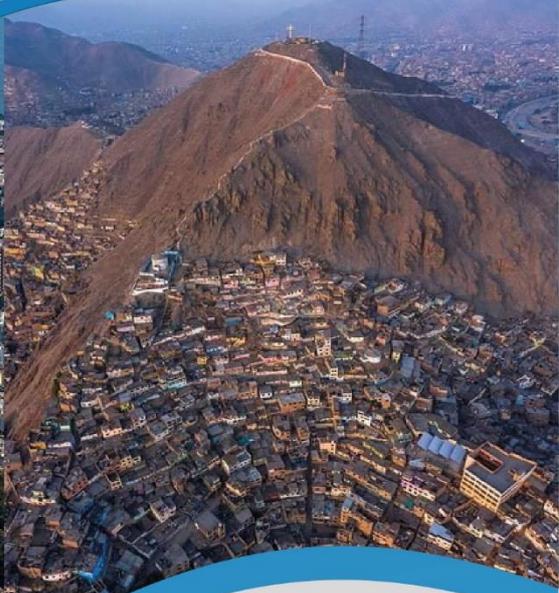




SISMO Y TSUNAMI



CENEPRED

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

ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO DE GRAN MAGNITUD SEGUIDO DE TSUNAMI FRENTE A LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ



ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO DE GRAN MAGNITUD SEGUIDO DE TSUNAMI FRENTE A LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ

Elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

Dirección de Gestión de Procesos (DGP).

Subdirección de Gestión de la Información (SGI). CENEPRED, 2020.

Av. Del Parque Norte N°313 - 319. San Isidro - Lima – Perú

Teléfono: 2013-550, correo electrónico: info@cenepred.gob.pe

Página web: www.cenepred.gob.pe

Ing. Juvenal Medina Rengifo
Jefe del CENEPRED

Mg. Giovanna María Díaz Revilla
Secretaria General

Arq. Guadalupe Masana García
Directora de la Dirección de Gestión de Procesos

Ing. Alfredo Zambrano Gonzáles
Subdirector de Gestión de la Información

Equipo Técnico de la Subdirección de Gestión de la Información:

Mg. Geog. Vladimir Cuisano Marreros
Ing. Eduardo Pérez Tipula



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVO GENERAL.....	5
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	METODOLOGÍA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO.....	7
3.1	ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO	8
3.1.1	SISMO.....	8
3.1.2	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO.....	19
3.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.....	20
3.2.1	DENSIDAD POBLACIONAL	20
3.2.2	POBLACIÓN VULNERABLE.....	21
3.2.3	NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS	22
3.2.4	CONCENTRACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD	23
3.2.5	MAYOR CAPACIDAD RESOLUTIVA DE LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD	25
3.2.6	MAPA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS	26
3.3	ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO.....	27
3.3.1	PELIGROS GEOLOGICOS CONCATENADOS AL PROBALE SISMO	30
4	METODOLGÍA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI.....	38
4.1	SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI	39
4.1.1	TSUNAMI	39
4.1.2	ELABORACIÓN DE CARTAS DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS.....	42
4.1.3	SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI.....	44
4.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS.....	46
4.3	ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI	50
5	IDENTIFICACIÓN DE PROBABLES IMPACTOS EN SECTORES.....	53
5.1	SECTOR SALUD	53
5.1.1	Fragilidad de los establecimientos de salud y exposición por sismo	53
5.1.2	Exposición a tsunami.....	55
5.2	SECTOR EDUCACIÓN.....	58
5.2.1	Exposición por sismo.....	58
5.2.2	Exposición a tsunami.....	59
5.3	SECTOR TRANSPORTES	62
5.3.1	Exposición por sismo.....	62
5.3.2	Exposición a tsunami.....	64
6	CONCLUSIONES.....	66
7	RECOMENDACIONES.....	67
8	BIBLIOGRAFÍA	68
9	ANEXOS.....	69



Lista de figuras

Figura 1. Mapa del área de estudio del escenario de la costa central	6
Figura 2. Esquema metodológico del escenario de riesgo por sismo de gran magnitud en la costa central del Perú	7
Figura 3. Mapa sísmico del Perú para el periodo 1960 a 2019.....	8
Figura 4. Principales áreas de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental	9
Figura 5. Distribución espacial de longitudes de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental de Perú	10
Figura 6. 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	10
Figura 7. Distribución espacial de las principales asperezas identificadas en el borde occidental del Perú	11
Figura 8. Mapa de zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS	12
Figura 9. Distribución de ZMAS en el borde occidental del Perú	12
Figura 10. Geometría de la ZMAS & Espectros de Fourier para señales teóricas	14
Figura 11. Mapas de intensidades sísmicas teóricas para la costa central del Perú	15
Figura 12. Mapa de intensidades sísmicas para el escenario de riesgo	16
Figura 13. Mapa de intensidades sísmicas según distritos.....	18
Figura 14. Mapa de susceptibilidad por sismo en la Costa Central	19
Figura 15. Mapa de densidad poblacional.	20
Figura 16. Mapa de población vulnerable	21
Figura 17. Mapa de necesidades básicas insatisfechas.....	22
Figura 18. Mapa de concentración de establecimientos de salud.....	24
Figura 19. Mapa de distritos con mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud	25
Figura 20. Mapa de identificación de los elementos expuestos.....	26
Figura 21. Mapa de escenarios de riesgo por sismo	27
Figura 22. Población con riesgo Muy Alto según provincias.....	28
Figura 23. Población con riesgo Alto según provincias	29
Figura 24. Peligros geológicos concatenados al probable sismo	30
Figura 25. Esquema metodológico del escenario de riesgo por tsunami en la costa central del Perú.	38
Figura 26. Probable impacto de un tsunami con similares características al de 1746.....	41
Figura 27. Diagrama del proceso para la elaboración de las cartas de inundación por tsunami.....	42
Figura 28. Fases del tsunami que integran ecuaciones y teorías que son consideradas en el modelo tsunami	43
Figura 29. Representación en tres dimensiones de la información topográfica y batimétrica del distrito de La Punta - Callao (DHN, 2014).....	44
Figura 30. Mapa de susceptibilidad por tsunami	45
Figura 31. Tsunami: Mapa de densidad poblacional	46
Figura 32. Tsunami: Mapa de población vulnerable.....	46
Figura 33. Tsunami: Mapa de necesidades básicas insatisfechas	47
Figura 34. Tsunami: Mapa de concentración de establecimientos de salud	47
Figura 35. Tsunami: Mapa de mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud	48
Figura 36. Tsunami: Mapa de identificación de los elementos expuestos.....	49
Figura 37. Mapa del escenario de riesgo por tsunami.....	50
Figura 38. Zonas de riesgo por tsunami en la Costa Central.....	51
Figura 39. Mapa de exposición a sismo de los establecimientos de salud (y registro de inicio de actividades)	54
Figura 40. Mapa de exposición a tsunami en establecimientos de salud.....	56
Figura 41. Mapa de exposición por sismo de las instituciones educativas.....	58
Figura 42. Mapa de exposición a tsunami en instituciones educativas	60
Figura 43. Mapa de exposición por sismo en la red vial.....	62
Figura 44. Mapa de exposición a tsunami en la red vial.....	65



Lista de tablas

Tabla 1. Descripción cualitativa para cada grado de la escala de Mercalli Modificada.....	17
Tabla 2. Categoría de establecimientos de salud	23
Tabla 3. Valor de concentración EESS de I - III nivel de atención por quintiles	23
Tabla 4. Valor EESS con mayor capacidad resolutive	25
Tabla 5. Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo	27
Tabla 6. Niveles de riesgo: población y vivienda, según provincias.....	28
Tabla 7. Zonas críticas en el Costa Central	31
Tabla 8. Inventario de peligros geológicos.....	33
Tabla 9. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo con NGDC Tsunami Database.....	39
Tabla 10. Modelaciones de inundación por tsunami para Lima y el Callao.....	40
Tabla 11. Método simplificado para la determinación del nivel de riesgo.....	50
Tabla 12. Zonas de riesgo por tsunami: población y viviendas.....	52
Tabla 13. Sector salud: Nivel de fragilidad según año de inicio de actividades de los establecimientos de salud.....	53
Tabla 14. Sector salud: Exposición de intensidades sísmicas en los establecimientos de salud.....	55
Tabla 15. Sector salud: exposición a inundación por tsunami en establecimientos de salud	57
Tabla 16. Sector educación: Exposición a intensidades sísmicas de instituciones educativas según provincia.....	59
Tabla 17. Sector educación: exposición a tsunami en instituciones educativas.....	61
Tabla 18. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas según tipo de red (Km/L)	63
Tabla 19. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (IX) según departamento	63
Tabla 20. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VIII) según departamento	63
Tabla 21. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VII) según departamento	63
Tabla 22. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VI) según departamento	64
Tabla 23. Sector transportes: Exposición según tipo de red por departamentos	64



1 INTRODUCCIÓN

El ámbito de estudio ha sido determinado por el Ministerio de Salud (MINSA), el cual abarca inicia en el departamento de Ica, con la provincia de Chinca; seguido por el departamento de Lima con las provincias de Barranca, Cañete, Cajatambo, Canta, Huaral, Huarochirí, Huaura, Lima, Oyón y Yauyos, así como la provincia del Callao; y en el departamento de Áncash con las provincias de Bolognesi, Huarmey, Ocros y Recuay; el cual comprende un ámbito de 229 distritos, 10,784,593 habitantes y 2,743,682 viviendas (Figura 1).

Página | 5

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, 2017a, 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, 2017a, 2020).

Este Central Nacional ha elaborado el escenario de riesgo por sismo de gran magnitud seguido de tsunami frente a la costa central del Perú, considerando al evento sísmico de 1746 como el peor escenario que se espera para este sector del país, el cual concentra aproximadamente 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 de gran magnitud seguido de tsunami frente a la costa central del Perú.

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 viviendas.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector salud.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector educación.
- Identificar los probables impactos por sismo y tsunami en el sector transportes.



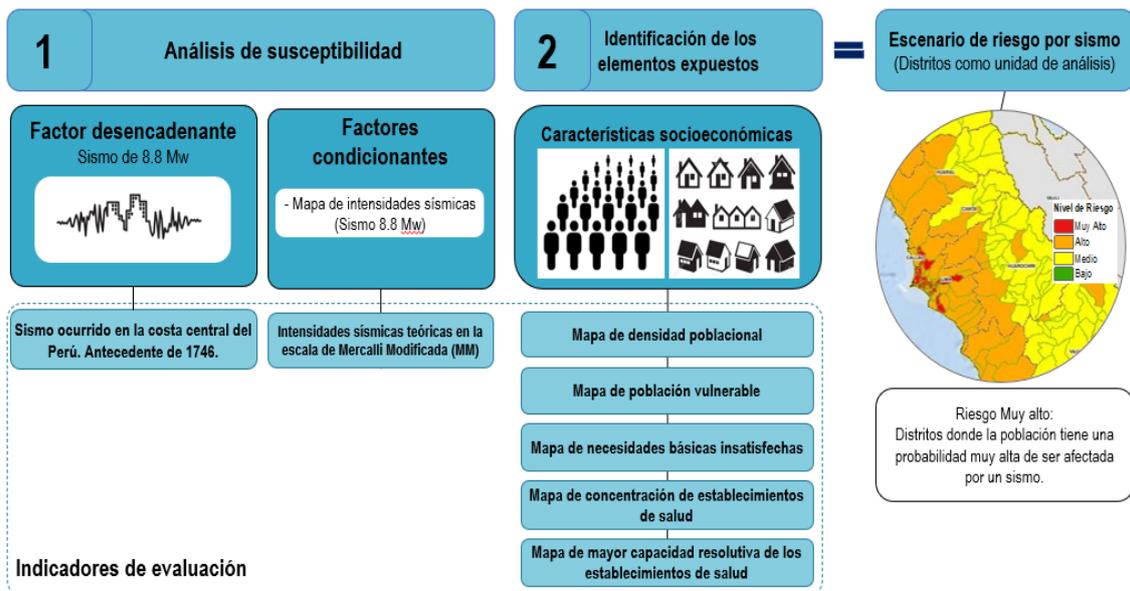
3 METODOLOGÍA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO

La metodología del escenario de riesgo se encuentra dividida en tres etapas; 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), del cual se tomó el mapa de intensidades sísmicas teóricas 2, uno los cuatro escenarios que elaboró el IGP para la costa central, ante la ocurrencia de un sismo de 8.8 Mw. Además, al ser un escenario con escala pequeña, la unidad mínima de análisis del escenario fueron los distritos.

La segunda etapa consistió en la identificación de los elementos expuestos y la unidad mínima de análisis geoespacial, al igual que la etapa de susceptibilidad, son los distritos. Se ha trabajado con cinco 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; asimismo, se tomó en consideración los grupos de edades de la población más vulnerable, menores o igual a 5 y mayores igual a 60 años, con estos datos se generó la capa de grupos de edades de población vulnerable; la siguiente variable utilizada fue el de necesidades básicas insatisfechas (NBI), dato construido también por el INEI. Además, se tomó en consideración las capas de concentración de establecimientos de salud y la de mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud; en preciso indicar que, estas dos últimas variables fueron generadas por el MINSA.

En la tercera etapa, se relacionaron los componentes de las etapas una y dos y se obtuvo el mapa de riesgo por sismo de gran magnitud en la costa central del Perú. 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) (Figura 2).

Figura 2. Esquema metodológico del escenario de riesgo por sismo de gran magnitud en la costa central del Perú.



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



3.1 ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO

3.1.1 SISMO

3.1.1.1 La sismicidad en Perú

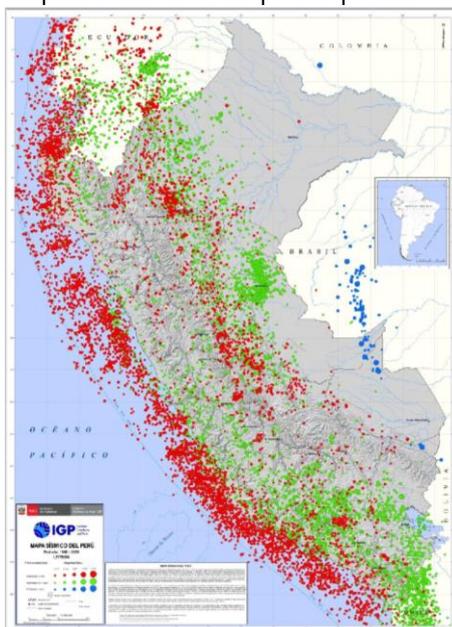
La placa de Nazca subduce por debajo de la Sudamérica frente a la línea litoral del país, este proceso se considera como la principal fuente de sismicidad en el territorio peruano. Por otra parte, la segunda fuente sismogénica es producto de la deformación cortical, la cual se caracteriza por dar origen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

Página | 8

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 3).

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, 2017a, 2020).

Figura 3. Mapa sísmico del Perú para el periodo 1960 a 2019



Fuente: Tavera (2020).

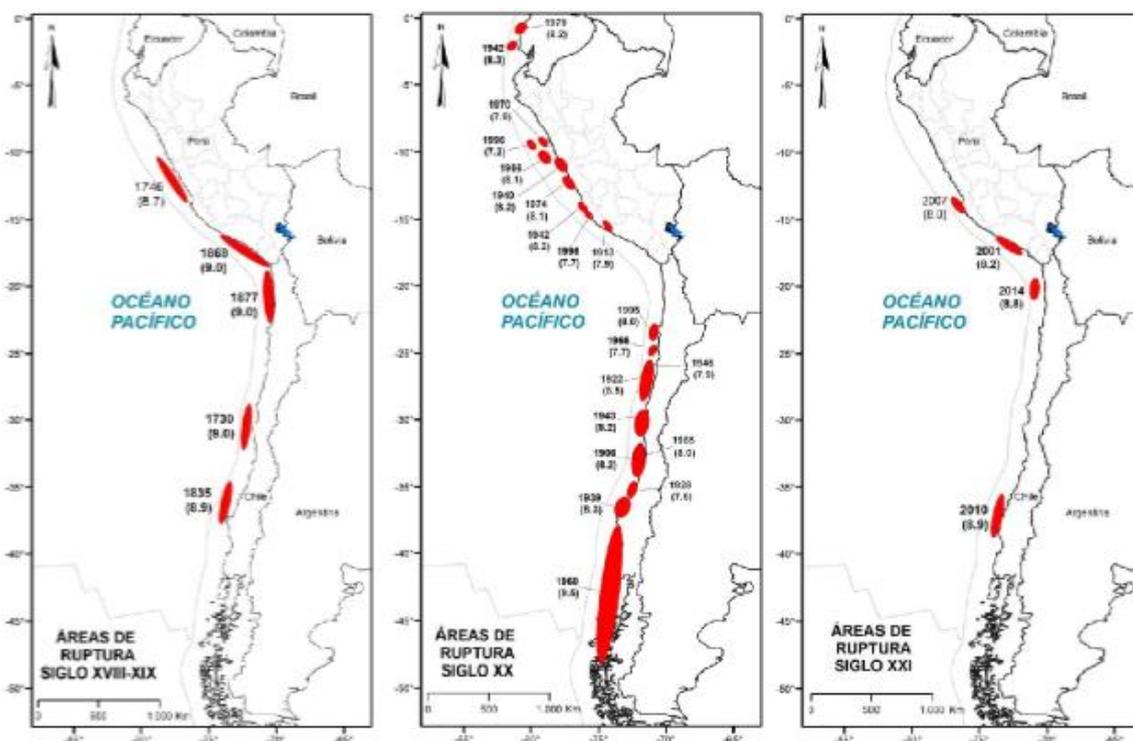
3.1.1.2 El proceso de subducción

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).

3.1.1.3 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 4):

Figura 4. Principales áreas de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental

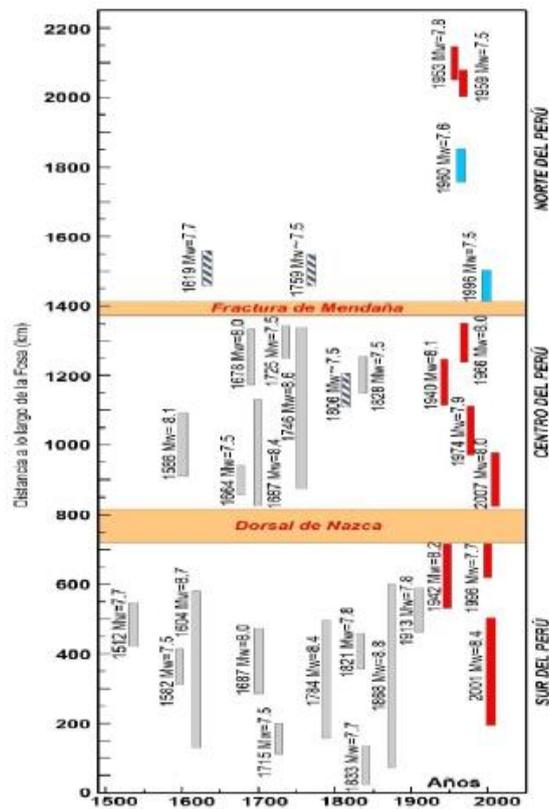


Fuente: Tavera & Bernal (2005)

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

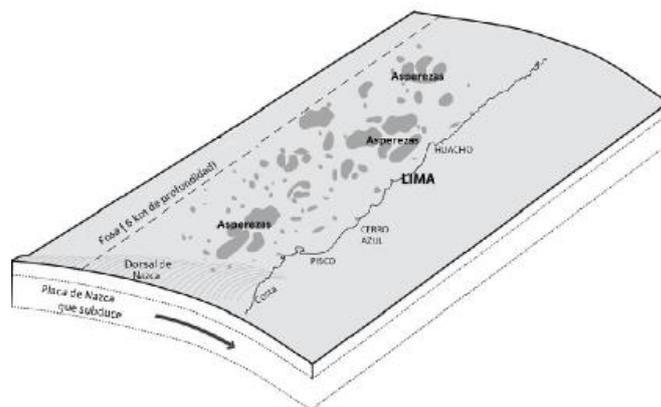


Fuente: Tavera (2020).

3.1.1.4 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 6).

Figura 6. 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

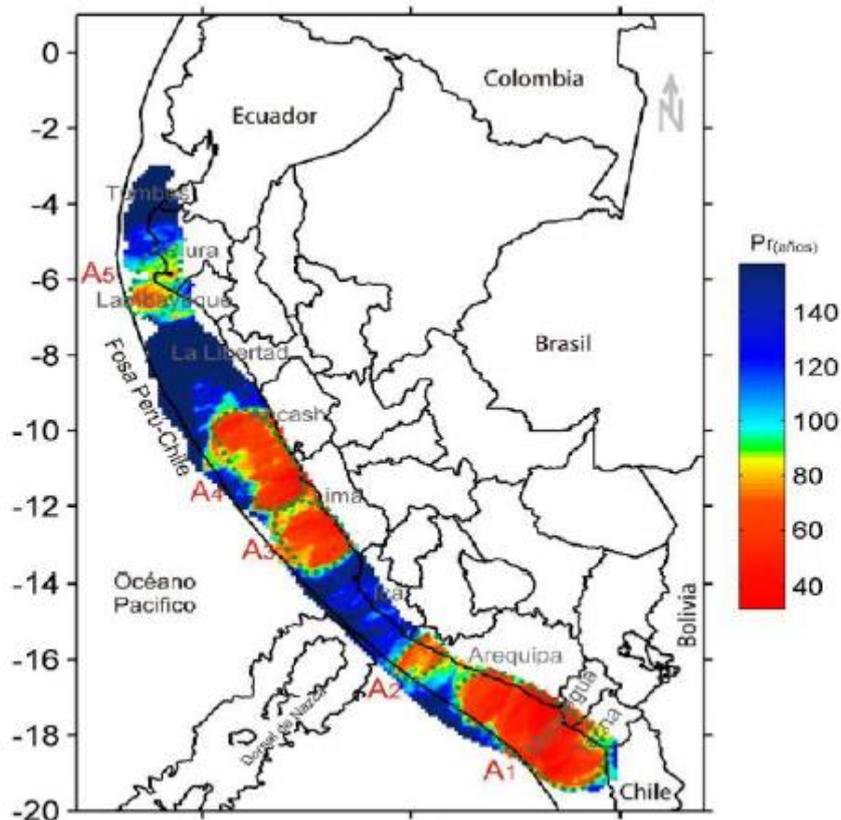


Fuente: Tavera (2020).



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 7).

Figura 7. Distribución espacial de las principales asperezas identificadas en el borde occidental del Perú



Fuente: Tavera (2020).

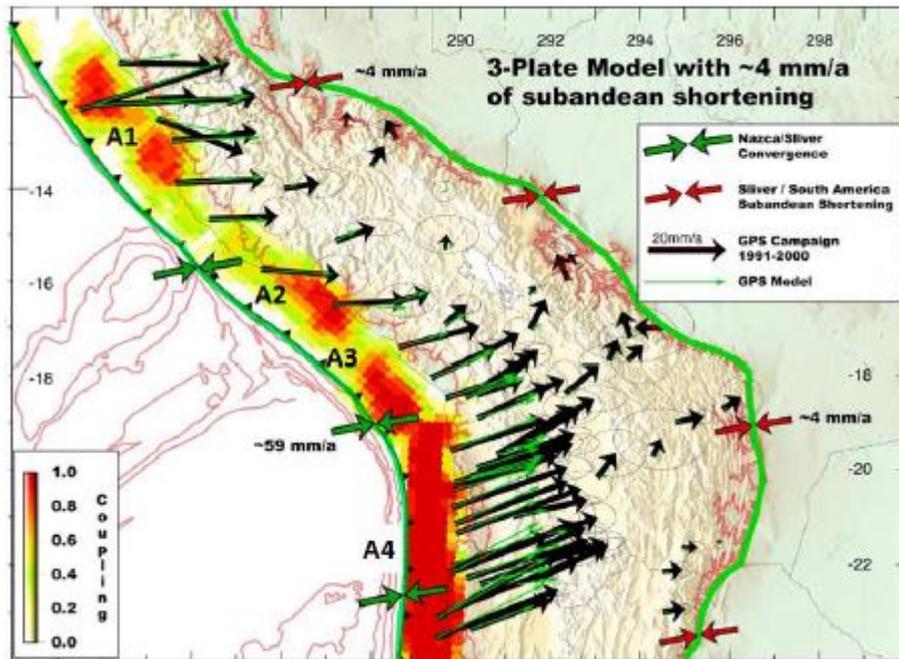
3.1.1.5 Zonas de máximo acoplamiento sísmico (ZMAS)

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 8).

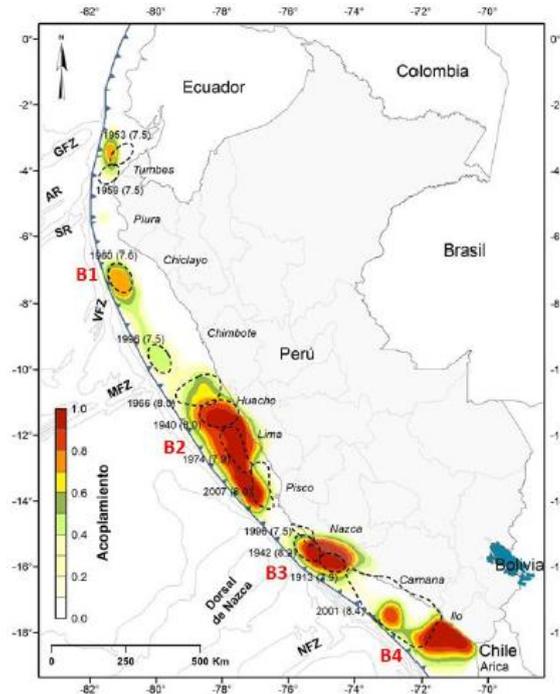
Figura 8. Mapa de zonas de acoplamiento sísmico en el borde occidental de Perú-Chile obtenido a partir de datos de GPS



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 9).

Figura 9. 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 km²), 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 9).

3.1.1.6 Antecedentes de sismos en la costa central del Perú

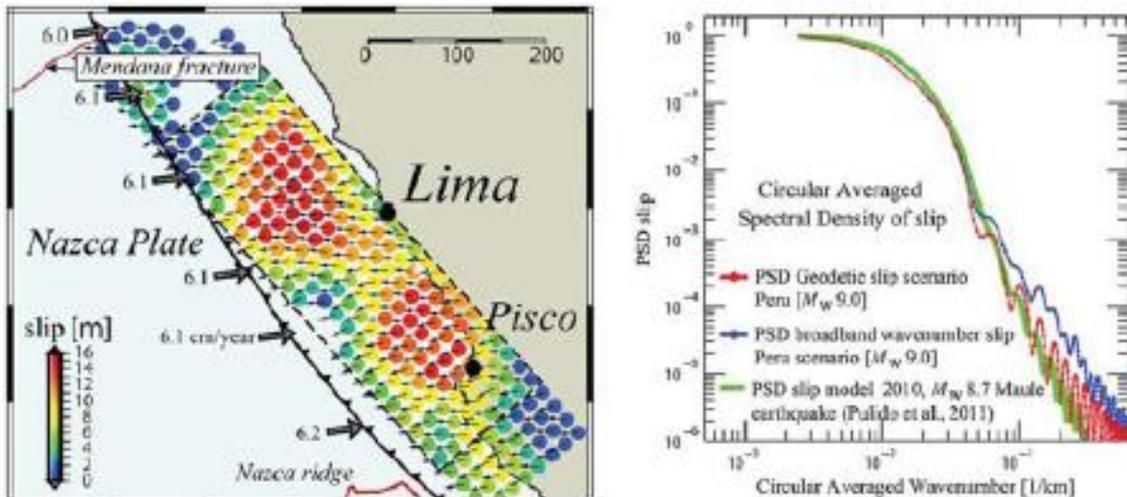
La ciudad de Lima está expuesta a un alto nivel de peligro sísmico, debido a la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, cuyos bordes convergen a pocos kilómetros del litoral peruano-chileno. Dentro de los sismos históricos ocurridos en la Zona Central del Perú y que de alguna 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 Mw=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.

3.1.1.7 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 10). 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 10. 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 10. Geometría de la ZMAS & Espectros de Fourier para señales teóricas



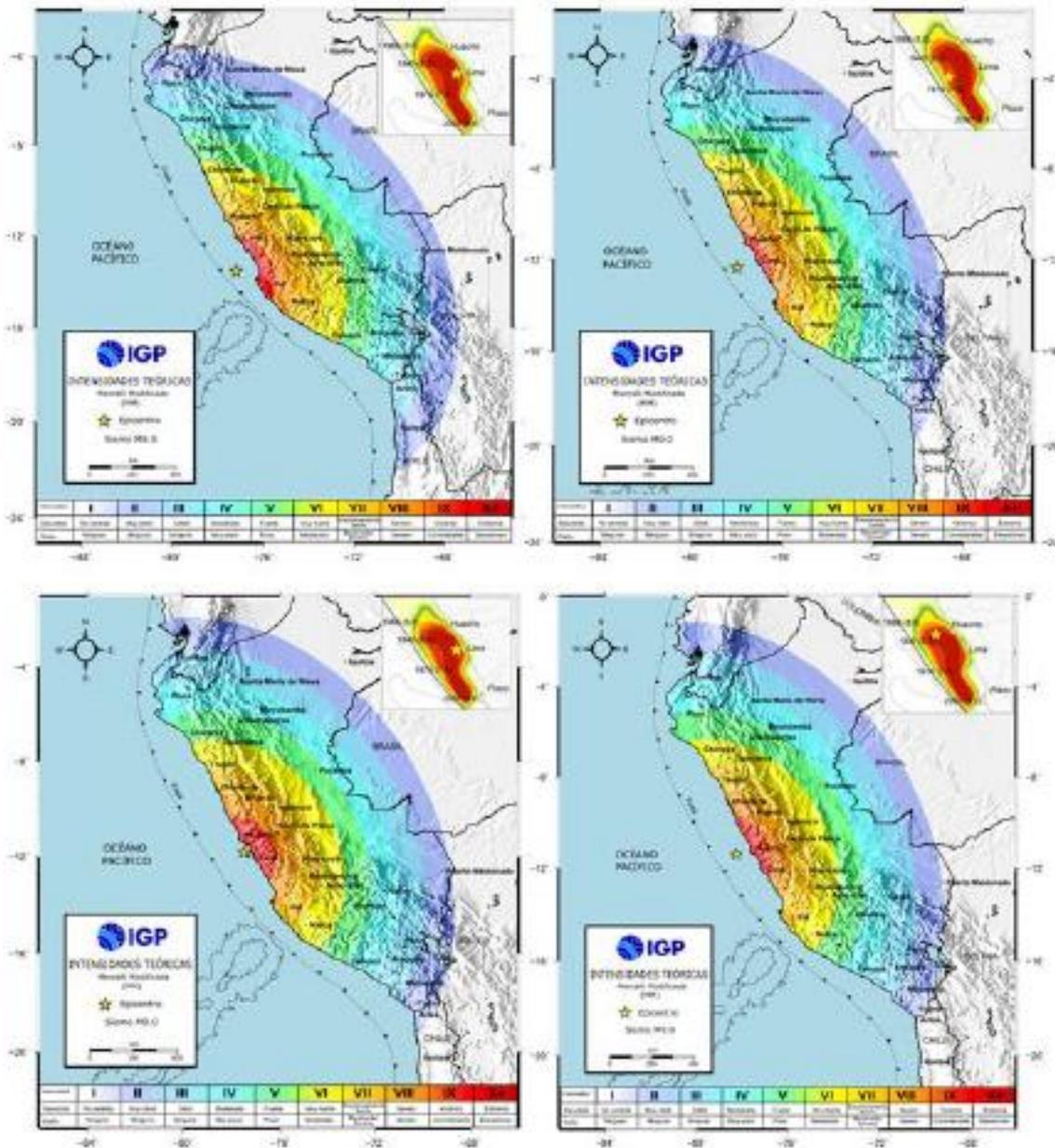
Fuente: Tavera (2020). Geometría de la ZMAS y distribución espacial de las deformaciones acumuladas en el borde costero de la región central del Perú (Figura izquierda). Espectros de Fourier para las señales teóricas correspondientes al sismo con origen en ZMAS (líneas roja y azul) y sismo de Chile del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

3.1.1.8 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 costa central, se ha construido para cada sismo los mapas de intensidades sísmicas teóricas en la escala de Mercalli Modificada (MM) (Tavera, 2020).

Considerando que la ZMAS (B2) ubicada frente a la zona costera de la región central del Perú presenta una gran área de ruptura ($460 \times 150 \text{ km}^2$), se ha considerado 4 escenarios para un sismo de magnitud M_w 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



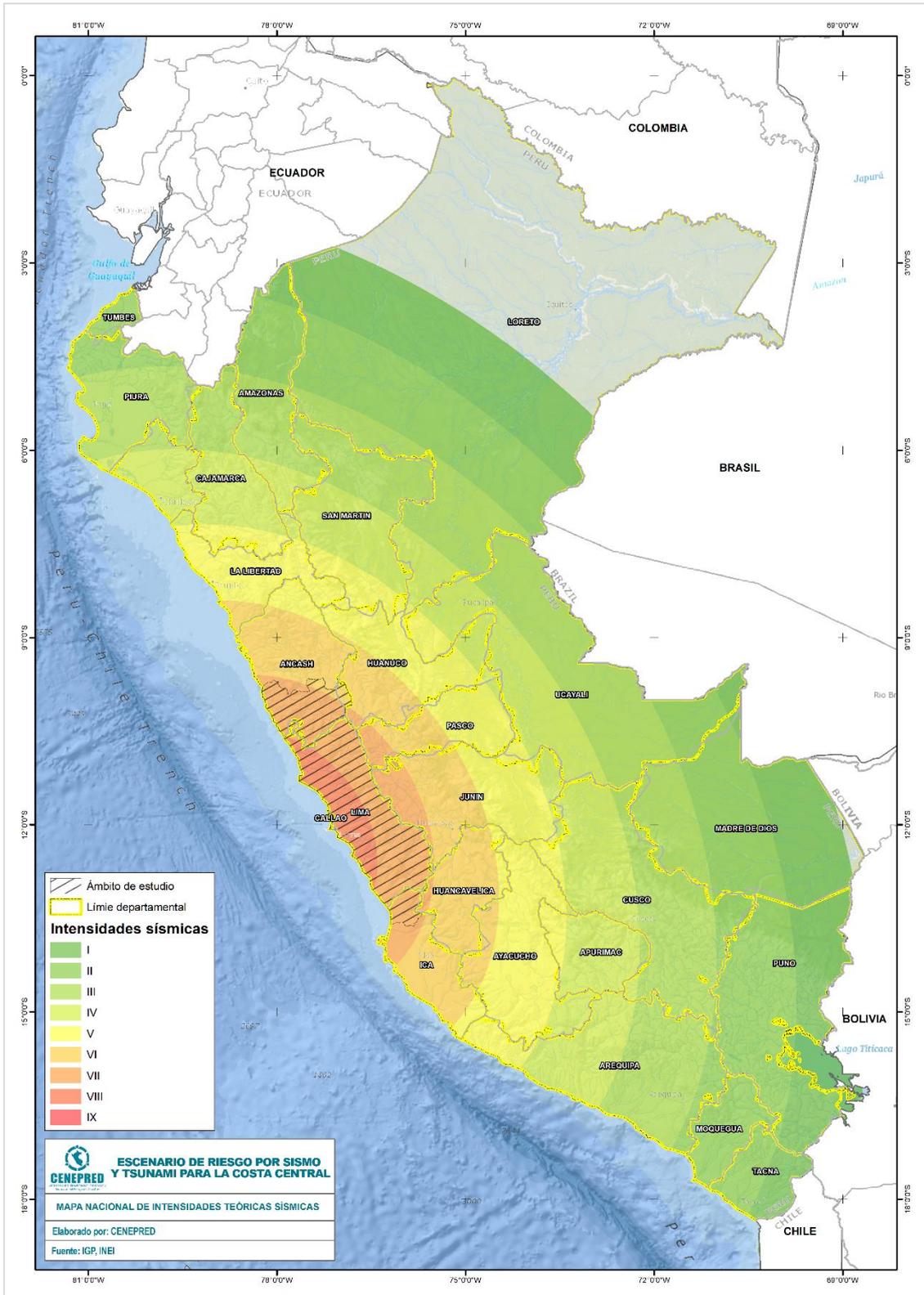
Fuente: Tavera (2020). Mapas de intensidades sísmicas teóricas en la escala MM elaborados para 4 escenarios de sismos de gran magnitud ocurridos en el área ZMAS (B2) ubicada frente a la costa de la región central del Perú.

3.1.1.9 Mapa de intensidades sísmicas

Para el presente escenario se ha considerado el mapa de intensidades sísmicas teóricas 2 (Figura 11), el cual cobertura el ámbito de estudio definido por el MINSA. Además, para comprender la descripción de los niveles de intensidades, los cuales perteneces a la escala de Mercalli Modificada (MM), se incluído la Tabla 1 que describe detalladamente la implicación de cada grado. Por consiguiente, a partir del Mapa de la Figura 12 se definió los niveles de susceptibilidad por sismo según distritos para el presente escenario de multipeligro (Figura 13).



Figura 12. Mapa de intensidades sísmicas para el escenario de riesgo



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del IGP.



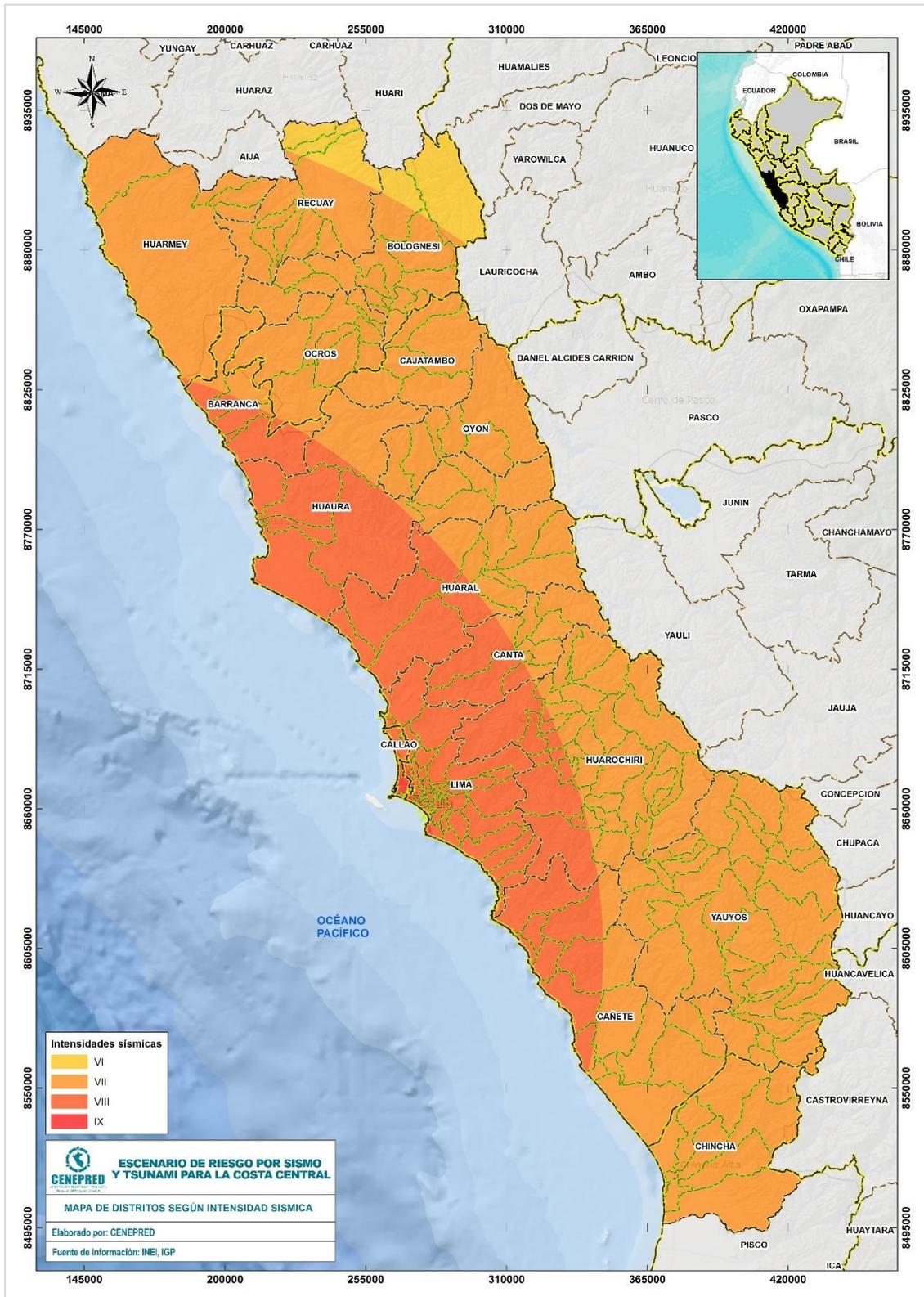
Tabla 1. Descripción cualitativa para cada grado de la escala de Mercalli Modificada

GRADO	DESCRIPCIÓN
I	No sentido excepto por algunas personas bajo circunstancias especialmente favorables.
II	Sentido solo por muy pocas personas en reposo, especialmente en pisos altos. Objetos suspendidos pueden oscilar.
III	Sentido por personas dentro de edificaciones, especialmente las ubicadas en pisos superiores. Muchas personas no se dan cuenta que se trata de un sismo. Automóviles parados pueden balancearse ligeramente. Vibraciones como las producidas por el paso de un camión. Duración apreciable.
IV	Durante el día sentido en interiores por muchos, al aire libre por algunos. Por la noche algunos se despiertan. Ventanas y puertas son agitadas; las paredes crujen. Sensación como si un camión pesado chocara contra el edificio. Automóviles parados se balancean apreciablemente.
V	Sentido por casi todos, muchos se despiertan. Algunas ventanas y puertas de vidrio se rompen; grietas en el revestimiento de algunos sitios. Objetos inestables volcados. Algunas veces se aprecia balanceo de árboles, postes y otros objetos altos. Los péndulos de los relojes pueden pararse.
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen al exterior. Algunos muebles pesados se mueven; algunos casos de caída de revestimientos y paredes inestables. Daño leve.
VII	Muchas personas corren al exterior. Daño significativo en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; caída de paredes inestables. Notado por personas que conducen automóviles.
VIII	Daño leve en estructuras de diseño especial; considerable en edificios corrientes sólidos con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de paredes inestables, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Posibles procesos de licuación de suelos. Cambios en niveles de agua en pozos. Conductores en automóviles entorpecidos. En zonas costeras generación de tsunamis. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la vertical; grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas. Procesos de licuación de suelos. En zonas costeras generación de tsunamis y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
X	Algunos edificios bien construidos en madera, destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas con los cimientos; suelo muy agrietado. Carriles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. En zonas costeras generación de tsunamis de gran envergadura y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
XI	Pocas o ninguna obra de albañilería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el suelo. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. La tierra se hunde y el suelo se desliza en terrenos blandos. Carriles muy retorcidos. En zonas costeras generación de tsunamis y procesos de licuación de suelos. En zonas andinas y subandinas, presencia de deslizamientos.
XII	Destrucción total.

Fuente: IGP (Tavera, 2017b).



Figura 13. Mapa de intensidades sísmicas según distritos



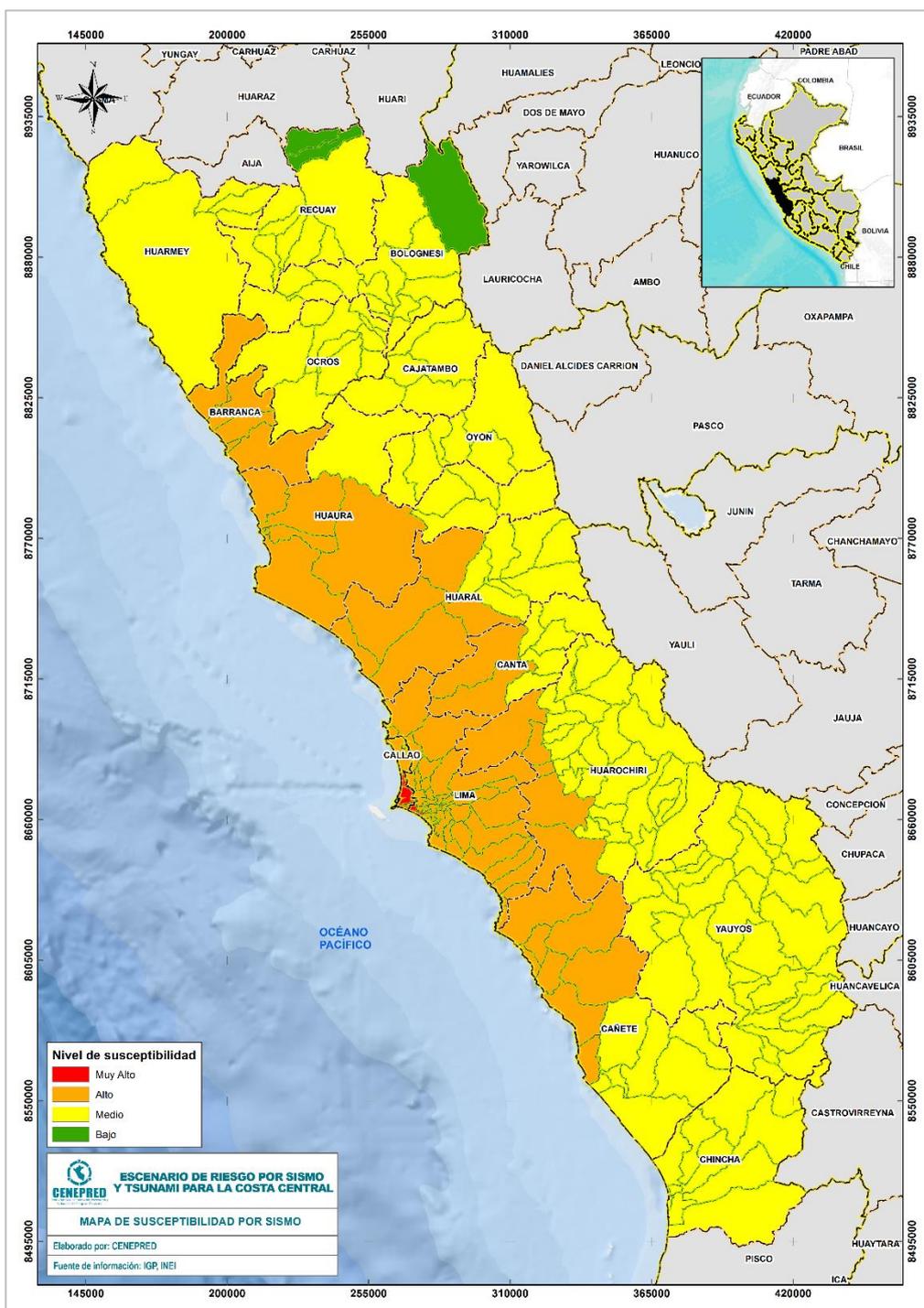
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del IGP.



3.1.2 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD POR SISMO

El mapa de susceptibilidad por sismo se determinó a partir del mapa del Mapa de intensidades sísmicas según distritos (Figura 13), este último cuenta con cuatro niveles de intensidades, los cuales permitieron establecer los niveles de susceptibilidad por distritos desde el Muy Alto para los ámbitos con intensidades sísmicas mayores a IX, el Alto para los sectores de VIII; el Medio para la zonas con el nivel VII de intensidad y el Bajo para los ámbitos de intensidades iguales a VI (Figura 14).

Figura 14. Mapa de susceptibilidad por sismo en la Costa Central



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del IGP.

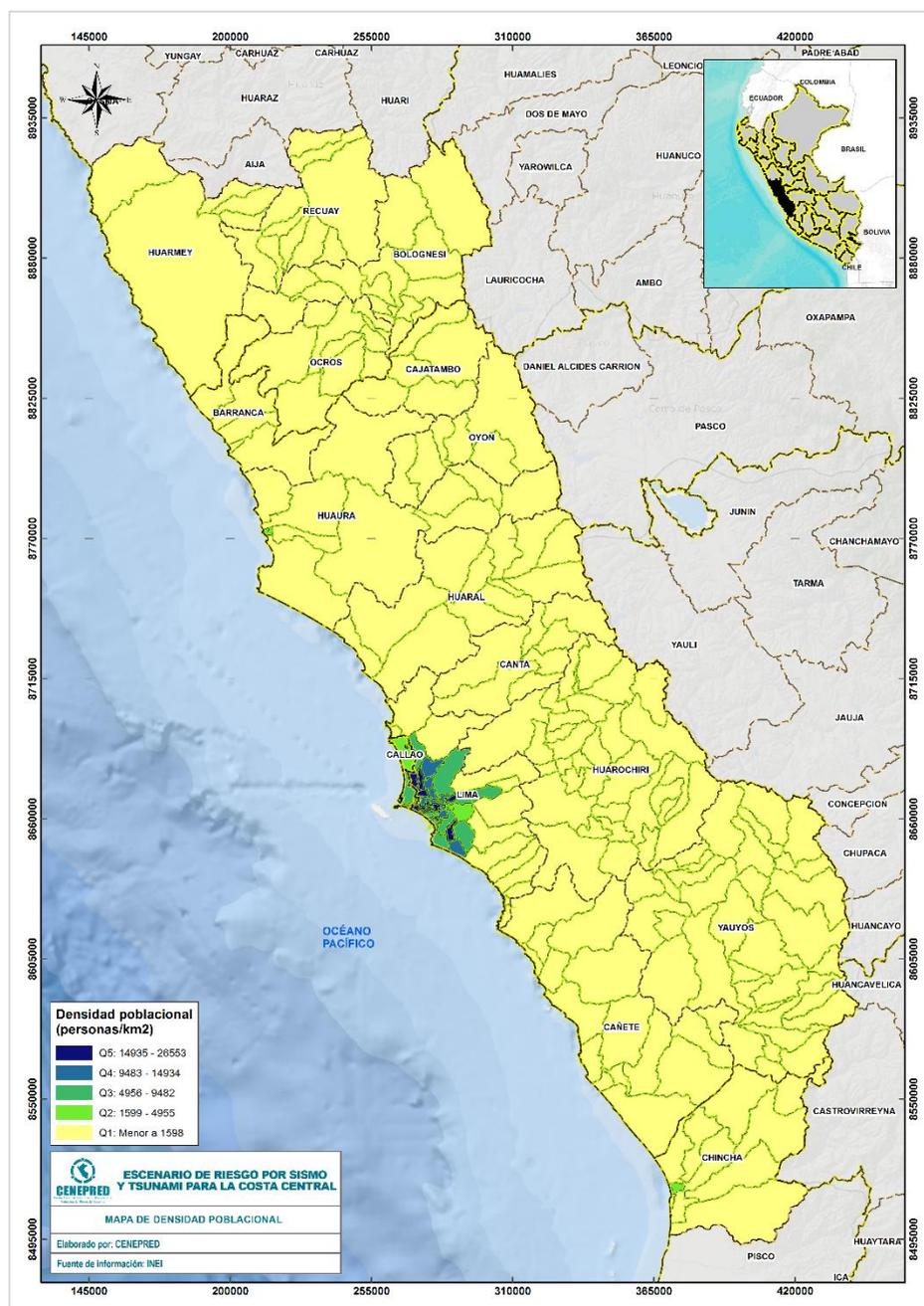


3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

3.2.1 DENISIDAD POBLACIONAL

Para la construcción del mapa de densidad poblacional, hemos realizado el cálculo de éste a través de las siguientes variables: población total (INEI, 2017) sobre km². Después, hemos clasificado el resultado por quintiles, con la finalidad de identificar cuáles son los distritos que concentren las mayores densidades. El resultado se ofrece en la Figura 15, donde se puede visualizar que las mayores densidades poblacionales se localizan principalmente entre las provincias de Lima y Callao (el ámbito de Lima Metropolitana), mientras que, en el resto del ámbito de estudio, predomina el quintil más bajo (en color amarillo).

Figura 15. Mapa de densidad poblacional.



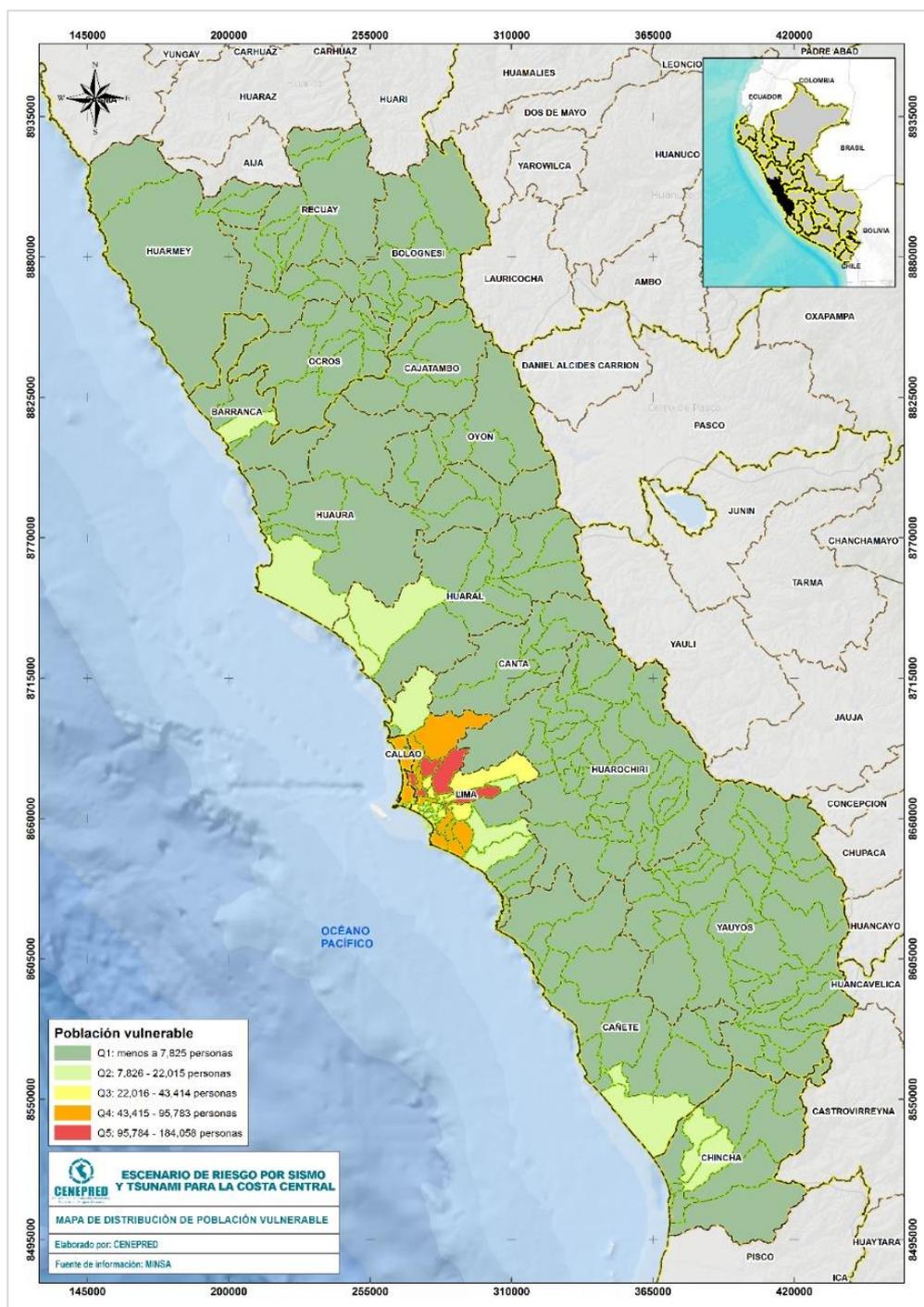
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI.



3.2.2 POBLACIÓN VULNERABLE

Para la elaboración del mapa de población vulnerable (Figura 16), se ha tomado en consideración los resultados de población del censo de 2017, priorizando en los grupos de edad menor o igual a 5 años y los mayores o igual a 60. Posteriormente, se ha realizado una clasificación por quintiles, de esta manera se identificará cuáles son los distritos que concentran la mayor cantidad de población vulnerable, la cual predomina en las provincias de Lima y Callao.

Figura 16. Mapa de población vulnerable



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI.

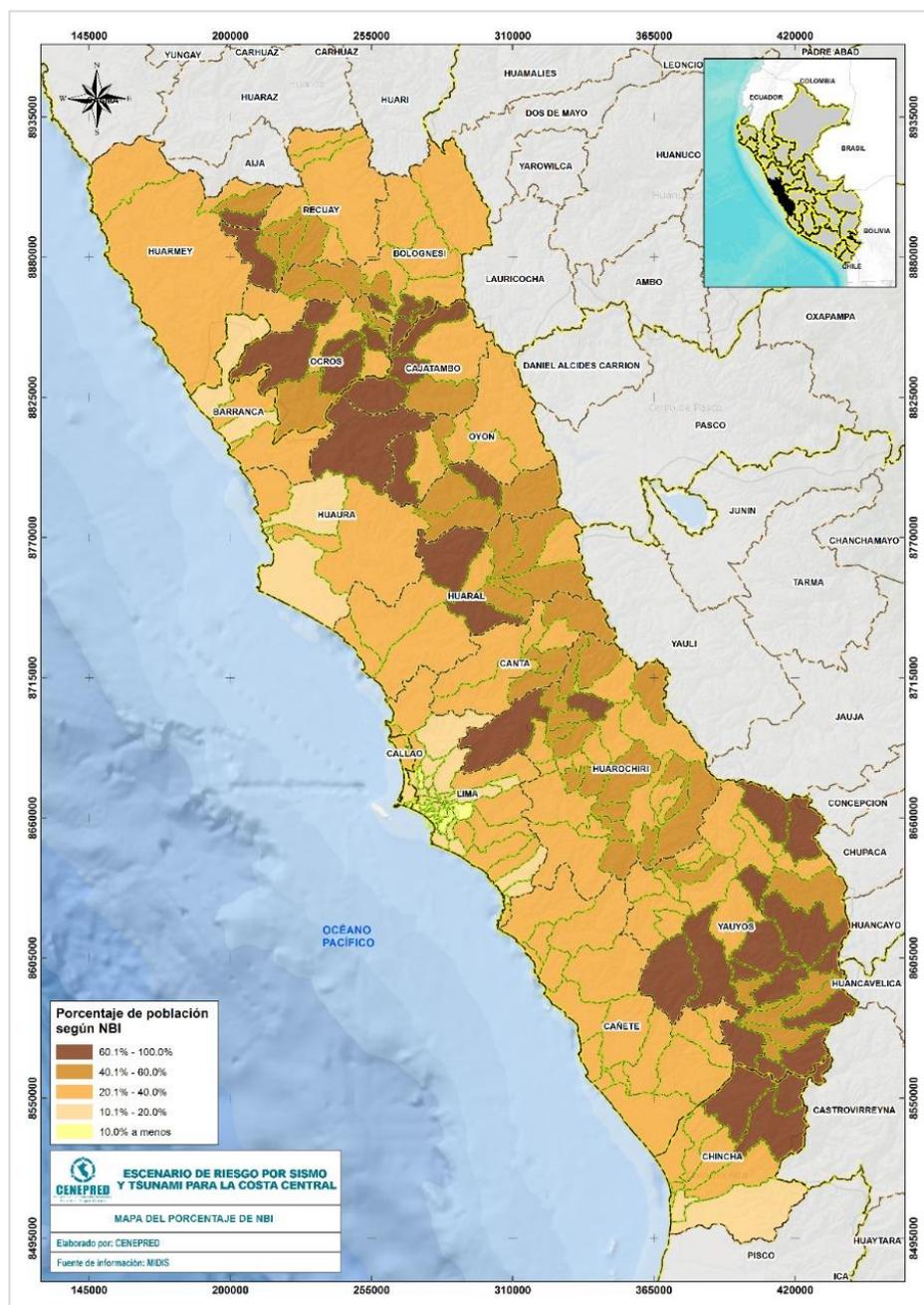


3.2.3 NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS

Las necesidades básicas insatisfechas (NBI), es un indicador desarrollado por el INEI, tomando en consideración la carencia de uno o más bienes o servicios determinados (material de la vivienda, servicios básicos, hacinamiento, alta dependencia económica y niños que no asisten a la escuela) y al hogar como unidad de análisis.

Para el presente análisis, se ha considerado el valor porcentual obtenido de la cantidad de población con al menos una NBI con respecto a su total, en el ámbito de cada distrito. Representándose con una leyenda donde los valores con porcentajes más altos reflejan los rangos con mayor nivel de pobreza (Figura 17).

Figura 17. Mapa de necesidades básicas insatisfechas



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de INEI.



3.2.4 CONCENTRACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

Define la cantidad de establecimientos de salud (EESS) del primer nivel al tercer nivel de atención con los que cuenta un distrito (Tabla 2). Este parámetro identifica a los distritos con mayor vulnerabilidad frente a desastres de origen natural, los cuales se caracterizan por contar con el menor número de establecimientos de salud, para tal fin se ha determinado una valoración por quintiles (Tabla 3), y su representación espacial se puede visualizar en la Figura 18.

Tabla 2. Categoría de establecimientos de salud

NIVEL	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
PRIMER NIVEL DE ATENCIÓN	Categoría I-1.	Puesto de salud, posta de salud o consultorio con profesionales de salud no médicos.
	Categoría I-2.	Puesto de salud o posta de salud (con médico). Además de los consultorios médicos (con médicos con o sin especialidad).
	Categoría I-3.	Corresponde a los centros de salud, centros médicos, centros médicos especializados y policlínicos.
	Categoría I-4.	Agrupan los centros de salud y los centros médicos con camas de internamiento.
SEGUNDO NIVEL DE ATENCIÓN	Categoría II-1.	El conjunto de hospitales y clínicas de atención general.
	Categoría II-2.	Corresponde a los hospitales y clínicas con mayor especialización.
	Categoría II-E.	Agrupan a los hospitales y clínicas dedicados a la atención especializada.
TERCER NIVEL DE ATENCIÓN	Categoría III-1.	Agrupan los hospitales y clínicas de atención general con mayores unidades productoras de servicios de salud.
	Categoría III-E.	Agrupan los hospitales y clínicas de atención general con mayores unidades productoras de servicios de salud y servicios en general.
	Categoría III-2.	Corresponden a los institutos especializados.

Fuente: MINSA.

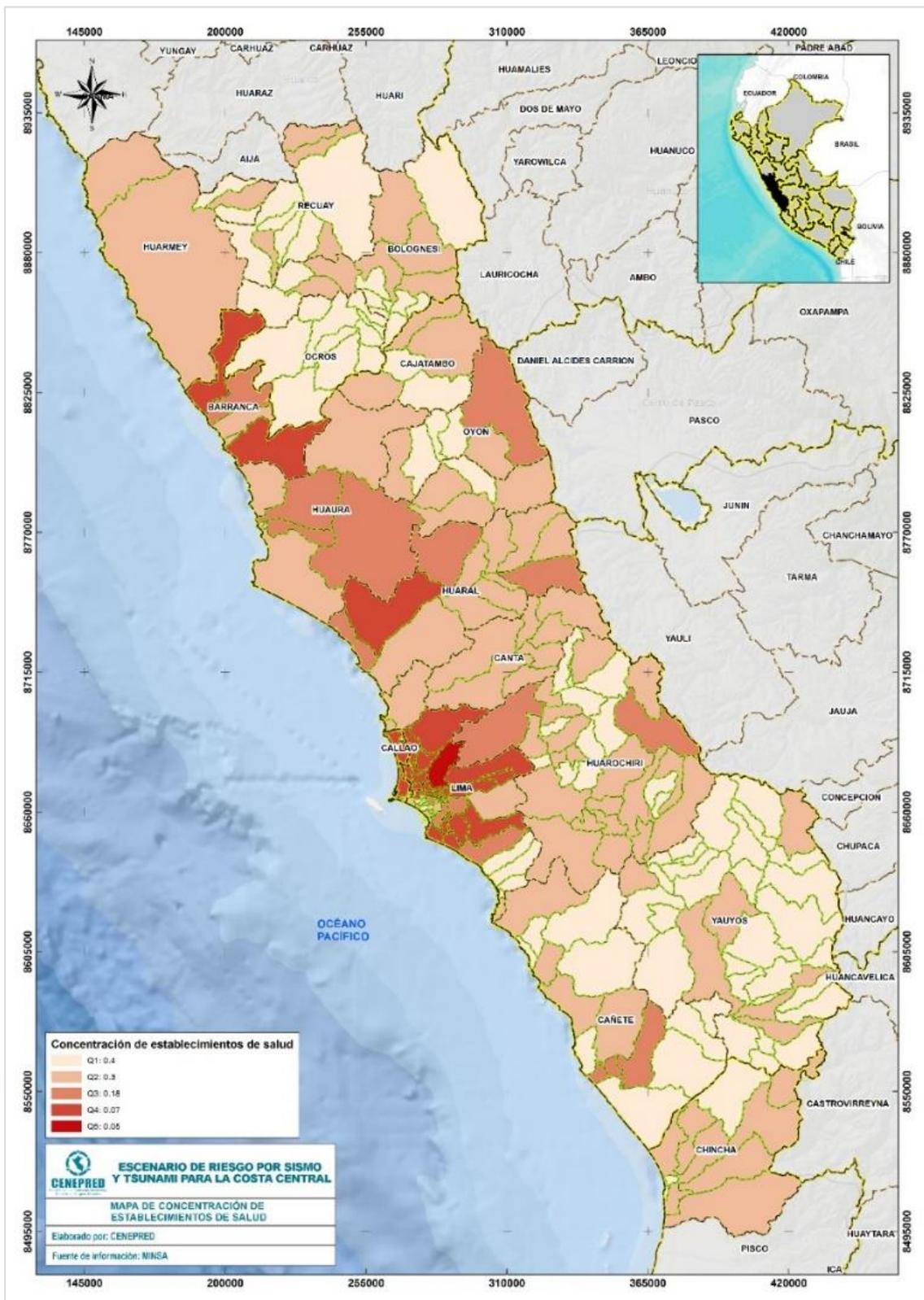
Tabla 3. Valor de concentración EESS de I - III nivel de atención por quintiles

QUINTIL	Valor de concentración EESS de I - III nivel de atención	Descripción
QUINTIL 1	0.4	Distrito cuenta con máximo 01 EESS.
QUINTIL 2	0.3	Distrito cuenta con mínimo 02 EESS, y no mayor a 04 EESS
QUINTIL 3	0.18	Distrito cuenta con mínimo 05 EESS, y no mayor a 07 EESS
QUINTIL 4	0.07	Distrito cuenta con mínimo 08 EESS, y no mayor a 29 EESS
QUINTIL 5	0.05	Distrito cuenta con más de 30 EESS

Fuente: MINSA.



Figura 18. Mapa de concentración de establecimientos de salud



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de MINSA.



3.2.5 MAYOR CAPACIDAD RESOLUTIVA DE LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

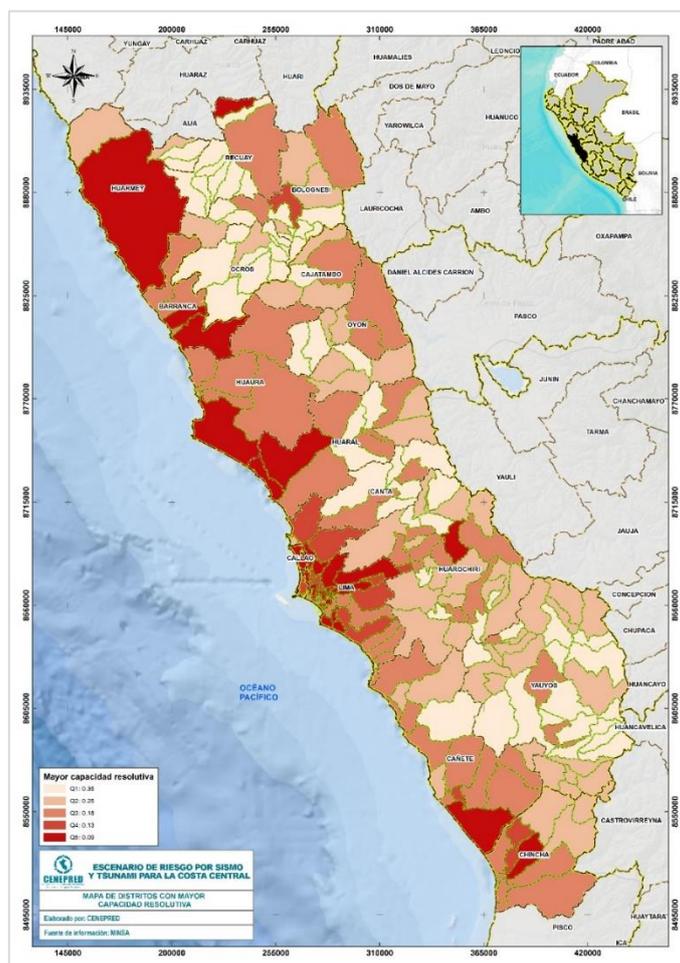
Determina la capacidad de los establecimientos de salud, con relación a los servicios que la población requiera para satisfacer sus necesidades, incluyendo a los usuarios que dependen del uso de tecnología sanitaria adecuada; además, se consideran otros elementos importantes como el de recursos humanos y condiciones generales, según nivel de complejidad de los EESS. De esta manera, los distritos que cuenten con EESS con mayor capacidad resolutiva, serán los menos vulnerables (Tabla 4), el producto espacial de este análisis de represente en la Figura 19.

Tabla 4. Valor EESS con mayor capacidad resolutiva

QUINTIL	Valor EESS con mayor capacidad resolutiva	Descripción
QUINTIL 1	0.35	Distrito cuenta con EESS de Primer nivel de atención con categoría I-1
QUINTIL 2	0.25	Distrito cuenta con EESS de Primer nivel de atención con categoría I-2
QUINTIL 3	0.18	Distrito cuenta con EESS de Primer nivel de atención con categoría I-3
QUINTIL 4	0.13	Distrito cuenta con EESS de Primer nivel de atención con categoría I-3
QUINTIL 5	0.09	Distrito cuenta con EESS de Segundo y Tercer nivel de atención

Fuente: MINSA.

Figura 19. Mapa de distritos con mayor capacidad resolutiva de los establecimientos de salud



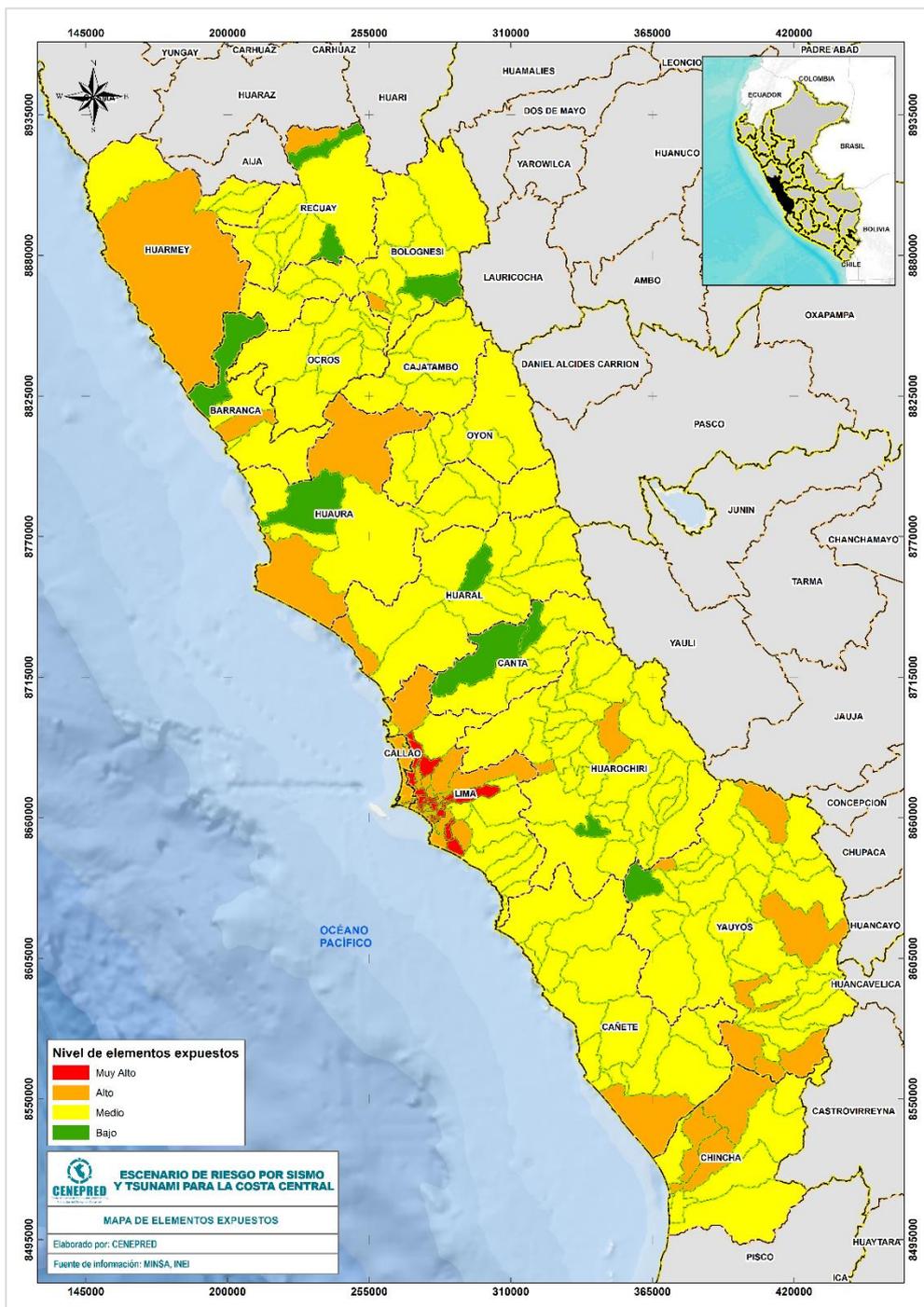
Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de MINSA.



3.2.6 MAPA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Al igual que el mapa de susceptibilidad, las unidades mínimas de análisis son los distritos en el mapa de identificación de los elementos expuestos del presente escenario de riesgo. Para la construcción de este mapa se tomó en consideración cinco variables: Mapa de densidad poblacional, mapa de población vulnerable, mapa de necesidades básicas insatisfechas, mapa de concentración de establecimientos de salud y el mapa de distritos con mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud. Del análisis realizado se obtuvo el presente mapa con cuatro niveles, desde el Bajo al Muy Alto (Figura 20).

Figura 20. Mapa de identificación de los elementos expuestos



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



3.3 ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO

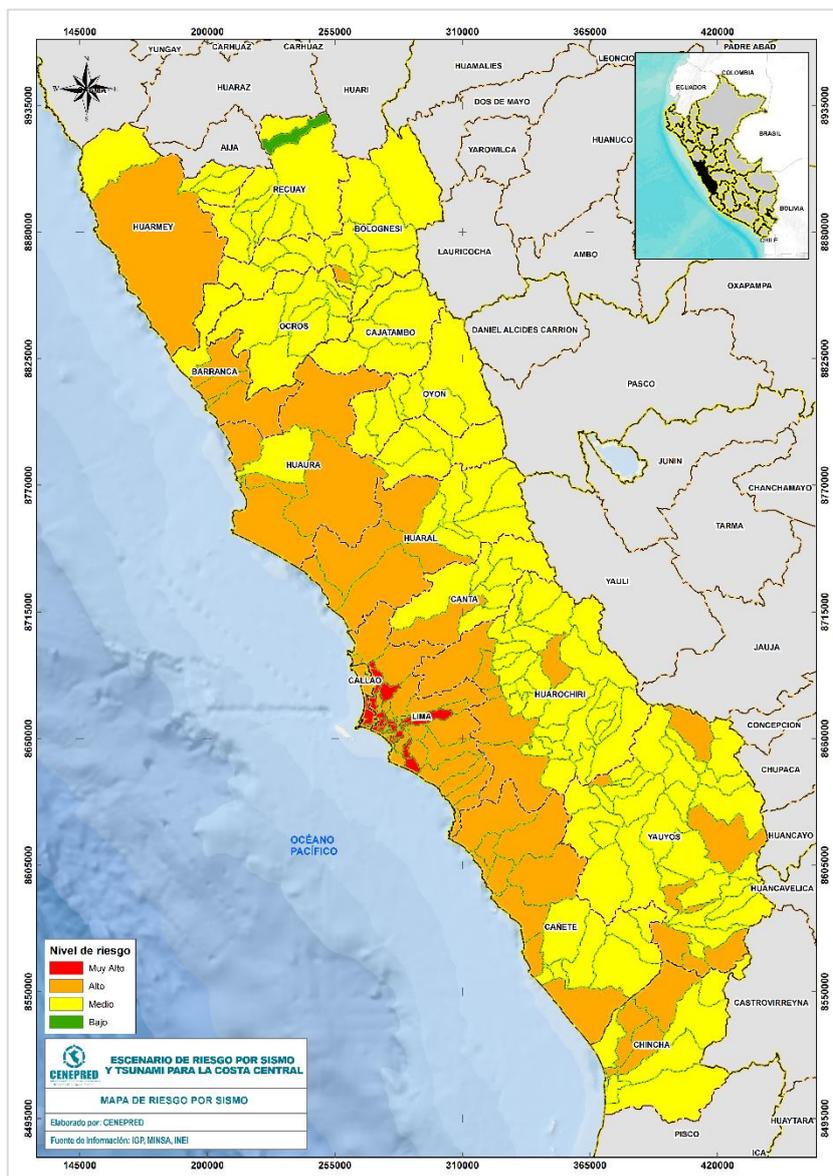
El mapa del escenario de riesgo por sismo se construyó de acuerdo con lo descrito en la metodología (Figura 2), relacionando el mapa de susceptibilidad por sismo con el de identificación del elemento expuesto a través de una matriz de doble entrada (Tabla 5). Las unidades mínimas de análisis fueron los distritos y su clasificación de determinó en cuatro niveles: Muy Alto (en color rojo), Alto (en color anaranjado), Medio (en color amarillo) y Bajo (en color verde) (Figura 21).

Tabla 5. 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.

Figura 21. Mapa de escenarios de riesgo por sismo



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Asimismo, se puede visualizar que los resultados del mapa de riesgo ofrecen los siguientes resultados para población: 4,807,754 con nivel Muy Alto; 5,614,016 con nivel Alto, 360,361 con nivel Medio y 2,462 con nivel Bajo. Con respecto a viviendas, los datos muestran que; 1,213,664 éstas resultaron con nivel Muy Alto; 1,427,599 con nivel Alto, 101,691 con nivel Medio y 728 con nivel de riesgo Bajo (Tabla 6).

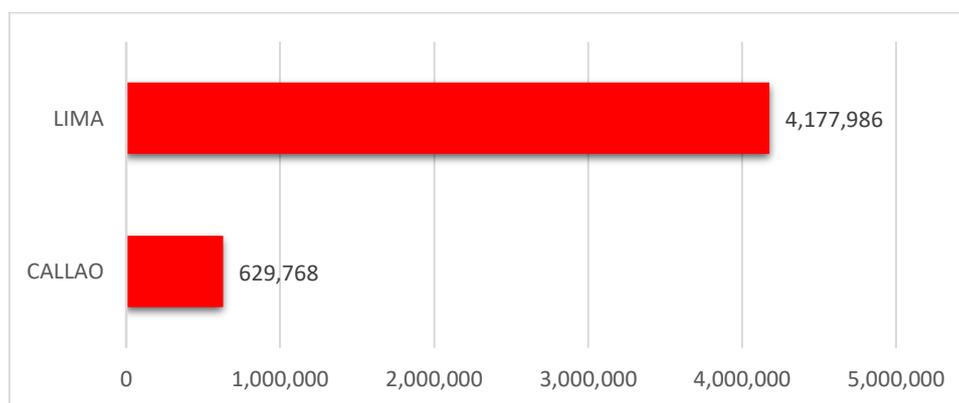
Tabla 6. Niveles de riesgo: población y vivienda, según provincias

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	NIVEL DE RIESGO							
		MUY ALTO		ALTO		MEDIO		BAJO	
		POBLACION	VIVIENDA	POBLACION	VIVIENDA	POBLACION	VIVIENDA	POBLACION	VIVIENDA
ANCASH	BOLOGNESI	0	0	495	146	23,302	6,672	0	0
ANCASH	HUARMEY	0	0	25,117	7,412	5,443	1,818	0	0
ANCASH	OCROS	0	0	0	0	7,039	2,549	0	0
ANCASH	RECUAY	0	0	0	0	14,723	4,356	2,462	728
CALLAO	CALLAO	629,768	153,611	364,726	91,209	0	0	0	0
ICA	CHINCHA	0	0	160,103	39,341	66,010	17,793	0	0
LIMA	BARRANCA	0	0	122,928	31,806	21,453	6,320	0	0
LIMA	CAÑETE	0	0	137,935	36,267	102,078	26,687	0	0
LIMA	CAJATAMBO	0	0	0	0	6,559	2,159	0	0
LIMA	CANTA	0	0	5,710	1,592	5,838	2,238	0	0
LIMA	HUARAL	0	0	179,056	45,441	4,842	1,707	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	0	0	28,498	7,397	29,647	9,017	0	0
LIMA	HUAURA	0	0	187,834	50,405	39,851	10,482	0	0
LIMA	LIMA	4,177,986	1,060,053	4,396,988	1,115,147	0	0	0	0
LIMA	OYON	0	0	0	0	17,739	4,608	0	0
LIMA	YAUYOS	0	0	4,626	1,436	15,837	5,285	0	0
TOTAL		4,807,754	1,213,664	5,614,016	1,427,599	360,361	101,691	2,462	728

Fuente: Elaborado por CENEPRED.

Del total de dieciséis provincias pertenecientes al ámbito de estudio, sólo dos de éstas han obtenido distritos con nivel de riesgo Muy Alto: las provincias de Lima y Callao, la primera acumuló un total de 4,177,986 y la segunda 629,768 personas (Figura 22).

Figura 22. Población con riesgo Muy Alto según provincias

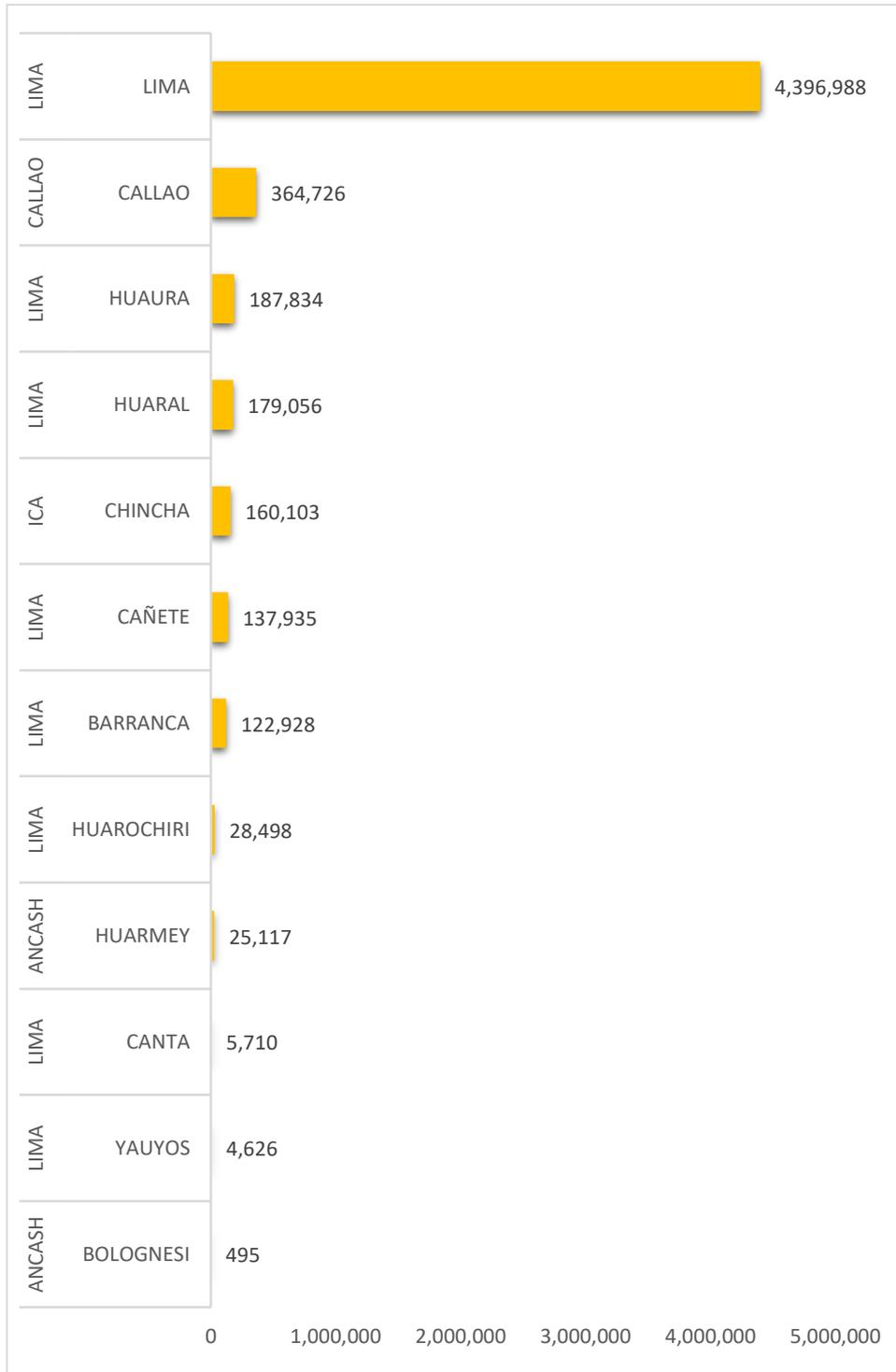


Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Además, de las provincias que resultaron con niveles de riesgo Alto, nuevamente Lima y Callao son los ámbitos que concentran el mayor número de personas con 4,396,988 y 364,726 respectivamente, en comparación a las restantes (Figura 23).

Figura 23. Población con riesgo Alto según provincias



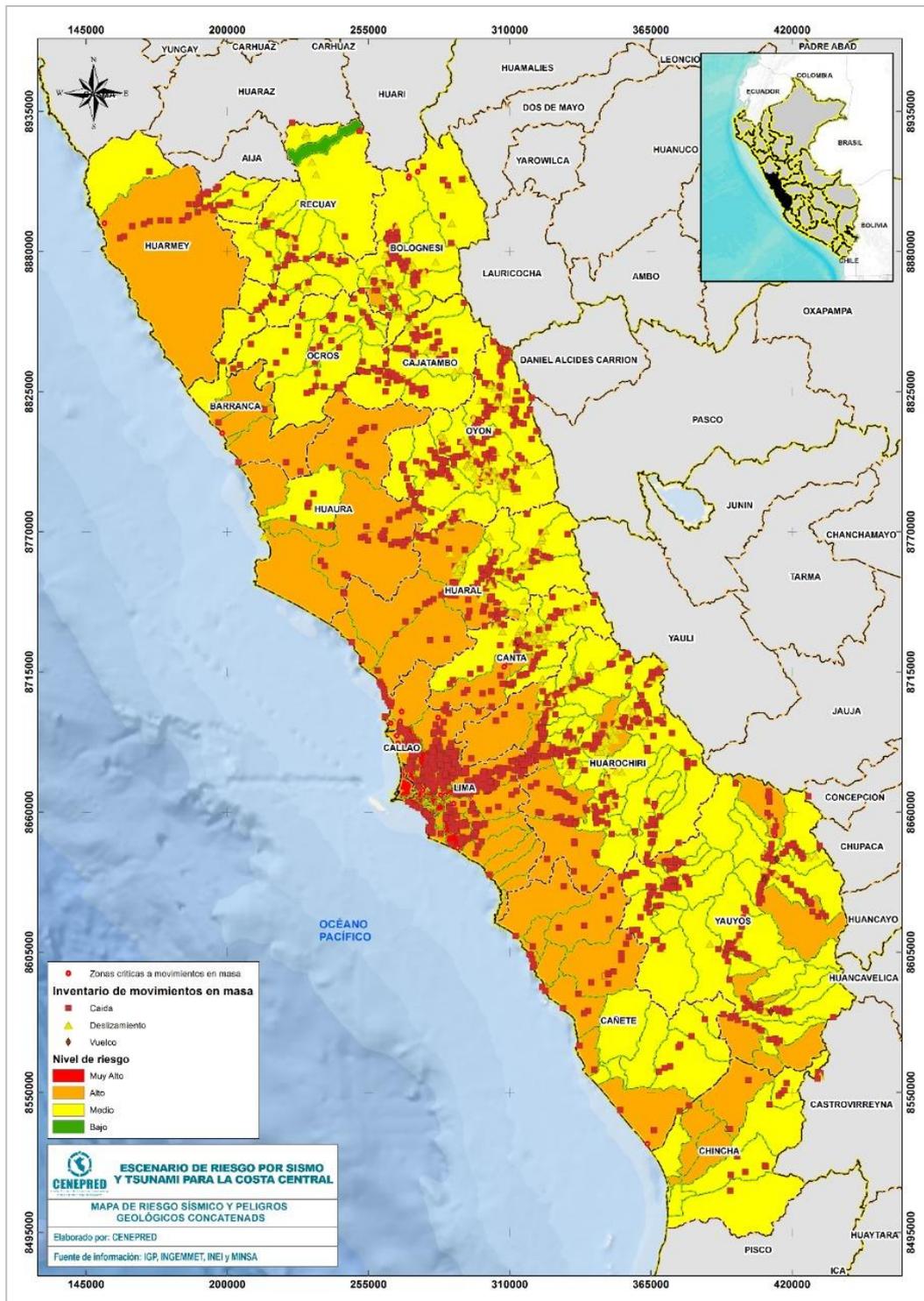
Fuente: Elaborado por CENEPRED.



3.3.1 PELIGROS GEOLOGICOS CONCATENADOS AL PROBABLE SISMO

Después de obtener el mapa de riesgo por sismo, se seleccionaron las zonas críticas y la localización de los eventos del inventario de peligros geológicos del INGEMMET; donde hayan considerado peligros de tipo caída, deslizamiento y vuelco; los cuales podrían activarse ante un eventual sismo de gran magnitud (Figura 24, Tabla 7, Tabla 8).

Figura 24. Peligros geológicos concatenados al probable sismo



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Tabla 7. Zonas críticas en el Costa Central

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	ZONAS CRITICAS
ANCASH	BOLOGNESI	AQUIA	9
ANCASH	BOLOGNESI	CAJACAY	2
ANCASH	BOLOGNESI	CHASQUITAMBO	1
ANCASH	BOLOGNESI	CHIQUIN	1
ANCASH	BOLOGNESI	GORGORILLO	1
ANCASH	BOLOGNESI	HUASTA	1
ANCASH	BOLOGNESI	PACLLON	2
ANCASH	BOLOGNESI	TICLLOS	1
ANCASH	HUARMEY	HUARMEY	1
CALLAO	CALLAO	VENTANILLA	5
LIMA	BARRANCA	BARRANCA	1
LIMA	CAÑETE	SAN VICENTE DE CAÑETE	1
LIMA	CAJATAMBO	CAJATAMBO	2
LIMA	CAJATAMBO	GORGOR	1
LIMA	CAJATAMBO	HUANCAPON	1
LIMA	CANTA	ARAHUAY	1
LIMA	CANTA	CANTA	4
LIMA	CANTA	HUAROS	4
LIMA	CANTA	LACHAQUI	1
LIMA	CANTA	SAN BUENAVENTURA	1
LIMA	CANTA	SANTA ROSA DE QUIVES	3
LIMA	HUARAL	ATAVILLOS ALTO	2
LIMA	HUARAL	IHUARI	2
LIMA	HUARAL	SANTA CRUZ DE ANDAMARCA	1
LIMA	HUAROCHIRÍ	CHICLA	2
LIMA	HUAROCHIRÍ	SAN MATEO	2
LIMA	HUAROCHIRÍ	SANTIAGO DE ANCHUCAYA	1
LIMA	HUAURA	CHECRAS	4
LIMA	HUAURA	LEONCIO PRADO	1
LIMA	HUAURA	SANTA LEONOR	1
LIMA	HUAURA	SAYAN	2
LIMA	LIMA	ANCÓN	4
LIMA	LIMA	ATE VITARTE	1
LIMA	LIMA	CARABAYLLO	7
LIMA	LIMA	CERCADO DE LIMA	1
LIMA	LIMA	CHORRILLOS	1
LIMA	LIMA	COMAS	5
LIMA	LIMA	EL AGUSTINO	1
LIMA	LIMA	INDEPENDENCIA	2



DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	ZONAS CRITICAS
LIMA	LIMA	LA MOLINA	1
LIMA	LIMA	LURIGANCHO	3
LIMA	LIMA	LURÍN	1
LIMA	LIMA	MAGDALENA DEL MAR	1
LIMA	LIMA	PACHACAMAC	2
LIMA	LIMA	PUENTE PIEDRA	1
LIMA	LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	9
LIMA	LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	3
LIMA	LIMA	SAN MARTIN DE PORRES	1
LIMA	LIMA	SANTA ROSA	1
LIMA	LIMA	VILLA EL SALVADOR	1
LIMA	LIMA	VILLA MARÍA DEL TRIUNFO	5
LIMA	OYÓN	CAUJUL	3
LIMA	OYÓN	NAVÁN	2
LIMA	OYÓN	OYÓN	4
LIMA	OYÓN	PACHANGARA	3
LIMA	YAUYOS	ALIS	1
LIMA	YAUYOS	AYAUCA	1
LIMA	YAUYOS	HUANCAYA	1
LIMA	YAUYOS	LARAOS	2
LIMA	YAUYOS	QUINCHES	1
LIMA	YAUYOS	YAUYOS	1
TOTAL			132

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del INGEMMET.



Tabla 8. Inventario de peligros geológicos

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
			CAÍDA	DESLIZAMIENTO	VUELCO
ANCASH	BOLOGNESI	ABELARDO PARDO LEZAMETA	2	0	0
ANCASH	BOLOGNESI	AQUIA	16	2	0
ANCASH	BOLOGNESI	CAJACAY	16	0	0
ANCASH	BOLOGNESI	CANIS	4	0	0
ANCASH	BOLOGNESI	CHIQUIAN	16	6	0
ANCASH	BOLOGNESI	COLQUIOC	10	0	2
ANCASH	BOLOGNESI	HUALLANCA	6	4	0
ANCASH	BOLOGNESI	HUASTA	23	5	0
ANCASH	BOLOGNESI	HUAYLLACAYAN	4	2	0
ANCASH	BOLOGNESI	LA PRIMAVERA	2	3	0
ANCASH	BOLOGNESI	MANGAS	2	2	0
ANCASH	BOLOGNESI	PACLLON	14	11	0
ANCASH	BOLOGNESI	SAN MIGUEL DE CORPANQUI	2	0	0
ANCASH	BOLOGNESI	TICLLOS	12	10	0
ANCASH	HUARMEY	COCHAPETI	1	1	0
ANCASH	HUARMEY	CULEBRAS	1	0	0
ANCASH	HUARMEY	HUARMEY	22	0	0
ANCASH	HUARMEY	HUAYAN	9	0	0
ANCASH	HUARMEY	MALVAS	4	0	0
ANCASH	OCROS	ACAS	7	0	0
ANCASH	OCROS	CAJAMARQUILLA	4	0	0
ANCASH	OCROS	CARHUAPAMPA	11	0	0
ANCASH	OCROS	COCHAS	8	0	0
ANCASH	OCROS	CONGAS	2	0	0
ANCASH	OCROS	LLIPA	6	0	0
ANCASH	OCROS	OCROS	18	0	0
ANCASH	OCROS	SAN CRISTOBAL DE RAJAN	2	0	0
ANCASH	OCROS	SAN PEDRO	12	0	0
ANCASH	OCROS	SANTIAGO DE CHILCAS	4	0	0
ANCASH	RECUAY	CATAC	2	2	0
ANCASH	RECUAY	COTAPARACO	0	2	0
ANCASH	RECUAY	HUAYLLAPAMPA	8	6	0
ANCASH	RECUAY	LLACLIN	2	0	0
ANCASH	RECUAY	MARCA	18	0	0
ANCASH	RECUAY	PAMPAS CHICO	2	2	0
ANCASH	RECUAY	PARARIN	4	2	0
ANCASH	RECUAY	RECUAY	1	3	0
ANCASH	RECUAY	TAPACOCHA	8	0	0
ANCASH	RECUAY	TICAPAMPA	1	0	0
CALLAO	CALLAO	VENTANILLA	11	0	0
ICA	CHINCHA	ALTO LARAN	5	0	0
ICA	CHINCHA	CHAVIN	2	0	0



DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
			CAÍDA	DESPLAZAMIENTO	VUELCO
ICA	CHINCHA	EL CARMEN	1	0	0
ICA	CHINCHA	SAN JUAN DE YANAC	1	0	0
ICA	CHINCHA	SAN PEDRO DE HUACARPANA	8	1	0
LIMA	BARRANCA	BARRANCA	2	0	0
LIMA	BARRANCA	PARAMONGA	3	0	0
LIMA	BARRANCA	SUPE	3	0	0
LIMA	CAÑETE	ASIA	5	0	0
LIMA	CAÑETE	CALANGO	6	0	0
LIMA	CAÑETE	CERRO AZUL	2	0	0
LIMA	CAÑETE	CHILCA	2	0	0
LIMA	CAÑETE	COAYLLO	10	0	0
LIMA	CAÑETE	LUNAHUANA	5	0	0
LIMA	CAÑETE	PACARAN	1	0	0
LIMA	CAÑETE	SAN ANTONIO	6	0	0
LIMA	CAÑETE	SAN VICENTE DE CAÑETE	4	0	0
LIMA	CAÑETE	ZUÑIGA	2	0	0
LIMA	CAJATAMBO	CAJATAMBO	16	7	0
LIMA	CAJATAMBO	COPA	8	3	0
LIMA	CAJATAMBO	GORGOR	7	0	0
LIMA	CAJATAMBO	HUANCAPON	9	3	0
LIMA	CAJATAMBO	MANAS	14	0	0
LIMA	CANTA	ARAHUAY	12	1	0
LIMA	CANTA	CANTA	6	21	0
LIMA	CANTA	HUAMANTANGA	14	8	1
LIMA	CANTA	HUAROS	9	4	0
LIMA	CANTA	LACHAQUI	6	11	0
LIMA	CANTA	SAN BUENAVENTURA	10	14	0
LIMA	CANTA	SANTA ROSA DE QUIVES	13	1	0
LIMA	HUARAL	ATAVILLOS ALTO	8	3	0
LIMA	HUARAL	ATAVILLOS BAJO	12	6	0
LIMA	HUARAL	AUCALLAMA	8	0	0
LIMA	HUARAL	CHANCAY	2	0	0
LIMA	HUARAL	HUARAL	9	0	0
LIMA	HUARAL	IHUARI	27	16	0
LIMA	HUARAL	LAMPIAN	9	0	0
LIMA	HUARAL	PACARAOS	8	12	0
LIMA	HUARAL	SAN MIGUEL DE ACOS	4	2	0
LIMA	HUARAL	SANTA CRUZ DE ANDAMARCA	10	5	0
LIMA	HUARAL	SUMBILCA	19	6	0
LIMA	HUARAL	VEINTISIETE DE NOVIEMBRE	10	5	1
LIMA	HUAROCHIRI	ANTIOQUIA	18	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	CALLAHUANCA	4	0	0



DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
			CAÍDA	DESLIZAMIENTO	VUELCO
LIMA	HUAROCHIRI	CAMPOMA	17	9	0
LIMA	HUAROCHIRI	CHICLA	16	7	0
LIMA	HUAROCHIRI	CUENCA	6	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	HUACHUPAMPA	10	10	0
LIMA	HUAROCHIRI	HUANZA	4	5	0
LIMA	HUAROCHIRI	HUAROCHIRI	6	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	LAHUAYTAMBO	5	3	0
LIMA	HUAROCHIRI	LANGA	5	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	MATUCANA	13	23	0
LIMA	HUAROCHIRI	RICARDO PALMA	7	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN ANDRES DE TUPICOCHA	1	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN ANTONIO	12	6	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN BARTOLOME	5	1	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN DAMIAN	13	5	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN JUAN DE IRIS	6	2	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN LORENZO DE QUINTI	6	1	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN MATEO	34	9	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN MATEO DE OTAO	16	13	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN PEDRO DE CASTA	7	2	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN PEDRO DE HUANCAYRE	1	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SAN PEDRO DE LARAOS	4	4	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANGALLAYA	9	1	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANTA CRUZ DE COCACHACRA	7	1	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANTA EULALIA	28	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANTIAGO DE ANCHUCAYA	1	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANTIAGO DE TUNA	4	4	0
LIMA	HUAROCHIRI	SANTO DOMINGO DE LOS OLLEROS	12	0	0
LIMA	HUAROCHIRI	SURCO	14	15	0
LIMA	HUAURA	AMBAR	13	0	0
LIMA	HUAURA	CHECRAS	14	11	0
LIMA	HUAURA	HUACHO	1	2	0
LIMA	HUAURA	HUAURA	8	0	1
LIMA	HUAURA	LEONCIO PRADO	24	10	0
LIMA	HUAURA	PACCHO	14	2	0
LIMA	HUAURA	SANTA LEONOR	8	9	0
LIMA	HUAURA	SAYAN	30	0	0
LIMA	LIMA	ANCON	8	0	0
LIMA	LIMA	ATE	44	0	0
LIMA	LIMA	BARRANCO	2	0	0
LIMA	LIMA	CARABAYLLO	39	0	0



DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
			CAÍDA	DESLIZAMIENTO	VUELCO
LIMA	LIMA	CHACLACAYO	5	0	0
LIMA	LIMA	CHORRILLOS	7	0	0
LIMA	LIMA	CIENEGUILLA	4	0	0
LIMA	LIMA	COMAS	65	0	0
LIMA	LIMA	EL AGUSTINO	1	0	0
LIMA	LIMA	INDEPENDENCIA	26	0	0
LIMA	LIMA	LA MOLINA	2	0	0
LIMA	LIMA	LOS OLIVOS	4	0	0
LIMA	LIMA	LURIGANCHO	72	0	0
LIMA	LIMA	LURIN	1	0	0
LIMA	LIMA	MAGDALENA DEL MAR	2	0	0
LIMA	LIMA	MIRAFLORES	27	0	0
LIMA	LIMA	PACHACAMAC	21	0	0
LIMA	LIMA	PUENTE PIEDRA	32	0	0
LIMA	LIMA	PUNTA HERMOSA	1	0	0
LIMA	LIMA	RIMAC	12	0	1
LIMA	LIMA	SAN JUAN DE LURIGANCHO	121	35	2
LIMA	LIMA	SAN JUAN DE MIRAFLORES	16	0	0
LIMA	LIMA	SAN MARTIN DE PORRES	3	0	0
LIMA	LIMA	SAN MIGUEL	3	0	0
LIMA	LIMA	SANTIAGO DE SURCO	3	0	0
LIMA	LIMA	VILLA EL SALVADOR	2	0	0
LIMA	LIMA	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	31	0	0
LIMA	OYON	ANDAJES	5	6	0
LIMA	OYON	CAUJUL	4	1	0
LIMA	OYON	COCHAMARCA	9	0	0
LIMA	OYON	NAVAN	10	3	0
LIMA	OYON	OYON	72	18	0
LIMA	OYON	PACHANGARA	26	14	0
LIMA	YAUYOS	ALIS	6	4	2
LIMA	YAUYOS	ALLAUCA	6	1	0
LIMA	YAUYOS	AYAVIRI	3	0	0
LIMA	YAUYOS	CACRA	13	1	1
LIMA	YAUYOS	CARANIA	9	2	1
LIMA	YAUYOS	CATAHUASI	4	0	0
LIMA	YAUYOS	CHOCOS	1	0	0
LIMA	YAUYOS	COCHAS	9	0	0
LIMA	YAUYOS	COLONIA	7	1	0
LIMA	YAUYOS	HONGOS	6	0	0
LIMA	YAUYOS	HUADEC	2	0	0
LIMA	YAUYOS	HUAMPARA	12	0	0
LIMA	YAUYOS	HUANCAYA	9	2	0
LIMA	YAUYOS	HUANGASCAR	8	1	0
LIMA	YAUYOS	HUANTAN	10	0	0



DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA		
			CAÍDA	DESLIZAMIENTO	VUELCO
LIMA	YAUYOS	LARAOS	17	1	0
LIMA	YAUYOS	LINCHA	3	0	0
LIMA	YAUYOS	MIRAFLORES	7	3	0
LIMA	YAUYOS	OMAS	16	1	0
LIMA	YAUYOS	QUINCHES	6	0	0
LIMA	YAUYOS	QUINOCAY	8	0	0
LIMA	YAUYOS	SAN JOAQUIN	2	0	0
LIMA	YAUYOS	SAN PEDRO DE PILAS	3	0	0
LIMA	YAUYOS	TANTA	1	0	0
LIMA	YAUYOS	TAURIPAMPA	3	0	0
LIMA	YAUYOS	TOMAS	9	0	0
LIMA	YAUYOS	VIDAC	4	2	0
LIMA	YAUYOS	VITIS	3	0	0
LIMA	YAUYOS	YAUYOS	12	0	0
TOTAL			1897	443	12

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del INGEMMET.



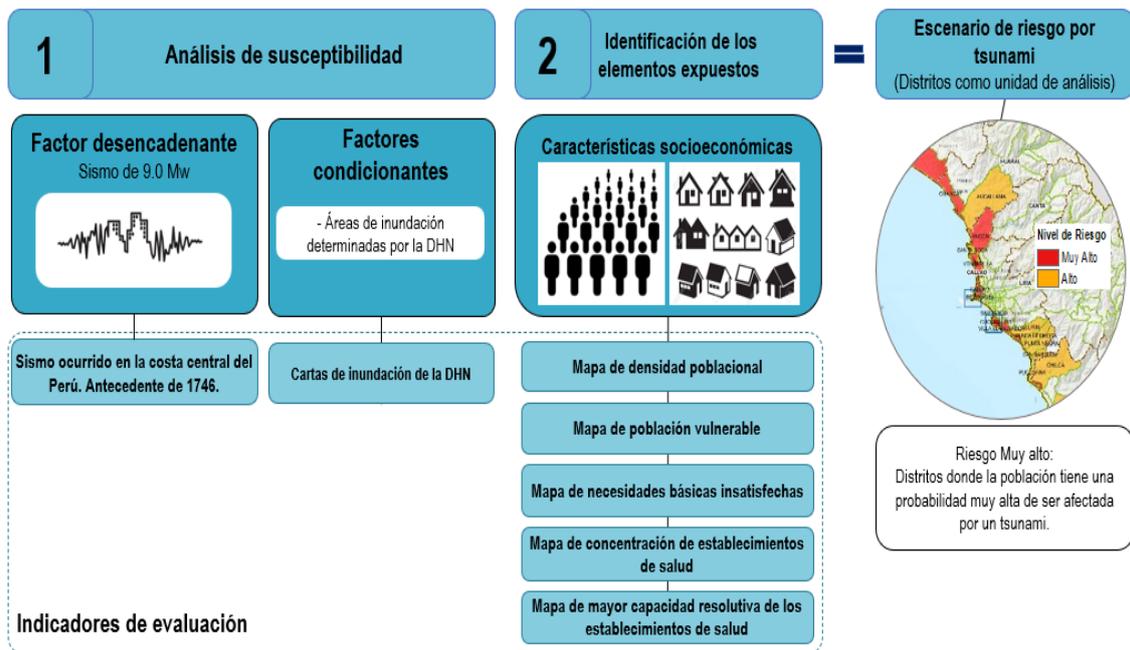
4 METODOLGÍA DEL ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI

La metodología del escenario de riesgo se encuentra dividida en tres etapas; la primera consiste en el análisis de la susceptibilidad, el cual tomó en consideración los ámbitos de los distritos litorales que cuenta con áreas de inundación determinadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN). Además, al ser un escenario con escala pequeña, la unidad mínima de análisis del escenario fueron los distritos.

La segunda etapa consistió en la identificación de los elementos expuestos y la unidad mínima de análisis geoespacial, al igual que la etapa de susceptibilidad, son los distritos. Se ha trabajado con cinco 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; asimismo, se tomó en consideración los grupos de edades de la población más vulnerable, menores o igual a 5 y mayores igual a 60 años, con estos datos se generó la capa de grupos de edades de población vulnerable; la siguiente variable utilizada fue el de necesidades básicas insatisfechas (NBI), dato construido también por el INEI. Además, se tomó en consideración las capas de concentración de establecimientos de salud y la de mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud; en preciso indicar que, estas dos últimas variables fueron generadas por el MINSA.

En la tercera etapa, se relacionaron los componentes de las etapas una y dos y se obtuvo el mapa de riesgo por tsunami en la costa central del Perú. El mapa final se encuentra clasificado en dos niveles de riesgo, el Muy Alto (en color rojo) el Alto (en color anaranjado) (Figura 25).

Figura 25. Esquema metodológico del escenario de riesgo por tsunami en la costa central del Perú.



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



4.1 SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI

4.1.1 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).

Página | 39

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.

4.1.1.1 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 9).

Tabla 9. 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 & Martínez, 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 10):

Tabla 10. Modelaciones de inundación por tsunami para Lima y el Callao

FUENTE	MW SISMO DESC.*	ARRIBO Y ALTURA PRIMERA OLA **	RUN UP ¹ ***
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

4.1.1.2 Tsunami de 1746 y su impacto en la gran cuenca del Pacífico

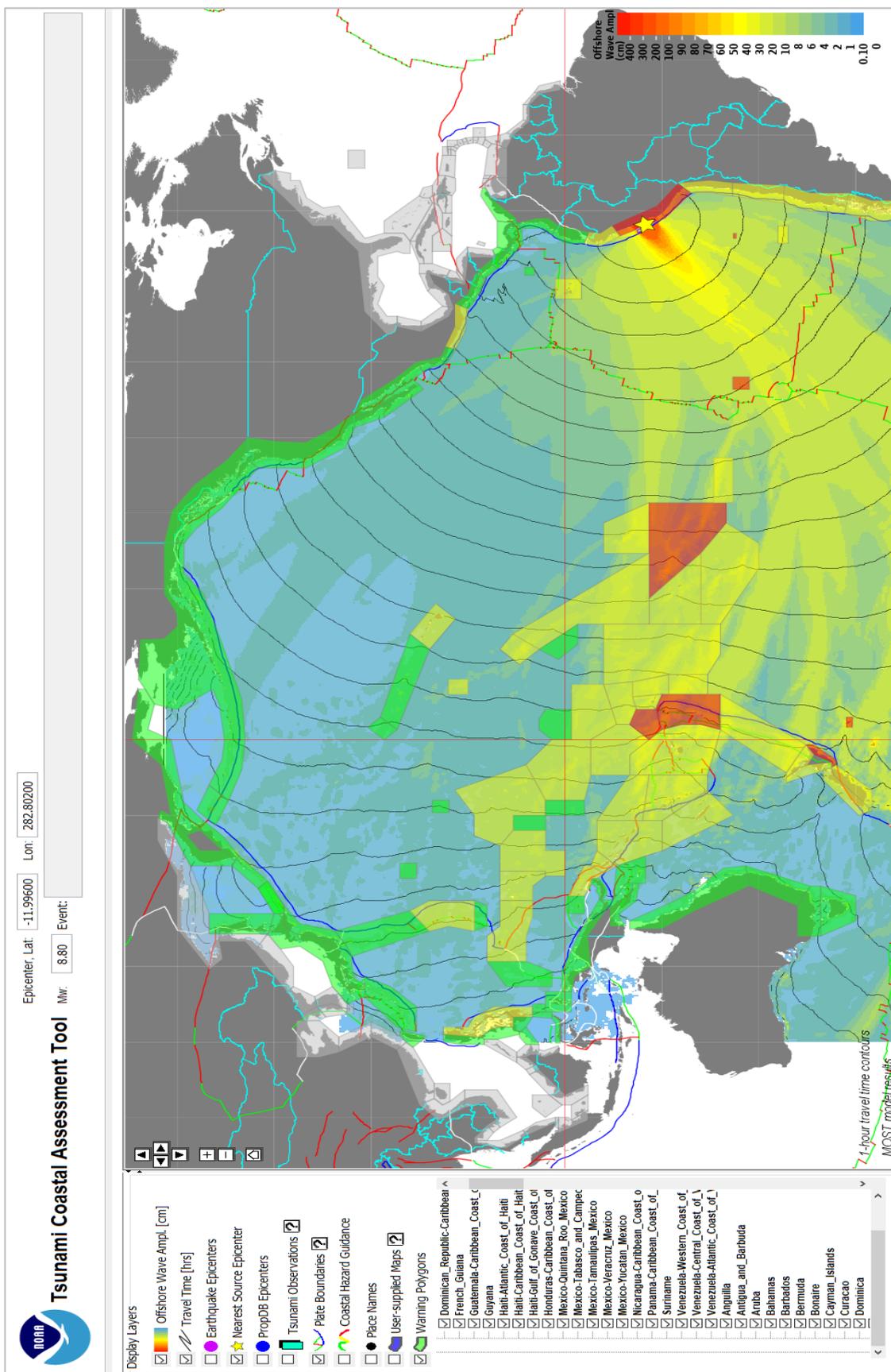
De acuerdo con el programa TsuCAT 2.2 (Tsunami Coastal Assessment Tool), desarrollado por la NOAA, de ocurrir un sismo 8.8 Mw en el área de ruptura de 1746, su impacto tendría las siguientes características en la gran cuenca del Pacífico: durante la primera hora, el tsunami impactaría en toda la línea 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 26).

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.

¹ RUN UP: Es la altura vertical máxima en tierra sobre el nivel del mar alcanzado por un tsunami.



Figura 26. Probable impacto de un tsunami con similares características al de 1746



Fuente: NOAA

4.1.2 ELABORACIÓN DE CARTAS DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS

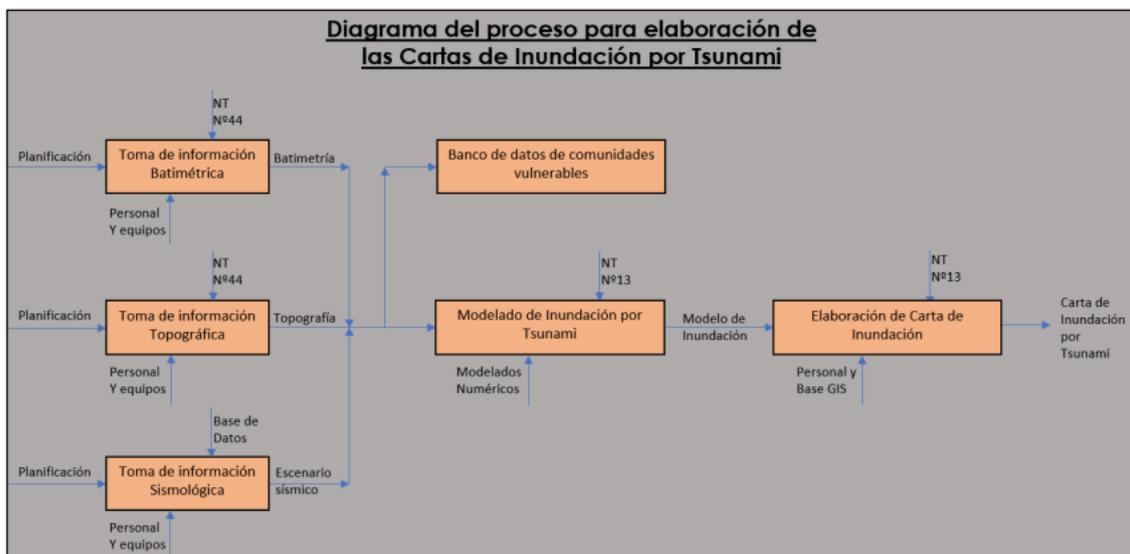
La determinación del límite de máxima inundación en caso de maremotos se obtiene considerando aspectos oceanográficos, tales como la altura de olas, además de información de las características geomorfológicas, pendiente, batimetría y topografía de las zonas de evaluación.

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 27).

Figura 27. 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:

4.1.2.1 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.

4.1.2.2 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.

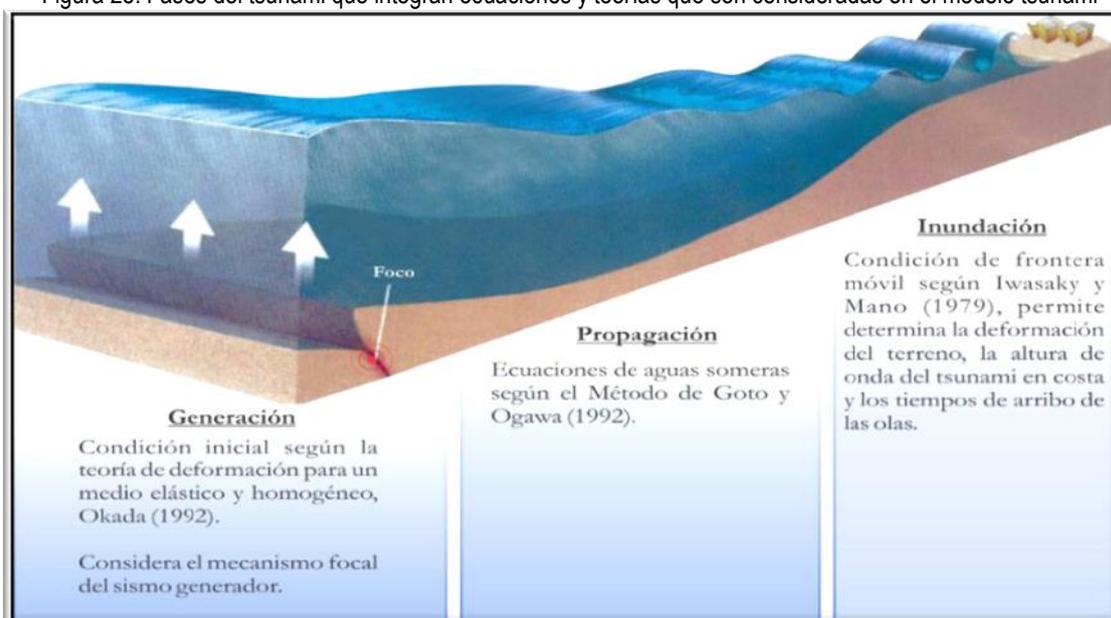
Esta información topográfica que corresponde al fondo marino (batimetría) se levanta mediante ecosondas con técnicas de levantamiento en sistema monohaz y multihaz.

4.1.2.3 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 28). 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 28. Fases del tsunami que integran ecuaciones y teorías que son consideradas en el modelo tsunami



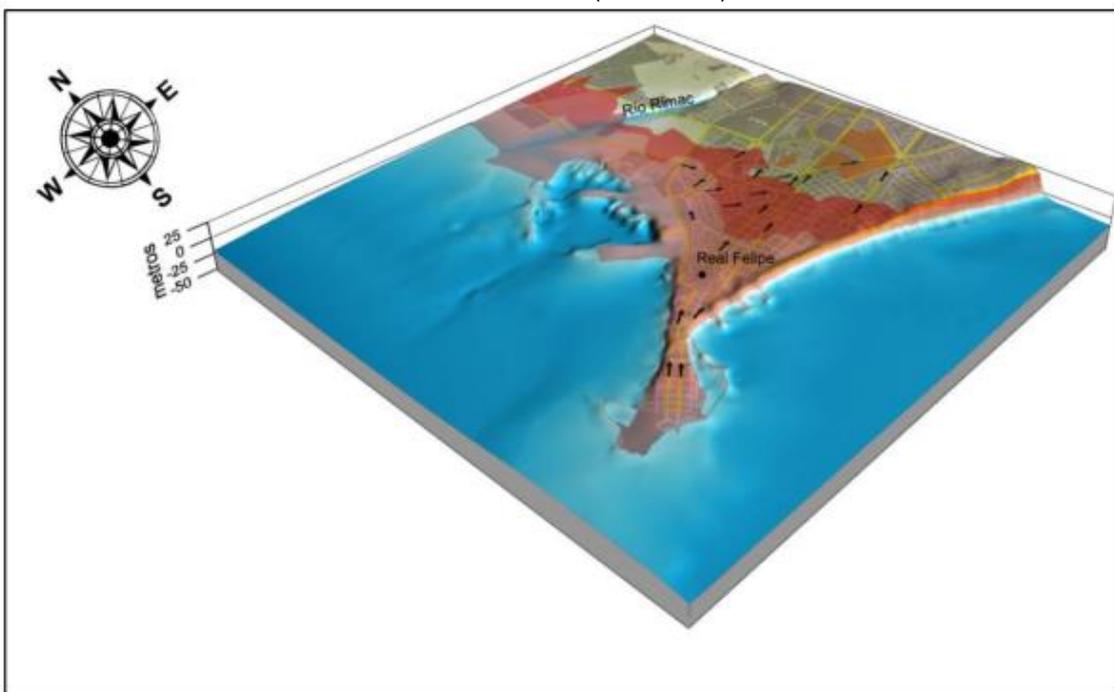
Fuente: DHN



4.1.2.4 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 29).

Figura 29. Representación en tres dimensiones de la información topográfica y batimétrica del distrito de La Punta - Callao (DHN, 2014).



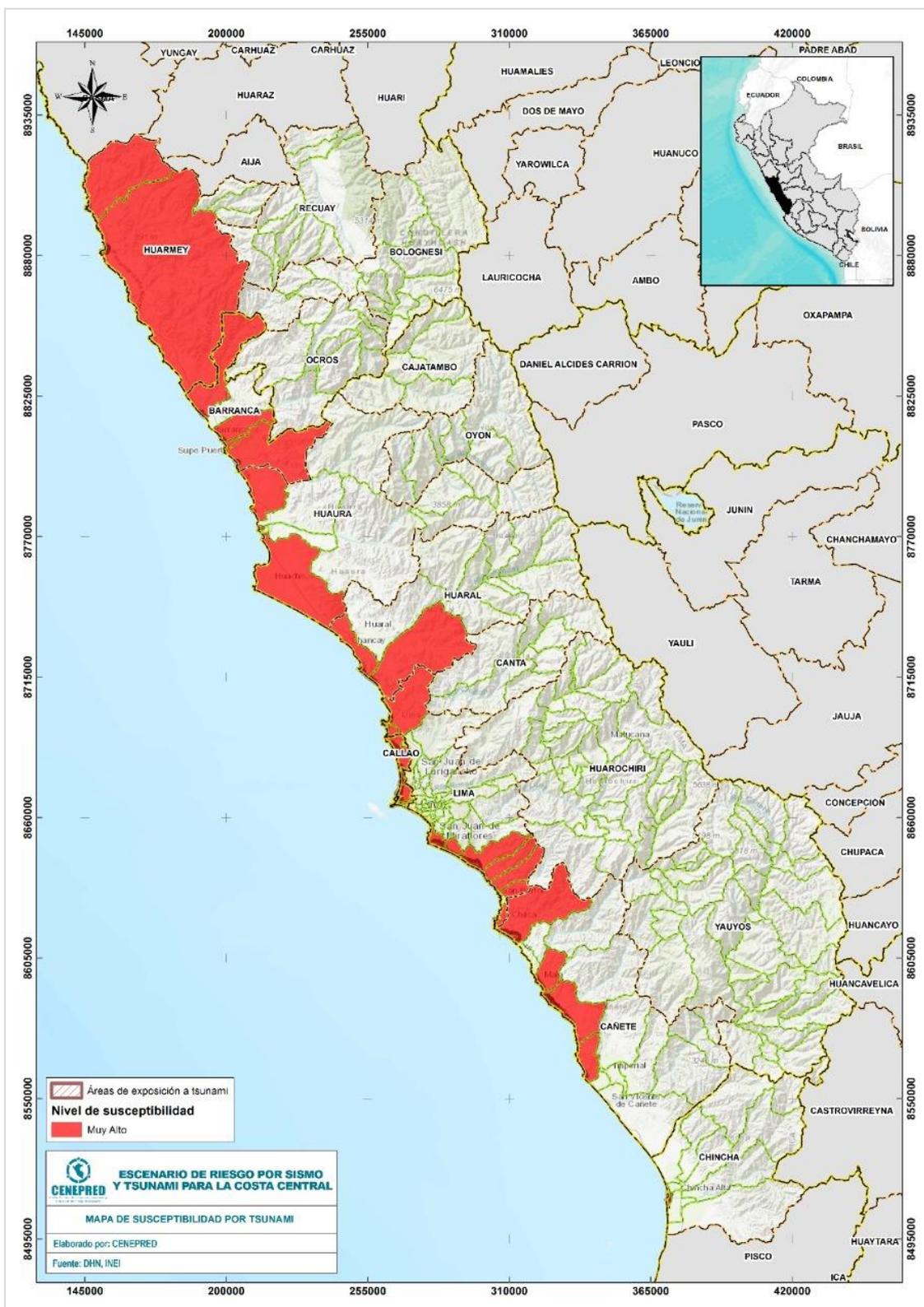
Fuente: DHN

4.1.3 SUSCEPTIBILIDAD POR TSUNAMI

Finalmente, debido a que la escala del presente escenario es pequeña, la unidad mínima de análisis de éste es por distrito. Por tal motivo, se identificaron a los 31 distritos del litoral con cartas de inundación por tsunami (Figura 30), y estos fueron seleccionados para construir el mapa de susceptibilidad ante este tipo de peligro. Es importante resaltar que, el análisis de los probables impactos sólo se realizará en las áreas de inundación por tsunami.



Figura 30. Mapa de susceptibilidad por tsunami



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

Para la identificación de los elementos expuestos, se ha tomado en consideración las variables utilizadas en el escenario de sismo, pero en este componente sólo se aplicó su análisis a los distritos litorales con ámbitos de inundación por tsunami.

Figura 31. Tsunami: Mapa de densidad poblacional

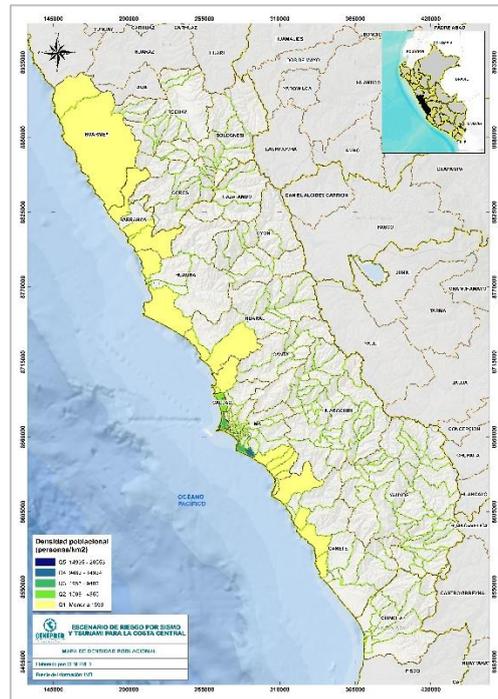
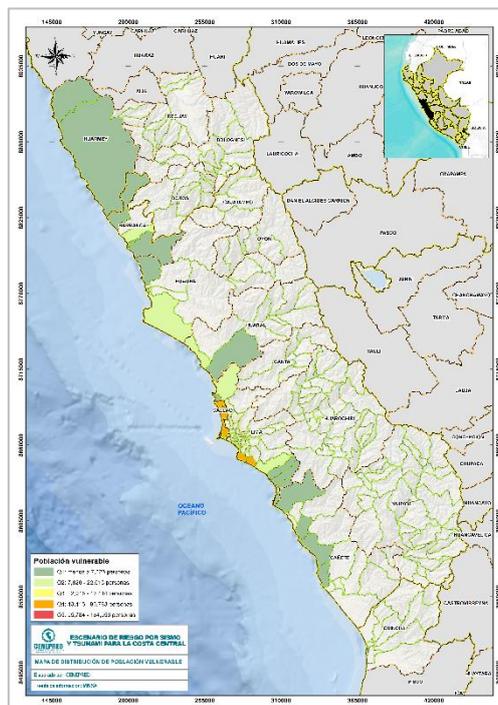


Figura 32. Tsunami: Mapa de población vulnerable



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 33. Tsunami: Mapa de necesidades básicas insatisfechas

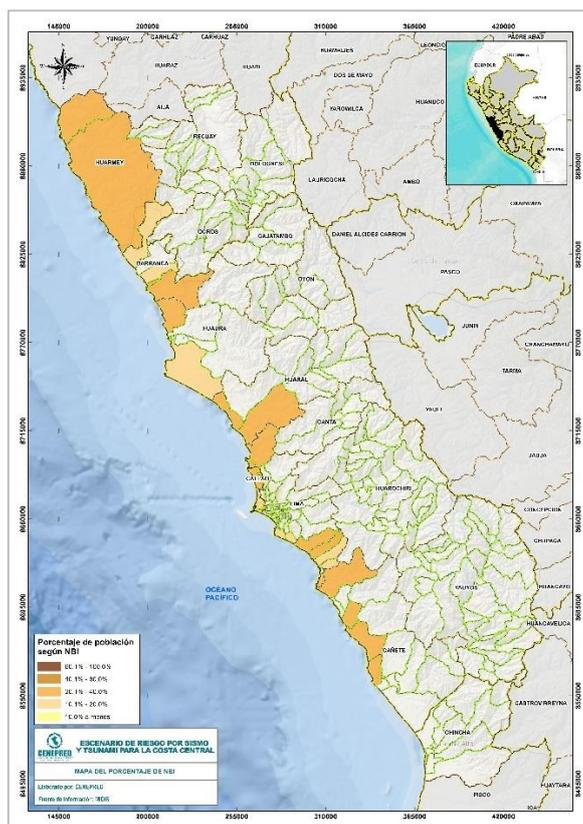
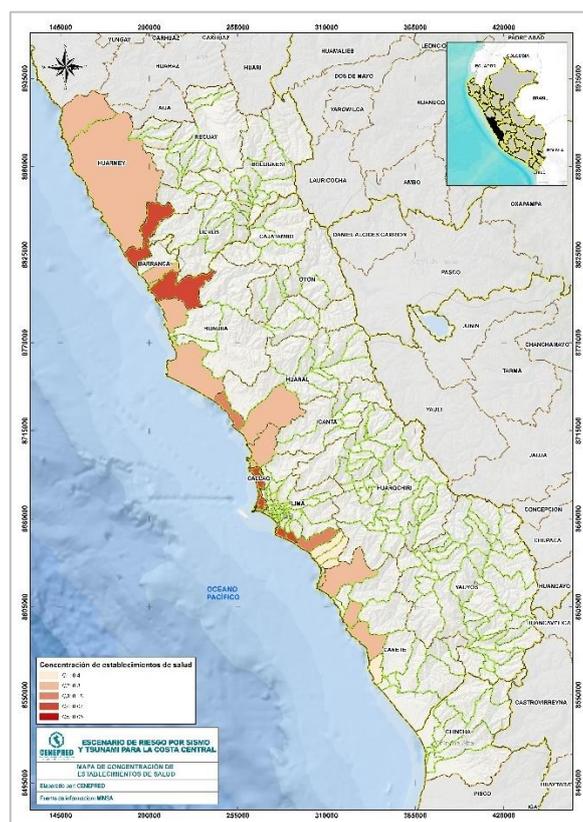


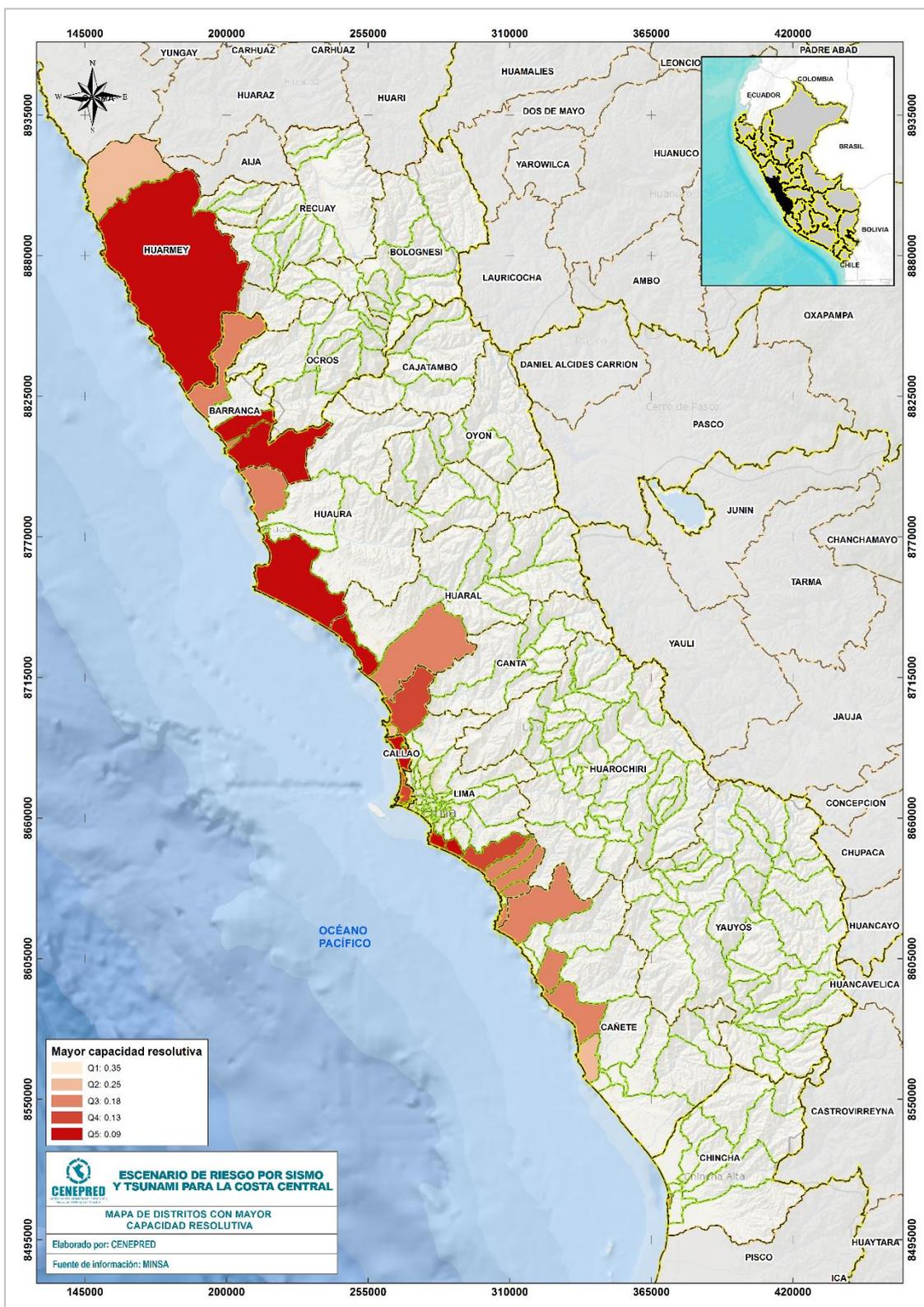
Figura 34. Tsunami: Mapa de concentración de establecimientos de salud



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



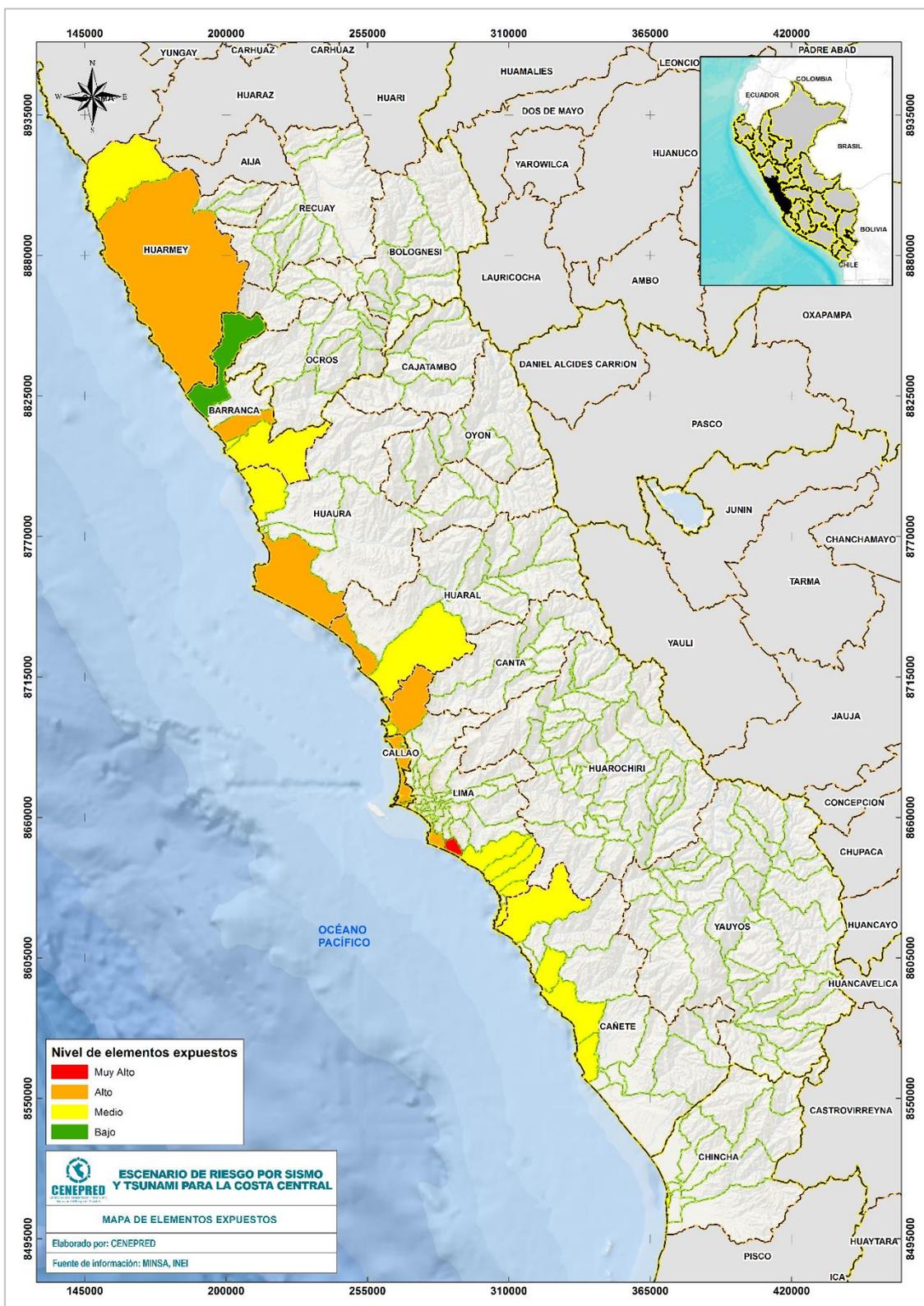
Figura 35. Tsunami: Mapa de mayor capacidad resolutive de los establecimientos de salud



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 36. Tsunami: Mapa de identificación de los elementos expuestos



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



4.3 ESCENARIO DE RIESGO POR TSUNAMI

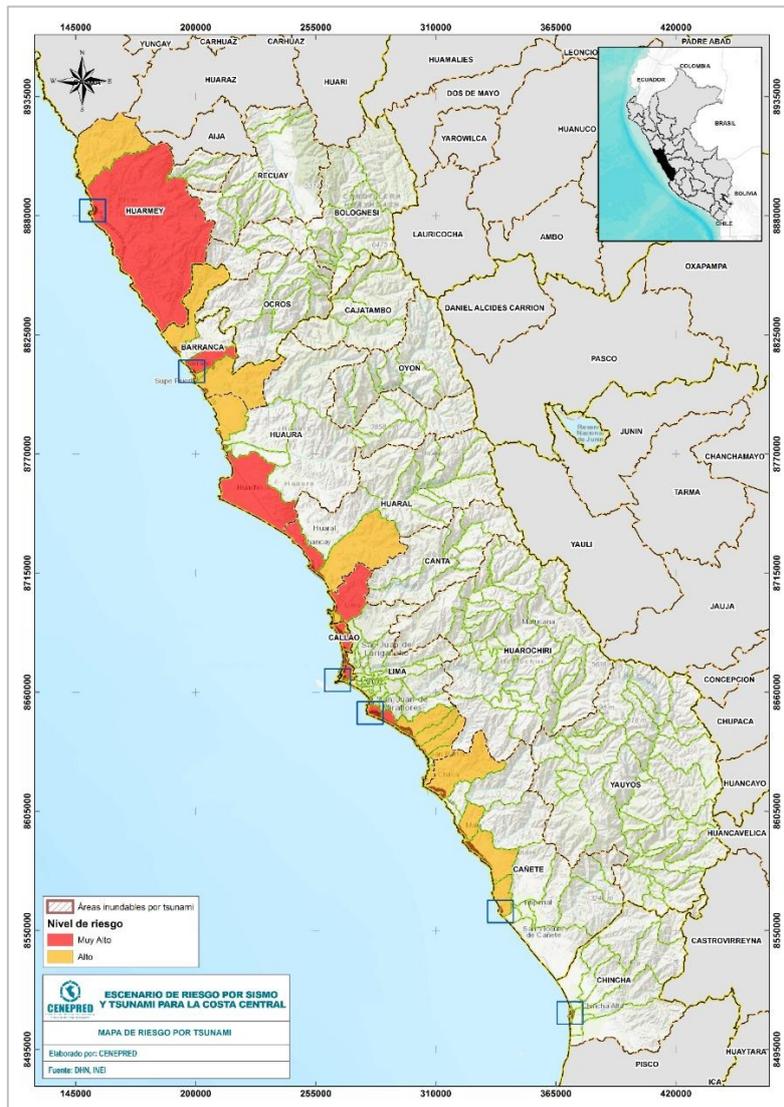
El mapa del escenario de riesgo por tsunami se construyó de acuerdo con lo descrito en la metodología (Figura 25), relacionando el mapa de susceptibilidad por tsunami con el de identificación del elemento expuesto a través de una matriz de doble entrada (Tabla 11). Las unidades mínimas de análisis fueron los distritos y su clasificación de determinó en cuatro niveles: Muy Alto (en color rojo), Alto (en color anaranjado), Medio (en color amarillo) y Bajo (en color verde) (Figura 21).

Tabla 11. 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.

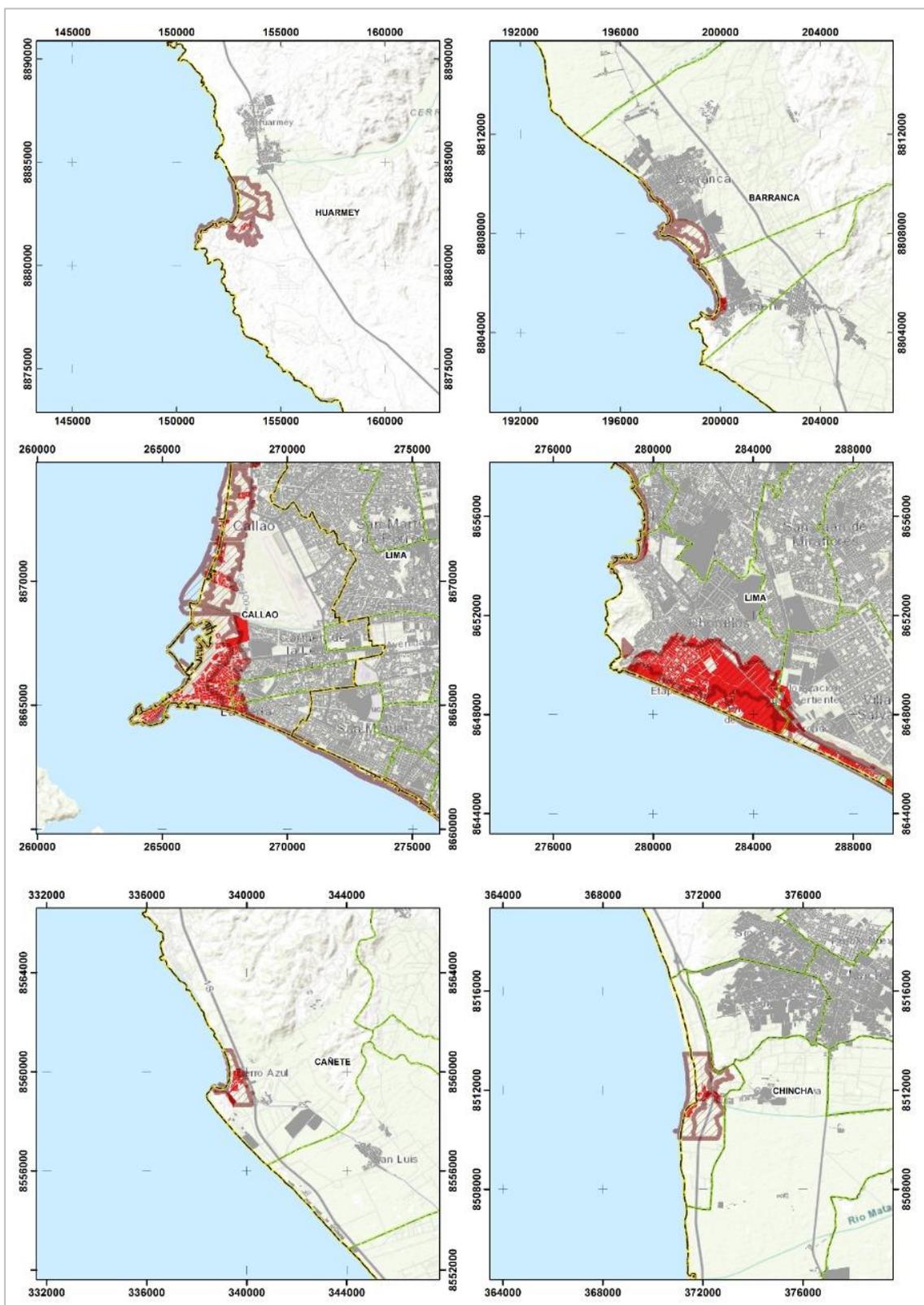
Figura 37. Mapa del escenario de riesgo por tsunami



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Figura 38. Zonas de riesgo por tsunami en la Costa Central



Fuente: Elaborado por CENEPRED.



Finalmente, a partir de determinación de las zonas de riesgo por tsunami en la Costa Central, se obtuvieron los siguientes resultados: 282,785 personas, 83,425 viviendas y 2,489 manzanas en todo el ámbito de estudio (Tabla 12).

Tabla 12. Zonas de riesgo por tsunami: población y viviendas

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITOS	Elementos expuestos		
			Población	Viviendas	Cant. Manzanas
ANCASH	HUARMEY	CULEBRAS	294	116	6
ANCASH	HUARMEY	HUARMEY	875	336	22
CALLAO	CALLAO	BELLAVISTA	8,071	2,450	42
CALLAO	CALLAO	CALLAO	118,303	33,901	880
CALLAO	CALLAO	LA PERLA	6,709	2,199	34
CALLAO	CALLAO	LA PUNTA	3,724	1,410	35
CALLAO	CALLAO	VENTANILLA	25,284	6,443	231
ICA	CHINCHA	TAMBO DE MORA	2,875	897	35
LIMA	BARRANCA	BARRANCA	762	323	19
LIMA	BARRANCA	PARAMONGA	1,231	553	30
LIMA	BARRANCA	SUPE	271	87	8
LIMA	BARRANCA	SUPE PUERTO	343	121	6
LIMA	CAÑETE	ASIA	3,747	1,129	70
LIMA	CAÑETE	CERRO AZUL	3,791	1,360	51
LIMA	CAÑETE	CHILCA	1,289	449	25
LIMA	CAÑETE	MALA	1,593	522	28
LIMA	HUARAL	AUCAMALLA	50	14	1
LIMA	HUARAL	CHANCAY	3,007	892	47
LIMA	HUAURA	CALETA DE CARQUIN	4,093	1,198	52
LIMA	HUAURA	HUACHO	1,200	305	10
LIMA	HUAURA	VEGUETA	152	57	4
LIMA	LIMA	ANCON	5,235	2,021	80
LIMA	LIMA	BARRANCO	164	60	1
LIMA	LIMA	CHORRILLOS	51,414	13,912	373
LIMA	LIMA	LURIN	30,262	9,183	274
LIMA	LIMA	PUCUSANA	1,347	546	30
LIMA	LIMA	PUNTA HERMOSA	913	810	19
LIMA	LIMA	PUNTA NEGRA	996	471	16
LIMA	LIMA	SAN BARTOLO	170	340	4
LIMA	LIMA	SANTA ROSA	94	26	2
LIMA	LIMA	VILLA EL SALVADOR	4,526	1,294	54
TOTAL			282,785	83,425	2,489

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos de la DHN.



5 IDENTIFICACIÓN DE PROBABLES IMPACTOS EN SECTORES

5.1 SECTOR SALUD

En el análisis de exposición en el sector salud, se tomó en consideración la ubicación de los 847 establecimientos de salud con relación al mapa de intensidades sísmicas (Figura 12). Asimismo, es importante recordar que, para el ámbito de estudio, solo hay cuatro niveles de intensidad los cuales van desde el IX hasta el VI.

5.1.1 Fragilidad de los establecimientos de salud y exposición por sismo

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.

El resultado obtenido muestra que, con fragilidad Muy Alta se han contabilizado 81 establecimientos de salud; con Alta, un total de 45; con Media, 420; con Baja la suma de 103 y con Muy Baja, la suma de 88; mientras que, 110 establecimiento no precisaron este dato. Además, para observar la distribución de éstos con relación al mapa de intensidad sísmica en el ámbito de estudio, se ofrece el mapa de la Figura 39.

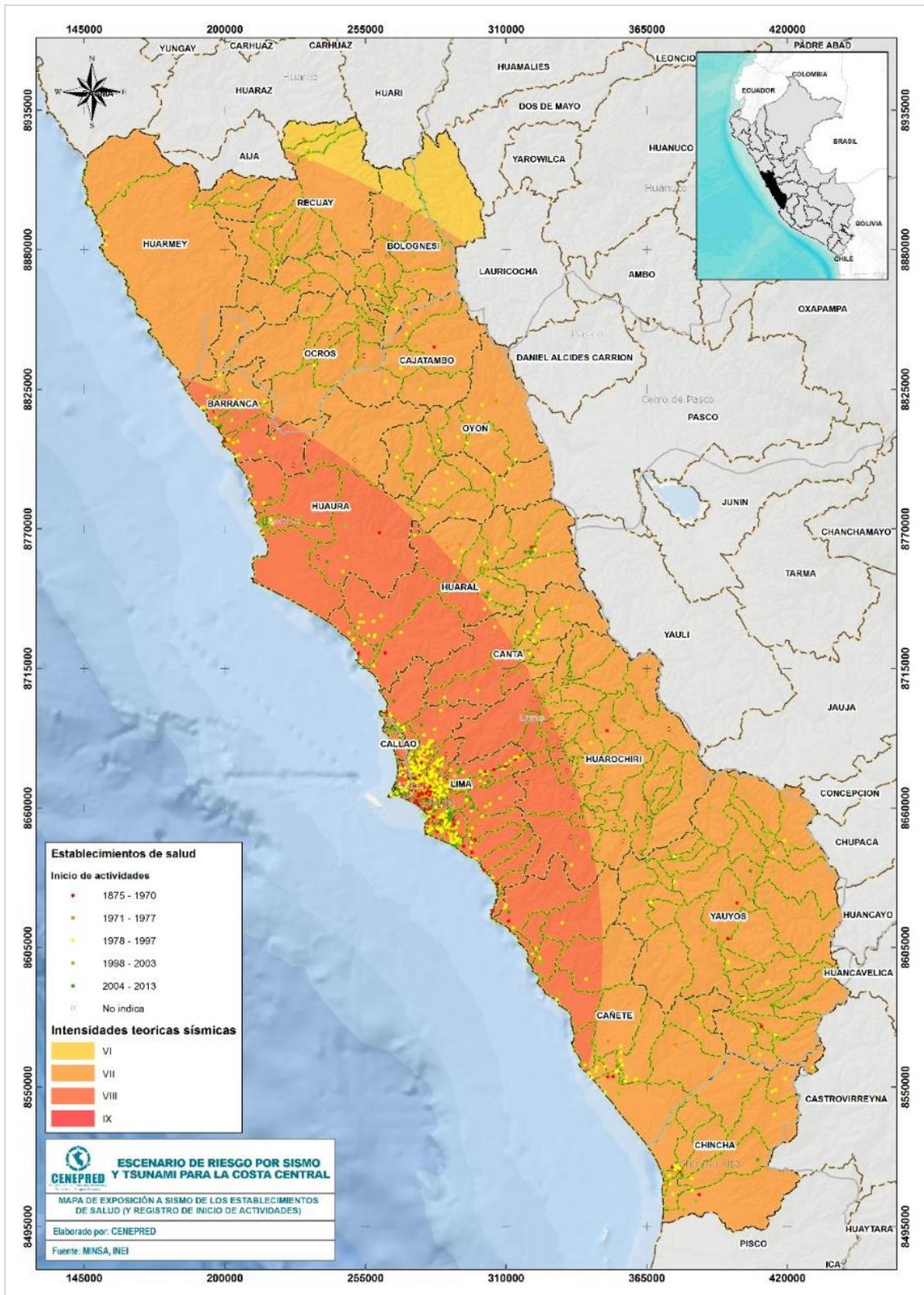
Tabla 13. Sector salud: Nivel de fragilidad según año de inicio de actividades de los establecimientos de salud

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO	SIN DATO
		1875 - 1970	1971 - 1977	1978 - 1997	1998 - 2003	2004 - 2013	No registra
ANCASH	BOLOGNESI	0	1	5	6	1	10
	HUARMEY	0	1	8	0	0	1
	OCROS	0	0	1	0	0	9
	RECUAY	0	1	7	2	2	2
CALLAO	CALLAO	1	3	22	4	17	5
ICA	CHINCHA	3	1	16	8	2	0
LIMA	BARRANCA	3	1	21	13	1	2
	CAÑETE	3	2	26	7	3	0
	CAJATAMBO	1	0	6	1	0	0
	CANTA	0	3	12	3	0	0
	HUARAL	3	4	31	5	11	0
	HUAROCHIRI	1		3	2	2	63
	HUAURA	1	3	19	11	5	4
	LIMA	62	23	220	23	39	14
	OYON	0	1	11	1	1	0
YAUJOS	3	1	12	17	4	0	
TOTAL		81	45	420	103	88	110

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA.



Figura 39. Mapa de exposición a sismo de los establecimientos de salud (y registro de inicio de actividades)



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



Además, con relación a la contabilización de los establecimientos de salud expuestos, según los niveles del mapa de intensidades sísmicas sobre el ámbito de estudio, los resultados obtenidos muestran los siguientes datos: 59 de éstos se ubican sobre el grado IX en la escala de Modificada de Mercalli; 507 sobre el grado VIII de la escala MM; 275 sobre el grado VII y 6 sobre el grado VI (Figura 11).

Tabla 14. Sector salud: Exposición de intensidades sísmicas en los establecimientos de salud

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	INTENSIDADES SISMICAS			
		IX	VIII	VII	VI
ANCASH	BOLOGNESI	0	0	21	2
	HUARMEY	0	0	10	0
	OCROS	0	0	10	0
	RECUAY	0	0	10	4
CALLAO	CALLAO	39	13	0	0
ICA	CHINCHA	0	0	30	0
LIMA	BARRANCA	0	31	10	0
	CAJATAMBO	0	0	8	0
	CANTA	0	8	10	0
	CAÑETE	0	16	25	0
	HUARAL	0	25	29	0
	HUAROCHIRI	0	23	48	0
	HUAURA	0	30	13	0
	LIMA	20	361	0	0
	OYON	0	0	14	0
	YAUYOS	0	0	37	0
TOTAL		59	507	275	6

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

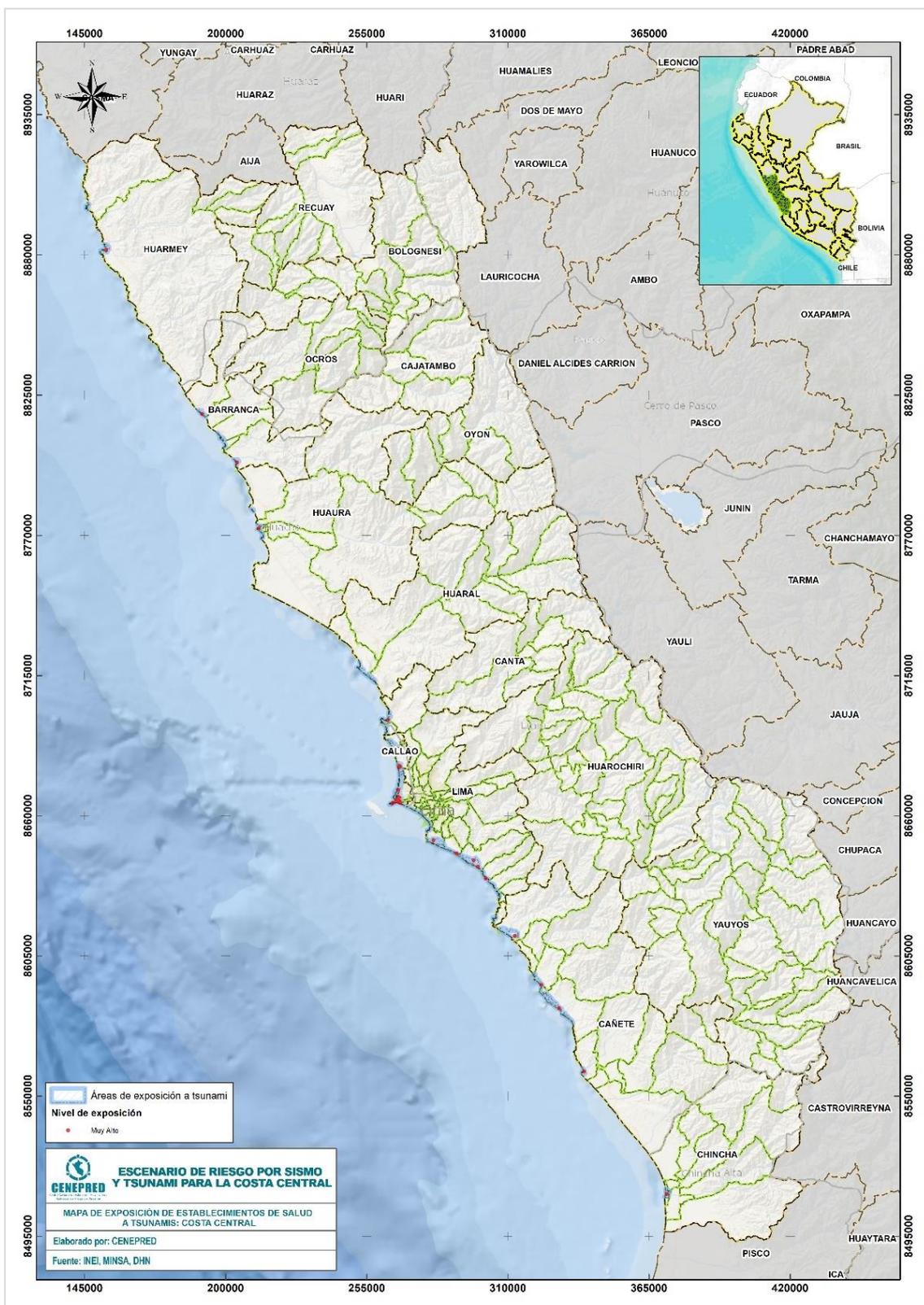
5.1.2 Exposición a tsunami

Para el análisis de la exposición por tsunami, se ha contabilizado a los establecimientos de salud que se encuentren dentro de las áreas de inundación por tsunami de las cartas generadas por la DHN para el ámbito de estudio. La Figura 40 muestra en color rojo, la ubicación de los establecimientos expuestos.

Asimismo, el resultado obtenido del análisis de exposición a tsunami se muestra en la Tabla 15, donde se ha contabilizado a un total de 29 establecimientos de salud entre las provincias de Huarmey (Áncash); Callao (Callao); Chíncha (Ica) y; Cañete, Lima, Huaura y Barranca (Lima).



Figura 40. Mapa de exposición a tsunami en establecimientos de salud



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSAL y la DHN.



Tabla 15. Sector salud: exposición a inundación por tsunami en establecimientos de salud

N	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	ESTABLECIMIENTO DE SALUD	CARTA
1	ANCASH	HUARMHEY	HUARMHEY	PUESTO DE SALUD PUERTO HUARMHEY	Caleta Huarmey - Ancash
2	CALLAO	CALLAO	LA PERLA	PUESTO DE SALUD LA PERLA	La Punta - Callao
3		CALLAO	LA PUNTA	PUESTO DE SALUD LA PUNTA	La Punta - Callao
4		CALLAO	BELLAVISTA	HOSPITAL DE REHABILITACION DEL CALLAO	La Punta - Callao
5		CALLAO	CALLAO	CENTRO DE SALUD DESARROLLO JUVENIL DEL CALLAO	La Punta - Callao
6		CALLAO	CALLAO	CENTRO DE SALUD MANUEL BONILLA (BASE DE MICRORED)	La Punta - Callao
7		CALLAO	CALLAO	PUESTO DE SALUD SANIDAD MARITIMA INTERNACIONAL	La Punta - Callao
8		CALLAO	CALLAO	CENTRO DE SALUD ALBERTO BARTON	La Punta - Callao
9		CALLAO	CALLAO	PUESTO DE SALUD SAN JUAN BOSCO	La Punta - Callao
10		CALLAO	CALLAO	PUESTO DE SALUD PUERTO NUEVO	La Punta - Callao
11		CALLAO	CALLAO	CENTRO DE SALUD ACAPULCO	Playa San Agustín
12		CALLAO	CALLAO	CENTRO DE SALUD MARQUEZ	AAHH. Marquez
13		CALLAO	VENTANILLA	PUESTO DE SALUD VENTANILLA BAJA	AAHH. Marquez
14		CALLAO	VENTANILLA	CENTRO DE SALUD DEFENSORES DE LA PATRIA	Balneario Ventanilla
15		ICA	CHINCHA	TAMBO DE MORA	CENTRO DE SALUD TAMBO DE MORA
16	LIMA	CAÑETE	CERRO AZUL	CENTRO DE SALUD CERRO AZUL	Cerro Azul
17		CAÑETE	ASIA	PUESTO DE SALUD ROSARIO DE ASIA	Balneario Asia - Lima
18		CAÑETE	MALA	PUESTO DE SALUD BUJAMA	Bujama - Lima
19		CAÑETE	CHILCA	PUESTO DE SALUD LAS SALINAS	Balneario Chilca
20		LIMA	PUNTA HERMOSA	PUESTO DE SALUD PUNTA HERMOSA	Playa Punta Hermosa
21		LIMA	LURIN	CENTRO DE SALUD CLAS NUEVO LURIN - KM. 40	Lurin
22		LIMA	LURIN	CENTRO MATERNO INFANTIL LURIN	Lurin
23		LIMA	VILLA EL SALVADOR	PUESTO DE SALUD HEROES DEL CENEP	Playa Villa El Salvador - Lima
24		LIMA	CHORRILLOS	PUESTO DE SALUD LOS INCAS	Playa Villa Chorrillos
25		LIMA	ANCON	CENTRO DE SALUD MATERNO INFANTIL ANCON	Balneario Ancón - Lima
26		HUAURA	CALETA DE CARQUIN	PUESTO DE SALUD CARQUIN	Caleta Carquín
27		BARRANCA	SUPE	PUESTO DE SALUD CALETA VIDAL	Caleta Vidal - Lima
28		BARRANCA	PARAMONGA	PUESTO DE SALUD LAS DELICIAS	Caleta Paramonga - Lima
29		BARRANCA	PARAMONGA	PUESTO DE SALUD LAS DELICIAS	Caleta Paramonga

Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MINSA y la DHN.

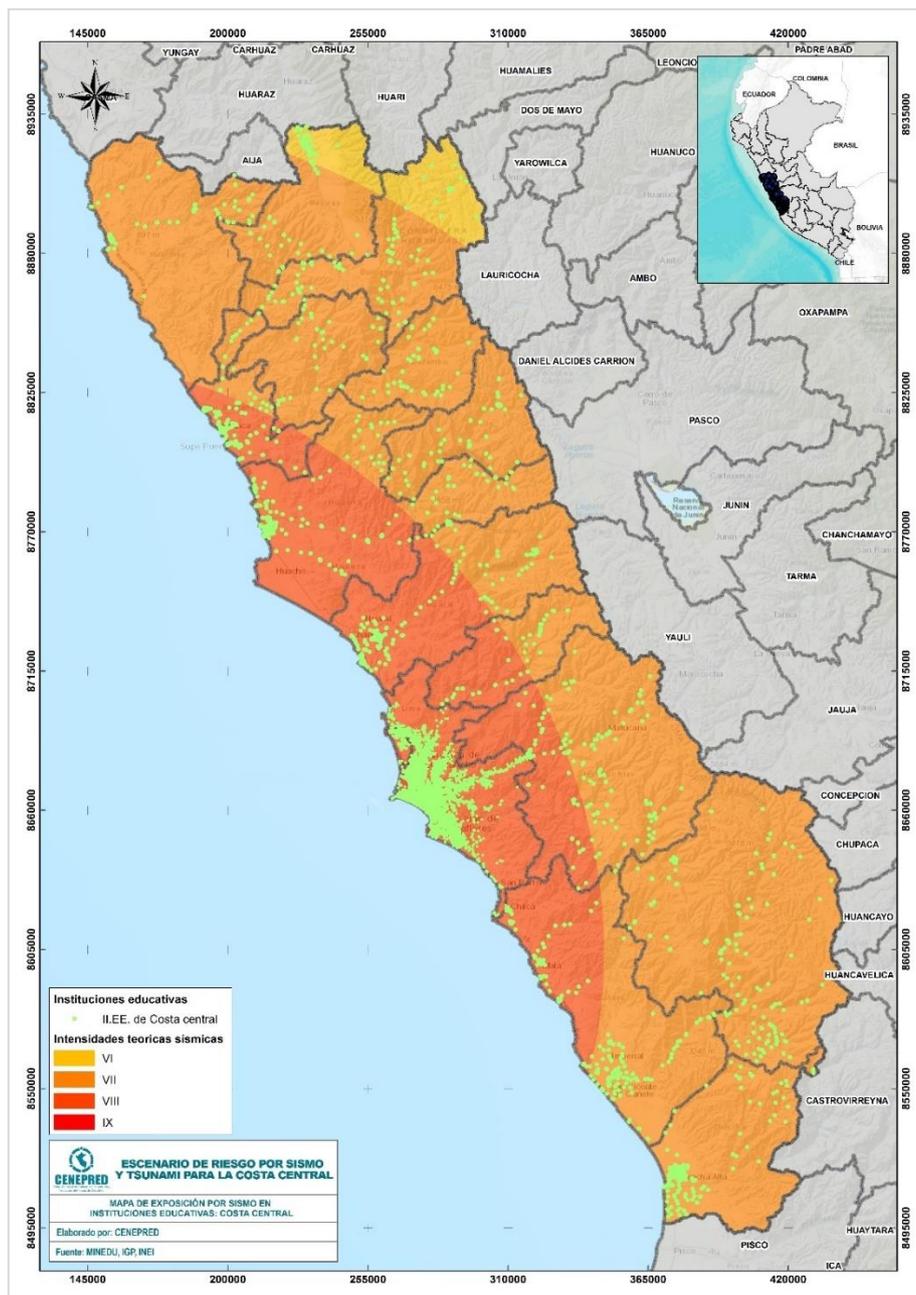


5.2 SECTOR EDUCACIÓN

5.2.1 Exposición por sismo

En caso del sector educación, se ha contabilizado a las instituciones educativas con relación a los rangos (grado en la escala de Modifica de Mercalli, MM) del mapa de intensidad. La Figura 41 muestra el mapa de exposición por sismo con respecto al ámbito de estudio del presente escenario. El mapa muestra cuatro niveles, siendo la más alta el grado IX y el más bajo el VI, así como distribución de las 12,015 instituciones educativas analizadas. Es importante resaltar que, en este sector no se realizó el análisis de la fragilidad de las infraestructuras, ya que la base gráfica utilizada del MINEDU no cuenta con las mismas características que la desarrollada por el MINSA.

Figura 41. Mapa de exposición por sismo de las instituciones educativas



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



Del análisis de exposición por sismos realizado para las instituciones educativas, se obtuvo el siguiente resultado: 1,403 se localizan sobre ámbitos con grado IX (principalmente entre las provincias de Lima y Callao); 9,035 sobre ámbitos con grado VIII; 1,501 sobre sectores con grado VII y; tan solo 76 sobre áreas con grado VI (Tabla 16).

Tabla 16. Sector educación: Exposición a intensidades sísmicas de instituciones educativas según provincia

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	INTENSIDADES SISMICAS			
		IX	VIII	VII	VI
ANCASH	BOLOGNESI	0	0	89	23
	HUARMEY	0	0	80	0
	OCROS	0	3	56	0
	RECUAY	0	0	47	53
CALLAO	CALLAO	644	359	0	0
ICA	CHINCHA	0	0	340	0
LIMA	BARRANCA	0	185	22	0
	CAJATAMBO	0	0	60	0
	CANTA	0	31	29	0
	CAÑETE	0	128	268	0
	HUARAL	0	214	46	0
	HUAROCHIRI	0	133	128	0
	HUAURA	0	284	52	0
	LIMA	759	7,698	0	0
	OYON	0	0	78	0
	YAUYOS	0	0	206	0
TOTAL		1,403	9,035	1,501	76

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

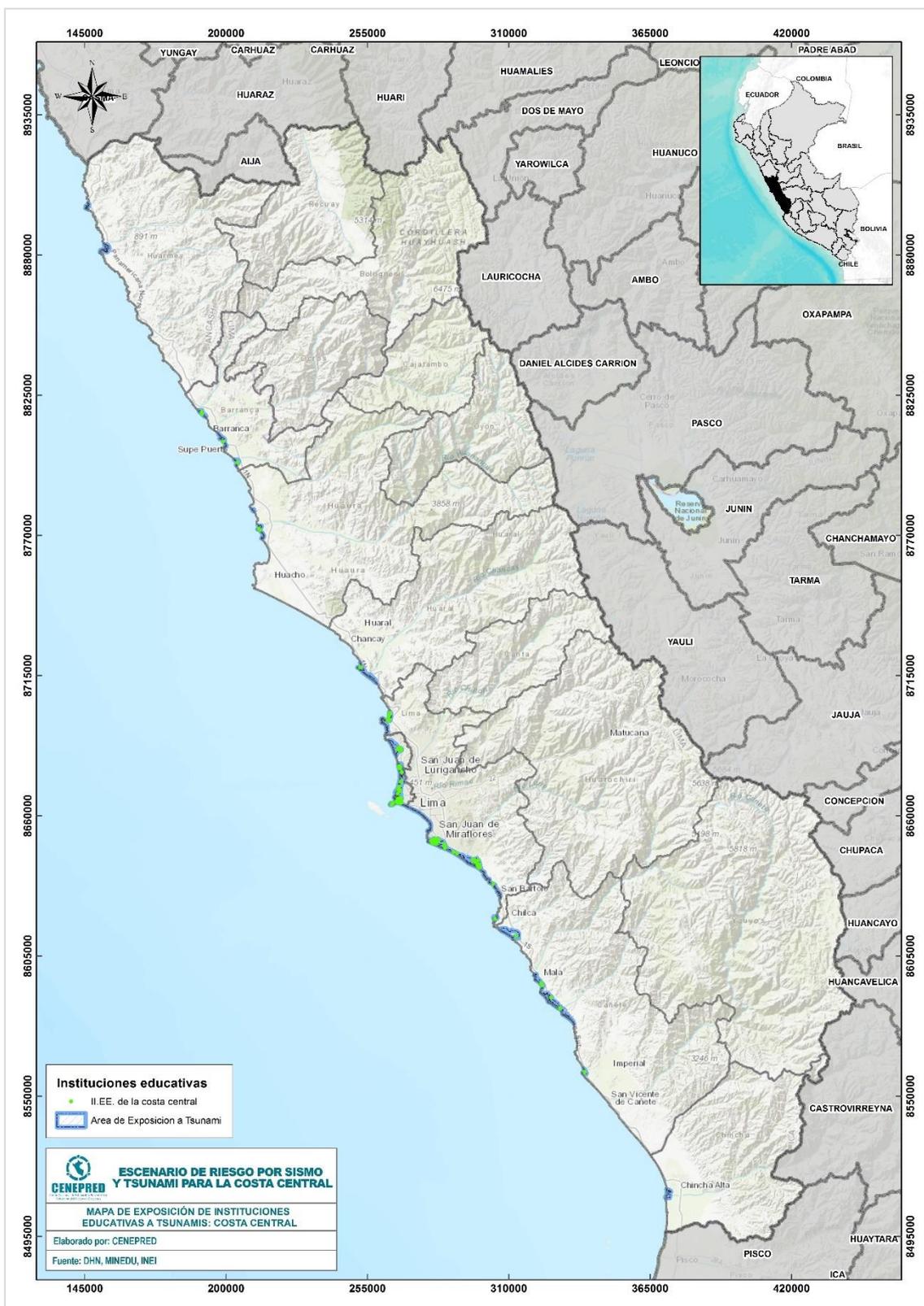
5.2.2 Exposición a tsunami

Para el análisis de la exposición por tsunami, se ha aplicado el mismo procedimiento que en el sector salud; pero en el caso del sector educación, se ha contabilizado a la ubicación de las instituciones educativas que se encuentren dentro de las áreas de inundación por tsunami de las cartas generadas por la DHN para el ámbito de estudio. La Figura 42 muestra en color verde, la ubicación de las instituciones educativas expuestas.

Asimismo, el resultado obtenido del análisis de exposición a tsunami se muestra en la Tabla 17, donde se ha contabilizado a un total de 354 instituciones educativas entre las provincias de Huarmey (Áncash); Callao (Callao); Chincha (Ica) y; Barranca, Cañete, Huaral, Huaura y Lima (Lima); los cuales concentran un total de 47,360 estudiantes y 2,528 docentes expuestos.



Figura 42. Mapa de exposición a tsunami en instituciones educativas



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



Tabla 17. Sector educación: exposición a tsunami en instituciones educativas

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	Tsunami		
		Elementos expuestos		
		IIEE	Docentes	Estudiantes
ÁNCASH	HUARMEY	2	10	121
CALLAO	CALLAO	185	1,324	25,892
ICA	CHINCHA	3	19	288
LIMA	BARRANCA	4	10	154
	CAÑETE	15	90	1,565
	HUARAL	2	22	284
	HUAURA	7	31	449
	LIMA	136	1,022	18,607
TOTAL		354	2,528	47,360

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

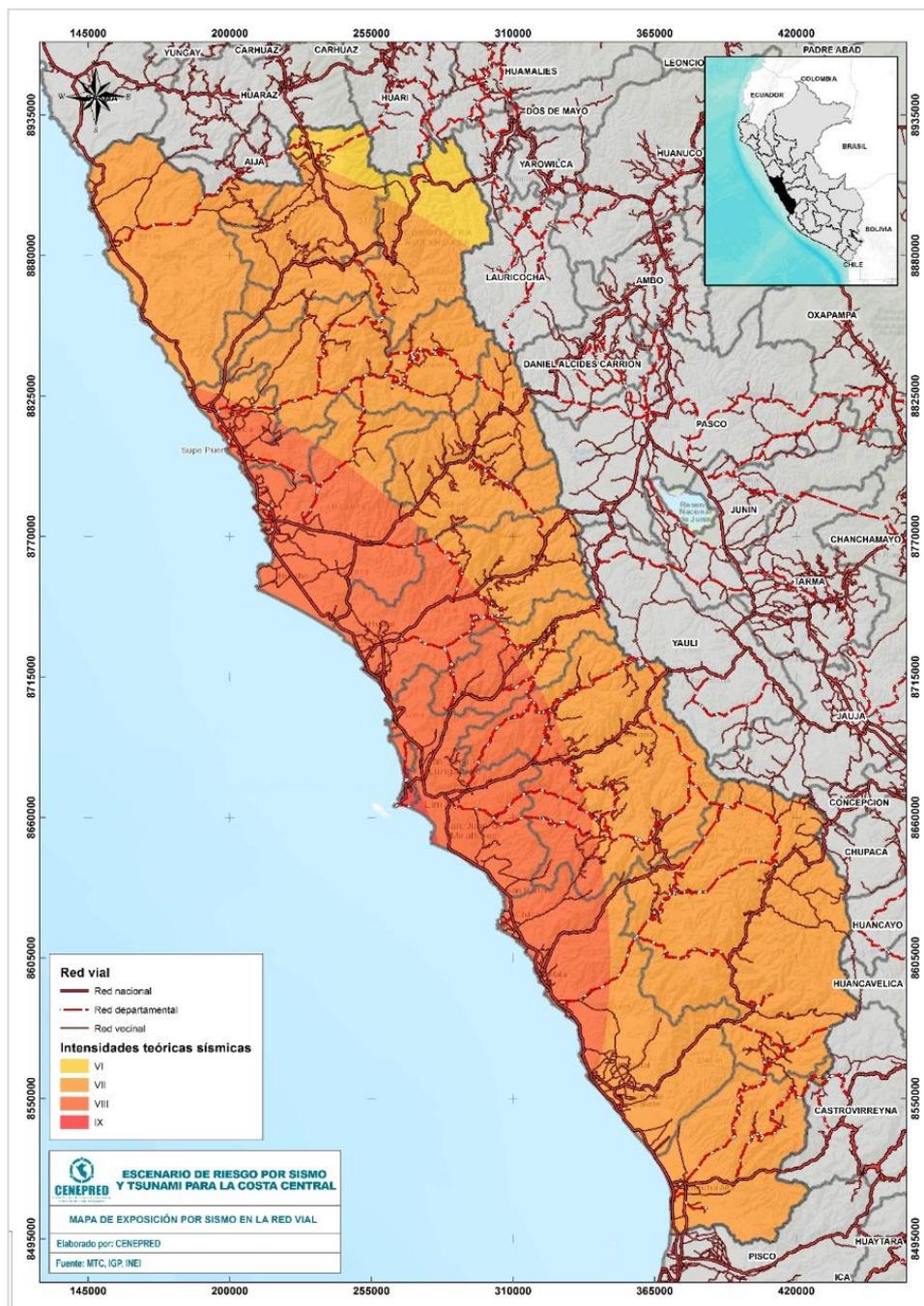


5.3 SECTOR TRANSPORTES

5.3.1 Exposición por sismo

Para el análisis de la exposición por sismo en el sector transportes, el presente escenario de riesgo sólo ha considerado las redes viales terrestres de niveles jerárquicos nacional, departamental y vecinal (Figura 43). Además, se han contabilizado las redes según su jerarquía, en Km lineales con respecto al mapa de intensidades sísmicas, estos resultados fueron agrupados por red jerárquica (Tabla 18) y según los niveles de intensidades en cada departamento (Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22).

Figura 43. Mapa de exposición por sismo en la red vial



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



Tabla 18. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas según tipo de red (Km/L)

TIPO DE VIA \ INTENSIDADES SISMICAS	IX	VIII	VII	VI
RED NACIONAL	15.44	1,109.09	1,417.93	153.13
RED DEPARTAMENTAL	30.91	703.65	1,715.05	69.06
RED VECINAL	0.57	1,435.30	3,962.38	117.28
TOTAL	46.93	3,248.04	7,095.36	339.48

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

Tabla 19. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (IX) según departamento

DEPARTAMENTO \ INTENSIDADES SISMICAS	IX					
	RED NACIONAL		RED DEPARTAMENTAL		RED VECINAL	
	km	%	km	%	km	%
ANCASH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CALLAO	13.00	84.16	12.91	41.77	0.00	0.00
ICA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LIMA	2.45	15.84	18.00	58.23	0.57	100.00
TOTAL	15.45	100.00	30.91	100.00	0.57	100.00

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

Tabla 20. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VIII) según departamento

DEPARTAMENTO \ INTENSIDADES SISMICAS	VIII					
	RED NACIONAL		RED DEPARTAMENTAL		RED VECINAL	
	km	%	km	%	km	%
ANCASH	3.86	0.35	0.00	0.00	3.84	0.27
CALLAO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ICA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LIMA	1105.23	99.65	703.64	100.00	1431.46	99.73
TOTAL	1109.09	100.00	703.64	100.00	1435.30	100.00

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

Tabla 21. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VII) según departamento

DEPARTAMENTO \ INTENSIDADES SISMICAS	VII					
	RED NACIONAL		RED DEPARTAMENTAL		RED VECINAL	
	km	%	km	%	km	%
ANCASH	518.85	36.59	223.11	13.01	882.38	22.27
CALLAO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ICA	136.38	9.62	250.55	14.61	129.87	3.28
LIMA	762.70	53.79	1241.38	72.38	2950.12	74.45
TOTAL	1417.93	100.00	1715.04	100.00	3962.37	100.00

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



Tabla 22. Sector transportes: Exposición a intensidades sísmicas (VI) según departamento

DEPARTAMENTO \ INTENSIDADES SISMICAS	VI					
	RED NACIONAL		RED DEPARTAMENTAL		RED VECINAL	
	km	%	km	%	km	%
ANCASH	153.13	100.00	69.06	100.00	117.28	100.00
CALLAO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ICA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LIMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	153.13	100.00	69.06	100.00	117.28	100.00

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

5.3.2 Exposición a tsunami

En el análisis de la exposición por tsunami, al igual que la exposición por sismo, sólo se ha considerado las redes viales terrestres de niveles jerárquicos nacional, departamental y vecinal con relación a las cartas de inundación por tsunami generadas por la DHN para el ámbito de estudio. La Figura 44 muestra la localización de las redes viales que podrían ser afectas ante un probable tsunami, y la Tabla 23 muestra los Km lineales según el orden jerárquico de éstas, así como su localización según departamentos.

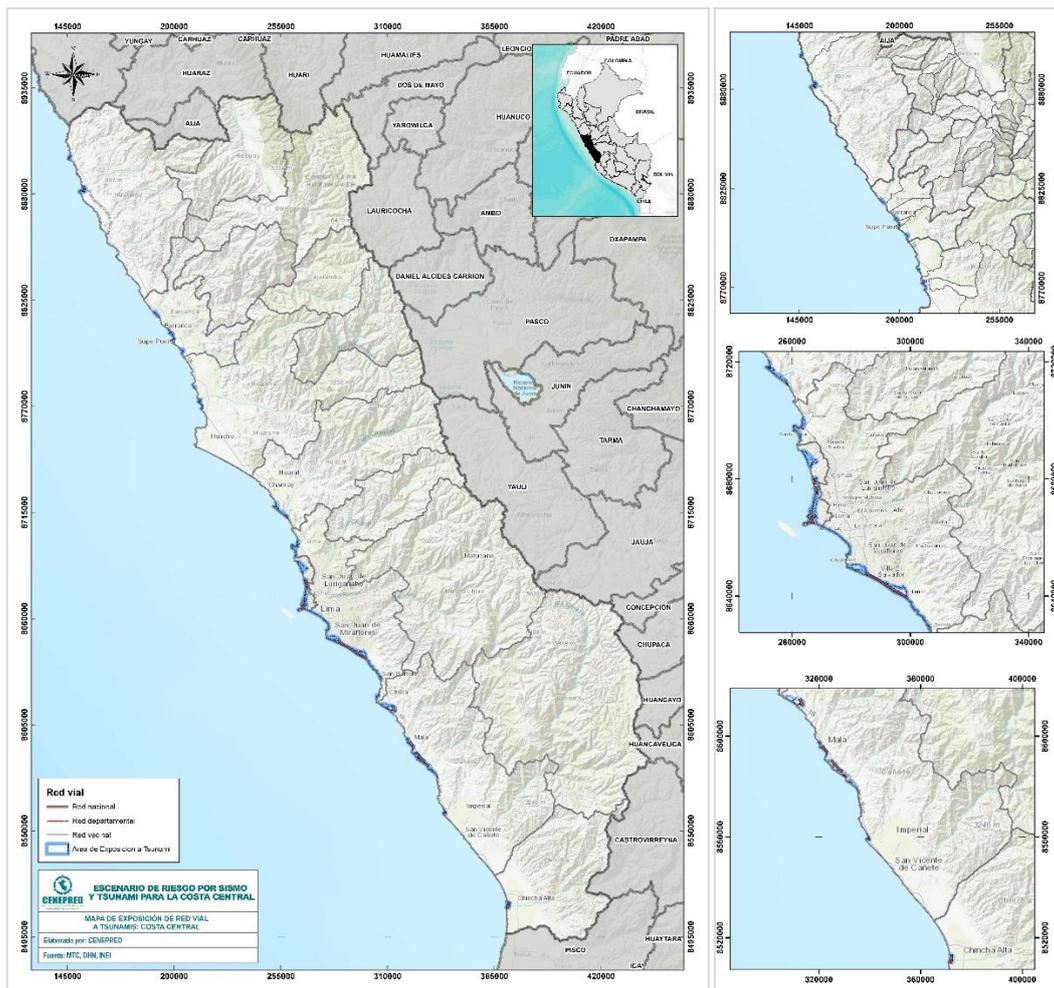
Tabla 23. Sector transportes: Exposición según tipo de red por departamentos

DEPARTAMENTO	RED VIAL AFECTADA (KM) POR TSUNAMI		
	RED NACIONAL	RED DEPARTAMENTAL	RED VECINAL
ANCASH	0.00	0.00	2.90
CALLAO	2.82	8.77	0.00
ICA	7.01	2.20	1.86
LIMA	60.28	13.82	35.82
TOTAL	70.12	24.80	40.59

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



Figura 44. Mapa de exposición a tsunami en la red vial



Fuente: Elaborado por CENEPRED con datos del MTC y la DGN.



6 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el escenario de riesgo por sismo para la costa central, la población con nivel de riesgo Muy Alto representa el 44.6% del total (4,807,754), con riesgo Alto el 52.1% (5,614,016), con riesgo Medio el 3.2% (360,361) y con riesgo Bajo, tan sólo el 0.1% (2,462).

Las provincias que concentran la población con nivel de riesgo Muy Alto son: Lima (4,177,986) y Callao (629,768).

Página | 66

Con respecto a los resultados del riesgo en viviendas, estos determinaron que, el 44.2% (1,213,664) de éstas cuentan con riesgo Muy Alto, el 52% (1,427,599) con riesgo Alto, el 3.7% (101,691) con riesgo Medio y el 0.1% (728) con riesgo Bajo.

Con respecto a la contabilización total de elementos expuestos en las zonas de riesgo por tsunami en el ámbito de la costa central, se han contabilizado un total de 282,785 personas y 83,425 viviendas.

En el sector salud, de los 847 establecimientos de salud analizados con respecto a su fragilidad, se concluyó que el 9.6% (81) de éstos cuenta con una fragilidad Muy Alta, el 5.3% (45) con un nivel Alto, el 49.6% (420) con nivel Medio, el 12.2% (103) con nivel Bajo, el 10.4% (88) con nivel Muy Bajo y el 13% (110) no registran datos.

Además, siguiendo en el sector salud, los resultados por exposición por sismo, con relación al mapa de intensidades sísmicas muestran que; el 7% (59) de éstos se ubican sobre ámbitos con grado IX en la escala Modifica de Mercalli, el 59% (507) con grado VIII, el 32.5% (275) con grado VII y el 0.7% (6) con grado VI. Mientras que, los resultados por exposición por tsunami muestran que, sólo 29 establecimientos de salud se encuentran expuestos a este peligro, los cuales representan tan sólo el 3.4%.

En el sector educación, de las 12,015 instituciones educativas analizadas, los resultados por exposición por sismo, con relación al mapa de intensidades sísmicas muestran que; el 11.7% (1,403) de éstos se ubican sobre ámbitos con grado IX en la escala Modifica de Mercalli, el 75.2% (9,035) con grado VIII, el 12.5% (1,501) con grado VII y el 0.6% (76) con grado VI. Mientras que, los resultados por exposición por tsunami muestran que, sólo 354 instituciones educativas se encuentran expuestas a este peligro, las cuales representan tan sólo el 3%.

Finalmente, en el sector transportes, los resultados por exposición por sismo, con relación al mapa de intensidades sísmicas muestran que; 0.4% (46.93 Km/L) de las redes de terrestres se ubican sobre ámbitos con grado IX en la escala Modifica de Mercalli, el 30.3% (3,248.04 Km/L) sobre grado VIII, el 66.1% (7,095.36 Km/L) sobre grado VII y el 3.2% (339.48 Km/L) sobre grado VI. Mientras que, los resultados por exposición por tsunami muestran que, sólo 135.5 Km/L de vías terrestres se encuentran expuestas a este peligro, las cuales representan tan sólo el 1.3%.



7 RECOMENDACIONES

Se recomienda a los gobiernos locales provinciales de los departamentos que conforman el área de estudio, 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 | 67

A los sectores Salud, Educación y Transportes; 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.

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.

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 en prevención y reducción del riesgo de desastres 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.



8 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.
- 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, & 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.
- 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.
- 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 Disaster Research*, 8, 266–273.
- 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.
- Seiner, L. (2011). *Historia de los sismos en el Perú. Catálogo: Siglos XVIII-XIX*. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima.
- 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. (2017a). Actualización del escenario por sismo, tsunami y exposición en la región central del Perú. *Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres*, 1–26.
- Tavera, H. (2017b). *Estimación del riesgo por exposición a partir de mapas de isosistas en Perú*. 1–30.
- 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 sísmicas en el borde oeste del Peru. *Volumen Especial No. 6 - Alberto Giesecke Matto*, pp. 89–102.
- 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.

9 ANEXOS

- Tabla de niveles de riesgo por distritos.
- Elementos expuestos por sismo a nivel distrital (sectores Salud y educación).
- Elementos expuestos por tsunami a nivel distrital (sectores Salud y educación).



CENEPRED

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

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

www.cenepred.gob.pe

 CENEPRED

 @CENEPRED

 CENEPRED

 CENEPRED PERU

 CENEPRED PERU