

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SEGURA PARA LOS PRIMEROS MOMENTOS
DE UNA EMERGENCIA POR SISMO EN LA METRÓPOLI DE LIMA Y CALLAO**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Fresia Mirelly Tejada Romero

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jeans Franklin Suarez Quintana

ASESORA:

Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Lima, Agosto, 2024

Informe de similitud

Yo, Sandra Santa Cecilia Santa Cruz Hidalgo, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Del Perú, asesora de la tesis titulada “Elaboración de una guía para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura para los primeros momentos de una emergencia por sismo en la metrópoli de Lima y Callao”, de los autores Jeans Franklin Suarez Quintana y Fresia Mirelly Tejada Romero, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 05/08/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 15 de agosto del 2024.

Apellidos y nombres de la asesora: <u>Santa Cruz Hidalgo, Sandra Cecilia</u>	
DNI: 09642115	Firma 
ORCID: 0000-0001-5227-3869	

El presente trabajo de tesis "Elaboración de una guía para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura en los primeros momentos de una emergencia por sismo en la metrópoli de Lima y Callao" forma parte del proyecto de investigación "Proyecto PI0841", financiado por el Vicerrectorado de Investigación con el fondo para el Desarrollo de Proyectos Multi e Interdisciplinarios con Impacto Social - [2 022] a cargo de los grupos de investigación GERDIS e IPDESUR, bajo la dirección de la Dra. Sandra Santa Cruz, docente del Departamento de Ingeniería. Los autores de esta tesis participaron en dicho proyecto como asistentes de investigación.



Resumen

Según Cenepred, el escenario sísmico crítico esperado para la metrópoli de Lima y Callao es la ocurrencia de un sismo de 8,8Mw, el cual ocasionaría una situación de emergencia que incluiría la interrupción parcial o total del sistema de agua potable que ofrece Sedapal. A partir de un análisis de los protocolos y planes de contingencia existentes, se considera que el servicio sería restablecido a partir de los 3 días, lo cual puede ser una estimación optimista con base en las experiencias previas en Perú y otros países de América Latina y Asia. Ante ello, se requiere la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura que funcione desde el inicio de la emergencia hasta la puesta en marcha de las primeras respuestas de los protocolos de abastecimiento, además se requiere que este sistema esté localizado estratégicamente en lugares accesibles y de mayor demanda, como los espacios públicos. En ese sentido, el objetivo de esta tesis es elaborar una guía para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura que funcione con las características descritas.

En cuanto a la metodología aplicada, se trabajó en 4 fases. Primero se identificaron las zonas abastecidas y no abastecidas; en segundo lugar, se determinó la solución de abastecimiento; posteriormente, se definieron los tipos de tanques a implementar con base en los criterios de factibilidad y finalmente se realizó la guía y su aplicación para una manzana de estudio.

Como resultado, es posible garantizar el abastecimiento de la totalidad la metrópoli a través de las alternativas de abastecimiento propuestas para las zonas donde Sedapal no podrá abastecer. Sin embargo, es importante mencionar que todo trámite de una nueva instalación requiere de trámites y coordinaciones con Sedapal y la población en conjunto para evitar conflictos; además, resulta primordial que las autoridades sean conscientes de la problemática de desabastecimiento post-sismo y se organicen para ofrecer soluciones beneficiosas y efectivas, preferiblemente tomando en cuenta los datos de esta guía y otros estudios complementarios.

A mis padres, quienes me enseñaron a crecer sin olvidarme de mis raíces.

A mis amigos, por su alegría y momentos compartidos que me inspiran.

A mis profesores, que con su sabiduría y pasión supieron guiarme de buena manera.

A todos quienes influenciaron de manera positiva en mis decisiones.

Jeans Suarez



A mi familia y todas las personas que me motivan a seguir creciendo.

Fresia Tejada

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	3
1.3	Objetivo General	3
1.3.1	Objetivos específicos	3
1.4	Hipótesis	3
2	Estado del Arte	4
2.1	Alternativas para Obtener Agua Segura de Fuentes Alternas	4
2.1.1	Desalinizadores	4
2.1.2	Agua subterránea	6
2.1.3	Atrapanieblas con tanque de almacenamiento	8
2.1.4	Hidropanel con tanque de almacenamiento	9
2.2	Alternativas para almacenar agua segura	9
2.2.1	Tanques de polietileno de alta densidad	9
2.2.2	Tanques de Poliéster reforzado con fibra de vidrio	12
2.2.3	Tanques de concreto armado	13
2.2.4	Tanques de acero galvanizado	14
2.2.5	Tanques flexibles	14
2.3	Alternativas para mantenimiento del agua segura almacenada	15
2.3.1	Mantenimiento del tanque de almacenamiento	16
2.3.2	Mantenimiento del agua segura	16
2.4	Alternativas para distribución de agua segura	18
2.5	Normativas de dotación estándar de agua potable	19
2.5.1	ISO 22320	19
2.5.2	ISO 24518	19
2.5.3	Proyecto Esfera	20
2.5.4	ACNUR	20
2.5.5	Guía EPA	21
2.5.6	Marco Legal de Alemania	21
2.5.7	Marco Legal de Austria	21
2.5.8	Defensoría del Pueblo de Ecuador	22
2.6	Normativa de diseño sismorresistente de tanques	22
3	Descripción de la zona de estudio	26
3.1	Población	26
3.2	Programas sociales	27
3.3	Albergues y zonas de refugio	28
3.4	Infraestructura sanitaria	30
3.5	Regulaciones y normativas de distribución del agua segura durante emergencias	30

3.6	Escenarios de riesgo por sismo-----	33
3.6.1	Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao -----	34
3.6.2	Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8,8 Mw. -----	41
4	Diagnóstico sobre la situación de la metrópoli de Lima y Callao ante un posible escenario sísmico -----	47
4.1	Taller participativo-----	47
4.2	Encuestas -----	52
4.3	Visita a las instalaciones de Sedapal en el marco del Proyecto PI0841. -----	56
4.3.1	Pozo Santa Marta (P-827)-----	56
4.3.2	Centro de rebombeo Las Américas (CR-391) -----	58
4.3.3	Reservorio apoyado Santa María -----	59
4.3.4	Tanque elevado (CR-059) -----	60
5	Desarrollo de la Guía-----	62
5.1	Primera fase: Determinar las zonas abastecidas y no abastecidas por Sedapal y Provisur	63
5.2	Segunda fase: Sectorizar según su solución de abastecimiento -----	71
5.3	Tercera fase: Definir tipos de tanques a implementar en base a los criterios de factibilidad de tipo de suelo y ambiente marino agresivo. -----	80
5.4	Cuarta fase: Realizar la guía y mostrar su aplicación para una manzana de estudio	90
6	Conclusiones -----	91
7	Recomendaciones -----	93
8	Bibliografía-----	94
	Anexo 1. Detalle de la aplicación del criterio de selección por microzonificación-----	100
	Anexo 2. Detalle de la sectorización de todos los distritos de Lima Metropolitana y Callao -----	115
	Anexo 3. Aplicación del criterio de factibilidad por descripción sísmica geotécnica--	119
	Anexo 4. Contenido de la guía -----	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los tanques apoyados Rotoplas en el mercado local.	10
Tabla 2. Dimensiones de los tanques Eternit en el mercado local.	11
Tabla 3. Recomendaciones de mantenimiento para tanques de almacenamiento de agua potable.....	16
Tabla 4. Principales agentes desinfectantes que se utilizan para el mantenimiento del agua.	17
Tabla 5. Comparación entre los parámetros de las guías más relevantes aplicables para una persona durante un día.	22
Tabla 6. Resumen de normas existentes para el diseño de tanques.....	23
Tabla 7. Alternativas para la gestión de agua segura en caso de emergencia.	25

Tabla 8. Resumen de la respuesta del GTGRD.....	31
Tabla 9. Resumen de la metodología empleada para obtener el Mapa de Escenario de Riesgo por Sismo.....	38
Tabla 10. Leyenda del Mapa de Escenario sísmico para la metrópoli de Lima y Callao. ..	40
Tabla 11. Matriz de doble entrada para el cálculo del riesgo sísmico.....	44
Tabla 12. Impacto en la población y viviendas, según el nivel de riesgo por sismo y tsunami, tomando en cuenta el escenario de un sismo de magnitud 8.8Mw.....	46
Tabla 13. Resumen de la ficha técnica de la encuesta aplicada por Lima Cómo Vamos ...	52
Tabla 14. Espacios públicos y su caracterización según disponibilidad de uso.....	72
Tabla 15. Criterios de selección y estados de conformidad del criterio.....	77
Tabla 16. Clasificación de las manzanas de la metrópoli de Lima y Callao según estado de abastecimiento.....	80
Tabla 17. Criterios de factibilidad por tipo de tanque.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de una planta de ósmosis inversa. Obtenido de Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México (González Enríquez, Dévora Isiordia, & Ruiz Cruz, 2023).	5
Figura 2. Esquema general de una planta de destilación por MSF. Recuperado de “Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México” (Dévora-Isiordia,2013)..	6
Figura 3. Esquema general de un pozo vertical que usa una bomba hidráulica para extraer el agua. Recuperado de Small Community Water Supplies Technology, People and Partnership (IRC International Water and Sanitation Centre, 2002).	7
Figura 4. Pozo horizontal que conduce agua al exterior a través de un canal cerrado. Recuperado de “Galerías Filtrantes: Pequeños sistemas” (CEPIS, 2003).	7
Figura 5. Conjunto de atrapanieblas en laderas del distrito Villa María del Triunfo, Perú. Recuperado de “Proyecto Atrapa Nieblas” [Video] (Rotoplas, 2022)	8
Figura 6. Vista frontal del Hidropanel Source. Obtenido de Source (Source, 2023).	9
Figura 7. Tanque de polietileno de alta densidad de 25000 L de la línea de Rotoplas. (Rotoplas, 2022).	10
Figura 8. Tanque de polietileno de alta densidad de 25000 L la línea de Eternit. Obtenido de Etex (Etex, 2020).	11
Figura 9. Tanque vertical de PRFV Nota. Obtenido de Fibrotecnia (Fibrotecnia, 2022). ..	12
Figura 10. Tipos de reservorios apoyado y elevado. Obtenido de Agua potable para poblaciones rurales (Agüero, 1997).	13
Figura 11. Tanque apoyado de acero galvanizado del proveedor <i>Pionner Water Tanks</i> . Commercial Specification Catalogue, 2015.	14
Figura 12. Tanque flexible para el almacenamiento de agua potable. Obtenido de PRONAL (PRONAL, 2024).	15
Figura 13. Aplicación de sistema “vaquita” para la óptima distribución de agua. Recuperado de la Guía práctica de agua, saneamiento y promoción de la higiene en emergencias (PREDES, 2017).	18
Figura 14. Cisterna brinda servicio de entrega de agua potable a familias vulnerables en Huaral. Recuperado de la plataforma digital única del Estado Peruano (GOP.PE, 2024).	19

Figura 15. Evolución de la población de Lima desde 1940 a 2017. Adaptado del cuadro N° 2.3 Perú: evolución de la población, según departamento: 1940-2021 (INEI, 2022).....	26
Figura 16. Ubicación de áreas potenciales para albergues de emergencia en el área Metropolitana de Lima. Obtenido del Proyecto SIRAD.....	29
Figura 17. Bladers o tanques flexibles.Obtenido de OXFAM, 2021.	32
Figura 18. Abastecimiento de agua mediante cisternas de Sedapal. Obtenido de MINSA, 2021.....	32
Figura 19. Reservorio apoyado en Carabayllo.Obtenido en la visita número 1 a las instalaciones de Sedapal por el Proyecto PI0841.	33
Figura 20. Mapa de susceptibilidad por sismo para la metrópoli de Lima y Callao. Obtenido de Cenepred, 2020.	35
Figura 21. Mapa de Identificación del Elemento Expuesto. Obtenido de Cenepred, 2 020.	37
Figura 22. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima y Callao. Obtenido de Cenepred, 2 020.....	39
Figura 23. Mapa de peligro sísmico para Lima Metropolitana y Callao.Obtenido de INDECI, 2017.....	42
Figura 24. Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao. Obtenido INDECI, 2 017.....	43
Figura 25. Mapa de riesgo por sismo para Lima Metropolitana y Callao. Obtenido de INDECI, 2017.....	45
Figura 26. Asistentes al taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841... 48	48
Figura 27. Programa del taller. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.....	48
Figura 28. Mesa de trabajo discutiendo acerca de las interrogantes planteadas en el taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.	49
Figura 29. Exposición de las conclusiones por parte de un integrante por mesa. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.	50
Figura 30. Final del taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.....	51
Figura 31. Resultados de la primera pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.....	53
Figura 32. Resultados de la segunda pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.....	54
Figura 33. Resultados de la tercera pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.....	54
Figura 34. Resultados de la encuesta realizada a personas no especialistas sobre los problemas de Lima. Tomado de la encuesta Lima Cómo Vamos.	55
Figura 35. Resultados de la encuesta realizada a personas no especialistas sobre una vivienda ideal. Tomado de la encuesta Lima Cómo Vamos.	56
Figura 36. Tubería de conducción y bomba de cloro. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	57
Figura 37. Tablero eléctrico de la estructura P-827. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	57
Figura 38. Esquema de distribución del centro de rebombeo Las Américas CR-391. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.	58
Figura 39. Reservorio apoyado Santa María. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	59

Figura 40. Reservorio apoyado Santa María, ubicado en el monte de Dios, Carabayllo. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	60
Figura 41. Tanque tubular elevado CR-059. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	60
Figura 42. Esquema de abastecimiento de la urbanización Palomino. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.....	61
Figura 43. Diagrama de flujo general. Elaboración propia.	62
Figura 44. Diagrama de flujo para la primera fase. Elaboración propia.	63
Figura 45. Mapa de distribución de los puntos de abastecimiento de agua potable operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal 2 023. .	64
Figura 46. Buffer circular de radio 1 000 m para un punto de abastecimiento. Elaboración propia con datos de INEI 2017 y Sedapal 2023.....	66
Figura 47. Mapa de buffer circular de los puntos de abastecimiento operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal 2 023.....	67
Figura 48. Área de cobertura y área no accesible generada por el buffer del punto de abastecimiento P-427. Elaboración propia con datos de INEI 2023 y Sedapal 2023.....	68
Figura 49. Área de cobertura final del punto de abastecimiento P-427. Elaboración propia con datos de INEI 2023 y Sedapal 2023.....	68
Figura 50. Mapa de áreas de cobertura de los puntos de abastecimiento de agua potable operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal.....	69
Figura 51. Mapa de manzanas abastecidas y no abastecidas por los puntos de abastecimiento de agua potable de Sedapal y Provisur operativos en caso de emergencia por sismo de 8.5 Mw Elaboración propia con datos de Sedapal.	70
Figura 52. Diagrama de flujo para la segunda fase. Elaboración propia.....	71
Figura 53. Mapa de clasificación de los espacios públicos según su disponibilidad de uso en la metrópoli de Lima y Callao. Adaptado del Proyecto SAAPE.	73
Figura 54. Mapa de áreas inundables de la metrópoli ante un tsunami de 8,5 Mw y 9Mw. Elaboración propia con datos de SIGRID.....	74
Figura 55. Microzonificación de la metrópoli de Lima y Callao. Obtenido de IGP, CISMID, MVCS, 2017.	75
Figura 56. Mapa de manzanas con daño severo y alta probabilidad de colapso ante un escenario de sismo de 8,8Mw. Elaboración propia con datos de (CISMID & UNI, 2013).....	76
Figura 57. Mapa de espacios públicos aptos y su área de cobertura en la metrópoli de Lima y Callao. Elaboración propia.....	78
Figura 58. Mapa de sectorización de manzanas según su situación de abastecimiento de agua ante un escenario de sismo de 8,8 Mw. Elaboración propia.	79
Figura 59. Diagrama de flujo de la tercera fase. Elaboración propia.	81
Figura 60. Mapa de clasificación sísmica-geotécnica de los EPA. Elaboración propia con datos de SIGRID.	82
Figura 61. Efecto de la distancia en el depósito de cloruros de niebla salina. Obtenido de Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña (Perdrix, Padaratz, Concepción Alonso, & Meira, 2003).....	83
Figura 62. Área de cobertura del ambiente marino agresivo en la metrópoli de Lima y Callao. Elaboración propia.	84

Figura 63. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de polietileno de alta densidad. Elaboración propia.....	86
Figura 64. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de acero galvanizado. Elaboración propia.....	87
Figura 65. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de fibra de vidrio. Elaboración propia.....	88
Figura 66. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de concreto armado. Elaboración propia.....	89
Figura 67. Diagrama de flujo de la cuarta fase. Elaboración propia.	90



Apéndice de definiciones

Para el correcto entendimiento de esta tesis es necesario definir una lista de términos, los cuales se presentan a continuación.

- **Agua segura:** Agua apta para tomar durante periodos cortos. Este líquido no contiene gérmenes y sustancias tóxicas que puedan generar enfermedades agudas.
- **Microzonificación sísmica-geotécnica:** Compilado de estudios de peligro sísmicos y geotécnicos realizada por el IGP, CISMID y MVCS para la metrópoli de Lima y Callao.
- **Área de cobertura del ambiente marino agresivo:** Consta en la distancia de 1500 m que se le asignó al ambiente marino agresivo partiendo de la costa. Después de superada esa distancia, se considera que los efectos negativos se consideran insignificantes.
- **Punto de abastecimiento:** Son estructuras hidráulicas que van a dotar de agua segura a la población después de una emergencia post sismo. Se dividen en puntos de abastecimiento existentes (tanques, pozos y centros de rebombeo de Sedapal y planta desalinizadora de Provisur) y puntos de abastecimiento proyectados (propuesta de esta tesis).
- **Área de cobertura de los puntos de abastecimiento:** Es el área circular generada por un radio de 1000 m desde el centro de la estructura de abastecimiento existente o proyectada.
- **Espacio público apto.** Aquellos espacios públicos que presenten conformidad con los criterios de selección mencionados en el capítulo de metodología.
- **Primeros momentos de la emergencia:** Se define como 3 días y es el tiempo en que se estima que los protocolos de emergencia de Sedapal y otras instituciones puedan ejecutarse ante un escenario de riesgo por sismo en la metrópoli de Lima y Callao.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Inevitablemente, el mundo está expuesto a la ocurrencia de diferentes desastres causados por peligros naturales como los sismos. En el caso de Lima en cuyas costas sucede el proceso de subducción de la placa Nazca y la placa Sudamericana, presenta una laguna sísmica que se estima vendría acumulándose desde 1 746, año donde probablemente ocurrió el evento sísmico de mayor magnitud (8,8 Mw) en el Perú, pues los sismos ocurridos en los años 1 940 (7,8 Mw), 1 942 (8,0 Mw), 1 966 (7,8 Mw), 1 970 (7,7 Mw), 1 974 (7,7 Mw), y 2 007 (7,8 Mw), presentaron magnitudes iguales o menores a 8,0 Mw; por lo tanto, no habrían liberado el total de la energía aún acumulada en la metrópoli (Tavera, 2020). Esta laguna sísmica acumula una cantidad de energía que, según el Instituto Geofísico del Perú (IGP), podría liberarse en un sismo de magnitud 8,8 Mw (IGP, 2020). Este evento sísmico consecuentemente generaría un tsunami y otros peligros geológicos que afectarían a 2 730 769 viviendas y 9 298 445 personas, según el escenario de riesgo presentado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (Cenepred, 2020).

En algunos casos, los desastres afectan servicios esenciales para el bienestar de la población, tal como es el abastecimiento de agua potable. El abastecimiento de agua durante las emergencias post sismo es un tema preocupante en el caso de Lima Metropolitana y Callao, pues, si bien la empresa prestadora del servicio de agua potable, Sedapal, prevé contar con 127 pozos y reservorios operativos después de un sismo de 8,5 Mw o más, estas estructuras, según su base de datos, no se encuentran distribuidas en toda la metrópoli y no cuentan con grupo electrógeno (Sedapal, 2024), por lo que la atención a la población damnificada no sería inmediata.

Además, el Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, en un análisis de exposición y riesgo a sismos para la infraestructura de Sedapal en la metrópoli de Lima y Callao con un periodo de retorno de 500 años, indicó que se tendrían el 24% de tuberías primarias y el 54% de tuberías secundarias afectadas por rotura, además de un 5% de daño en la estructura de los tanques (ERN-AL, 2012). Este escenario podría provocar la contaminación del agua potable, la interrupción parcial o total del servicio de abastecimiento durante 72 horas (ASH, 2014). Sin embargo, este periodo puede resultar muy prolongado pues el agua es aún más necesaria en

contextos de crisis para socorrer en los primeros auxilios, saneamiento, preparación de comidas y extinción de incendios.

Como experiencia en Perú, el terremoto ocurrido en agosto de 2007 en la ciudad de Pisco, una de las mayores catástrofes del país en las últimas décadas, ocasionó daños severos en la red troncal de agua potable de esta ciudad. Durante la emergencia, solo un 3% de la ciudad contó con el abastecimiento de agua a nivel domiciliario, pues el resto de la población se abasteció con camiones cisterna (OPS, 2007), en algunos sectores la previsión de agua por persona se limitaba a 4 litros por día aproximadamente (OPS, 2010), la cual es una cantidad claramente insuficiente, pues según los requisitos mínimos establecidos en la literatura especializada en el tema, la cantidad de agua mínima para la supervivencia en situaciones extremas es de 15 litros diarios por persona (El Proyecto Esfera, 2011). A los diez días del suceso, en Pisco se alcanzó el 15% del suministro domiciliario de agua potable mediante bombeo eléctrico y en las ciudades de Ica y Chincha, ciudades también afectadas por el sismo, se alcanzó el 60% y 15%, respectivamente, de suministro domiciliario (INDECI, 2009).

En otras partes del mundo, la emergencia por escasez de agua debido a sismos se ha gestionado de diferentes maneras. Por ejemplo, en el caso del sismo de magnitud 8,8 Mw de febrero de 2010 ocurrido en Chile, la población fue abastecida de agua mediante camiones aljibes, pozos, vertientes naturales (OPS, 2010), además de potabilizadores rusos y agua potable como parte de la ayuda humanitaria de otros países (BBC, 2010). Además, la población de Lipimávida (región Maule) tuvo que esperar hasta dos meses para la reposición de agua potable (Lopez Table & Santana Nazarit, 2011). Otro ejemplo innovador es usar grandes tanques enterrados que contienen agua potable, así como se aplicó en Japón después del sismo ocurrido en marzo de 2011 (Alberto & De la Llera, 2016).

En síntesis, como muestra la experiencia de sismos en diferentes partes del mundo y los estudios de riesgo para Lima Metropolitana y Callao, las interrupciones en el suministro de agua potable ante un sismo son prácticamente inevitables y la reposición de este servicio puede ser un proceso prolongado. Por ello, es necesario adoptar medidas que mitiguen el impacto de un eventual sismo grave y sus consecuencias como el desabastecimiento de agua segura, el cual debe ser inmediato y en lugares accesibles para cualquier persona, como los parques o áreas verdes.

1.2 Justificación

Ante el inminente escenario de riesgo sísmico, es necesario proponer un sistema de emergencia para dotar de agua segura de manera inmediata a la metrópoli de Lima y Callao que pueda ser implementado en espacios públicos y se complemente con los planes de atención de la emergencia existentes.

1.3 Objetivo General

Elaborar una guía para la implementación un sistema de abastecimiento de agua segura con una gestión local y vecinal que opere en los primeros momentos de la emergencia en la metrópoli de Lima y Callao.

1.3.1 Objetivos específicos

- Establecer los estándares mínimos de calidad y cantidad de dotación de agua segura en emergencias en base a las guías y normativas nacionales e internacionales existentes.
- Determinar la situación de daño y estado de abastecimiento de agua potable para un escenario sísmico extremo en la metrópoli de Lima y Callao a nivel de manzana.
- Definir el sistema de abastecimiento aplicable para las manzanas desabastecidas según sus condiciones de suelo y vulnerabilidad en la metrópoli de Lima y Callao.
- Calcular el volumen requerido de agua segura para cualquier conjunto de manzanas organizadas en la metrópoli de Lima y Callao.

1.4 Hipótesis

Es posible dotar de agua segura durante los primeros momentos de la emergencia por sismo mediante un sistema de abastecimiento diseñado según las condiciones de suelo y vulnerabilidad de la metrópoli de Lima y Callao.

2 Estado del Arte

Dotar de agua segura a un grupo de personas en situaciones de emergencia requiere un proceso integrado que consta de la obtención, almacenamiento, mantenimiento y distribución de agua segura. Dentro de este proceso, es crucial que el agua sea obtenida, almacenada y adecuadamente mantenida antes de la situación de emergencia para asegurar su disponibilidad inmediata cuando se necesite. En la metrópoli de Lima y Callao, Sedapal es la empresa prestadora de servicios de agua potable y principal fuente de obtención de agua domiciliaria, pero existen fuentes alternas de obtención de agua que se describen en el capítulo 2.1.

Adicionalmente, es necesario revisar las normativas de dotación de agua y diseño sísmico del contenedor de agua, pues un contenedor proyectado necesitará ajustarse al escenario de emergencia. A continuación, se detallan las alternativas para la obtención, almacenamiento, mantenimiento y distribución de agua segura; además de las normativas de dotación de agua y diseño de tanques de almacenamiento.

2.1 Alternativas para Obtener Agua Segura de Fuentes Alternas

2.1.1 Desalinizadores

En el mundo, aproximadamente el 97,5% del agua es salada, mientras que el 2,5% del resto es agua dulce y solo el 0,5% del agua total es dulce y accesible (ANA, 2023). A pesar de la gran cantidad de agua salada, esta no es apta para el consumo humano, pues un vaso de esta agua (250 ml) contiene aproximadamente 9 g de sal (La Vanguardia, 2021), cantidad que supera los 5 g al día recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023). Sin embargo, se puede aprovechar el agua salada a través de la desalinización, un proceso que permite obtener agua bebible a partir de agua salada. Existen diversos métodos de desalinización, que a gran escala se distribuyen en 64% desalinización por ósmosis inversa, RO por sus siglas en inglés; 23% desalinización por destilación instantánea de múltiples etapas, MSF; 8% desalinización por destilación por múltiples efectos, MED; 4% desalinización por electrodiálisis, ED y 1% otros (Parsa, 2023). A continuación, se explican las dos tecnologías más usadas: desalinización por ósmosis inversa y desalinización por destilación instantánea de múltiples etapas.

Desalinización por ósmosis inversa

Esta técnica separa el soluto del solvente a través de membranas semipermeables y la aplicación de altas presiones para vencer la presión osmótica (González Enríquez, Dévora Isiordia, & Ruiz Cruz, 2023). En la Figura 1, se ilustra el esquema general de una planta de ósmosis inversa, se observa que el agua del mar debe pasar por un pretratamiento para separarla de los desechos de tamaño mayor, luego se aplica presión a los bastidores de ósmosis inversa con el objetivo de vencer la presión osmótica y que el agua sea filtrada a través de las membranas, después se aplica el postratamiento que tiene por objetivo la cloración y potabilización del agua.

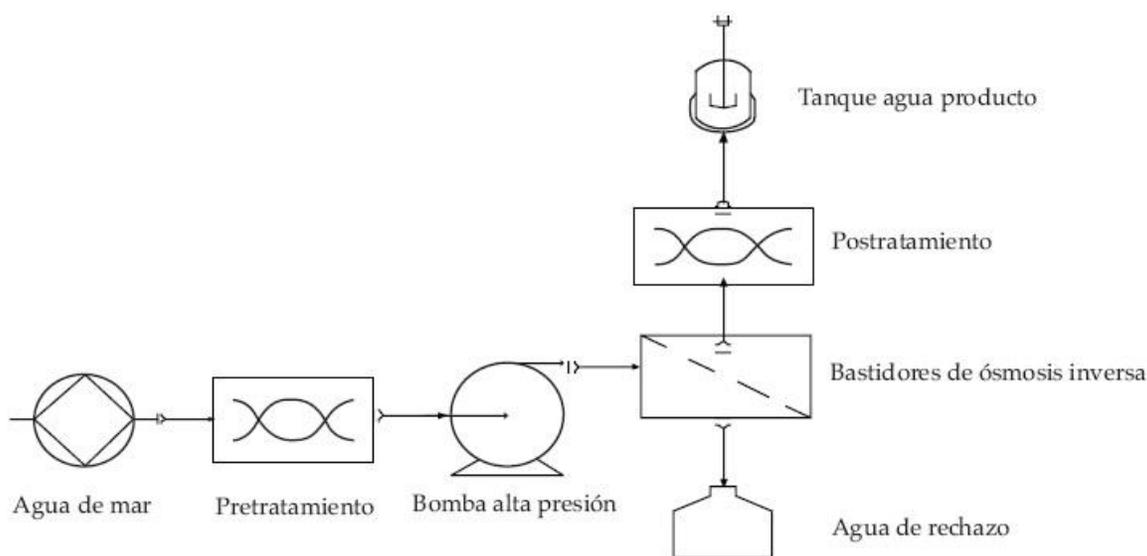


Figura 1. Esquema general de una planta de ósmosis inversa. Obtenido de Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México (González Enríquez, Dévora Isiordia, & Ruiz Cruz, 2023).

Desalinización por Destilación MSF

Este es un método que cambia el estado del agua de líquido a vapor, de manera que los sólidos disueltos, como las sales, quedan y el agua se evapora. Este proceso sucede en cámaras conectadas en paralelo donde se realizan procesos de evaporación y condensación (González Enríquez, Dévora Isiordia, & Ruiz Cruz, 2023). En la Figura 2, se ilustra el método de desalinización MSF, el cual consiste en precalentar agua en los tubos para luego pasar a un tanque a baja presión que convierte el agua en vapor, el cual pasa a través de cámaras sucesivas para ser enfriada y condensada hasta llegar a tener salmuera como desecho. También, la Figura 2 señala la

extracción de aire, el cual es un proceso importante debido a que el aire disuelto en el agua del mar crea burbujas y gases corrosivos para los equipos.

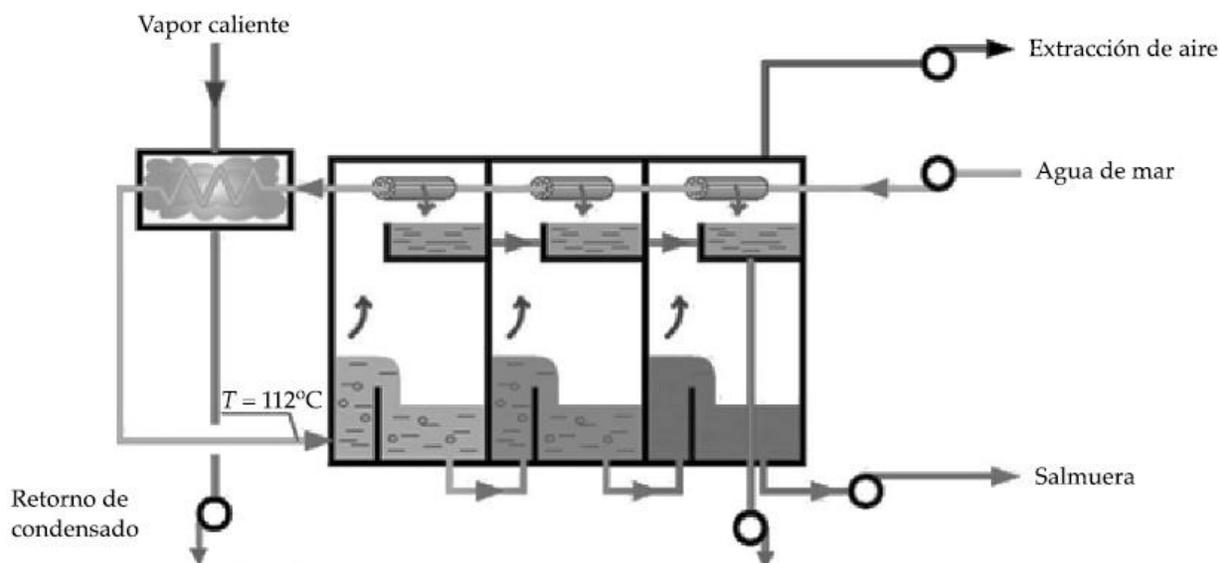


Figura 2. Esquema general de una planta de destilación por MSF. Recuperado de “Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México” (Dévora-Isiordia,2013).

A pesar de que la desalinización es beneficiosa, es necesario mencionar que es un proceso costoso y muy contaminante a largo plazo, porque requiere mucha energía y se obtiene grandes cantidades de salmuera que debe regresar al mar y puede alterar el hábitat marino. Por ello, para disminuir el costo y la contaminación, se puede emplear paneles solares como fuente de energía para los distintos procesos de la desalinización. En la metrópoli, existe la planta desalinizadora Provisur, la cual es viable usarla como fuente de obtención de agua que puede ser almacenada para situaciones de emergencia.

2.1.2 Agua subterránea

Aguas subterráneas “se consideran a las que, dentro del ciclo hidrológico, se encuentran en la etapa de circulación o almacenadas debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de las rocas u otras formaciones geológicas” (ANA, 2019). La importancia de este recurso hídrico radica en que es capaz de proporcionar agua en situaciones donde podría ser casi imposible obtenerlos de fuentes superficiales.

La extracción del agua subterránea consiste en ubicar acuíferos con un gran potencial de almacenamiento de agua en su interior, ya sea confinado o no confinado, para luego establecer

pozos de extracción, los cuales deben ubicarse en los lugares mejor accesibles y no contaminados. Posteriormente, es necesario emplear algún método de tratamiento para eliminar impurezas y contaminantes presentes en el agua.

Según el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay en su Manual de Agua Subterránea, el agua subterránea se capta principalmente a través de pozos verticales, que son perforaciones que alcanzan el nivel freático de los acuíferos para extraer el agua mediante bombeo hacia el exterior. La Figura 3 muestra la representación gráfica un pozo vertical.

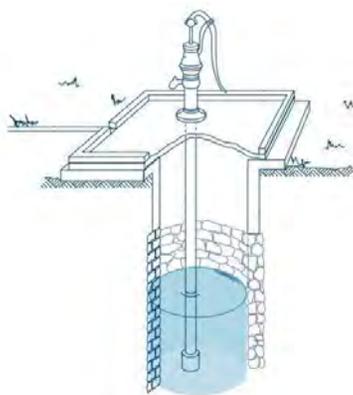


Figura 3. Esquema general de un pozo vertical que usa una bomba hidráulica para extraer el agua. Recuperado de Small Community Water Supplies Technology, People and Partnership (IRC International Water and Sanitation Centre, 2002).

Por otro lado, los pozos horizontales o galerías filtrantes son excavaciones de poca profundidad que permiten la entrada del agua subterránea que es filtrada a través de materiales porosos hacia un pozo de captación y se emplean cuando el acuífero está cerca del suelo, además es una alternativa de menor costo en comparación a un pozo vertical (MGAP, 2012). La Figura 4 muestra la representación gráfica de un pozo horizontal.

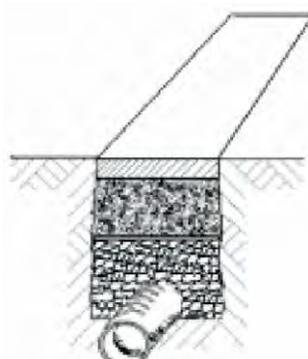


Figura 4. Pozo horizontal que conduce agua al exterior a través de un canal cerrado. Recuperado de “Galerías Filtrantes: Pequeños sistemas” (CEPIS, 2003).

Esta alternativa es viable de usar en caso de emergencia. Por ejemplo, Sedapal dispone de 111 pozos subterráneos que estarán operativos después de una emergencia que involucre el desabastecimiento del agua (SUNASS, 2023).

2.1.3 Atrapanieblas con tanque de almacenamiento

El atrapanieblas es un sistema con origen en Chile, en donde ha sido usado para fines agrícolas y de consumo doméstico desde 1960. Este sistema funciona capturando, condensando y recolectando el vapor de agua presente en el aire a través de superficies delgadas y planas (Hernandez Contreras, y otros, 2017). En Perú, existen iniciativas como “Atrapa Nieblas” y “Peruanos sin Agua” que emplean la tecnología atrapanieblas para beneficiar a comunidades con escasez de agua. Concretamente, en el proyecto “Atrapa Nieblas”, iniciado por la empresa Rotoplas con recaudación de la iniciativa “Corre por el agua”, se impulsó la instalación de 50 atrapanieblas que benefician a más de 200 familias en la comunidad de Vista Alegre en el distrito de Villa María del Triunfo. En este lugar, se emplearon paneles compuestos por mallas raschel o similares, como se observa en la Figura 5, las cuales se colocan en la dirección de la niebla y permite a la humedad adherirse en forma de gotas que descienden por gravedad hacia una canaleta que conduce a un almacén de agua (Rotoplas, 2022).



Figura 5. Conjunto de atrapanieblas en laderas del distrito Villa María del Triunfo, Perú. Recuperado de “Proyecto Atrapa Nieblas” [Video] (Rotoplas, 2022)

Es importante mencionar que para optimizar el uso de la tecnología atrapanieblas, es necesario ubicar estratégicamente las mallas en la dirección, sentido y altura del flujo de niebla para permitir a la neblina atravesar mallas el mayor tiempo posible con el fin de recolectar un mayor volumen de agua al día. En este sentido, si se requiere obtener agua segura para su almacenamiento y posterior consumo en un caso de emergencia, esta alternativa resulta viable debido a su simplicidad de implementación.

2.1.4 Hidropanel con tanque de almacenamiento

La compañía Source, con sede en Scottsdale, diseñó el hidropanel Source, un dispositivo impulsado por energía solar, que es capaz de generar aproximadamente 6 litros de agua diarios a través de la condensación del aire aspirado por sus ventiladores (Source, 2023). Esta innovadora tecnología presenta la ventaja de funcionar inclusive en zonas desérticas o secas; además, la calidad de agua obtenida mediante su mecanismo es similar al de un proceso de destilación y genera un impacto prácticamente imperceptible al medio ambiente, pues, según los especialistas de dicha empresa, se necesitaría 70000 hidropaneles por persona en la Tierra para producir algún impacto (Source, 2023). La Figura 6 muestra la vista frontal del hidropanel R3, el cual pesa aproximadamente 150 kg.



Figura 6. Vista frontal del Hidropanel Source. Obtenido de Source (Source, 2023).

En ese sentido, esta alternativa no sería viable para la metrópoli por no ser económico ni práctico. Además, la complejidad del dispositivo podría traer complicaciones a futuro en su mantenimiento.

2.2 Alternativas para almacenar agua segura

Existen diferentes alternativas para almacenar agua segura, tales como tanques de almacenamiento, tanques flexibles, cisternas, botellas de agua reutilizables, etc. A continuación, se detallan algunas alternativas de tanques de almacenamiento de agua.

2.2.1 Tanques de polietileno de alta densidad

El polietileno es el polímero más simple y de mayor producción a nivel mundial, aproximadamente 80 toneladas anuales (Department of Chemistry, 2017), debido a sus excelentes características industriales y comerciales. Estos tanques resaltan por ser ligeros y económicamente más asequibles que otros tanques como el de acero inoxidable. Además, para preservar la integridad física y química del tanque debido a la acción de la intemperie, los tanques implementan

filtros UV. En el mercado local, se dispone de varias marcas de tanques de polietileno, pero se tomarán los ejemplos de los tanques Rotoplas y Eternit.

Por un lado, según Rotoplas, la línea de tanques apoyados está diseñada bajo los lineamientos de la norma ASTM D1998 (Rotoplas, 2020), la cual estandariza las especificaciones de los tanques de almacenamiento verticales de fondo plano de polietileno previsto para uso a presión atmosférica. Así mismo, la línea de tanques enterrados presenta consideraciones adicionales de diseño para ser capaces de resistir carga lateral. Algunas de las opciones de tanques y costos que Rotoplas ofrece se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Dimensiones de los tanques apoyados Rotoplas en el mercado local.

	Capacidad (L)	Alto (cm)	Diámetro (cm)	Costo (S/.)
Tanque apoyado	5000	180	222	5 060
	10000	326	220	12 830
	25000	396	300	30 470
Tanque enterrado	5000	168	222	6 409
	10000	326	220	14 874

Nota. Elaboración propia sobre la base de la información obtenida por Rotoplas, 2 022.

En la Figura 7 se muestran el tipo de tanque de 25 000 L para la línea de Rotoplas



Figura 7. Tanque de polietileno de alta densidad de 25000 L de la línea de Rotoplas. (Rotoplas, 2022)

Por otro lado, Eternit cuenta con una línea de tanques de almacenamiento de agua potable que permiten conservar la calidad del agua debido a que, por una parte, integra tecnología antibacterial, que inhibe el crecimiento de microorganismos, y, por otro lado, brinda resistencia desde temperaturas -10°C hasta 60°C (Etex, 2020). Algunas dimensiones de tanques y costos que Eternit ofrece se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Dimensiones de los tanques Eternit en el mercado local.

	Capacidad (L)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Costo (S/.)
Tanque apoyado	5000	180	220	3 720
	10000	300	220	9 620
	25000	398	300	29 740
Tanque enterrado	1350	148	116	1 280
	2500	160	152	2 550

Nota. Elaboración propia sobre la base de la información obtenida por Etex, 2020.

En la Figura 8, se muestra el tipo de tanque de 25 000 L para la línea de Eternit.



Figura 8. Tanque de polietileno de alta densidad de 25000 L la línea de Eternit. Obtenido de Etex (Etex, 2020).

2.2.2 Tanques de Poliéster reforzado con fibra de vidrio

Los tanques de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) son altamente resistentes a tracciones, compresiones y cambios bruscos de temperatura; es decir, soportan climas de altas temperaturas o de extremo friaje. Por lo general, son empleados para almacenar grandes volúmenes de líquido y son fabricados a medida del cliente. Además, debido a su bajo peso ($1,6 \text{ kg/dm}^3$), en comparación con otras opciones, como el acero inoxidable ($7,8 \text{ kg/dm}^3$), tienen mayor facilidad de transporte e instalación.

La fibra de vidrio es un material resistente a corrosivos y puede actuar como aislante térmico y eléctrico. Además, no necesita de mantenimiento a lo largo de su vida útil (LEPSA, 2021). Los costos varían dependiendo de su volumen, uso y calidad; por ejemplo, Agua Integral ofrece tanques de fibra de vidrio para uso en filtración de agua de capacidad 1 300 L con un costo de 16 277 dólares americanos (Aqua Integral, 2024), pero otros proveedores como Fibrotecnia pueden ofrecer precios diferentes para tanques de almacenamiento de agua u otros usos industriales. En la Figura 9, se observa uno de los diferentes tipos de tanques que fue diseñado por el proveedor Fibrotecnia a pedido del cliente, se observa, además, que la instalación de este tanque es del tipo apoyado, pero también se diseñan tanques enterrados.



Figura 9. Tanque vertical de PRFV Nota. Obtenido de Fibrotecnia (Fibrotecnia, 2022).

2.2.3 Tanques de concreto armado

Los tanques de concreto armado son elementos que están conformados básicamente por concreto y acero. Estos, según la necesidad, pueden presentar formas rectangulares, circulares u otras formas especiales, además de abarcar diferentes capacidades, pero en todos los casos, deben ajustar su diseño a las normas de construcción de la zona donde serán emplazados. Estos elementos de almacenamiento presentan la característica de ser más versátiles que los tanques prefabricados, pues pueden ser construidos en condiciones poco accesibles de terreno. Según estudios de Khanmohammadi, los tanques rectangulares de concreto armado presentan mejor desempeño sísmico cuando se encuentran enterrados en un suelo de alta densidad relativa y con el 80% de su capacidad ocupado por agua (Khanmohammadi, Lotfi Rad, P., & Ghalandarzadeh, A., 2017).

Según los tipos de uso, los tanques de concreto pueden ser empleados tanto en la industria como a nivel doméstico, pero en ambos casos, para su mantenimiento, es necesario realizar limpiezas periódicas de las paredes del tanque. Según su tipo de instalación, los tanques pueden ser apoyados, enterrados, semienterrados y elevados. Así mismo, su costo de construcción varía en función a su capacidad y tipo de instalación, como ejemplo una cisterna de concreto armado de 10 000 L costaría 12 000 nuevos soles (Nava Rodriguez, 2022), un tanque elevado de 38 000 L costaría 276 000 nuevos soles (Municipalidad distrital de Santa, 2019) (Municipalidad distrital de Santa, 2019). En la Figura 10, se aprecian los tipos de reservorios más comunes: apoyado y elevado.

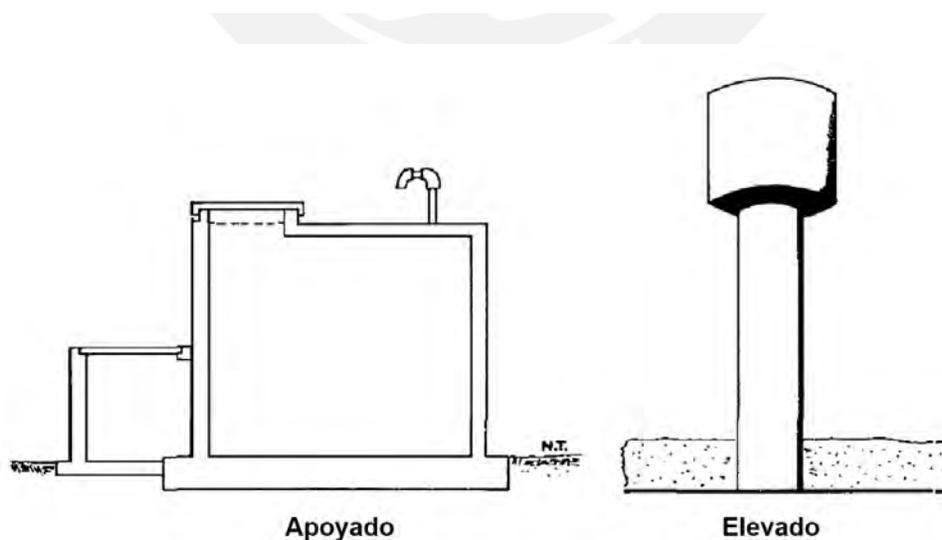


Figura 10. Tipos de reservorios apoyado y elevado. Obtenido de Agua potable para poblaciones rurales (Agüero, 1997).

2.2.4 Tanques de acero galvanizado

Los tanques de acero galvanizado son elementos de acero recubiertos por capas de zinc y otros metales con el fin de mejorar sus propiedades, tales como la resistencia a la corrosión, daños mecánicos y ductilidad.

Concretamente, se presenta el ejemplo de la empresa australiana *Pioneer Water Tanks* que ofrece al mercado tanques recubiertos con gran variabilidad de capacidad desde 6 000 litros a 2,66 millones de litros. El costo de los tanques de acero galvanizado varía dependiendo de su capacidad y especificaciones técnicas, por ejemplo, un tanque de 10 000 L cuesta 8 500 dólares americanos (Ace Machinery, 2024). En la Figura 11, se observa un tanque apoyado de acero galvanizado fabricado por dicha empresa.



Figura 11. Tanque apoyado de acero galvanizado del proveedor *Pioneer Water Tanks*. Commercial Specification Catalogue, 2015.

El revestimiento de estos tanques es importante para asegurar la calidad de los líquidos que se almacenan, para ello, se diseñan de acuerdo con las solicitudes de cada tanque considerando su resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, resistencia química, impermeabilización y estanqueidad, solicitudes de incendio, solicitudes por sismos y ciclones (Pioneer Water Tanks, 2015).

2.2.5 Tanques flexibles

Los tanques flexibles son depósitos conformados por membranas técnicas de alta resistencia que le permiten ser manejables en cuanto a forma y capacidad. Además, estos tanques son más

ligeros y menos costosos en comparación con otros tanques de almacenamiento como el de acero. Debido a estas características, son usados comúnmente en situaciones de emergencia para abastecer agua potable la población afectada. Para su instalación no requiere de personal especializado, simplemente se necesita una superficie nivelada y libre de elementos punzantes.

Existen diversos proveedores que fabrican a medida estos tanques flexibles, como el que se observa en la Figura 12, el cual es un tanque diseñado por PRONAL para el suministro de agua a las poblaciones o en zonas aisladas, en su catálogo, dispone de tanques flexibles de capacidades de 5 m³ hasta 300 m³ (PRONAL, 2024). El costo de los tanques flexibles depende de su capacidad y especificaciones técnicas, por ejemplo, en el mercado se encuentran tanques de 10 000 L de capacidad a 1 205 euros (Grupo APB, 2024)



Figura 12. Tanque flexible para el almacenamiento de agua potable. Obtenido de PRONAL (PRONAL, 2024)

2.3 Alternativas para mantenimiento del agua segura almacenada

Para la conservación de la calidad del agua segura almacenada, es necesario realizar un adecuado mantenimiento tanto al recipiente como al agua almacenada. Para esto, es importante tener en cuenta el tipo de recipiente, su hermeticidad, el nivel de luz solar que el agua recibe, la limpieza del agua y del interior del recipiente y la rotación periódica del agua. A continuación, se describen las recomendaciones de mantenimiento para el tanque y para el agua almacenada.

2.3.1 Mantenimiento del tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento debe presentar condiciones mínimas para conservar la calidad del agua que almacena. Siguiendo lo descrito por Care/Avina, en la Tabla 3 se presentan las recomendaciones de mantenimiento aplicables para tanques de almacenamiento en general.

Tabla 3

Recomendaciones de mantenimiento para tanques de almacenamiento de agua potable.

Frecuencia	Actividades por realizar
Diaria	Revisión general de la hermeticidad del tanque y la presencia de grietas o fugas.
Quincenal	Limpieza de los sedimentos acumulados con la manipulación de las válvulas.
Mensual	Limpieza del interior del tanque, extracción de sedimentos y lavado de las paredes, para ello es necesario desocupar el tanque. Además, revisión minuciosa de las paredes y reparación ante la presencia de fisuras o desprendimiento de pared.
Anual	Retocamiento, resanamiento y aplicación de pintura anticorrosiva, en caso aplique.
Cada dos años	Impermeabilizar las paredes interiores del tanque, en caso aplique.

Nota. Adaptado de “Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable” (CARE/AVINA, 2012).

Como se observa en la Tabla 3, la limpieza del interior del tanque y sustitución de agua se debe realizar de manera mensual, pues es una actividad crítica para mantener el agua clarificada y libre de sedimentos. Además, es importante mencionar que también se debe realizar el mantenimiento y limpieza periódica de otros elementos como tuberías y válvulas.

2.3.2 Mantenimiento del agua segura

Adicional a la rotación o sustitución periódica del agua, es de suma importancia realizar el mantenimiento del agua almacenada para conservar su calidad y evitar enfermedades relacionadas al agua contaminada. Para ello, se puede usar un agente desinfectante con la capacidad de destruir todos los patógenos presentes en el agua en un corto periodo de tiempo y no ser dañino para el

consumo humano. A continuación, se muestra la Tabla 4 con información sobre los principales agentes desinfectantes que se utilizan para el mantenimiento del agua.

Tabla 4

Principales agentes desinfectantes que se utilizan para el mantenimiento del agua.

Agente desinfectante	Ventajas	Desventajas
Cloro	La cloración tiene un proceso de aplicación sencillo y de bajo costo. Es efectivo en la eliminación de virus y bacterias, además tiene un efecto prolongado.	Puede alterar el sabor, olor y color del agua y su efectividad es reducida para agua con pH mayores a 7.5. Además, el cloro es un elemento altamente corrosivo por el cual su manipulación requiere cierto nivel de cuidado. También, no es efectiva para remover huevos o quistes de parásitos.
Ozono	Requiere menos tiempo para desinfectar el agua a comparación con otros métodos como la cloración. Trata cualquier tipo de agua, independientemente de su pH.	Presenta alto costo debido a que para aplicar este método se requieren grandes cantidades de energía, equipos especializados y de complicado mantenimiento. Además, no presenta efecto residual, lo que quiere decir que no mantiene su efecto después de su aplicación inicial.
Luz ultravioleta	Este método destruye el ADN de las bacterias y virus. Requiere menos tiempo para desinfectar el agua a comparación con otros métodos como la cloración.	No presenta efecto residual, lo que quiere decir que no mantiene su efecto después de su aplicación inicial. Además, puede ser menos efectiva en aguas turbias. También, el mantenimiento de las lámparas de luz UV requiere de personal calificado.

Nota. Adaptado del Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua segura en el ámbito rural, (Cooperación Alemana, 2017).

De los agentes presentados en la Tabla 4, el cloro es el componente más utilizado para el tratamiento y mantenimiento del agua debido a la practicidad de aplicación y bajo costo. A su vez, el tratamiento del agua con ozono es el más costoso porque requiere de un equipo especializado para su aplicación.

2.4 Alternativas para distribución de agua segura

En situaciones de desastre, una disposición urgente y crítica es el abastecimiento de agua pues asegura la supervivencia de las personas. Para asegurar esta medida, es necesario determinar una forma de hacer llegar el agua segura hasta el consumidor en caso de una emergencia. A continuación, se presentan algunas de las alternativas para distribuir agua segura.

Acceso a puntos de abastecimiento fijos: Consiste en establecer puntos estratégicos de abastecimiento de agua donde las personas puedan acercarse con sus recipientes vacíos para llenarlos de agua. Esta alternativa debe disponer un conjunto de instalaciones que permita el fácil acceso de los usuarios al agua, por ejemplo, la Figura 13 muestra un sistema de “vaquita” que permite multiplicar los grifos que pueda tener un punto de abastecimiento. Además, es recomendable que, de requerir, se asigne un operario que ordene y acelere el proceso de abastecimiento de agua segura.



Figura 13. Aplicación de sistema “vaquita” para la óptima distribución de agua. Recuperado de la Guía práctica de agua, saneamiento y promoción de la higiene en emergencias (PREDES, 2017).

Entrega con vehículos: Siempre que las vías de acceso estén libres, es posible utilizar medios de transporte como los camiones cisterna para transportar el agua segura. Las personas pueden llenar sus recipientes de manera directa del camión cisterna, como en la Figura 14, o también abastecer algún tanque rígido o flexible que la comunidad tenga instalado.



Figura 14. Cisterna brinda servicio de entrega de agua potable a familias vulnerables en Huaral. Recuperado de la plataforma digital única del Estado Peruano (GOP.PE, 2024).

2.5 Normativas de dotación estándar de agua potable

A continuación, se presentan estándares adoptados por el Gobierno de Perú y otros estándares cuyo contexto de aplicación es durante emergencias.

2.5.1 ISO 22320

Esta norma fue adoptada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) como NTP-ISO 22320:2019. La norma establece un conjunto de estándares de respuesta para organizaciones públicas y privadas en cuanto a la gestión de emergencias. Esta norma indica que la respuesta de las organizaciones debe considerar la salubridad como parte de su respuesta ante una emergencia, para ello se deben brindar recursos como agua bebible para todos los miembros de la organización (Organización Internacional de Estandarización, 2018). Esta norma no cuantifica el agua necesaria que debe brindarse a los miembros después de una emergencia.

2.5.2 ISO 24518

La norma ISO 24518 está orientada para las empresas prestadoras de servicio de agua potable y brinda pautas para enfrentar una crisis en las empresas de servicios públicos de agua. Esta normativa establece que el plan de contingencia para estas empresas debería contener

abastecimientos alternativos de agua segura para suministrar a los clientes (Organización Internacional de Estandarización, 2015). Además, ha sido adoptada por el MVCS con el nombre de NTP-ISO 24518:2016.

2.5.3 Proyecto Esfera

El Proyecto Esfera fue creado por un conjunto de ONG y el Movimiento Internacional de la Cruz Roja y de la Medialuna Roja. El objetivo del proyecto es establecer pautas que mejoren la calidad de la respuesta ante emergencias. Como consecuencia, se elaboró una carta humanitaria donde se definen normas mínimas en cuanto a abastecimiento de agua, saneamiento, alimentación, alojamiento, salud y artículos no alimentarios.

En cuanto al abastecimiento de agua en emergencias, el objetivo es fomentar una buena higiene personal y medioambiental que proteja la salud. En este sentido, como mínimo, para cocinar, aseo personal y beber, se necesita de 7,5 a 15 litros de agua por persona por día. Además, la distancia máxima de cualquier persona al punto de abastecimiento más cercano debe ser 500 m. También, el tiempo de cola en el punto de abastecimiento no debe exceder los 30 minutos. Adicionalmente, se establece una cantidad máxima de 250 personas por grifo, sobre la base de un caudal de 7,5 litros/minuto, 500 personas por cada bomba manual sobre la base de un caudal de 17 litros/minuto, 400 personas por cada pozo abierto de un solo usuario sobre la base de un caudal de 12,5 litros/minuto (El Proyecto Esfera, 2011).

2.5.4 ACNUR

El Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR) es un organismo que vela por los derechos de los refugiados en el mundo a través de la colaboración con distintas organizaciones internacionales y gobiernos. Esta entidad dispone de un manual de emergencia que brinda pautas de cómo se deberían gestionar las situaciones de emergencia en dos aspectos: La preparación para hacer frente a las situaciones de emergencia y la respuesta ante las situaciones de emergencia. Se mencionan diferentes indicadores que cuantifican a partir de qué valor se tiene una situación de emergencia. Entre los indicadores para identificar una emergencia está la tasa de mortalidad, estado de nutrición de los niños, alimentos, espacio del emplazamiento, espacio habitable, cantidad y calidad de agua. En caso de un desastre de origen natural, estos indicadores son irrelevantes, pues la emergencia se declara.

Se establece que la cantidad mínima de agua para supervivencia es de 7 litros por persona por día, pero que esta cantidad debe incrementarse hasta 15 o 20 litros lo más rápido posible. Además, la máxima distancia entre cualquier casa y el punto de abastecimiento de agua más cercano debe ser de 100 m o unos pocos minutos caminando. También se menciona que la distribución de agua a grupos de personas de entre 80-100 disminuye considerablemente el desperdicio de agua y los daños a la infraestructura (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los refugiados, 2000).

2.5.5 Guía EPA

Planning for an Emergency Drinking Water Supply es una publicación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, EPA, que cubre la planificación y orientación para que las empresas prestadoras de servicio de agua desarrollen un plan de suministro de agua potable de emergencia para casos de daño en la infraestructura hídrica o contaminación de agua.

En esta guía se establece una dotación de agua que varía entre 0,5 y 5 galones de agua por persona al día, dependiendo del tipo de necesidades que se planeen cubrir. Se menciona que para propósitos de planificación es aceptable una dotación de 1 galón diario por persona. Sin embargo, se recomienda que las empresas prestadoras de servicio de agua establezcan, en principio, el objetivo de dotar con 3 galones diarios de agua a cada persona durante los 3 primeros días de sucedida la emergencia; mientras que, para periodos prolongados, como 10 o 21 días, esta cantidad de agua puede ser mayor, debido a que se necesitará agua para otros usos como higiene personal, cocinar alimentos, limpieza y desinfección, etc. (Environmental Protection Agency, 2011).

2.5.6 Marco Legal de Alemania

El Marco Legal de Alemania establece que el suministro mediante la red general de abastecimiento es de 50 litros de agua en caso de escasez de agua y en el caso de emergencia a mediano plazo se debe dotar de 15 litros de agua por persona por día (Bross, Krause, Wannewitz, & Stock, 2019).

2.5.7 Marco Legal de Austria

El Marco Legal de Austria establece que en el caso de emergencia se debe dotar en el corto plazo de 2,5 a 3 litros de agua por persona por día; mientras que, al mediano plazo, se debe dotar de 7,5 a 15 litros de agua por persona por día (Bross, Krause, Wannewitz, & Stock, 2019).

2.5.8 Defensoría del Pueblo de Ecuador

En Sudamérica, existe un documento realizado por la Defensoría del Pueblo de Ecuador. Dicho documento está basado en la guía realizada en el Proyecto Esfera; por lo tanto, los parámetros como dotación mínima, número máximo de personas por fuente de agua, tiempo de espera, calidad de agua, coinciden con los de la guía del Proyecto Esfera.

En la Tabla 5, se muestra una tabla comparativa entre los parámetros presentes en las guías más relevantes: Manual ACNUR, Proyecto Esfera, marco legal de Australia y marco legal de Alemania.

Tabla 5

Comparación entre los parámetros de las guías más relevantes aplicables para una persona durante un día.

Parámetro	ACNUR	Proyecto Esfera	Marco Legal Alemania	Marco Legal Austria	Guía EPA
Cantidad de agua (L)	15 a 20	15	15	7,5 a 15	3.8-18.9
Distancia máxima (m)	100	500	-	-	-
Tiempo de espera máximo (min)	-	30	-	-	-

Nota. Datos extraídos de las normativas de dotación anteriormente revisadas y citadas.

2.6 Normativa de diseño sismorresistente de tanques

De manera general, se podría resumir la interacción tanque-suelo en dos vertientes: tanque apoyado y tanque enterrado. El diseño de toda estructura debe seguir las recomendaciones de diseño nacionales o internacionales, según corresponda. Para el caso del diseño sismorresistente de estructuras que contienen líquidos, se presentan las siguientes normativas en la Tabla 6:

Tabla 6

Resumen de normas existentes para el diseño de tanques.

Tipo	Nombre	Descripción	Solicitaciones consideradas	Organismo
Normativa para diseño sísmico	Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos (ACI 350.3-01) y comentarios (350.3R-01)	Regula el diseño sísmico de estructuras de concreto armado contenedoras de líquido. Permite determinar las fuerzas sísmicas que deben ser aplicadas en una estructura en particular.	Fuerzas de inercia P_w y P_r ; Presión impulsiva hidrodinámica P_i del líquido contenido; Presión convectiva hidrodinámica P_c del líquido contenido; Presión dinámica de tierra debido a suelos saturados y no saturados contra la porción enterrada del muro; Efectos de la aceleración vertical.; Presiones hidrostáticas.	Comité ACI 350
Normativas de diseño estructural y sísmico	Minimum Design Loads and Associated Criteria Buildings and Other Structures (ASCE 7-16)	Contempla el diseño sísmico y estructural de una amplia variedad de estructuras independientemente del tipo de material usado en la construcción.	Carga viva, carga muerta, carga del suelo, carga de lluvia, carga de nieve, presión hidrostática, cargas de inundación y cargas de tsunami.	Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE)
Normativa para diseño sísmico	Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales (NCh2369)	Abarca el diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales de concreto armado, acero, plástico reforzado de fibra de vidrio, polietileno de alta densidad, etc.	Cargas permanentes, sobrecarga de uso, sobrecarga especial de operación, sobrecarga accidental de operación, sismo horizontal, sismo vertical.	Instituto Nacional de Normalización (INN) de Chile

Tipo	Nombre	Descripción	Solicitaciones consideradas	Organismo
Normativa para diseño sísmico	Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo.	Cubre el diseño sísmico de estructuras en base a una clasificación de las construcciones según su estructuración en hasta 13 tipos.	Cargas sísmicas con análisis particular para cada tipo de estructura.	Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Normativa para diseño estructural	Norma NTP E.060 y E.020 Concreto armado	Regula el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad y supervisión de estructuras de concreto armado, preesforzado y simple.	Carga muerta, carga viva, carga de viento, carga de sismo.	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú
Normativa para diseño sísmico	Norma NTP E.030 Diseño sismorresistente	Abarca el diseño sísmico de edificaciones en el Perú y otras estructuras como reservorios, plantas de tratamiento, almacenes, etc.	Solicitaciones sísmicas.	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú

Nota. Adaptado de Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-20) and Commentary (ACI 350R-20) (American Concrete Institute, 2021), Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and other Structures (7-16) (American Society of Civil Engineers, 2017), Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales (Instituto Nacional de Normalización, 2023), Manual de diseño de obras civiles-Diseño por sismo (Comisión Federal de Electricidad, 2008), Norma Técnica Peruana NTP E.20, E030 y E.060 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020).

De esta forma, es posible generar en la Tabla 7 un resumen de las distintas alternativas y normativas presentes en el proceso integrado de dotación de agua segura para un caso de emergencia.

Tabla 7

Alternativas para la gestión de agua segura en caso de emergencia.

Obtención	Desalinizadores
	Extracción de agua subterránea
	Atrapanieblas con tanque de almacenamiento
	Hidropanel con tanque de almacenamiento.
Almacenamiento	Tanque de almacenamiento
	Tanques flexibles
	Cisternas
	Bidones
Mantenimiento	Mantenimiento del tanque con revisiones y limpieza periódicas.
	Mantenimiento del agua almacenada usando agentes como cloro, ozono o luz ultravioleta.
Distribución	Acceso a puntos de abastecimiento fijos
	Entrega con vehículos
	Entrega de casa en casa
Normativas de dotación	Proyecto Esfera
	de ACNUR
	Guía EPA
	Otros.
Normativas de diseño de tanques	ACI 350
	ASCE7-16
	NTP E.060, NTP E.030
	Otros.

3 Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio es la metrópoli de Lima y Callao. A continuación, se desarrollan parámetros que son importantes para identificar la problemática relacionada al abastecimiento del agua y plantear soluciones.

3.1 Población

El censo oficial nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI, está actualizado hasta el 2 017. Según este censo, la metrópoli de Lima y Callao es la ciudad más poblada del Perú con aproximadamente 9,7 millones de habitantes, mientras que la segunda ciudad más poblada es Arequipa con 1 millón de habitantes aproximadamente. El contraste es más notorio cuando se compara la densidad poblacional (habitantes por kilómetro cuadrado) de estas ciudades, pues Lima tiene una densidad poblacional de alrededor de 3 500 personas/km² y Arequipa de 1 800 personas/ km². Concretamente, en la metrópoli de Lima y Callao, los distritos que presentan mayor densidad poblacional son Surquillo, Breña, Pueblo Libre y La Victoria (INEI, 2022).

Es importante mencionar que la cantidad de personas va cambiando con el tiempo; sin embargo, se puede realizar un registro histórico de la evolución de la población limeña para realizar proyecciones a futuro. A continuación, se muestra la Tabla 15, la cual indica la evolución de la población limeña a lo largo del tiempo, además, se observa que la población limeña desde 1 940 a 2 017 ha crecido 11,5 veces y se infiere que continuará creciendo.

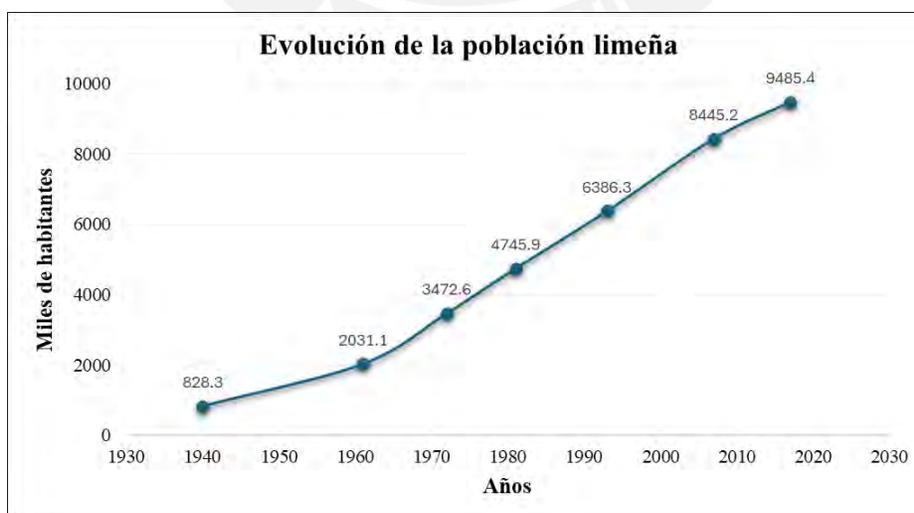


Figura 15. Evolución de la población de Lima desde 1940 a 2017. Adaptado del cuadro N° 2.3 Perú: evolución de la población, según departamento: 1940-2021 (INEI, 2022).

3.2 Programas sociales

El estado peruano dispone de programas sociales activos al 2024, entre los cuales se tiene los siguientes:

- Qali Warma. Este programa es una iniciativa del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) que tiene como objetivo brindar alimentación a escolares de los colegios públicos de todo el Perú.
- Programa de Asistencia Solidaria (PAS). Este programa es una iniciativa de la Municipalidad de Lima que busca brindar ayuda a las personas en situación de calle, a través de la entrega de alimentos, ropa, atención médica, atención psicológica, entre otros servicios.
- Comedores populares. Son asociaciones financiadas por el gobierno o por contribuciones privadas que brindan alimentación gratuita o de bajo costo a personas de bajos recursos.
- BarrioMio. Este programa impulsado por la Municipalidad Metropolitana de Lima tiene como objetivo mejorar las condiciones de vida de los habitantes de los asentamientos humanos informales y brindar acceso a servicios básicos como agua segura, saneamiento, energía eléctrica, entre otros.
- Vaso de Leche. Es un programa financiado por el Ministerio de Economía y Finanzas, el cual consiste en la entrega de leche fortificada y otros productos alimenticios como pan o galletas para los niños y mujeres de escasos recursos que se encuentran en periodo de gestación y lactancia.
- Pensión 65: Programa inscrito en el MIDIS que se encarga de brindar apoyo económico a las personas mayores de 65 años que viven en situación de extrema pobreza.
- Foncodes: El Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social trabaja para el desarrollo integral y sostenible de las comunidades más necesitadas, proporcionando infraestructura, capacitación y apoyo productivo, y actuando como un pilar en la respuesta a emergencias.
- Programa de Complementación Alimentaria: Programa que ofrece apoyo alimentario mediante diferentes centros de atención, los cuales son comedores, albergues. Además, organizan grupo de personas para brindar apoyo mediante trabajos comunales.

Para el caso de la metrópoli de Lima y Callao, ante una situación de emergencia, se prevé desabastecimiento de productos básicos; por ello, los programas sociales pueden brindar ayuda humanitaria ejecutando planes de apoyo hacia los damnificados.

3.3 Albergues y zonas de refugio

Las emergencias de origen natural, como un sismo, pueden ocasionar grandes daños y generar damnificados que pierden sus viviendas y/o pertenencias. Las personas que se encuentran en esta situación disponen de albergues para proveerse de manera temporal de alimentación, refugio y otros servicios básicos. En este sentido, la metrópoli de Lima y Callao cuenta con refugios activos como el albergue acreditado por el MIMP “María Rosario Araoz”, administrado por la Municipalidad de Lima. Actualmente, funciona en Av. Pedro Miotta 238, San Juan de Miraflores y proporciona servicios de alimentación, salud integral, talleres y actividades recreativas, culturales (MIMP, 2022).

Asimismo, según INDECI/OIM, ante una emergencia, existe un plan de respuesta complementaria liderada por autoridades locales, regionales y nacionales con el objetivo de gestionar ayuda humanitaria, lo que incluye la instalación de otros albergues temporales (INDECI/OIM, 2018). De esta manera, los albergues temporales que se van a instalar por acción del gobierno, sumados a los albergues existentes pueden acoger mayor cantidad de personas damnificadas. A esta acción también se pueden sumar las edificaciones de uso común, como colegios, iglesias, mercados, etc., que pueden cumplir la función de refugio temporal por ser capaces de albergar mayor cantidad de personas. Con relación a esto, en la Figura 16, la Municipalidad de Lima presenta un mapa de ubicaciones de áreas potenciales para albergues de emergencia en el área Metropolitana de Lima.

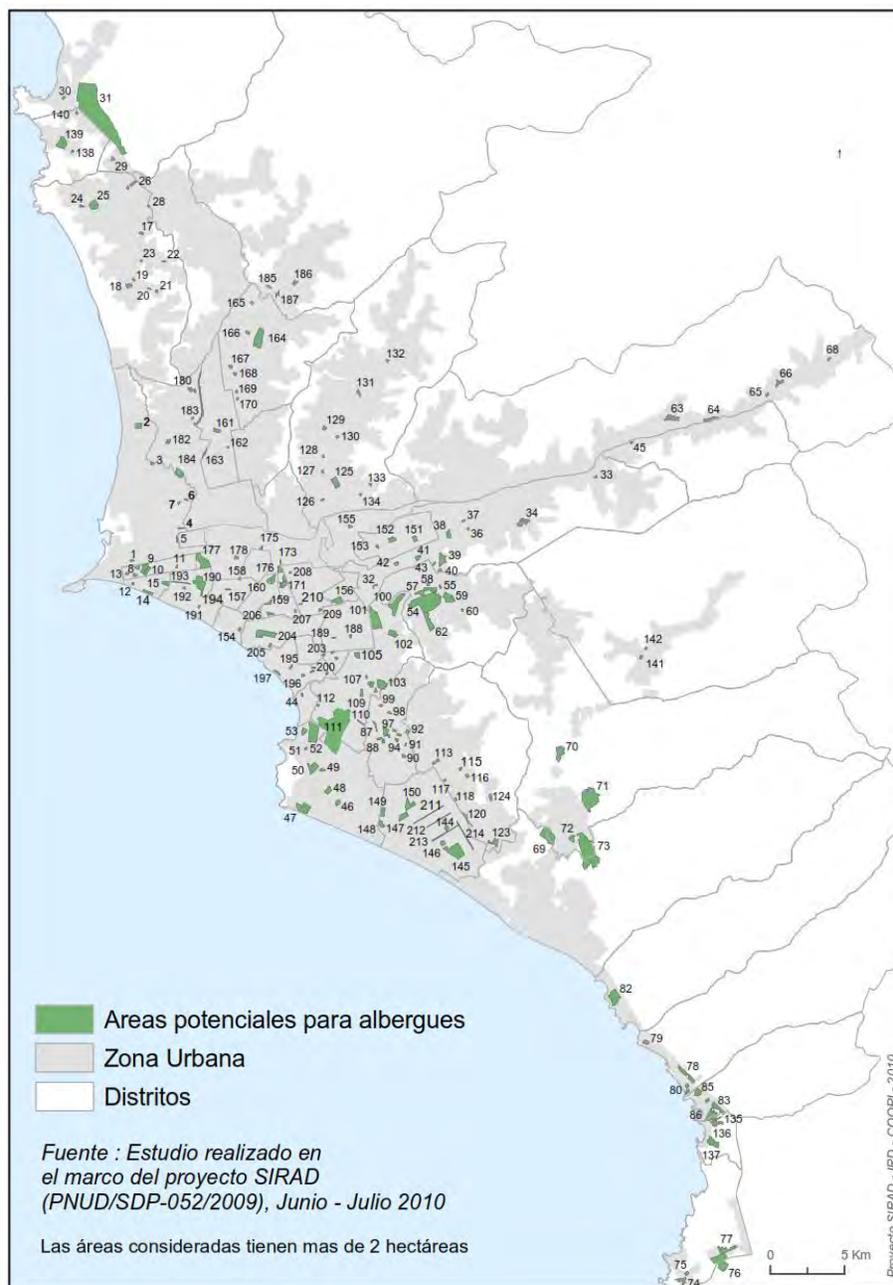


Figura 16. Ubicación de áreas potenciales para albergues de emergencia en el área Metropolitana de Lima. Obtenido del Proyecto SIRAD.

Se observa que la mayor concentración de áreas potenciales se encuentra en el centro de la metrópoli y las áreas potenciales de mayor extensión están conformadas por parques públicos (Municipalidad de Lima, 2023).

Adicional a esto, es recomendable que la población menos afectada se solidarice y ofrezca su vivienda como un albergue temporal, esto representa una respuesta inmediata y de mayor efectividad, debido a que son los vecinos los primeros en ubicar e identificar la emergencia.

3.4 Infraestructura sanitaria

Sedapal, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, es una empresa pública de derecho privado encargada de prestar servicios de abastecimiento de agua potable a la población de Lima y Callao. Esta empresa tiene a su disposición plantas de tratamiento de agua potable, centros de rebombeo, pozos, tanques, tuberías y edificios administrativos. Sedapal ha evaluado el impacto de un escenario del sismo de 8,8 Mw planteado y ha estimado, por una parte, que perdería el 50% de la planta Atarjea, esto posiblemente porque una parte de la planta es antigua y solo quedaría en funcionamiento la infraestructura más recientemente construida (Cenepred, 2020). Por otra parte, Sedapal indica que perdería el 75% de los pozos, el 70% de las estaciones de bombeo, 0,5% de las redes primarias, 30% de las redes secundarias y el 25% de los reservorios secundarios (Cenepred, 2020).

3.5 Regulaciones y normativas de distribución del agua segura durante emergencias

Para la implementación de los diferentes sistemas de abastecimiento en caso de emergencia, el Perú cuenta con diferentes protocolos, procedimientos y ayuda humanitaria coordinados por autoridades nacionales, regionales, locales e internacionales, así como sucedió en el sismo del 2007 de Pisco, donde el Estado Peruano recibió ayuda humanitaria de organismos gubernamentales y no gubernamentales, esta ayuda consistió en el apoyo a la atención de heridos, la donación de unidades potabilizadoras de agua, agua embotellada, víveres y apoyo económico (OPS, 2010)

Para el caso de la provincia de Lima, en la atención de situaciones de emergencia ocasionadas por peligros de origen natural o inducidos por acción humana, tales como el desabastecimiento de agua ocasionada por un sismo, existe el Plan de Operaciones de Emergencia, el cual rige para los niveles de gobierno local y nacional. Este es un documento que establece el modo de coordinación, conducción, participación, estructuración y protocolos de respuesta del Grupo de Trabajo de Gestión del Riesgo de Desastres (GTGRD) de la Municipalidad Metropolitana de Lima ante una situación de emergencia, la cual se pretende abordar a través de 7 grupos de coordinación que constan en seguridad, búsqueda y salvamento; salud; asistencia

humanitaria; agua, saneamiento e higiene; análisis operacional; logística para la respuesta; y conducción y coordinación (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2021). Adicionalmente, se establece que el protocolo de respuesta consta de 3 fases, las cuales se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8

Resumen de la respuesta del GTGRD

Fase	Tiempo de duración estimado	Descripción
Activación e intervención inicial	0-12 horas	Ayuda solidaria de la población en general para actividades de búsqueda y rescate inicial, primeros auxilios, extinción de incendios, evacuación hacia zonas seguras, comunicaciones de emergencia y apoyo en general. Adicionalmente, el GTGRD debe realizar las primeras coordinaciones para informar y solventar necesidades en los 7 grupos de coordinación.
Primera respuesta	12-24 horas	Coordinaciones para el traslado de recursos materiales, capital humano. Atención por parte de brigadistas, voluntariados de emergencia, equipo de intervención rápida y entidades de primera respuesta como atención prehospitalaria.
Respuesta complementaria	24 horas a más	Repliegue de recursos totales para la puesta en marcha de albergues equipados, puestos médicos hospitalarios, distribución de bienes de ayuda humanitaria y ordenamiento poblacional.

Nota. Adaptado de Plan de Operaciones de Emergencia para la provincia de Lima 2 021-2 023.

Como se observa en la Tabla 8, la obtención de bienes de ayuda humanitaria se realizaría como parte de la primera respuesta como reacción de autoayuda de la población, pero a nivel de respuesta de instituciones, es una prioridad para la fase de respuesta complementaria, la cual se implementaría después de 1 día de sucedida la emergencia.

Sin embargo, en el caso específico de abastecimiento de agua, se cuenta con el protocolo de actuación de la Mesa Metropolitana de Agua, Saneamiento y Promoción de la Higiene (ASH)

mediante Decreto de Alcaldía de la Municipalidad Metropolitana de Lima N° 008 (INDECI, 2014). En este protocolo, se establece el plan de acción ante desastres naturales de las diferentes entidades que forman parte de la mesa ASH. De manera particular, se describe que ante un eventual desastre que ocasiona desabastecimiento de agua potable, se activan los equipos asignados a la sala de crisis del COE y trabajo de campo quienes gestionarían la entrega de agua potable embotellada a la población damnificada en un plazo de 24 a 72 horas. Luego, en el plazo de 24 horas hasta el día 7, se deberían instalar tanques flexibles, como se muestra en la Figura 17, y abastecer de agua potable a la población a través de los tanques fijos, cisternas y puntos de abastecimiento de Sedapal, que deberían estén operativos después de un sismo de 8,5 Mw. Para una referencia gráfica, en la Figura 18, se observa un tanque cisterna de Sedapal que abastece a la población de San Juan de Lurigancho durante el aniego del 2019 en dicho distrito; y en la Figura 19, se observa un reservorio apoyado de Sedapal ubicado en el distrito de Carabayllo, el cual se proyecta estar operativo para abastecer de agua potable a la población tras un sismo 8,5 Mw (Sedapal, 2024).



Figura 17. Bladers o tanques flexibles. Obtenido de OXFAM, 2021.



Figura 18. Abastecimiento de agua mediante cisternas de Sedapal. Obtenido de MINSA, 2021



Figura 19. Reservorio apoyado en Carabayllo. Obtenido en la visita número 1 a las instalaciones de Sedapal por el Proyecto PI0841.

De manera particular, para el caso del distrito de Independencia, según PREDES, existe un protocolo de actuación en materia de ASH en emergencias. Este protocolo, a diferencia del plan de la Municipalidad de Lima, incluye la verificación de la calidad de fuentes hídricas aprovechables, tales como pozos y manantiales (PREDES, 2018). También, según PREDES, para los primeros momentos de la emergencia, este protocolo establece la dotación mínima de agua entre 5,5 a 9 litros por persona por día para beber y cocinar; así mismo, a mediano plazo de pasada la emergencia, establece una dotación diaria de 15 litros, repartida en 2,5 a 3 litros de agua para beber, de 3 a 6 litros de agua para cocinar y de 2 a 6 litros de agua destinada a higiene personal (PREDES, 2018).

Como es de apreciar, la dotación de agua segura mediante agua embotellada o su distribución mediante los puntos de abastecimiento de Sedapal depende de factores externos como la accesibilidad a los diferentes distritos afectados, cantidad de cisternas, así como la disponibilidad de personal que lleve a cabo esta tarea.

3.6 Escenarios de riesgo por sismo

La costa central es la zona de mayor registro sísmico del Perú y la metrópoli de Lima y Callao es la zona con mayor densidad poblacional del país; por ello, surge la necesidad de conocer escenarios de riesgo sísmico para identificar las zonas más riesgosas y tomar medidas preventivas.

Ante esta situación, diferentes instituciones competentes han publicado escenarios de riesgo por sismo, seguidamente se resumen dichos escenarios.

3.6.1 Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao

El análisis “Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima y Callao” realizado por Cenepred en el 2 020 consta de 3 etapas: Análisis de susceptibilidad, Identificación del elemento expuesto y Escenario de riesgo por sismo. Es importante señalar que los términos utilizados por Cenepred “análisis de susceptibilidad” e “identificación de elementos expuestos” hacen referencia a un “análisis de “peligro sísmico” y “análisis de vulnerabilidad”, respectivamente.

La primera etapa, Análisis de susceptibilidad [peligro], fue elaborada a partir del estudio de IGP del 2 020 “Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú” con el complemento de la revisión bibliográfica de grandes sismos como Pisco 2 007, Chile 2 010 y Japón 2 011. En esta etapa se resalta que, a partir del terremoto de Lima de 1 746, en las costas de Lima se han generado grandes asperezas que dan lugar a zonas de máximo acoplamiento sísmico (ZMAS), lo cual implica la existencia de una gran cantidad de energía acumulada que al ser liberada resultaría en la posibilidad de generar un sismo de 8,8 Mw. En consecuencia, Cenepred elaboró el Mapa de susceptibilidad [peligro] por sismo, apoyándose en los criterios de zonificación sísmica del Decreto Supremo N°003-2016-VIVIENDA, el mapa de aceleración PGA en el escenario que el epicentro del sismo es la zona ZMAS y limitando a 1100 cm/s^2 la aceleración sísmica máxima, pues los valores de aceleración máxima reciente son Chile 2 010 con 900 cm/s^2 y Japón 2 011 con 1200 cm/s^2 . En la Figura 20, se observa el color rojo para una susceptibilidad [peligro] muy alta con aceleraciones entre 500 a 1100 cm/s^2 ; el color naranja para una susceptibilidad alta con aceleraciones entre 300 a 400 cm/s^2 ; el color amarillo para una susceptibilidad [peligro] media con aceleraciones de 200 cm/s^2 y color verde para aceleraciones de 100 cm/s^2 .

Los niveles de susceptibilidad [peligro] establecidos están basados en un criterio subjetivo planteado por los especialistas de Cenepred y debido a esto es posible que se encuentren diferencias entre instituciones al realizar los mismos estudios.

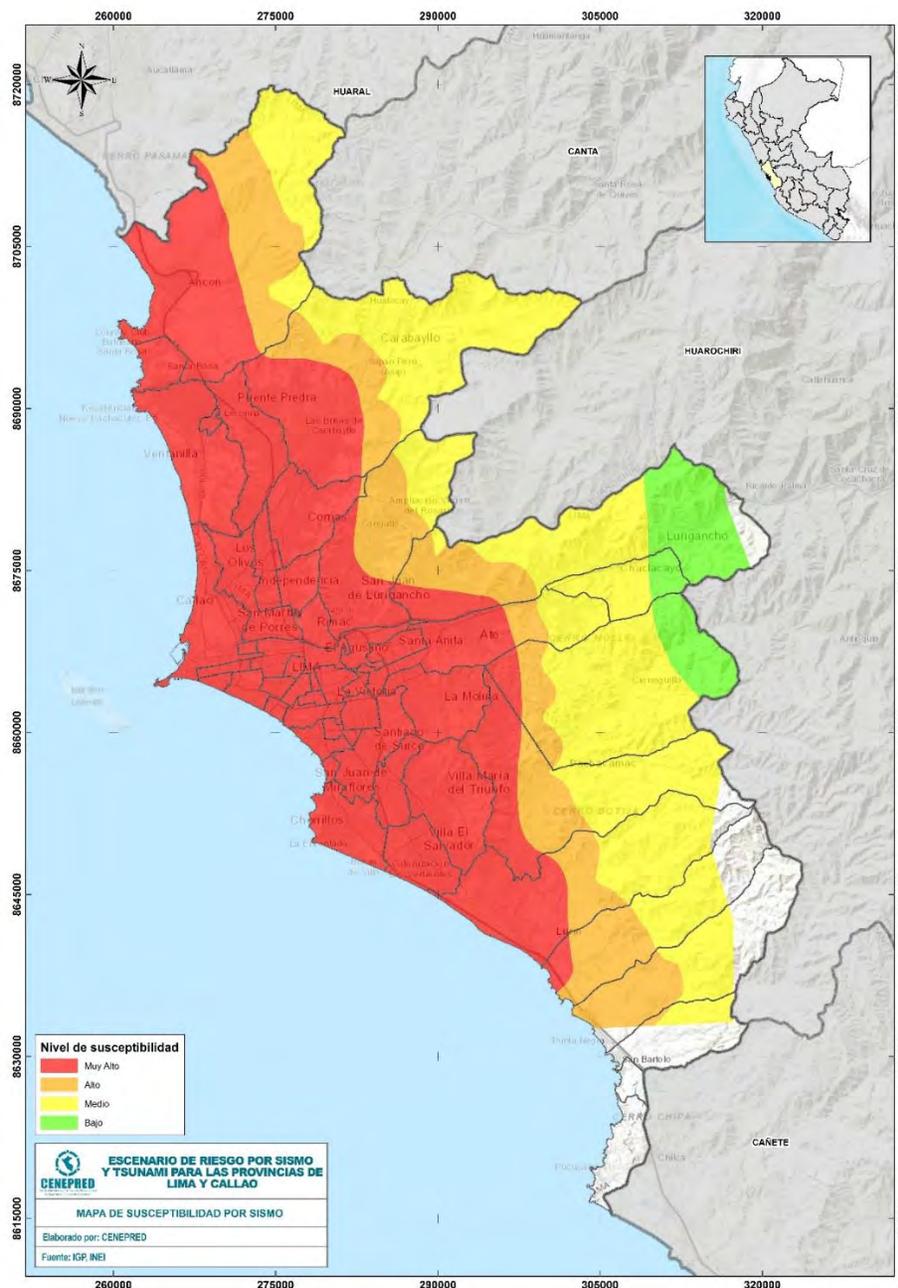


Figura 20. Mapa de susceptibilidad por sismo para la metrópoli de Lima y Callao. Obtenido de Cenepred, 2020.

La segunda etapa consistió en determinar el Mapa de Identificación del Elemento Expuesto a nivel de manzanas, Figura 21. Para ello, se utilizó un promedio ponderado de 3 elementos: Mapa de Densidad Poblacional a nivel de manzanas obtenido del censo poblacional realizado por INEI en el 2017, Mapa de Estratificación Económica obtenido del Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas elaborado por el INEI en el 2020 a partir de una estimación

del ingreso per cápita por hogar a través de la metodología ELL, y finalmente Mapa de Costo-Reparación realizado por el CISMID en el 2 017, el cual estima el costo de reparación de las viviendas dañadas para un escenario sísmico de 8,9 Mw. Cenepred usa la ponderación diferenciada porque es una herramienta útil para evaluar de manera integral los distintos aspectos de la vulnerabilidad (física, económica y social). Es importante señalar que la metodología para el análisis de la vulnerabilidad que explica Cenepred en este escenario de riesgo sísmico no es concordante con el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales que Cenepred dispone. Según el manual, para el análisis de la vulnerabilidad se debería considerar aspectos como la exposición, fragilidad y resiliencia, elementos que el escenario de Cenepred no explica con claridad.

Para ello, se utilizó una ponderación diferenciada de 3 elementos: Mapa de Densidad Poblacional a nivel de manzanas obtenido del censo poblacional realizado por INEI en el 2 017, Mapa de Estratificación Económica obtenido del Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas elaborado por el INEI en el 2 020 a partir de una estimación del ingreso per cápita por hogar a través de la metodología ELL, y finalmente Mapa de Costo-Reparación realizado por el CISMID en el 2 017, el cual estima el costo de reparación de las viviendas dañadas para un escenario sísmico de 8,9 Mw. Cenepred usa la ponderación diferenciada porque es una herramienta útil para evaluar de manera integral los distintos aspectos de la vulnerabilidad (física, económica y social). Es importante señalar que la metodología para el análisis de la vulnerabilidad que explica Cenepred en el escenario de riesgo sísmico no es concordante con su manual que esta institución dispone. Según se observa en el manual, para el análisis de la vulnerabilidad se debería considerar aspectos como la exposición, fragilidad y resiliencia, elementos que el escenario de Cenepred no explica con claridad (CENEPRED, 2014).

En la Figura 21, se observa el mapa de Identificación del Elemento Expuesto, el cual identifica el color rojo como un nivel muy alto, el color naranja como un nivel alto, el color amarillo como un nivel medio y el color verde como un nivel bajo. Cabe aclarar que los niveles de mapa de Identificación del Elemento Expuesto [vulnerabilidad] establecidos están basados en un criterio subjetivo planteado por los especialistas de Cenepred y debido a esto es posible que se encuentren diferencias entre instituciones al realizar los mismos estudios.

En la Figura 21, se observa el predominio del nivel medio, alto y muy alto en la mayor parte de la metrópoli, mientras que el nivel bajo se concentra en Lima Centro.

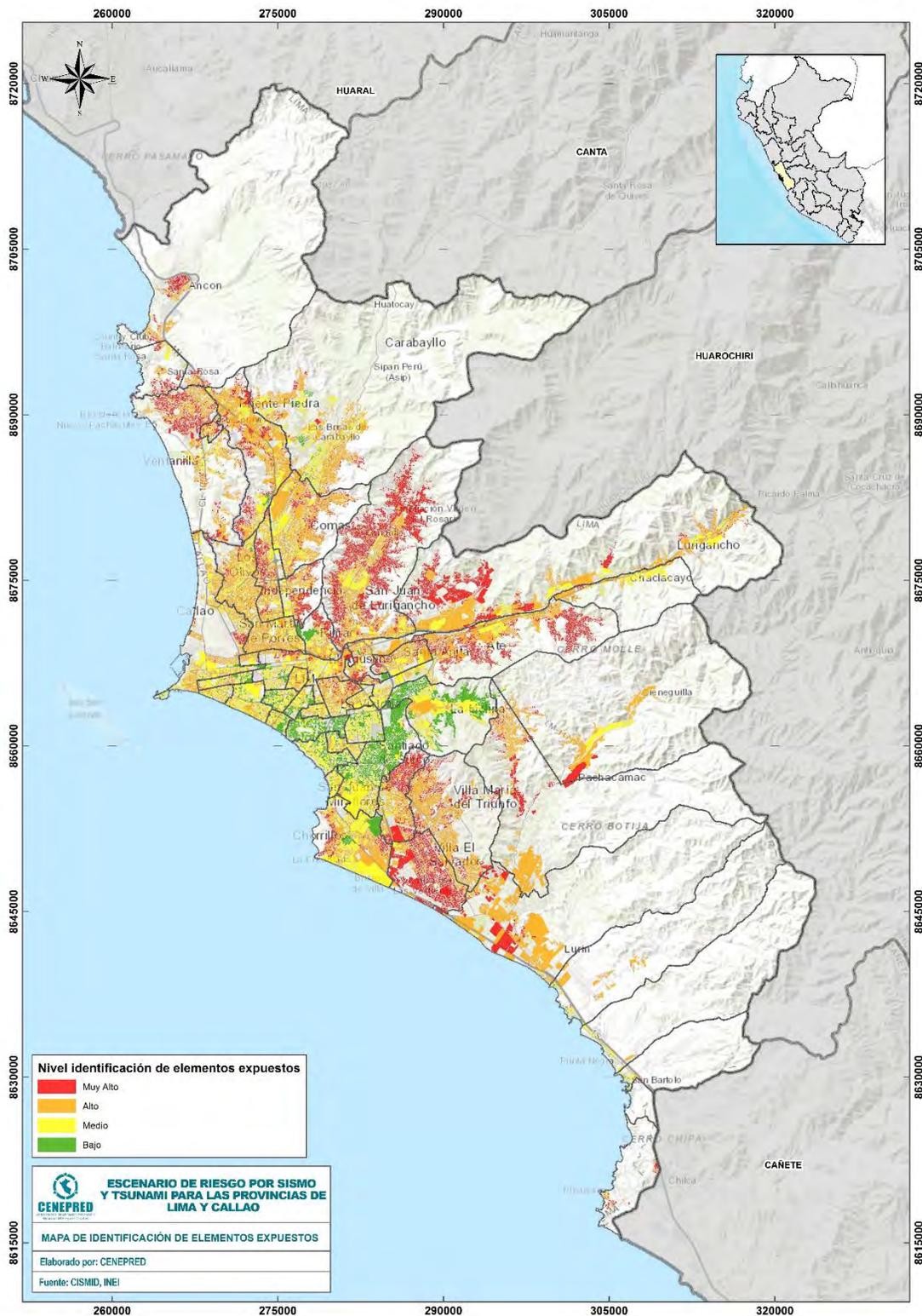


Figura 21. Mapa de Identificación del Elemento Expuesto. Obtenido de Cenepred, 2 020.

La tercera etapa consistió en determinar el Mapa de Escenario de Riesgo por Sismo para la metrópoli de Lima y Callao. La base de este mapa se obtiene interrelacionando a través de un cuadro de doble entrada los resultados de la primera etapa y la segunda etapa, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Resumen de la metodología empleada para obtener el Mapa de Escenario de Riesgo por Sismo.

Nivel de Susceptibilidad por Sismo	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto	Muy alto
	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto
	---	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Nivel de Elementos Expuestos				

Nota. Adaptado de Cenepred 2020.

En este sentido, cada manzana presentará un nivel de riesgo determinado por su nivel de susceptibilidad [peligro] ante un sismo y su nivel de elementos expuestos [vulnerabilidad]. De la tabla 9, se observa que, si ambos niveles son bajos, se tendrá un riesgo bajo, pero si alguno de los niveles es muy alto, se tendrá también como resultado un riesgo muy alto.

En la Figura 22, se observa el Mapa del Escenario de Riesgo por Sismo, el cual presenta únicamente el nivel medio, alto y muy alto, debido a que en la metrópoli de Lima y Callao no se ha identificado un nivel de riesgo bajo. Adicionalmente, se presenta la leyenda del mapa aludido en la tabla 9, el cual se encuentra descrito por la aceleración del suelo, densidad poblacional, ingresos per cápita y la probabilidad de generar daño severo o colapso en edificaciones que prescindieron de las recomendaciones de la normativa peruana vigente para construcción y diseño.

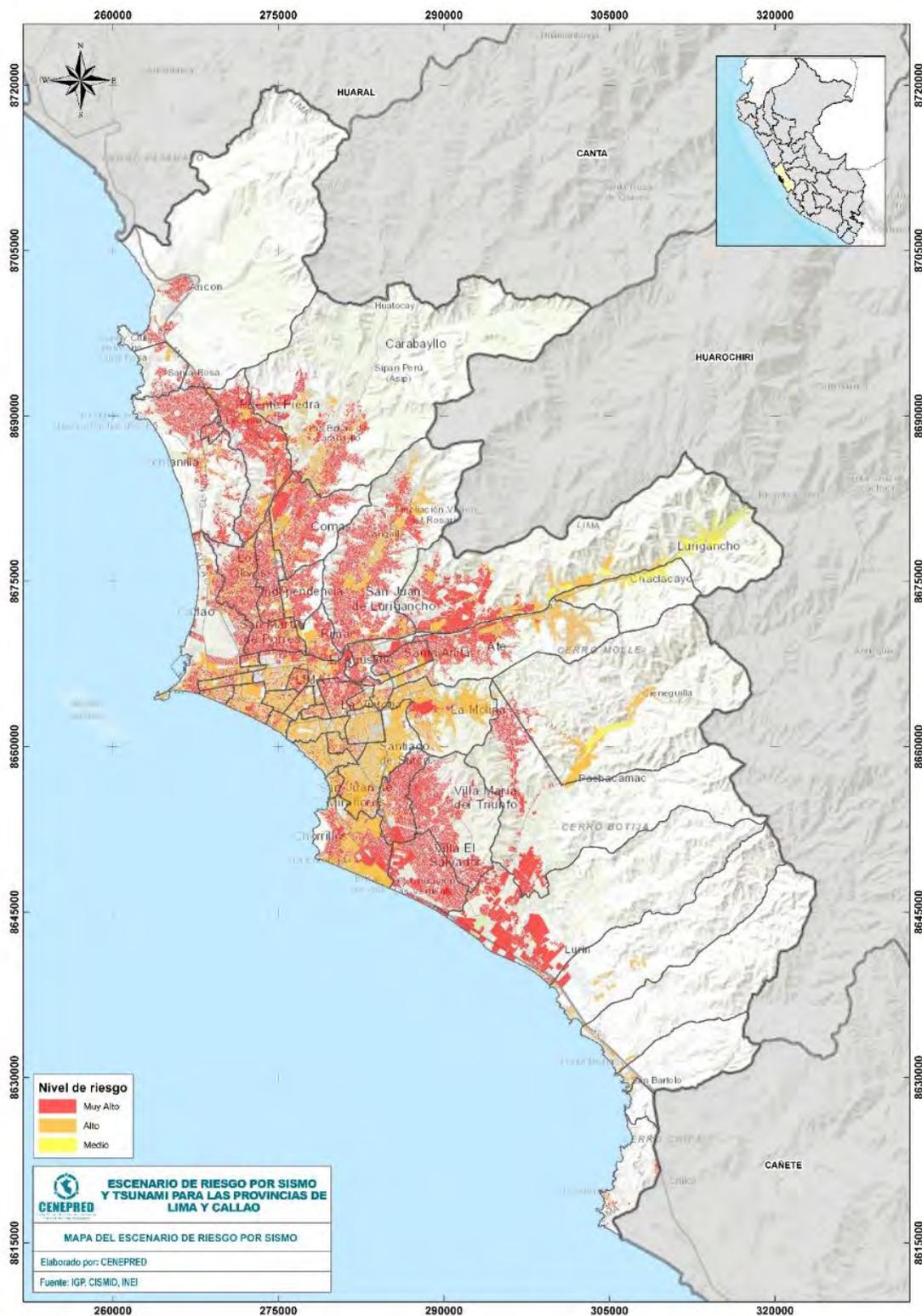


Figura 22. Mapa del escenario de riesgo sísmico para Lima y Callao. Obtenido de Cenepred, 2020.

Tabla 10

Leyenda del Mapa de Escenario sísmico para la metrópoli de Lima y Callao.

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

Nota. Obtenido de Cenepred, 2020.

Del escenario de riesgo presentado por Cenepred en la Figura 22, se obtiene que el 75% de la población Limeña está expuesta a un riesgo muy alto, 24% a un riesgo alto y solo el 1% a un riesgo medio. De manera similar, para la provincia de Callao se obtiene que el 83% de la población está expuesta a un riesgo muy alto y el resto de la población presenta un riesgo alto. Cabe destacar que ni Lima ni Callao presentan zonas con nivel de riesgo bajo.

Es importante indicar que los niveles son establecidos por criterios de los especialistas de Cenepred, por lo que otros profesionales pueden obtener valores diferentes. Así mismo, para este escenario se presentan niveles de riesgo medio para la metrópoli, esto podría resultar en una falsa percepción del riesgo ante el escenario de sismo estudiado.

Así mismo, las redes de suministro de agua en las laderas de Lima se verían afectadas por peligros geológicos como desprendimiento de rocas, derrumbes, etc. y además que este suministro depende de energía eléctrica para ser bombeado a las zonas altas de la ciudad; dicha energía también se verá afectada luego de un sismo, por lo que el abastecimiento de agua en las laderas por parte de Sedapal tardará aun más tiempo. Esta información se debe tener en cuenta para implementar el sistema de abastecimiento de agua post sismo, ya que en estas zonas se debería considerar la probabilidad de mantener el abastecimiento de emergencia más tiempo hasta que Sedapal repare sus instalaciones.

3.6.2 Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8,8 Mw.

En este apartado se muestran los principales resultados del estudio realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en el año 2017. En ese sentido, esta investigación de INDECI tuvo como objetivo proponer y evaluar el escenario más crítico de riesgo por sismo y tsunami en Lima Metropolitana y Callao (INDECI, 2017).

De manera general, se realizó el análisis del peligro sísmico y la vulnerabilidad a nivel de Lima Metropolitana y Callao, para luego, en base a esta información, elaborar el mapa riesgo por sismo para Lima Metropolitana y Callao. Para un mayor detalle, se expone la metodología propuesta por INDECI.

En primer lugar, se realiza el análisis de peligro sísmico a nivel de Lima Metropolitana y Callao. En tal sentido, INDECI propone parámetros que ayudan a estimar el peligro sísmico, los cuales son: tipo de suelo, aceleración del suelo, amplificación del suelo y periodo dominante de vibración del suelo. Para el caso del tipo de suelo, se utilizó el mapa de zonificación sísmica-geotécnica elaborada por el CISMID e IGP, el cual identifica los tipos de suelo en relación con la norma E.030 y permite hallar el factor de amplificación y periodo de vibración del suelo. Para las aceleraciones del suelo, se utilizó el mapa de aceleraciones elaborado por Pulido para sismos de magnitud 8.8Mw. Así, con la información anterior, INDECI propone el siguiente mapa de peligro sísmico para Lima Metropolitana y Callao el cual se observa en la Figura 23.



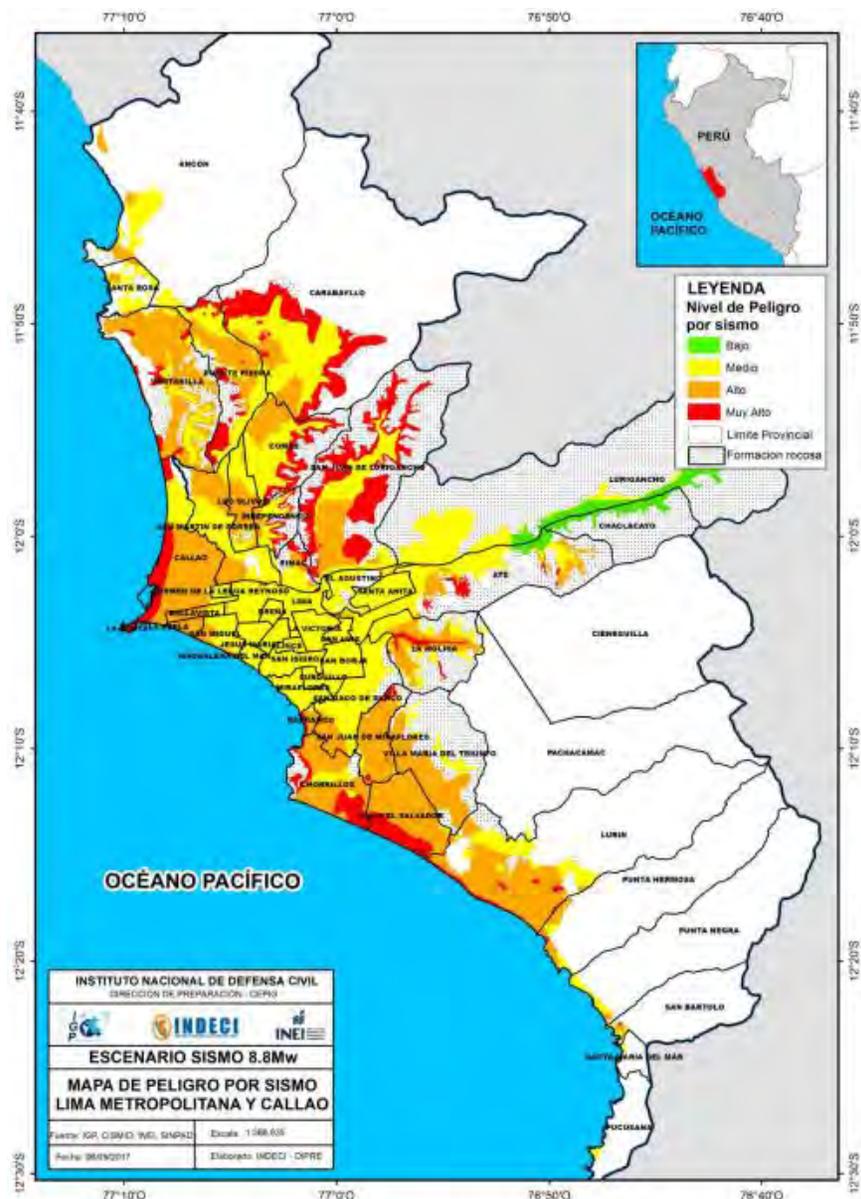


Figura 23. Mapa de peligro sísmico para Lima Metropolitana y Callao. Obtenido de INDECI, 2 017.

La Figura 23 establece 4 niveles de peligro entre bajo, medio, alto y muy alto donde los distritos ubicados en los extremos norte y sur de Lima, tales como Carabayllo, Comas y San Juan de Lurigancho, tienen un peligro muy alto, mientras que los distritos de Lima centro, tales como Lima, La Victoria y Lince, tienen peligro medio. Es importante señalar que los niveles son establecidos por criterios de los especialistas de INDECI, por lo que otros profesionales pueden obtener valores diferentes. Así mismo, para este escenario se presentan niveles de peligro bajo para la metrópoli, esto podría resultar en una falsa percepción del peligro ante el escenario de sismo estudiado.

En segundo lugar, se analiza la vulnerabilidad presente en Lima Metropolitana y Callao. Para esto, INDECI hace uso de los parámetros de vulnerabilidad física, social y económica. En el caso de vulnerabilidad física se analiza el tipo de pared (ladrillo, piedra, adobe, quincha, etc.) y el tipo de techo (concreto armado, madera, tejas, etc.). Así también, la vulnerabilidad social se pondera directamente de la densidad poblacional y, por último, la vulnerabilidad económica es resultado de analizar el tipo de piso (madera, cemento, tierra, etc.) y los tipos de servicios higiénicos (red pública dentro, red pública fuera, pozo séptico, etc.). La Figura 24 muestra el mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao.

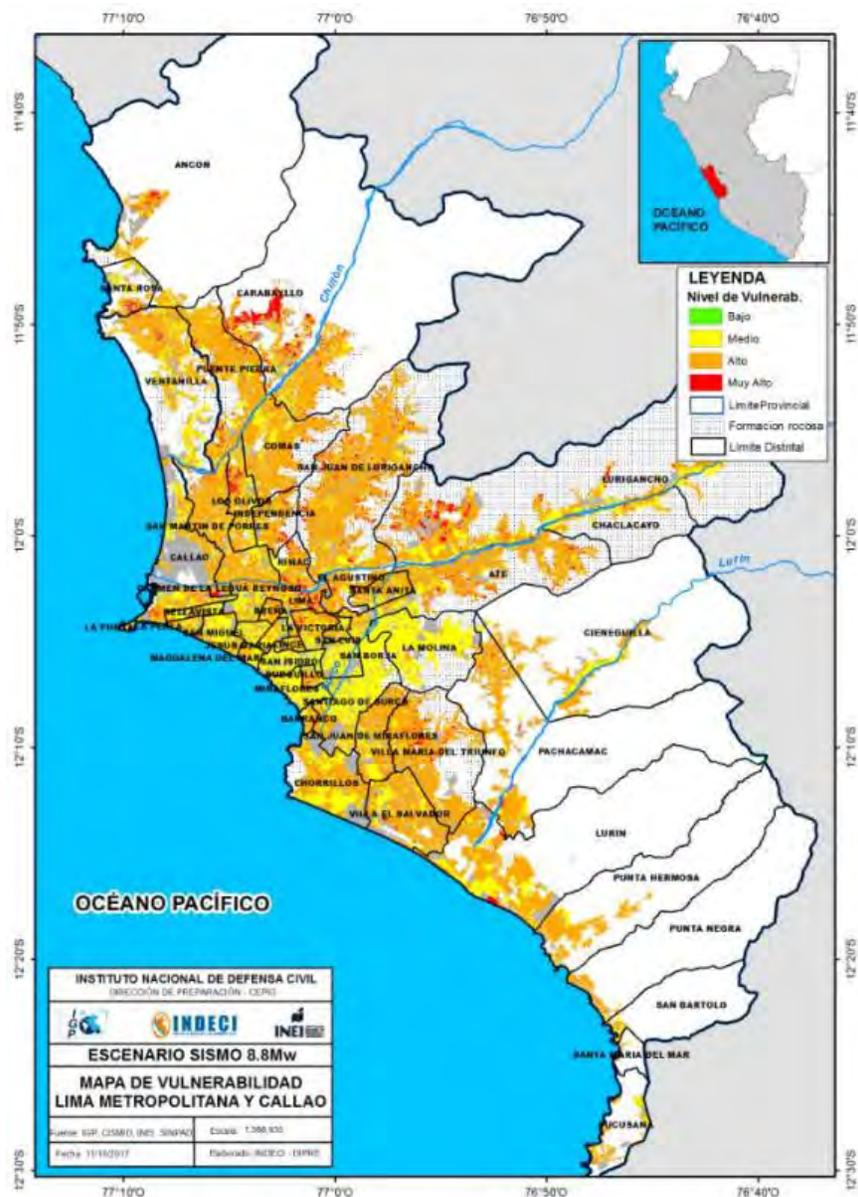


Figura 24. Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao. Obtenido INDECI, 2 017.

Se observa que la vulnerabilidad muy alta se concentra en los distritos de Carabayllo, Santa Rosa, Ancón, Los Olivos, Lurigancho, Lima y otros. Así como, en la zona centro existe una gran cantidad de distritos que presentan vulnerabilidad media, entre estos están La Molina, San Borja, San Isidro, Surquillo, Miraflores, entre otros. En contraste con los distritos que presentan una vulnerabilidad baja, representan una cantidad mínima. Es importante indicar que los niveles son establecidos por criterios de los especialistas de INDECI, por lo que otros profesionales pueden obtener valores diferentes.

En tercer lugar, se realiza el análisis de riesgo en Lima Metropolitana y Callao. Para realizar este análisis de riesgo se emplea una matriz de doble entrada, la cual se observa en la Tabla 11.

Tabla 11

Matriz de doble entrada para el cálculo del riesgo sísmico.

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

Nota. Adaptado de INDECI, 2017.

La Tabla 11 muestra dónde sus filas representan el nivel de peligro sísmico y las columnas conforman el nivel de vulnerabilidad física, social y económica.

De esta manera, se obtiene el siguiente mapa de riesgo sísmico de la Figura 25 para la zona urbana de Lima y Callao.

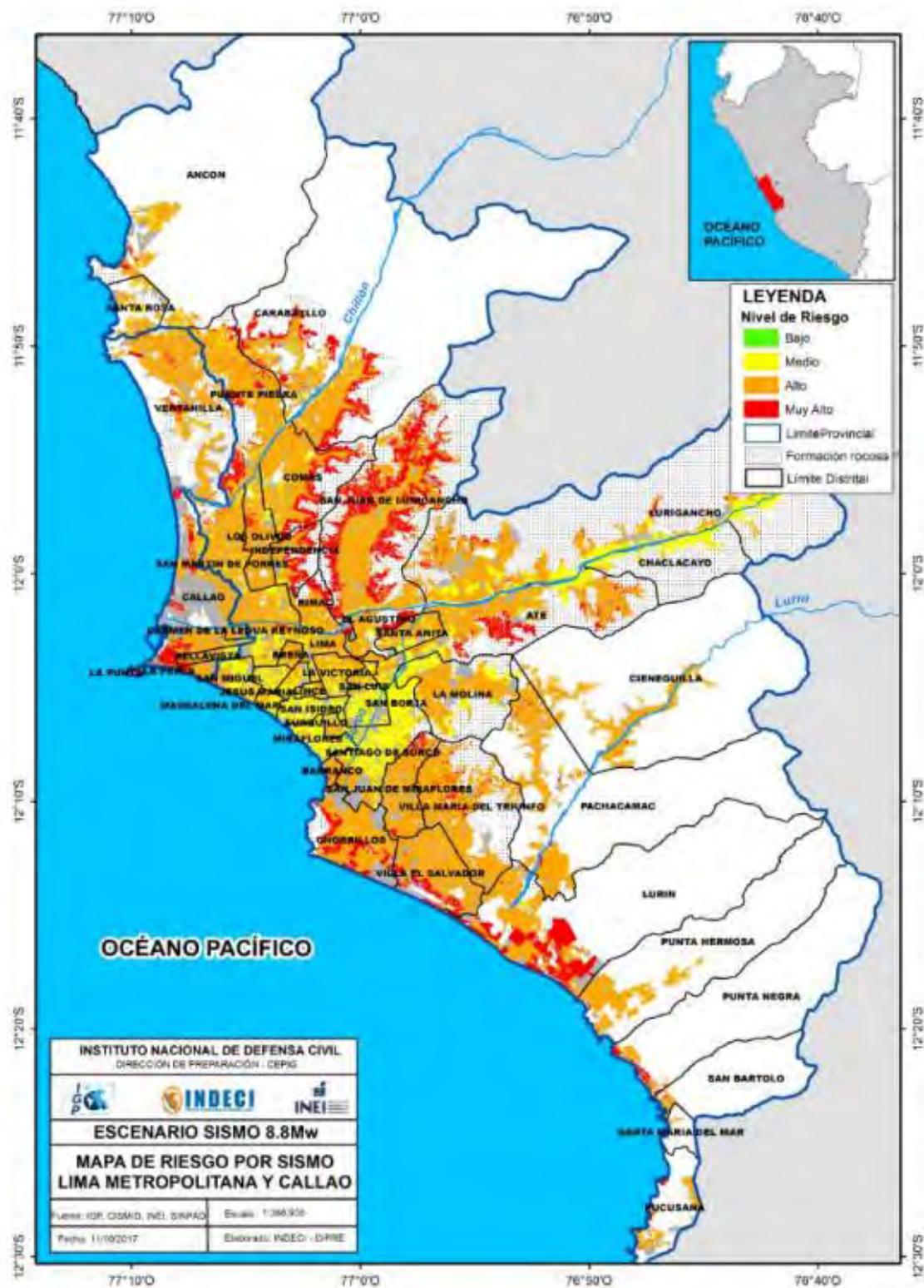


Figura 25. Mapa de riesgo por sismo para Lima Metropolitana y Callao. Obtenido de INDECI, 2017.

En la Figura 25, se observa que los distritos como Puente Piedra, Carabayllo, Comas, San Juan de Lurigancho, La perla, Ate, Chorrillos, Villa el salvador y Lurín presentan gran concentración de áreas con nivel de riesgo muy alto. Es importante indicar que los niveles son establecidos por criterios de los especialistas de INDECI, por lo que otros profesionales pueden obtener valores diferentes. Así mismo, para este escenario se presentan niveles de riesgo bajo para la metrópoli, esto podría resultar en una falsa percepción del riesgo ante el escenario de sismo estudiado.

En cuarto lugar, se realiza el análisis de los diferentes peligros como tsunami, movimiento de masa y licuefacción de suelos que son propensas a suceder ante un sismo de gran magnitud. Para el caso de Tsunami, INDECI sostiene que se tendría más de 300 mil personas y 80 mil viviendas costeras expuestas al peligro

Finalmente, INDECI realiza un análisis del impacto esperado, donde, de suceder un sismo de 8,8 Mw, se estima que la cantidad de fallecidos sería 110 310, como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12.

Impacto en la población y viviendas, según el nivel de riesgo por sismo y tsunami, tomando en cuenta el escenario de un sismo de magnitud 8,8Mw.

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

Nota. Adaptado de INDECI, 2 017.

4 Diagnóstico sobre la situación de la metrópoli de Lima y Callao ante un posible escenario sísmico

Se presenta un análisis y diagnóstico sobre la posible respuesta de la población ante un escenario sísmico y cómo estos resultados pueden ser utilizados en el planteamiento de medidas y soluciones para el problema del abastecimiento de agua en la emergencia. Para ello, se realizó un taller participativo con actores relevantes en el tema de agua y saneamiento en emergencias, una encuesta de percepción de riesgo y dotación de agua a la población de la metrópoli y una visita a algunas instalaciones estratégicas para la atención de la emergencia de la empresa Sedapal. Estas actividades se realizaron como parte del proyecto de investigación PI 0841 denominado “Guía para la construcción de Sistema de Almacenamiento de Agua Potable para uso en Emergencia (SAAPE) para la Metrópoli de Lima y Callao” financiado por el Vicerrrectorado de Investigación con el fondo para el Desarrollo de Proyectos Multi e Interdisciplinarios con Impacto Social - [2022] a cargo de los grupos de investigación GERDIS e IPDESUR, bajo la dirección de la Dra. Sandra Santa Cruz, docente del Departamento de Ingeniería. Los autores de esta tesis participaron en dicho proyecto como asistentes de investigación.

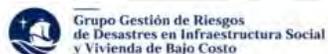
4.1 Taller participativo

El taller "Medidas para el abastecimiento de agua en los primeros momentos de la emergencia post-sismo en la Metrópoli de Lima y Callao" se desarrolló desde las 15:00 - 18:00 horas del día 13 de septiembre del 2022 en la sala de convenciones del Hotel Meliá de San Isidro, Lima, Figura 26. Entre las instituciones participantes están INDECI, Sedapal, CIP, UNICEF, municipalidades distritales de Lima, etc. Ciertamente, debido al contexto sanitario, este evento se realizó cumpliendo los principios del Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú y cumpliendo con los protocolos de bioseguridad contra el COVID-19.



Figura 26. Asistentes al taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

La presentación del taller estuvo a cargo de la investigadora principal del proyecto, Sandra Santa Cruz, y se llevó a cabo según el programa presentado en la Figura 27.



PROGRAMA DEL TALLER		
Hora	Actividad	Descripción
3:00 a 3:15 pm	Recepción	Recepción e inscripción de invitados.
3:15 a 3:45 pm	Presentación	Presentación del proyecto de investigación con impacto social a cargo del equipo PUCP y explicación de la metodología del taller. Presentación de invitados. Conformación de grupos de trabajo.
3:45 a 4:00	Preguntas	Preguntas y comentarios de los participantes sobre el proyecto
4:00 a 4:30 pm	Mesas de trabajo. Parte 1	Diagnóstico colaborativo sobre la dotación de agua potable después del sismo postulado. Preguntas: ¿Cuál sería el escenario después de un sismo de Mw=8.78 en la metrópoli de Lima y Callao? ¿Cuál sería el tiempo de reacción para la dotación de agua a la población afectada?
4:30 a 4:45 pm	Coffee Break	Coffee Break
4:45 a 5:30 pm	Mesas de trabajo. Parte 2	Posibles medidas sobre dotación de agua post-sismo en el ámbito vecinal o de barrio. ¿Cuáles son los factores del entorno relevantes en la determinación de soluciones al problema de dotación de agua post-sismo? ¿Cuáles son las características que debe cumplir la solución propuesta por el equipo PUCP para que sea replicada por la comunidad? ¿Cuáles son las condiciones del entorno social, económico, normativo, legal, etc. que deben adaptarse para implementar una solución como la planteada?
5:30 a 6:00 pm	Sesión plenaria	Los grupos exponen sus trabajos y se proponen algunas conclusiones del taller
6:00 a 6:15 pm	Entrega de Certificados	

Figura 27. Programa del taller. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

Se formaron 3 mesas de discusión (Figura 28) y se trabajaron con los mapas adaptados de la Figura 47, Figura 56 y otros adicionales. Los objetivos según la invitación realizada por el grupo GERDIS fueron:

(1) Coproducir un diagnóstico sobre la dotación de agua potable en los primeros momentos después de un sismo de $M_w=8,8$ y (2) determinar colaborativamente posibles medidas en el ámbito vecinal o de barrio para la dotación inmediata de agua apta para el consumo humano, de manera articulada con los planes de emergencia existentes (GERDIS, 2022).



Figura 28. Mesa de trabajo discutiendo acerca de las interrogantes planteadas en el taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

Después de discutir las preguntas en las mesas de trabajo organizadas en 2 partes como indica el programa, Figura 28, se designó a un integrante por mesa para presentar las conclusiones de su respectiva mesa, tal como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Exposición de las conclusiones por parte de un integrante por mesa. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

Finalmente, de las presentaciones de las 3 mesas de trabajo, se obtuvieron las siguientes ideas:

- Los especialistas de Sedapal e INDECI confirmaron que la información presentada en el Escenario de riesgo por sismo de Cenepred 2 020 corresponden a cálculos gruesos. También indicaron que el desabastecimiento de agua potable podría durar 2 semanas como mínimo, pero consideran correcto establecer como 3 días la duración de los primeros momentos de la emergencia hasta que los protocolos de Sedapal y otras instituciones se activen.
- El especialista de Sedapal validó la lista de estructuras que soportarían un sismo de 8,5 Mw que presenta Sedapal en su página web y aclaró que esa información no se basa en un análisis sísmico y estructural que lo respalde.
- De plantearse como solución al desabastecimiento un sistema de tanques que requiera ser alimentado por Sedapal, se necesita coordinar directamente con Sedapal o se convertiría en una estructura inservible como punto de abastecimiento.
- El representante de Sedapal cree que la solución ante el desabastecimiento planteado es que cada casa cuente con un tanque en casa, el cual pueda ser financiado por parte del estado como una política de prevención.

- Ante el escenario de sismo planteado, a nivel de socorro de heridos, sería la población a través organizaciones vecinales los que actúen de manera más rápida empezando por sus propios barrios. Después de ello, a nivel de socorro de heridos, rehabilitación y soporte en general, sería INDECI quien actúe de manera más rápida, pues se prevé que se unan muchos voluntarios.
- Ante el escenario de sismo planteado, se sugiere que todas las municipalidades distribuyan por completo su almacén de víveres y agua.
- Es posible distribuir agua segura durante el desabastecimiento.
- INDECI es de los organismos que probablemente sea más rápido y prevén que se unan voluntarios.
- Ante la emergencia, se tiene que aprobar decretos supremos de emergencia que evite que la ayuda humanitaria se estanque debido a la burocracia.



Figura 30. Final del taller participativo. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

4.2 Encuestas

Se realizaron 2 encuestas: la primera fue realizada el 13 de septiembre del 2022 a 21 personas invitadas al taller participativo y la segunda fue realizada a través de la encuestadora Datum Internacional a 1 123 hombres y mujeres mayores de edad de todos los niveles socioeconómicos residentes (un año o más) en Lima Metropolitana y Callao entre el 04 y 12 de octubre del 2022. Para mayor detalle, en la Tabla 13, se presenta un resumen de la ficha técnica de la encuesta aplicada por Datum Internacional.

Tabla 13

Resumen de la ficha técnica de la encuesta aplicada por Lima Cómo Vamos

Ítem	Descripción
Ámbito de estudio	Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao
Población objetivo	Hombres y mujeres, de 18 a más años, de todos los niveles socioeconómicos residentes (un año o más) en Lima Metropolitana y Callao.
Marco muestral	Población electoral correspondiente a las Elecciones Generales 2021. Se utilizan también los indicadores demográficos e información cartográfica del Censo de Población y Vivienda INEI 2017.
Tipo de estudio	De tipo cuantitativo. Se aplicaron encuestas presenciales (cara a cara) en el hogar, asistidas por dispositivos móviles (CAWI).
Aplicación de campo	Entre el 04 y 12 de octubre de 2022
Tipo de muestreo	Probabilístico, polietápico, estratificado, aporportional al tamaño poblacional en cada estrato. La muestra asignada en el interior de cada zona fue distribuida proporcionalmente a los dominios: sexo y edad. Para la selección del entrevistado se procedió con:

Ítem	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> - Sorteo aleatorio de mapas (UPM), lo que nos define la zona de trabajo. - Selección de viviendas (USM), de manera sistemática. - Elección del entrevistado (UTM), aleatorio en la vivienda.
Tamaño de la muestra	1 123 encuestas efectivas, distribuidas en -Lima norte 221, Lima Centro 230, Lima Sur 227, Lima Este 217, Callao 228.
Error	Para cada zona de Lima y Callo se presenta un error de $\pm 6.6\%$, mientras que el error total es de $\pm 3.0\%$

Nota. Adaptado de la encuesta realizada para el SAAPE (Datum Internacional, 2022)

En las encuestas aludidas se realizaron las siguientes preguntas compartidas para ambos grupos. Los resultados de la comparación de ambas encuestas se muestran en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33.

Si ocurriera un terremoto de magnitud 8.8 (muy grave), ¿cuáles son las actividades que considera más importantes de hacer en los primeros momentos del hecho? Marca 3 alternativas.

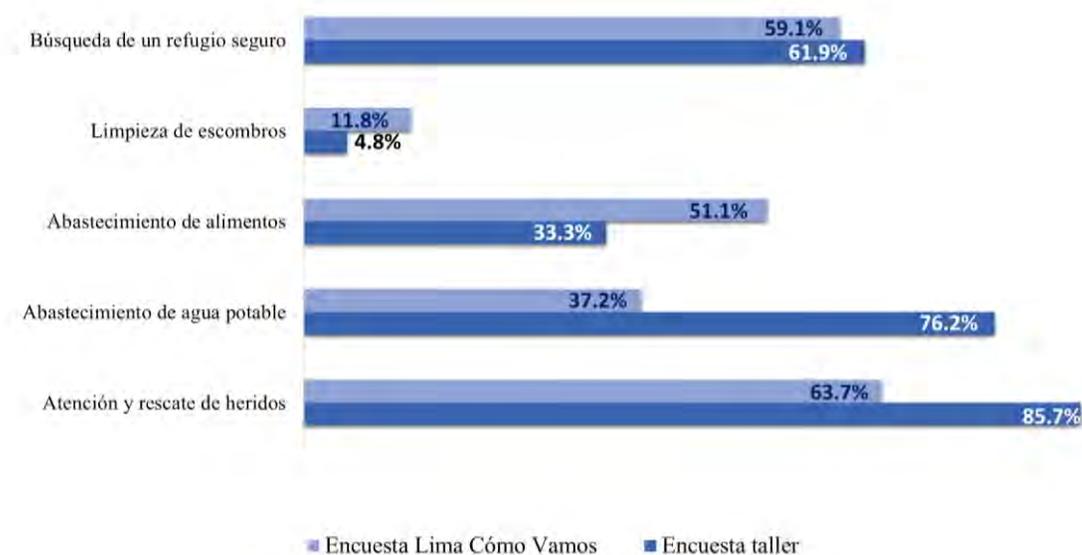


Figura 31. Resultados de la primera pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

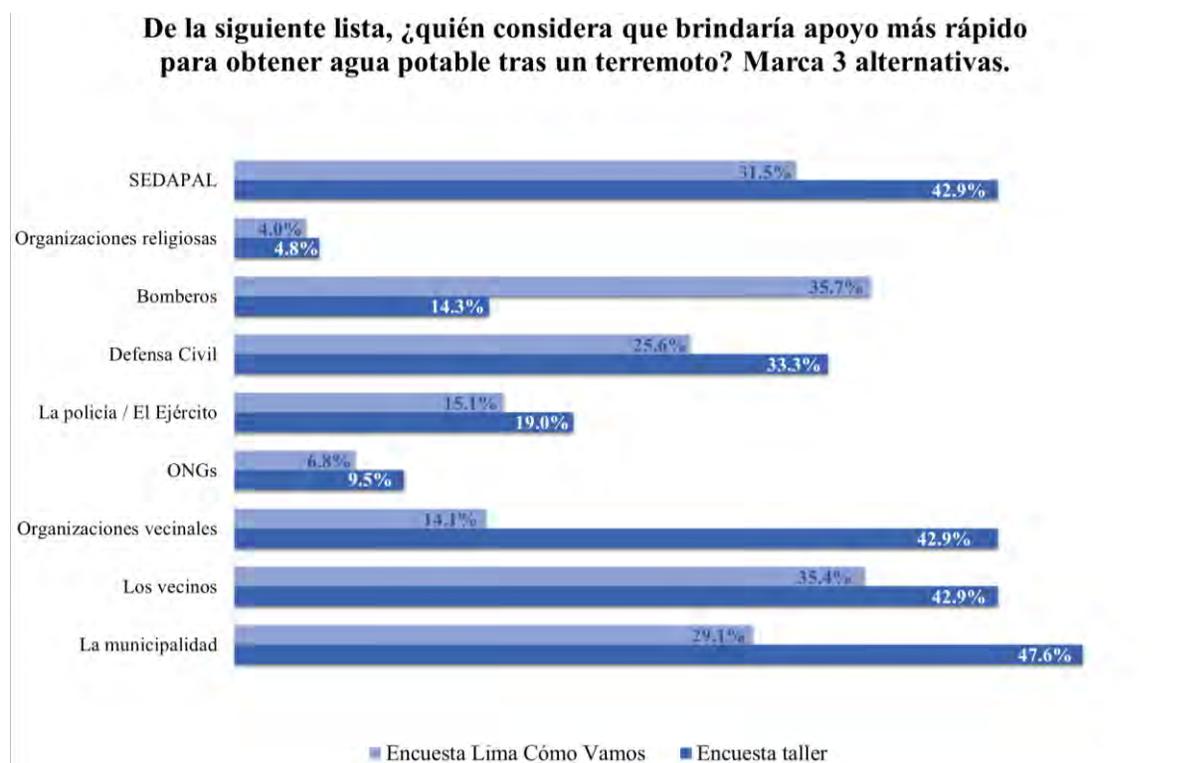


Figura 32. Resultados de la segunda pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

Si se implementara de forma fija una instalación para almacenar y brindar agua inmediata después del sismo, ¿cuál considera que es el mejor lugar para ubicarla? Marca solo una alternativa.

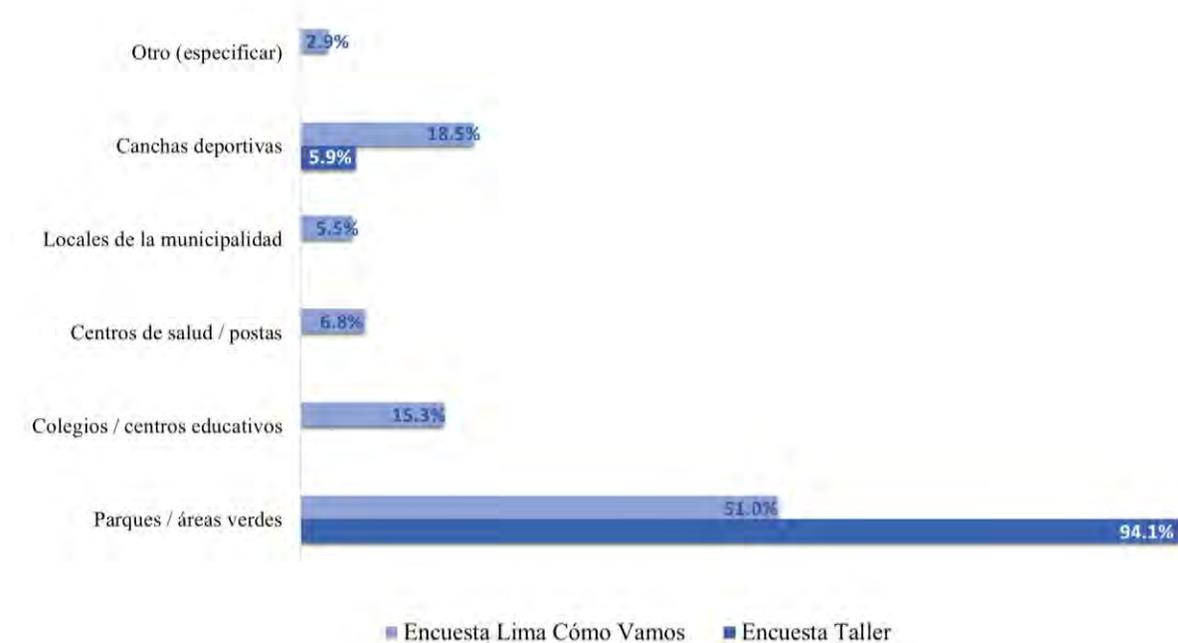


Figura 33. Resultados de la tercera pregunta de la encuesta. Obtenido en el marco del Proyecto PI0841.

De la comparativa de las encuestas realizadas se concluye lo siguiente:

- Se coincide en que la atención y el rescate de heridos es la prioridad. Sin embargo, para el ciudadano es más importante el abastecimiento de alimentos (51,1%) que el de agua potable (37,2%). Mientras que, en el taller, los profesionales invitados reportaron lo contrario.
- La población tiene poca confianza en las organizaciones vecinales para obtener agua potable después de la emergencia planteada y los asistentes al taller creen que la municipalidad actuaría más rápido.
- Se ratifica que la población acepta la ubicación de equipamiento para atención de emergencia en los parques y canchas deportivas.
- Se concluye que los parques o áreas verdes son la mejor opción para ubicar e implementar el sistema de almacenamiento de agua segura y brindar agua inmediata después del sismo.

Adicionalmente, en la encuesta “Lima Cómo Vamos” se realizaron 2 preguntas que no fueron realizadas en la encuesta del taller. Las preguntas y los resultados de la encuesta se muestran en la Figura 34 y Figura 35.

II. RESULTADOS GENERALES

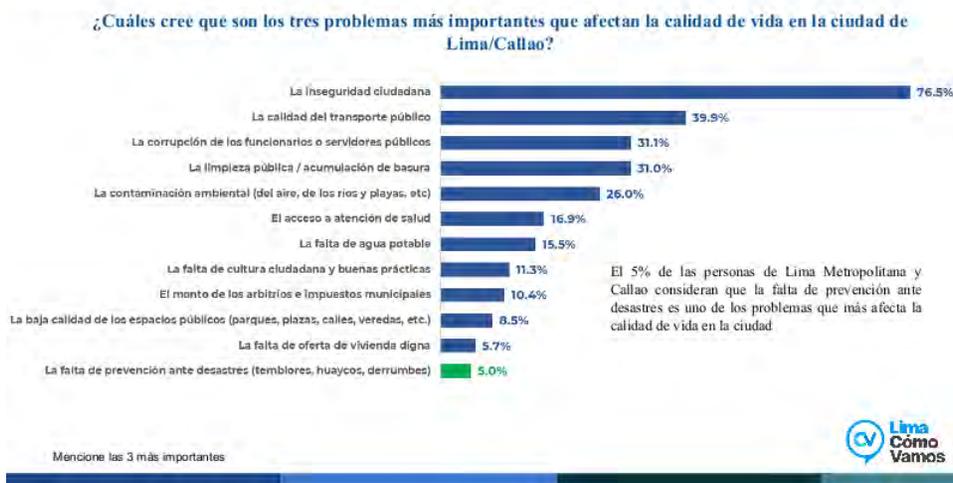


Figura 34. Resultados de la encuesta realizada a personas no especialistas sobre los problemas de Lima. Tomado de la encuesta Lima Cómo Vamos.

II. RESULTADOS GENERALES

¿Cuáles son las características que más valoraría en una vivienda (ideal)?



Figura 35. Resultados de la encuesta realizada a personas no especialistas sobre una vivienda ideal. Tomado de la encuesta Lima Cómo Vamos.

De los resultados presentados en la figura 28 e figura 29, se concluye que la población de la metrópoli de Lima y Callao valora la seguridad ante fenómenos naturales y es consciente de la falta de preparación, pero no la considera un problema prioritario, lo cual también se ve reflejado en las características más valoradas para una vivienda.

4.3 Visita a las instalaciones de Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

El viernes 2 de diciembre del 2022, se realizó una visita pactada a algunas instalaciones de Sedapal que estarían operativas un sismo de 8,5 Mw. La visita se realizó con el objetivo de conocer el funcionamiento de estas estructuras e identificar información clave para mejorar la dotación de agua potable o segura. En esta visita participaron la investigadora principal del proyecto Dra. Ing. Sandra Santa Cruz, el asistente de investigación de arquitectura José Pajuelo, el Ing. Luis Speicher del área de estructuras civiles y la asistente de investigación de ingeniería civil Fresia Tejada, en compañía del Ing. Gustavo Yáñez, que pertenece al área de Desarrollo e Investigación en Sedapal. La visita incluyó un pozo, un centro de rebombeo, un reservorio apoyado y un tanque elevado, de los cuales se describe su operación a continuación:

4.3.1 Pozo Santa Marta (P-827)

El pozo Santa Marta se ubica en el margen del río Rímac en Ate Vitarte y es una estructura tipo pozo que capta agua subterránea mediante bombeo. El agua obtenida mediante este proceso

es conducida por una tubería de aproximadamente 5 metros de longitud y finalmente se potabiliza a través de una bomba de cloro, este proceso se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Tubería de conducción y bomba de cloro. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

El pozo P-827 funciona con un tablero eléctrico, el cual se encuentra diferenciado entre las operaciones con agua y las operaciones con cloro, tal como se muestra en la Figura 37.



Figura 37. Tablero eléctrico de la estructura P-827. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

Como se observa, en la Figura 37, a la izquierda corresponden las manipulaciones con cloro y a la derecha corresponden las manipulaciones con agua. Cabe destacar que este tablero funciona con fluido eléctrico y en las instalaciones del pozo P-827 no se cuenta con un grupo electrógeno, por lo que en una situación de emergencia que implique un corte de fluido eléctrico, este pozo no estaría operativo de manera inmediata.

4.3.2 Centro de bombeo Las Américas (CR-391)

Esta estructura se encuentra en Ate Vitarte, al frente del parque Las Américas. El centro de bombeo Las Américas cuenta con una cisterna enterrada de 370 m³, la cual recibe 50 l/s de agua potable del pozo P-857 y envía mediante bombeo 85 l/s de agua potable a la cámara de distribución y el centro de bombeo CR-446. La cámara de distribución reparte agua potable a las estructuras CR-226, CR-428, R-333 y RP-01. Esta última estructura tiene una capacidad de 150 m³ y abastece mediante gravedad a la cisterna CP-01, la cual, posteriormente abastece mediante bombeo a la estructura RP-02 que tiene una capacidad de 150 m³ aproximadamente. El proceso finaliza cuando las estructuras RP-01 y RP-02 abastecen a la población aledaña de Ate Vitarte mediante las tuberías que funcionan mediante gravedad. En la Figura 38, se observa el esquema explicado previamente.

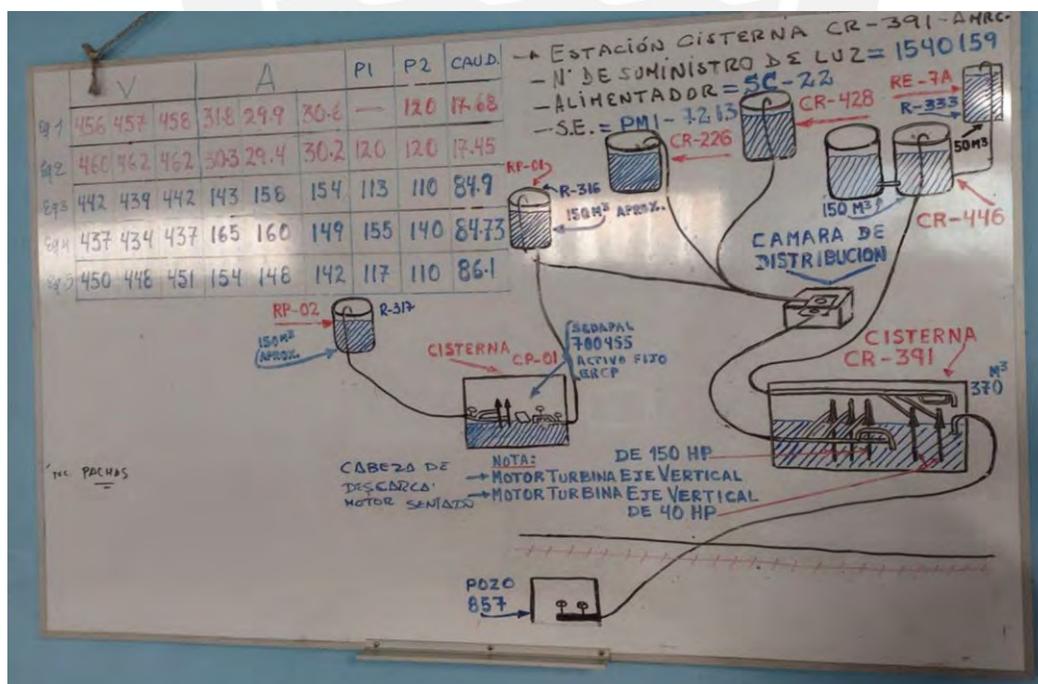


Figura 38. Esquema de distribución del centro de bombeo Las Américas CR-391. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

Es importante mencionar que esta estructura cuenta con grupo electrógeno, por lo que en una situación de emergencia sería capaz de proveer de abastecimiento de agua potable de manera inmediata.

4.3.3 Reservorio apoyado Santa María

Esta estructura es un reservorio apoyado ubicado en el distrito de Carabayllo, en el sitio denominado Monte de Dios. Tiene una capacidad de 3000 m³ y es abastecida por la planta de tratamiento del río Chillón. En la Figura 39, se observa el reservorio apoyado con sus tuberías de desfogue y bombeo.



Figura 39. Reservorio apoyado Santa María. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

La operación de este reservorio es únicamente mecánica, sin intervención de fluido eléctrico, por esta razón, este sería una estructura que estaría operativa para dotar de agua potable a la población, con la salvedad de que se encuentra en un lugar de disminuida accesibilidad, como se muestra en la Figura 40.

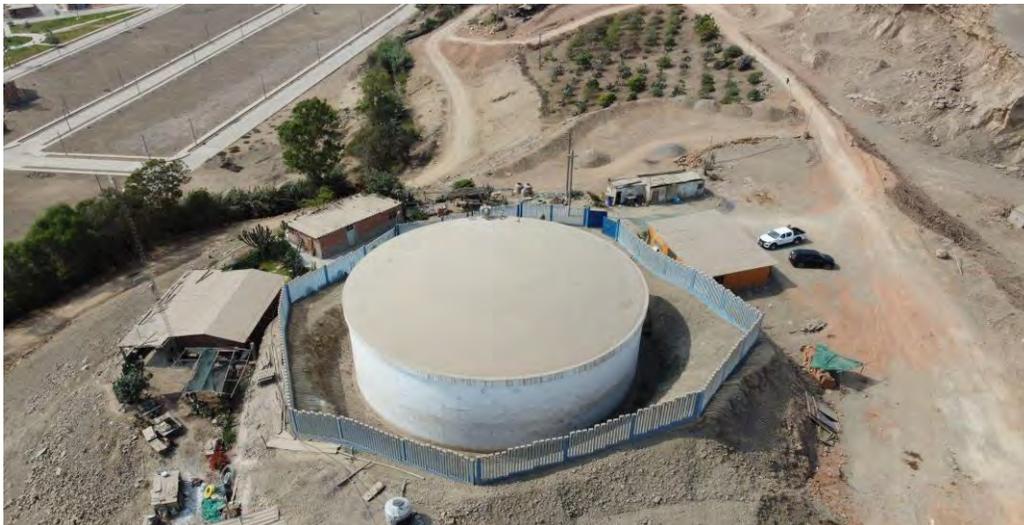


Figura 40. Reservorio apoyado Santa María, ubicado en el monte de Dios, Carabayllo. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

4.3.4 Tanque elevado (CR-059)

Esta estructura se encuentra en el distrito de Lima, en la urbanización Palomino. Dentro del cerco perimetral de Sedapal, se encuentra un pozo inoperativo, el booster CR-417 y el tanque elevado, el cual se muestra en la Figura 41. Es importante mencionar que, según Sedapal, esta estructura no estaría operativa después de un sismo de 8,5 Mw (Sedapal, 2024).



Figura 41. Tanque tubular elevado CR-059. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

Para que el tanque elevado (CR-059) funcione, el booster (CR-417) debe bombear agua potable directamente de la red de tuberías de Sedapal de la calle, este proceso se encuentra esquematizado en la Figura 42. Además, se cuenta con una cámara de presión que regula la válvula de salida del agua según la necesidad de la urbanización Palomino, ello disminuye el caudal de salida cuando se requiera menos agua potable, por ejemplo, durante las noches.

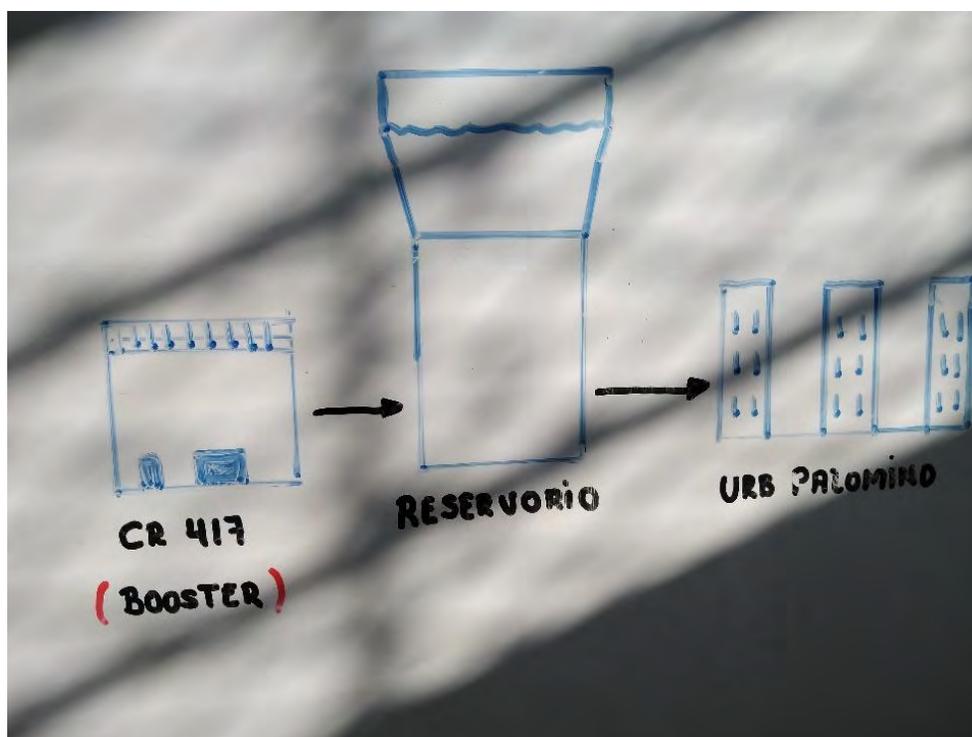


Figura 42. Esquema de abastecimiento de la urbanización Palomino. Obtenida de la visita a Sedapal en el marco del Proyecto PI0841.

De la visita a las estructuras de Sedapal, también se obtuvo información sobre la operación de estas estructuras, la cual está a cargo del consorcio ACEA, quien distribuye su personal para alternar la vigilancia de al menos 3 estructuras al día, por lo que es posible que en algún momento del día, alguna estructura de Sedapal se encuentre sin operador, situación que durante una emergencia puede contribuir al desorden, pues se ha registrado, según comentarios de estos operadores, que la población puede recurrir directamente a solicitarles agua potable. Además, según comentarios de los operadores de ACEA, se puede capacitar a cualquier persona para operar el funcionamiento de pozos, reservorios o centros de rebombeo en un tiempo estimado que varía entre 3 horas y 3 días, según la complejidad del sistema.

5 Desarrollo de la Guía

El proyecto se desarrolló en cuatro fases. La primera, segunda y tercera fase se trabajaron usando como herramienta principal el sistema de información geográfica de software libre QGIS, primero para determinar las zonas abastecidas y no abastecidas ante un escenario de sismo de 8,8 Mw en la metrópoli de Lima y Callao, luego para sectorizar por manzanas según su solución de abastecimiento de agua ante un escenario de sismo 8,8 Mw, después para definir los tipos de tanques a implementar con base en los criterios de factibilidad de tipo de suelo y ambiente marino agresivo. Finalmente, la cuarta fase consiste en la elaboración de una guía mostrando la aplicación de todas las fases previas en un caso de estudio. Es importante indicar que para el desarrollo de la guía se tomaron los resultados del proyecto Japón (CISMID & UNI, 2013) y las conclusiones, recomendaciones y hallazgos del diagnóstico de la situación de la metrópoli de Lima y Callao (Capítulo 4), los cuales se mencionarán más adelante. En la Figura 43, se presenta un diagrama de flujo que resume el proceso de las 4 fases.

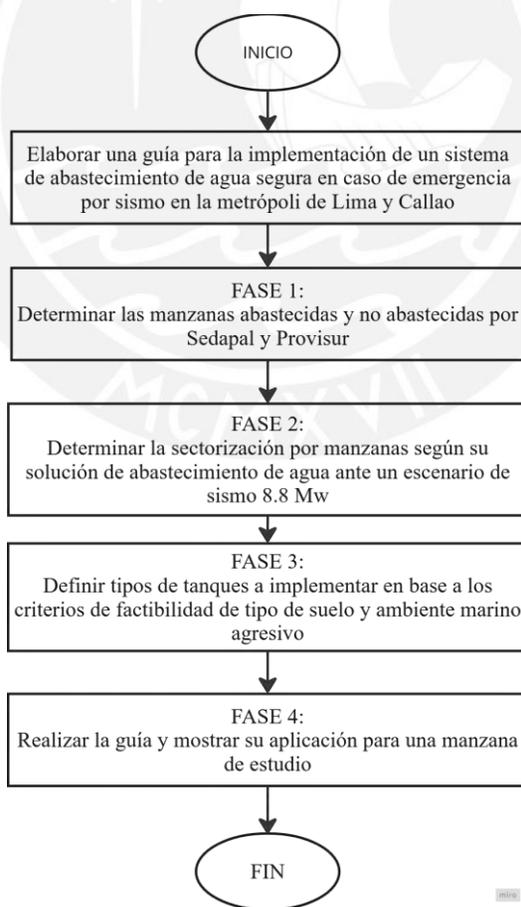


Figura 43. Diagrama de flujo general. Elaboración propia.

5.1 Primera fase: Determinar las zonas abastecidas y no abastecidas por Sedapal y Provisur

El objetivo de esta fase es analizar la situación de abastecimiento de agua potable de las manzanas de la metrópoli de Lima y Callao ante un escenario de sismo de 8,8 Mw. En la Figura 44, se presenta el proceso de la fase 1 que concluye con la obtención del Mapa de manzanas abastecidas y no abastecidas por los puntos de abastecimiento de agua potable de Sedapal y Provisur operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw.

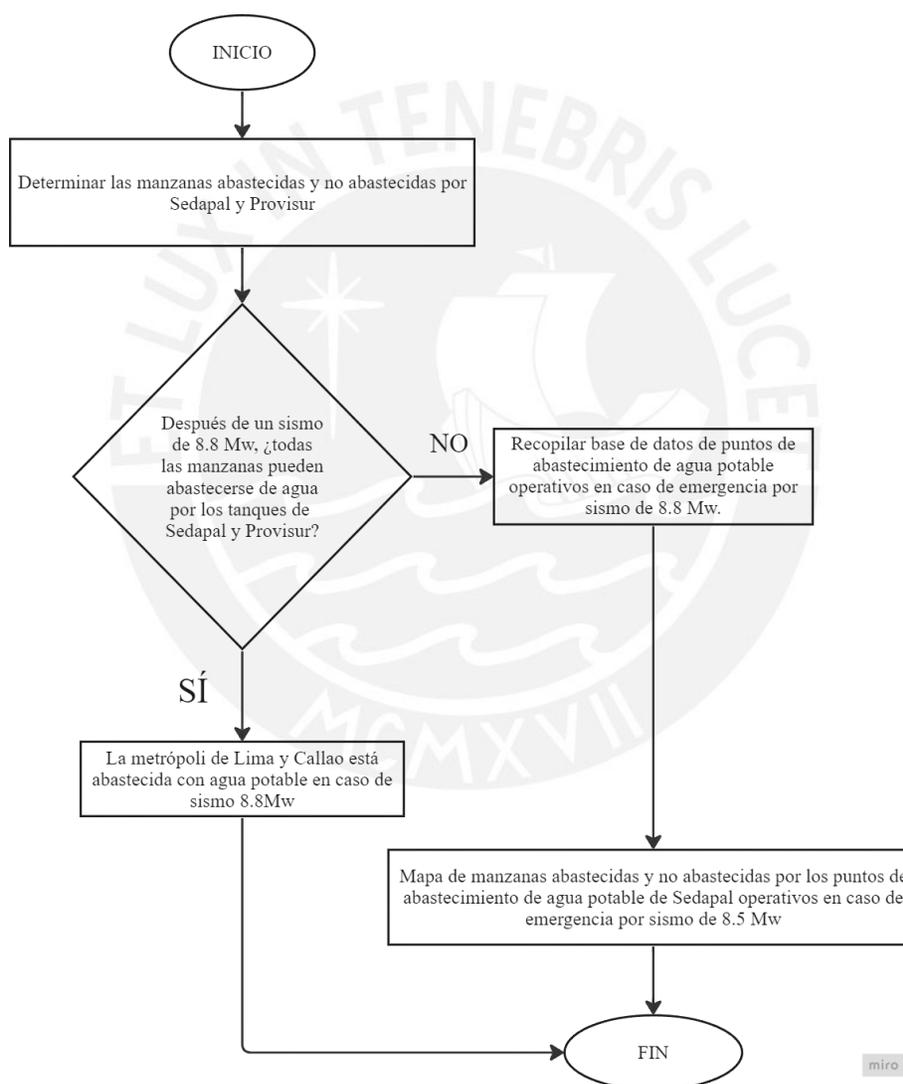


Figura 44. Diagrama de flujo para la primera fase. Elaboración propia.

A continuación, se describe los pasos realizados para el cumplimiento del objetivo de esta primera fase.

Como primer paso, se recolectaron las coordenadas de los puntos de abastecimiento de agua potable, es decir la planta desalinizadora Provisur y los puntos de abastecimiento que según Sedapal soportan un sismo de 8,5 Mw (Sedapal, 2024). Estos puntos fueron validados por el especialista de Sedapal durante el desarrollo del taller participativo del proyecto PI0841. La Figura 45, muestra la distribución de dichos puntos en los diferentes distritos de la metrópoli.

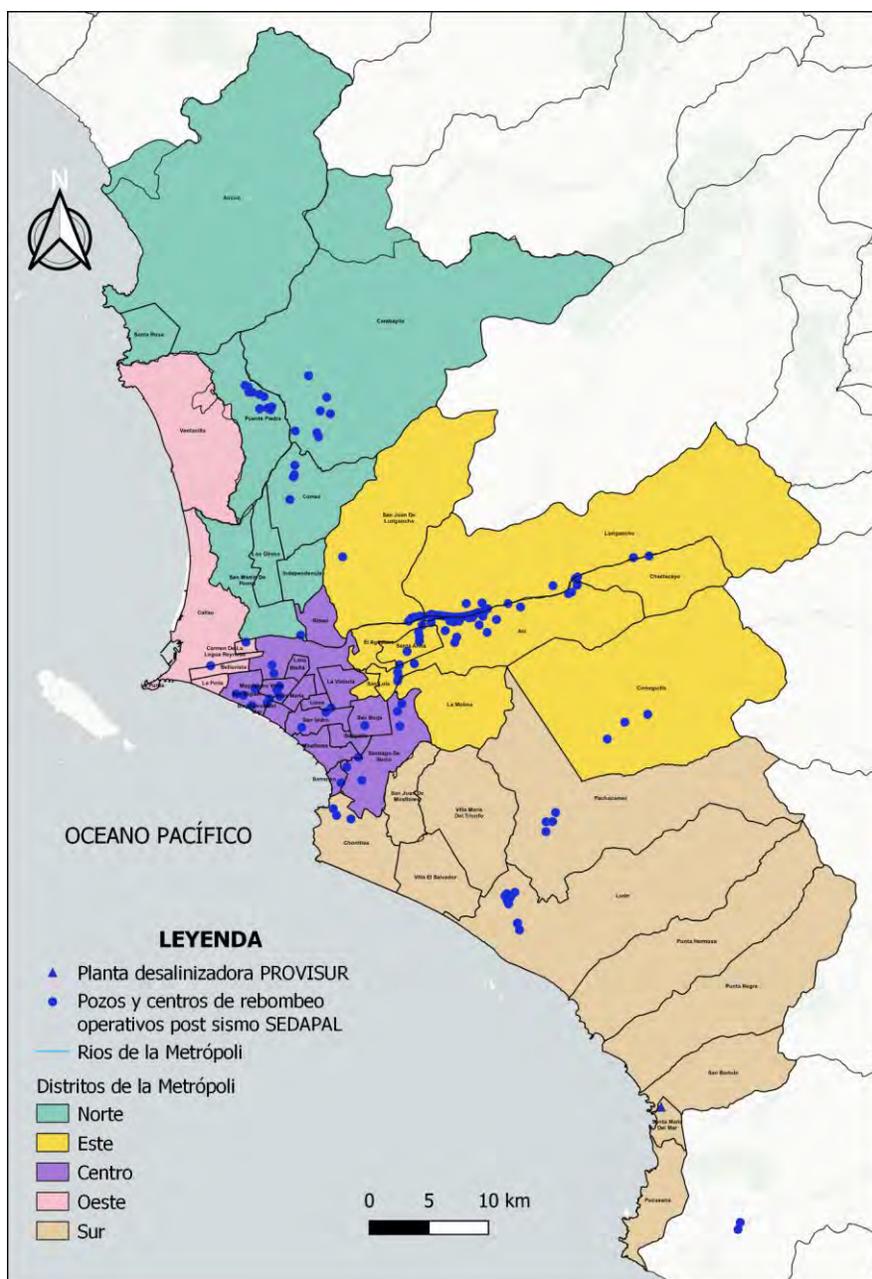


Figura 45. Mapa de distribución de los puntos de abastecimiento de agua potable operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal 2 023.

Se observa que la mayoría de los puntos de abastecimientos están ubicados entre Lima centro y Lima este, esto evidenciaría el desabastecimiento en los extremos norte y sur de la capital peruana frente a un de emergencia por sismo.

Como siguiente paso, es necesario definir el radio de cobertura de un punto de abastecimiento de agua potable. Como se presentó anteriormente, el manual del ACNUR recomienda 100 m y el manual del Proyecto Esfera recomienda 500 m, pero considerando que los primeros momentos de la emergencia duran 3 días (información validada por los especialistas asistentes al taller del proyecto PI0841), se considera razonable que, durante este periodo, es posible mantener un tiempo de recorrido peatonal de 30 min para el caso más desfavorable donde la vivienda sea la más alejada del punto de abastecimiento. Además, según el estudio de variables microscópicas en la velocidad de caminata publicado por la sociedad chilena de ingeniería de transportes, para una muestra de 1440 personas, el percentil 15 presenta una velocidad de 0,85 m/s considerando mal estado de la acera, pendiente moderada entre 3-7% y carga de paquetes (Guío Burgos & Poveda D'Otero, 2015). Con estos datos de tiempo de caminata y velocidad promedio, se obtiene la siguiente aproximación para el caso más crítico, donde la velocidad y el tiempo son los más desfavorables:

$$Distancia = Velocidad \times Tiempo$$

$$Distancia\ maxima\ recorrida = \left(\frac{0,85m}{s}\right) \times (30min) \times \left(\frac{60s}{1min}\right) = 1\ 540m$$

De lo obtenido, 1 540 m es la distancia máxima recorrida por el peatón a través de las calles desde su vivienda hasta el punto de abastecimiento más cercano, pero como el radio de cobertura es una línea recta, se considera una reducción aproximada hasta 1 000 m.

Es importante indicar que estos cálculos corresponden a aproximaciones, mas no a un diseño. Luego, en el programa QGIS, se aplica este radio de cobertura óptimo como radio del *buffer* circular para cada punto de abastecimiento.

Se define “buffer” a la herramienta del programa que permite dibujar un círculo de cobertura, tal como se observa en el área amarilla a partir de un punto. La Figura 46, ejemplifica el caso de un pozo P-448 ubicado en San Borja, al cual se le realizó el buffer circular de 1 000 m representado por el círculo amarillo.

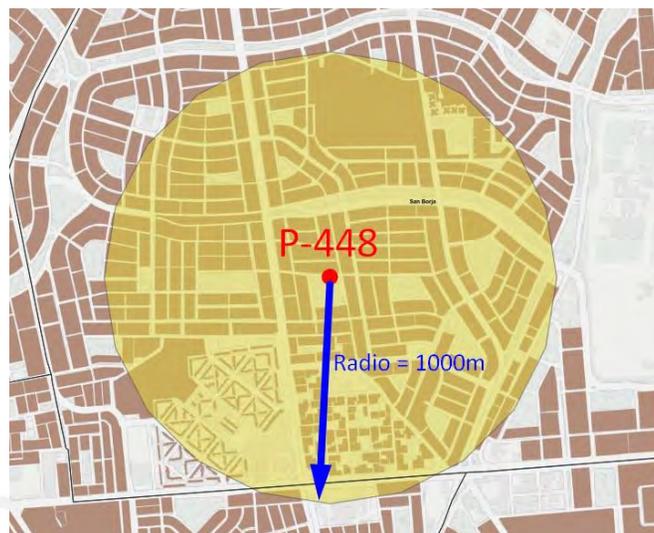


Figura 46. Buffer circular de radio 1 000 m para un punto de abastecimiento. Elaboración propia con datos de INEI 2017 y Sedapal 2 023.

De esta forma, es posible hallar el área de manzanas abastecidas con agua potable en una emergencia por sismo, los cuales vendrían a ser todas las manzanas que son cubiertas por el círculo amarillo mencionado. La Figura 47 muestra el radio de cobertura para los puntos de abastecimiento operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw.

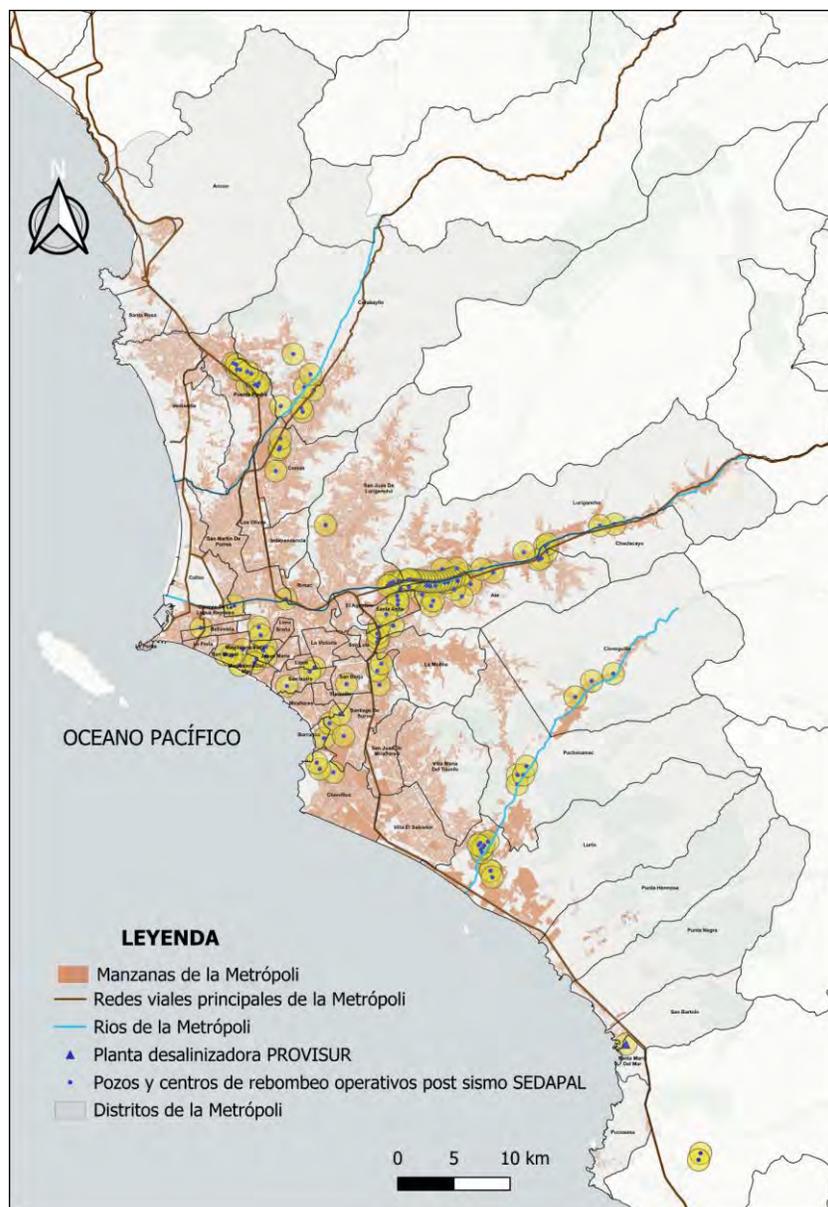


Figura 47. Mapa de buffer circular de los puntos de abastecimiento operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal 2 023.

Adicionalmente, es factible considerar algunas restricciones de accesibilidad hacia los puntos de abastecimiento como ríos y autopistas. El efecto de dichas restricciones sobre un buffer circular es el de separar el área del buffer en área de cobertura y área no accesible, la cual se encuentra del lado del obstáculo ineludible. La Figura 48 ilustra el área no accesible del pozo P-427 debido a la restricción que genera la Panamericana Norte y el río Rímac.



Figura 48. Área de cobertura y área no accesible generada por el buffer del punto de abastecimiento P-427. Elaboración propia con datos de INEI 2 023 y Sedapal 2 023.

El área no accesible debe ser descartada del área del buffer circular porque representa la zona donde la población se encuentra aislada debido a las restricciones de accesibilidad. La Figura 49 muestra el área de cobertura final del punto de abastecimiento P-427 luego de eliminar el área no accesible.

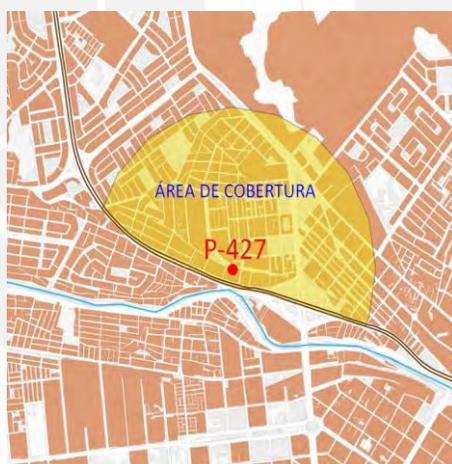


Figura 49. Área de cobertura final del punto de abastecimiento P-427. Elaboración propia con datos de INEI 2 023 y Sedapal 2 023.

Realizando el proceso mostrado para todos los puntos de abastecimiento, se obtiene el área de cobertura total para la metrópoli. En la Figura 50, se evidencia que las áreas de cobertura de los puntos de abastecimiento se ven disminuidas debido a la existencia de la carretera Panamericana y los ríos Lurín, Chillón y Rímac. Se observa, además, que Lima Centro se encuentra mayoritariamente abastecida, mientras que Lima Este se encuentra mayoritariamente

desabastecida, a la vez que Lima Oeste, Lima Norte y Lima Sur se encuentran prácticamente desabastecidas.

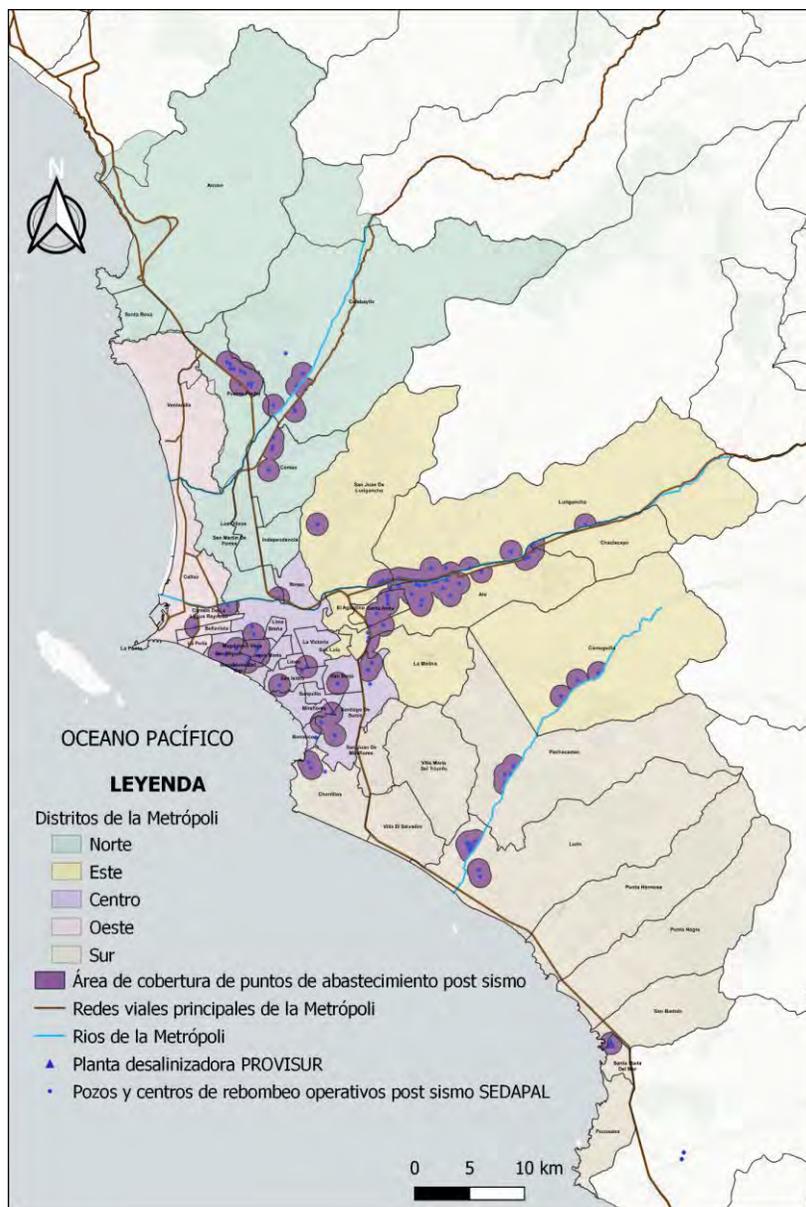


Figura 50. Mapa de áreas de cobertura de los puntos de abastecimiento de agua potable operativos en caso de emergencia por sismo de 8,5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal.

Después de obtener el mapa de áreas de cobertura de los puntos de abastecimiento de agua potable para la metrópoli, se procede a generar el mapa de las manzanas abastecidas y no abastecidas de agua potable en caso de emergencia por sismo en la metrópoli, como se muestra en la Figura 51.

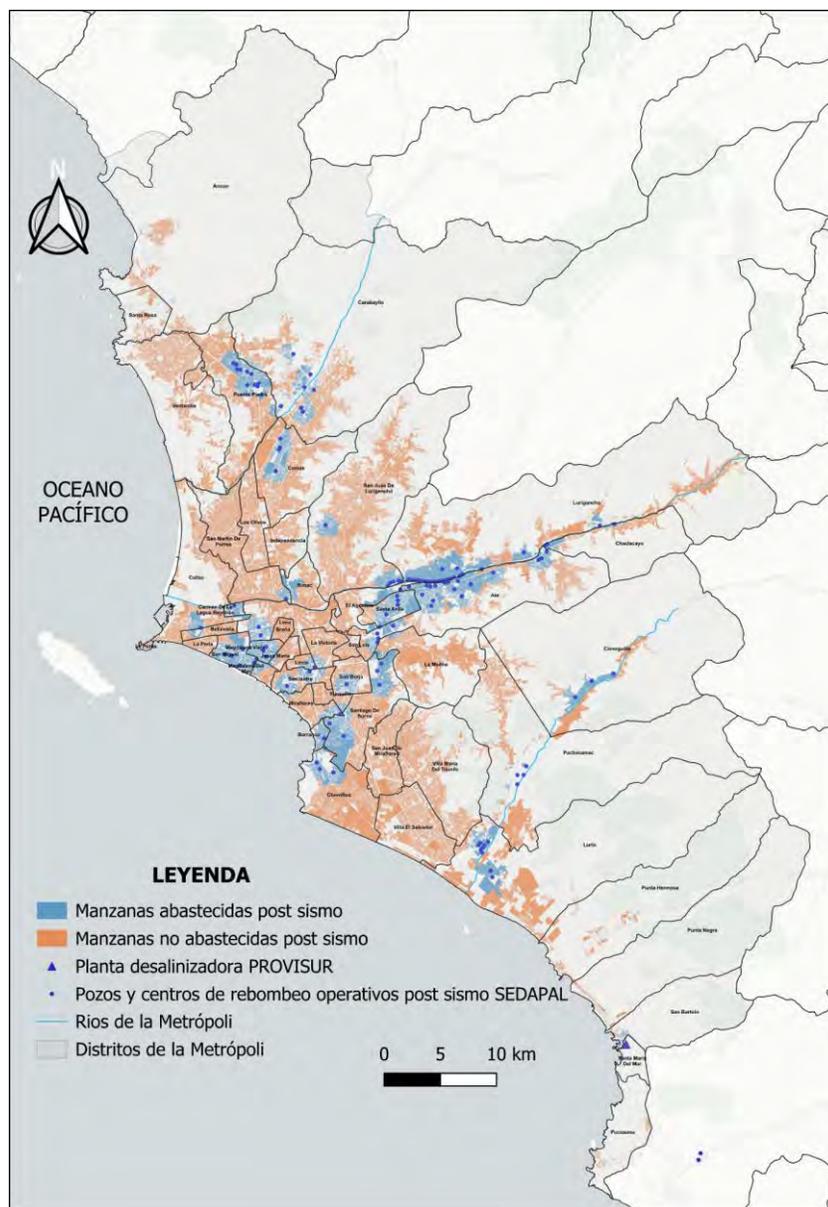


Figura 51. Mapa de manzanas abastecidas y no abastecidas por los puntos de abastecimiento de agua potable de Sedapal y Provisur operativos en caso de emergencia por sismo de 8.5 Mw. Elaboración propia con datos de Sedapal.

Para la obtención de manzanas abastecidas y no abastecidas con agua potable se realizó la intersección entre el mapa de áreas de cobertura, Figura 50, y las manzanas de la metrópoli. Debido a que el estudio es a nivel de manzanas, se considera que una manzana está abastecida de agua potable para el caso donde el área de cobertura interseca la totalidad o parte de esta.

5.2 Segunda fase: Sectorizar según su solución de abastecimiento

El objetivo de esta fase es sectorizar la metrópoli de Lima y Callao según su situación de abastecimiento de agua. Según lo establecido en el taller participativo, los especialistas indicaron que para los primeros momentos de la emergencia se puede usar agua potable o agua segura, por lo cual se disponen de ambas opciones. En la Figura 52, se presenta el proceso de la fase 2 que concluye con la obtención del mapa de sectorización de manzanas según su situación de abastecimiento de agua ante un escenario de sismo de 8,8 Mw.

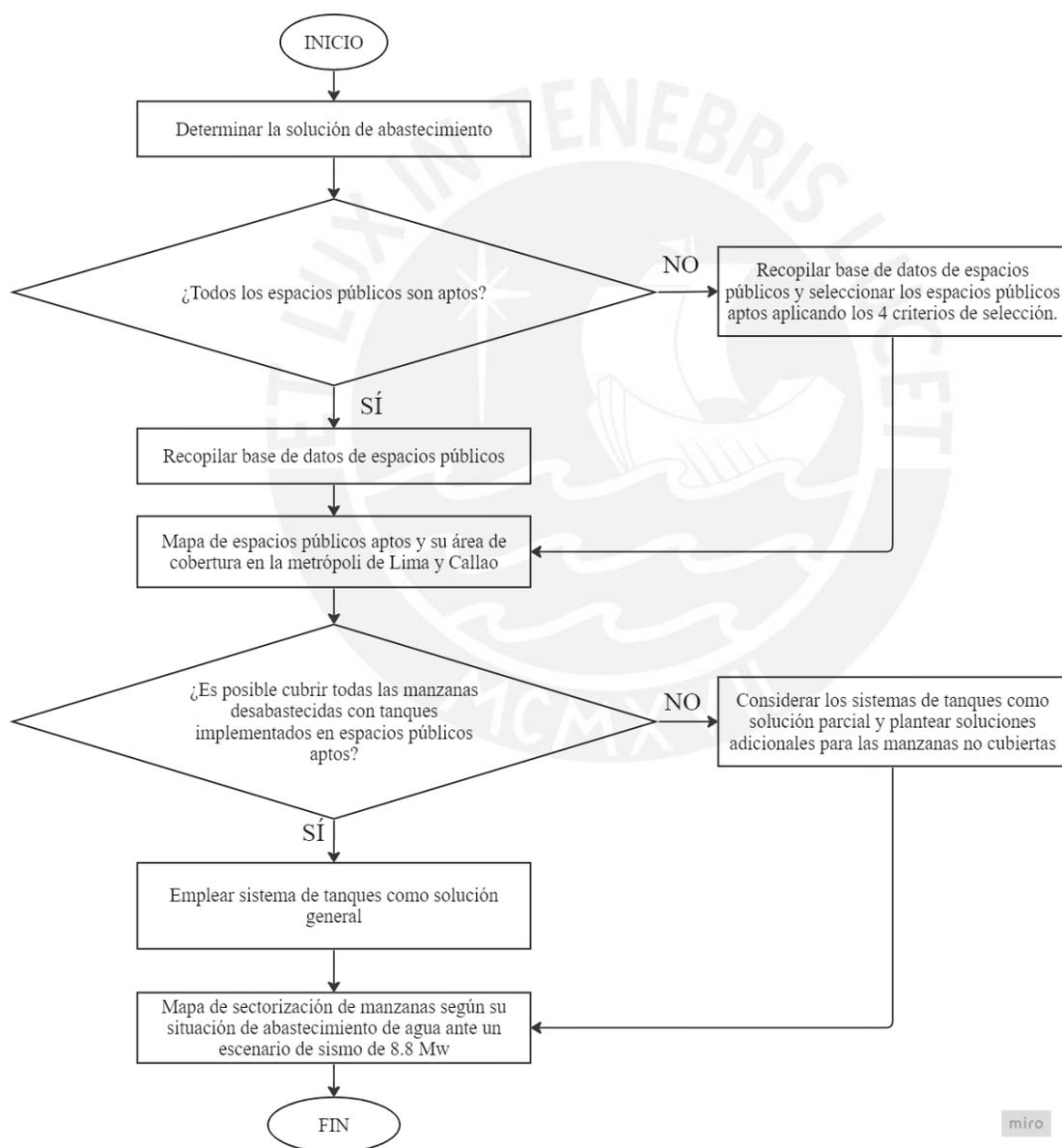


Figura 52. Diagrama de flujo para la segunda fase. Elaboración propia.

A continuación, se describe los pasos realizados para el cumplimiento del objetivo de esta segunda fase.

En primer lugar, se analiza la posibilidad de dotar de agua segura a todas las manzanas no abastecidas de la Figura 51 a través de un sistema de tanques. Para lograrlo, se utilizan los espacios públicos (EP) de la metrópoli como espacio donde se colocará el sistema aludido. Esta idea es factible debido a que el artículo 10° del capítulo II, de la ordenanza para la conservación y gestión de áreas verdes en la provincia de Lima, menciona que “todos los ciudadanos tienen derecho al acceso, uso y disfrute de las áreas verdes de uso público, sin más limitaciones que las derivadas del orden público” (El Peruano, 2021). Además, según las encuestas realizadas a los especialistas invitados y la población, los parques y áreas verdes son la mejor alternativa de ubicación del sistema de abastecimiento.

A pesar de la gran cantidad de espacios públicos disponibles presentados en la Figura 53, primero se debe descartar aquellos que no tengan disponibilidad de uso y estén en zonas de peligros inherentes, es decir deben ser espacios públicos aptos. Para tal fin, se plantean cuatro criterios de selección: Disponibilidad de uso, inundación por tsunamis, microzonificación sísmica-geotécnica y estado post-sismo de las edificaciones aledañas.

En ese sentido, como primer criterio, Tabla 14, presenta la clasificación de los espacios públicos de la metrópoli según su disponibilidad de uso: espacio público óptimo, viable y no viable.

Tabla 14

Espacios públicos y su caracterización según disponibilidad de uso.

Espacios Públicos	Óptimo	Parques y jardines públicos	Los parques y jardines públicos son espacios contemplados en las normativa para el uso de emergencias
	Viable	Estadios, óvalos y plazas	Los estadios, óvalos y plazas, son viables según competencia de cada municipalidad, o convenios con otras organizaciones públicas.
	No viable	Parques Nacionales (zonas intangibles), acantilados	Los parques nacionales, acantilados y similares, son no viables, debido a su cualidad de intangible o peligro alto.

Nota. Obtenido del Proyecto PI0841.

Así mismo, la Figura 53 obedece a la clasificación presentada para los espacios públicos de la tabla 14. De esta figura, se obtiene que el 87% de los espacios públicos disponibles en la metrópoli son óptimos porque son parques o jardines, mientras que el 9% y el 4% son viables y no viables, respectivamente, debido a que son zonas intangibles o que requieren de permisos adicionales.

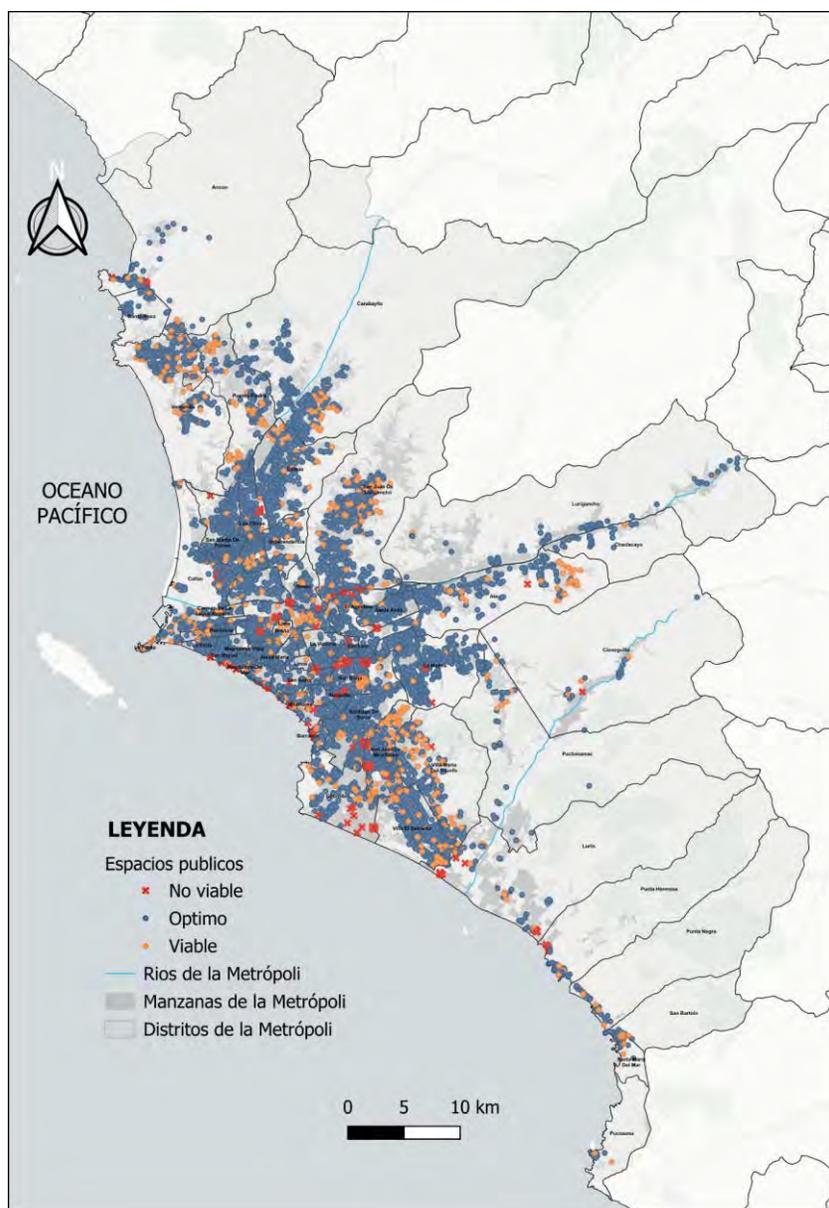


Figura 53. Mapa de clasificación de los espacios públicos según su disponibilidad de uso en la metrópoli de Lima y Callao. Adaptado del Proyecto SAAPE.

Seguidamente, como segundo criterio, la Figura 54 presenta el mapa de las áreas inundables por un tsunami originado por un sismo de 8,5 Mw y 9 Mw. Como se observa, los espacios públicos

de las zonas costeras serían las más afectadas, especialmente los que se encuentran en los distritos de Lurín, Chorrillos, Callao y Ventanilla. Es importante mencionar que estos distritos se descartaran más adelante según la Tabla 15.

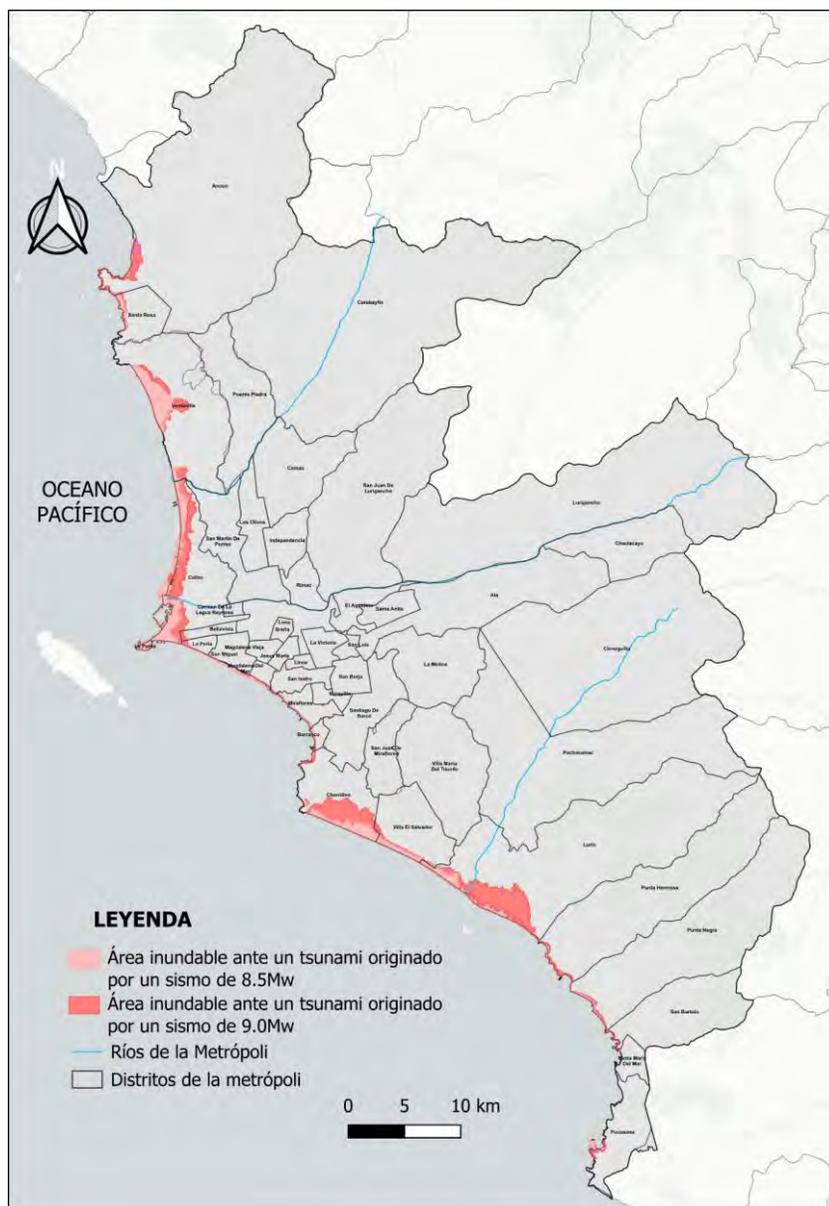


Figura 54. Mapa de áreas inundables de la metrópoli ante un tsunami de 8,5 Mw y 9Mw. Elaboración propia con datos de SIGRID.

Como tercer criterio, la Figura 55, muestra el mapa de microzonificación sísmica-geotécnica de IGP-CISMID-MVCS donde se presentan las zonas que indican la competencia del suelo de fundación. Esto son, Zona I (formada principalmente por afloramientos rocosos y gravas densas), Zona II (formada principalmente por depósitos de arena de compacidad media a densa), Zona III

(formada principalmente por depósitos de arena de compacidad media a suelta), Zona IV (formada principalmente por taludes inestables, afloramientos rocosos con alto grado de fracturación), Zona V (formada principalmente por rellenos antrópicos y escombros), además de ANE (área no considerada), OZ (otros usos) y FR (formación rocosa).

Como se observa en la Figura 55, la mayor parte de los distritos de Lima centro presentan un suelo perteneciente a la zona I, mientras que los otros distritos presentan suelos que van desde la zona II hasta la zona V.

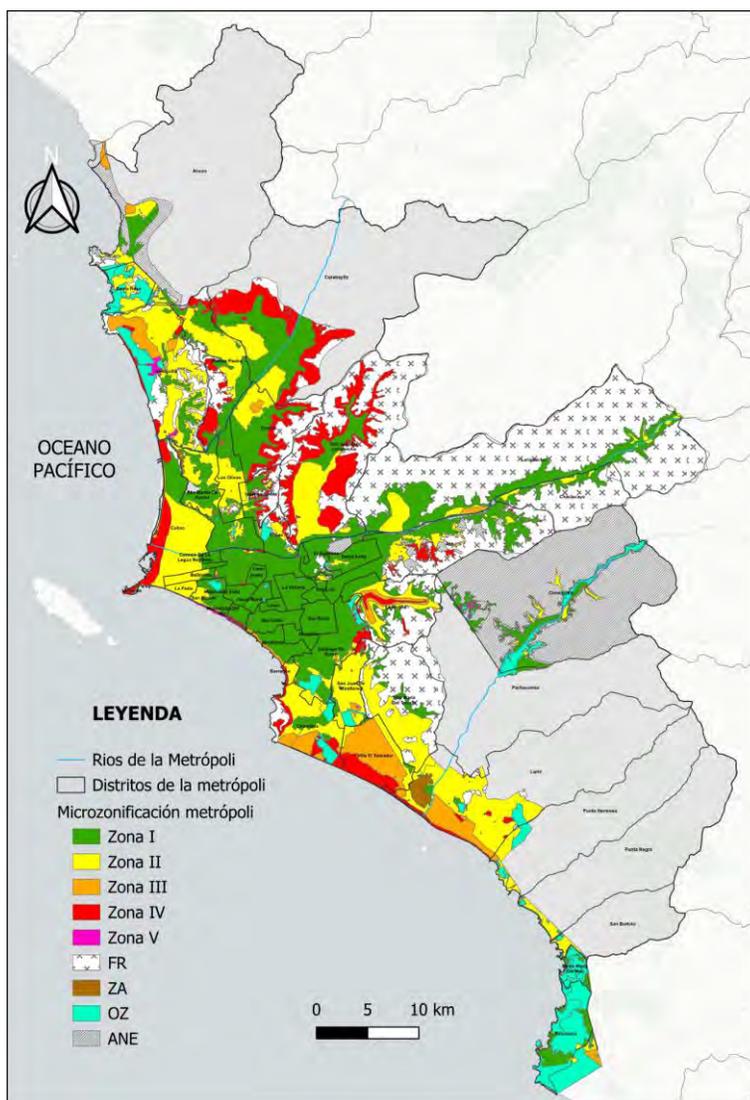


Figura 55. Microzonificación de la metrópolis de Lima y Callao. Obtenido de IGP, CISMID, MVCS, 2017.

Por último, el cuarto criterio de selección es el estado post-sismo de las edificaciones aledañas a los espacios públicos, para ello se usaron los resultados del Proyecto Japón (CISMID

& UNI, 2013) sobre el costo de reparación de viviendas ante la ocurrencia de un sismo de 8,9 Mw en las costas de Lima. La Figura 56 (adaptada del Proyecto Japón) representa de color rojo las manzanas con edificaciones con alto riesgo de colapsar ante un evento sísmico de magnitud 8,9 Mw. Como se observa, existe mayor riesgo de colapso de edificaciones en los distritos del sur y del este de Lima metropolitana.

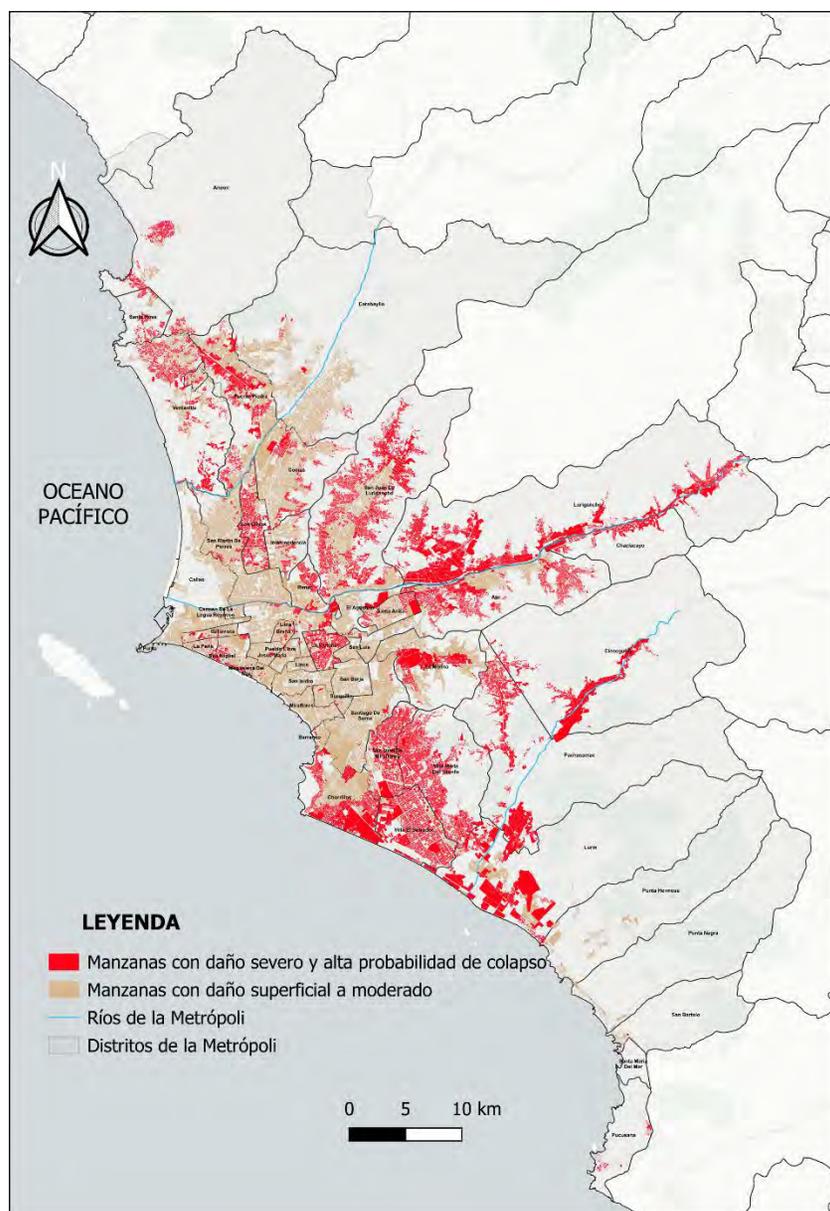


Figura 56. Mapa de manzanas con daño severo y alta probabilidad de colapso ante un escenario de sismo de 8,8Mw. Elaboración propia con datos de (CISMID & UNI, 2013)

Finalmente, para determinar los espacios públicos aptos (EPA), se aplican los criterios presentados con anterioridad y resumidos en la Tabla 15 y, finalmente, se define como EPA al espacio público que presente conformidad con los cuatro criterios.

Tabla 15

Criterios de selección y estados de conformidad del criterio.

Criterios de selección	Conformidad del criterio
Criterio de selección por disponibilidad de uso (CSD)	Conformidad: Espacios públicos viables y óptimos presentados en la tabla 14.
	No conformidad: Espacios públicos no viables presentados en la tabla 14.
Criterio de selección por tsunamis (CST)	Conformidad: Espacios públicos no inundables ante un tsunami.
	No conformidad: Espacios públicos no inundables ante un tsunami.
Criterio de selección por microzonificación (CSM)	Conformidad: Espacios públicos ubicados en áreas pertenecientes a la zona I, zona II y zona III y se encuentren libres de efectos como licuefacción y deslizamientos de masas. Mayor detalle en el Anexo 1.
	No conformidad: Espacios públicos ubicados en áreas pertenecientes a la zona IV, zona V, zona ANE, zona FR, zona OZ, zona ZA o zonas afectadas por licuefacción y deslizamientos de masas. Mayor detalle en el Anexo 1.
Criterio de selección por estado de las edificaciones post-sismo (CSE)	Conformidad: Espacios públicos cercanos a manzanas con edificaciones que no presentan daño u edificaciones que presentan hasta daño severo.
	No conformidad: Espacios públicos cercanos (a menos de 100 m) a manzanas con edificaciones que presentan alto riesgo de colapso.

En segundo lugar, habiendo definido los EPA, se debe analizar si cada manzana no abastecida puede ser cubierta con un sistema de tanques ubicado dentro de este EPA. Para lograr esto, se debe determinar el área de cobertura de los sistemas de dichos tanques realizando un buffer

circular, de manera similar a la Figura 46, con una distancia radial de 1 000 metros. Como resultado, se presenta el mapa de la Figura 57, distribución de los EPA en toda la metrópoli de Lima y Callao para 2 020 con su área de cobertura. Como se observa, la mayor parte de espacios públicos se encuentran en Lima centro, mientras que en Lima este y Lima sur existe menor cantidad de EPA.

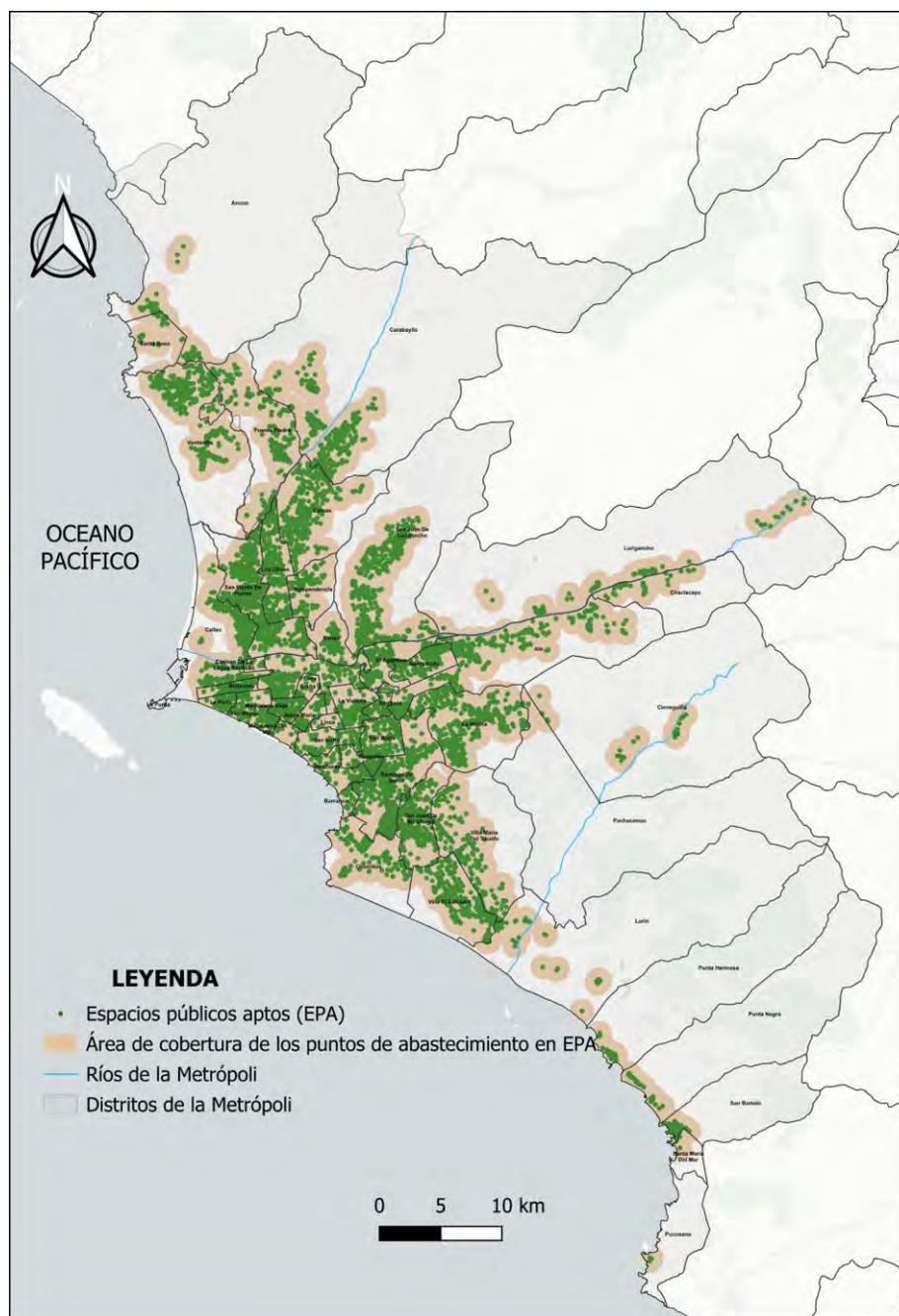


Figura 57. Mapa de espacios públicos aptos y su área de cobertura en la metrópoli de Lima y Callao. Elaboración propia.

Luego, se realiza la intersección de los mapas de la Figura 51 y Figura 57 para identificar aquellas manzanas que no están dentro de los 1 000 m de distancia radial establecida como cobertura de los sistemas de tanques ubicados en los EPAs, tal como se muestra en la Figura 58.

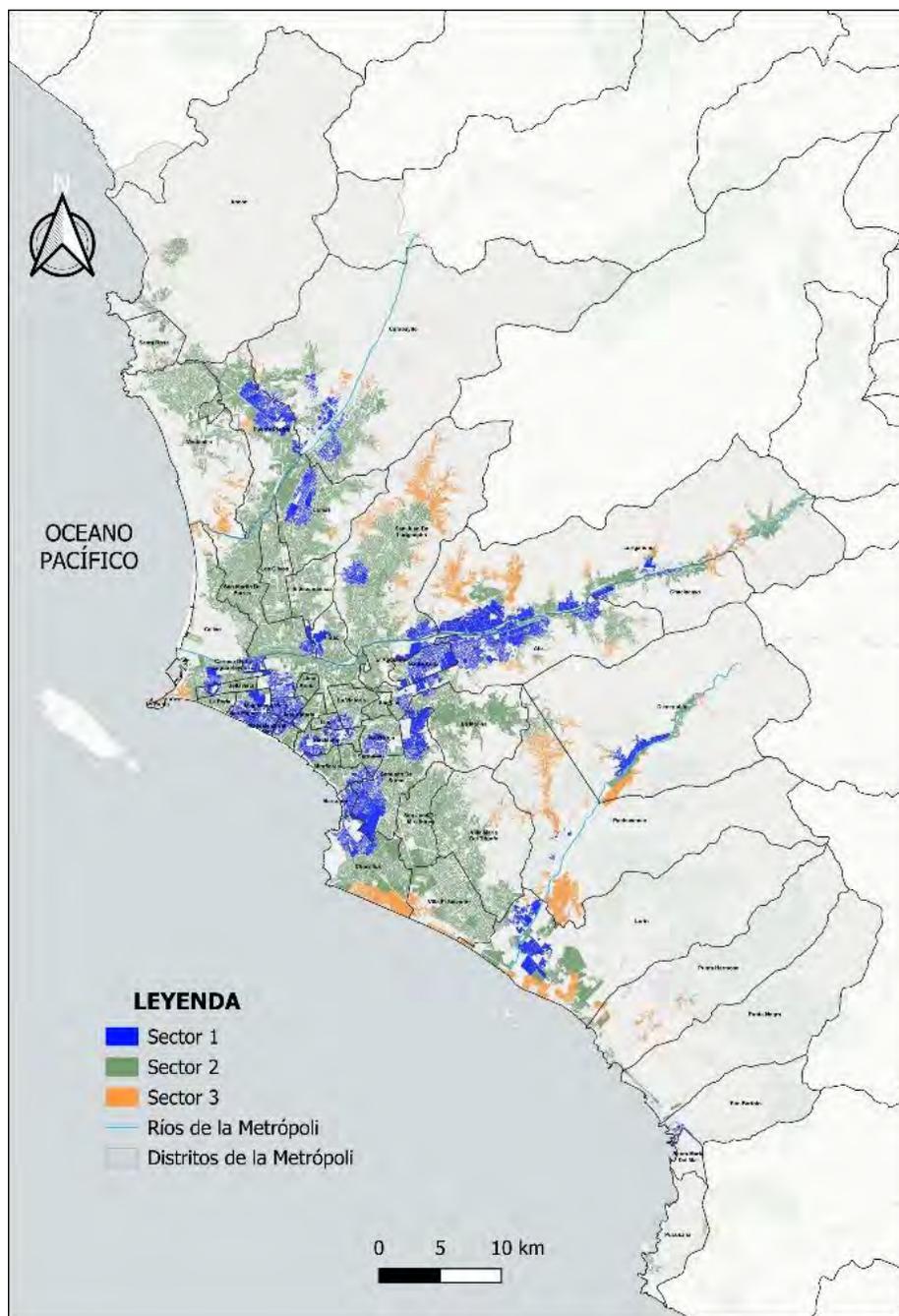


Figura 58. Mapa de sectorización de manzanas según su situación de abastecimiento de agua ante un escenario de sismo de 8,8 Mw. Elaboración propia.

En la Tabla 16 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la Figura 58.

Tabla 16

Clasificación de las manzanas de la metrópoli de Lima y Callao según estado de abastecimiento.

Sector	Porcentaje	Descripción
Sector 1	17.8%	Personas abastecidas de agua potable por Sedapal y/o Provisur ante un escenario de sismo 8,8 Mw.
Sector 2	77.2%	Personas no abastecidas de agua potable por Sedapal ante un escenario de sismo 8,8 Mw, pero con posibilidad de implementar un sistema de tanques ubicado en un espacio público apto para abastecerse de agua segura ante el mismo escenario de sismo.
Sector 3	5%	Personas no abastecidas de agua potable por Sedapal ante un escenario de sismo 8,8 Mw, sin espacio público apto cercano, pero con posibilidad de implementar un sistema alternativo para abastecerse de agua segura ante el mismo escenario de sismo.

Nota. Elaboración propia. Para mayor detalle por distrito, véase el Anexo 2.

Se observa que el 18% de la población sería abastecida por Sedapal y Provisur, mientras que el 77% de la población a pesar de no estar abastecidas por Sedapal y Provisur, sí tendrían la posibilidad de implementar un tanque de agua potable en un parque cercano, mientras que el 5% de las personas tendrían la necesidad de implementar un sistema de abastecimiento alternativo como el uso de botellas de agua o ser la prioridad de los planes de emergencia a ejecutarse. Es importante indicar que el sector 1 puede implementar un sistema de tanques como una medida de contingencia y respaldo. De la Figura 58, se observa que entre los distritos más afectados se encuentran los siguientes: Ventanilla, Puente Piedra, Ate, Carabayllo, San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Villa María del Triunfo, Villa El Salvador, Cieneguilla, Lurín, Punta Hermosa, Callao, Pachacamac y Chorrillos.

5.3 Tercera fase: Definir tipos de tanques a implementar en base a los criterios de factibilidad de tipo de suelo y ambiente marino agresivo.

Esta fase tiene como objetivo hallar el área de implementación para cada una de las alternativas de abastecimiento teniendo en consideración los diferentes criterios de factibilidad

como las características sísmicas geotécnicas y el ambiente marino del entorno. En la Figura 59, se presenta un resumen del proceso de la fase 3 que concluye con la generación de los mapas de EPAs con posibilidad de implementar tanques de un tipo en específico.

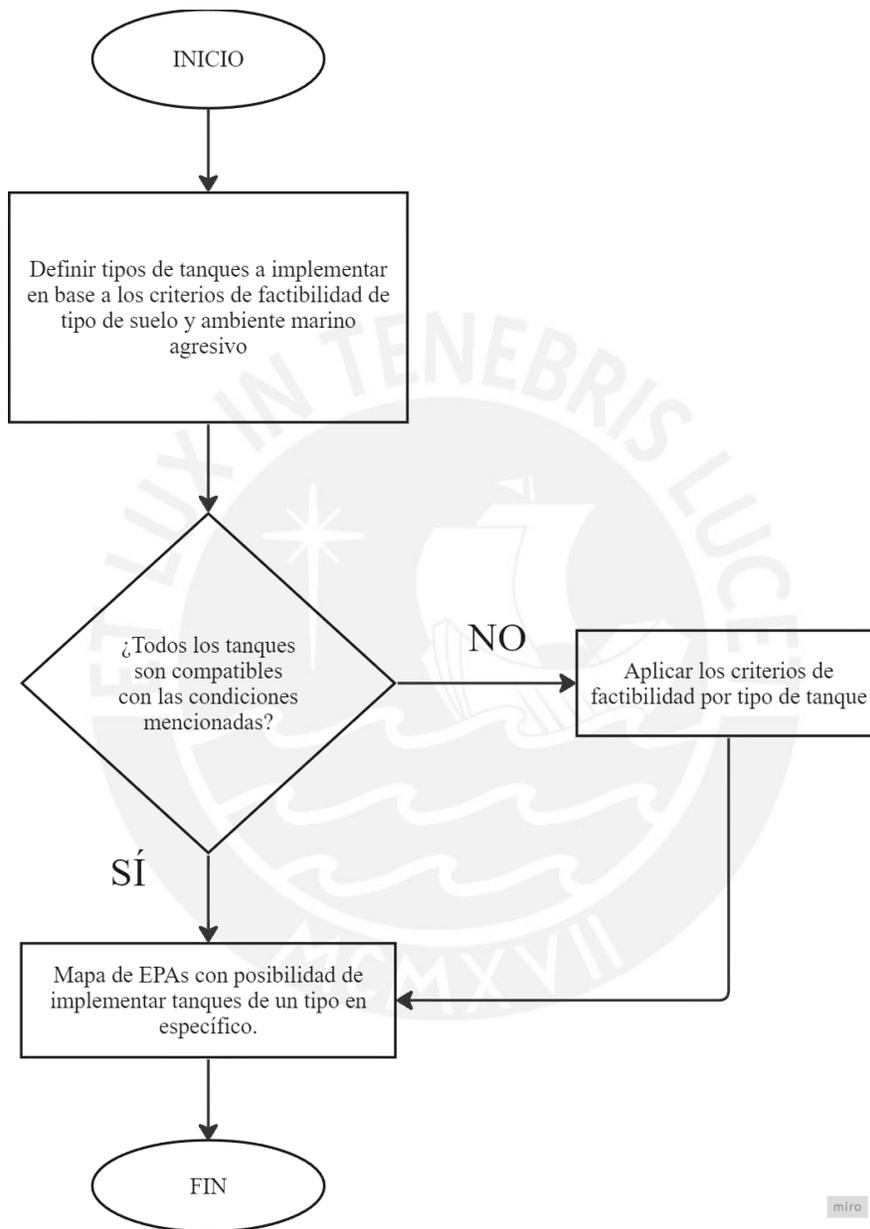


Figura 59. Diagrama de flujo de la tercera fase. Elaboración propia.

A continuación, se describe los pasos realizados para el cumplimiento del objetivo de esta tercera fase.

En primer lugar, se presenta el mapa de clasificación sísmica-geotécnica de los EPA. Como es razonable, la Figura 60, muestra espacios públicos aptos libres de peligros sísmicos-geotécnicos importantes; es decir, solo se ubican en las zonas I, II o III.

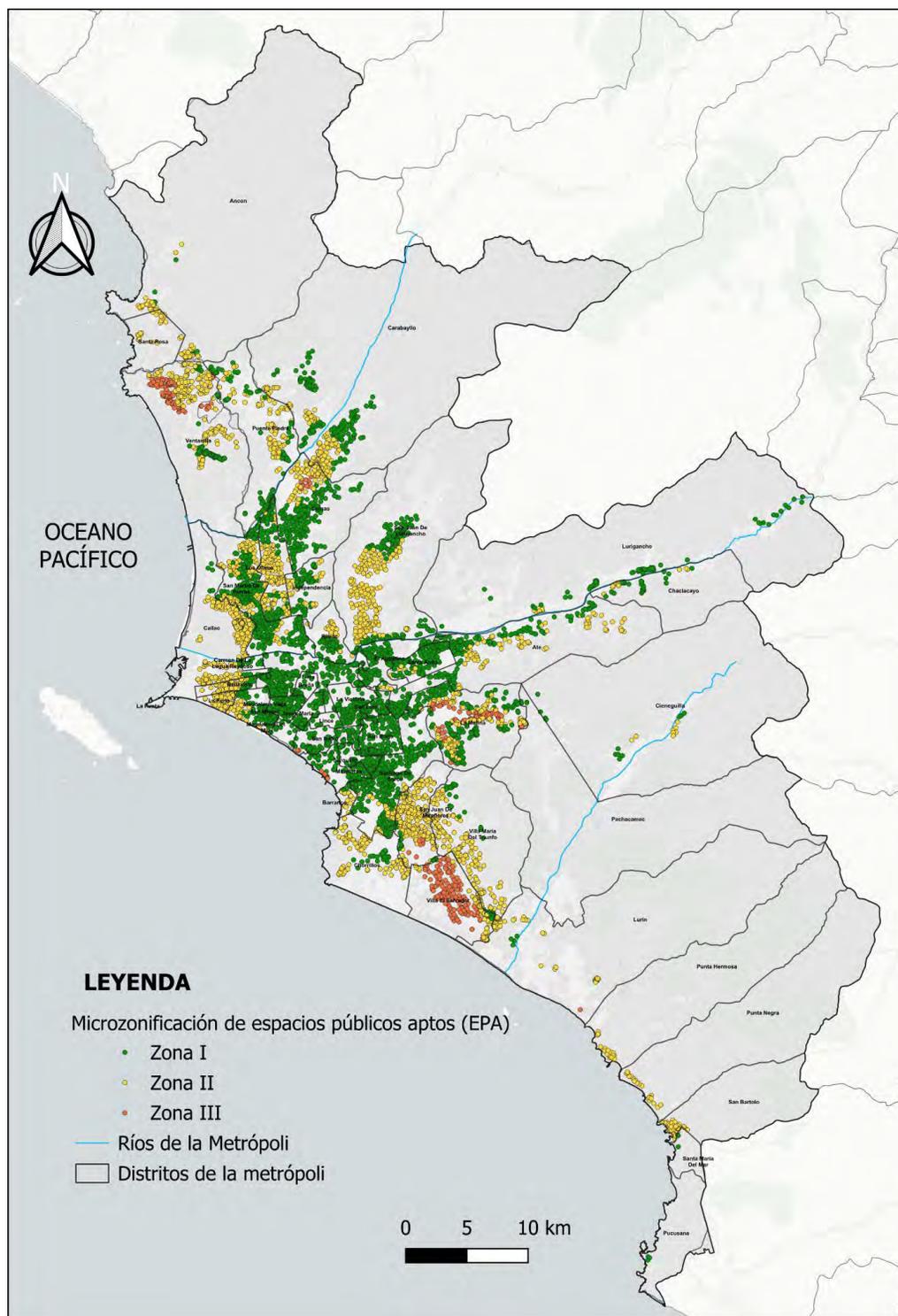


Figura 60. Mapa de clasificación sísmica-geotécnica de los EPA. Elaboración propia con datos de SIGRID.

Cabe señalar que el criterio de descripción sísmica-geotécnica del EPA no solo consiste en revisar la zonificación I, II o III, sino que se analiza la descripción de la unidad geotécnica geológica de cada EPA contenido en el shapefile de la Figura 60. Para un mayor detalle de lo mencionado, consultar el Anexo 3.

En segundo lugar, se muestra en la Figura 62, el segundo criterio de factibilidad, la cual presenta el área afectada por el ambiente marino agresivo en la metrópoli. Según Meira y Padaratz, en su investigación sobre el efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en las estructuras de hormigón, se concluye que a la distancia promedio de 200 m se reduce significativamente la concentración salina (Perdrix, Padaratz, Concepción Alonso, & Meira, 2003), esto se observa en la Figura 61.

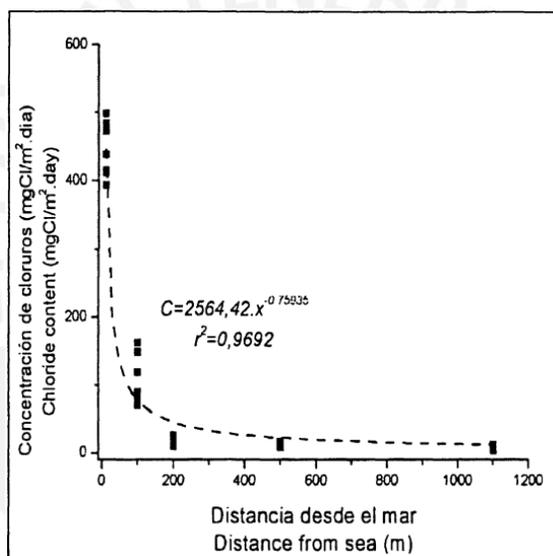


Figura 61. Efecto de la distancia en el depósito de cloruros de niebla salina. Obtenido de Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña (Perdrix, Padaratz, Concepción Alonso, & Meira, 2003).

Si bien a los 200 m se presenta una gran disminución del efecto negativo del ambiente marino, se considerará hasta 1 500 m en favor de estimar un valor conservador.



Figura 62. Área de cobertura del ambiente marino agresivo en la metrópoli de Lima y Callao. Elaboración propia.

Luego, con base en los criterios de factibilidad presentados, se determinan los tipos de tanques recomendables en cada uno de los EPA, tal como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Criterios de factibilidad por tipo de tanque.

Criterios de factibilidad	Análisis por tipo de tanque
Descripción sísmica-geotécnica del EPA	<p>Tanque de polietileno de alta densidad y concreto armado: Enterrado. -Zona I, II y III, excepto aquellas zonas con característica geotécnicas que complique o encarezcan la excavación. Apoyado. -Zona I, II y III</p> <p>Tanque de fibra de vidrio: Enterrado. -No se entierra, debido a su fragilidad, pues no están diseñados para soportar la interacción suelo-fluido-estructura. Apoyado. -Zona I, II y III</p> <p>Tanque de acero galvanizado: Enterrado. -No se entierra, debido a la posibilidad de corroerse al contacto directo con el suelo. Apoyado. -Zona I, II y III Para mayor detalle, consultar el Anexo 3</p>
Influencia del ambiente marino agresivo en el EPA	<p>Tanque de polietileno de alta densidad: Si es factible</p> <p>Tanque de concreto armado: No es factible, debido a que el concreto armado es afectado a mediano plazo por el ambiente marino agresivo.</p> <p>Tanque de fibra de vidrio: Si es factible</p> <p>Tanque de acero galvanizado: No es factible, debido a que el acero reacciona con las sales del ambiente marino agresivo</p>

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, se obtienen los mapas Figura 63, Figura 64, Figura 65 y Figura 66 para cada una de las cuatro alternativas de tanques.

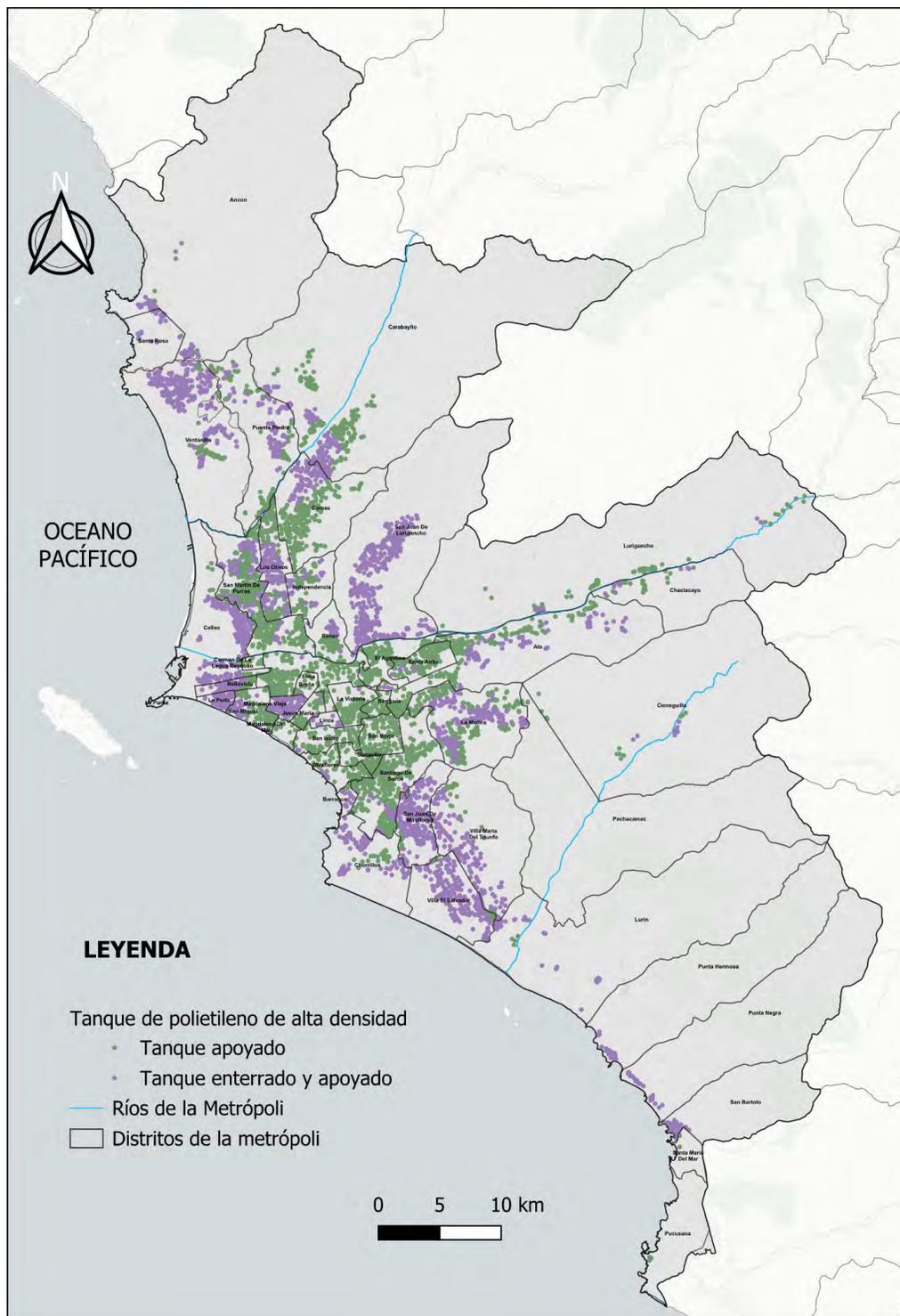


Figura 63. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de polietileno de alta densidad. Elaboración propia.

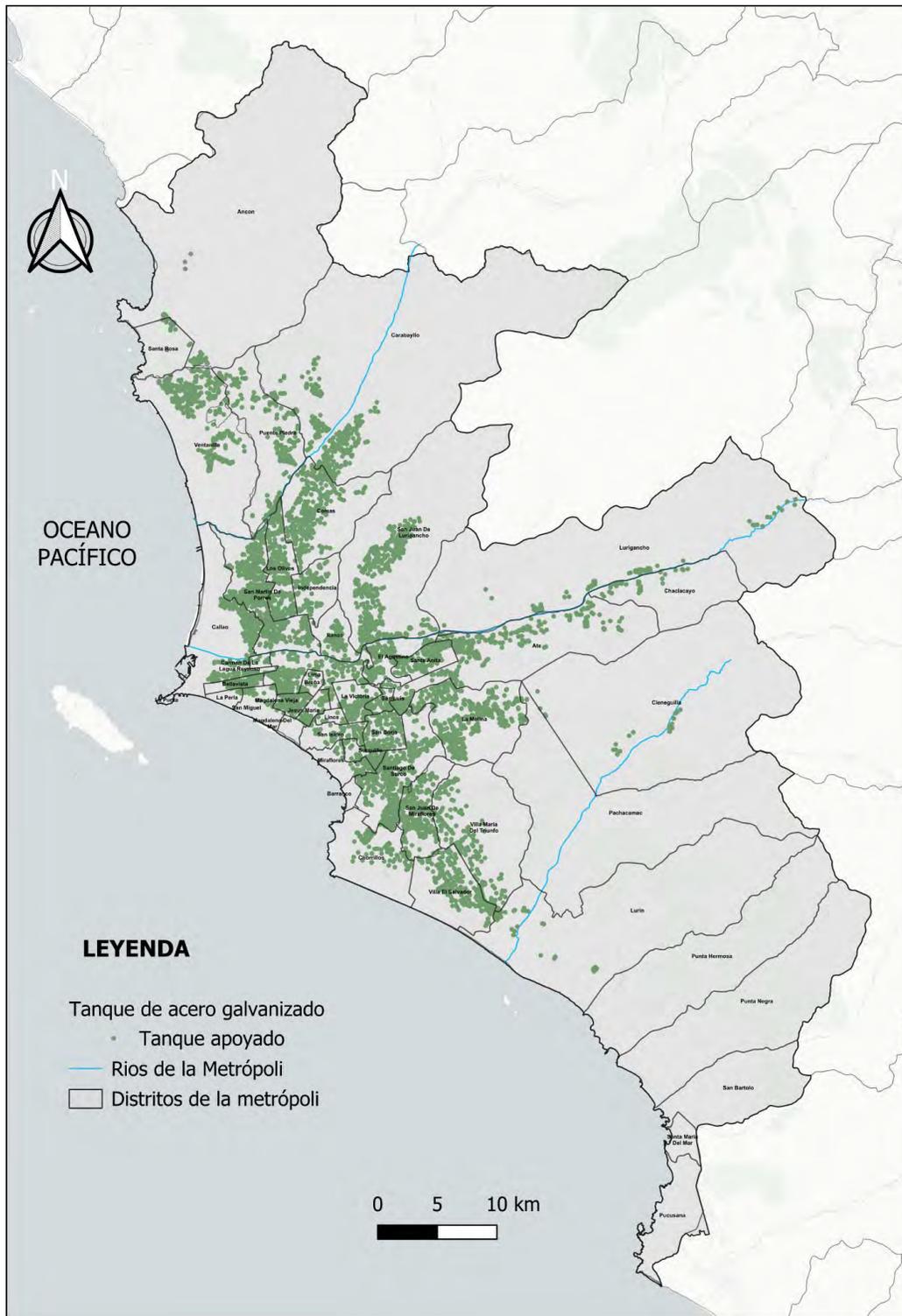


Figura 64. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de acero galvanizado. Elaboración propia.

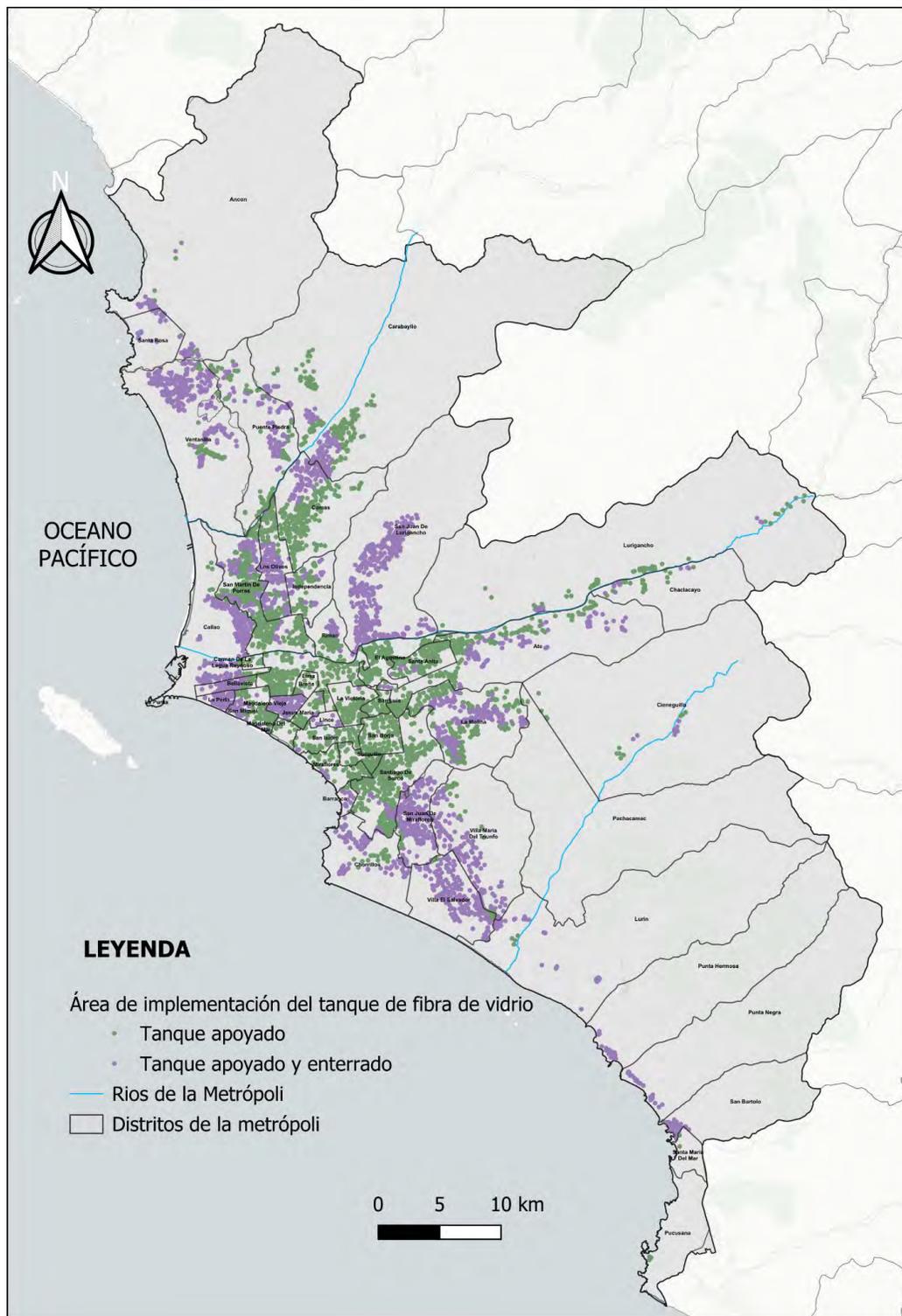


Figura 65. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de fibra de vidrio. Elaboración propia.

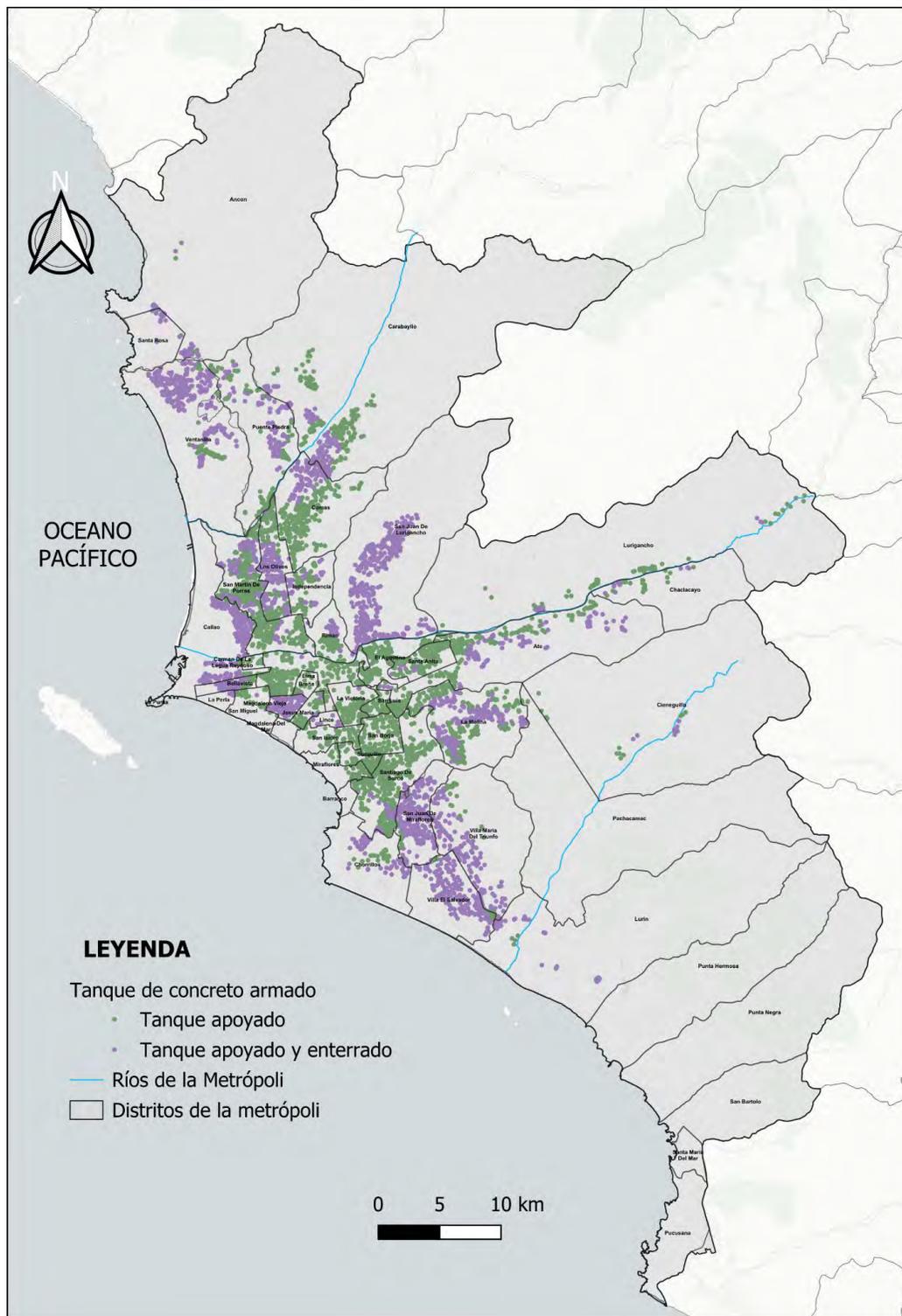


Figura 66. Mapa de EPAs con posibilidad de implementar tanques de concreto armado. Elaboración propia.

5.4 Cuarta fase: Realizar la guía y mostrar su aplicación para una manzana de estudio

La última fase tiene como objetivo elaborar una guía para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura ante un escenario de sismo de 8,8 Mw en la metrópoli de Lima y Callao. En la Figura 67, se presenta un resumen del proceso de elaboración de la guía mediante un diagrama de flujo.

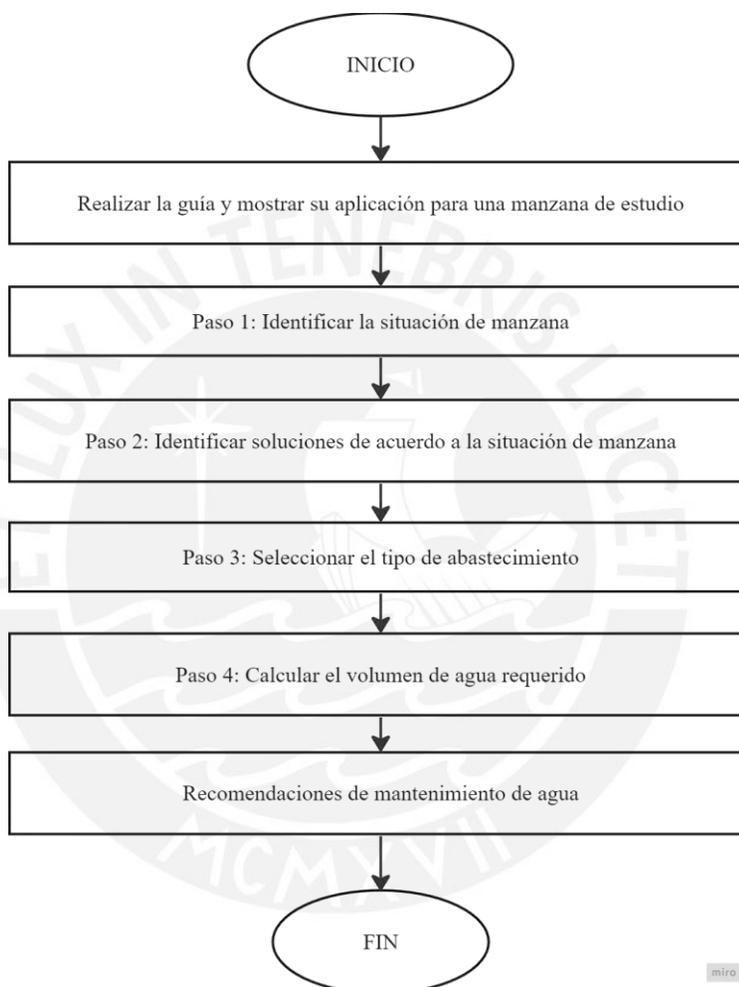


Figura 67. Diagrama de flujo de la cuarta fase. Elaboración propia.

En concordancia de la Figura 67, el Anexo 4 presenta un caso de estudio a través de la creación de una guía didáctica desarrollada para usuarios no especializados. Esta guía contiene todos los pasos y recomendaciones para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura en los primeros momentos de una emergencia por sismo en la metrópoli de Lima y Callao.

6 Conclusiones

- Para el escenario de sismo de 8,8 Mw de metrópoli de Lima y Callao se estiman graves daños a las infraestructuras sanitarias y un desabastecimiento de agua potable generalizado hasta de 72 horas, el cual es un periodo prologado, pues durante los primeros momentos de la emergencia es cuando se requiere agua para socorrer en los primeros auxilios, saneamiento, preparación de comidas, extinción de incendios, etc.
- Si bien existen diversas alternativas para obtener y almacenar agua segura, ante un escenario sísmico 8,8 Mw, es fundamental garantizar el cumplimiento de la dotación estándar por persona por día y asegurar la integridad del elemento almacenador a través de las guías y normativas de dotación y diseño respectivamente.
- Las actividades desarrolladas en el marco del Proyecto PI0841 permitieron ratificar los escenarios de riesgo sísmico realizados, la distribución y cantidad de los puntos de abastecimiento de Sedapal que soportarían un sismo de 8,5 Mw, la importancia de implementar un sistema de abastecimiento que funcione en los primeros momentos de la emergencia y su posible ubicación a través de las encuestas realizadas. Sin embargo, estas actividades también permitieron contrastar que se presentan tiempos optimistas en cuanto al restablecimiento gradual de la red de Sedapal y que la base de puntos de abastecimiento operativos después de un sismo de 8,5 Mw no cuenta con un estudio estructural que lo respalde.
- Para esta tesis, en conformidad con las guías y manuales existentes, se tomaron los valores de abastecimiento de 15 litros de agua segura por persona por día, el valor de 1 000 m de distancia máxima entre el punto de abastecimiento y la ubicación de la persona que necesita ser abastecida y una duración de 3 días como los primeros momentos de una situación de emergencia por sismo. Cabe señalar que, es posible reducir la dotación agua a la mitad en caso no se pueda cumplir los 15 litros recomendados, esto pues, en los primeros momentos de la emergencia se prioriza el agua para beber y tratamiento de heridas, por lo que se puede prescindir de otros usos como agua para cocinar o prácticas básicas de higiene y optar por alternativas como consumir raciones de emergencia y prácticas de higiene con pañuelos húmedos desechables.
- Es posible garantizar el abastecimiento de agua segura a la población durante los primeros momentos de la emergencia por sismo, ya sea a través de entidades como Sedapal y

Provisur (18% de la población de la metrópoli beneficiada), un sistema de abastecimiento de tanques ubicado en un espacio público (77% de la población de la metrópoli beneficiada) o a través de un sistema alternativo, como bidones de agua ubicados en un espacio privado o reducido (5% de la población beneficiada). Estas estimaciones mostradas dependen directamente de los datos obtenidos de Sedapal y el censo de INEI del 2017, por lo cual en la actualidad podrían presentar variaciones.

- En el sector 1, se encuentran distritos como Santa María Del Mar, Carmen de la Legua Reynoso, Barranco, Pueblo Libre, San Bartolo, San Miguel y Santa Anita que cuentan con 70% o más de su población abastecida de agua potable por Sedapal y Provisur, mientras que los distritos como San Juan De Lurigancho, Bellavista, El Agustino, Callao, Rímac, La Victoria, San Martín De Porres, La Molina, Breña y Pachacamac que cuentan con 10% o menos de su población abastecida. Es importante señalar que los distritos del sector 1 pueden implementar un sistema abastecimiento de agua segura para caso de emergencia por sismo que funcionaría como medida de contingencia y respaldo garantizando un abastecimiento continuo de agua segura.
- Los sectores 2 y 3 conforman la población limeña desabastecida por Sedapal y Provisur. Para el caso del sector 2, distritos como Independencia, Los Olivos, Mi Perú, Punta Negra, San Luis, Santa Eulalia, La Perla, San Juan De Miraflores, Villa El Salvador, Breña, Villa María Del Triunfo, Ventanilla, La Molina, San Martín De Porres, Ancón, La Victoria, Rímac, El Agustino, Santa Rosa, Bellavista, Surquillo, Jesús María, Callao, Miraflores, San Juan De Lurigancho, Chaclacayo, Lima, Comas, Puente Piedra, Carabayllo y Chorrillos son los que el 70% o más de su población puede implementar un sistema de tanques en un área pública apta. En el caso del sector 3, distritos como La Punta y Pachacamac son lo que el 70% o más de su población requieren la implementación de un sistema alternativo.
- Las áreas de implementación de los tanques de polietileno de alta densidad y fibra de vidrio son similares. Mientras que el tanque de concreto armado y el de acero galvanizado, como es de esperar, no se presentan como solución para las áreas costeras, pues son vulnerables a las sales agresivas. Cabe resaltar, que la implementación de los tanques es factible técnicamente, pero podría tener impactos negativos en el contexto en el que se lo incluya,

por esta razón es importante analizar su factibilidad urbanística, factibilidad organizacional y aceptación pública antes de su instalación.

7 Recomendaciones

- Se recomienda que la población perteneciente al sector 2 coordine y sensibilice sobre la implementación de los puntos de abastecimiento a nivel vecinal o de barrio, esto con el objetivo de contar con la mayoría de las manzanas involucradas en el radio de influencia de 1000 m descrito como óptimo, lo cual disminuiría costos de implementación, generaría sentido de pertenencia y disminuiría conflictos sociales ante la crisis de desabastecimiento. Por otro lado, para el sector 3, se recomienda que esta población verifique la disponibilidad de algún espacio público cercano y analice visualmente las características del terreno para generar una solución similar a la del sector 2; en caso esto no sea posible, será necesario planificar sus reservas de agua a nivel de vivienda o familiar, es decir utilizar elementos como tanques estándares de vivienda o botellas de agua, todos estos elementos adicionales deben estar ubicados en lugares sísmicamente seguros de la vivienda y ser utilizados solo como reserva.
- Se recomienda gestionar con Sedapal el trámite de una nueva conexión de agua potable para los tanques implementados en un espacio público. Además, es deber del Gobierno Municipal y Regional identificar las necesidades de los sectores 2 y 3 y generar un plan de emergencia integrado que priorice su atención y facilite los tramites de conexión de agua de los tanques de emergencia.
- Se recomienda realizar un estudio de costos de los materiales, instalación y mantenimiento para el caso donde se tenga más de una opción de tanque a implementar, debido a que el factor económico puede ser usado como un criterio adicional de selección de tanques.
- Se recomienda que, como paso previo a la implementación de un punto de abastecimiento, se consideren los factores de accesibilidad que puedan existir entre las manzanas y los tanques a implementar. Por ejemplo, carreteras, muros, ríos, zonas peligrosas, conflictos entre fronteras de barrios, etc.
- Se recomienda que Sedapal incluya un grupo electrógeno para aquellas estructuras críticas que se mencionan como operativas después de un sismo de 8,5 Mw o más.

- Se recomienda que Sedapal incluya un plan de capacitaciones para la operación de sus estructuras ante una emergencia. Además, también se recomienda la inclusión de un instructivo corto y práctico en cada una de sus estructuras que proveen agua. De esta manera, ante una eventualidad, se sabrá cómo operar en términos generales.
- Se recomienda complementar esta investigación con mayores estudios que respalden los cálculos y estimaciones generadas en esta tesis, de esta forma se representará con mayor confiabilidad la realidad existente.

8 Bibliografía

- Ace Machinery. (2024). *Ace Machinery*. Obtenido de https://ace-chn.mx/product/tanque-de-acero-inoxidable-10000-litros/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4_K0BhBsEiwAfVVZ_wQRIVfoieUBZlq2dXgvCpApMFrWLM1LZp4smc6yje-hwZuzaRM_ahoCrXcQAvD_BwE
- Alberto, Y., & De la Llera, J. (2016). Damage to the water system in the earthquakes of Chile 2010 and Japan 2011. *1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure*. Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413234.027>
- Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los refugiados. (2000). *Manual para situaciones de emergencia*. Segunda edición. Obtenido de <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/Publicaciones/2012/1643.pdf>
- American Concrete Institute. (2021). *Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-20) and Commentary (ACI 350R-20)*. Recuperado el 15 de Marzo de 2023, de https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=350U20&Language=English&Units=US_Units
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and other Structures (7-16)*. Recuperado el 05 de Agosto de 2023, de <https://sp360.asce.org/PersonifyEbusiness/Merchandise/Product-Details/productId/233133882>
- ANA. (2019). Glosario de términos de la ley N° 29338 Ley de los recursos hídricos y de su reglamento. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/RJ%20300-2019-ANA.pdf>
- ANA. (31 de Marzo de 2023). *El agua en cifras*. Obtenido de Peru: Paraiso del agua: <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras#:~:text=El%20Per%C3%BA%20cuenta%20con%20tres,2%20%25%20de%20acceso%20al%20agua>
- Aqua Integral. (21 de 07 de 2024). *Productos y Servicios*. Obtenido de Tanque para filtracion de agua de 42"x72" Conexión superior e inferior 4": <https://aquaintegral.co/producto/tanque-para-filtracion-de-agua-de-42x72-conexion-superior-e-inferior-4/>
- ASH. (2014). *Protocolos de actuación de emergencias en Lima*. Lima. Obtenido de <https://www.munlima.gob.pe/images/planes-contingencia/protocolo.pdf>

- BBC. (9 de marzo de 2010). *Terremoto en Chile: La ayuda llega por toneladas*. Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/america_latina/2010/03/100308_0452_terremoto_chile_solidaridad_mz
- Beneficencia de Lima. (10 de Octubre de 2023). *Casa de todas: Hogar para mujeres que sufren violencia familiar y abuso*. Obtenido de Sociedad de Beneficencia de Lima Metropolitana: <https://beneficiadelima.org/public/noticias/detalle/73>
- Bross, L., Krause, S., Wannewitz, M., & Stock, E. (2019). Insecure Security. Emergency Water Supply and Minimum Standards in Countries with a High Supply Reliability. *Water*(11: 732). doi:10.3390/w11040732
- CARE/AVINA. (2012). *Operación y mantenimiento de sistemas de agua*. Recuperado el Octubre de 2023, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CARE-AVINA%202012.%20Operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento%20de%20sistemas%20de%20agua.pdf
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Lima. Obtenido de https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- Cenepred. (2020). *Escenario de riesgo por sismo y tsunami*. Lima.
- CEPIS. (2003). Galerías filtrantes: Pequeños sistemas. *Hojas de divulgación técnica*, 4. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CEPIS%202003a.%20Galerias%20filtrantes%20C%20peque%C3%B1os%20sistemas.pdf
- CISMID, & UNI. (2013). *Resultados del Proyecto Japón - Perú - SATREPS*. Lima. Obtenido de https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Resultados%20del%20Proyecto%20Japon_Peru_SATREPS%202013_2014.pdf
- Comisión Federal de Electricidad. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles–Diseño por Sismo*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2023, de https://www.researchgate.net/profile/Ulises-Hernandez-11/publication/305001619_CAPITULO_DE_DISENO_POR_SISMO_2008_MANUAL_DE_DISENO_DE_OBRAS_CIVILES_DE_CFE/links/577efb9f08ae01f736e17a00/CAPITULO-DE-DISENO-POR-SISMO-2008-MANUAL-DE-DISENO-DE-OBRAS-CIVILES-DE
- Cooperación Alemana, i. p. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en ámbito rural*. Recuperado el Agosto de 2023, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf
- Datum Internacional. (7 de Noviembre de 2022). *Levantamiento de información base para el proyecto PI0841*. Lima.
- Department of Chemistry, U. o. (2017). *Poly(ethene) (Polyethylene)*. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyethene.html>
- El Peruano. (2021). Plan de Desarrollo Metropolitano de Lima al 2035. Lima. Obtenido de <https://smia.munlima.gob.pe/uploads/documento/793d8fbb0c8e70f5.pdf> el 2 de abril de 2023
- El Proyecto Esfera. (2011). *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria* (Tercera ed.). ISBN 978-1-908176-02-8. Recuperado el 2023 de Enero, de <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/Publicaciones/2011/8206.pdf>

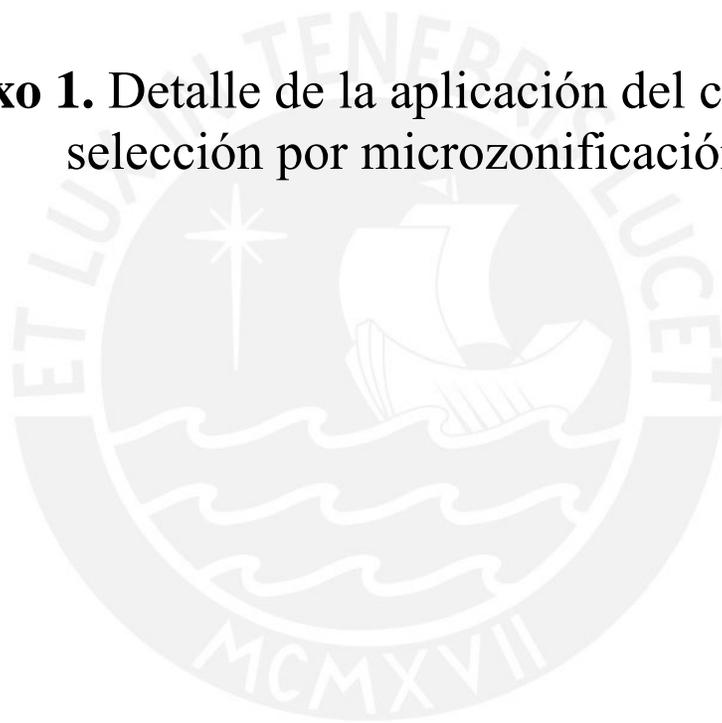
- Environmental Protection Agency. (2011). *Planning for an Emergency Drinking Water Supply*. Recuperado el 11 de Febrero de 2024, de https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-03/documents/planning_for_an_emergency_drinking_water_supply.pdf
- ERN-AL. (2012). Tomo I: Perfil de Riesgo Catastrófico, Medidas de Mitigación y Protección Financiera. Caso Sedapal y Emapica. En *Peru. Gestión de Riesgo de Desastres en Empresas de Agua y Saneamiento*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa .
- Etex. (2020). *Línea de tanques industriales de polietileno [Catálogo]*. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.etermit.com.pe/es-pe/productos/tanques/eterniteuronitwatertankpolyethyleneindustrial/tanque-reforzado-negro—25-000-litros>
- Fibrotecnia. (2022). *Tanques verticales*. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://fibrotecnia.com/tanques-verticales/>
- GERDIS. (27 de Septiembre de 2022). Medidas para el abastecimiento de agua en los primeros momentos de la emergencia post-sismo en la Metrópoli de Lima y Callao. *PUCP- Invitación al Taller*. Lima: PUCP.
- González Enríquez, R., Dévora Isiordia, G. E., & Ruiz Cruz, S. (Julio de 2023). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 27-46. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300002&lng=es&tlng=es
- GOP.PE. (Enero de 2024). *Plan Cisterna atiende a 7600 familias vulnerables con entrega de agua potable sin costo*. Obtenido de Plataforma digital única del Estado Peruano: <https://www.gob.pe/institucion/emapahuaral/noticias/691489-plan-cisterna-atiende-a-7600-familias-vulnerables-con-entrega-de-agua-potable-sin-costo>
- Grupo APB. (2024). *Materiales de riegos y suministros industriales*. Obtenido de https://www.materialesriegos.com/epages/64472737.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/64472737/Products/A-DW900/SubProducts/CDWAE000100
- Guío Burgos, F. A., & Poveda D'Otero, J. C. (2015). Variables microscópicas en la velocidad de caminata. *INGENIERÍA DE TRANSPORTE*, 19(2), 150. Obtenido de <https://estudiosdetransporte.org/sochitran/article/view/169>
- Hernandez Contreras, C., Amaya Corredor, C. A., Duran Ayala, S. J., Vargas Buitrago, A. J., Osorio Tristancho, S. L., & Cala Almeida, K. J. (2017). Propuesta De Un Sistema De “Atrapa-Nieblas” como fuente de agua no convencional en la vereda La Fuente, municipio de Los Santos,. Recuperado el Febrero de 2024, de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1527>
- IGP. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/4893>
- INDECI. (2009). *Lecciones Aprendidas del Sur - Sismo de Pisco, 15 agosto 2007*. Lima: GMC Digital SAC. Obtenido de <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1259/doc1259-contenido.pdf>
- INDECI. (2014). *Protocolos de Actuación en Agua, Saneamiento e Higiene para Emergencias*. Lima. Obtenido de <https://www.munlima.gob.pe/images/planes-contingencia/protocolo.pdf>
- INDECI. (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8Mw*. Lima: CEPIG. Obtenido de <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201711231521471-1.pdf>

- INDECI/OIM. (2018). *Gestión y coordinación de albergues en Perú*. Lima: Factoria Media Estudio. Obtenido de https://www.ecampus.iom.int/pluginfile.php/14566/block_html/content/Gestion%20y%20coordinacion%20de%20albergues%20en%20Peru.pdf
- INEI. (2021). *Perú: Estado de la Población en el año del Bicentenario, 2021*. Lima. Obtenido de https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1803/libro.pdf
- INEI. (17 de Enero de 2022). *Lima supera los 10 millones de habitantes al año 2022*. Obtenido de Notas de prensa: <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/lima-supera-los-10-millones-de-habitantes-al-ano-2022-13297/>
- Instituto Nacional de Normalización. (2023). *Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2023, de <https://ecommerce.inn.cl/nch2369202360756>
- IRC International Water and Sanitation Centre. (2002). *Small Community Water Supplies: Technology, People and Partnership*. Delft: The Netherlands. Obtenido de https://www.ircwash.org/sites/default/files/Smet-2002-Small_TP40.pdf
- Khanmohammadi, M., Lotfi Rad, P., & Ghalandarzadeh, A. (2017). Experimental study on dynamic behavior of buried concrete rectangular liquid storage tanks using shaking table. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(9), 3747-3776. doi:10.1007/s10518-017-0107-9
- La Vanguardia. (22 de Agosto de 2021). *Tomar agua de mar puede dañar tu salud y estos son los motivos*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/comer/tendencias/20210822/7433243/tomar-agua-mar-puede-danar-tu-salud-motivos.html>
- LEPSA. (2021). *Soluciones integrales para la industria y minería*. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.lepsa.com/>
- Lopez Table, E., & Santana Nazarit, P. (2011). El terremoto de 2010 en Chile: respuesta del sistema de salud y de la cooperación internacional. *Panam Salud Publica*, 2(30), 160.
- Machinery, A. (2024). *Ace Machinery*. Obtenido de https://ace-chn.mx/product/tanque-de-acero-inoxidable-10000-litros/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4_K0BhBsEiwAfVVZ_wQRIVfoieUBZlq2dXgvCpApMFrWLM1LZp4smc6yje-hwZuzaRM_ahocrXcQAvD_BwE
- MGAP. (2012). *Manual de agua subterránea*. Obtenido de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/manual-agua-subterranea>
- MIMP. (27 de Julio de 2022). *Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables*. Obtenido de MIMP acredita al primer centro de atención para personas adultas mayores de administración municipal: <https://www.gob.pe/institucion/mimp/noticias/635990-mimp-acredita-al-primero-centro-de-atencion-para-personas-adultas-mayores-de-administracion-municipal>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma E.020: Cargas*. Recuperado el 20 de Enero de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma E.030: Diseño sísmico*. Recuperado el 20 de Enero de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma E.60: Concreto armado*. Recuperado el 20 de Enero de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Municipalidad de Lima. (17 de Junio de 2023). *Áreas potenciales de albergues de emergencia*. Obtenido de Mapa de albergues para emergencias: <http://www.transparencia.munlima.gob.pe/gobierno-abierto-municipal/transparencia/mml/informacion-adicional/informacion-adicional/relacion-de-albergues#%C3%A1reas-potenciales-para-albergues-de-emergencia>
- Municipalidad distrital de Santa. (2019). *INSTALACION DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL CENTRO POBLADO RURAL LA HUACA SECTOR I, II Y III, DISTRITO DE SANTA - SANTA - ANCASH*. Ancash.
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2021). *Plan de Operaciones de Emergencia de la Provincia de Lima 2021-2023*. Lima. Obtenido de <https://smia.munlima.gob.pe/uploads/documento/79d3c24a92900743.pdf>
- Nava Rodriguez, J. (2022). *CONSTRUCCION DE CISTERNA DE CONCRETO ARMADO CAPACIDAD 10,000 LTS EN JARDIN DE NIÑOS JUSTO SIERRA*. Mazatepec.
- OMS. (14 de Septiembre de 2023). *Reducción de la ingesta de sodio*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction#:~:text=Para%20los%20adultos:%20la%20OMS,sal%20por%20d%C3%ADa%20\(1\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/salt-reduction#:~:text=Para%20los%20adultos:%20la%20OMS,sal%20por%20d%C3%ADa%20(1))
- OPS. (2007). *Informe situación salud #5 sismo en Peru*. Obtenido de https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/46B916F67FE8ABCC4925734000E1803-Full_Report.pdf
- OPS. (2010). *El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile*.
- OPS. (2010). *Terremoto de Pisco, Perú - A dos años del sismo, crónica y lecciones aprendidas en el sector salud*. Lima. Obtenido de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/34954>
- OPS. (2010). *Terremoto de Pisco, Perú – A dos años del sismo, crónica y lecciones aprendidas en el sector salud*. Washington, D.C: Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastre. Obtenido de <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/Cronica%20y%20Lecciones%20Terremoto%20Peru.pdf>
- Organización Internacional de Estandarización. (2015). *Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y aguas residuales. Gestión de crisis de las empresas de agua*. Recuperado el Mayo de 2022, de <https://www.iso.org/standard/64118.html>
- Organización Internacional de Estandarización. (2018). *Seguridad y resiliencia. Gestión de emergencias. Directrices para la gestión de emergencias*. Recuperado el Mayo de 22, de <https://www.iso.org/standard/67851.html>
- Parsa, S. (2023). *Mega-scale desalination efficacy (Reverse Osmosis, Electrodialysis, Membrane Distillation, MED, MSF) during COVID-19: Evidence from salinity, pretreatment methods, temperature of operation*. *Journal of Hazardous Materials Advances, Vol 9.*, 6. doi:10.1016/j.hazadv.2022.100217.
- Perdrix, C. A., Padaratz, I. J., Concepción Alonso, G., & Meira, R. (2003). *Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña*. *Materiales de construcción, Vol. 53, N°. 271-272*, 200, 179-188. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=713627>

- Pioneer Water Tanks. (2015). *Commercial specification catalogue*. Recuperado el Julio de 2023, de <https://z9p3x2w8.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2018/09/Pioneer-Water-Tanks-Commercial-Catalogue.pdf>
- PREDES. (2017). *Agua, saneamiento y promoción de la higiene en emergencias. Guía Práctica*. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/03/Cartilla-promoci%C3%B3n-de-la-higiene.pdf>
- PREDES. (2018). *Protocolo de Actuación en Materia de Agua, Saneamiento e Higiene-ASH en Emergencias. Distrito de Independencia*. Lima: Fondo Editorial Predes. Obtenido de <https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2018/11/A.-Protocolos-ASH-en-emergencia.pdf>
- PRONAL. (02 de 2024). *Cisternas flexibles de almacenamiento*. Obtenido de <https://www.pronal.com/es/produit/flexible-storage-tanks/drinking-water/cisterna-flexible-de-almacenamiento-de-agua-potable/>
- Rotoplas. (2020). *Almacenamiento Especializado. Rotoplas, más y mejor agua*. Obtenido de <https://rotoplas.com.mx/productos/almacenamiento-especializado/tanque-de-almacenamiento/>
- Rotoplas. (2022). Proyecto Atrapa Nieblas. Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.youtube.com/watch?v=ktqj3tRblpM>
- Sedapal. (enero de 2024). *Puntos de abastecimiento de agua potable en caso de emergencia*. Obtenido de <https://ww2.sedapal.com.pe/storage/objects/puntos-de-abastecimiento-en-caso-de-emergencia-ff-imp-1.xlsx>
- SIKA. (s.f.). *Manual de mantenimiento: Tanques de agua potable y piscinas*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2023, de <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/2986a01d-c1e7-496c-b9cf-c10570691679/manual-mantenimiento-tanques-agua-potable-piscinas.pdf>
- Source. (2023). Recuperado el Febrero de 2024, de <https://www.source.co/wp-content/uploads/2020/11/SOURCE-Tech-Spec-Sheet.pdf>
- SUNASS. (2023). *Lima cuenta con 111 pozos de agua subterránea de reserva para abastecer a la población en caso sismo o fenómeno natural*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/865027-lima-cuenta-con-111-pozos-de-agua-subterranea-de-reserva-para-abastecer-a-la-poblacion-en-caso-sismo-o-fenomeno-natural>
- Tavera, H. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/0f354b75-ea1d-4c3a-8c3a-8796493531a5/content>
- Transportation Research Board. (2010). Interrupted flow. Chapter 23 Off-Street Pedestrian and Bicycle Facilities. En T. R. Board, *Highway Capacity Manual* (págs. 1-35).

Anexo 1. Detalle de la aplicación del criterio de selección por microzonificación



Zonificación	Descripción	Estado
ANE	Área no considerada	No conformidad
ANE	PTP - Protección y Tratamiento Paisajista	No conformidad
FR	Formación rocosa	No conformidad
FR	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.3	No conformidad
FR	Formación rocosa	No conformidad
OZ	Agropecuaria	No conformidad
OZ	Otros usos	No conformidad
OZ	ZRP	Conformidad
OZ	Otros usos	No conformidad
OZ	PTP - Protección y Tratamiento Paisajista	No conformidad
OZ	ZRP - Campo de Marte, Parque de los Próceres de la Independencia	Conformidad
OZ	RN-ANPM	No conformidad
OZ	RN-ANPM	No conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
OZ	PTP - Protección y Tratamiento Paisajista	No conformidad
OZ	ZRP-pl - Zona de Recreación Pública Playas	No conformidad
OZ	ZRP - Recreación Pública-Parques	Conformidad
ZA	Zona Arqueológica	No conformidad
ZA	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	No conformidad
ZA	Zona arqueológica protegida por el Instituto Nacional de Cultura (INC)	No conformidad
ZA	Zona Arqueológica	No conformidad
ZA	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	No conformidad
ZHR	-	No conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	Conformidad
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos coluvioaluvionales y aluvionales, gravas de compacidad media a densa. Periodos de 0.1 s a de 0.2 s.	Conformidad
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. Períodos menores a 0.2 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona I	Estratos potentes de grava aluvial consolidada, con matriz arenosa y/o arena limosa. Periodos de 0.1s a 0.3s	Conformidad
Zona I	Estratos potentes de grava aluvial consolidada, con matriz arenosa y/o arena limosa. Periodos de 0.1s a 0.3s	Conformidad
Zona I	Estratos potentes de grava aluvial y coluvial, con matriz arenosa, afloramientos rocosos. Periodos 0.10 s a 0.30 s	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa, con peligro geológico bajo. Con periodos menores a 0.20 s.	Conformidad
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos coluvioaluvionales y aluvionales, gravas de compacidad media a densa. Periodos de 0.1 s a de 0.2 s.	Conformidad
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturamiento y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Periodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Periodos de vibración ambiental menores a 0.3	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Periodos de vibración ambiental menores a 0.30s	Conformidad
Zona I	Laderas de los cerros donde existen afloramientos rocosos o estratos gravosos de origen coluvial. Periodos alrededor de 0.10 s	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Periodos de vibración ambiental menores a 0.3	Conformidad
Zona I	Afloramiento de roca sana y/o fracturada. Periodos del suelo de 0.10 s a 0.20 s	Conformidad
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. periodos menores a 0.30 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arena, limos y/o arcillas de poco espesor. Períodos menores a 0.20 s.	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	Conformidad
Zona I	Grava de origen aluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso, Periodos de 0.10s a 0.20s.	Conformidad
Zona I	Afloramiento de rocas con diferentes grados de fracturación. Depósitos de gravas y/o arenas de compacidad densa	Conformidad
Zona I	Afloramiento de rocas con diferentes grados de fracturación. Depósitos de gravas y/o arenas de compacidad densa	Conformidad
Zona I	Grava de origen coluvial-aluvial. Período predominante de 0.1s a 0.2s	Conformidad
Zona I	Grava de origen coluvial-aluvial. Período predominante de 0.1s a 0.2s	Conformidad
Zona I	En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial	Conformidad
Zona I	Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial-aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	Conformidad
Zona I	Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	Conformidad
Zona I	Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuables. Zonas con alta amplificación sísmica	No conformidad
Zona I	Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuables. Zonas con alta amplificación sísmica	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa, con peligro geológico bajo. Con periodos menores a 0.20 s.	Conformidad
Zona I	Depósitos de gravas de compacidad media a densa. Período de vibración ambiental menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Zona arqueológica protegida por el Instituto Nacional de Cultura (INC)	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.3	Conformidad
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. periodos menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Grava de origen aluvial y coluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso. Periodos de 0.1s a 0.2s.	Conformidad
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos de gravas. Periodos 0.1 s a 0.15 s.	Conformidad
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos de gravas. Periodos 0.1 s a 0.15 s.	Conformidad
Zona I	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona I	Considera a suelos medianamente compactos constituidos por material heterogéneo depositado sobre el material aluvial, Presentan velocidades de ondas de corte para la capa superficial de 400 m/s.	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.3	Conformidad
Zona I	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	Conformidad
Zona I	ZRE - Zona de Reglamentación Especial	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona I	Otros Usos, Círculo Militar Del Perú	Conformidad
Zona I	ZRP - Campo de Marte, Parque de los Próceres de la Independencia	Conformidad
Zona I	Gravas de compacidad media a densa, periodos menores a 0.2 s. Zona con peligro geológico bajo.	Conformidad
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturamiento y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Gravas de compacidad media a densa, periodos menores a 0.2 s. Zona con peligro geológico bajo.	Conformidad
Zona I	Laderas de los cerros donde existen afloramientos rocosos o estratos gravosos de origen coluvial. Periodos alrededor de 0.10 s	Conformidad
Zona I	ZRP	Conformidad
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. periodos menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Otros Usos, Círculo Militar Del Perú	Conformidad
Zona I	Rellenos antrópicos no controlados, compuesto por grava arenosa, limosa, con restos de material de construcción, plásticos, vidrios, etc.	Conformidad
Zona I	Grava de origen aluvial con arenas superficiales, afloramientos rocosos. Periodos de suelo de 0.1 s a 0.2 s.	Conformidad
Zona I	Depósitos de gravas de compacidad media a densa. Con períodos menores a 0.20 s.	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	Conformidad
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de grava de compacidad media a densa. Períodos menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona I	ZRP - Recreación Pública-Parques	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos superficiales y alternancia de suelos cohesivos y no cohesivos. Período predominante de 0.2s a 0.3s	Conformidad
Zona II	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Períodos de 0.20 s a 0.40s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Suelos gravosos coluviales y estratos de arena mal graduada de moderado espesor. Períodos de 0.10 s a 0.20 s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa y depósitos de arcillas y limos de consistencia media a dura. Con períodos menores a 0.30 s.	Conformidad
Zona II	Arenas de compacidad media a densa; limos y arcillas de consistencia media a dura. Períodos de 0.15 s. a 0.26 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media. Depósitos de limos y/o arcillas de consistencia media	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos superficiales y alternancia de suelos cohesivos y no cohesivos. Período predominante de 0.2s a 0.3s	Conformidad
Zona II	La zona incluye planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas compuestas por arenas intercaladas con niveles finos de limos y arcillas, y espesores entre 6 y 10 m. Abarca la zona céntrica del área urbana de Carapongo y margen del Río	Conformidad
Zona II	En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial	Conformidad
Zona II	Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	Conformidad
Zona II	Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Se identifica también las zonas: ZAH,OU	Conformidad
Zona II	En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial	Conformidad
Zona II	Grava de origen coluvial-aluvial. Período predominante de 0.1s a 0.2s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media, depósitos de limos y arcillas de consistencia media, con peligro geológico medio, debido a la presencia de laderas de cerros con pendiente moderada. Con períodos menores a 0.30 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Periodos de 0.10s a 0.20s	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media a densa. Periodos de 0.2s a 0.3s.	Conformidad
Zona II	Suelos finos y suelos arcillosos de consistencia media rígida. Periodos de 0.4s.	Conformidad
Zona II	Suelos finos y suelos arcillosos de consistencia media rígida. Periodos de 0.4s.	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media a densa. Periodos de 0.2s a 0.3s.	Conformidad
Zona II	Arenas de compacidad media a densa; limos y arcillas de consistencia media a dura. Periodos de 0.15 s. a 0.26 s.	Conformidad
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Periodos de 0.10s a 0.20s	Conformidad
Zona II	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	Conformidad
Zona II	Grava de origen aluvial y coluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso. Periodos de 0.1s a 0.2s.	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	Conformidad

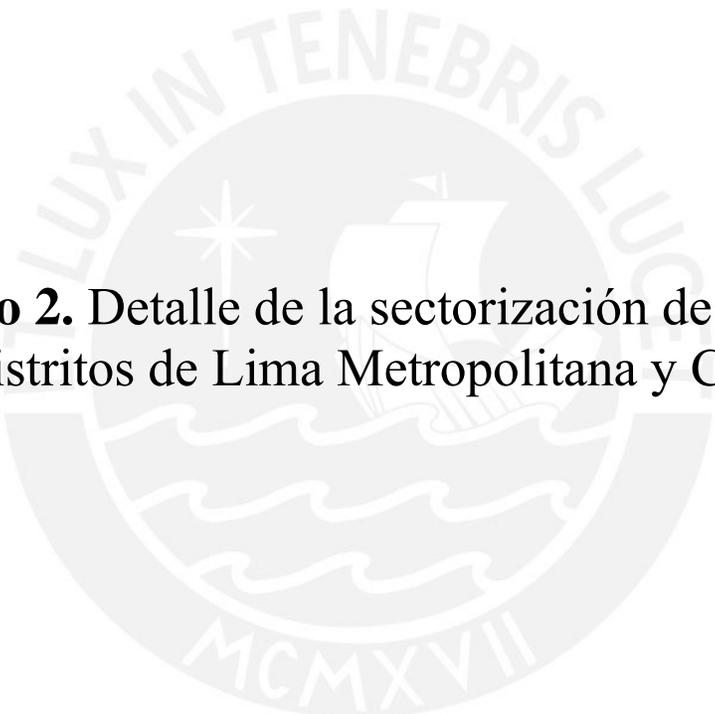
Zonificación	Descripción	Estado
Zona II	Suelos gravosos coluviales y estratos de arena mal graduada de moderado espesor. Periodos de 0.10 s a 0.20 s	Conformidad
Zona II	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.20 a 0.40 s.	Conformidad
Zona II	Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras	Conformidad
Zona II	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compactación densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Periodos de vibración ambiental menores a 0.3	Conformidad
Zona II	Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras	Conformidad
Zona II	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.20 a 0.40 s.	Conformidad
Zona II	Suelos arenosos intercalados con estratos de arcilla, espesor menor a 10m. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.3 s.	Conformidad
Zona II	Suelos arenosos intercalados con estratos de arcilla, espesor menor a 10m. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.3 s.	Conformidad
Zona II	Arenas eólicas de espesores variables, compactación media densa a densa. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.4 s.	Conformidad
Zona II	Arenas eólicas de espesores variables, compactación media densa a densa. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.4 s.	Conformidad
Zona II	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.20 a 0.40 s.	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compactación media a densa y depósitos de arcillas y limos de consistencia media a dura. Con periodos menores a 0.30 s.	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos de vibración ambiental menores a 0.40s.	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos de vibración ambiental menores a 0.40s.	Conformidad
Zona II	ZRP - Zona de Recreación Pública Parques	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos menores a 0.40 s.	Conformidad
Zona II	ZRP - Zona de Recreación Pública Parques	Conformidad
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos menores a 0.40 s.	Conformidad
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	Conformidad
Zona III	Suelos finos y arenosos potentes. Periodos de 0.3s a 0.4 s	Conformidad
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 0.40s	Conformidad
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s.	Conformidad
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 0.40s	Conformidad
Zona III	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Periodos de 0.10s a 0.20s	Conformidad
Zona III	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Periodos de 0.10s a 0.20s	Conformidad
Zona III	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	Conformidad
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	Conformidad
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	Conformidad
Zona III	Suelos finos y arenosos potentes. Periodos de 0.3s a 0.4 s	Conformidad
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.	Conformidad
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.	Conformidad
Zona III	ZRP	Conformidad
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s.	Conformidad
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s	Conformidad
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.	Conformidad
Zona III	Arenas eólicas mayores a 10 m, suelta a media densa. Nivel freático menor a 4 m. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.4 s.	Conformidad
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s.	Conformidad
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 0.40s	Conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
Zona IV	Taludes de fuerte pendiente con potencial peligro de deslizamiento, derrumbes y caídas de rocas	No conformidad
Zona IV	Corresponde a suelos cuyas características físicas y dinámicas son excepcionales (suelos blandos y flexibles). En el área de estudio, esta zona presenta topografía irregular, es susceptible a generar derrumbes, caída de rocas y asentamientos	No conformidad
Zona IV	Depósitos marinos y rellenos heterogéneos.	No conformidad
Zona IV	Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuables. Zonas con alta amplificación sísmica	No conformidad
Zona IV	Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuables. Zonas con alta amplificación sísmica	No conformidad
Zona IV	Taludes de fuerte pendiente. Peligro Geológico moderado a alto de deslizamiento de detritos y lodos, derrumbes y caídas de rocas.	No conformidad
Zona IV	Canteras, denuncios mineros y taludes de fuerte pendiente con potencial peligro de deslizamiento, derrumbes y caídas de roca.	No conformidad
Zona IV	Canteras	No conformidad
Zona IV	Depósitos marinos. período de 0.50 s a 0.80 s	No conformidad
Zona IV	Depósitos marinos. período de 0.50 s a 0.80 s	No conformidad
Zona IV	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa, con peligro geológico alto debido a la presencia de laderas de cerros con pendiente moderadas a fuerte. Con periodos menores a	No conformidad

Zonificación	Descripción	Estado
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	No conformidad
Zona IV	Suelos finos y arenosos de gran potencia. Periodos de ≥ 0.4 s	No conformidad
Zona IV	Arenas eólicas de gran potencia en estado suelto y depósitos marinos. Periodos del suelo de 0.80 s a 1.20 s. Zona de inundación por tsunami	No conformidad
Zona IV	Acantilados de fuerte pendiente	No conformidad
Zona IV	Acantilados de la costa verde de fuerte pendiente, propensos a sufrir desprendimiento de los materiales de los suelos que lo conforman.	No conformidad
Zona IV	Acantilados y taludes. Periodos de suelo de 0.1 s a 0.2 s.	No conformidad
Zona IV	Taludes inestables con fuerte pendiente, canteras informales, depósitos de suelos pantanosos, depósito de arenas eólicas de compacidad suelta potencialmente licuable. Zonas con alta amplificación sísmica	No conformidad
Zona V	Zonas de escombros y depósitos de rellenos antrópicos fuera del área de estudio	No conformidad
Zona V	Rellenos Heterogéneos localizados	No conformidad
Zona V	Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras	No conformidad
Zona V	Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras	No conformidad
Zona V	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa, con peligro geológico bajo. Con periodos menores a 0.20 s.	No conformidad

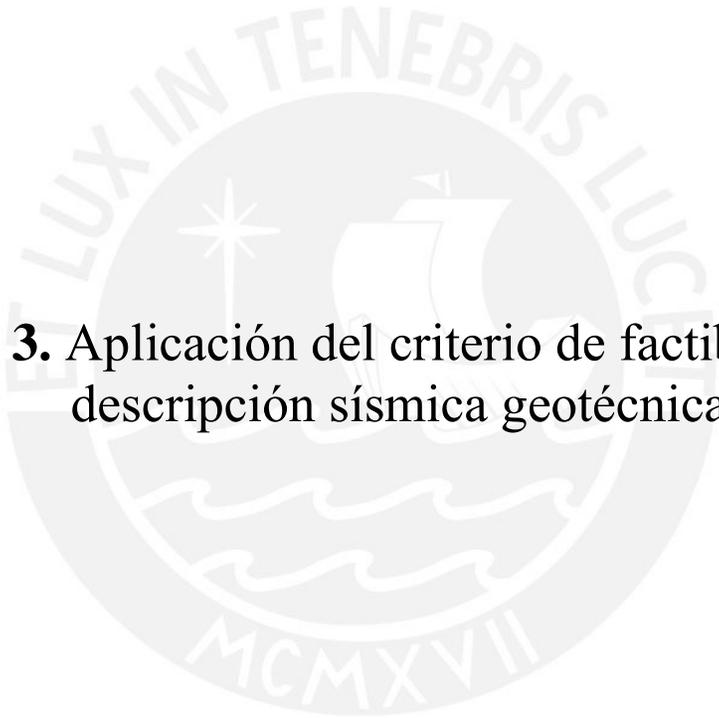


Anexo 2. Detalle de la sectorización de todos los distritos de Lima Metropolitana y Callao

DISTRITOS	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
Ancón	0%	95%	5%
Ate	53%	41%	6%
Barranco	96%	4%	0%
Bellavista	8%	92%	0%
Breña	2%	98%	0%
Callao	7%	82%	11%
Carabaylo	21%	74%	4%
Carmen De La Legua Reynoso	99%	1%	0%
Chaclacayo	17%	79%	4%
Chorrillos	25%	70%	4%
Cieneguilla	23%	42%	35%
Comas	22%	76%	2%
El Agustino	7%	93%	0%
Independencia	0%	100%	0%
Jesus Maria	11%	89%	0%
La Molina	4%	96%	0%
La Perla	0%	100%	0%
La Punta	0%	0%	100%
La Victoria	6%	94%	0%
Lima	23%	77%	0%

DISTRITOS	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
Lince	34%	66%	0%
Los Olivos	0%	100%	0%
Lurigancho	11%	48%	41%
Lurín	22%	65%	13%
Magdalena Del Mar	54%	46%	0%
Mi Peru	0%	100%	0%
Miraflores	18%	82%	0%
Pachacamac	1%	29%	70%
Pucusana	0%	67%	33%
Pueblo Libre	89%	11%	0%
Puente Piedra	22%	75%	3%
Punta Hermosa	0%	53%	47%
Punta Negra	0%	100%	0%
Rímac	6%	94%	0%
San Bartolo	88%	12%	0%
San Borja	38%	62%	0%
San Isidro	50%	50%	0%
San Juan De Lurigancho	8%	81%	11%
San Juan De Miraflores	0%	100%	0%
San Luis	0%	100%	0%

DISTRITOS	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3
San Martin De Porres	5%	95%	0%
San Miguel	80%	20%	0%
Santa Anita	70%	30%	0%
Santa Eulalia	0%	100%	0%
Santa Maria Del Mar	100%	0%	0%
Santa Rosa	0%	93%	7%
Santiago De Surco	41%	59%	0%
Surquillo	11%	89%	0%
Ventanilla	0%	97%	3%
Villa El Salvador	0%	98%	2%
Villa Maria Del Triunfo	0%	98%	2%



Anexo 3. Aplicación del criterio de factibilidad por descripción sísmica geotécnica

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. Períodos menores a 0.2 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Estratos potentes de grava aluvial consolidada, con matriz arenosa y/o arena limosa. Periodos de 0.1s a 0.3s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Estratos potentes de grava aluvial y coluvial, con matriz arenosa, afloramientos rocosos. Periodos 0.10 s a 0.30 s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos coluvioaluvionales y aluvionales, gravas de compacidad media a densa. Períodos de 0.1 s a de 0.2 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturamiento y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
	Períodos de vibración ambiental menores a 0.3								
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Laderas de los cerros donde existen afloramientos rocosos o estratos gravosos de origen coluvial. Periodos alrededor de 0.10 s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Afloramiento de roca sana y/o fracturada. Periodos del suelo de 0.10 s a 0.20 s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arena, limos y/o arcillas de poco espesor. Períodos menores a 0.20 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona I	Grava de origen aluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso, Periodos de 0.10s a 0.20s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Afloramiento de rocas con diferentes grados de fracturación. Depósitos de gravas y/o arenas de compacidad densa	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Grava de origen coluvial-aluvial. Período predominante de 0.1s a 0.2s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial-aluvial que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa, con peligro geológico bajo. Con periodos menores a 0.20 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Depósitos de gravas de compacidad media a densa. Período de vibración ambiental menores a 0.30 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.3	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. periodos menores a 0.30 s.	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona I	Grava de origen aluvial y coluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso. Periodos de 0.1s a 0.2s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Afloramiento rocoso y depósitos de gravas. Periodos 0.1 s a 0.15 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona I	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Considera a suelos medianamente compactos constituidos por material heterogéneo depositado sobre el material aluvial, Presentan velocidades de ondas de corte para la capa superficial de 400 m/s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	ZRE - Zona de Reglamentación Especial	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	ZRP - Campo de Marte, Parque de los Próceres de la Independencia	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Gravas de compacidad media a densa, periodos menores a 0.2 s. Zona con peligro geológico bajo.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	ZRP	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Depósitos potentes de grava aluvial con bolonería; de compacidad densa; con estratos superficiales de arenas, limos y arcillas de poco espesor. periodos menores a 0.30 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona I	Otros Usos, Círculo Militar Del Perú	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Rellenos antrópicos no controlados, compuesto por grava arenosa, limosa, con restos de material de construcción, plásticos, vidrios, etc.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona I	Grava de origen aluvial con arenas superficiales, afloramientos rocosos. Periodos de suelo de 0.1 s a 0.2 s.	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona I	Depósitos de gravas de compacidad media a densa. Con períodos menores a 0.20 s.	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona I	Afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona I	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de grava de compacidad media a densa. Períodos menores a 0.30 s.	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona I	ZRP - Recreación Pública-Parques	NA	A	NA	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	A	A	A	A	NA	A	A	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona II	Suelos granulares finos superficiales y alternancia de suelos cohesivos y no cohesivos. Período predominante de 0.2s a 0.3s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Suelos gravosos coluviales y estratos de arena mal graduada de moderado espesor. Periodos de 0.10 s a 0.20 s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa y depósitos de arcillas y limos de consistencia media a dura. Con períodos menores a 0.30 s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Arenas de compacidad media a densa; limos y arcillas de consistencia media a dura. Periodos de 0.15 s. a 0.26 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media. Depósitos de limos y/o arcillas de consistencia media	A	A	A	A	NA	A	A	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona II	La zona incluye planicies aluvionales conformadas por columnas de gravas compuestas por arenas intercaladas con niveles finos de limos y arcillas, y espesores entre 6 y 10 m. Abarca la zona céntrica del área urbana de Carapongo y margen der. Río Ri	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	En esta zona se incluyen las áreas de terreno conformado por estratos superficiales de suelos granulares finos y suelos arcillosos con espesores que varían entre 3.0 y 10.0 m., subyaciendo a estos estratos se tiene grava aluvial o grava coluvial	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Esta zona está conformada por los afloramientos rocosos, los estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Se identifica también las zonas: ZAH,OU	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Grava de origen coluvial-aluvial. Período predominante de 0.1s a 0.2s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media, depósitos de limos y arcillas de consistencia media, con peligro	A	A	A	A	NA	A	A	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
	geológico medio, debido a la presencia de laderas de cerros con pendiente moderada. Con períodos menores a 0.30 s.								
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.30s	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Períodos de 0.10s a 0.20s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media a densa. Períodos de 0.2s a 0.3s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Suelos finos y suelos arcillosos de consistencia media rígida. Períodos de 0.4s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Grava de origen aluvial y coluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso. Períodos de 0.1s a 0.2s.	A	A	A	A	NA	A	A	A

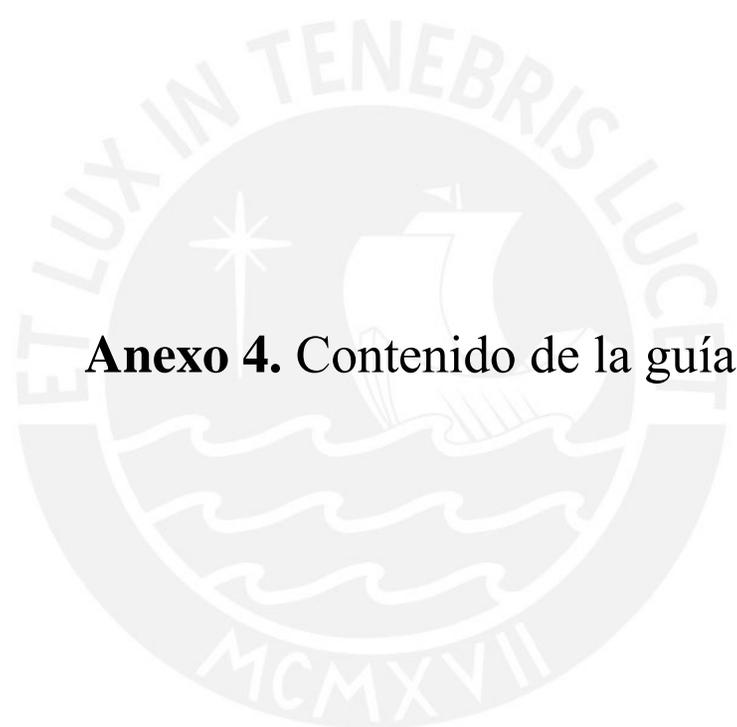
Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona II	Depósitos de arena de compacidad media a densa o arcillas y limos de consistencia media. Períodos de vibración ambiental menores a 0.40s	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.20 a 0.40 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida. Períodos de vibración ambiental menores a 0.3	NA	A	NA	A	NA	A	NA	A
Zona II	Depósitos de escombros y/o desechos, rellenos antrópicos en el interior de antiguas excavaciones mineras	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Suelos arenosos intercalados con estratos de arcilla, espesor menor a 10m. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.3 s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Suelos arenosos intercalados con estratos de arcilla, espesor menor a 10m. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.3 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona II	Arenas eólicas de espesores variables, compacidad media densa a densa. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.4 s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Arenas eólicas de espesores variables, compacidad media densa a densa. Periodos de suelo de 0.2 s a 0.4 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona II	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.20 a 0.40 s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos de vibración ambiental menores a 0.40s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	ZRP - Zona de Recreación Pública Parques	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona II	Depósitos de arenas de compacidad media a densa. Periodos menores a 0.40 s.	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
Zona III	Suelos finos y arenosos potentes. Periodos de 0.3s a 0.4 s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	Depósitos de arenas de compacidad suelta a media, depósitos de limos y	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
	arcillas de consistencia blanda a media. Periodos de vibración ambiental mayores a 0.40s								
Zona III	Suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media. Periodos de 0.10s a 0.20s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	Estratos de arena de compacidad media a densa, a partir de 1.0 m de profundidad. Periodos de 0.20 s a 0.40s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	Estratos potentes de arena de compacidad suelta a media entre 0.0 m y 3.0 m de profundidad. Periodos de 0.40 s a 0.70 s	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA
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.	A	A	A	A	NA	A	A	A
Zona III	ZRP	A	A	A	A	NA	A	A	A

Zonificación	Descripción	TP_Enterra	TP_Apoyado	TF_Enterra	TF_Apoyado	TA_Enterra	TA_Apoyado	TC_Enterra	TC_Apoyado
Zona III	Arenas eólicas de gran potencia, sueltas a media densa. Periodos del suelo de 0.50 s. A 0.70 s	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA





Anexo 4. Contenido de la guía



GUÍA

Lima 2024

Guía para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura para los primeros momentos de una emergencia por sismo en la metrópoli de Lima y Callao

Presentado por

Jeans Suarez
Fresia Tejada



ÍNDICE

CONTENIDO DE LA GUÍA

Antecedente	136
Introducción	137
Objetivos	138
Alcance	138
Glosario	139
Paso 1: Identificar la situación de manzana	140
Paso 2: Identificar soluciones	142
Paso 3: Seleccionar el tipo de abastecimiento	144
Paso 4: Calcular el volumen requerido	146
Recomendaciones de mantenimiento del agua segura	148



ANTECEDENTE

La presente guía forma parte del proyecto de investigación “Proyecto PI0841”, financiado por el Vicerrectorado de Investigación con el fondo para el Desarrollo de Proyectos Multi e Interdisciplinarios con Impacto Social - [2022] a cargo de los grupos de investigación GERDIS e IPDESUR, bajo la dirección de la Dra. Sandra Santa Cruz, docente del Departamento de Ingeniería. El desarrollo de esta guía considera la información obtenida de los talleres, encuestas y visita a instalaciones de Sedapal del Proyecto PI0841, así como la recopilación de información de Sedapal y recomendaciones internacionales. Los autores de esta tesis participaron en dicho proyecto como asistentes de investigación.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al estudio de escenario sísmico para Lima y Callao realizado por CENEPRED, ante un sismo de 8.8 Mw, el 75% de la población Limeña está expuesta a un riesgo muy alto, 24% a un riesgo alto y solo el 1% a un riesgo medio. De manera similar, para la provincia de Callao, se tiene que el 83% de la población está expuesta a un riesgo muy alto y el resto de la población 17% presenta un riesgo alto. Además, las estimaciones realizadas junto a Sedapal indican que se perdería el 75% de los pozos, el 70% de las estaciones de bombeo, 0.5% de las redes primarias, 30% de las redes secundarias y el 25% de los reservorios secundarios, ello implica que la infraestructura sanitaria que abastece de agua a la ciudad de Lima quedaría gravemente dañada y podría tardar hasta 72 horas para que el sistema vuelva a funcionar. Por lo tanto, es muy importante tener un sistema de abastecimiento de agua que esté habilitado justo después de la ocurrencia del sismo.





OBJETIVO

Ilustrar la implementación de un sistema de abastecimiento de agua segura en los primeros momentos de una emergencia por sismo en la metrópoli de Lima y Callao.

ALCANCES DE LA GUÍA

Se cubre la identificación de la situación de abastecimiento de una manzana frente al escenario de riesgo presentado, tipos de tanques de abastecimiento recomendados, cálculo de volumen de abastecimiento requerido y recomendaciones de mantenimiento de los tanques para Lima Metropolitana y Callao.

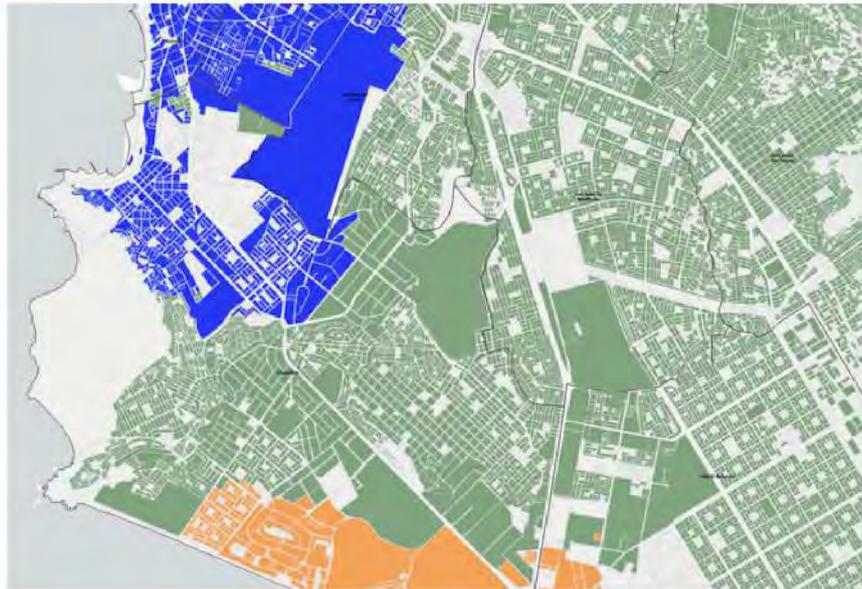


GLOSARIO

- **Manzanas abastecidas de agua potable:** Aquellas manzanas que se encuentra a una distancia igual o menor a 1 Km desde la ubicación de un tanque de abastecimiento operativo después de un sismo de 8.5 Mw o más.
- **Manzanas no abastecidas de agua potable:** Aquellas manzanas que se encuentra a una distancia mayor a 1 Km desde la ubicación de un tanque de abastecimiento operativo después de un sismo de 8.5 Mw o más.
- **Espacio público apto:** Espacios públicos tales como parques, plazas, estadios, óvalos, etc, que son factibles para implementar un sistema de tanques.
- **Sistema de tanques:** Uno o mas tanques y sus componentes necesarios para el uso como abastecimiento de agua segura instalado en un espacio público apto.
- **Sistema alternativo:** Sistema de abastecimiento de agua segura a nivel personal o familiar con la posibilidad de instalarse sin requerir de la cercanía de un espacio público apto.
- **Primeros momentos de la emergencia:** Periodo de 3 días comprendido entre el fin del sismo y la puesta en marcha de protocolos de respuesta ante emergencias.

PASO 1: IDENTIFICAR LA SITUACIÓN DE MANZANA

¿EN QUÉ SITUACIÓN DE ABASTECIMIENTO SE ENCUENTRA MI MANZANA?



SECTOR 1: Manzanas abastecidas de agua potable por Sedapal y/o Provisur ante un escenario de sismo 8.8 Mw.

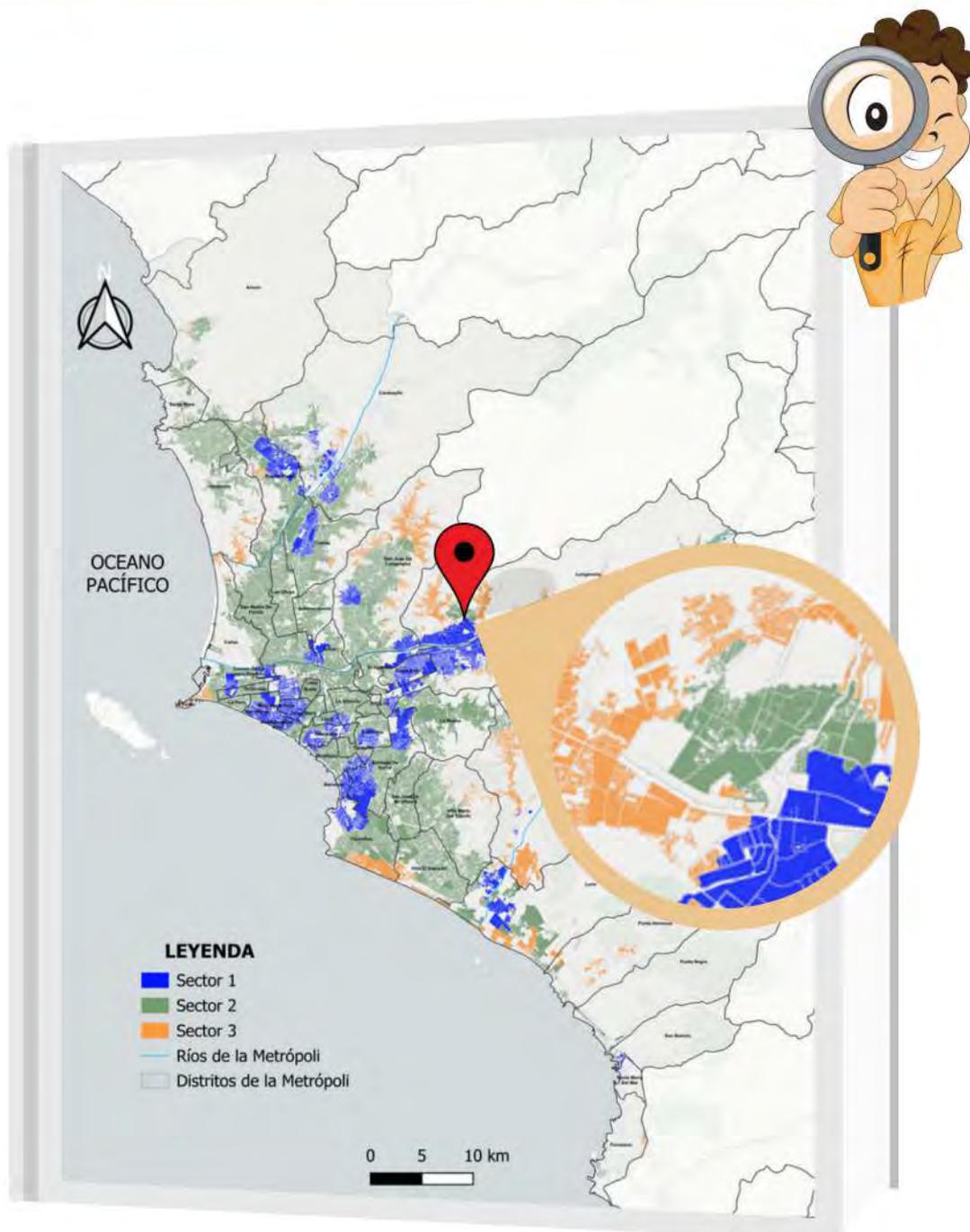
SECTOR 2: Manzanas no abastecidas de agua potable por Sedapal ante un escenario de sismo 8.8 Mw, pero con posibilidad de implementar un **sistema de tanques** ubicado en un **espacio público apto** para abastecerse de agua segura ante el mismo escenario de sismo.

SECTOR 3: Manzanas no abastecidas de agua potable por Sedapal ante un escenario de sismo 8.8 Mw, sin espacio público apto cercano, pero con posibilidad de implementar un **sistema alternativo** para abastecerse de agua segura ante el mismo escenario de sismo.



PASO 1: CASO EJEMPLO

Javier Pérez es una persona que vive en el Jr. Los Titanes 160, en la urbanización La Campiña del distrito de Chorrillos. Javier accede al siguiente link https://drive.google.com/drive/folders/1_rUI_flp0tuK9hIV-EXgeCrfhM7hqVbv, descarga los archivos, abre el mapa 1 y ubica su casa en el mapa para identificar el color que le corresponde a la manzana donde vive. En este caso, su manzana tiene color verde, lo cual indica sector 2.





PASO 2: IDENTIFICAR SOLUCIONES

¿QUÉ OPCIONES TENGO PARA ABASTECERME DE AGUA ANTE UN ESCENARIO POSTSISMO?



Acoplarse a los planes de Sedapal o Provisur



Implementar un sistema de tanques dentro de un espacio público apto para el abastecimiento de agua seguro en un escenario postsismo



Implementar un sistema alternativo para el abastecimiento de agua seguro en un escenario postsismo



PASO 2: CASO EJEMPLO

Javier Pérez comunica a sus vecinos de manzana que pertenecen al sector 2. Entonces, luego de una reunión, todos los vecinos de la manzana acuerdan implementar un sistema de tanques dentro de un espacio público apto para el abastecimiento de agua segura en un escenario postsismo.

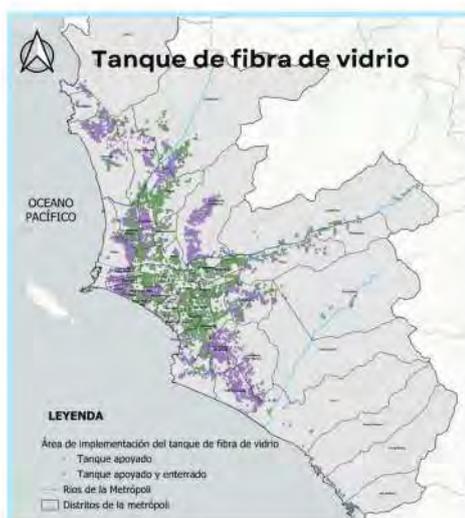
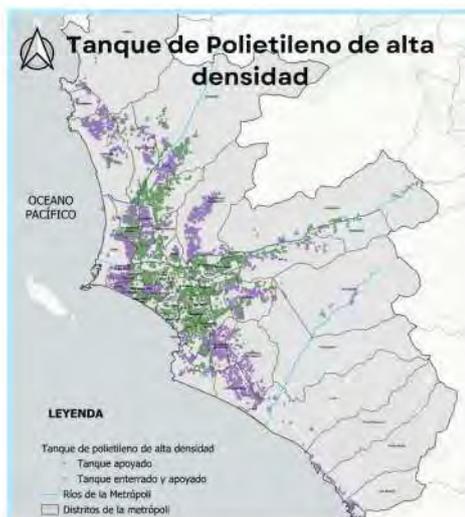


PASO 3: SELECCIONAR EL TIPO DE ABASTECIMIENTO

¿QUÉ TIPO DE TANQUE UTILIZARÉ PARA ABASTECERME DE AGUA ANTE UN ESCENARIO POSTSISMO?



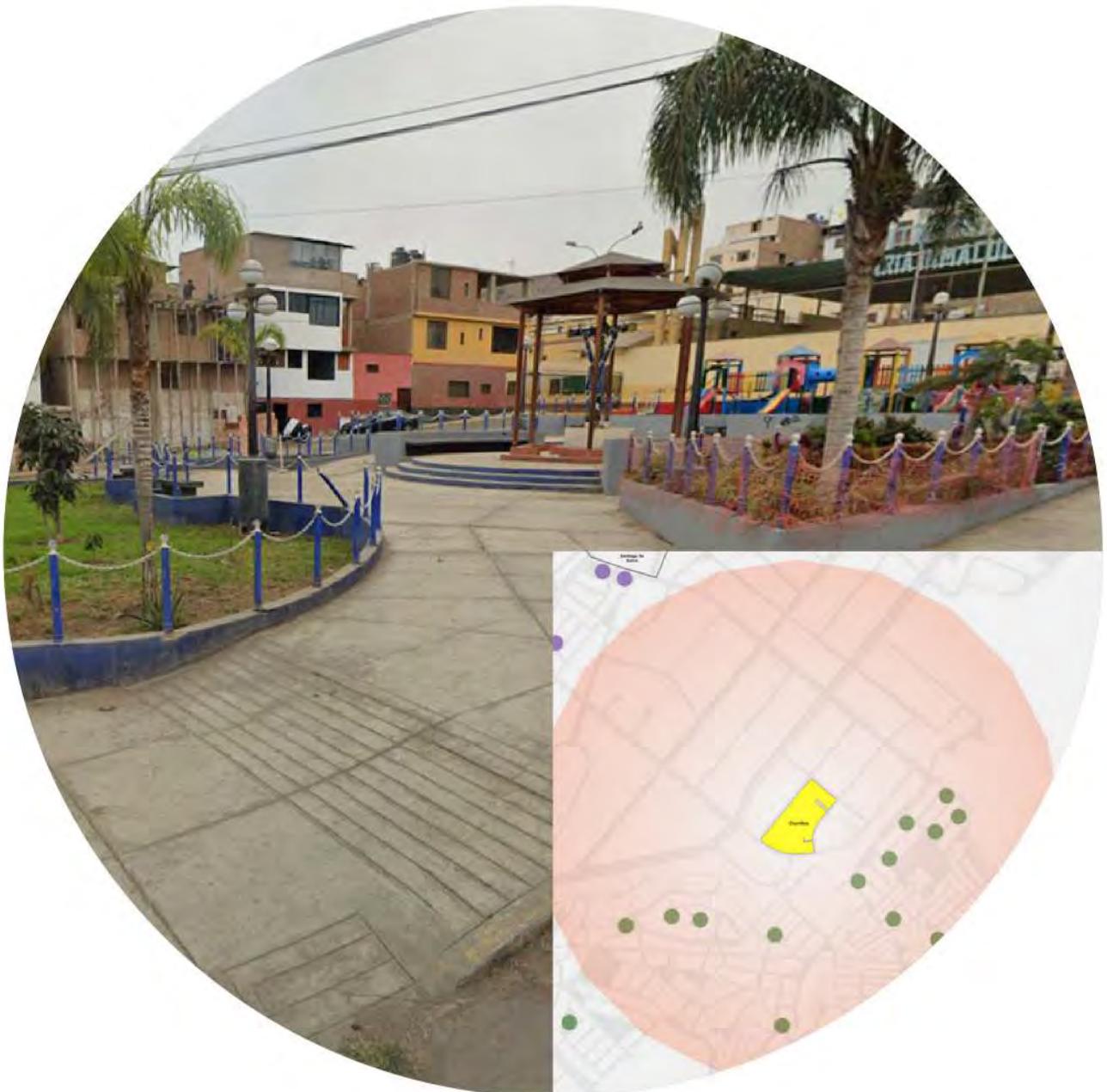
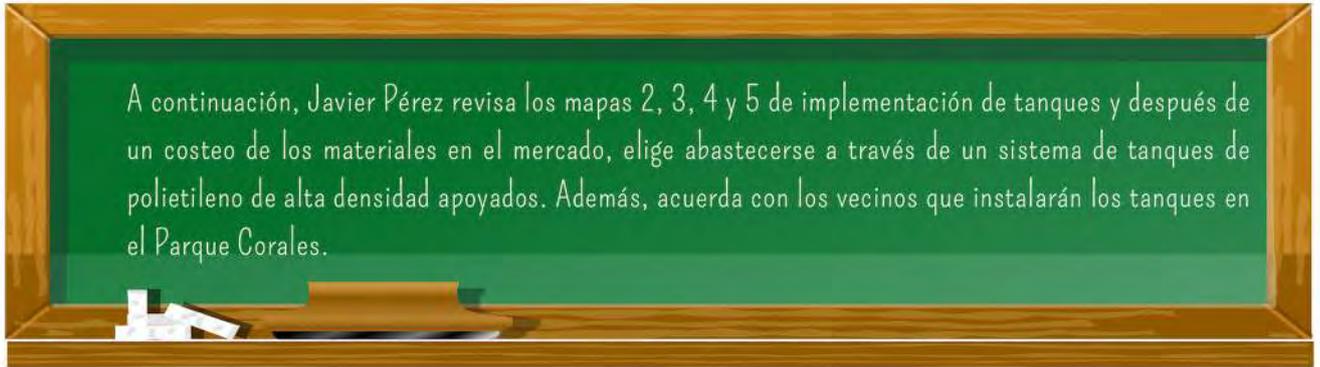
En esta etapa, se presentan **4 alternativas**, una en cada mapa: tanque de polietileno de alta densidad, tanque de fibra de vidrio, tanque de acero inoxidable, tanque de concreto armado. En estos mapas, se puede elegir el tipo de tanque y su ubicación.





PASO 3: CASO EJEMPLO

A continuación, Javier Pérez revisa los mapas 2, 3, 4 y 5 de implementación de tanques y después de un costeo de los materiales en el mercado, elige abastecerse a través de un sistema de tanques de polietileno de alta densidad apoyados. Además, acuerda con los vecinos que instalarán los tanques en el Parque Corales.





PASO 4: CALCULAR EL VOLUMEN REQUERIDO

¿CUÁL SERÁ EL VOLUMEN DE AGUA SEGURA NECESARIA PARA ABASTECER A MI MANZANA?

La dosificación recomendable será de 15 litros de agua segura por persona al día, repartida en 2.5 a 3 litros de agua para beber, de 3 a 6 litros de agua para cocinar y de 2 a 6 litros de agua destinada a higiene personal.



Entonces, para calcular el volumen total de agua requerido por la manzana durante los **primeros momentos de la emergencia** se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{VOLUMEN (M3)} = \frac{(15 \text{ LITROS}) * (3 \text{ DÍAS}) * (\text{CANTIDAD DE PERSONAS})}{1000}$$



PASO 4: CASO EJEMPLO

Javier Perez realiza un conteo del total de habitantes de la mazana para luego realizar el cálculo de volumen de abastecimiento de agua segura necesaria. Esto resulta en lo siguiente:

$$\text{Volumen total} = 15 \times 672 \times 3 = 30.2 \text{ m}^3$$

Javier elige implementar tres tanques de polietileno de 10m³ cada uno.





RECOMENDACIONES DE MANTENIMIENTO DEL AGUA SEGURA

- pH del agua debe oscilar entre 6.5 -9
- Análisis periódicos de pH con kits analizadores
- Cloro residual debe oscilar entre 0.3-2 ppm
- Lavado y desinfección del tanque de 2 veces por año con soluciones de hipoclorito y evitando materiales e implementos abrasivos.
- El tanque debe tener ligero olor a cloro como buen indicador
- Se debe tener cuidado con la filtración de napas freáticas elevadas
- Temperatura del tanque no debe ser elevada para no crear microclimas



(Según recomendaciones del Manual de Mantenimiento de Tanques de Agua Potable y Piscinas de SIKA)





CONTACTO

jeans.suarez@pucp.edu.pe
fresia.tejada@pucp.edu.pe

