



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



PROGRAMA PRESUPUESTAL	0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES
PRODUCTO	3000736. EDIFICACIONES SEGURAS ANTE RIESGO DE DESASTRES
ACTIVIDAD	5005571. DESARROLLO DE ESTUDIO PARA ESTABLECER EL RIESGO A NIVEL TERRITORIAL
FINALIDAD	0160787. DESARROLLO DE ESTUDIOS PARA ESTABLECER EL RIESGO TERRITORIAL
INFORME	ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS URBANAS DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO



LIMA, NOVIEMBRE 2019



ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1. ANTECEDENTES	10
2. INTRODUCCIÓN.....	10
3. MAPAS DE VULNERABILIDAD	12
3.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral	12
3.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal	12
3.1.2. Metodología de toma de datos	12
3.1.3. Plantilla para la encuesta.....	12
3.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo	14
3.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo.....	15
3.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos.....	16
3.1.7. Sistematización de la Información	16
3.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar	17
3.2. Informe de campo.....	19
3.2.1. Edificaciones.....	19
3.2.2. Edificaciones esenciales.....	26
3.3. Base de datos geo-espacial.....	42
3.3.1. Mapa de Uso de Suelo	44
3.3.2. Mapa de Materiales Predominantes	46
3.3.3. Mapa de Alturas de Edificación	47
3.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales	48
3.3.5. Mapa de Estado de Conservación.....	50
3.3.6. Mapa de Vulnerabilidad	51
4. MAPAS DE RIESGO	57
4.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico	57



4.2.	Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico.....	57
4.3.	Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo.....	60
5.	ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA	62
5.1.	Mapa de tipo de tubería de agua	67
5.2.	Mapa de roturas para un escenario sísmico	69
5.3.	Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua	70
6.	MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI.....	72
6.1.	Sismicidad en el Perú.....	72
6.2.	Tsunamis históricos en el Perú.....	74
6.3.	Ámbito de Estudio	76
6.4.	Procedimiento de Análisis.....	77
6.5.	Consideraciones Teóricas	78
6.5.1.	Conceptos Básicos	78
6.6.	Análisis del Tsunami para el distrito de San Isidro	85
6.6.1.	Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano.....	85
6.6.2.	Fase de la Propagación del Tsunami	87
7.	REFERENCIAS.....	98



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote	13
Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana	14
Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de San Isidro	15
Figura 4. Manzanas totales (671) versus manzanas seleccionadas (243).....	18
Figura 5. Vivienda de dos niveles del Sector 01.	19
Figura 6. Vivienda de tres niveles del Sector 01.	19
Figura 7. Viviendas de albañilería confinada con estado de conservación regular del Sector 01.....	20
Figura 8. Vivienda de pórticos de concreto con estado de conservación regular con presencia de piso blando del Sector 01.	20
Figura 9. Vivienda de pórticos de concreto con estado de conservación regular del Sector 01.	20
Figura 10. Edificios de 14 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 01.	21
Figura 11. Edificios de 15 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 01.	21
Figura 12. Vivienda de tres niveles del Sector 02.	22
Figura 13. Vivienda de seis niveles del Sector 02.....	22
Figura 14. Viviendas de concreto armado con estado de conservación bueno del Sector 02.	22
Figura 15. Vivienda de muros de concreto con estado de conservación bueno del Sector 02.	22
Figura 16. Viviendas de albañilería confinada con estado de conservación regular del Sector 02.....	23
Figura 17. Edificios de 25 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 02.	23
Figura 18. Vivienda de dos niveles del Sector 03.	24
Figura 19. Vivienda de cuatro niveles del Sector 03.....	24
Figura 20. Edificaciones altas de uso multifamiliar y oficinas Sector 03.	24
Figura 21. Vivienda antigua de adobe con conservación mala del Sector 03.....	24
Figura 22. Vivienda de tres niveles del Sector 04.....	25



Figura 23. Vivienda de cuatro niveles del Sector 04.....	25
Figura 24. Viviendas de concreto armado con placas del Sector 04.....	25
Figura 25. Clínica SANNA - El Golf	26
Figura 26. Colegio León Pinelo.....	26
Figura 27. Centro de Salud San Isidro	27
Figura 28. Estación de Bomberos de San Isidro	27
Figura 29. Red ESSALUD Centro de Atención Primaria San Isidro	27
Figura 30. Nido Pasitos del Divino Niño	27
Figura 31. Nido José Olaya.....	28
Figura 32. Centro Parroquial San Felipe Apóstol.....	28
Figura 33. Colegio Jesualdo	29
Figura 34. Universidad del Pacífico "Centro de Idiomas".....	29
Figura 35. Nido Alma Máter	29
Figura 36. Colegio Sagrado Corazón Sophianum.....	29
Figura 37. Centro Médico Blau	30
Figura 38. Colegio Berkeley School	30
Figura 39. Embajada de la República Checa	30
Figura 40. Residencia del Embajador del Japón.....	30
Figura 41. Clínica MEDAVAN Cirugía Ambulatoria.....	31
Figura 42. Clínica del trabajador.....	31
Figura 43. Instituto Toulou Lause Trec.....	31
Figura 44. Universidad Inca Garcilaso de la Vega	31
Figura 45. Colegio Sor Rosa Larrabure.....	32
Figura 46. Universidad Le Cordon Bleu.....	32
Figura 47. Iglesia Medalla Milagrosa	32
Figura 48. Colegio Isabel Flores de Oliva	32
Figura 49. Nido Brighton Nursery School	33
Figura 50. Comisaría P.N.P. Orrantia del Mar San Isidro	33
Figura 51. Nido Cangurito	33
Figura 52. Colegio Parroquial SS.CC "Reina de la Paz".....	34



Figura 53. Colegio de los sagrados corazones “Belen”	34
Figura 54. Colegio “Montealto”	34
Figura 55. Colegio “Santa Úrsula”	34
Figura 56. Centro Médico las Palmeras REDMED Cayetano Heredia	35
Figura 57. Colegio Nuestra señora de la Luz de la manzana 355.....	35
Figura 58. Colegio Nuestra señora de la Luz de la manzana 395.....	35
Figura 59. Colegio Alfonso Ugarte.....	36
Figura 60. Colegio El Olivar.	36
Figura 61. Colegio Santa Rosa.....	36
Figura 62. Colegio María Reina Marianistas.	36
Figura 63. Nido Festini.	37
Figura 64. Universidad Garcilazo de la Vega.	37
Figura 65. Instituto Nacional de Calidad.....	37
Figura 66. Procuraduría Pública del Poder Judicial.	37
Figura 67. Grifo Primax.	38
Figura 68. Iglesia Virgen de la Salud.....	38
Figura 69. Iglesia Misión Familiar Internacional.	38
Figura 70. Clínica Javier Prado.....	38
Figura 71. Colegio John Neper.	39
Figura 72. Jardín “Jardín de Infancia”.....	39
Figura 73. Instituto Geográfico Nacional.	40
Figura 74. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo y Ministerio del Interior.	40
Figura 75. Comunidad andina Nacional.	40
Figura 76. Petro Perú.....	40
Figura 77. Clínica Ricardo Palma de la manzana 679.....	41
Figura 78. Clínica Ricardo Palma de la manzana 689.....	41
Figura 79. Instituto de Educación Ricardo Palma.	41
Figura 80. Autoridad Nacional del Agua.....	41
Figura 81. Base de datos de los lotes representativos por manzana.....	42



Figura 82. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.....	44
Figura 83. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de San Isidro	45
Figura 84. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de San Isidro .	45
Figura 85. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito San Isidro	46
Figura 86. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del distrito de San Isidro	46
Figura 87. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de San Isidro .	47
Figura 88. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de San Isidro	47
Figura 89. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de San Isidro ...	48
Figura 90. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de San Isidro	49
Figura 91. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de San Isidro	50
Figura 92. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de San Isidro	50
Figura 93. Edificación representada por un sistema equivalente	52
Figura 94. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de San Isidro.....	56
Figura 95. Proceso de generación del mapa de riesgo	58
Figura 96. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas....	59
Figura 97. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)	60
Figura 98. Roturas por Km en tubos CIP y PVC	64
Figura 99. Roturas por Km en tubos de acero dúctil.....	65
Figura 100. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.....	65
Figura 101. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.....	66
Figura 102. Mapa de Tipos de Tubería en el distrito de San Isidro	68
Figura 103. Roturas por criterio de Yamazaki (2008)	69
Figura 104. Roturas por criterio de Ioyama (2000).....	70
Figura 105. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2019 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).....	73



Figura 106. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990).....	74
Figura 107. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.	75
Figura 108. La erosión producto del tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) (ITST, 2001a). Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de agosto de 2007 (derecha) (Fritz et al., 2008).	76
Figura 109. Localización del distrito de San Isidro.	77
Figura 110. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).	78
Figura 111. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.	81
Figura 112. Distribución de desplazamientos para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw, que constan de 280 sub fallas cada uno	84
Figura 113. Deformación inicial de la superficie del océano para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw.....	87
Figura 114. Dominios utilizados en la simulación numérica, a) Distribución de los 4 dominios, b) Detalle del área para el análisis de inundación (Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA).....	88
Figura 115. Capturas instantáneas en diferentes instantes de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.	89
Figura 116. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas de San Isidro. ..	90
Figura 117. Señal sintética del tsunami para los escenarios propuestos de 8.5 a 9.0 Mw en las costas de San Isidro	91
Figura 118. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.5 Mw	93
Figura 119. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.6 Mw	94
Figura 120. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.7 Mw	94
Figura 121. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw	95



Figura 122. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw	95
Figura 123. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 9.0 Mw	96



LISTA TABLAS

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos.....	43
Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de San Isidro para un escenario de sismo severo	60
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales	61
Tabla 4. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de San Isidro.....	63
Tabla 5. Tipo de tuberías de agua en el distrito de San Isidro	67
Tabla 6. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.	74
Tabla 7. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica.....	91
Tabla 8. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami	92
Tabla 9. Valores corregidos de alturas máximas de olas.	92



Análisis de Riesgo en Zonas Urbanas del Distrito de San Isidro

1. ANTECEDENTES

El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) tiene entre sus programas presupuestales el Programa Presupuestal PP-068, "Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres", asignando recursos a las instituciones públicas competentes, para el desarrollo de estudios para establecer el riesgo a nivel territorial. La Universidad Nacional de Ingeniería es receptora de un presupuesto anual asignado por el MEF, para el desarrollo de los estudios de riesgo a nivel territorial, cuya unidad ejecutora del presupuesto es el Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). CISMID es una institución de sólido prestigio internacional, cuya misión es la difusión de conocimientos en prevención y mitigación de desastres a través de la investigación y aplicación de tecnologías propias para contribuir al desarrollo sostenible y prosperidad de los pueblos del país. Entre sus competencias se encuentra el desarrollo de estudios de microzonificación sísmica, vulnerabilidad sísmica de edificaciones y evaluación del riesgo sísmico en áreas urbanas.

El presente informe desarrollado en el marco del Programa Presupuestal PP-068, presenta el estudio de microzonificación sísmica y análisis de riesgo en zonas ubicadas en el distrito de San Isidro.

2. INTRODUCCIÓN

El distrito de San Isidro es uno de los 43 distritos de la provincia de Lima Metropolitana. El distrito limita al norte con los distritos de Jesús María, Lince y La Victoria, al este con el distrito de San Borja, al sur con los distritos de Miraflores y Surquillo y al oeste con el distrito de Magdalena del Mar y el Océano Pacífico. El distrito de San Isidro tiene una superficie de 11,1 km² que ocupa como territorio. El distrito de San Isidro se constituye en el centro financiero de Lima, ya que la mayoría de bancos y financieras poseen oficinas y representaciones en su territorio; los principales rubros económicos que representan una alta actividad económica son el comercio y los servicios.

Acerca de la Historia del distrito de San Isidro

En tiempos de la colonia, al hacerse el primer reparto de tierras, la región Huallas fue adjudicada a Nicolás de Ribera y Laredo, "El viejo", fundador de la Ciudad de los Reyes y del Cabildo de Lima. En 1560, Antonio de Ribera, Procurador General, alcalde y maestro de campo de Gonzalo Pizarro Alonso, trajo los primeros olivos que dieron lugar al nacimiento del Bosque del Olivar. Esta heredad, antes de tomar el nombre de su propietario el Conde de San Isidro, quien la adquirió en 1777, llevó el de sus anteriores dueños, entre ellos el de Martín Morón, Pedro de Olavarrieta, Tomás de Zumarán y Antonio del Villar. Su último propietario



colonial fue Isidro de Cortázar y Abarca, conde de San Isidro. En 1853 pasó al poder de José Gregorio Paz Soldán y Ureta y, finalmente, a manos de los señores Moreyra y Paz Soldán.

En 1920, se formó la Compañía Urbanizadora San Isidro Limitada, encomendándose el proyecto de urbanización al escultor Manuel Piqueras Cotoquí, que concibió un plano variado e irregular con el afán de conseguir un barrio pintoresco y seguramente con la ilusión de que presentara un aspecto arquitectónico de cierta unidad y carácter.

La primera urbanización se extendió alrededor de El Olivar a lo largo de la Avenida Los Conquistadores y del óvalo de la cuadra 28 de la avenida Arequipa. Dentro del mismo parque se separaron para la venta 41 manzanas de diversos tamaños, con un área de 22 400 m². En 1924 se autorizó la urbanización Orrantía, que constituyó un barrio de importancia con una avenida de primera categoría, como la Avenida Javier Prado. En 1925 se creó la urbanización Country Club, con el hotel y el campo de polo respectivamente, que formaron otro centro de gravedad del distrito.

Posteriormente, las urbanizaciones de San Isidro, Orrantía y Country Club se segregan de Miraflores y pasan a formar el nuevo distrito creado por Decreto Ley No. 71132 del 24 de abril de 1931 y cuyo primer concejo se instaló el 2 de mayo del mismo año, siendo su primer alcalde don Alfredo Parodi.

La población de 1931 fue de 2131 habitantes; y el censo de 1940 arrojó una cifra de 8778 pobladores.

El 17 de diciembre de 1996, miembros del Movimiento Revolucionario Túpac Amaru (MRTA) tomaron por asalto la residencia del embajador del Japón, ubicada dentro del distrito de San Isidro. El secuestro duró hasta el 22 de abril de 1997, fecha en la cual un comando de las Fuerzas Armadas liberó a los rehenes, entre los que se encontraban empresarios, políticos y diplomáticos tales como el canciller Francisco Tudela, el vicealmirante Luis Giampietri, entre otros.

Actualmente, San Isidro se ha convertido en uno de los distritos más hermosos y pujantes, atravesando por un proceso de desarrollo urbano durante la década de 1980 y 1990 que lo convirtió en el centro financiero de la ciudad de Lima. Sin embargo, a pesar de la modernidad que lo caracteriza, aún conserva varias áreas residenciales e importantes legados de la cultura indígena y colonial que, combinados con los más refinados diseños arquitectónicos, lo convierten en uno de los más hermosos, tradicionales e históricos distritos de Lima Metropolitana.



3. MAPAS DE VULNERABILIDAD

3.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

3.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades del levantamiento de datos de campo, se inició el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, se organizaron grupos de trabajo asignando tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes ingenieros, estudiantes de postgrado y estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de antegrado o post grado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para poder representar de la mejor manera las tipologías constructivas de nuestro país, resaltando el sistema estructural, los materiales utilizados y en general las condiciones físicas de la edificación.

3.1.2. Metodología de toma de datos

Este procedimiento se basa en la toma de información en edificaciones de adobe, albañilería, quincha y concreto armado. La metodología consiste en una inspección visual rápida de las edificaciones identificando las debilidades aparentes en las edificaciones de una manzana. De acuerdo al porcentaje de lotes visualmente evaluados, se determina el lote representativo de la manzana del cual se toma el detalle de su información a través de una ficha de inspección estructural. El lote representativo es aquel que presenta de la mejor manera las características promedio de los lotes de la manzana evaluada.

3.1.3. Plantilla para la encuesta

Para la valoración en campo de las características de las edificaciones se utiliza una ficha de evaluación elaborada por nuestra institución para la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 1 y Figura 2. La Ficha está dividida en cinco áreas:

- Número de pisos
- Material
- Usos
- Sistema Estructural
- Conservación

Esta información es complementada con la toma de fotografía del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar la estructura de la edificación. Posteriormente esta fotografía se codifica para que coincida con el identificador del lote y de esta manera poder almacenar la fotografía en la base de datos geoespacial.

PROGRAMA PRESUPUESTAL PP-068 REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA CISMID/FIC/UNI - ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO				
INFORMACIÓN DE LA MANZANA				
CÓDIGO DE LA MANZANA:				
LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE				
No.Pisos (1)	Material (2)	Usos (3)	Sistema Estructural (4)	Conservación (5)
	Adobe (A)	Vivienda (V)	S Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo	(B) Bueno
	Mampostería (M)	Vivienda y Comercio (Y)	M Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos	(R) Regular
	Concreto (C)	Comercio (C)	N Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles	(M) Malo
	Quincha (Q)	Multifamiliar (M)	L Construcción Informal en Albañilería	
	Acero (S)	Policía o Bomberos (B)	A Adobe y Quincha	
	Madera (W)	Educativo (E)	C Pórticos de Concreto	
	Otro (O)	Hospital (H)	W Estructura de Concreto Armado con Placas	
		Industrial (I)	I Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería	
		Baldío (B)	L Estructura Celular de Concreto	
		Otros (O)	F Pórtico de Acero Resistentes a Momento	
			B Pórtico de Acero Arriostrados con Diagonales	
			U Estructura de Perfiles Livianos	
			W Entramados de Madera	
			T Estructuras Industriales / Comerciales	
*Nota: La Información de la manzana irá en plano lotizado adjunto similar al ejemplo de llenado que se muestra.			Nota 2: No Evaluado Use (X) Caso Valido Use (V)	
1AVSR			(1) + (2) + (3) + (4) + (5) 1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERÍA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGULAR	
Foto 1 - Numero		Foto 2 - Numero		Foto 5 - Numero
Foto 3 - Numero		Foto 4 - Numero		Acharar lote representativo

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote

PROGRAMA PRESUPUESTAL PP-068 REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA CISMID/FIC/UNI - ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO				
CODIGO DE MANZANA		CODIGO INTERNO		
ESTRUCTURACIÓN				
Material		Adobe	Mampostería	Concreto
Estado de Conservación		Bueno	Regular	Malo
Cimentación	Asentamiento	Sí	No	
	Humedad en la Base	Sí	No	
Techo				
Adobe	Mampostería	Concreto	Otros	
Madera	Losa de CA	Losa de CA		
Caña	Aligerado	Aligerado		
Torta Barro	Calamina	Placa Colaborante		
Otro	Otro	Otro		
Elementos Estructurales				
Fisuración				
Columnas		Fisuras	NOTA	Fisura Vertical (V)
Vigas		Fisuras	Sin Fisuras (X)	Fisura Diagonal (D)
Muros		Fisuras		Fisura Horizontal (H)
Estado de Muros				
Unidad		Artesanal	Industrial	Sólido
Confinamiento		Sí	No	Tubular/Hueco
Fisuras		Sí	No	
Tarrajeo		Sí	No	
Estado de conservación		Bueno	Regular	Malo

Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana

3.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georreferenciados del INEI del censo de vivienda del año 2007, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. Para facilitar el trabajo de los grupos evaluadores, el área a evaluar se dividió en 4 sectores, tal como se muestra en el mapa No. E-01.
- Para determinación de los límites del área a evaluar, se coordinó con funcionarios del Ministerio de Vivienda, de manera que se evaluara la totalidad del área urbana, con los diferentes niveles de ocupación y consolidación urbana. Adicionalmente, se prepararon mapas sobrepuestos en imágenes de Google Earth para la determinación exacta de estas áreas.
- Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los cuatro equipos de dos evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de cuatro semanas. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo de tres personas trabajase en zonas

involucradas reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Posteriormente toda esta información es codificada y llevada a una base de datos en una plataforma de sistema de información geográfica (SIG) para su georreferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 3, que se adjunta a continuación, en donde son identificados en los 4 sectores en que se dividió el distrito de San Isidro.

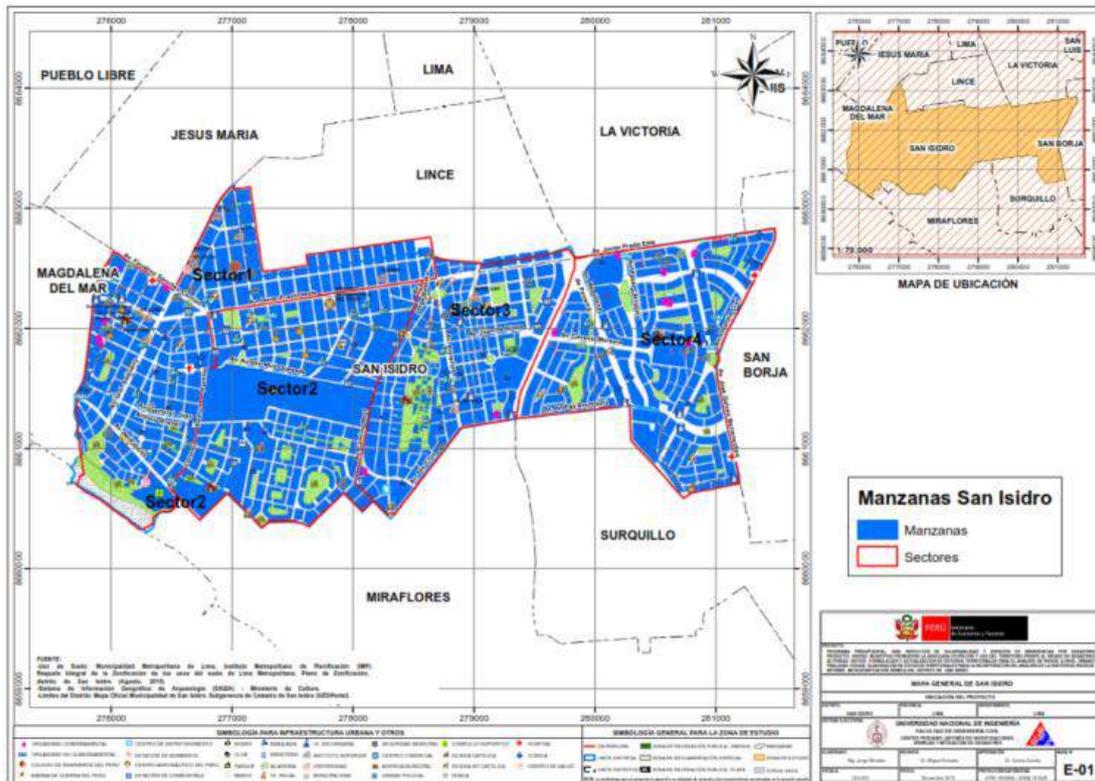


Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de San Isidro

3.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo

- Digitalización de datos de campo en una plataforma de sistemas de información geográfica.

La información recabada en campo fue vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGIS. La digitalización fue desarrollada por cuatro asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.

- Clasificación de datos



Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y estado de conservación.

c) Verificación de los datos recogidos

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

Donde los coordinadores realizaron visitas de campo para verificar la información recolectada por los diferentes equipos tomándose al azar manzanas y lotes que fueron verificadas en el campo. Se realizó el control de calidad durante la campaña de levantamiento de datos por 4 profesionales.

c2 – Un control de calidad en gabinete:

El método de verificación usado fue mediante la comparación de los formatos llenados en campo con las fotografías digitales tomadas en el lugar, la verificación se hace comparando la foto con los atributos de los lotes, por ejemplo, observando el número de pisos en la foto y comparándolo con el valor almacenado en la base de datos.

3.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georeferenciación.

Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georeferenciados usando la proyección del sistema de coordenadas planas UTM, teniendo como base el DATUM WGS84.

b) Compatibilización de planos provenientes de diferentes fuentes sobre la misma base cartográfica

Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema en mención mediante los parámetros por defecto que otorga el programa ArcGIS.

3.1.7. Sistematización de la Información

Para el procesamiento de la información se creó una base de datos geoespacial donde se integrarían no solo los datos cartográficos, como los límites de las manzanas, sino también los datos descriptivos de cada una de ellas. Los datos con los sectores, las manzanas y los lotes dentro de los límites distritales son implementados al sistema SIG.

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 35.7% del total de manzanas debe ser evaluado.



3.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar

Para la selección de la ubicación de las manzanas a evaluar se utilizó una función estadística de distribución continua. La distribución que se utilizó fue la distribución uniforme. En estadística la distribución uniforme es una distribución de probabilidad cuyos valores tienen la misma probabilidad. Se define la función de probabilidad uniforme como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } x \text{ a } \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde, a y b son los límites geográficos para el distrito de San Isidro, y x toma los valores para las coordenadas norte y este. Esta función tiene como característica que su media es $(a + b)/2$.

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas norte como este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de la selección de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de las 671 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 243 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 35.7%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle de las manzanas que fueron evaluadas.

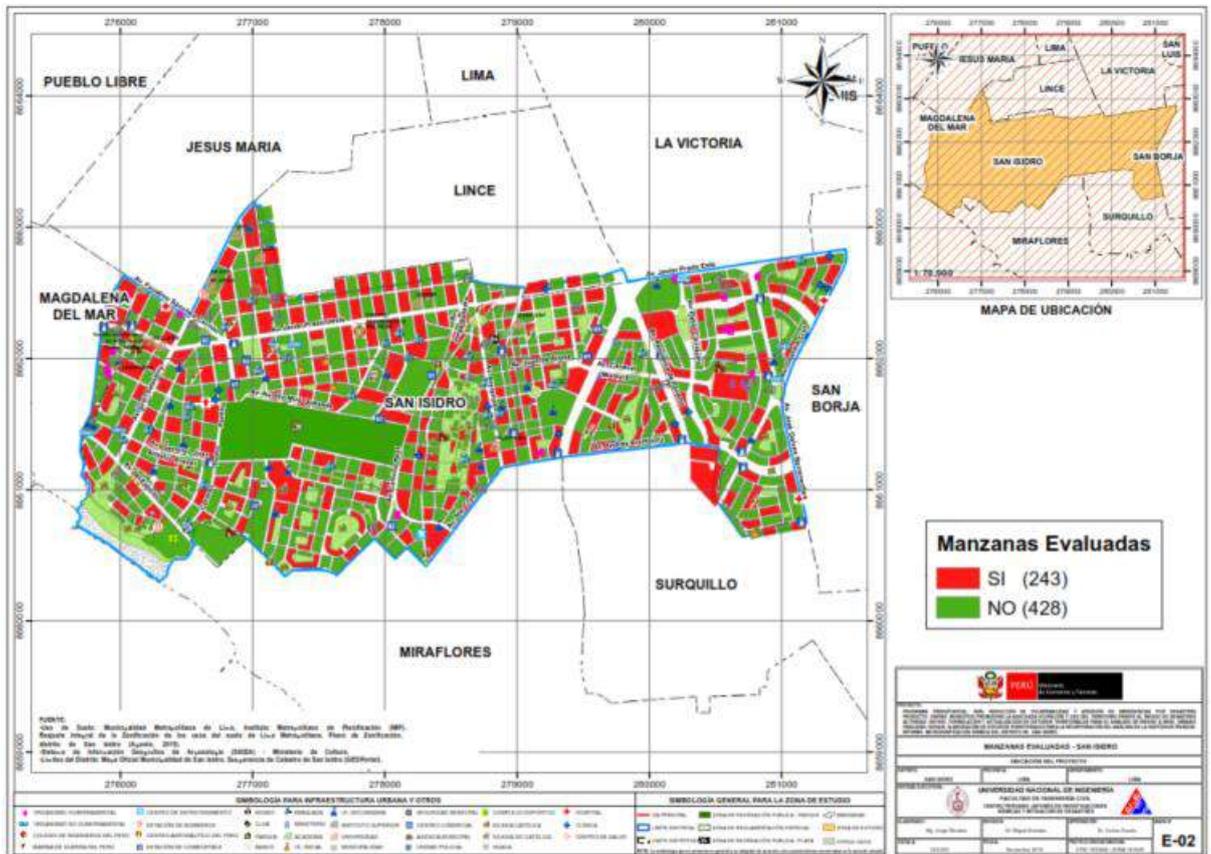


Figura 4. Manzanas totales (671) versus manzanas seleccionadas (243)

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 97.15% bajo el supuesto que exista un error del orden del 1.10% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 35.7% de población total de las manzanas. Esto produce un tamaño muestral calculado en función del tamaño de la población (N), el error en la desviación estándar (α) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado (z).

$$n = \frac{0.25N}{\left(\frac{\alpha}{z}\right)^2 (N - 1) + 0.25} \quad \text{Ec. 2}$$

Esto produce un tamaño muestral mínimo de 240 manzanas. En el presente estudio se mejoró este valor al considerar una muestra de 243 manzanas, bajo la premisa, con este mayor número de manzanas se cubre mayor área y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia.

3.2. Informe de campo

3.2.1. Edificaciones

Las edificaciones de vivienda representan la mayor parte de las estructuras ubicadas en el territorio del distrito de San Isidro. Existen edificaciones de varios materiales, así como combinaciones de material. De acuerdo a la sectorización presentada en ítems anteriores se describe a continuación las viviendas que se consideran como representativas de cada sector:

SECTOR 01

El Sector 01 se encuentra ubicado en la zona noroeste del distrito de San Isidro. Este sector se encuentra delimitado con: la Avenida Javier Prado Oeste, Calle Los Castaños, Avenida Coronel Pedro Portillo, Bajada Marbella, Avenida Antonio Miroquesada (Límite distrital con Magdalena del Mar), Avenida Faustino Sánchez Carrión (Límite distrital con Jesús María), Avenida General Salaverry (Límite distrital con Jesús María), Avenida Guillermo Prescott (Límite distrital con Lince), Calle Barcelona, Avenida General Trinidad Moran y la Avenida Arequipa.

En el sector existe un total de 170 manzanas y el número de manzanas evaluadas fue de 67. En el Sector 01 del Distrito de San Isidro predominan las viviendas de dos y tres niveles de albañilería con un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 5 y la Figura 6 que muestran algunas de las viviendas representativas.



Figura 5. Vivienda de dos niveles del Sector 01. Figura 6. Vivienda de tres niveles del Sector 01.

Se encontró que existe una mayor cantidad de edificaciones destinadas al uso como viviendas multifamiliares, de las cuales la mayoría son edificaciones de tres niveles de albañilería, edificaciones de cuatro niveles de concreto armado y estructuras de 8 pisos de concreto armado; estas con un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 7, Figura 8 y Figura 9 respectivamente.



Figura 7. Viviendas de albañilería confinada con estado de conservación regular del Sector 01.



Figura 8. Vivienda de pórticos de concreto con estado de conservación regular con presencia de piso blando del Sector 01.



Figura 9. Vivienda de pórticos de concreto con estado de conservación regular del Sector 01.

Se encontró un menor número de edificaciones multifamiliares de edificios de concreto armado con placas con un estado regular de conservación. De ellas predominaban edificios de 14 y 15 niveles como se muestra en la Figura 10 y Figura 11.



Figura 10. Edificios de 14 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 01.



Figura 11. Edificios de 15 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 01.

SECTOR 02

El Sector 02 se encuentra ubicado en la zona noroeste del distrito de San Isidro. Este sector se encuentra delimitado con: la Avenida Javier Prado Oeste, Avenida Coronel Pedro Portillo (límite con el sector 01) Avenida Camino Real (límite con el sector 03) Avenida el Ejercito y Avenida Angamos Oeste (límite distrital con Miraflores).

En el sector existe un total de 163 manzanas, siendo el número de manzanas evaluadas de 58. En el Sector 02 del Distrito de San Isidro predominan las viviendas de dos y tres niveles de albañilería con un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 12 y la Figura 13 que muestran algunas de las viviendas representativas.



Figura 12. Vivienda de tres niveles del Sector 02. Figura 13. Vivienda de seis niveles del Sector 02.

Se encontró que existe una mayor cantidad de edificaciones destinadas al uso como viviendas multifamiliares, de las cuales la mayoría son edificaciones de seis niveles de concreto armado y edificaciones de trece niveles de concreto armado; estas con un estado de conservación bueno como se muestra en la Figura 14 y Figura 15 respectivamente.



Figura 14. Viviendas de concreto armado con estado de conservación bueno del Sector 02.

Figura 15. Vivienda de muros de concreto con estado de conservación bueno del Sector 02.

Asimismo, se encontró viviendas de tres niveles de albañilería cerca al Conjunto residencial Santa Cruz con un estado regular de conservación tal como se muestra en la Figura 16. Otro tipo de estructuras que también se observaron son edificios de hasta 25 niveles de muros estructurales como se muestra en la Figura 17.



Figura 16. Viviendas de albañilería confinada con estado de conservación regular del Sector 02.



Figura 17. Edificios de 25 pisos de concreto con placas con estado de conservación regular del Sector 02.

SECTOR 03

El Sector 03 se encuentra ubicado en la zona central del distrito de San Isidro al oeste de la avenida Paseo de la República. Este sector se encuentra delimitado con: la Av. Javier Prado por el norte, la Av. Andrés Bamba, Santa Cruz y Emilio Cavenecia por el sur, la Av. Camino Real por el oeste, y la Av. Paseo de la República por el este.

El total de manzanas evaluadas fue de 72 manzanas, las cuales el 68% corresponden a viviendas unifamiliares, el 19% corresponden comercio, y un 13% restante se divide entre colegios, hospitales, iglesias y viviendas multifamiliares. La tipología predominante es de concreto armado y de albañilería confinada de dos a cuatro niveles con losa aligerada y un buen estado de conservación en su mayoría. La Figura 18 y la Figura 19 muestran algunas viviendas representativas.



Figura 18. Vivienda de dos niveles del Sector 03.



Figura 19. Vivienda de cuatro niveles del Sector 03.

En la zona norte del sector, existen edificaciones altas de concreto con placas de uso entre multifamiliar y oficinas con un estado de conservación bueno, ver Figura 20 y en la manzana 303 existe una edificación antigua construida de adobe de uso multifamiliar de tres niveles en un estado malo de conservación denominada “la casona”. Ver Figura 21.



Figura 20. Edificaciones altas de uso multifamiliar y oficinas Sector 03.



Figura 21. Vivienda antigua de adobe con conservación mala del Sector 03.

SECTOR 04

El Sector 04 se encuentra ubicado en la zona central del distrito de San Isidro al este de la Av. Paseo de la República. Este sector se encuentra delimitado con: la Av. Javier Prado por el norte, la Av. Andrés Aramburú, República de Panamá, Tomás Manzano y el jirón Alejandro Peralta por el sur, la Av. Guardia Civil y José Gálvez por el este, y la Av. Paseo de la República por el oeste.

El total de manzanas evaluadas fue de 55, las cuales el 85% corresponden a viviendas unifamiliares, el 5.6% corresponden comercio, y un 9.4% restante se divide entre colegios, hospitales, iglesias y viviendas multifamiliares. La tipología predominante es de concreto armado y de albañilería confinada de dos a cuatro niveles con losa aligerada y con un buen estado de conservación en su mayoría. La Figura 22 y la Figura 23 muestran algunas viviendas representativas.



Figura 22. Vivienda de tres niveles del Sector 04.



Figura 23. Vivienda de cuatro niveles del Sector 04.

En la zona este del sector, existen edificaciones multifamiliares mayores a cinco niveles de concreto armado con placas, con un estado de conservación bueno. Ver la Figura 24.



Figura 24. Viviendas de concreto armado con placas del Sector 04.

3.2.2. Edificaciones esenciales

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta médica, comisaría, etc., los que podrían ser utilizados como refugio temporal de las personas damnificadas si la autoridad lo cree conveniente, de manera que fue tratada como una edificación sobre la cual deseamos conocer aproximadamente su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del estudio, de acuerdo con la demanda dada en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica del distrito. A continuación, se presentan las edificaciones esenciales que se encuentran dentro de la muestra estudiada en los sectores del distrito:

Sector 01

El Sector 01 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

La clínica SANNA-El Golf se encuentra en la manzana 389 y el colegio León Pinelo se encuentra en la manzana 233. Ambas son estructuras de 02 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. Las estructuras en general se encuentran en regular estado de conservación. Ver Figura 25 y Figura 26.



Figura 25. Clínica SANNA - El Golf



Figura 26. Colegio León Pinelo

El Centro de Salud San Isidro se encuentra en la manzana 40. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación y se encontró que la estructura presentaba grietas horizontales en algunas de sus columnas. Ver Figura 27.

La Estación de Bomberos San Isidro se encuentra también en la manzana 40. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y un diafragma flexible de cobertura ligera. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 28.



Figura 27. Centro de Salud San Isidro



Figura 28. Estación de Bomberos de San Isidro

El Centro de Atención Primaria San Isidro (Red ESSALUD) se encuentra en la manzana 40 y el Nido Pasitos del Divino Niño se encuentra en la manzana 695. Ambas son estructuras de 02 niveles, el sistema estructural del primero es a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada; y el sistema estructural del segundo es a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada. En general las estructuras presentan un regular estado de conservación. Ver Figura 29 y Figura 30.



Figura 29. Red ESSALUD Centro de Atención Primaria San Isidro



Figura 30. Nido Pasitos del Divino Niño

El Nido José Olaya se encuentra en la manzana 632. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 31.

El Centro Parroquial San Felipe Apóstol se encuentra en la manzana 632. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 32.



Figura 31. Nido José Olaya



Figura 32. Centro Parroquial San Felipe Apóstol

El Colegio Jesualdo se encuentra en la manzana 712 y es una edificación de 02 niveles. En general las edificaciones tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. La estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 33.

El centro de Idiomas de la Universidad del Pacífico se encuentra en la manzana 711. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 34.



Figura 33. Colegio Jesualdo



Figura 34. Universidad del Pacífico "Centro de Idiomas"

El Nido Alma Máter se encuentra en la manzana 717. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 35

El Colegio Sagrado Corazón Sophianum se encuentra también en la manzana 717. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 36.



Figura 35. Nido Alma Máter



Figura 36. Colegio Sagrado Corazón Sophianum

El Centro Médico Blau se encuentra en la manzana 616. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 37.

El Colegio Berkeley School se encuentra en la manzana 493 y es una edificación de 04 niveles. El sistema estructural de la edificación es a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada en todos sus niveles. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 38.



Figura 37. Centro Médico Blau



Figura 38. Colegio Berkeley School

La Embajada de la República Checa se encuentra también en la manzana 493. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 39.

La Residencia del Embajador del Japón se encuentra en la manzana 547. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas con losa aligerada de techo y un diafragma rígido a dos aguas en el último nivel. La estructura se encuentra en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 40.



Figura 39. Embajada de la República Checa



Figura 40. Residencia del Embajador del Japón

La Clínica MEDAVAN Cirugía Ambulatoria se encuentra en la manzana 590. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas

y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 41.

La Clínica del Trabajador se encuentra en la manzana 673. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 42.



Figura 41. Clínica MEDAVAN Cirugía
Ambulatoria



Figura 42. Clínica del trabajador

El Instituto Toulou Lause Trec Centro de Idiomas se encuentra en la manzana 552. Esta edificación de 17 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 43.

La Universidad Inca Garcilaso de la Vega se encuentra en la manzana 503. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 44.



Figura 43. Instituto Toulou Lause Trec



Figura 44. Universidad Inca Garcilaso de la
Vega

El Colegio Sor Rosa Larrabure se encuentra en la manzana 282. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 45.

La Universidad Le Cordon Bleu se encuentra en la manzana 391. Esta edificación de 09 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 46.



Figura 45. Colegio Sor Rosa Larrabure



Figura 46. Universidad Le Cordon Bleu

La iglesia Medalla Milagrosa se encuentra en la manzana 241. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y un diafragma rígido en el techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 47.

El Colegio Isabel Flores de Oliva se encuentra en la manzana 187. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y un diafragma rígido en el techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 48.



Figura 47. Iglesia Medalla Milagrosa



Figura 48. Colegio Isabel Flores de Oliva

El Nido Brighton Nursery School se encuentra en la manzana 133. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación, como se puede observar en la Figura 49.



Figura 49. Nido Brighton Nursery School

La Comisaría P.N.P. Oarrantia del Mar San Isidro se encuentra en la manzana 136. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y un diafragma rígido en el techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 50.

El Nido Cangurito se encuentra en la manzana 164. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 51.



Figura 50. Comisaría P.N.P. Oarrantia del Mar San Isidro



Figura 51. Nido Cangurito

Sector 02

El Sector 02 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El colegio parroquial SS. CC. “Reina de la Paz” se encuentra en la manzana 87 y el colegio de los sagrados corazones “Belén” en la manzana 181. Ambas son estructuras de dos niveles y de estado de conservación regular, pero el primero es de albañilería confinada con diafragmas flexibles y el segundo de concreto armado con vanos rigidizados. Los colegios se pueden apreciar en la Figura 52 y Figura 53.



Figura 52. Colegio Parroquial SS.CC "Reina de la Paz"



Figura 53. Colegio de los sagrados corazones "Belen"

Asimismo, en este sector se encuentra el colegio “Montealto” y el colegio “Santa Úrsula” ubicadas en las manzanas 440 y 473 respectivamente, ambas estructuras tienen la misma configuración estructural de mampostería confinada con diafragmas flexibles, cabe resaltar que ambas edificaciones presentan estado de conservación regular. Los colegios se observan en Figura 54 y Figura 55.



Figura 54. Colegio “Montealto”



Figura 55. Colegio “Santa Úrsula”

Finalmente, en este sector se observa el centro médico Las Palmeras REDMED, Cayetano Heredia, ubicado en la manzana 540, cuya estructura es de dos niveles y de mampostería confinada con diafragma flexibles. El estado de esta estructura es regular y se puede observar en la Figura 56.



Figura 56. Centro Médico las Palmeras
REDMED Cayetano Heredia

Sector 03

El Sector 03 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El colegio Nuestra señora de la Luz se encuentra en las manzanas 355 y 395 siendo de 03 y 04 niveles respectivamente, ambas con sistemas estructurales de pórticos de concreto armado y con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles a excepción del de la manzana 355 cuyo techo del último nivel está conformado por calaminas industriales. Ver Figura 57 y Figura 58.



Figura 57. Colegio Nuestra señora de la Luz de la
manzana 355



Figura 58. Colegio Nuestra señora de la Luz
de la manzana 395

El colegio Alfonso Ugarte se encuentra en la manzana 368. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles. La estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 59.

El colegio El Olivar se encuentra en la manzana 216. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles. La estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 60.



Figura 59. Colegio Alfonso Ugarte



Figura 60. Colegio El Olivar.

El colegio Santa Rosa se encuentra en la manzana 179. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 61.

El colegio María Reina Marianistas Rosa se encuentra en la manzana 22. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 62.



Figura 61. Colegio Santa Rosa.



Figura 62. Colegio María Reina Marianistas.

El nido Festini es una vivienda de 02 niveles acondicionada para nido que se encuentra en la manzana 537. Esta edificación tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería con diafragmas rígidos de losa aligerada. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 63.

La Universidad Garcilazo de la Vega se encuentra en la manzana 219. Esta edificación de 05 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos sus niveles. Presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 64.



Figura 63. Nido Festini.



Figura 64. Universidad Garcilazo de la Vega.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) se encuentra en la manzana 401. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos sus niveles. Se encuentra en un estado de conservación bueno. Ver Figura 65.

La Procuraduría Pública del Poder Judicial se encuentra en la manzana 245. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos sus niveles. Se encuentra en un estado de conservación bueno. Ver Figura 66.



Figura 65. Instituto Nacional de Calidad.



Figura 66. Procuraduría Pública del Poder Judicial.

El grifo Primax se encuentra en una esquina de la manzana 245 siendo aledaño a la Procuraduría Pública del Poder Judicial y una vivienda multifamiliar de 03 niveles. Tiene un sistema estructural de pórticos de acero y una cobertura ligera. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 67.

La Iglesia Virgen de la Salud se encuentra en la manzana 564. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos. Se encuentra en un estado de conservación bueno. Ver Figura 68.



Figura 67. Grifo Primax.



Figura 68. Iglesia Virgen de la Salud.

La Iglesia Misión Familiar Internacional se ubica en la manzana 613. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos. Se encuentra en un estado de conservación bueno. Ver Figura 69.

La Clínica Javier Prado se ubica en la manzana 671. Esta edificación de 09 niveles tiene un sistema estructural de concreto armado con placas y diafragmas rígidos de losa aligerada en todos sus niveles. Tiene un estado de conservación bueno. Ver Figura 70.



Figura 69. Iglesia Misión Familiar Internacional.



Figura 70. Clínica Javier Prado.

Sector 04

El Sector 04 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El colegio John Neper y el jardín “Jardín de Infancia” se encuentran en la manzana 247. Ambas son edificación de 02 niveles que tienen un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos de losa aligerada en todos los niveles, siendo la segunda una vivienda unifamiliar adaptada para jardín. Ambas presentan un estado de conservación bueno. Ver Figura 71 y Figura 72.



Figura 71. Colegio John Neper.



Figura 72. Jardín “Jardín de Infancia”.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) se encuentra en la manzana 214. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos. En general la estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 73.

El Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) y el Ministerio del Interior se encuentran en la manzana 420. La primera estructura consta de 15 niveles teniendo un sistema estructural de concreto armado con placas, mientras que la segunda, tiene 07 niveles y como sistema estructural pórticos de concreto armado, ambas con diafragmas rígidos de losa aligerada. En general las estructuras presentan un estado de conservación bueno. Ver Figura 74.



Figura 73. Instituto Geográfico Nacional.



Figura 74. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo y Ministerio del Interior.

La Comunidad Andina Nacional se encuentra en la manzana 246. Esta edificación de 06 niveles tiene un sistema estructural de concreto armado con placas y diafragmas rígidos de losa aligerada. La edificación se encuentra en un estado de conservación bueno. Ver Figura 75.

Petro Perú se encuentra en la manzana 421. Esta edificación de 17 niveles cuenta con un sistema estructural de concreto armado con placas y diafragmas rígidos de losa aligerada en todos sus niveles. Tiene un estado de conservación bueno. Ver Figura 76.



Figura 75. Comunidad andina Nacional.



Figura 76. Petro Perú.

La Clínica Ricardo Palma se ubica en las manzanas 679 y 689. En la primera se presenta como una edificación de 06 niveles mientras que en la segunda como una de 05. En ambas manzanas se tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con diafragmas rígidos de losa aligerada y un estado de conservación bueno. Ver Figura 77 y Figura 78.



Figura 77. Clínica Ricardo Palma de la manzana 679.



Figura 78. Clínica Ricardo Palma de la manzana 689.

El Instituto de Educación Ricardo Palma se encuentra en la manzana 679. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con diafragmas rígidos de losa aligerada con un estado de conservación bueno. Ver Figura 79.

La Autoridad Nacional del Agua se encuentra en la manzana 569. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con diafragmas rígidos de losa aligerada. En general la estructura presenta un estado de conservación bueno. Ver Figura 80.



Figura 79. Instituto de Educación Ricardo Palma.



Figura 80. Autoridad Nacional del Agua.

3.3. Base de datos geo-espacial

Organizada la información a recolectar y las manzanas donde se evaluarán los lotes se procedió al trabajo de campo para luego pasar al trabajo de gabinete donde se procesó la información adquirida.

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación, así como el código de la manzana. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la selección del lote representativo, se considera aquel que representa las características más frecuentes, es decir, aquella edificación que se repite más veces, dentro de la manzana evaluada. En la Figura 81 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRE														
ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE SAN ISIDRO														
Levantamiento de Información - Distrito de San Isidro - Lima - Lima														
10	Num	CodMza	LoteRepre	Cond. De Cimentación			Fisuras			Muros				Foto Representativa
				CimentA	CimentH	Techo	FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	FabricaAlb	TipoAlb	Confina	Tarrajeo	
11	1	125	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140423.jpg
12	2	45	04MMMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140424.jpg
13	3	221	03CEPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140425.jpg
14	4	184	04CHPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140430.jpg
15	5	150	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140432.jpg
16	6	12	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140436.jpg
17	7	104	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140440.jpg
18	8	15	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140441.jpg
19	9	169	10CHPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140443.jpg
20	10	24	04MMNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140444.jpg
21	11	16	05CEIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140446.jpg
22	12	214	18CYCR	NO	NO	Losa de CA	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140448.jpg
23	13	117	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140457.jpg
24	14	7	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140458.jpg
25	15	37	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140460.jpg
26	16	44	04MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140461.jpg
27	17	183	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140462.jpg
28	18	123	20CMPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S01\P1140463.jpg
29	19	199	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1140992.jpg
30	20	153	01AYAR	NO	NO	Madera	X	V	X	ND	ND	NO	NO	.\Fotos\Fotos_S02\P1140993.jpg
31	21	164	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1140998.jpg
32	22	56	03MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	NO	NO	.\Fotos\Fotos_S02\P1140999.jpg
33	23	3	04MMNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1150002.jpg
34	24	188	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1150026.jpg
35	25	134	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1150008.jpg
36	26	156	01AVAM	NO	NO	Madera	X	X	X	ND	ND	NO	NO	.\Fotos\Fotos_S02\P1150012.jpg
37	27	198	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1150013.jpg
38	28	69	05CMIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_S02\P1150019.jpg

Figura 81. Base de datos de los lotes representativos por manzana

Esta base de datos elaborada en hoja de cálculo se transfiere a la plataforma SIG y se integra a la base de datos de las manzanas, de manera que cada una de las manzanas tenga los datos necesarios para su evaluación mediante el programa de cálculo de nivel de daño o reparación.

En la plataforma SIG se genera la base de datos geo-espacial la cual permite una rápida observación de las condiciones de las edificaciones de las manzanas, no sólo desde el punto de vista descriptivo, sino también gráfico, ya que se integran a la base de datos las fotografías de las manzanas. Por cada manzana se tomó una foto del lote representativo.



Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos

Nombre del Campo	Descripción
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s ²
Avg_GRID_C	Promedio del porcentaje del costo de reparación
CimentA	Asentamiento en la cimentación
CimentH	Humedad en la cimentación
Codaza	Código de la manzana
Confina	Confinamiento en muros
CostRep3	Porcentaje del costo de reparación calculado
Esen_Dano	Uso de suelo y nivel de daño
Estado	Estado de la edificación
FabricaAlb	Tipo de unidad de albañilería
FID	Identificador de elemento
FisuraCol	Fisuras en las columnas
FisuraMur	Fisuras en muros
FisuraVig	Fisuras en vigas
FotoRepres	Foto del lote representativo
LoteRepre	Característica del lote representativo
Material	Tipo de material construcción
MatNivDan	Tipo de material y nivel de daño
Num	Número de manzana interpolada
NumMza	Número de sector y manzana
Pisos	Número de pisos promedio en la manzana
Ranqo_Dano	Nivel de daño final
Shape	Tipo de entidad geométrica
Sist_Est	Sistema estructural
Tarrajeo	Existencia de tarrajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Se evalúa

Tabla 1 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo, así como los valores obtenidos del procesamiento de la información, para finalizar con el valor del costo de reparación, que es explicado más adelante.

La Figura 82 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la

información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografías de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

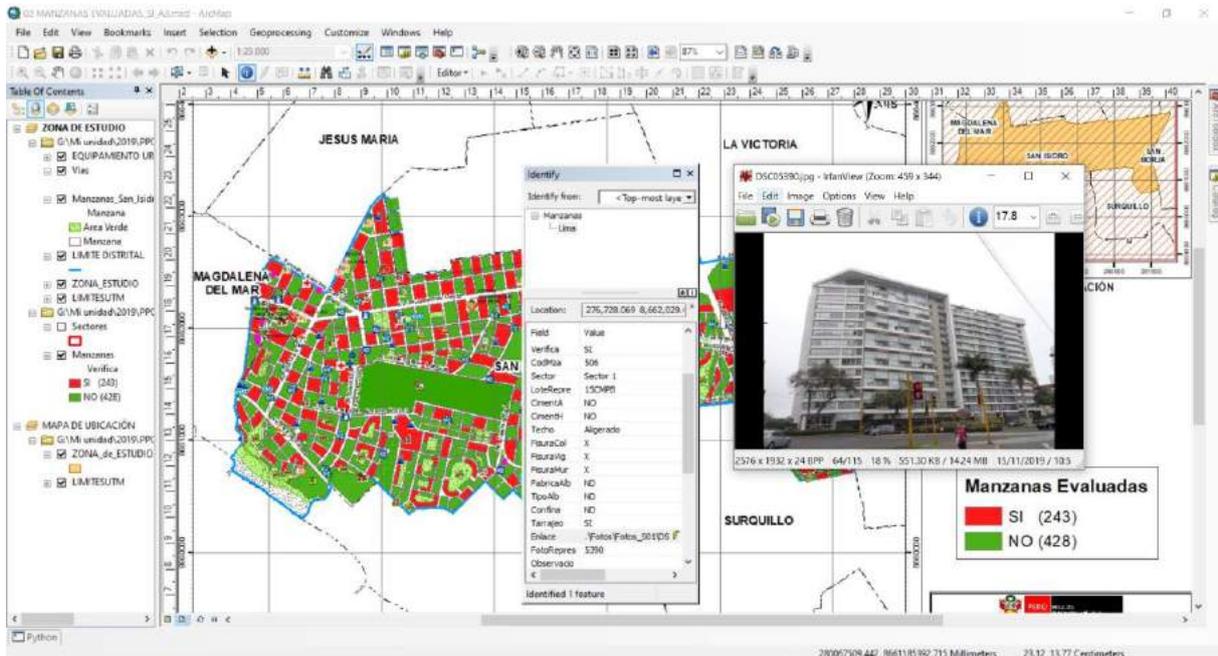


Figura 82. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento

Como resumen de los datos adquiridos en campo se presenta en el mapa No. E-03 el número de pisos, en el mapa No. E-04 el material predominante de la edificación, en el mapa No. E-05 el uso de suelo, en el mapa E-06 el sistema estructural y en el mapa No. E-07 se muestra el estado de conservación.

3.3.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E-05 (Figura 84) se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 83 se presenta el análisis estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 53.94% de la muestra, seguido de los edificios multifamiliares que representan el 27.2% de la muestra, los edificios de comercio con un 9.1%, los edificios dedicados a vivienda/comercio 4.9% y edificios dedicados a otros con un 2.5%, los edificios de educación con un 2.1% y 0.4% las edificaciones de salud en el área estudiada.

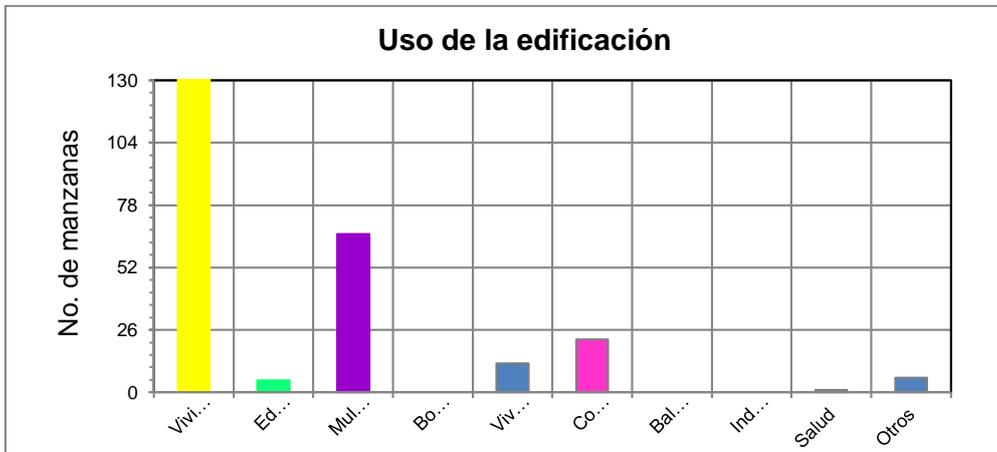


Figura 83. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de San Isidro

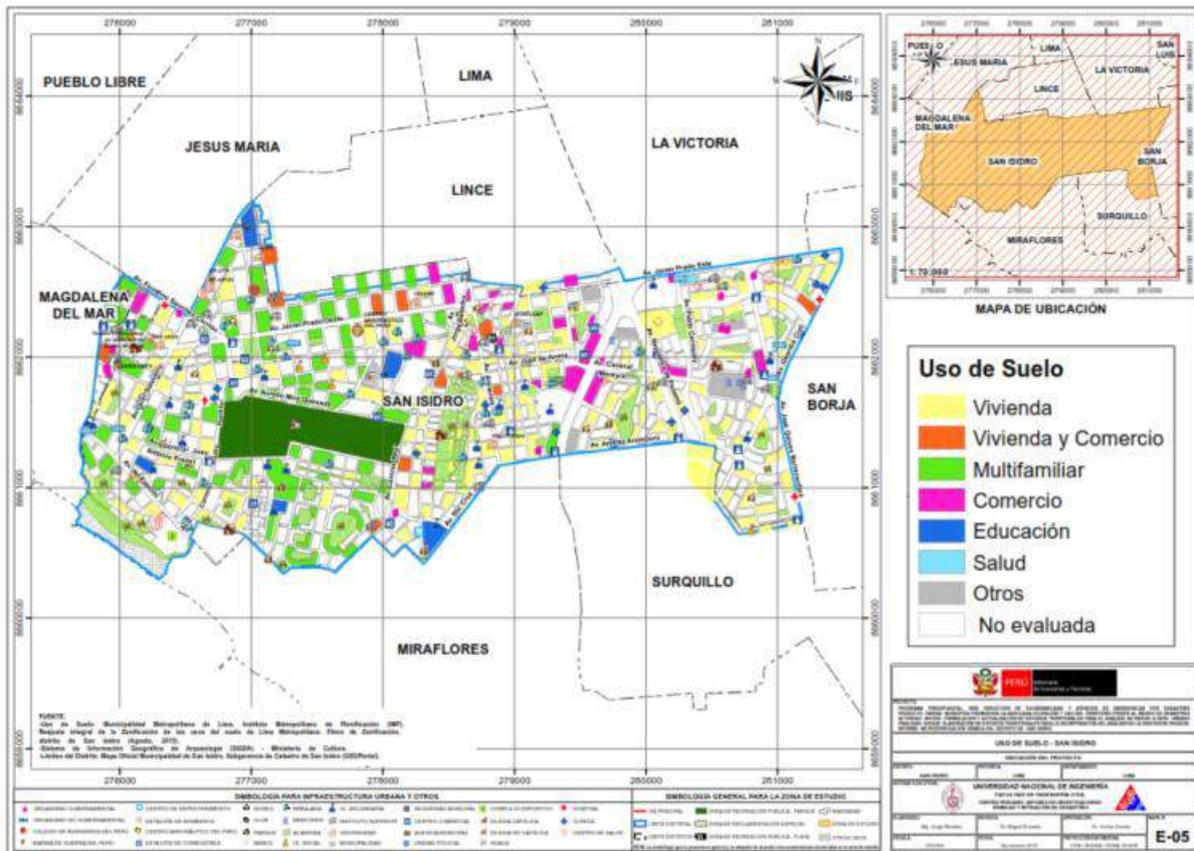


Figura 84. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de San Isidro

3.3.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E04 (Figura 86), referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de San Isidro, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 85, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 56% de la muestra, seguido de las edificaciones de concreto con un 40.3%. Asimismo, existen edificaciones de adobe que representan un 3% de la muestra.

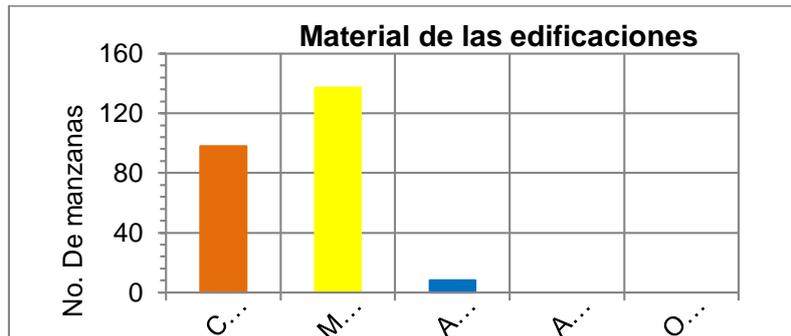


Figura 85. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito San Isidro

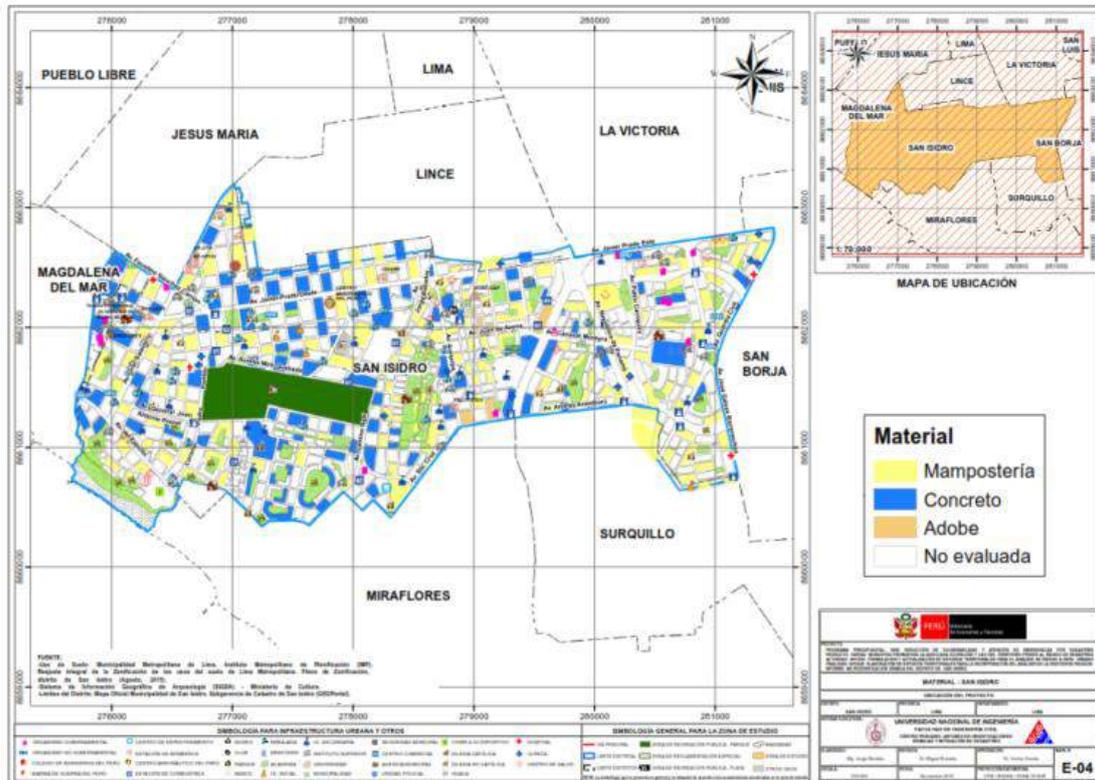


Figura 86. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del distrito de San Isidro

3.3.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa E-03 (Figura 88) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el número de pisos de las edificaciones representativas de las manzanas.

Esta distribución de alturas se resume en la Figura 87, donde se puede apreciar que, en el Distrito de San Isidro, predominan las edificaciones de dos pisos que corresponde al 31.3% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar de niveles de altura son las edificaciones de tres pisos y que corresponde al 26.36% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de cuatro pisos, pero en un porcentaje menor, equivalente al 8.6% del total de las edificaciones evaluadas. También existen edificios de 1 piso (0.8%), 5 pisos (7.0%), 6 pisos (2.5%), 7 pisos (6.6%), 8 pisos (3.3%), 9 pisos (0.8%), 10 pisos o más (12.8%) en la muestra evaluada.

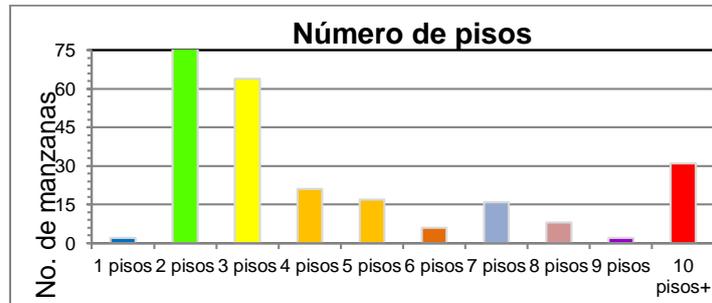


Figura 87. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de San Isidro

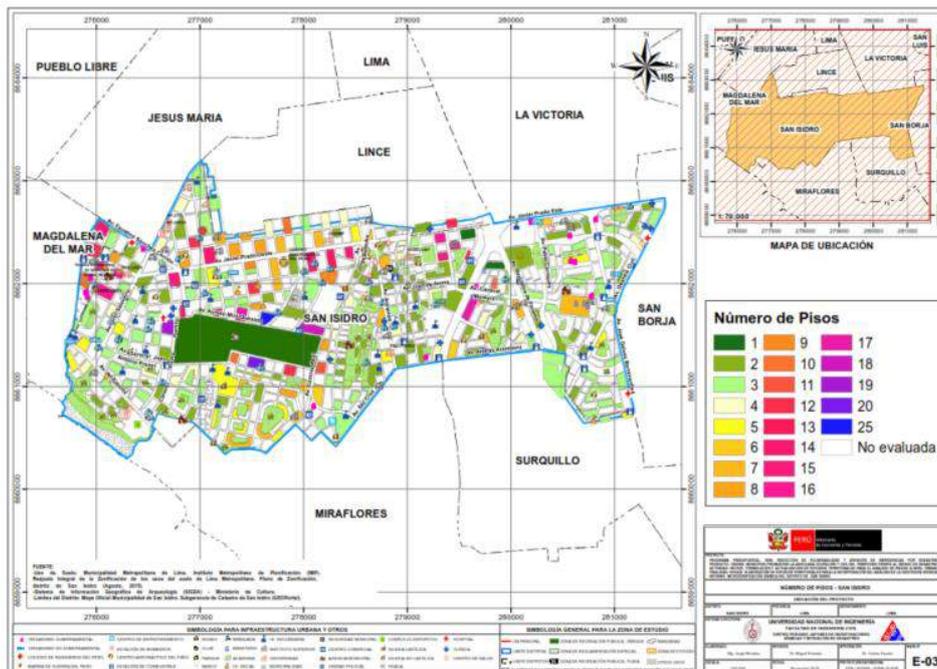


Figura 88. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de San Isidro

3.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E06 (Figura 90) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La

Figura 89 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el distrito de San Isidro. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es la mampostería de ladrillos de arcilla con diafragmas o techos rígidos que ocupa el 55.6% de la muestra. Le siguen las estructuras de concreto armado con placas que representa un 21.8%. También se usan pórticos de concreto con muros de relleno de tabiquería de ladrillo que representa el 6.6% de la muestra. Por otro lado las edificaciones de pórticos de concreto representan un 12.8%, mientras que las edificaciones de adobe representan un 2.1% y albañilería con diafragma flexible representa el 1.2% de la muestra.

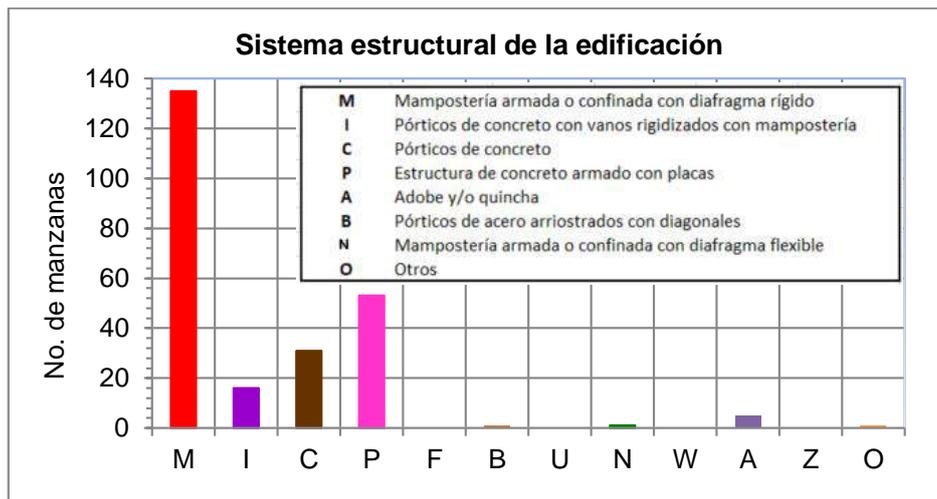


Figura 89. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de San Isidro

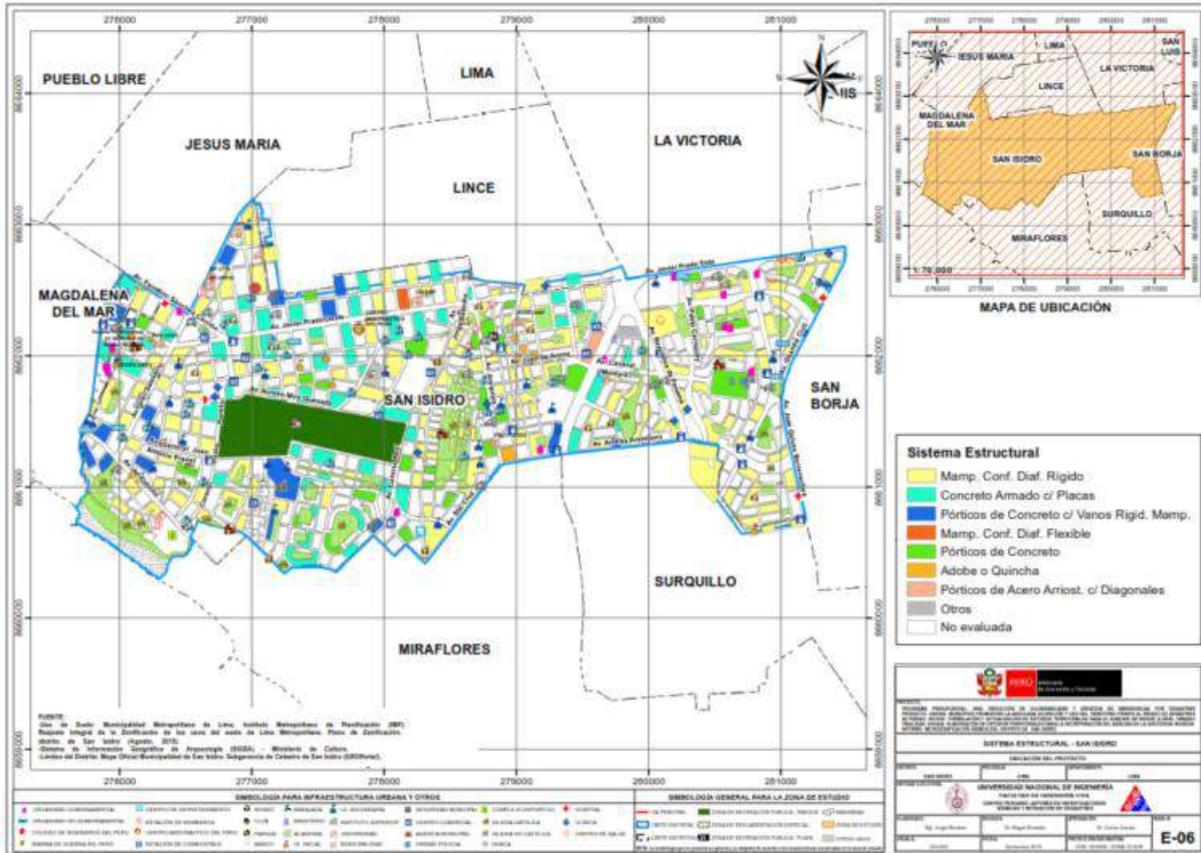


Figura 90. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de San Isidro

3.3.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E07 (Figura 92) presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de San Isidro. La Figura 91 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 50.2% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 47.7% de la muestra presenta un regular estado de conservación. Finalmente se encuentran en mal estado de conservación el 2.1% de la muestra.

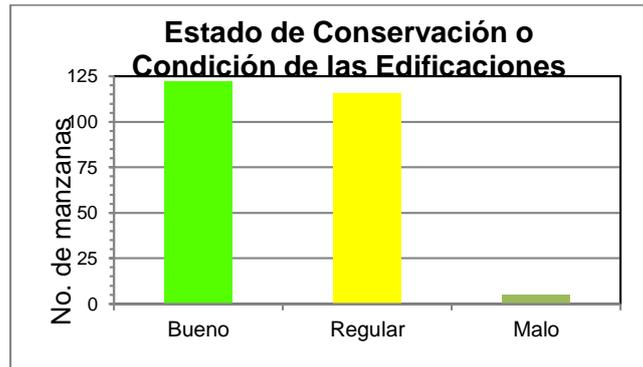


Figura 91. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de San Isidro

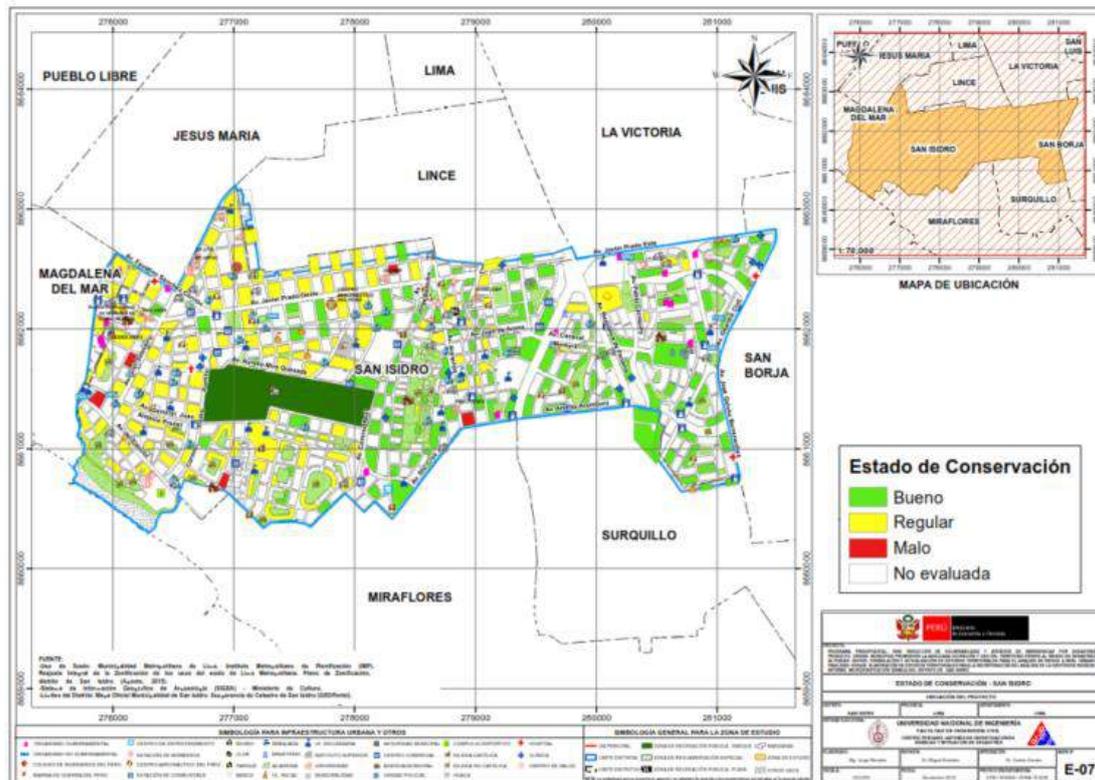


Figura 92. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de San Isidro



3.3.6. Mapa de Vulnerabilidad

Conceptos Generales

La determinación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación es el grado susceptibilidad de daño ante la ocurrencia de un terremoto. Conociendo este grado, que generalmente es expresado como edificación en buen estado, edificación regular, edificación en mal estado y edificación colapsada, es cuantificar el daño.

Formas de Evaluación

Su evaluación puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

Método Determinístico

El método determinístico se basa en un estudio detallado de la estructura. Este estudio se basa en la evaluación mediante una inspección, toma de muestra de materiales, medición de la vibración en la estructura, auscultación de la cimentación, verificación de profundidad del cimiento y la modelación matemática de la estructura a través de programas especializados competentes, para producir un diagnóstico de la respuesta sísmica y encontrar si la edificación resistirá las fuerzas y desplazamientos inducidos por el terremoto.

Método por Criterio

El método por criterio se basa o método empírico están basados, en simplificaciones dadas por la experiencia y desarrolladas por expertos con la finalidad de a través de un cuestionario y una lista de verificación de parámetros que son usados como entradas a curvas, funciones, o simuladores de la respuesta sísmica, con el fin de dar un diagnóstico de su estado luego del evento.

Método adoptado para el análisis de la muestra en el presente estudio

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de determinar mediante el uso del método de estimación rápida de la respuesta sísmica de edificaciones [3] y [4], basado en la metodología propuesta por Miranda [2] para la estimación rápida de desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, que ha sido adaptado en el CISMID para estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con tipologías propias del Perú.

Considerando las bases de datos desarrolladas, las tipologías constructivas existentes y el estudio de microzonificación sísmica, se utilizará la herramienta SRSND (Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño, C. Zavala, CISMID-2004), con la finalidad de encontrar la respuesta sísmica de las edificaciones consideradas típicas de cada manzana bajo el escenario de sismo de la norma de diseño sismorresistente, que corresponde a un sismo severo de periodo de retorno de 475 años y probabilidad de excedencia del 10%. La respuesta sísmica producida en las edificaciones, nos darán el indicativo de su vulnerabilidad y la

presencia de daño. Los resultados de esta simulación serán incorporados a la base de datos para producir el mapa de vulnerabilidad sísmica.

Metodología sustento de SRSND

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico que se incluirá en la microzonificación sísmica y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito.

El método considera que la estructura de la edificación está representada por un sistema de masas y resortes, representadas como una función del periodo de la edificación. Este periodo es aproximado a partir de la tipología estructural, del número de pisos, las irregularidades y el estado de conservación entre otros. Este periodo representa al primer modo del sistema estructural, lo que el método considera como representativo para el sistema reducido de un grado de libertad, como el mostrado en la Figura 93. Con este sistema equivalente se realiza la estimación explicado en el siguiente párrafo.

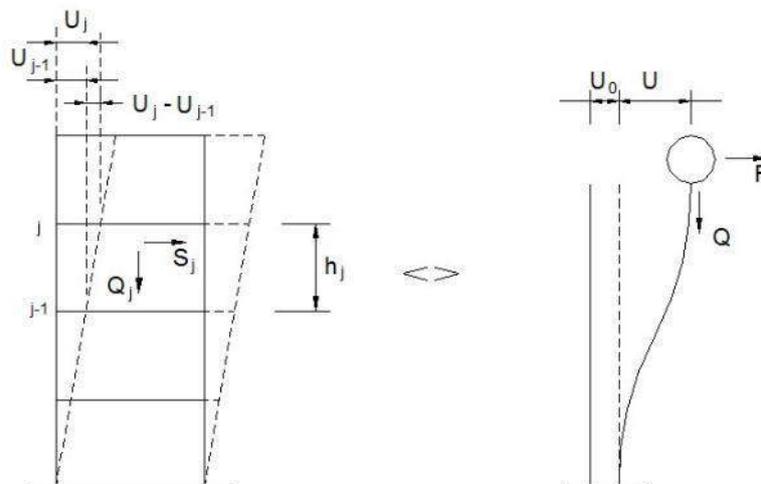


Figura 93. Edificación representada por un sistema equivalente

Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la zona de estudio.

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico presentado en el Anexo adjunto a este informe y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito. Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en

la ciudad. Seguidamente se utiliza la metodología de índices β_i , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices β_i por el desplazamiento espectral (S_d) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio (H), dando una aproximación de la distorsión del entrepiso:

$$\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right) = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4}{H} S_d \quad \text{Ec. 3}$$

El índice β_1 , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

$$\beta_1 = \frac{3N}{2N + 1} \quad \text{Ec. 4}$$

El índice β_2 , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

$$\beta_2 = \frac{\max\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right)}{\frac{U_r}{H}} \quad \text{Ec. 5}$$

El índice β_3 , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot \mu}{F} \quad \text{Ec. 6}$$

El índice β_4 , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastico}}{\varphi_{elastico}} \quad \text{Ec. 7}$$

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada a la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 30 años de experiencia de laboratorio.

Este procedimiento fue automatizado utilizando el programa SRSND presentado en [5] y utilizado en [6], el mismo que produjo tanto la respuesta sísmica de la edificación representativa de la manzana de la muestra, así como el nivel de daño esperado para el escenario sísmico de demanda propuesto. Los resultados fueron implementados en una



plataforma SIG para producir los resultados esperados en los productos mediante los mapas de vulnerabilidad.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados, dando un énfasis en la zona con mayor vulnerabilidad.

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto

Son edificaciones con gran probabilidad de falla total o de daños muy graves que hagan difícil su reparación (con un daño severo probable donde su costo de reparación sea superior o igual 85% de su valor), además de implicar peligro de muerte o heridos graves para sus ocupantes. Por ejemplo:

- Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión, o sismos anteriores; y ubicados sobre suelos flexibles.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros; ubicados sobre suelos blandos.
- Muros altos de ladrillo o adobe, de poco espesor y sin ningún arriostre.
- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostamiento o refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.
- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar las fuerzas producidas por el sismo.

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio

Son edificaciones donde se pueden producir daños importantes, que aunque no colapsen las estructuras, es difícil su utilización sin ser reparadas, estimándose su costo de reparación entre el 30 y 60% de su valor. Pueden producirse accidentes por caídas de bloques de albañilería o concreto, rotura, etc. Por ejemplo:

- Edificaciones de ladrillo con defectos de estructuración, que provoque concentración de esfuerzos en algunos puntos.
- Construcciones de adobe bien estructurado, de un solo piso y construido en terreno flexible.
- Construcciones con muros de ladrillo bien estructurado, pero con coberturas en mal estado, que signifique algún riesgo.
- Construcciones con ladrillo tubular y confinamientos.



Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo

Son edificaciones donde se estiman se producirán daños menores o leves. El sistema estructural conserva sin mayor peligro, gran parte de su resistencia y puede aún seguir siendo utilizado. Por ejemplo:

- Edificaciones de ladrillo con columnas de concreto armado, o acero, diseñadas de acuerdo a normas de diseño sísmico, con materiales de buena calidad, buena mano de obra, e inspección rigurosa.
- Edificaciones regulares de concreto con muros de corte o edificaciones regulares con pórticos de concreto con cajas de escalera y ascensor de concreto con existencia de muros de concreto y/o albañilería.

Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- Manzana:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 56% de los lotes, seguido por un 40.3% de edificaciones de concreto y un 3% de edificaciones de adobe.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 56% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de un piso (0.8%), dos pisos (31.3%), tres pisos (26.3%), cuatro pisos (8.6%), cinco pisos (7.0%), seis pisos (2.5%), siete pisos (6.6%), ocho pisos (3.3%), nueve pisos (0.8%) y diez pisos o más (12.8%). Aproximadamente el 55.6% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, entre las viviendas evaluadas ninguna presento construcción informal de albañilería.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 55.6% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 0.4%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes.
- Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 50.2% de las viviendas muestran un estado de conservación bueno y el 47.7% de las viviendas presentan un regular estado de conservación. Finalmente, las edificaciones en mal estado de conservación representan un 2.1% de la muestra.

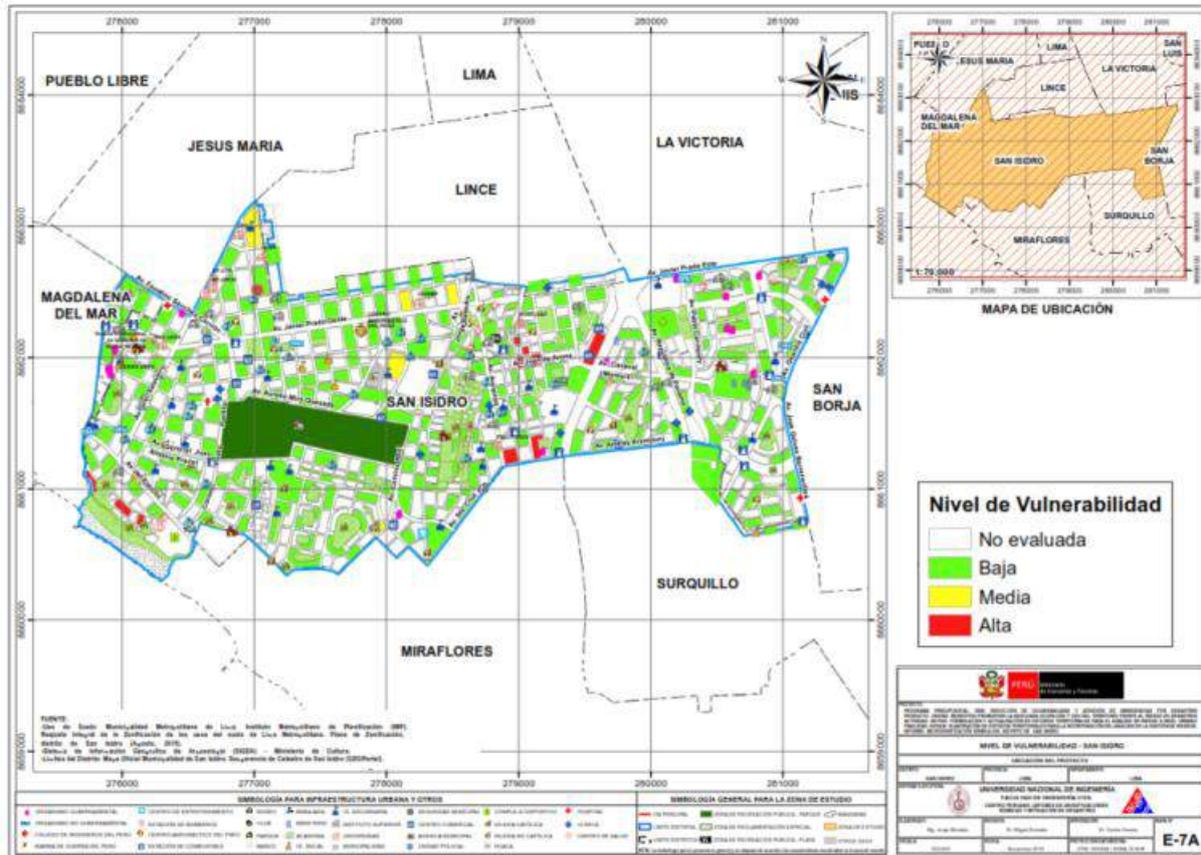


Figura 94. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de San Isidro

Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de San Isidro, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas que representan el 93.4% de la muestra dispersas en el distrito, así como vulnerabilidades medias, que representan el 2.1% de la muestra en zonas limítrofe con el distrito de Lince. Existe un 4.5% edificaciones con vulnerabilidad alta en la zona limítrofe con el distrito de Magdalena, Miraflores, San Borja y central del distrito de San Isidro. Los resultados son presentados en la Figura 94.



4. MAPAS DE RIESGO

4.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico

Se define el riesgo sísmico como la pérdida material o humana, debido a la acción de un evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de este y la vulnerabilidad de la edificación.

Para este propósito es necesario conocer el peligro sísmico del área de estudio y asimismo la vulnerabilidad de las edificaciones en el área.

El peligro sísmico, para este análisis se basa en las aceleraciones máximas por el tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica sísmica de la zona, luego de haber caracterizado el comportamiento dinámico de los suelos en función de su sismicidad.

Por otro lado, se puede identificar el tipo de sistema estructural y diagnosticar la respuesta sísmica de éste, producto de la aceleración máxima inducida por el sismo evaluada en el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones. De esta manera puede estimarse el nivel de daño, ya que la respuesta sísmica de una edificación es dependiente de la caracterización dinámica del suelo.

Existen métodos de simulación del riesgo basados en la superposición de la estadística del daño sobre edificaciones durante los sismos, a través del levantamiento de información post evento, que al sobreponerse con las aceleraciones máximas producidas, generan curvas de aceleración versus nivel de daño esperado para un determinado sismo. Estas curvas reciben el nombre de Curvas de Fragilidad, ya que muestra lo frágil que un determinado material y/o sistema estructural puede ser frente a determinado nivel de aceleraciones inducidas sobre el sistema.

Asimismo, existen métodos basados en la evaluación de la respuesta sísmica de los sistemas estructurales bajo cierto nivel de aceleración inducida y la estimación de su nivel de daño. Este tipo de metodología ha sido adoptada en el presente estudio. La estimación de la respuesta sísmica ha sido desarrollada utilizando el programa SRSND (Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño, C. Zavala, CISMID-2004), como fue descrito en la evaluación de la vulnerabilidad. En el caso del riesgo se debe de considerar un escenario sísmico para un sismo severo, que usualmente es un escenario cuyas aceleraciones son superiores a la aceleración máxima del suelo que propone la norma sísmica NTE-E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, que considera un sismo con periodo de retorno de 475 años con la probabilidad de ser excedida en 10%. El sismo de la norma considera una aceleración máxima en el suelo de 450 gals.

4.2. Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de San Isidro, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones, utilizando la metodología

presentada en [3] y [4], donde se estima el nivel de distorsión máxima, considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro. Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana estudiada.

Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica ($\Delta\delta_j/h_j$) en cada lote. Este costo de reparación (C_r) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando λ y ε parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

$$C_r = \left[\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j} \right) / \lambda \right]^\varepsilon / 100 \quad \text{Ec. 8}$$

Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo. El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 95.

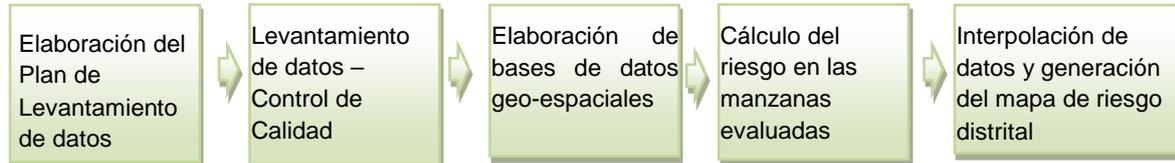


Figura 95. Proceso de generación del mapa de riesgo

Basados en la información de campo se evaluaron 243 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 96.

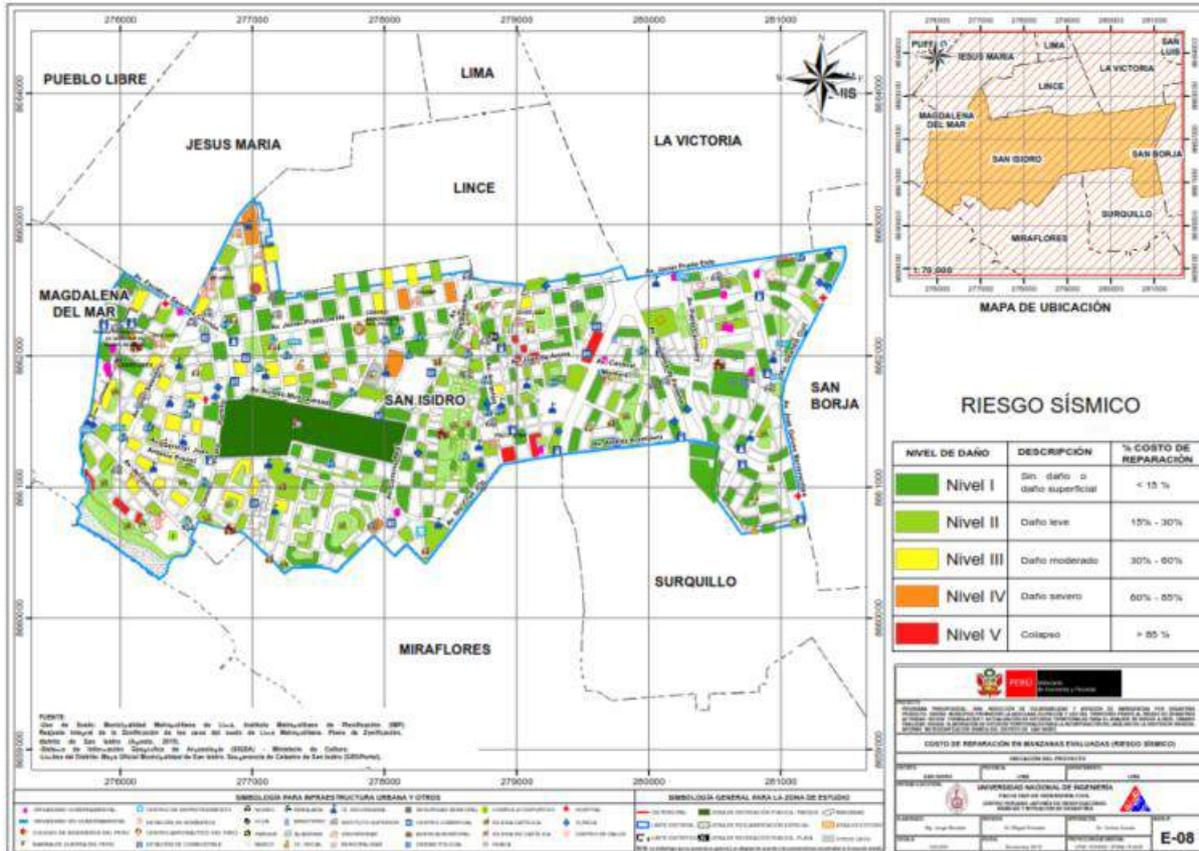


Figura 96. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas

Una vez calculado el costo de reparación para las manzanas evaluadas se genera, a través del método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) un archivo de imagen (raster) donde el valor de cada pixel es el valor del costo de reparación para una edificación construida sobre ese terreno. La resolución espacial de este archivo es de 5 metros, es decir que cada pixel cubre un área de 25 metros cuadrados de terreno.

La Figura 97 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de San Isidro.

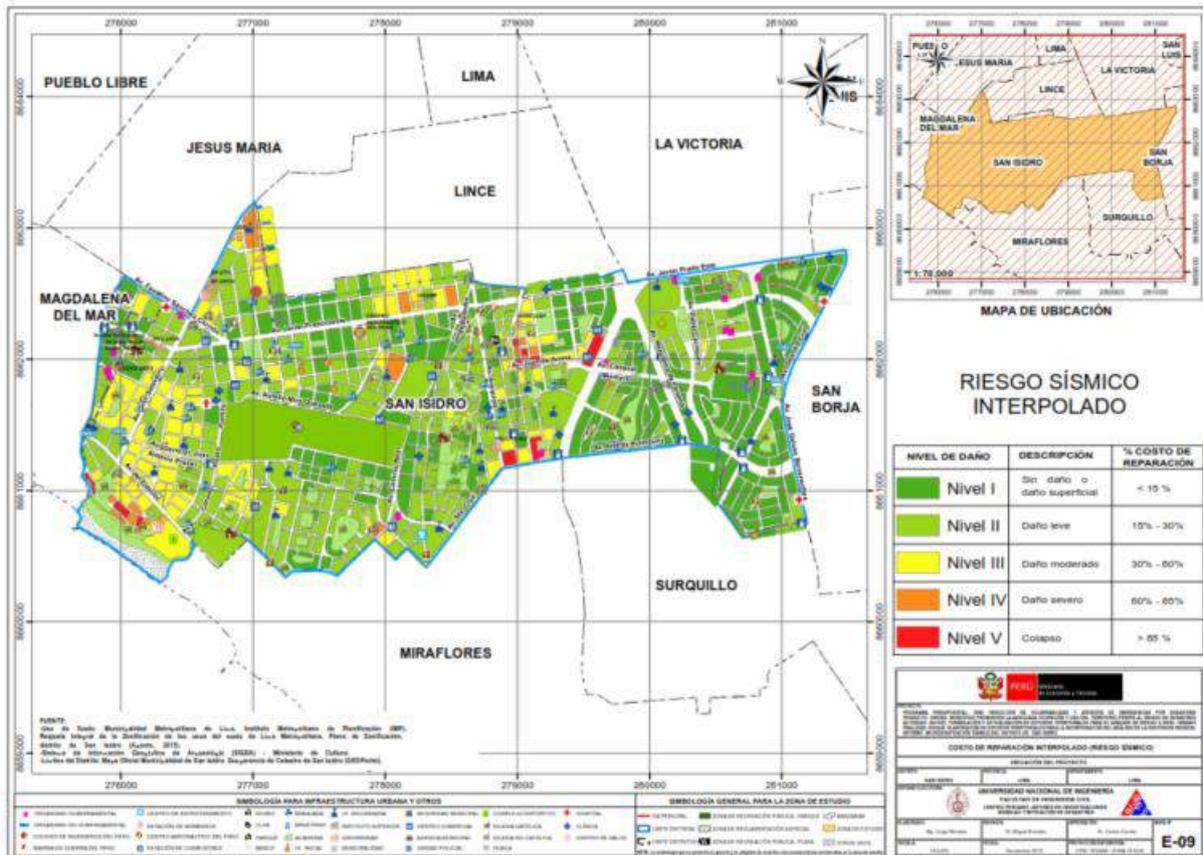


Figura 97. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

4.3. Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo

Una vez realizada la interpolación, este archivo de imagen se convierte en un archivo de puntos equidistantes a 5 metros, donde el valor contenido en este punto es valor del costo de reparación. Finalmente, para cada manzana se procede a promediar los valores de todos los puntos que caen dentro del polígono que representa a la manzana obteniendo finalmente el costo de reparación interpolado para todas las manzanas del distrito. La Tabla 2, presenta los resultados de la simulación de riesgo sísmico para las viviendas del distrito de San Isidro.

Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de San Isidro para un escenario de sismo severo

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	120	49.4%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	75	30.9%	80.2%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	32	13.2%	13.2%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	5	2.1%	2.1%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	11	4.5%	4.5%	Colapso



En el mapa No. E-09, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de San Isidro bajo un escenario del sismo. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~30% del valor de la edificación, agrupando ambos verdes se obtiene que en este grupo de daño leve se encuentra el 80.2% de las manzanas evaluadas. Los sectores en amarillo tendrían un porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%, en donde se encontró que el 13.2% de la muestra tendrían daño moderado. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60~85%, mientras que las zonas en rojo tendrían edificaciones con costos de reparación entre 85% a más. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de edificaciones en riesgo de colapso y daño severo que corresponden al 2.1% y 4.5%, respectivamente, de las edificaciones evaluadas para el escenario sísmico propuesto.

Caso especial es el representado por las edificaciones esenciales que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento. Bajo esta premisa se tomaron aquellas edificaciones esenciales que formaron parte de la muestra, encontrándose el resumen de los resultados en la tabla siguientes.

Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	16.7%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	1	16.7%	33%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	2	33.3%	33%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	2	33.3%	33%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	0	0.0%	0%	Colapso

Los resultados para las edificaciones esenciales pueden apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el 33% de las edificaciones esenciales podrían experimentar daño leve, el 33% de la muestra tendrían daño moderado y el 33% tendrían daño severo debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales. Este estado de riesgo medio se debe a la presencia de edificaciones que se han adecuado al uso nidos, centros educativos, academias entre otros, como también la antigüedad y falta de mantenimiento de las edificaciones. De acuerdo al estudio realizado, el nivel de daño III estaría ubicado en todo el distrito.



5. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Para la determinación de riesgo del sistema de distribución de agua es necesario realizar una revisión de las bases de datos de la infraestructura involucrada en el desarrollo del sistema de agua. Para esto es necesario contar con planos de las redes de distribución de agua y acompañados de las características de materiales y geométricas de estas redes.

En el presente estudio, se hace un diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua. Se desarrolla un diagnóstico para el sistema de distribución de agua basado en las curvas de fragilidad desarrolladas por investigadores japoneses. Estas curvas de fragilidad consideran que el daño probable en las redes de agua, está basado en las velocidades máximas probables que ocurrirían en el terreno donde se ubican estas redes, durante un evento sísmico y las características de material y diámetro de las tuberías de las redes instaladas. Ya que las tuberías de las redes de agua trabajan a presión durante eventos severos son muy susceptibles a sufrir daños en suelos poco competentes y por lo tanto el análisis de daño se representaría como el número de roturas que se producirían en la red por unidad de longitud.

En este estudio se presenta el diagnóstico de las líneas de conducción de agua, basado en la aplicación de las curvas de fragilidad considerando los materiales y diámetros que se encuentran disponibles en las bases de datos que fueron proporcionadas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

La información recopilada fue adquirida desde el SEDAPAL, es un archivo en plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG) donde se presentan los ejes de las líneas de conducción primaria y secundaria de agua y alcantarillado, así como datos de tipo de material, diámetro, longitud, entre otra información.

Sistema de Agua

Para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y sería adecuado tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos históricos. La estadística de estas roturas, debe ser registrada por la entidad competente, en este caso SEDAPAL, a fin de poder realizar un análisis con mayores precisiones.

El daño que afecta a las tuberías puede producirse por la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura de fallas originadas por la evolución del evento sísmico. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde no se produce licuefacción, pero sí se producen fallas del terreno (MM de VIII o menos, lugares donde se generen pequeños deslizamientos, grietas y terreno húmedo) equivalen aproximadamente a ocho veces las fallas debido a la propagación de ondas. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde sí ocurre la licuefacción son de aproximadamente 12 veces las tasas de falla por propagación de ondas y es debido a las grandes deformaciones que se producen.

Para la evaluación de los daños se necesita conocer las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de agua, esta información se encuentra en la plataforma SIG de SEDAPAL que han sido procesadas para obtener los datos necesarios para el estudio de las redes de agua. La información utilizada es mostrada en la Tabla 4.

El mapa E-11 muestra el material de las tuberías de la red agua y un cuadro con la longitud total por cada material.

Tabla 4. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de San Isidro

Campo	Descripción
DIAMETER	Diámetro de tubería en milímetros
MATERIAL	Material de tubería de agua
REALLENGTH	Longitud de tubería en metros
SHAPE_Length	Longitud de tubería en metros
Velocidad	Velocidad de partículas del suelo
Yamazaki	Número de roturas por kilómetro de tubería según Yamazaki (2008)
Isoyama	Número de roturas por kilómetro de tubería según Isoyama (2000)
Mat_Diam	Material concatenado con el Diámetro

La estimación de la tasa de daño de tuberías de distribución de agua (el número de daños o incidentes (roturas) por kilómetro de longitud de tubería) será estimada en este estudio utilizando el método propuesto en la Universidad de Chiba Japón por los profesores Dr. Yoshihisa Maruyama y Fumio Yamazaki. De acuerdo a esta metodología la fórmula para la estimación de la tasa de daño fue propuesta por Isoyama el año 2000, luego del sismo de Kobe.

$$Rm(v) = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot CI \cdot R(v) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde Rm es la tasa de daño por kilómetro de tubería, C_p , C_d , C_g , y CI son coeficientes de corrección para el material de la tubería, diámetro, condición geológica y ocurrencia de licuefacción respectivamente, siendo v la velocidad máxima en el sector (PGV). En el estudio mencionado, el valor de $R(v)$ se estima para una tasa de daño en tuberías de hierro fundido

(CIP) con rango de diámetros entre 100-150 mm en base a una regresión de valores de la base de datos de los tubos dañados por sismo en el sistema:

$$R(v) = c \cdot (v - A)^b \quad \text{Ec. 10}$$

Donde b, c, y A son los coeficientes de regresión. Considerando la base de datos del sismo de Kobe de 1995, Isoyama obtuvo el siguiente resultado para R(v):

$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.30} \quad \text{Ec. 11}$$

Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de A se encuentra entre 0 y 30 cm/s y experimentaron análisis de regresión con cambios de A en intervalos de 5 cm/s. Según los autores consideran que el valor de A debe ser 15 cm/s, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante A produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución de agua fallarían con PGV mayores a 15 cm/s. Diversos autores proponen factores de b, c y A que originan diferencia mínima en el diagnóstico. La Figura 98 y la Figura 99, muestran el número de roturas en las tuberías de distribución de agua, según varios investigadores y por tipo de material y diámetro.

Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

$$R(v) = 2.24 \times 10^{-3} \cdot (v - 20)^{1.51} \quad \text{Ec. 12}$$

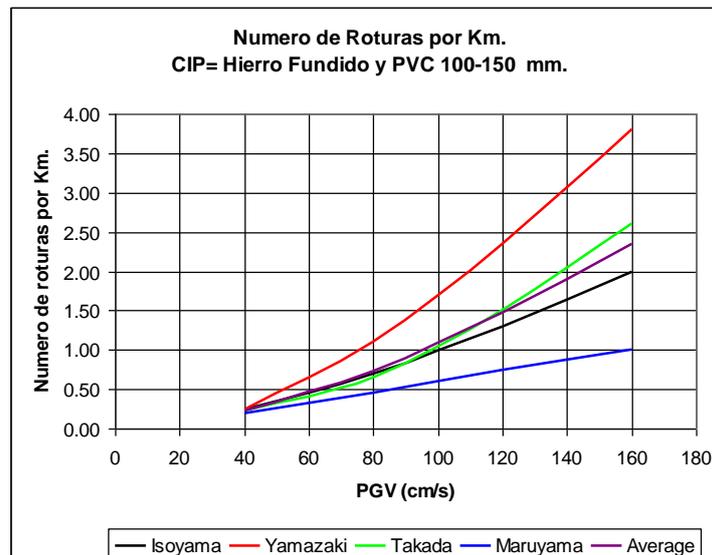


Figura 98. Roturas por Km en tubos CIP y PVC

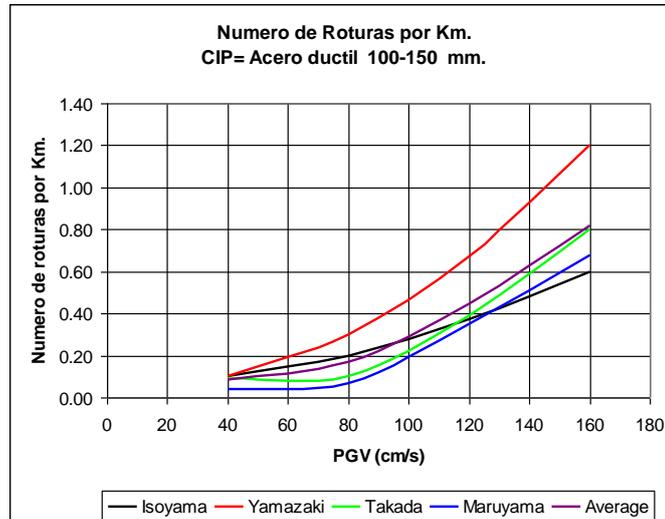


Figura 99. Roturas por Km en tubos de acero dúctil

La Figura 98 muestra las relaciones presentadas por diversos autores para determinar el número de roturas por kilómetro de tubería de hierro fundido y PVC en función de la velocidad máxima del suelo (PGV) alcanzada durante el sismo de diseño en la zona donde se encuentran. Utilizando los datos de estos autores es posible elaborar una curva promedio, la cual se indica con la leyenda "Average" en el gráfico. Para llevar a cabo el cálculo del número de roturas en las tuberías, se ha considerado la curva de Isoyama, ya que esta curva se encuentra cercana a la curva promedio, adicionalmente se ha considerado la curva de valores máximos (Yamazaki), que se presenta en la Figura 100, para mostrar un escenario más desfavorable.

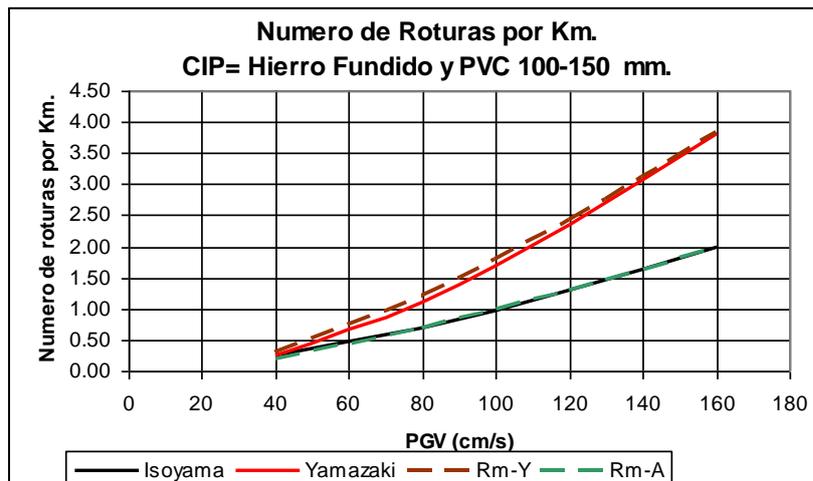


Figura 100. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC

En el presente estudio se ha utilizado una regresión de los valores de la curva de Isoyama que aproxima el número de roturas por Km. Con la siguiente expresión:

$$R(v) = 3.00 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.305} \quad \text{Ec. 13}$$

En forma similar, a los materiales presentados anteriormente, la Figura 99 presenta las relaciones desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro en tuberías de hierro dúctil. Utilizando estos datos se construye una curva promedio (“Average”) la que es presentada en este gráfico.

Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 101 se muestra las curvas de máximo valor y valor más cercano al promedio en el caso de tubería de acero dúctil. Considerando la curva de Isoyama y la curva de Yamazaki, es posible expresar mediante un análisis de regresión de los datos, el número de roturas de tuberías de acero dúctil por Kilómetro que serían afectadas por un sismo severo mediante la siguiente expresión que presenta la regresión en datos de Isoyama:

$$R(v) = 2.00 \times 10^{-4} \cdot (v - 9)^{1.6} \quad \text{Ec. 14}$$

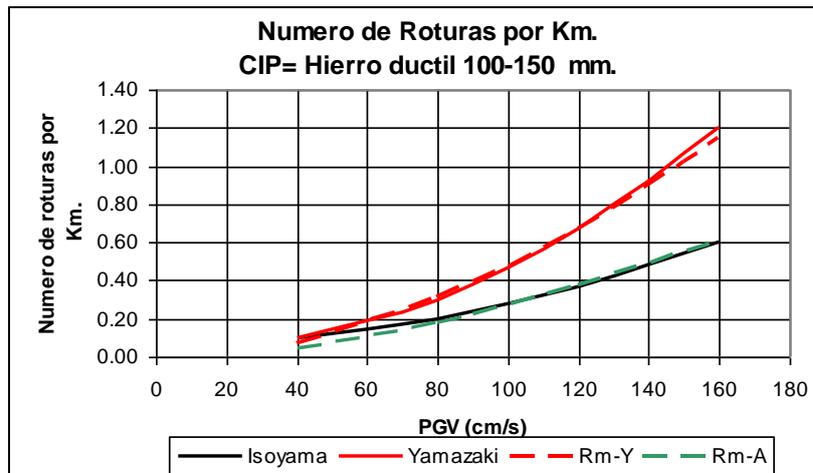


Figura 101. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil

Considerando las funciones presentadas en las ecuaciones (5) y (6) se determina el número de roturas en las tuberías, según el tipo de material y diámetro. Estas funciones son implementadas dentro de la plataforma SIG para la presentación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción.



5.1. Mapa de tipo de tubería de agua

La Tabla 5 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de San Isidro. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta números de tuberías, diámetro más usado, longitud total en metros, en la columna de porcentaje se muestra la longitud porcentual de tuberías, números de roturas por km por Yamazaki y número de roturas por km por Isoyama.

Tabla 5. Tipo de tuberías de agua en el distrito de San Isidro

Material	N° tuberías	φ más usado	Longitud total (m)	% long	# roturas/km	
					Yamazaki	Isoyama
Asbesto Cemento	2053	100	122710.96	48.91%	0.47	0.49
Fierro Fundido	1452	100	84660.13	33.74%	0.19	0.15
PVC	452	160	17550.93	7.00%	0.47	0.49
Polietileno	117	160	5839.5	2.33%	0.19	0.15
Acero Revestido	100	350	12171.78	4.85%	0.19	0.15
Concreto Reforzado	30	200	3006.02	1.20%	0.19	0.15
Hierro Dúctil	40	400	4333.9	1.73%	0.19	0.15
Concreto Pretensado	10	250	567.03	0.23%	0.19	0.15
Fierro Galvanizado	3	100	65.86	0.03%	0.19	0.49

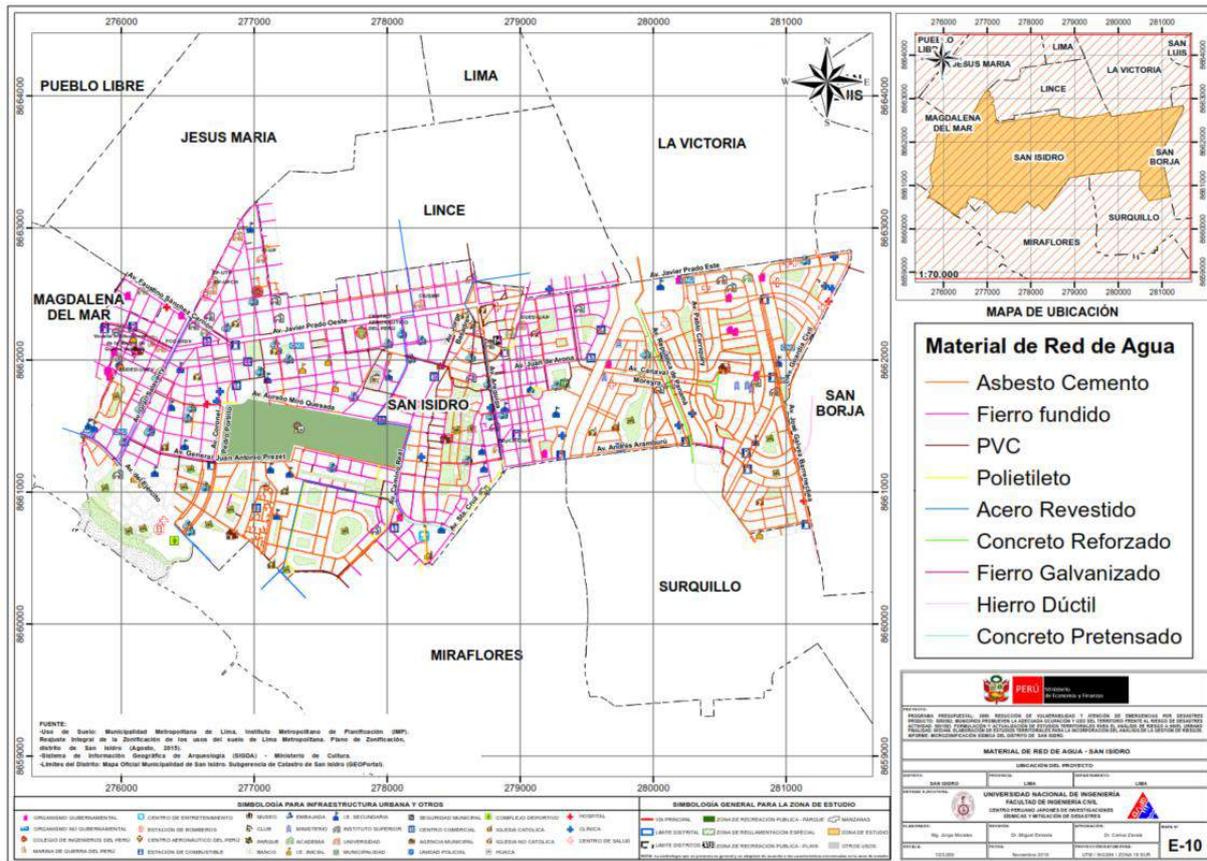


Figura 102. Mapa de Tipos de Tubería en el distrito de San Isidro

5.2. Mapa de roturas para un escenario sísmico

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama, se evaluó el número de roturas por kilómetro de tubería para el material asumido (asbesto cemento). Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre las líneas de conducción de agua, para ambos criterios. Debido a que se ha asumido un material, se ha observado un resultado similar para el criterio de Yamazaki y de Isoyama. En el mapa E-11 (Figura 103) y el mapa E-12 (Figura 104) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente.

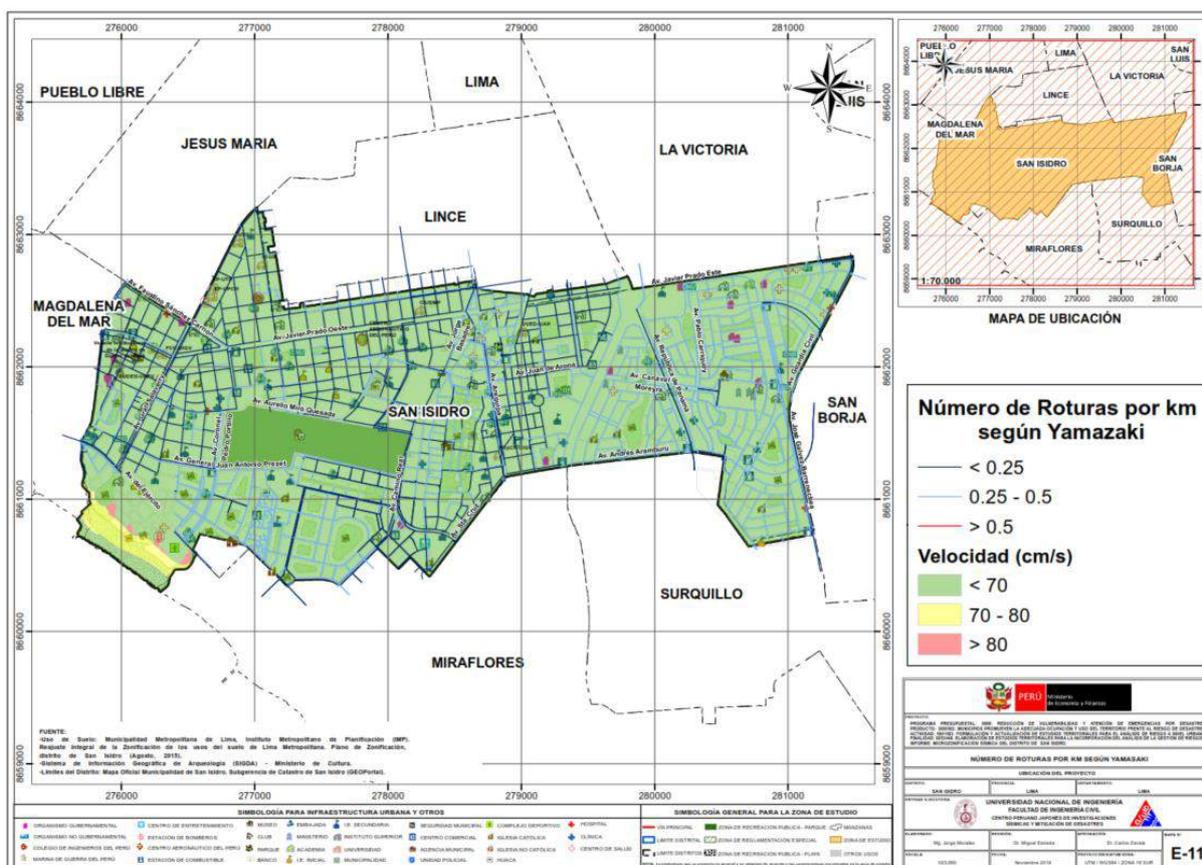


Figura 103. Roturas por criterio de Yamazaki (2008)

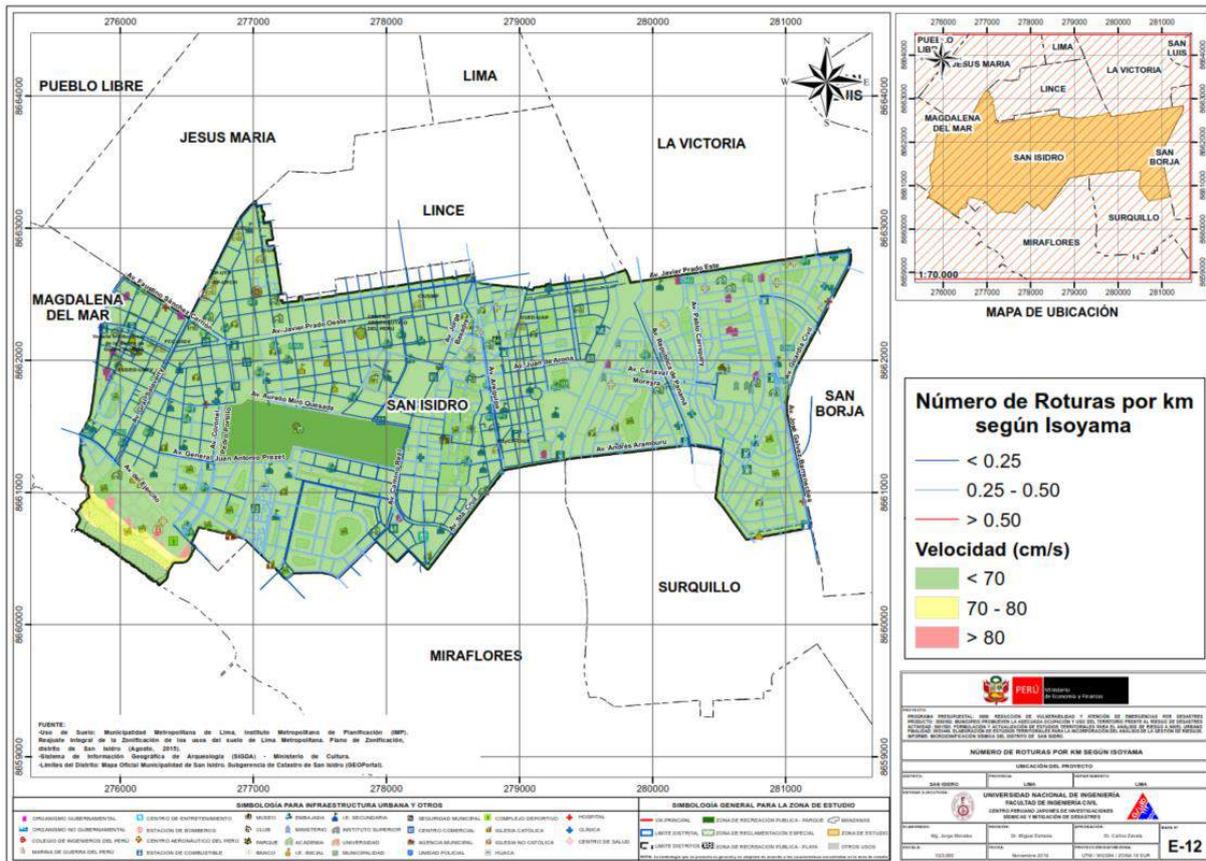


Figura 104. Roturas por criterio de Isoyama (2000)

5.3. Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua

- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito de San Isidro, se procesó la información proporcionada por SEDAPAL, la cual ha presentado tipo de tubería por material y la ubicación de las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros.
- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas por kilómetro de longitud en las líneas de conducción de agua del distrito de San Isidro, en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo con 467.99 cm/s² de PGA, existirían 58 locaciones con tuberías de asbesto cemento, 17 locaciones con tuberías de fierro fundido, 9 locaciones con tuberías de PVC, 2 locaciones con tuberías de polietileno, 3 locaciones de tuberías con acero revestido y 1 locación de tuberías con fierro dúctil, concreto pretensado y fierro galvanizado cada una, que sufrirían roturas. Debe notarse que las condiciones del suelo influyen en los movimientos sísmicos, manifestándose con velocidades de partícula significativas.
- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los



sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo y cambios de tuberías en el tiempo. Con una base de datos en estos términos sería posible realizar diagnósticos de las roturas con mayor precisión.

- Es recomendable que SEDAPAL desarrolle un programa de estudios de vulnerabilidad que consideren la infraestructura de captación de agua, los canales de conducción, decantadores, filtros, tanques de almacenamiento y asimismo válvulas de paso, que adicionalmente al estudio preliminar presentado, proporcionarán un mejor diagnóstico para evitar la interrupción del servicio en caso de sismo severo.



6. MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI

Para la evaluación de la amenaza frente a tsunami en las costas del distrito de San Isidro se lleva a cabo el análisis de amenaza estimando la profundidad de inundación máxima, la altura de inundación y el tiempo de llegada de la primera ola desde el epicentro hasta la costa a partir de dos escenarios sísmicos y finalmente se determinaron las zonas susceptibles a sufrir inundación debido al tsunami.

6.1. Sismicidad en el Perú

El Perú está ubicado en una zona altamente sísmica, donde la principal fuente de la alta sismicidad es la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Suramericana y como resultado de esta interacción el Perú ha experimentado numerosos terremotos a lo largo de su historia.

La Figura 105 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2019 según la base de datos de la United States Geological Survey (USGS) esta figura muestra que la zona sísmicamente más activa en el Perú es la que corresponde a la zona sur entre Lima y Tacna, también se observa que una gran cantidad de los sismos tienen una profundidad focal menor a 50 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. En la Figura 105 también se puede observar que tanto la zona norte del país, desde Lima hasta Tumbes, la actividad sísmica es mucho menor comparado con la zona sur, sin embargo, se sabe que toda la zona occidental de América del Sur es una zona altamente sísmica, lo que se conoce como parte del Círculo del Fuego.

Por otro lado, la zona centro del Perú especialmente el área frente a Lima y Callao, estaría experimentando el fenómeno llamado Silencio Sísmico, que es la falta de eventos sísmicos de considerable magnitud en una zona sísmicamente activa, lo que significa que la energía que se debería estar liberando a través de eventos sísmicos o terremotos se está acumulando. Entonces, de acuerdo a este concepto, la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud frente a las costas de Lima y Callao es muy alto.

Un fundamento más cuantitativo se puede observar en (Dorbath et al., 1990) donde se presenta una evaluación de los terremotos históricos de gran magnitud ocurridos en el Perú, la Figura 106, modificada de (Dorbath et al., 1990), muestra los sismos de gran magnitud o terremotos ocurridos en el Perú a lo largo del tiempo, donde las líneas continuas representan terremotos que causaron tsunamis así como la longitud aproximada del área de la falla, mientras que las líneas punteadas representan terremotos que no produjeron tsunamis. Teniendo en cuenta que las ciudades de Lima y Callao se encuentran ubicadas aproximadamente en la latitud 12°S, el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 43 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 43 años de energía sísmica acumulada, por lo tanto, estas condiciones hacen suponer la ocurrencia de un terremoto que libere toda esta energía acumulada que estaría afectando en mayor magnitud a la ciudad de Lima y Callao.

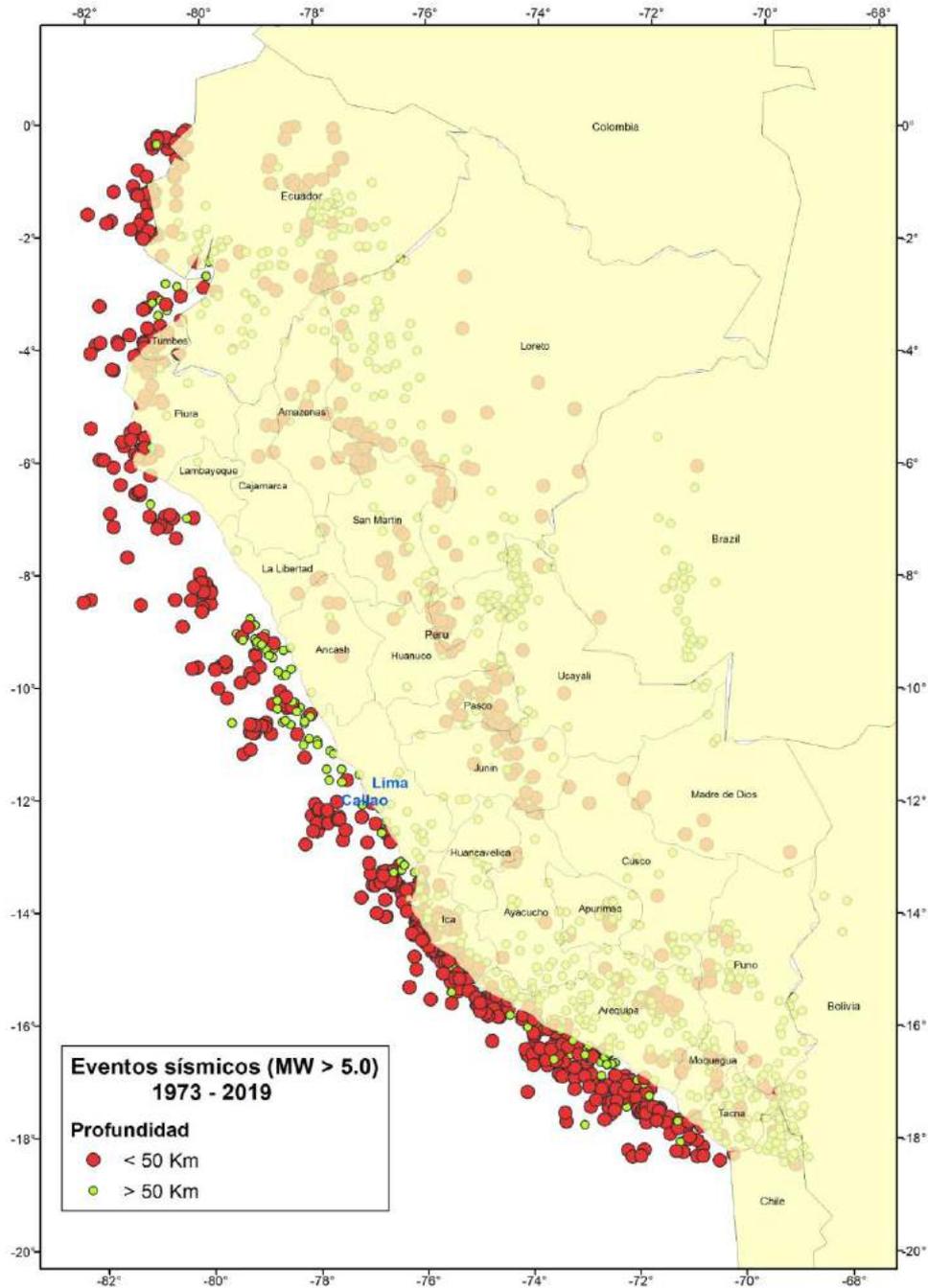


Figura 105. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2019 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).

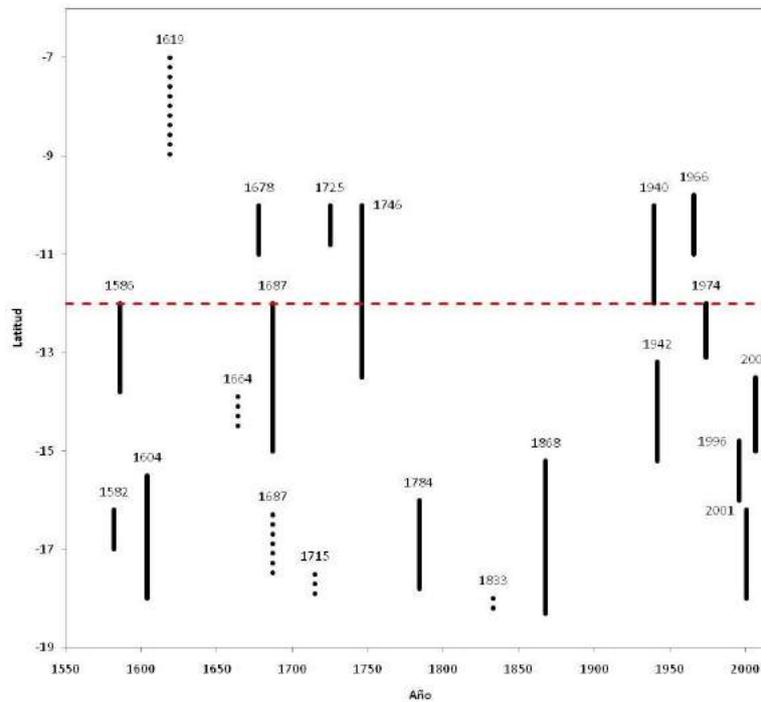


Figura 106. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990)

6.2. Tsunamis históricos en el Perú

Debido su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las cosas peruanas y que han sido registrados también en otros países (Figura 107 y Tabla 6).

Tabla 6. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.

Fecha	Magnitud (M_w)	Área afectada
21/02/1996	7.5	Chimbote, Callao
12/11/1996	7.7	Chincha alta, Arica, Nazca, Marcona
23/06/2001	8.4	Camaná, Moquegua, Tacna,
15/08/2007	8.0	Nazca, Pisco, Lima

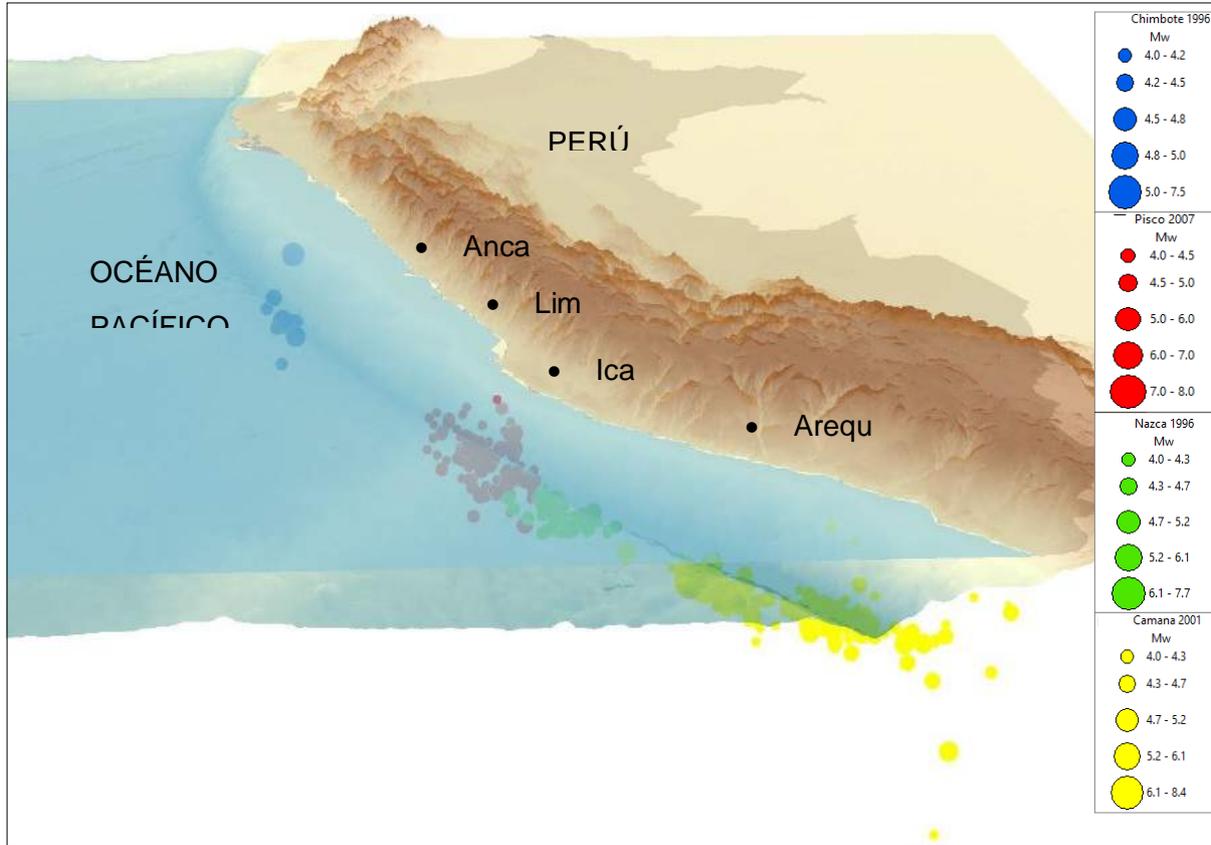


Figura 107. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

Por ejemplo, el tsunami que ocurrió el 23 de junio del año 2001 en la zona sur del Perú fue generado por un sismo de magnitud Mw 8.4 con epicentro 16.26°S 73.64°O. De acuerdo a USGS por lo menos 75 personas fallecieron, donde 26 a causa del tsunami producido, 2687 personas heridas, 17510 viviendas fueron destruidas y 35549 viviendas fueron afectadas en las aéreas de Arequipa, Camaná y Tacna. Otro ejemplo más reciente es el tsunami que ocurrió el 15 de agosto del año 2007, donde las áreas costeras de Chincha y Paracas fueron las más afectadas, por otro lado, en Camaná se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras afectadas, quienes manifestaron que 20 minutos después de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91m y para unas distancias de 102.7m. (Figura 108).



Figura 108. La erosión producto del tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) (ITST, 2001a). Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de agosto de 2007 (derecha) (Fritz et al., 2008).

Sin embargo, según crónicas históricas el Callao fue afectado por un tsunami el 28 de octubre de 1746 que produjo la muerte de más del 96% de la población en ese entonces, según estas crónicas este tsunami produjo una ola de más de 21m de alturas y la primera ola arribó a las costas treinta minutos después de ocurrido el terremoto.

6.3. Ámbito de Estudio

El ámbito de análisis de este estudio cubre al distrito de San Isidro, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables.

El distrito de San Isidro pertenece a la Provincia de Lima en el Departamento de Lima, es una localidad de un área que limita por el norte los distritos de Lince, Jesús María y La Victoria; por el este con el distrito de San Borja; por el oeste con el distrito de Magdalena del Mar y el Océano Pacífico y por el sur con el distrito de Miraflores. La Figura 109 muestra la ubicación del distrito de San Isidro en el mapa de la provincia de Lima.

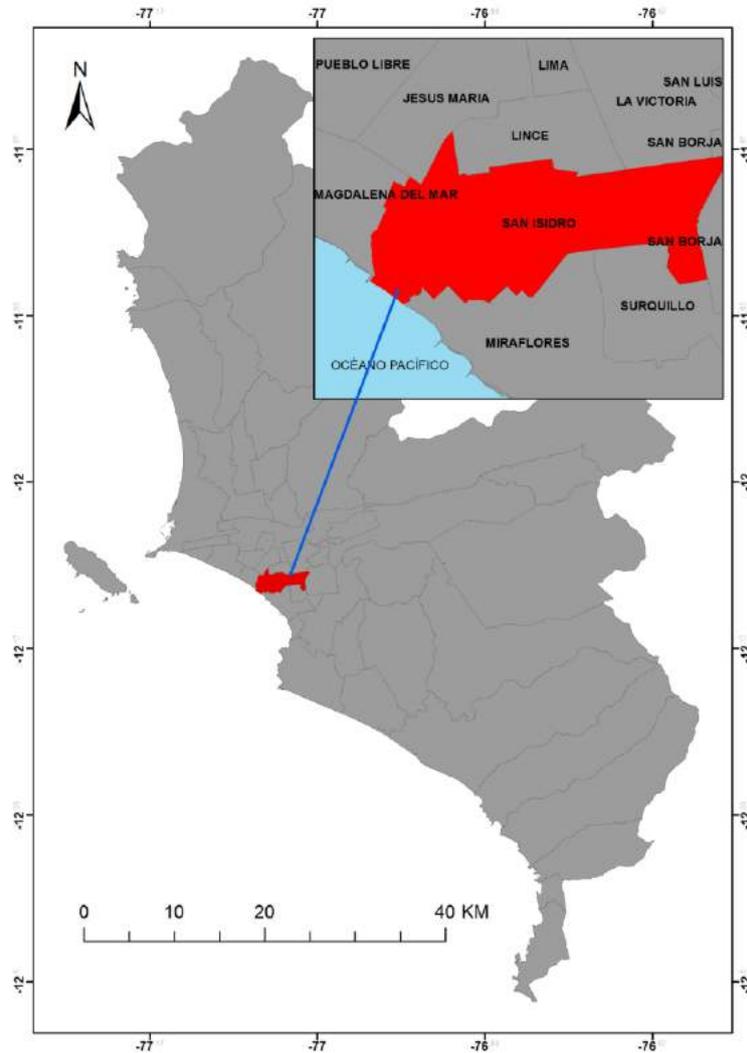


Figura 109. Localización del distrito de San Isidro.

6.4. Procedimiento de Análisis

En este estudio para determinar la amenaza frente a tsunamis del distrito de San Isidro, se realiza una revisión de la sismicidad histórica del área de estudio con el fin de determinar los escenarios sísmicos con más probabilidad de ocurrencia. Con esta información se establecen los parámetros de la fuente sísmica para calcular la deformación inicial de la superficie del océano. Seguidamente, se realiza la simulación numérica del tsunami. Como resultado de este análisis se obtiene el tiempo de arribo de la primera ola y las alturas máximas de las olas en las costas del área de estudio, estos cálculos numéricos se basan en la teoría de aguas poco profundas, finalmente se proponen mapas de inundación y la estadística de las zonas urbanas afectadas por el tsunami.

6.5. Consideraciones Teóricas

6.5.1. Conceptos Básicos

Tsunami

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

Existen otros tipos de perturbaciones del fondo del mar causadas por erupciones volcánicas, derrumbes o avalanchas submarinas y derrumbes costeros, los cuales podrían transmitir energía al océano y de esta forma generar ondas de tsunami.

De todos estos fenómenos, los más frecuentes en nuestro país, son los sismos submarinos, y por lo demás, son los únicos que provocan extensos desplazamientos del fondo del mar, lo que se traduce en una mayor energía cinética en el tsunami generado. Por esta razón, los efectos de este último tipo de tsunami son los más espectaculares y catastróficos, ya que ellos afectan a extensas áreas costeras.

La Figura 110 muestra el proceso del origen de un tsunami, partiendo del inicio de un evento sísmico, donde la placa sudamericana se desliza violentamente produciendo un levantamiento en el fondo marino que desplazará el agua que se encuentre sobre él.

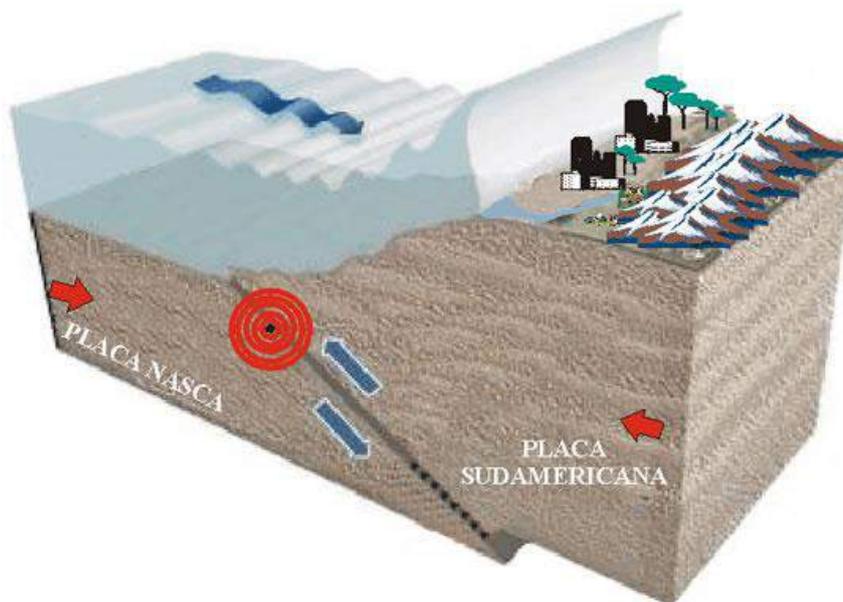


Figura 110. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).



Tipos

Según la distancia desde el punto de generación a la zona de interés, se tienen tres tipos de tsunami:

- De Origen Local, son aquellos que tienen su punto de generación muy cercana a la costa ya sea por deslizamientos submarinos, como el ocurrido en las bahías de Alaska, EE.UU. (1964), o sismos en el litoral, como el de Lima, Perú (1940). En estos casos el ataque es inmediato a la generación.
- De Origen Cercano, aquellos que tienen su origen a pocos kilómetros de la costa, es decir, menor a 1000 km aproximadamente, estos eventos producen olas con tiempos de arribo a la costa de 10 a 30 minutos, según las condiciones locales del fondo marino.
- Origen Lejano, aquellos cuyo origen se encuentra a más de 1000 km de la zona de interés, su arribo se produce en tiempos que van desde 2 a 22 horas.

Características

Las características comunes a las ondas son aplicables a las presentadas por las olas pertenecientes a un tsunami. Estas características son:

- Período, tiempo que sucede entre el paso de dos ondas sucesivas.
- Longitud de Onda, distancia entre dos crestas sucesivas.
- Altura de Onda, distancia vertical entre el seno o valle y la cresta.

Teoría de Aguas Poco Profundas

Para el modelamiento de tsunamis se usa la teoría de aguas poco profundas, esta teoría considera que la profundidad característica es mucho menor que la longitud de onda de las olas en el mar, teniendo en cuenta esta asunción y considerando el agua de mar como un fluido incompresible de densidad ρ la ecuación de continuidad (Ec. 15) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Ec. 16 y Ec. 17) describe cómo la velocidad y la presión de un fluido en movimiento están relacionadas. Estas ecuaciones son resueltas (Imamura, 1995). Las dos básicas expresiones son mostradas a continuación. La ecuación de continuidad puede ser expresada como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

Ec. 15

Donde:

η : amplitud de la onda

M y N : flujo de descarga en las direcciones x y y

t : tiempo

La ecuación de momento incluyendo la fricción en el fondo puede ser expresada como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad \text{Ec. 17}$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad \text{Ec. 18}$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad \text{Ec. 19}$$

$$D = \eta + h \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$\frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$, $\frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$: Fricción en el fondo de océano,

D : profundidad total del océano

n : coeficiente de rugosidad de Manning

u y v : vector de velocidad en las direcciones x e y

\bar{u} y \bar{v} : velocidad promedio en las direcciones x e y

g : aceleración de la gravedad

h : profundidad del mar

La estabilidad numérica es definida como el tiempo que asegura que la velocidad de propagación numérica no exceda a la velocidad de propagación del medio físico o velocidad del tsunami, esta condición se define con la Ec. 21.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

Ec. 21

Donde:

- Δt : intervalo de tiempo para la simulación,
- Δx : resolución espacial de la batimetría,
- g : aceleración de la gravedad.

Parámetros de Fuente Sísmica

La fuente sísmica de los terremotos para la generación de la condición inicial del tsunami o la deformación inicial de la superficie del océano, puede describirse teóricamente usando nueve parámetros, estos son mostrados en la Figura 111.

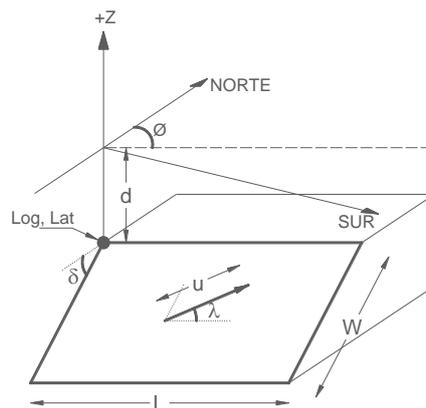


Figura 111. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.

Donde:

- Log, Lat : Ubicación en el plano de la esquina superior izquierda del área de la falla,
- d : Profundidad de la esquina superior izquierda del área de la falla,
- L : Longitud del área de la falla,
- W : Ancho del área de la falla,
- Φ : Dirección (Azimut) de la falla,
- λ : Ángulo de deslizamiento,
- δ : Ángulo de inmersión de la falla,
- u : Dislocación,



Estos parámetros son requeridos para la posterior simulación numérica del tsunami y tienen que ser obtenidos para cada una de las fallas y subfallas (si las hubiera) de las fuentes sísmicas.

Cabe resaltar además que para el cálculo de la magnitud de momento (M_w) de un sismo son necesarios tres de estos parámetros: la longitud, el ancho y la dislocación.

Escenario Sísmico

En este estudio para determinar la amenaza por tsunamis en el área de estudio, se realiza una revisión de la sismicidad histórica del área de estudio con el fin de determinar los escenarios sísmicos con más probabilidad de ocurrencia. Con esta información se establecen los parámetros de la fuente sísmica para calcular la deformación inicial de la superficie del océano. Seguidamente, se realiza la simulación numérica del tsunami. Como resultado de este análisis se obtiene la variación del nivel de agua en las zonas probables de Refugio, el tiempo de arribo de la primera ola y las alturas máximas de las olas en las costas del área de estudio, estos cálculos numéricos se basan en la teoría de aguas poco profundas, finalmente se propone el mapa de inundación para cada escenario sísmico considerado por el tsunami.

En este estudio los modelos fuente están basados en seis diferentes escenarios sísmicos. El primero es un modelo basado en la distribución de acoplamiento intersísmico en las zonas de subducción en un periodo de 268 años desde el terremoto de 1746, aquí también se incluyen las mediciones de la deformación del fondo marino obtenidos a partir de sensores GPS y transpondedores acústicos, así también información de sismos históricos para finalmente proponer la distribución de deslizamientos que resulta en una magnitud de 8.8 M_w (Pulido et al., 2011).

Los otros cinco escenarios fueron calculados escalando los desplazamientos propuestos por el modelo anteriormente mencionado, de tal manera que resulten en sismos de las siguientes magnitudes 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 9.0 M_w . Así de esta manera tener un rango de escenarios de diferentes magnitudes.

Parámetros de las fuentes sísmicas

La fuente del primer escenario sísmico está dividida en 280 sub fallas, cada una de 20 km x 20 km, en un área de ruptura de 700 km de largo por 160 km de ancho, La magnitud de momento calculada es de 8.8 M_w (ver Figura 112 derecha abajo). La distribución de deslizamientos muestra dos asperezas principales, la mayor localizada a 70 km al oeste de Lima con un deslizamiento de 15.4 m, y la segunda al sur de Lima con un valor de hasta 13.0 m, la Figura 112 muestra la distribución de desplazamientos.

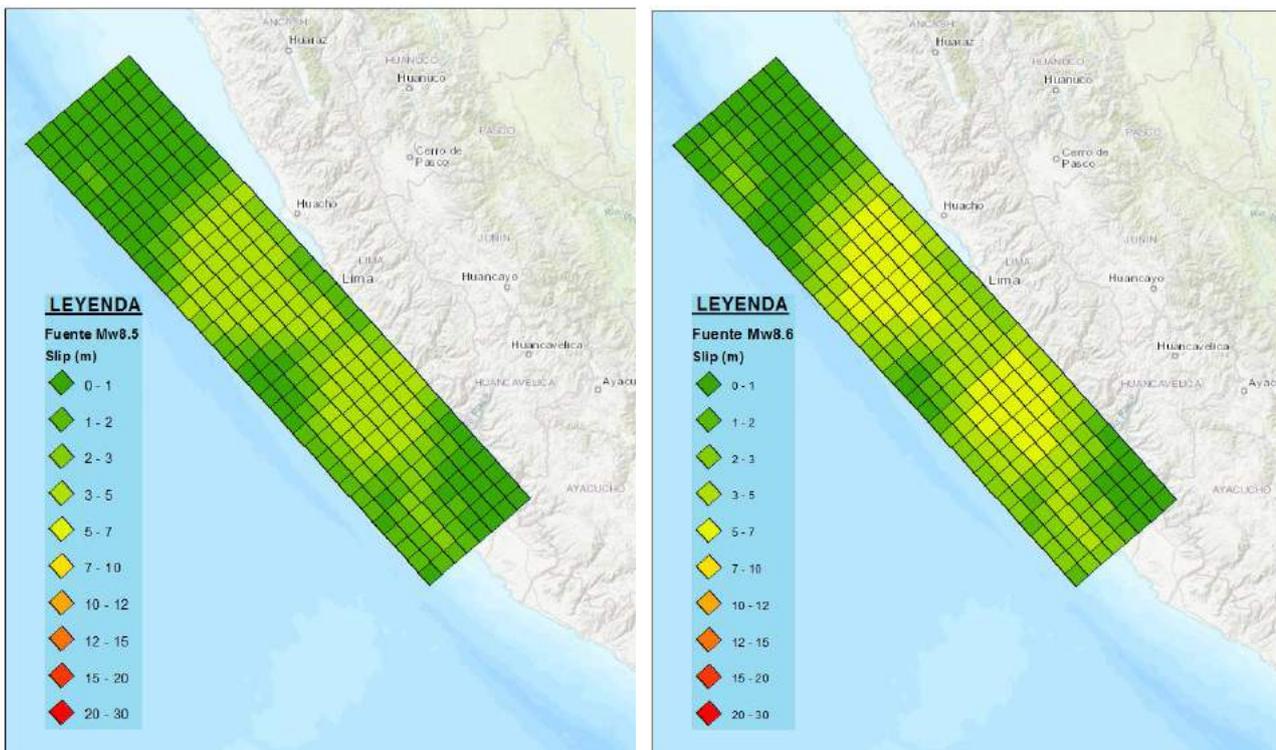
Los otros cinco escenarios tienen las mismas características a excepción de la magnitud de los desplazamientos, siendo los mayores desplazamientos de las subfallas de 4.9, 6.9, 9.8, 15.4, 20.0 y 28.4 metros para los escenarios 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 9.0 M_w respectivamente (La característica de la falla de cada escenario se pueden observar en el ANEXO 1).

Para el escalamiento de los escenarios sísmicos menores a 8.8 Mw generados por Pulido et al., 2011, se le solicitó al autor las características geométricas y sísmicas de las 280 sub fallas que generaban este escenario sísmico. El escalamiento para los sismos de menor magnitud se realizó a través de un coeficiente que multiplique al desplazamiento o dislocación de cada una de las subfallas y luego calcular la energía traducida en momento sísmico M_0 generada por este desplazamiento, luego se suman todas estas energías obteniendo la energía de toda la falla y se calcula la magnitud de momento equivalente (M_w).

$$M_w = \log(M_0 + 1)/1.5 - 10.73 \quad \text{Ec. 8}$$

Al aplicar este escalamiento se mantuvo las características geométricas de la fuente (el largo y ancho se mantuvo constante) generando fuentes sísmicas equivalentes con menores desplazamientos o dislocaciones al momento de la ruptura. Los resultados de este escalamiento se muestran en la Figura 112.

Como se aprecia en esta figura, los desplazamientos en las subfallas ubicadas en los extremos de la fuente sísmica presentan desplazamientos menores haciendo que el tamaño total de la falla se reduzca de manera automática, demostrándose que a menores magnitudes el tamaño total efectivo de la falla se ve reducido.



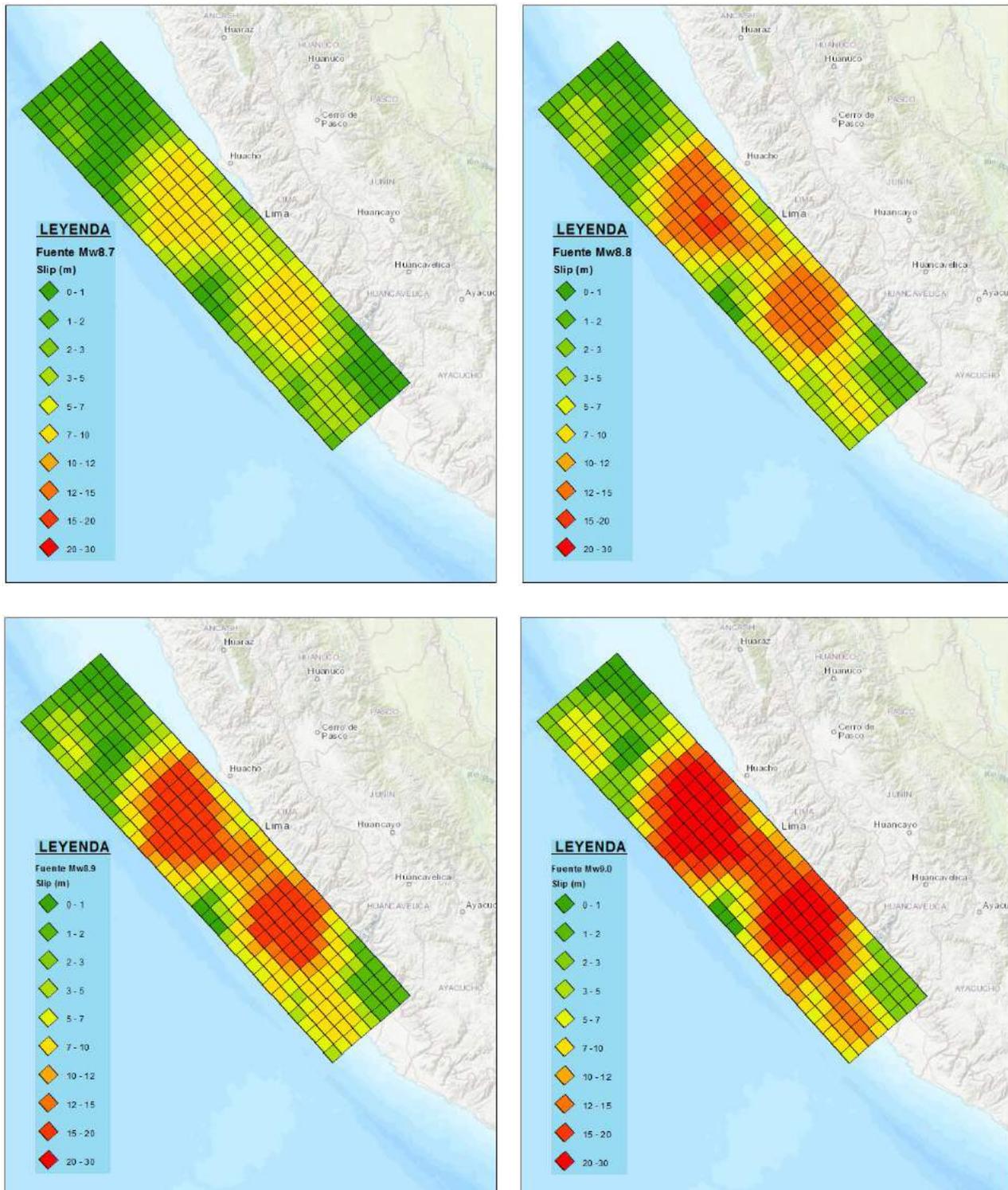


Figura 112. Distribución de desplazamientos para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw, que constan de 280 sub fallas cada uno

6.6. Análisis del Tsunami para el distrito de San Isidro

6.6.1. Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano

El desplazamiento inicial de la superficie del océano o condición inicial del tsunami es determinado calculando la deformación de la estructura del fondo del océano basado en relaciones propuestas en Okada, 1985. En este artículo se proponen ecuaciones para el cálculo del desplazamiento, esfuerzos e inclinación productos de la dislocación que sufre la estructura del fondo del océano durante un evento sísmico. Estas ecuaciones se basan en estudios previos, en un modelo realístico de la estructura de la tierra. Estos previos estudios revelan que el efecto de la curvatura de la tierra es depreciable para eventos a poca profundidad y a distancias menores a 20°, pero las capas verticales pueden algunas veces causar considerables efectos en los campos de deformación.

Entonces, el desplazamiento $u_i(x_1, x_2, x_3)$ debido a la dislocación $\Delta u_i(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ a través de la superficie Σ en un medio isotrópico es dado por:

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

δ_{jk} : Delta de Kronecker,

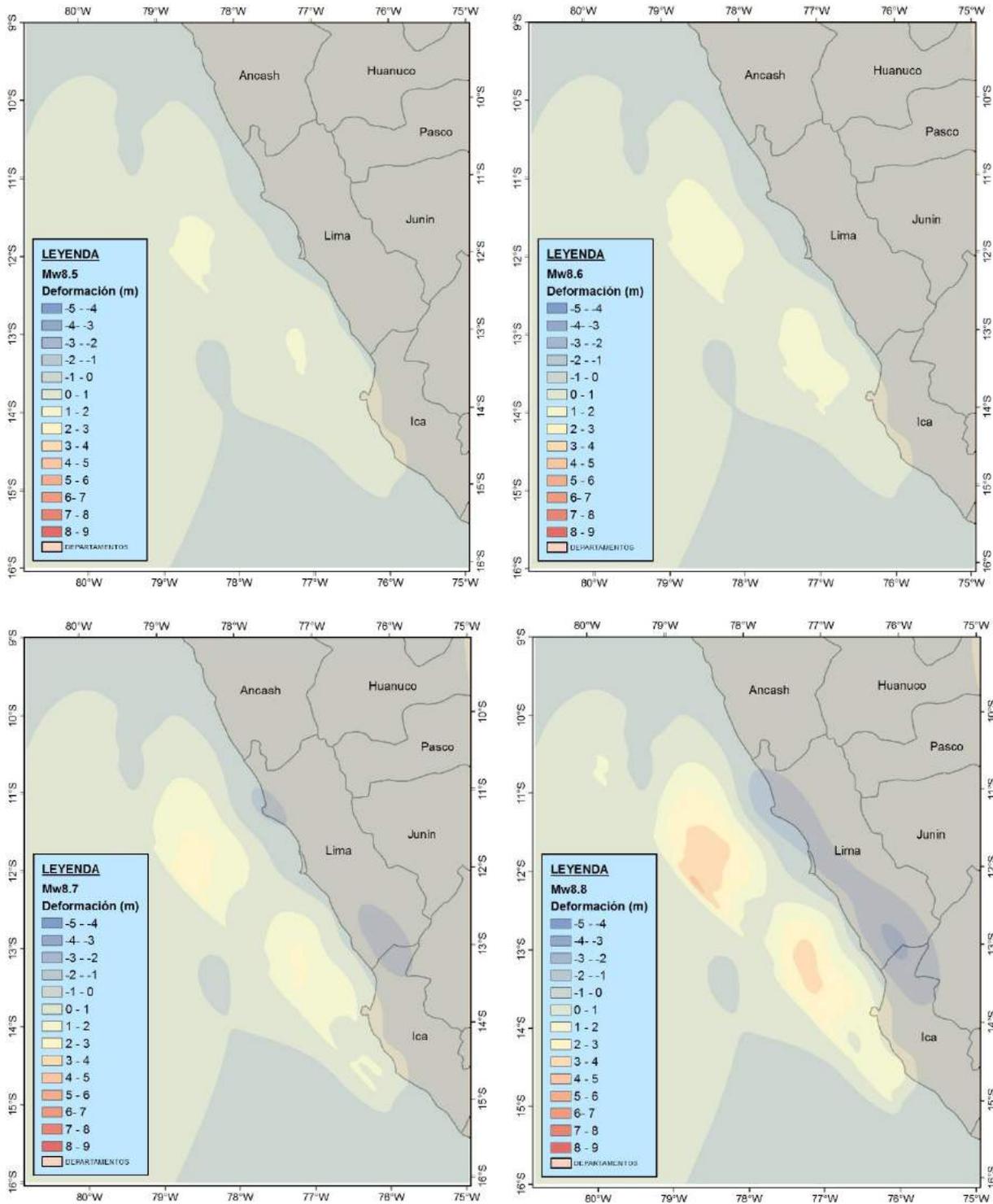
λ y μ : Constantes de Lamé,

v_k : Dirección coseno de la normal al elemento de superficie $d\Sigma$,

u_i^j : Componente "i" del desplazamiento en el punto (x_1, x_2, x_3) debido a la fuerza de magnitud "F" en la dirección "j" en (ξ_1, ξ_2, ξ_3) ,

La Figura 113 muestra el resultado de la condición inicial del tsunami para los escenarios sísmicos. Donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y el color azul representa el desplazamiento vertical negativo (hundimiento).

En la simulación numérica de la propagación e inundación del tsunami, la línea marea es definida de acuerdo a la condición inicial del tsunami Figura 113. Esto significa que, de acuerdo a este análisis, el nivel de la marea en la costa estaría descendiendo, lo que comúnmente es llamado "el retroceso del mar", como condición inicial del tsunami y como una señal de alerta de la venida del tsunami.



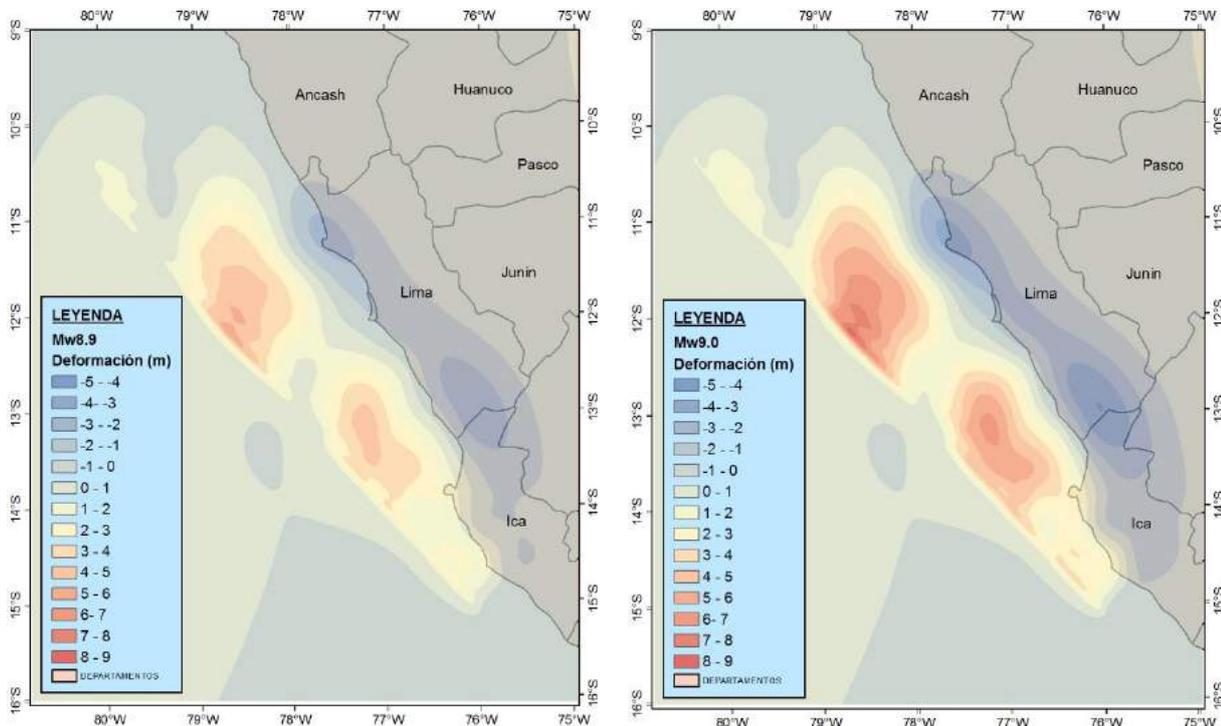


Figura 113. Deformación inicial de la superficie del océano para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw

De las figuras anteriores se observa que, aunque la diferencia de las magnitudes es de solo 0.1, las deformaciones positivas (levantamiento) en el fondo marino difieren en varios metros, dando a entender así que los 9 parámetros mencionados en la Figura 111 son necesarios para definir las condiciones iniciales del fondo marino y no sólo aquellos que se usan para el cálculo de la magnitud Mw.

6.6.2. Fase de la Propagación del Tsunami

La simulación numérica del tsunami es realizada usando TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field Tsunami No.2) el código fuente está basado en la teoría de aguas poco profundas y fue desarrollado por el Disaster Control Research Center (DCRC – Tohoku University, Japan).

La propagación e inundación fueron calculadas usando TUNAMI-N2 en el sistema de coordenadas UTM utilizando el datum WGS84, Zona 18S y el área de cálculo fue dividida en cuatro dominios o regiones, donde los dominios se conectan unos a otros usando el sistema de mallas anidadas. Estos dominios se pueden ver en la Figura 114.

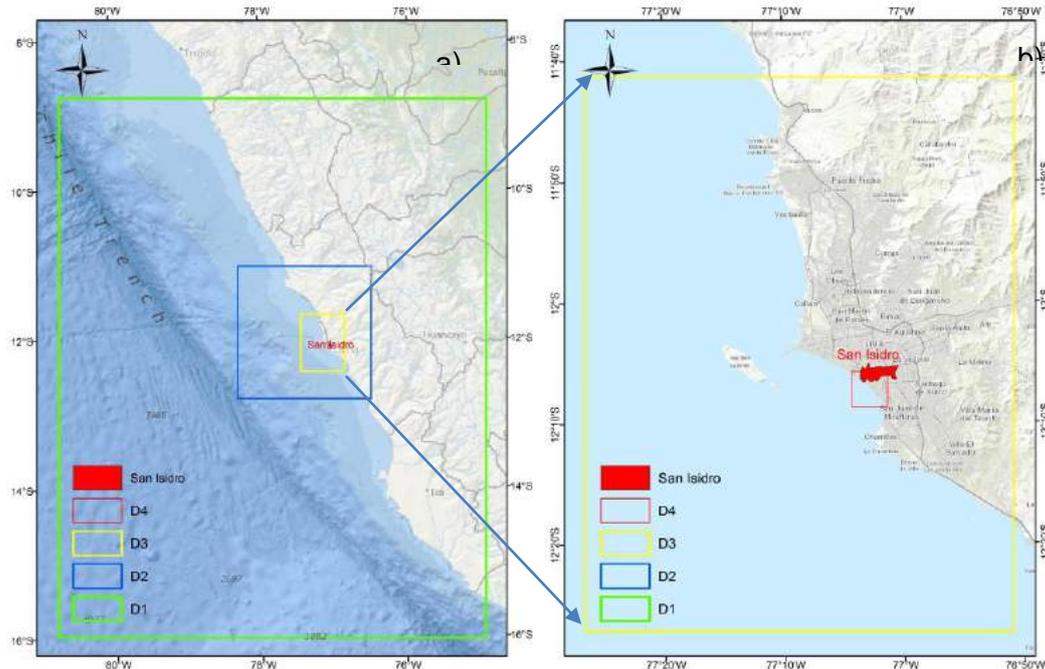


Figura 114. Dominios utilizados en la simulación numérica,
a) Distribución de los 4 dominios, b) Detalle del área para el análisis de inundación
(Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA)

Para la simulación del tsunami, la batimetría fue tomada desde la página web del General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, que para la ubicación geográfica de estudio se interpola a aproximadamente 415 metros y para el análisis de inundación se utiliza una batimetría de 15 metros obtenida de los portulanos y recaladas por la DHN (Tabla 7).

El tiempo total de simulación es de 3 horas (180 minutos) y el intervalo de tiempo para la simulación, con el fin de satisfacer la estabilidad numérica, es de 0.2 segundos.

Asumiendo que el evento sísmico propuesto más desfavorable ocurriera un 16 de Noviembre de 2020 a las 10 am, la Figura 115 muestra la propagación de las ondas para el de 9.0 Mw en los tiempos (a) de 1 minuto, (b) el tiempo de arribo de la primera onda a la costa (minuto 20) y (c) minuto de la máxima altura de la inundación (minuto 48). Cabe resaltar que, al usar escenarios de la misma fuente escalada, los tiempos de arribo de la primeras ondas u olas son bastante similares y esto se puede ver claramente en la Figura 117.

Además, la Figura 115 (a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud 9.0 Mw, donde las zonas en azul representan el desplazamiento vertical positivo del mar y las zonas en celeste el desplazamiento vertical negativo (b) muestra la propagación del tsunami 20 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera onda a la costa.

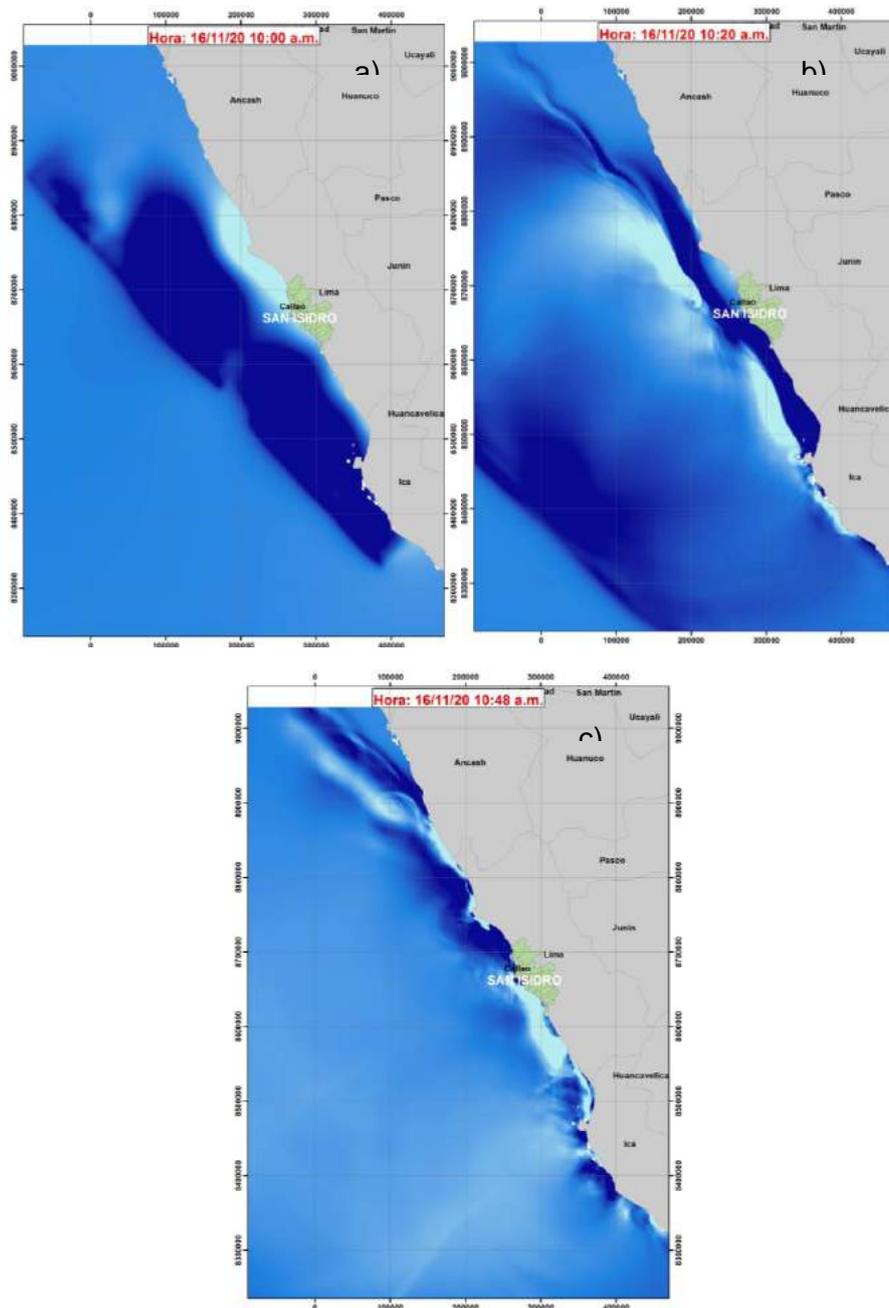


Figura 115. Capturas instantáneas en diferentes instantes de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.

También se muestran las amplitudes de las ondas versus el tiempo transcurrido después de haberse iniciado el tsunami para los diferentes escenarios sísmicos, estas señales fueron registradas por 4 estaciones mareográficas virtuales ubicadas en la zona costera del distrito de San Isidro, como se muestra en la Figura 116.



Figura 116. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas de San Isidro.

La Figura 117 muestra como varia la amplitud en el transcurso del tiempo para el punto 28. Esta es una representación sintética del tsunami registrado en cuatro puntos cercanos a las zonas urbanas de la costa de San Isidro (Ver Figura 116), estas señales son el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra que en este escenario la primera ola arriba al distrito de San Isidro aproximadamente 20 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de 11.3 metros a los 48 minutos.

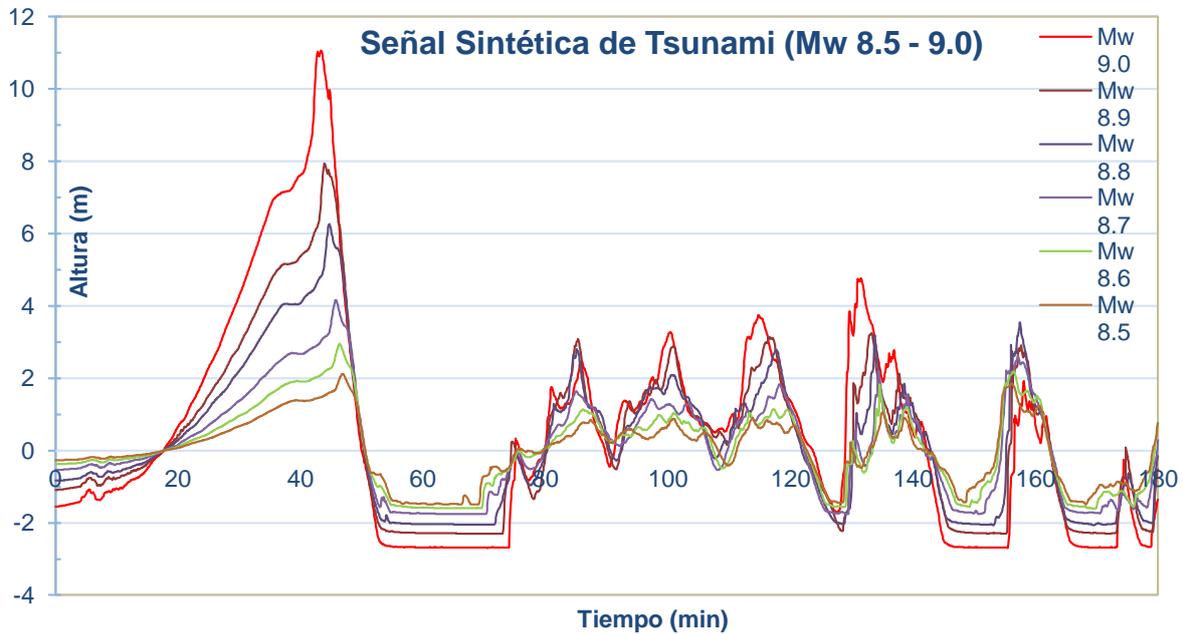


Figura 117. Señal sintética del tsunami para los escenarios propuestos de 8.5 a 9.0 Mw en las costas de San Isidro

6.6.3. Fase de Inundación

En esta etapa se utilizó la batimetría obtenida por la DHN (Dirección de Hidrografía y Navegación) mediante los Portulanos y cartas de Recalada, interpolados hasta 15 metros. Así también, la topografía fue obtenida utilizando un servicio de Google Maps para obtener la elevación e integrada con la información obtenida del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), esta última fue descargada con una resolución espacial de 30 metros y fue interpolada hasta los 15 metros, la Tabla 7 detalla dónde se usó la batimetría y topografía para cada dominio, siendo el dominio 4 el usado para el análisis de inundación, en la Figura 114 (b) se observa la extensión de este dominio.

Tabla 7. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica

Dominio	Batimetría	Topografía	Resolución (m) interpolada
	Fuente	Fuente	
1	GEBCO 30 s (900m)	GEBCO 30 s	405
2	GEBCO 30 s	GEBCO 30 s	135
3	GEBCO 30 s	GEBCO 30 s	45
4	DHN 15 m	SRTM + GOOGLE INC.	15



Además, se establecieron 4 estaciones mareográficas virtuales a lo largo de la costa del área de estudio, en estas estaciones virtuales se puede registrar las variaciones en el nivel del mar producto del tsunami, los valores máximos de estos registros estarían dando las probables amplitudes máximas o altura de las olas máximas que estaría atacando las costas de San Isidro. Los valores de las alturas máximas a lo largo de la costa de San Isidro se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami

Mw	Hmáx (m)
8.5	2.30
8.6	3.25
8.7	4.25
8.8	6.30
8.9	8.40
9.0	11.30

Finalmente, estas alturas deberán ser corregidas por las alturas máximas de mareas.

Para esta corrección se usan los valores calculados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú en base a la data histórica de las estaciones mareográficas instalados a lo largo de la costa peruana, dicha información incluye un ciclo nodal lunar de 19 años hasta el 2019.

En esta data histórica se puede encontrar que, en las costas de Callao cercanas al distrito de San Isidro, se tiene un valor de pleamar de 1.50 metros. Con este valor se corrigen los valores obtenidos de la simulación para asegurar una evaluación de daños en el caso más desfavorable.

Finalmente, los valores de altura con los cuales se han evaluado las áreas de inundación se presentan en la

Tabla 9, los valores se presentan redondeados.

Tabla 9. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Mw	Hmáx corregida (m)
8.5	3.80
8.6	4.75
8.7	5.75

8.8	7.8
8.9	9.9
9.0	12.8

Así como se obtienen las alturas máximas en las costas también se elaboraron mapas con las alturas de inundación para el área de estudio y los resultados se muestran en la Figura 118, Figura 119, Figura 120, Figura 121, Figura 122 y Figura 123 para los eventos de magnitudes de 8.5 a 9.0 Mw respectivamente.

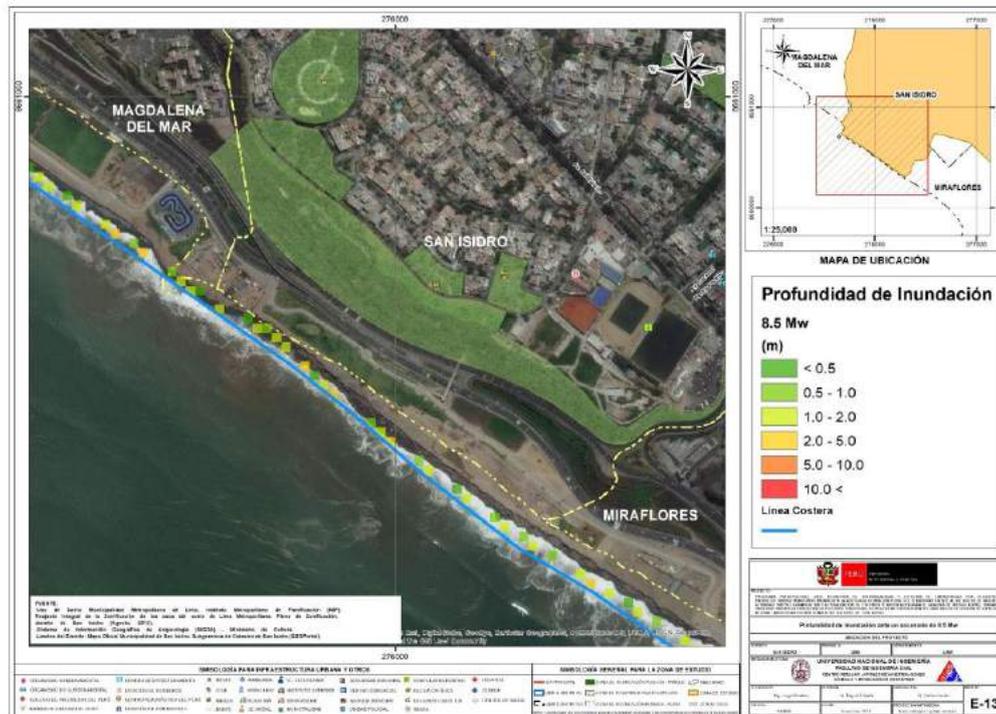


Figura 118. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.5 Mw

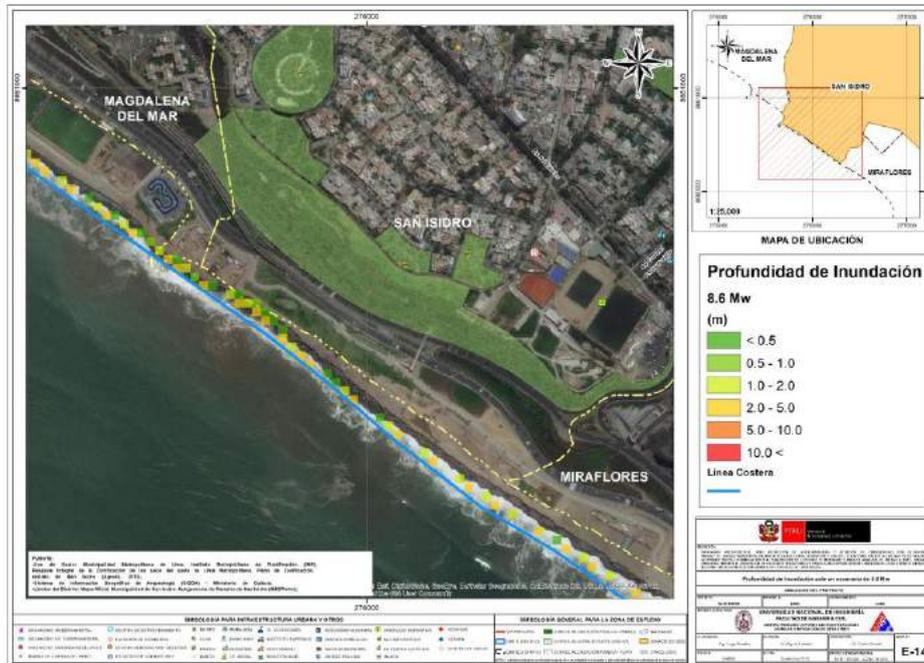


Figura 119. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.6 Mw

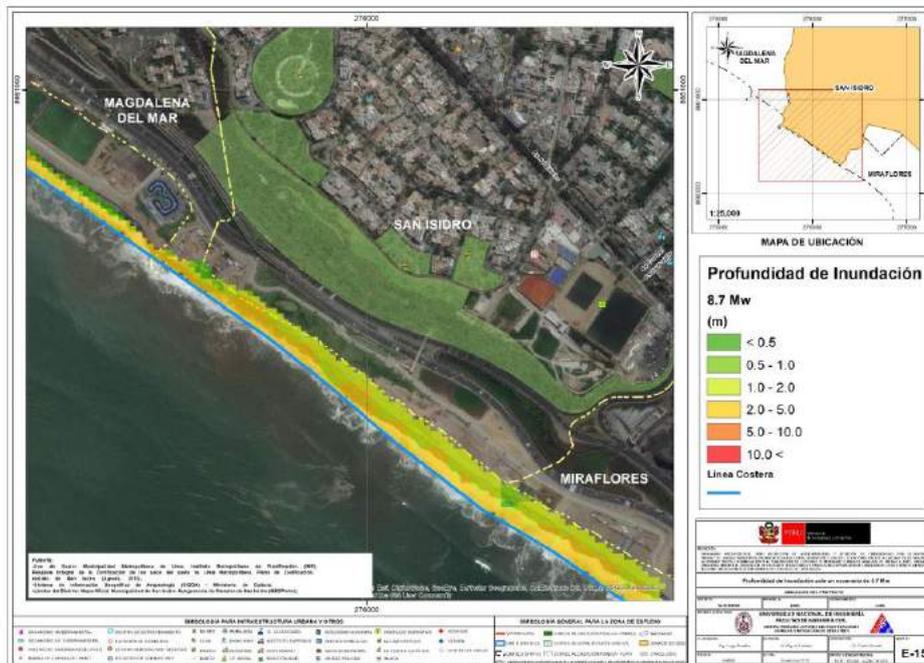


Figura 120. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.7 Mw

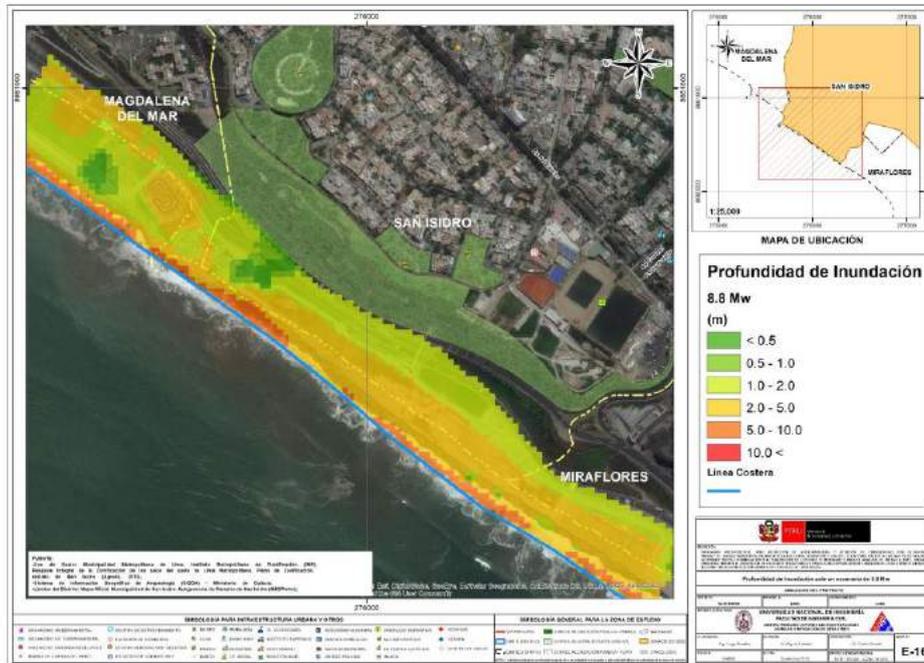


Figura 121. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw

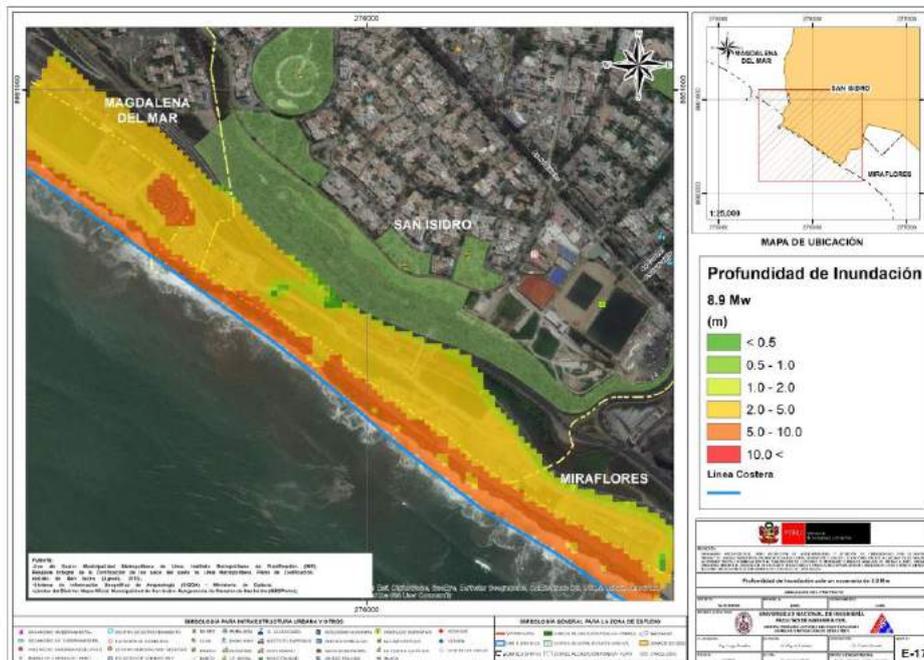


Figura 122. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw

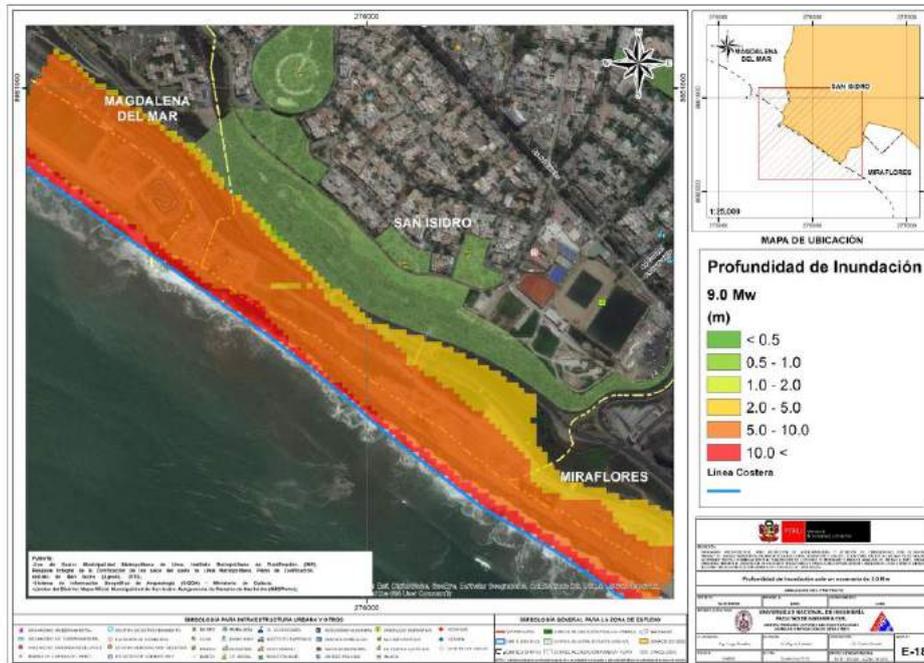


Figura 123. Profundidades de inundación para San Isidro con el escenario sísmico de magnitud 9.0 Mw

6.7. Análisis de Resultados

Se ha realizado un análisis cuantitativo de seis escenarios probables de tsunamis que podrían atacar las costas de San Isidro, utilizando la teoría de las aguas poco profundas. Como resultado de este análisis se obtuvo la propagación e inundación para todos los escenarios planteados y este resultado ha sido plasmado en mapas temáticos que ayudarán a un mejor entendimiento.

De la Figura 118 a la Figura 123 se pueden apreciar todos los mapas de inundación, siendo aquellos de magnitud superior a 8.7 los que tienen una visible zona de inundación a ser tomada en cuenta. Los valores máximos de inundación alcanzan los 7, 9 y 12 metros de altura respectivamente para los escenarios de 8.8, 8.9 y 9.0 y el tsunami inundaría hasta 200 metros tierra adentro, es decir hasta la base del acantilado.

Para todos los escenarios sísmicos planteados, debido a la existencia del acantilado, se observa que el área inundada no alcanza a ninguna vivienda, ya que todas están sobre dicho acantilado, sin embargo, las personas y la infraestructura que se encuentre entre el mar y el acantilado se podrían ver comprometidas por la inundación en los escenarios desde 8.7 a 9.0 Mw.



6.8. Recomendaciones

El tiempo de evacuación promedio disponible sería de entre 15 y 20 minutos, el cual sería suficiente siempre y cuando la evacuación se realice inmediatamente, se ha visto en la zona buena señalización sin embargo las salidas hacia la parte superior del acantilado son escasas por lo que se recomienda concientizar a la población.

Por otro lado, la forma más adecuada para evacuar recomendada es a pie, ya que se usualmente se genera demasiado tráfico vehicular.

La realización de simulacros de sismo y tsunami ayuda a la sensibilización de la población, para ello los mapas de peligro son muy importantes ya que muestran de una manera entendible la extensión de la amenaza.



7. REFERENCIAS

- [1] Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2] Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3] Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el cálculo de vulnerabilidad sísmica – Carlos Zavala y Ricardo Proaño – XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú / Octubre 2003.
- [4] Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo -Hugo Scaletti Farina – FIC – UNI /2003.
- [5] Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño –SRSND – Carlos Zavala – CISMID/FIC/UNI/ Noviembre 2007.
- [6] Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado - Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7] Reducción del Daño Sísmico – Guía para empresas de agua – Organización Panamericana de la Salud (OPS) y American Water Works Association (AWWA)/ 2003.
- [8] Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan – Y. Maruyama and F. Yamazaki – Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) /March 2010.
- [9] Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake – C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) /March 2010.
- [10] AASHTO LRFD 2012 Bridge Design Specifications 6th Edition (US) – Customary U.S. Units 2012 – Publication code: LRFDUS-6.
- [11] Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID – FIC – UNI (<http://www.cismid-uni.org/component/k2/item/68-banco-de-datos-de-isosistas-del-peru>).
- [12] Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- [13] American Society of Civil Engineers - Structural Engineering Institute (2010), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures".
- [14] Bernal, I. (2000), "Características de la Sismicidad en la Región Sur del Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 69 – 80. Lima, Perú.
- [15] Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.



- [16] Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magíster en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [17] Bommer, J. J., (2002), "Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 6, Special Issue 1, pp. 43 – 73, Imperial College Press.
- [18] Bommer, J. J., (2012), "Challenges of Building Logic Trees for Probabilistic Seismic Hazard Analysis" *Earthquake Spectra*, Volume 28, N°. 4, pages 1723-1735, November 2012. Earthquake Engineering Research Institute.
- [19] Boore, D. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 73, N° 6, pp. 1865-1894.
- [20] Boore, D.; Joyner, W. (1982), "The empirical prediction of ground motion", *Seismological Society of America*, Vol. 72, N° 6, pp. S43-S60.
- [21] Cahill, T.; Isacks, B. (1992), "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No.B12, p. 17503-17529.
- [22] Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [23] Castillo, J; Alva, J. (1998), "Peligro sísmico en el Perú", *Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*, SPMSIF, Lima, Perú.
- [24] Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", *Bulletin of the Seismological Society of America*", Vol 58, N°5 págs.1538-1606.
- [25] Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", *I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, Lima, Perú.
- [26] Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", *IV Congreso Peruano de Geología*, Lima, Perú.
- [27] Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990) "Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Peru". *BSSA*, 80, pg 551-576.
- [28] Esteva, L. (1970), "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", *Publicación N° 19 del Instituto de Ingeniería*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [29] Gamarra, C. A. (2010), "Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [30] Giovanni M. K., Beck S. L. & Wagner L. (2002), "The June 23, 2001 Peru Earthquake and the Southern Peru Subduction Zone". *Geophysical Research Letters*, Vol 29, N° 21, 2018.



- [31] Grange, F. et al (1984), "Tectonics implications of the micro earthquake seismicity and fault plane Solutions in the Southern Peru", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, Pp 6139-6152.
- [32] Gutenberg, B. (1945), "Magnitude determination for deep-focus earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 35, pp. 117-130.
- [33] Gutenberg, B.; Richter, C. (1956), "Earthquake magnitude: intensity, energy, and acceleration", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 46, pp. 104-145.
- [34] Hanks, T.; Kanamori, H. (1979), "A moment magnitude scale", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 84, pp. 2348-2350.
- [35] Hynes-Griffin, M.E., and Franklin, A.G., (1984), "Rationalizing the Seismic Coefficient Method", *Miscellaneous Paper GL-84,-13*, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [36] Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- [37] International Building Code (2012), "2012 International Building Code", International Code Council, INC (ICC) - USA.
- [38] Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", *Journal of Geophysical Research*, Vol 73, N°18, páginas: 5855-5899.
- [39] Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [40] Macharé, J., Benavente, C., Laurence, A. (2009), "Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico 2008", *Boletín N° 40 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica*, INGEMMET
- [41] Macharé, J., Fenton, C., Machette, M., Lavenu, A., Costa, C. and Dart, R., (2003), "Database and Map of Quaternary Faults and Folds of Peru and its Offshore Regions", *Open-File Report 03-451*, US Geological Survey, U.S.A.
- [42] Macharé, J., Laurence, A., Romero, J., Costa, C., Ramírez, V., Lara, L., et al. (2009), "Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes", *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas*, *Publicación Geológica Multinacional N° 7*.
- [43] McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", *MIT Report R74-51* Cambridge MA, USA.
- [44] Ministerio de Energía y Minas (1995), "Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros"
- [45] Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J: (1999), "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", *Institute of Engineering*, Universidad Nacional Autónoma de México.



- [46] Patwardhan, K.; Sadigh, I. M.; Idriss and Youngs, R. (1978). "Attenuation of Strong Motion Effect of Site Conditions. Transmission Path Characteristics and Focal Depths", submitted to the Bull Seismological Society of America.
- [47] Pomachagua, O. (2000), "Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 93 – 104. Lima, Perú.
- [48] Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- [49] S. Rodríguez, H. Tavera, (1991), Determinación con Alta Resolución de la zona Wadati-Benioff en la Región del Perú Central, Revista Geofísica Vol. 9, N°2, 141-159.
- [50] Sadigh K. Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R. R., (1997), "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February.
- [51] Scordilis E 2006: Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude, Journal of Seismology 10: pp. 225-236.
- [52] Sébrier M., Huamán D., Blanc J. L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- [53] Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 33-44.
- [54] Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955-1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243.
- [55] Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- [56] Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- [57] SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- [58] Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- [59] Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- [60] Tavera H., (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.



- [61] Tavera H., Bufo E., Bernal I., Antayhua Y. & Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001", *Journal of Seismology*, Vol. 6, pp. 279 – 283.
- [62] Tavera H., Vilca R. y Marín G. (2006), "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwestern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", *Earth Science Research Journal*, Vol. 10, N° 1, pp. 15 – 24.
- [63] Weichert, Dieter H. (1980), "Estimation of the Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes", *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 70, N° 4, pp. 1337-1346, August, 1980.
- [64] Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", *Seismological Research Letters*, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.
- [65] Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., et al (2006), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 3, pp. 898 – 913, June 2006, doi: 10.1785/0120050122.
- [66] Silgado F., E., (1992). *Investigaciones de sismicidad histórica en la América del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú.
- [67] ITST, 2001a, Report of the June 23, 2001 Peruvian Tsunami Field Survey of the International Tsunami Survey Team (ITST).
- [68] Fritz, H. M., Kalligeris, N., Borrero, J. C., Broncano, P., and Ortega, E., 2008, The 15 August 2007 Peru tsunami run-up observations and modeling, *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L10604, doi: 10.1029/2008GL033494.
- [69] Imamura, F., 1995, Review of the tsunami simulation with a finite difference method, *Long Wave Run-up Models*, Word Science, 25-42.
- [70] Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.
- [71] Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to shear and Tensile Faults in Half-space, *Bulletin Seismological Society of America*. Vol. 75, No. 4, 1135-1154.
- [72] N. Pulido, H. Tavera, H. Perfettini, M. Chlieh, Z. Aguilar, S. Aoi, S. Nakai, and F. Yamazaki, "Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru," in *Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, pp. 1-6, 2011.
- [73] C. Jimenez, N. Moggiano, E. Mas, B. Adriano, S. Koshimura, Y. Fujii, and H. Yanagisawa, "Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling," *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp. 266-273, 2013.



- [74] B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez and H. Yanagisawa, “Tsunami Inundation Mapping in Lima for Two Tsunami Source Scenarios”, *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp 274-284, 2013.
- [75] Kuroiwa J., *Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza*, 2002.
- [76] Evaluación del Riesgo de Tsunamis en Quintero Chile, En revista chilena de ingeniería (ISSN0370-4009). No 453, abril 2008.
- [77] “Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo”, 2008, E. Mas y V Jácome. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería.
- [78] “Tabla de Mareas 2015”, 2015, Dirección de Hidrografía y Navegación, Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, República del Perú.
- [79] Silgado F., E., (1992). Investigaciones de sismicidad histórica en la America del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Peru.
- [80] ITST, 2001a, Report of the June 23, 2001 Peruvian Tsunami Field Survey of the International Tsunami Survey Team (ITST).
- [81] Fritz, H. M., Kalligeris, N., Borrero, J. C., Broncano, P., and Ortega, E., 2008, The 15 August 2007 Peru tsunami run-up observations and modeling, *Geophysical Research Letters*, vol. 35, L10604, doi: 10.1029/2008GL033494.
- [82] Imamura, F., 1995, Review of the tsunami simulation with a finite difference method, *Long Wave Run-up Models*, Word Science, 25-42.
- [83] Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.
- [84] Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to shear and Tensile Faults in Half-space, *Bulletin Seismological Society of America*. Vol. 75, No. 4, 1135-1154.
- [85] N. Pulido, H. Tavera, H. Perfettini, M. Chlieh, Z. Aguilar, S. Aoi, S. Nakai, and F. Yamazaki, “Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru,” in *Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, pp. 1-6, 2011.
- [86] C. Jimenez, N. Moggiano, E. Mas, B. Adriano, S. Koshimura, Y. Fujii, and H. Yanagisawa, “Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling,” *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp. 266-273, 2013.
- [87] B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez and H. Yanagisawa, “Tsunami Inundation Mapping in Lima for Two Tsunami Source Scenarios”, *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp 274-284, 2013.
- [88] Kuroiwa J., *Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza*, 2002.
- [89] Evaluación del Riesgo de Tsunamis en Quintero Chile, En revista chilena de ingeniería (ISSN0370-4009). No 453, abril 2008.
- [90] “Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo”, 2008, E. Mas y V Jácome. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería.



-
- [91] “Tabla de Mareas 2015”, 2015, Dirección de Hidrografía y Navegación, Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, República del Perú.



ANEXO 1. Tabla de los parámetros de las fuentes sísmicas que consideran 280 sub fallas.

Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)	Desp. 8.9 (m)	Desp. 9.0 (m)
1	387514.74	8328974.09	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
2	374270.24	8343930.57	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
3	361020.03	8358891.86	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
4	347742.88	8373835.91	7441	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
5	334460.41	8388774.09	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
6	321151.18	8403717.51	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
7	307837.04	8418644.38	7441	20000	20000	319	15	56	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
8	294507.24	8433576.95	7441	20000	20000	319	15	52	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
9	281151.29	8448493.18	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
10	267790.88	8463404.50	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
11	254404.44	8478321.99	7441	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
12	241013.97	8493223.90	7441	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
13	227608.72	8508121.39	7441	20000	20000	319	15	76	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
14	214318.10	8523093.52	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201013.25	8538050.66	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	187694.21	8553004.07	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	173821.13	8567692.89	7441	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
18	160344.34	8582571.18	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
19	146842.71	8597457.15	7441	20000	20000	319	15	68	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
20	133338.42	8612329.12	7441	20000	20000	319	15	76	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
21	119809.72	8627198.08	7441	20000	20000	319	15	72	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
22	106278.39	8642075.60	7441	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
23	92723.11	8656939.43	7441	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
24	79165.69	8671801.14	7441	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
25	65595.21	8686671.87	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
26	52001.24	8701529.50	7441	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
27	38405.61	8716385.62	7441	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



28	24786.46	8731251.20	7441	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
29	11166.14	8746104.60	7441	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
30	-2466.46	8760968.04	7441	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
31	-16121.80	8775819.36	7441	20000	20000	319	15	40	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
32	-29777.99	8790670.21	7441	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
33	-43456.97	8805531.54	7441	20000	20000	319	15	48	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
34	-57136.30	8820381.71	7441	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
35	-70826.96	8835231.86	7441	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
36	402077.87	8341649.54	12617	20000	20000	319	15	52	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
37	388847.36	8356624.94	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
38	375589.82	8371582.85	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
39	362326.85	8386545.67	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
40	349037.19	8401491.35	12617	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
41	335742.50	8416431.27	12617	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
42	322432.09	8431376.61	12617	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
43	309095.48	8446305.37	12617	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
44	295754.34	8461228.93	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
45	282387.13	8476158.40	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
46	269015.83	8491072.01	12617	20000	20000	319	15	68	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
47	255629.59	8505992.00	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
48	242217.94	8520896.32	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
49	228802.61	8535796.43	12617	20000	20000	319	15	80	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
50	215361.96	8550703.38	12617	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
51	201918.07	8565595.46	12617	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
52	188460.14	8580483.81	12617	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
53	174977.33	8595379.57	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
54	161491.80	8610261.05	12617	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
55	147981.82	8625139.26	12617	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
56	134469.18	8640025.73	12617	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



57	120932.53	8654898.25	12617	20000	20000	319	15	68	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
58	107393.54	8669779.44	12617	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
59	93841.76	8684647.20	12617	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
60	80266.28	8699512.67	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
61	66688.95	8714387.43	12617	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
62	53088.37	8729249.20	12617	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
63	39486.42	8744109.59	12617	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
64	25872.15	8758979.72	12617	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
65	12235.10	8773837.47	12617	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
66	-1403.01	8788705.54	12617	20000	20000	319	15	64	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
67	-15063.60	8803561.63	12617	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
68	-28724.76	8818417.36	12617	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
69	-42397.47	8833283.87	12617	20000	20000	319	15	68	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
70	-56092.20	8848138.99	12617	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
71	416667.13	8354326.16	17794	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
72	403429.03	8369298.22	17794	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
73	390185.44	8384274.92	17794	20000	20000	319	15	72	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
74	376915.09	8399234.23	17794	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
75	363639.58	8414198.56	17794	20000	20000	319	15	52	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
76	350348.43	8429145.93	17794	20000	20000	319	15	44	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
77	337030.95	8444087.51	17794	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
78	323708.81	8459034.69	17794	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
79	310360.71	8473965.39	17794	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
80	297008.37	8488891.01	17794	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
81	283630.22	8503822.64	17794	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
82	270248.26	8518738.53	17794	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
83	256851.72	8533649.83	17794	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
84	243429.83	8548567.72	17794	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
85	230004.64	8563470.44	17794	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



86	216554.38	8578380.12	17794	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
87	203101.17	8593275.03	17794	20000	20000	319	15	40	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
88	189634.18	8608166.33	17794	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
89	176142.58	8623065.17	17794	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
90	162648.53	8637949.83	17794	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
91	149130.29	8652831.35	17794	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
92	135609.67	8667721.24	17794	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
93	122076.20	8682597.43	17794	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
94	108518.86	8697482.14	17794	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
95	94959.90	8712353.68	17794	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
96	81377.52	8727223.05	17794	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
97	67793.55	8742101.82	17794	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
98	54197.54	8756967.88	17794	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
99	40829.28	8771913.53	17794	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	26958.47	8786706.89	17794	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
101	13315.85	8801569.14	17794	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
102	-327.37	8816430.75	17794	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
103	-13993.15	8831302.67	17794	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
104	-27659.05	8846163.27	17794	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
105	-41336.22	8861034.77	17794	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
106	431260.95	8366992.97	22970	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
107	418036.58	8381972.80	22970	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
108	404785.35	8396946.05	22970	20000	20000	319	15	76	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
109	391528.91	8411924.03	22970	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
110	378245.96	8426884.74	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
111	364958.20	8441839.51	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
112	351654.94	8456799.54	22970	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
113	338325.66	8471742.83	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
114	324992.01	8486691.83	22970	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



115	311632.66	8501624.46	22970	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
116	298269.34	8516552.12	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
117	284891.31	8531485.99	22970	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
118	271488.07	8546404.05	22970	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
119	258081.36	8561317.73	22970	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
120	244649.56	8576238.10	22970	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
121	231214.73	8591143.42	22970	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
122	217765.97	8606055.92	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
123	204292.78	8620953.55	22970	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
124	190816.96	8635847.80	22970	20000	20000	319	15	44	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
125	177316.79	8650749.69	22970	20000	20000	319	15	44	4.92	6.92	9.84	15.37	19.98	28.43
126	163814.44	8665637.53	22970	20000	20000	319	15	48	4.92	6.92	9.84	15.37	19.98	28.43
127	150288.17	8680522.34	22970	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
128	136759.80	8695415.64	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
129	123218.85	8710295.36	22970	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
130	109654.42	8725172.64	22970	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
131	96088.38	8740059.02	22970	20000	20000	319	15	52	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
132	82499.31	8754932.28	22970	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
133	68908.94	8769815.05	22970	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
134	55557.78	8784755.15	22970	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
135	42194.97	8799705.17	22970	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
136	28056.25	8814432.86	22970	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
137	14408.31	8829299.61	22970	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
138	760.03	8844165.83	22970	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
139	-12899.55	8859042.65	22970	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
140	-26580.94	8873907.95	22970	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
141	445880.77	8379639.18	28147	20000	20000	319	15	48	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
142	432648.43	8394637.73	28147	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
143	419410.90	8409618.62	28147	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



144	406146.75	8424593.03	28147	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
145	392877.68	8439572.29	28147	20000	20000	319	15	52	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
146	379593.16	8454534.43	28147	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
147	366282.50	8469490.63	28147	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
148	352967.42	8484452.25	28147	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
149	339626.57	8499397.24	28147	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
150	326281.63	8514348.05	28147	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
151	312922.08	8529282.67	28147	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
152	299537.17	8544212.28	28147	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
153	286148.66	8559148.29	28147	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
154	272735.19	8574068.60	28147	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
155	259318.53	8588984.63	28147	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
156	245877.04	8603907.48	28147	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
157	232432.79	8618815.39	28147	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
158	218975.00	8633719.52	28147	20000	20000	319	15	40	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
159	205492.82	8648631.04	28147	20000	20000	319	15	40	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
160	192008.40	8663528.21	28147	20000	20000	319	15	48	4.92	6.92	9.84	15.37	19.98	28.43
161	178499.89	8678433.15	28147	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
162	164989.47	8693324.16	28147	20000	20000	319	15	56	4.92	6.92	9.84	15.37	19.98	28.43
163	151466.31	8708212.37	28147	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
164	137919.49	8723108.95	28147	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
165	124371.28	8737992.18	28147	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
166	110799.86	8752873.10	28147	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
167	97227.11	8767763.23	28147	20000	20000	319	15	56	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
168	83642.52	8782640.50	28147	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
169	70297.07	8797597.02	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
170	56940.37	8812541.21	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
171	42796.48	8827274.41	28147	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
172	29165.44	8842157.65	28147	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



173	15512.39	8857028.88	28147	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
174	1859.30	8871899.70	28147	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
175	-11508.97	8886852.02	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
176	460504.91	8392287.05	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
177	447286.04	8407282.21	33323	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
178	434040.48	8422281.70	33323	20000	20000	319	15	80	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
179	420789.99	8437263.63	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
180	407513.16	8452239.20	33323	20000	20000	319	15	80	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
181	394231.68	8467219.71	33323	20000	20000	319	15	76	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
182	380935.02	8482183.20	33323	20000	20000	319	15	72	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
183	367612.47	8497140.87	33323	20000	20000	319	15	72	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
184	354285.79	8512104.07	33323	20000	20000	319	15	68	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
185	340944.43	8527050.81	33323	20000	20000	319	15	68	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
186	327577.65	8541992.28	33323	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
187	314207.23	8556939.87	33323	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
188	300811.78	8571871.49	33323	20000	20000	319	15	40	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
189	287413.01	8586809.63	33323	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
190	273989.53	8601732.17	33323	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
191	260563.15	8616650.56	33323	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
192	247123.07	8631575.96	33323	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
193	233658.76	8646486.34	33323	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
194	220192.05	8661393.16	33323	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
195	206701.22	8676307.49	33323	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
196	193208.42	8691207.58	33323	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
197	179702.70	8706115.67	33323	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
198	166173.53	8721009.71	33323	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
199	152642.80	8735901.20	33323	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
200	139088.68	8750801.16	33323	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
201	125533.44	8765687.90	33323	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



202	111966.19	8780572.57	33323	20000	20000	319	15	48	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
203	98376.01	8795466.31	33323	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
204	84785.21	8810347.45	33323	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
205	71171.90	8825226.98	33323	20000	20000	319	15	68	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
206	57558.04	8840116.47	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
207	43922.11	8854993.68	33323	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
208	30285.95	8869881.26	33323	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
209	16934.81	8884827.63	33323	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	3562.08	8899784.63	33323	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
211	475154.84	8404914.66	38499	20000	20000	319	15	76	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
212	461927.70	8419928.48	38499	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
213	448695.57	8434924.46	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
214	435437.03	8449913.82	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
215	422173.79	8464907.84	38499	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
216	408895.30	8479884.58	38499	20000	20000	319	15	44	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
217	395590.82	8494866.30	38499	20000	20000	319	15	68	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
218	382282.24	8509831.14	38499	20000	20000	319	15	76	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
219	368948.03	8524790.26	38499	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
220	355609.96	8539755.02	38499	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
221	342257.49	8554703.43	38499	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
222	328879.86	8569646.68	38499	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
223	315498.86	8584596.15	38499	20000	20000	319	15	40	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
224	302093.09	8599529.78	38499	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
225	288684.28	8614470.02	38499	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
226	275261.90	8629394.87	38499	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
227	261815.14	8644315.50	38499	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
228	248365.84	8659243.35	38499	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
229	234892.56	8674156.30	38499	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
230	221417.15	8689065.80	38499	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



231	207928.80	8703983.02	38499	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
232	194416.93	8718885.91	38499	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
233	180903.45	8733785.96	38499	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
234	167366.55	8748694.21	38499	20000	20000	319	15	48	4.43	6.22	8.85	13.83	17.98	25.59
235	153828.47	8763588.95	38499	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30	15.98	22.75
236	140267.27	8778492.29	38499	20000	20000	319	15	48	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
237	126705.23	8793382.52	38499	20000	20000	319	15	44	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
238	113131.45	8808270.80	38499	20000	20000	319	15	68	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
239	99535.00	8823168.28	38499	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
240	85938.21	8838053.26	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
241	72603.49	8853017.83	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
242	59269.05	8867970.46	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
243	45912.84	8882933.23	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
244	32557.11	8897895.54	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
245	19180.19	8912846.23	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
246	489808.88	8417544.32	43676	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
247	476594.91	8432554.66	43676	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
248	463354.45	8447569.18	43676	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
249	450109.28	8462565.97	43676	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
250	436848.76	8477556.26	43676	20000	20000	319	15	48	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
251	423562.21	8492551.27	43676	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
252	410271.48	8507529.13	43676	20000	20000	319	15	40	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
253	396955.02	8522512.06	43676	20000	20000	319	15	64	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
254	383634.74	8537478.23	43676	20000	20000	319	15	56	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
255	370299.93	8552438.85	43676	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
256	356939.86	8567405.10	43676	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
257	343576.49	8582355.16	43676	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
258	330188.23	8597300.18	43676	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
259	316796.88	8612251.52	43676	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



260	303381.02	8627187.13	43676	20000	20000	319	15	44	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
261	289962.48	8642118.41	43676	20000	20000	319	15	40	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
262	276530.47	8657056.53	43676	20000	20000	319	15	40	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
263	263074.43	8671979.49	43676	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
264	249616.12	8686909.77	43676	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
265	236134.09	8701825.27	43676	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15	7.99	11.37
266	222650.22	8716737.43	43676	20000	20000	319	15	56	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
267	209153.67	8731657.42	43676	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
268	195633.87	8746563.21	43676	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
269	182112.73	8761466.27	43676	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22	11.99	17.06
270	168568.43	8776377.65	43676	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76	13.99	19.90
271	155023.24	8791275.63	43676	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69	9.99	14.22
272	141466.14	8806182.45	43676	20000	20000	319	15	40	1.48	2.07	2.95	4.61	5.99	8.53
273	127886.57	8821076.05	43676	20000	20000	319	15	44	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
274	114306.49	8835967.93	43676	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07	4.00	5.69
275	100704.00	8850869.13	43676	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
276	87101.45	8865757.95	43676	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54	2.00	2.84
277	73772.46	8880726.52	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
278	60444.04	8895683.26	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
279	47094.12	8910650.27	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
280	33733.96	8925616.80	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00