para cada tipo de establecimiento se determino su ubicación geográfica, considerando las coordenadas planas UTM, de esta forma se pudo superponer la información con la zonificación sísmica de la ciudad de Lima. Esta superposición nos permitió conocer el número de establecimientos por cada tipo de suelo, sin embargo, es necesario recalcar que para un estudio del riesgo de cada tipo de establecimiento es necesario conocer sus propias características de vulnerabilidad. Debido al limitado tiempo e información disponible se considera que este análisis es un primer paso que debe ser complementado por las instituciones o agentes responsables.

3.3.2.1. Instituciones educativas.

El proyecto ha ubicado las instituciones educativas tanto de nivel inicial, primario y secundario, de acuerdo al tipo de suelo donde se asientan, por ser puntos de grandes concentraciones públicas a considerarse en otros escenarios. Como dato puntual, tenemos 143 instituciones educativas en tipo de suelo IV y 4 en tipo de suelo V. Los mapas respectivos los encontramos en el anexo K.

Los resultados a nivel de Lima Metropolitana y Callao son los siguientes:

Tabla 13.- Número de Instituciones Educativas por tipo de suelo

TIPO DE SUELO	INSTITUCIONES EDUCATIVAS		
	INICIAL	PRIMARIA	PRIMARIA - SECUNDARIA
SUELO I	929	1218	1907
SUELO II	479	734	1134
SUELO III	116	56	254
SUELO IV	29	36	78
SUELO V	2	0	2

Fuente: Información referencial MINEDU, sujeta a corrección.

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

⁴¹ La información es de fuentes secundarias (principalmente información pública de paginas web de los Ministerios respectivos)

3.3.2.2. Principales establecimientos de salud.

Se consideró los establecimientos de salud más importantes y de mayor capacidad de atención y camas disponibles, como hospitales del Ministerio de Salud, de ESSALUD y clínicas más importantes, pues juegan un rol importante en la emergencia luego de un desastre. El análisis permite ver que aproximadamente el 68% de los hospitales y 81% de las clínicas se encuentran en el tipo de suelo I, el más competente y se asume que presenta el menor peligro sísmico (ver anexo L).

Tabla 14: Número de principales establecimientos de salud por tipo de suelo

TIPO DE SUELO	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD	
	HOSPITALES	CLINICAS
SUELO I	33	36
SUELO II	14	7
SUELO III	1	1
SUELO IV	0	0

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

Es necesario recalcar que, es necesario verificar el grado de vulnerabilidad que tienen estos establecimientos, en sus tres componentes: estructural, no estructural y funcional-organizativo, según las recomendaciones de la OPS⁴²

3.3.2.3. Principales estaciones de servicio.

Se han ubicado las principales estaciones de servicio por expendio de combustible, que podrían ser elementos de peligro latente, generando incendios y explosiones producto de algún colapso en sus estructuras; en función del tipo de suelo, como se observa en el anexo M, en las zonas con el tipo de suelo menos competente (suelo tipo IV) existen 17 estaciones de servicio.

Tabla 15: Número de principales estaciones de servicio por tipo de suelo

TIPO DE SUELO	NUMERO DE ESTACIONES DE SERVICIO
SUELO I	479
SUELO II	225
SUELO III	36
SUELO IV	17

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

3.3.2.4. Principales estaciones de bomberos.

Considerando la información disponible se pudo identificar la ubicación de las Estaciones de Bomberos en función del tipo de Suelo, como se observa en el anexo N. En las zonas con el tipo de suelo menos competente (suelo tipo IV) sólo se localizan dos estaciones de Bomberos.

Tabla 16: Número de principales estaciones de bomberos por tipo de suelo

TIPO DE SUELO	NUMERO DE ESTACIONES DE BOMBEROS
SUELO I	24
SUELO II	17
SUELO III	5
SUELO IV	2

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

⁴² Morales N, Sato J. Vulnerabilidad Funcional y Organizativa. En: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales del Perú. OPS/OMS. Lima, 1997.

Capítulo 4

**CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES**

4.1. Conclusiones

4.1.1. Del estudio

A. Sobre la adquisición de información:

- La recopilación de información cartográfica a nivel distrital proporciona una vista de la situación a un nivel macro, con una resolución baja. Como información base, se realizó la automatización del mapa de microzonificación geotécnica sísmica de CISMID mediante su georreferenciación y digitalización.
- Se hizo el diseño de una geodatabase para la gestión rápida y óptima de los datos geográficamente referenciados
- Se hizo una evaluación de la vulnerabilidad física de las viviendas utilizando un criterio grueso de áreas homogéneas.
- Se hizo un inventario de ubicación de establecimientos de salud, instituciones educativas, estaciones de servicio de combustible y estaciones de bomberos, faltando determinar las características de cada una de ellas.
- Se hizo el diseño de modelos conceptuales y funcionales para integración de información geográfica.

B. Sobre la Evaluación:

- Se hizo la integración de la información en una plataforma SIG
- Se elaboró el mapa temático de riesgo sísmico para edificaciones y mapa de peligro por tsunamis. Comprende la zona urbana, dividida en 106 zonas urbanas de análisis.
- Se aplicó metodologías de evaluación para el riesgo sísmico en edificaciones y amenaza por tsunamis
 - o Aplicación del modelo de riesgo desarrollado por CISMID para la APESEG, que toma en cuenta las condiciones de amenaza sísmica, la microzonificación geotécnica y la vulnerabilidad estructural mediante las características predominantes de las edificaciones (material de construcción, estado de conservación, altura de la edificación, tipología estructural y su ubicación geográfica).
 - o Elaboración de un modelo digital de terreno para la batimetría de la zona de estudio, aplicación de las metodologías de cálculo del tiempo de llegada de la primera ola a la costa y para el cálculo de la altura de la ola máxima de tsunami
- Se concluye que hay 34 zonas urbanas que se encuentran en muy alto riesgo, 29 en alto riesgo, 20 en mediano riesgo y 23 zonas en bajo riesgo.
- Como resultado del escenario analizado, tomando en cuenta la densidad poblacional del área urbana ocupada, se estima que tendrá un máximo de 51,019 personas fallecidas, 686,105 heridos, 200,347 viviendas colapsarían y 348,329 serían altamente afectadas.
- Se ha determinado que la altura de ola que afectaría a la zona costera es de 6 metros, inundando áreas importantes, especialmente La Punta.
- El tiempo de llegada es crítico para La Punta, siendo este de 11 minutos después de ocurrido el sismo. Para las otras áreas el promedio es de 18 minutos.
- Se han identificado los siguientes elementos ubicados en suelos poco competentes (suelos tipo III y IV)

- 569 instituciones educativas
- 2 establecimientos de salud
- 43 estaciones de servicio de combustible
- 4 estaciones de bomberos

4.1.2. De la aplicación del estudio

- El presente estudio es un insumo para el Plan de Contingencias al establecer el posible impacto directo en el momento del sismo, pero se requiere también tener el impacto indirecto por la interrupción de actividades y servicios, lo cual es crítico por tratarse de la capital del país, en donde se concentran actividades políticas y económicas.
- Las restricciones de tiempo y de información sólo han permitido una aproximación gruesa del posible impacto directo.
- Para su aplicación en un requerido Plan de Emergencia para Lima Metropolitana y Callao, este producto tiene los siguientes beneficios en cada etapa:
 - Antes de producirse un terremoto proporciona una visión panorámica, de acuerdo a los datos usados, sobre las probables consecuencias que ocasionaría el escenario descrito, localizando sectores de mayor riesgo y algunos de los elementos más vulnerables, facilitando la planificación de futuros estudios, medios y recursos necesarios para la prevención, mitigación e intervención en futuras emergencias.
 - Después de un terremoto: permite estimar y valorar con rapidez los posibles daños causados por el terremoto, buscando lograr que se puedan activar con mayor eficacia las medidas de protección civil contempladas en los protocolos de actuación y el futuro Plan de Emergencia de Lima Metropolitana y Callao.
 - Revisión de la zonificación de Lima Metropolitana y Callao, por parte del IMP y de cada uno de los municipios, procurando lograr un control urbano más eficaz en cuanto a densidades, alturas de edificación y calidad de las construcciones (Vigilancia más estricta del cumplimiento de la norma sismorresistente E.30). Se debe priorizar los sectores que sufrirán las intensidades sísmicas más fuertes, dado que su riesgo de impacto es mayor.

4.2.- Recomendaciones

4.2.1. Recomendaciones sobre futuros estudios

- La información existente de microzonificación está a nivel grueso, por lo que se requiere realizar estudios de micro zonificación geotécnica de detalle, particularmente para identificación de los suelos menos competentes.
- Incorporar, previa obtención de la información, el análisis referente a los daños ocasionados en las redes matrices de gas, agua y energía eléctrica.
- Afinar el detalle del estudio en aspectos de vulnerabilidad física en función de indicadores del terreno con imágenes de satélite Quickbird que permiten tener resolución espacial de hasta 0.6 metros de resolución espectral.
- El detalle más adecuado para representar el riesgo de Lima Metropolitana y Callao es a nivel de manzana, información que se encuentra en la base de datos del Osinergming.
- Mejorar los mecanismos de colaboración e intercambio de información interinstitucional. En un país en donde los recursos no sobran, se requiere el compromiso de las instituciones generadoras de información de base para la entrega de información pertinente para el análisis de riesgo. Se recomienda una institución coordinadora para la adquisición, sistematización y disseminación de la información. De esta manera, no se duplicará esfuerzos en la generación de la información base.
- Es necesario realizar los análisis de riesgo a nivel sectorial y su integración posterior en un mapa de riesgo integrado urbano para fines de preparativos (antecedente: Plan Alfa Centauro de 1980)
- Lima Metropolitana y Callao concentrará la mayor parte del impacto, pero debe ampliarse el análisis de impacto más allá del límite urbano.
- Diseño de una estrategia de para elevar el interés en un estudio de mayor resolución y su disseminación.
- Sensibilización a nivel de los gobiernos locales para que los estudios de riesgo sean considerados en la planificación del desarrollo e integrarlo a los otros niveles de gobierno.
- Se recomienda el intercambio de experiencias sobre este tema a nivel nacional e internacional para enriquecer resultados.
- En el estudio se ha establecido un nivel de impacto máximo. Se debe analizar un rango que establezca también un mínimo.
- Se recomienda que los mapas presentados sean incorporados a los planes de desarrollo de las Oficinas de Defensa Civil y Desarrollo Urbano de las Municipalidades de Lima y Callao.
- También se debe tomar en consideración el estudio realizado por la institución suiza WAPMEER (Agencia Mundial para Monitoreo Planetario y Reducción del Riesgo Sísmico, <http://www.wapmerr.org/>) que realizó sus propios estimados preliminares de pérdidas por posibles sismos futuros cerca a Lima, del cual se incluye un resumen

como anexo O.⁴³ Este trabajo se realizó al mismo tiempo que el presente diseño, y nuestra cooperación fue la entrega de información a WAPMEER, a solicitud de COSUDE.

- Para futuros modelamientos de escenarios se debe tener en cuenta, entre otros, lo siguiente:
 - o El sismo máximo probable podría ocasionar múltiples deslizamientos que afectarían los cauces de los ríos que atraviesan Lima, sea en las quebradas altas o, en el caso del río Rímac, en el centro de la ciudad donde hay taludes inestables, asimismo deslizamientos en los acantilados costeros de Lima y de laderas que podrían interrumpir las carreteras de acceso a la Capital.
 - o El evento sísmico podría ser seguido de incendios en refinerías o plantas de almacenamiento de hidrocarburos, grandes industrias y mercados.
 - o Las edificaciones situadas en los conos de Lima, en su mayoría auto construidas, se encuentran cimentadas sobre suelos pocos competentes (arenales, pantanos, etc.) con la probabilidad de existencia de fenómenos asociados al sismo sobre los suelos, como la licuación y deslizamientos en taludes inestables.

4.2.2. Sobre la información requerida

Se debe lograr información a mayor nivel de detalle. Estas serían:

- Información de población e indicadores de vivienda a nivel de manzana, que debe ser generada por el INEI.
- Información de las redes de servicios básicos e infraestructura relacionada (agua, desagüe, electricidad, gas, estaciones de servicios) – OSINERMIN. Esta institución tiene información georreferenciada que debe ser de dominio de las instituciones que la requieran para fines de prevención de desastres.
- Información oficial de topografía de Lima Metropolitana y Callao, con curvas cada (1) un metro, debiendo ser generada por el IGN.
- Información socio cultural y sectorización distrital según áreas homogéneas de desarrollo. Esta información debe ser generada por cada una de las Municipalidades de Lima Metropolitana y Callao, y estar disponibles en sus Planes de Desarrollo Concertado, Planes de Desarrollo Urbano y otros.

⁴³ Wyss M., Trendafiloski, G., Rosset, P., Wyss B. Preliminary loss estimates for posible future earthquakes near Lima, Peru. World Agency for Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction –WAPMEER. Switzerland, 2009.



ANEXOS



Anexo A.- Información obtenida para el estudio

Información de base cartográfica

1.- Mapa georeferenciado en SIG, formato shapefile (sectores, distritos, vías, curvas de nivel, componente urbano (Instituciones educativas, establecimientos de salud principales, estaciones de bomberos, y estaciones de servicio de combustible, entre las que se usaron) – Elaborado por PREDES con fuentes disponibles.

Información para análisis de Peligro Sísmico:

1. Zonificación preliminar de Lima Metropolitana. En este proyecto se considera la topografía, geología, geomorfología, geotécnica, y la zonificación propiamente dicha. Obtenido del Centro Peruano Japonés de investigación Sísmica y Mitigación de Desastres - CISMID

- Mapa Geológico de Lima Metropolitana y Callao
- Mapa Geomorfológico de Lima Metropolitana y Callao
- Mapa de la distribución de suelos en Lima Metropolitana y Callao
- Mapa de Isoperiodos de Lima Metropolitana y Callao
- Mapa de Zonificación Sísmica de Lima Metropolitana y Callao.

2. Información de peligro sísmico en Lima. Obtenido del Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI

Información para análisis de peligro por tsunami

1. Curvas de nivel cada 5 metros, modelamiento en GIS a partir de datos del Google Earth

Información para diagnóstico de Vulnerabilidad Física.

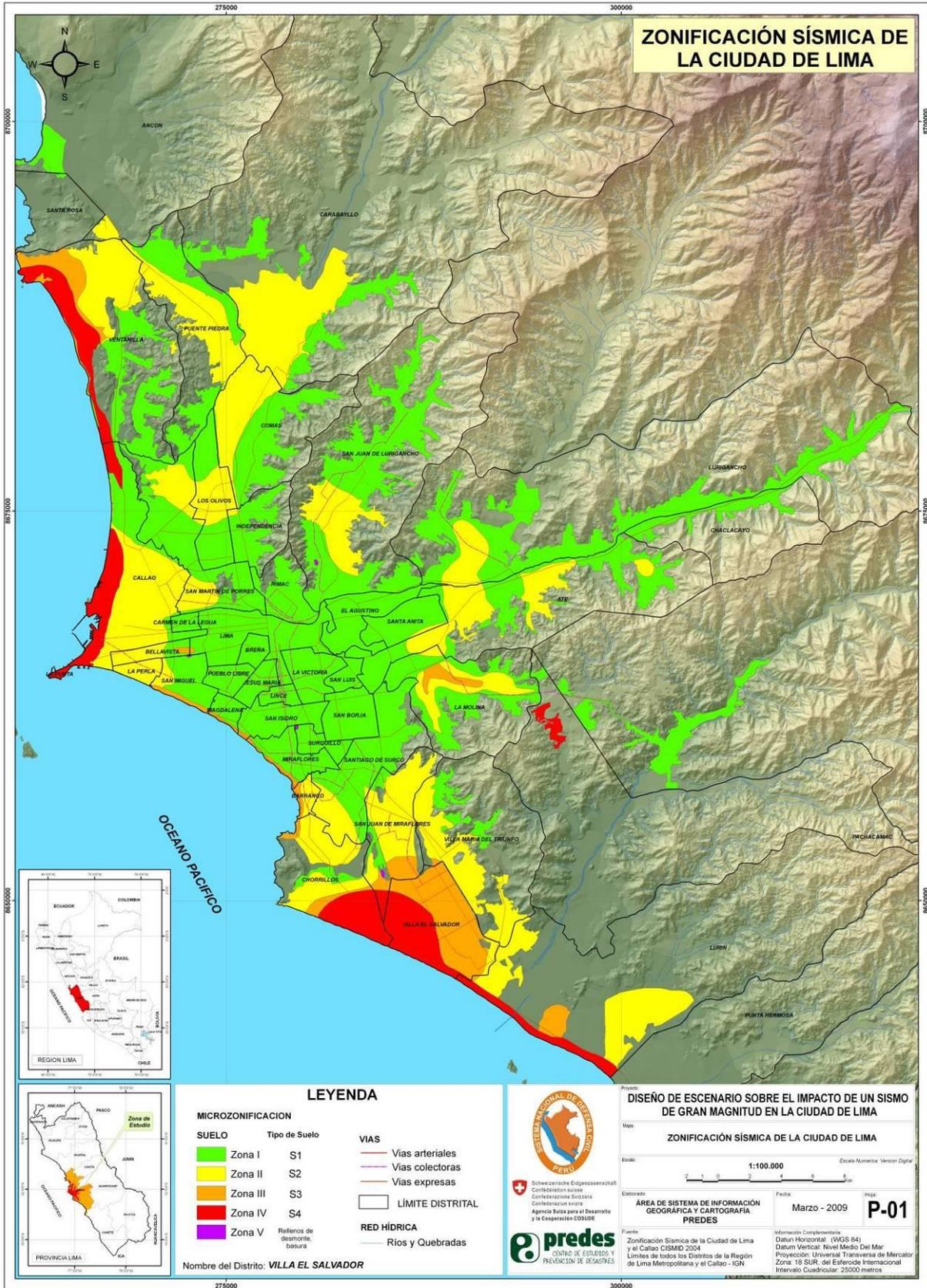
1. Información de población, vivienda y socioeconómica del Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI)

2. Zonificación urbana, alturas de edificación de los distritos de Independencia, Santiago de Surco, Miraflores, San Isidro, La Molina, San Borja, a través de las páginas web de estas municipalidades distritales.

3. Planes de desarrollo, con sus respectivas sectorizaciones, de los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Ate Vitarte, San Juan de Lurigancho, Independencia y Los Olivos, a través de las páginas web de estas municipalidades distritales.

5. Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima y Callao, para la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) de mayo de 2005 – CISMID, a través de INDECI.

Anexo B. Mapa de zonificación sísmica a nivel de Lima Metropolitana y Callao (CISMID) y Tabla de datos de tipo de suelo por sectores



B.1.- Tabla de tipos de suelo y factor de amplificación sísmica por sector urbano en Lima Metropolitana y Callao

Nº	SECTOR	SUELO	FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA
1	BARRANCO 02	Suelo II	1,2
2	BREÑA	Suelo I	1,0
3	CARABAYLLO	Suelo II	1,2
4	CARMEN DE LA LEGUA	Suelo I	1,0
5	CHACLACAYO	Suelo I	1,0
6	CIENEGUILLA	Suelo I	1,0
7	COMAS	Suelo II	1,2
8	INDEPENDENCIA 02	Suelo I	1,0
9	JESUS MARIA	Suelo I	1,0
10	LA MOLINA 03	Suelo II	1,2
11	LA PERLA	Suelo II	1,2
12	LA VICTORIA 03	Suelo I	1,0
13	LINCE	Suelo I	1,0
14	LURIGANCHO 01	Suelo I	1,0
15	PUEBLO LIBRE	Suelo I	1,0
16	MAGDALENA 02	Suelo I	1,0
17	MIRAFLORES 01	Suelo I	1,0
18	SAN ISIDRO	Suelo I	1,0
19	SANTA ANITA	Suelo I	1,0
20	SANTIAGO DE SURCO 04	Suelo I	1,0
21	SAN BORJA	Suelo I	1,0
22	VILLA EL SALVADOR 02	Suelo III	1,4
23	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 06	Suelo II	1,2
24	PUENTE PIEDRA	Suelo II	1,2
25	LOS OLIVOS 07	Suelo I	1,0
26	SAN LUIS	Suelo I	1,0
27	SURQUILLO	Suelo I	1,0
28	CHORRILLOS 04	Suelo III	1,4
29	SAN JUAN DE MIRAFLORES 05	Suelo III	1,4
30	ATE 06	Suelo I	1,0
31	SAN JUAN DE LURIGANCHO 08	Suelo I	1,0
32	EL AGUSTINO	Suelo I	1,0
33	VENTANILLA	Suelo I	1,0
34	ANCON	Suelo I	1,0
35	BELLAVISTA	Suelo II	1,2
36	SAN MIGUEL	Suelo II	1,2
37	SAN MARTIN DE PORRES 01	Suelo I	1,0
38	LA PUNTA	Suelo IV	1,4
39	CALLAO	Suelo III	1,4
40	LOS OLIVOS 01	Suelo I	1,0
41	LOS OLIVOS 02	Suelo I	1,0
42	LOS OLIVOS 03	Suelo II	1,2
43	LOS OLIVOS 05	Suelo II	1,2
44	LOS OLIVOS 04	Suelo II	1,2
45	LOS OLIVOS 06	Suelo I	1,0
46	LOS OLIVOS 08	Suelo I	1,0
47	INDEPENDENCIA 01	Suelo I	1,0
48	RIMAC 04	Suelo I	1,0
49	LIMA 01	Suelo I	1,0
50	LIMA 02	Suelo I	1,0
51	LIMA 06	Suelo I	1,0
52	LIMA 05	Suelo I	1,0
53	LIMA 04	Suelo I	1,0
54	MAGDALENA 01	Suelo I	1,0

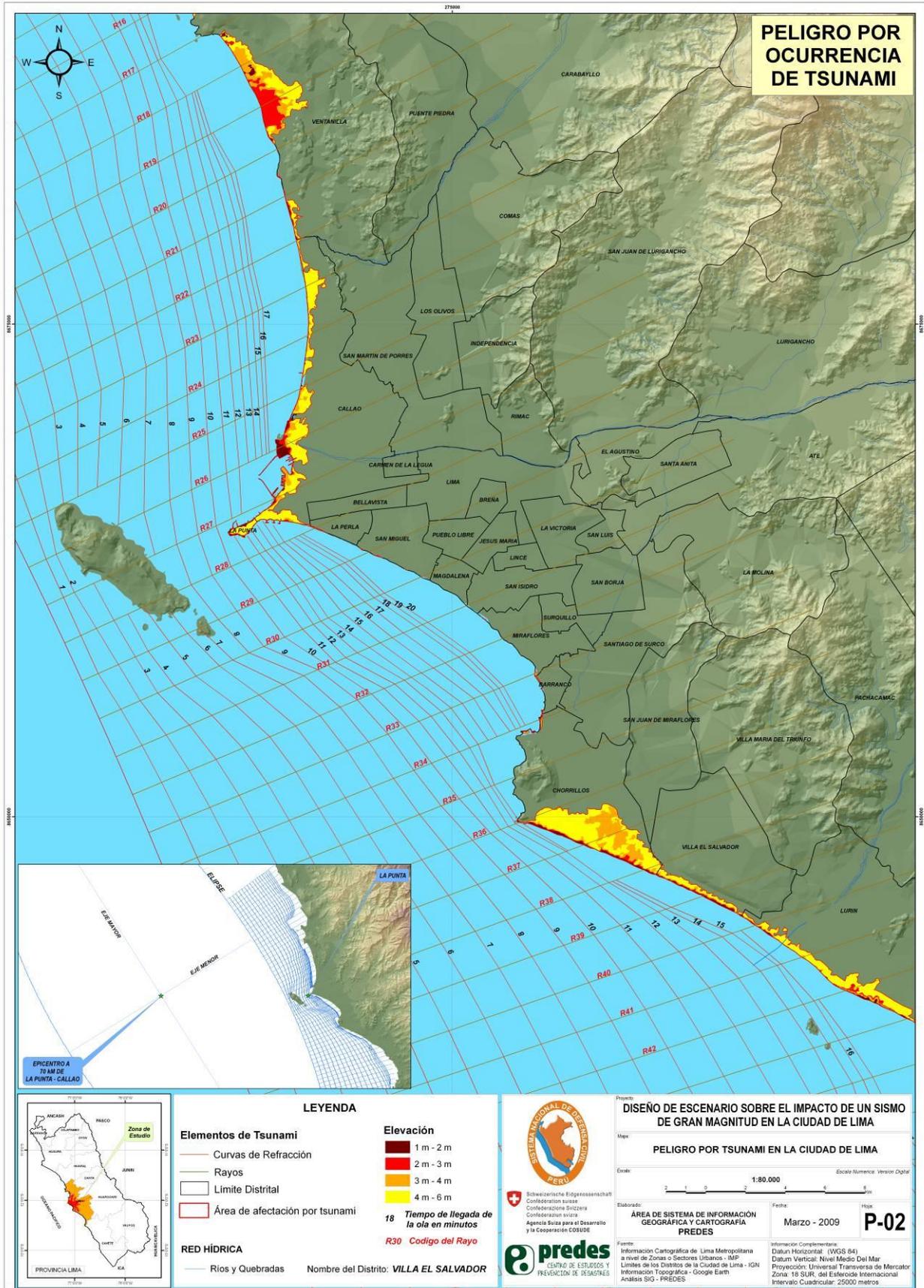
Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

55	MAGDALENA 03	Suelo III	1,4
56	MIRAFLORES 02	Suelo I	1,0
57	MIRAFLORES 03	Suelo III	1,4
58	SANTIAGO DE SURCO 01	Suelo II	1,2
59	SANTIAGO DE SURCO 02	Suelo II	1,2
60	SANTIAGO DE SURCO 03	Suelo I	1,0
61	SAN JUAN DE MIRAFLORES 01	Suelo II	1,2
62	SAN JUAN DE MIRAFLORES 02	Suelo II	1,2
63	SAN JUAN DE MIRAFLORES 04	Suelo II	1,2
64	SAN JUAN DE MIRAFLORES 03	Suelo II	1,2
65	SAN JUAN DE MIRAFLORES 07	Suelo II	1,2
66	SAN JUAN DE MIRAFLORES 06	Suelo III	1,4
67	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 03	Suelo II	1,2
68	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 01	Suelo II	1,2
69	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 02	Suelo II	1,2
70	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 04	Suelo II	1,2
71	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 05	Suelo II	1,2
72	VILLA EL SALVADOR 05	Suelo IV	1,4
73	VILLA EL SALVADOR 03	Suelo IV	1,4
74	VILLA EL SALVADOR 04	Suelo III	1,4
75	VILLA EL SALVADOR 01	Suelo III	1,4
76	LA MOLINA 02	Suelo III	1,4
77	LA MOLINA 05	Suelo I	1,0
78	LA MOLINA 04	Suelo I	1,0
79	ATE 01	Suelo I	1,0
80	ATE 02	Suelo II	1,2
81	ATE 03	Suelo II	1,2
82	ATE 04	Suelo I	1,0
83	ATE 05	Suelo II	1,2
84	SAN JUAN DE LURIGANCHO 02	Suelo I	1,0
85	SAN JUAN DE LURIGANCHO 05	Suelo II	1,2
86	SAN JUAN DE LURIGANCHO 07	Suelo I	1,0
87	SAN JUAN DE LURIGANCHO 04	Suelo II	1,2
88	SAN JUAN DE LURIGANCHO 06	Suelo I	1,0
89	SAN JUAN DE LURIGANCHO 03	Suelo II	1,2
90	SAN JUAN DE LURIGANCHO 01	Suelo I	1,0
91	LA MOLINA 01	Suelo I	1,0
92	LIMA 03	Suelo I	1,0
93	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 07	Suelo I	1,0
94	BARRANCO 03	Suelo II	1,2
95	BARRANCO 01	Suelo II	1,2
96	LA VICTORIA 01	Suelo I	1,0
97	LA VICTORIA 02	Suelo I	1,0
98	RIMAC 01	Suelo I	1,0
99	RIMAC 03	Suelo I	1,0
100	RIMAC 02	Suelo I	1,0
101	CHORRILLOS 02	Suelo III	1,4
102	CHORRILLOS 03	Suelo III	1,4
103	CHORRILLOS 01	Suelo III	1,4
104	CHORRILLOS 05	Suelo III	1,4
105	SAN MARTIN DE PORRES 02	Suelo I	1,0
106	LURIGANCHO 02	Suelo I	1,0

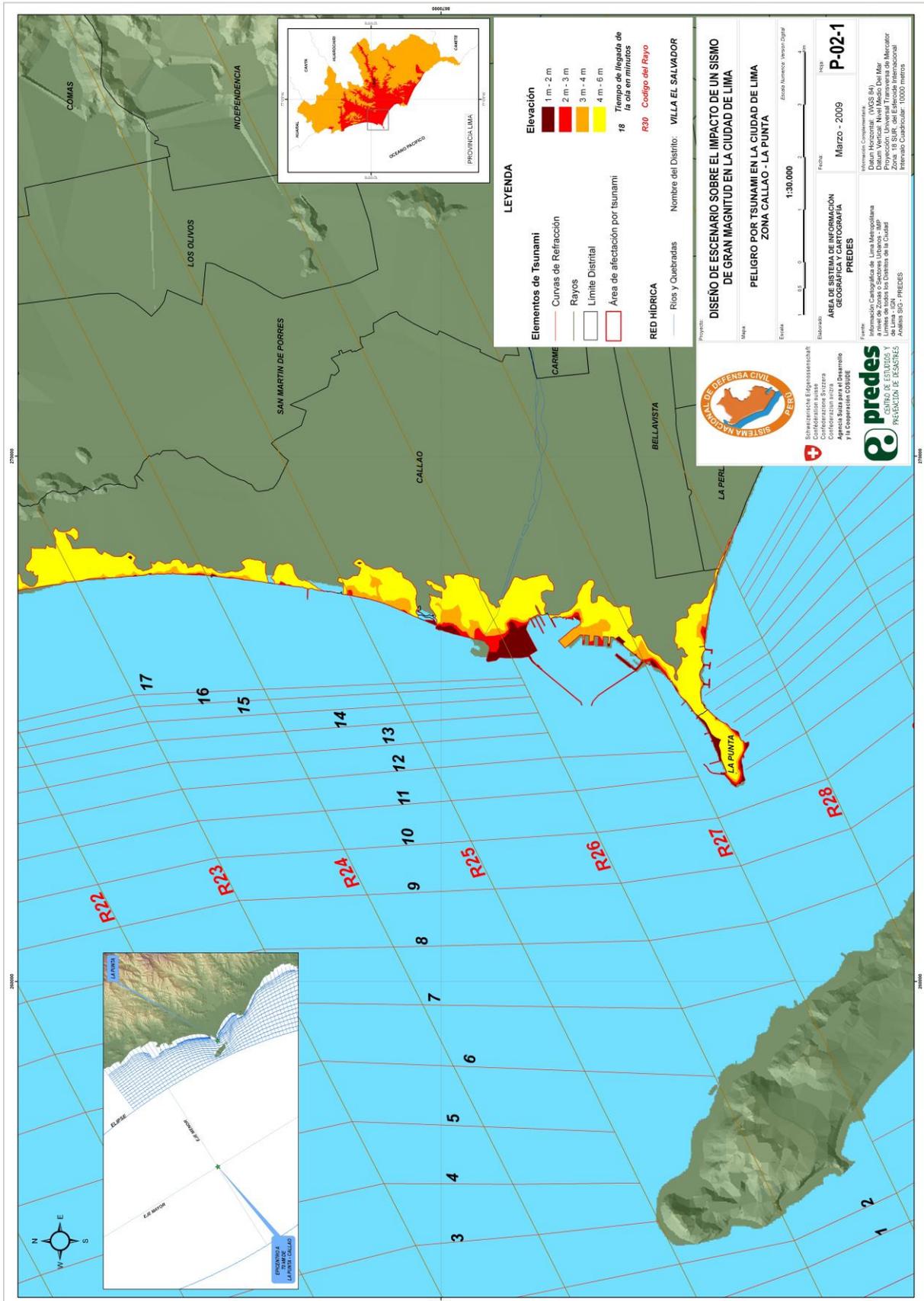
Fuente: CISMID

Elaboración: Equipo Técnico de PREDES.

Anexo C. Mapa de Zona de disturbación, líneas de refracción, cálculo de llegada de primera ola, y niveles de inundación, para determinar el peligro por tsunami asociado al escenario de sismo.



Anexo D. Mapa de Cálculo de tiempo de llegada de primera ola a consecuencia de un tsunami asociado al escenario de sismo en el Callao.



Anexo E. Tabla de tiempos de llegada de primera ola por línea de refracción.

E.1.- Tabla de tiempos de llegada de la primera ola a la costa por línea de refracción y distancia desde la zona de disturbación

Nº de Perfil o línea de refracción	Distancia acumulada de recorrido	Tiempo de llegada (en minutos)	Nº de Perfil o línea de refracción	Distancia acumulada de recorrido	Tiempo de llegada (en minutos)
0	26172,24	20,00	33	18006,04	20,00
1	26470,99	21,00	34	17612,73	16,00
2	26198,68	21,00	35	16846,36	13,00
3	25713,78	20,00	36	17616,87	15,00
4	24335,70	17,00	37	19178,38	13,00
5	24187,09	17,00	38	20822,92	14,00
6	24677,74	17,00	39	22879,53	14,00
7	25344,15	18,00	40	25620,34	15,00
8	26128,07	19,00	41	27233,42	15,00
9	25114,79	19,00	42	28431,91	16,00
10	24753,65	20,00	43	29638,08	18,00
11	23571,86	23,00	44	31214,52	21,00
12	17923,49	13,00	45	31867,99	23,00
13	18659,14	15,00	46	32764,10	21,00
14	19358,21	17,00	47	33517,87	20,00
15	19211,36	14,00	48	33943,46	20,00
16	17953,84	12,00	49	33511,55	18,00
17	17674,75	12,00	50	34116,78	21,00
18	18523,75	15,00	51	32824,94	16,00
19	18327,13	17,00	52	32138,32	14,00
20	18377,89	17,00	53	32032,57	14,00
21	17589,39	16,00	54	33111,51	14,00
22	17087,93	18,00	55	36267,06	19,00
23	16644,00	19,00	56	37481,79	17,00
24	15507,10	18,00	57	38462,69	19,00
25	*	*	58	39779,45	19,00
26	*	*	59	40772,85	19,00
27	*	*	60	41993,58	21,00
28	*	*	61	42172,27	21,00
29	13871,74	33,00	62	42625,82	20,00
30	13436,31	16,00	63	44869,59	24,00
31	15061,54	32,00	64	45884,63	27,00
32	16659,46	22,00			

* Estos datos han sido determinados gráficamente (ver anexo D), debido a la influencia en el recorrido de la ola por parte de la Isla San Lorenzo.

Fuente: Modelo de Propagación de un tsunami a través del diagrama de Refracción. (Godoy & Monge, 1975).

Elaboración: Equipo técnico PREDES. Dr. Ing. Miguel Estrada.

Anexo F. Cuadro de Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MM-56)

Intensidad	Significado
I	La gente no siente el movimiento del suelo
II	Poca gente puede notar el movimiento si están descansando y/o en los pisos superiores de edificios altos.
III	Mucha gente en los interiores siente el movimiento. Los objetos colgados oscilan de un lado a otro. La gente en el exterior no se puede dar cuenta que esta ocurriendo un sismo.
IV	Mucha gente en los interiores siente el movimiento. Los objetos colgados se balancean. Los platos, las ventanas y las puertas se mueven. El terremoto parece como si un camión pesado golpeará los muros. Poca gente en el exterior puede sentir el movimiento. Los autos estacionados se balancean.
V	Casi toda la gente siente el movimiento. La gente que duerme se despierta. Las puertas se balancean. Los platos se rompen. Los cuadros en las paredes se mueven. Los objetos pequeños se mueven y se vuelcan. Los árboles pueden sacudirse. Los líquidos pueden derramarse de los contenedores abiertos.
VI	Todo el mundo siente el movimiento. La gente tiene problemas para caminar. Los objetos caen de los estantes. Los cuadros caen de los muros. Los muebles se mueven. El yeso de las paredes se pueden agrietar. Los árboles y los arbustos se sacuden. Los edificios construidos inadecuadamente pueden dañarse ligeramente. No existe daño estructural.
VII	La gente tiene dificultades para mantenerse de pie. Los conductores sienten que sus autos se sacuden. Algunos muebles se rompen. Los ladrillos sueltos de los edificios se caen. Los edificios bien construidos pueden dañarse ligeramente; los edificios construidos inadecuadamente pueden sufrir un daño considerable.
VIII	Los automovilistas tienen problemas para conducir. Las casas que no están bien cimentadas pueden levantarse. Las estructuras altas como son torres y chimeneas se pueden torcer y caer. Los edificios bien construidos pueden sufrir daños ligeros. Los edificios construidos inadecuadamente pueden sufrir un daño severo. Las ramas de los árboles pueden desgarrarse. Las colinas pueden deslizarse si el terreno está húmedo. Los niveles de agua en los pozos pueden cambiar.
IX	Los edificios bien construidos sufren un daño considerable. Las casas que no están bien cimentadas se desplazan. Algunas tuberías subterráneas se rompen. El suelo se agrieta. Los embalses sufren daños muy serios.
X	La mayoría de los edificios y sus cimentaciones se destruyen. Algunos puentes se destruyen. Las presas se dañan seriamente. Ocurren grandes deslizamientos de taludes. El agua salta de las orillas de los canales, ríos, lagos, etc. El suelo se agrieta en grandes áreas. Las vías de los trenes llegan a doblarse ligeramente.
XI	Muchos edificios colapsan. Algunos de los puentes se destruyen. Aparecen grandes grietas en el suelo. Las tuberías subterráneas se destruyen completamente. Las vías de los trenes se doblan de forma considerable.
XII	Casi todo se destruye. Los objetos son arrojados al aire. El suelo se mueve en forma de ondas o pliegues. Se pueden mover grandes cantidades de rocas.

Fuente: Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas, por Ulises Mena Hernández, Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio de 2002

Anexo G. Tabla de datos base, tabla y Mapas de variables de vulnerabilidad consideradas a nivel sector en Lima Metropolitana y Callao

G.1. Cuadro de datos de población y vivienda de acuerdo a información del INEI

Nº	Distrito	Población	Área Neta en Há	Densidad	Nº de viviendas
1	LIMA	299.493,00	2.162,40	138,50	75.418
2	ANCÓN	33.367,00	1.130,32	29,52	8.236
3	ATE	478.278,00	4.360,13	109,69	108.849
4	BARRANCO	33.903,00	274,52	123,50	9.440
5	BREÑA	81.909,00	321,09	255,10	21.668
6	CARABAYLLO	213.386,00	2.547,28	83,77	46.933
7	CHACLACAYO	41.110,00	768,12	53,52	9.166
8	CHORRILLOS	286.977,00	3.033,26	94,61	62.408
9	CIENEGUILLA	26.725,00	1.310,05	20,40	4.569
10	COMAS	486.977,00	3.310,52	147,10	95.036
11	EL AGUSTINO	180.262,00	1.214,70	148,40	36.434
12	INDEPENDENCIA	207.647,00	990,88	209,56	41.239
13	JESÚS MARIA	66.171,00	435,05	152,10	18.234
14	LA MOLINA	132.498,00	2.949,64	44,92	32.945
15	LA VICTORIA	192.724,00	908,22	212,20	49.007
16	LINCE	55.242,00	274,97	200,90	15.701
17	LOS OLIVOS	318.140,00	1.826,38	174,19	73.722
18	LURIGANCHO	169.359,00	5.669,87	29,87	38.756
20	MAGDALENA DEL MAR	50.764,00	330,28	153,70	13.735
21	PUEBLO LIBRE	74.164,00	460,65	161,00	19.562
22	MIRAFLORES	85.065,00	918,73	92,59	27.913
24	PUENTE PIEDRA	233.602,00	3.106,41	75,20	51.150
25	RIMAC	176.169,00	902,04	195,30	41.243
26	SAN BORJA	105.076,00	1.029,15	102,10	28.269
27	SAN ISIDRO	58.056,00	971,97	59,73	17.860
28	SAN JUAN DE LURIGANCHO	898.443,00	5.687,15	157,98	189.671
29	SAN JUAN DE MIRAFLORES	362.643,00	2.610,19	138,93	69.942
30	SAN LUIS	54.634,00	349,10	156,50	13.347
31	SAN MARTIN DE PORRES	579.561,00	3.266,97	177,40	123.863
32	SAN MIGUEL	129.107,00	972,92	132,70	32.871
33	SANTA ANITA	184.614,00	1.030,21	179,20	39.709
34	SANTIAGO DE SURCO	289.597,00	2.912,86	99,42	75.164
35	SURQUILLO	89.283,00	462,61	193,00	23.671
36	VILLA EL SALVADOR	381.790,00	3.408,04	112,03	75.883
37	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	378.470,00	2.738,57	138,20	83.947
38	BELLAVISTA	75.163,00	459,15	163,70	16.444
39	CALLAO	415.888,00	5.214,90	79,75	87.668
40	CARMEN DE LA LENGUA	41.863,00	194,08	215,70	8.572
41	LA PERLA	61.698,00	328,71	187,70	13.887
42	LA PUNTA	4.370,00	59,60	73,32	1.237
43	VENTANILLA	277.895,00	3.685,61	75,40	70.874
TOTAL		8.312.083,00	74.587,31		1.874.243,00

Fuente: INEI. Censos Nacionales 2007, XI de Población y IV de Vivienda.
Elaboración: Equipo Técnico PREDES.

G2. Tabla de variables de estimación de vulnerabilidad por sector urbano en Lima Metropolitana y Callao

Nº	SECTOR	MATERIAL	TIPO DE VIVIENDA	ESTADO DE CONSERVACION	ALTURA DE EDIFICACION
1	BARRANCO 02	Albañilería	Casa Inde	Densificado	2
2	BREDA	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	2
3	CARABAYLLO	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
4	CARMEN DE LA LEGUA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
5	CHACLACAYO	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
6	CIENEGUILLA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
7	COMAS	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
8	INDEPENDENCIA 02	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
9	JESUS MARIA	Albañilería	Edificio	Densificado	3
10	LA MOLINA 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
11	LA PERLA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
12	LA VICTORIA 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	3
13	LINCE	Albañilería	Edificio	Densificado	3
14	LURIGANCHO 01	Madera	Improvisada	En consolid	1
15	PUEBLO LIBRE	Albañilería	Casa Inde	Densificado	3
16	MAGDALENA 02	Albañilería	Edificio	Densificado	4
17	MIRAFLORES 01	Albañilería	Edificio	Densificado	4
18	SAN ISIDRO	Albañilería	Edificio	Densificado	4
19	SANTA ANITA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
20	SANTIAGO DE SURCO 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
21	SAN BORJA	Albañilería	Edificio	Densificado	4
22	VILLA EL SALVADOR 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
23	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 06	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
24	PUENTE PIEDRA	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
25	LOS OLIVOS 07	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
26	SAN LUIS	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
27	SURQUILLO	Albañilería	Casa Inde	Densificado	3
28	CHORRILLOS 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
29	SAN JUAN DE MIRAFLORES 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
30	ATE 06	Madera	Casa Inde	En consolid	1
31	SAN JUAN DE LURIGANCHO 08	Madera	Improvisada	En consolid	1
32	EL AGUSTINO	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	3
33	VENTANILLA	Madera	Improvisada	En consolid	2
34	ANCON	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
35	BELLAVISTA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
36	SAN MIGUEL	Albañilería	Casa Inde	Densificado	2
37	SAN MARTIN DE PORRES 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
38	LA PUNTA	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
39	CALLAO	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	2
40	LOS OLIVOS 01	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
41	LOS OLIVOS 02	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
42	LOS OLIVOS 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
43	LOS OLIVOS 05	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
44	LOS OLIVOS 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
45	LOS OLIVOS 06	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
46	LOS OLIVOS 08	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
47	INDEPENDENCIA 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
48	RIMAC 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
49	LIMA 01	Adobe	Quinta	Deteriorada	3
50	LIMA 02	Albañilería	Quinta	Consolidada	3
51	LIMA 06	Madera	Improvisada	Deteriorada	1
52	LIMA 05	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
53	LIMA 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
54	MAGDALENA 01	Albañilería	Casa Inde	Densificado	2

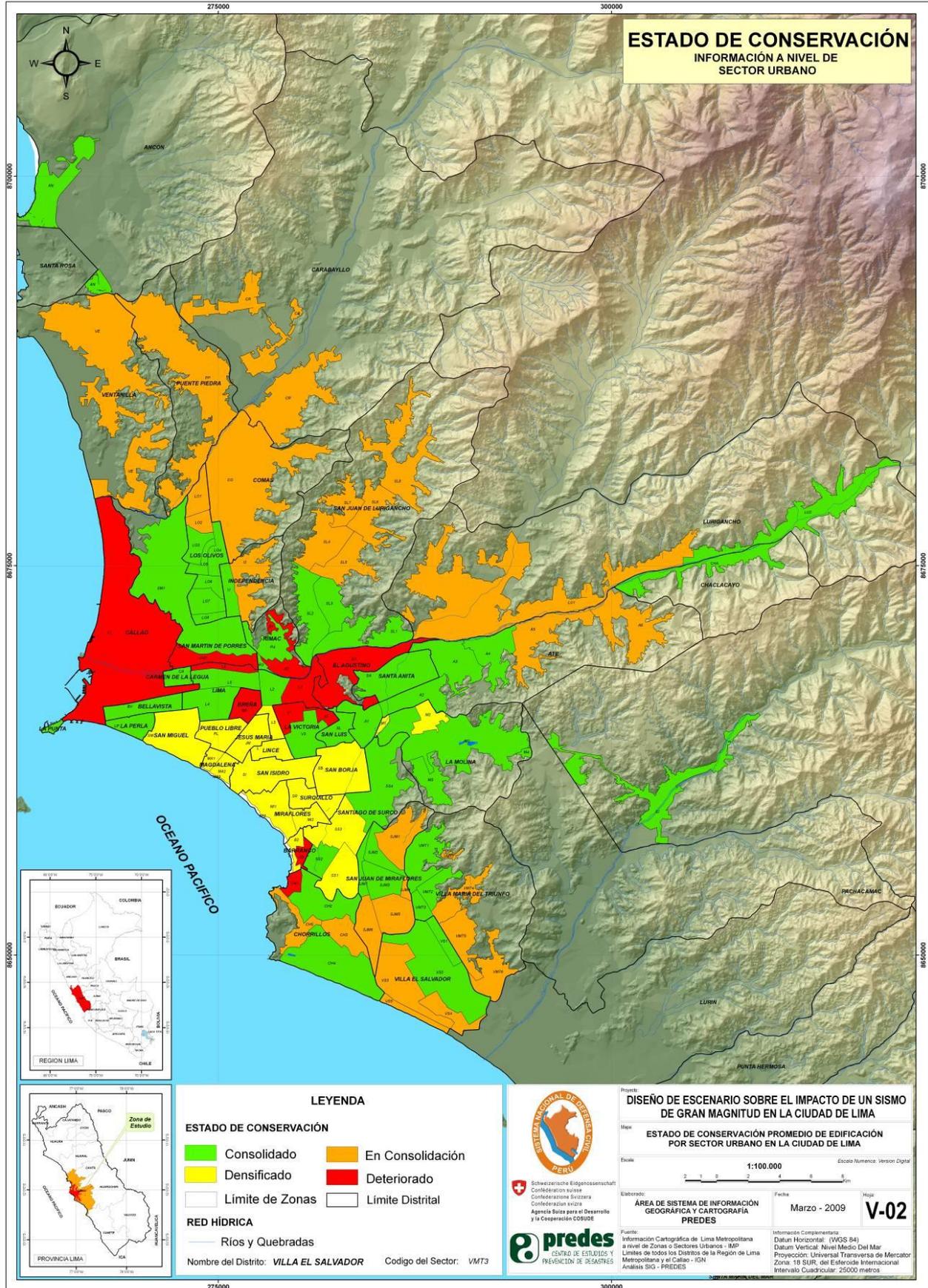
Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

55	MAGDALENA 03	ACANTILADO	no data	no data	0
56	MIRAFLORES 02	Albañilería	Casa Inde	Densificado	2
57	MIRAFLORES 03	ACANTILADO	no data	no data	0
58	SANTIAGO DE SURCO 01	Albañilería	Edificio	Densificado	4
59	SANTIAGO DE SURCO 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
60	SANTIAGO DE SURCO 03	Albañilería	Edificio	Densificado	4
61	SAN JUAN DE MIRAFLORES 01	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
62	SAN JUAN DE MIRAFLORES 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
63	SAN JUAN DE MIRAFLORES 04	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
64	SAN JUAN DE MIRAFLORES 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
65	SAN JUAN DE MIRAFLORES 07	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
66	SAN JUAN DE MIRAFLORES 06	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
67	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 03	Albañilería	Improvisada	Consolidada	1
68	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
69	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
70	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 04	Albañilería	Improvisada	En consolid	1
71	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
72	VILLA EL SALVADOR 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
73	VILLA EL SALVADOR 03	Madera	Improvisada	En consolid	1
74	VILLA EL SALVADOR 04	Madera	Improvisada	En consolid	1
75	VILLA EL SALVADOR 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
76	LA MOLINA 02	Albañilería	Edificio	Densificado	3
77	LA MOLINA 05	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	3
78	LA MOLINA 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	3
79	ATE 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
80	ATE 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
81	ATE 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
82	ATE 04	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	1
83	ATE 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
84	SAN JUAN DE LURIGANCHO 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
85	SAN JUAN DE LURIGANCHO 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
86	SAN JUAN DE LURIGANCHO 07	Madera	Improvisada	En consolid	2
87	SAN JUAN DE LURIGANCHO 04	Madera	Improvisada	En consolid	2
88	SAN JUAN DE LURIGANCHO 06	Madera	Improvisada	En consolid	2
89	SAN JUAN DE LURIGANCHO 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
90	SAN JUAN DE LURIGANCHO 01	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
91	LA MOLINA 01	Albañilería	Edificio	Densificado	3
92	LIMA 03	Albañilería	Edificio	Densificado	3
93	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 07	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
94	BARRANCO 03	Adobe	Casa Inde	Deteriorada	2
95	BARRANCO 01	ACANTILADO	no data	no data	0
96	LA VICTORIA 01	Albañilería	Quinta	Deteriorada	3
97	LA VICTORIA 02	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	2
98	RIMAC 01	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	1
99	RIMAC 03	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
100	RIMAC 02	Adobe	Casa Inde	Deteriorada	2
101	CHORRILLOS 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2
102	CHORRILLOS 03	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
103	CHORRILLOS 01	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	2
104	CHORRILLOS 05	Albañilería	Casa Inde	En consolid	1
105	SAN MARTIN DE PORRES 02	Albañilería	Casa Inde	Deteriorada	3
106	LURIGANCHO 02	Albañilería	Casa Inde	Consolidada	2

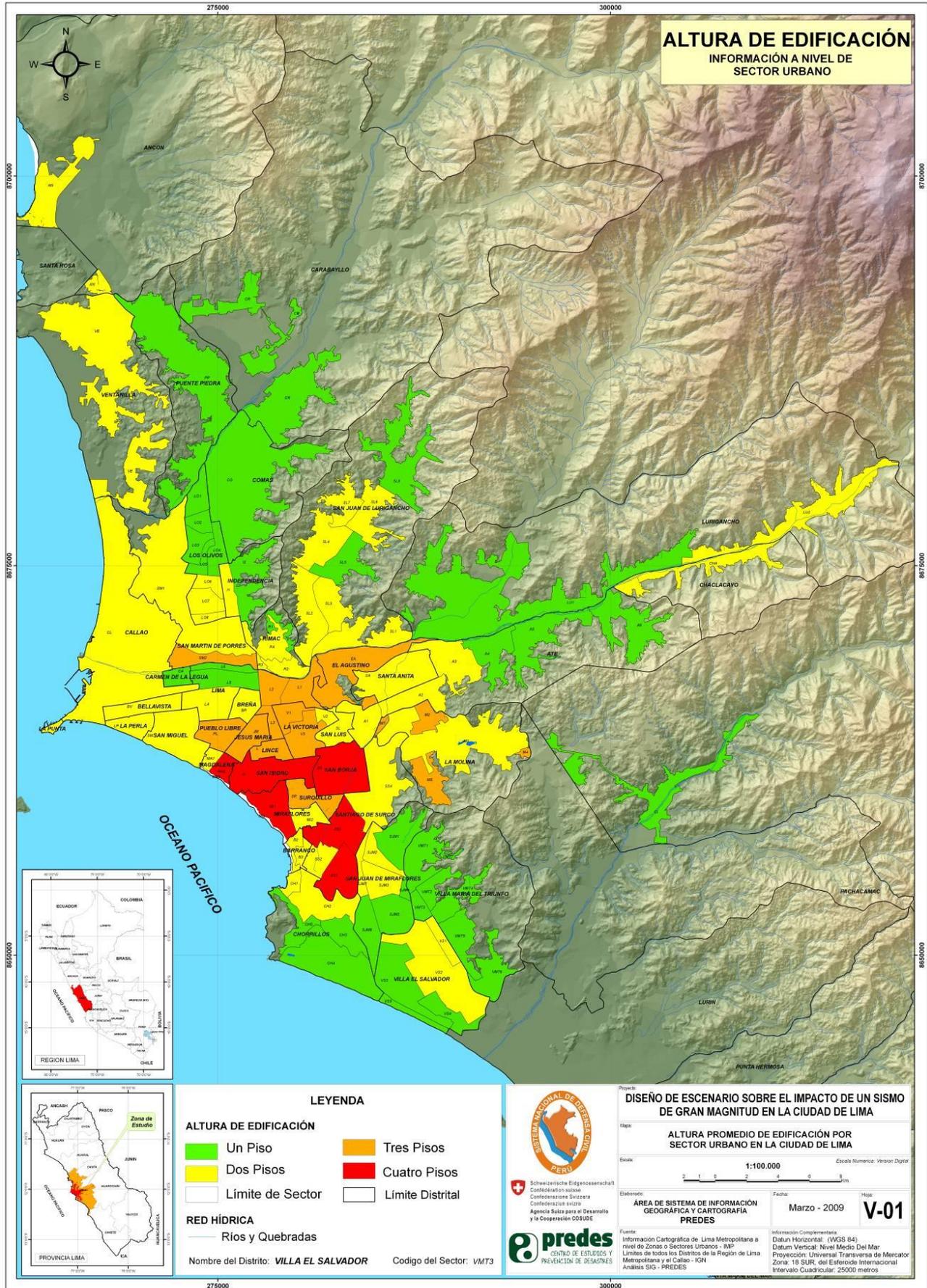
Fuente: INEI. Censos Nacionales 2007, XI de Población y IV de Vivienda.

Elaboración: Equipo Técnico PREDES. Arq. Roberto Medina Manrique.

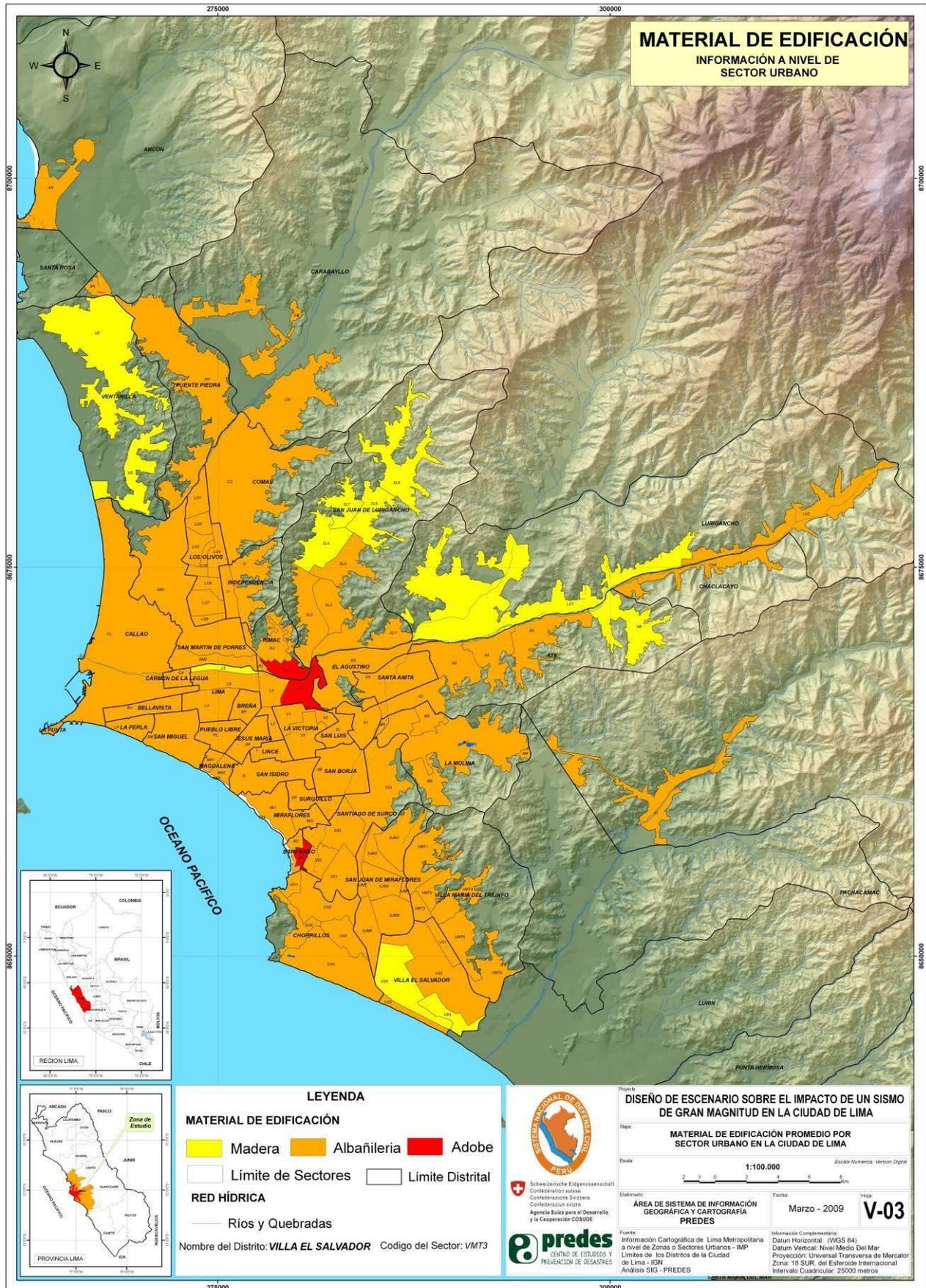
G3. Mapa de niveles de Estado de conservación de Lima Metropolitana y Callao por sector



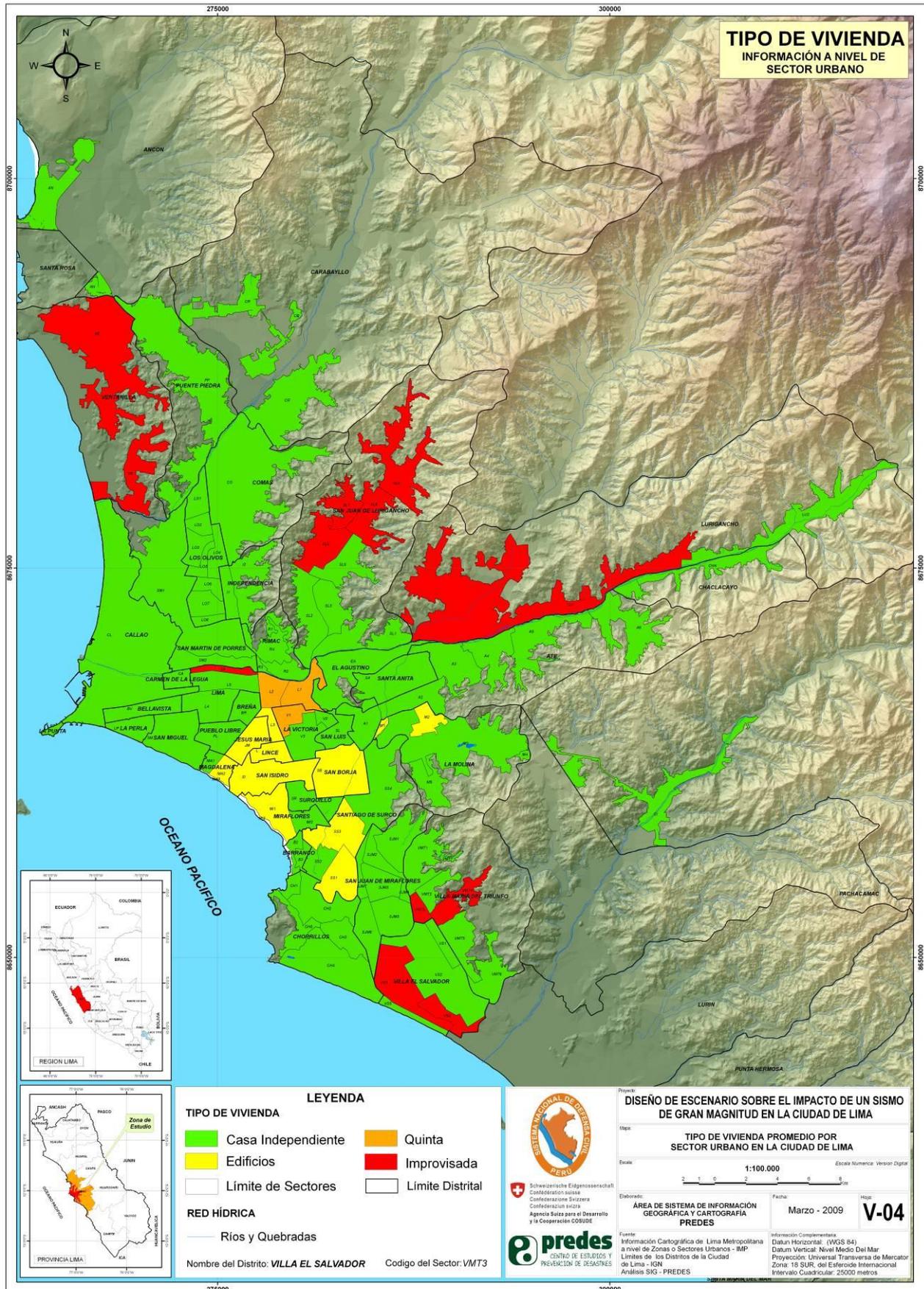
G4. Mapa de Altura de Edificaciones de Lima Metropolitana y Callao por sector



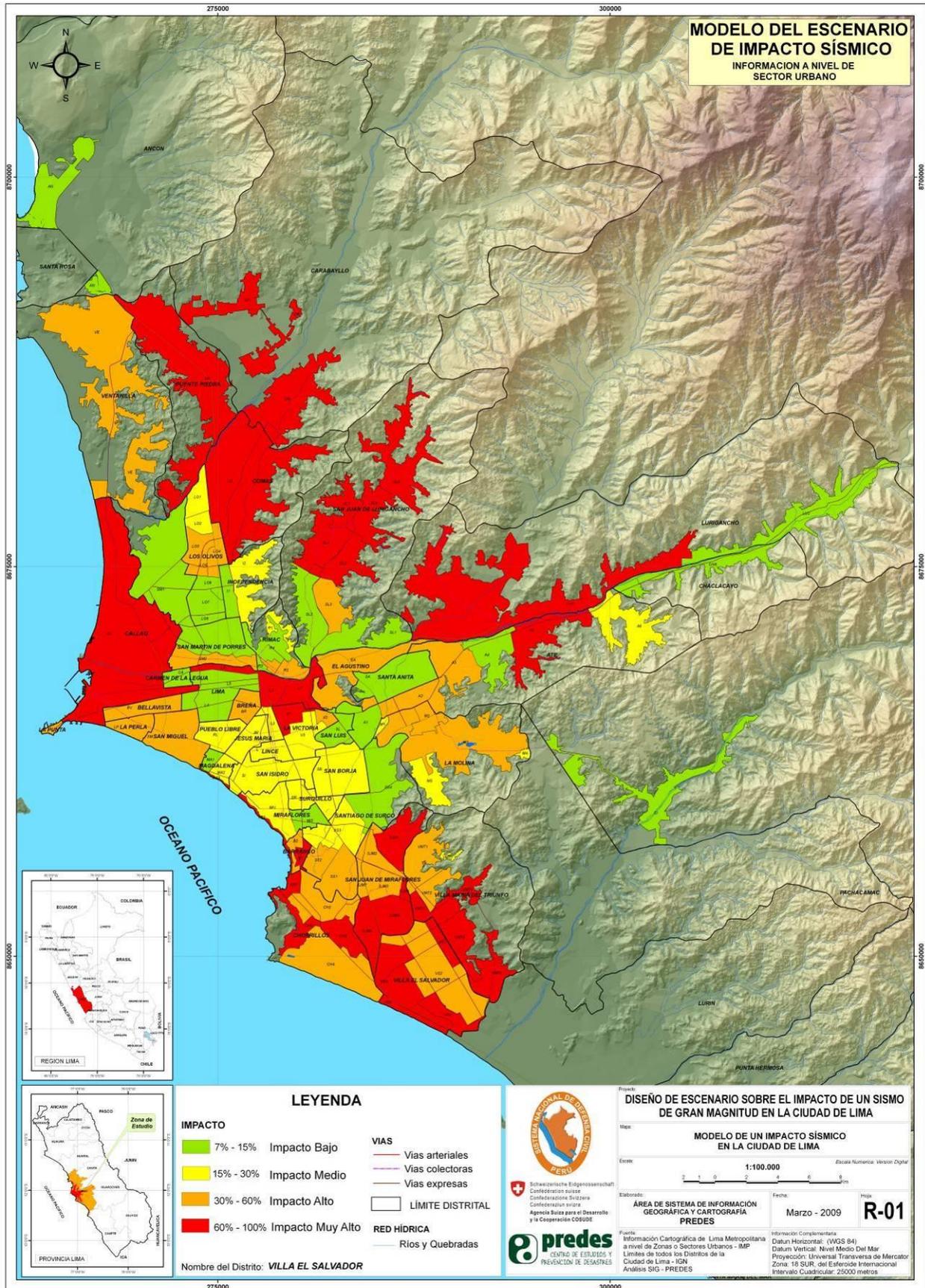
G5. Mapa de Material de Construcción de Lima Metropolitana y Callao por sector



G6. Mapa de Tipo de vivienda de Lima Metropolitana y Callao por sector



Anexo H.- Mapa de estimación de niveles de riesgo y daños de viviendas por sector.



Anexo I.- Tabla de daños en población y viviendas de acuerdo a niveles de riesgo sísmico por sector

I.1. Tabla de daños en población por sector de acuerdo al escenario sísmico planteado

Nº	SECTOR URBANO	POBLACION TOTAL	NUMERO DE FALLECIDOS	NUMERO DE HERIDOS	POBLACION NO AFECTADOS
1	ANCÓN	33372	33	334	33005
2	ATE 01	55841	56	558	55227
3	ATE 02	41671	167	1667	39838
4	ATE 03	109316	437	4373	104506
5	ATE 04	58598	59	117	58422
6	ATE 05	53977	702	10256	43019
7	ATE 06	158858	318	2859	155680
8	BARRANCO 01 (ACANTILADO)	0	0	0	0
9	BARRANCO 02	17960	72	718	17170
10	BARRANCO 03	16006	240	3841	11924
11	BELLAVISTA	75172	301	3007	71865
12	BREÑA	81894	328	3276	78291
13	CALLAO	389595	5844	93503	290249
14	CARABAYLLO	213398	2774	40546	170078
15	CARMEN DE LA LEGUA Y REYNOSO	41855	42	84	41730
16	CHACLACAYO	41109	41	411	40657
17	CHORRILLOS 01	12615	189	3028	9398
18	CHORRILLOS 02	72365	289	2895	69181
19	CHORRILLOS 03	38604	502	7335	30767
20	CHORRILLOS 04	129352	388	3881	125083
21	CHORRILLOS 05	34030	442	6466	27122
22	CIENEGUILLA	26730	27	53	26650
23	COMAS	487137	6333	92556	388248
24	EL AGUSTINO	180299	901	10818	168580
25	INDEPENDENCIA 01	23303	23	233	23046
26	INDEPENDENCIA 02	184124	368	3314	180441
27	JESÚS MARIA	66176	132	1191	64852
28	LA MOLINA 01	2388	5	43	2340
29	LA MOLINA 02	12558	63	753	11741
30	LA MOLINA 03	96499	386	3860	92253
31	LA MOLINA 04	1846	4	33	1809
32	LA MOLINA 05	19873	40	358	19475
33	LA PERLA	61686	247	2467	58972
34	LA PUNTA	4370	17	175	4178
35	LA VICTORIA 01	58940	472	4833	53635
36	LA VICTORIA 02	22423	90	897	21436
37	LA VICTORIA 03	111331	223	2004	109105
38	LIMA 01	63112	505	5175	57432
39	LIMA 02	44499	356	3649	40494
40	LIMA 03	23184	46	417	22720
41	LIMA 04	80691	81	807	79803
42	LIMA 05	65310	65	131	65114
43	LIMA 06	22703	227	2724	19752

Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

44	LINCE	55236	110	994	54131
45	LOS OLIVOS 01	41263	83	743	40438
46	LOS OLIVOS 02	40610	81	731	39797
47	LOS OLIVOS 03	39769	119	1193	38457
48	LOS OLIVOS 04	41395	124	1242	40029
49	LOS OLIVOS 05	39668	119	1190	38359
50	LOS OLIVOS 06	40548	41	405	40102
51	LOS OLIVOS 07	36667	37	367	36264
52	LOS OLIVOS 08	38231	38	382	37810
53	LURIGANCHO 01	129124	1291	15495	112338
54	LURIGANCHO 02	40222	40	402	39779
55	MAGDALENA 01	20551	21	206	20325
56	MAGDALENA 02	30223	60	544	29619
57	MAGDALENA 03 (ACANTILADO)	0	0	0	0
58	MIRAFLORES 01	57156	114	1029	56013
59	MIRAFLORES 02	27906	28	279	27599
60	MIRAFLORES 03 (ACANTILADO)	0	0	0	0
61	PUEBLO LIBRE	74160	148	1335	72677
62	PUENTE PIEDRA	233606	3037	44385	186184
63	RIMAC 01	32374	65	583	31726
64	RIMAC 02	52564	210	2103	50251
65	RIMAC 03	9181	9	92	9080
66	RIMAC 04	82023	82	820	81121
67	SAN BORJA	105031	210	1891	102930
68	SAN ISIDRO	58058	116	1045	56897
69	SAN JUAN DE LURIGANCHO 01	98102	98	981	97022
70	SAN JUAN DE LURIGANCHO 02	141616	142	1416	140058
71	SAN JUAN DE LURIGANCHO 03	73534	294	2941	70299
72	SAN JUAN DE LURIGANCHO 04	172050	2581	41292	128177
73	SAN JUAN DE LURIGANCHO 05	102468	1332	19469	81667
74	SAN JUAN DE LURIGANCHO 06	172680	2245	32809	137626
75	SAN JUAN DE LURIGANCHO 07	126132	1640	23965	100527
76	SAN JUAN DE LURIGANCHO 08	11902	119	1428	10354
77	SAN JUAN DE MIRAFLORES 01	89950	1169	17091	71690
78	SAN JUAN DE MIRAFLORES 02	33159	133	1326	31700
79	SAN JUAN DE MIRAFLORES 03	99461	398	3978	95085
80	SAN JUAN DE MIRAFLORES 04	23681	308	4499	18874
81	SAN JUAN DE MIRAFLORES 05	53888	701	10239	42949
82	SAN JUAN DE MIRAFLORES 06	47326	615	8992	37719
83	SAN JUAN DE MIRAFLORES 07	15157	61	606	14490
84	SAN LUIS	54637	55	546	54036
85	SAN MARTIN DE PORRES 01	496999	497	4970	491532
86	SAN MARTIN DE PORRES 02	82457	412	4947	77097
87	SAN MIGUEL	129095	516	5164	123415
88	SANTA ANITA	184623	185	1846	182592
89	SANTIAGO DE SURCO 01	62090	310	3725	58055
90	SANTIAGO DE SURCO 02	29573	118	1183	28272
91	SANTIAGO DE SURCO 03	74992	150	1350	73492
92	SANTIAGO DE SURCO 04	122939	123	1229	121586
93	SURQUILLO	89262	179	1607	87477
94	VENTANILLA	277890	1112	11116	265663
95	VILLA EL SALVADOR 01	2574	39	618	1918
96	VILLA EL SALVADOR 02	304636	1219	12185	291232
97	VILLA EL SALVADOR 03	16495	214	3134	13146
98	VILLA EL SALVADOR 04	55604	723	10565	44316
99	VILLA EL SALVADOR 05	2000	26	380	1594
100	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 01	122437	367	3673	118397
101	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 02	40350	121	1211	39019
102	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 03	29256	439	7022	21796
103	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 04	55081	826	13219	41036
104	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 05	54368	707	10330	43331
105	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 06	61428	799	11671	48958
106	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 07	15500	31	279	15190
TOTAL		8285727	51019	686105	7548603

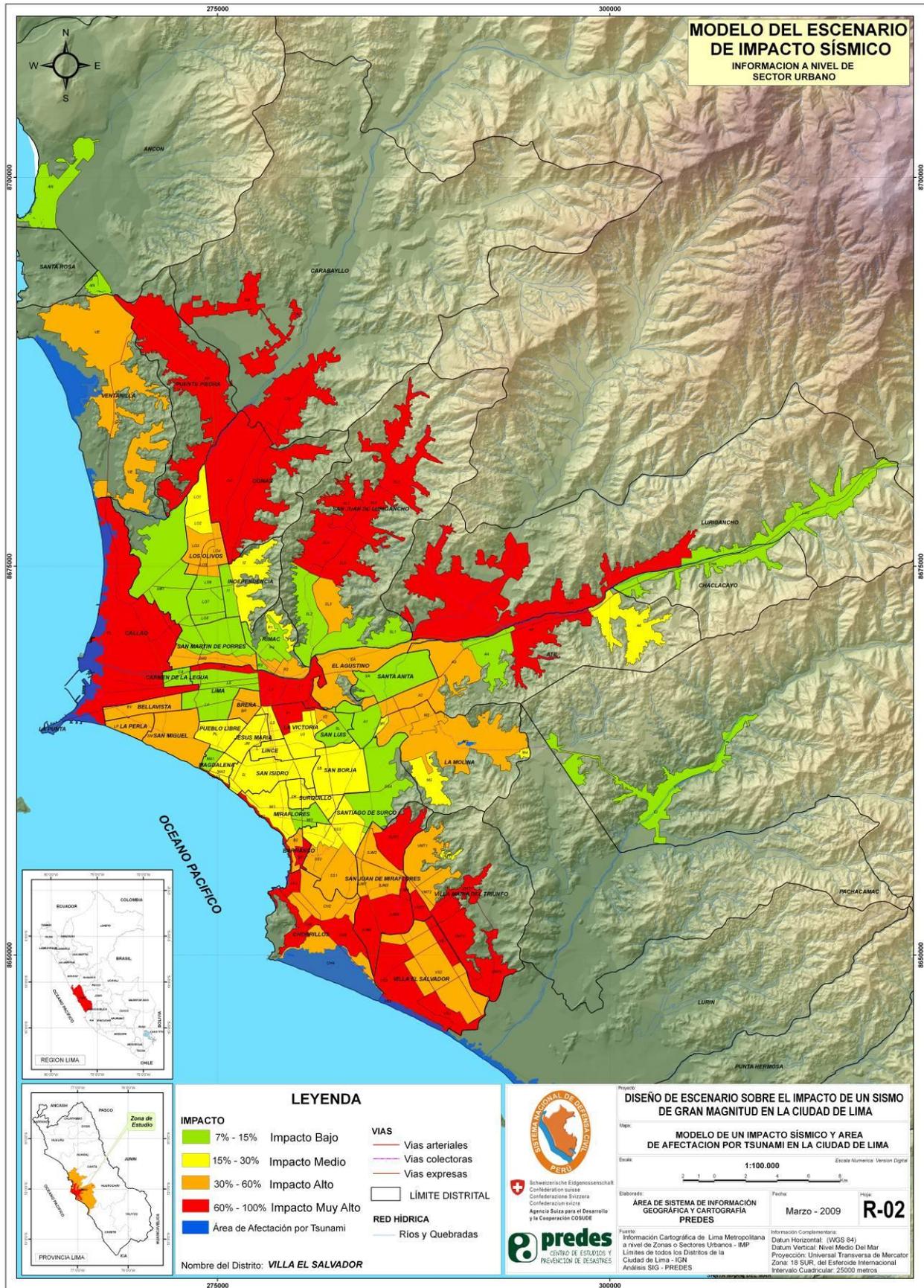
I.2. Tabla de daños en viviendas por sector de acuerdo al escenario sísmico planteado

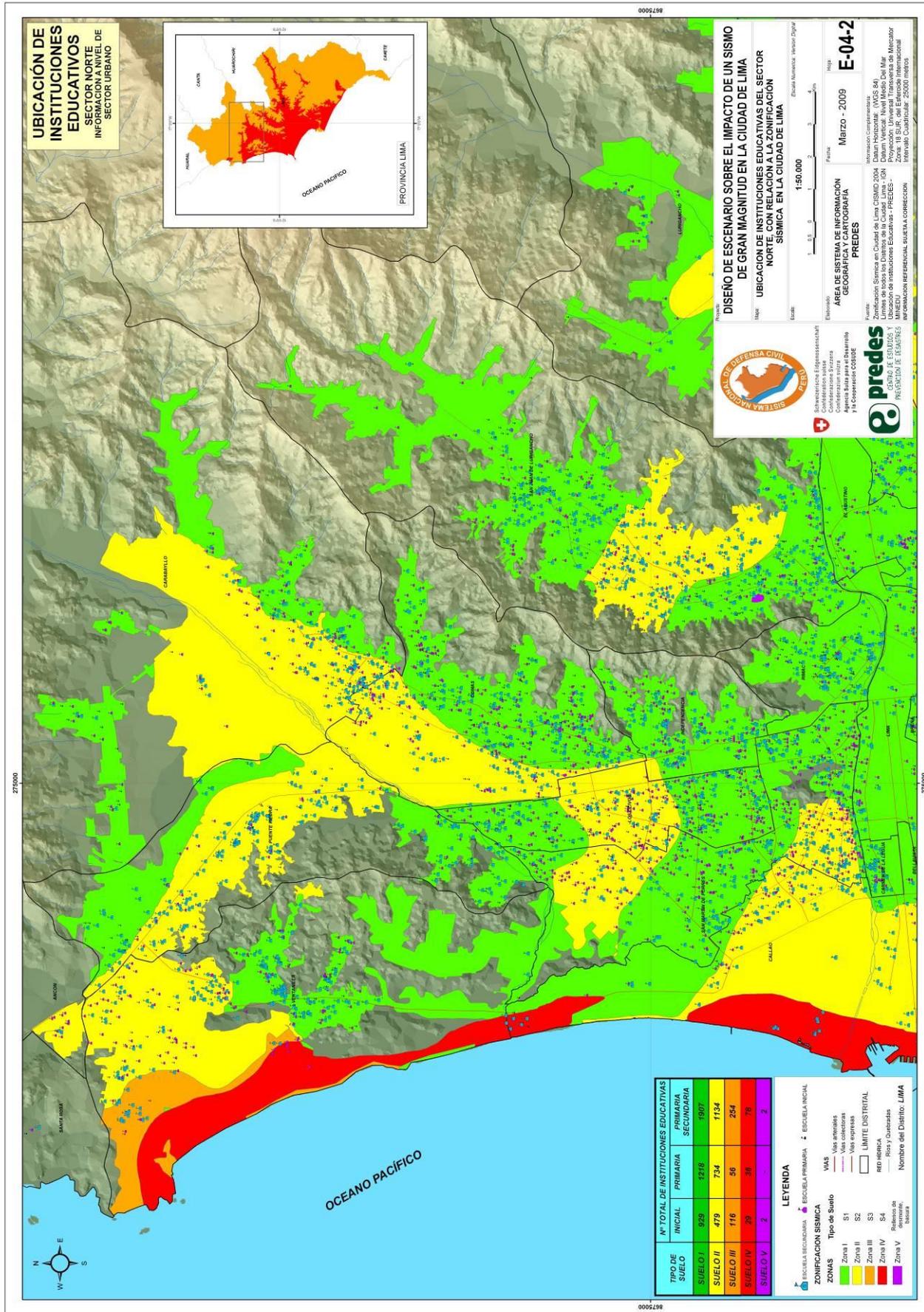
Nº	SECTOR URBANO	TOTAL DE VIVIENDAS	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS INHABITABLES	VIVIENDAS NO AFECTADAS
1	ANCON	8236	16	165	8055
2	ATE 01	11686	23	234	11429
3	ATE 02	13779	276	551	12953
4	ATE 03	19920	398	797	18725
5	ATE 04	16402	16	164	16222
6	ATE 05	22996	6899	11498	4599
7	ATE 06	24065	120	602	23343
8	BARRANCO 01 (ACANTILADO)	0	0	0	0
9	BARRANCO 02	5020	100	201	4719
10	BARRANCO 03	4421	1326	2210	884
11	BELLAVISTA	16444	329	658	15457
12	BREÑA	21668	433	867	20368
13	CALLAO	87668	26300	43834	17534
14	CARABAYLLO	46933	14080	23467	9387
15	CARMEN DE LA LEGUA Y REYNOSO	8572	9	86	8478
16	CHACLACAYO	9166	18	183	8964
17	CHORRILLOS 01	2744	823	1372	549
18	CHORRILLOS 02	15738	315	630	14794
19	CHORRILLOS 03	8395	2519	4198	1679
20	CHORRILLOS 04	28131	281	985	26865
21	CHORRILLOS 05	7401	2220	3700	1480
22	CIENEGUILLA	4569	5	46	4519
23	COMAS	95036	28511	47518	19007
24	EL AGUSTINO	36434	1093	1822	33519
25	INDEPENDENCIA 01	11111	22	222	10867
26	INDEPENDENCIA 02	30129	151	753	29225
27	JESÚS MARIA	18234	91	456	17687
28	LA MOLINA 01	702	4	18	681
29	LA MOLINA 02	3692	111	185	3396
30	LA MOLINA 03	28368	567	1135	26666
31	LA MOLINA 04	543	3	14	526
32	LA MOLINA 05	5649	28	141	5479
33	LA PERLA	13887	278	555	13054
34	LA PUNTA	1237	25	49	1163
35	LA VICTORIA 01	14990	749	899	13341
36	LA VICTORIA 02	5702	114	228	5360
37	LA VICTORIA 03	28314	142	708	27464
38	LIMA 01	15893	795	954	14145
39	LIMA 02	11206	560	672	9973
40	LIMA 03	5838	29	146	5663
41	LIMA 04	20319	41	406	19872
42	LIMA 05	16446	16	164	16265
43	LIMA 06	5717	1715	2859	1143
44	LINCE	15701	79	393	15230
45	LOS OLIVOS 01	12542	63	314	12166

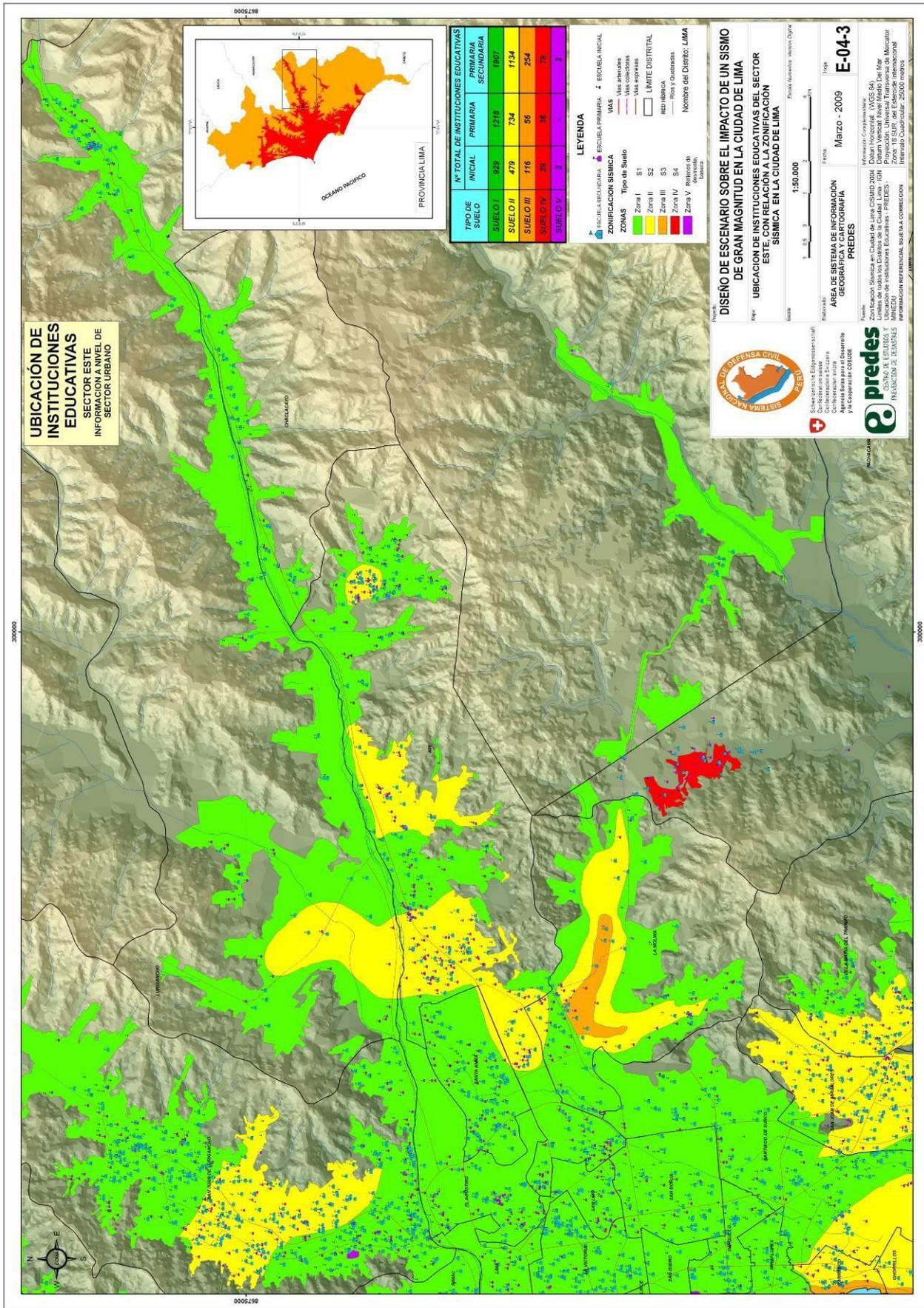
Diseño de escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

46	LOS OLIVOS 02	7394	37	185	7172
47	LOS OLIVOS 03	10659	107	373	10179
48	LOS OLIVOS 04	11523	115	403	11005
49	LOS OLIVOS 05	6428	64	225	6139
50	LOS OLIVOS 06	7135	14	143	6978
51	LOS OLIVOS 07	13215	26	264	12924
52	LOS OLIVOS 08	4828	10	97	4722
53	LURIGANCHO 01	29551	8865	14776	5910
54	LURIGANCHO 02	9205	18	184	9003
55	MAGDALENA 01	5457	11	109	5337
56	MAGDALENA 02	8277	41	207	8029
57	MAGDALENA 03 (ACANTILADO)	0	0	0	0
58	MIRAFLORES 01	19170	96	479	18595
59	MIRAFLORES 02	8744	17	175	8552
60	MIRAFLORES 03 (ACANTILADO)	0	0	0	0
61	PUEBLO LIBRE	19562	98	489	18975
62	PUENTE PIEDRA	51150	15345	25575	10230
63	RIMAC 01	7580	38	190	7353
64	RIMAC 02	12308	246	492	11569
65	RIMAC 03	2150	4	43	2102
66	RIMAC 04	19206	38	384	18783
67	SAN BORJA	28269	141	707	27421
68	SAN ISIDRO	17860	89	447	17324
69	SAN JUAN DE LURIGANCHO 01	26114	52	522	25539
70	SAN JUAN DE LURIGANCHO 02	26197	52	524	25621
71	SAN JUAN DE LURIGANCHO 03	17091	342	684	16066
72	SAN JUAN DE LURIGANCHO 04	23703	7111	11851	4741
73	SAN JUAN DE LURIGANCHO 05	19836	5951	9918	3967
74	SAN JUAN DE LURIGANCHO 06	21717	6515	10859	4343
75	SAN JUAN DE LURIGANCHO 07	14047	4214	7023	2809
76	SAN JUAN DE LURIGANCHO 08	40966	12290	20483	8193
77	SAN JUAN DE MIRAFLORES 01	16809	5043	8404	3362
78	SAN JUAN DE MIRAFLORES 02	7808	156	312	7339
79	SAN JUAN DE MIRAFLORES 03	11385	228	455	10702
80	SAN JUAN DE MIRAFLORES 04	1686	506	843	337
81	SAN JUAN DE MIRAFLORES 05	14987	4496	7494	2997
82	SAN JUAN DE MIRAFLORES 06	12888	3866	6444	2578
83	SAN JUAN DE MIRAFLORES 07	4379	88	175	4116
84	SAN LUIS	13347	27	267	13053
85	SAN MARTIN DE PORRES 01	106237	212	2125	103899
86	SAN MARTIN DE PORRES 02	17626	529	881	16216
87	SAN MIGUEL	32871	657	1315	30899
88	SANTA ANITA	39709	79	794	38835
89	SANTIAGO DE SURCO 01	16116	483	806	14826
90	SANTIAGO DE SURCO 02	7676	154	307	7215
91	SANTIAGO DE SURCO 03	19464	97	487	18880
92	SANTIAGO DE SURCO 04	31909	64	638	31207
93	SURQUILLO	23671	118	592	22961
94	VENTANILLA	70874	1417	2835	66622
95	VILLA EL SALVADOR 01	4648	1394	2324	930
96	VILLA EL SALVADOR 02	37134	743	1485	34906
97	VILLA EL SALVADOR 03	22168	6650	11084	4434
98	VILLA EL SALVADOR 04	7749	2325	3874	1550
99	VILLA EL SALVADOR 05	4185	1255	2092	837
100	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 01	20900	209	732	19960
101	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 02	8893	89	311	8493
102	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 03	5070	1521	2535	1014
103	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 04	13944	4183	6972	2789
104	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 05	16470	4941	8235	3294
105	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 06	17214	5164	8607	3443
106	VILLA MARIA DEL TIRUNFO 07	1455	7	36	1411
	TOTAL	1880257	200347	348328	1331583

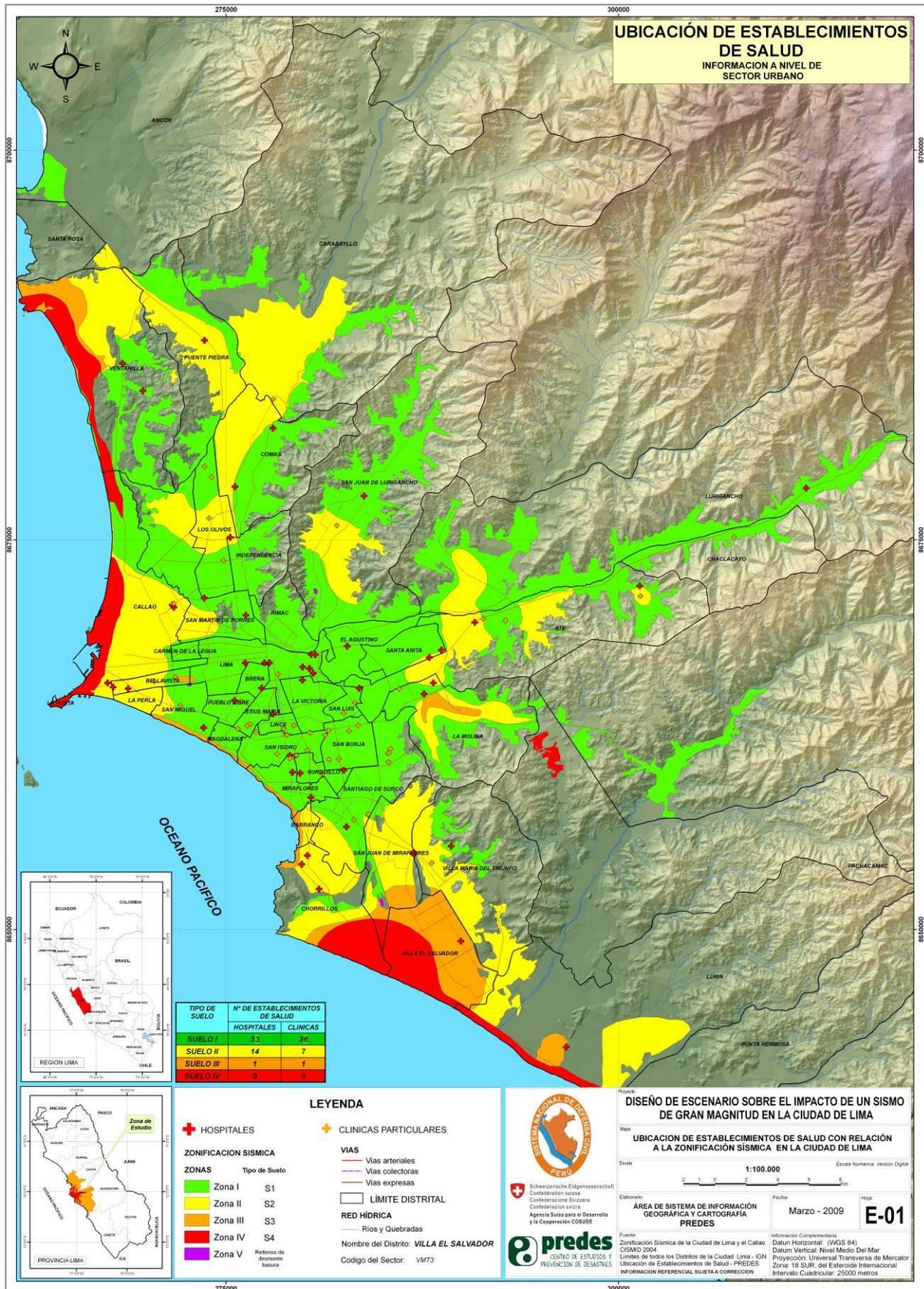
Anexo J. Mapa de estimación de nivel de riesgo y área de peligro de inundación por tsunami asociado.



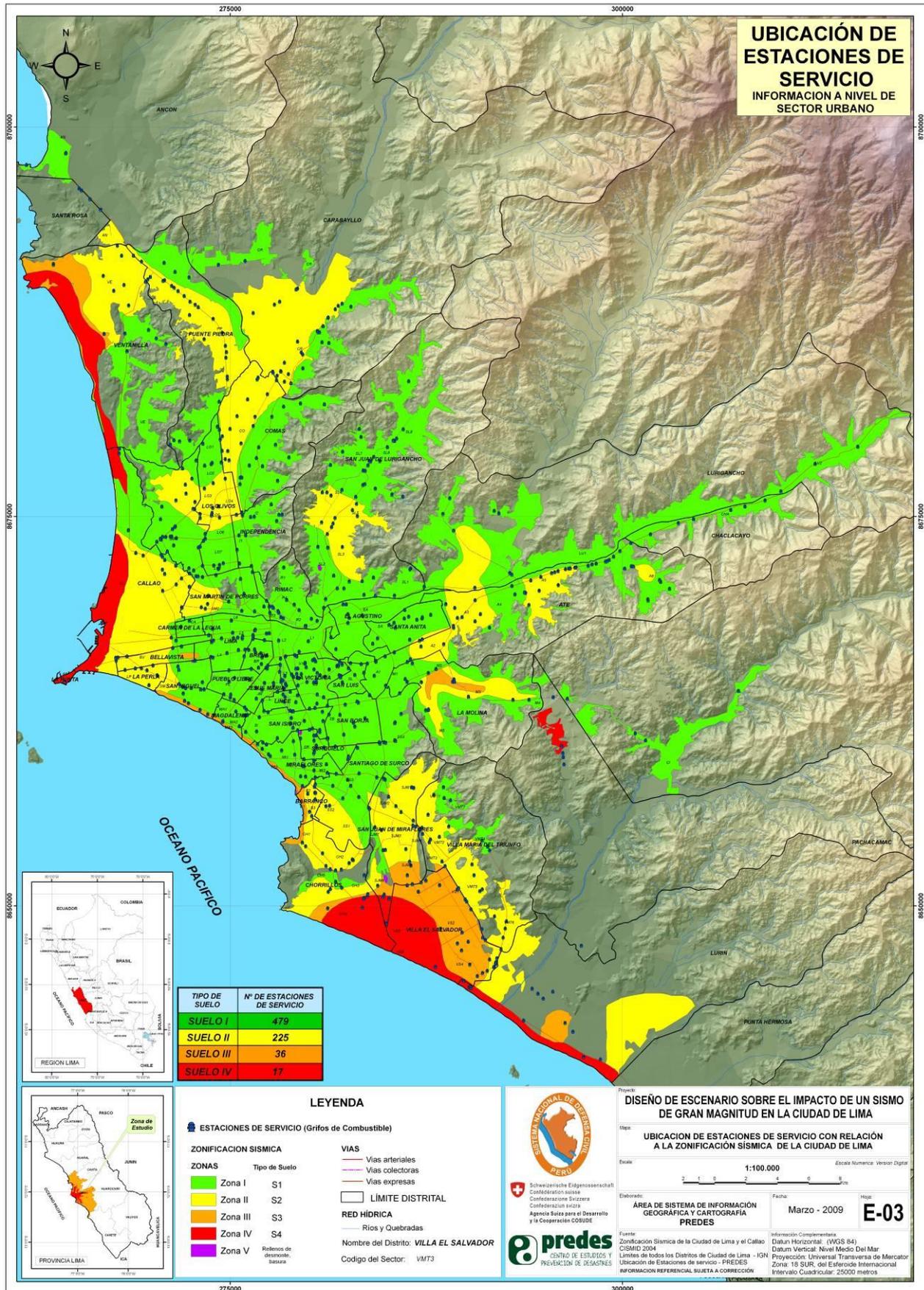




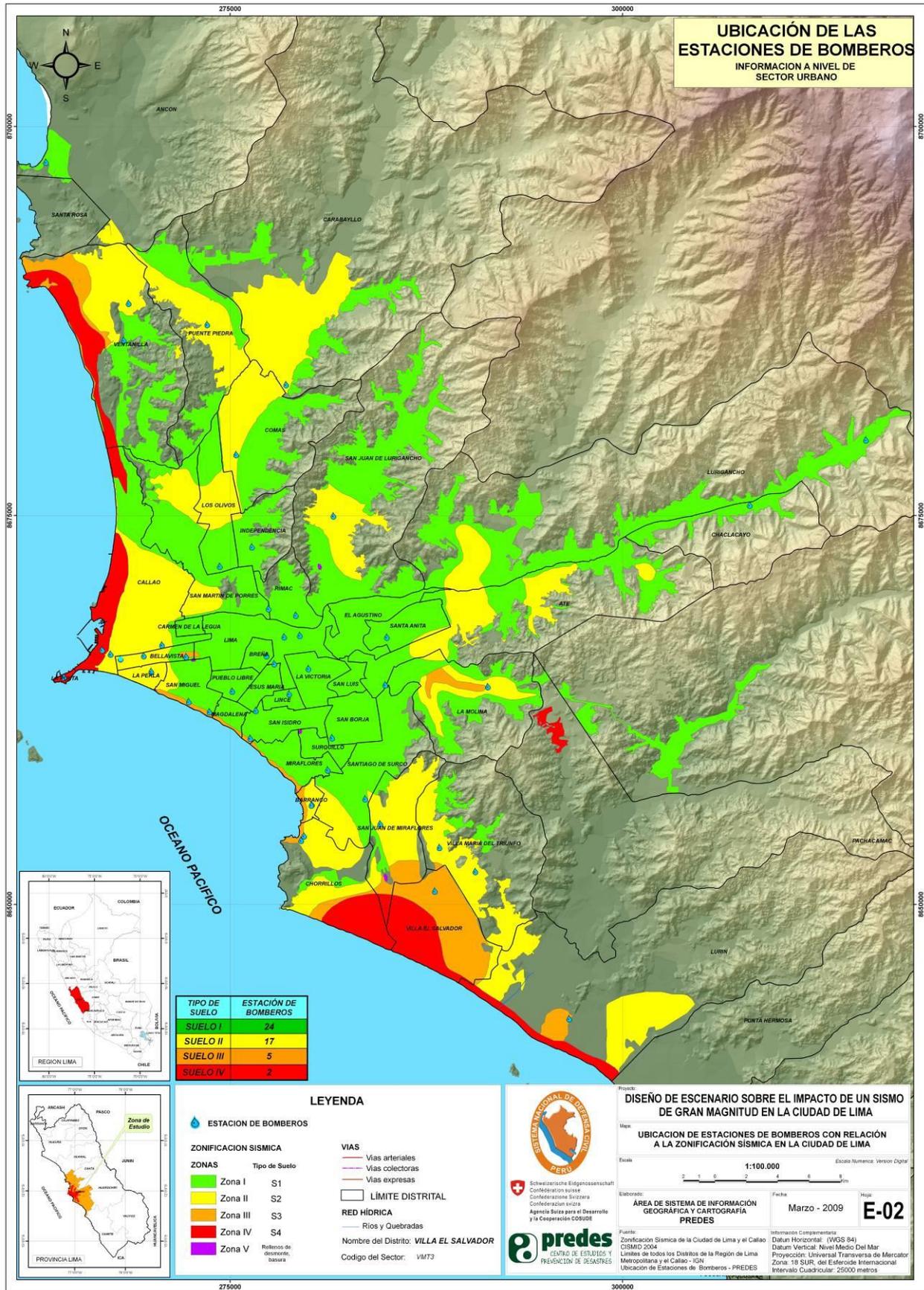
Anexo L. Mapa de ubicación de principales establecimientos de salud, por tipo de suelo, en Lima Metropolitana y Callao.



Anexo M. Mapa de ubicación de estaciones de servicio por tipo de suelo en Lima Metropolitana y Callao.



Anexo N. Mapa de ubicación de principales estaciones de bomberos por tipo de suelo en Lima Metropolitana y Callao.



Anexo O. Resumen del estudio de WAPMEER ⁴⁴

Con la información proporcionada por el equipo de PREDES, y a solicitud de COSUDE, la institución suiza WAPMEER (Agencia Mundial para Monitoreo Planetario y Reducción del Riesgo Sísmico, <http://www.wapmerr.org/>) ejecutó un estudio que lleva por título “Estimados preliminares de pérdidas por posibles sismos futuros cerca a Lima – Perú.” ⁴⁵

El informe preliminar de WAPMEER presenta estimados de daños a personas que se esperan en la zona central del Perú, Lima y Callao, en el caso de un sismo hipotético de magnitud 8 frente a Lima. Es preliminar, pues el tiempo, recursos e información disponibles no fueron suficientes para encarar algunas interrogantes importantes.

WAPMEER calibró su código de computadora y datos sobre atenuación, edificaciones, y matriz de muertos/heridos, basados en los grandes sismos ocurridos en el Perú para los que se tienen mapas macrosísmicos y número de muertos/heridos.

Se usó como parámetros básicos del sismo esperado una magnitud de 8, con hipocentro en el mar, a 33 km de profundidad y 15 km de distancia de la costa de Lima. Los parámetros fueron luego variados para incluir rangos de magnitud de entre 6.5 y 8.5, y epicentros de hasta 50 km de distancia de la costa de Lima.

Modelaron los distritos de ciudad de Lima, en donde se conoce la población total y la población en edad escolar. Para cada distrito se calculó el factor de amplificación promedio para movimientos fuertes del suelo, basados en un mapa de microzonificación con condiciones de suelo conocidas. Quedó pendiente la modelación tomando en cuenta las diferencias de tipos de edificación en los diferentes distritos.

Por los resultados obtenidos, los distritos en donde se espera más de 1,000 muertos y más de 10,000 heridos son San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Villa El Salvador, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo y Callao.

Al asumir que el 50% de la población se encuentra dentro de edificaciones en el momento del sismo, el rango del total de muertos esperado es de 7,000 a 30,000, con un nivel de incertidumbre del 40%. Para el caso más desfavorable, en la noche, con un 80% de ocupación de edificaciones, la cifra del total de muertos sería de entre 10,000 a 50,000.

El rango de heridos para una ocupación del 50% se estima de 66,000 a 230,000 solo para Lima, con 13,000 a 35,000 adicionales en Callao. El número total de heridos para el peor caso (ocupación del 80%) se estima en 128,000 a 432,000. Dado que éstas son cifras promedio con un margen de error del 40%, el número de heridos podría exceder el medio millón. El número estimado de muertos representa un 0.2 a 0.3% de la población de Lima metropolitana y los heridos entre 2 a 3% del total.

Se estima entre 2,000 y 13,000 muertos en la población escolar para sismos de magnitud 8 o mayor, en horario de clases. Los escolares heridos se estiman en 7,000 a 36,000. Sugieren investigar si las personas en edad escolar son más propensas a fallecer en sus instituciones educativas o sus hogares. Para responder a esta interrogante se requiere información sobre la calidad de la construcción de los colegios.

⁴⁴ Traducción del equipo PREDES desde el documento original en inglés de WAPMEER.

⁴⁵ Wyss M., Trendafiloski, G., Rosset, P., Wyss B. Preliminary loss estimates for posible future earthquakes near Lima, Peru. World Agency for Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction –WAPMEER. Switzerland, 2009.

En sus conclusiones indican que el sismo de magnitud 8 en la vecindad de Lima causará más de 10,000 muertos en Lima y sobre los 2,000 en el Callao, con un orden menor si el punto de liberación de energía no se produce cerca a Lima y Callao. Sin embargo, el número de heridos no se reducirá en forma dramática. Se esperarían más de 100,000 heridos y, con una liberación de energía cerca a Lima 200,000 heridos requerirían atención médica. Hacen resaltar que la distribución de muertos/heridos por distrito debe ser recalculada, dado que no se ha considerado las diferencias en las edificaciones existentes, y tratan sobre los efectos de ello en la estimación de pérdidas en un anexo.

Anexo P

Guía de Aplicación para los Procesos de Automatización y caracterización del impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao

Bach. Ing. Geográfica Alfonso Díaz Calero
Responsable SIG - PREDES

GUIA DE APLICACIÓN DE LOS PROCESOS PARA AUTOMATIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO DE UN SISMO DE GRAN MAGNITUD EN LIMA METROPOLITANA Y CALLAO Perú

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. FASE PRE OPERATIVA DEL PROCESO

- 3.1 Recopilación de Información para el Estudio
- 3.2 Definición de los datos Geográficos
- 3.3 Atributos

4. FASE OPERATIVA DEL PROCESO

- 4.1 Definición de modelo para el análisis geográfico:
- 4.2 Diseño de la Geodatabase
- 4.3 Componentes de la base de Datos.
- 4.4 Diseño De Modelo Funcional
- 4.5 Elementos De La Aplicación Del Diseño Funcional

5. CONCLUSIONES

1. INTRODUCCION

El modelar los impactos que tendría un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao, significa integrar gran cantidad de información que involucra a la amenaza como agente activo del riesgo representado básicamente por la clasificación del suelo considerando aspectos geológicos, geomorfológicos, y geotécnicos, a lo que se le suma las características de profundidad, intensidad y aceleración de un posible sismo.

Otro componente del riesgo y que se incluye en la modelación es la Vulnerabilidad como agente pasivo la cual para el proceso de modelamiento se considero los aspectos estructurales de las edificaciones, expresando básicamente estado, material, tipo y altura de las edificaciones.

El presente informe explica el modelo conceptual y funcional que se usó para la modelación del impacto sísmico, así como las características de la información disponible y los procesos que involucra la automatización de información analógica a información digital georreferenciada.

El desarrollo del modelo esta basado en la integración de un Sistema de Información Geográfico (SIG) a partir de información obtenida. Dicha información se almacena en una base de datos digital, para concentrarla en el software ARCGIS que nos permite visualizarla de manera directa y realizar trabajos que tengan como fin planificar acciones de forma inmediata.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Automatizar e integrar y representar información geoespacial para el modelamiento de un escenario sísmico en Lima Metropolitana y el Callao

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Georeferenciar información analógica
- ✓ Diseñar la Geodatabase
- ✓ Diseñar el Modelo Funcional
- ✓ Diseñar la presentación de mapas

3. FASE PRE OPERATIVA:

3.1 Recopilación de Información para el Estudio

Antes de generar información cartográfica base y temática se definió las necesidades, limitaciones y facilidades de la consultoría, la información útil que servirá de base para el inicio del proceso, puede ser clasificada de la siguiente forma:

- Documental
- Estadística
- Cartográfica Analógica
- Cartográfica Digital

En este panorama se pudo obtener información relevante para el análisis que consiste en lo siguiente:

Información Documental:

Metodología para la evaluación de la amenaza sísmica y riesgo asociado de las Naciones Unidas “ciudades mas seguras contra sismos” denominado RADIUS (*Risk Assessment tools for diagnosis of urban areas against seismic disasters*).

Planes de desarrollo urbano de los distritos que por su carácter heterogéneo tienen que ser sectorizados en unidades funcionales mas pequeñas.

Información Estadística:

Información recopilada del censo de población y vivienda del 2007 elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Cartografía Analógica:

Se pudo Obtener cartografía analógica de los mapas del estudio de Microzonificación Sísmica para Lima Metropolitana y Callao realizado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID.

Nombre	Descripción	Formato	Año	Fuente
MAPA GEOLÓGICO	Información del cuadrángulo geológica escala 1: 100 000	Formato PDF y JPG	2004	INGEMMET CISMID
MAPA DE SUELOS	Mapa que representa la distribución de los suelos en Lima Metropolitana y El Callao	Formato PDF y JPG	2004	CISMID
MAPA DE ISOPERIODOS	Mapa que permite determinar el período predominante de vibración del terreno ante un sismo en Lima Metropolitana y El Callao	Formato PDF y JPG	2004	CISMID
MAPA GEOMORFOLÓGICO	Mapa que caracteriza los procesos y Geoformas del relieve donde se asienta la Lima Metropolitana y El Callao	Formato PDF y JPG	2004	CISMID
MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA	Zonificación geotécnica sísmica de Lima Metropolitana y Callao caracterizado en 4 zonas de suelo	Formato PDF y JPG	2004	CISMID

Cartografía Digital:

La única información digital base, con la que se pudo contar es la siguiente:

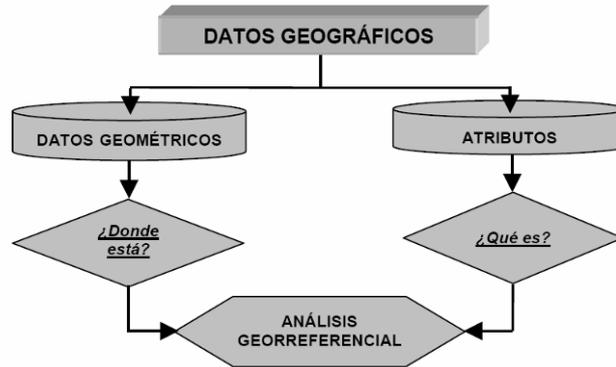
Nombre	Descripción	Formato	Año	Fuente
Manzanas.shp	Capa que representa Lima Metropolitana a nivel de Manzana Urbana	Formato Shape File, compatible con programas SIG	2005	Municipalidad Metropolitana de Lima
Zonas.shp	Capa que divide el área Urbana de Lima Metropolitana en Zonas o Sectores Urbanos	Formato Shape File, compatible con programas SIG	2005	Municipalidad Metropolitana de Lima
Area_urbana.shp	Límite del Área urbanizada de Lima Metropolitana	Formato Shape File, compatible con programas SIG	2005	Municipalidad Metropolitana de Lima
Límites_distritales.shp	Límites distritales de todos los Distritos de la Región de Lima Metropolitana y el Callao	Formato Shape File, compatible con programas SIG	2004	INSTITUTO GEOGRAFICA NACIONAL

Esta etapa pre operativa básicamente tuvo que desarrollarse en plena coordinación entre PREDES e INDECI, pero debido a problemas de coordinación entre INDECI y terceros, toda la información usada para la caracterización del peligro sísmico en Lima Metropolitana fue gestionada por PREDES es por ello que este componente del estudio esta limitado por la información disponible.

3.2. Definición de los datos Geográficos

Aunque los términos dato e información normalmente se utilizan en forma arbitraria cada uno de ellos tienen un significado específico, esto es, los datos describen las diferentes observaciones realizadas en un proyecto que se recogen y almacena en un sistema, mientras que la información la constituyen los datos almacenados analizados y procesados para responder preguntas y resolver problemas.

Existen dos tipos de Datos los Datos Geométricos y los datos alfanuméricos, los cuales fueron anexados permitiendo generar información para cada ente geométrico.



Componentes Básicos de Los Datos Geográficos

3.3. Atributos

Los atributos son los datos descriptivos o alfanuméricos de los elementos geográficos que representa el mundo real. Generalmente, se conocen los datos no espaciales y se encuentran almacenados en tablas de atributos los cuales podrían dividirse en tablas de atributos básicos, y tablas de atributos de relación que permiten incorporar elementos de caracterización a los componentes geográficos.

4. FASE OPERATIVA

4.1. Definición de modelo para el análisis geográfico:

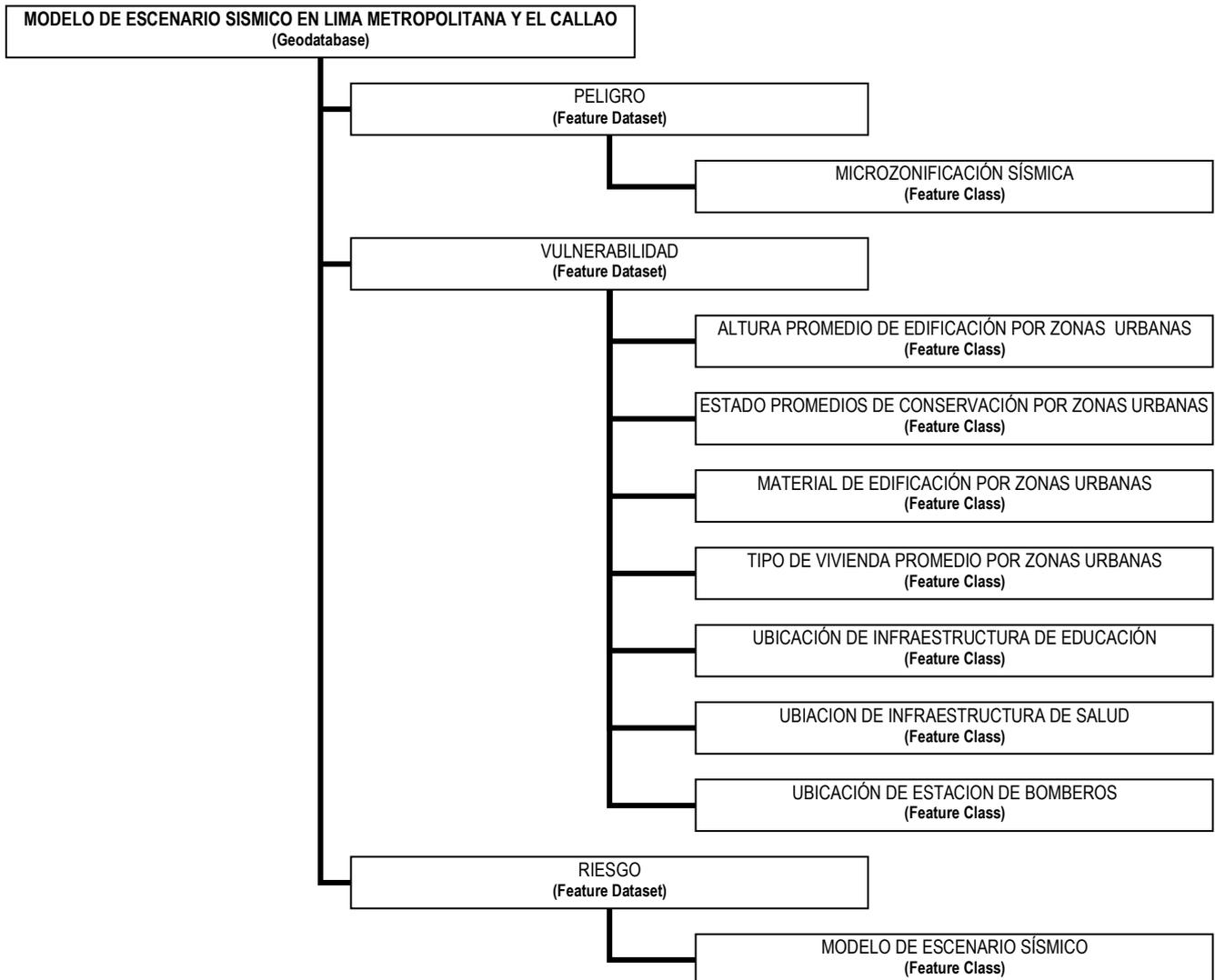
En función de las características del medio donde se desarrolla el proyecto, y en relación a los análisis y resultados que se espera, se optó por asumir al modelo entidad - relación para justificar la parte conceptual del proceso, el modelo entidad relación se eligió porque garantiza la organización de todas las entidades con sus relaciones en un solo esquema de representación de las cosas como son en la realidad. Este modelo es un medio efectivo para mostrar los requerimientos de información, organización y documentación necesarios para desarrollar el SIG y las clases de datos que se estarán manipulando, junto a esto, el modelo lógico es la parte donde se diseña la base de datos el cual contendrá la información alfanumérica y los niveles de información gráfica que se capturarán, con los atributos que describen cada entidad, identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellas.

Es en esta etapa que también se elaboran las estructuras en que se almacenarán todos los datos, tomando como base el modelo conceptual desarrollado anteriormente. Se trata de hacer una descripción detallada de las entidades, los procesos y análisis que se llevarán a cabo, los productos que se espera obtener y la preparación de los mapas finales para los usuarios.

También se define los geo-procesos que se estarán llevando a cabo más adelante y las consultas que se vayan a realizar comúnmente, ya que de la estructura de las bases de datos (gráficas y alfanuméricas) dependen los resultados obtenidos al final; es por lo

anterior, que en esta etapa, se hace un diseño detallado de lo que contendrá la información cartográfica y de la presentación que tendrán los productos normalmente.

4.2 Diseño de la Geodatabase



4.3 Componentes de la base de Datos.

La base de datos es el componente que le asigna características descriptivas o numéricas a los componentes geográficos son los que definirán los geo-procesos. Es por esto que se clasifican de la siguiente manera, para cada tipo de feature class.

Microzonificación Sísmica

Tipo de suelo
Suelo I
Suelo II
Suelo III
Suelo IV
Suelo V

Altura promedio de edificación por zonas urbanas

Altura de Edificación
Un piso
Dos Pisos
Tres Pisos
Cuatro Pisos

Estado Promedios de Conservación por Zonas Urbanas

Estado de Conservación
Consolidado
Densificado
Deteriorado
En consolidación

Material de Edificación por Zonas Urbanas

Material de Edificación
Albañilería
Adobe
Madera

Tipo de Vivienda Promedio por Zonas Urbanas

Tipo de Vivienda
Casa Independiente
Edificios
Quinta
Improvisada

Ubicación de Infraestructura de Educación

Ubicación	Tipo	Nombre
Coordenadas N - E	Escuela Primaria – Inicial. Secundaria	C.E Guadalupe

Ubicación de Infraestructura de Salud

Ubicación	Tipo	Nombre
Coordenadas N - E	Hospital – Clínica- Posta	Hosp. Dos De Mayo

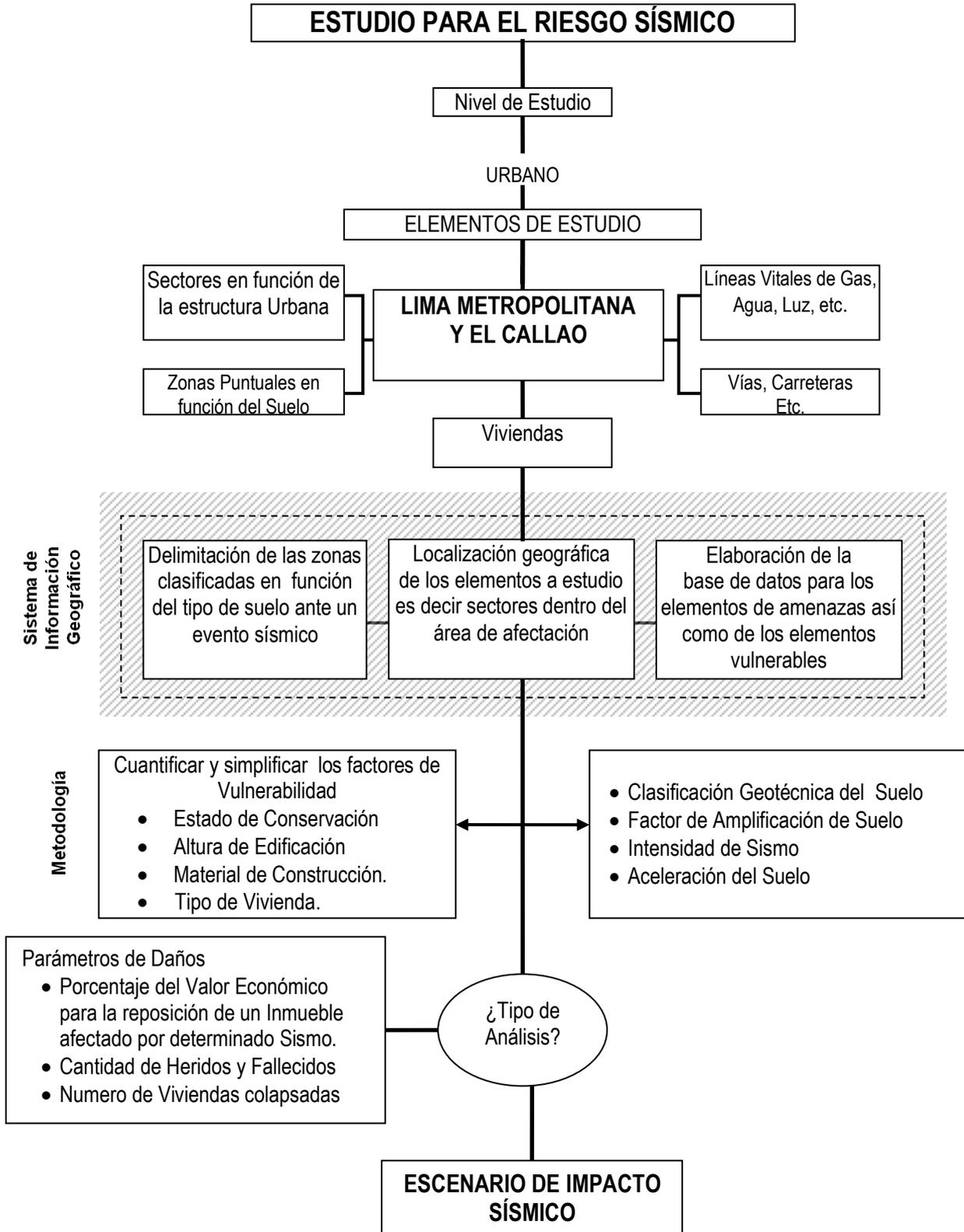
Ubicación de Estación de Bomberos

Ubicación	Nombre
Coordenadas N - E	Hosp. Dos De Mayo

Modelo de Escenario Sísmico

Valor de Reposición en Porcentaje
0 – 15%
15 – 30%
30 – 60%
60 – 100%

4.4 Diseño de Modelo Funcional



4.5 Elementos de la Aplicación Del Diseño Funcional

La aplicación de los SIG en el manejo de los riesgos naturales normalmente están limitadas por la cantidad y calidad disponible de información de los elementos que se quiere estudiar y en algunos casos, en el caso particular del presente estudio se inicio con el procesamiento y migración de información analógica de los mapas de CISMID hacia un formato digital que posibilite un análisis espacial, interactuando los elementos vulnerables en Lima Metropolitana.

4.5.1 Procesos de automatización

Para el diseño funcional de la cartografía y planos que serían producto de información analógica se definió el siguiente procedimiento:

- Cambio de formatos PDF a JPG con una resolución de 600 DPI
- Creación de la Geodatabase donde se organizara la información
- Georreferenciación de mapas en Arcgis 9.2 con error máximo de 0.01 en el eje de las abscisas y las ordenadas.
- Vectorización Automática de elementos cartográficos que conformarían las capas temáticas de la Microzonificación Sísmica de Lima Metropolitana y el Callao
- Con relación a la información de Vulnerabilidad se re proyectó las capas de límite urbano previamente sectorizado desde un Sistema Geográfico a un sistema proyectado en coordenadas UTM a partir del cual se lleno la base de datos para cada componente.
- Llenado de la base de datos tanto de la Información
- Definición de Proyección UTM
- Definición de la Zona del Esferoide Internacional
- Se delimitó la información cartográfica en función de los distritos con información referente a factores de peligro y vulnerabilidad.

5.- CONCLUSIONES

- Se deben tener convenios previos para la obtención rápida de información.
- Detallar mejor la información referente a vulnerabilidad para un mejor resultado.
- El diseño de Geodatabase facilita el trabajo ya que reduce el tiempo para actualización de datos.
- La información digital del CISMID ya está disponible para futuros trabajos
- Existe una caracterización a nivel de sectores de las construcciones en Lima Metropolitana y el Callao

Anexo Q

LISTA DE ACRONIMOS

CISMID	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres
GPS	Posicionamiento Satelital Global
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IGP	Instituto Geofísico del Perú
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
MINAG	Ministerio de Agricultura
MINCETUR	Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
MINEDU	Ministerio de Educación
MINSA	Ministerio de Salud
MINTRA	Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
MM	Escala Mercalli Modificada
ONG	Organización No Gubernamental
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PREDES	Centro de Estudios y Prevención de Desastres
PRONAMACHS	Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas
SECTORES	Sector Público
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINADECI	Sistema Nacional de Defensa Civil
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
WAPMEER	World Agency for Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction, Switzerland

Anexo R

BIBLIOGRAFIA

CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería.- Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao”, a pedido de la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG). Abril de 2005

Godoy & Monge. Modelo de Propagación de un Tsunami a través del Diagrama de Refracción. Metodología para la evaluación del riesgo de tsunami, 1975.

INEI. Resultados de los Censos Nacionales 2007, XI de Población y VI de Vivienda. 2008.

INEI. Compendio Estadístico Perú 2008.

Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto "Identificación, localización y calificación de viviendas tugurizadas con riesgo de colapso en Lima Cercado, La Victoria, Barranco y Chorrillos". INDECI. Lima, 1994.

Ivan J, Meneses J, Guzmán V. Distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú. Tacna: V Congreso Nacional de Ingeniería Civil; 1984. Disponible en: http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/redacis/redacis17_a.pdf

Kuroiwa J. Protección de Lima Metropolitana ante sismos destructivos. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1997.

Maskrey A. y Romero Gilberto. Urbanización y vulnerabilidad sísmica en Lima Metropolitana. Lima: PREDES; 1986.

Morales Nelson. Impacto de Desastres y Situaciones de Emergencia en el Ámbito de la Salud en el Perú. Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Copyright© 2000 ISSN 1025 – 5583. Vol. 62, Nº2 - 2001

Morales Nelson, Zavala Carlos. Terremotos en el Litoral Central del Perú: ¿Podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2008; 25(2).

Morales N, Sato J. Vulnerabilidad Funcional y Organizativa. En: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales del Perú. OPS/OMS. Lima, 1997.

Ocola L. Notas sobre el peligro sísmico de Lima y departamentos el sur del Perú. Lima: Defensa Civil; 1997.

Roque R, Trefogli, C. Actualización del plan de evacuación ante tsunamis en las costas del Callao y evaluación post-desastre (1995- 1996). [Tesis de Bachiller] Lima: Universidad Nacional de Ingeniería; 1996.

Silgado E. Magnitud, frecuencia, período de retorno de terremotos y riesgos sísmicos en la costa del Perú entre 9º y 13º de latitud sur. Lima: Sociedad Geográfica de Lima; 1975.

Tavera H, Heras H. Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en la distribución de valores de "b". Bol. Soc. Geol. Perú. 2002; 93.

Tavera H. El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007. (7.9 Mw). Lima: Instituto Geofísico del Perú; 2008.

Tavera H y Bernal I. Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Referencia: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, V. 98, 85-96 (2004)

Tavera H. Peligro sísmico en Lima y el país. Referencia: Revista del Centro de Estudios y Prevención de Desastres, Año 8, Número 14, 30-35 (2001).

Ulises Mena Hernández. Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas, Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural. Universidad Politécnica de Cataluña. Julio de 2002