



CENEPRED

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

ESCENARIO DE
RIESGO POR

SISMO Y TSUNAMI

*PARA LIMA METROPOLITANA Y LA PROVINCIA
CONSTITUCIONAL DEL CALLAO*

Septiembre, 2019

EL PERÚ PRIMERO

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2 | EL PELIGRO SÍSMICO EN LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ (LIMA Y CALLAO) | 3 |
| 3 | RIESGO SÍSMICO | 4 |
| 3.1 | Población con riesgo sísmico | 6 |
| 3.1.1 | Provincia del Callao | 7 |
| 3.1.2 | Lima Metropolitana..... | 8 |
| 3.2 | Viviendas con riesgo sísmico | 10 |
| 3.2.1 | Provincia del Callao | 11 |
| 3.2.2 | Lima Metropolitana..... | 12 |
| 3.3 | Análisis comparativo, Escenario de riesgo por sismo de 2017 y 2019..... | 15 |
| 4 | EXPOSICIÓN SEGÚN EL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA | 16 |
| 4.1 | Población expuesta según el mapa de microzonificación sísmica | 16 |
| 4.2 | Viviendas expuestas según el mapa de microzonificación sísmica | 17 |
| 5 | EXPOSICIÓN AL PELIGRO DE TSUNAMI | 20 |
| 5.1 | Tipos de tsunami | 20 |
| 5.2 | Tsunamis históricos en Lima y Callao | 20 |
| 5.3 | Análisis de elementos expuestos | 21 |
| 5.3.1 | Provincia del Callao | 21 |
| 5.3.2 | Lima Metropolitana..... | 23 |
| 6 | CONCLUSIONES | 26 |
| 7 | RECOMENDACIONES | 27 |
| 8 | ANEXO..... | 30 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Niveles de riesgo sísmico | 4 |
| Tabla 2. Población: Riesgo sísmico para Lima y Callao | 6 |
| Tabla 3. Población por distritos: Riesgo sísmico para Callao | 7 |
| Tabla 4. Población por distritos: Riesgo sísmico para Lima | 8 |
| Tabla 5. Viviendas: Riesgo sísmico para Lima y Callao | 10 |
| Tabla 6. Viviendas por distritos: Riesgo sísmico para Callao | 11 |
| Tabla 7. Viviendas por distritos: Riesgo sísmico para Lima | 12 |
| Tabla 8. Microzonificación Sísmica..... | 16 |
| Tabla 9. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao | 16 |
| Tabla 10. Población: Exposición al peligro sísmico para Callao | 17 |
| Tabla 11. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima | 17 |
| Tabla 12. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao..... | 18 |
| Tabla 13. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Callao | 18 |
| Tabla 14. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Lima | 18 |
| Tabla 15. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database | 20 |
| Tabla 16. Modelaciones de inundación por tsunamis para Lima y el Callao | 21 |
| Tabla 17. Población y viviendas: Exposición al peligro de tsunami para Callao | 22 |
| Tabla 18. Población y viviendas: Exposición al peligro de tsunami para Lima | 23 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Provincia de Callao: Distritos con y sin estudios de riesgo sísmico..... | 5 |
| Figura 2. Lima Metropolitana: Distritos con y sin estudios de riesgo sísmico ³ | 5 |
| Figura 3. Población: Riesgo sísmico Nivel V y Nivel IV para Lima y Callao | 6 |
| Figura 4. Población: Riesgo sísmico Nivel V para el Callao | 7 |
| Figura 5. Población: Riesgo sísmico Nivel IV para el Callao | 7 |
| Figura 6. Población: Riesgo sísmico Nivel V para Lima | 9 |
| Figura 7. Población: Riesgo sísmico Nivel IV para Lima | 9 |
| Figura 8. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V y Nivel IV para Lima y Callao..... | 10 |
| Figura 9. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Callao | 11 |
| Figura 10. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel IV para Callao | 11 |
| Figura 11. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Lima..... | 13 |
| Figura 12. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Callao | 13 |
| Figura 13. Riesgo sísmico para Lima y Callao..... | 14 |
| Figura 14. Población: Resultados comparativos entre los escenarios de 2017 y 2019 | 15 |
| Figura 15. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao | 17 |
| Figura 16. Viviendas: Exposición al peligro sísmico Zona IV para el Callao..... | 18 |
| Figura 17. Microzonificación sísmica para Lima y Callao | 19 |
| Figura 18. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para el Callao..... | 22 |
| Figura 19. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para el Callao..... | 22 |
| Figura 20. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para el Callao | 23 |
| Figura 21. Viviendas: Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para el Callao | 23 |
| Figura 22. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para Lima | 24 |
| Figura 23. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para Lima | 24 |
| Figura 24. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para Lima | 24 |
| Figura 25. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para Lima | 25 |
| Figura 26. Inundación por tsunamis para Lima y Callao..... | 25 |

ESCENARIO DE RIESGO POR SISMO Y TSUNAMI PARA LIMA METROPOLITANA Y LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO

1 INTRODUCCIÓN

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

El área de estudio presenta los mayores registros de sismos y tsunamis en el país (Carpio & Tavera, 2002; Mas et al., 2014; Seiner-Lizárraga, 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 et al., 1990; Seiner-Lizárraga, 2011; Tavera, 2014; IGP, 2014). 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 vuelto a repetir durante los últimos 276 años, ampliando su periodo de retorno, e incrementando su probabilidad de ocurrencia sobre este ámbito (IGP, 2014).

Según los resultados del censo de población y vivienda de 2017 (INEI, 2017), la población total para la Provincia del Callao fue de 994,494; mientras que, para la Provincia de Lima, el conteo dio como resultado de 8,574,974; dando un total de 9,569,468 personas. Sin embargo, los datos mencionados son tabulares, y el presente estudio es de análisis espacial; por tal motivo, se ha trabajado con la base gráfica del censo en mención, donde sus resultados difieren en pequeña proporción para la Provincia de Lima (8,323,501) y el Callao (977,208), con un total de 9,300,709 habitantes; en comparación a los datos tabulares. Además, con respecto a los datos de vivienda, según la base gráfica del último censo, en Lima y Callao hay un total de 2,731,414 viviendas.

Finalmente, estos datos fueron asociados con los resultados de los estudios de riesgo y microzonificación sísmica que viene elaborando el CISMID desde el año 2013, para cuantificar los elementos expuestos del área de estudio, según su nivel de riesgo por sismo, e inundación por tsunami, de acuerdo a las cartas de inundación de la DHN.

2 EL PELIGRO SÍSMICO EN LA COSTA CENTRAL DEL PERÚ (LIMA Y CALLAO)

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

- El sismo del 9 de julio de 1586, con intensidades de IX MMI en Lima y VI MMI en Ica.
- El sismo del 13 de noviembre de 1655, con intensidades de IX MMI en el Callao y VIII MMI en Lima.
- El sismo del 12 de mayo de 1664, con intensidades de X MMI en Ica, VIII MMI en Pisco y IV MMI en Lima.
- El sismo del 20 de octubre de 1687, con intensidades de IX MMI en Cañete, VIII MMI en Ica y VII MMI en Lima.
- El sismo del 10 de febrero de 1716, con intensidades de IX MMI en Pisco y V MMI en Lima.

- Sismo del 28 de octubre de 1746 a las 22:30 horas: Destrucción de casi la totalidad de casas y edificios en Lima y Callao. Intensidad de X (MMI) en Chancay y Huaral, IX –X (MMI) en Lima, Barranca y Pativilca.
- El sismo del 30 de marzo de 1828, con intensidad de VII MMI en Lima.
- El sismo del 04 de marzo de 1904, con intensidad de VII - VIII MMI en Lima.
- Sismo del 24 de mayo de 1940 a las 11:35 horas: Intensidad de VIII (MMI) en Lima, VI (MMI) en el Callejón de Huaylas, V (MMI) en Trujillo.
- El sismo del 17 de octubre de 1966, con intensidad VII MMI en Lima.
- El sismo del 03 de octubre de 1974, con intensidad de VIII MMI en Lima y VII MMI en Cañete.
- El sismo del 18 de abril de 1993, con intensidad de VI MMI en Lima y V MMI en Cañete y Chimbote.
- El 15 de agosto del 2007 ocurrió un sismo con origen en la zona de convergencia de las placas, el cual fue denominado como “el sismo de Pisco” debido a que su epicentro fue ubicado a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco. Este sismo tuvo una magnitud de momento sísmico $M_w=7.9$ de acuerdo al 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 RIESGO SÍSMICO

En este contexto, el CISMID¹ ha realizado investigaciones concernientes a la evaluación del riesgo sísmico para las provincias de Lima y Callao, mediante el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación (CISMID & UNI, 2013); a continuación, se describe brevemente el proceso para alcanzar este resultado: i) el peligro sísmico se basa en las aceleraciones máximas del tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica-sísmica de los ámbitos de interés; ii) el análisis de la vulnerabilidad, lo realizaron a través del cálculo del costo de reparación de una edificación. Finalmente, iii) el cálculo del riesgo se alcanzó mediante el método de aproximación del valor de reparación de las viviendas de una manzana, expresado en porcentaje, en relación al costo de las edificaciones (CISMID, 2016, 2017).

Tabla 1. Niveles de riesgo sísmico

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

Fuente: CISMID.

La base gráfica de los estudios de riesgo sísmico, elaborados por el CISMID hasta el año 2018, tiene como unidad mínima de análisis, la manzana censal² con su respectivo porcentaje de costo reparación, distribuido en 5 niveles de daño (Tabla 1), el cual fue aplicado para 5 distritos de la Provincia del Callao y 35 de Lima

¹ CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres

² Manzanas censales: El presente estudio utilizará este término, al hacer referencia a las “manzanas referenciales con fines censales del INEI”.

Metropolitana (Figura 1, Figura 2, Figura 13, Anexo 1). Posteriormente, esta información fue superpuesta con la base gráfica de manzanas referenciales con fines censales del INEI (2017), con el objetivo de obtener los datos actualizados de población y vivienda, de las manzanas evaluadas por el CISMID.

Figura 1. Provincia de Callao: Distritos con y sin estudios de riesgo sísmico³



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Lima Metropolitana: Distritos con y sin estudios de riesgo sísmico³



Fuente: Elaboración propia.

³ Los distritos que no cuentan con estudios (de color anaranjado), probablemente están en la etapa de planteamiento inicial, ya que estos estudios son desarrollado progresivamente por el CISMID.

El resultado obtenido, refleja que el 81% de la población total (7,493,467) cuenta con estudios de riesgo, mientras que el 21% restante (1,807,242), aun no cuentan con estudios y/o no fueron consideradas dentro de las evaluaciones (Tabla 2). De igual manera, con respecto a los resultados de viviendas, el 79% (2,148,177) cuenta con estudios, y el 21% (583,237) restante, aún se encuentra pendiente ser evaluados.

3.1 Población con riesgo sísmico

Del total poblacional de Lima y Callao (7,493,467), el 16% vive en manzanas con posible colapso, de Nivel V, es decir 1,193,251. De igual manera, para la población que vive en manzanas de posible daño severo ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, con Nivel IV, el resultado asciende hasta 1,678,798 habitantes, representando el 22% del total. Además, el 62% de la población restante, se encuentra sobre manzanas con Nivel III, II y I (4,621,418), en viviendas con posibles daños inferiores al moderado (Tabla 2).

Es así que, el 13% de la población de la Provincia del Callao, se localiza en manzanas con Nivel V (66,165), de posible colapso; y un 22% (121,074) se localiza en manzanas con Nivel IV, de posible daño severo. Mientras que, el 63% restante (313,246), con posibles daños que no superan del moderado.

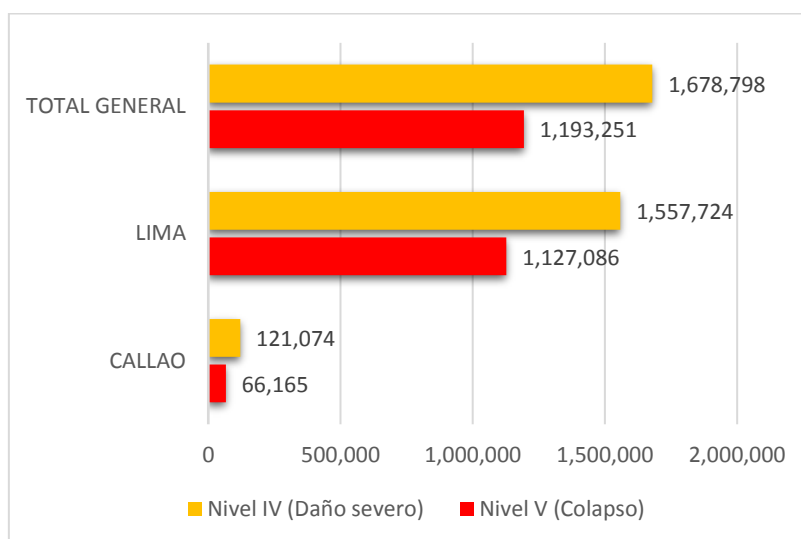
Tabla 2. Población: Riesgo sísmico para Lima y Callao.

| PROVINCIA | Con estudios de riesgo | | | | | Sin Estudios | Total general | |
|----------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | | | Total riesgo |
| CALLAO | 66,165 | 121,074 | 234,677 | 65,009 | 13,560 | 500,485 | 476,723 | 977,208 |
| LIMA | 1,127,086 | 1,557,724 | 2,071,276 | 1,141,855 | 1,095,041 | 6,992,982 | 1,330,519 | 8,323,501 |
| TOTAL GENERAL | 1,193,251 | 1,678,798 | 2,305,953 | 1,206,864 | 1,108,601 | 7,493,467 | 1,807,242 | 9,300,709 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Finalmente, del total general, Lima Metropolitana concentra los mayores resultados de población en manzanas con nivel de riesgo V y IV, debido a la mayor extensión y consolidación urbana con la que cuenta; en comparación al conteo obtenido para la Provincia del Callao (Figura 3).

Figura 3. Población: Riesgo sísmico Nivel V y Nivel IV para Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

3.1.1 Provincia del Callao

En la Provincia del Callao, el CISMID ha evaluado cinco distritos hasta el año 2018: Bellavista, Carmen de la Legua Reynoso, La Perla, Mi Perú y Ventanilla (Figura 1). La Tabla 3 muestra que, sólo dos distritos cuentan con población localizada en manzanas con Nivel V, de posible colapso (Ventanilla y Mi Perú, 66,168). A diferencia de la población localizada en manzanas con Nivel IV, de posible daño severo, que cuentan con registros en los cinco distritos del ámbito de estudio (con una población de 121,074).

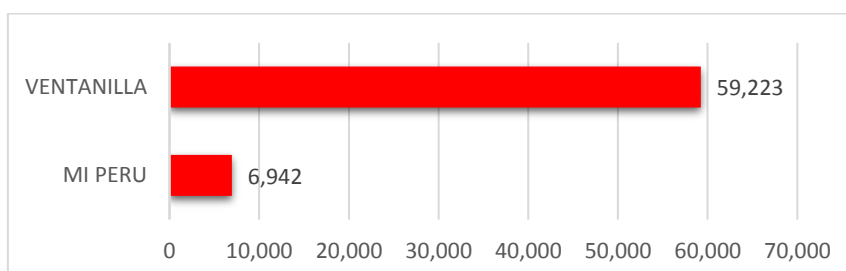
Tabla 3. Población por distritos: Riesgo sísmico para Callao.

| DISTRITO | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | Total |
|----------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| BELLAVISTA | | 12,702 | 40,452 | 16,762 | 4,346 | 74,262 |
| CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO | | 1,367 | 40,706 | 120 | | 42,193 |
| LA PERLA | | 11,334 | 36,410 | 11,418 | 2,135 | 61,297 |
| MI PERU | 6,942 | 11,936 | 15,209 | 6,737 | 752 | 41,576 |
| VENTANILLA | 59,223 | 83,735 | 101,900 | 29,972 | 6,327 | 281,157 |
| TOTAL GENERAL | 66,165 | 121,074 | 234,677 | 65,009 | 13,560 | 500,485 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

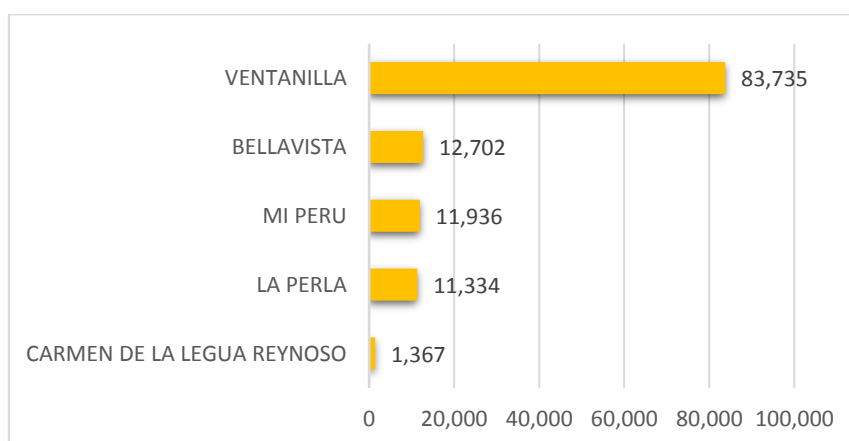
En la Provincia del Callao, el distrito con mayor población sobre manzanas con riesgo Nivel V y IV; es Ventanilla, con 59,223 (Figura 4) y 83,735 (Figura 5), respectivamente.

Figura 4. Población: Riesgo sísmico Nivel V para el Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Figura 5. Población: Riesgo sísmico Nivel IV para el Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

3.1.2 Lima Metropolitana

En el caso de Lima Metropolitana, el ámbito de trabajo del CISMID abarcó treinta y cinco distritos hasta el año 2018, los cuales se detallan en la Tabla 4, según su nivel de costo reparación (Figura 2). Las manzanas evaluadas con riesgo Nivel V, suman 1,127,086 habitantes, en treinta y tres distritos del total; mientras que, las manzanas con Nivel IV, concentran a 1,557,724 habitantes, en treinta y cuatro distritos; representando un 16% y 22% del total, respectivamente.

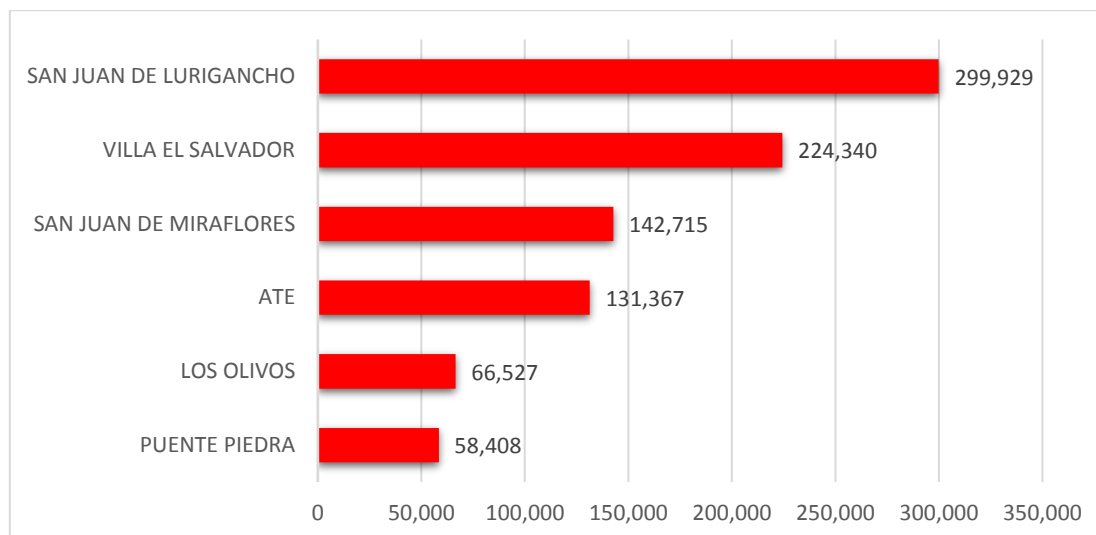
Tabla 4. Población por distritos: Riesgo sísmico para Lima.

| DISTRITO | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | Total |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ANCON | 19,450 | 13,635 | 2,288 | 953 | | 36,326 |
| ATE | 131,367 | 201,677 | 148,808 | 66,717 | 2,552 | 551,121 |
| BARRANCO | 202 | 3,074 | 27,383 | 2,919 | 402 | 33,980 |
| BREÑA | 285 | 10,871 | 57,814 | 16,161 | 100 | 85,231 |
| CARABAYLLO | 2,328 | 4,595 | 38,365 | 71,309 | 155,289 | 271,886 |
| CHORRILLOS | 21,716 | 143,948 | 88,302 | 34,414 | 24,281 | 312,661 |
| COMAS | 35,242 | 65,761 | 81,498 | 56,468 | 262,434 | 501,403 |
| EL AGUSTINO | 312 | 375 | 14,450 | 134,512 | 46,621 | 196,270 |
| INDEPENDENCIA | 17,039 | 26,263 | 55,407 | 35,322 | 67,839 | 201,870 |
| JESUS MARIA | 747 | 3,537 | 29,308 | 21,043 | 20,108 | 74,743 |
| LA MOLINA | 8,298 | 30,106 | 44,211 | 9,267 | 47,924 | 139,806 |
| LA VICTORIA | 14,531 | 133,305 | 21,152 | 2,634 | | 171,622 |
| LIMA | 16,999 | 29,219 | 83,716 | 103,375 | 32,317 | 265,626 |
| LINCE | 170 | 385 | 23,613 | 26,416 | 3,946 | 54,530 |
| LOS OLIVOS | 66,527 | 174,878 | 82,488 | 113 | | 324,006 |
| LURIN | 16,404 | 20,181 | 20,574 | 5,563 | 10,335 | 73,057 |
| MAGDALENA DEL MAR | 568 | 2,888 | 29,912 | 26,414 | 5,763 | 65,545 |
| PUCUSANA | 2,709 | 623 | 1,957 | 3,855 | 2,896 | 12,040 |
| PUEBLO LIBRE | 136 | 664 | 6,608 | 39,969 | 35,526 | 82,903 |
| PUENTE PIEDRA | 58,408 | 76,432 | 54,709 | 31,392 | 72,977 | 293,918 |
| PUNTA HERMOSA | 179 | 92 | 3,289 | 1,590 | 1,201 | 6,351 |
| PUNTA NEGRA | 102 | 38 | 4,702 | 85 | 705 | 5,632 |
| RIMAC | 30,334 | 55,075 | 31,541 | 42,800 | 11,280 | 171,030 |
| SAN BARTOLO | 132 | 56 | 4,681 | 1,056 | 1,223 | 7,148 |
| SAN JUAN DE LURIGANCHO | 299,929 | 137,836 | 219,421 | 29,278 | 160,567 | 847,031 |
| SAN JUAN DE MIRAFLORES | 142,715 | 108,102 | 71,978 | 7,007 | | 329,802 |
| SAN LUIS | | 370 | 43,137 | 3,578 | 4,740 | 51,825 |
| SAN MARTIN DE PORRES | 2,268 | 33,910 | 455,332 | 142,851 | 16,122 | 650,483 |
| SAN MIGUEL | 1,960 | 45,124 | 84,675 | 20,260 | | 152,019 |
| SANTA ANITA | 330 | 77,915 | 99,513 | 17,817 | | 195,575 |
| SANTA MARIA DEL MAR | | | | | 20 | 20 |
| SANTAROSA | 9,523 | 13,712 | 7,520 | 359 | | 31,114 |
| SANTIAGO DE SURCO | 1,745 | 4,299 | 71,700 | 151,531 | 87,822 | 317,097 |
| SURQUILLO | 91 | 5,633 | 38,777 | 31,050 | 14,638 | 90,189 |
| VILLA EL SALVADOR | 224,340 | 133,145 | 22,447 | 3,777 | 5,413 | 389,122 |
| TOTAL GENERAL | 1,127,086 | 1,557,724 | 2,071,276 | 1,141,855 | 1,095,041 | 6,992,982 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

En Lima Metropolitana, los distritos con mayor población sobre manzanas con Nivel V, de posible colapso, son: San Juan de Lurigancho (299,929), seguido por Villa El Salvador (224,340), San Juan de Miraflores (142,715), Ate Vitarte (131,367), Los Olivos (66,527) y Puente Piedra (58,408); distritos localizados en la periferia de la ciudad, con más de 50 mil habitantes con este resultado (Figura 6).

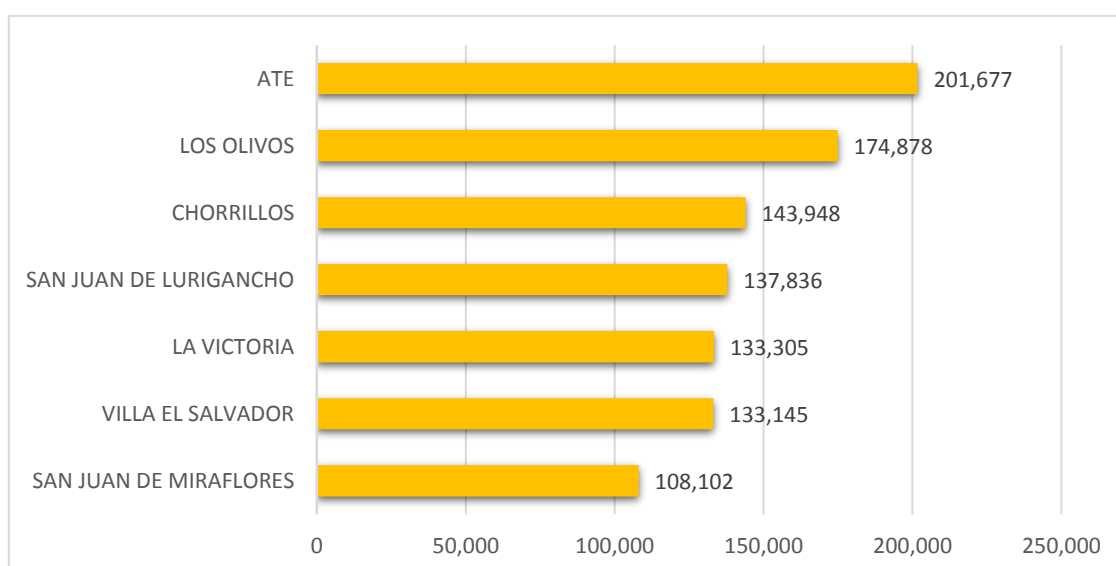
Figura 6. Población: Riesgo sísmico Nivel V para Lima



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

De igual manera, los distritos con mayor población sobre manzanas con Nivel IV, de posible daño severo, son: Ate (201,677), Los Olivos (174,878), Chorrillos (143,948), San Juan de Lurigancho (137,836), La Victoria (133,305), Villa El Salvador (133,145) y San Juan de Miraflores (108,102); distritos que cuentan con más de 100 mil habitantes sobre manzanas con este nivel (Figura 7).

Figura 7. Población: Riesgo sísmico Nivel IV para Lima



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

3.2 Viviendas con riesgo sísmico

Del total de viviendas de Lima y Callao (2,148,177), el 15% (318,378) se localiza sobre manzanas con posible colapso, de Nivel V. Mientras que, el conteo aumenta para las manzanas con Nivel IV, de posible daño severo, con el 22% (472,179). Entre tanto, el 63% de las viviendas se localizan sobre manzanas con Nivel III, II y I (1,357,620) (Tabla 5).

El 14% de las viviendas de la Provincia del Callao, se localizan en manzanas con Nivel V (20,552), de posible colapso; en cambio, su proporción aumenta hasta un 25% (35,911), al contabilizarlas sobre las manzanas con Nivel IV, de posible daño severo. Por otra parte, Lima Metropolitana concentra el 15% de sus viviendas (297,826) sobre las manzanas con Nivel V, de posible colapso; y un 22% de éstas (436,268), en manzanas con Nivel IV, de posible daño severo.

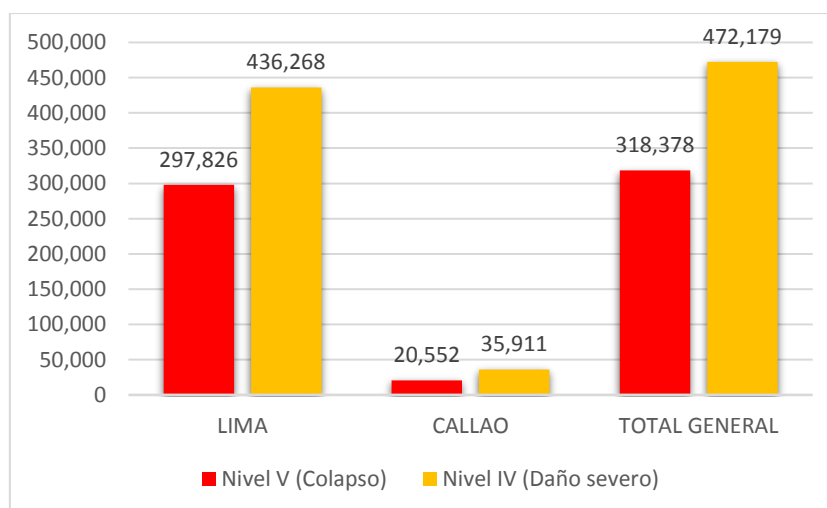
Tabla 5. Viviendas: Riesgo sísmico para Lima y Callao.

| PROVINCIA | Con estudios de riesgo | | | | | | Sin Estudios | Total general |
|----------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | Total riesgo | | |
| CALLAO | 20,552 | 35,911 | 66,021 | 18,574 | 4,049 | 145,107 | 130,899 | 276,006 |
| LIMA | 297,826 | 436,268 | 608,914 | 350,960 | 309,102 | 2,003,070 | 452,338 | 2,455,408 |
| TOTAL GENERAL | 318,378 | 472,179 | 674,935 | 369,534 | 313,151 | 2,148,177 | 583,237 | 2,731,414 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Asimismo, el conteo de viviendas sobre manzanas con Nivel V y IV, es directamente proporcional a los resultados de población, donde Lima Metropolitana concentra la mayor cantidad de viviendas, en comparación a los resultados de la Provincia del Callao; ya que la primera, cuenta con una mayor extensión, densidad y consolidación urbana (Figura 8).

Figura 8. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V y Nivel IV para Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

3.2.1 Provincia del Callao

En la Provincia del Callao, de los cinco distritos donde el CISMID ha elaborado estudios de riesgo sísmico hasta el año 2018, sólo dos cuentan con resultados de Nivel V, de posible colapso, Ventanilla y Mi Perú; a diferencia de los resultados del Nivel IV, daño severo, el cual obtiene resultados para los cinco distritos analizados (Tabla 6). Y estos valores, representan el 14% (20,552) y 25% (35,911) del total, respectivamente.

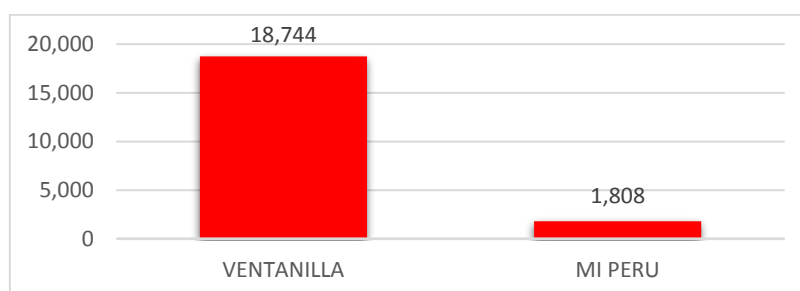
Tabla 6. Viviendas por distritos: Riesgo sísmico para Callao

| DISTRITO | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | Total |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------------|
| BELLAVISTA | | 3,373 | 11,051 | 4,773 | 1,222 | 20,419 |
| CARMEN DE LA LEGUAREYNOSO | | 387 | 10,794 | 33 | | 11,214 |
| LAPERLA | | 3,289 | 10,802 | 3,649 | 742 | 18,482 |
| MI PERU | 1,808 | 3,053 | 3,933 | 1,683 | 186 | 10,663 |
| VENTANILLA | 18,744 | 25,809 | 29,441 | 8,436 | 1,899 | 84,329 |
| TOTAL GENERAL | 20,552 | 35,911 | 66,021 | 18,574 | 4,049 | 145,107 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

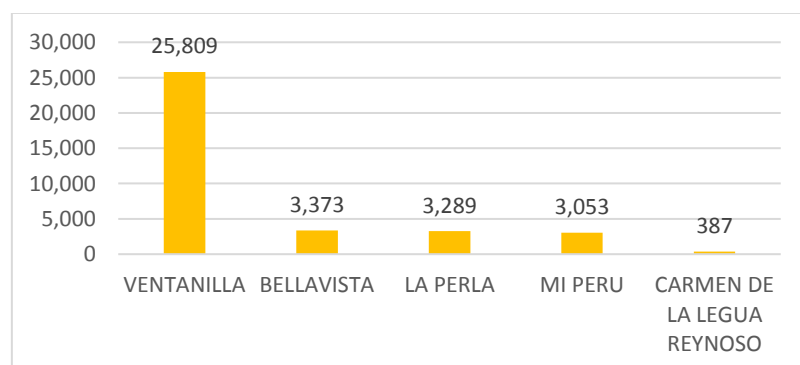
Al igual que los resultados de población, Ventanilla es el distrito con el mayor número de viviendas sobre manzanas con Nivel V (18,744) y IV (25,809) (Figura 9, Figura 10). A diferencia de los resultados complementarios, donde ninguno de los casos supera las 3,500 viviendas sobre estos niveles.

Figura 9. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Figura 10. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel IV para Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

3.2.2 Lima Metropolitana

En el caso de Lima Metropolitana, de los treinta y cinco distritos con estudios de riesgo sísmico, el 15% (297,826) de sus viviendas, se localizan sobre las manzanas con Nivel V, de posible colapso; y la cifra aumenta, con respecto de las viviendas sobre las manzanas con nivel IV, el cual asciende al 22% (436,268) (Tabla 7).

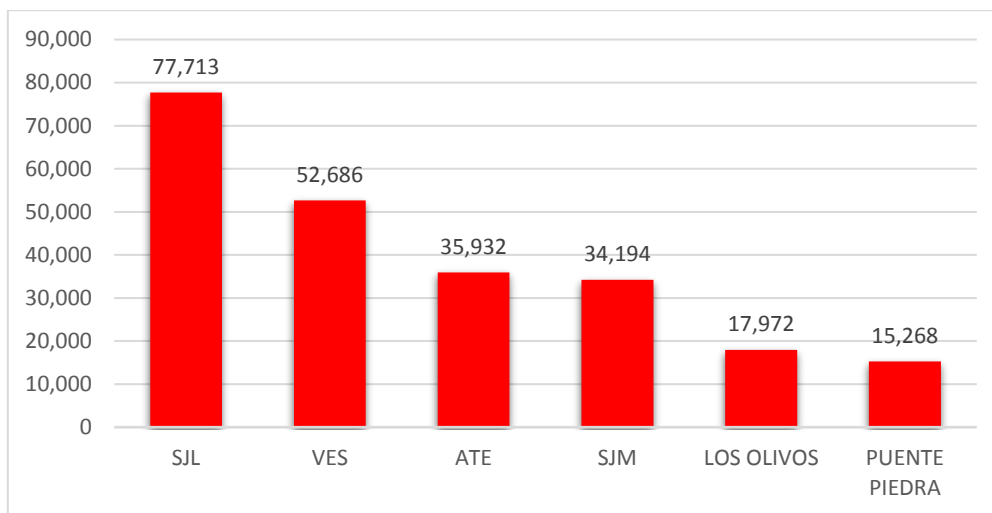
Tabla 7. Viviendas por distritos: Riesgo sísmico para Lima

| DISTRITO | Nivel V | Nivel IV | Nivel III | Nivel II | Nivel I | Total |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| ANCON | 9,443 | 5,147 | 1,037 | 322 | | 15,949 |
| ATE | 35,932 | 54,488 | 44,102 | 19,972 | 708 | 155,202 |
| BARRANCO | 85 | 1,353 | 10,421 | 1,231 | 233 | 13,323 |
| BREÑA | 115 | 3,915 | 20,277 | 5,402 | 26 | 29,735 |
| CARABAYLLO | 652 | 1,462 | 11,110 | 19,691 | 42,374 | 75,289 |
| CHORRILLOS | 4,965 | 38,214 | 22,876 | 8,186 | 5,505 | 79,746 |
| COMAS | 8,863 | 16,370 | 20,909 | 13,520 | 66,901 | 126,563 |
| EL AGUSTINO | 81 | 100 | 3,743 | 35,747 | 11,869 | 51,540 |
| INDEPENDENCIA | 3,956 | 6,355 | 13,851 | 8,802 | 17,089 | 50,053 |
| JESUS MARIA | 276 | 1,357 | 11,530 | 8,114 | 7,417 | 28,694 |
| LAMOLINA | 2,459 | 9,852 | 14,414 | 2,784 | 14,864 | 44,373 |
| LA VICTORIA | 5,502 | 46,624 | 7,517 | 907 | | 60,550 |
| LIMA | 5,779 | 10,599 | 30,195 | 34,131 | 10,143 | 90,847 |
| LINCE | 55 | 160 | 9,279 | 10,694 | 1,672 | 21,860 |
| LOS OLIVOS | 17,972 | 48,314 | 23,249 | 33 | | 89,568 |
| LURIN | 5,120 | 6,469 | 5,854 | 1,471 | 2,324 | 21,238 |
| MAGDALENA DEL MAR | 210 | 1,052 | 10,937 | 9,903 | 2,332 | 24,434 |
| PUCUSANA | 1,197 | 254 | 754 | 1,374 | 996 | 4,575 |
| PUEBLO LIBRE | 53 | 238 | 2,597 | 14,340 | 12,905 | 30,133 |
| PUENTE PIEDRA | 15,268 | 20,527 | 14,571 | 9,450 | 19,715 | 79,531 |
| PUNTA HERMOSA | 58 | 54 | 1,360 | 696 | 550 | 2,718 |
| PUNTA NEGRA | 55 | 19 | 1,876 | 42 | 311 | 2,303 |
| RIMAC | 8,299 | 16,117 | 9,909 | 13,868 | 3,654 | 51,847 |
| SAN BARTOLO | 34 | 14 | 1,958 | 416 | 409 | 2,831 |
| SAN JUAN DE LURIGANCHO | 77,713 | 35,575 | 57,012 | 7,730 | 41,400 | 219,430 |
| SAN JUAN DE MIRAFLORES | 34,194 | 25,725 | 17,506 | 1,907 | | 79,332 |
| SAN LUIS | | 116 | 12,110 | 1,059 | 1,611 | 14,896 |
| SAN MARTIN DE PORRES | 565 | 8,927 | 123,399 | 40,100 | 4,613 | 177,604 |
| SAN MIGUEL | 629 | 15,778 | 29,374 | 6,376 | | 52,157 |
| SANTA ANITA | 74 | 22,107 | 28,981 | 5,198 | | 56,360 |
| SANTA MARIA DEL MAR | | | | | 120 | 120 |
| SANTA ROSA | 4,915 | 4,401 | 2,248 | 146 | | 11,710 |
| SANTIAGO DE SURCO | 587 | 1,547 | 23,887 | 55,128 | 32,265 | 113,414 |
| SURQUILLO | 34 | 2,401 | 14,298 | 11,308 | 5,779 | 33,820 |
| VILLA EL SALVADOR | 52,686 | 30,637 | 5,773 | 912 | 1,317 | 91,325 |
| TOTAL GENERAL | 297,826 | 436,268 | 608,914 | 350,960 | 309,102 | 2,003,070 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

En Lima Metropolitana, los distritos con el mayor número de viviendas sobre manzanas con Nivel V son: San Juan de Lurigancho (77,713), seguido por Villa El Salvador (52,686), Ate Vitarte (35,932), San Juan de Miraflores (34,194), Los Olivos (17,972) y Puente Piedra (15,268). A diferencia de los distritos restantes, donde ninguno supera las 10 mil viviendas sobre manzanas con Nivel V (Figura 11).

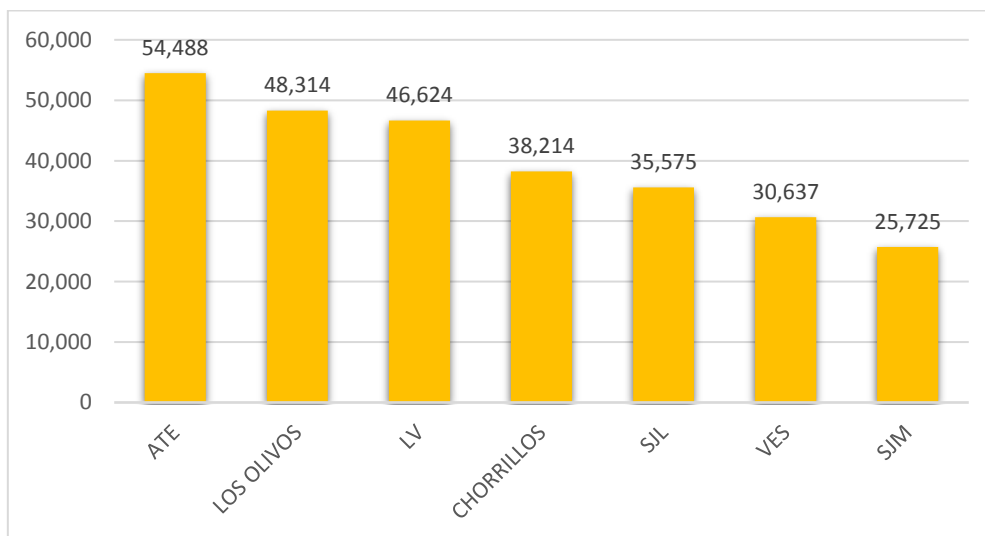
Figura 11. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Lima



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

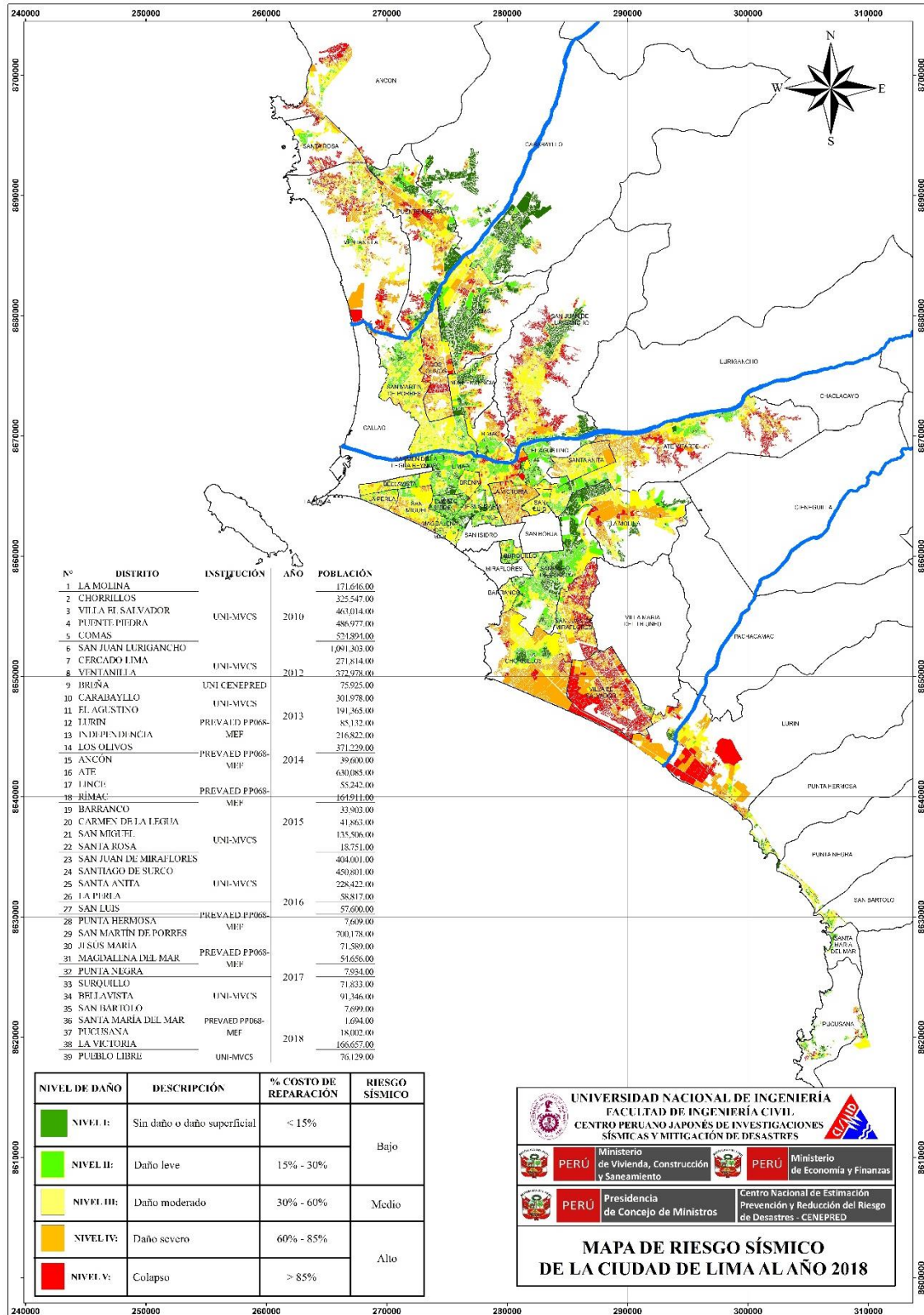
Finalmente, los distritos con el mayor número de viviendas sobre manzanas con Nivel IV son: Ate (54,488), Los Olivos (48,314), La Victoria (46,624), Chorrillos (38,214), San Juan de Lurigancho (35,575), Villa El Salvador (30,637) y San Juan de Miraflores (25,725); el resto de distritos, sus valores no superan las 23 mil viviendas (Figura 12).

Figura 12. Viviendas: Riesgo sísmico Nivel V para Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Figura 13. Riesgo sísmico para Lima y Callao.



Fuente: CISMID.

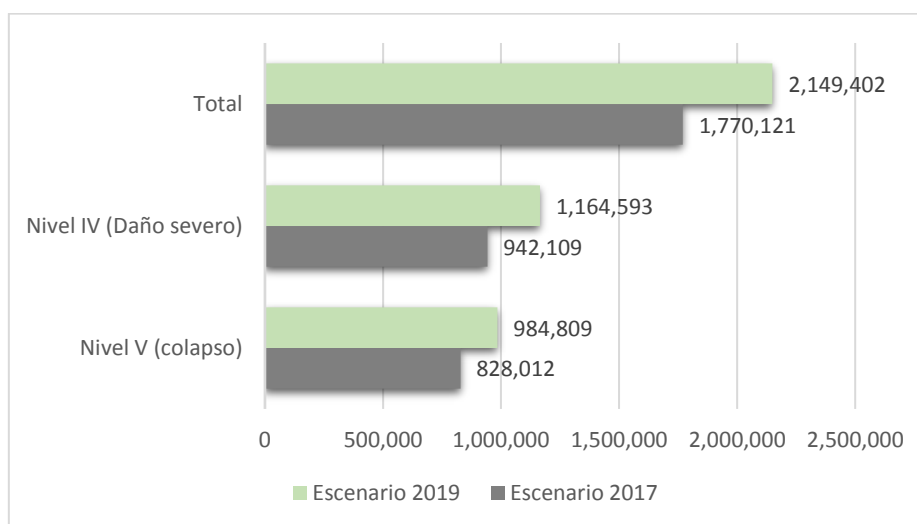
3.3 Análisis comparativo, Escenario de riesgo por sismo de 2017 y 2019

El CENEPRED, en el año 2017, realizó el escenario de riesgo por sismo para las provincias de Lima y Callao, con base a los estudios elaborados por el CISMID hasta ese momento, siendo los distritos evaluados para Lima Metropolitana los siguientes: Ancón, Ate, Breña, Carayballo, Chorrillos, Comas, El Agustino, Independencia, La Molina, Lima, Los Olivos, Lurín, Puente Piedra, San Juan de Lurigancho y Villa El Salvador y; en la Provincia Constitucional del Callao, los distritos fueron: Ventanilla y Mi Perú (CENEPRED, 2017).

La metodología aplicada, fue la misma del presente escenario. Sin embargo, los datos de población y viviendas fueron extraídos de la base gráfica del censo del 2007 del INEI. Asimismo, para una mejor comprensión de los resultados de ambos escenarios, es importante mencionar que el escenario de 2017; el Nivel V, fue considerado como “Riesgo muy alto” y el Nivel IV, como “Riesgo alto”.

Diecisiete distritos fueron evaluados en las provincias de Lima y Callao (2017), contabilizándose 828,012 personas sobre las manzanas de Nivel V, de posible colapso; y elevándose la cifra hasta 942,109 sobre manzanas con Nivel IV, de posible daño severo; haciendo un total de 1,770,121 habitantes. Según la actualización de estos ámbitos, con la información gráfica del censo de 2017, los resultados fueron los siguientes: la población contabilizada en las manzanas con Nivel V, se incrementó en un 19% (984,809), y la población sobre las manzanas con Nivel IV, aumentó en un 24% (1,164,593) (Figura 14).

Figura 14. Población: Resultados comparativos entre los escenarios de 2017 y 2019



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los datos de vivienda, según el escenario de 2017 se contabilizaron 201,090 viviendas sobre las manzanas con Nivel V, de posible colapso. Mientras que, el número de estas, aumentó a 238,468 en las manzanas con Nivel IV, de posible daño severo. Finalmente, según el presente escenario de riesgo (2019), las viviendas aumentaron en 23% (261,556) en las manzanas con Nivel V y en un 25% (316,886) en las manzanas con Nivel IV.

4 EXPOSICIÓN SEGÚN EL MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA

Para el caso de los distritos que no cuenten con estudios de riesgo sísmico, se caracterizó su nivel de exposición a partir del Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Lima y Callao, elaborado (2013) y actualizado por el CISMID, el cual consiste en evaluar las características físicas, mecánicas y dinámicas del suelo de cimentación, delimitando las áreas con similares características dentro de un área urbana. Esta información es de suma importancia para entender la influencia del suelo en el incremento de la fuerza sísmica que puede afectar a las estructuras y por ende en el incremento del nivel de daño esperado durante la ocurrencia de un evento sísmico (CISMID & UNI, 2013) (Tabla 8, Figura 17).

Tabla 8. Microzonificación Sísmica

| ZONAS | DESCRIPCIÓN |
|----------|---|
| Zona I | Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa; y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Periodos de vibración ambiental menores a 0.30 s. |
| Zona II | Depósitos de arena de compacidad media a densa, o arcillas y limos de consistencia media. Periodos de vibración ambiental menores a 0.40 s. |
| Zona III | Depósitos de arenas de compacidad suelta a media, depósitos de limos y arcillas de consistencia blanda a media. Periodos de vibración ambiental mayores a 0.40 s. |
| Zona IV | Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuable. Zonas con alta amplificación sísmica. |
| Zona V | Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras. |
| OZ | Zona ecología de protección |
| FR | Formación rocosa |
| ZA | Zona Arqueológica |

Fuente: CISMID.

4.1 Población expuesta según el mapa de microzonificación sísmica

La población de Lima y Callao, que no cuenta con estudios de microzonificación sísmica, asentada en la Zona IV, da un total de 52,844; y en la Zona III, alcanza la cifra de 7,916; representando el 4% y 1% respectivamente, en comparación a su total (1,350,960) (Tabla 9).

Tabla 9. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao

| PROVINCIA | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|----------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------|------------------|
| CALLAO | 52,844 | 2,492 | 324,067 | 65,809 | | 1,050 | 446,262 |
| LIMA | | 5,424 | 203,535 | 474,116 | 221,623 | 0 | 904,698 |
| TOTAL GENERAL | 52,844 | 7,916 | 527,602 | 539,925 | 221,623 | 1,050 | 1,350,960 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

En la Provincia del Callao, los distritos de La Punta y Callao cuentan con población en la Zona IV, 3,724 para la primera y 49,120 para la segunda. Mientras que, en la Zona III, sólo el distrito del Callao cuenta con datos, con 2,492 personas expuestas (Tabla 10). Por otra parte, para el caso de Lima Metropolitana, ésta no cuenta con población expuesta en la Zona IV, pero si en la Zona III, con una suma acumulada de 5,424 personas, entre los distritos de Miraflores y San Isidro (Tabla 11).

Tabla 10. Población: Exposición al peligro sísmico para Callao

| DISTRITO | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|----------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|----------|--------------|----------------|
| CALLAO | 49,120 | 2,492 | 324,067 | 65,809 | | 1,050 | 442,538 |
| LAPUNTA | 3,724 | | | | | | 3,724 |
| TOTAL GENERAL | 52,844 | 2,492 | 324,067 | 65,809 | 0 | 1,050 | 446,262 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

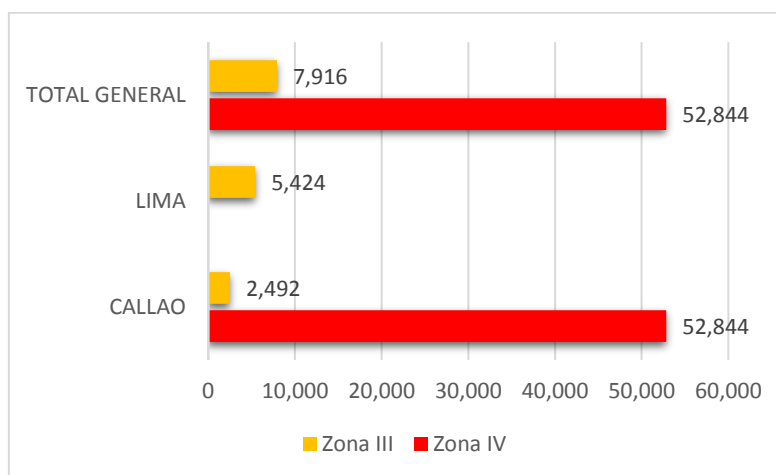
Tabla 11. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima

| DISTRITO | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|-------------------------|----------|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------|
| CHACLACAYO | | | | 38,965 | 2,608 | | 41,573 |
| LURIGANCHO | | | 13,682 | 130,685 | 78,394 | | 222,761 |
| MIRAFLORES | | 5,369 | | 92,944 | | | 98,313 |
| SAN BORJA | | | | 112,715 | | | 112,715 |
| SAN ISIDRO | | 55 | | 55,547 | | | 55,602 |
| VILLA MARIA DEL TRIUNFO | | | 189,853 | 43,260 | 140,621 | | 373,734 |
| TOTAL GENERAL | 0 | 5,424 | 203,535 | 474,116 | 221,623 | 0 | 904,698 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

La Provincia del Callao, cuenta con mayor población expuesta, en comparación a los datos de Lima Metropolitana (Figura 15); de esta última, sólo dos distritos cuentan con exposición en la Zona III: Miraflores (5,369) y San Isidro (55).

Figura 15. Población: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

4.2 Viviendas expuestas según el mapa de microzonificación sísmica

Con respecto a los resultados de viviendas expuestas al peligro sísmico para Lima y Callao, un total de 14,305 se localizan en manzanas de la Zona IV y 4,135 en la Zona III (Tabla 12).

En la Provincia del Callao, con exposición a la Zona IV, se contabilizó a 1,410 viviendas el distrito de La Punta y 12,895 en el distrito del Callao. Mientras que, las viviendas localizadas en la Zona III, sólo se registraron el distrito de Callao, con un resultado de 685 viviendas (Tabla 13).

Tabla 12. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Lima y Callao

| PROVINCIA | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|----------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------|------------|----------------|
| CALLAO | 14,305 | 685 | 84,892 | 19,055 | 0 | 316 | 119,253 |
| LIMA | 0 | 3,450 | 50,006 | 173,166 | 68,779 | 0 | 295,401 |
| TOTAL GENERAL | 14,305 | 4,135 | 134,898 | 192,221 | 68,779 | 316 | 414,654 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Tabla 13. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Callao

| DISTRITO | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|----------------------|---------------|------------|---------------|---------------|----------|------------|----------------|
| CALLAO | 12,895 | 685 | 84,892 | 19,055 | | 316 | 117,843 |
| LAPUNTA | 1,410 | | | | | | 1,410 |
| TOTAL GENERAL | 14,305 | 685 | 84,892 | 19,055 | 0 | 316 | 119,253 |

Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

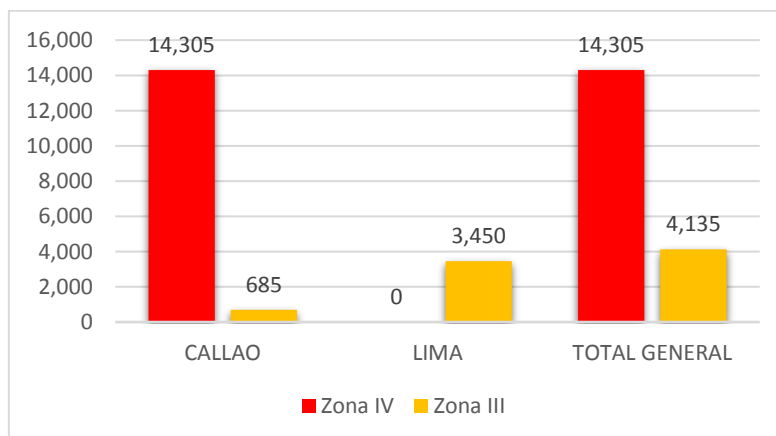
Por otra parte, Lima Metropolitana no cuenta con viviendas expuestas a la Zona IV (Tabla 14), pero en la Zona III, sólo en dos distritos: Miraflores (3,412) y San Isidro (38). Finalmente, al igual que los datos de exposición sísmica poblacional, los resultados del análisis de viviendas son directamente proporcional a éste, donde la Provincia del Callao concentra el mayor número de edificaciones expuestas en comparación a los resultados de Lima Metropolitana (Figura 16).

Tabla 14. Viviendas: Exposición al peligro sísmico para Lima

| DISTRITO | Zona IV | Zona III | Zona II | Zona I | FR | Sin datos | Total |
|-------------------------|----------|--------------|---------------|----------------|---------------|-----------|----------------|
| CHACLACAYO | | | | 10,328 | 730 | | 11,058 |
| LURIGANCHO | | | 4,101 | 41,249 | 28,335 | | 73,685 |
| MIRAFLORES | | 3,412 | | 46,546 | | | 49,958 |
| SAN BORJA | | | | 39,970 | | | 39,970 |
| SAN ISIDRO | | 38 | | 25,276 | | | 25,314 |
| VILLA MARIA DEL TRIUNFO | | | 45,905 | 9,797 | 39,714 | | 95,416 |
| TOTAL GENERAL | 0 | 3,450 | 50,006 | 173,166 | 68,779 | 0 | 295,401 |

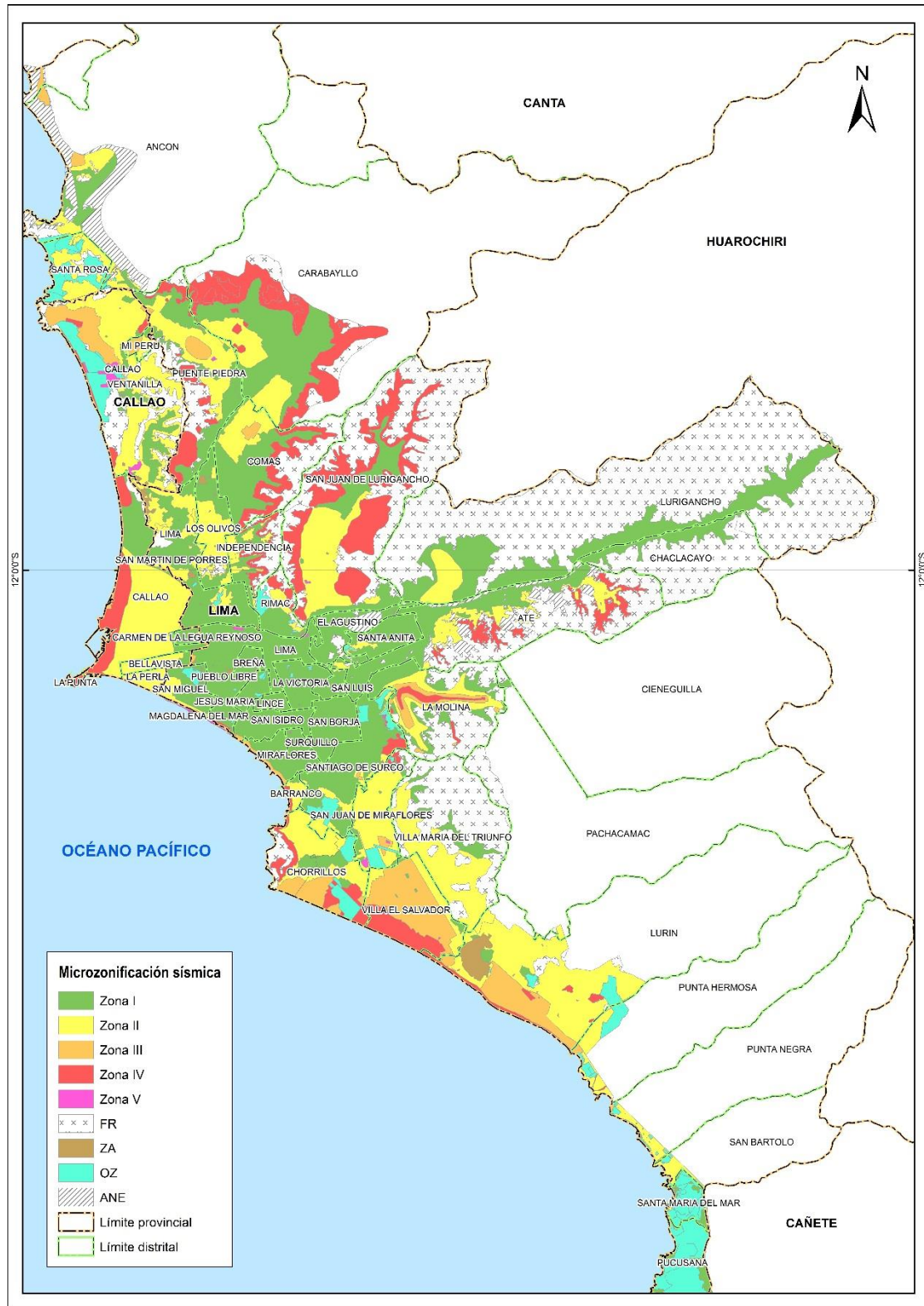
Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Figura 16. Viviendas: Exposición al peligro sísmica Zona IV para el Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID e INEI.

Figura 17. Microzonificación sísmica para Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos del CISMID.

5 EXPOSICIÓN AL PELIGRO DE 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; IGP, 2014).

5.1 Tipos de tsunami

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.

5.2 Tsunamis históricos en Lima y Callao

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 15).

Tabla 15. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database

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

Fuente: CISMID & UNI (2010)

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

A continuación, se presentan los principales estudios de peligro por tsunami realizados para Lima (Tabla 16):

Tabla 16. Modelaciones de inundación por tsunami para Lima y el Callao

| FUENTE | MW SISMO DESC.* | ARRIBO Y ALTURA PRIMERA OLA ** | RUN UP ⁴ *** |
|--|-----------------|--------------------------------|-------------------------|
| 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. (2013) (2015) | 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

5.3 Análisis de elementos expuestos

Para el presente análisis, se tomó en consideración las cartas de inundación por tsunami publicadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación - DHN⁵ para Lima Metropolitana y el Callao. Las cuales consideran la modelación de inundaciones ante dos casos probables escenarios, el esperado ante un sismo de Mw 8.5 y el peor escenario conocido, tsunami ante la ocurrencia de un sismo de Mw 9.0 frente a la costa central del Perú (COOPI et al., 2010; Tavera, 2014).

Al igual que el análisis de riesgo y exposición sísmica, se relacionó las áreas de inundación por tsunami de las cartas de la DHN, con la base gráfica de manzanas censales del INEI (2017). Identificándose a los siguientes distritos expuestos: Bellavista, Callao, La Perla, La Punta y Ventanilla para la Provincia del Callao; mientras que, para Lima Metropolitana, los distritos son: Ancón, Barranco, Chorrillos, Lurín, Pucusana, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa Rosa y Villa El Salvador (Figura 26).

5.3.1 Provincia del Callao

Si el tsunami fuese generado por un sismo de Mw 8.5, la población total expuesta sería de 62,169 y 18,710 viviendas; en cambio, si el escenario fuese por un sismo de Mw 9.0; la población expuesta sería de 162,091 y 46,403 viviendas (Tabla 17).

⁴ RUN UP: Es la altura vertical máxima en tierra sobre el nivel del mar alcanzado por un tsunami.

⁵ Cartas publicadas por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú – DHN, para Lima Metropolitana y el Callao: Ancón, San Rosa, Ventanilla, La Punta, Callao, La Perla, Magdalena del Mar, Miraflores, Chorrillos, Punta Hermosa, San Bartolo y Pucusana.

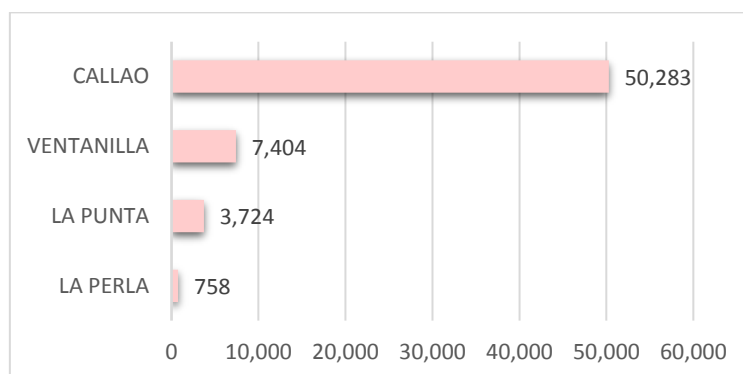
Tabla 17. Población y viviendas: Exposición al peligro de tsunami para Callao

| PROVINCIA | DISTRITO | POBLACIÓN | | VIVIENDAS | |
|----------------------|------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | | 8.5 | 9.0 | 8.5 | 9.0 |
| CALLAO | BELLAVISTA | 0 | 8,071 | 0 | 2,450 |
| | CALLAO | 50,283 | 118,303 | 15,120 | 33,901 |
| | LAPERLA | 758 | 6,709 | 227 | 2,199 |
| | LAPUNTA | 3,724 | 3,724 | 1,410 | 1,410 |
| | VENTANILLA | 7,404 | 25,284 | 1,953 | 6,443 |
| TOTAL GENERAL | | 62,169 | 162,091 | 18,710 | 46,403 |

Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

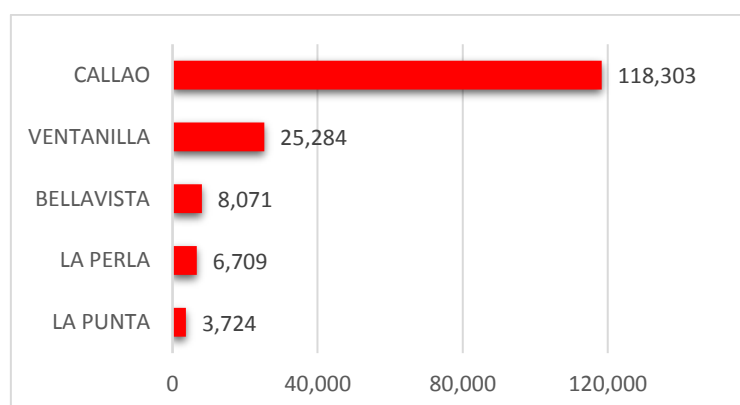
De igual manera, el análisis espacial aplicado, identificó a los distritos de Callao y Ventanilla como los más expuestos ante los dos eventos probables de tsunami (Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21).

Figura 18. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para el Callao



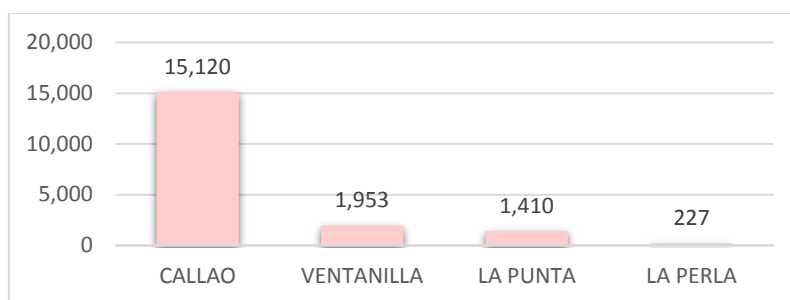
Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 19. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para el Callao



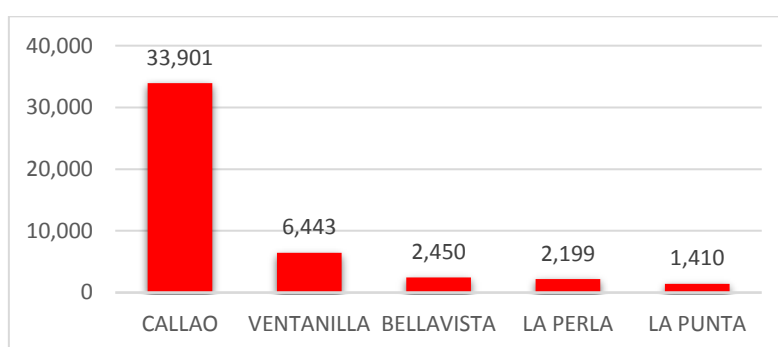
Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 20. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para el Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 21. Viviendas: Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para el Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

5.3.2 Lima Metropolitana

En el caso de Lima Metropolitana, si el tsunami fuese generado por un sismo de Mw 8.5, la población total expuesta sería de 6,259 y 2,328 viviendas; en cambio, si el escenario fuese por un sismo de Mw 9.0; la población expuesta sería de 94,201 y 28,218 viviendas (Figura 18).

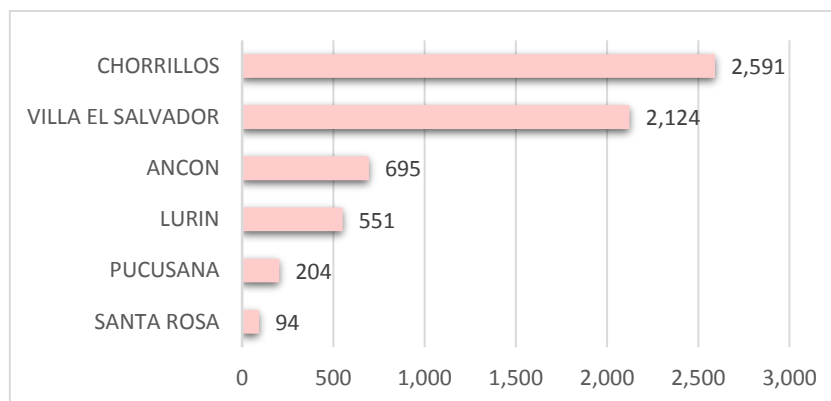
Tabla 18. Población y viviendas: Exposición al peligro de tsunami para Lima

| PROVINCIA | DISTRITO | POBLACIÓN | | VIVIENDAS | |
|----------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | 8.5 | 9.0 | 8.5 | 9.0 |
| LIMA | ANCON | 695 | 5,235 | 554 | 2,021 |
| | BARRANCO | 0 | 164 | 0 | 60 |
| | CHORRILLOS | 2,591 | 51,414 | 845 | 13,912 |
| | LURIN | 551 | 30,314 | 164 | 9,197 |
| | PUCUSANA | 204 | 1,347 | 113 | 546 |
| | PUNTA HERMOSA | 0 | 913 | 0 | 810 |
| | PUNTA NEGRA | 0 | 24 | 0 | 12 |
| | SAN BARTOLO | 0 | 170 | 0 | 340 |
| | SANTA ROSA | 94 | 94 | 26 | 26 |
| | VILLA EL SALVADOR | 2,124 | 4,526 | 626 | 1,294 |
| TOTAL GENERAL | | 6,259 | 94,201 | 2,328 | 28,218 |

Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

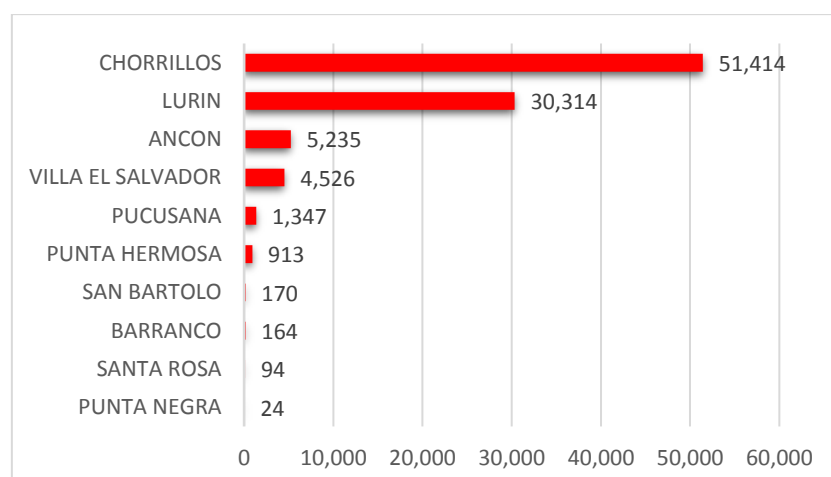
Asimismo, ante un evento de Mw 8.5 para Lima, el distrito con mayor población expuesta por inundación de tsunami sería Chorrillos y seguido por Villa El Salvador. En cambio, si el evento fuera de Mw 9.5, el distritos con mayor exposición serían: Chorrillos y Lurín, tanto para población como viviendas (Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25).

Figura 22. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para Lima



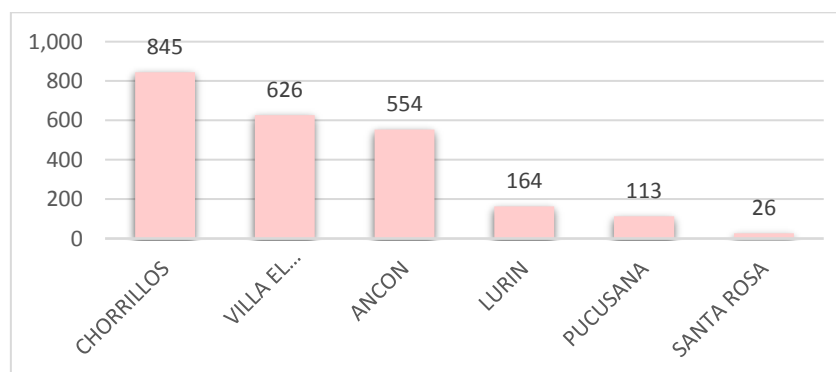
Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 23. Población: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para Lima



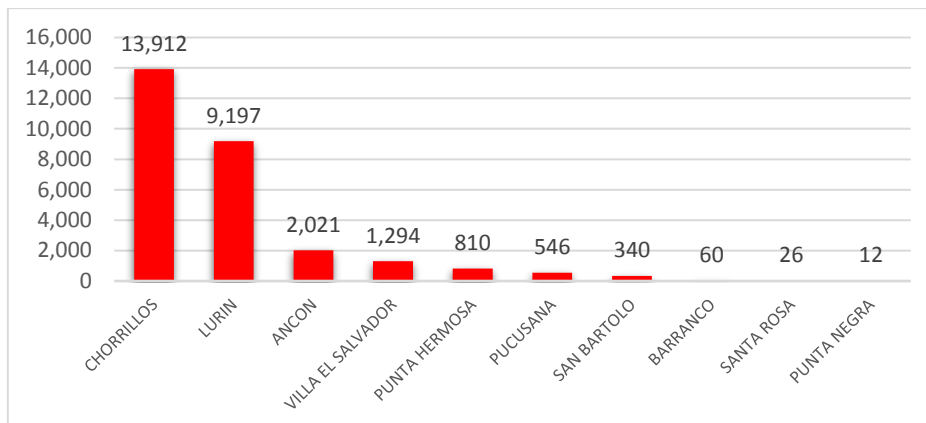
Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 24. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 8.5) para Lima



Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 25. Viviendas: Exposición al peligro de tsunami (Mw 9.0) para Lima



Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

Figura 26. Inundación por tsunami para Lima y Callao



Fuente: Elaboración propia, con datos de la DHN e INEI.

6 CONCLUSIONES

Los distritos con estudios de riesgo son 40 para las provincias de Lima (35) y Callao (5); los cuales tienen cobertura sobre 7,493,467 habitantes, representando el 81% de la población censada. Sin embargo, para finalizar la cobertura total del ámbito de trabajo, aún queda pendiente los estudios de 10 distritos (2 en Callao y 8 para Lima).

Los resultados totales de la población con estudios de riesgo, muestran que el 16% (1,193,251) se localiza sobre manzanas con Nivel V y el 22% (1,678,798) en manzanas con Nivel IV. Es decir, casi la tercera parte de la población se localiza sobre las manzanas con mayor probabilidad de afectación estructural. Mientras que, el 62 % restante, se distribuyen entre las manzanas con niveles de riesgo III, II y I (de posibles afectaciones de moderadas a leves).

Asimismo, con respecto a los resultados totales de viviendas con estudios de riesgo, el 15% (318,378) se localizan sobre manzanas con Nivel V, mientras que un 22% (472,179) sobre manzanas con Nivel IV. Mientras que, el 63 % restante, se distribuyen entre las manzanas con niveles de riesgo III, II y I (de posibles afectaciones de moderadas a leves).

De los 10 distritos con ausencia de estudios de riesgo sísmico, sólo en 8 se pudo realizar el análisis de exposición sobre el mapa de microzonificación sísmica, quedando 2 sin cobertura de algún estudio por sismos (Cieneguilla y Pachacamac). Asimismo, con respecto a los resultados del análisis de exposición, tanto para población y viviendas, sólo los distritos de La Punta y Callao cuentan con elementos expuestos sobre la Zona IV; y sobre la Zona III, sólo los distritos de Callao, Miraflores y San Isidro.

Se consideraron dos escenarios para el análisis de exposición a inundación por tsunami, 8.5 Mw y 9.0 Mw, por el proceso de subducción en la costa central del país. El primero tendría un ámbito de afectación en 10 distritos (4 en Callao y 6 de Lima); en cambio, la influencia del segundo se extendería hasta en 15 distritos (5 en Callao y 10 en Lima), según las cartas de inundación elaboradas por la DHN.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda a los gobiernos locales provinciales de Lima y Callao, la difusión de los resultados del presente escenario de riesgo por sismo y tsunami entre los gobiernos locales de sus jurisdicciones, con la finalidad de fomentar el conocimiento del riesgo antes estos dos tipos de peligro. 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 estudio.

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) a nivel provincial y local; tomando en consideración los estudios generados por las entidades técnicas competentes, ante los peligros de sismo y tsunami, eventos que no son recurrentes; sin embargo, de llegar a materializarse, generarían un gran impacto desfavorable en lo social, lo económico y lo ambiental entre los sistemas territoriales que no hayan estado preparados para afrontarlos.

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 focalizar intervenciones con enfoque territorial entre las áreas posiblemente afectadas y/o altamente expuesta ante los peligros de sismo y tsunami. 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 vulnerables que los gobiernos locales identifiquen.

A los gobiernos locales que no cuenten con estudios de exposición y riesgo por sismo y/o tsunami, se recomienda la elaboración de convenios institucionales y/o de cooperación con las entidades técnicas competentes, con la finalidad de contar con estudios que soporten las decisiones en ese nivel de gobierno.

Se recomienda la difusión del conocimiento del riesgo por sismo y tsunami entre la población local, con el objetivo de fomentar una cultura de prevención sostenible en la ciudadanía, en pro de una sociedad más resiliente y en convivencia con los riesgos de origen natural. Estas estrategias de intervención deben ser progresivas, de acuerdo a la realidad y recursos económicos de cada gobierno local (provincial y distrital).

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), 274–284. <https://doi.org/10.20965/jdr.2013.p0274>
- 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.
- CENEPRED. (2017). *Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao*. Lima. Retrieved from <https://dimse.cenepred.gob.pe/er/sismos/ESCENARIO-SISMO-TSUNAMI-LIMA-CALLAO.pdf>
- CISMID. (2016). *ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO, UBICADA EN LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA PERLA (PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO)*. Lima.
- CISMID. (2017). *PRODUCTO 04: ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO, UBICADA EN EL DISTRITO DE BELLAVISTA*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2010). *Evaluación de la amenaza frente a tsunami para Lima y Callao*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2011). *INFORME N 9: Estudio de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad en la Ciudad de Lima*. Lima.
- CISMID, & UNI. (2013). *Resultados del Proyecto Japón - Perú - SATREPS*. Lima.
- COOPI, PNUD, IRD, Defensa Civil, & Unión Europea. (2010). *Proyecto SIRAD: Investigación sobre el peligro de tsunami en el área Metropolitana de Lima y Callao*. Lima.
- Cuisano, V., & Martinez, C. (2016). PHYSICAL AND SOCIAL VULNERABILITY BY THE GIANT TSUNAMI OF 1746 IN THE SOUTHERN SECTOR OF CALLAO, PERU. In *World Engineering Conference on Disaster risk Reduction* (pp. 1–12). Lima.
- 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.
- IGP. (2014). *Escenario de sismo y tsunami en el borde occidental de la región central del Perú*. Lima.
- INEI. (2017). *XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas 2017*. Lima.
- INGEMMET. (2015). *Peligos geológicos en el área de Lima Matropolitana y la Región Callao*. Lima.
- Jimenez, C. (2015). *EL MAREMOTO NOTABLE DE 1746*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Jimenez, C., Moggiano, N., Mas, E., Adriano, B., Koshimura, S., Fujii, Y., & Yanagisawa, H. (2013). Seismic source of 1746 Callao earthquake from tsunami numerical modeling. *Journal of DisasterResearch*, 8, 266–273.
- 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 Harzard, 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.
- Seiner-Lizárraga, 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.
- Walker, C. (2012). *Colonialismo en ruinas: Lima frente al terremoto y tsunami de 1746* (Traducción). Lima: IFEA & IEP.

8 ANEXO

Anexo 1. Distritos de Lima y Callao con estudios de riesgo sísmico al 2018.

| PROVINCIA | DISTRITO | CON ESTUDIOS | SIN ESTUDIOS* |
|-------------------------|----------------------------|--------------|---------------|
| CALLAO | BELLAVISTA | X | |
| | CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO | X | |
| | LA PERLA | X | |
| | MI PERU | X | |
| | VENTANILLA | X | |
| | CALLAO | | X |
| | LA PUNTA | | X |
| LIMA | ANCON | X | |
| | ATE | X | |
| | BARRANCO | X | |
| | BREÑA | X | |
| | CARABAYLLO | X | |
| | CHORRILLOS | X | |
| | COMAS | X | |
| | EL AGUSTINO | X | |
| | INDEPENDENCIA | X | |
| | JESUS MARIA | X | |
| | LA MOLINA | X | |
| | LA VICTORIA | X | |
| | LIMA | X | |
| | LINCE | X | |
| | LOS OLIVOS | X | |
| | LURIN | X | |
| | MAGDALENA DEL MAR | X | |
| | PUCUSANA | X | |
| | PUEBLO LIBRE | X | |
| | PUENTE PIEDRA | X | |
| | PUNTA HERMOSA | X | |
| | PUNTA NEGRA | X | |
| | RIMAC | X | |
| | SAN BARTOLO | X | |
| | SAN JUAN DE LURIGANCHO | X | |
| | SAN JUAN DE MIRAFLORES | X | |
| | SAN LUIS | X | |
| | SAN MARTIN DE PORRES | X | |
| | SAN MIGUEL | X | |
| | SANTA ANITA | X | |
| | SANTA MARIA DEL MAR | X | |
| | SANTA ROSA | X | |
| | SANTIAGO DE SURCO | X | |
| | SURQUILLO | X | |
| VILLA EL SALVADOR | X | | |
| CHACLACAYO | | X | |
| CIENEGUILLA | | X | |
| LURIGANCHO | | X | |
| MIRAFLORES | | X | |
| PACHACAMAC | | X | |
| SAN BORJA | | X | |
| SAN ISIDRO | | X | |
| VILLA MARIA DEL TRIUNFO | | X | |

* Los distritos que no cuentan con estudios, probablemente están en proceso de elaboración, ya que estos estudios son desarrollados progresivamente por el CISMID.