



SISMO Y TSUNAMI



**CENEPRED**

Centro Nacional de Estimación, Prevención y  
Reducción del Riesgo de Desastres

# ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO Y TSUNAMI PARA LIMA Y CALLAO

DICIEMBRE 2020

[www.cenepred.gob.pe](http://www.cenepred.gob.pe)



Ing. Juvenal Medina Rengifo  
**Jefe del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres  
(CENEPRED)**

Mg. Lic. Mónica Patricia López-Torres Páez  
**Secretaría General**

Página | 1

Arq. María Mercedes de Guadalupe Masana García  
**Directora de la Dirección de Gestión de Procesos**

Ing. Alfredo Zambrano Gonzales  
**Subdirector de la Subdirección de Gestión de la Información**

**Equipo técnico para la elaboración del escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao**

Mg. Geóg. Vladimir Cuisano Marreros  
**Especialista en Análisis Territorial**

Ing. Felipe Eduardo Perez Tipula  
**Analista en Sistemas de Información Geográfica**

Ing. Enrique Villanueva Agüero  
**Especialista en Gestión de Riesgos de Desastres**

Fuente de imágenes de portada: Evelyn Merino Reyna Buchanan / Christian Vincés



## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	8
2	OBJETIVO GENERAL.....	8
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
3	METODOLOGÍA.....	10
4	ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO .....	11
4.1	LA SISMICIDAD EN PERÚ .....	11
4.1.1	El proceso de subducción.....	12
4.1.2	Las lagunas sísmicas.....	12
4.1.3	Identificación de asperezas.....	13
4.1.4	Zonas de máximo acoplamiento sísmico (ZMAS).....	14
4.1.5	Antecedentes de sismos en la costa central del Perú.....	16
4.1.6	Magnitud del sismo en la región central .....	16
4.1.7	Niveles de sacudimiento del suelo .....	17
4.1.8	Intensidades regionales .....	19
4.2	DETERMINACIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO .....	20
5	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS .....	21
5.1	DENSIDAD POBLACIONAL.....	21
5.2	MAPA DE ESTRATIFICACIÓN ECONÓMICA.....	22
5.3	COSTO REPARACIÓN INTERPOLADO .....	23
5.4	DETERMINACIÓN DEL MAPA DE IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO EXPUESTO .....	24
6	MAPA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO.....	26
7	SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI .....	36
7.1	TSUNAMI EN LA COSTA CENTRAL DEL PAÍS.....	36
7.2	TSUNAMI DE 1746 Y SU IMPACTO EN LA GRAN CUENCA DEL PACÍFICO .....	37
7.3	ELABORACIÓN DE CARTAS DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS .....	39
7.3.1	Información topográfica .....	39
7.3.2	Información batimétrica.....	40
7.3.3	Modelos de simulación numérica .....	40
7.3.4	Información para el proceso final .....	41
7.4	ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS .....	41
7.5	DETERMINACIÓN DEL MAPA DE ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI .....	42
8	EXPOSICIÓN A PELIGROS GEOLÓGICOS CONCATENADOS AL PROBABLE SISMO .....	47
8.1	MOVIMIENTOS EN MASA.....	47
8.2	LICUEFACIÓN.....	47
8.3	EFFECTOS GEOLÓGICOS ASOCIADOS AL SISMO DE 7.9 Mw, EN PISCO, PERU .....	48
8.4	ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS CONCATENADAS POR SISMOS .....	48
8.4.1	Callao.....	49
8.4.2	Lima Norte.....	52



8.4.3	Lima Este .....	61
8.4.4	Lima Centro.....	69
8.4.5	Lima Sur.....	72
9	IDENTIFICACIÓN DE PROBABLES IMPACTOS EN SECTORES.....	79
9.1	SECTOR SALUD.....	79
9.1.1	Exposición por sismo.....	79
9.1.2	Exposición por peligros concatenados al sismo.....	83
9.2	SECTOR EDUCACIÓN.....	86
9.2.1	Exposición por sismo.....	86
9.2.2	Exposición por peligros concatenados al sismo.....	89
9.3	SECTOR TRANSPORTES .....	93
9.3.1	Exposición por sismo.....	93
9.3.2	Exposición por tsunami.....	94
9.3.3	Exposición por peligros geológicos .....	96
9.4	SECTOR CULTURA.....	98
9.4.1	Riesgo sísmico .....	98
9.4.2	Exposición por sismo.....	99
9.5	SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO.....	101
9.5.1	Red de suministro de agua potable: exposición por sismo.....	101
9.5.2	Red de suministro de agua potable: exposición por peligros concatenados.....	104
9.5.3	Alcantarillado: exposición por sismo.....	107
9.6	SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD Y GAS .....	108
9.6.1	Líneas de baja tensión y transmisión eléctrica: exposición al sismo.....	108
9.6.2	Red de gas natural y gaseoducto.....	109
10	CONCLUSIONES.....	111
11	RECOMENDACIONES.....	112
12	BIBLIOGRAFÍA .....	114
13	ANEXOS.....	116



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico del escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao .....	10
Figura 2. Mapa sísmico del Perú para el periodo 1960 a 2019.....	11
Figura 3. Principales áreas de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental .....	12
Figura 4. Distribución espacial de longitudes de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental de Perú .....	13
Figura 5. Esquema que muestra la superficie de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana en la cual se observa la presencia de asperezas (áreas de color gris) con diferentes dimensiones .....	13
Figura 6. Distribución espacial de las principales asperezas identificadas en el borde occidental del Perú .....	14
Figura 7. Mapa de zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS .....	15
Figura 8. Distribución de ZMAS en el borde occidental del Perú.....	15
Figura 9. Geometría de la ZMAS & Espectros de Fourier para señales teóricas .....	17
Figura 10. Valores de aceleración PGA para Lima Metropolitana y el Callao .....	18
Figura 11. Mapas de intensidades sísmicas teóricas para la costa central del Perú .....	19
Figura 12. Mapa de susceptibilidad por sismo para las provincias de Lima y Callao .....	20
Figura 13. Mapa de densidad poblacional de las provincias de Lima y Callao.....	21
Figura 14. Mapa de estratificación económica para las provincias de Lima y Callao .....	22
Figura 15. Mapa de costo reparación interpolado para las provincias de Lima y Callao .....	23
Figura 16. Esquema de construcción del Mapa de identificación del elemento expuesto .....	24
Figura 17. Mapa de identificación de elementos expuestos .....	25
Figura 18. Mapa del escenario de riesgo sísmico para las provincias de Lima y Callao .....	27
Figura 19. Mapa del escenario de riesgo sísmico para la provincia de Callao .....	28
Figura 20. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Norte .....	29
Figura 21. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Centro .....	30
Figura 22. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Este.....	31
Figura 23. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Sur .....	32
Figura 24. Nivel de riesgo para población en las provincias de Lima y Callao .....	33
Figura 25. Población con riesgo Muy Alto en Callao y Lima Norte .....	33
Figura 26. Población con riesgo Muy Alto en Lima Este y Centro .....	33
Figura 27. Población con riesgo Muy Alto en Lima Sur.....	34
Figura 28. Probable impacto de un tsunami con similares características al de 1746.....	38
Figura 29. Diagrama del proceso para la elaboración de las cartas de inundación por tsunami.....	39
Figura 30. Fases del tsunami que integran ecuaciones y teorías que son consideradas en el modelo tsunami .....	40
Figura 31. Representación en tres dimensiones de la información topográfica y batimétrica del distrito de La Punta - Callao (DHN, 2014).....	41
Figura 32. Mapa de escenario de riesgo por tsunami en Callao.....	42
Figura 33. Población expuesta a tsunami en Callao .....	43
Figura 34. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Norte.....	43
Figura 35. Población expuesta a tsunami en Lima Norte .....	44
Figura 36. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Sur.....	44
Figura 37. Población expuesta a tsunami en Lima Sur .....	45
Figura 38. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Centro.....	45
Figura 39. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Callao .....	49
Figura 40. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Norte.....	52
Figura 41. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Este .....	61
Figura 42. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Centro.....	69
Figura 43. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur.....	72
Figura 44. Mapa de exposición por sismo en establecimientos de salud.....	79
Figura 45. Exposición por sismo (aceleración) en establecimientos de salud de Lima y Callao .....	80
Figura 46. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Callao y Lima Norte .....	81
Figura 47. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Este .....	81



Figura 48. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Centro .....	82
Figura 49. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Sur .....	82
Figura 50. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Callao y Lima Norte .....	84
Figura 51. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Este .....	84
Figura 52. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Centro .....	85
Figura 53. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Sur .....	85
Figura 54. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Callao y Lima Norte .....	86
Figura 55. Exposición por sismo (aceleración) en instituciones educativas .....	87
Figura 56. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Centro .....	87
Figura 57. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Este .....	88
Figura 58. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Sur .....	88
Figura 59. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Callao y Lima Norte .....	90
Figura 60. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Centro .....	91
Figura 61. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Este .....	91
Figura 62. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Sur .....	92
Figura 63. Mapa de exposición por sismo en infraestructura y redes de transporte .....	93
Figura 64. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Callao y Lima Norte .....	94
Figura 65. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Lima Centro .....	95
Figura 66. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Lima Sur .....	95
Figura 67. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Callao y Lima Norte .....	96
Figura 68. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Centro .....	96
Figura 69. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Este .....	97
Figura 70. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Sur .....	97
Figura 71. Nivel de riesgo en elementos expuestos del sector Cultura .....	98
Figura 72. Exposición por sismo en áreas arqueológicas .....	100
Figura 73. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable .....	101
Figura 74. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Callao y Lima Norte .....	102
Figura 75. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Centro .....	102
Figura 76. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Este .....	103
Figura 77. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Sur .....	103
Figura 78. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Callao y Lima Norte .....	104
Figura 79. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Centro .....	104
Figura 80. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Este .....	105
Figura 81. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Sur .....	105
Figura 82. Mapa de probables áreas sin abastecimiento de agua post sismo .....	106
Figura 83. Exposición por sismo para la red de alcantarillado .....	107
Figura 84. Exposición por sismo en las líneas de baja tensión y transmisión eléctrica .....	108
Figura 85. Exposición por sismo en la red de gas natural y gaseoducto .....	109
Figura 86. Exposición por peligros concatenados al sismo en la red de gas natural y gaseoducto .....	110



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de costo reparación.....	24
Tabla 2. Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo .....	26
Tabla 3. Niveles de riesgo para el escenario por sismo .....	26
Tabla 4. Niveles de riesgo en población y vivienda.....	27
Tabla 5. Nivel de riesgo para población y viviendas en Callao .....	28
Tabla 6. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Norte.....	29
Tabla 7. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Norte.....	30
Tabla 8. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Este .....	31
Tabla 9. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Sur.....	32
Tabla 10. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo con NGDC Tsunami Database .....	36
Tabla 11. Modelaciones de inundación por tsunami para Lima y el Callao .....	37
Tabla 12. Población y viviendas expuestas a tsunami en Callao.....	43
Tabla 13. Población y viviendas expuestas a tsunami en Lima Norte.....	44
Tabla 14. Población y viviendas expuestas a tsunami en Lima Sur.....	45
Tabla 15. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Callao .....	49
Tabla 16. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ventanilla (5).....	50
Tabla 17. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Norte .....	52
Tabla 18. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ancón (4) .....	53
Tabla 19. Zonas críticas identificadas en el distrito de Carabaylo (11) .....	54
Tabla 20. Zonas críticas identificadas en el distrito de Comas (7).....	56
Tabla 21. Zonas críticas identificadas en el distrito de Independencia (2) .....	58
Tabla 22. Zonas críticas identificadas en el distrito de Puente Piedra (1).....	59
Tabla 23. Zonas críticas identificadas en el distrito de Rímac (1).....	59
Tabla 24. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Martín de Porres (1) .....	60
Tabla 25. Zonas críticas identificadas en el distrito de Santa Rosa (1).....	60
Tabla 26. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Este .....	61
Tabla 27. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ate Vitarte (2).....	61
Tabla 28. Zonas críticas identificadas en el distrito de El Agustino (1) .....	62
Tabla 29. Zonas críticas identificadas en el distrito de La Molina (1).....	62
Tabla 30. Zonas críticas identificadas en el distrito de Lurigancho-Chosica (6) .....	63
Tabla 31. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Juan de Lurigancho (9) .....	65
Tabla 32. Zonas críticas identificadas en el distrito de Santa Anita (1).....	68
Tabla 33. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Centro .....	69
Tabla 34. Zonas críticas identificadas en el distrito de Cercado de Lima (1) .....	70
Tabla 35. Zonas críticas identificadas en los distritos de Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos, San Miguel (1) .....	70
Tabla 36. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur 1/2.....	72
Tabla 37. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur 2/2.....	72
Tabla 38. Zonas críticas identificadas en el distrito de Chorrillos (1) .....	73
Tabla 39. Zonas críticas identificadas en el distrito de Lurín (2) .....	73
Tabla 40. Zonas críticas identificadas en el distrito de Pachacamac (2).....	73
Tabla 41. Zonas críticas identificadas en el distrito de Punta Hermosa (2).....	74
Tabla 42. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Juan de Miraflores (3) .....	74
Tabla 43. Zonas críticas identificadas en el distrito de Villa El Salvador (1).....	75
Tabla 44. Zonas críticas identificadas en el distrito de Villa María del Triunfo (7) .....	76
Tabla 45. Exposición por sismo (aceleración) en establecimientos de salud de Lima y Callao .....	79



Tabla 46. Inicio de actividades de los establecimientos de salud en las provincias de Lima y Callao por sectores desde 1875 a 2015.....	80
Tabla 47. Establecimientos de salud expuestas a tsunami .....	83
Tabla 48. Establecimientos de salud expuestas a peligros geológicos.....	83
Tabla 49. Exposición por sismo (aceleración) en instituciones educativas .....	86
Tabla 50. Año de culminación de edificaciones de instituciones educativas.....	89
Tabla 51. Instituciones educativas expuestas a peligros geológicos 1/2 .....	89
Tabla 52. Instituciones educativas expuestas a peligros geológicos 2/2 .....	90
Tabla 53. Instituciones educativas expuesta a tsunami .....	90
Tabla 54. Nivel de riesgo por sismo en patrimonio histórico.....	99
Tabla 55. Nivel de riesgo por sismo en museos.....	99
Tabla 56. Exposición por sismo en áreas arqueológicas (%) .....	99





## 1 INTRODUCCIÓN

La ciudad conformada por las provincias de Lima y Callao, se encuentra localizada en la costa central del país, extendiéndose desde su franja litoral y, consolidándose sobre los abanicos fluviales de los ríos Chillón, Rímac y Lurín; alcanzando las estribaciones de la cordillera occidental de Los Andes, que rodean la ciudad con laderas de moderadas a fuertes pendientes (Villacorta et al., 2015)

Página | 8

El área de estudio presenta los mayores registros de sismos y tsunamis en el país (Carpio & Tavera, 2002; Mas et al., 2014; Seiner, 2011; Walker, 2012), eventos que se originan en el borde occidental del Perú, debido al proceso de convergencia de las placas de Nazca (oceánica) y la Sudamericana (continental), donde la primera subduce por debajo de la segunda (Dorbath, Cisternas, & Dorbath, 1990; Seiner, 2011; Tavera, 2014a, 2017, 2020). Asimismo, frente a las costas de Lima, el IGP ha identificado al evento de 1746, como su peor escenario registrado por sismo y tsunami; evento que no se ha repetido durante los últimos 276 años, ampliando su periodo de retorno, e incrementando su probabilidad de ocurrencia sobre este ámbito (Tavera, 2017, 2020).

Según los resultados del censo de población y vivienda de 2017 (INEI, 2017), la población total para la Provincia del Callao fue de 994,494; mientras que, para la Provincia de Lima, el conteo dio como resultado de 8,574,974; dando un total de 9,569,468 personas. Sin embargo, los datos mencionados son tabulares, y el presente estudio es de análisis espacial; por tal motivo, se ha trabajado con la base gráfica del censo en mención (geoespacial), donde sus resultados difieren en pequeña proporción para la Provincia de Lima (8,321,611) y el Callao (976,834), con un total de 9,298,445 habitantes; en comparación a los datos tabulares del informe técnico oficial. Además, con respecto a los datos de vivienda, según la base gráfica del último censo, en Lima y Callao hay un total de 2,730,769 viviendas.

Finalmente, este Central Nacional ha elaborado el escenario de riesgo por sismo y tsunami para las provincias de Lima y Callao, considerando al evento sísmico de 1746 como el peor escenario que se espera para la ciudad capital que concentra a la tercera parte de la población, así como el poder político y la mayor fuerza económica del país. La finalidad de elaborar un escenario ante un evento extraordinario no es alarmar a la población y autoridades del ámbito analizado; sino reflexionar de los probables daños que podrían generarse si es que no se inician con la implementación de las medidas de reducción del riesgo y de coordinación para la probable emergencia entre los tomadores de decisión y los representantes de los sectores involucrados en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) para el mediano y largo plazo a nivel local distrital y provincial; sin dejar de lado el enfoque territorial que estrictamente requieren las nuevas medidas a proponer por parte de los tomadores de decisión en el marco de sus competencias.

## 2 OBJETIVO GENERAL

Elaborar el escenario de riesgo por sismo y tsunami para las provincias de Lima y Callao e identificar los probables impactos por sectores.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las zonas probables a la manifestación de peligros concatenados a un sismo de gran magnitud
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en la población y sus medios de vida.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector salud.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector transportes.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector educación.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector energía y de servicios básicos.



# CAPÍTULO 1. ESCENARIO DE RIESGO SÍSMICO



Fuente: Evelyn Merino Reyna Buchanan



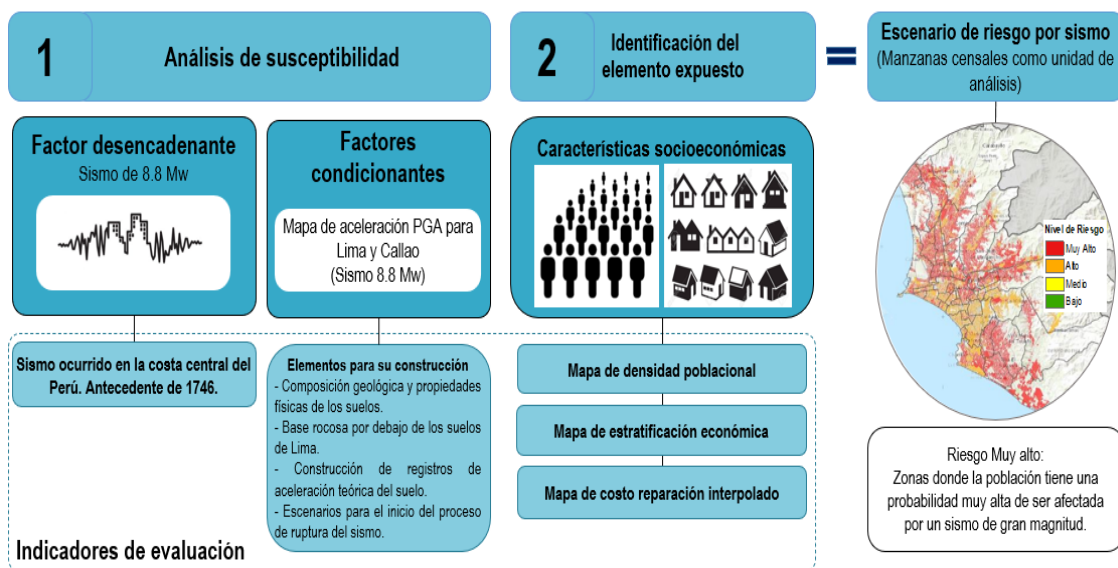
### 3 METODOLOGÍA

La metodología del escenario de riesgo se encuentra dividida en tres etapas (Figura 1); la primera consiste en el análisis de la susceptibilidad, este componente fue elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) a solicitud del CENEPRED, mediante el estudio “Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú” (Tavera, 2020), utilizándose el mapa de aceleración PGA de un sismo de 8.8 Mw para las provincias de Lima y Callao. Posteriormente, según la revisión bibliográfica de eventos con similares características sucedidos en Perú (Pisco) 2007; Chile 2010 y Japón 2011, se determinó el mapa de susceptibilidad por sismo para el ámbito de estudio.

La segunda etapa consistió en la identificación del elemento expuesto y la unidad mínima de análisis geoespacial fue la manzana censal, en esta fase se trabajó con tres variables: el mapa de densidad poblacional, el cual fue construido a partir de los datos de población obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) durante el Censo de Población y Vivienda de 2017; la segunda variable utilizada fue el estudio Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas (INEI, 2020) y la tercera variable fueron los mapas de los estudios de costo reparación interpolado elaborados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) hasta el año 2019. Seguidamente, se realizó una ponderación diferenciada y se obtuvo el mapa de identificación del elemento expuesto.

En la tercera etapa, se relacionaron los componentes de las etapas una y dos y se obtuvo el mapa de riesgo por sismo para las provincias de Lima y Callao. El mapa final se encuentra clasificado en cuatro niveles de riesgo Muy Alto (en color rojo), Alto (en color anaranjado), Medio (en color amarillo) y Bajo (en color verde). Asimismo, frente a este resultado, también se consideró analizar la exposición frente a peligros concatenados al probable sismo, tales como tsunamis y peligros geológicos. La información de inundación por tsunami se obtuvo de las cartas generadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) y la de peligros geológicos fue generada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a solicitud del CENEPRED. Finalmente, se incluyó en el análisis los elementos expuestos del sector salud, educación, cultura, transportes y servicios básicos como energía y agua potable.

Figura 1. Esquema metodológico del escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



## 4 ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO

### 4.1 LA SISMICIDAD EN PERÚ

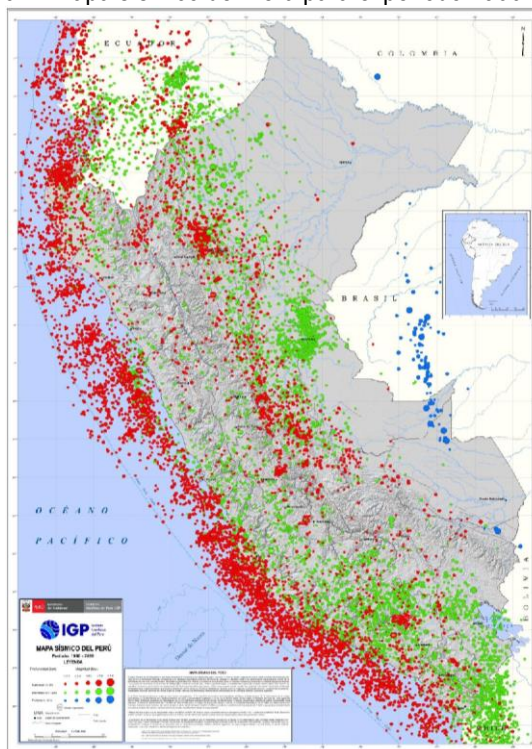
La placa de Nazca subduce por debajo de la Sudamérica frente a la línea litoral del país, este proceso se considera como la principal fuente de sismicidad en el territorio peruano. Por otra parte, la segunda fuente sismogénica es producto de la deformación cortical, la cual se caracteriza por dar origen a sismos sobre los bordes de la Cordillera Andina y la zona subandina, para luego desaparecer completamente en la llanura amazónica (Tavera, 2014b).

Página | 11

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) realiza seguimiento a los sismos generados en el país y los clasifica de acuerdo con su profundidad focal, los cuales pueden ser superficiales (<60 km, puntos rojos), intermedios (61 a 350 km, puntos verdes) y profundos (>351 km, puntos azules). Los sismos superficiales se distribuyen a lo largo de fosa peruano-chilena, la cual se extiende frente a la costa peruana desde Tumbes hasta Tacna. Los sismos de foco intermedio o intraplaca se distribuyen en tres sectores bien definidos; el primero, paralelo a la costa por debajo de 8° latitud Sur; el segundo, sobre la zona subandina al NE de la región norte y; el último, sobre toda la región sur de Perú. Los sismos de foco profundo se encuentran, en su totalidad, alineados de Sur a Norte, en la frontera Perú con Brasil y en dirección Este-Oeste en la frontera de Perú con Bolivia. El origen de estos eventos aún sigue siendo tema de investigación (Tavera, 2014b, 2020) (Figura 2).

En la región sur del Perú, los sismos de gran magnitud ocurrieron en los años 1604 (M8.5), 1868 (M8.8) y recientemente, el sismo del 2001 (M8.2) que produjeron daños importantes en personas e infraestructuras de las actuales regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna. En la región centro, el sismo de mayor magnitud ocurrió en el año 1746 (M9.0), seguido de otros en los años 1940 (M7.8), 1942 (M8.0), 1966 (M7.8), 1970 (M7.7), 1974 (M7.7) y 2007 (M8.0) que afectaron a las actuales regiones de Ica, Lima y Ancash. Para la región norte, no existe mayor información sobre la ocurrencia de sismos de gran magnitud, pero muchos investigadores consideran al sismo ocurrido en el año 1619 (M8.0) como el más importante en esta región (Tavera, 2014b, 2017, 2020).

Figura 2. Mapa sísmico del Perú para el periodo 1960 a 2019



Fuente: Tavera (2020).

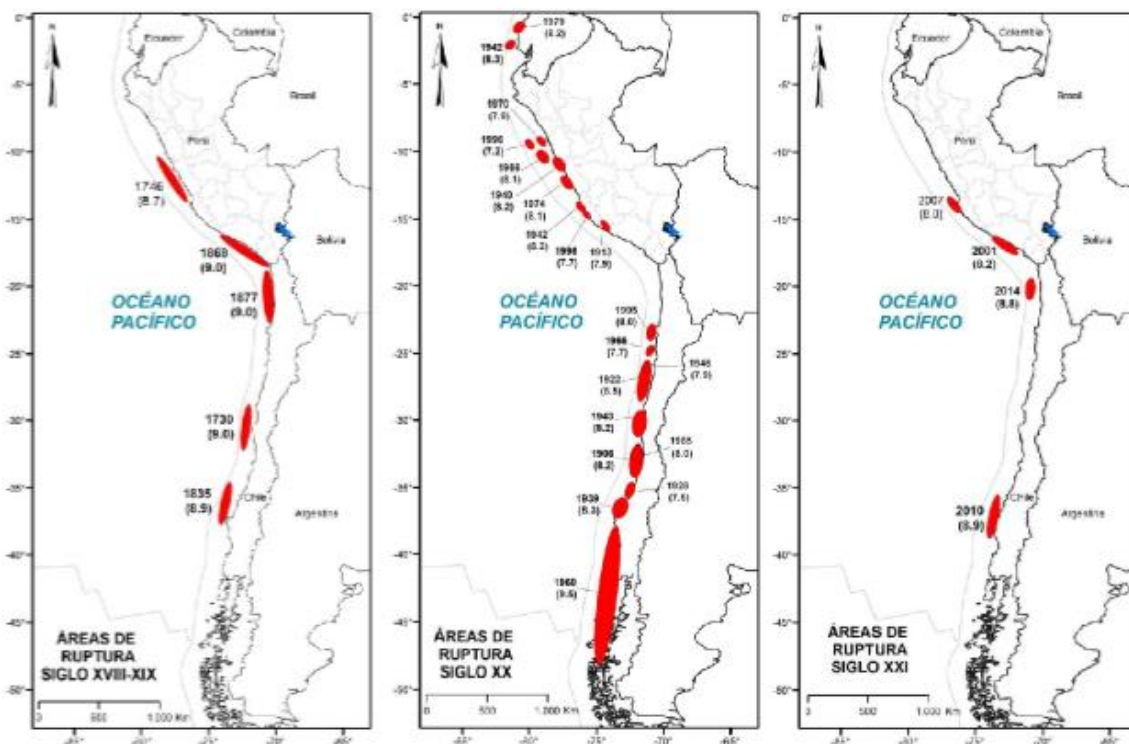
#### 4.1.1 El proceso de subducción

En las regiones norte – centro, el modo de introducirse la placa de Nazca por debajo del continente es conocida como subducción subhorizontal y en la región sur como subducción normal. La zona donde la placa se contorsiona para pasar de un tipo de subducción a otra se encuentra a la altura de la región Ica coincidiendo con la llegada de la dorsal de Nazca en su borde occidental. La subducción normal permite la presencia de volcanes (Tavera, 2020).

#### 4.1.2 Las lagunas sísmicas

El concepto de lagunas sísmicas supone que, a lo largo de la superficie de contacto entre las placas tectónicas donde no han ocurrido sismos de gran magnitud durante mucho tiempo y que está rodeada por otras donde sí ocurrieron sismos, es un área donde la deformación se está acumulando y la energía solo se liberaría con la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Tavera & Bernal (2005) recopilan y actualizan la información sobre las áreas de ruptura asociadas a la ocurrencia de grandes sismos en el borde occidental del Perú y Chile, a fin de evaluar la presencia de lagunas sísmicas y sus resultados son los siguientes (Tavera, 2020) (Figura 3):

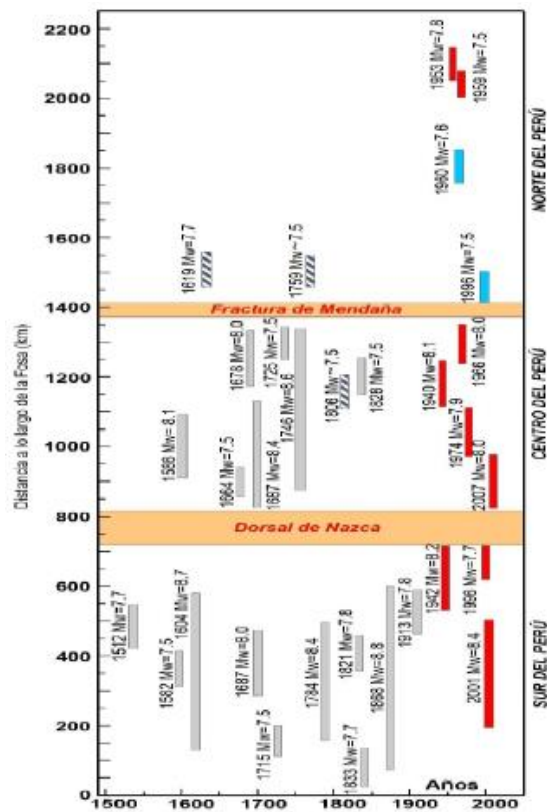
Figura 3. Principales áreas de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental



Fuente: Tavera & Bernal (2005)

De acuerdo con la distribución espacial de las áreas de ruptura en el borde occidental del Perú, para la región centro se ha identificado la presencia de una laguna sísmica que probablemente viene acumulando deformación desde el año 1746, fecha en que habría ocurrido, quizás el evento sísmico de mayor magnitud en el Perú. Los sismos ocurridos en los años 1940, 1966, 1970, 1974 y 2007 presentaron magnitudes iguales o menores a M8.0; por lo tanto, no habrían liberado el total de la energía aún acumulada en la región central (Tavera, 2020).

Figura 4. Distribución espacial de longitudes de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental de Perú

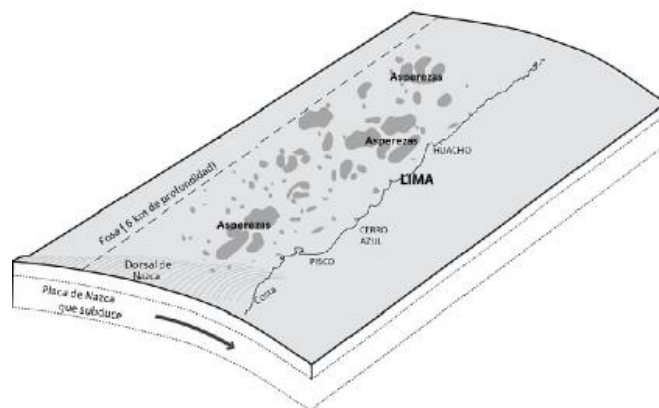


Fuente: Tavera (2020).

#### 4.1.3 Identificación de asperezas

En zonas de subducción, la superficie de contacto entre dos placas no se encuentra en un estado uniforme de distribución de esfuerzos y deformación acumulada, sino que existe una continua liberación de energía en forma de sismos sobre algunas áreas, dejando otras con mayor acumulación de deformación llamadas asperezas. El tamaño de la aspereza o asperezas definen la magnitud del sismo y las dimensiones del área total de la ruptura (Tavera, 2020) (Figura 5).

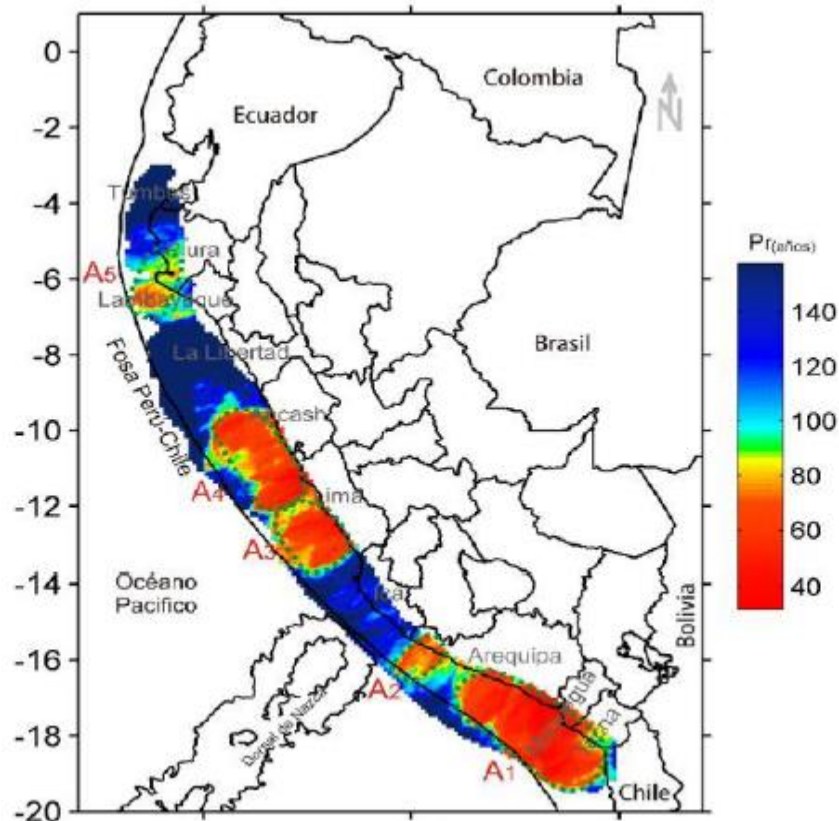
Figura 5. Esquema que muestra la superficie de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana en la cual se observa la presencia de asperezas (áreas de color gris) con diferentes dimensiones



Fuente: Tavera (2020).

En el ámbito de la zona central del país, se ubican las asperezas A3 y A4, las cuales se encuentran en la zona costera de la región Lima y el Callao, y estarían asociadas a la deformación acumulada desde el año de 1746, fecha en que ocurrió probablemente uno de los sismos de mayor magnitud en el Perú. De acuerdo con las dimensiones de dichas áreas, el sismo podría presentar una magnitud de Mw 8.8 (Figura 6).

Figura 6. Distribución espacial de las principales asperezas identificadas en el borde occidental del Perú



Fuente: Tavera (2020).

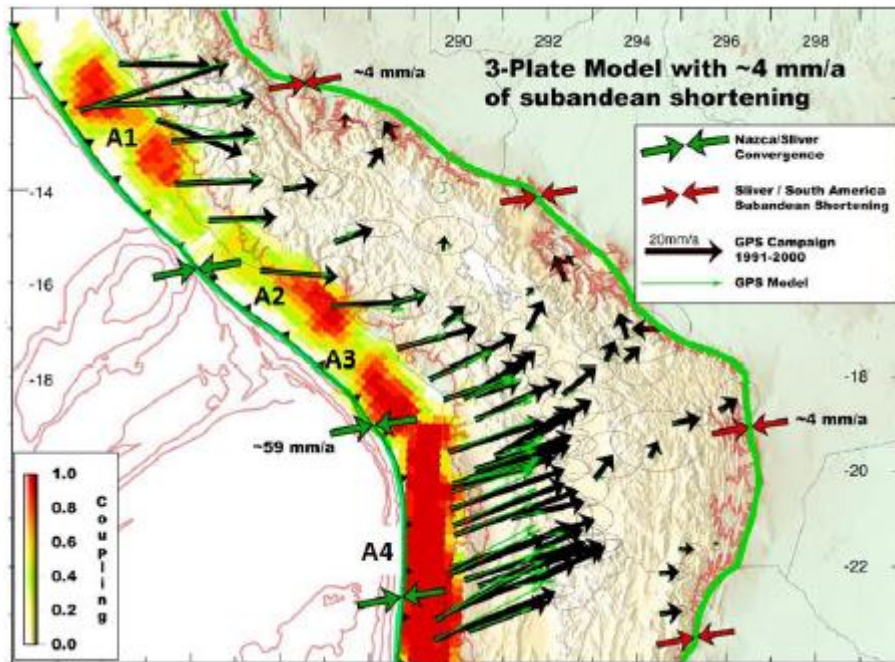
#### 4.1.4 Zonas de máximo acoplamiento sísmico (ZMAS)

Con el desarrollo de la instrumentación geofísica, los nuevos equipos GPS son capaces de monitorear y registrar con precisión los desplazamientos mínimos de la corteza terrestre tomando como referencia un punto estático. Para el pronóstico de sismos, debe entenderse que dentro de una zona de subducción como la que se desarrolla en el borde occidental del Perú, la placa Sudamericana avanza continuamente sobre la de Nazca a una velocidad que depende del estado de los esfuerzos regionales actuantes, la misma que sería fácilmente monitoreada y conocida usando datos provenientes de equipos GPS (Tavera, 2020).

En este escenario, si las superficies de contacto entre estas dos placas fueran completamente lisas, los desplazamientos se realizarían a una velocidad constante y generando probablemente sismos de magnitud menor, y sin riesgo para las poblaciones cercanas. Pero en realidad y tal como se explicó anteriormente, sobre las superficies de contacto de ambas placas existen las asperezas que evitan que las placas se desplacen, siendo estas áreas las responsables de la deformación que se produce en el borde occidental de la placa Sudamericana con el consecuente retroceso y levantamiento de la corteza (Tavera, 2020).

En la región central A-1, existen dos ZMAS que en conjunto forman un área cuyo eje mayor tiene una longitud de 350 km paralelo a la zona costera. Esta área ZMAS estaría acumulando deformación desde el año 1746, fecha en que ocurrió, quizás el sismo de mayor magnitud en el territorio peruano (Chlieh et al., 2011) (Figura 7).

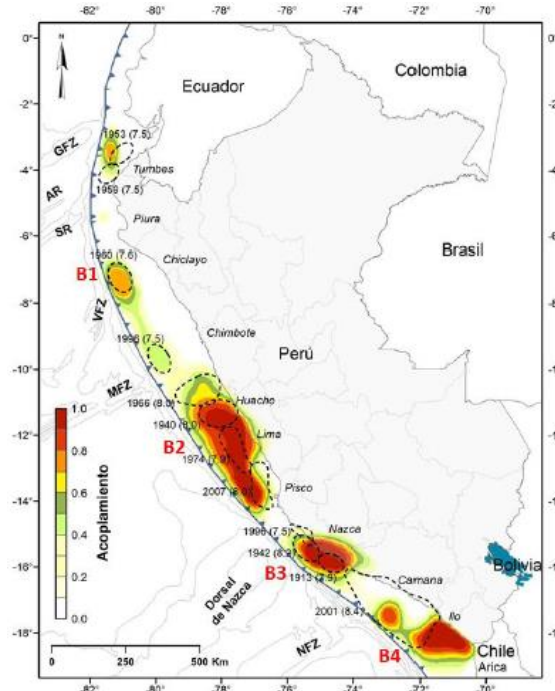
Figura 7. Mapa de zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS



Fuente: Tavera (2020) & Chlieh et al. (2011). Las flechas negras corresponden a las medidas de GPS in situ y las verdes a las obtenidas con el modelo teórico. La buena correlación sugiere la existencia de hasta 4 zonas de acoplamiento sísmico.

Posteriormente, Villegas-Lanza et al. (2016) realizan un estudio integral para todo el borde costero del Perú utilizando datos GPS recolectados hasta el año 2015, esto como parte de proyectos en cooperación con la Universidad de Nice (Francia). Los resultados obtenidos por estos autores permiten tener una visión global de los vectores de velocidad de deformación cortical, siendo estos mayores en las zonas costeras de las regiones centro y sur del Perú con una orientación próxima a E-O, lo cual indica que la acumulación de esfuerzos es mayor que las áreas circundantes (Tavera, 2020) (Figura 8).

Figura 8. Distribución de ZMAS en el borde occidental del Perú



Fuente: Villegas-Lanza et al. (2016)





Región Central (B-2): Se identifica la presencia de una ZMAS que abarca el área comprendida entre la localidad de Huacho (Lima) por norte hasta Pisco (Ica) por el Sur, sobre una longitud de aproximadamente 450 km (Área: 460x150 km<sup>2</sup>), estando el área de mayor tamaño en el extremo norte de la ZMAS. En esta zona, se podría producir un sismo de magnitud importante y probablemente sea el repetitivo del que ocurrió en el año 1746 (Mw 8.8) (Figura 8).

#### 4.1.5 Antecedentes de sismos en la costa central del Perú

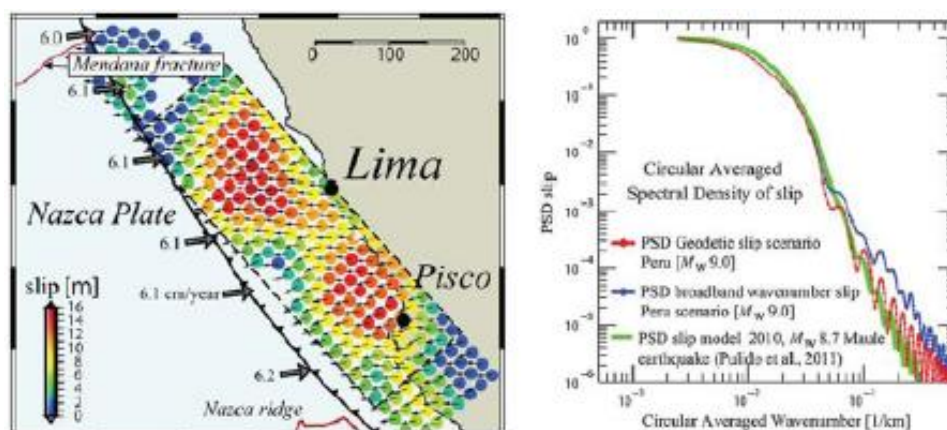
La ciudad de Lima está expuesta a un alto nivel de peligro sísmico, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano-chileno. Dentro de los sismos históricos ocurridos en la Zona Central del Perú y que de alguna forma han afectado a la ciudad de Lima, tenemos los siguientes (CISMID & UNI, 2011):

- El sismo del 9 de julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.
- El sismo del 13 de noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.
- Sismo del 28 de octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.
- El sismo del 30 de marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.
- El 15 de agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico  $M_w=7.9$  de acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú y de 8.0 según el National Earthquake Center (NEIC). El sismo produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menor en las localidades aledañas, llegándose a evaluar una intensidad del orden de VII en la escala de Mercalli Modificada (MM) en las localidades de Pisco, Chincha y Cañete, V y VI en la ciudad de Lima.

#### 4.1.6 Magnitud del sismo en la región central

Sobre la ZMAS identificada por Chlieh et al. (2011) para el borde costero de la región central del Perú, Pulido et al. (2015, 2012) procedió a su descomposición en círculos unitarios a fin de distribuir las deformaciones acumuladas en la zona durante 272 años con una velocidad de 6 cm/año (Figura 9). El objetivo fue simular el evento sísmico y obtener el registro teórico del sismo, al cual se le aplica una simple transformada de Fourier. La parte plana del espectro obtenido equivale al tamaño del evento sísmico; es decir, su magnitud y en este caso, el sismo presentaría una magnitud próxima a Mw 8.8. Una manera de corroborar este valor de magnitud fue aplicar la misma técnica al registro del sismo de Chile del 2010 (Mw 8.8) y el resultado a obtenerse incluirlo para comparación en la Figura 9. En esta figura se observa que los espectros son muy similares; por lo tanto, la ZMAS identificada para la región central del Perú, daría origen a un sismo de magnitud del orden de Mw 8.8 – 9.0.

Figura 9. Geometría de la ZMAS &amp; Espectros de Fourier para señales teóricas



Fuente: Tavera (2020). Geometría de la ZMAS y distribución espacial de las deformaciones acumuladas en el borde costero de la región central del Perú (Figura izquierda). Espectros de Fourier para las señales teóricas correspondientes al sismo con origen en ZMAS (líneas roja y azul) y sismo de Chile del 2010 (línea verde) (Figura derecha).

#### 4.1.7 Niveles de sacudimiento del suelo

Una vez conocida la geometría del área que caracteriza a la ZMAS ubicada en la zona costera de la región central del Perú, así como la magnitud el sismo que podría ocurrir, se ha procedido a estimar los niveles de sacudimiento del suelo que podría experimentarse en Lima Metropolitana y el Callao. En general, el registro de un sismo es el producto de la convolución de los procesos que se desarrollan en la fuente sísmica, la atenuación del medio, los efectos de sitio y las características del sensor. De todos estos procesos, el que debe conocerse en detalle son los efectos de sitio que considera las propiedades físicas de las capas superficiales del subsuelo hasta una profundidad promedio de 30 metros ( $V_{s30}$ ), debido a que ellas de acuerdo a su composición amplifican o atenúan a las ondas sísmicas (Tavera, 2020).

Para conocer la composición geológica y propiedades físicas de los suelos de Lima Metropolitana y el Callao, Pulido et al. (2015, 2012) utilizó la información generada por el proyecto SATREPS (Calderon et al., 2013) a partir de ensayos geofísicos. Conocer la velocidad de las ondas sísmicas y los espesores de la capa sedimentaria superficial, ayuda a identificar en qué distritos se podría esperar mayores niveles de sacudimiento del suelo. Para la base rocosa por debajo de los suelos de Lima, se consideró los valores de velocidad para las ondas sísmicas obtenidos por Krabbenhoft et al. (2004), dentro del proyecto alemán de sísmica marina conocido con las siglas "GEOMAR" (Tavera, 2020).

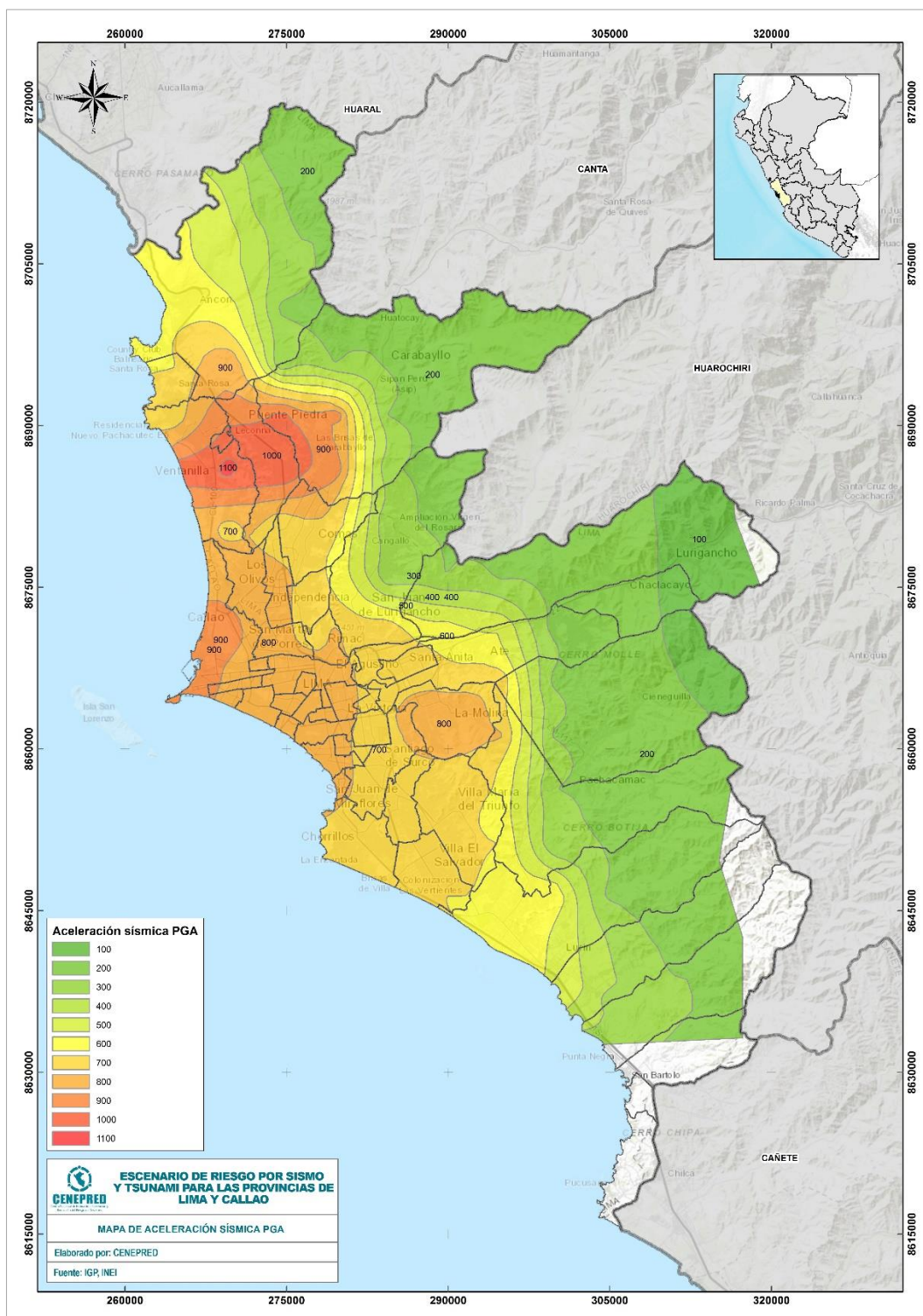
Conocida la geometría del área ZMAS (460 x 150 km<sup>2</sup>), el tamaño del sismo que podría producirse (M8.8), la velocidad de las ondas de corte en las capas superficiales de Lima Metropolitana y el Callao se procedió a construir los registros de aceleración teórica del suelo para varios puntos del área de estudio. Posteriormente, considerando que ZMAS es un área bastante grande, se generaron los registros de aceleración asumiendo varios escenarios para el inicio del proceso de ruptura del sismo en estudio; es decir, ¿cuál sería la aceleración del suelo si el sismo inicia su ruptura en el extremo sur del ZMAS, al norte y al frente de la zona costera de Lima Metropolitana y el Callao? Al final del proceso, los resultados obtenidos permiten conocer la aceleración del suelo considerando sus efectos de sitio. Los valores de aceleración obtenidos para cada punto fueron interpolados para construir el mapa de la Figura 10 (Pulido et al., 2015, 2012; Tavera, 2020).

De producirse el sismo frente a la costa de la región central del Perú, los suelos de la ciudad de Lima Metropolitana podrían demandar niveles de aceleración mayores a 500 cm/s<sup>2</sup> y en El Callao, desde Ventanilla hasta la zona portuaria, del orden de 700 a 900 cm/s<sup>2</sup>. Para tener una idea de estos valores, durante el terremoto de Pisco 2007 (M8.0), los suelos de la ciudad de Ica soportaron niveles de sacudimiento del orden de 400 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) y en Lima del orden de 80 cm/s<sup>2</sup>. Esto valores de aceleración del suelo son entre 6 y 11 veces menor del que podría producirse en Lima y el Callao si ocurriera el sismo asociado a la ZMAS. En este contexto, es importante indicar que durante la ocurrencia del sismo



de Chile del 2010 (Mw 8.8), en la ciudad de Santiago de Chile los suelos se sacudieron con aceleraciones que llegaron a 900 cm/s<sup>2</sup> y en Japón, durante el terremoto del 2011 (Mw 9.0), en algunas zonas se registraron aceleraciones del orden de 1200 cm/s<sup>2</sup>. De acuerdo con estos resultados, es de entenderse que los grandes sismos logran generar altos niveles de sacudimiento del suelo, siendo estos mayores para algunas áreas en donde los suelos podrían no ser competentes (Tavera, 2020).

Figura 10. Valores de aceleración PGA para Lima Metropolitana y el Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de Tavera (2020). Valores de aceleración PGA para Lima Metropolitana y el Callao considerando como escenario un sismo con origen en la ZMAS identificada para la zona costera de la región central del Perú (Pulido et al, 2015, 2012).

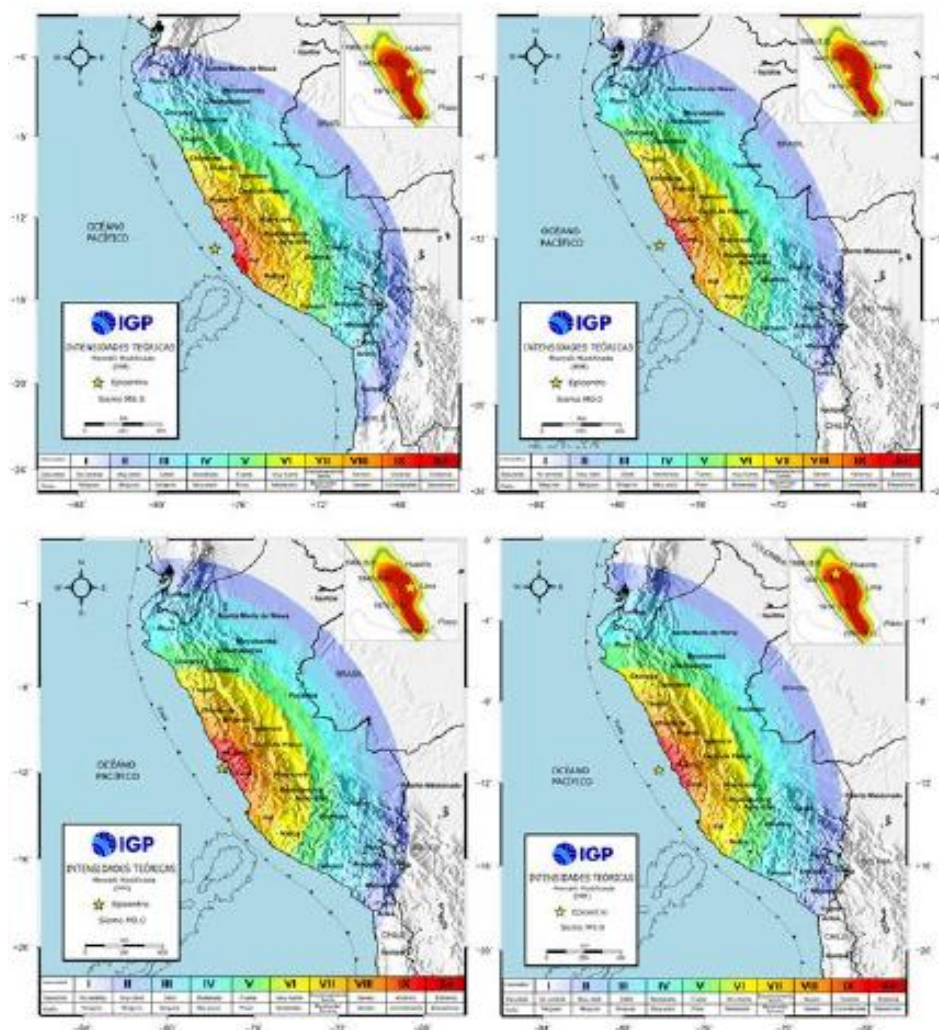
#### 4.1.8 Intensidades regionales

A fin de disponer de información complementaria que permita conocer el área de afectación debido a la ocurrencia de sismos de gran magnitud con origen en las ZMAS de la Figura 10, se ha construido para cada sismo los mapas de intensidades sísmicas teóricas en la escala de Mercalli Modificada (MM) (Tavera, 2020).

Página | 19

Considerando que la ZMAS (B2) ubicada frente a la zona costera de la región central del Perú presenta una gran área de ruptura (460 x 150 km<sup>2</sup>), se ha considerado 4 escenarios para un sismo de magnitud Mw 8.8 (Figura 11): el primero considera un epicentro ubicado a 180 km en dirección SO con respecto al Callao (extremo sur de ZMAS), el segundo con epicentro a 110 km en dirección oeste, el tercero con epicentro a 40 km en dirección oeste y el cuarto con epicentro a 180 km en dirección noroeste con respecto al Callao. Para todos estos escenarios, la intensidad máxima sería de IX-X (MM) con la diferencia que, para el tercer escenario, el área es 3 veces mayor que para el primer escenario; además, el área de intensidades de VI (MM) abarca por el sur con la ciudad de Nazca, por el oriente con la ciudad de Pucallpa y por el norte, con la ciudad de Chiclayo. En general, y con intensidades menores, el sismo sería percibido por el sur, en la ciudad de Arica (Chile); por el oriente hasta la frontera Perú – Brasil y por el norte, hasta la ciudad de Guayaquil en Ecuador.

Figura 11. Mapas de intensidades sísmicas teóricas para la costa central del Perú



Fuente: Tavera (2020). Mapas de intensidades sísmicas teóricas en la escala MM elaborados para 4 escenarios de sismos de gran magnitud ocurridos en el área ZMAS (B2) ubicada frente a la costa de la región central del Perú.

## 4.2 DETERMINACIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO

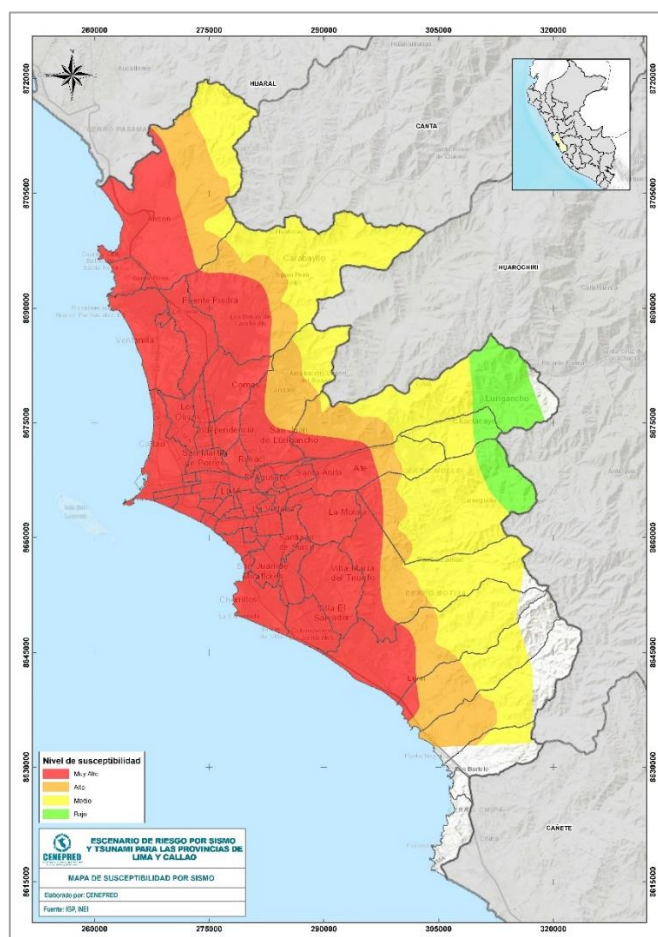
Para la determinación de los niveles de susceptibilidad por sismo, se tomó en consideración el Decreto Supremo N°003-2016-VIVIENDA, del 24 de enero de 2016<sup>1</sup>, donde se determina como “zona 4”, la más alta frente al peligro sísmico, a los ámbitos por encima de los 450 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. Además; se revisaron algunos casos como el de Pisco 2007, donde se generó un sismo de 7.9 Mw, obteniendo valores máximos de aceleración de 488 cm/s<sup>2</sup> en la estación Parcona de la ciudad de Ica (Bernal & Tavera, 2008; IGP, 2008; Tavera, 2020).

Página | 20

Además, según Tavera (2020) en Chile del 2010 (Mw 8.8), en la ciudad de Santiago de Chile los suelos se sacudieron con aceleraciones que llegaron a 900 cm/s<sup>2</sup> y en Japón, durante el terremoto del 2011 (Mw 9.0), generándose daño en las infraestructuras donde los suelos permitieron la amplificación de energía transmitida en forma de onda sísmica (Furumura et al., 2011; San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011; Saragoni & Ruiz, 2012).

Por consiguiente, se determinó la susceptibilidad por sismo, teniendo en consideración los valores de aceleración PGA para Lima Metropolitana y el Callao (Figura 10), clasificándose en niveles de la siguiente manera: Muy Alto, de 500 a 1100 cm/s<sup>2</sup> (en color rojo); Alto, de 300 a 400 cm/s<sup>2</sup> (en color anaranjado); Medio, en ámbitos de 200 cm/s<sup>2</sup> (en color amarillo) y Bajo, en 100 cm/s<sup>2</sup> (en color verde) (Figura 12).

Figura 12. Mapa de susceptibilidad por sismo para las provincias de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de Tavera (2020).

<sup>1</sup> Decreto Supremo N°003-2016-VIVIENDA, del 24 de enero de 2016: Decreto Supremo que modifica la norma técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N°11-2006-VIVIENDA, modificada con Decreto Supremo N°002-2014-VIVIENDA.

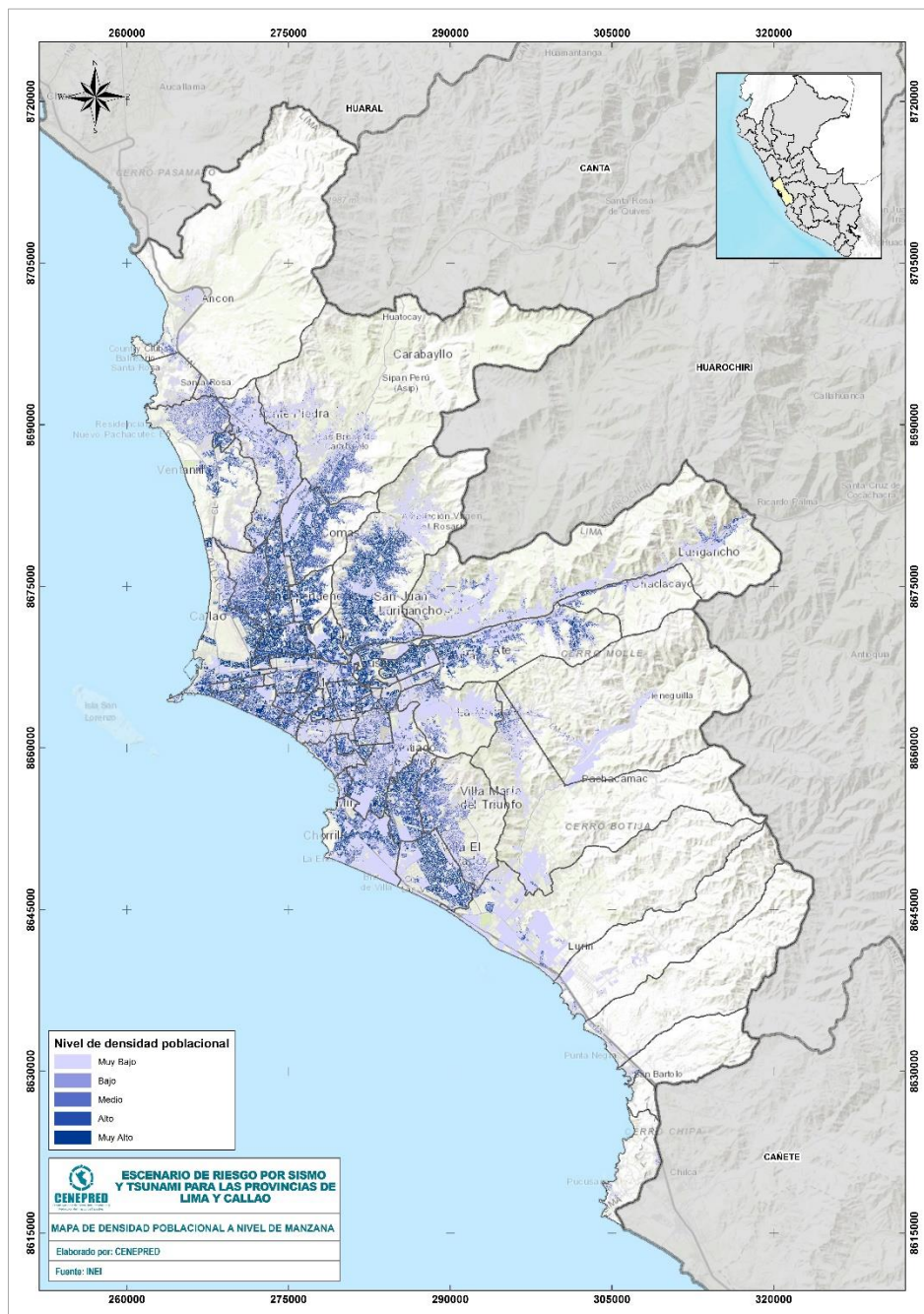


## 5 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS

### 5.1 DENSIDAD POBLACIONAL

El mapa de densidad poblacional se construyó con los datos de población del censo de 2017 (INEI, 2017), (Figura 13) la unidad geoespacial de análisis fue la manzana censal, cual tamaño es aproximadamente una hectárea (Ha), por consiguiente se desarrolló el mapa con relación a la población total sobre una hectárea. Posteriormente, se clasificó por quintiles, de esta manera se podrá identificar cuáles son los ámbitos urbanos con mayor densidad poblacional tanto en los sectores urbanos consolidados, periurbanos y los ubicados en las laderas de la periferia de la ciudad de Lima y Callao. El mapa de densidad poblacional de Lima y Callao muestra que, existe una alta densidad poblacional en Lima norte, centro y sur principalmente.

Figura 13. Mapa de densidad poblacional de las provincias de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI (2017).

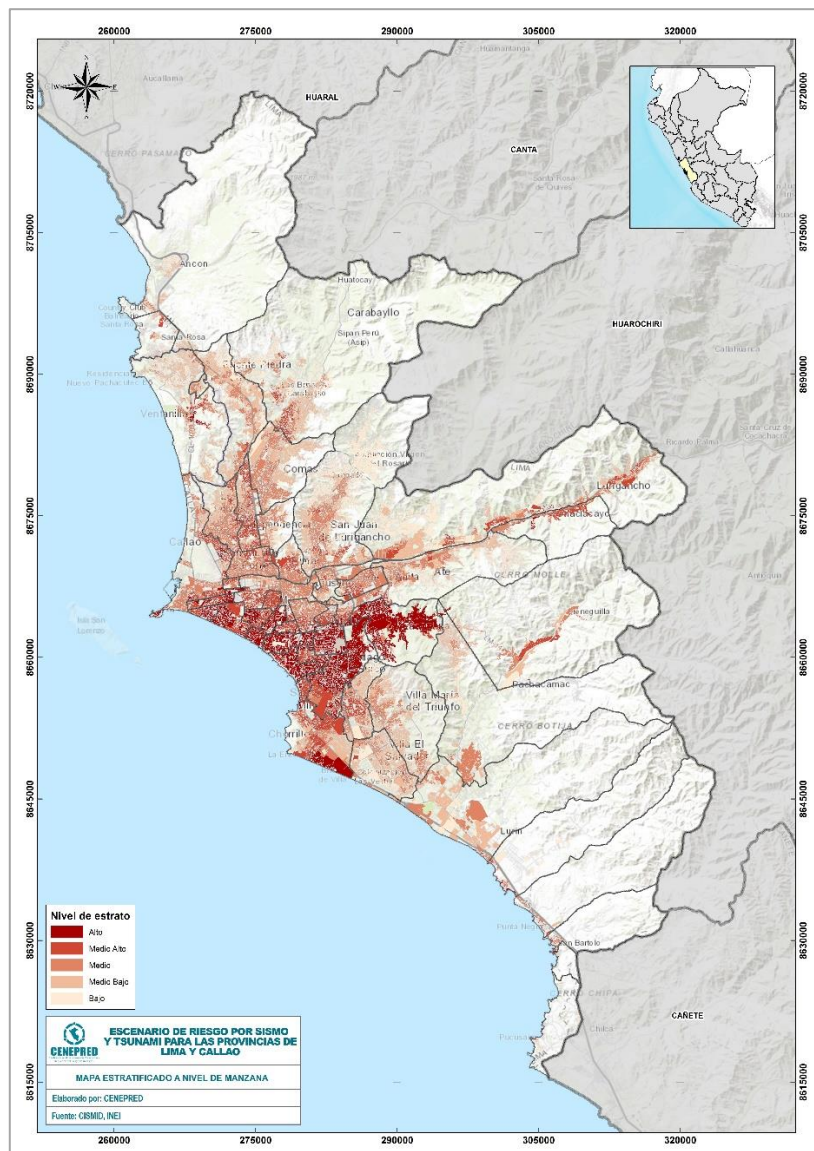


## 5.2 MAPA DE ESTRATIFICACIÓN ECONÓMICA

El mapa utiliza íntegramente el estudio de Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas elaborado por el INEI (2020), en términos generales, la metodología utilizada por el INEI toma en consideración los datos de la encuesta de hogares para estimar un modelo del ingreso per cápita de estos; luego utiliza los coeficientes de este modelo estimado para predecir el ingreso de cada hogar en el censo de población; obteniendo estimaciones de los niveles del ingreso promedio per cápita por hogar para los diferentes niveles de desagregación geográfica (Figura 14).

El nivel de ingreso total es, en gran parte, el resultado del comportamiento de sus integrantes en el mercado laboral, pues allí desarrollan sus actos de acuerdo con una función económica del hogar, que se define en base a un conjunto de preferencias y de restricciones presupuestarias. A su vez, existen condiciones de partida que determinan las probabilidades de acceder a niveles de ingreso superiores: mayores ventajas de inserción en el mercado laboral, transferencias de otros hogares (vivienda, equipamiento, dinero), etc. Así, el ingreso total del hogar es el resultado de un conjunto de factores que se encuentran presentes tanto en las características actuales de sus miembros como en otros que son producto de la acumulación en los hogares de los cuales provienen los integrantes (INEI, 2020).

Figura 14. Mapa de estratificación económica para las provincias de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI (2020).

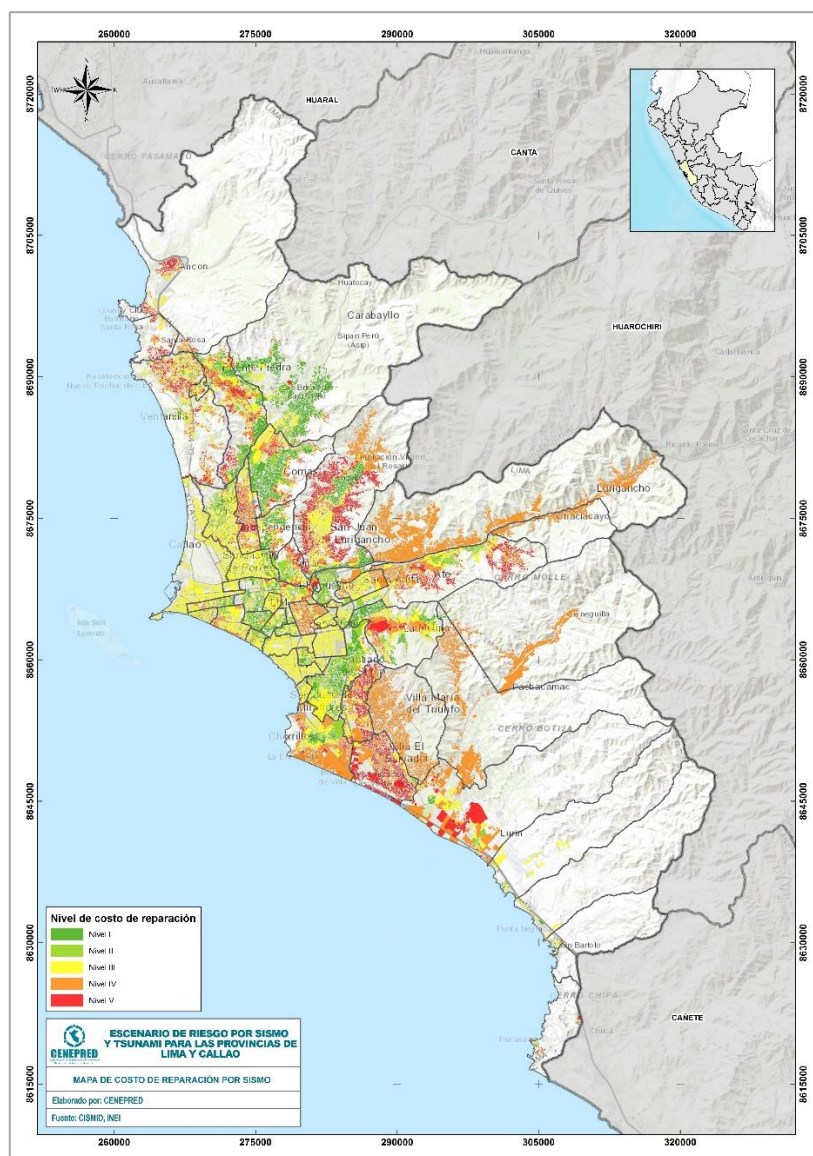


La estratificación de ingresos per cápita de hogares es clasificada en cinco niveles: Muy Alto (s/ 2,412.45 a más), Medio Alto (s/ 1,449.72 - 2,412.44), Medio (s/ 1,073.01 - 1,449.71), Medio Bajo (s/ 863.72 - 1,073.00) y Bajo (s/ 863.71 a menos). Estos resultados permiten analizar el competente de la resiliencia con respecto al impacto de un probable sismo, el nivel de ingreso económico puede ser crucial para una rápida respuesta y recuperación en comparación a los sectores con ingresos más bajos y que probablemente tengan una recuperación más lenta.

### 5.3 COSTO REPARACIÓN INTERPOLADO

El CISMID utiliza el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación (CISMID & UNI, 2013): i) el peligro sísmico se basa en las aceleraciones máximas del tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica-sísmica de los ámbitos de interés; ii) el análisis de la vulnerabilidad física, lo realizaron a través del cálculo del costo de reparación de una edificación. Finalmente, iii) el cálculo se interpola mediante el método de aproximación del valor de reparación de las viviendas de una manzana, expresado en porcentaje, con relación al costo de las edificaciones (CISMID, 2016, 2017) (Figura 15, Tabla 1).

Figura 15. Mapa de costo reparación interpolado para las provincias de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de CISMID.





Tabla 1. Niveles de costo reparación

NIVEL DE DAÑO	DESCRIPCIÓN	% COSTO DE REPARACIÓN
NIVEL I	Sin daño o daño superficial	< 15%
NIVEL II	Daño leve	15% - 30%
NIVEL III	Daño moderado	30% - 60%
NIVEL IV	Daño severo	60% - 85%
NIVEL V	Colapso	> 85%

Fuente: CISMID

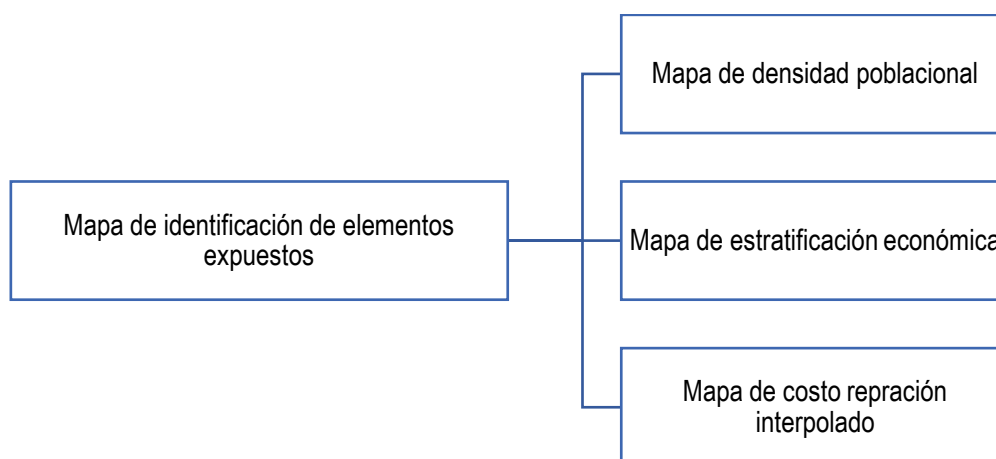
Sin embargo, los estudios del CISMID aún no han finalizado su cobertura sobre el ámbito de trabajo del presente escenario, hasta el momento se cuenta con resultados para cinco distritos de la Provincia del Callao y treinta y cinco para Lima. Por consiguiente, para los distritos sin estudios, el equipo técnico decidió otorgarle un nivel general de acuerdo con el entorno y características del distrito, otorgándole el nivel III para los distritos de Callao y La Punta (Callao), así como en Miraflores, San Borja y San Isidro (Lima) y; el nivel IV para los distritos de Chaclacayo, Cieneguilla, Lurigancho y Villa María del Triunfo (Lima).

#### 5.4 DETERMINACIÓN DEL MAPA DE IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO EXPUESTO

Para la determinación de este mapa, se otorgó una ponderación diferenciada a cada variable: densidad poblacional, estratificación económica y costo reparación interpolado (Figura 16). Seguidamente, el mapa se clasificó en cuatro niveles: Muy Alto (en color rojo), Alto (en color anaranjado), Medio (en color amarillo) y Bajo (en color verde) (Figura 17).

El mapa del elemento expuesto muestra que, el nivel Muy Alto es predominante en los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Ate, Villa el Salvador, San Juan de Miraflores y Ventanilla; localizados en los ámbitos periféricos de la ciudad. Mientras que, en el ámbito urbano consolidado (Lima centro), predominan los niveles Medio y Bajo.

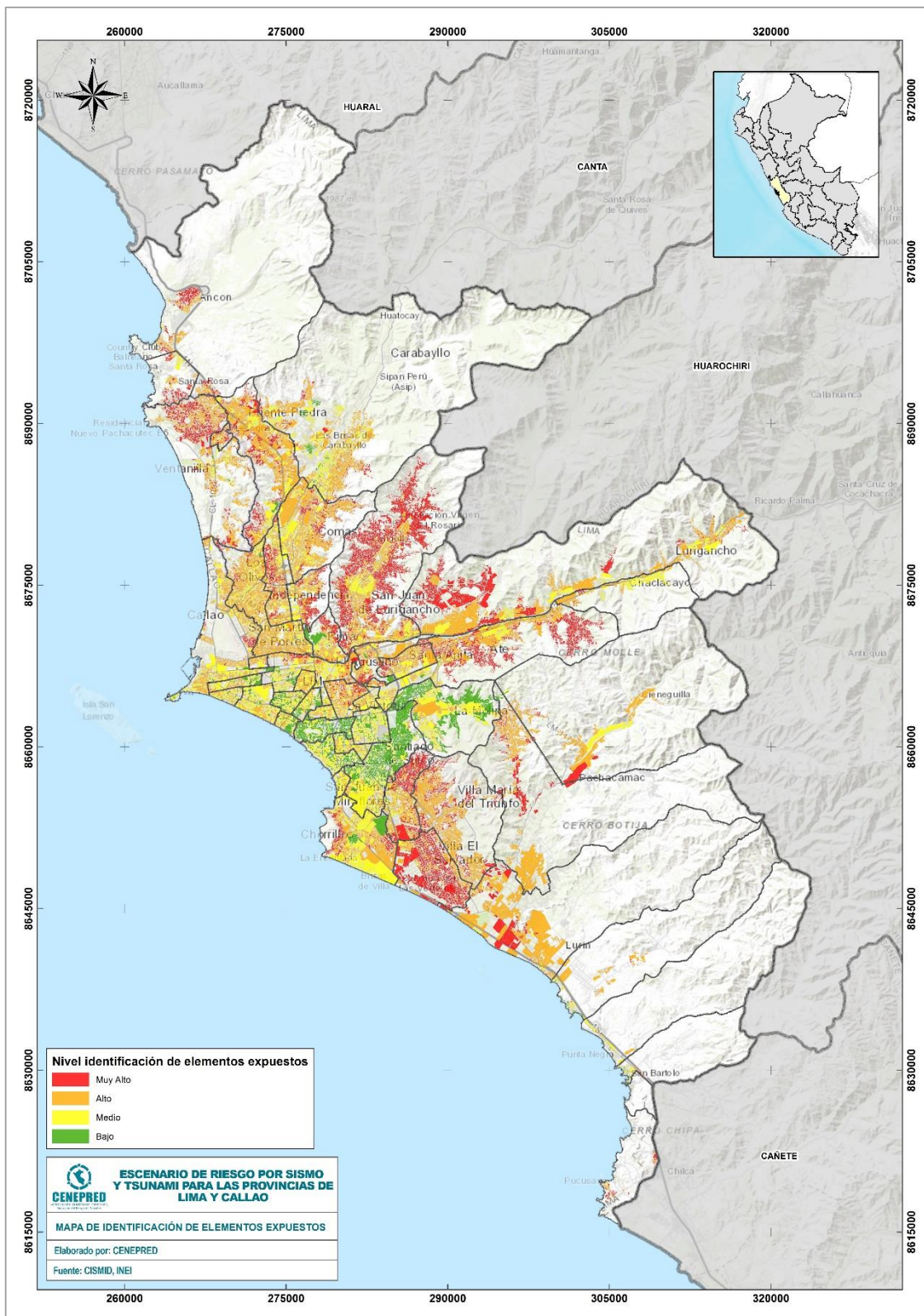
Figura 16. Esquema de construcción del Mapa de identificación del elemento expuesto



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 17. Mapa de identificación de elementos expuestos



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



## 6 MAPA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO

El mapa del escenario de riesgo por sismo para las provincias de Lima y Callao se construyó de acuerdo con lo descrito en la metodología (Figura 1), relacionando el mapa de susceptibilidad por sismo con el de identificación del elemento expuesto a través de una matriz de doble entrada (Tabla 2). La unidad mínima de análisis es la manzana censal y se clasificó en cuatro niveles: Muy Alto (en color rojo), Alto (en color naranja), Medio (en color amarillo) y Bajo (en color verde) (Figura 18, Tabla 4).

Tabla 2. Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo

S.	A	A	MA	MA
S.	M	A	A	MA
S.	M	M	A	A
S.	B	M	M	A
	E.E.	E.E.	E.E.	E.E.

Fuente: Elaborado por CENEPRED.

Tabla 3. Niveles de riesgo para el escenario por sismo

Nivel de riesgo	Descripción
Muy Alto	Ámbitos de sacudimiento del suelo de 500 a 1100 cm/s <sup>2</sup> (aceleración). Probabilidad de generar de daño severo a colapso en edificaciones que no hayan considerado las normativas de construcción y edificaciones. Densidad poblacional de 329 a más habitantes por Ha. Ingresos per cápita de hogares de inferior a s/ 863.71 a 1,073.00.
Alto	Ámbitos de sacudimiento del suelo de 300 a 400 cm/s <sup>2</sup> (aceleración). Probabilidad de generar de daño moderado a severo en edificaciones que no hayan considerado las normativas de construcción y edificaciones. Densidad poblacional de 243 a 328 habitantes por Ha. Ingresos per cápita de hogares de s/ 1,073.01 a 1,449.71.
Medio	Ámbitos de sacudimiento del suelo de 200 cm/s <sup>2</sup> (aceleración). Probabilidad de generar de daño leve a moderado en edificaciones. Densidad poblacional de 155 a 242 habitantes por Ha. Ingresos per cápita de hogares de s/ 1,449.72 a 2,412.44.
Bajo	Ámbitos de sacudimiento del suelo de 100 cm/s <sup>2</sup> (aceleración). Probabilidad de generar de daño superficial a leve en edificaciones. Densidad poblacional de 1 a 154 habitantes por Ha. Ingresos per cápita de hogares de s/ 2,412.45 a más.

Fuente: Elaborado por CENEPRED.

Además, para una mejor interpretación del ámbito territorial analizado, se decidió sectorizar el ámbito de la siguiente manera: Callao (Mi Perú, Ventanilla, Callao, Carmen de La Lengua Reynoso, Bellavista, La Perla y La Punta), Lima Norte (Santa Rosa, Ancón, Carabaylo, Puente Piedra, Comas, Los Olivos, San Martín de Porres, Independencia y Rímac), Lima Este (San Juan de Lurigancho, El Agustino, Santa Anita, La Molina, Ate, Lurigancho, Chaclacayo y Cieneguilla), Lima Centro (San Miguel, Lima, Breña, Pueblo Libre, Magdalena del Mar, Jesús María, La Victoria, San Luis, Lince, San Isidro, Miraflores, San Borja y Surquillo) y Lima Sur (Barranco, Santiago de Surco, San Juan de Miraflores, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, Pachacamac, Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar y Pucusana) (Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9)



Figura 18. Mapa del escenario de riesgo sísmico para las provincias de Lima y Callao

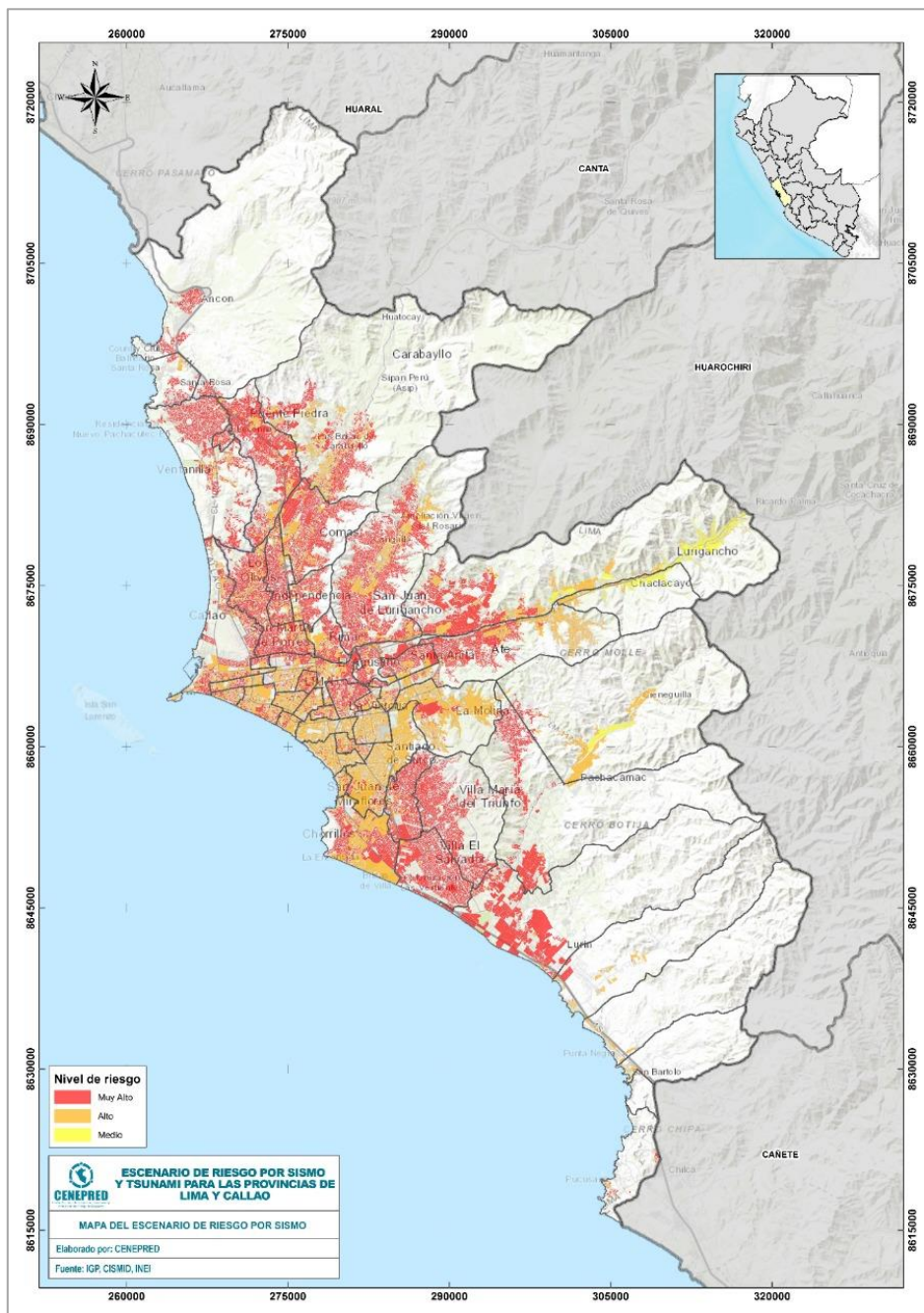


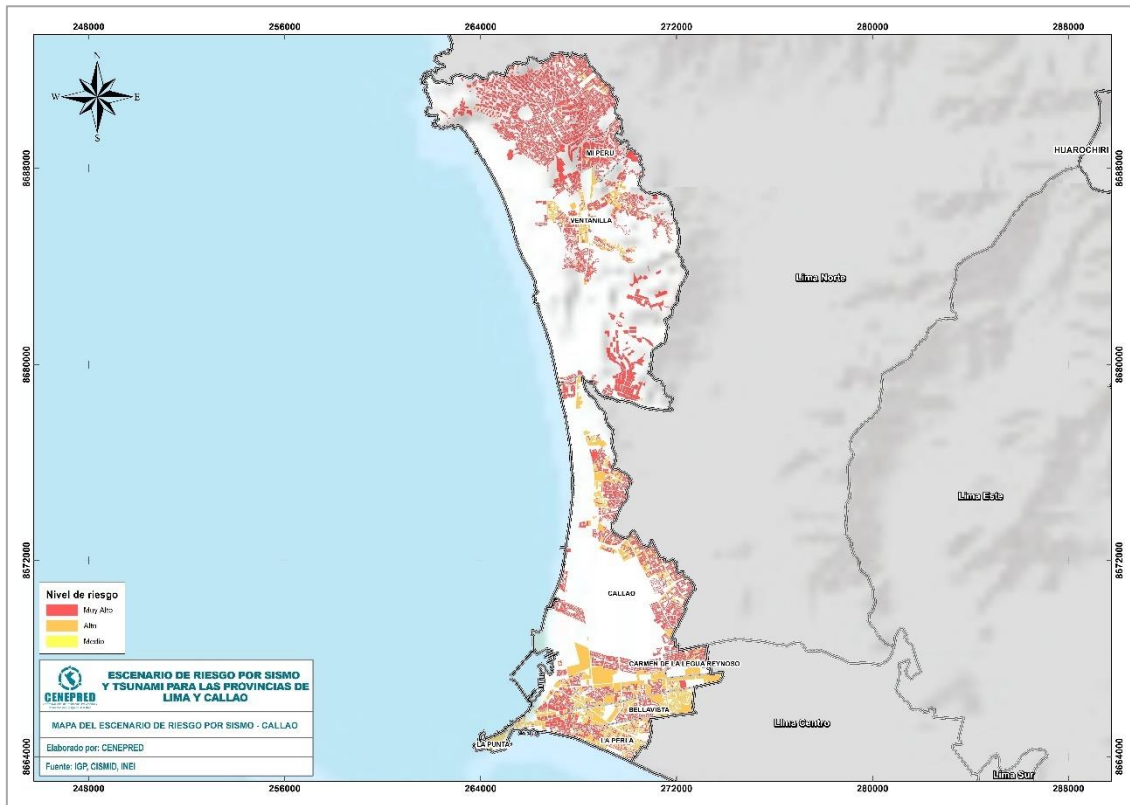
Tabla 4. Niveles de riesgo en población y vivienda

Nivel riesgo	Muy Alto		Alto		MEDIO	
PROVINCIAS	Elementos expuestos					
	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
Lima	1,752,970	6,257,874	676,698	1,986,496	25,503	77,241
Callao	226,894	815,247	48,704	161,587	0	0
<b>Total</b>	<b>1,979,864</b>	<b>7,073,121</b>	<b>725,402</b>	<b>2,148,083</b>	<b>25,503</b>	<b>77,241</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 19. Mapa del escenario de riesgo sísmico para la provincia de Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

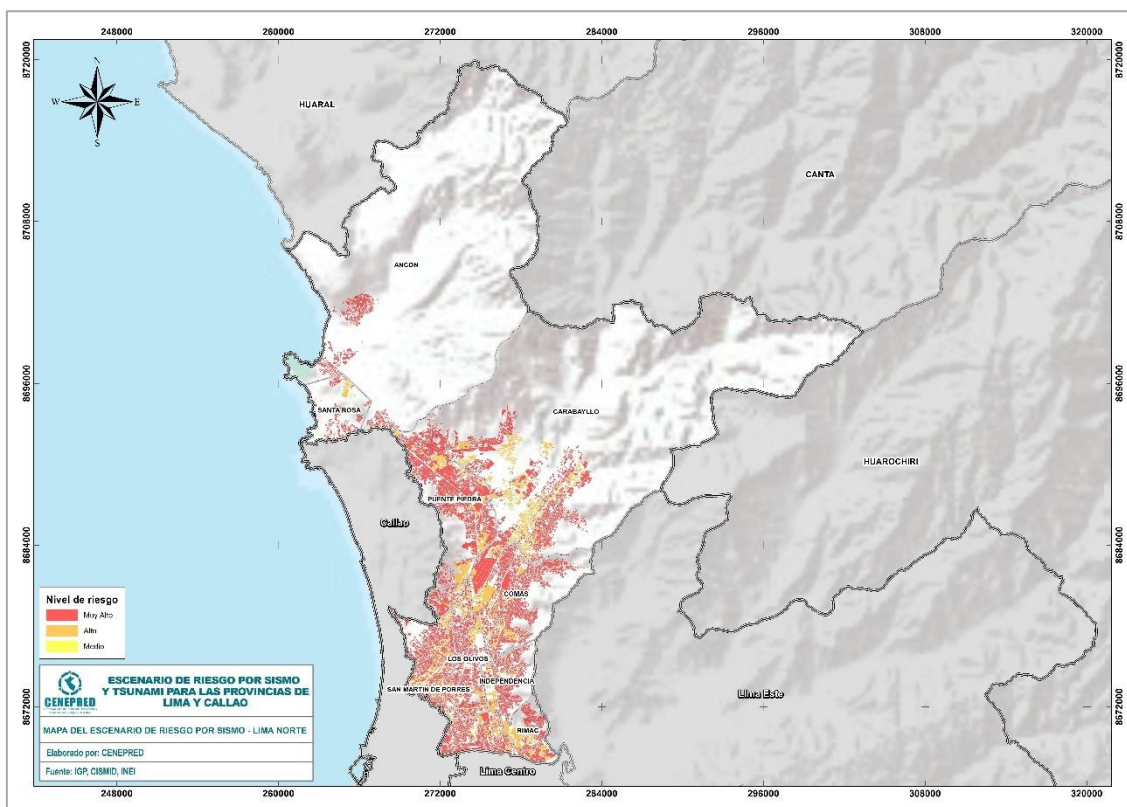
Tabla 5. Nivel de riesgo para población y viviendas en Callao

Nivel de Riesgo		Muy Alto		Alto	
		Elementos expuestos			
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	BELLAVISTA	11,055	41,495	9,484	33,184
2	CALLAO	98,699	380,903	19,299	62,737
3	CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO	10,853	40,807	361	1,386
4	LA PERLA	9,157	31,908	9,325	29,389
5	LA PUNTA	108	344	1,302	3,380
6	MI PERU	11,407	43,687	265	1,001
7	VENTANILLA	85,615	276,103	8,668	30,510
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>226,894</b>	<b>815,247</b>	<b>48,704</b>	<b>161,587</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 20. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

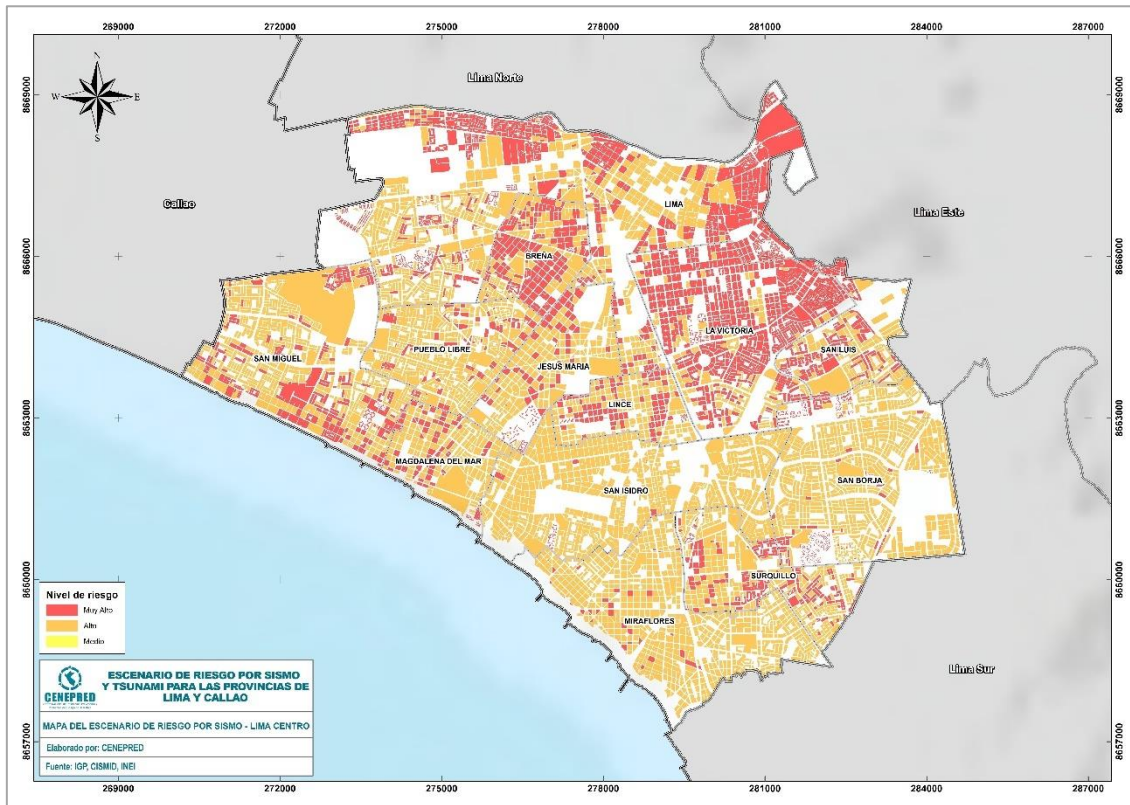
Tabla 6. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Norte

Nivel de Riesgo		Muy Alto		Alto	
		Elementos expuestos			
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	ANCON	21,427	51,902	274	454
2	CARABAYLLO	57,441	211,029	31,463	97,681
3	COMAS	110,073	446,695	19,926	64,380
4	INDEPENDENCIA	48,409	195,190	3,091	10,711
5	LOS OLIVOS	82,471	299,624	7,243	24,893
6	PUENTE PIEDRA	77,256	280,201	10,381	34,823
7	RIMAC	45,912	151,904	6,499	20,593
8	SAN MARTIN DE PORRES	152,592	565,281	25,124	85,127
9	SANTA ROSA	8,874	19,461	1,370	3,951
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>604,455</b>	<b>2,221,287</b>	<b>105,371</b>	<b>342,613</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 21. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

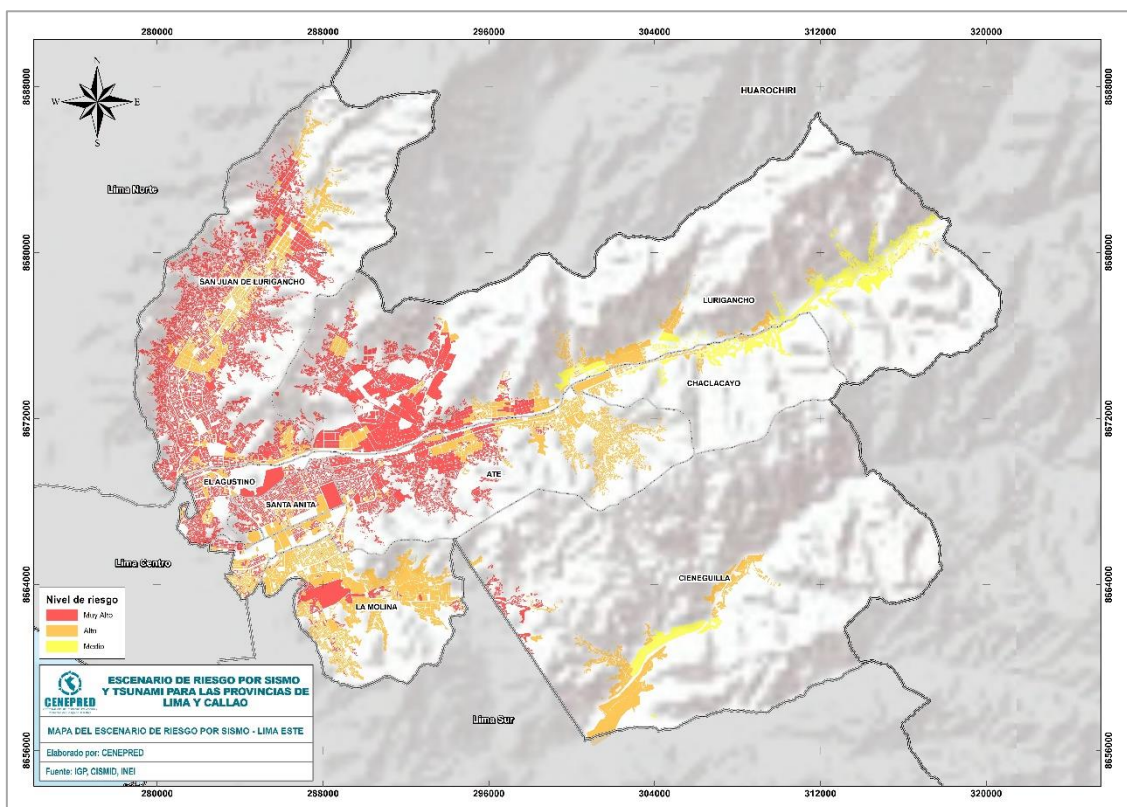
Tabla 7. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Norte

Nivel de Riesgo		Muy Alto		Alto	
		Elementos expuestos			
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	BREÑA	22,739	64,314	6,996	20,917
2	JESUS MARIA	14,210	34,905	14,499	39,874
3	LA VICTORIA	55,819	158,067	4,752	13,616
4	LIMA	60,405	182,438	30,586	83,536
5	LINCE	11,857	30,061	10,003	24,469
6	MAGDALENA DEL MAR	10,276	27,666	11,856	32,557
7	MIRAFLORES	5,080	9,178	44,895	89,181
8	PUEBLO LIBRE	8,859	24,682	21,387	58,495
9	SAN BORJA	8,938	26,809	31,032	85,906
10	SAN ISIDRO	1,642	3,729	25,506	55,958
11	SAN LUIS	10,726	37,745	4,178	14,119
12	SAN MIGUEL	27,769	78,264	24,800	74,913
13	SURQUILLO	16,913	45,142	16,934	45,102
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>255,233</b>	<b>723,000</b>	<b>247,424</b>	<b>638,643</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 22. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

Tabla 8. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Este

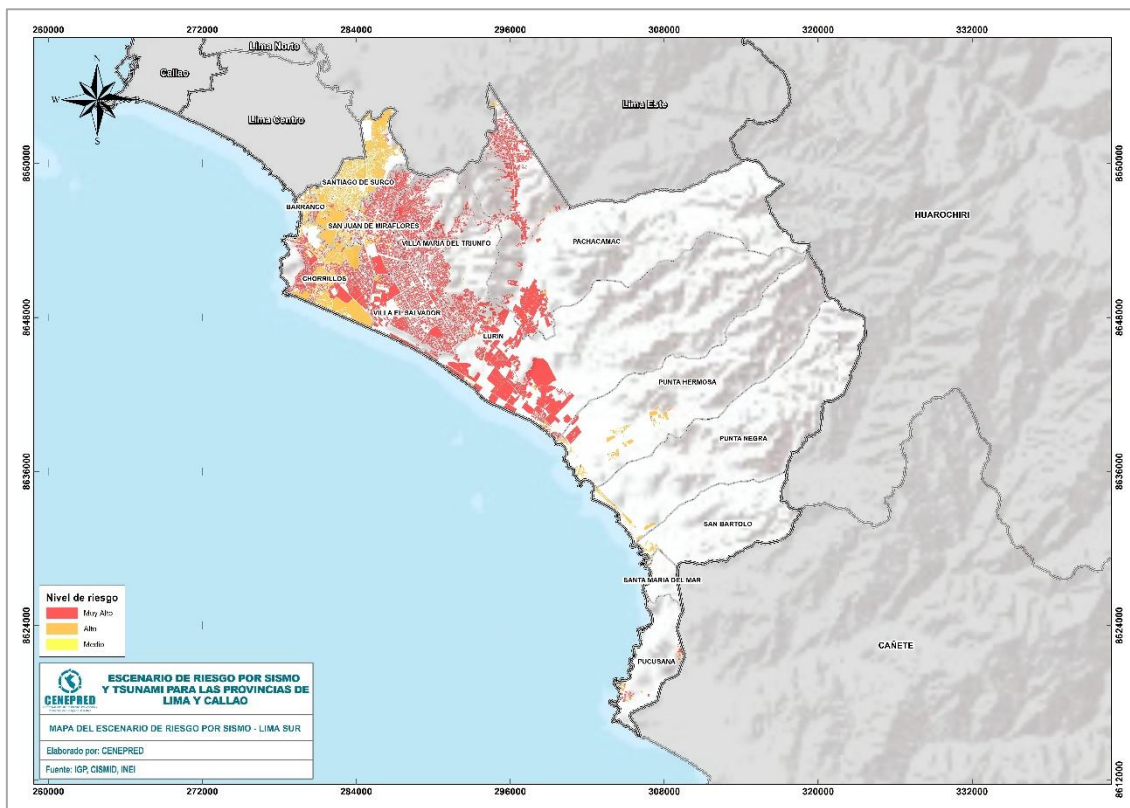
Nivel de Riesgo		Muy Alto		Alto		MEDIO	
		Elementos expuestos					
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	ATE	101,093	361,554	64,107	214,757	0	0
2	CHACLACAYO	0	0	7,323	30,061	3,735	11,512
3	CIENEGUILLA	3,985	11,358	5,254	17,401	692	2,064
4	EL AGUSTINO	47,929	184,138	3,794	12,740	0	0
5	LA MOLINA	5,832	20,194	38,440	119,053	0	0
6	LURIGANCHO	34,852	106,723	18,475	53,320	20,405	62,875
7	SAN JUAN DE LURIGANCHO	231,039	836,440	43,537	149,382	0	0
8	SANTA ANITA	53,014	183,585	3,383	12,149	0	0
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>477,744</b>	<b>1,703,992</b>	<b>184,313</b>	<b>608,863</b>	<b>24,832</b>	<b>76,451</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.





Figura 23. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

Tabla 9. Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Sur

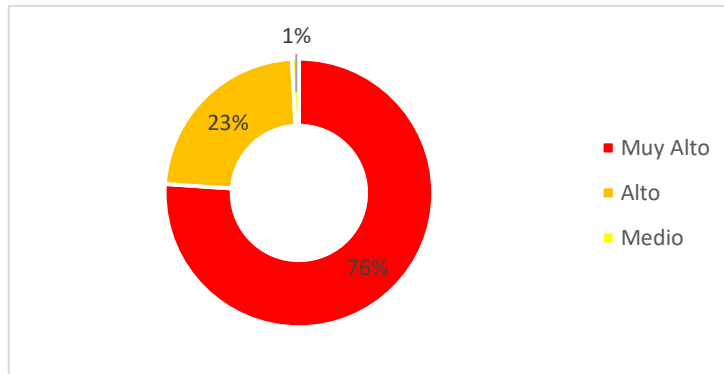
Nivel de Riesgo		Muy Alto		Alto		MEDIO	
		Elementos expuestos					
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	BARRANCO	5,078	14,247	8,340	19,929	0	0
2	CHORRILLOS	56,129	229,367	23,661	82,596	0	0
3	LURIN	24,083	80,599	1,278	3,887	0	0
4	PACHACAMAC	32,056	98,739	168	483	0	0
5	PUCUSANA	1,686	4,290	1,746	4,441	0	0
6	PUNTA HERMOSA	1,252	2,994	4,975	9,821	261	265
7	PUNTA NEGRA	55	102	2,253	5,563	65	127
8	SAN BARTOLO	367	1,405	2,002	4,608	225	378
9	SAN JUAN DE MIRAFLORES	79,816	328,380	5,604	21,395	0	0
10	SANTA MARIA DEL MAR	0	0	249	798	120	20
11	SANTIAGO DE SURCO	28,105	86,370	88,484	240,469	0	0
12	VILLA EL SALVADOR	91,303	388,788	740	2,087	0	0
13	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	95,608	374,314	90	300	0	0
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>415,538</b>	<b>1,609,595</b>	<b>139,590</b>	<b>396,377</b>	<b>671</b>	<b>790</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Los resultados generales arrojan que 76% de la población total de las provincias de Lima y Callao se encuentran con nivel de riesgo Muy Alto (7,073,121), el 23% con riesgo Alto (2,148,083) y el 1% restante con riesgo medio (77,241) (Figura 24).

Figura 24. Nivel de riesgo para población en las provincias de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED.

En Callao, los distritos con mayor población con riesgo muy alto son los distritos de Callao y Ventanilla. En Lima Norte los distritos vienen a ser San Martín de Porres, Comas, Los Olivos, Puente Piedra Y Carabayllo; en Lima Centro, son los distritos de Lima, La Victoria y San Miguel; en Lima Este, los distritos son San Juan de Lurigancho y Ate; y en Lima Sur, los distritos son Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores y Chorrillos (Figura 25, Figura 26, Figura 27).

Figura 25. Población con riesgo Muy Alto en Callao y Lima Norte

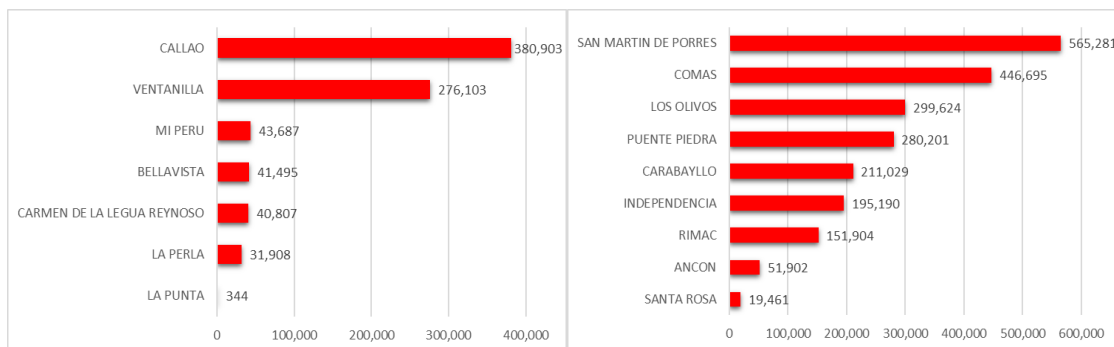


Figura 26. Población con riesgo Muy Alto en Lima Este y Centro

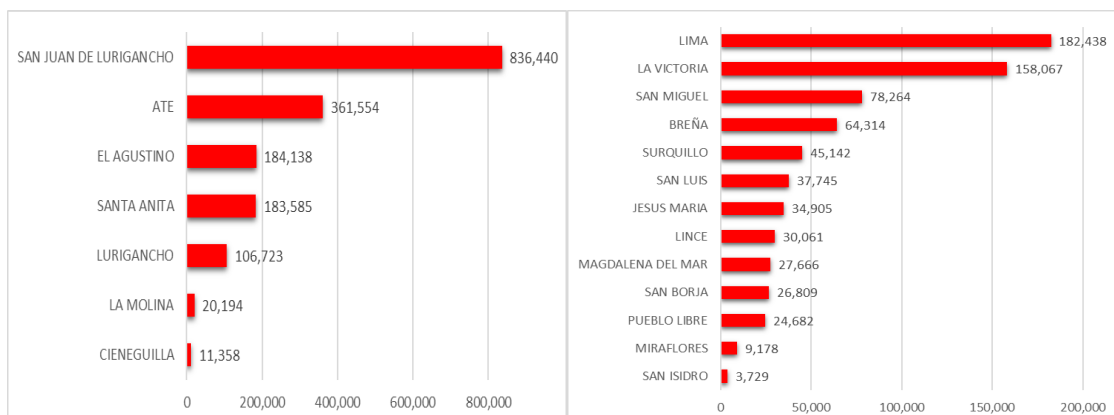
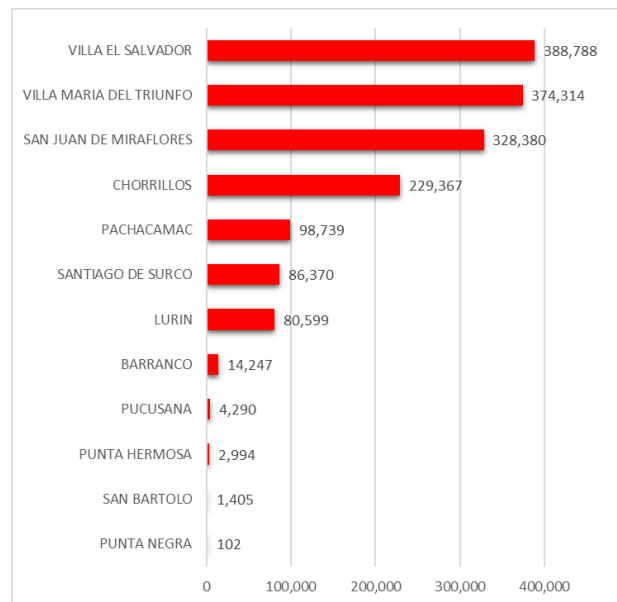




Figura 27. Población con riesgo Muy Alto en Lima Sur



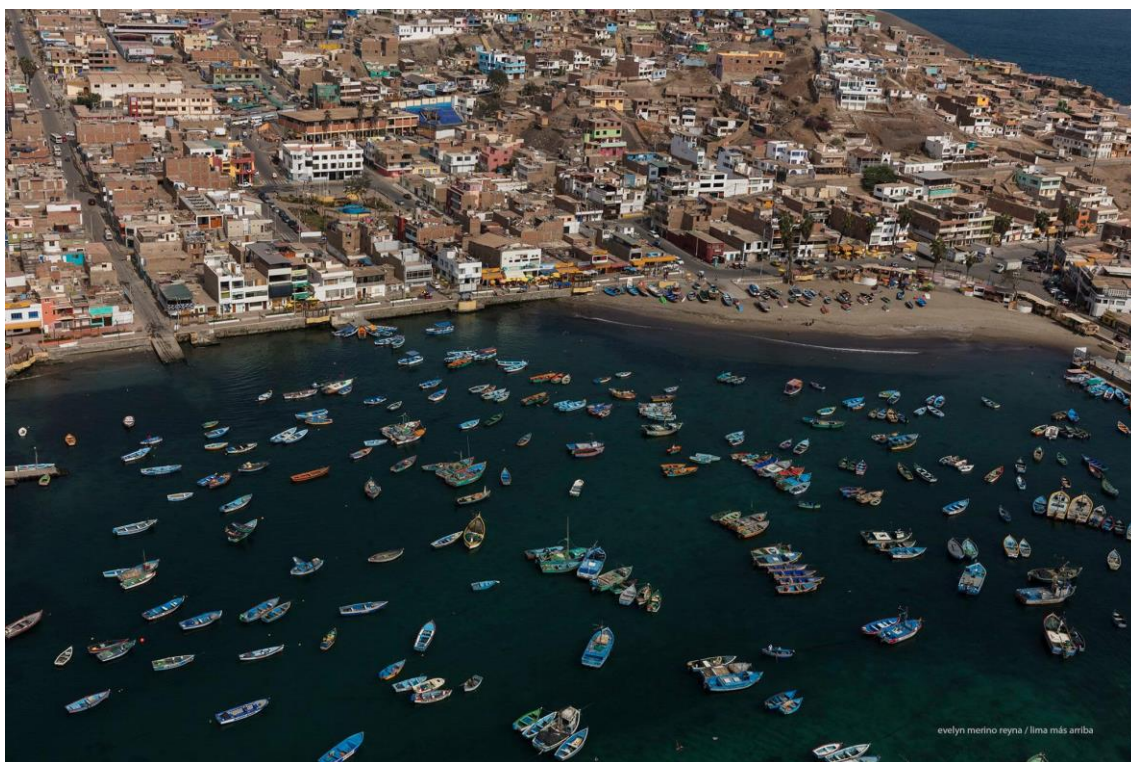
Con respecto a la interpretación de los resultados del escenario de riesgo por sismo para las provincias de Lima y Callao, hay que tener presente que, este resultado responde al peor escenario que se espera para el área de estudio, un evento extraordinario, el más extremo y que definitivamente tendría un gran impacto en todos los ámbitos de desarrollo de la ciudad capital del país.

La unidad de análisis es la manzana censal, el nivel de riesgo que obtenga una manzana no es un resultado absoluto, sino que las características que se han evaluado de éstas indican que, cuenta con una mayor probabilidad de afectación entre las unidades que las conforman. Es decir que, cada unidad conformate de la manzana (viviendas y hogares) tendrá una respuesta diferenciada, pero con determinar similitudes, debido a su localización, su exposición frente a la amenaza, forma de ocupación territorial y grupos sociales que lo cohabitan.

Finalmente, el evento sísmico concatena otros peligros tales como el tsunami y peligros geológicos de tipo caídas, deslizamientos, hundimiento o licuefacción; el presente escenario ha considerado estos elementos y los analiza en los siguientes capítulos.



# CAPÍTULO 2. ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI



Fuente: Evelyn Merino Reyna Buchanan



## 7 SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI

Un tsunami es generado por perturbaciones de un volumen de agua en el mar, asociadas en la mayoría de los casos, a la ocurrencia de violentos sismos cuyos epicentros están en el océano o cerca de él. En el caso que un tsunami sea producido por un sismo de gran magnitud, éste producirá un levantamiento o hundimiento abrupto de un gran sector del fondo marino, lo que generará desplazamientos verticales repentinos de grandes volúmenes de agua. Esta alteración del nivel del mar, posteriormente al tender al equilibrio, generará una serie de ondas en todas las direcciones, a través del océano (CISMID & UNI, 2010; Tavera, 2014a).

Según la distancia desde el punto de generación a la zona de interés, se tienen tres tipos de tsunami (CISMID & UNI, 2010):

- De **Origen Local**, son aquellos que tienen su punto de generación muy cercano a la costa ya sea por deslizamientos submarinos, como el ocurrido en las bahías de Alaska, EE. UU. (1964), o sismos en el litoral, como el de Lima, Perú (1940). En estos casos el arribo es inmediato a la generación.
- De **Origen Cercano**, aquellos que tienen su origen a pocos kilómetros de la costa, es decir, menor a 1,000 km aproximadamente, estos eventos producen olas con tiempos de arribo a la costa de 10 a 30 minutos, según las condiciones locales del fondo marino.
- De **Origen Lejano**, aquellos cuyo origen se encuentran a más de 1,000 km de la zona de interés, y su tiempo de arribo puede ser entre 2 y 22 horas.

### 7.1 TSUNAMI EN LA COSTA CENTRAL DEL PAÍS

Debido a su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las costas peruanas y que han sido registrados también en otros países (CISMID & UNI, 2010) (Tabla 10).

Tabla 10. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo con NGDC Tsunami Database

Fecha	Magnitud momento (Mw)	Área afectada
21/02/1996	7.5	Chimbote, Callao
12/11/1996	7.7	Chincha alta, Arica, Nazca, Marcona
23/06/2001	8.4	Camaná, Moquegua, Tacna
15/08/2007	8	Nazca, Pisco, Lima

Fuente: CISMID & UNI (2010)

Además, según registros históricos, el 28 de octubre de 1746 se generó un sismo de 9.0 Mw frente a las costas del Callao y este fue el desencadenante de un tsunami que produjo la muerte de aproximadamente el 96% de la población de ese entonces, según estos relatos históricos, la altura máxima de inundación alcanzó los 21m y se estima que la primera ola que arribó a la tierra fue 30 minutos después de ocurrido el sismo (Carpio & Tavera, 2002; CISMID & UNI, 2010; Cuisano & Martinez, 2016; Jimenez, 2015; Jimenez et al., 2013; Mas, Adriano, Kuroiwa, & Koshimura, 2015; Walker, 2012).



A continuación, se presentan los principales estudios de peligro por tsunami realizados para Lima (Tabla 11):

Tabla 11. Modelaciones de inundación por tsunami para Lima y el Callao

FUENTE	MW SISMO DESC.*	ARRIBO Y ALTURA PRIMERA OLA **	RUN UP <sup>2</sup> ***
DHN**** (COOPI et al., 2010; SIRAD et al., 2010)	8.5Mw	20 min / 7m	24 m
	9.0Mw	22 min / 10m	25 m
CISMID & UNI (2010)	8.0Mw	39 min / 1.5m	2.72 m
	8.5Mw	41 min / 3.5 m	7.17 m
	8.7Mw	41 min / 5 m	8.85 m
Adriano et al. (2013)	8.8Mw	22 min / 5 m	15 m
	9.0Mw	25 min / 10 m	24 m
Jimenez et al. (2015; 2013)	9.0Mw	30 min / 10 m	24 m
Martinez & Tavera (2009)	8.5Mw	18 min / 7- 8 m	8.2 m

Fuente: Elaborado por CENEPRED.

\*Magnitud del sismo desencadenante.

\*\*Tiempo de arribo a tierra y altura de la primera ola.

\*\*\*Altura máxima de la inundación.

\*\*\*\*Cartas de inundación de la DHN

## 7.2 TSUNAMI DE 1746 Y SU IMPACTO EN LA GRAN CUENCA DEL PACÍFICO

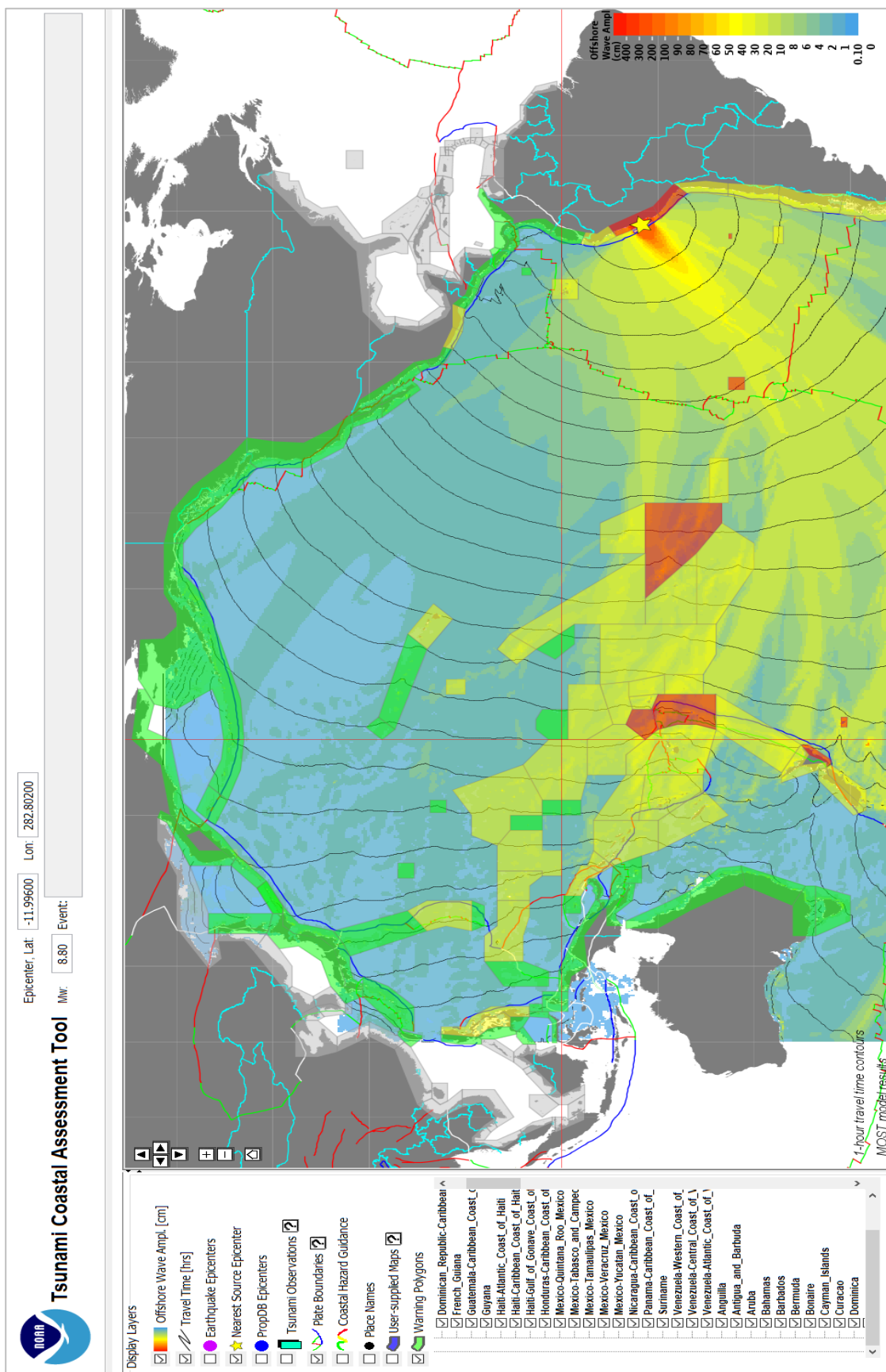
De acuerdo con el programa TsuCAT 2.2 (Tsunami Coastal Assessment Tool), desarrollado por la NOAA, de ocurrir un sismo 8.8 Mw en el área de ruptura de 1746, su impacto tendría las siguientes características en la gran cuenca del Pacífico: durante la primera hora, el tsunami impactaría en toda la línea de costa del país, pero su mayor impacto se focalizaría en la costa central del país. Además, tendría un impacto de leve a moderado en las costas del Pacífico sur e islas Oceanía y; un impacto muy leve entre las costas de Centroamérica, Norteamérica y Asia (Figura 28).

Cada contorno de la franja generada desde el área de ruptura determina una hora del recorrido del probable tsunami, es así como se podría indicar que, a 2 horas de haberse generado el sismo tsunamigénico, sus primeras olas estarían llegando a la costa norte de Chile y costas de Ecuador. Después de 5 horas estarían llegando a México, a 14 horas a Nueva Zelanda y 18 horas más tarde a las costas de Japón y Australia.

<sup>2</sup> RUN UP: Es la altura vertical máxima en tierra sobre el nivel del mar alcanzado por un tsunami.



Figura 28. Probable impacto de un tsunami con similares características al de 1746



Fuente: NOAA

### 7.3 ELABORACIÓN DE CARTAS DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS

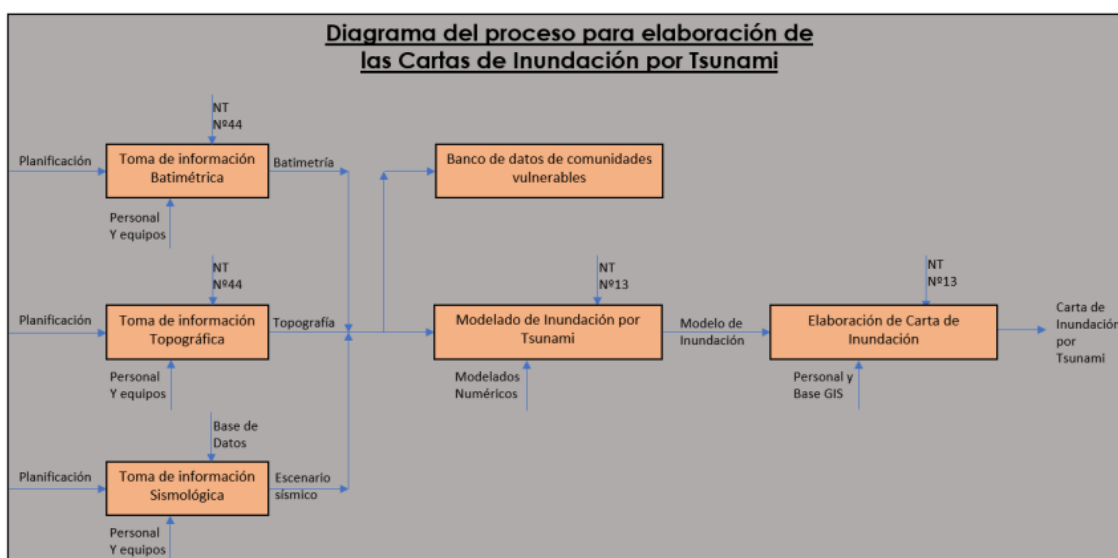
La determinación del límite de máxima inundación en caso de maremotos se obtiene considerando aspectos oceanográficos, tales como la altura de olas, además de información de las características geomorfológicas, pendiente, batimetría y topografía de las zonas de evaluación.

Para realizar la simulación numérica del maremoto se utiliza el modelo TUNAMI, en versión no-lineal y en coordenadas esféricas. Este modelo proporciona las zonas de inundación, así como parámetros importantes tales como el tiempo de arribo y la máxima altura de la ola en línea de costa.

La actividad de levantamiento de información en zonas con peligro de tsunami es realizada por la DIHIDRONAV a través del Centro Nacional de Alerta de Tsunamis – CNAT, de acuerdo con el procedimiento establecido en la Normas técnicas hidrográficas N°44, aprobada por Resolución Directoral N° 039/DHN del 10 de julio de 2020.

La información requerida para la elaboración de cartas de inundación por tsunamis se realiza a través del levantamiento de información para poder realizar el modelado numérico de inundación por tsunami para una determinada localidad (Figura 29).

Figura 29. Diagrama del proceso para la elaboración de las cartas de inundación por tsunami



Fuente: DHN

Para realizar el modelado numérico de inundación por tsunami para una determinada localidad, la DHN usa la siguiente información:

#### 7.3.1 Información topográfica

Permite una representación de la superficie terrestre a escala local, se trata principalmente de datos de posicionamiento y altitud (x,y,z). La información topográfica se obtiene por medio del levantamiento topográfico, que es el conjunto de operaciones esenciales para determinar geoméricamente todos los puntos necesarios y suficientes del terreno, considerando sus detalles, tanto naturales como los creados por el hombre y representarlos finalmente en un plano.

En el ámbito hidrográfico, el levantamiento topográfico consiste en una serie de actividades que se realizan con el propósito de describir la composición de aquellas partes de la superficie de la tierra que sobresalen del agua. Incluye el relieve de la costa y la ubicación de accidentes y características naturales o artificiales.





Además, se contempla el levantamiento de información topográfica por medio de un Sistema Aeronáutico Piloteado a Distancia (RPAS) conocido también como dron.

### 7.3.2 Información batimétrica

Para la elaboración de las cartas de inundación, es necesario llegar hasta el veril de los 50 metros de profundidad y trabajar con una resolución mínima de 1 segundo de arco es decir 30 metros de separación entre líneas principales siendo de 0.5 centímetros la escala de publicación.

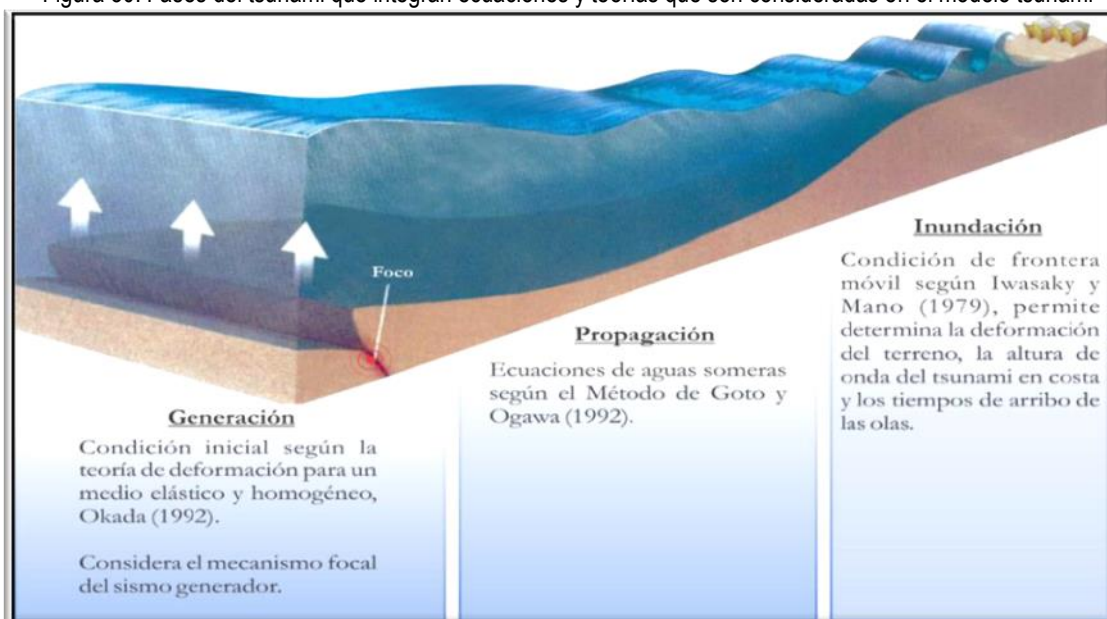
Esta información topográfica que corresponde al fondo marino (batimetría) se levanta mediante ecosondas con técnicas de levantamiento en sistema monohaz y multihaz.

### 7.3.3 Modelos de simulación numérica

Para comprender y estudiar fenómenos en la naturaleza se utilizan modelos numéricos. Un tsunami se puede comprender en tres fases: Generación, Propagación e Inundación; para las cuales se han desarrollado teorías y ecuaciones que son base de los modelos numéricos.

Existen varios modelos de simulación por tsunamis, todos basados en la teoría de propagación de ondas en aguas someras, y en el desarrollo e integración de las ecuaciones de continuidad y momentum lineal por el método de diferencias finitas. Una de las herramientas computacionales es el Modelo de Análisis Numérico para la investigación de tsunamis de la Universidad de Tohoku (TUNAMI, por sus siglas en inglés) basado también en la teoría de propagación de ondas en aguas someras. Las ecuaciones de continuidad y momentum lineal se discretizan en un esquema de diferencias finitas centrales denominado "leapfrog" ("salto de rana" en español). Como resultados del procesamiento de datos por modelado numérico se obtienen la altura de onda del tsunami al llegar a costa, los tiempos de arribo de las olas y la deformación del terreno (Figura 30). Los modelos numéricos trabajan en base a una información de entrada; que conforman en nuestro caso, la batimetría del área, la información topográfica y los parámetros de un escenario sísmico. Se desarrolla con mayor detalle sobre los modelos de simulación numérica para elaboración de Cartas de Inundación por Tsunamis en la Norma Técnica Hidrográfica N°13.

Figura 30. Fases del tsunami que integran ecuaciones y teorías que son consideradas en el modelo tsunami



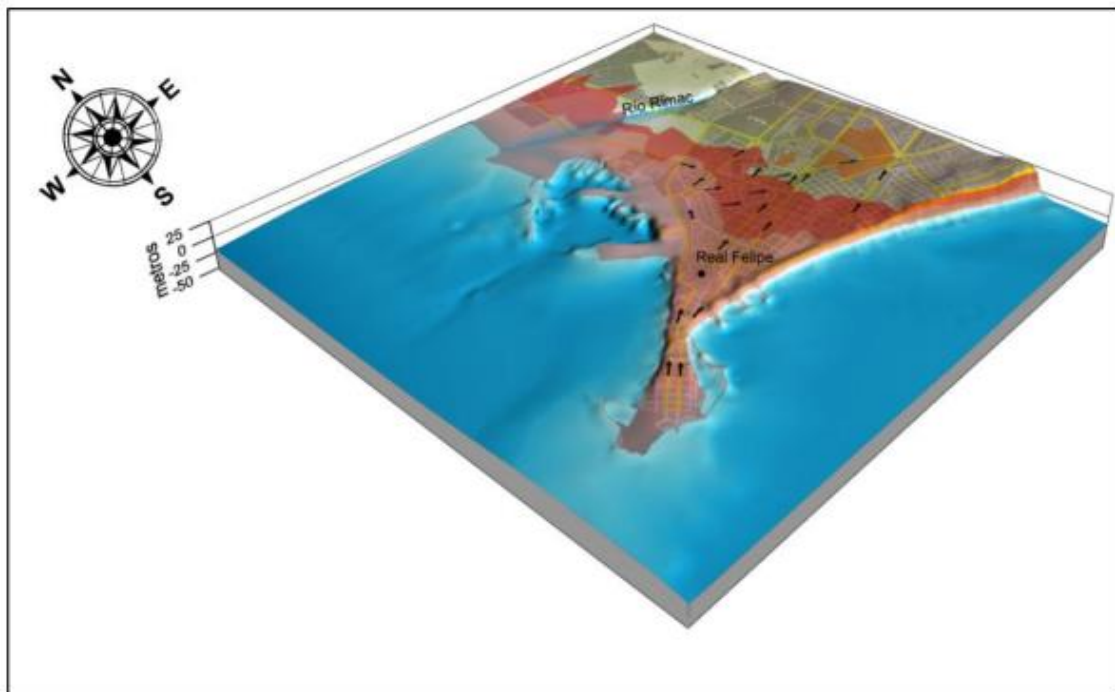
Fuente: DHN



### 7.3.4 Información para el proceso final

La aplicación de los modelos de simulación numérica sobre la data levantada en campo proporciona como resultado las áreas (en formato matricial y Tiff) de la costa que serían inundadas en caso de producirse un tsunami (considerando el escenario sísmico más probable). Esta información, procesada y convertida a un formato válido (shapefile) es esencial tanto para la elaboración de las cartas de inundación, como para su respectivo almacenamiento en la base de datos. En el software GIS (Sistema de información Geográfico), se trabaja la información geográfica esencial referida al área (curvas de nivel, catastro, batimetría, perfil de costa, vías principales, ríos, zonas urbanas, etc.) que junto con las áreas de inundación dará como resultado el producto final del proceso; la Carta de Inundación por Tsunamis (Figura 31).

Figura 31. Representación en tres dimensiones de la información topográfica y batimétrica del distrito de La Punta - Callao (DHN, 2014).



Fuente: DHN

Finalmente, las zonas inundables por tsunami, la entendemos como los ámbitos susceptibles a tsunami.

## 7.4 ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Para el presente análisis, se tomó en consideración las cartas de inundación por tsunami publicadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación - DHN para Lima Metropolitana y el Callao. Para el presente escenario sólo se ha considerado los ámbitos de inundación que podrían ser generados por un probable sismo de 9.0 Mw, el peor escenario conocido para la costa central del país.

Para identificar a la población y viviendas expuesta, se relacionó las áreas de inundación por tsunami de las cartas de la DHN, con la base gráfica de manzanas censales del INEI (2017). Identificándose a los siguientes distritos expuestos: Bellavista, Callao, La Perla, La Punta y Ventanilla para la Provincia del Callao; mientras que, para Lima Metropolitana, los distritos son: Ancón, Barranco, Chorrillos, Lurín, Pucusana, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa Rosa y Villa El Salvador. Para el análisis de los elementos expuestos, se realizará mediante sectores al igual que el de sismo.

En la sectorización utilizada para Lima y Callao, se pudo identificar que, en el sector Callao los distritos con mayor población expuesta serían Callao (117,274) y Ventanilla (25,284); sin embargo, La Punta cuenta con



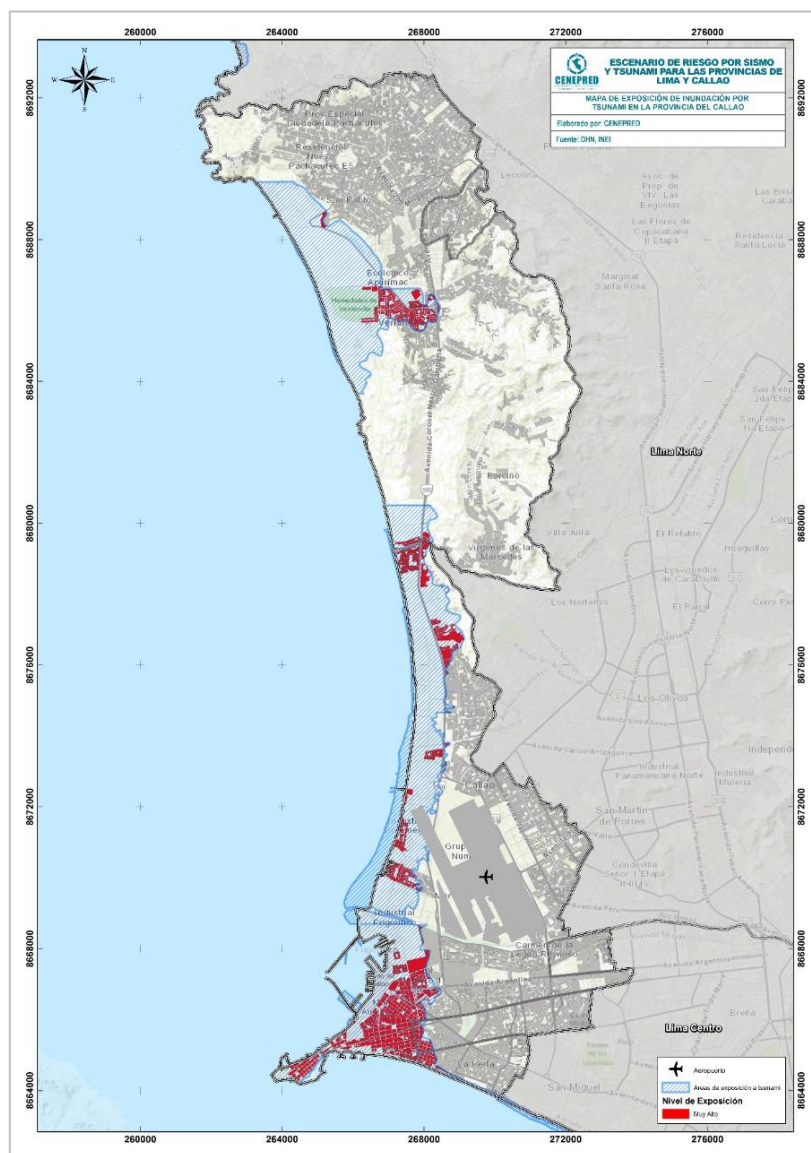
3,724 habitantes estaría expuesto en su totalidad (Figura 32, Figura 33, Tabla 12). En el sector Lima Norte, los distritos con mayor población expuesta serían Ancón (5,235) y Santa Rosa (94) (Figura 35, Tabla 13).

En Lima Sur, los distritos con mayor población residente expuesta al probable tsunami serían Chorrillos y Lurín, con 51,414 y 30,314 personas respectivamente (Figura 37, Tabla 14). Sin embargo, utilizando el análisis de exposición con los datos del censo de 2017, sólo se pudo contabilizar a la población residente, por tal motivo, para el sector de Lima Centro el número de habitantes expuestos es cero porque ellos cuentan con una barrera natural, los acantilados de la Costa Verde. Por consiguiente, es importante que los gobiernos locales de Lima Centro, así como los distritos litorales del resto de Lima Metropolitana y Callao consideren elaborar estudios de población flotante.

## 7.5 DETERMINACIÓN DEL MAPA DE ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI

Después de superponer las capas de susceptibilidad por inundación por tsunami y la de elementos expuestos, se determinaron los mapas de escenarios de riesgo por tsunami en los siguientes sectores (Figura 32, Figura 34, Figura 36, Figura 38):

Figura 32. Mapa de escenario de riesgo por tsunami en Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



Tabla 12. Población y viviendas expuestas a tsunami en Callao

DISTRITOS	Peligro	TSUNAMI	
		Elementos expuestos	
		Viviendas	Población
1	BELLAVISTA	2,450	8,071
2	CALLAO	33,590	117,274
3	LA PERLA	2,199	6,709
4	LA PUNTA	1,410	3,724
5	VENTANILLA	6,443	25,284
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>46,092</b>	<b>161,062</b>

Figura 33. Población expuesta a tsunami en Callao

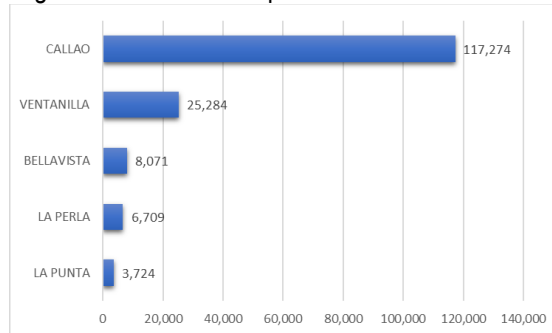
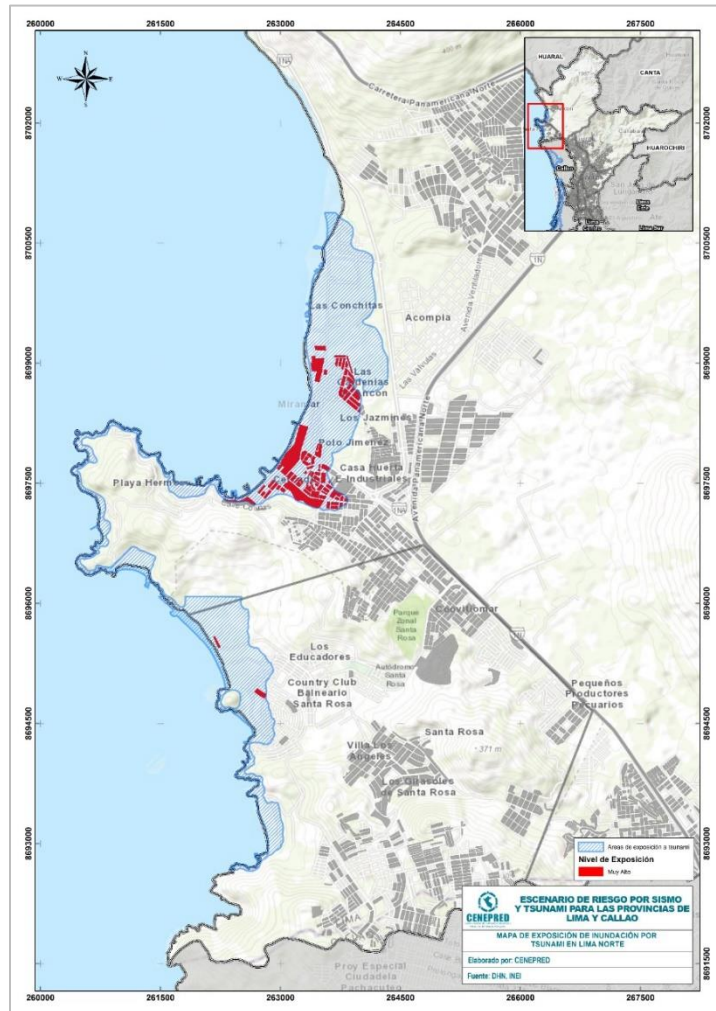


Figura 34. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



Tabla 13. Población y viviendas expuestas a tsunami en Lima Norte

Peligro		TSUNAMI	
DISTRITOS		Elementos expuestos	
		Viviendas	Población
1	ANCON	2,021	5,235
2	SANTA ROSA	26	94
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>2,047</b>	<b>5,329</b>

Figura 35. Población expuesta a tsunami en Lima Norte

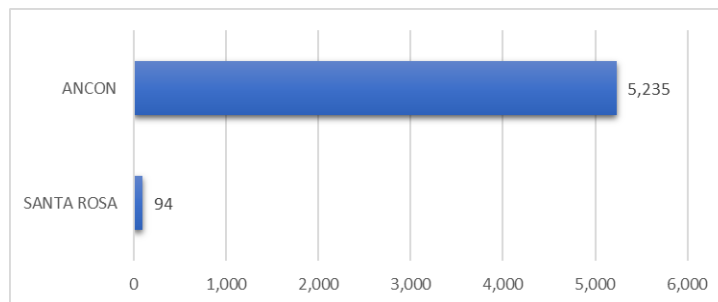
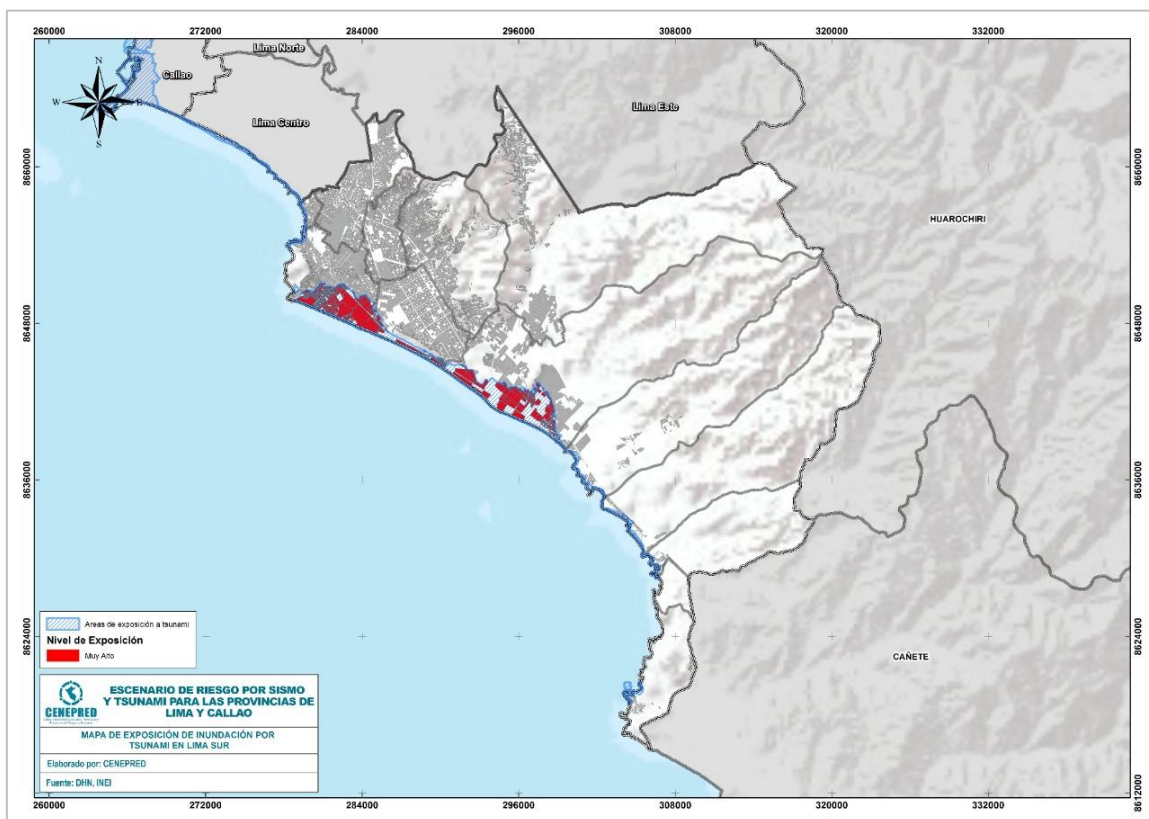


Figura 36. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



Tabla 14. Población y viviendas expuestas a tsunami en Lima Sur

Peligro		TSUNAMI	
DISTRITOS		Elementos expuestos	
		Viviendas	Población
1	BARRANCO	60	164
2	CHORRILLOS	13,912	51,414
3	LURIN	9,197	30,314
4	PUCUSANA	501	1,307
5	PUNTA HERMOSA	1,001	1,100
6	PUNTA NEGRA	483	1,020
7	SAN BARTOLO	340	170
8	VILLA EL SALVADOR	1,294	4,526
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>26,788</b>	<b>90,015</b>

Figura 37. Población expuesta a tsunami en Lima Sur

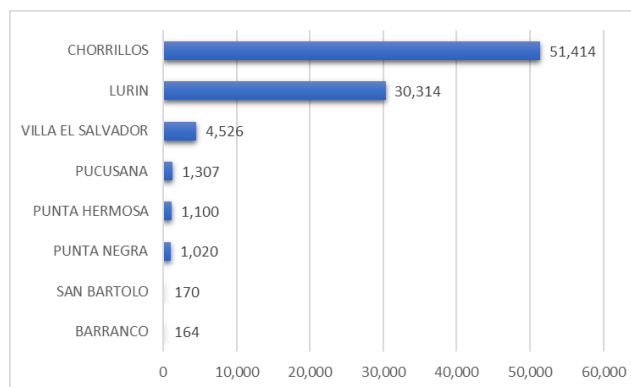
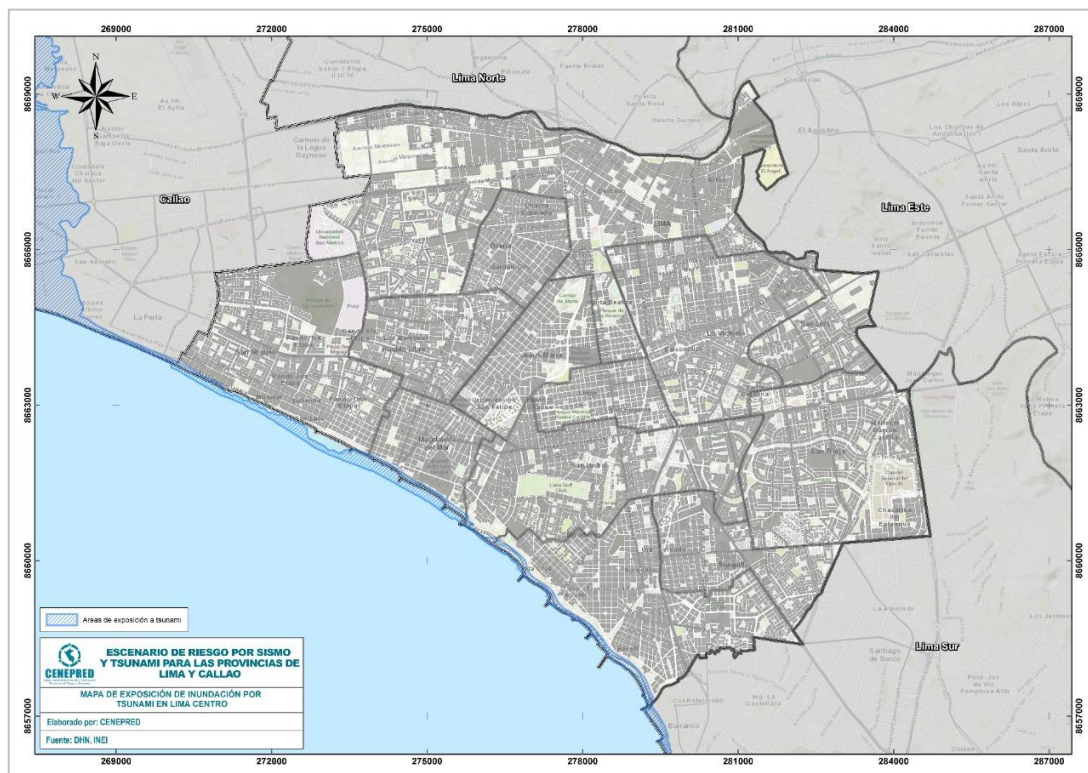


Figura 38. Mapa de escenario de riesgo por tsunami para Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



# CAPITULO 3. EXPOSICIÓN A PELIGROS GEOLÓGICOS CONCATENADOS AL PROBABLE SISMO



Fuente: Evelyn Merino Reyna Buchanan



## 8 EXPOSICIÓN A PELIGROS GEOLÓGICOS CONCATENADOS AL PROBABLE SISMO

El presente capítulo se ha desarrollado con el apoyo del INGEMMET, quienes han determinado los ámbitos de exposición a peligros geológicos concatenados al sismo del presente escenario. La información otorgada por esta entidad fue organizada por sectores para su respectivo análisis.

Página | 47

### 8.1 MOVIMIENTOS EN MASA

Los terremotos pueden producir, por el efecto del movimiento vibratorio característico, una serie de efectos inducidos, que dan lugar a grandes deformaciones y roturas del terreno, como son los fenómenos de remoción en masa y los fenómenos de licuefacción de suelos (Benavente et al., 2013).

Keefer (1984) señala en relación a la magnitud del sismo, que las caídas y deslizamientos de rocas son disparados (detonados) con magnitudes locales de 4.0 MI y las avalanchas con magnitudes locales de 6.0 MI. En función de la intensidad sísmica, otros autores concluyen que la intensidad mínima para generar caídas es VI; para deslizamientos, desplazamientos laterales y flujos es VII; siendo la intensidad más baja para cualquier movimiento en masa una intensidad de IV. Por tanto, los parámetros más usados en estas relaciones son la magnitud e intensidad.

González de Vallejo et al. (2002) indican que una de las causas más frecuentes de daños asociados a terremotos son los movimientos en masa, aunque se requiere que la intensidad sea alta para que estos tengan lugar. Según datos empíricos, por debajo de la intensidad VIII no se han apreciado deslizamientos importantes. Algunos de los factores a considerar en la estimación de la susceptibilidad frente a los movimientos en masa por terremotos, son los siguientes:

- Laderas inestables o en condiciones precarias de estabilidad previas al terremoto.
- Pendientes elevadas.
- Suelos de baja resistencia o de estructura metaestable (arcillas rápidas, suelos colapsables, etc.).
- Escarpes rocosos con riesgo de desprendimientos.

### 8.2 LICUEFACCIÓN

La licuefacción de suelos es un proceso observado en situaciones donde la presión de poros es tan elevada y las partículas que lo componen pierden la resistencia al corte, el terreno también pierde su capacidad soportante. Debido a la gran cantidad de agua intersticial que presentan estos suelos, las presiones intersticiales son tan elevadas que un sismo, una carga dinámica o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. Esto motiva que las tensiones tangenciales se anulen, comportándose el terreno como un pseudolíquido (Benavente et al., 2013).

González de Vallejo et al. (2002) definen este término como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de factores que controlan o condicionan la ocurrencia del proceso, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos. También define suelos licuables, como aquellos «Suelos con contenido arenolimoso, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, permiten un aumento de las presiones intersticiales (por falta de drenaje), 212 en que la resistencia al corte desaparece y el material se comporta como líquido, dando lugar a movimientos verticales y horizontales de su masa, que se traducen en deslizamientos, o en grandes asientos». De acuerdo con González de Vallejo et al. (2002), el fenómeno de la licuefacción, como también es conocido, provoca el fallo en las cimentaciones, rotura de taludes y deslizamientos. Los suelos susceptibles a perder parte de su resistencia ante acciones dinámicas son las arenas finas y poco o nada consolidadas, las arenas y limos mal graduados. Otra de las condiciones necesarias para que tenga lugar la licuefacción es que el nivel freático esté alto, cerca de superficie, y que el grado de compactación sea bajo, equivalente a valores N de SPT inferior a 20 golpes.





De acuerdo con la observación de zonas afectadas por licuefacción, esta tiene lugar en las siguientes circunstancias:

- Sismos con magnitud igual o superior a 5.5° con aceleraciones superiores o iguales a 0.2 g.
- Por debajo de 15 m de profundidad no se han dado licuefacciones.
- En la mayoría de los casos donde se han observado licuefacciones, el nivel freático estaba a poca profundidad, inferior a 3 m; por debajo de 5 m la susceptibilidad de licuefacción es muy baja.

### 8.3 EFECTOS GEOLÓGICOS ASOCIADOS AL SISMO DE 7.9 Mw, EN PISCO, PERU

Por sus características geológicas y sísmicas, el Perú históricamente ha sido afectado por eventos sísmicos de magnitud importante en los últimos 500 años. Históricamente la Región lea ubicada al sur de la capital, Lima, ha sido afectada por los sismos del 12 de mayo de 1664 y 29 de septiembre de 1946 (Silgado, 1978). El 15 de agosto del 2007 las ciudades de Pisco, Ica, Chincha y Cañete, ubicadas entre 140 y 300 km de la capital, fueron sacudidas por un sismo de magnitud 7.9 (Mw), originando 519 muertes y afectando 655,679 viviendas. Procesos geológicos co-sísmicos responsables de los daños principales, ocurrieron en un radio de 200 km del epicentro.

Como resultado del sismo de Pisco del 2007, se generaron procesos co-sísmicos dentro de los cuales destacan deformaciones superficiales en el terreno principalmente en las zonas costeras, incentivación de movimientos en masa en los taludes de corte de carretera y reacomodo en algunos depósitos antiguos de deslizamientos. Posterior al evento sísmico principal, se produjeron principalmente tsunamis a lo largo de la costa. Las réplicas del sismo a su vez generaron mayores procesos de movimientos en masa, agrietamientos del terreno, etc. (Zavala et al., 2007).

### 8.4 ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS CONCATENADAS POR SISMOS

Las zonas críticas son áreas o lugares, que luego del análisis de la susceptibilidad a los procesos identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestas obras de infraestructura y centros poblados; que muestran una recurrencia en algunos casos periódica a excepcional, algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y, donde es necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres. Sobre estas se dan recomendaciones generales para prevención y mitigación de desastres.

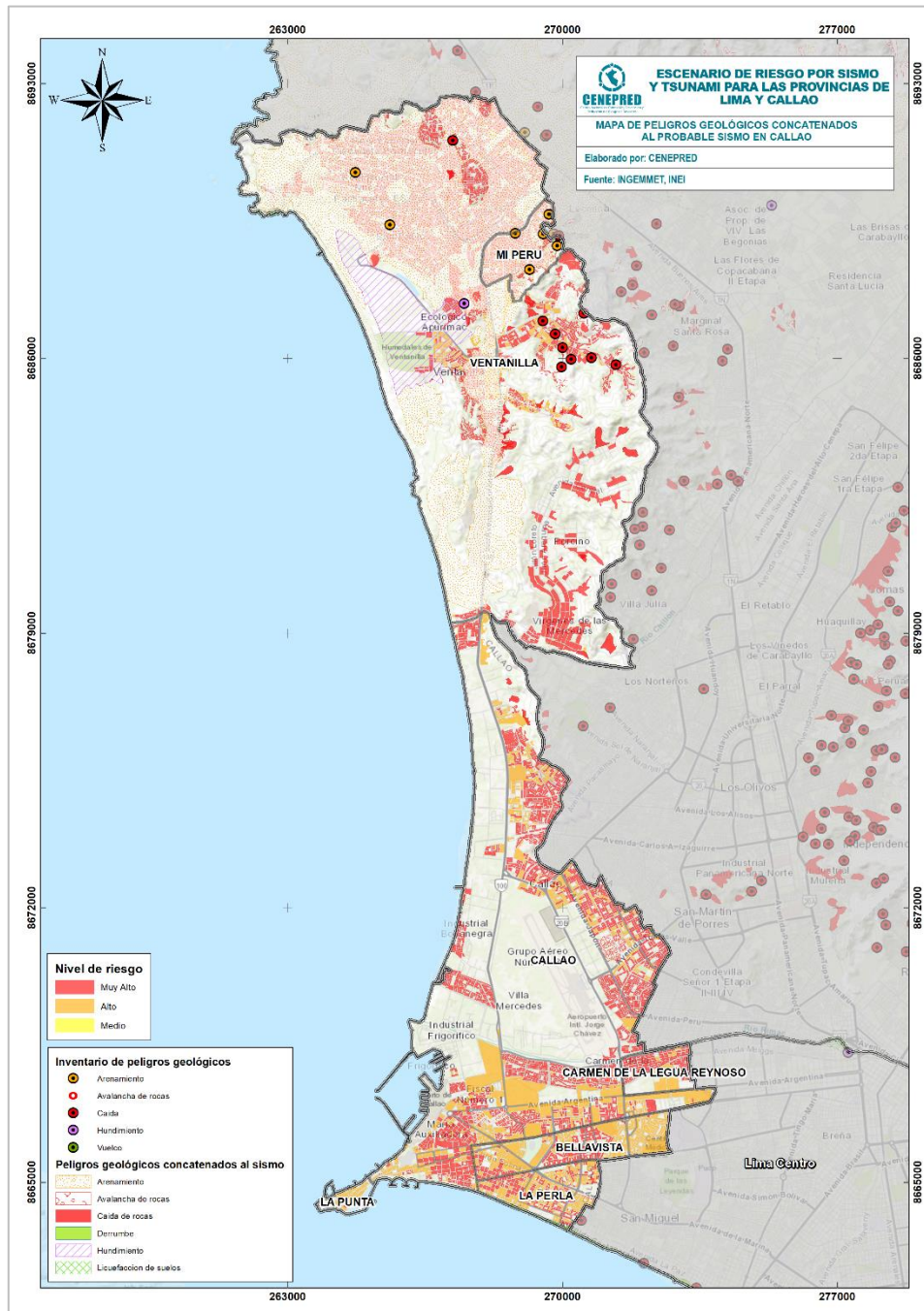
La información fue obtenida de informes, artículos periodísticos, relatos orales de los mismos pobladores y principalmente observaciones de campo. Constituye información geológica útil sobre áreas afectadas por peligros o potencialmente susceptibles a los peligros.

Sin embargo no se puede dejar de manifestar, que si bien se recomienda la priorización de obras en estas zonas críticas que buscan mitigar o reducir los daños causados por estos peligros, no se debe restar atención a los demás peligros que han sido identificados en el inventario de peligros, así como también a los que aparecen cartografiados dentro del mapa geomorfológico, ya que ante la presencia de lluvias excepcionales, muchas de estas zonas podría iniciar aumentar y acelerar su actividad, incluso reactivarse hasta constituirse en nuevas zonas críticas.

En Lima Metropolitana (provincias de Lima y Callao) se identificó 108 zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos que afectan diferentes sectores de Lima Metropolitana definidas en el proyecto GA11, ya publicadas (Villacorta et al., 2015). De los cuales **74 zonas críticas** se activarían como consecuencia de un gran sismo, a continuación se describen las zonas críticas por distritos: Ancón (4), Ate Vitarte (2), Carabaylo (11), Cercado de Lima (1), Comas (6), Chorrillos (1), El Agustino (1), Independencia (2), La Molina (1), Lurigancho (8), Lurín (2), Magdalena del Mar (1), Pachacamac (2), Puente Piedra (1), Punta Hermosa (2), Rímac (1), San Juan de Miraflores (3), San Juan de Lurigancho (9), San Martín de Porres (1), Santa Anita (1), Santa Rosa (1), Villa El Salvador (1), Vila María del Triunfo (7) y Ventanilla-Callao (5).

8.4.1 Callao

Figura 39. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 15. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Callao

Procesos geológicos	Arenamiento		Avalancha de rocas		Caída de rocas		Hundimiento	
	Elementos expuestos							
DISTRITOS	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
1 CALLAO	0	0	0	0	82	309	0	0
2 MI PERU	11,134	43,130	0	0	0	0	0	0
3 VENTANILLA	64,986	208,807	103	373	2,191	7,384	2,917	9,887
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>76,120</b>	<b>251,937</b>	<b>103</b>	<b>373</b>	<b>2,273</b>	<b>7,693</b>	<b>2,917</b>	<b>9,887</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.



Tabla 16. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ventanilla (5)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
1	Pantanos de Ventanilla (Ventanilla)	Hundimiento, licuación de suelos	266520	8687036	En esta zona se han registrado hundimientos. Suelo compuesto de grava fina y arena. Napa freática aflorando. Parte rellenada con desmonte. En caso de sismo se puede producir licuefacción de suelos.	Puede afectar severamente a las viviendas, la mayoría de ellas de material precario.	Reubicar todas las viviendas y el colegio ubicado en los alrededores
2	Loma Larga (Ventanilla)	Licuefacción	269418	8690487	Los arenamientos están asociados a las planicies costaneras, en donde la dirección, la velocidad del viento y las geoformas favorecen la acumulación de arena. Estos depósitos eólicos de ubican en pendientes mayores a los 30° y ocupan áreas extensas.	En estas acumulaciones eólicas, ubicadas en laderas, son difíciles las construcciones de cimientos para viviendas de material noble. Un recurso utilizado por la población es el uso de sacos llenos de arena en las bases de sus viviendas, lo cual es una práctica constructiva inadecuada.	Evitar la construcción de viviendas en las laderas con arenamientos. En las zonas planas construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso. Antes de realizar las construcciones se deben realizar estudios de suelos.
3	La Victoria / Cerro Cachito (Ventanilla)	Licuefacción	266074	8689953	Los arenamientos están asociados a las planicies costaneras, en donde la dirección, la velocidad del viento y las geoformas favorecen la acumulación de arena. Estos depósitos eólicos de ubican en pendientes mayores a los 30° y ocupan áreas extensas.	En estas acumulaciones eólicas, ubicadas en laderas, son difíciles las construcciones de cimientos para viviendas de material noble. Un recurso utilizado por la población es el uso de sacos llenos de arena en las bases de sus viviendas, lo cual es una práctica constructiva inadecuada.	Evitar la construcción de viviendas en las laderas con arenamientos. En las zonas planas construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso. Antes de realizar las construcciones se deben realizar estudios de suelos.

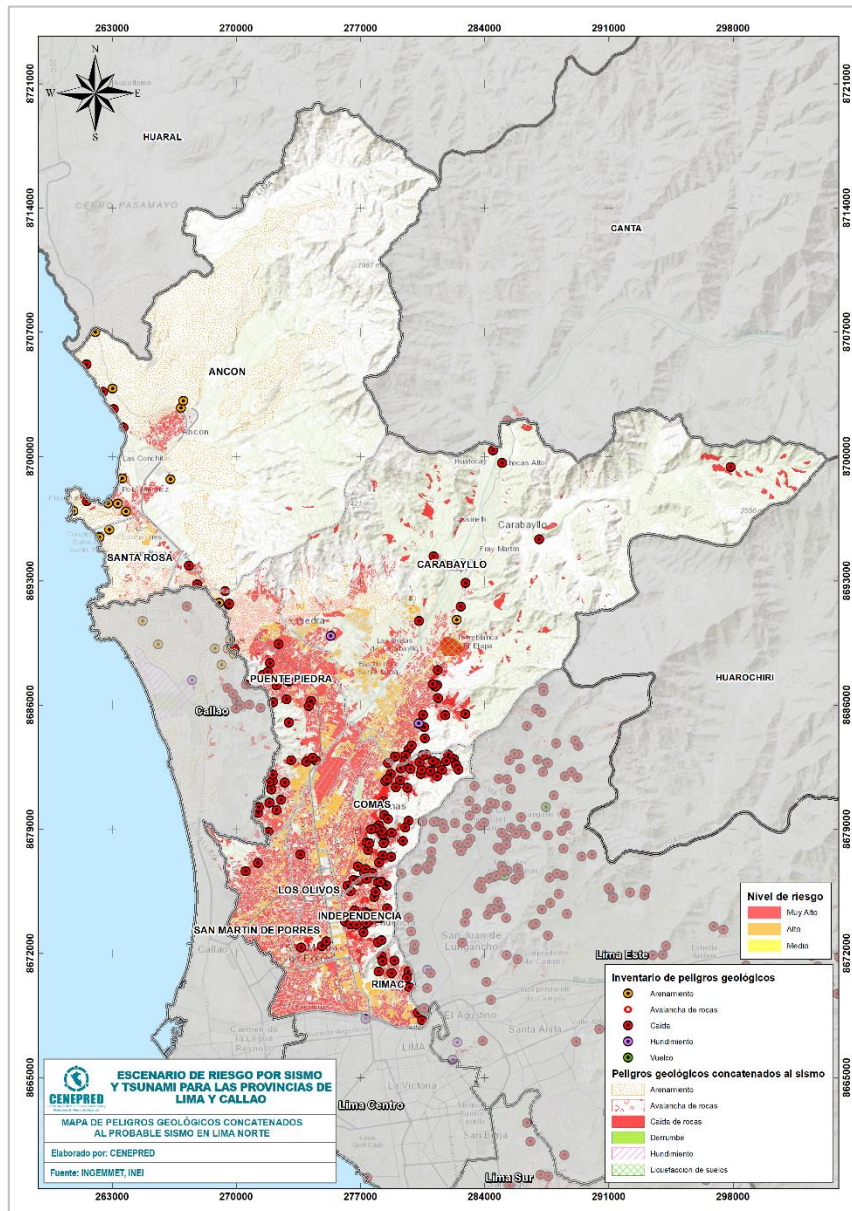


4	AA.HH. Cesar Vallejo (Ventanilla)	Caída de rocas	de	271136	8686143	Caída de rocas en forma de canchales. Se presentan acumulados en la ladera, con una zona de arranque irregular. Se observan bloques de 30-50 cm aprox.  En caso de sismos, puede afectar directamente a zonas urbanizadas.	No es recomendable que las viviendas se ubiquen en la zona de canchales. No realizar cortes de talud en la zona de canchales para evitar que se desestabilicen las laderas; se podrían generar caídas de rocas o derrumbes.
5	Ciudad Satélite (Calle 14) (Ventanilla)	Caída de rocas	de	269068	8686524	Caída de rocas en forma de canchales. Se presentan acumulados en la ladera, con una zona de arranque irregular. Se observan bloques de 30-50 cm aprox.  En caso de sismos, puede afectar directamente a zonas urbanizadas.	No es recomendable que las viviendas se ubiquen en la zona de canchales. No realizar cortes de talud en la zona de canchales para evitar que se desestabilicen las laderas; se podrían generar caídas de rocas o derrumbes.



8.4.2 Lima Norte

Figura 40. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGENMET.

Tabla 17. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Norte

Procesos geológicos	Arenamiento		Avalancha de rocas		Caída de rocas		Licuefacción de suelos	
	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
<b>DISTRITOS</b>	<b>Elementos expuestos</b>							
1 ANCON	8,634	21,760	0	0	266	1,025	0	0
2 CARABAYLLO	8,617	23,858	1,247	3,884	7,384	25,906	2,252	6,859
3 COMAS	0	0	119	394	16,336	71,472	0	0
4 INDEPENDENCIA	0	0	0	0	9,539	39,857	0	0
5 LOS OLIVOS	0	0	0	0	3,628	14,461	0	0
6 PUENTE PIEDRA	14,310	52,674	1,968	5,639	2,348	8,492	0	0
7 SAN MARTIN DE PORRES	0	0	0	0	214	750	399	1,565
8 SANTA ROSA	8,014	16,857	0	0	103	389	0	0
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>39,575</b>	<b>115,149</b>	<b>3,334</b>	<b>9,917</b>	<b>39,818</b>	<b>162,352</b>	<b>2,651</b>	<b>8,424</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGENMET.



Tabla 18. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ancón (4)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
6	Piedras Gordas (Ancón)	Flujo seco, licuefacción	267426	8695603	Arenamiento antiguo que cubre laderas con pendientes de hasta 30°. Las arenas son sueltas, grano mediano a fino, con espesores mayores a 3.5 m. Como suelos para cimentación, son de muy mala calidad	Afecta directamente a los asentamientos humanos. En caso de un sismo las tuberías de agua y desagüe colapsarían, el humedecimiento del terreno bajaría más aun su capacidad portante, esto podría hacer que las viviendas colapsen.	Deben realizar estudios detallados de suelos para determinar su capacidad portante y qué tipo de construcción deben hacer. Evitar el humedecimiento del terreno.
7	Pampa Ancón- Vanguar (Ancón)	Derrumbes flujos secos, licuefacción	268007	8699408	Arenamiento antiguo que cubre laderas con pendientes de hasta 30°. Las arenas son sueltas, grano mediano a fino, con espesores mayores a 3.5 m. Como suelos para cimentación, son de muy mala calidad	Afecta directamente a los asentamientos humanos. En caso de un sismo las tuberías de agua y desagüe colapsarían, el humedecimiento del terreno bajaría más aun su capacidad portante, esto podría hacer que las viviendas colapsen.	Deben realizar estudios detallados de suelos para determinar su capacidad portante y qué tipo de construcción deben hacer. Evitar el humedecimiento del terreno.
8	Pasamayo (Ancón)	Licuefacción, derrumbes y flujos secos	260157	8709694	Área sujeta a arenamiento, derrumbes y flujos secos en talud superior de carretera Panamericana Norte. Para construir sus viviendas han realizado cortes en el talud en forma indebida. Un sismo fuerte puede generar flujos secos, licuefacción y como resultado el colapso de estas viviendas.	Derrumbes de arena en el talud superior de la carretera Panamericana Norte, llega a cubrir la berma de seguridad de la carretera, en los km 55+000-57+000, km 58+400-59+000, km 59+500-60+200, km 61+000-61+500, km 62+000-63+000. Zona de tránsito fluido.	Mejoramiento de talud. Limpieza periódica de carretera.
9	Sector Variante de Pasamayo (Ancón)	Derrumbes, licuación de suelos y flujos secos	263833	8701830	Área sujeta a arenamiento, derrumbes y flujos secos en talud superior de carretera Panamericana Norte. Para construir sus viviendas han	Viviendas precarias ubicadas en la ladera oeste de la Loma Ancón; ubicadas en el talud superior de la carretera Panamericana Norte.	Las viviendas construidas en las laderas deben ser reubicadas. Evitar la construcción de viviendas en las laderas que presenten arenamientos. En zonas de



					realizado cortes en el talud en forma indebida. Un sismo fuerte puede generar flujos secos, licuefacción y como resultado el colapso de estas viviendas.		arenamientos de superficie plana se puede construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso (previo estudio de suelos).
--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla 19. Zonas críticas identificadas en el distrito de Carabaylo (11)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
10	Comité 78 / Virgen de Fátima  (Carabaylo)	Caída de rocas	280564	8684075	Rocas intrusivas con fracturamiento amplio que originan bloques sueltos, los cuales pueden generar caída de rocas. En la ladera se observan bloques sueltos de hasta 1.50 m aproximadamente. La pendiente de la ladera es de 35°.	De generarse un sismo de gran magnitud, los bloques suspendidos en las laderas, generarían caídas de rocas.	Desatar bloques sueltos. Medidas de sostenimiento como sistema de pernos de anclaje. Para las rocas de menor tamaño desatarla por medios artesanales (dilatación y contracción).
11	Comité 39 - Sector Progreso  (Carabaylo)	Caída de rocas	280037	8685433	Zona sujeta a hundimientos. Las viviendas se encuentran ubicadas ante un antiguo relleno (desmonte). Se han observado algunas paredes de las viviendas que han sufrido asentamientos y otras han colapsado.	Las viviendas han registrado asentamientos paulatinos, si no se reubican podrían colapsar.	Reubicar y no permitir la construcción de viviendas en esa zona.
12	3er. Sector El Progreso  (Carabaylo)	Caída de rocas	281435	8687450	Roca fracturada, presenta erosión esferoidal generando bloques sueltos. Las laderas presentan pendientes no mayores a los 35°. Geomorfológicamente el área se encuentra sobre una montaña. Los bloques sueltos presentan diámetros de hasta de 2 m.	Al encontrarse en condiciones inestables los bloques pueden colapsar y afectar las viviendas que se encuentran en la parte baja.	Desatar bloques sueltos. Dilatación de la roca por medios artesanales. También se pueden aplicar medidas de sostenimiento como mallas.
13	Quebrada Progreso  (Carabaylo)	Caída de rocas	282633	8686253	Los bloques de roca sueltos están dispuestos en forma aislada, las laderas presentan pendientes no mayores a 30°.	Puede afectar viviendas	No ubicar viviendas en el cauce de la quebrada. Desatar los bloques sueltos ubicados en las laderas.



14	Torre Blanca – Punchauca (Carabayllo)	Caída de rocas	285245	8690481	Los bloques de roca sueltos están dispuestos en forma aislada, las laderas presentan pendientes no mayores a 30°.	Puede afectar viviendas	Desatar los bloques sueltos ubicados en las laderas.
15	Sector Paraíso (Carabayllo)	Hundimiento	275699	8690170	Viviendas y colegio edificados sobre terrenos conformados por rellenos (desmonte). Según versiones de los lugareños el colegio colapsó con el sismo del 15 de agosto de 2007. Las viviendas construidas en la parte inferior del talud pueden ser afectadas por derrumbes del material suelto que se encuentra en el corte del talud.	De producirse un sismo los asentamientos humanos ubicados en esta zona se verían afectados por derrumbe	Limpiar el material suelto, construir muros de contención. Las edificaciones que se encuentran sobre el desmonte deben ser reconstruidas
16	Cerro Amauta (Carabayllo)	Caída de rocas	280728	8691333	Se observó detritos y rocas dispuestos en la ladera en forma de canchales. La caída de rocas presenta una zona de arranque irregular y los fragmentos de roca miden hasta 60 cm. La pendiente del terreno se encuentra entre los 25° a 30°.	De producirse un sismo de gran magnitud, las caídas de rocas y detritos afectarían a las viviendas que se encuentran en las laderas del cerro.	No edificar viviendas ni realizar cortes de talud en la zona de canchales porque se inestabilizan las laderas del cerro. Desatar bloques sueltos que se encuentran en las laderas de los cerros.
17	El Rosario-Caballero (Carabayllo)	Caída de rocas	284337	8695217	Caídas de rocas o derrumbes se generarían ante sismos de gran magnitud. Afloramiento de rocas calcáreas, fracturadas y algo alteradas, presentan rotura planar y zona de arranque irregular.	Afectaría a la carretera Lima-Canta entre los sectores de El Rosario y Caballero. Este tramo es muy transitado por vehículos particulares y públicos.	En la vía, colocar letreros de posibles caídas de rocas. Construir muros de contención. Desatar bloques sueltos.
18	AA.HH. Nueva Unión (Carabayllo)	Caída de rocas	280510	8683553	Pueden generar caída de rocas. En la ladera se observan bloques sueltos de hasta 1.50 m aprox. La pendiente de la ladera es de 35°.	De generarse un sismo de gran magnitud, los bloques suspendidos en las laderas se desprenderían y caerían sobre las viviendas.	Desatar bloques sueltos. Medidas de sostenimiento como sistema de pernos de anclaje. Para las rocas de menor tamaño, desatarlas por medios artesanales (dilatación y contracción).
19	AA.HH. Los Ángeles de Carabayllo / Ampliación	Caída de rocas	279693	8683389	Pueden generar caída de rocas. En la ladera se observan bloques sueltos	De generarse un sismo de gran magnitud, los bloques suspendidos en	Desatar bloques sueltos. Medidas de sostenimiento como





	de Ramiro Prialé (Carabaylo)				de hasta 1.50 m aprox. La pendiente de la ladera es de 35°.	las laderas se desprenderían y caerían sobre las viviendas.	sistema de pernos de anclaje. Para las rocas de menor tamaño, desatarlas por medios artesanales (dilatación y contracción).
20	Pampa Huarangal (Carabaylo)	Licuefacción	282077	8697117	Las laderas presentan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico de fuerte magnitud.	Muchas viviendas se ven seriamente afectadas con los arenamientos. Estas acumulaciones eólicas producen inestabilidad, además hacen muy difícil la construcción de los cimientos de estas viviendas de material noble.	Evitar la construcción de viviendas en las laderas con arenamientos. En las zonas planas construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso.

Tabla 20. Zonas críticas identificadas en el distrito de Comas (7)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
21	AA.HH. Ampliación La Merced  (Comas)	Caída de rocas	276553	8676292	Caídas de rocas. Se aprecian bloques sueltos dispuestos de manera inestable en las laderas de los cerros. Los tamaños alcanzan hasta 1.5 m. Se pueden presentar como bloques aislados o talud de detritos conocidos como canchales. La mayoría presenta zonas de arranque entre los 50 y 100 m de largo y una altura de 50 m en promedio.	Las zonas más vulnerables son aquellas que se ubican en las laderas. Una cantidad considerable de asentamientos humanos están expuestos a las caídas de rocas y los derrumbes, ya han ocasionado daños destruyendo viviendas y causando accidentes. Se tiene conocimiento que ha habido desprendimientos de bloques de rocas.	Se recomienda construir muros de contención de acuerdo a las características de las laderas. Desatar bloques sueltos. No construir más casas en las laderas y señalizar vías de evacuación en caso de sismo.
22	AA.HH. 2 de Mayo	Caída de rocas	278421	8677242	En estas localidades también se observan caídas de rocas muy	Viviendas que se ubican en las laderas.	Es necesario que las municipalidades hagan programas de



	(Comas)				antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas. Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva.		sensibilización, para impedir que siga la propagación de asentamientos humanos hacia las laderas de los cerros, esto debe comenzar desde el nivel educativo.
23	Cerro Sinai (Comas)	Caída de rocas	278244	8678194	En estas localidades también se observan caídas de rocas muy antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas. Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva.	Viviendas que se ubican en las laderas.	En las laderas de los cerros se debe señalar las zonas inestables, a fin de evitar la propagación de más asentamientos a zonas inestables.
24	Proyecto Integral 2000 (Comas)	Caída de rocas	279354	8679145	En estas localidades también se observan caídas de rocas muy antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas. Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva.	Viviendas que se ubican en las laderas.	Desatar bloques sueltos que se encuentra en las laderas de los cerros.
25	AA.HH. Cristo Rey (Comas)	Caída de rocas	279777	8681629	En estas localidades también se observan caídas de rocas muy antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas. Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva.	Viviendas que se ubican en las laderas.	Desatar bloques sueltos que se encuentra en las laderas de los cerros.
26	Collique 8va./7ma. Zona (Comas)	Caída, flujos	282736	8683426	En estas localidades también se observan caídas de rocas muy antiguas, algunas por sus dimensiones pueden ser calificadas como avalanchas de rocas.	Viviendas que se ubican en las laderas.	Desatar bloques sueltos que se encuentra en las laderas de los cerros.



					Las zonas de arranque están en laderas que van de los 25° a 45°, presentan un tipo de rotura planar. La litología que predomina es intrusiva.		
--	--	--	--	--	---	--	--

Tabla 21. Zonas críticas identificadas en el distrito de Independencia (2)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
27	Sector Ermitaño- Sta. Rosa de Lima/ Villa Canta  (Independencia)	Caída de rocas	277530	8672914	Caídas de rocas y derrumbes. Las laderas presentan pendientes entre 30° a 35°. En las cimas de los cerros se observan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico en forma de canchales. Los bloques de roca son bastante irregulares, de diversos tamaños (0.10 a 0.50 cm.). Las caídas de rocas antiguas han alimentado la quebrada. Las bases de las viviendas están construidas sobre terraplenes o pircas, estas no son adecuadas. En el sismo del 15 de agosto del 2007, algunas colapsaron. El paso del camión cisterna puede generar el colapso de la pirca. Eliminación de las aguas servidas hacia las laderas, va a saturar el suelo y hace que pierda su capacidad portante. Inadecuadas construcciones de las vías de acceso (terraplenes).	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros son las vulnerables, porque pueden ser afectadas por caída de rocas que pueden generarse ante un sismo de gran magnitud. Se han registrado algunas zonas donde los taludes han colapsado. El colapso de las pircas o de la vía de acceso puede afectar a las viviendas aledañas.	Se recomienda desatar los bloques sueltos que están en las laderas y canalizar las quebradas. Es necesario reubicar las viviendas expuestas a los bloques sueltos y los canchales. Realizar estudios geotécnicos para el diseño de refuerzos en zonas donde han realizado cortes de talud. No realizar cortes de talud que puedan desestabilizar. Evitar las filtraciones del agua hacia el subsuelo, para evitar la pérdida de capacidad portante.
28	Sector Independencia/ Paraíso/ Vista Alegre  (Independencia)	Caída	278030	8674042	Caídas de rocas y derrumbes. Las laderas presentan pendientes entre 30° a 35°. En las cimas de los cerros se observan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico en forma de canchales. Los bloques de roca son bastante irregulares, de	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros son las vulnerables, porque pueden ser afectadas por caída de rocas que pueden generarse ante	Se recomienda desatar los bloques sueltos que están en las laderas y canalizar las quebradas. Es necesario reubicar las viviendas expuestas a los bloques sueltos y los canchales.



					diversos tamaños (0.10 a 0.50 cm.).	un sismo de gran magnitud.	
--	--	--	--	--	-------------------------------------	----------------------------	--

Tabla 22. Zonas críticas identificadas en el distrito de Puente Piedra (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
29	AA.HH. Nuevo Jerusalén  (Puente Piedra)	Licuefacción	269566	8691663	Los depósitos eólicos, están conformados por arenas sueltas, son de fácil excavación, se encuentran secas, son de baja compacidad. Estos depósitos han cubierto la ladera, formando superficies con pendientes entre 20° a 25°. Las viviendas ubicadas en laderas y donde han realizado cortes de talud, ante un movimiento sísmico, colapsarían; además, se pueden generar rotura de tuberías de agua o desagüe. En los cortes de talud en afloramientos rocosos para la construcción de viviendas y vías de acceso, se han realizado sin criterio técnico. Se tienen muros de contención construidos en forma artesanal, que ante un movimiento sísmico podría colapsar.	La manzana "A" del A.H. Parte Alta Nueva Jerusalén, es la más susceptible por arenamiento. Las viviendas construidas sobre pircas, sin una cimentación adecuada, pueden ceder por sobrecarga o actividad sísmica.	Evitar la construcción de viviendas sobre depósitos eólicos. La construcción debe ser orientada por un especialista.

Tabla 23. Zonas críticas identificadas en el distrito de Rímac (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
30	Flor de Amancaes -Horacio Zevallos  (Rímac)	Caída de rocas y flujos de detritos	278914	8671599	Sector sujeto a caídas de rocas y huaicos excepcionales.	Puede afectar AA. HH. Flor de Amancaes (Comité 13) y Horacio Zevallos (2a etapa).	No se debe permitir la expansión urbana en las laderas de fuerte pendiente. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones, se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos de los huaicos.



Tabla 24. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Martín de Porres (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
31	AA.HH Víctor Raúl Haya de la Torre-Cerro La Milla  (San Martín de Porres)	Caida de rocas	274881	8670375	Caídas de rocas y derrumbes. Las laderas presentan pendientes comprendidas entre 25° a 30°. En las cimas de los cerros se presentan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico. Los bloques de roca sueltos son de formas irregulares y hasta de 30 cm de diámetro. Las bases de las viviendas están construidas sobre terraplenes o pircas. Según versiones de lugareños, en el sismo del 15 de agosto del 2007 se desprendieron algunos bloques de roca.	Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros son las vulnerables, porque pueden ser afectadas por caída de rocas o colapso de sus pircas, ante un sismo de gran magnitud.	Desatar los bloques sueltos que están en las laderas. Es necesario reubicar las viviendas expuestas a los bloques sueltos y a los canchales (acumulaciones de detritos producto de caídas de rocas).

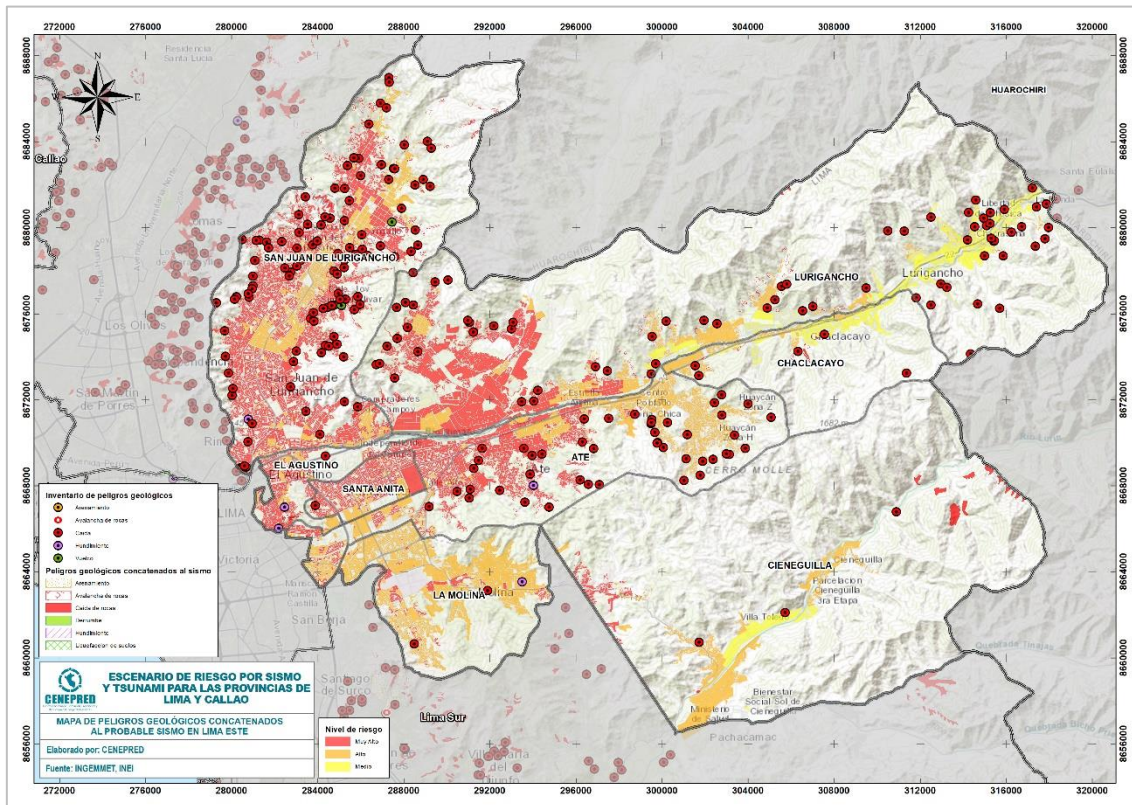
Tabla 25. Zonas críticas identificadas en el distrito de Santa Rosa (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
32	Cerro La Cruz  (Santa Rosa)	Licuefacción	263673	8694916	Arenamiento antiguo que cubre laderas con pendientes de hasta 30°. Las arenas son sueltas, grano mediano a fino, con espesores mayores a 3.5 m. Como suelos para cimentación, son de muy mala calidad	Afecta directamente a los asentamientos humanos. En caso de un sismo las tuberías de agua y desagüe colapsarían, el humedecimiento del terreno bajaría más aun su capacidad portante, esto podría hacer que las viviendas colapsen.	Deben realizar estudios detallados de suelos para determinar su capacidad portante y qué tipo de construcción deben hacer. Evitar el humedecimiento del terreno.



8.4.3 Lima Este

Figura 41. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 26. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Este

Procesos geológicos		Avalancha de rocas		Caída de rocas	
		Viviendas	Población	Viviendas	Población
DISTRITOS		Elementos expuestos			
Nº	DISTRITO	Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	ATE	1,258	4,771	116	477
2	CHACLACAYO	309	1,299	0	0
3	EL AGUSTINO	0	0	1,020	3,831
4	LA MOLINA	61	226	0	0
5	LURIGANCHO	685	2,011	101	344
6	SAN JUAN DE LURIGANCHO	10,446	29,837	302	998
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>12,759</b>	<b>38,144</b>	<b>1,539</b>	<b>5,650</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 27. Zonas críticas identificadas en el distrito de Ate Vitarte (2)

Nº	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
33	Las Américas-Santa Clara	Hundimientos	296557	8669609	Antigua cantera, con un desnivel de 20 m (aprox.), posteriormente fue rellenada con desmonte. Actualmente esta área está siendo ocupada por	Viviendas ubicadas sobre terrenos inestables. En caso de un sismo de fuerte magnitud las viviendas colapsarían.	Se recomienda reubicar todas las viviendas.



	(Ate Vitarte)				asentamientos humanos. Las viviendas son de material rústico (madera).		
34	Huaycán-Pariachi-Gloria  (Ate Vitarte)	Caída de rocas	300019	8670893	En las laderas se observan bloques sueltos producto de la erosión esferoidal, que ante un fuerte movimiento sísmico pueden desprenderse. En años anteriores se han presentado caídas de rocas que han afectado a viviendas.	Hacia las laderas se observan bloques sueltos que pueden ceder ante un movimiento sísmico y afectarían a las viviendas ubicadas en los piedemontes.	Desatar bloques sueltos inestables que se encuentran en la ladera de la quebrada.

Tabla 28. Zonas críticas identificadas en el distrito de El Agustino (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
35	Cerro El Agustino y San Pedro  (El Agustino)	Hundimientos	283228	8666731	Los hundimientos registrados en esta zona están relacionados a excavaciones subterráneas de minas antiguas. Las primeras manifestaciones se dieron en el año 1996. Se aprecian tuberías de agua y desagüe que han colapsado y están humedeciendo el terreno.	Los hundimientos han afectado las viviendas, colegio y mercado de abastos. En la actualidad se encuentran viviendas.	Reubicar las viviendas que presentan fisuras en las paredes.

Tabla 29. Zonas críticas identificadas en el distrito de La Molina (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
36	La Molina Vieja-El Haras  (La Molina)	Licuação de suelos, caída de rocas y derrumbes	288193	8663315	Por el tipo de suelo, es la zona más desfavorable en caso de un sismo fuerte, conformado por suelos finos y arenosos de gran potencia. En esta zona se incluyen también las áreas de laderas clasificadas como de alto peligro por problemas de estabilidad de taludes (UNI, 2010) como en las laderas del cerro Colorado Sur. En el sismo del 31 de mayo de 1970 los mayores daños se registraron en La Molina.	Las urbanizaciones que pueden ser afectadas son La Molina Vieja, la U.N.A. La Molina, El Haras y Las Lagunas.	Evitar la construcción de viviendas en zonas de relleno y en laderas inestables.



Tabla 30. Zonas críticas identificadas en el distrito de Lurigancho-Chosica (6)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
37	Caraponguil lo  (Lurigancho -Chosica)	Caída de rocas	299661	8673608	Flujos de detritos de tipo excepcional y caídas de rocas.	En el año 1998, se activó la quebrada Caraponguillo. En las laderas se muestran bloques que pueden ceder ante movimientos sísmicos o intensas lluvias.	Construir muros de atenuación de flujos a lo largo de la quebrada. No invasión el cauce de la quebrada. Realizar estudios de detalles para el diseño de sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.
38	Valle El Triunfo  (Lurigancho )	Caídas de rocas	287915	8674600	Los bloques suelos dispuestos en los cauces de las quebradas pueden ser transportados con facilidad durante lluvias excepcionales. Los depósitos de estos flujos tienen formas de abanico, generalmente con recorridos entre los 500 m y 800 m. Se encuentran canalizados y presentan material muy heterogéneo.	La mayoría de viviendas ubicadas en los cauces de las quebradas principales y secundarias del distrito de Lurigancho- Chosica están en áreas de muy alta susceptibilidad a este tipo de eventos. En 1983, 1998, 2012, 2015 y 2017 se produjeron huaicos en las quebradas: Libertad, Pedregal, La Ronda, Santa María y California. Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos del flujo. Se debe contar con planes de evacuación.
39	Anexo 8 Jicamarca  (Lurigancho -Chosica)	Caída de rocas	289078	8676503	Los bloques suelos dispuestos en los cauces de las quebradas pueden ser transportados con facilidad durante lluvias excepcionales.	La mayoría de viviendas ubicadas en los cauces de las quebradas principales y secundarias del distrito de Lurigancho- Chosica están en áreas de muy alta susceptibilidad a este tipo de eventos. En 1983, 1998, 2012, 2015 y 2017 se produjeron huaicos en las quebradas: Libertad,	Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se





					Los depósitos de estos flujos tienen formas de abanico, generalmente con recorridos entre los 500 m y 800 m. Se encuentran canalizados y presentan material muy heterogéneo.	Pedregal, La Ronda, Santa María y California. Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	encuentren poblaciones se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos del flujo. Se debe contar con planes de evacuación.
40	AA.HH. Unión Juventud Pachacutec / Tulipanes  (Lurigancho-Chosica)	Caída de rocas, flujo de detritos	295350	8673521	Los bloques sueltos dispuestos en los cauces de las quebradas pueden ser transportados con facilidad durante lluvias excepcionales. Los depósitos de estos flujos tienen formas de abanico, generalmente con recorridos entre los 500 m y 800 m. Se encuentran canalizados y presentan material muy heterogéneo.	La mayoría de viviendas ubicadas en los cauces de las quebradas principales y secundarias del distrito de Lurigancho-Chosica están en áreas de muy alta susceptibilidad a este tipo de eventos. En 1983, 1998, 2012, 2015 y 2017 se produjeron huacos en las quebradas: Libertad, Pedregal, La Ronda, Santa María y California. Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos. En los cauces de quebradas, especialmente de la cuenca alta y donde se encuentren poblaciones se deben construir muros transversales, a fin de atenuar los efectos del flujo. Se debe contar con planes de evacuación.
41	AA.HH. Víctor Raúl Haya de La Torre  (Lurigancho-Chosica)	Caída de rocas	300006	8676108	Área sujeta a caída de rocas.	Al caer los bloques, van afectar a viviendas ubicadas en las laderas.	Los bloques de roca ubicados de manera inestable deben ser desatados en forma artesanal. Utilizar otros sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.
42	Huampaní Alto  (Lurigancho-Chosica)	Caída de rocas	307506	8677142	Área sujeta a caída de rocas.	Pueden ser afectadas viviendas ubicadas en la parte inferior de los cerros.	Los bloques dispuestos de manera inestable deben desatarse en forma artesanal. Realizar estudios de detalle para el diseño de mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No



							ubicar viviendas en las laderas.
43	Laderas de la quebrada Tensómetro (Lurigancho-Chosica)	Caída de rocas	291126	8675418	En las laderas han construido viviendas de material rústico (bases de pircas o terraplenes). Los cerros tienen pendientes de 25° a 30°. En las partes altas se observan bloques sueltos (hasta de 0.50 cm.) que pueden ceder ante un sismo fuerte.	Un sismo de fuerte magnitud produciría el colapso de los terraplenes de las viviendas ubicadas en las laderas. Desde la cima es muy probable que se generen caídas de rocas.	Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas.
44	Saracoto (Lurigancho-Chosica)	Caída de rocas	292936	8677142	Sector sujeto a caídas de rocas, se pueden generar también derrumbes. Roca intrusiva con fracturas de espaciamiento amplio no mayor a un metro. La inestabilidad se ha dado por el corte de talud de carretera. En la parte inferior del talud de corte se aprecian pequeños bloques de roca sueltos, producto de las caídas de rocas.	Las caídas de rocas podrían afectar un tramo de 50 m de la carretera Ñaña-Carapongo, vía muy fluida, por donde transitan autos particulares y transporte público.	Desatar bloques sueltos. Realizar estudios geotécnicos de detalle para reubicar las viviendas en laderas inestables.

Tabla 31. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Juan de Lurigancho (9)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
45	Caja de Agua-Cerro San Cristóbal (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	280420	8669381	Se observan bloques erráticos subredondeados de hasta 2 m de diámetro en la ladera originados por el intenso fracturamiento de la roca. Ladera con fuerte pendiente. Estos bloques ante un sismo pueden ceder. Material suelto en las laderas, generados por	Al ceder los bloques, van a caer cuesta abajo y afectar a viviendas ubicadas en la parte baja de las laderas.	Desatar bloques sueltos en forma artesanal. Utilizar otros sistemas de sostenimiento como mallas, pernos de anclaje, concreto lanzado, etc. No ubicar viviendas en las laderas.



					acción antrópica (construcción de vías de acceso y de viviendas).		
46	Cerro Canto Chico (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	279312	8673210	En los cerros aledaños se tiene material suelto (bloques y canchales) producido por la meteorización esferoidal. Ante un fuerte movimiento sísmico o lluvias de fuerte intensidad, los bloques inestables pueden ceder cuesta abajo y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	No se debe permitir la expansión urbana en las laderas de fuerte pendiente. Se debe contar con planes de evacuación. Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos.
47	AA.HH. Nuevo Amanecer (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	285484	8680942	En los cerros aledaños se tiene material suelto (bloques y canchales) producido por la meteorización esferoidal. Ante un fuerte movimiento sísmico o lluvias de fuerte intensidad, los bloques inestables pueden ceder cuesta abajo y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Ante un sismo de gran magnitud se podrían generar caídas de rocas que afectarían a las viviendas ubicadas en las faldas de los cerros, y los terraplenes de las viviendas colapsarían.	No se debe permitir la expansión urbana en las laderas de fuerte pendiente. Se debe contar con planes de evacuación. Mejorar el sistema constructivo de las pircas. Realizar estudios detallados de suelo y de estabilidad de taludes. Para las zonas que presenten caídas de rocas, desatar los bloques sueltos.
48	AA.HH. Mariscal Cáceres / Las Vegas / (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	285696	8678247	La construcción inadecuada de las bases de las viviendas (pircas) son estructuras inestables. En caso de colapsar una vivienda se produce el efecto "dominó", es decir que el derrumbe de una vivienda también afectaría a la que se encuentra cuesta abajo. Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40° En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar los bloques sueltos en las laderas, esto implica un bajo costo y puede prevenir accidentes. Algunas de las estructuras construidas son insuficientes en el caso de caídas de rocas. Realizar rutas de evacuación en caso de sismo.



					redondeados y sueltos en las laderas. El humedecimiento del suelo, los cortes inadecuados de los taludes y la pendiente del terreno son condiciones como para que se generen derrumbes o caídas de rocas.		
49	AA.HH. Juan Pablo II / Nuevo Amanecer  (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	284903	8675182	Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40° En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas redondeados y sueltos en las laderas.	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar los bloques sueltos en las laderas. En los AA.HH. se deben señalar vías de evacuación en caso de sismo. No construir más viviendas en las laderas de los cerros sin previo tratamiento de ellas. Hacer programas de sensibilización a las personas con la finalidad de hacerles tomar conciencia del peligro en que son expuestos.
50	Nuevo Jerusalén  (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	280939	8677296	Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40° En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas redondeados y sueltos en las laderas.	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas
51	Saúl Cantoral / Santa Rosa de Lima  (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	282948	8678670	Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40° En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas redondeados y sueltos en las laderas.	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas



52	4ta Etapa Mariátegui (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	283423	8681101	Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40°. En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas redondeados y sueltos en las laderas.	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas
53	AA.HH. Huanta (San Juan de Lurigancho)	Caída de rocas	283423	8674336	Las caídas de rocas, presenta zonas de arranque con longitudes que van entre los 20 y 50 metros de largo y altura de hasta 30 m en promedio. La pendiente de los cerros está entre los 30° y 40°. En el sector hay afloramientos de rocas intrusivas de tipo tonalitas que presentan meteorización esferoidal, los cuales generan bloques de formas redondeados y sueltos en las laderas.	Ante un sismo de gran magnitud se podría generar caídas de rocas y las viviendas ubicadas sobre terraplenes colapsarían. Las viviendas se ubican en los cauces de las quebradas principales y secundarias.	Desatar bloques sueltos ubicados en las laderas. Construir muros de contención. Mejorar el sistema constructivo de sus viviendas

Tabla 32. Zonas críticas identificadas en el distrito de Santa Anita (1)

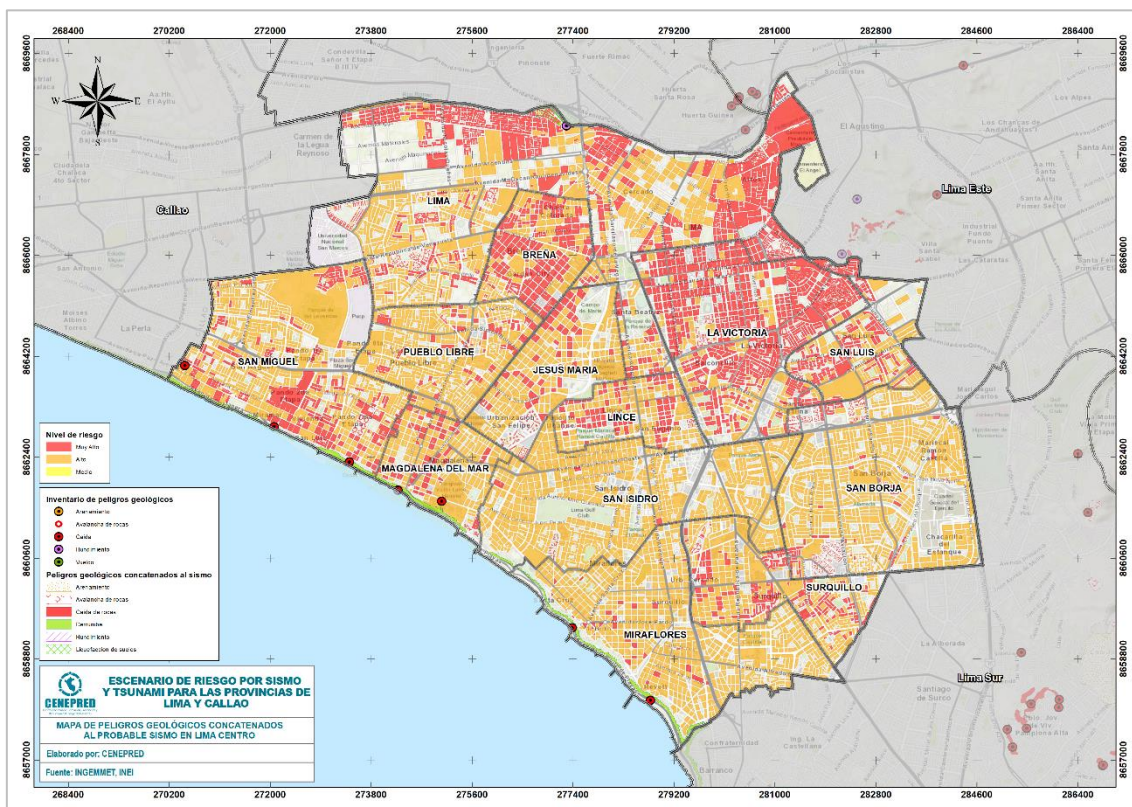
N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
54	Laderas sureste del Cerro El Agustino	Caída de rocas y derrumbes	284045	8666967	Caídas o desprendimiento de rocas en laderas del cerro El Agustino. Se aprecian una gran cantidad de bloques sueltos que podrían caer sobre las viviendas, en caso de sismos. Se han localizado ocho sectores con probabilidad de producirse caídas de rocas, estos son: las partes altas de la Cooperativa de vivienda Virgen de las Nieves y los AA.HH. Las Terrazas, La Arichana, Los Hijos de Perales-Los Eucaliptos, Vista Alegre y Las	En los sectores que se encuentran al pie y en las laderas del cerro El Agustino, como los sectores de Cooperativa de Vivienda Virgen de Las Nieves, AA.HH. Las Terrazas, Vista Alegre y Las Malvinas.	Reubicar las viviendas con cimientos precarios que se encuentran en las laderas inestables. Retirar (desquinchar) progresivamente los bloques suspendidos. En el caso de los bloques sueltos, los sistemas propuestos son mallas ancladas, barreras dinámicas y red de anillos, entre otros, utilizados en forma independiente o combinada, estos trabajos deben ser diseñados y dirigidos por profesionales con Colocar señalización de



				Malvinas. En las laderas que rodean estos asentamientos humanos se aprecian depósitos de caídas antiguos y recientes con fragmentos de roca con tamaños entre 0.1 a 2.0 m de formas angulosas, subangulosas y algunas subredondeadas (esta última por meteorización esférica); con escasa matriz.		advertencia al grado de peligro en el que se encuentra la zona. Implementar un sistema de señalización de rutas de evacuación ante la amenaza de caídas por sismo.
--	--	--	--	---	--	--

### 8.4.4 Lima Centro

Figura 42. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 33. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Centro

Procesos geológicos		Derrumbe		Licuefacción de suelos	
		Elementos expuestos			
DISTRITOS		Viviendas	Población	Viviendas	Población
1	LIMA	0	0	917	2,651
2	MAGDALENA DEL MAR	90	438	0	0
3	MIRAFLORES	315	549	0	0
4	SAN MIGUEL	986	1,849	0	0
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>1,391</b>	<b>2,836</b>	<b>917</b>	<b>2,651</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.



Tabla 34. Zonas críticas identificadas en el distrito de Cercado de Lima (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
55	Morales Duárez  (Cercado de Lima)	Hundimiento	276209	8668713	Viviendas ubicadas sobre un antiguo botadero de basura. En algunos cortes del talud se observan los restos de plásticos y desmonte, que confirman el tipo de suelo. Los suelos conformados por los rellenos sanitarios son de mala calidad, por lo tanto, no sirven para construcciones.	Viviendas en mal estado (paredes agrietadas), ante un movimiento sísmico de fuerte intensidad es muy probable que estas viviendas colapsen.	Reubicar las viviendas en situación crítica. Hacer charlas de sensibilización para evitar más construcciones en la zona inestable.

Tabla 35. Zonas críticas identificadas en los distritos de Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos, San Miguel (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
56	Acantilados de la Costa Verde  (Magdalena del Mar, Barranco, Miraflores, San Isidro, Chorrillos, San Miguel)	Caída de rocas, erosión de laderas	274280	8661810	Caídas de rocas, derrumbes, erosión de laderas y tsunamis. Las laderas presentan pendientes abruptas entre 60° y 90°. Las alturas de los acantilados de la Costa Verde oscilan entre los 30 y los 80 metros. El material que conforma el acantilado es aluvial y presenta baja compactación. La estabilidad de los taludes de la costa Verde es variable por la presencia de lentes arcillosos y limoso-arcillosos en algunos sectores como en Chorrillos y Barranco. Ante sismos de fuerte magnitud, se han registrado caídas de rocas o pequeños derrumbes que han afectado a la vía Costanera. Por ejemplo, en el sismo del año 1974 se produjeron derrumbes y caídas de rocas que obstaculizaron la vía de la Costa Verde. Las construcciones que están ubicadas al lado del litoral se verían gravemente afectadas en caso de tsunamis.	Los desprendimientos de rocas del talud del acantilado pueden impactar sobre vehículos y transeúntes. Se tienen registrados los siguientes eventos desde 1995 a la fecha): • 21/6/1995: muerte de un peatón por bloque desprendido tras el temblor que sacudió la costa central del país (Trujillo a Cañete). • 1/3/2002: un desprendimiento de roca de más de 8 kilos que causó la muerte de ocupante de vehículo. • 15/8/2007: tras el sismo de Pisco, se produjeron desprendimiento	Se recomienda la ejecución de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, de microzonificación sísmica (instrumental), así como un estudio de estabilidad de taludes de detalle (que incluya ensayos de mecánica de suelos). Los estudios permitirán la delimitación de los sectores críticos de los acantilados que permita implantar planes de prevención o mitigación de los peligros geológicos observados (desprendimientos, derrumbes, etc.) Se recomienda trabajar en las rutas de evacuación del acantilado, mejorarlas, ampliarlas e incrementarlas. No se debería permitir más construcciones sobre



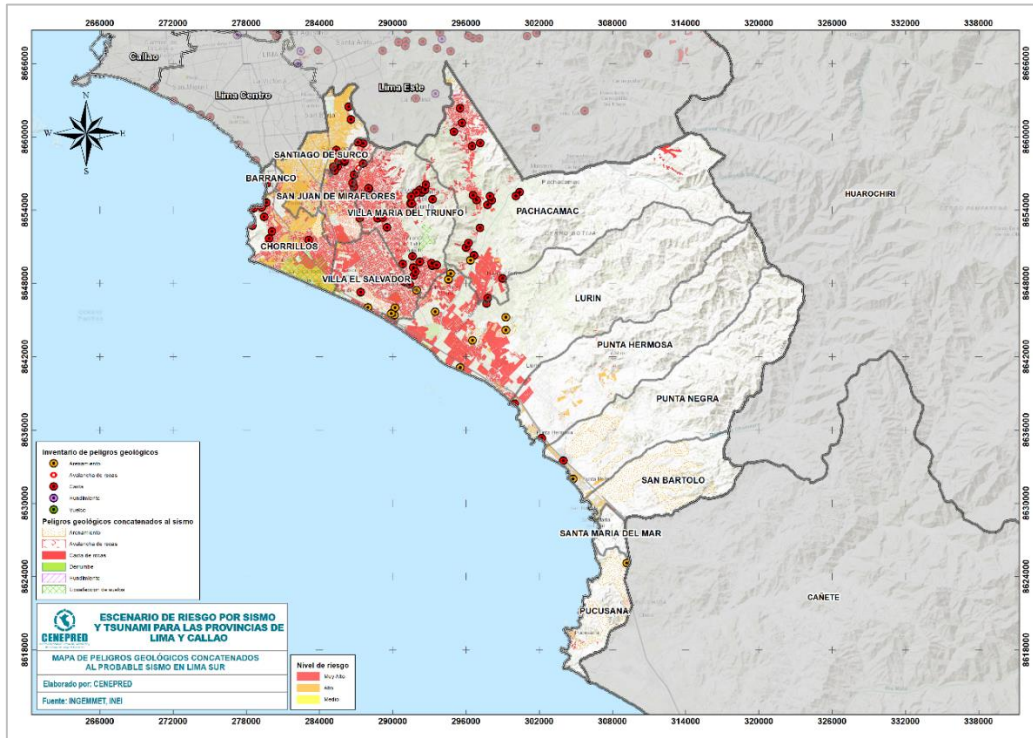
					<p>s de rocas en la Costa Verde.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 7/5/2009: desprendimiento de roca destroza el techo y el parabrisas del vehículo hiriendo al pasajero.</li><li>• 18/6/2009: un bloque impacta sobre un taxista a la altura de la playa Los Yuyos.</li><li>• 18/12/2019: derrumbe a una altitud de 24 m s.n.m por debajo del Malecón Pedro de Osma (Barranco), se produjo el colapso de una parte del acantilado de la Costa Verde, conformado en este sector por material de origen aluvial acumulado por la actividad del río Rímac en el pasado.</li></ul>	<p>el acantilado de la Costa Verde para no seguir incrementado el riesgo en ese sector.</p> <p>. Las soluciones planteadas deben basarse en resultados de ensayos de laboratorio para tener sustento en las soluciones aplicadas.</p>
--	--	--	--	--	---	---





8.4.5 Lima Sur

Figura 43. Mapa de peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 36. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur 1/2

Procesos geológicos		Arenamiento		Avalancha de rocas		Caída de rocas	
		Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
DISTRITOS		Elementos expuestos					
1	BARRANCO	0	0	0	0	0	0
2	CHORRILLOS	538	3,707	0	0	178	864
3	LURIN	915	3,338	0	0	0	0
4	PACHACAMAC	0	0	586	1,887	622	2,009
5	PUCUSANA	1,590	3,995	0	0	0	0
6	SAN JUAN DE MIRAFLORES	17,714	72,341	588	1,603	3,101	12,892
7	SANTIAGO DE SURCO	1,172	3,915	175	525	286	733
8	VILLA EL SALVADOR	10,092	39,464	0	0	0	0
9	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	56	264	1,043	3,008	5,985	19,632
TOTAL GENERAL		32,077	127,024	2,392	7,023	10,172	36,130

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.

Tabla 37. Población y viviendas expuestas a peligros geológicos concatenados al probable sismo en Lima Sur 2/2

Procesos geológicos		Derrumbe		Hundimiento		Licuefaccion de suelos	
		Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población
DISTRITOS		Elementos expuestos					
1	BARRANCO	977	1,847	0	0	0	0
2	CHORRILLOS	299	773	0	0	2,380	9,011
3	LURIN	0	0	0	0	0	0
4	PACHACAMAC	0	0	140	429	0	0
5	PUCUSANA	0	0	0	0	0	0
6	SAN JUAN DE MIRAFLORES	0	0	0	0	0	0
7	SANTIAGO DE SURCO	0	0	0	0	0	0
8	VILLA EL SALVADOR	0	0	0	0	81	284
9	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	0	0	0	0	87	304
TOTAL GENERAL		1,276	2,620	140	429	2,548	9,599

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INGEMMET.



Tabla 38. Zonas críticas identificadas en el distrito de Chorrillos (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
57	Cerro Morro Solar  (Chorrillos)	Derrumbes , caída de rocas	279781	8652432	Presenta una zona de alta pendiente con caída de rocas y derrumbes en laderas del cerro Morro Solar que se dan en roca sedimentarias muy fracturadas. En el flanco oeste del cerro Morro Solar afecta el sector Paso de la Araña, en el cual se ha trazado una trocha inconclusa que uniría las playas La Herradura y La Chira. En el flanco oeste,	Puede afectar viviendas del A.H. Inty Llacta entre otros.	Evitar la construcción de viviendas en laderas del cerro Morro Solar. Evitar las filtraciones de tanques de agua, baños públicos que se encuentran en la parte alta de estos asentamientos humanos.

Tabla 39. Zonas críticas identificadas en el distrito de Lurín (2)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
58	Playa Jaguay  (Lurín)	Derrumbe	299183	8639614	Área susceptible a erosión marina y derrumbe. También presentan derrumbes en acantilados por efecto de la erosión.	Son afectadas las viviendas ubicadas cerca de la línea de playa.	Reforzar la construcción de espigones en este sector.
59	Pampa Mamay  (Lurín)	Derrumbes	296821	8643747	Ambas márgenes del río Lurín son afectadas por erosión fluvial. Se observan además acumulaciones de basura en ambas márgenes del río. El sector Oasis se encuentra sobre un antiguo relleno de desmonte que le ha ganado terreno al cauce del río.	Puede afectar directamente a zonas de cultivo y viviendas urbanas o rurales ubicadas en los alrededores.	Mejorar el enrocado existente y reconstruir la parte destruida. Después de la temporada de lluvias realizar limpieza respectiva del cauce. El sector Oasis debería ser reubicado.

Tabla 40. Zonas críticas identificadas en el distrito de Pachacamac (2)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
60	Guayabo- Picapedra  (Pachacamac)	Caída de rocas	296500	8651834	Rocas con erosión esferoidal que han generado bloques sueltos con diámetros de hasta 2 m, los cuales están suspendidos.	En caso de sismo de gran magnitud afectaría directamente a las viviendas inestables. Los bloques de roca pueden desprenderse y caer cuesta abajo, afectando a las viviendas ubicadas en la ladera del cerro.	Desatar bloques sueltos. Para los bloques que no pueden desatarse deben aplicarse medidas correctivas como pernos de anclaje, mallas, etc. Para realizar estas medidas



						hay que realizar estudios geotécnicos específicos.	
61	Sector Las Lomas (Pachacamac)	Hundimientos	295546	8663487	Área propensa a hundimientos. Esta zona fue una antigua cantera de unos 20 m de profundidad que fue rellenada con desmonte. Actualmente está siendo ocupada por asentamientos humanos.	Viviendas ubicadas sobre terrenos inestables. Se observan algunas viviendas con paredes que están colapsando. En caso de un sismo de fuerte magnitud las viviendas colapsarían.	Se recomienda reubicar todas las viviendas y no permitir el crecimiento urbano en la zona de relleno.

Tabla 41. Zonas críticas identificadas en el distrito de Punta Hermosa (2)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
62	Punta Hermosa (Punta Hermosa)	Derrumbe	301405	8635522	La erosión marina se produce por las olas y corrientes que modelan la costa, removiendo material y dan forma de acantilados.	Este fenómeno afecta especialmente a los espigones y carreteras afirmadas, zonas urbanas ubicadas cerca de la línea de playa.	Reforzar la construcción de espigones, mejorar los taludes de las autopistas y carreteras cercanas a las playas.
63	Playa Rincón (Punta Hermosa)	Derrumbe	300823	8636597	Derrumbe en acantilado. La erosión marina se produce por las olas y corrientes que modelan la costa, removiendo material y dan forma de acantilados.	Este fenómeno afecta especialmente a los espigones y carreteras afirmadas, zonas urbanas ubicadas cerca de la línea de playa.	Reforzar la construcción de espigones, mejorar los taludes de las autopistas y carreteras cercanas a las playas.

Tabla 42. Zonas críticas identificadas en el distrito de San Juan de Miraflores (3)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
64	Villa Los Angeles (San Juan de Miraflores)	Caída de rocas	285394	8657769	Área sujeta a caída de rocas. También pueden generarse derrumbes. Muchas de estas caídas de rocas son antiguas. La roca presenta una meteorización esferoidal y genera bloques sueltos (de forma redondeada), los cuales pueden ceder ante un movimiento sísmico.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder. Se observan muros de contención que han colapsado, otras estructuras (pircas o terraplenes mal contruidos) que pueden ceder y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.



65	Nueva Rinconada (San Juan de Miraflores)	Caída de rocas	287618	8658527	Área sujeta a caída de rocas. Asentamientos ubicados sobre antiguas caídas de rocas. También pueden generar derrumbes por los cortes de talud del cerro para construcción de viviendas. Pircas inestables de hasta 2.5 m de alto.	Se observan pircas que han colapsado.	Construcción de los muros de contención. No construir más viviendas en las laderas. Reubicar las que están en cauces de quebradas secas.
66	El Mirador-San Francisco (San Juan de Miraflores)	Caída de rocas	287300	8657380	Área sujeta a caída de rocas. También pueden generarse derrumbes. Muchas de estas caídas de rocas son antiguas. La roca presenta una meteorización esferoidal y genera bloques sueltos (de forma redondeada), los cuales pueden ceder ante un movimiento sísmico.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder. Se observan muros de contención que han colapsado, otras estructuras (pircas o terraplenes mal contruidos) pueden ceder y afectar a las viviendas ubicadas en la parte inferior.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.

Tabla 43. Zonas críticas identificadas en el distrito de Villa El Salvador (1)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
67	Lomo de Corvina-Santa Rosa (Villa El Salvador)	Licuefacción y flujos de arena	289695	8645975	Duna fósil con altura hasta de 250 m, con pendiente entre 25° a 30°. Asentamientos Humanos ubicados en la ladera del "Lomo de Corvina", como Héroes del Cenepa, Las Palmeras, Valle de Jesús, entre otros.	Viviendas precarias ubicadas en la ladera oeste; para construir sus viviendas han realizado cortes en el talud en forma indebida. Se ha construido la carretera que une Villa El Salvador con la Panamericana Sur que ha sufrido daños por la inestabilidad del talud.	Las viviendas construidas en las laderas deben ser reubicadas. Evitar la construcción de viviendas en las laderas que presenten arenamientos. En zonas de arenamientos de superficie plana se puede construir viviendas de materiales ligeros y no mayores a un piso (previo estudio de suelos).



Tabla 44. Zonas críticas identificadas en el distrito de Villa María del Triunfo (7)

N°	Sector/ (distrito)	Tipo de peligro	Este	Norte	Comentario geodinámico	Daños ocasionados	Recomendaciones
68	AA.HH. Fujimori  (Villa María del Triunfo)	Derrumbe	293772	8649727	Roca intrusiva de mala calidad, muy alterada (meteorizada). Presenta una pendiente fuerte (25°-35°). Tiene un suelo de hasta 3 m de espesor. Cortes de talud indebidos, realizados para la construcción de viviendas. Humedecimiento del terreno por tuberías de agua en mal estado y eliminación de aguas servidas a la ladera. También se incrementó por la intensa llovizna que se registró en la zona.	En el año 2007 colapsaron viviendas de material noble y rústico. Se apreció viviendas ubicadas en la zona inestable. En caso de un sismo las viviendas ubicadas en laderas van a colapsar.	Realizar un estudio de suelos para determinar las variaciones de la potencia del suelo y su capacidad portante. Educar a los lugareños, mediante campañas de difusión, para hacerles ver el peligro en que viven. Mejorar el sistema de eliminación de las aguas servidas. Evitar la expansión urbana en esta zona. En las viviendas construidas reforzar con muros de contención.
69	Cerro Conchita, AA.HH. Jose Gálvez  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas	291543	8649727	Caída de rocas en ladera de fuerte pendiente.	En caso de sismo afectaría directamente a las viviendas ubicadas en las laderas inestables de los cerros. Muchos de los bloques sueltos en la ladra pueden colapsar.	Mejorar las bases de las viviendas (pircas), desatar los bloques sueltos.
70	AA.HH. Héroes del Cenepa  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas y derrumbes	291108	8655740	Caída de rocas. Bloques sueltos en la ladera que llegan a tener más de un metro.	En caso de sismo afectarían directamente a los AA.HH. ubicados en las laderas inestables de los cerros.	Desatar bloques sueltos.
71	Cerro El Arbolito- AA.HH. 12 de Junio  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas	289711	8655201	Área sujeta a caída de rocas. Por versiones de los lugareños, a raíz del terremoto del 15 de agosto de 2007 se desprendieron varios bloques de roca y rodaron por la ladera del cerro.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder. Se observan muros de contención que han colapsado, otras estructuras	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.



						(pircas o terraplenes mal contruidos) que pueden ceder y afectar a las viviendas inmediatas ubicadas en la parte inferior.		
72	Sector La Candelaria/Quebrada Progreso  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas	de	289517	8656952	Área sujeta a caída de rocas.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.
73	Quebrada Rinconada  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas	de	289517	8658508	Área sujeta a caída de rocas.	Asentamientos humanos están ubicados sobre antiguas caídas de rocas. En la parte superior se encuentran bloques sueltos que pueden ceder.	Mejorar la construcción de los muros de contención. Desatar los bloques que se ubican en las laderas con pendiente fuerte. No construir más viviendas en las laderas.
74	Manchay Bajo  (Villa María del Triunfo)	Caída de rocas	de	294691	8655508	Área sujeta a caídas de rocas, se observan bloques sueltos en la ladera de los cerros.	Las laderas que ocupan estas quebradas son de fuerte pendiente y ante un sismo de gran magnitud puede generar caída de rocas.	Desatar los bloques sueltos, crear medidas como mallas para contenerlos. No construir viviendas muy cerca del cauce.



# CAPÍTULO 4. IDENTIFICACIÓN DE PROBABLES IMPACTOS EN SECTORES



Fuente: RPP

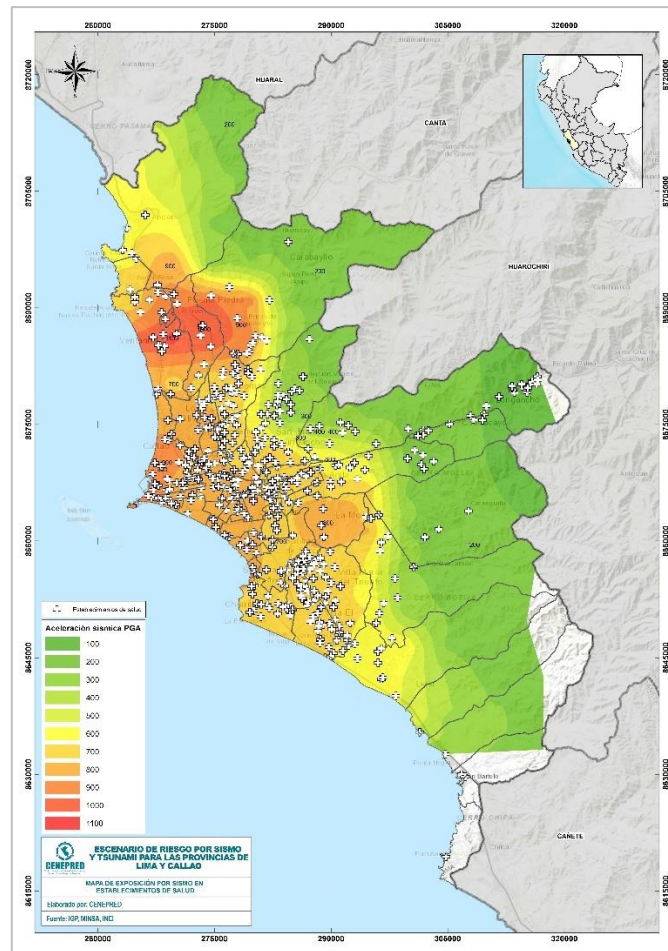
## 9 IDENTIFICACIÓN DE PROBABLES IMPACTOS EN SECTORES

### 9.1 SECTOR SALUD

#### 9.1.1 Exposición por sismo

En el análisis de exposición en el sector salud, se tomó en consideración la ubicación de 484 establecimientos de salud con relación al mapa de valores de aceleración PGA. Asimismo, es importante recordar que, de acuerdo con el mapa de susceptibilidad por sismo (Figura 12), todos los establecimientos de salud que se ubiquen en ámbitos de 500 a 1100 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) del suelo, se les considera con una exposición Muy Alta, de 300 a 400 cm/s<sup>2</sup> como Alta, de 200 cm/s<sup>2</sup> como Media y en 100 cm/s<sup>2</sup> como Baja (Figura 44, Tabla 45).

Figura 44. Mapa de exposición por sismo en establecimientos de salud



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA e IGP.

Tabla 45. Exposición por sismo (aceleración) en establecimientos de salud de Lima y Callao

Sectores	Aceleraciones sísmicas										
	1,000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	Sin dato
1 Callao	8	20	31	2	0	0	0	0	0	0	0
2 Lima Centro	0	0	53	13	0	0	0	0	0	0	0
3 Lima Este	0	0	3	44	15	6	13	10	19	15	0
4 Lima Norte	4	7	42	46	6	1	0	0	1	0	0
5 Lima Sur	0	0	3	96	16	3	3	0	0	0	4
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>132</b>	<b>201</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

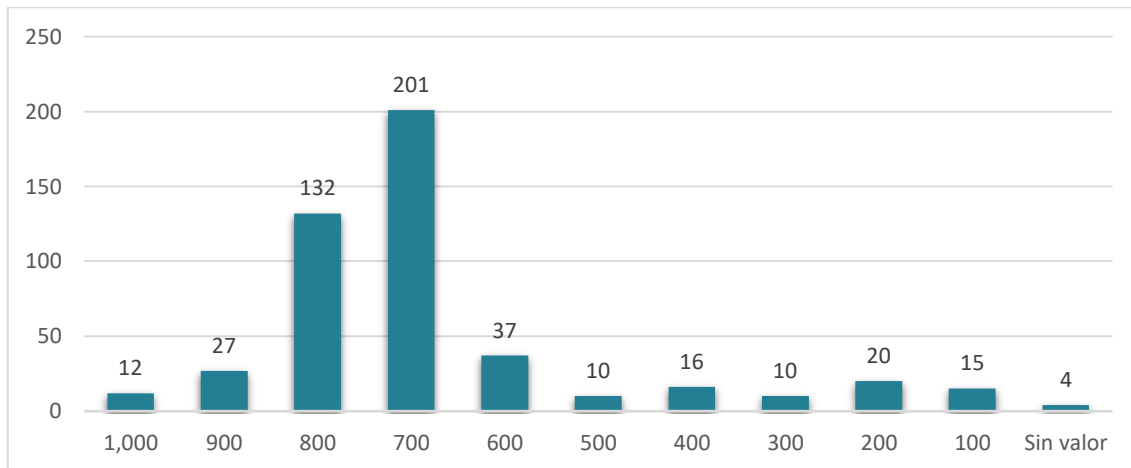
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA e IGP.





Es así como, se identifica que la mayor parte de los establecimientos de salud de Lima y Callao se localizan sobre ámbitos donde los niveles de aceleración sísmica alcanzarían los valores entre 700 y 800 cm/s<sup>2</sup>, es decir, contaría con una exposición Muy Alta frente a un probable sismo de 8.8 Mw (Figura 45). Por tal motivo, se recomienda al sector salud, tomar como criterio de intervención y priorización a todos los establecimientos que se encuentren localizados en los ámbitos por encima de los 500 cm/s<sup>2</sup> (aceleración).

Figura 45. Exposición por sismo (aceleración) en establecimientos de salud de Lima y Callao



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA e IGP.

#### 9.1.1.1 Fragilidad de los establecimientos de salud

De acuerdo con las normativas de construcción y edificaciones desarrolladas en nuestro país, la primera de éstas entró en vigor en el año 1970, considerando el componente sismorresistente en las edificaciones de manera muy general. Posteriormente, el componente sismorresistente fue abordado con mayor profundidad y detallada para su inclusión en las siguientes actualizaciones de los años 1977, 1997, 2003 y 2016.

Por tal motivo, el presente escenario ha clasificado a los establecimientos de salud de acuerdo con su inicio de actividades, siendo considerados con mayor fragilidad los establecimientos que iniciaron actividades antes de 1970 y con menor fragilidad a todos los establecimientos posteriores al 2003 (Tabla 46, Figura 46, Figura 47, Figura 48, Figura 49).

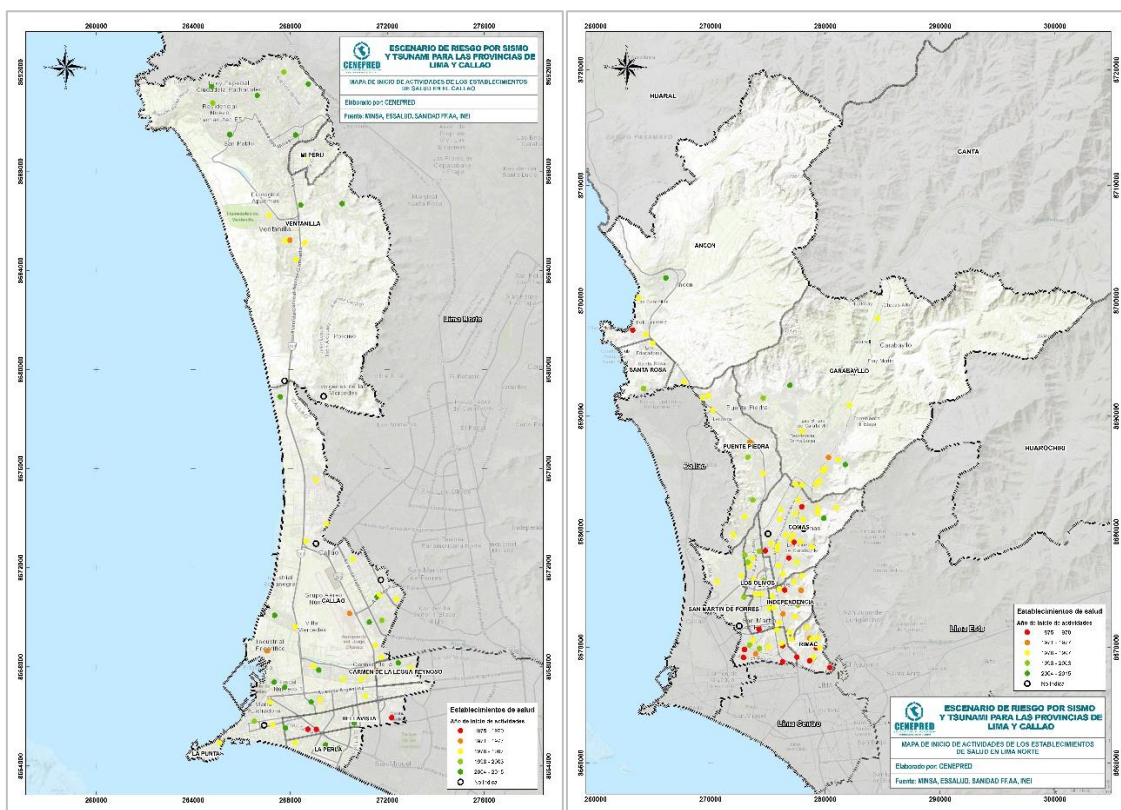
Tabla 46. Inicio de actividades de los establecimientos de salud en las provincias de Lima y Callao por sectores desde 1875 a 2015

Sectores	1875-1970	1971-1977	1978-1997	1998-2003	2004-2015	No indica	Total
Callao	3	4	25	4	20	5	61
Lima Norte	15	6	66	13	4	3	107
Lima Este	6	10	81	9	13	6	125
Lima Centro	35	4	17	4	6	0	66
Lima Sur	15	7	56	16	22	9	125
Total	74	31	245	46	65	23	484

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.

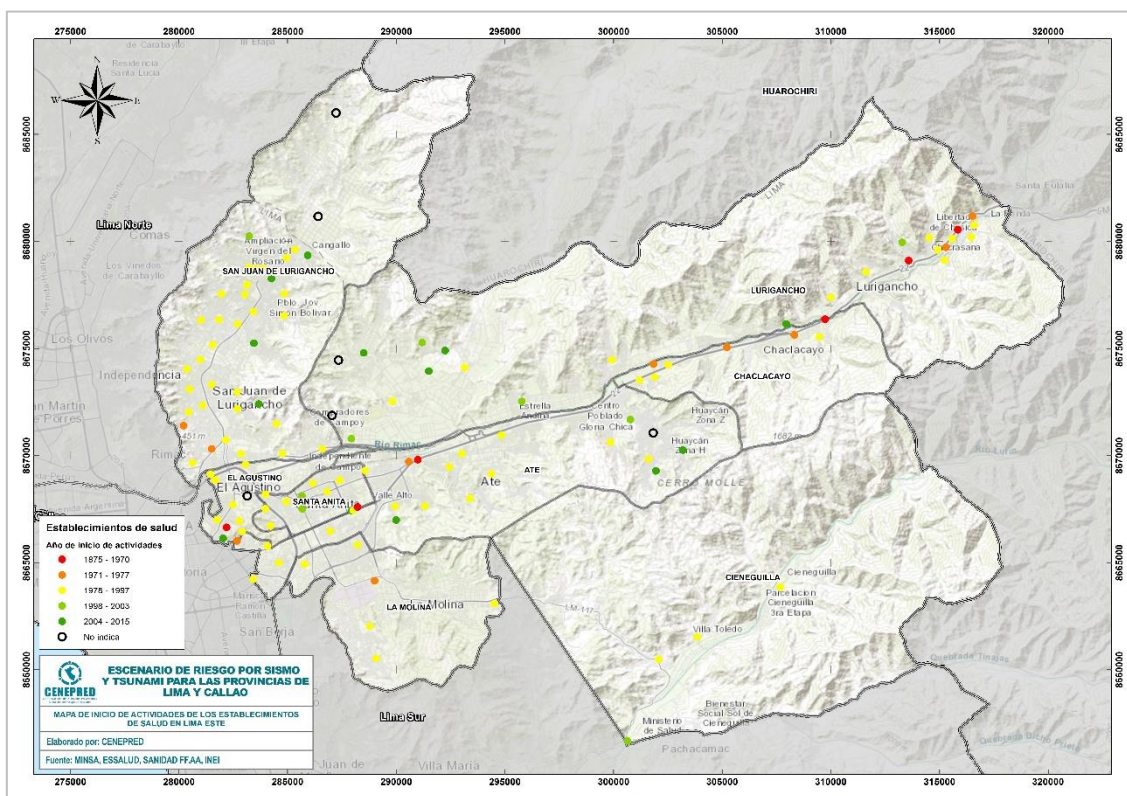


Figura 46. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.

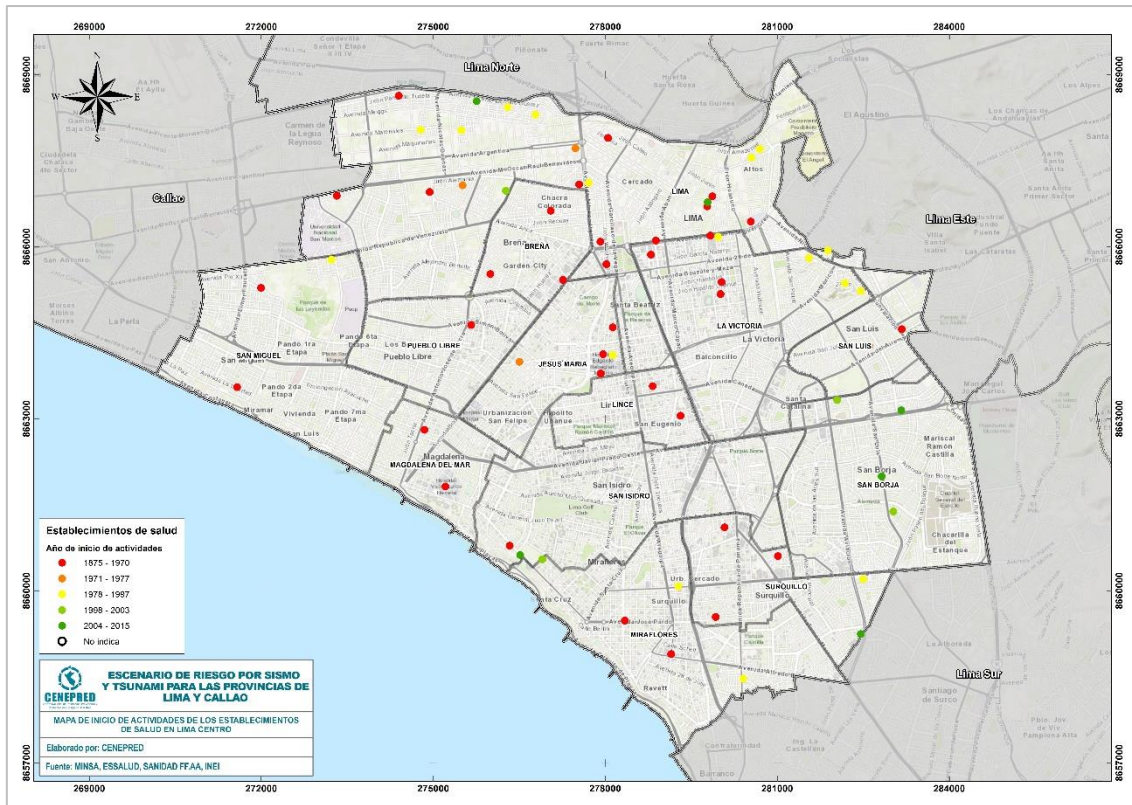
Figura 47. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.

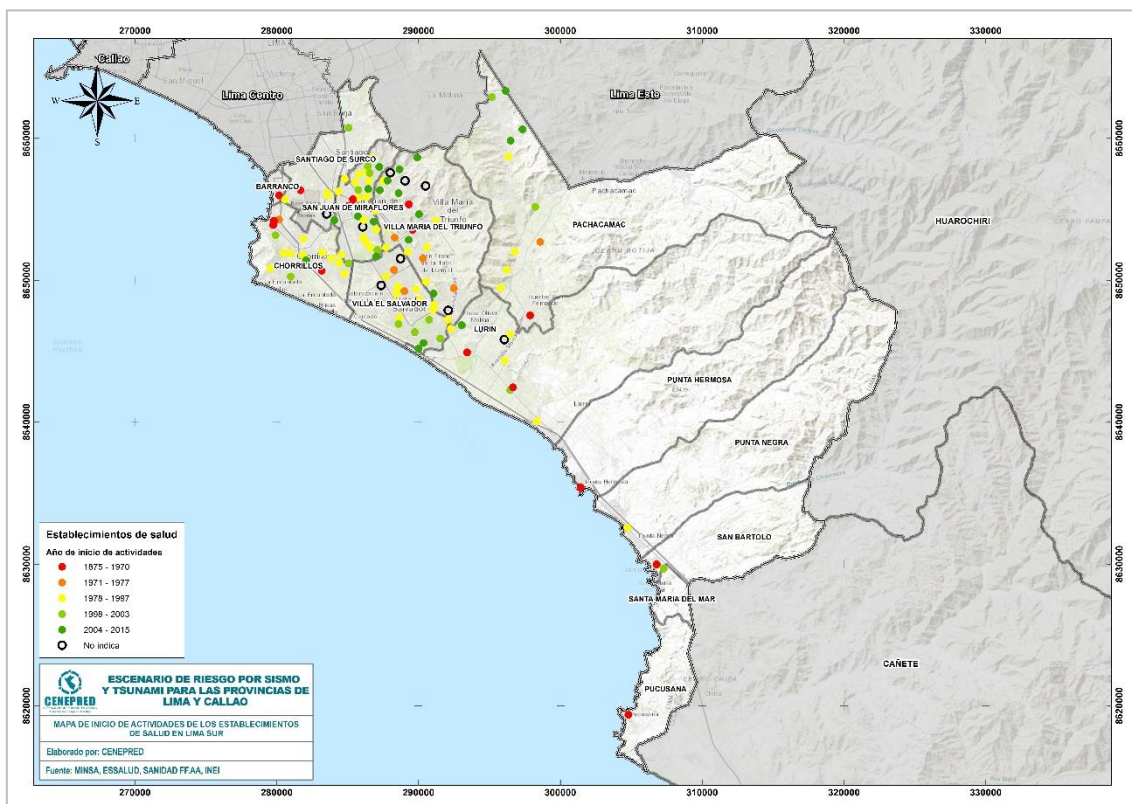


Figura 48. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.

Figura 49. Mapa de inicio de actividades en establecimientos de salud de Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.



### 9.1.2 Exposición por peligros concatenados al sismo

Con respecto a los resultados de exposición a peligros concatenados al sismo, ya sea por tsunami o geológicos, es importante tener presente que, no todos los establecimientos de salud tendrán un impacto homogéneo, sino que éste dependerá a su ubicación, antigüedad, fragilidad y conservación. Para el caso de tsunami, los establecimientos más afectados serían los que se encuentren más cercanos a la línea de costa porque amortiguarían la energía del impacto de éste; de la misma manera para la exposición ante peligros geológicos, los más afectados serían los que se encuentren en el ámbito principal del proceso geológico, donde la energía del movimiento en masa se manifieste con mayor intensidad (Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53).

Con respecto a los resultados de exposición por tsunami, Callao sería el sector con mayor número de establecimientos de salud expuestos con un total de catorce, seguido de Lima Sur con seis y Lima Norte con dos (Tabla 47). Asimismo, los resultados por exposición a peligros geológicos indican que, en Callao once establecimientos estarían expuestos a procesos de arenamiento y uno a hundimiento; en Lima Norte, seis estarían sobre ámbitos de arenamiento y cuatro en caída de rocas; finalmente, en Lima Sur, diez establecimientos estarían sobre zonas de arenamiento, cinco en caída de rocas y uno área de hundimiento (Tabla 48).

Tabla 47. Establecimientos de salud expuestas a tsunami

Sectores		Tsunami
		Elementos expuestos
		Establecimientos de salud
1	Callao	14
2	Lima Centro	0
3	Lima Este	0
4	Lima Norte	2
5	Lima Sur	6
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>22</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.

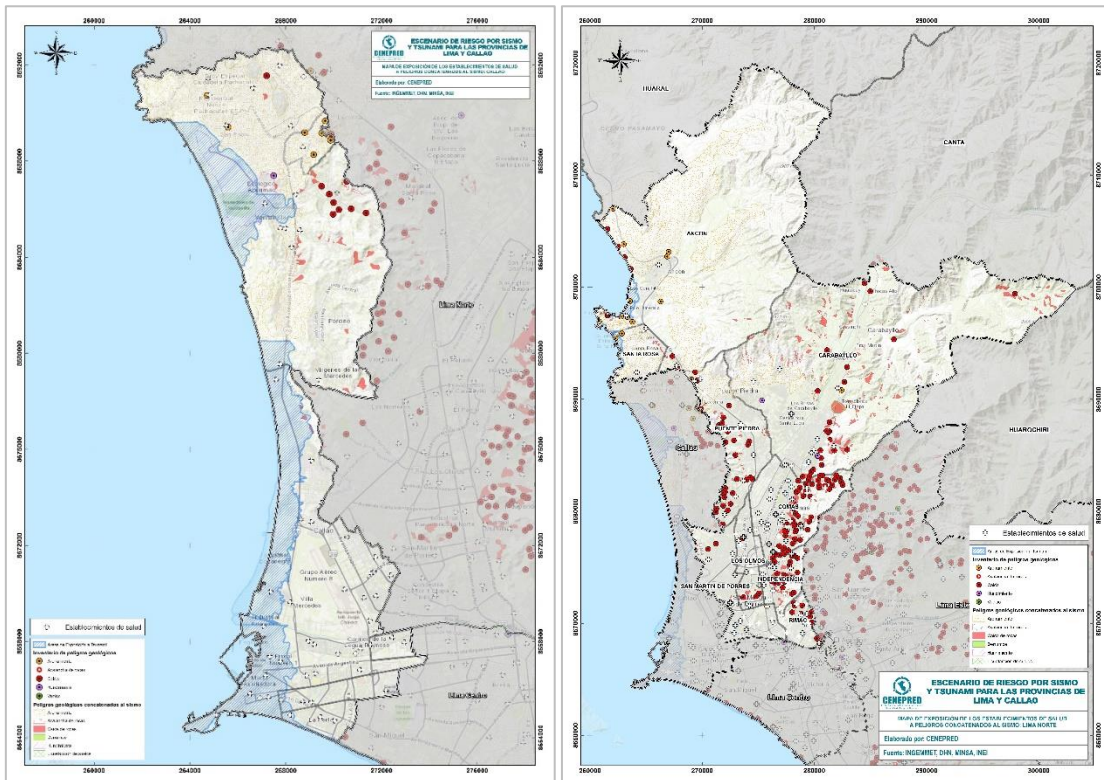
Tabla 48. Establecimientos de salud expuestas a peligros geológicos

Sectores		Procesos geológicos		
		Arenamiento	Caída de rocas	Hundimiento
		EE.SS.	EE.SS.	EE.SS.
1	Callao	11	0	1
2	Lima Centro	0	0	0
3	Lima Este	0	0	0
4	Lima Norte	6	4	0
5	Lima Sur	10	1	0
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>27</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del INGEMMET.

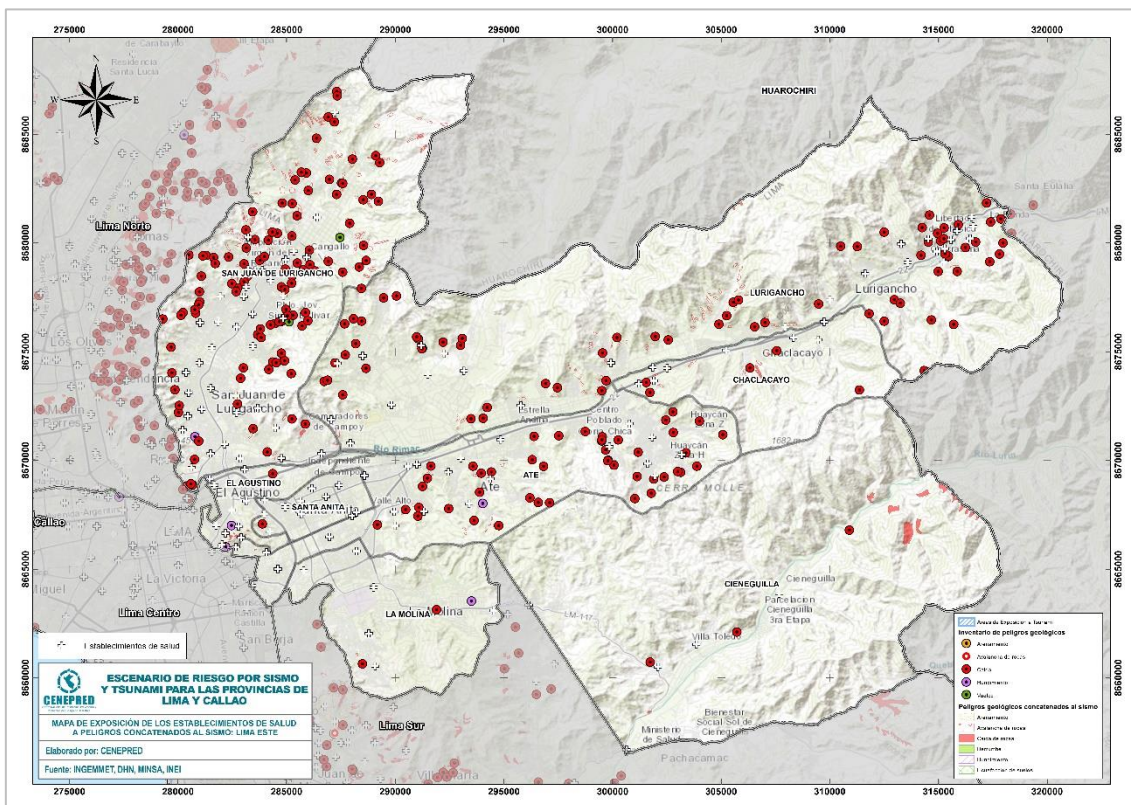


Figura 50. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSa, DHN e INGEMMET.

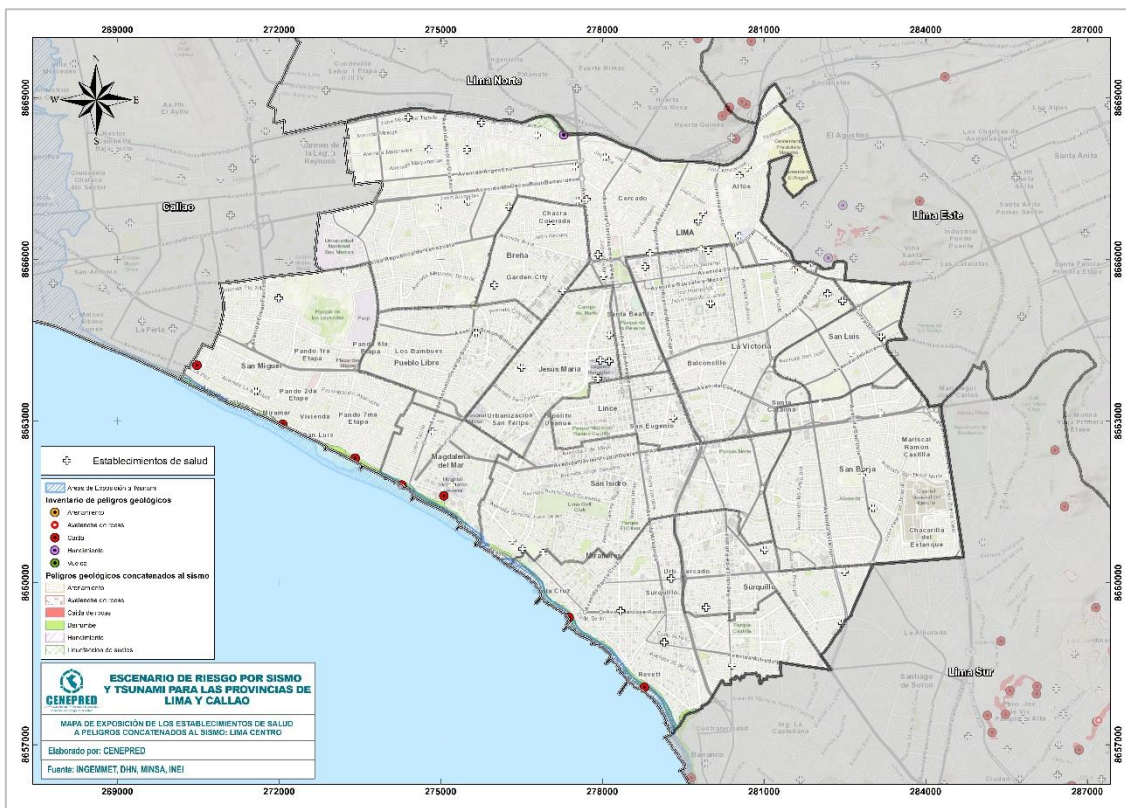
Figura 51. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSa y INGEMMET.

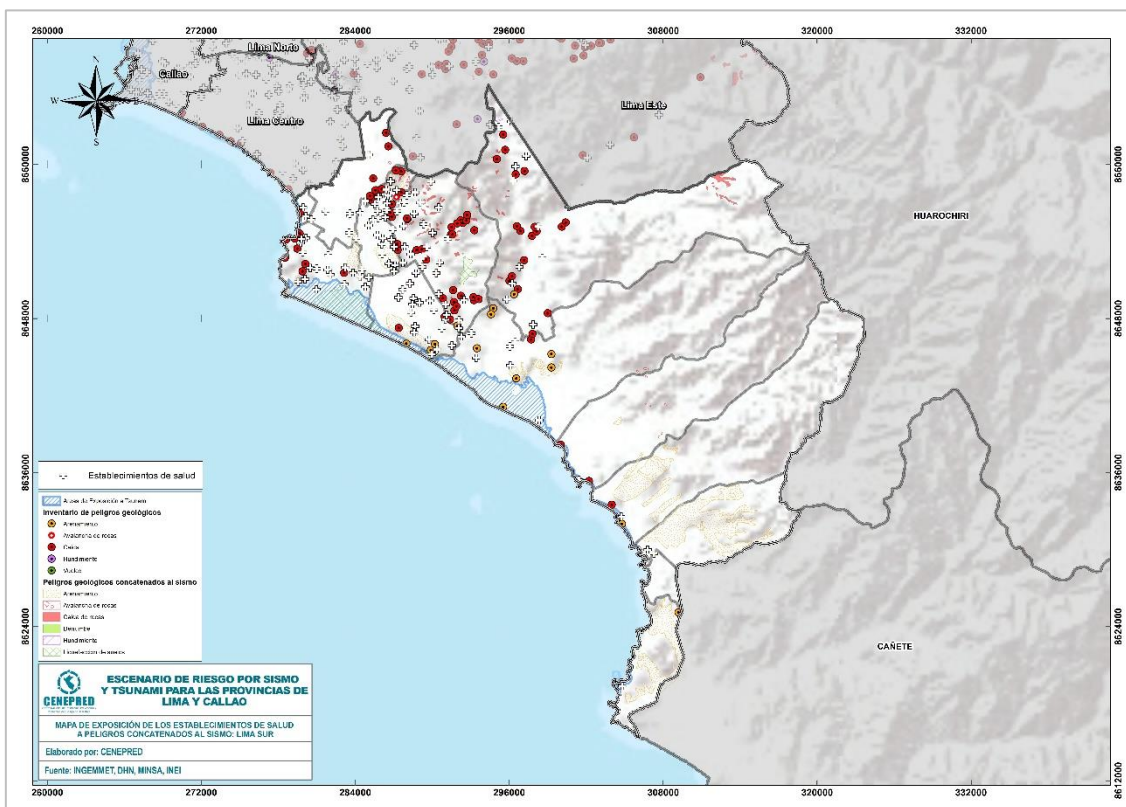


Figura 52. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA, DHN e INGENMET.

Figura 53. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA, DHN e INGENMET.

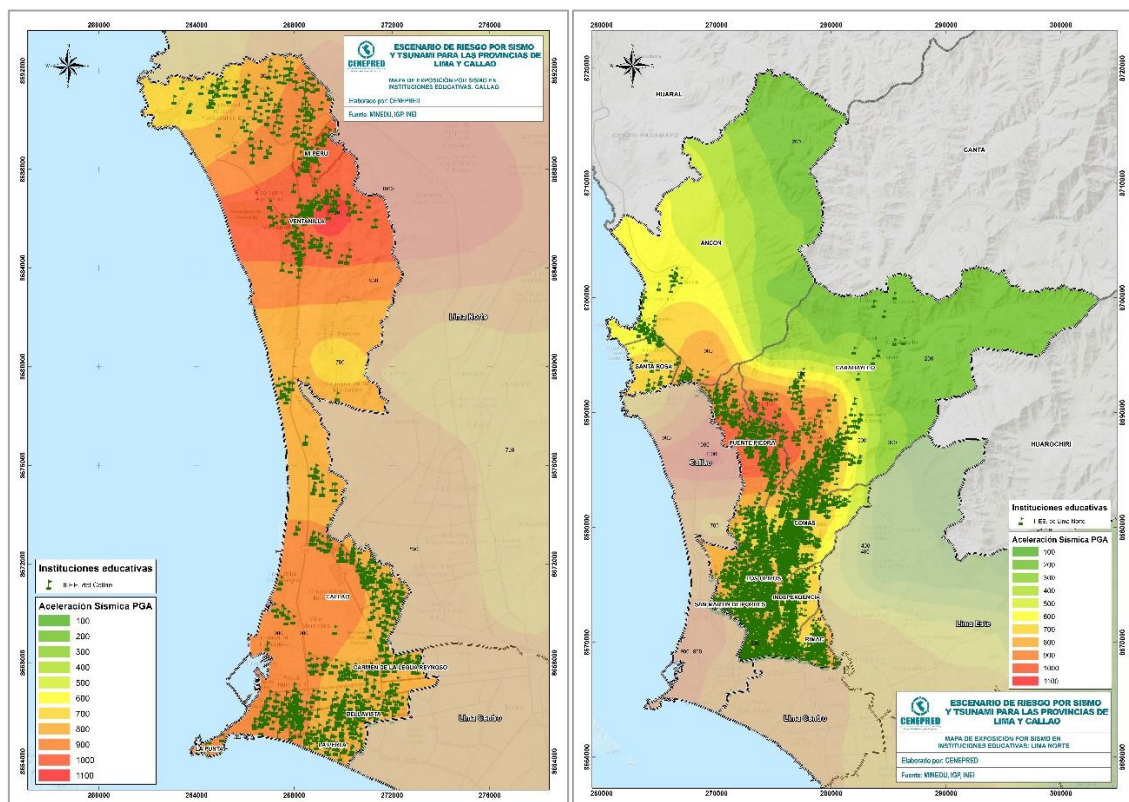


## 9.2 SECTOR EDUCACIÓN

### 9.2.1 Exposición por sismo

En el análisis de exposición en el sector educación, se tomó en consideración la ubicación de 8,899 instituciones educativas con relación al mapa de valores de aceleración PGA. Asimismo, es importante recordar que, de acuerdo con el mapa de susceptibilidad por sismo (Figura 12), todas las instituciones educativas que se ubiquen en ámbitos de 500 a 1100 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) se les considera con una exposición Muy Alta, de 300 a 400 cm/s<sup>2</sup> como Alta, de 200 cm/s<sup>2</sup> como Media y en 100 cm/s<sup>2</sup> como Baja (Figura 54, Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58, Tabla 49).

Figura 54. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.

Tabla 49. Exposición por sismo (aceleración) en instituciones educativas

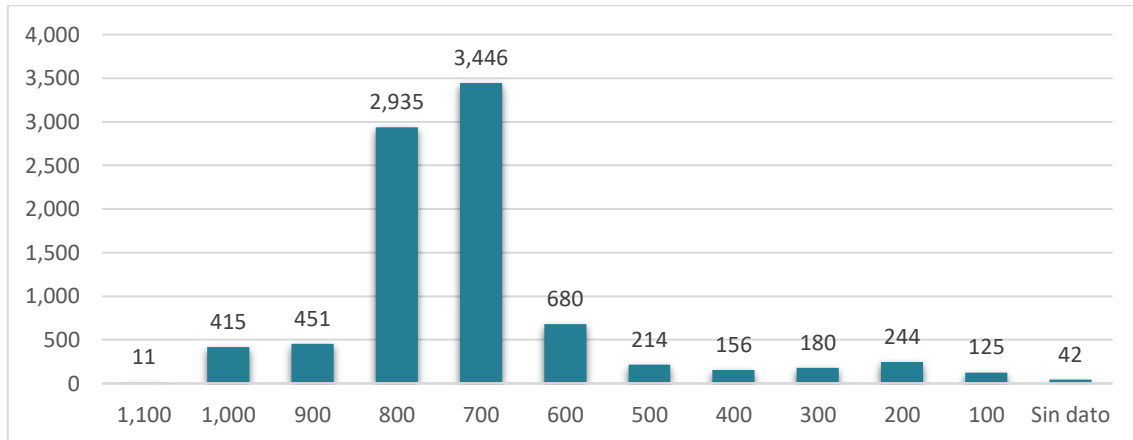
Sector	Aceleraciones sísmicas											
	1,100	1,000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	Sin dato
1 Callao	11	198	242	386	41	0	0	0	0	0	0	0
2 Lima Centro	0	0	0	1,169	208	0	0	0	0	0	0	0
3 Lima Este	0	0	0	105	741	442	178	147	172	238	125	1
4 Lima Norte	0	217	209	1,191	820	63	7	1	3	6	0	0
5 Lima Sur	0	0	0	84	1,636	175	29	8	5	0	0	41
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>11</b>	<b>415</b>	<b>451</b>	<b>2,935</b>	<b>3,446</b>	<b>680</b>	<b>214</b>	<b>156</b>	<b>180</b>	<b>244</b>	<b>125</b>	<b>42</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.



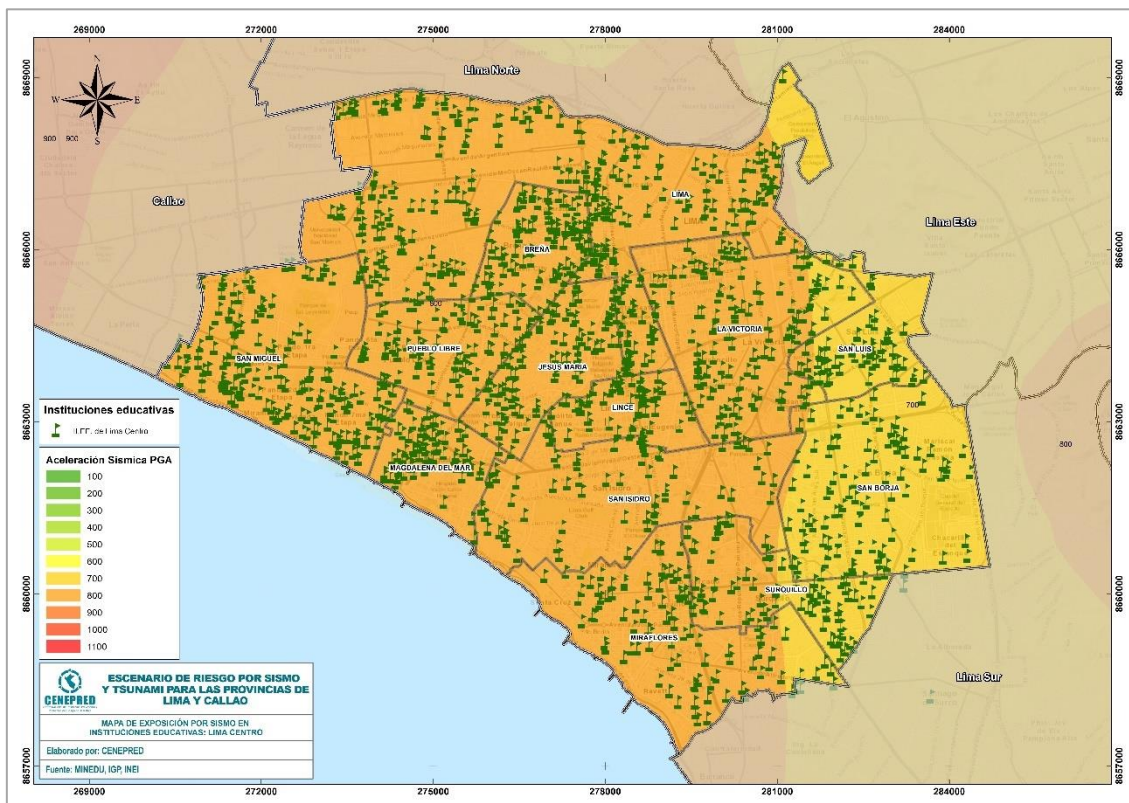
Es así como, se identifica que la gran parte de las instituciones educativas de Lima y Callao se localizan sobre ámbitos donde los niveles de aceleración sísmica alcanzarían los valores entre 700 y 800 cm/s<sup>2</sup>, es decir, contaría con una exposición Muy Alta frente a un probable sismo de 8.8 Mw (Figura 55). Por tal motivo, se recomienda al sector educación, tomar como criterio de intervención y priorización a todos los establecimientos que se encuentren localizados en los ámbitos por encima de los 500 cm/s<sup>2</sup> (aceleración).

Figura 55. Exposición por sismo (aceleración) en instituciones educativas



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.

Figura 56. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Centro

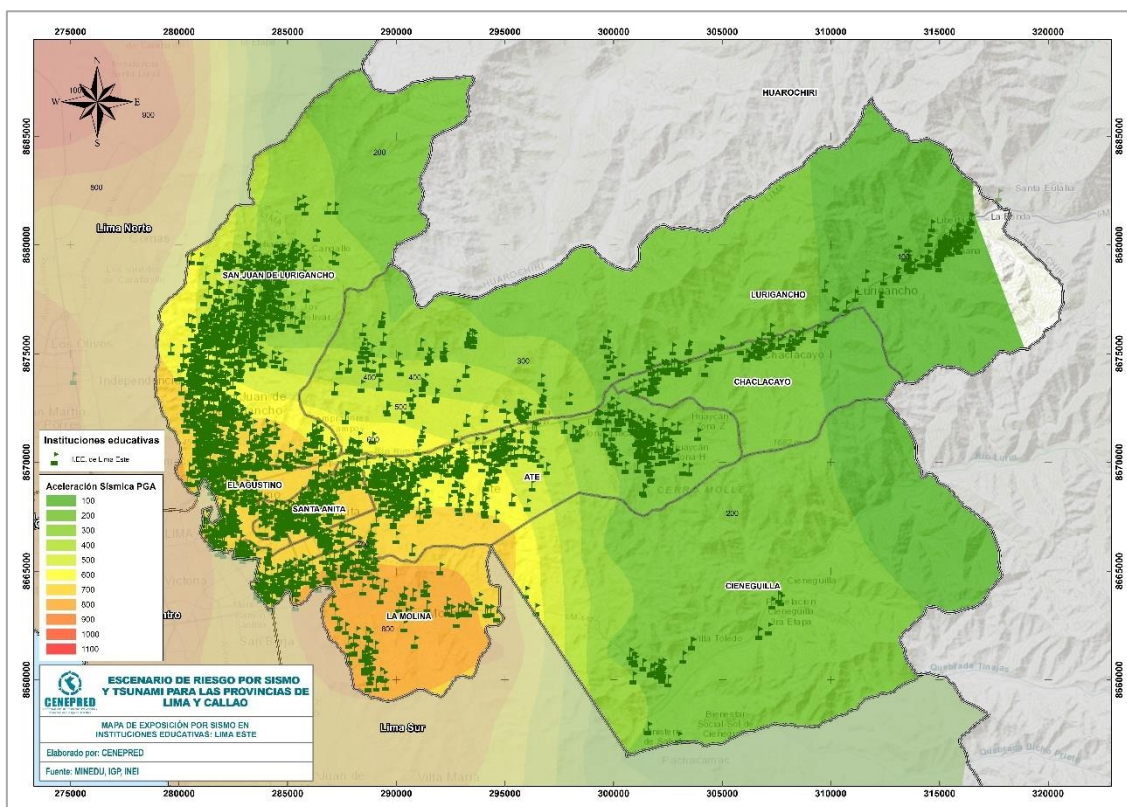


Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.



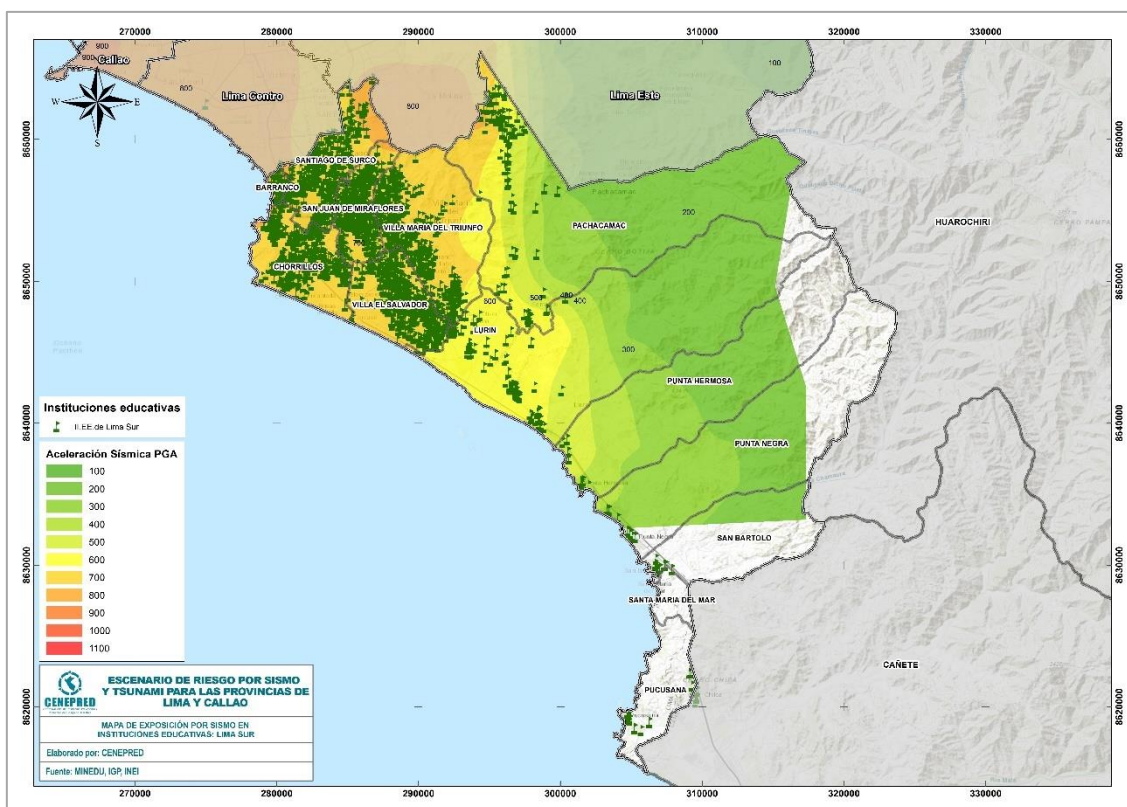


Figura 57. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.

Figura 58. Mapa de exposición por sismo en instituciones educativas de Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e IGP.



### 9.2.1.1 Fragilidad de las instituciones educativas

De acuerdo con las normativas de construcción y edificaciones desarrolladas en nuestro país, la primera de éstas entró en vigor en el año 1970, considerando el componente sismorresistente en las edificaciones de manera muy general. Posteriormente, el componente sismorresistente fue abordado con mayor profundidad y detallada para su inclusión en las siguientes actualizaciones de los años 1977, 1997, 2003 y 2016.

Por tal motivo, el presente escenario ha clasificado a las instituciones educativas de acuerdo con su año de término de sus edificaciones, siendo considerados con mayor fragilidad las edificaciones que culminaron su construcción antes de 1970 y con menor fragilidad a todos los establecimientos posteriores al 2003. Antes de mencionar los resultados de este análisis, es importante indicar que un colegio puede estar conformado por más de una edificación, por tal motivo se analizó 13,919 edificaciones que conforman 8,899 instituciones educativas (Tabla 50).

Tabla 50. Año de culminación de edificaciones de instituciones educativas

Sector	Sector	Nivel de fragilidad					Sin dato
		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	
		1859-1970	1971-1977	1978-1997	1998-2003	2004-2019	
1	Callao	161	60	423	166	614	0
2	Lima Centro	417	99	509	157	397	2
3	Lima Este	121	79	1,284	506	1,253	9
4	Lima Norte	279	153	1,415	500	1,565	4
5	Lima Sur	216	250	1,305	393	1,581	1
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>1,194</b>	<b>641</b>	<b>4,936</b>	<b>1,722</b>	<b>5,410</b>	<b>16</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU.

### 9.2.2 Exposición por peligros concatenados al sismo

Asimismo, se ha contabilizado a las instituciones educativas, cantidad de estudiantes y docentes que se encontrarían expuestos ante peligros concatenados al probable sismo, tales como tsunami y peligros geológicos (arenamiento, avalancha de rocas, caída de rocas, licuación de suelos y hundimientos), esta información fue organizada por sectores para un mejor análisis espacial (Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62).

Asimismo, es importante tener presente que, no todas las instituciones educativas tendrán un impacto homogéneo, sino que éste dependerá a su ubicación, antigüedad, fragilidad y conservación. Para el caso de tsunami, las instituciones más afectadas serían las que se encuentren más cercanas a la línea de costa porque amortiguarían de la energía del impacto de éste; de la misma manera para la exposición ante peligros geológicos, las más afectadas serían las que se encuentren en el ámbito principal del proceso geológico, donde la energía del movimiento en masa se manifieste con mayor intensidad.

Tabla 51. Instituciones educativas expuestas a peligros geológicos 1/2

Sector	Sector	Procesos geológicos								
		Arenamiento			Avalancha de rocas			Caída de rocas		
		Colegios	Estudiantes	Docentes	Colegios	Estudiantes	Docentes	Colegios	Estudiantes	Docentes
1	Callao	182	63,463	2,779	0	0	0	2	220	29
2	Lima Centro	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Lima Este	0	0	0	2	87	3	0	0	0
4	Lima Norte	109	28,567	1,296	1	96	10	60	15,405	784
5	Lima Sur	70	15,146	733	1	152	20	2	519	41
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>361</b>	<b>107,176</b>	<b>4,808</b>	<b>4</b>	<b>335</b>	<b>33</b>	<b>64</b>	<b>16,144</b>	<b>854</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e INGEMMET.



Tabla 52. Instituciones educativas expuestas a peligros geológicos 2/2

Sector	Sector	Procesos geológicos					
		Licuefacción de suelos			Hundimiento		
		Colegios	Estudiantes	Docentes	Colegios	Estudiantes	Docentes
1	Callao	0	0	0	2	848	25
2	Lima Centro	3	1,135	50	0	0	0
3	Lima Este	0	0	0	0	0	0
4	Lima Norte	7	2,150	69	0	0	0
5	Lima Sur	11	5,734	287	1	299	28
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>21</b>	<b>9,019</b>	<b>406</b>	<b>3</b>	<b>1,147</b>	<b>53</b>

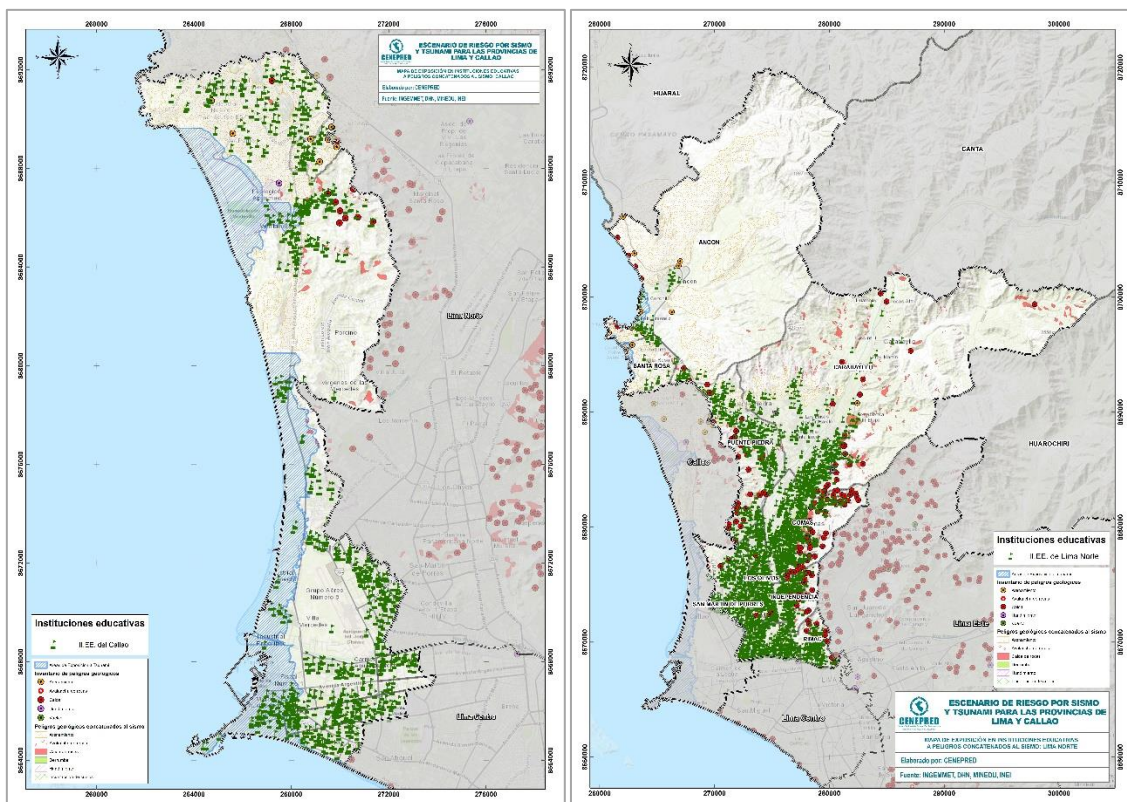
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e INGEMMET.

Tabla 53. Instituciones educativas expuesta a tsunami

Sector	Sector	Tsunami		
		Elementos expuestos		
		Colegios	Estudiantes	Docentes
1	Callao	140	36416	1799
2	Lima Centro	0	0	0
3	Lima Este	0	0	0
4	Lima Norte	16	3349	183
5	Lima Sur	111	34091	1683
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>267</b>	<b>73,856</b>	<b>3,665</b>

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU y DHN.

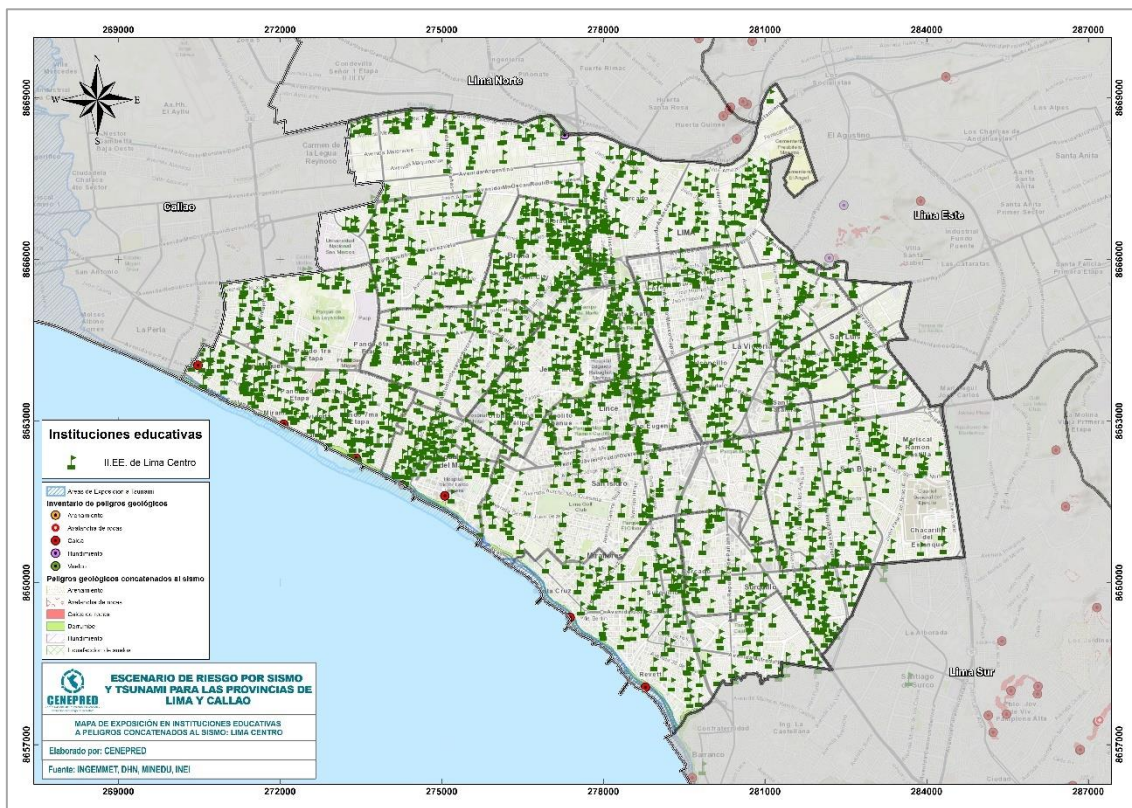
Figura 59. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU, DHN e INGEMMET.

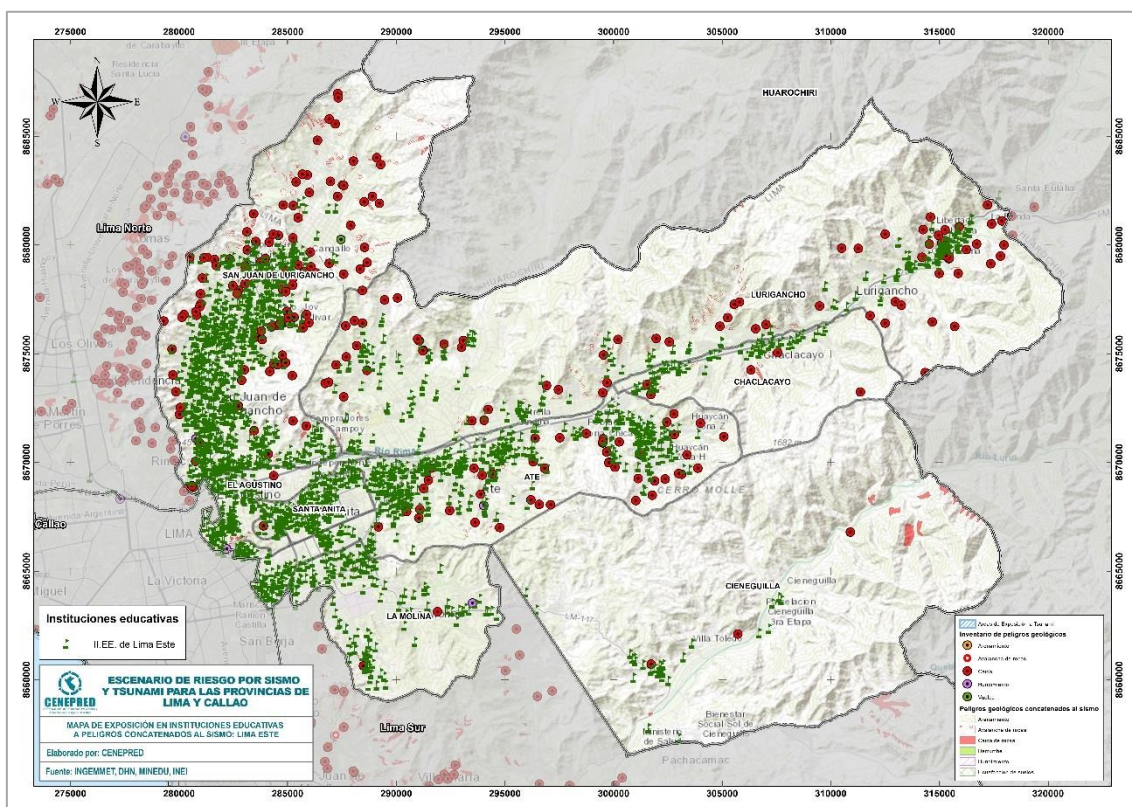


Figura 60. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU, DHN e INGEMMET.

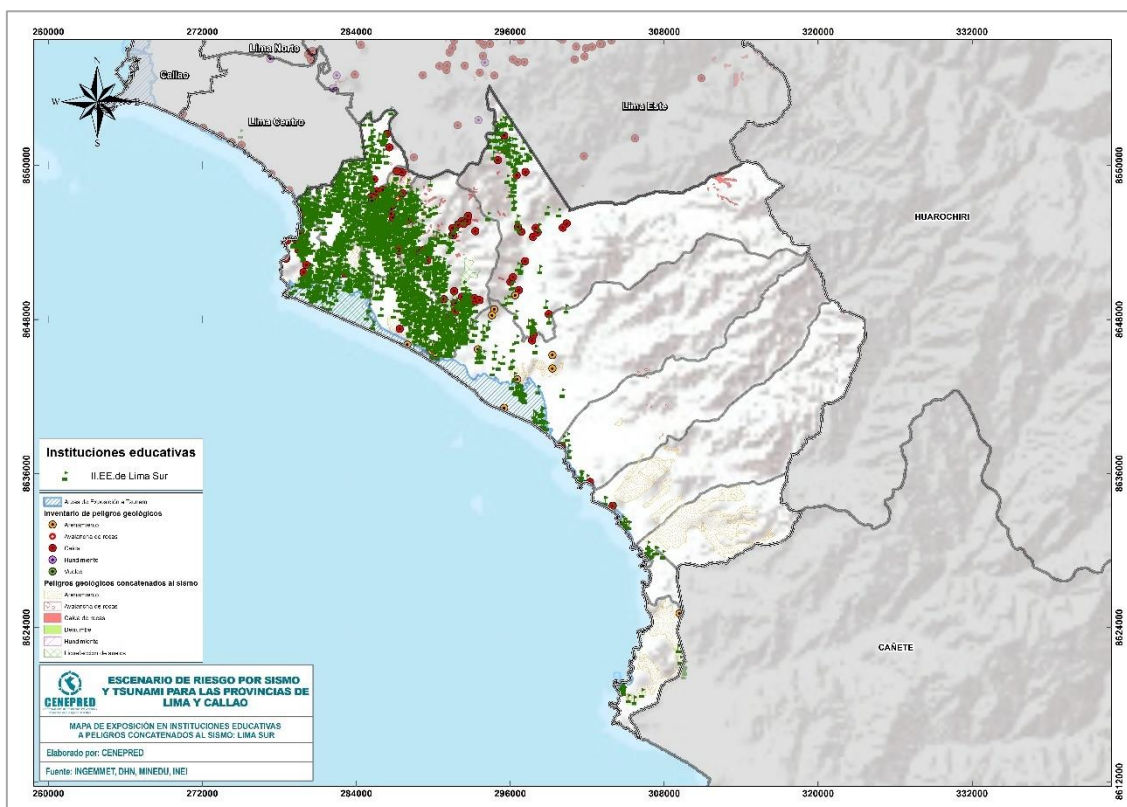
Figura 61. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU e INGEMMET.



Figura 62. Exposición a peligros concatenados al probable sismo en Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINEDU, DHN e INGEMMET.



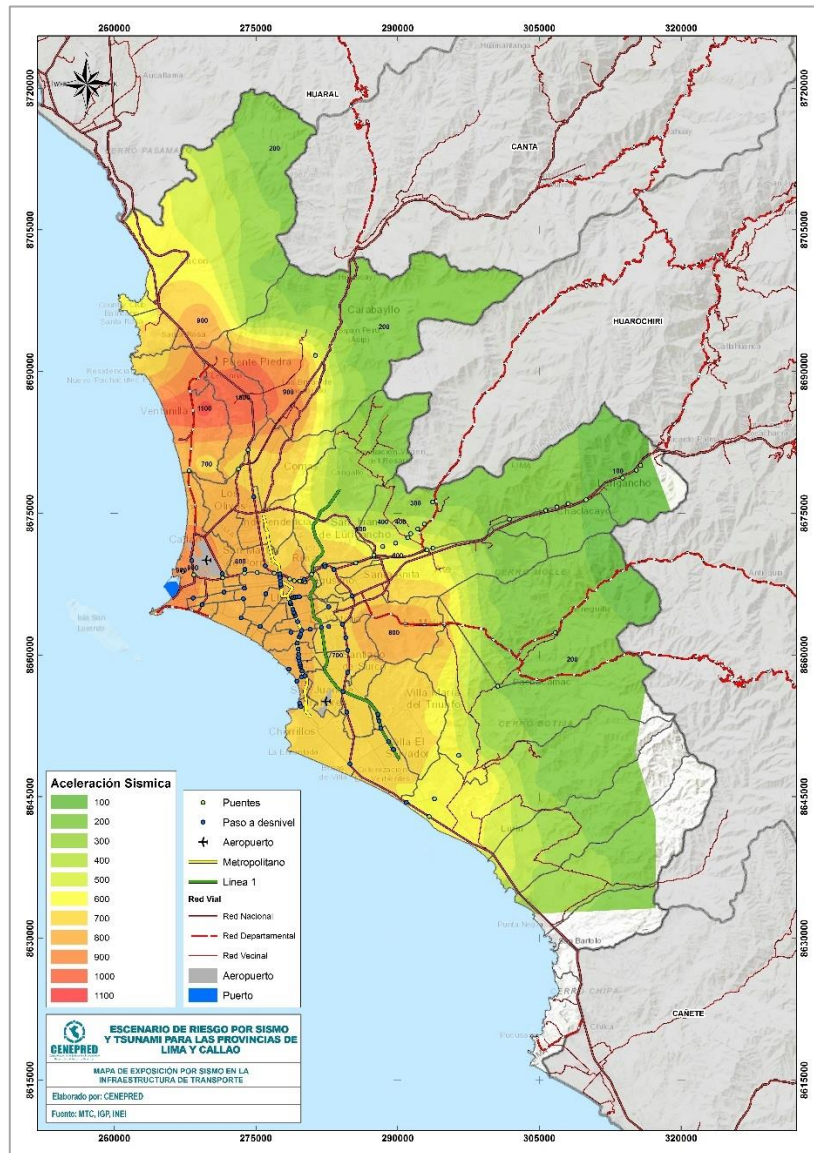
### 9.3 SECTOR TRANSPORTES

#### 9.3.1 Exposición por sismo

En el análisis de exposición en las infraestructuras y redes de transporte de Lima y Callao, se tomó en consideración la ubicación de éstas con respecto al mapa de valores de aceleración PGA. Asimismo, es importante recordar que, de acuerdo con el mapa de susceptibilidad por sismo (Figura 12), todos los elementos expuestos que se ubiquen en ámbitos de 500 a 1100 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) se les considera con una exposición Muy Alta, de 300 a 400 cm/s<sup>2</sup> como Alta, de 200 cm/s<sup>2</sup> como Media y en 100 cm/s<sup>2</sup> como Baja (Figura 63).

Es importante mencionar que la infraestructura y redes de transporte esenciales como la red del Metro de Lima o la vía exclusiva del Metropolitano se encuentran preparadas para eventos sísmicos extraordinarios; sin embargo, las principales dificultades que éstas tendrían para reanudar sus actividades sería el colapso de alguna infraestructura colindante que llegué a afectar o interrumpir la red, por ejemplo, la caída de un puente o paso a desnivel.

Figura 63. Mapa de exposición por sismo en infraestructura y redes de transporte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC e IGP.

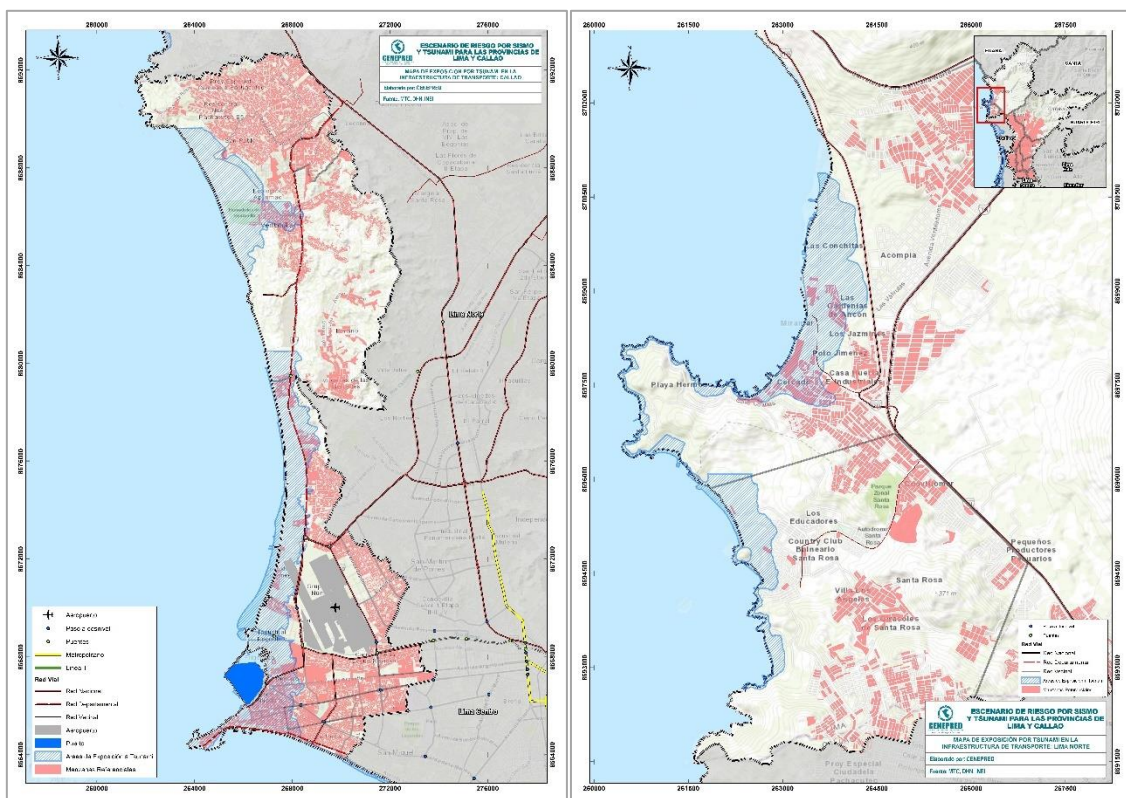


Con respecto a las vías nacionales como la Carretera Central, Panamericana Norte y Panamericana Sur, estas se encuentran concesionadas y, de llegar a ocurrir un evento sísmico que pueda afectarlas, las empresas concesionarias tendrían que rehabilitar los tramos de las vías afectas durante las primeras 48 horas, mediante el uso de sus recursos presupuestados para estos casos. Además, si la afectación supera los recursos económicos de contingencia, las empresas concesionarias pueden hacer uso de un fideicomiso, mediante el cual, el Ministerio de Transporte y Comunicación liberaría los recursos económicos que se requieran para reanudar el funcionamiento de red nacional. Con respecto a los probables impactos o interrupción de vías dentro del ámbito urbano, su rehabilitación estaría a cargo de los gobiernos locales (provinciales y distritales) de la ciudad.

### 9.3.2 Exposición por tsunami

En Lima Norte, el área de inundación por tsunami no llegaría a afectar el trazo de la red nacional (Panamericana Norte) ni el Serpentín de Pasamayo. En el Callao, el área de inundación estaría llegando hasta la carretera Néstor Gambeta en el distrito de Ventanilla, así como el ala norte de la pista número dos del aeropuerto Jorge Chávez (actualmente en proceso de expansión). Además, detendría todas las actividades relacionadas al puerto, ya que éste sería fuertemente impactado. En Lima Centro, la vía afecta sería el Circuito de playas de la Costanera. Finalmente, en Lima Sur, la inundación llegaría a tener efectos negativos sobre la red de la Panamericana Sur y Antigua Panamericana Sur, entre los distritos de Villa El Salvador, Lurín y Pachacamac (Figura 64, Figura 65, Figura 66).

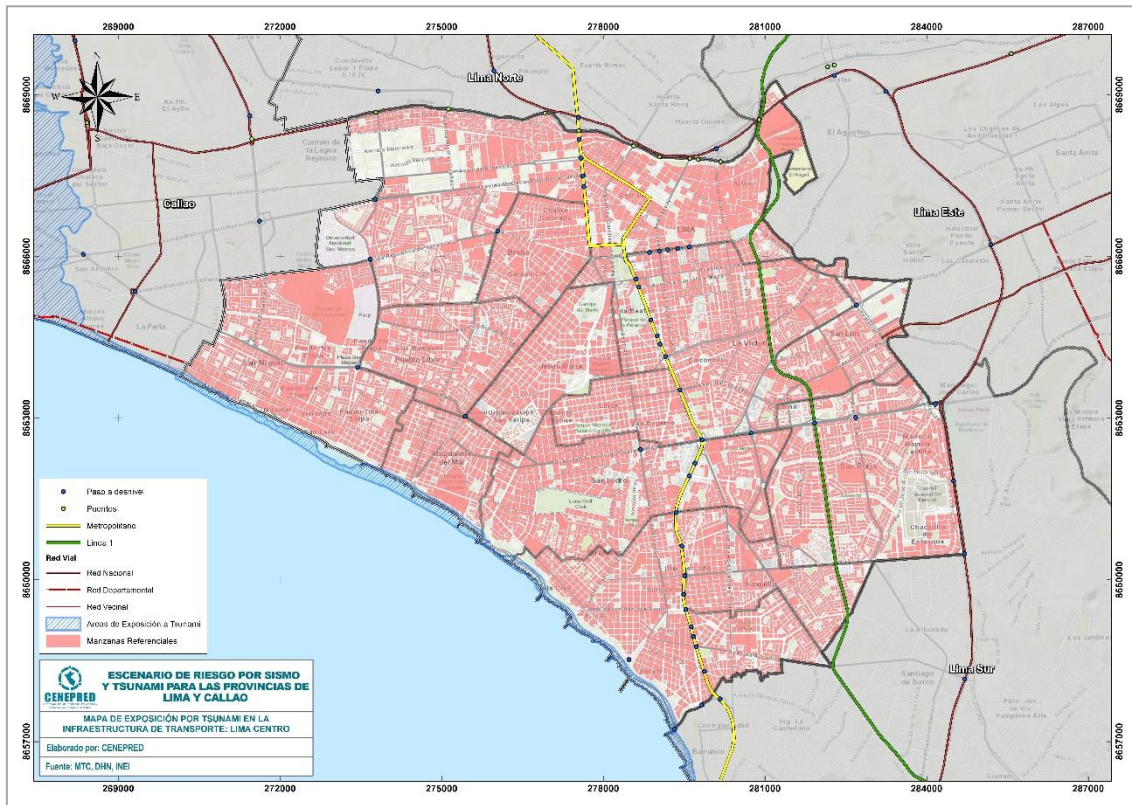
Figura 64. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC y DHN.

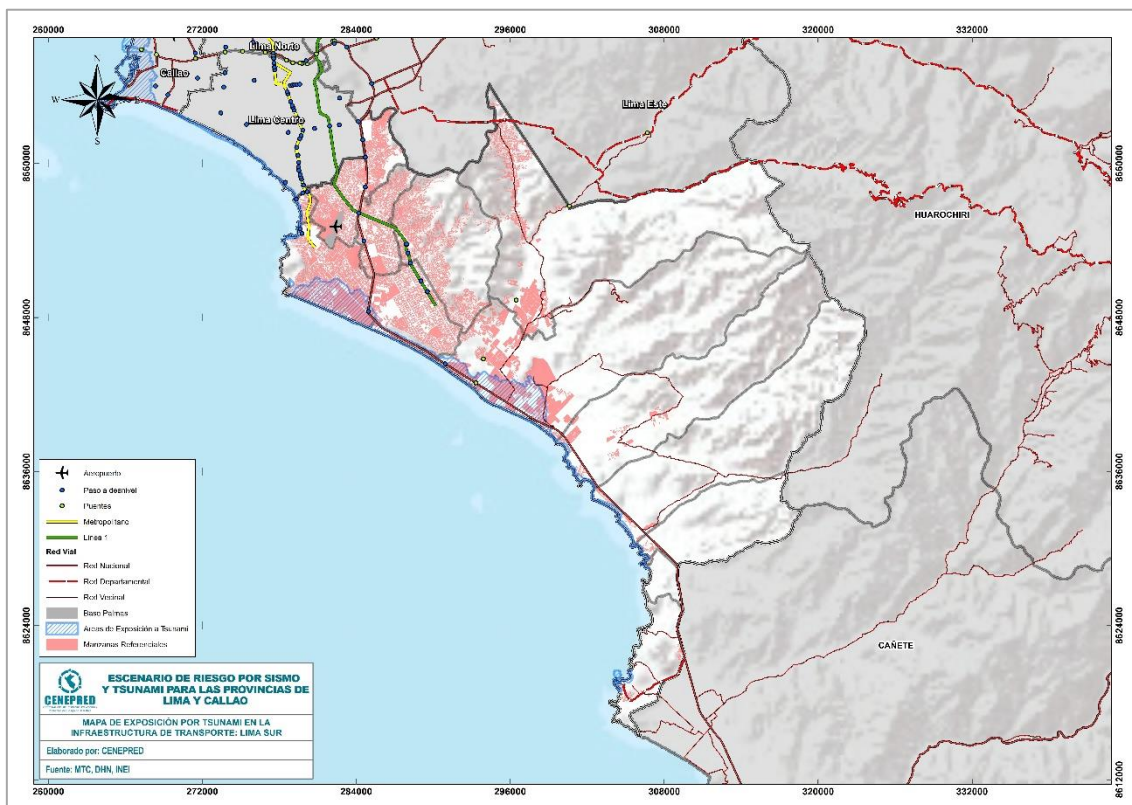


Figura 65. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC y DHN.

Figura 66. Mapa de exposición por tsunami en infraestructura y redes de transporte de Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC y DHN.

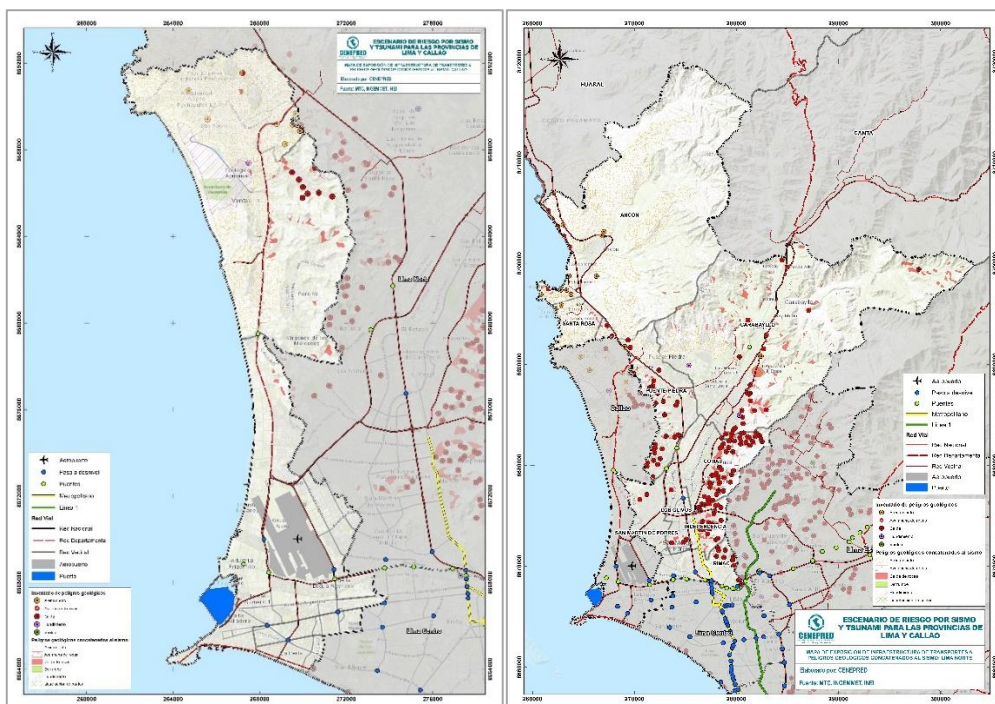




### 9.3.3 Exposición por peligros geológicos

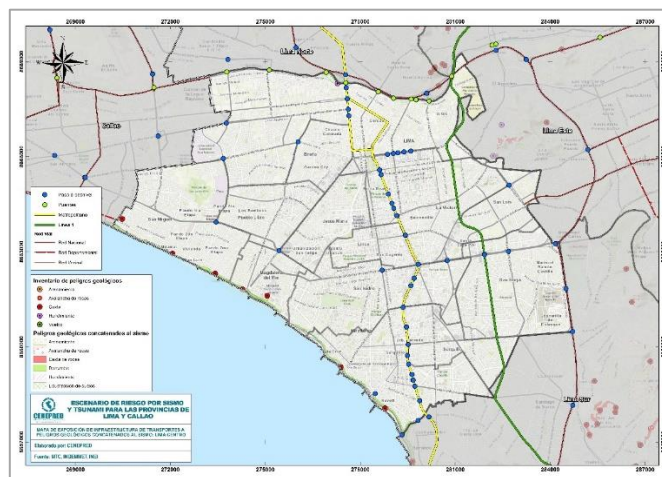
En el Callao, se identifica que parte del transepto de la carretera Néstor Gambeta que cruza el distrito de Ventanilla, se encuentra sobre áreas de arenamiento. En el caso de Lima Norte, se identifica algunos tramos de la carretera Tupac Amaru que podrían ser afectados por procesos de caídas en el distrito de Carabaylo, pudiendo generar interrupción con la provincia de Canta. Además, se logra reconocer que el trazo de la Panamericana Norte en el distrito de Ancón superpone áreas de arenamiento. En Lima Centro, la vía afecta sería el Circuito de playas de la Costanera debido a los procesos de derrumbes y caídas que ocurrirían a lo largo de los acantilados de la Costa Verde. En Lima Este, la carrera Central sería afectada o interrumpida por caídas de rocas en el distrito de Lurigancho-Chosica. Finalmente, en Lima Sur, el recorrido de la Panamericana Sur atraviesa zonas de licuación de suelos en Chorrillos y arenamiento en Villa El Salvador y Pucusana (Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70).

Figura 67. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC e INGEMMET.

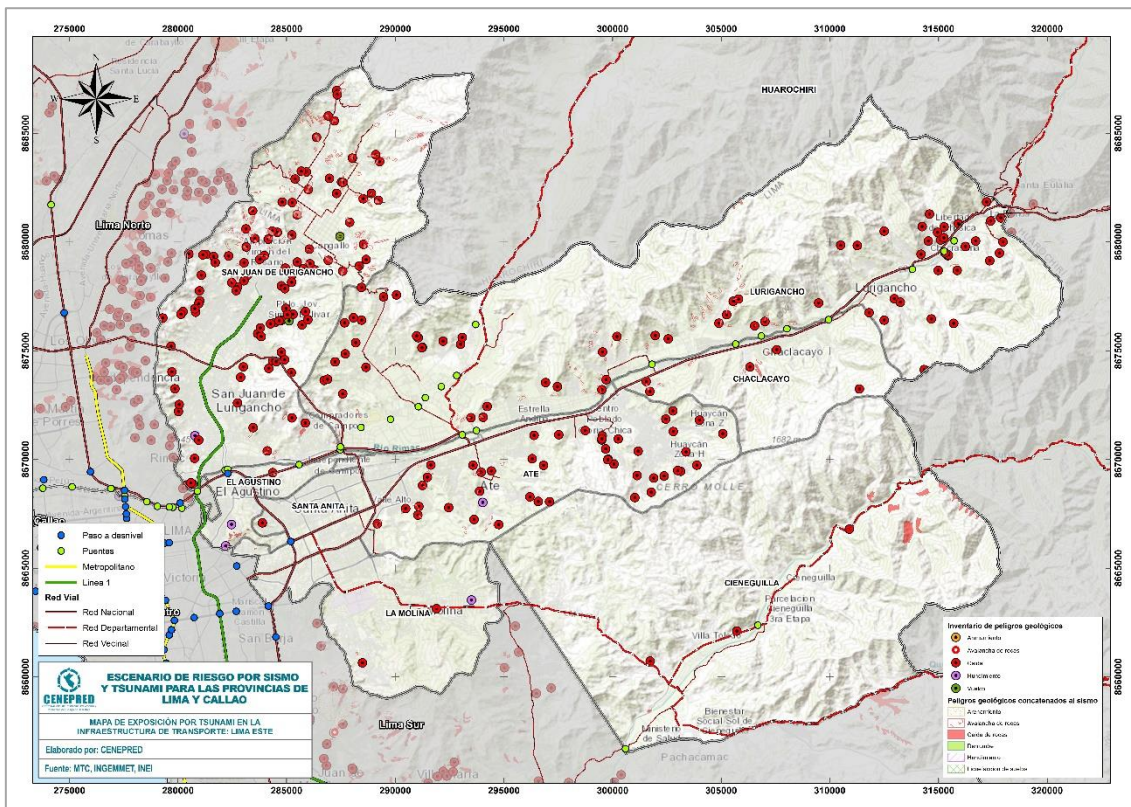
Figura 68. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC e INGEMMET.

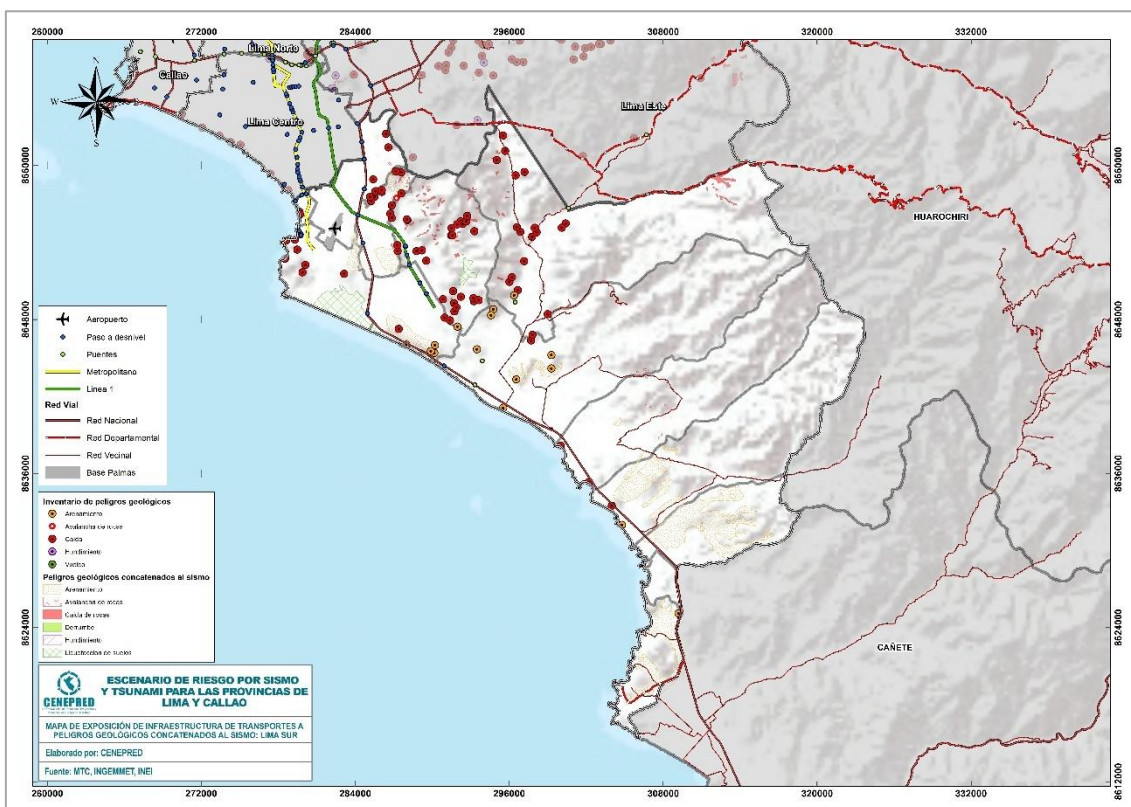


Figura 69. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC e INGEMMET.

Figura 70. Mapa de exposición por peligros geológicos en infraestructura y redes de transporte de Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC e INGEMMET.

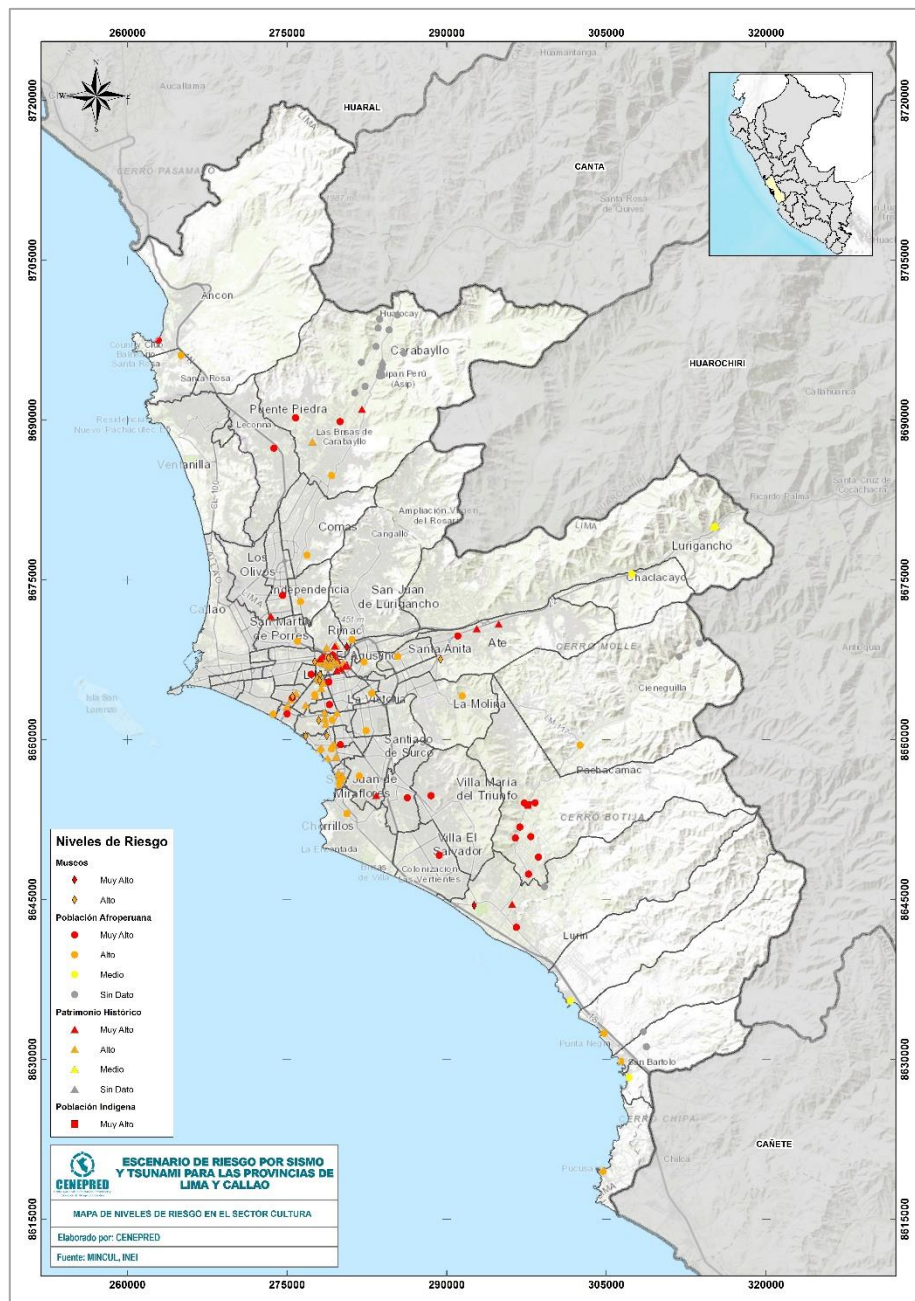


## 9.4 SECTOR CULTURA

### 9.4.1 Riesgo sísmico

Para obtener el nivel de riesgo entre los elementos analizados del sector Cultura, se superpuso la ubicación de poblaciones indígenas, población afroperuana, patrimonio histórico y museos sobre el ámbito de manzanas con evaluación de riesgo sísmico del escenario y se le otorgó su valor correspondiente. Con respecto a población indígena, según la base del MINCUL solo hay una población con esta clasificación y su nivel de riesgo es de Muy Alto. Con respecto a los resultados de población afroperuana, de un total de 71 localizadas en el área de estudio, 25 cuentan con nivel de riesgo Muy Alto, 23 con Alto, 4 con Medio y 19 sin datos por localizarse fuera del entorno urbano (Figura 71); mientras que, los niveles de riesgo del patrimonio histórico y museos se ofrece la Tabla 54 y Tabla 55 respectivamente.

Figura 71. Nivel de riesgo en elementos expuestos del sector Cultura



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINCUL.



Tabla 54. Nivel de riesgo por sismo en patrimonio histórico

Nivel de Riesgo		Muy Alto	Alto	Medio	S/N
DISTRITOS		Elementos expuestos			
		P. Historico	P. Historico	P. Historico	P. Historico
1	ATE	2	0	0	0
2	BARRANCO	0	12	0	0
3	CARABAYLLO	1	1	0	1
4	JESUS MARIA	0	2	0	0
5	LIMA	12	59	0	0
6	LOS OLIVOS	1	0	0	0
7	LURIGANCHO	0	1	2	0
8	LURIN	1	0	0	0
9	MAGDALENA DEL MAR	0	1	0	0
10	MIRAFLORES	0	7	0	0
11	PUEBLO LIBRE	0	3	0	0
12	RIMAC	1	3	0	0
13	SAN ISIDRO	0	3	0	0
14	SANTIAGO DE SURCO	1	0	0	0
TOTAL GENERAL		19	92	2	1

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINCUL.

Tabla 55. Nivel de riesgo por sismo en museos

Nivel de Riesgo		Muy Alto	Alto
DISTRITOS		Elementos expuestos	
		Cant. Museos	Cant. Museos
1	ATE	0	1
2	LIMA	0	6
3	LURIN	1	0
4	PUEBLO LIBRE	0	1
5	MIRAFLORES	0	2
6	SAN ISIDRO	0	1
7	SAN JUAN DE LURIGANCHO	1	0
TOTAL GENERAL		2	11

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINCUL.

#### 9.4.2 Exposición por sismo

Para analizar la exposición, se tomó en consideración la ubicación de las áreas arqueológicas con relación al mapa de valores de aceleración PGA y, de acuerdo con el mapa de susceptibilidad por sismo (Figura 12) se le otorgó su nivel de exposición a estos elementos, los cuales se muestran mediante porcentajes (ámbitos de 500 a 1100 cm/s<sup>2</sup> (aceleración) se les considera con una exposición Muy Alta, de 300 a 400 cm/s<sup>2</sup> como Alta, de 200 cm/s<sup>2</sup> como Media y en 100 cm/s<sup>2</sup> como Baja) (Tabla 56, Figura 72).

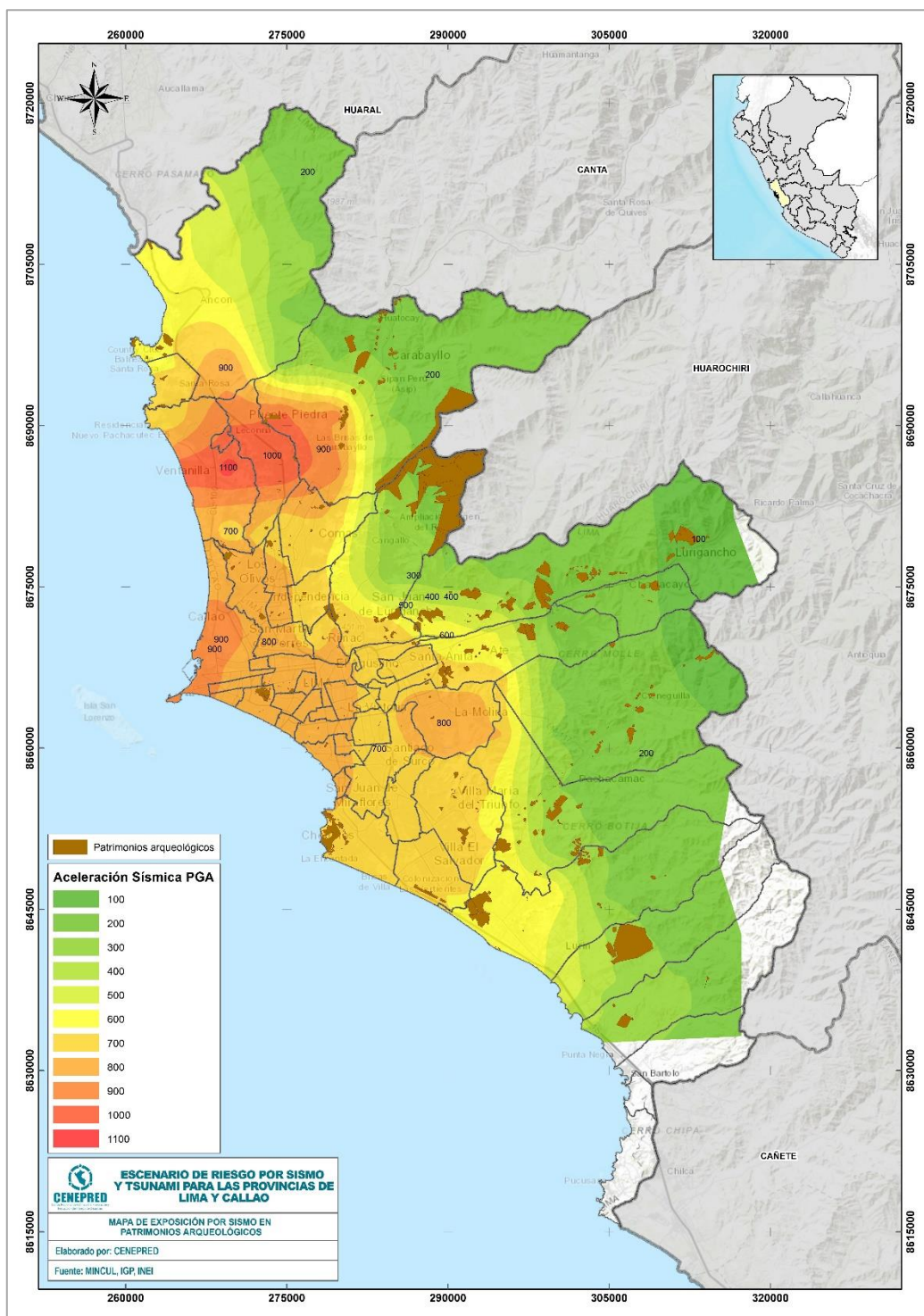
Tabla 56. Exposición por sismo en áreas arqueológicas (%)

Nivel de exposición		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
		%Area P.A.	%Area P.A.	%Area P.A.	%Area P.A.
1	P. Arqueologicos	54.49	25.49	17.60	2.43

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINCUL.



Figura 72. Exposición por sismo en áreas arqueológicas



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINCUL.



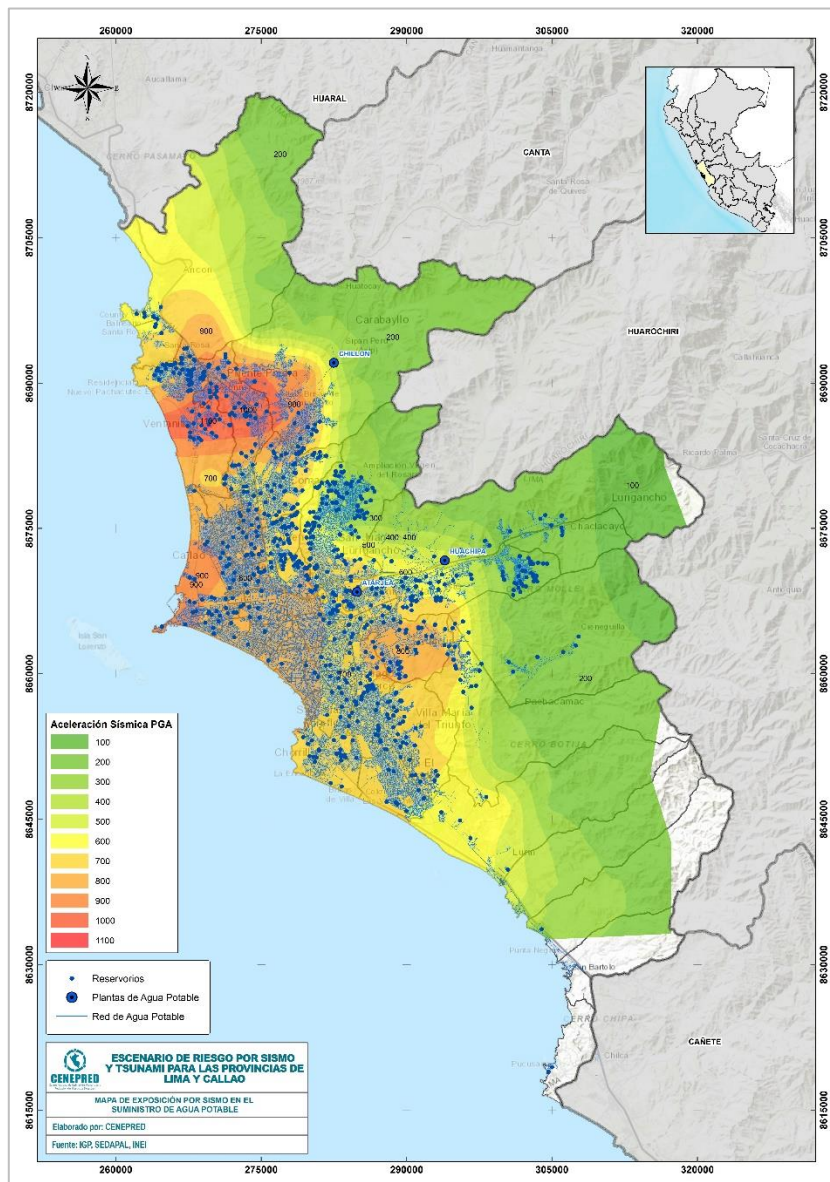
## 9.5 SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

### 9.5.1 Red de suministro de agua potable: exposición por sismo

Ante la ocurrencia de un evento 8.8 Mw, en las provincias de Lima y Callao, los especialistas de SEDAPAL han realizado estimados (muy gruesos) de los probables impactos que podrían generarse en sus redes e infraestructuras para el suministro de agua potable y alcantarillado. Con respecto a los probables impactos en el suministro de agua potable, SEDAPAL estima que se perdería el 50% de la planta Atarjea, la cual está conformado por dos plantas la 1 y 2, y debido a su antigüedad se cree que se dañaría la planta 1, la cual genera 7.5 m<sup>2</sup>/s y sólo quedaría en funcionamiento la planta 2, la cual genera 10 m<sup>2</sup>/s.

Asimismo, los especialistas de SEDAPAL estiman que se perdería el 75% de los pozos, el 0.5% de redes primarias, el 30% de las redes secundarias, el 25% de los reservorios secundarios y el 70% de las estaciones de bombeo. Además, es importante tener presente que después de un evento de esta magnitud, el suministro de agua potable sería interrumpido para evaluar los daños que hayan afectado las redes e infraestructuras, su reposición sería progresiva y podría tardar hasta 72 horas (Figura 73).

Figura 73. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable

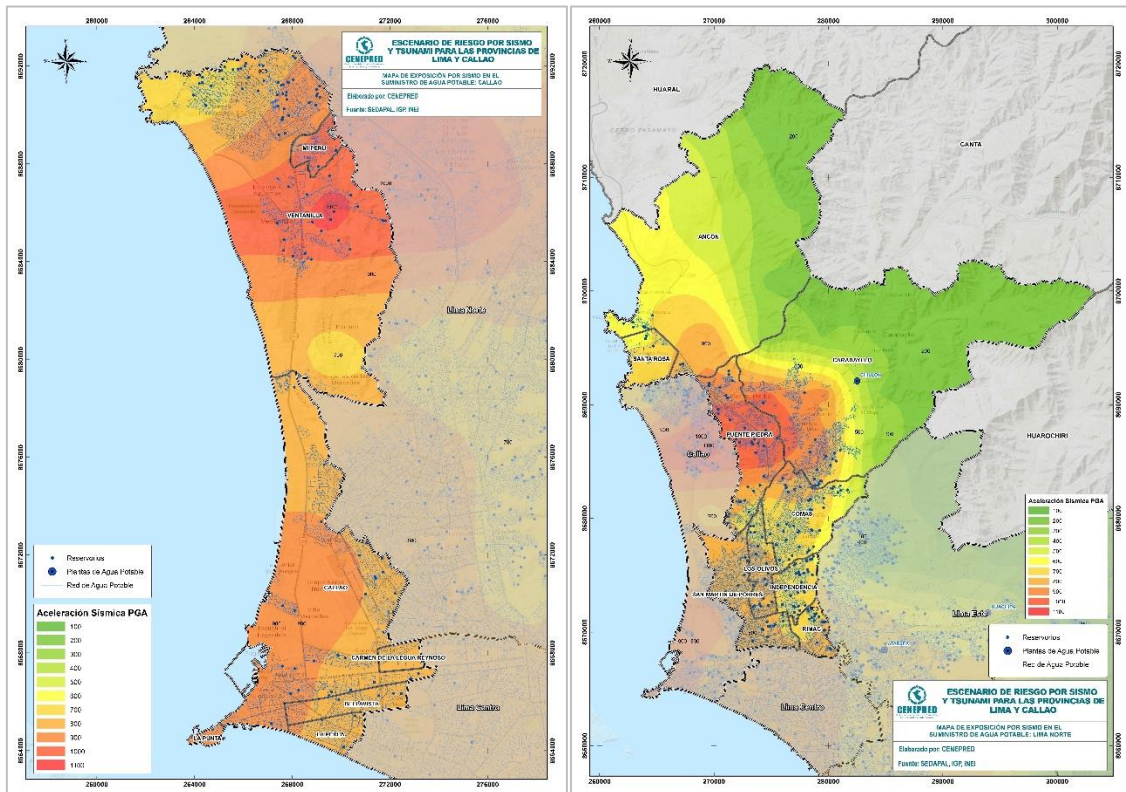


Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e IGP.



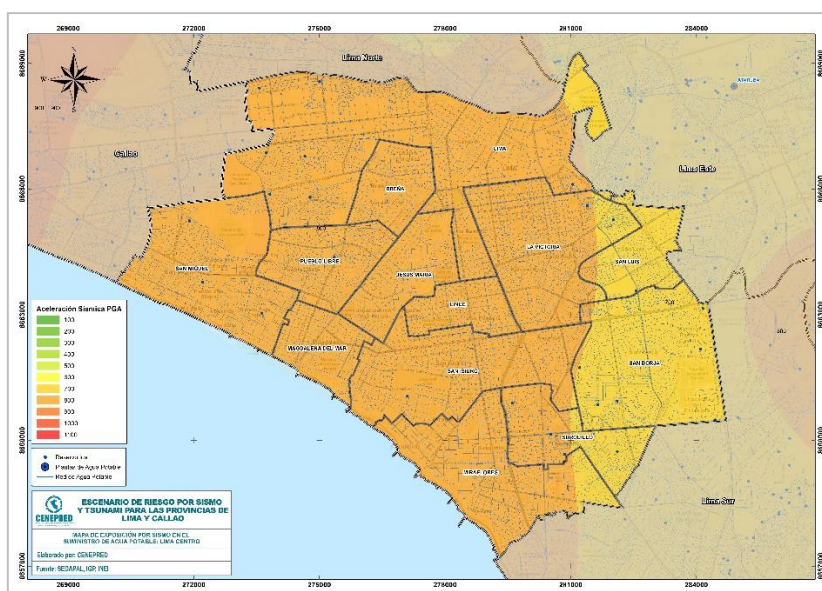
Debido a su antigüedad, SEDAPAL estima que las redes de suministro de agua de Lima Centro serían las más afectadas ante un sismo de 8.8 Mw, a diferencia de los otros ámbitos de la ciudad donde se han cambiado las redes antiguas por otras de materiales más resistentes, al igual que los ámbitos de extensión urbana reciente (Figura 74, Figura 75, Figura 76, Figura 77).

Figura 74. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e IGP.

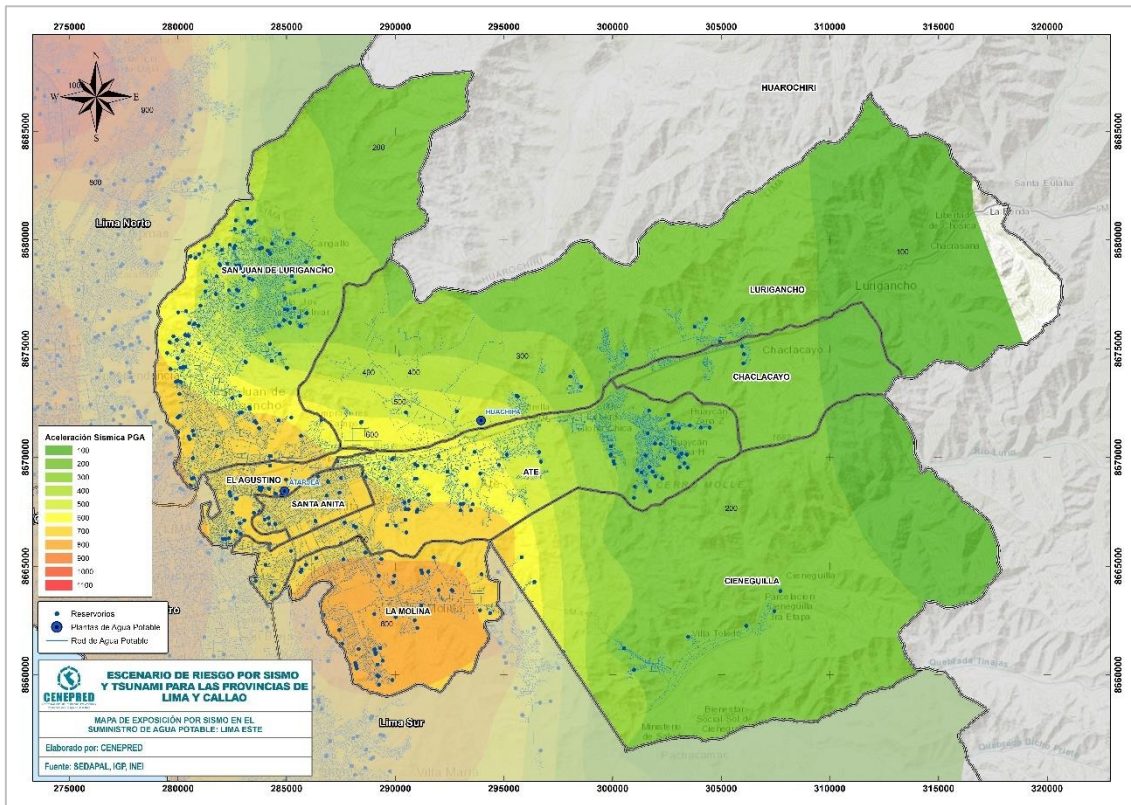
Figura 75. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e IGP.

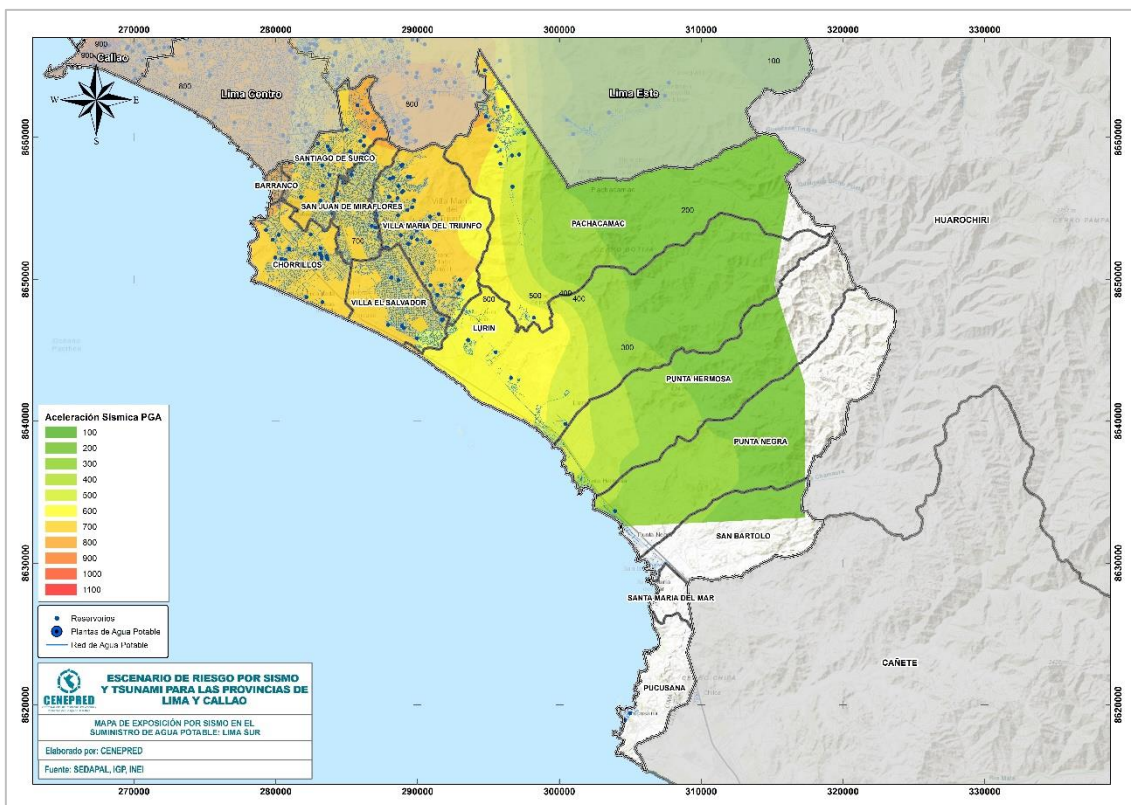


Figura 76. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e IGP.

Figura 77. Exposición por sismo para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Sur



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e IGP.

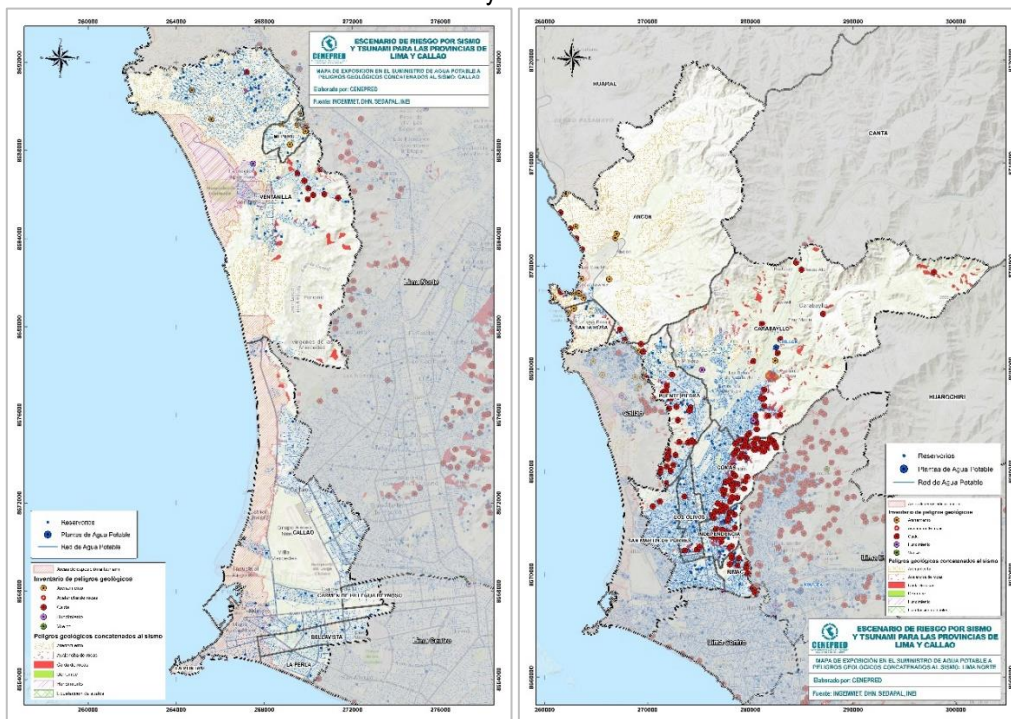




### 9.5.2 Red de suministro de agua potable: exposición por peligros concatenados

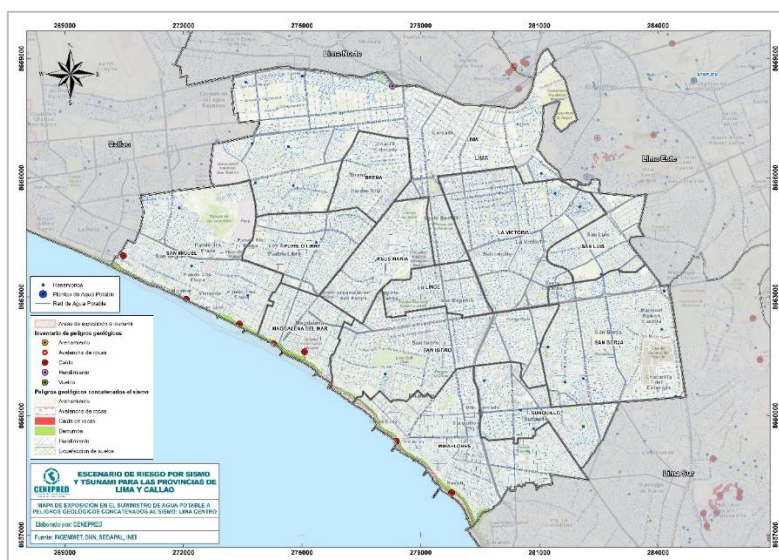
Sobre los probables impactos de los peligros geológicos concatenados al sismo, estos tendrían un mayor impacto principalmente en los sectores periféricos de la ciudad de Lima, específicamente en los ámbitos urbanos de laderas (por caídas de rocas, avalancha de rocas, etc.), mientras que, en los ámbitos cercanos a la línea de costa, los principales procesos que afecten las redes de agua serían el arenamiento, licuación de suelos y hundimiento (Figura 78, Figura 79, Figura 80, Figura 81).

Figura 78. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Callao y Lima Norte



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e INGEMMET.

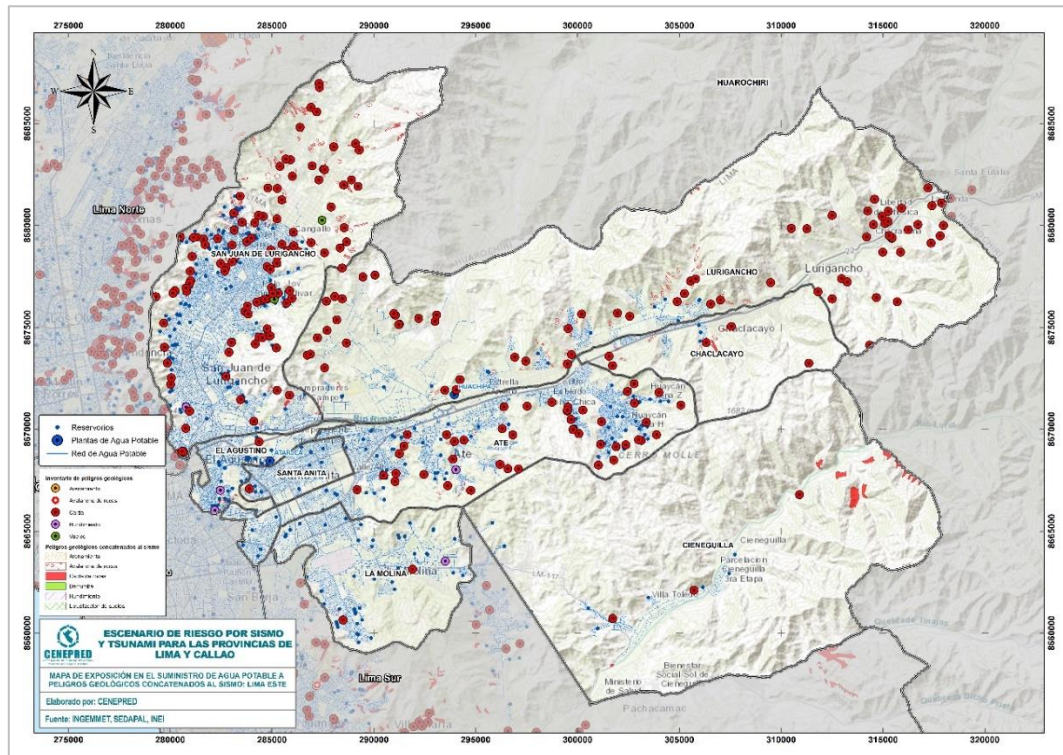
Figura 79. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Centro



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e INGEMMET.

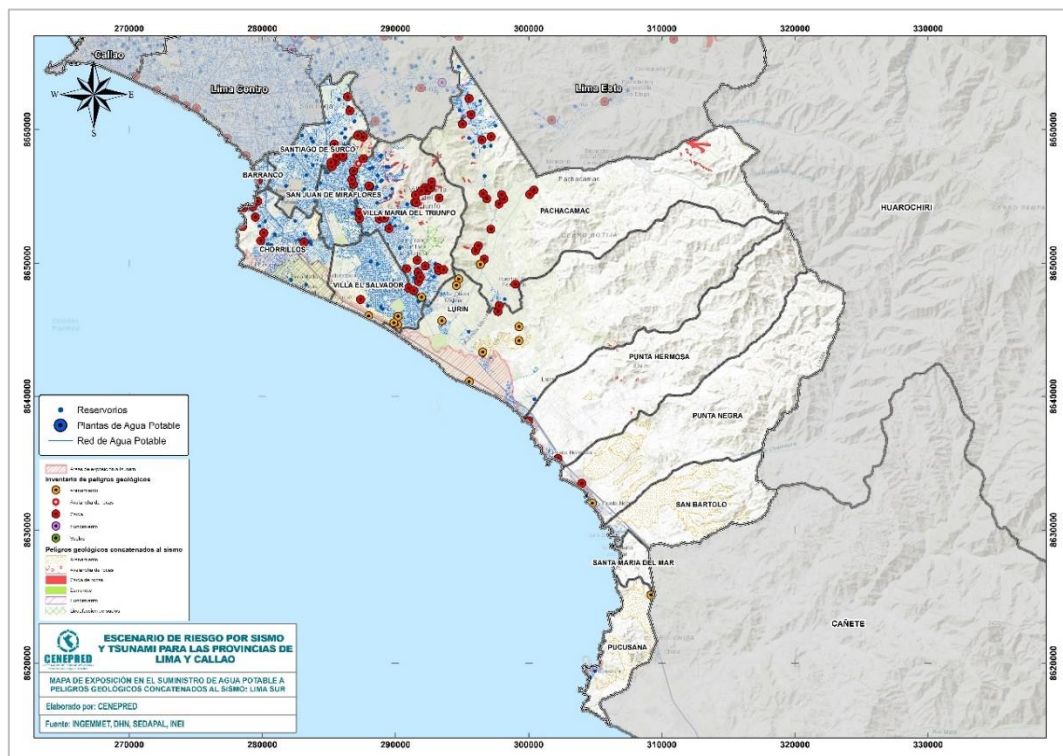


Figura 80. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Este



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e INGEMMET.

Figura 81. Exposición a peligros concatenados para la red de suministro de y reservorios agua potable en Lima Sur



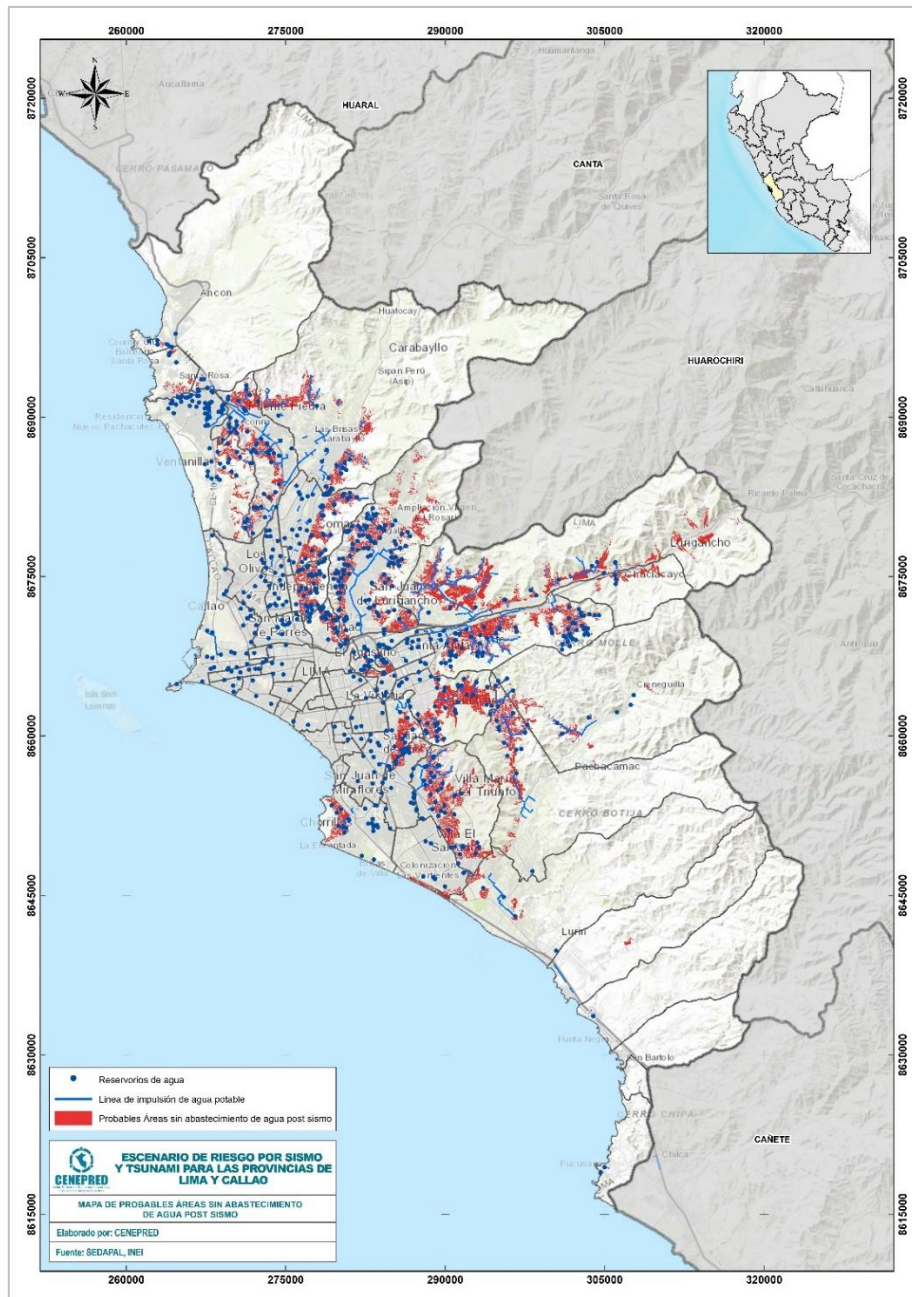
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL e INGEMMET.



Por lo mencionado en los párrafos precedentes, los ámbitos urbanos localizados en las laderas de Lima y Callao serían los más afectados posterior a un sismo debido a peligros concatenados, pero sumado a ello, estos sectores altos de la ciudad dependen de la red de energía eléctrica y/o combustibles para el funcionamiento de sus líneas de impulsión de agua; pero es sabido que, estas redes de las cuales dependen también se verían afectadas por el sismo, motivo por el cual, la reposición del suministro de agua en los sectores altos de la ciudad podría tardar aún más tiempo. A diferencia de los ámbitos llanos de la ciudad, donde el agua se iría restableciendo gradualmente en los sectores donde de suministro se realice por gravedad.

Por consiguiente, el equipo técnico del escenario de riesgo realizó un conteo estimado de la población que vive en las laderas de la ciudad y se obtuvo los siguientes resultados: 2,321,365 personas viven en las laderas de Lima y 74,420 en las del Callao, haciendo un total de 2,395,785 habitantes (Figura 82).

Figura 82. Mapa de probables áreas sin abastecimiento de agua post sismo



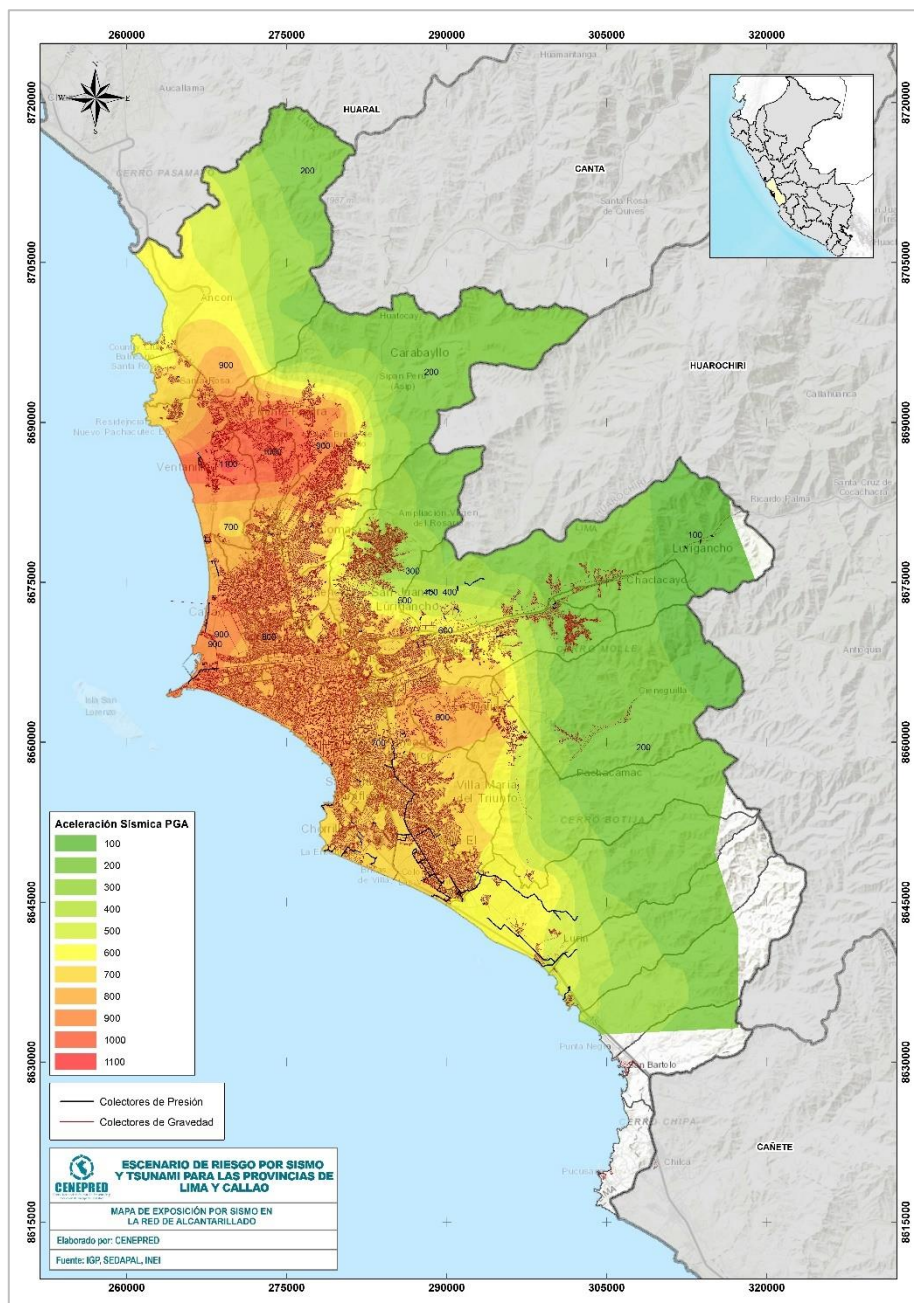
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL.



### 9.5.3 Alcantarillado: exposición por sismo

Con relación a los probables impactos en la red de alcantarillado, los especialistas de SEDAPAL estiman (de manera muy general) que ante un evento de 8.8 Mw en la ciudad de Lima y Callao, se verían afectadas el 23.4% de las estaciones de bombeo, el 2.4% de sus las redes primarias y el 42% de las redes secundarias. Además, por los probables efectos de impacto del tsunami, se estima que se podría afectar las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de las Chira y Taboada, las cuales tratan el 80% de los desagües de la ciudad (Figura 83).

Figura 83. Exposición por sismo para la red de alcantarillado



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de SEDAPAL.

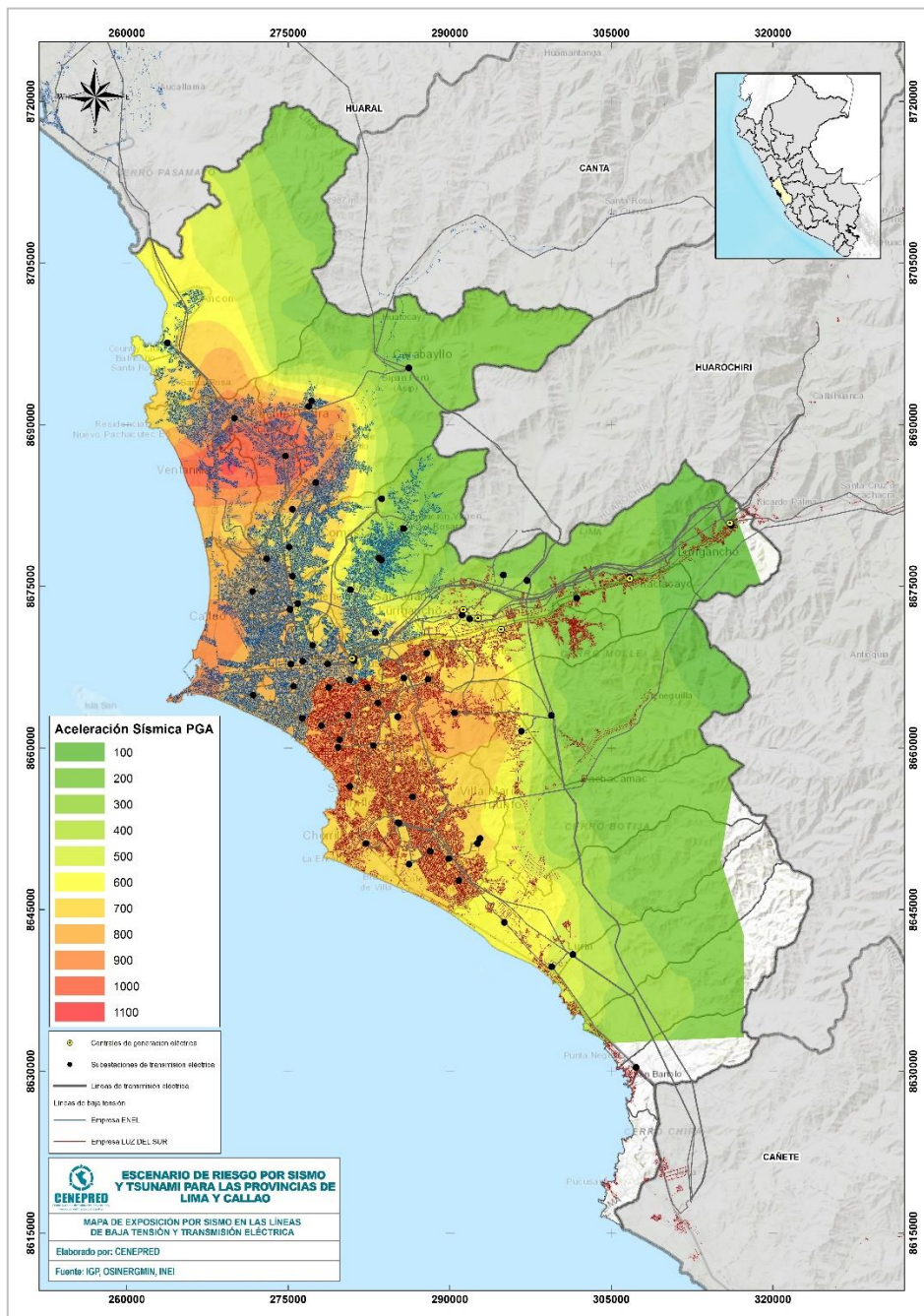


## 9.6 SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD Y GAS

Debido a la complejidad de la información a del sector energía, el equipo técnico de este Centro Nacional y los especialistas de Osinergmin consideraron conveniente extender la mesa de trabajo hasta enero de 2021 para la evaluación de los probables impactos en las líneas de baja y media tensión, transmisión eléctrica, red de gas natural y gaseoducto; el producto de esta mesa de trabajo se adjuntará como un informe anexo para complementar el presente escenario (Figura 84, Figura 85, Figura 86).

### 9.6.1 Líneas de baja tensión y transmisión eléctrica: exposición al sismo

Figura 84. Exposición por sismo en las líneas de baja tensión y transmisión eléctrica

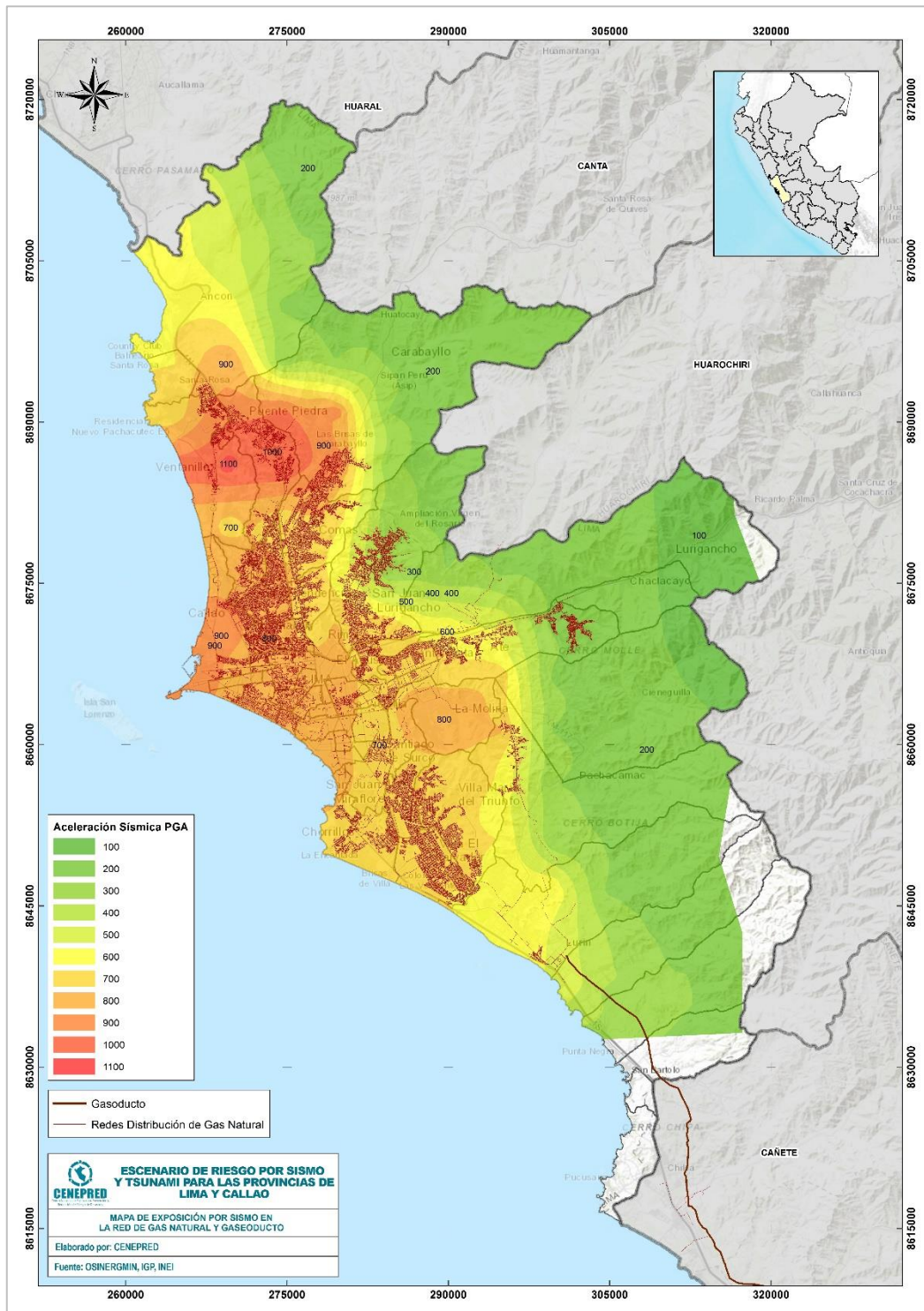


Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de OSINERGMIN.



### 9.6.2 Red de gas natural y gasoducto

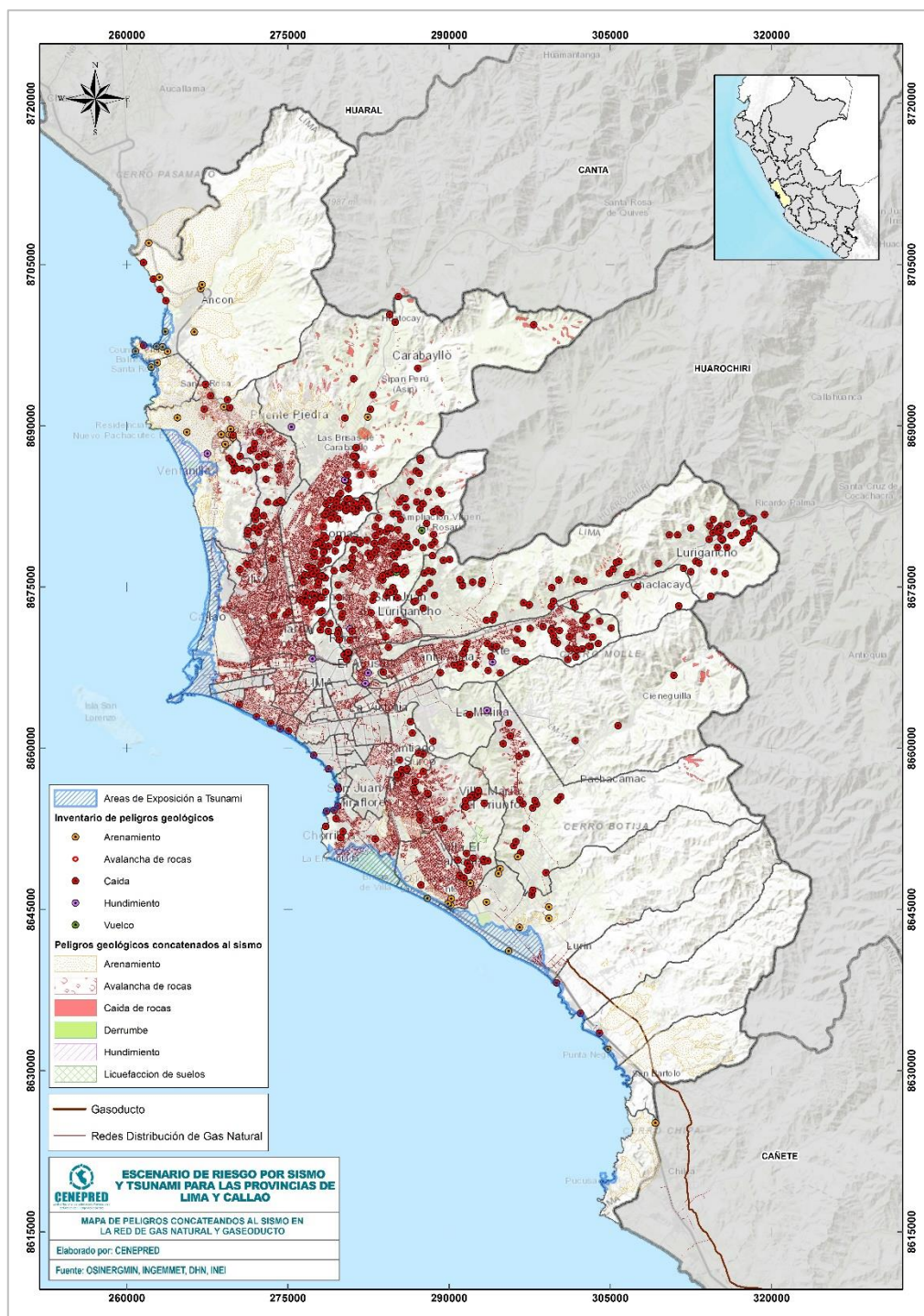
Figura 85. Exposición por sismo en la red de gas natural y gasoducto



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de OSINERGMIN.



Figura 86. Exposición por peligros concatenados al sismo en la red de gas natural y gaseoducto



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de OSINERGMIN.



## 10 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el escenario de riesgo por sismo para las provincias de Lima y Callao, la población con nivel de riesgo Muy Alto representa el 76% del total (7,073,121), con riesgo Alto el 23% (2,148,083) y con riesgo Medio tan sólo el 1% (77,241).

En el sector Callao, la mayor cantidad de población con nivel de riesgo Muy Alto se localiza en los distritos de Callao (380,903) y Ventanilla (276,103); en Lima Norte, en los distritos de San Martín de Porres (565,281), Comas (446,695), seguidos de Los Olivos (299,624) y Puente Piedra (280,201); en Lima Este, en el distrito de San Juan de Lurigancho (836,440), seguido desde lejos por Ate (361,554); en Lima Centro, en los distritos de Lima (182,438) y La Victoria (158,067) y; en Lima Sur, en los distritos de Villa El Salvador (388,788), Villa María del Triunfo (374,314), San Juan de Miraflores (328,380) y Chorrillos (229,367).

Página | 111

Con respecto a los datos de riesgo de viviendas, los resultados ofrecen que 226,894 estas cuentan con riesgo Muy Alto en la provincia de Callao y 1,752,970 en la provincia de Lima; y juntas representan el 73% del total de viviendas del área de estudio.

Los cinco distritos con mayor número de viviendas con riesgo Muy Alto en las provincias de Lima y Callao serían: San Juan de Lurigancho con 231,039; San Martín de Porres con 152,592; Comas con 110,073; Ate con 101,093 y el Callao con 98,699 viviendas.

Los distritos que concentran mayor población expuesta por tsunami serían el Callao con 117,274; Chorrillos con 51,414; Lurín con 30,314 y Ventanilla con 25,284. Otro caso para considerar sería el distrito de La Punta, si bien tan solo su población alcanza los 3,724 habitantes, las cartas de inundación de la DHN indican que la ocupación del agua de mar sería total en esta comuna.

Con relación a los peligros geológicos concatenados al sismo que más población exponen según sectores, se concluye lo siguiente: en el sector Callao el proceso que más población expone es el arenamiento (251,937); en Lima Norte son las caídas de roca (162,352) y arenamiento (115,149); en Lima Este es la avalancha de rocas (38,144); en Lima Centro son los derrumbes (2,836) y en Lima Sur son el arenamiento (127,024) y la caída de rocas (36,130).

En el sector salud, de los 484 establecimientos de salud analizados, se concluyó que el 87% de estos cuentan con una exposición Muy Alta por sismo con relación al mapa de aceleraciones máximas PGA y de susceptibilidad por sismo, por estar localizados en ámbitos por encima de los 500 cm/s<sup>2</sup> (aceleración). El 5% con exposición Alta, el 4% con Media y el 3% restante con Baja.

En el sector educación, de las 8,899 instituciones educativas analizadas, se concluyó que el 92% de estas instituciones cuenta con exposición Muy Alta por sismo con relación al mapa de aceleraciones máximas PGA y de susceptibilidad por sismo, por estar localizados en ámbitos por encima de los 500 cm/s<sup>2</sup> (aceleración). El 4% con exposición Alta, 3% con Media y tan solo el 1% con Baja.

En sector transportes, la superposición de capas determinan que ante un evento sísmico de 8.8 Mw y sus peligros concatenados, se verían afectadas las principales vías de comunicación de ingreso para la ciudad, tales como la Panamericana Norte, Panamericana Sur y Carretera Central, así como el ala norte de la pista dos del aeropuerto Jorge Chávez y el principal puerto del país localizado en el Callao, estas dos últimas por la probable inundación de tsunami.

En el sector cultura, se analizó la ubicación de sus elementos con respecto al resultados de riesgo de las manazas censales, concluyéndose lo siguiente: el 17% del patrimonio histórico cuenta con riesgo Muy Alto, el 81% con Alto, el 2% con medio y el 1% sin datos por esta fuera del entorno urbano.

El suministro de agua potable y alcantarillado se verían afectados por el impacto del sismo y sus peligros concatenados y, su restablecimiento sería gradual durante las primeras 72 horas; finalmente, la población más afectada serían las localizadas en el entorno urbano de laderas de la ciudad.





## 11 RECOMENDACIONES

Se recomienda a los gobiernos locales provinciales de Lima y Callao, la difusión de los resultados del presente escenario de riesgo por sismo y tsunami entre los gobiernos locales de sus jurisdicciones, con la finalidad de fomentar el conocimiento del riesgo en sus entornos. Asimismo, promover la elaboración y/o actualización de sus instrumentos técnicos de gestión del riesgo de desastres y gestión territorial, a partir de los resultados obtenidos en el presente escenario.

Página | 112

A los gobiernos locales distritales, es importante iniciar el desarrollo de capacidades para el trabajo por sectores o mancomunidades, por ejemplo, la mancomunidad de Lima Norte es un buen referente para el entorno de la ciudad. Se debe tener presente que, ante un evento extraordinario de sismo de 8.8Mw, será muy difícil la coordinación de la emergencia entre los 43 distritos y la Municipalidad Metropolitana de Lima, por tal motivo, debe ser prioridad iniciar el trabajo por sectores en los diferentes componentes de la planificación y gestión territorial, así como para la gestión del riesgo de desastres.

Con respecto a los componentes prospectivo y correctivo de la gestión del riesgo de desastres, se sugiere generar y/o actualizar sus Planes de prevención y reducción del riesgo de desastres (PPRRD) en los tres niveles de gobierno; tomando en consideración el presente escenario y los estudios generados por las entidades técnicas científicas para identificar los probables impactos de un sismo de 8.8 Mw y sus peligros concatenados.

A los gobiernos locales, es importante que utilicen la estrategia financiera de gestión del riesgo de desastres, impulsada por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) para priorizar intervenciones con enfoque territorial entre las áreas posiblemente afectadas y/o altamente expuesta ante los probables impactos de sismo y sus peligros concatenados. Además, la priorización de los recursos económicos debería orientarse en la elaboración estudios específicos de riesgo de desastres, como lo son las evaluaciones de riesgo, aplicada a las zonas más expuesta que los gobiernos locales identifiquen.

El presente escenario ofrece en sus anexos los mapas de riesgos por sismo y sus peligros concatenados por distrito para las provincias de Lima y Callao; asimismo, el INGEMMET ha identificado 74 zonas críticas que podrían activarse ante un probable sismo de gran magnitud. Por consiguiente, se recomienda a los gobiernos locales provinciales y distritales, la elaboración de evaluación de riesgo o estudios específicos por parte de las entidades técnico-científicas para los sectores o elementos con riesgo o exposición Muy Alta.

A los sectores participantes, se les recomienda utilizar los resultados del presente escenario para profundizar los probables impactos de un sismo de 8.8 Mw y sus peligros concatenados en su sector, es importante fomentar la elaboración de mesas de trabajo entre sus equipos técnicos y enfocarse siempre en el peor escenario posible, de esta manera, de ocurrir un evento de menor magnitud, la respuesta y posterior recuperación sería más óptima.

Finalmente, a todos los involucrados, la importancia de desarrollar un escenario de riesgo frente al peor escenario no es generar alarma, sino todo lo contrario, es con el objetivo de generar y desarrollar propuestas para el mediano y largo plazo según nuestro nivel de intervención territorial, las cuales deben estar alineadas a las políticas de ordenamiento territorial y gestión del riesgo de desastres.



## AGRADECIMIENTOS

Este Centro Nacional agradece el apoyo brindado por las entidades y sus representantes que participaron de las reuniones de coordinación y mesas de trabajo desarrolladas para el presente escenario, así como la gentileza de haber compartido su información documentaria y geoespacial para alcanzar los objetivos del presente informe.

Instituto Geofísico del Perú - IGP  
Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET  
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – OSINERGMIN  
Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI  
Dirección de Hidrografía y Navegación – DHN  
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID  
Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI  
Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL  
Ministerio de Salud  
Ministerio de Transportes y Comunicaciones  
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento  
Ministerio de Educación  
Ministerio de Energía y Minas  
Ministerio de Cultura  
Municipalidad Metropolitana de Lima  
Gobierno Regional del Callao



## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, B., Mas, E., Koshimura, S., Fujii, Y., Yauri, S., Jimenez, C., & Yanagisawa, H. (2013). Tsunami Inundation Mapping in Lima, for Two Tsunami Source Scenarios. *Journal of Disaster Research*, 8(2), 274–282.
- Benavente, C., Delgado, F., Taibe, E., Audin, L., & Pari, W. (2013). Neotectónica y peligro sísmico en la región del Cusco. *Boletín, Serie C: Geología Ambiental y Riesgo Geológico*, 55–245.
- Bernal, I., & Tavera, H. (2008). Aceleraciones máximas registradas en la ciudad de Ica: Sismo de Pisco del 15 de agosto de 2007. In *El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007 (7.9 Mw)*. (pp. 197–210).
- Calderon, D., Aguilar, Z., Lazares, F., Sekiguchi, T., & Nakai, S. (2013). Estimation of deep shear-wave velocity profiles in Lima, Peru, using seismometers arrays. *Journal of Disaster Research*, 8(2), 252–258. <https://doi.org/10.20965/jdr.2013.p0252>
- Carpio, J., & Tavera, H. (2002). Estructura de un Catalogo de Tsunamis para el Peru. Basado en el Catalogo de Gusiakov (2002). *Boletín de La Sociedad Geologica Del Peru*, 94, 45–59.
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avouac, J. P., Remy, D., Nocquet, J. M., ... Bonvalot, S. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(12), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2010JB008166>
- CISMID. (2016). *ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO, UBICADA EN LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA PERLA (PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO)*. Lima.
- CISMID. (2017). *PRODUCTO 04: ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO, UBICADA EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2010). *Evaluación de la amenaza frente a tsunami para Lima y Callao*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2011). *INFORME N 9: Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2013). *Resultados del Proyecto Japón - Perú - SATREPS*. Lima.
- COOPI, PNUD, IRD, Defensa Civil, & Unión Europea. (2010). *Proyecto SIRAD: Investigación sobre el peligro de tsunami en el área Metropolitana de Lima y Callao*. Lima.
- Cuisano, V., & Martinez, C. (2016). Physical and Social Vulnerability By the Giant Tsunami of 1746 in the Southern Sector of Callao, Peru. *World Engineering Conference on Disaster Risk Reduction*, 1–12.
- Dorbath, L., Cisternas, A., & Dorbath, C. (1990). Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(3), 551–576.
- Furumura, T., Takemura, S., Noguchi, S., Takemoto, T., Maeda, T., Iwai, K., & Padhy, S. (2011). Strong ground motions from the 2011 off-the Pacific-Coast-of-Tohoku, Japan (Mw=9.0) earthquake obtained from a dense nationwide seismic network. *Landslides*, 8(3), 333–338. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0279-3>
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- IGP. (2008). *El terremoto de Pisco (Perú) del 15 de agosto de 2007 (7.9 Mw)*.
- INEI. (2017). *XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas 2017*. Lima.
- INEI. (2020). *Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas*. Lima.
- Jimenez, C. (2015). *EL MAREMOTO NOTABLE DE 1746*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Jimenez, C., Moggiano, N., Mas, E., Adriano, B., Koshimura, S., Fujii, Y., & Yanagisawa, H. (2013). Seismic source of 1746 Callao earthquake from tsunami numerical modeling. *Journal of DisasterResearch*, 8, 266–273.
- Keefer, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95(4), 406–421.
- Krabbenhöft, A., Bialas, J., Kopp, H., Kukowski, N., & Hübscher, C. (2004). Crustal structure of the Peruvian continental margin from wide-angle seismic studies. *Geophysical Journal International*, 159(2), 749–764. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02425.x>
- Martinez, J., & Tavera, H. (2009). *DINÁMICA Y MODELADO NUMÉRICO DE UN TSUNAMI EN EL TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO Y ZONAS ADYACENTES*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mas, E., Adriano, B., Kuroiwa, J., & Koshimura, S. (2015). Reconstruction Process and Social Issues After



- the 1746 Earthquake and Tsunami in Peru: Past and Present Challenges After Tsunami Events. In *Post-Tsunami Hazard, Advances in Natural and Technological Hazards Research* (pp. 97–109). Suiza: Springer.
- Mas, E., Adriano, B., Pulido, N., Jimenez, C., & Koshimura, S. (2014). Simulation of Tsunami inundation in Central Peru from Future Megathrust Earthquake Scenarios. *Journal of Disaster Research*, 9(6), 961–967.
- Pulido, N., Aguilar, Z., Tavera, H., Chlieh, M., Calderón, D., Sekiguchi, T., ... Yamazaki, F. (2015). Scenario source models and strong ground motion for future megathrust earthquakes: Application to Lima, central Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(1), 368–386. <https://doi.org/10.1785/0120140098>
- Pulido, N., Tavera, H., Aguilar, Z., Calderon, D., Chlieh, M., Sekiguchi, T., ... Yamazaki, F. (2012). Megathrust earthquakes rupture scenarios and strong motion simulations for Lima, Peru. *The International Symposium for CISMID 25th Anniversary*, 1–8.
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). Comentarios Relativos Al Tipo De Falla En Los Muros De Concreto De Edificios Chilenos En El Sismo Del 27 De Febrero De 2010. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 3(1), 36–48.
- Saragoni, S., & Ruiz, S. (2012). Implicaciones y nuevos desafíos de diseño sísmico de los acelerogramas del terremoto de 2010. In *Mw=8.8 Terremoto en Chile. 27 de febrero de 2010* (pp. 127–146). Santiago.
- Seiner, L. (2011). *Historia de los sismos en el Perú. Catálogo: Siglos XVIII-XIX*. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima.
- Silgado, E. (1978). Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974). *Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Instituto de Geología y Minería*.
- SIRAD, COOPI, IRD, INDECI, PNUD, & EUROPE, U. (2010). *Investigación sobre el Peligro Sísmico en el Área Metropolitana de Lima y Callao*. Lima.
- Tavera, H. (2014a). *Escenario de sismo y tsunami en el borde occidental de la región central del Perú*. Lima.
- Tavera, H. (2014b). *Evaluación del Peligro Sísmico en Perú: Mapa de Peligro Sísmico para el Perú*. Lima.
- Tavera, H. (2017). Actualización del escenario por sismo, tsunamis y exposición en la región central del Perú. *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres*, 1–26.
- Tavera, H. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*. Lima.
- Tavera, H., & Bernal, I. (2005). Distribucion espacial de areas de ruptura y lagunas sismicas en el borde oeste del Peru. *Volumen Especial No. 6 - Alberto Giesecke Matto*, pp. 89–102.
- Villacorta, S., Núñez, S., Vásquez, J., Pari, W., & Ochoa, M. (2015). Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*.
- Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-Chira, J., & Nocquet, J. M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(10), 7371–7394. <https://doi.org/10.1002/2016JB013080>
- Walker, C. (2012). *Colonialismo en ruinas: Lima frente al terremoto y tsunami de 1746* (Traducción). Lima: IFEA & IEP.
- Zavala, B., Valderrama, P., Costa, C., & Hermanns, R. (2007). *Movimientos en masa y deformaciones superficiales asociadas al sismo de Pisco del 15/08/2007. Informe Interno, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico*.



## 13 ANEXOS

- Anexo 1. Mapas de riesgo por sismo para los distritos de Lima y Callao.
- Anexo 2. Mapa de peligros concatenados (tsunami y peligros geológicos) para los distritos de Lima y Callao.
- Anexo 3. Mapas de impactos por cada sector analizado.



Av. Del Parque Norte 313 - 319. San Isidro Lima - Perú  
Central Telefónica: (051) 2013550

[www.cenepred.gob.pe](http://www.cenepred.gob.pe)

 CENEPRED

 @CENEPRED

 CENEPRED

 CENEPRED PERU

 CENEPRED PERU