



**PERÚ**

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



**CONVENIO DE COLABORACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LAS ÁREAS URBANAS DE LAS MUNICIPALIDADES DISTRITALES DE: SANTIAGO DE SURCO, SANTA ANITA (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA), LA PERLA (PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO) Y MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN (DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA)**

**PRODUCTO 02:**

**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO, UBICADA EN LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SANTIAGO DE SURCO**

**TOMO III**

**ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

**LIMA – SETIEMBRE 2016**



**PRODUCTO 03 - TOMO III  
ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

**ÍNDICE**

**ÍNDICE ..... 1**

**LISTA DE FIGURAS ..... 4**

**LISTA TABLAS..... 12**

**1. ANTECEDENTES..... 13**

**2. INTRODUCCIÓN ..... 13**

**3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA ..... 15**

3.1. Mapa de Microzonificación Sísmica ..... 15

3.2. Mapa de Zonas de Aceleraciones ..... 19

3.3. Mapa de Zonas de Velocidades ..... 19

**4. MAPAS DE VULNERABILIDAD ..... 20**

4.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral..... 20

4.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal..... 20

4.1.2. Metodología de toma de datos ..... 20

4.1.3. Plantilla para la encuesta..... 21

4.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo ..... 22

4.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo ..... 24

4.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos ..... 24

4.1.7. Sistematización de la Información..... 25



4.1.8.	Ubicación de las manzanas a evaluar .....	25
4.2.	Informe de campo.....	27
4.2.1.	Edificaciones.....	27
4.2.2.	Edificaciones esenciales .....	41
4.3.	Base de datos geo-espacial .....	73
4.3.1.	Mapa de Uso de Suelo .....	75
4.3.2.	Mapa de Materiales Predominantes .....	77
4.3.3.	Mapa de Alturas de Edificación .....	78
4.3.4.	Mapa de Tipologías Estructurales .....	80
4.3.5.	Mapa de Estado de Conservación .....	81
4.3.6.	Mapa de Vulnerabilidad .....	83
5.	<b>MAPAS DE RIESGO .....</b>	<b>89</b>
5.1.	Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico .....	89
5.2.	Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico .....	90
5.3.	Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo ....	92
6.	<b>MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI.....</b>	<b>94</b>
6.1.	Sismicidad en el Perú .....	94
6.2.	Tsunamis históricos en Lima .....	96
6.3.	Ámbito de Estudio .....	98
6.4.	Procedimiento de Análisis.....	99
6.5.	Consideraciones Teóricas.....	100
6.5.1.	Conceptos Básicos .....	100
6.5.2.	Teoría de Aguas Poco Profundas .....	102
6.5.3.	Parámetros de Fuente Sísmica .....	103
6.6.	Escenario Sísmico.....	104
6.6.1.	Parámetros de las fuentes sísmicas .....	105



**PERÚ**

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



<b>6.7. Análisis del Tsunami para el distrito de Santiago de Surco.....</b>	<b>106</b>
6.7.1. Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano.....	106
6.7.2. Fase de la Propagación del Tsunami .....	108
6.7.3. Fase de Inundación .....	113
<b>6.8. Análisis de Resultados .....</b>	<b>117</b>
<b>6.9. Recomendaciones.....</b>	<b>119</b>
<b>7. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....</b>	<b>120</b>
7.1. Mapa de tipo de tubería de agua.....	125
7.2. Mapa de roturas para un escenario sísmico. ....	126
7.3. Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua.....	128
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>130</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote. ....	21
Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana. ....	22
Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de Santiago de Surco. ....	23
Figura 4. Manzanas totales (2103) versus manzanas seleccionadas (567). ....	26
Figura 5. Edificaciones típicas del Sector S01A .....	27
Figura 6. Edificaciones típicas del Sector S01A .....	28
Figura 7. Viviendas de albañilería de dos niveles .....	28
Figura 8. Viviendas de concreto armado de cuatro niveles.....	28
Figura 9. Viviendas en zona plana .....	29
Figura 10. Viviendas en zona con pendiente .....	29
Figura 11. Viviendas de albañilería de tres niveles.....	29
Figura 12. Viviendas de albañilería de dos niveles .....	29
Figura 13. Viviendas típicas de bloques de concreto.....	30
Figura 14. Multifamiliar de cinco niveles de muros de ductilidad limitada .....	30
Figura 15. Viviendas de muro de ductilidad limitada en construcción .....	30
Figura 16 Edificaciones para vivienda y uso comercial.....	31
Figura 17 Parque ecológico Loma Amarilla .....	31
Figura 18 Municipalidad de Santiago de Surco .....	32
Figura 19 Ingreso al Distrito de Santiago de Surco.....	32
Figura 20 Parque de la Amistad .....	33
Figura 21 Ingreso al Parque de la Amistad.....	33
Figura 22 Edificio de concreto armado con placa colaborante.....	33
Figura 23 Edificio de concreto armado .....	33
Figura 24 Edificaciones de dos pisos de albañilería con techo aligerado. ....	34
Figura 25 Viviendas de tres a cuatro pisos de albañilería con techo aligerado. ....	34
Figura 26 Izquierda: Vivienda unifamiliar en buen estado de conservación y derecha: Edificio comercial de diez niveles. ....	35



Figura 27 Edificación de pórticos de concreto armado. ....35

Figura 28 Edificio de dos niveles en concreto armado.....35

Figura 29. Izquierda: Comercio en concreto armado. Derecha.....36

Figura 30. Edificaciones de viviendas multifamiliares con distinto sistema estructural.....36

Figura 31 Edificaciones de dos y tres pisos de albañilería con techo aligerado .....37

Figura 32 Edificaciones de cuatro a seis pisos de concreto armado con techo aligerado .....37

Figura 33. Vivienda multifamiliar de concreto armado del sector 07. ....38

Figura 34. Vivienda de mampostería de tres pisos con losa aligerada. ....38

Figura 35.Vivienda de mampostería de tres niveles del sector 8. ....39

Figura 36.Vivienda de tres niveles donde con agrietamiento diagonal.....39

Figura 37.Vivienda de tres niveles donde con agrietamiento vertical.....40

Figura 38. Vivienda inhabitable debido al mal estado de conservación por los agrietamientos .....40

Figura 39. Edificio multifamiliar de 9 niveles (Derecha) y de Comercio con 6 niveles (Izquierda) en el sector 8.....41

Figura 40. Colegio Jorge Chávez .....42

Figura 41. Colegio José Abelardo Quiñones .....42

Figura 42. Centro Educativo Estrellitas.....42

Figura 43. Municipalidad de Santiago de Surco .....43

Figura 44. Hospital Municipal Salud Surco .....43

Figura 45. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los últimos días .....44

Figura 46.Fuerza Aérea del Perú .....44

Figura 47. I.E.I 555.....45

Figura 48. I.E.P Richard Bach .....45

Figura 49. I.E.P Jesús Amado .....45

Figura 50. C.E.I 593 .....45

Figura 51. I.E. 6047.....46

Figura 52. I.E. 6082.....46



Figura 53. I.E. FAP.....	46
Figura 54. I.E.P Santa Marta .....	46
Figura 55. Colegio San Roque .....	47
Figura 56. Centro de Educación Especial.....	47
Figura 57. Colegio Mixto Santa Teresita.....	47
Figura 58. ICPNA .....	47
Figura 59. Posta de Salud Las Dunas .....	48
Figura 60. Centro de Salud .....	48
Figura 61. Posta de Salud San Roque .....	48
Figura 62. Surco Salud Villa Alegre.....	48
Figura 63. I.E. FAP.....	49
Figura 64. Parroquia Nuestra Señora de Monte Carmelo .....	49
Figura 65 Clínica Maison de Santé.....	49
Figura 66 Clínica Vista Alegre.....	50
Figura 67. Compañía de Bomberos Santiago Apostol .....	50
Figura 68 Parroquia Señor de la Divina Misericordia.....	51
Figura 69 Cruz Roja Peruana.....	51
Figura 70 Hospital Municipal Surco Salud – Vista 1 .....	52
Figura 71 Hospital Municipal Surco Salud - Vista 2 .....	52
Figura 72. I.E.I Estrellitas de Luz.....	52
Figura 73. I.E.P. “Virgen de la Asunción.....	53
Figura 74. I.E.I. 557.....	53
Figura 75. I.E. SISE.....	54
Figura 76. I.E. IBF Certus.....	54
Figura 77. I.E. CEBE Surco.....	54
Figura 78. I.E. "Horacio Patiño" .....	55
Figura 79 I.E.I. "Birmingham" .....	55



Figura 80. I.E.I. "The Kids world" .....	56
Figura 81. I.E.I. "Club House Kinder Home" .....	56
Figura 82. Universidad Ricardo Palma .....	57
Figura 83. I.E.P. "Trilce" .....	57
Figura 84. Mercado Benavides .....	57
Figura 85. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días .....	58
Figura 86. Municipalidad de Santiago de Surco .....	58
Figura 87 Instituto Superior Tecnológico – Colegio Peruano alemán y Colegio Sta. Isabel ..	59
Figura 88 Parroquia Cristo Salvador.....	59
Figura 89 Reservorio Elevado .....	60
Figura 90. C.E.P. La Inmaculada Concepción. ....	60
Figura 91. I.E. P.N.P. Alcides Vigo Hurtado.....	61
Figura 92. Pabellón principal del C.E.P. Mixto Cristo Salvador. Izquierda: Se puede observar al fondo el coliseo deportivo. ....	61
Figura 93 I.E.I. Pasito a Paso. ....	62
Figura 94. Vista frontal e isométrica del I.E. N° 6043 Pedro Venturo. ....	62
Figura 95 Vista frontal del I.E.I. Volantín. ....	63
Figura 96. Vista frontal del I.E.I. Victoria García Boniffatti. ....	63
Figura 97. C.E.P. Mixto Cristo Salvador. ....	63
Figura 98. Vista isométrica del C.E.P. Colegio Nivel A. ....	64
Figura 99 I.E.I Little Village.....	64
Figura 100. Vista del Centro Comercial Plaza Vea en la Av. Aviación. ....	65
Figura 101. Vistas de la fachada del Complejo Deportivo La Alborada.....	65
Figura 102. Casa de retiro para adultos Geriatrics. ....	66
Figura 103. Banco de la Nación. ....	66
Figura 104. Tanque elevado.....	66
Figura 105 Colegio Virgen Inmaculada e Instituto Pedagógico Nacional Monterrico .....	67
Figura 106. Colegio "San José de Monterrico" .....	68



Figura 107. “Casuarinas International College” .....68

Figura 108. Colegio “De la Inmaculada” .....68

Figura 109. Colegio “Palestra” .....68

Figura 110. Colegio “Mi Jesús” .....69

Figura 111. Colegio “Antares” .....69

Figura 112. Colegio “Hans Christian Andersen” .....69

Figura 113. Edificio principal UPC .....70

Figura 114. Edificio principal Universidad ESAN .....70

Figura 115. Centro Peruano de Audición y Lenguaje .....70

Figura 116 Museo de Oro Nacional .....70

Figura 117. Colegio “Jesualdo” .....71

Figura 118. Colegio “Nuestra señora de la reconciliación” .....71

Figura 119. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas .....71

Figura 120. Universidad De Piura PAD .....72

Figura 121. Colegio de Enfermeras del Perú .....72

Figura 122. Clínica del Padre L. Tezza .....72

Figura 123. Base de datos de los lotes representativos por manzana. ....73

Figura 124. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento. ....75

Figura 125. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Santiago de Surco.76

Figura 126. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Santiago de Surco.....76

Figura 127. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Santiago de Surco. .... 77

Figura 128. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del distrito de Santiago de Surco. ....78

Figura 129. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Santiago de Surco.....79

Figura 130. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Santiago de Surco.....79



Figura 131. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Santiago de Surco.....80

Figura 132. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Santiago de Surco. ....81

Figura 133. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Santiago de Surco.....82

Figura 134. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Santiago de Surco.....82

Figura 135. Edificación representada por un sistema equivalente. ....84

Figura 136. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Santiago de Surco. ....88

Figura 137. Proceso de generación del mapa de riesgo.....90

Figura 138. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas. .91

Figura 139. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).....92

Figura 140. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2016 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).....96

Figura 141. 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) .....96

Figura 142. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.....97

Figura 143. 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). ....98

Figura 144. Localización del distrito de Santiago de Surco.....99

Figura 145. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: [www.oannes.org.pe](http://www.oannes.org.pe)). ....101

Figura 146. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami. ....104

Figura 147. Distribución de desplazamientos para a) el primer escenario sísmico que consta de 280 sub fallas y b) para el segundo escenario que consta de 5 sub fallas.....105



Figura 148. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de Mw 8.8. Los puntos representan la sismicidad histórica. .... 107

Figura 149. Deformación inicial de la superficie del fondo del océano para el sismo de Mw 8.9. Los puntos representan la sismicidad histórica..... 108

Figura 150. 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) 109

Figura 151. a) y b) Capturas instantáneas 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. .... 110

Figura 152. Señal sintética del tsunami para el escenario de Mw = 8.8 en las costas de: a) Cedros de Villa, b) Encantada de Villa c) Brisas de Villa ..... 111

Figura 153. a) y b) Capturas instantáneas 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 8.9 Mw. .... 112

Figura 154. Señal sintética del tsunami para el escenario de Mw = 8.9 en las costas de: a) Cedros de Villa, b) Encantada de Villa c) Brisas de Villa. .... 113

Figura 16. Alturas de olas máximas a lo largo de la costa de Santiago de Surco. Las barras verdes y rojas representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de Mw 8.8 y Mw 8.9 respectivamente..... 114

Figura 17. Alturas máximas de ola a lo largo de la costa de Santiago de Surco, de Oeste a Este..... 114

Figura 18. Alturas de inundación para Santiago de Surco con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw. .... 116

Figura 19. Alturas de inundación para Santiago de Surco con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw. .... 116

Figura 20. Manzanas afectadas por la inundación por el evento sísmico de 8.8 Mw (arriba) y por el de 8.9 Mw (abajo)..... 118

Figura 189. Roturas por Km en tubos CIP y PVC. .... 122

Figura 190. Roturas por Km en tubos de acero dúctil..... 123

Figura 191. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC. .... 123

Figura 192. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil. .... 124

Figura 193. Mapa de Tipos de Tubería en distrito de Santiago de Surco. .... 126

Figura 194. Roturas por criterio de Yamazaki (2008)..... 127



**PERÚ**

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



---

Figura 195. Roturas por criterio de Isoyama (2000).....128



## LISTA TABLAS

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos. ....	74
Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de Santiago de Surco para un escenario de sismo severo. ....	93
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales. ....	93
Tabla 4. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database. ....	97
Tabla 5. Parámetros de fuente sísmica para el cálculo de la deformación inicial de la superficie del océano, definidos en la Figura 146. ....	107
Tabla 3. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica...	113
Tabla 4. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami .....	115
Tabla 5. Valores corregidos de alturas máximas de olas. ....	115
Tabla 6. Número de manzanas afectadas en el distrito de Santiago de Surco, según el escenario sísmico. ....	117
Tabla 13. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Santiago de Surco. ....	121
Tabla 14. Tipo de tuberías de agua en el distrito de Santiago de Surco. ....	125



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



## Producto 03 - Tomo III: Estimación del Riesgo

### 1. ANTECEDENTES

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCyS) de conformidad con la Ley N° 30156, tiene entre sus competencias el desarrollar, contribuir, coordinar y ejecutar acciones para el proceso de gestión del riesgo de desastres, en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Asimismo, en concordancia con lo dispuesto en la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, ejerce competencias compartidas con los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento. El Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, fundado por la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, 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. Ambas instituciones unen esfuerzos a fin de lograr el conocimiento de los estudios de microzonificación sísmica y análisis de riesgo de zonas urbanas ubicadas en los distritos de San Juan de Miraflores, Santa Rosa, Santiago de Surco (Provincia y Departamento de Lima), Carmen de la Legua-Reynoso (Provincia Constitucional del Callao). Por este motivo, el MVCyS y la UNI, firman el convenio específico para la ejecución de los estudios en fecha 25 de agosto de 2015.

El presente informe que constituye el Producto 3 del convenio específico en referencia, presenta el estudio de microzonificación sísmica y análisis de riesgo en zonas ubicadas en el distrito de Santiago de Surco.

### 2. INTRODUCCIÓN

Dentro de los distritos de Lima Metropolitana uno sus 43 distritos es el distrito de Santiago de Surco. Limita al noroeste con Ate Vitarte y San Borja, al este con La Molina, Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores; al oeste con Chorrillos, Surquillo, Miraflores y Barranco. Es un distrito prioritariamente residencial de clase media alta, donde destacan urbanizaciones como Las Casuarinas, Los Álamos, Valle Hermoso, Chama, La Gardenias, Surco viejo entre otros. También concentra actividad comercial en centros comerciales como Caminos del Inca, Jockey Plaza, Polvos Rosados entre otros. Cuenta con áreas verdes destacables como las lomas, el Parque de la Amistad, el Hipódromo de Monterrico entre otros.

**PERÚ**Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y SaneamientoViceministerio de  
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras  
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

### ***Sobre la Fundación del distrito de Santiago de Surco***

La historia del distrito de Santiago de Surco se remonta a la época prehispánica, cuando estas tierras pertenecían al Señorío de Sulco, el cual estaba surcado por la acequia del mismo nombre. El cronista Bernabé Cobo lo describe como una de las más caudalosas acequias. Según la ordenanza de regadío de 1909, empezaba en el fundo Salinas y terminaba en la Hacienda Villa. El Señorío está dividido en 4 ayllus, éstos fueron: el Calla Uno, Centaulli, Yacay, y Cuchán. La capital del Señorío estaba ubicada en la falda oriental del morro Solar y era conocido como Armatampu o Armatambo.

En suma este Señorío comprendía los distritos que hoy conocemos como: Chorrillos, Barranco, Surquillo, Santiago de Surco y parte de San Juan de Miraflores. También existían barrios que formaban la vecindad de Armatambo, estos eran: Comuco, Falana o Talana, Chamac o Chama y el Falcón. Otros barrios recibieron nombres españoles, como es el caso de Tejadita o Naranjuel. Cada barrio tenía una acequia del mismo nombre que se desprendía o bifurcaban del río o canal de Sulco. El río tenía un ancho y volumen considerable, que permitía la navegación en embarcaciones ligeras, además contenía gran cantidad de peces, como la Lisa que entraba en el mar, lo que hacía que se practicara la pesca en agua dulce.

El pueblo de Sulco era un pueblo netamente de pescadores y agricultores y tenían ellos una divinidad a la que llamaban Sulcovilca, representada por una roca o peñón. La población disminuyó cuando se fundó la reducción Toledana de Sulco, siendo elegida como sede de reducción el Ayllu de Yacay. Luego a los Jesuitas se les asignó un lugar donde construirían su iglesia Santiago Apóstol en el año 1571.

Durante la colonia, Surco sirvió de residencia temporal a varios virreyes debido a las bondades del clima. El Conde de Cautelar residió aquí entre los años 1679 y 1681. Después, él ya no vivía en este lugar pero lo visitaba con frecuencia, pues en este valle nació su único hijo y fue su hijo, quién mandó a forrar de plata maciza la piletta de la Iglesia Santiago Apóstol.

El pueblo de Santiago de Surco fue una de las primeras reducciones de indios creadas en el Perú con la de la Magdalena en el siglo XVI por el virrey Francisco de Toledo. Hasta inicios del siglo XX, fue un poblado campestre rodeado de la haciendas Surco y San Juan. Fue fundado como distrito el 16 de noviembre de 1929, según Ley N° 6644, siendo entonces presidente de la República don Augusto B. Leguía.



### 3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

#### 3.1. Mapa de Microzonificación Sísmica

La microzonificación sísmica es un estudio dirigido a identificar zonas de suelos que puedan presentar comportamiento similar durante la ocurrencia de un sismo severo; determinadas las zonas pueden darse recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sísmo resistentes. La determinación de estas zonas se realiza teniendo en cuenta las condiciones topográficas, los depósitos geológicos y los materiales que conforman los suelos (tipos, espesores y consistencia de los suelos expresados mediante sus características mecánicas y dinámicas). La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 define lo que es el estudio de Microzonificación Sísmica e indica que será requisito la ejecución de este estudio para la determinación de áreas de expansión de ciudades, construcción de complejos industriales o similares y reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados. Por lo tanto el Mapa de Microzonificación Sísmica es una herramienta muy útil para los planificadores urbanos ya que les proporcionará información técnica que les permitirá tomar decisiones para orientar el crecimiento y desarrollo urbano de manera sostenible en una ciudad, disminuyendo su riesgo ante la ocurrencia de un sismo severo.

Las características mecánicas y dinámicas del suelo del distrito de Santiago de Surco han sido determinadas en el presente estudio y son representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos (Mapa II-3 y Mapa II-4 del Tomo II respectivamente), de la misma manera el Mapa II-5 del Tomo II presenta el resultado de los Peligros de Origen Natural que afectan al distrito. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo obtener el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-1 del presente Tomo III) identificándose áreas con diferente comportamiento del suelo frente a la ocurrencia de un sismo severo. Se superpone también a este Mapa la Zona de Inundación por Tsunami, cuya elaboración es descrita más adelante. A continuación se describen estas zonas::

#### Zona I

La Zona I comprende la mayor parte del área de estudio, ubicándose principalmente al norte y centro y en algunos sectores del sur, como se observa en el Mapa III-1 del presente Tomo III. Está conformada por áreas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de 1.00 a 1.50 m en esta zona es mayor a 5.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la



roca ligeramente alterada o sana y de 2.0 kg/cm<sup>2</sup> a 4.0 kg/cm<sup>2</sup> si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos y si fuera el caso este deberá ser removido en su totalidad.

El comportamiento dinámico del material en esta zona es adecuado, se espera que no se incremente el nivel de peligro sísmico estimado. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo en esta zona son menores a 0.2 s.

## Zona II

Comprende los depósitos de arena de compacidad media a densa, y a los limos y/o arcillas de consistencia media a dura. Estos materiales yacen sobre sobre la grava aluvial. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones. Esta zona se encuentra distribuida en diferentes sectores del distrito, ubicándose al sur el de mayor área, tal como se aprecia en el Mapa III-1 del presente Tomo III.

Esta zona también considera las zonas de afloramiento rocoso con diferentes grados de fracturación y a los depósitos de gravas de compacidad media a densa, definidos con peligro geológico medio debido a que presentan moderada pendiente, como se aprecia en el Mapa II-5 del Tomo II.

La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de 1.00 a 1.50 m en esta zona, varía entre 1.0 kg/cm<sup>2</sup> y 2.0 kg/cm<sup>2</sup>. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

En esta zona se espera un ligero incremento del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo en esta zona son menores a 0.4 s.

## Zona III

Esta zona se localiza en el sector Suroeste del área de estudio. Está conformado predominantemente por arenas eólicas limosas y arenas eólicas mal gradadas que se caracterizan por tener una compacidad suelta entre 0 a 1 m de profundidad y compacidad media hasta mayores profundidades. En algunos sectores estas arenas presentan intercalaciones de lentes de limos y arcillas, de consistencia blanda y media. De acuerdo a los estudios geotécnicos, el nivel freático, varía entre 0.8 a 3.5 m de profundidad. En general el terreno de cimentación está conformado por estratos de arenas finas de gran potencia, las cuales se encuentran en estado húmedo a saturada, de compacidad suelta a media.



La capacidad de carga admisible de una cimentación corrida de 0.60 m de ancho a la profundidad de 1.50 a 2.50 m en esta zona, varía entre 0.7 kg/cm<sup>2</sup> y 1.0 kg/cm<sup>2</sup> considerando cimentaciones superficiales. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo en esta zona son mayores a 0.4 s.

#### Zona IV

Esta zona se ubica en el sector norte y sur del área de estudio. La zona sur está conformada por los terrenos pantanosos conocidos como los Pantanos de Villa, parte Noreste del Country Club de Villa, Club Las Garzas Reales, y el área colindante con los pantanos y que cruza la Av. Huaylas hasta la calle Virgen de Chapi.

El perfil estratigráfico en los pantanos, está conformado superficialmente por suelos limo arcillosos de compacidad media, continúa la turba de color negro a verde amarillento en estado de descomposición, olor fétido y con intercalaciones de arena limosa. Subyace a este material una arena compacta gris oscura intercalada con lentes de turba y gran cantidad de sales, la cual se encuentra a profundidades de 6.0 a 7.0 m. En general estos tipos de suelos son altamente compresibles. El nivel freático es superficial. En los pantanos, debido a que está definida como reserva ecológica, no debe permitirse la construcción de ningún tipo de edificación.

En los terrenos del Country Club de Villa, se presenta de 0 a 0.90 m de profundidad un estrato de material compuesto por turba y suelo orgánico de plasticidad alta, blanda y saturada, seguido por las arenas finas limosas medianamente densas a muy densas, en estado saturado y no plástico hasta una profundidad de 20 m.

En el área colindante con los pantanos, y que llega hasta la calle Virgen de Chapi, se presentan estratos de arenas finas mal gradadas con limos sueltas a media densas, en estado saturado. En las áreas descritas, el nivel freático varía de 0.8 a 1.5 m.

Las características de resistencia descritas para estos suelos, hacen que presenten baja capacidad portante para cimentaciones superficiales, siendo común utilizar cimentaciones profundas para transmitir las cargas a estratos más competentes. Es importante mencionar que en esta zona se tiene evidencias que ocurrió el fenómeno de licuación de suelo producido por la ocurrencia del sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007 (Olcese, 2015), por lo tanto esta zona presenta un alto potencial de licuación de suelo.

En la zona norte se ubican áreas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación con peligro geológico alto, debido a que presentan fuerte pendiente, cárcavas y rocas sueltas, como se aprecia en el Mapa II-5 del Tomo II.



Se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo.

## Zona V

Esta zona corresponde a acumulaciones de materiales transportados y depositados por el hombre, estos consisten de relleno de desmonte, materiales de demolición de construcciones antiguas, así como también materiales de suelo que van desde gravas, arenas, suelos finos hasta escombros, maderas y desechos. La Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2006) los denomina Rellenos No Controlados; así mismo, la norma establece que la cimentación de la vivienda convencional no deberá construirse sobre este material, por lo que deberán ser reemplazados en su totalidad antes de iniciar la construcción de la cimentación.

En el Mapa III-1 del presente tomo III se observa que los rellenos no controlados se encuentran en dos sectores específicos del distrito de Surco.

El primer sector se ubica en la zona norte del distrito y corresponde a la Asociación de Vivienda Villa Libertad de Monterrico, en las faldas de Cerro Centinela, donde antiguamente existió una arenera (Moreno C., 2012) es decir una cantera de material arenoso; las excavaciones de la arenera fueron rellenas con diversos materiales sin control técnico, tal como se aprecia en los resultados de las calicatas ejecutadas en esta zona denominadas C-31, C-32 y C-33 así como en los perfiles de velocidades de Ondas S correspondiente a los ensayos ejecutados también en esta zona denominados MASW-09, MASW-10, MAM-02, los cuales estiman un espesor para este relleno de hasta 8.9 m. En la actualidad algunas viviendas de este sector presentan hundimientos de diverso grado que han originado grietas en sus muros, debido al asentamiento de este material de relleno.

El segundo sector corresponde al Asentamiento Humano “Ex Susana Higuchi”, ubicado al Sureste de la zona de estudio (adyacente a la Av. El Triunfo), el cual se asienta sobre un terreno que antiguamente estuvo cubierto por arenas eólicas que motivó años atrás su explotación como cantera de material de construcción (Nakamatsu J., 1999), la excavación producto de esta explotación fue usada luego como relleno sanitario de la Ciudad de Lima (Nakamatsu J., 1999; Luque M., 2000); lo cual se comprueba con los resultados de las calicatas de esta zona y que tomando como ejemplo las denominadas CR-100, CR-103 y CR-113, indican la presencia de este material hasta una profundidad de 3.0 m, así como el perfil de velocidades de Ondas S correspondiente al arreglo de microtremores ejecutado en esta zona denominado AR-01, el cual estima un espesor para este relleno de hasta 14.0 m. Se pueden encontrar algunas viviendas en este sector con grietas en sus muros, debido al asentamiento de este material de relleno.

En esta zona se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado debido a la presencia de este material.



### 3.2. Mapa de Zonas de Aceleraciones

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativa estimando el valor de la aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el distrito de Santiago de Surco (ver ítem 7.5, Tomo II) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA (Peak Ground Acceleration) de 467.04 cm/s<sup>2</sup>; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica III-1 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2016) por la aceleración máxima PGA de 467.04 cm/s<sup>2</sup> de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración máxima
I	1.00	467.04 cm/s <sup>2</sup>
II	1.05	490.39 cm/s <sup>2</sup>
III	1.10	513.74 cm/s <sup>2</sup>
IV	1.20	560.44 cm/s <sup>2</sup>
V	1.30	607.15 cm/s <sup>2</sup>

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el mapa III-2 del presente Tomo III.

### 3.3. Mapa de Zonas de Velocidades

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo que pueden presentarse en la zona de estudio con la finalidad de estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado “Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico”, (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pág. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). La relación es la siguiente:



$$\ln(V_{max}) = -1.8349 + 1.1146 \cdot \ln(A_{max}) + 0.4043 \cdot \ln(T_s) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde la velocidad máxima esperada del suelo ( $V_{max}$ ) se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo ( $A_{max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Santiago de Surco, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el mapa III-2 y el mapa II-4 del presente informe, respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Santiago de Surco se muestran en el mapa III-3 del presente Tomo III.

## 4. MAPAS DE VULNERABILIDAD

### 4.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

#### 4.1.1. 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.

#### 4.1.2. 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.

### 4.1.3. Plantilla para la encuesta

Para la valoración en campo de las características de las edificaciones se utiliza una ficha de evaluación de 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 fotografías en cada esquina de la manzana y del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar a la estructura de la edificación. Posteriormente estas fotografías se codifican para que coincidan con el identificador del lote y de esta manera poder almacenar la fotografía o fotografías en la base de datos geoespacial.

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

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote.

<b>CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO</b> <b>ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE SANTIAGO DE SURCO</b>				
<b>CODIGO DE MANZANA</b>		<b>CODIGO INTERNO</b>		
ESTRUCTURACIÓN				
<b>Material</b>		Adobe	Mampostería	Concreto
<b>Estado de Conservación</b>		Bueno	Regular	Malo
<b>Cimentación</b>	Asentamiento	Sí	No	
	Humedad en la Base	Sí	No	
Techo				
<b>Adobe</b>	<b>Mampostería</b>	<b>Concreto</b>	<b>Otros</b>	
Madera	Losa de CA	Losa de CA		
Caña	Aligerado	Aligerado		
Torta Barro	Calamina	Placa Colaborante		
Otro	Otro	Otro		
Elementos Estructurales				
Fisuración				
Columnas		Fisuras	<b>NOTA</b>	Fisura Vertical (V)
Vigas		Fisuras	Sin Fisuras (X)	Fisura Diagonal (D)
Muros		Fisuras		Fisura Horizontal (H)
Estado de Muros				
Unidad		Artisanal	Industrial	Sólido
Confinamiento		Sí	No	Tubular/Hueco
Fisuras		Sí	No	
Tarrajeo		Sí	No	
Estado de conservación		Bueno	Regular	Malo
Achurar lote representativo 				

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

#### 4.1.4. 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 último 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 8 sectores, tal como se muestra en el mapa N°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.

c) 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 8 sectores en que se dividió el distrito de Santiago de Surco.

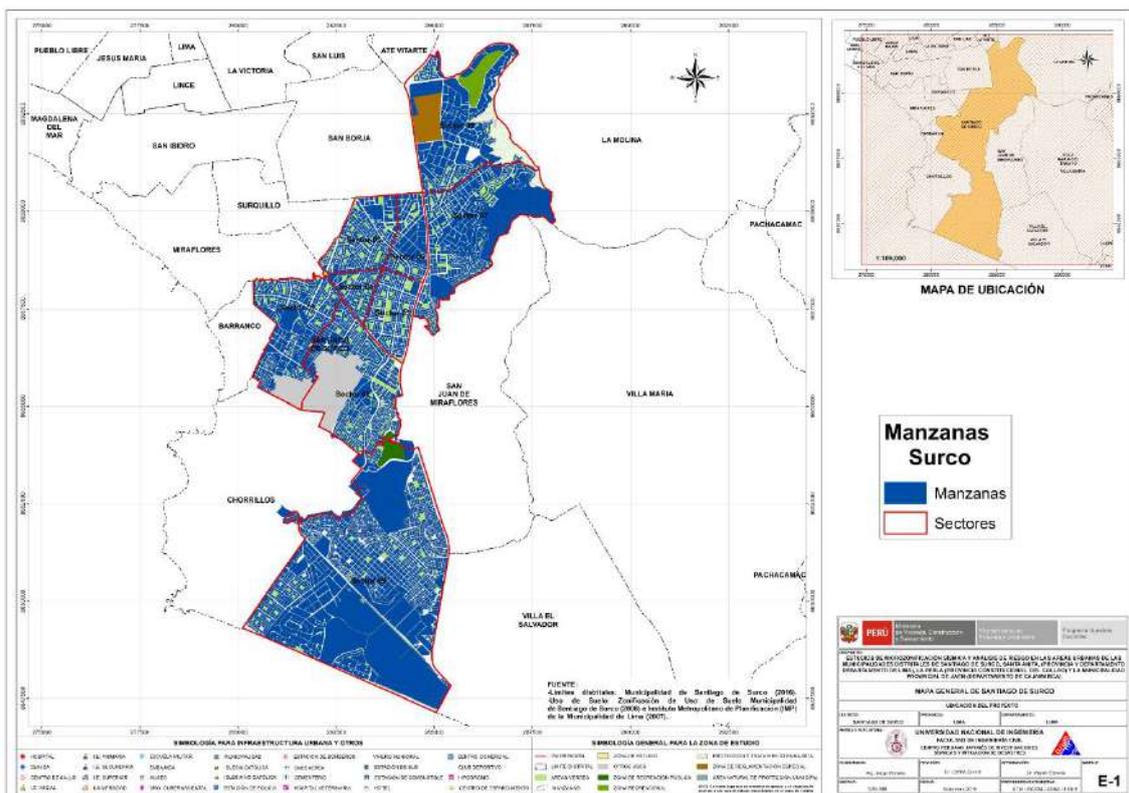


Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de Santiago de Surco.



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



#### 4.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo

- a) 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.

- b) 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.

#### 4.1.6. 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.

#### 4.1.7. 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 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% del total de manzanas debe ser evaluado.

#### 4.1.8. 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:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } x \ a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde, a y b son los límites geográficos para el distrito de Santiago de Surco, 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 las 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 705 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas.

Se presentan las 567 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 27%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

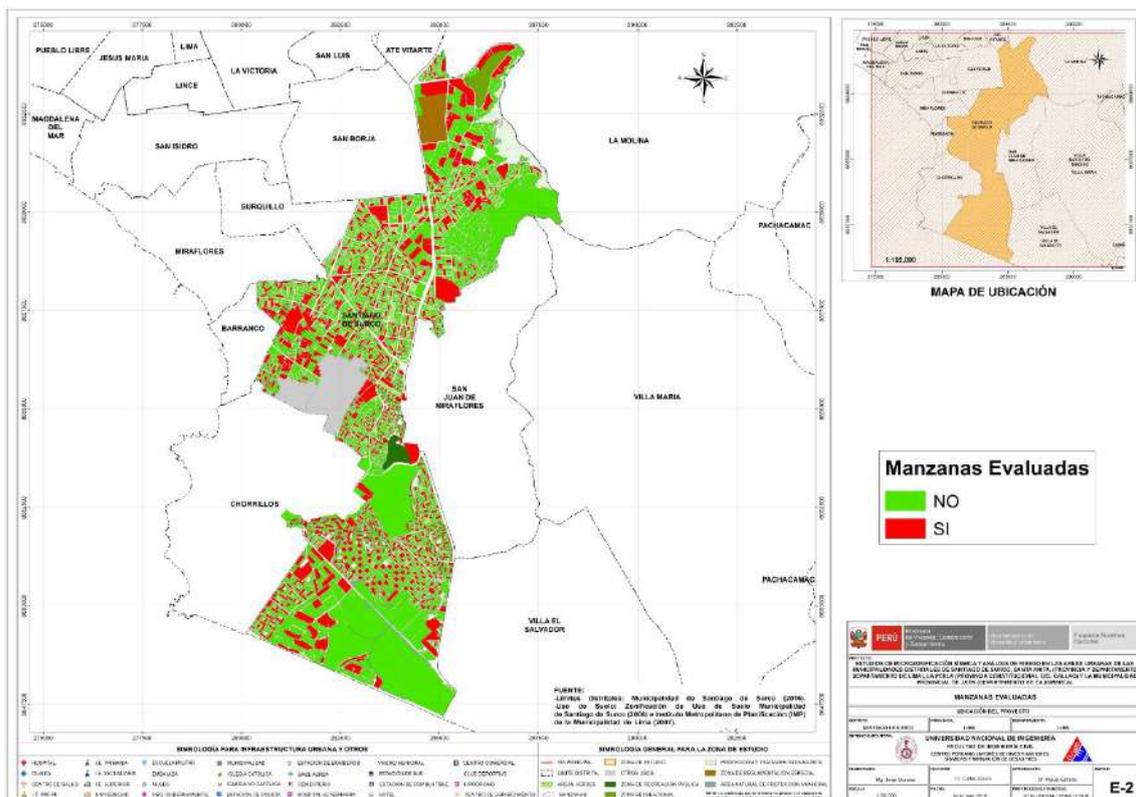


Figura 4. Manzanas totales (2103) versus manzanas seleccionadas (567).

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 98% bajo el supuesto que exista un error del orden del 1.0% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 27% 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 ( $\alpha$ ) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado ( $z$ ).

$$n = \frac{0.25N}{\left(\frac{\alpha}{z}\right)^2 (N - 1) + 0.25} \quad \text{Ec. 3}$$

Esto produce un tamaño muestral mínimo de 564 manzanas. En el presente estudio se mejoró este valor al considerar una muestra de 567 manzanas, bajo la premisa, con este mayor

número de manzanas se cubre mayor área y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia.

## 4.2. Informe de campo

### 4.2.1. Edificaciones

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

#### SECTOR 01A

El Sector 01A se encuentra delimitado por la Av. Ayacucho, Av. Coronel Aguilar Pastor, Av. Manuel de La Fuente Chávez, Calle Alberto Samamé Dávila y Av. Ramón Castilla.

En este sector se observa una gran actividad comercial e Industrial en la Av. Jorge Chávez. Las viviendas – comercios son de dos pisos en su mayoría, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada y techos aligerados como se muestra en Figura 5 y

Figura 6. Se pudo observar el uso de ladrillo Sólido en la mayoría de construcción de las edificaciones. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación. Se observa una gran extensión de áreas residenciales privadas en el sector.



Figura 5. Edificaciones típicas del Sector S01A



Figura 6. Edificaciones típicas del Sector S01A

## SECTOR 01B

El sector 1B se encuentra ubicado en la zona sur del distrito en estudio, entre las avenidas Catalino Miranda, Mariscal Ramón Castilla y Santiago de. Todas las viviendas se encuentran en áreas planas. El tipo de uso de edificación que se observó en este sector es de viviendas y multifamiliares. Se evaluaron 48 manzanas en este sector.

La Figura 7, muestra la tipología de vivienda predominante en este sector, siendo esta de dos niveles y con un sistema estructural conformado por muros de albañilería con techos de losa aligerada, el estado de conservación de estas viviendas se puede categorizar entre regular y bueno como se muestra en la Figura 8 también se destacan las viviendas multifamiliares de cuatro niveles conformados por pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería y en otros casos con placas de concreto armado, encontrándose en buen estado de conservación.



Figura 7. Viviendas de albañilería de dos niveles



Figura 8. Viviendas de concreto armado de cuatro niveles

## SECTOR 02

El sector 2 se encuentra ubicado en la zona sur del distrito en estudio, entre los jirones El Parque, Ayacucho, calle Artemisa y avenida Francisco de Zela. Algunas viviendas se encuentran en áreas planas, en la falda de los cerros y otras en zonas con pendientes moderadas como se puede observar en la

Figura 9 y

Figura 10. El tipo de uso de edificación que se observó en este sector es de viviendas, viviendas y comercio, multifamiliares y comercial. Se evaluaron 178 manzanas en este sector.



Figura 9. Viviendas en zona plana



Figura 10. Viviendas en zona con pendiente

La

Figura 11 muestra la tipología de vivienda predominante en este sector, siendo esta de tres niveles y con un sistema estructural conformado por muros de albañilería con techos de losa aligerada, el estado de conservación de estas viviendas se puede categorizar entre bueno y regular. Como se muestra en la

Figura 12, también se destacan las viviendas de tres niveles con las mismas especificaciones mencionadas anteriormente.



Figura 11. Viviendas de albañilería de tres niveles

Figura 12. Viviendas de albañilería de dos niveles

La

Figura 13 muestra viviendas típicas de bloques de concreto, con losa aligerada. Además se observó la presencia de multifamiliares de 4 y 5 niveles, en algunos casos el sistema estructural consta de pórticos de concreto armado y en otros los sistemas son muros de ductilidad limitada, el estado de conservación de dichas edificaciones se encuentra en el rango de bueno a regular como se observa en la

Figura 14.



Figura 13. Viviendas típicas de bloques de concreto



Figura 14. Multifamiliar de cinco niveles de muros de ductilidad limitada

La

Figura 15 muestra la construcción de una edificación multifamiliar de 16 pisos, en el sector en estudio se observó el uso de este tipo de sistema estructural en algunas viviendas.



Figura 15. Viviendas de muro de ductilidad limitada en construcción

### SECTOR 03

El Sector 03 del Distrito de Santiago de Surco se encuentra delimitado por las avenidas Alfredo Benavides, Velasco Astete, Santiago de Surco y el Jr. Morro del Solar (vía auxiliar de la carretera Panamericana Sur) como se muestra en la Figura 16. Se ha levantado información de 53 manzanas de un total de 175 existentes en el sector



Figura 16 Edificaciones para vivienda y uso comercial

El relieve topográfico en general es plano, pero son notorias dos elevaciones cercanas entre sí: el parque ecológico Loma Amarilla (Ver Figura 17) en cuyo perímetro está el local de la Municipalidad de Surco (Ver Figura 18) y una loma que corta la continuidad del Jr. Morro Solar (Panamericana Sur) entre Jr. Bielich y Av. Monterrico Sur (Revisiones técnicas vehiculares Farenet). No de casualidad, las calles en esos alrededores tienen nombre de “lomas” o “montes”



Figura 17 Parque ecológico Loma Amarilla



Figura 18 Municipalidad de Santiago de Surco



Figura 19 Ingreso al Distrito de Santiago de Surco

Como es característico de todo el distrito, este sector también tiene una notoria densidad de áreas verdes, parques pequeños en las zonas residenciales cada 2 o 3 manzanas, y los dos parques representativos del distrito: Parque de la Amistad (Ver Figura 19, Figura 20 y Figura 21) y Parque Ecológico Loma Amarilla (Ver Figura 17).

Se distinguen zonas predominantemente comerciales en las Av. Benavides. Caminos del Inca y Tomas Marsano, y en esas mismas Avenidas se concentran importantes centros de estudios como la Universidad Ricardo Palma, Asociación Cultural Peruano Británica, colegio y academia Trilce, Instituto Sise entre otros



Figura 20 Parque de la Amistad



Figura 21 Ingreso al Parque de la Amistad

Las viviendas predominantes son de dos a tres pisos, el sistema estructural más utilizado es la albañilería confinada con losa aligerada, además existen edificios de concreto armado de locales comerciales como se muestra en la Figura 22 y Figura 23.



Figura 22 Edificio de concreto armado con placa colaborante.



Figura 23 Edificio de concreto armado

## SECTOR 04

El sector 04 está ubicado entre la avenida Alfredo Benavides al norte, por el oeste colinda con la avenida Santiago de Surco y con la avenida Ayacucho por el este. En este sector se evaluaron 30 manzanas.

Las edificaciones de este sector en su mayoría de las manzanas evaluadas son de dos pisos, donde el material predominante es albañilería con techo de losa aligerada como se muestra en la Figura 24. Además en las zonas noroeste, noreste y sur se ha presenciado viviendas de tres a 4 pisos donde el material predominante es albañilería con techo de losa aligerada como se puede apreciar en la Figura 25.



Figura 24 Edificaciones de dos pisos de albañilería con techo aligerado.



Figura 25 Viviendas de tres a cuatro pisos de albañilería con techo aligerado.

## SECTOR 05

El Sector 05 está delimitado por el lado oeste por la Av. El Sauce, Av. Intihuatana y 2 cuadras de la Av. Tomás Marsano, por el norte por la Av. Angamos Este, por el Este por la Av. Alejandro Velasco Astete y por el Sur por la Av. Alfredo Benavides. La topografía del Sector 05 es predominantemente llana. En este sector se evaluaron 65 manzanas y se encontró principalmente viviendas unifamiliares de 2 niveles (Figura 26, izquierda), edificaciones multifamiliares de 4 niveles, locales comerciales y edificios de oficinas de hasta diez pisos (Figura 26, derecha). La mayoría de estas edificaciones se encuentran en buen estado de conservación y algunas en regular estado.



Figura 26 Izquierda: Vivienda unifamiliar en buen estado de conservación y derecha:  
Edificio comercial de diez niveles.

Las edificaciones de dos pisos son predominantemente viviendas unifamiliares con un sistema estructural en albañilería confinada con losa aligerada (Figura 26), aunque también se

encontraron instituciones educativas y bancos de dos niveles en pórticos y placas de concreto armado. Las instituciones educativas, Figura 27, se encuentran principalmente en zonas residenciales alejadas de las vías principales. Figura 28 muestra una institución bancaria de concreto armado con placas. En general, este sector se encuentra en buen estado de conservación.



Figura 27 Edificación de pórticos de concreto armado.



Figura 28 Edificio de dos niveles en concreto armado.

En cuanto a las edificaciones comerciales, se observan distintos sistemas estructurales en función a su antigüedad. Los comercios más antiguos cuentan con un sistema de pórticos de concreto armado con tabiquería de mampostería en regular a buen estado como se observa en la Figura 29. Los comercios ubicados en locales recientes y que además se encuentran en avenidas principales como la Av. Aviación son generalmente sistemas de tipo pórticos en acero con cobertura y tabiquería ligeras (“drywall”).



Figura 29. Izquierda: Comercio en concreto armado. Derecha.

Los edificios de viviendas multifamiliares son principalmente de 4 pisos y suelen contar con un semisótano que es usado como estacionamiento. En la Figura 30, izquierda, se observa un edificio multifamiliar con un sistema estructural de albañilería confinada de cuatro niveles, a la derecha se observa un edificio multifamiliar con un sistema de pórticos y muros de

concreto armado de cuatro niveles con semisótano de estacionamiento y terraza con cobertura ligera.



Figura 30. Edificaciones de viviendas multifamiliares con distinto sistema estructural.

## SECTOR 06

El Sector 06 está ubicado entre la avenida Velasco Astete al oeste, por el sur colinda con la avenida Benavides, por el norte colinda con la avenida Primavera y la carretera Panamericana Sur al este. En este sector se evaluaron 28 manzanas.

Las edificaciones de este sector son de dos tipos, en la evaluación elaborada se ha encontrado viviendas de dos y tres pisos donde el material predominante es albañilería, con techo de losa aligerada en más de la mitad de las manzanas en estudio como se muestra en la Figura 31. Además en las zonas norte, sur y oeste se ha presenciado viviendas multifamiliares de cuatro a seis pisos donde el material predominante es concreto armado con techo de losa aligerada como se puede apreciar en la Figura 32.



Figura 31 Edificaciones de dos y tres pisos de albañilería con techo aligerado



Figura 32 Edificaciones de cuatro a seis pisos de concreto armado con techo aligerado

## SECTOR 07

El Sector 07 se encuentra ubicado en la zona central-occidental del distrito en estudio, este sector se encuentra delimitado por: la avenida Primavera por el norte, la avenida Cristóbal de Peralla Sur por el este, Las Casuarinas Sur por el sur y Las Casuarinas por el oeste.

La tipología predominante en este sector es de vivienda multifamiliar de concreto armado de cuatro niveles como se observa en la Figura 33. Además el total de manzanas evaluadas fue de 62.



Figura 33. Vivienda multifamiliar de concreto armado del sector 07.

En este sector también existen muchas viviendas de albañilería confinada de tres niveles con losa aligerada, las casas en su mayoría con un estado de conservación bueno, Figura 34.

En general la mayoría de viviendas se encuentran en muy buen estado de conservación.



Figura 34. Vivienda de mampostería de tres pisos con losa aligerada.

## SECTOR 08

El Sector 08 se encuentra ubicado en la zona norte del distrito en estudio, este sector se encuentra delimitado por: principalmente con la avenida Javier Prado Este y la avenida Circunvalación del Golf por el norte, avenida primavera y la avenida Constructores por el sur, el cerro límite con la molina por el este y con la avenida Circunvalación por el oeste.

El total de manzanas evaluadas fue de 54, donde la tipología predominante es de vivienda de albañilería confinada de tres y cuatro niveles con losa aligerada y con un estado de conservación bueno en su mayoría. La Figura 35 muestra la vivienda representativa. Sin embargo se apreció viviendas en la zona del asentamiento humano Asociación Villa Libertad de Monterrico, con agrietamientos tanto vertical y horizontal en las viviendas ver Figura 36 y Figura 37. Estos agrietamientos son producidos por asentamientos diferenciales producidos por el suelo de relleno que presenta esta zona. Algunas viviendas han sido resanadas y otras inhabitables. Ver

Figura 38.



Figura 35. Vivienda de mampostería de tres niveles del sector 8.



Figura 36. Vivienda de tres niveles donde con agrietamiento diagonal



Figura 37. Vivienda de tres niveles donde con agrietamiento vertical



Figura 38. Vivienda inhabitable debido al mal estado de conservación por los agrietamientos

En este sector también existen muchos edificios multifamiliares de concreto armado con placas que superan los seis niveles y poseen un buen estado de conservación al ser relativamente nuevos, ver Figura 39.



Figura 39. Edificio multifamiliar de 9 niveles (Derecha) y de Comercio con 6 niveles (Izquierda) en el sector 8.

#### 4.2.2. 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 a 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 01A

En este sector se encuentran algunas edificaciones esenciales, entre ellos el Colegio Jorge Chávez. Ubicado en la Calle Miguel Grau y Jr. Doña Delmira. Edificación de 2 pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en regular estado de conservación como se ve en la Figura 40.



Figura 40. Colegio Jorge Chávez

Colegio José Abelardo Quiñones. Edificación de 2 pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 41.



Figura 41. Colegio José Abelardo Quiñones

Colegio Estrellitas. Jr. Combate de Angamos. Edificación de 2 pisos con mampostería (Ladrillo pandereta) en regular estado de conservación.com se ve la Figura 42.



Figura 42. Centro Educativo Estrellitas

También encontramos a la Municipalidad de Santiago de Surco. Ubicado en Coronel Francisco Bolognesi. Edificación Antigua compuesta por muros de carga resistentes que pueden ser de ladrillos o yesones utilizando mortero de cal o de cemento. Las cubiertas por lo general son inclinadas formadas por vigas o entramados de madera. Ver Figura 43.



Figura 43. Municipalidad de Santiago de Surco

Además en este sector encontramos el Hospital Municipal Surco Salud. Ubicado en las Avenidas Miguel Grau y Monitor Huáscar. Edificaciones de 1 y 2 pisos con mampostería en buen estado de conservación como se ve la Figura 44.



Figura 44. Hospital Municipal Salud Surco

Se observó la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los últimos días. Ubicado en la Av. Jorge Chávez. Edificación de 1 piso con mampostería en buen estado de conservación como se ve la Figura 45.



Figura 45. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los últimos días

Y Centros de Capacitación y Perfeccionamiento como la Fuerza Aérea del Perú. Ubicado en la Av. Jorge Chávez. Edificación de 2 pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 46.



Figura 46. Fuerza Aérea del Perú

## Sector 02

En la Figura 47 se muestra la Institución Educativa Inmaculada Concepción IEI 555, que consta de un nivel y cuyo sistema estructural está conformado por muros de albañilería, el techo es flexible. Se encuentra en regular estado de conservación. Esta edificación se encuentra en la manzana 1394 del sector en estudio.

La Institución Educativa Privada Richard Bach se encuentra en la manzana 1372 del sector en estudio. El sistema estructural de la edificación de tres niveles consta de con muros de albañilería, el techo es de losa aligerada y en la azotea cuenta con techo flexible. Como se puede observar en la Figura 48, el estado de conservación es regular.



Figura 47. I.E.I 555



Figura 48. I.E.P Richard Bach

El Institución Educativa Privada Jesús Amado, se encuentra en la manzana 1153. La Figura 49 muestra la edificación de cuatro niveles que tiene un sistema estructural conformado por pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería y losa aligerada en el techo. Su estado de conservación es regular.

Como se muestra en la Figura 50, el Centro Educativo Luis F. De Las Casas Grieve CEI 593 tiene un regular estado de conservación, la estructura de dos niveles consta de pórticos de concreto armado en una dirección y muros de albañilería en la otra dirección con losa aligerada de techo. Esta edificación se encuentra en la manzana 1228 del sector en estudio.



Figura 49. I.E.P Jesús Amado



Figura 50. C.E.I 593

La Institución Educativa 6047 José María Arguedas, se encuentra en la manzana 1613 y es mostrada en la Figura 51, además la Figura 52 muestra la Institución Educativa 6082 Los Próceres, la cual se encuentra ubicada en la manzana 1559. El sistema estructural de ambas edificaciones de dos niveles consta de pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería, el techo es aligerado, y se encuentra en regular estado conservación.



Figura 51. I.E. 6047



Figura 52. I.E. 6082

La Institución Educativa FAP Polo Jiménez de dos niveles, de estado de conservación regular, consta de un sistema estructural de pórticos de concreto armado rigidizado por muros de albañilería y losas aligeradas como techo, como se muestra en la Figura 53.

La Institución Educativa Privada Santa Marta, se encuentra en la manzana 1753 del sector en estudio. Como se observa en la Figura 54, la edificación de dos niveles y azotea consta de muros de albañilería con losas aligeradas en los techos y en la azotea con estructura flexible. El estado de conservación de dicha estructura es regular.



Figura 53. I.E. FAP



Figura 54. I.E.P Santa Marta

Como se observa en la Figura 55, el Colegio San Roque, la edificación de tres niveles de pórticos de concreto armado rigidizado con muros de albañilería y el última piso de se encuentra en buen estado de conservación.

La Figura 56 muestra el Centro de Educación Especial San Francisco de Asís, ubicado en la manzana 1867, la estructura de dos niveles consta de pórticos de concreto armado y muros de, su estado de conservación es bueno.



Figura 55. Colegio San Roque



Figura 56. Centro de Educación Especial

Como se observa en la Figura 57, el Colegio Mixto Santa Teresita se encuentra ubicado en la manzana 1803, la estructura de dos niveles, consta de pórticos de concreto armado y muros de albañilería y losas aligeradas como techo y un nivel de drywall, su estado de conservación es regular.

La Institución ICPNA se encuentra en la manzana 1500 del sector en estudio, la estructura de cinco niveles consta de pórticos y muros de concreto armado con losas aligeradas como techo, se encuentra en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 58.



Figura 57. Colegio Mixto Santa Teresita



Figura 58. ICPNA

La Posta de Salud Las Dunas se encuentra ubicada en la manzana 3141 del sector en estudio. El sistema estructural de la edificación de dos niveles es muros de drywall y madera, se encuentra en mal estado conservación como se muestra en la Figura 59.

El Centro de Salud se encuentra en la manzana 1558 del sector en estudio. Como se observa en la Figura 60, la edificación de dos niveles consta de pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería, el techo es aligerado, y se encuentra en buen estado conservación.



Figura 59. Posta de Salud Las Dunas



Figura 60. Centro de Salud

La Posta de Salud San Roque se encuentra en la manzana 512 del sector en estudio, la estructura de dos niveles consta de un sistema estructural de muros de albañilería y losas aligeradas como techo como se muestra en la Figura 61.

El Centro de Salud Villa Alegre en encuentra e n la manzana 1125, la estructura consta de muros albañilería y muros drywall como se muestra en la Figura 62.



Figura 61. Posta de Salud San Roque



Figura 62. Surco Salud Villa Alegre

La Comisaria PNP Surco, se encuentra en la manzana 1721, la edificación de tres niveles consta de un sistema estructural de pórticos de concreto armado rigidizado por muros de albañilería y losas aligeradas como techo, como se muestra en la Figura 63.

La Parroquia Nuestra Señora de Monte Carmelo se encuentra en la manzana 3120 del sector en estudio. Como se observa en la Figura 64, la edificación de dos niveles consta de muros de albañilería. El estado de conservación de dicha estructura es regular.



Figura 63. I.E. FAP



Figura 64. Parroquia Nuestra Señora de Monte Carmelo

### Sector 03

En la Figura 65 se muestra la Clínica Maison de Santé, edificación de 8 pisos, ubicada en la Av. Alfredo Benavides, que corresponde a la manzana 2252.



Figura 65 Clínica Maison de Santé.

En la Figura 66 se muestra la Clínica Vista Alegre de 4 pisos más azotea, ubicada en Jr. Talara cuadra 2.



Figura 66 Clínica Vista Alegre.

En la Figura 67 se observa la Compañía de Bomberos Santiago Apostol N°134, edificación de dos pisos de concreto armado, ubicado en la manzana 1792.



Figura 67. Compañía de Bomberos Santiago Apóstol

Parroquia Señor de la Divina Misericordia, ubicada en la manzana 3081, edificio de un piso con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 68.



Figura 68 Parroquia Señor de la Divina Misericordia

Cruz Roja Peruana, ubicada en la manzana 3081, edificio de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en regular estado de conservación. Ver detalle en la Figura 69.



Figura 69 Cruz Roja Peruana

Hospital Municipal Surco Salud, ubicada en la manzana 1632, edificio de un piso con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería y con zonas con techo flexible en regular estado de conservación. Ver Figura 70 y Figura 71.

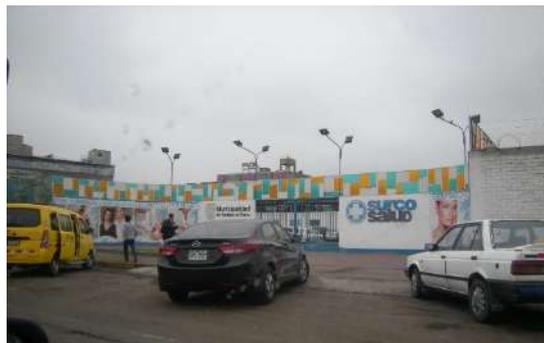


Figura 70 Hospital Municipal Surco Salud – Vista 1



Figura 71 Hospital Municipal Surco Salud - Vista 2

E.I. Estrellitas de Luz, ubicada en la manzana 1831, edificación de 3 pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería, con parte del techo a dos aguas, en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 72.



Figura 72. I.E.I Estrellitas de Luz.

I.E.P “Virgen de la Asunción”, ubicada en la manzana 1853, edificación de pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación como, se muestra en la Figura 73.



Figura 73. I.E.P. “Virgen de la Asunción”

I.E.I. 557, ubicada en la manzana 1759, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 74.



Figura 74. I.E.I. 557

I.E. SISE, ubicado en la manzana 1708, edificio de 5 pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en FFigura 75.



Figura 75. I.E. SISE

I.E. IBF Certus, ubicado en la manzana 1743, edificio de 10 pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en Figura 76.



Figura 76. I.E. IBF Certus

I.E. CEBE Surco, ubicado en la manzana 1952, edificio de un piso con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en regular estado de conservación. Ver Figura 77.



Figura 77. I.E. CEBE Surco

I.E. "Horacio Patiño", ubicado en la manzana 2195, edificio de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 78.



Figura 78. I.E. "Horacio Patiño"

I.E.I. "Birmingham", ubicada en la manzana 2268, edificio de un piso con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 79.



Figura 79 I.E.I. "Birmingham"

I.E.I. "The Kids Wordl", ubicada en la manzana 2268, edificio de un piso con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 80.



Figura 80. I.E.I. "The Kids world"

I.E.I. "Club House Kinder Home", ubicada en la manzana 2278, edificio de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 81.



Figura 81. I.E.I. "Club House Kinder Home"

La Universidad Ricardo Palma, ubicada en la manzana 2228, el campus tiene edificaciones de concreto armado rigidizado con mampostería y edificios de materiales metálicos buen estado de conservación. Ver Figura 82.



Figura 82. Universidad Ricardo Palma

I.E.P. Trilce, ubicada en la manzana 1771, edificio de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 83.



Figura 83. I.E.P. "Trilce"

El Mercado Benavides, ubicado en la manzana 1708, edificación de un piso de concreto armado y albañilería, con techo flexible, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Figura 84. Mercado Benavides

Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días, ubicada en la manzana 1916, edificios de un piso construido con pórticos de concreto armado y mampostería en buen estado de conservación y con techo a dos aguas. Ver Figura 85.



Figura 85. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días

Municipalidad de Santiago de Surco, ubicada en la manzana 3087, edificio de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación. Ver Figura 86.



Figura 86. Municipalidad de Santiago de Surco

#### Sector 04

En este sector se encuentran algunas edificaciones esenciales, entre las cuales encontramos el Instituto Superior Tecnológico – Colegio Peruano Alemán, construido con un sistema de pórtico concreto armado con vanos rigidizados, de techo de losa aligerada, de dos pisos (izquierda), a su vez se tiene el Colegio Santa Isabel, construido con un sistema de albañilería confinada, de techo de losa aligerada, de tres pisos (derecha), ambas instituciones educativas se encuentran en buen estado de conservación como podemos apreciar en la Figura 87.



Figura 87 Instituto Superior Tecnológico – Colegio Peruano alemán y Colegio Sta. Isabel

En la evaluación del sector, también se encontró la Parroquia Cristo Salvador, construida con un sistema de albañilería confinada, con techo losa aligerada, de dos pisos, en buen estado de conservación como se observa en la Figura 88 y el reservorio elevado, ubicado en zona llana, en un parque, al frente de la manzana 2163, como se muestra en la Figura 89.



Figura 88 Parroquia Cristo Salvador



Figura 89 Reservorio Elevado

## Sector 05

C.E.P. La Inmaculada Concepción, se ubica a 2 cuadras del cruce de las Av. Benavides y Av. Aviación, del Ovalo Higuiereta. Los módulos de aulas son de 2 niveles con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería. Se encuentran en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 90. Además el colegio cuenta con un coliseo deportivo techado con cobertura metálica.



Figura 90. C.E.P. La Inmaculada Concepción.

I.E. P.N.P. Alcides Vigo Hurtado ubicado en la Av. Villa Carrillo N° 287, está conformado por una edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 91.



Figura 91. I.E. P.N.P. Alcides Vigo Hurtado.

C.E.P. Cristo Salvador, ubicado en el Jirón Enrique León García N° 394 presenta edificaciones de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación como, se muestra en la Figura 92. Además cuenta con un coliseo techado de cobertura metálica.



Figura 92. Pabellón principal del C.E.P. Mixto Cristo Salvador. Izquierda: Se puede observar al fondo el coliseo deportivo.

I.E.I. Pasito a Paso, ubicado en la Calle Venturosa N° 140 es una edificación de dos pisos de albañilería confinada en buen estado de conservación como, se observa en la Figura 93.



Figura 93 I.E.I. Pasito a Paso.

I.E. N° 6043 Pedro Venturo, ubicado en la Av. Higuiereta N° 497, es una edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado en regular estado de conservación como, se muestra en Figura 94.



Figura 94. Vista frontal e isométrica del I.E. N° 6043 Pedro Venturo.

I.E.I. Volantín ubicado en Calle Segovia N° 180, edificación de dos pisos de albañilería confinada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 95.



Figura 95 Vista frontal del I.E.I. Volantín.

I.E.I. Victoria García Boniffatti, Calle Villa Carrillo S/N Cuadra 1, es una edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación como, se muestra en la Figura 96.



Figura 96. Vista frontal del I.E.I. Victoria García Boniffatti.

Colegio San Ignacio de Recalde School “Coloring Dreams”, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación como, se muestra en la Figura 97.



Figura 97.C.E.P. Mixto Cristo Salvador.

Colegio Nivel A, Jr. Montemar N° 172, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con mampostería en buen estado de conservación como como se observa en la Figura 98. El último nivel tiene cobertura ligera.



Figura 98.Vista isométrica del C.E.P. Colegio Nivel A.

I.E.I. Little Village, ubicado en el Jirón Batalla de San Juan N° 775, consiste en una edificación de dos pisos de albañilería confinada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 99.



Figura 99 I.E.I Little Village.

### Edificaciones Importantes

Centro Comercial Plaza Vea, forma parte de la zona comercial del Ovalo Higuiereta. Se encuentra en la cuadra formada por la Av. Aviación y Av. Tomás Marsano. Es una estructura de acero de dos niveles en buen estado de conservación, como se puede ver en la

Figura 100.



Figura 100. Vista del Centro Comercial Plaza Vea en la Av. Aviación.

Complejo Deportivo La Alborada, Zodiaco N° 459, centro deportivo y cultural, cuenta con piscinas, campos deportivos y una edificación de dos pisos en pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 101.



Figura 101. Vistas de la fachada del Complejo Deportivo La Alborada.

Casa de retiro para adultos Geriatrics Perú, se ubica en la Av. Higuiereta N° 571, edificación de cuatro niveles conformada por pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 102.



Figura 102. Casa de retiro para adultos Geriatrics.

Banco de la Nación, con dirección Av. Benavides N° 3790. Edificación de dos niveles con pórticos y muros de concreto armado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 103.



Figura 103. Banco de la Nación.

El Tanque elevado en concreto armado a dos cuadras de la intersección de la Av. Angamos y Av. Caminos del Inca en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 104.



Figura 104. Tanque elevado.

### Sector 06

En este sector se encuentran algunas edificaciones esenciales, entre los cuales encontramos el Colegio Virgen Inmaculada (izquierda) y el Instituto Pedagógico Nacional Monterrico (derecha), construida con un sistema de albañilería confinada en el eje transversal y pórticos con vanos rigidizados en la dirección longitudinal, de techo losa aligerada, de tres pisos, como se puede apreciar en la

Figura 105. Estas edificaciones se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 105 Colegio Virgen Inmaculada e Instituto Pedagógico Nacional Monterrico

## Sector 07

Este sector cuenta con algunas edificaciones esenciales como centros educativos, centros de salud y establecimientos municipales. Se observa en la Figura 106 al Colegio “San José de Monterrico”, el cual consiste en una estructura apoticada de concreto con muros de albañilería y losa aligerada de dos niveles con un estado de conservación buena. Se tiene además al colegio “Casuarinas International College” en la Figura 107, que consta de una estructura de concreto armado de tres niveles con losa aligerada. El estado de conservación de esta edificación es bueno.



Figura 106. Colegio “San José de Monterrico”



Figura 107. “Casuarinas International College”

Se tiene también al Colegio “De la Inmaculada” que cuenta con dos niveles y es de concreto armado, ver Figura 108, Su estado de conservación es bueno.

En la Figura 109 se tiene al colegio “Palestra” cuya estructura es de albañilería confinada de tres niveles con losa aligerada, al parecer su construcción fue pensada para ser vivienda, su estado de conservación es bueno.



Figura 108. Colegio “De la Inmaculada”



Figura 109. Colegio “Palestra”

Además se encontró al colegio “Mi Jesús” que posee una edificación de tres niveles de albañilería confinada con losa aligerada, cuyo estado de conservación es regular, como se muestra en la Figura 110. Por su parte la Figura 111 muestra al colegio “Antares” que cuenta con dos niveles de concreto armado con vanos rigidizadores de mampostería y un buen estado de conservación.



Figura 110. Colegio “Mi Jesús”



Figura 111. Colegio “Antares”

El colegio “Hans Christian Andersen” consta con una edificación de dos niveles con pórticos de concreto, el estado de conservación de la edificación es bueno, ver Figura 112



Figura 112. Colegio “Hans Christian Andersen”

### Edificaciones importantes

Dentro de este sector se tiene a las universidades UPC y ESAN cuyos edificios principales se describen a continuación. La Figura 113 muestra el edificio principal de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), cuyo edificio de cinco niveles, está a porticado con concreto armado además de poseer placas, su estado de conservación es bueno.

Por otra parte la

Figura 114 muestra el edificio principal de la Universidad ESAN, edificación a porticada de nueve niveles con placas y vanos de mampostería, su estado de conservación es bueno.



Figura 113. Edificio principal UPC

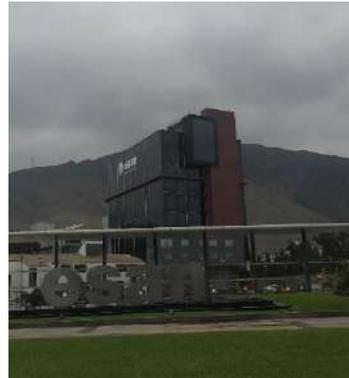


Figura 114. Edificio principal  
Universidad ESAN

### Otros

La Figura 115 Muestra al Centro Peruano de Audición y Lenguaje, edificación de tres niveles con sistema a porticado con placas de concreto armado.

Además en este sector se encuentra el Museo de Oro Nacional, cuya edificación de dos niveles posee un sistema estructural de concreto armado con buen estado de conservación, ver Figura 116.



Figura 115. Centro Peruano de  
Audición y Lenguaje



Figura 116 Museo de Oro Nacional

## Sector 08

Este sector cuenta con algunas edificaciones esenciales como centros educativos, Comisarias y otras edificaciones importantes. Se observa a la comisaria de Monterrico, la cual consiste en una estructura de albañilería y losa aligerada de dos niveles con un buen estado de conservación, Figura 117



Figura 117. Colegio “Jesualdo”

Se observa al Colegio Nuestra señora de la reconciliación, el cual consiste en una estructura de albañilería y losa aligerada de dos niveles con un buen estado de conservación, ver Figura 118. La Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas el cual consiste en una estructura pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería de dos niveles, Figura 119.



Figura 118. Colegio “Nuestra señora de la reconciliación”



Figura 119. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

La Figura 120 muestra a la Universidad De Piura PAD de buen estado de conservación con una estructura pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería de dos niveles y el Colegio Santa Margarita de buen estado con dos niveles y sistema estructural de albañilería confinada y losa aligerada como se muestra en la Figura 121.



Figura 120. Universidad De Piura PAD



Figura 121. Colegio de Enfermeras del Perú

### Otros

La Clínica del Padre L. Tezza cuenta con una edificación de cuatro niveles con pórticos con mampostería y losa aligerada, su estado de conservación es regular, ver Figura 122.



Figura 122. Clínica del Padre L. Tezza

### 4.3. 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 123 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

Num	CodMza	Lote/Rese	Cond. De Orientación	Techo	FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	Unidad de Altiliteria	Contina	Tarrajeo	Enlase	Foto/Reses		
1	2774	02MVMR	NO	SI	Calmine	X	X	V	Industrial	Tubular	NO	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12212.jpg	212
2	2770	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12215.jpg	215
3	2883	02MOOR	NO	NO	Otro	X	X	X	NO	NO	NO	NO	1\Fotos\Fotos_S1A\F12214.jpg	214
4	2885	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12218.jpg	218
5	2005	010NOC	NO	NO	Otro	X	X	X	NO	NO	NO	NO	1\Fotos\Fotos_S1A\F12225.jpg	225
6	2833	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12227.jpg	227
7	2847	07CMRB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12229.jpg	229
8	2048	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12231.jpg	231
9	2020	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12232.jpg	232
10	2981	05MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12234.jpg	234
11	2848	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12236.jpg	236
12	2673	03MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12238.jpg	238
13	2655	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12242.jpg	242
14	2627	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12247.jpg	247
15	2645	04MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12251.jpg	251
16	2653	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12252.jpg	252
17	2757	03MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12256.jpg	256
18	2749	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12258.jpg	258
19	2757	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12259.jpg	259
20	2773	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12261.jpg	261
21	2733	02MVMR	NO	SI	Calmine	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12262.jpg	262
22	2788	05MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12264.jpg	264
23	2800	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12265.jpg	265
24	2755	02CEB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12269.jpg	269
25	2759	03MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Tubular	SI	SI	1\Fotos\Fotos_S1A\F12271.jpg	271

Figura 123. 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 de 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 tomaron 5 fotografías, una por cada esquina y una del detalle del lote representativo.

**PERÚ**Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y SaneamientoViceministerio de  
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras  
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

La 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.

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

Nombre del Campo	Descripción
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s <sup>2</sup>
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
Max_GRID_C	Valor máximo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Min_GRID_C	Valor mínimo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Num	Número de manzana interpolada
NumMza	Número de sector y manzana
Pisos	Número de pisos promedio en la manzana
Rango_Dano	Nivel de daño final
SD_GRID_CO	Desviación estándar de los valores del porcentaje de reparación interpolados
Shape	Tipo de entidad geométrica
Sist_Est	Sistema estructural
Tarrajeo	Existencia de tartajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Se evalúa

La Figura 124 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.

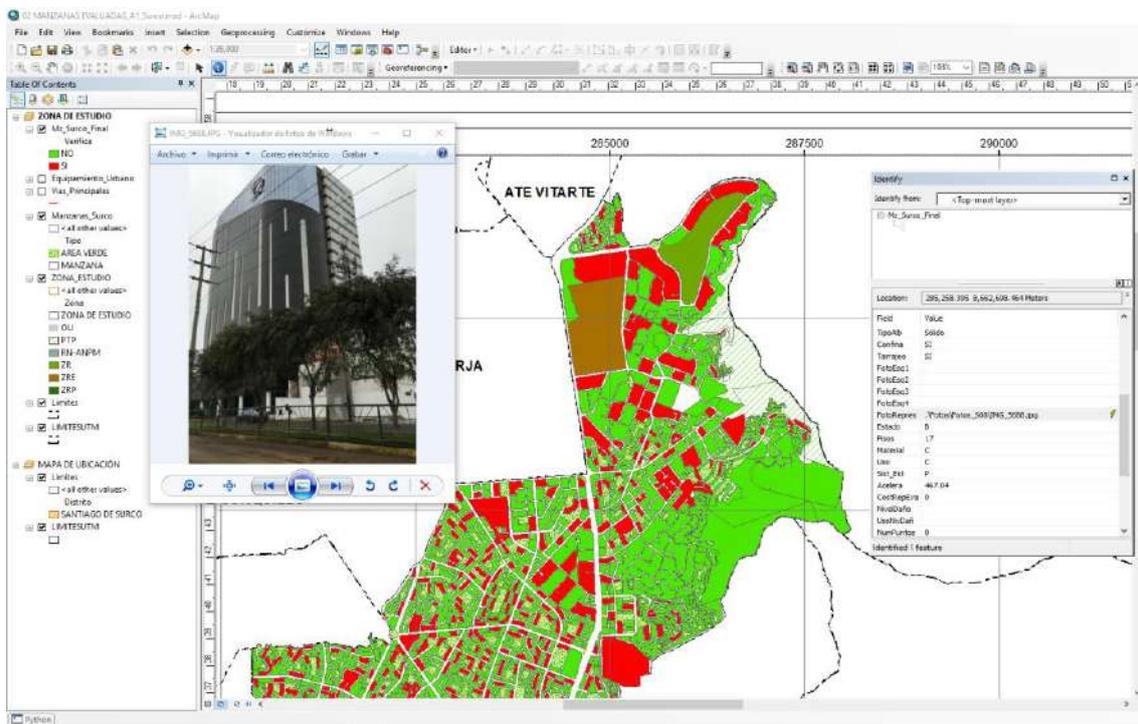


Figura 124. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.

Como resumen de los datos adquiridos en campo se presenta en el mapa N°E-03 el número de pisos, en el mapa N°E-04 el material predominante de la edificación, en el mapa N°E-05 el uso de suelo, en el mapa N°E-06 el sistema estructural y en el mapa N°E-07 se muestra el estado de conservación.

#### 4.3.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa N°E-05 (Figura 126) se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 125 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 75% de la muestra, seguido de multifamiliares que representan el 26% de la muestra, las viviendas-comercio que representan un 2.8%, los colegios representan el 2.1% de las edificaciones y los comercios ocupa un 5.1% de las edificaciones en el área estudiada.



Figura 125. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Santiago de Surco.

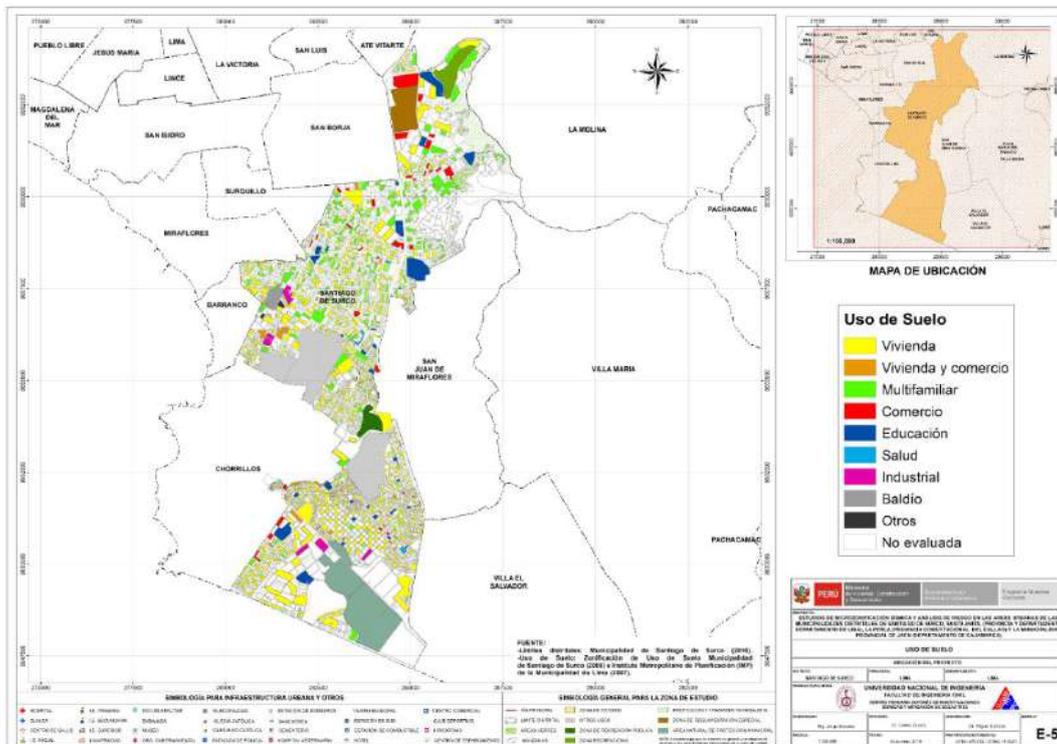


Figura 126. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Santiago de Surco.

#### 4.3.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa N°E-04 (Figura 128), referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Santiago de Surco, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 127, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 75% de la muestra. Asimismo existen edificaciones de concreto que representan un 24% de la muestra.

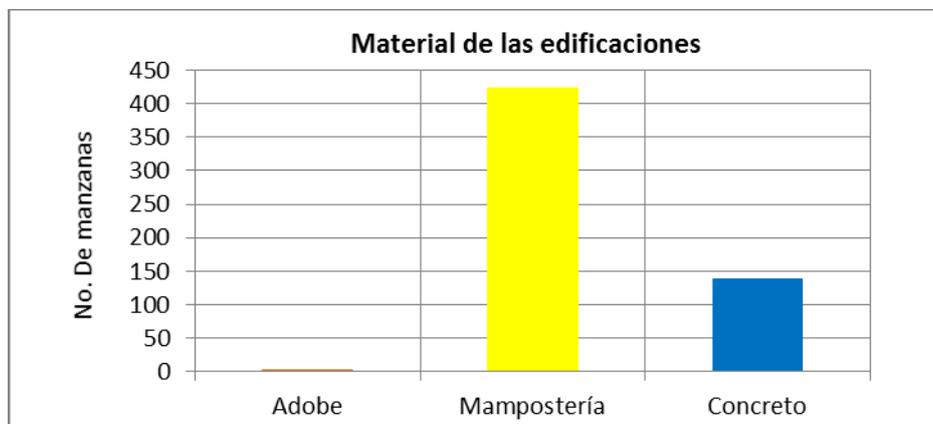


Figura 127. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Santiago de Surco.

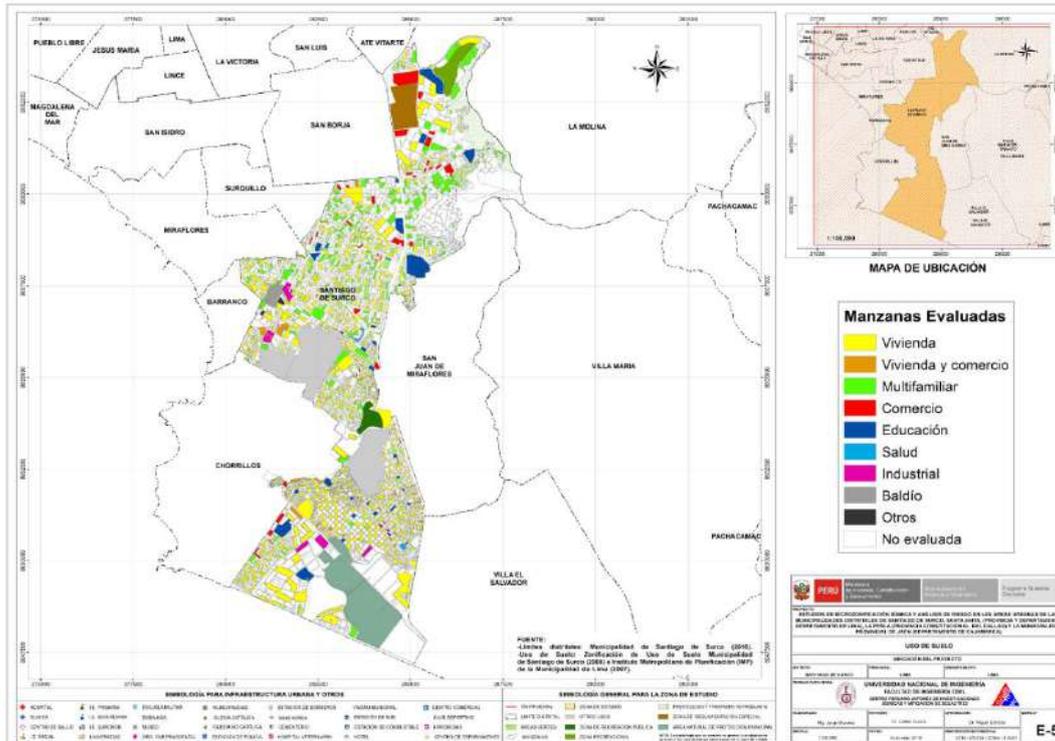


Figura 128. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del distrito de Santiago de Surco.

### 4.3.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa N°E-03 (Figura 130) 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 129, donde se puede apreciar que en el distrito de Santiago de Surco, predominan las edificaciones de dos pisos que corresponde al 38.4% 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 30.2% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de cuatro pisos, pero en un porcentaje menor, equivalente al 18.2% del total de las edificaciones evaluadas, y edificaciones de cinco pisos que corresponden al 4.9% del total de las edificaciones muestreadas. Finalmente, las edificaciones de un piso representa 4.2% del total de las edificaciones muestreadas.

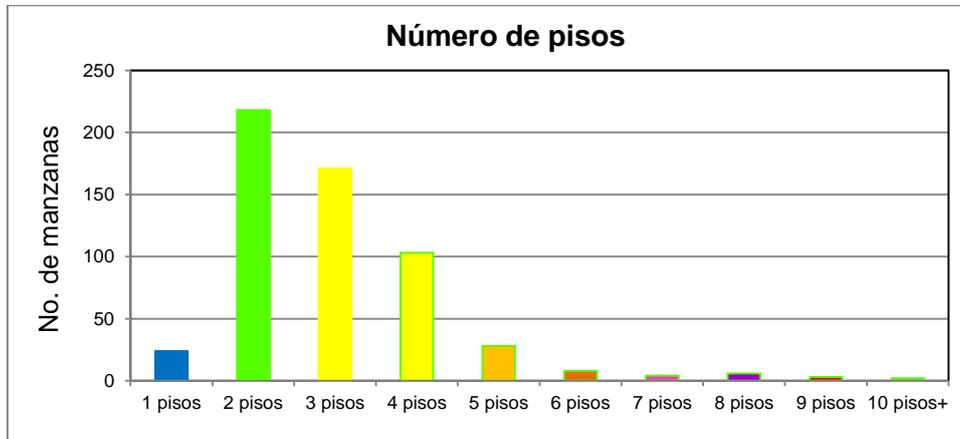


Figura 129. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Santiago de Surco.

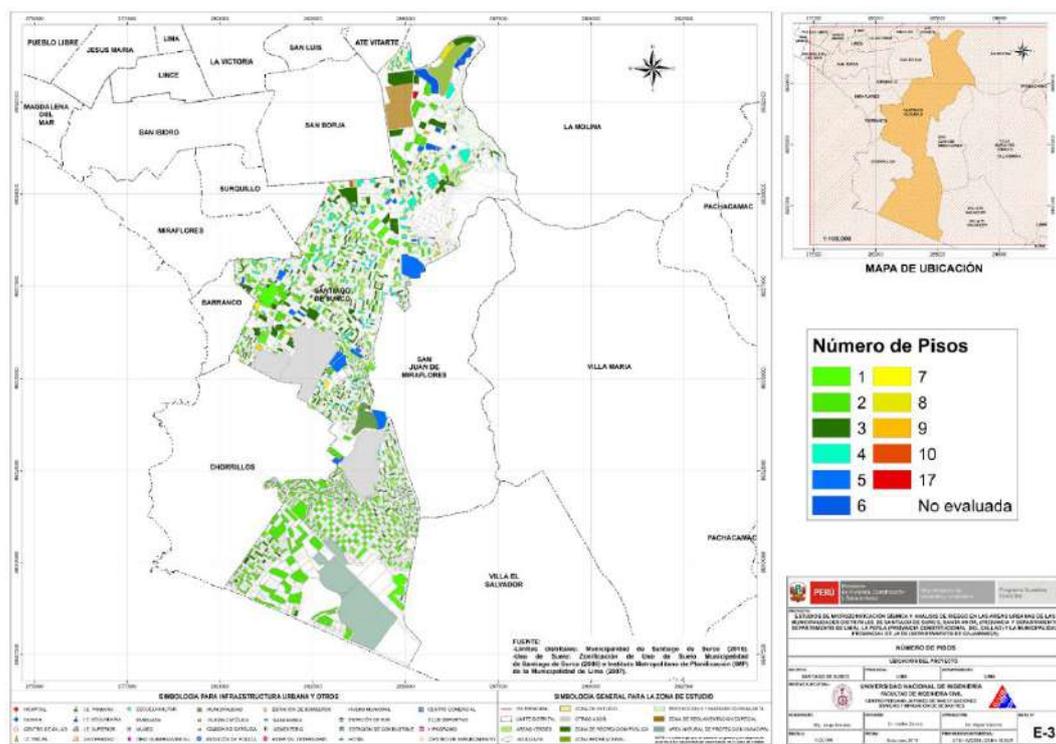


Figura 130. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Santiago de Surco.

#### 4.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa N°E-06 (Figura 132) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 131 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el distrito de Santiago de Surco. 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 70% de la muestra. Le siguen a este sistema en uso los pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería con un 11.8% de la muestra. Por otro lado, un 5.8% de la muestra está representado por estructuras de pórticos de concreto armado, seguidos de otros sistemas constructivos con porcentajes menores.

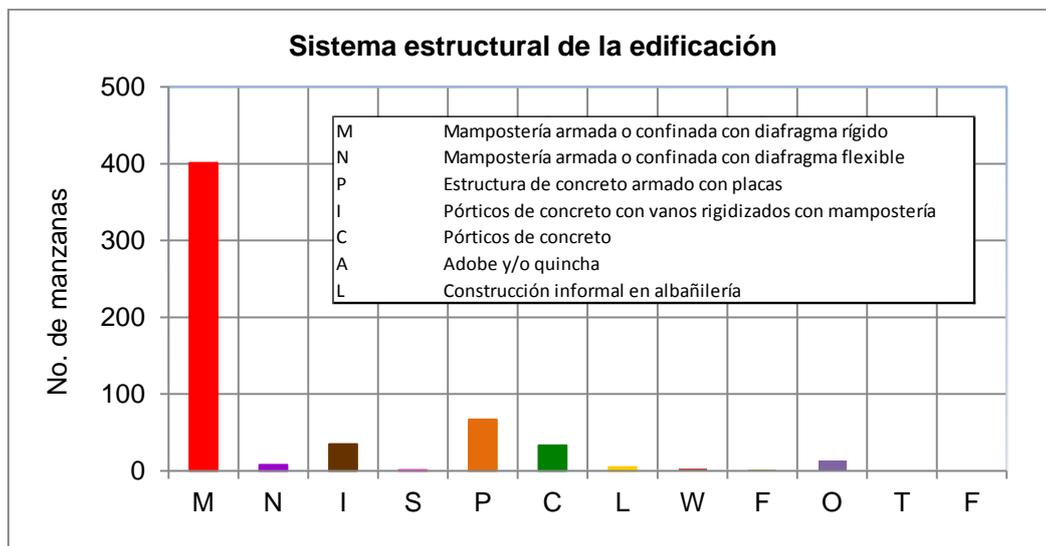


Figura 131. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Santiago de Surco.

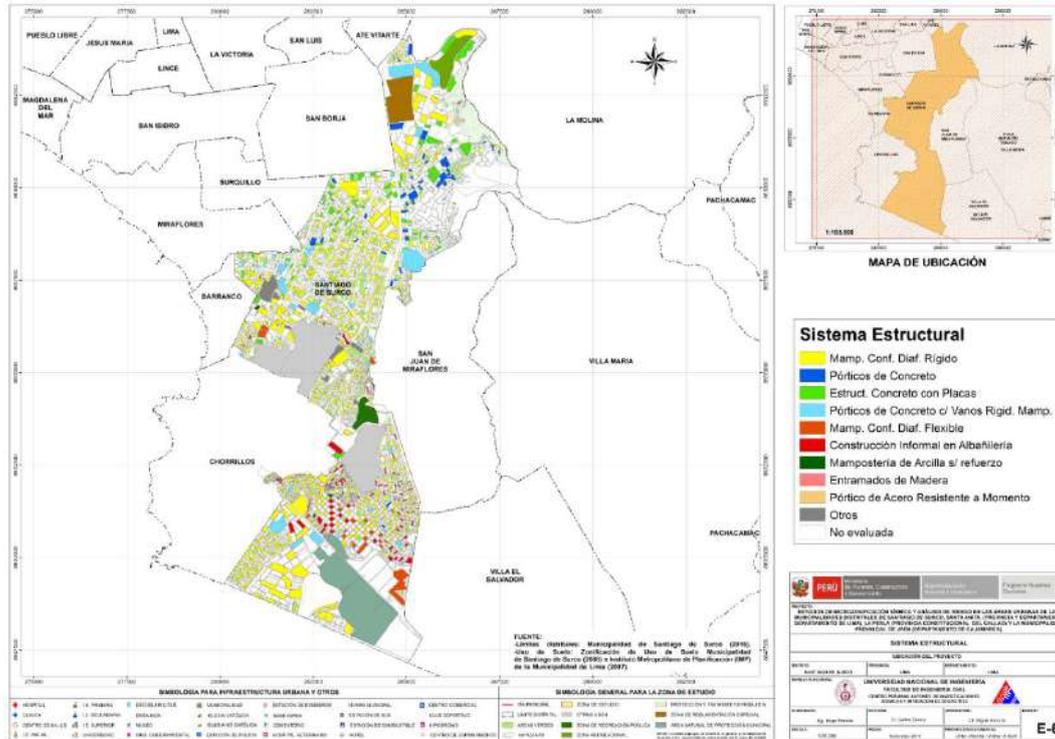


Figura 132. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Surco.

#### 4.3.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático N°E-07 (Figura 134) presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de Santiago de Surco. La Figura 133 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 58.4% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 38.4% de la muestra presenta un regular estado de conservación. Finalmente se encuentran en mal estado de conservación el 2.8% de la muestra.

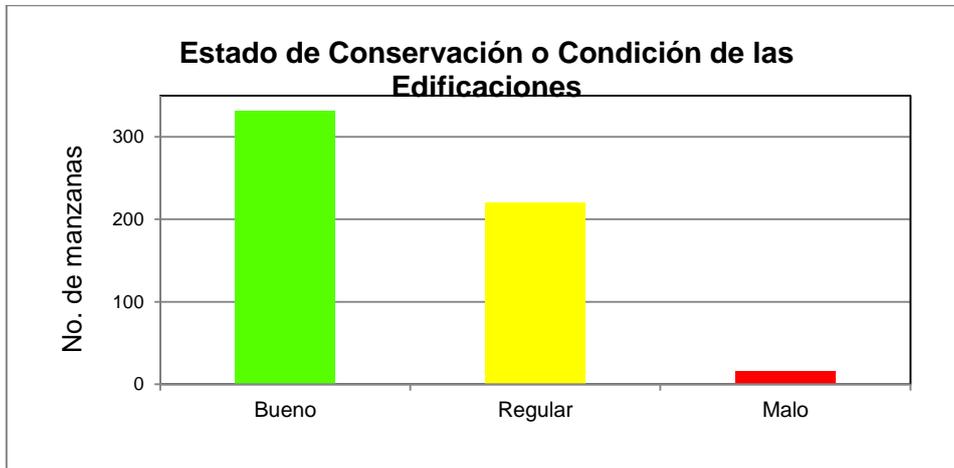


Figura 133. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Santiago de Surco.

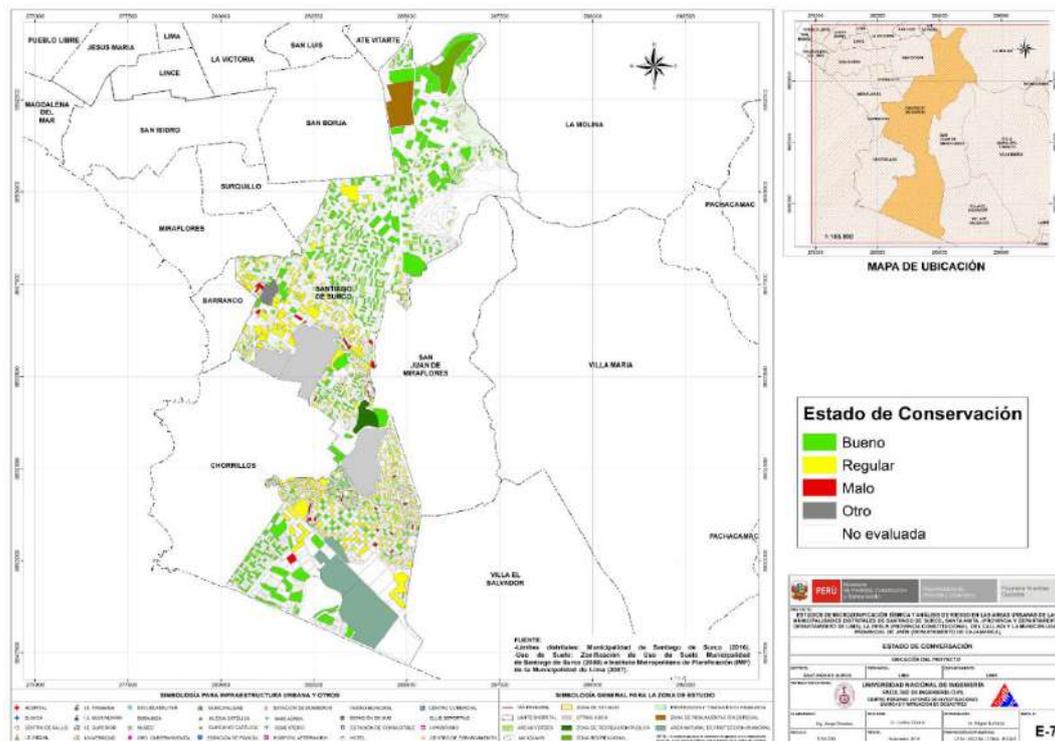


Figura 134. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Santiago de Surco.

**PERÚ**Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y SaneamientoViceministerio de  
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras  
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

#### 4.3.6. 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 determinística 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 del de 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 135. Con este sistema equivalente se realiza la estimación explicado en el siguiente párrafo.

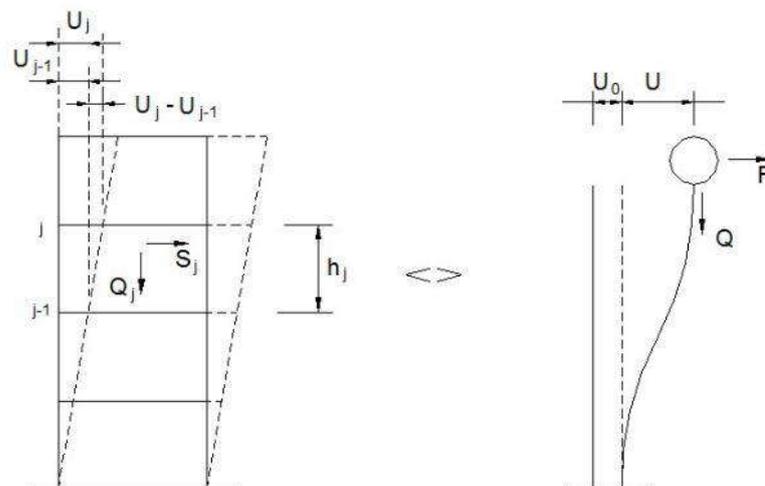


Figura 135. Edificación representada por un sistema equivalente.

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  $\beta_i$ , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices  $\beta_i$  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:

$$\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right) = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4}{H} S_d \quad \text{Ec. 4}$$

El índice  $\beta_1$ , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

$$\beta_1 = \frac{3N}{2N + 1} \quad \text{Ec. 5}$$

El índice  $\beta_2$ , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

$$\beta_2 = \frac{\max\left(\frac{\Delta\delta_j}{h_j}\right)}{\frac{U_r}{H}} \quad \text{Ec. 6}$$

El índice  $\beta_3$ , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot \mu}{F} \quad \text{Ec. 7}$$

El índice  $\beta_4$ , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastico}}{\varphi_{elastico}} \quad \text{Ec. 8}$$

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 en base la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 27 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 arriostramiento 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.



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



- 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

- Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 75% de los lotes.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 75% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de un piso (4.2%), dos pisos (38.4%), tres pisos (30.2%), cuatro pisos (18.2%) y cinco pisos (4.9%). De acuerdo a lo observado en varios casos, las construcciones son realizadas con intervención de maestros de obra y personal obrero, sin tener la asesoría técnica de un profesional de la especialidad. Asimismo, aproximadamente el 75% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, no teniendo el 1.4% de las viviendas evaluadas, elementos de refuerzo vertical.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 70.7% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 0.5%, 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 58.4% de las viviendas muestran un estado de conservación bueno y el 38.8% de las viviendas presentan un regular estado de conservación. Finalmente las edificaciones en mal estado de conservación representan un 2.8% de la muestra.

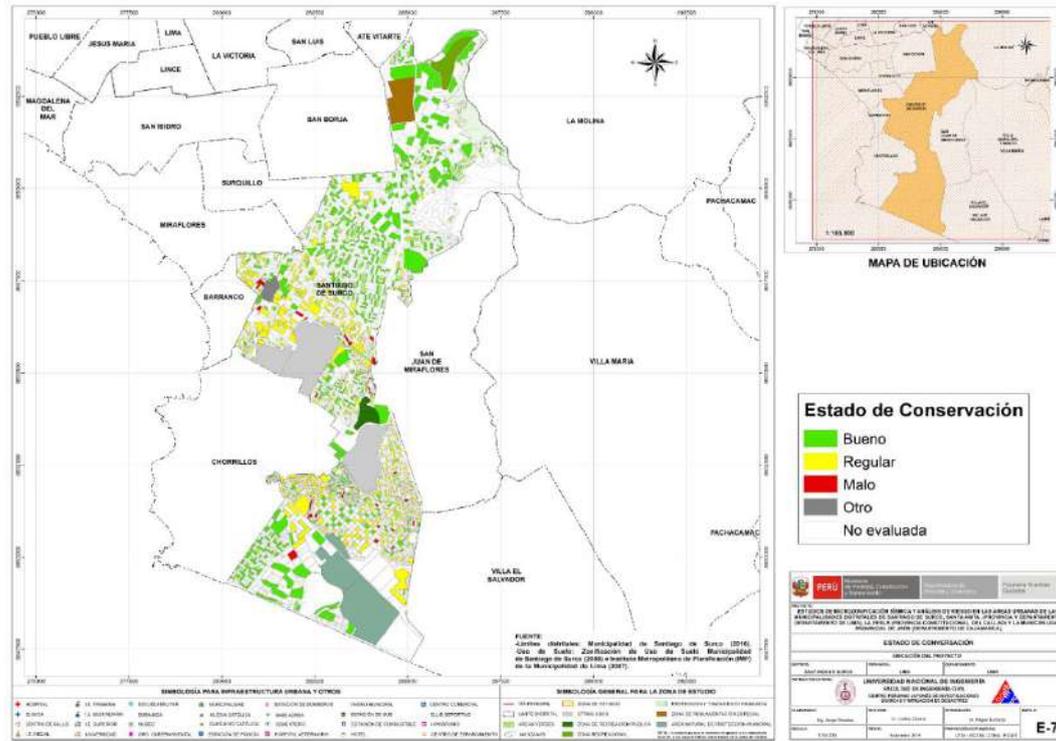


Figura 136. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Santiago de Surco.

Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de Santiago de Surco, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas que representan el 82% de la muestra concentrada en la zona central del distrito, así como vulnerabilidades medias, que representan el 16% de la muestra. Existen edificaciones con vulnerabilidad alta en la zona limítrofe con el distrito de La Perla. Los resultados son presentados en la Figura 136.



## 5. MAPAS DE RIESGO

### 5.1. 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-E030 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 400 gals.

Para el distrito de Santiago de Surco se considera un sismo con una aceleración máxima de 469 gals con el cual se desarrolla la simulación de la respuesta sísmica de las edificaciones representativas de cada manzana, determinándose la respuesta en términos de distorsión y de manera que se evalúa el daño estructural en las edificaciones.

## 5.2. Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Santiago de Surco, 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 en 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  $\lambda$  y  $\varepsilon$  parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

$$C_r = \left[ \left( \frac{\Delta\delta_j}{h_j} \right) / \lambda \right]^\varepsilon / 100 \quad \text{Ec. 9}$$

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 137.

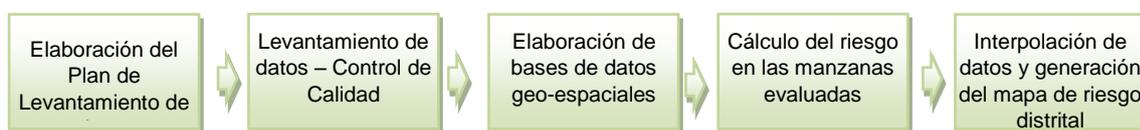
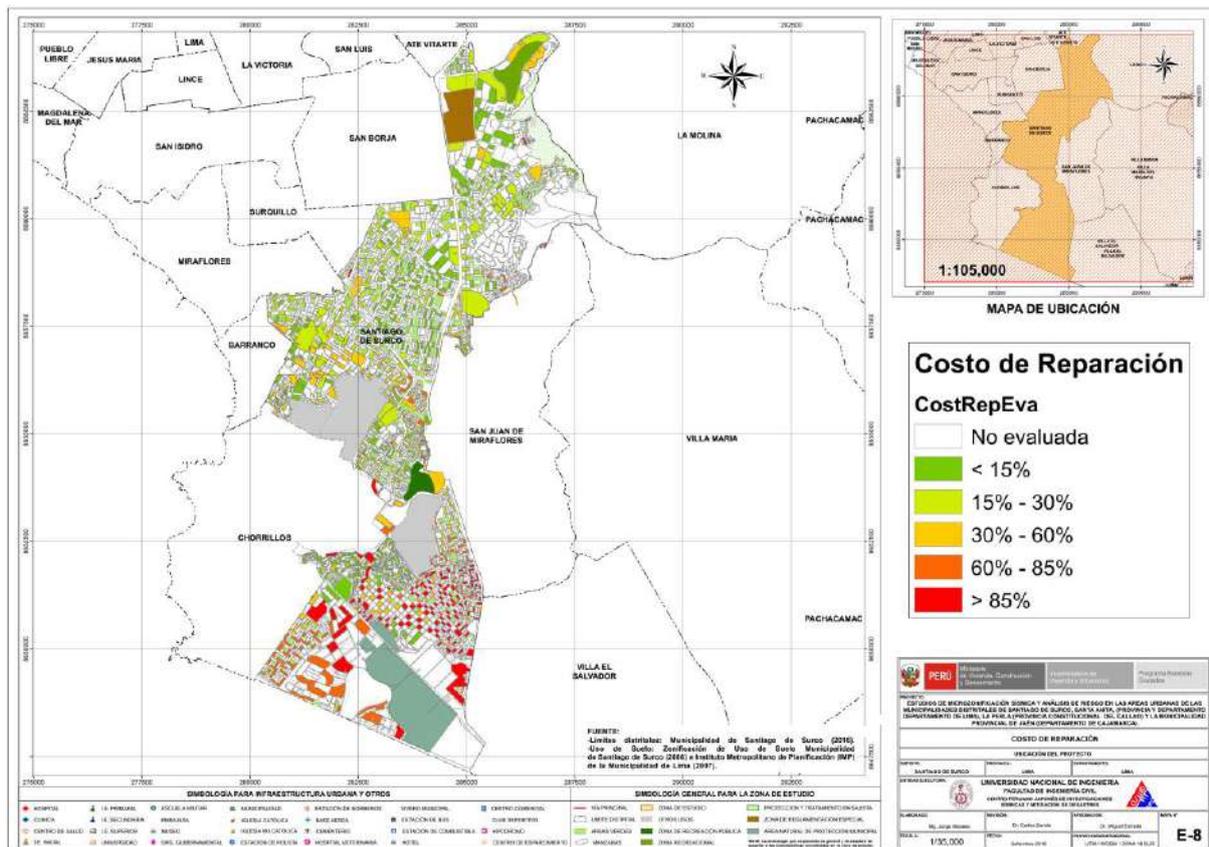


Figura 137. Proceso de generación del mapa de riesgo.

Basados en la información de campo se evaluaron 232 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 138.



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 139 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de Santiago de Surco.

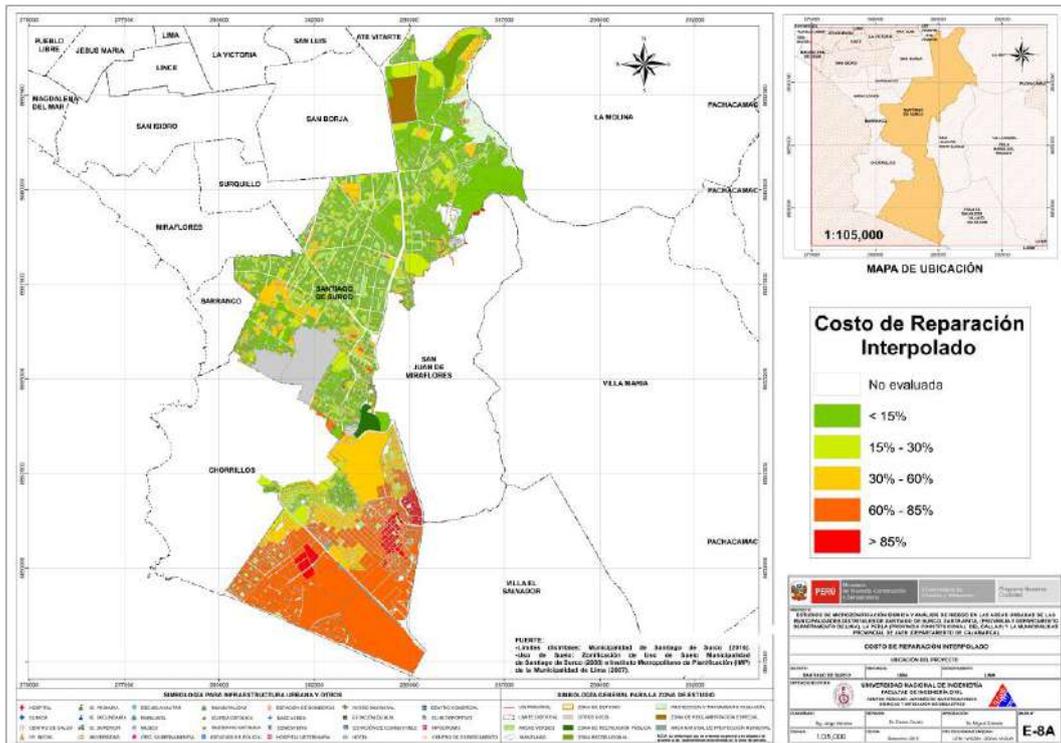


Figura 139. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).

### 5.3. 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 Santiago de Surco.

Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de Santiago de Surco para un escenario de sismo severo.

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	7	28.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	10	40.0%	68.0%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	7	28.0%	28.0%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	0	0.0%	0.0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	1	4.0%	4.0%	Colapso

En el mapa N°E-08, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Santiago de Surco 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. Los sectores en amarillo tendrían un porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%. 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 6.9% y 25%, respectivamente, de las edificaciones para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe del Microzonificación Sísmica.

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	20.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	40.0%	60%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	2	40.0%	40%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	0	0.0%	0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	0	0.0%	0%	Colapso



Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A, donde puede apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el 40% de las edificaciones esenciales experimentarían daño moderado, mientras que el 60% experimentarían daño leve o no experimentarían daño para la demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales.

## 6. MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI

Para la evaluación de la amenaza frente a tsunami en la costa del distrito de Santiago de Surco se lleva a cabo el análisis de riesgo estimando la altura máxima de ola, 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 determinar 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 140 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2016 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 que varía entre 0 a 33 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. De la Figura 140 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 141, 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  $12^{\circ}\text{S}$ , el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 42 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 41 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 140. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2016 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).

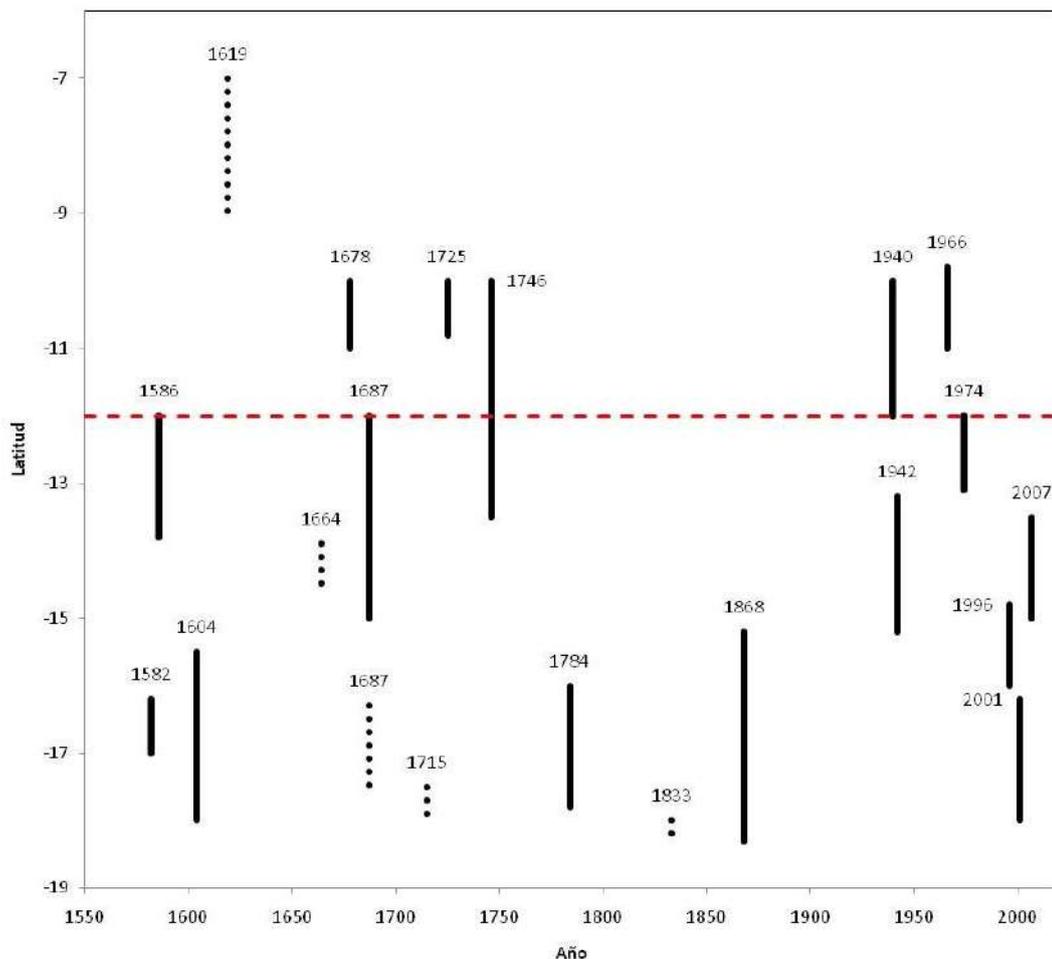


Figura 141. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990)

## 6.2. Tsunamis históricos en Lima

Debido a su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de datos de tsunamis tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado a los peruanos y que han sido registrados también en otros países (Tabla 4 y Figura 142).

Tabla 4. 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

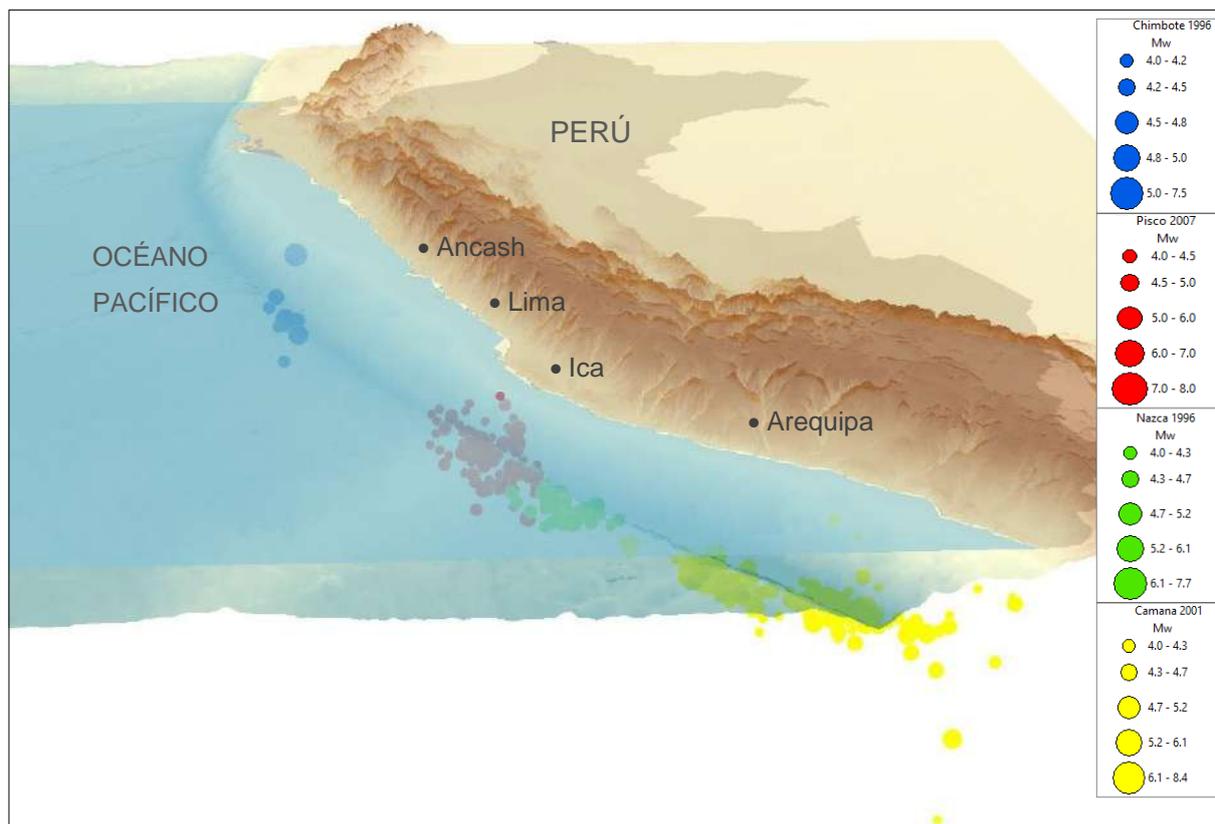


Figura 142. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

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  $16.26^{\circ}\text{S } 73.64^{\circ}\text{O}$ . 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 143).



Figura 143. 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 Santiago de Surco, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables.

El distrito limeño de Santiago de Surco es una localidad de un área muy extensa que limita por el norte con los distritos de Ate Vitarte y La Molina; por el este con los distritos de San Juan de Miraflores y Villa María del Triunfo; por el sur con el Océano Pacífico y por el oeste

con los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores y Surquillo. La Figura 144 muestra la ubicación del distrito de Santiago de Surco en el plano de la provincia de Lima.

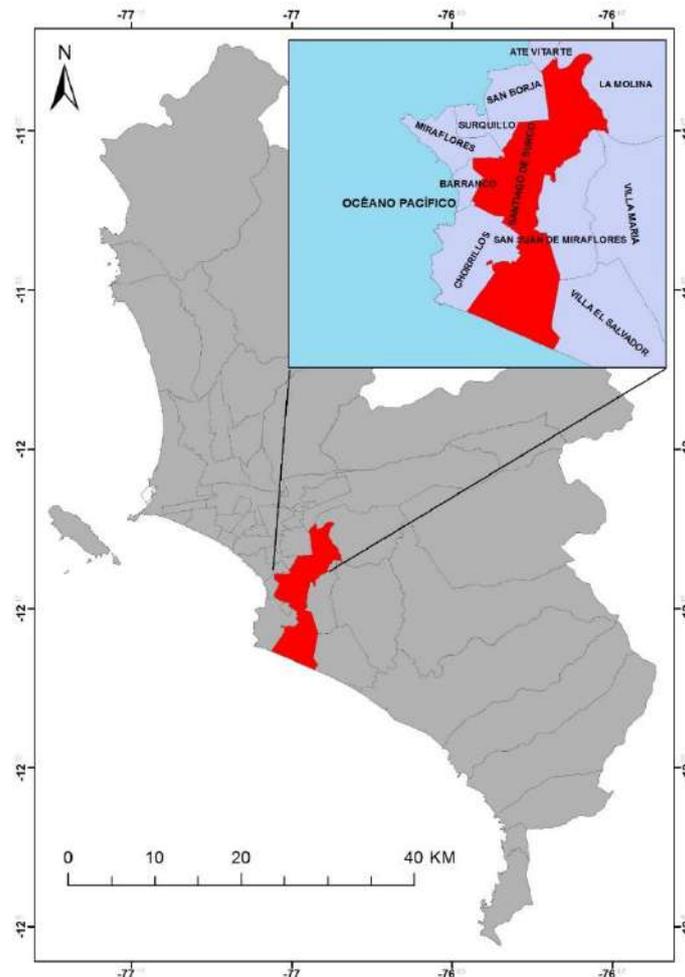


Figura 144. Localización del distrito de Santiago de Surco.

#### 6.4. Procedimiento de Análisis

En este estudio para determinar la amenaza frente a tsunamis del distrito de Santiago de Surco, 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 propone el mapa 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 145 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.

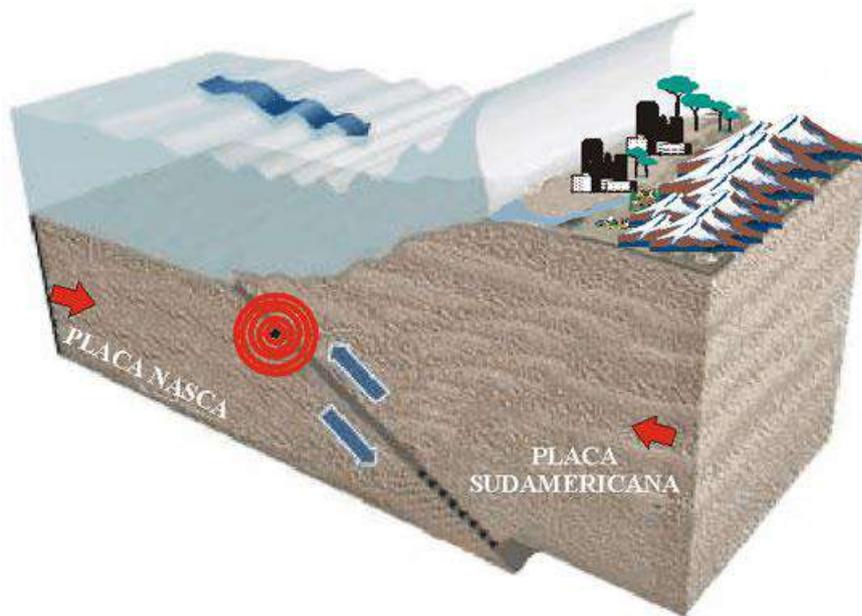


Figura 145. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: [www.oannes.org.pe](http://www.oannes.org.pe)).

### 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 produce 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.

### 6.5.2. 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  $\rho$  la ecuación de continuidad (Ec. 10) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Ec. 11 y Ec. 12) describe cómo las 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:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{Ec. 10}$$

Donde:

- $\eta$  : 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:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \tag{Ec. 11}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \tag{Ec. 12}$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \tag{Ec. 13}$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \tag{Ec. 14}$$

$$D = \eta + h$$

Ec. 15

Donde:

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

 $D$  : 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. 16.

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

Ec. 16

Donde:

 $\Delta t$  : intervalo de tiempo para la simulación, $\Delta x$  : resolución espacial de la batimetría, $g$  : aceleración de la gravedad.

### 6.5.3. 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 146.

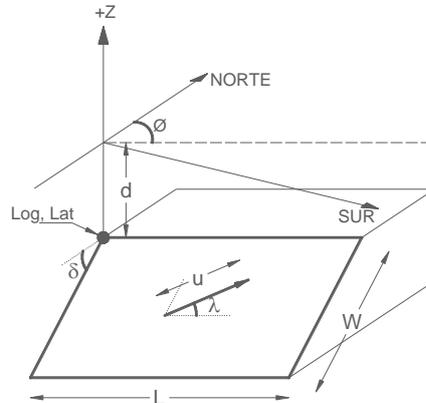


Figura 146. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.

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,  
 $\phi$  : Dirección (Azimut) de la falla,  
 $\lambda$  : Ángulo de deslizamiento,  
 $\delta$  : 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 sub-fallas (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.

## 6.6. Escenario Sísmico

En este estudio los modelos fuente están basados en dos diferentes escenarios sísmicos. El primero es un modelo basado en la distribución de acoplamiento intersísmico en las zonas de subducción en un periodo de 265 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 (Pulido et al., 2011).

El segundo escenario es un modelo fuente del terremoto de Perú en 1746 que fue calculado a través de una comparación directa de los resultados del modelamiento del tsunami y la interpretación de documentos históricos acerca de la inundación que este tsunami provocó (Jiménez et al., 2013).

### 6.6.1. 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 Mw. 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 147 (a) muestra la distribución de desplazamientos.

El segundo escenario estima un área de ruptura de 550 km x 140 km con 5 sub fallas de 110 km x 140 km, este modelo considera un máximo desplazamiento de 17.5 m a 50 km al sureste de Lima, la magnitud de momento calculada es de 8.9 Mw, La Figura 147 (b) muestra la distribución de desplazamientos para este escenario.

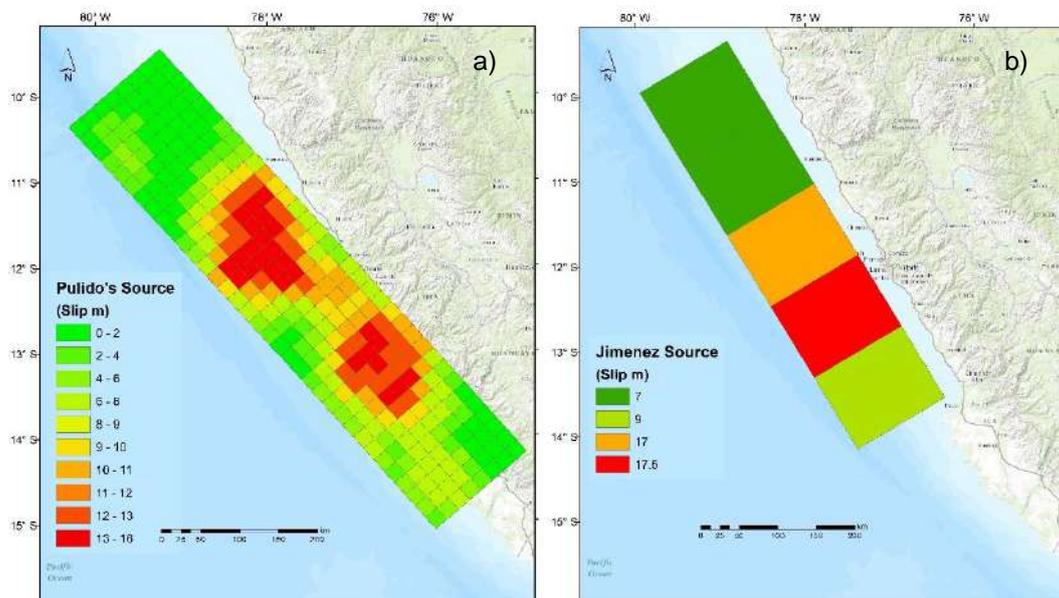


Figura 147. Distribución de desplazamientos para a) el primer escenario sísmico que consta de 280 sub fallas y b) para el segundo escenario que consta de 5 sub fallas.

## 6.7. Análisis del Tsunami para el distrito de Santiago de Surco

### 6.7.1. 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  $\Sigma$  en un medio isotrópico es dado por:

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[ \lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left( \frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$\delta_{jk}$  : Delta de Kronecker,

$\lambda$  y  $\mu$  : 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  $(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ ,

La Figura 148 y la Figura 149 muestran el resultado de la condición inicial del tsunami para los dos escenarios sísmicos, calculados usando la ecuación (5.1) y con los datos de entrada mostrados en la Tabla 2. Donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y el color azul representa el desplazamiento vertical negativo (hundimiento). Puesto que los escenarios poseen múltiples sub fallas, en la Tabla 5 se muestra un resumen de los valores que definen estas sub fallas. El detalle de los valores de los parámetros para cada una de las sub fallas se muestra en el ANEXO I y el ANEXO II.

Tabla 5. Parámetros de fuente sísmica para el cálculo de la deformación inicial de la superficie del océano, definidos en la Figura 146.

Parámetro	M <sub>w</sub> 8.8	M <sub>w</sub> 8.9
Longitud	-76.05°	-77.42°
Latitud	-15.1°	-14.2°
Profundidad	7-44 km	8 km
Largo	700 km	550 km
Ancho	160 km	140 km
Dirección (Azimut)	319°	329°
Ángulo de Inmersión	15°	20°
Ángulo de deslizamiento	0-76°	90°
Dislocación (Figura 146)	0-16 m	0-17.5 m

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 148 y Figura 149. 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.

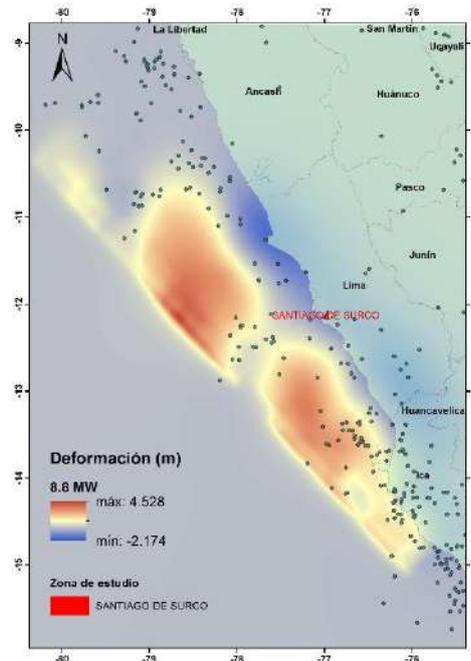


Figura 148. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de Mw 8.8. Los puntos representan la sismicidad histórica.

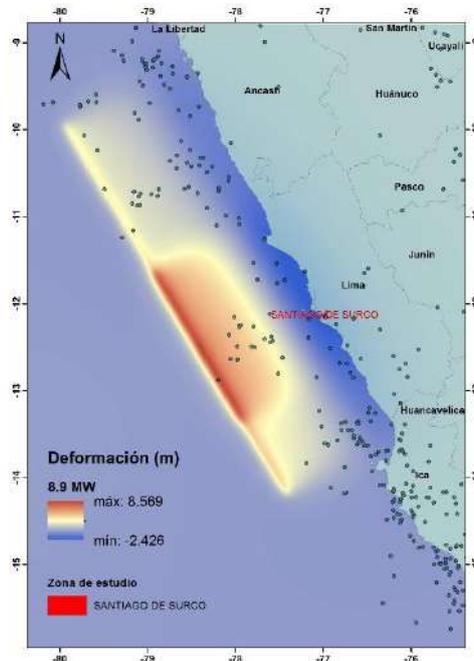


Figura 149. Deformación inicial de la superficie del fondo del océano para el sismo de Mw 8.9. Los puntos representan la sismicidad histórica.

De las figuras anteriores se observa que aunque la diferencia de la magnitud es de solo 0.1, las deformaciones positivas (levantamiento) en el fondo marino difieren en 4 metros (relación casi de 1 a 2), dando a entender así que los 9 parámetros mencionados en la Figura 146 son necesarios para definir las condiciones iniciales del fondo marino y no solo aquellos que se usan para el cálculo de la magnitud Mw.

### 6.7.2. 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 150.

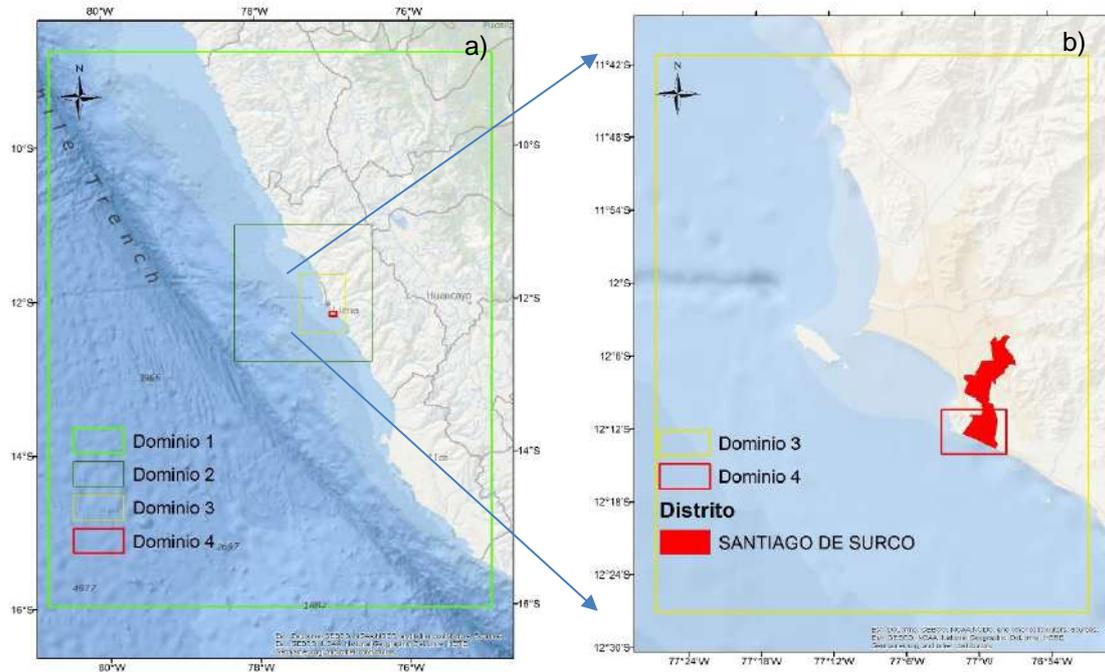


Figura 150. Dominios utilizados en la simulación numérica, a) Distribución de los 4 dominios, b) Detalle del área para el análisis de inundación. (Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA)

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 es aproximadamente 900m y posteriormente se interpola hasta los 45 metros (Tabla 6).

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.

La Figura 151 muestra el escenario de la propagación de las olas para los tiempos (a) de 1 minuto y (b) el tiempo de arribo de la primera ola a la costa (minuto 27). También se muestran las amplitudes de la ola versus el tiempo transcurrido después de haberse iniciado el tsunami para los diferentes escenarios sísmicos, estas señales fueron registradas por las estaciones mareográficas virtuales ubicadas en la zona costera adyacente a las rutas de evacuación en caso de tsunami.

Además, la Figura 151 (a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud  $M_w=8.8$ , 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 27 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera ola a la costa.

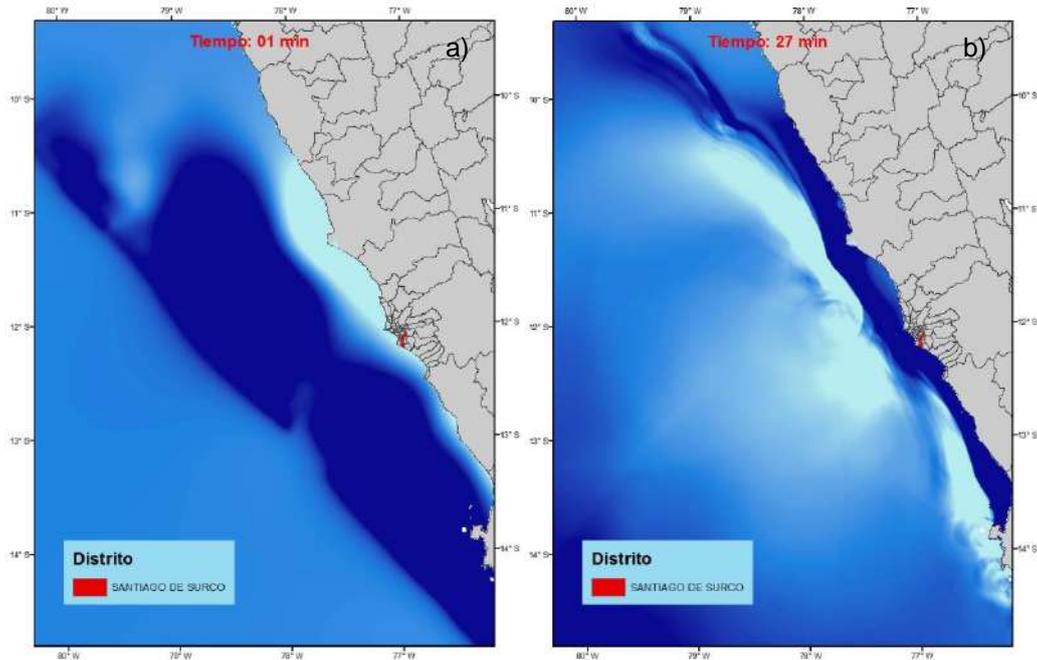


Figura 151. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.

La Figura 152 muestra como varia la amplitud en el transcurso del tiempo. Esta es una representación sintética del tsunami registrado en tres puntos cercanos a las zonas urbanas de Cerros de Villa, Encantada de Villa y Brisas de Villa, a lo largo de la costa de Santiago de Surco, 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 a Surco aproximadamente 27 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de 4.0 metros a los 115 minutos, ver ANEXO III. Instante de máxima inundación para el evento de 8.8 Mw..

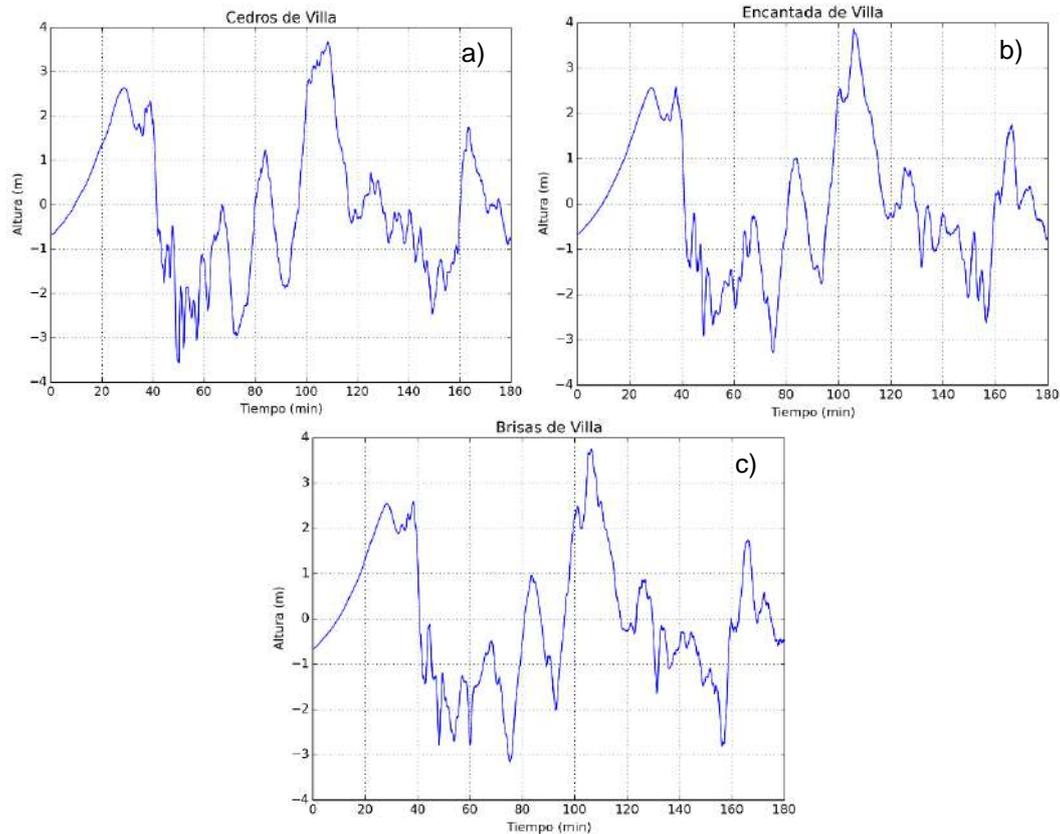


Figura 152. Señal sintética del tsunami para el escenario de  $M_w = 8.8$  en las costas de: a) Cedros de Villa, b) Encantada de Villa c) Brisas de Villa

La Figura 153, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculada para un sismo de magnitud  $M_w = 8.9$ , 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 34 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera ola a la costa.

La Figura 154 muestra como varía la amplitud en el transcurso del tiempo. Esta es una representación sintética del tsunami registrado en tres puntos cercanos a las zonas urbanas de Cerros de Villa, Encantada de Villa y Brisas de Villa, a lo largo de la costa de Santiago de Surco, 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 a Surco aproximadamente 34 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de casi 12.0 metros aproximadamente a los 40 minutos, ver ANEXO IV.

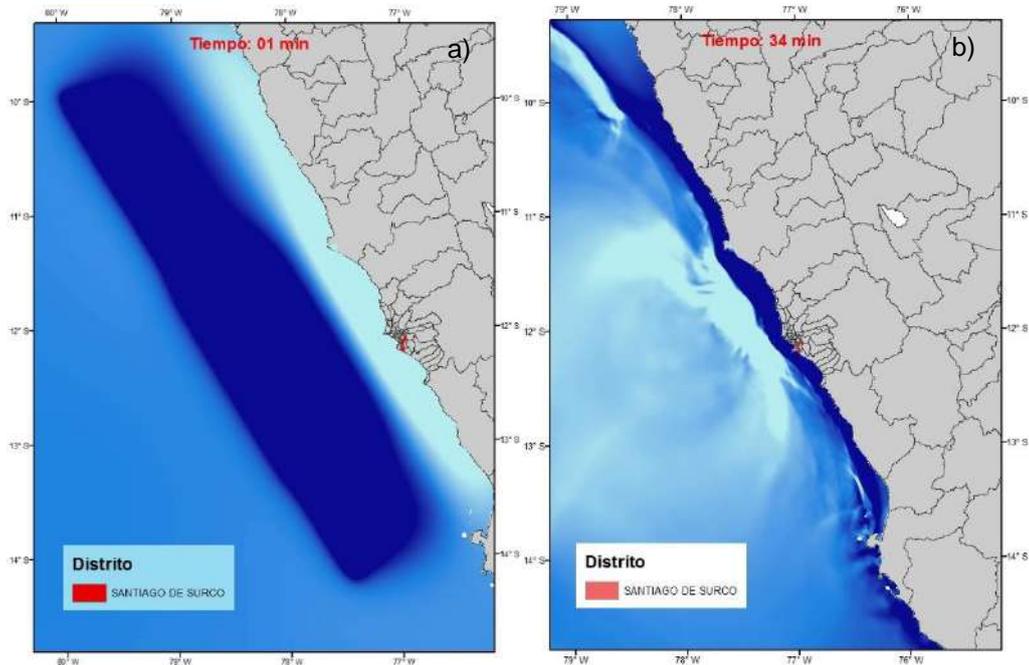
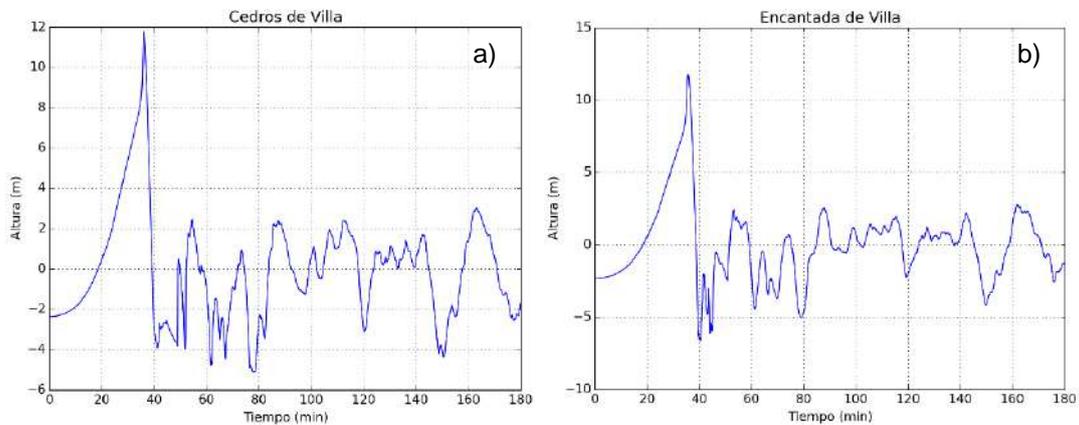


Figura 153. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.9 Mw.



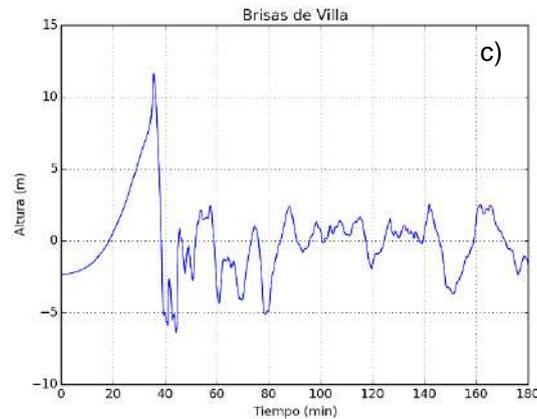


Figura 154. Señal sintética del tsunami para el escenario de  $M_w = 8.9$  en las costas de: a) Cedros de Villa, b) Encantada de Villa c) Brisas de Villa.

### 6.7.3. 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 90 metros y fue interpolada hasta los 15 metros, la Tabla 6 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 150 (b) se observa la extensión de este dominio.

Tabla 6. 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 cerca de 60 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 Santiago de Surco.

La Figura 155 muestra las alturas máximas de olas esperadas producto del tsunami a lo largo de la costa de Santiago de Surco, de acuerdo a esta figura, se ve la marcada diferencia de alturas de ola entre un evento y otro, con alturas de ola de hasta 4.2 m para el evento de 8.8 Mw y hasta de 12.0 m para el sismo de 8.9 Mw. Así también en la Figura 156 se muestra el gráfico de las alturas de ola a lo largo de la costa para ambos eventos.

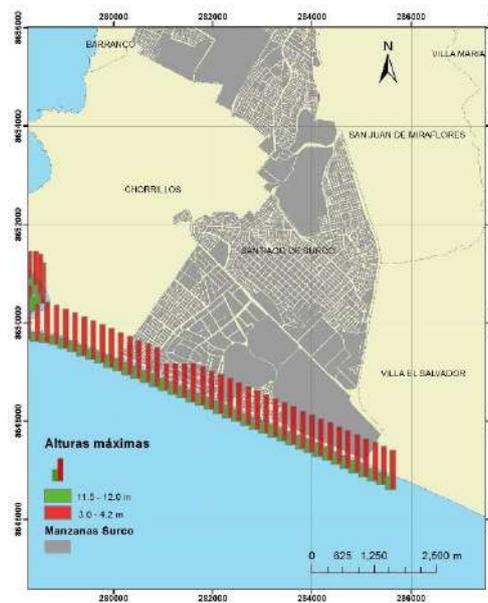


Figura 155. Alturas de olas máximas a lo largo de la costa de Santiago de Surco. Las barras verdes y rojas representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de Mw 8.8 y Mw 8.9 respectivamente.

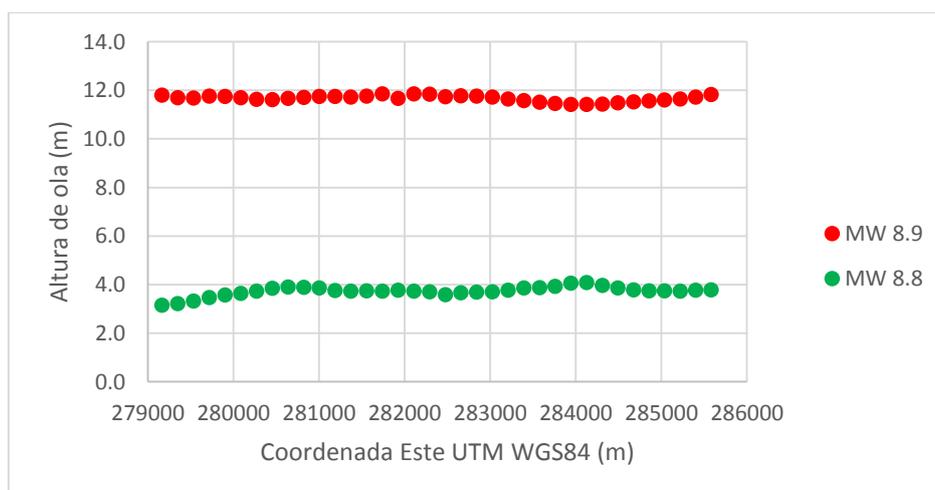


Figura 156. Alturas máximas de ola a lo largo de la costa de Santiago de Surco, de Oeste a Este.



Las alturas máximas de ola se resumen en la Tabla 7:

Tabla 7. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami

Mw	Hmáx (m)
8.8	4.2
8.9	12.0

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 2016.

En esta data histórica se puede encontrar que en las costas de Callao cercanas al distrito de Santiago de Surco, se tiene un valor de pleamar de 1.45 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 8, los valores se presentan redondeados.

Tabla 8. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Mw	Hmáx corregida (m)
8.8	5.65
8.9	13.45

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 157 y Figura 158 para los eventos de magnitudes 8.8 Mw y 8.9 Mw respectivamente.

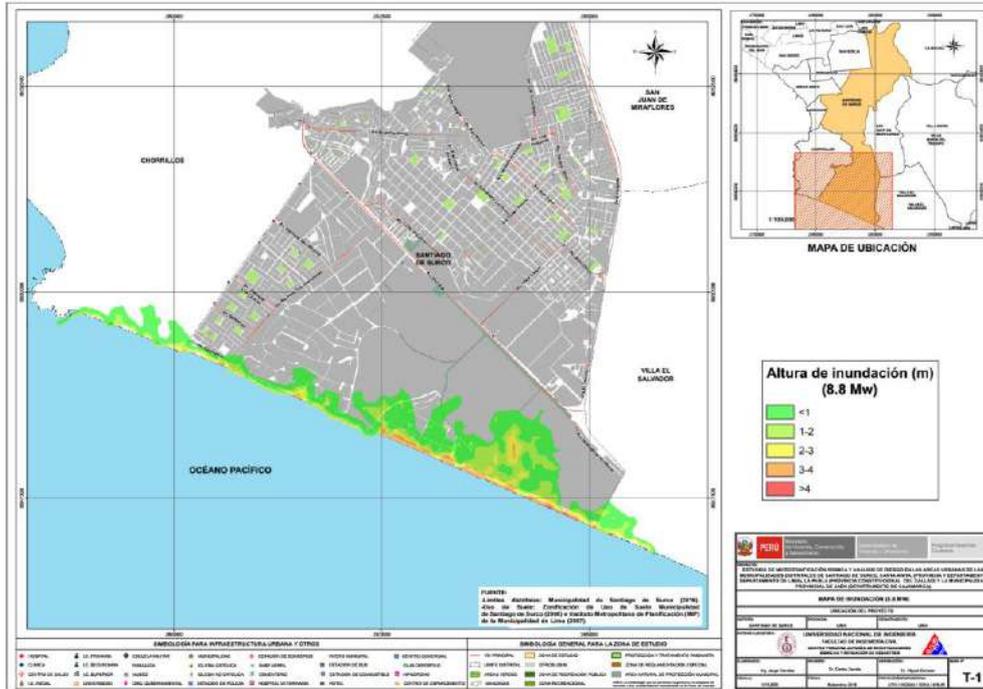


Figura 157. Alturas de inundación para Santiago de Surco con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw.

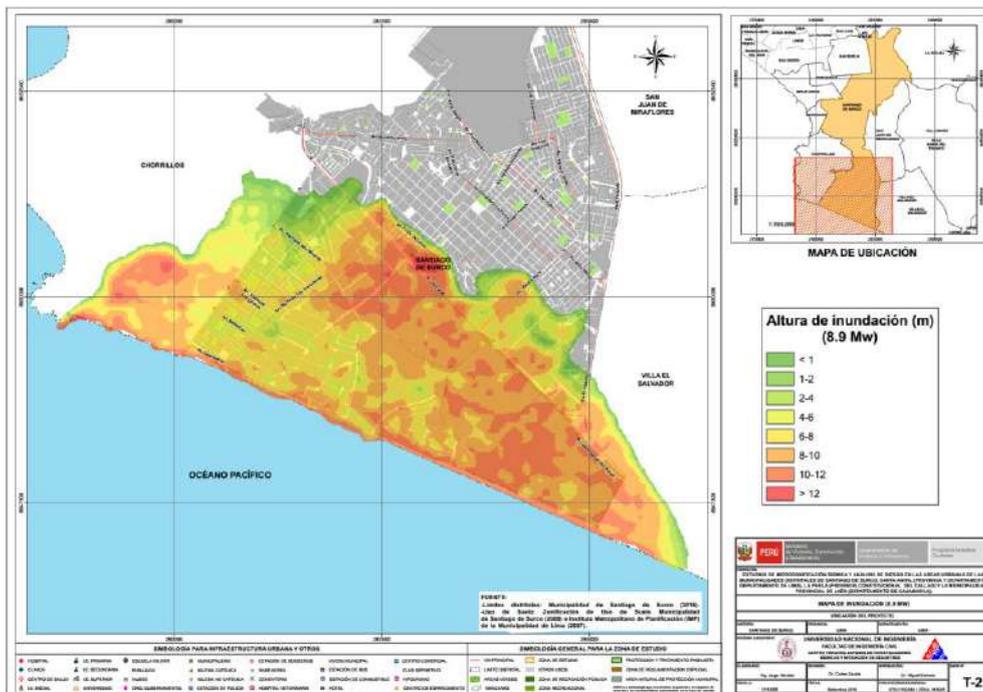


Figura 158. Alturas de inundación para Santiago de Surco con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw.

## 6.8. Análisis de Resultados

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

En la Figura 157 se puede apreciar que para el evento sísmico de magnitud 8.8 Mw los valores de inundación máximos alcanzan los 4 metros de altura y el tsunami inunda hasta 500 metros tierra adentro.

Para el evento más crítico de 8.9 Mw. (Figura 158), los niveles de inundación son mucho mayores alcanzando alturas de hasta 12 metros y llegando a inundar cerca de 2.5 km tierra adentro, esto debido a la topografía plana que se tiene en el distrito.

Además se ha realizado un análisis de las manzanas afectadas. Los resultados del área inundada se encuentran en la Tabla 9. Como se puede apreciar en esta tabla, con el sismo de 8.8 Mw, 36 manzanas se verían afectadas correspondiendo a un 1.08% del total.

Considerando el escenario sísmico más severo, con un sismo de 8.9 Mw, las manzanas afectadas serían alrededor de 300, que representan aproximadamente un 9.0% del número total de manzanas del distrito.

Tabla 9. Número de manzanas afectadas en el distrito de Santiago de Surco, según el escenario sísmico.

Nº	Distrito	Cantidad de Manzanas Afectadas		Porcentaje de Afectación	
		Mw 8.8	Mw 8.9	Mw 8.8	Mw 8.9
1	Santiago de Surco	36	300	1.08 %	9.0 %

Las posibles manzanas afectadas para ambos escenarios se muestran en la Figura 159.

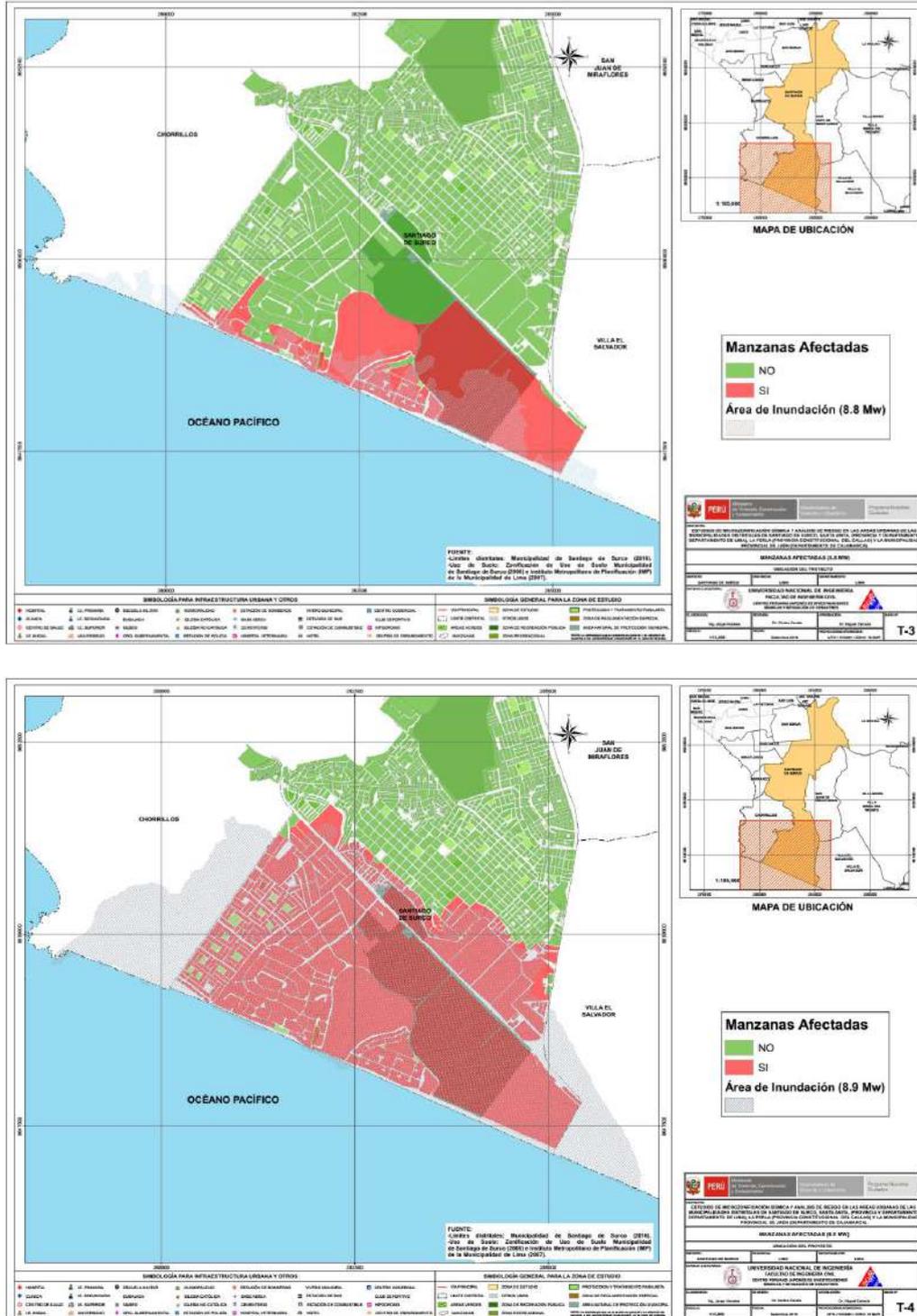


Figura 159. Manzanas afectadas por la inundación por el evento sísmico de 8.8 Mw (arriba) y por el de 8.9 Mw (abajo).



## 6.9. Recomendaciones

Los resultados obtenidos muestran que, con el evento más desfavorable, cerca de 300 viviendas se verían afectadas, esto debido a la topografía plana que presenta el distrito en su zona costera.

El tiempo de evacuación promedio disponible sería de 20 minutos, que es cuando arribaría la primera ola, tiempo quizás suficiente para poder evacuar horizontalmente debido a la escasez de refugios, pero se debe 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.

Las zonas de Cedros de Villa, La Encantada de Villa y Brisas de Villa, serían las zonas que se verían casi totalmente inundadas ante el evento de Mw 9.0, por lo que se tiene que tener especial atención en dichas zonas.

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



## 7. 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 Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (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 10.

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 10. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Santiago de Surco.

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.

$$Rm(v) = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot CI \cdot R(v) \tag{Ec. 18}$$

Donde  $R_m$  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:

$$R(v) = c \cdot (v - A)^b \quad \text{Ec. 19}$$

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  $R(v)$ :

$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.30} \quad \text{Ec. 20}$$

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 160 y la Figura 161, 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:

$$R(v) = 2.24 \times 10^{-3} \cdot (v - 20)^{1.51} \quad \text{Ec. 21}$$

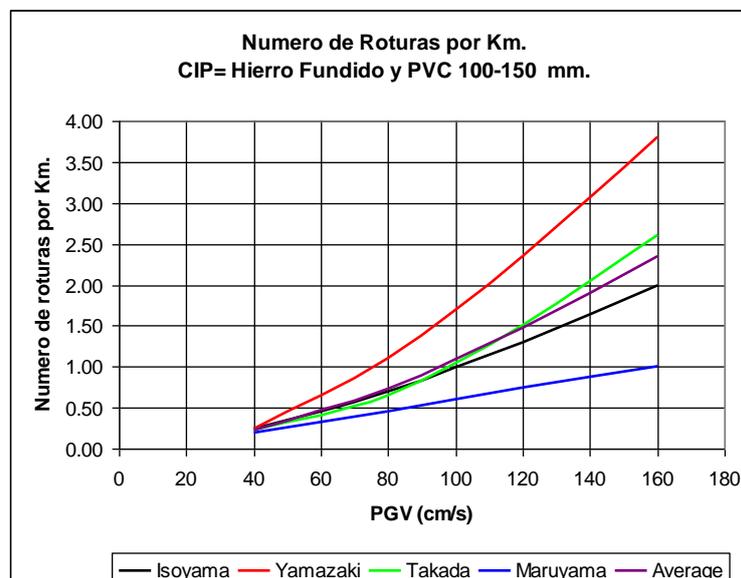


Figura 160. Roturas por Km en tubos CIP y PVC.

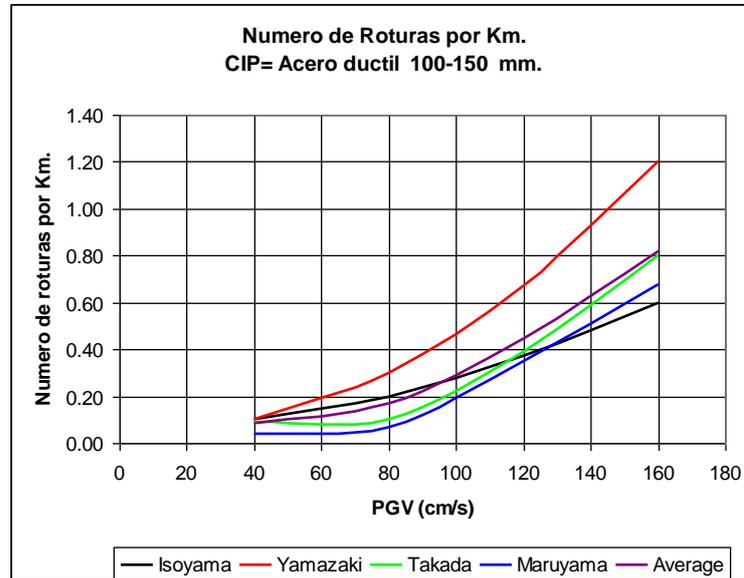


Figura 161. Roturas por Km en tubos de acero dúctil.

La Figura 160 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 162, para mostrar un escenario más desfavorable.

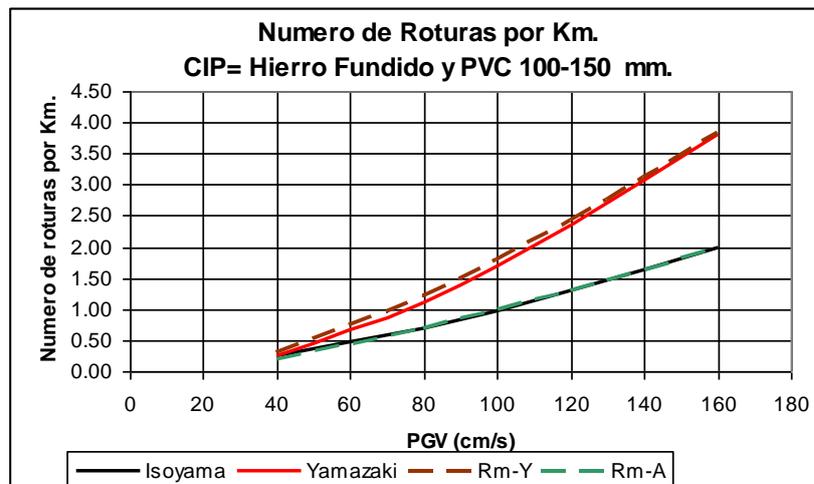


Figura 162. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.

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:

$$R(v) = 3.00 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.305} \quad \text{Ec. 22}$$

En forma similar, a los materiales presentados anteriormente, la Figura 161 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 163 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:

$$R(v) = 2.00 \times 10^{-4} \cdot (v - 9)^{1.6} \quad \text{Ec. 23}$$

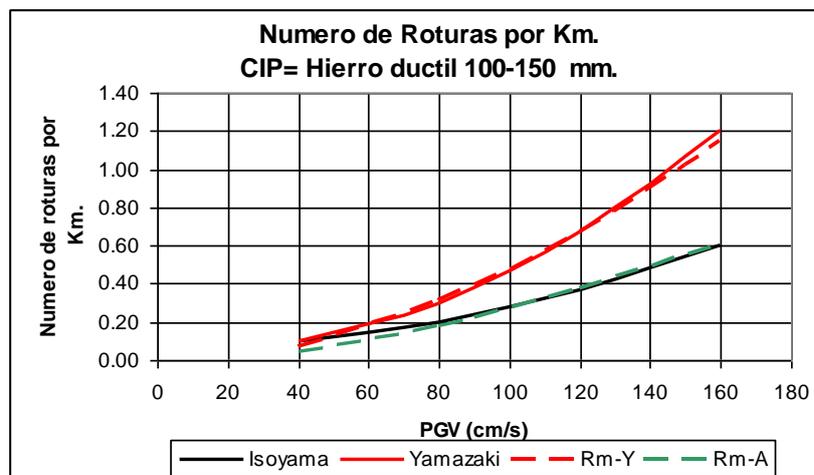


Figura 163. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.

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.



### 7.1. Mapa de tipo de tubería de agua.

La Tabla 11 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito Santiago de Surco. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta los tipos de tubería con el rango de diámetros utilizado, considerando la existencia de un diámetro más frecuente utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. En la columna de porcentaje se muestra la longitud porcentual de tuberías por material aquí puede leerse que las tuberías de asbesto cemento, son las más usadas en el distrito de Santiago de Surco, seguidas por las tuberías de PVC.

Tabla 11. Tipo de tuberías de agua en el distrito de Santiago de Surco.

Material	Tipos de Diámetros	Diámetro (mm)	Diámetro frecuente (mm)	Long. Total (m)	%	Rot/km Yamazaki	Rot/km Isoyama
Asbesto cemento	12	37.50 – 1000	100	590,906.22	74.7%	0.743163	0.689887
Hierro dúctil	17	150 – 1600	350	24,577.14	3.1%	0.275698	0.193399
PVC	18	18.75 – 400	110	155,140.32	19.6%	0.898356	0.806153
Concreto Reforzado	3	250 – 500	250	3,079.59	0.4%	0.245024	0.178406
Acero revestido con cemento	1	1400	1400	1,242.64	0.2%	0.237875	0.174794
Acero	2	150 – 250	150	283.41	0.0%	0.273622	0.192854
Fierro Fundido	7	50 – 300	75	9,066.03	1.1%	0.246018	0.178917
Concreto pretensado	1	900 – 1400	1000	7,073.18	0.9%	0.271705	0.191601
			Long. Total	791,368.53			

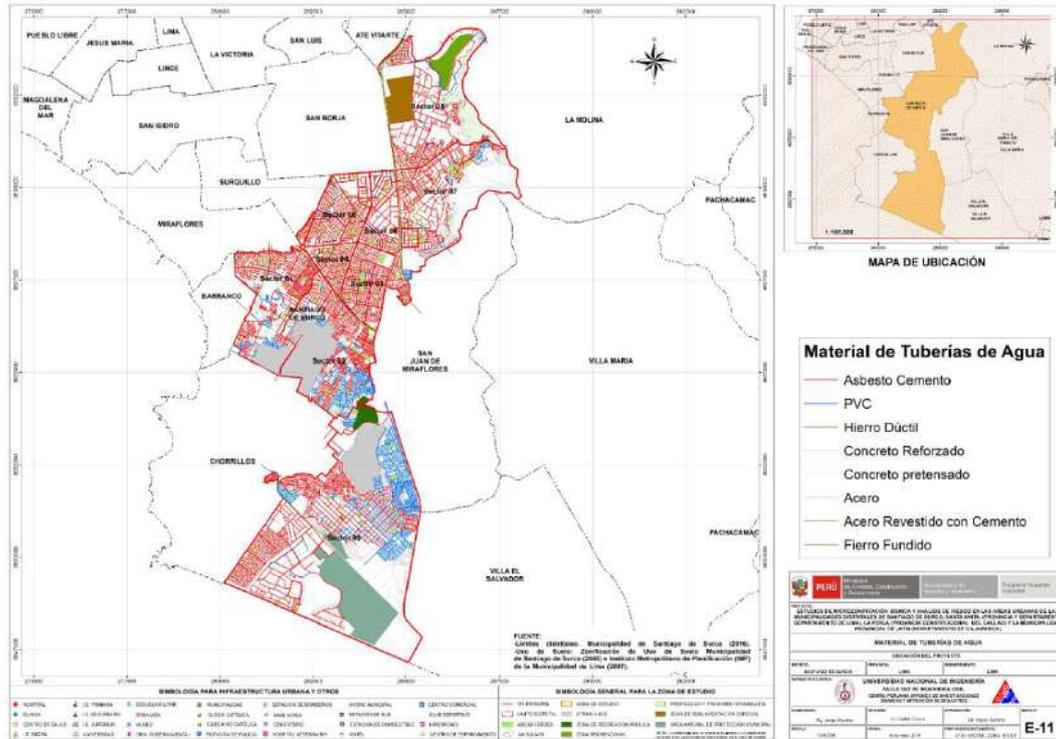


Figura 164. Mapa de Tipos de Tubería en distrito de Santiago de Surco.

## 7.2. 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 cada tipo de material. Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre las líneas de conducción de agua, para ambos criterios. Puede leerse que bajo el criterio de Yamazaki se obtiene un mayor número de roturas que al usar el criterio de Isoyama. En el mapa E-12 (Figura 165) y el mapa E-13 (Figura 166) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente y en la Tabla 11 se presenta un resumen de los resultados.



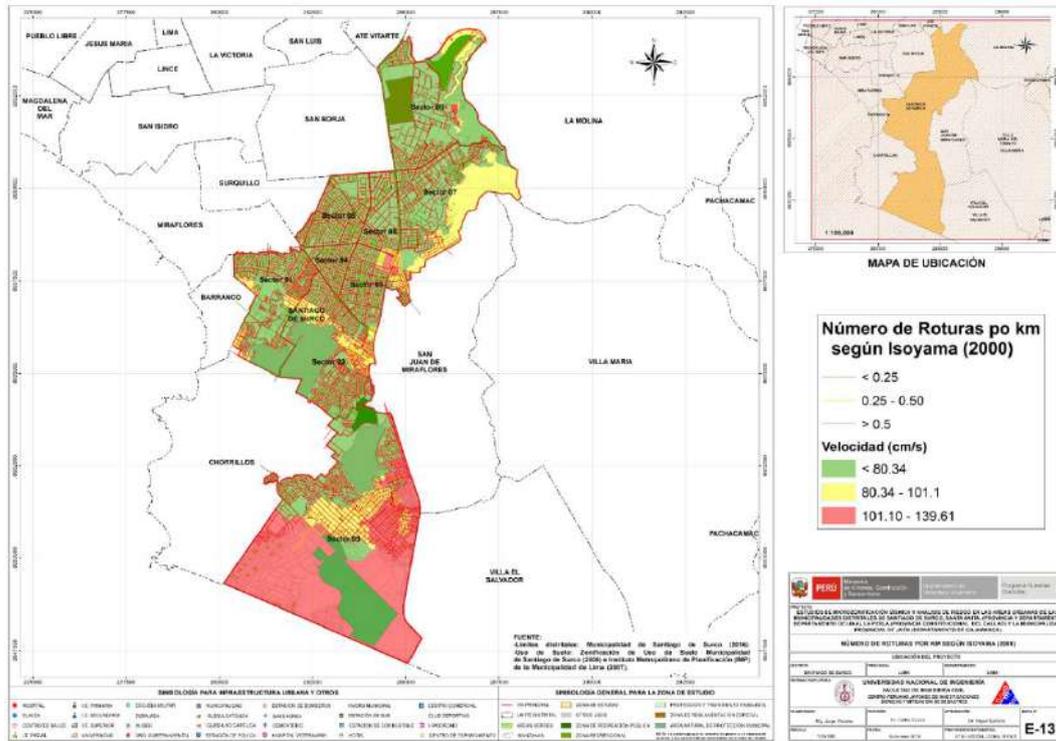


Figura 166. Roturas por criterio de Isoyama (2000).

### 7.3. 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 Santiago de Surco, se procesó la información proporcionada por SEDAPAL, para establecer el tipo de tubería por material y diámetro más utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se encontró que el 77% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías de PVC que representan el 15.5%. Asimismo, las líneas de conducción de tuberías Fierro Fundido representan un 3.9% de la red en el distrito, teniéndose que las tuberías de hierro dúctil representan el 2.2% de las tuberías de agua del distrito.
- 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 Santiago de Surco, en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo con 469 gals de PGA, existirían 86 locaciones con tuberías de asbesto cemento que sufrirían roturas, mientras que de tuberías de PVC sufrirían roturas en 18 ubicaciones. 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



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



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.



## 8. 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.

**PERÚ**Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y SaneamientoViceministerio de  
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras  
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

- [16] Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magister 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.



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



- [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., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. & Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001", Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 – 283.



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



- [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 America del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Peru.
- [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.



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



- 
- [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.



**PERÚ**

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras  
Ciudades



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



## ANEXOS



ANEXO I. Tabla de los parámetros de la fuente sísmica que considera 280 sub fallas.

Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
1	387514.74	8328974.09	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
2	374270.24	8343930.57	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
3	361020.03	8358891.86	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
4	347742.88	8373835.91	4.61	20000	20000	319	15	56	7441.05
5	334460.41	8388774.09	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
6	321151.18	8403717.51	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
7	307837.04	8418644.38	6.15	20000	20000	319	15	56	7441.05
8	294507.24	8433576.95	6.15	20000	20000	319	15	52	7441.05
9	281151.29	8448493.18	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
10	267790.88	8463404.50	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
11	254404.44	8478321.99	4.61	20000	20000	319	15	68	7441.05
12	241013.97	8493223.90	4.61	20000	20000	319	15	76	7441.05
13	227608.72	8508121.39	3.07	20000	20000	319	15	76	7441.05
14	214318.10	8523093.52	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
15	201013.25	8538050.66	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
16	187694.21	8553004.07	0.00	20000	20000	319	15	0	7441.05
17	173821.13	8567692.89	3.07	20000	20000	319	15	72	7441.05
18	160344.34	8582571.18	4.61	20000	20000	319	15	60	7441.05
19	146842.71	8597457.15	6.15	20000	20000	319	15	68	7441.05
20	133338.42	8612329.12	7.69	20000	20000	319	15	76	7441.05
21	119809.72	8627198.08	9.22	20000	20000	319	15	72	7441.05
22	106278.39	8642075.60	10.76	20000	20000	319	15	68	7441.05
23	92723.11	8656939.43	7.69	20000	20000	319	15	60	7441.05
24	79165.69	8671801.14	4.61	20000	20000	319	15	76	7441.05
25	65595.21	8686671.87	3.07	20000	20000	319	15	64	7441.05
26	52001.24	8701529.50	1.54	20000	20000	319	15	60	7441.05
27	38405.61	8716385.62	1.54	20000	20000	319	15	64	7441.05
28	24786.46	8731251.20	1.54	20000	20000	319	15	64	7441.05
29	11166.14	8746104.60	1.54	20000	20000	319	15	72	7441.05
30	-2466.46	8760968.04	3.07	20000	20000	319	15	52	7441.05
31	-16121.80	8775819.36	3.07	20000	20000	319	15	40	7441.05
32	-29777.99	8790670.21	3.07	20000	20000	319	15	52	7441.05
33	-43456.97	8805531.54	1.54	20000	20000	319	15	48	7441.05
34	-57136.30	8820381.71	1.54	20000	20000	319	15	40	7441.05
35	-70826.96	8835231.86	1.54	20000	20000	319	15	44	7441.05
36	402077.87	8341649.54	4.61	20000	20000	319	15	52	12617.43
37	388847.36	8356624.94	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
38	375589.82	8371582.85	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
39	362326.85	8386545.67	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
40	349037.19	8401491.35	4.61	20000	20000	319	15	56	12617.43
41	335742.50	8416431.27	3.07	20000	20000	319	15	56	12617.43
42	322432.09	8431376.61	4.61	20000	20000	319	15	68	12617.43
43	309095.48	8446305.36	7.69	20000	20000	319	15	60	12617.43
44	295754.34	8461228.93	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
45	282387.13	8476158.40	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
46	269015.83	8491072.01	9.22	20000	20000	319	15	68	12617.43
47	255629.59	8505992.00	7.69	20000	20000	319	15	64	12617.43
48	242217.94	8520896.32	6.15	20000	20000	319	15	64	12617.43
49	228802.61	8535796.43	3.07	20000	20000	319	15	80	12617.43
50	215361.96	8550703.38	3.07	20000	20000	319	15	72	12617.43
51	201918.07	8565595.46	1.54	20000	20000	319	15	56	12617.43
52	188460.14	8580483.80	3.07	20000	20000	319	15	64	12617.43
53	174977.33	8595379.57	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
54	161491.80	8610261.05	9.22	20000	20000	319	15	52	12617.43
55	147981.82	8625139.26	10.76	20000	20000	319	15	56	12617.43
56	134469.18	8640025.73	13.83	20000	20000	319	15	64	12617.43
57	120932.53	8654898.25	13.83	20000	20000	319	15	68	12617.43
58	107393.54	8669779.44	10.76	20000	20000	319	15	68	12617.43
59	93841.76	8684647.20	7.69	20000	20000	319	15	68	12617.43
60	80266.28	8699512.67	6.15	20000	20000	319	15	60	12617.43
61	66688.95	8714387.43	4.61	20000	20000	319	15	48	12617.43
62	53088.37	8729249.20	1.54	20000	20000	319	15	44	12617.43
63	39486.42	8744109.59	1.54	20000	20000	319	15	40	12617.43
64	25872.15	8758979.72	1.54	20000	20000	319	15	64	12617.43
65	12235.10	8773837.47	3.07	20000	20000	319	15	60	12617.43



PERÚ

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras Ciudades



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



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
66	-1403.01	8788705.54	4.61	20000	20000	319	15	64	12617.43
67	-15063.60	8803561.63	4.61	20000	20000	319	15	48	12617.43
68	-28724.76	8818417.36	3.07	20000	20000	319	15	60	12617.43
69	-42397.47	8833283.87	3.07	20000	20000	319	15	68	12617.43
70	-56092.20	8848138.99	1.54	20000	20000	319	15	44	12617.43
71	416667.13	8354326.16	6.15	20000	20000	319	15	64	17793.81
72	403429.03	8369298.22	7.69	20000	20000	319	15	60	17793.81
73	390185.44	8384274.92	7.69	20000	20000	319	15	72	17793.81
74	376915.09	8399234.23	7.69	20000	20000	319	15	68	17793.81
75	363639.58	8414198.56	7.69	20000	20000	319	15	52	17793.81
76	350348.43	8429145.93	6.15	20000	20000	319	15	44	17793.81
77	337030.95	8444087.51	6.15	20000	20000	319	15	60	17793.81
78	323708.81	8459034.69	9.22	20000	20000	319	15	60	17793.81
79	310360.71	8473965.39	10.76	20000	20000	319	15	56	17793.81
80	297008.37	8488891.01	10.76	20000	20000	319	15	64	17793.81
81	283630.22	8503822.64	12.30	20000	20000	319	15	64	17793.81
82	270248.26	8518738.53	12.30	20000	20000	319	15	60	17793.81
83	256851.72	8533649.83	9.22	20000	20000	319	15	64	17793.81
84	243429.83	8548567.72	6.15	20000	20000	319	15	64	17793.81
85	230004.64	8563470.44	4.61	20000	20000	319	15	68	17793.81
86	216554.38	8578380.12	3.07	20000	20000	319	15	56	17793.81
87	203101.17	8593275.03	4.61	20000	20000	319	15	40	17793.81
88	189634.18	8608166.33	7.69	20000	20000	319	15	44	17793.81
89	176142.58	8623065.17	10.76	20000	20000	319	15	44	17793.81
90	162648.53	8637949.83	12.30	20000	20000	319	15	48	17793.81
91	149130.29	8652831.35	13.83	20000	20000	319	15	56	17793.81
92	135609.67	8667721.24	13.83	20000	20000	319	15	60	17793.81
93	122076.20	8682597.43	12.30	20000	20000	319	15	64	17793.81
94	108518.86	8697482.14	10.76	20000	20000	319	15	68	17793.81
95	94959.90	8712353.68	9.22	20000	20000	319	15	64	17793.81
96	81377.52	8727223.05	6.15	20000	20000	319	15	60	17793.81
97	67793.55	8742101.82	3.07	20000	20000	319	15	72	17793.81
98	54197.54	8756967.88	1.54	20000	20000	319	15	56	17793.81
99	40829.28	8771913.53	0.00	20000	20000	319	15	0	17793.81
100	26958.47	8786706.89	1.54	20000	20000	319	15	60	17793.81
101	13315.85	8801569.14	3.07	20000	20000	319	15	56	17793.81
102	-327.37	8816430.75	3.07	20000	20000	319	15	52	17793.81
103	-13993.15	8831302.67	3.07	20000	20000	319	15	64	17793.81
104	-27659.05	8846163.27	3.07	20000	20000	319	15	60	17793.81
105	-41336.22	8861034.77	1.54	20000	20000	319	15	60	17793.81
106	431260.95	8366992.97	4.61	20000	20000	319	15	76	22970.19
107	418036.58	8381972.80	6.15	20000	20000	319	15	60	22970.19
108	404785.35	8396946.05	6.15	20000	20000	319	15	76	22970.19
109	391528.91	8411924.03	6.15	20000	20000	319	15	64	22970.19
110	378245.96	8426884.74	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
111	364958.20	8441839.51	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
112	351654.94	8456799.54	9.22	20000	20000	319	15	52	22970.19
113	338325.66	8471742.83	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
114	324992.01	8486691.83	13.83	20000	20000	319	15	60	22970.19
115	311632.66	8501624.46	12.30	20000	20000	319	15	56	22970.19
116	298269.34	8516552.12	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
117	284891.31	8531485.99	13.83	20000	20000	319	15	56	22970.19
118	271488.07	8546404.05	12.30	20000	20000	319	15	56	22970.19
119	258081.36	8561317.73	9.22	20000	20000	319	15	64	22970.19
120	244649.56	8576238.10	7.69	20000	20000	319	15	68	22970.19
121	231214.73	8591143.42	6.15	20000	20000	319	15	60	22970.19
122	217765.97	8606055.92	7.69	20000	20000	319	15	48	22970.19
123	204292.78	8620953.55	10.76	20000	20000	319	15	40	22970.19
124	190816.96	8635847.80	13.83	20000	20000	319	15	44	22970.19
125	177316.79	8650749.69	15.37	20000	20000	319	15	44	22970.19
126	163814.44	8665637.53	15.37	20000	20000	319	15	48	22970.19
127	150288.17	8680522.34	13.83	20000	20000	319	15	52	22970.19
128	136759.80	8695415.64	12.30	20000	20000	319	15	60	22970.19
129	123218.85	8710295.36	12.30	20000	20000	319	15	64	22970.19
130	109654.42	8725172.64	10.76	20000	20000	319	15	64	22970.19
131	96088.38	8740059.02	7.69	20000	20000	319	15	52	22970.19
132	82499.31	8754932.28	4.61	20000	20000	319	15	48	22970.19
133	68908.94	8769815.05	1.54	20000	20000	319	15	72	22970.19



PERÚ

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras Ciudades



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



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
134	55557.78	8784755.15	0.00	20000	20000	319	15	0	22970.19
135	42194.97	8799705.17	0.00	20000	20000	319	15	0	22970.19
136	28056.25	8814432.86	1.54	20000	20000	319	15	60	22970.19
137	14408.31	8829299.61	1.54	20000	20000	319	15	64	22970.19
138	760.03	8844165.83	3.07	20000	20000	319	15	52	22970.19
139	-12899.55	8859042.65	1.54	20000	20000	319	15	44	22970.19
140	-26580.94	8873907.95	1.54	20000	20000	319	15	52	22970.19
141	445880.77	8379639.18	3.07	20000	20000	319	15	48	28146.57
142	432648.43	8394637.73	3.07	20000	20000	319	15	56	28146.57
143	419410.90	8409618.62	4.61	20000	20000	319	15	56	28146.57
144	406146.75	8424593.03	3.07	20000	20000	319	15	52	28146.57
145	392877.68	8439572.29	4.61	20000	20000	319	15	52	28146.57
146	379593.16	8454534.43	7.69	20000	20000	319	15	60	28146.57
147	366282.50	8469490.63	9.22	20000	20000	319	15	56	28146.57
148	352967.42	8484452.25	12.30	20000	20000	319	15	60	28146.57
149	339626.57	8499397.24	13.83	20000	20000	319	15	64	28146.57
150	326281.63	8514348.05	12.30	20000	20000	319	15	56	28146.57
151	312922.08	8529282.67	13.83	20000	20000	319	15	56	28146.57
152	299537.17	8544212.28	13.83	20000	20000	319	15	52	28146.57
153	286148.66	8559148.29	12.30	20000	20000	319	15	48	28146.57
154	272735.19	8574068.60	10.76	20000	20000	319	15	52	28146.57
155	259318.53	8588984.63	9.22	20000	20000	319	15	64	28146.57
156	245877.04	8603907.48	9.22	20000	20000	319	15	60	28146.57
157	232432.79	8618815.39	10.76	20000	20000	319	15	48	28146.57
158	218975.00	8633719.52	12.30	20000	20000	319	15	40	28146.57
159	205492.82	8648631.04	13.83	20000	20000	319	15	40	28146.57
160	192008.40	8663528.21	15.37	20000	20000	319	15	48	28146.57
161	178499.89	8678433.15	13.83	20000	20000	319	15	56	28146.57
162	164989.47	8693324.16	15.37	20000	20000	319	15	56	28146.57
163	151466.31	8708212.37	13.83	20000	20000	319	15	64	28146.57
164	137919.49	8723108.95	13.83	20000	20000	319	15	60	28146.57
165	124371.28	8737992.18	12.30	20000	20000	319	15	64	28146.57
166	110799.86	8752873.10	9.22	20000	20000	319	15	56	28146.57
167	97227.11	8767763.23	6.15	20000	20000	319	15	56	28146.57
168	83642.52	8782640.50	3.07	20000	20000	319	15	52	28146.57
169	70297.07	8797597.02	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
170	56940.37	8812541.21	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
171	42796.48	8827274.41	1.54	20000	20000	319	15	72	28146.57
172	29165.44	8842157.65	1.54	20000	20000	319	15	64	28146.57
173	15512.39	8857028.88	1.54	20000	20000	319	15	44	28146.57
174	1859.30	8871899.70	1.54	20000	20000	319	15	40	28146.57
175	-11508.97	8886852.02	0.00	20000	20000	319	15	0	28146.57
176	460504.91	8392287.04	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
177	447286.04	8407282.20	1.54	20000	20000	319	15	64	33322.95
178	434040.48	8422281.70	1.54	20000	20000	319	15	80	33322.95
179	420789.99	8437263.63	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
180	407513.16	8452239.20	3.07	20000	20000	319	15	80	33322.95
181	394231.68	8467219.71	6.15	20000	20000	319	15	76	33322.95
182	380935.02	8482183.20	7.69	20000	20000	319	15	72	33322.95
183	367612.47	8497140.87	10.76	20000	20000	319	15	72	33322.95
184	354285.79	8512104.07	13.83	20000	20000	319	15	68	33322.95
185	340944.43	8527050.81	12.30	20000	20000	319	15	68	33322.95
186	327577.65	8541992.28	12.30	20000	20000	319	15	60	33322.95
187	314207.23	8556939.87	13.83	20000	20000	319	15	52	33322.95
188	300811.78	8571871.49	13.83	20000	20000	319	15	40	33322.95
189	287413.01	8586809.62	10.76	20000	20000	319	15	44	33322.95
190	273989.53	8601732.17	9.22	20000	20000	319	15	52	33322.95
191	260563.15	8616650.56	10.76	20000	20000	319	15	52	33322.95
192	247123.07	8631575.96	10.76	20000	20000	319	15	48	33322.95
193	233658.76	8646486.34	10.76	20000	20000	319	15	44	33322.95
194	220192.05	8661393.16	10.76	20000	20000	319	15	40	33322.95
195	206701.22	8676307.49	12.30	20000	20000	319	15	48	33322.95
196	193208.42	8691207.58	12.30	20000	20000	319	15	56	33322.95
197	179702.70	8706115.67	13.83	20000	20000	319	15	64	33322.95
198	166173.53	8721009.71	13.83	20000	20000	319	15	56	33322.95
199	152642.80	8735901.19	13.83	20000	20000	319	15	52	33322.95
200	139088.68	8750801.16	12.30	20000	20000	319	15	56	33322.95
201	125533.44	8765687.90	9.22	20000	20000	319	15	60	33322.95



PERÚ

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras Ciudades



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



Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
202	111966.19	8780572.57	6.15	20000	20000	319	15	48	33322.95
203	98376.01	8795466.31	3.07	20000	20000	319	15	52	33322.95
204	84785.21	8810347.45	1.54	20000	20000	319	15	40	33322.95
205	71171.90	8825226.98	1.54	20000	20000	319	15	68	33322.95
206	57558.04	8840116.47	1.54	20000	20000	319	15	60	33322.95
207	43922.11	8854993.68	1.54	20000	20000	319	15	56	33322.95
208	30285.95	8869881.26	1.54	20000	20000	319	15	52	33322.95
209	16934.81	8884827.62	0.00	20000	20000	319	15	0	33322.95
210	3562.08	8899784.63	0.00	20000	20000	319	15	0	33322.95
211	475154.84	8404914.66	1.54	20000	20000	319	15	76	38499.33
212	461927.70	8419928.48	1.54	20000	20000	319	15	52	38499.33
213	448695.57	8434924.46	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
214	435437.03	8449913.82	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
215	422173.79	8464907.84	3.07	20000	20000	319	15	60	38499.33
216	408895.30	8479884.58	4.61	20000	20000	319	15	44	38499.33
217	395590.82	8494866.30	6.15	20000	20000	319	15	68	38499.33
218	382282.24	8509831.14	7.69	20000	20000	319	15	76	38499.33
219	368948.03	8524790.26	10.76	20000	20000	319	15	64	38499.33
220	355609.96	8539755.02	12.30	20000	20000	319	15	60	38499.33
221	342257.49	8554703.43	12.30	20000	20000	319	15	56	38499.33
222	328879.86	8569646.68	12.30	20000	20000	319	15	48	38499.33
223	315498.86	8584596.15	12.30	20000	20000	319	15	40	38499.33
224	302093.09	8599529.77	10.76	20000	20000	319	15	40	38499.33
225	288684.28	8614470.02	9.22	20000	20000	319	15	44	38499.33
226	275261.90	8629394.87	10.76	20000	20000	319	15	44	38499.33
227	261815.14	8644315.50	10.76	20000	20000	319	15	48	38499.33
228	248365.84	8659243.35	9.22	20000	20000	319	15	44	38499.33
229	234892.56	8674156.30	7.69	20000	20000	319	15	44	38499.33
230	221417.15	8689065.80	9.22	20000	20000	319	15	56	38499.33
231	207928.80	8703983.02	10.76	20000	20000	319	15	64	38499.33
232	194416.93	8718885.91	12.30	20000	20000	319	15	64	38499.33
233	180903.45	8733785.96	12.30	20000	20000	319	15	56	38499.33
234	167366.55	8748694.21	13.83	20000	20000	319	15	48	38499.33
235	153828.47	8763588.95	12.30	20000	20000	319	15	48	38499.33
236	140267.27	8778492.29	9.22	20000	20000	319	15	48	38499.33
237	126705.23	8793382.52	4.61	20000	20000	319	15	44	38499.33
238	113131.45	8808270.80	3.07	20000	20000	319	15	68	38499.33
239	99535.00	8823168.28	1.54	20000	20000	319	15	60	38499.33
240	85938.21	8838053.26	1.54	20000	20000	319	15	56	38499.33
241	72603.49	8853017.83	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
242	59269.05	8867970.46	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
243	45912.84	8882933.23	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
244	32557.11	8897895.54	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
245	19180.19	8912846.23	0.00	20000	20000	319	15	0	38499.33
246	489808.88	8417544.32	1.54	20000	20000	319	15	52	43675.71
247	476594.91	8432554.66	1.54	20000	20000	319	15	44	43675.71
248	463354.45	8447569.18	1.54	20000	20000	319	15	64	43675.71
249	450109.28	8462565.97	1.54	20000	20000	319	15	64	43675.71
250	436848.76	8477556.26	1.54	20000	20000	319	15	48	43675.71
251	423562.21	8492551.27	1.54	20000	20000	319	15	56	43675.71
252	410271.48	8507529.12	3.07	20000	20000	319	15	40	43675.71
253	396955.02	8522512.06	4.61	20000	20000	319	15	64	43675.71
254	383634.74	8537478.23	7.69	20000	20000	319	15	56	43675.71
255	370299.93	8552438.85	10.76	20000	20000	319	15	56	43675.71
256	356939.86	8567405.10	10.76	20000	20000	319	15	52	43675.71
257	343576.49	8582355.16	10.76	20000	20000	319	15	44	43675.71
258	330188.23	8597300.18	9.22	20000	20000	319	15	44	43675.71
259	316796.88	8612251.52	7.69	20000	20000	319	15	48	43675.71
260	303381.02	8627187.13	6.15	20000	20000	319	15	44	43675.71
261	289962.48	8642118.41	6.15	20000	20000	319	15	40	43675.71
262	276530.47	8657056.53	6.15	20000	20000	319	15	40	43675.71
263	263074.43	8671979.49	4.61	20000	20000	319	15	48	43675.71
264	249616.12	8686909.77	4.61	20000	20000	319	15	56	43675.71
265	236134.09	8701825.27	6.15	20000	20000	319	15	64	43675.71
266	222650.22	8716737.43	7.69	20000	20000	319	15	56	43675.71
267	209153.67	8731657.42	7.69	20000	20000	319	15	60	43675.71
268	195633.87	8746563.21	9.22	20000	20000	319	15	56	43675.71
269	182112.73	8761466.27	9.22	20000	20000	319	15	44	43675.71



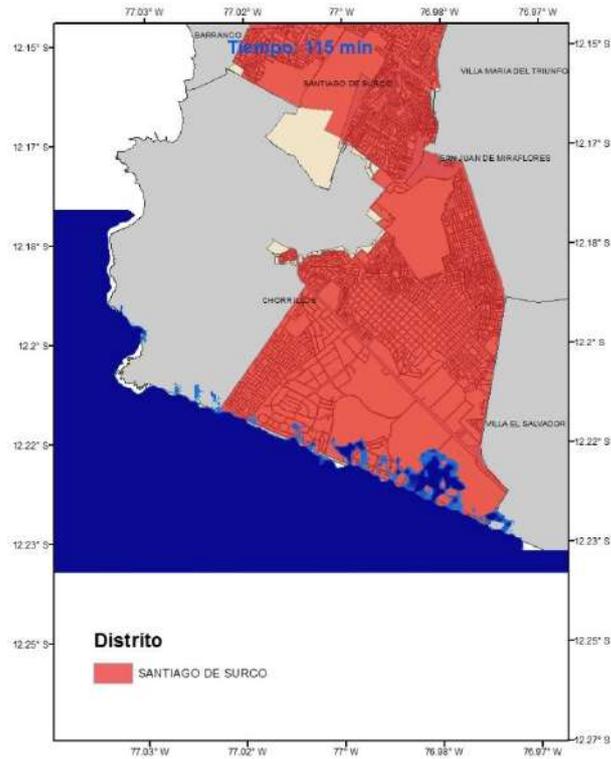
Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azímüt (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
270	168568.43	8776377.65	10.76	20000	20000	319	15	40	43675.71
271	155023.24	8791275.63	7.69	20000	20000	319	15	44	43675.71
272	141466.14	8806182.45	4.61	20000	20000	319	15	40	43675.71
273	127886.57	8821076.05	3.07	20000	20000	319	15	44	43675.71
274	114306.49	8835967.93	3.07	20000	20000	319	15	60	43675.71
275	100704.00	8850869.13	1.54	20000	20000	319	15	40	43675.71
276	87101.45	8865757.95	1.54	20000	20000	319	15	72	43675.71
277	73772.46	8880726.52	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
278	60444.04	8895683.26	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
279	47094.12	8910650.27	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71
280	33733.96	8925616.80	0.00	20000	20000	319	15	0	43675.71

ANEXO II. Tabla de los parámetros de la fuente sísmica que considera 5 sub fallas.

Sub falla	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Deslizamiento (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azímüt (°)	Inmersión (°)	Deslizamiento (°)	Profundidad (m)
1	238821.00	8428801.00	9.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
2	182650.00	8522063.00	17.50	110000	140000	329	20	90	8000.00
3	126139.00	8615283.00	17.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
4	69317.00	8708472.00	7.00	110000	140000	329	20	90	8000.00
5	12218.00	8801664.00	7.00	110000	140000	329	20	90	8000.00



ANEXO III. Instante de máxima inundación para el evento de 8.8 Mw.





ANEXO IV. Instante de máxima inundación para el evento de 8.9 Mw.

