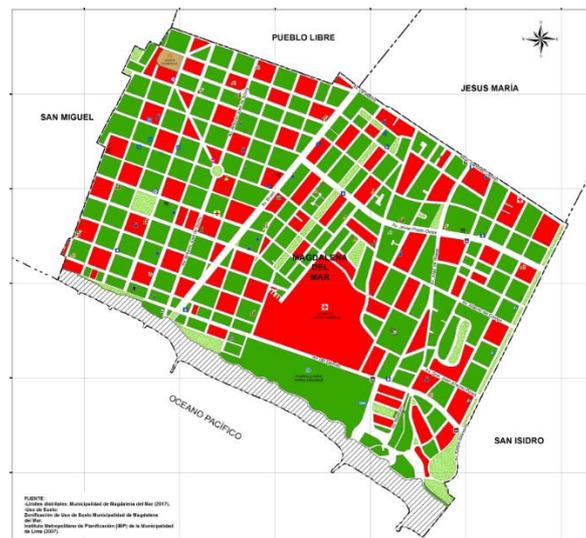




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



PROGRAMA	0068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE PRESUPUESTAL EMERGENCIAS POR DESASTRES
PRODUCTO	3000562. MUNICIPIOS PROMUEVEN LA ADECUADA OCUPACIÓN Y USO DEL TERRITORIO FRENTE AL RIESGO DE DESASTRES
ACTIVIDAD	5001593. FORMULACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO A NIVEL URBANO
FINALIDAD	0053449. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TERRITORIALES PARA LA INCORPORACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS
INFORME	ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS URBANAS DEL DISTRITO DE MAGDALENA



LIMA, JUNIO 2017



ÍNDICE

ÍNDICE	1
1. ANTECEDENTES.....	8
2. INTRODUCCIÓN	8
3. MAPAS DE VULNERABILIDAD	9
3.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral.....	9
3.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal	9
3.1.2. Metodología de toma de datos.....	9
3.1.3. Plantilla para la encuesta	9
3.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo	11
3.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo.....	12
3.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos	13
3.1.7. Sistematización de la Información.....	13
3.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar.....	14
3.2. Informe de campo.....	16
3.2.1. Edificaciones.....	16
3.2.2. Edificaciones esenciales	18
3.3. Base de datos geo-espacial	31
3.3.1. Mapa de Uso de Suelo	33
3.3.2. Mapa de Materiales Predominantes.....	34
3.3.3. Mapa de Alturas de Edificación	35
3.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales	37
3.3.5. Mapa de Estado de Conservación	39
3.3.6. Mapa de Vulnerabilidad.....	40
4. MAPAS DE RIESGO	46
4.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico	46



4.2.	Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico	46
4.3.	Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo	49
5.	MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI.....	50
5.1.	Sismicidad en el Perú	51
5.2.	Tsunamis históricos en el Perú	53
5.3.	Ámbito de Estudio	55
5.4.	Procedimiento de Análisis.....	56
5.5.	Consideraciones Teóricas.....	57
5.5.1.	Conceptos Básicos	57
5.6.	Análisis del Tsunami para el distrito de Magdalena del Mar	62
5.6.1.	Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano.....	62
5.6.2.	Fase de la Propagación del Tsunami.....	65
5.6.3.	Fase de Inundación	69
5.7.	Análisis de Resultados	72
5.8.	Recomendaciones.....	73
6.	REFERENCIAS	74
ANEXO I. TABLA DE LOS PARÁMETROS DE LA FUENTE SÍSMICA QUE CONSIDERA 280 SUB FALLAS.		81
ANEXO II. TABLA DE LOS PARÁMETROS DE LA FUENTE SÍSMICA QUE CONSIDERA 5 SUB FALLAS.		85



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote	10
Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana	11
Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de Magdalena	12
Figura 4. Manzanas totales (260) versus manzanas seleccionadas (86)	15
Figura 5. Edificaciones del sector 1; vivienda de mampostería de dos y tres pisos	16
Figura 6. Edificaciones de dos pisos de techo aligerado del sector 01	17
Figura 7. Vivienda de mampostería de dos y tres pisos del Sector 02	17
Figura 8. Edificaciones de dos pisos de techo aligerado del sector 02	18
Figura 9. I.E.I. María Auxiliadora	19
Figura 10. I.E. Miguel Grau	19
Figura 11: C.E.B.E. N°14 La Sagrada Familia	19
Figura 12 Colegio José Antonio Encinas	19
Figura 13: Colegio Nuestra Señora de la Paz.....	20
Figura 14 Facultad de Ingeniería Civil de la UNFV	20
Figura 15: Colegio Santa María de la Gracia.....	20
Figura 16: Colegio Salesiano Rosenthal de la Puente	20
Figura 17: C.E.P Madre Angélica Recharte	21
Figura 18: I.E. Colegio Alas Peruano Argentino	21
Figura 19: I.E. N°1104 Coronel F.A.P. Víctor Maldonado Begazo	22
Figura 20: Colegio Reina del Carmelo.....	22
Figura 21: I Bubble Kids	22
Figura 22. CETPRO Magdalena.....	22
Figura 23: Clínica Pro Vida ESSALUD	23
Figura 24: Clínica de Ojos OPRECE	23
Figura 25: Comisaría de Magdalena.....	23
Figura 26: Templo Vida Nueva	24
Figura 27: Iglesia Evangélica Casa de Oración	24
Figura 28: Iglesia Inmaculado Corazón de María	24
Figura 29: Parroquia Sagrado Corazón de Jesús	24



Figura 30. Iglesia Religiosas Franciscanas de la Inmaculada Concepción	25
Figura 31. Colegio Atusparia "	25
Figura 32. I.E.I. Gotita de Miel	25
Figura 33. I.E. 1094 Jacaranda	26
Figura 34. Colegio Peruano Japonés La Victoria.....	26
Figura 35. I.E.I. My Kingdom	26
Figura 36 Colegio República Dominicana.....	26
Figura 37. Facultad de la Comunicación, Turismo y Hotelería - UIGV	27
Figura 38. Clínica "MEDSOLUTIONS"	27
Figura 39. Centro Médico "Medicis"	28
Figura 40. Hospital Larco Herrera	28
Figura 41. Municipalidad de Magdalena del Mar	28
Figura 42. Parroquia San Juan María Vianney	28
Figura 43. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días	29
Figura 44. Capilla San José de Cluny.....	29
Figura 45. Colegio Sor Rosa Larrabure	29
Figura 46. Nido Kukuli	29
Figura 47. Colegio Parroquial San Juan Maria Vianney.....	30
Figura 48. Universidad Le Cordon Bleu.....	30
Figura 49. Base de datos de los lotes representativos por manzana	31
Figura 50. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento	33
Figura 51. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Magdalena	34
Figura 52. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Magdalena	34
Figura 53. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito Magdalena	35
Figura 54. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del distrito de Magdalena	35
Figura 55. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Magdalena	36
Figura 56. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Magdalena	37



Figura 57. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Magdalena ..38	
Figura 58. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Magdalena38	
Figura 59. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Magdalena39	
Figura 60. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Magdalena39	
Figura 61. Edificación representada por un sistema equivalente41	
Figura 62. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Magdalena.....45	
Figura 63. Proceso de generación del mapa de riesgo.....47	
Figura 64. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas48	
Figura 65. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).....49	
Figura 66. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2017 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).....52	
Figura 67. 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)53	
Figura 68. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.54	
Figura 69. 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).55	
Figura 70. Localización del distrito de Magdalena del Mar.56	
Figura 71. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).57	
Figura 72. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.60	
Figura 73. 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.62	
Figura 74. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de Mw 8.8. Los puntos representan la sismicidad histórica64	
Figura 75. Deformación inicial de la superficie del fondo del océano para el sismo de Mw 8.9. Los puntos representan la sismicidad histórica64	



Figura 76. 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) ..65	65
Figura 77. 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.66	66
Figura 78. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas de Magdalena. ...67	67
Figura 79. Señal sintética del tsunami para el escenario de Mw = 8.8 en las costas de Magdalena del Mar.....67	67
Figura 80. 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.68	68
Figura 81. Señal sintética del tsunami para el escenario de Mw = 8.9 en las costas de Magdalena del Mar.....69	69
Figura 82. Alturas máximas de onda a lo largo de la costa de Magdalena para ambos escenarios.....70	70
Figura 83. Profundidades de inundación para Magdalena del Mar con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw.71	71
Figura 84. Profundidades de inundación para Magdalena del Mar con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw.72	72



LISTA TABLAS

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos	32
Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de Magdalena para un escenario de sismo severo	49
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales.....	50
Tabla 4. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.	53
Tabla 5. Parámetros de fuente sísmica para el cálculo de la deformación inicial de la superficie del océano, definidos en la Figura 72.	63
Tabla 6. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica.....	69
Tabla 7. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami	70
Tabla 8. Valores corregidos de alturas máximas de olas.....	71



Análisis de Riesgo en Zonas Urbanas del Distrito de Magdalena

1. ANTECEDENTES

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

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

2. INTRODUCCIÓN

El distrito de Magdalena es uno de los 43 distritos de la provincia de Lima y está situado en la parte norcentral occidental del territorio peruano. Posee un área de 3.61Km². Limita con los siguientes distritos, por el Norte con San Miguel; por el Este con Pueblo Libre y Jesús María; por el Sur con San Isidro y por el Oeste con el Océano Pacífico.

Acerca de la Historia del distrito de Magdalena

Las primeras referencias de Magdalena se remontan a los inicios de la Colonia. Cuando, por orden del Virrey Márquez de Cañete, se ordena la reducción de los pobladores de Lima, Maranga y Huadca al Convento de Santa María de Magdalena (hoy Pueblo Libre o Magdalena Vieja) que fue administrado por los curas franciscanos hasta 1758.

En 1857, a inicios de la etapa republicana, se crean los primeros distritos en todo el Perú, el presidente don Ramón Castilla llegó a promulgar un Decreto nombrando Juntas de Notables en los pueblos aislados de Lima, entre los que se encontraba Magdalena. Luego, Ricardo Rey y Basadre, Rodolfo de Rutte y Félix Dibos, emprenden la creación de una nueva ciudad y compran los terrenos donde el 1 de julio de 1872 la fundan con el nombre de Marbella, luego por Magdalena en la Provincia de Lima (Por Ley del 2 de Enero de 1857).



En 1872, apenas un año después que se terminara la demolición de las murallas de Lima, se crea un nuevo poblado, por iniciativa privada de dos ciudadanos peruanos y dos extranjeros, quienes deciden formar un pueblo al que en un principio llamarían Marbella cambiándole luego por el nombre definitivo de Magdalena del Mar, el día 1 de Julio de 1872. Este día sería tomado como la fecha de aniversario del distrito.

Así mismo en el desarrollo urbano de Lima, Magdalena del Mar jugó un importantísimo papel ya que fue el primer poblado y al mismo tiempo balneario, que se convirtió en un polo de desarrollo, originándose luego y a partir del mismo, una serie de nuevas urbanizaciones.

En 1920, el antiguo distrito de Magdalena se divide en tres partes, elevando a la categoría de Distrito al pueblo de Magdalena que ya contaba con 48 años de existencia y creándose también los distritos de San Miguel y de Magdalena Vieja (Ley N° 4101 del 10 de Mayo de 1920, con el Presidente Manuel Prado Ugarteche se eleva a la categoría de ciudad).

3. MAPAS DE VULNERABILIDAD

3.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

3.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

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

3.1.2. Metodología de toma de datos

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

3.1.3. Plantilla para la encuesta

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

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

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

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

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote

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

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

3.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

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



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

c) Verificación de los datos recogidos

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

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

c2 – Un control de calidad en gabinete:

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

3.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georeferenciación.

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

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

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

3.1.7. Sistematización de la Información

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

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 33% del total de manzanas debe ser evaluado.



3.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar

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

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

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

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas Norte como Este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de la selección de las manzanas. Es así que se generaron números aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de las 86 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 86 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 33%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle de las manzanas que fueron evaluadas.

3.2. Informe de campo

3.2.1. Edificaciones

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

SECTOR 01

El Sector 01 limita al Sur con la Costa Verde, colinda al Norte con la Av. La Marina; al Este con la Av. Brasil y el Sector 02 y por el Oeste colinda con el distrito de San Miguel. En este sector existe un total de 128 manzanas, de las cuales 42 manzanas fueron evaluadas.

En este sector las edificaciones en su mayoría son de dos y tres pisos cuyo material predominante es la albañilería. Las edificaciones presentan estados de conservación regular como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5. Edificaciones del sector 1; vivienda de mampostería de dos y tres pisos

Asimismo, la mayoría de las edificaciones de este sector presentan techo de losa aligerada, además no presentan humedad ni asentamiento en la base, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Edificaciones de dos pisos de techo aligerado del sector 01

SECTOR 02

El Sector 02 limita al Sur con la Costa Verde, colinda al Norte con la Av. Sánchez Carrión y el distrito de Jesús María; al Este con la Av. Salaverry y el distrito de San Isidro y por el Oeste colinda con la Av. Brasil y el Sector 01. En este sector existe un total de 132 manzanas, de las cuales 45 manzanas fueron evaluadas.

En este sector las edificaciones en su mayoría son de dos y tres pisos cuyo material predominante es la mampostería. Las edificaciones presentan estados de conservación regular como se puede observar en la Figura 7.



Figura 7. Vivienda de mampostería de dos y tres pisos del Sector 02

Asimismo, la mayoría de las edificaciones de este sector presentan techo de losa aligerada, además no presentan humedad ni asentamiento en la base, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Edificaciones de dos pisos de techo aligerado del sector 02

3.2.2. Edificaciones esenciales

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta médica, comisaría, etc., los que podrían ser utilizados como refugio temporal de las personas damnificadas si la autoridad lo cree conveniente, de manera que fue tratada como una edificación sobre la cual deseamos conocer aproximadamente su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del estudio, de acuerdo 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 01

En este sector se encuentran algunas edificaciones esenciales, entre los que encontramos:

La I.E.I. “María Auxiliadora” que se ubica en la manzana 112, es una edificación de dos pisos, que presenta un sistema estructural aporticado y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 9

En la manzana 86, se encuentra la I.E. Miguel Grau. Esta edificación presenta tres pisos y está construido a base de pórticos de concreto armado y techo de losa aligerada. En la Figura 10 se puede apreciar que la edificación presenta un buen estado de conservación.



Figura 9. I.E.I. María Auxiliadora



Figura 10. I.E. Miguel Grau

Se puede presenciar en la Figura 11 el C.E.B.E. N°14 “La Sagrada Familia”, que se ubica en la manzana 118. La edificación tiene dos pisos y un sistema estructural de pórticos de concreto armado, además presenta techo de losa aligerada. En el centro educativo se puede apreciar un regular estado de conservación.

En la manzana 168, se encuentra el Colegio “José Antonio Encinas”, de tres pisos, construido a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y presenta techo de losa aligerada. Se puede observar en la Figura 12 que la estructura presenta un regular estado de conservación.



Figura 11: C.E.B.E. N°14 La Sagrada Familia



Figura 12 Colegio José Antonio Encinas

En la Figura 13, se puede observar el Colegio “Nuestra Señora de la Paz”, que se encuentra en la manzana 206. El colegio presenta tres pisos, un sistema estructural aporticado y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.

En la manzana 166, se encuentra las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil de la “Universidad Nacional Federico Villarreal”, la cual presenta cuatro pisos, construido a base de pórticos y placas de concreto armado con techo de losa aligerada como se puede apreciar en la Figura 14. La edificación presenta un buen estado de conservación.



Figura 13: Colegio Nuestra Señora de la Paz



Figura 14 Facultad de Ingeniería Civil de la UNFV

Se puede observar en la Figura 15, el Colegio “Santa María de la Gracia”, el cual presenta dos pisos y cuyo sistema estructural es a base de mampostería confinada con techo de losa aligerada. El centro educativo se encuentra ubicado en la manzana 122, además la edificación presenta un mal estado de conservación.

El Colegio “Salesiano Rosenthal de la Puente” se encuentra en la manzana 145. La edificación tiene tres pisos y construido a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 16.



Figura 15: Colegio Santa María de la Gracia



Figura 16: Colegio Salesiano Rosenthal de la Puente

En la manzana 63, se encuentra ubicado el C.E.P. “Madre Angélica Recharte”, el cual presenta tres pisos y un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerado. El centro educativo presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 17.

En la Figura 18, se aprecia el Colegio “Alas Peruano Argentino”, de dos pisos y construido a base de mampostería confinada con techo de losa aligerada. El centro educativo se encuentra en la manzana 135, además la estructura presenta un regular estado de conservación.



Figura 17: C.E.P Madre Angélica Recharte



Figura 18: I.E. Colegio Alas Peruano Argentino

La I.E. N°1104 “Coronel F.A.P. Víctor Maldonado Begazo” se encuentra en la manzana 107. La edificación tiene tres pisos y cuyo sistema estructural es de pórticos con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. En la Figura 19 se puede apreciar que la estructura se encuentra en un regular estado de conservación.

En la manzana 68 se encuentra ubicado el Colegio “Reina del Carmelo”, el cual presenta tres pisos y construido a base de mampostería confinada con techo de losa aligerada. La edificación presenta un regular estado de conservación como se observa en la Figura 20.



Figura 19: I.E. N°1104 Coronel F.A.P. Víctor Maldonado Begazo



Figura 20: Colegio Reina del Carmelo

En la Figura 21 se muestra a la I. E. I. “Bubble Kids”; la cual consta de dos pisos y cuyo sistema estructural es de mampostería confinada y presenta techo de losa aligerada, además, se encuentra en un regular estado de conservación. La ubicación de la institución educativa es en la manzana 121.

El CETPRO Magdalena se encuentra en la manzana 135. La edificación tiene dos pisos y presenta un sistema estructural a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. En la Figura 22 se puede apreciar que la estructura se encuentra en un regular estado de conservación.



Figura 21: I Bubble Kids



Figura 22. CETPRO Magdalena

La Clínica “Pro Vida ESSALUD”, es una estructura que tiene como ubicación la manzana 113. La estructura presenta dos pisos y está construida a base de mampostería confinada con

techo de cobertura ligera. La edificación presenta un regular estado de conservación como se aprecia en la Figura 23.

En la manzana 91 se encuentra ubicada la Clínica de Ojos “OPRECE”, la cual presenta un sistema estructural de mampostería confinada con techo de losa aligerada. Asimismo, la edificación consta de tres pisos y presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 24.



Figura 23: Clínica Pro Vida ESSALUD



Figura 24: Clínica de Ojos OPRECE

En la Figura 25 se observa a la “Comisaría de Magdalena”, la cual consta de dos pisos y un sistema estructural aporticado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada, a su vez la edificación presenta un regular estado de conservación. Asimismo, la estructura se encuentra ubicada en la manzana 63.



Figura 25: Comisaría de Magdalena

El Templo “Vida Nueva” es una estructura que se ubica en la manzana 64. El templo presenta cuatro pisos y construido a base de pórticos de concreto armado con techo de losa aligerada. La edificación se encuentra en un buen estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 26.

En la manzana 51 se encuentra ubicada la Iglesia Evangélica “Casa de Oración”, cuyo sistema estructural es de pórticos de concreto armado y consta de techo de losa aligerada. En la Figura 27, se muestra que la estructura presenta cinco pisos y se encuentra en un buen estado de conservación.



Figura 26: Templo Vida Nueva



Figura 27: Iglesia Evangélica Casa de Oración

En la Figura 28 se puede observar a la Iglesia “Inmaculado Corazón de María”, que se encuentra ubicada en la manzana 55.

En la manzana 145 se ubica la Parroquia Sagrado Corazón de Jesús como se muestra en la Figura 29.



Figura 28: Iglesia Inmaculado Corazón de María



Figura 29: Parroquia Sagrado Corazón de Jesús

En la Figura 30 se aprecia a la Iglesia “Religiosas Franciscanas de la Inmaculada Concepción” cuya ubicación es en la manzana 125.



Figura 30. Iglesia Religiosas Franciscanas de la Inmaculada Concepción

SECTOR 02

En este sector se encuentran algunas edificaciones esenciales, entre las cuales encontramos:

En la manzana 161 se encuentra ubicado el Colegio “Atusparia”, construido a base de mampostería confinada con techo de losa aligerada. En la Figura 31 se puede observar que la edificación presenta tres pisos y se encuentra en un regular estado de conservación.

En la Figura 32 se muestra la I.E.I. “Gotita de Miel”, que se encuentra en la manzana 245 y la cual presenta dos pisos y un sistema estructural de mampostería confinada con techo de losa aligerada. La estructura se encuentra en un regular estado de conservación.



Figura 31. Colegio Atusparia "



Figura 32. I.E.I. Gotita de Miel

La I.E. "1094 Jacaranda" consta de dos pisos, cuyo sistema estructural es a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. El centro educativo se encuentra ubicado en la manzana 149, además, la estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 33.

El Colegio Peruano Japonés "La Victoria" consta de tres pisos, cuyo sistema estructural es a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. El centro educativo se encuentra ubicado en la manzana 158, además, la estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 34.



Figura 33. I.E. 1094 Jacaranda



Figura 34. Colegio Peruano Japonés La Victoria

En la manzana 162 se encuentra ubicada la I.E.P. "My Kingdom", construida a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. En la Figura 35 se puede observar que la edificación presenta tres pisos y se encuentra en un regular estado de conservación.

El Colegio "República Dominicana" consta de tres pisos, cuyo sistema estructural es a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. El centro educativo se encuentra ubicado en la manzana 241, además, la estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 36.



Figura 35. I.E.I. My Kingdom



Figura 36 Colegio República Dominicana

En la Figura 37 se muestra a la Facultad de la Comunicación, Turismo y Hotelería de la “Universidad Inca Garcilaso de la Vega”, que se encuentra en la manzana 12 y la cual presenta tres pisos, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.

La Clínica “MEDSOLUTIONS” consta de dos pisos cuyo sistema estructural es a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. La edificación se encuentra ubicada en la manzana 131, además, la estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 38.



Figura 37. Facultad de la Comunicación,
Turismo y Hotelería - UIGV



Figura 38. Clínica “MEDSOLUTIONS”

En la manzana 245 se encuentra ubicado el Centro Médico “Medicis”, construido a base mampostería confinada y techo de losa aligerada. En la Figura 39 se puede observar que la edificación presenta tres pisos y se encuentra en un regular estado de conservación.

En la Figura 40 se muestra al Hospital “Larco Herrera”, que se encuentra en la manzana 180 y el cual presenta dos pisos, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.



Figura 39. Centro Médico “Medicis”



Figura 40. Hospital Larco Herrera

La Municipalidad de “Magdalena del Mar” se encuentra ubicada en la manzana 130, consta de dos pisos y presenta un regular estado de conservación como se observa en la Figura 41.

En la manzana 133 se muestra la Parroquia “San Juan María Vianney” que se encuentra en la Figura 42, y la cual presenta un piso, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.



Figura 41. Municipalidad de Magdalena del Mar



Figura 42. Parroquia San Juan María Vianney

La Iglesia de “Jesucristo de los Santos de los Últimos Días” consta de un piso cuyo sistema estructural es a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa

aligerada. La edificación se encuentra ubicada en la manzana 141, además, la estructura presenta un regular estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 43.

En la manzana 211 se encuentra ubicada la Capilla “San José de Cluny”, construida a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. En la Figura 44 se puede observar que la edificación presenta dos pisos y se encuentra en un regular estado de conservación.



Figura 43. Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días



Figura 44. Capilla San José de Cluny

El Colegio “Sor Rosa Larrabure”, se encuentra en la manzana 26, conforme la Figura 45 el cual presenta cuatro pisos, con un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.

En la manzana 138 se encuentra al “Nido Kukuli”, se muestra en la Figura 46. Presenta tres pisos, con un sistema estructural a base de mampostería confinada y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación.



Figura 45. Colegio Sor Rosa Larrabure



Figura 46. Nido Kukuli

El Colegio “Parroquial San Juan Maria Vianney”, que se encuentra en la manzana 158 y presenta cuatro pisos, con un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados y techo de losa aligerada. La estructura presenta un regular estado de conservación y se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Colegio Parroquial San Juan Maria Vianney



Figura 48. Universidad Le Cordon Bleu

En la Figura 48 se muestra la “Universidad Le Cordon Bleu”, que se encuentra en la manzana 20 y el cual presenta diez pisos, con un sistema estructural a base de muros de concreto armado y techo de losa aligerada. La estructura presenta un buen estado de conservación.

3.3. Base de datos geo-espacial

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

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación, así como el código de la manzana. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la selección del lote representativo, se considera aquel que representa las características más frecuentes, es decir, aquella edificación que se repite más veces, dentro de la manzana evaluada- En la Figura 49 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRE													
Levantamiento de Información - Distrito de Lince - Lima - Lima													
Num	CodMza	LoteRepre	Cond. De Cimentación		Techo	Fisuras			Unidad de Albañilería				Foto Representativa
			CimentA	CimentH		FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	FabricaAlb	TipoAlb	Confina	Tarrajeo	
1	125	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140423.jpg
2	45	04MMMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140424.jpg
3	221	03CEPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140425.jpg
4	184	04CHPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140430.jpg
5	150	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140432.jpg
6	12	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140436.jpg
7	104	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140440.jpg
8	15	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140441.jpg
9	169	10CHPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140443.jpg
10	24	04MMNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140444.jpg
11	16	05CEIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140446.jpg
12	214	18CYCR	NO	NO	Losa de CA	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140448.jpg
13	117	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140457.jpg
14	7	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140458.jpg
15	37	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140460.jpg
16	44	04MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140461.jpg
17	183	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140462.jpg
18	123	20CMPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140463.jpg
19	199	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S01\P1140492.jpg
20	153	01AYAR	NO	NO	Madera	X	V	X	ND	ND	NO	NO	.Fotos\Fotos_S02\P1140993.jpg
21	164	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1140998.jpg
22	56	03MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	NO	NO	.Fotos\Fotos_S02\P1140999.jpg
23	3	04MMNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1150002.jpg
24	188	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1150026.jpg
25	134	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1150008.jpg
26	156	01AVAM	NO	NO	Madera	X	X	X	ND	ND	NO	NO	.Fotos\Fotos_S02\P1150012.jpg
27	198	03MYMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1150013.jpg
28	69	05CMIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.Fotos\Fotos_S02\P1150019.jpg

Figura 49. 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 tomó una foto del lote representativo.

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

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

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.

La Figura 50 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

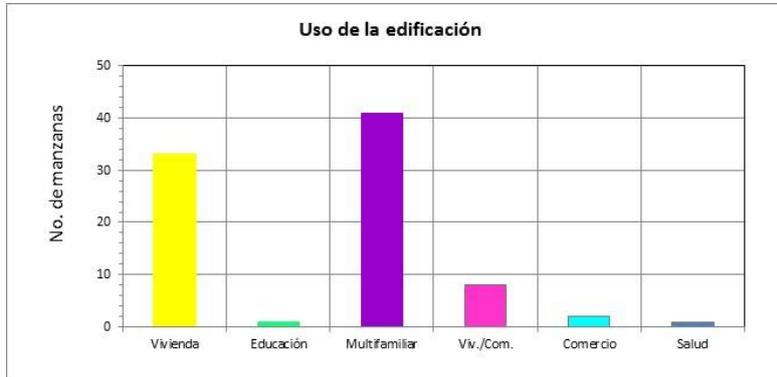


Figura 51. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Magdalena

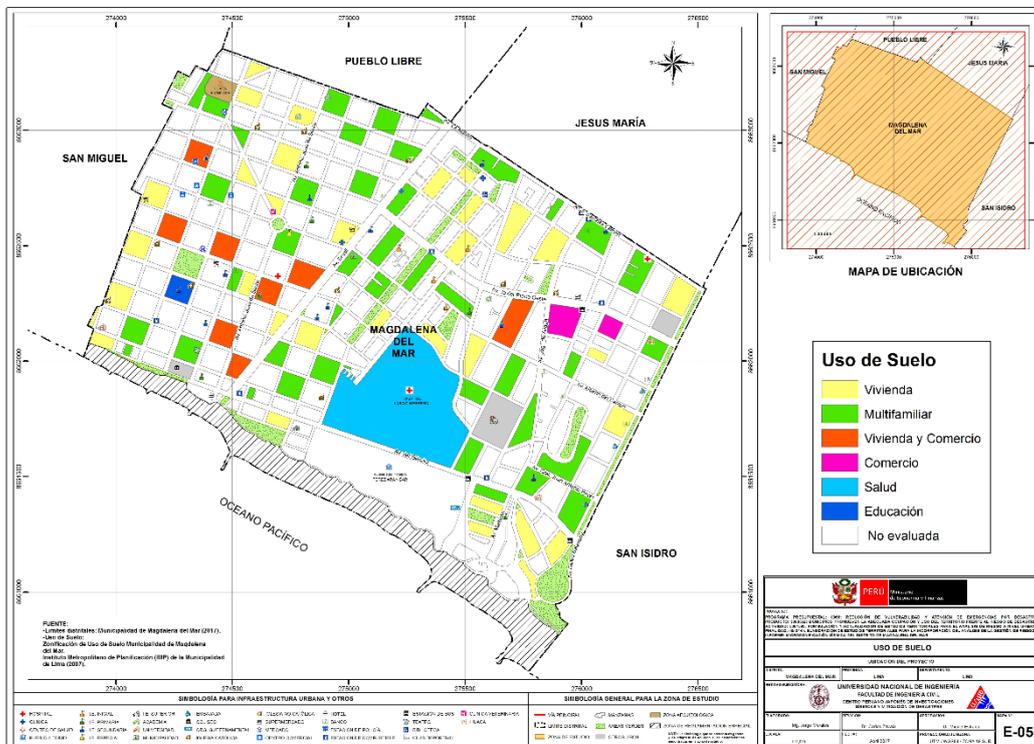


Figura 52. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Magdalena

3.3.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E04 (Figura 54), referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Magdalena, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 53, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 66% de la muestra, seguido de las edificaciones de concreto con un 31.4%. Asimismo, existen edificaciones de adobe que representan un 2% de la muestra.

En el mapa E-03 (Figura 56) 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 55, donde se puede apreciar que, en el Distrito de Magdalena, predominan las edificaciones de dos pisos que corresponde al 33.7% 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 18.6% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de cuatro pisos, pero en un porcentaje menor, equivalente al 14% del total de las edificaciones evaluadas. También existen edificios de 1 piso (1.2%), 5 pisos (7%), 6 pisos (4.7%), 7 pisos (2.3%), 8 pisos (2.3%), 9 pisos (2.3%), 10 pisos o más (14%) en la muestra evaluada.

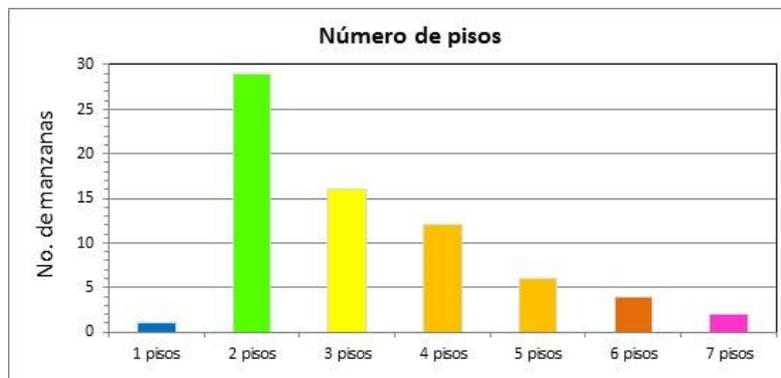


Figura 55. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Magdalena

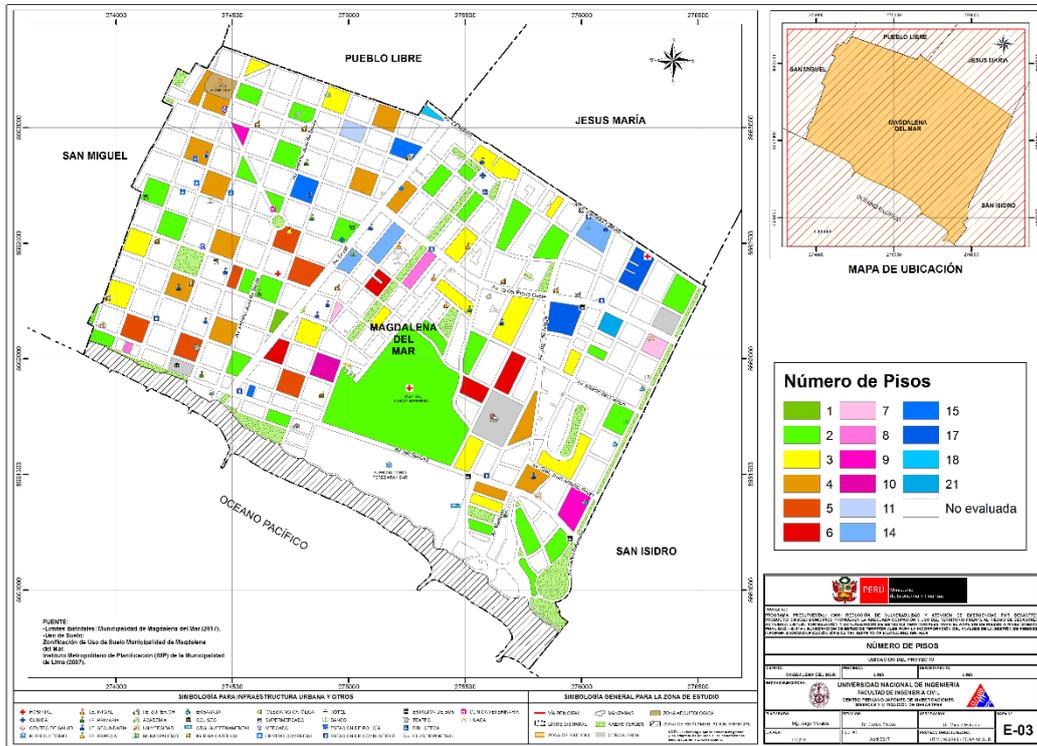


Figura 56. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Magdalena

3.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E06 (Figura 58) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 57 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el distrito de Magdalena. 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 66.3% de la muestra. Le siguen las estructuras de concreto armado con placas que representa un 27.9%. También se usan pórticos de concreto con muros de relleno de tabiquería de ladrillo que representa el 1.2% de la muestra. Por otro lado las edificaciones de pórticos de concreto representan un 1.2%, mientras que las edificaciones de adobe representan un 2.3% y albañilería con diafragma flexible representa el 1.2% de la muestra.

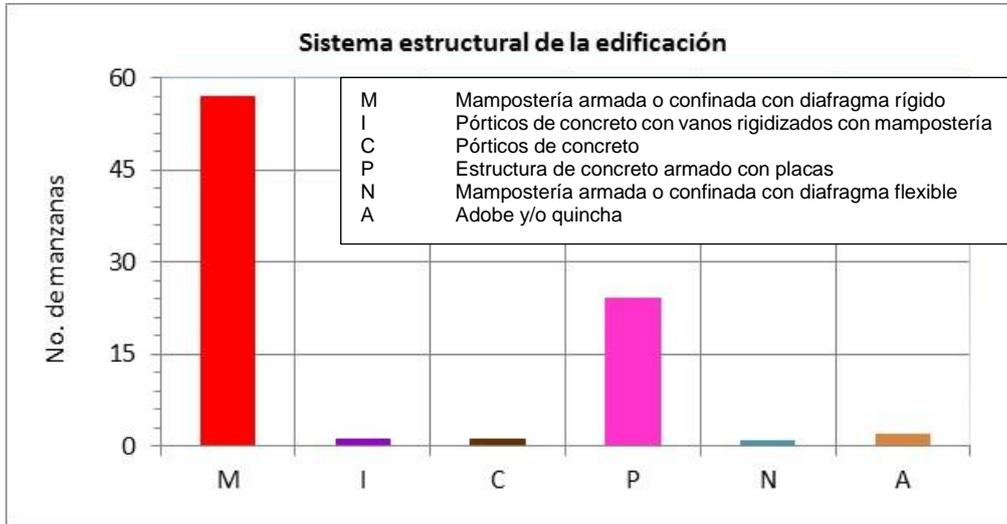


Figura 57. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Magdalena

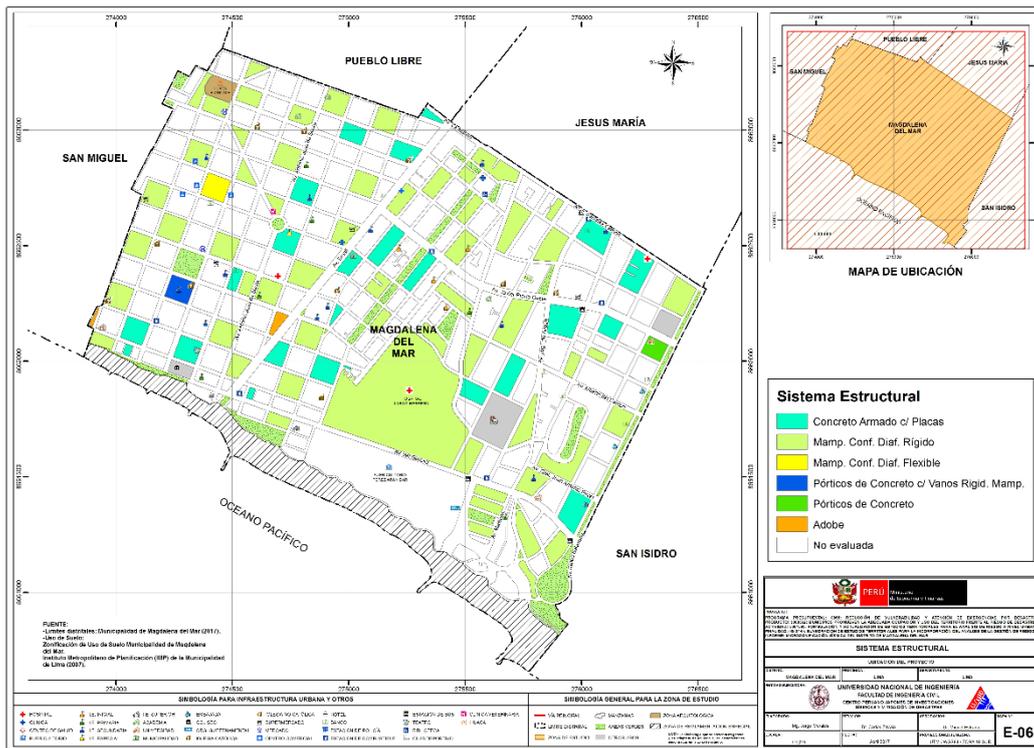


Figura 58. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Magdalena



3.3.6. Mapa de Vulnerabilidad

Conceptos Generales

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

Formas de Evaluación

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

Método Determinístico

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

Método por Criterio

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

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

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

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

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

Metodología sustento de SRSND

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

El método considera que la estructura de la edificación está representada por un sistema de masas y resortes, representadas como una función del periodo de la edificación. Este periodo es aproximado a partir de la tipología estructural, del número de pisos, las irregularidades y el estado de conservación entre otros. Este periodo representa al primer modo del sistema estructural, lo que el método considera como representativo para el sistema reducido de un grado de libertad, como el mostrado en la Figura 61. Con este sistema equivalente se realiza la estimación explicado en el siguiente párrafo.

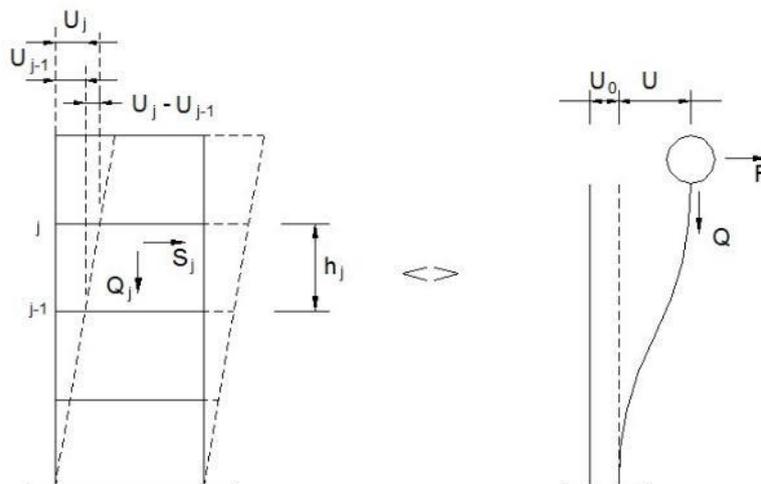


Figura 61. Edificación representada por un sistema equivalente

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada a la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 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 arriostamiento o refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.
- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar las fuerzas producidas por el sismo.

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio

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

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



Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo

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

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

Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- Manzana:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 66% de los lotes, seguido por un 31.4% de edificaciones de concreto y un 2% de edificaciones de adobe.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 66% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de un piso (1.2%), dos pisos (33.7%), tres pisos (18.6%), cuatro pisos (14%), cinco pisos (7%), seis pisos (4.7%), siete pisos (2.3%), ocho pisos (2.3%), nueve pisos (2.3%) y diez pisos o más (14%). Aproximadamente el 66.3% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, entre las viviendas evaluadas ninguna presento construcción informal de albañilería.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 66.3% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 1.2%, 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 31.4% de las viviendas muestran un estado de conservación bueno y el 67.4% de las viviendas presentan un regular estado de conservación. Finalmente las edificaciones en mal estado de conservación representan un 1.2% de la muestra.



4. MAPAS DE RIESGO

4.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo. El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 63.

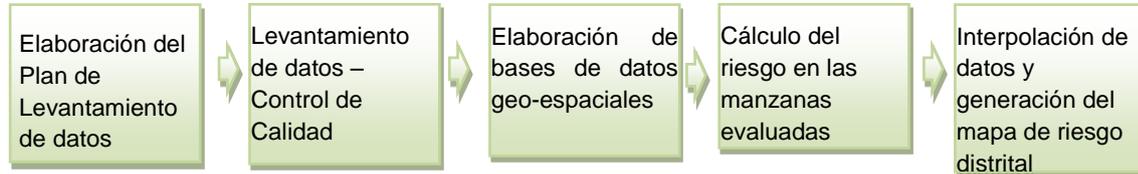


Figura 63. Proceso de generación del mapa de riesgo

Basados en la información de campo se evaluaron 86 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 64.

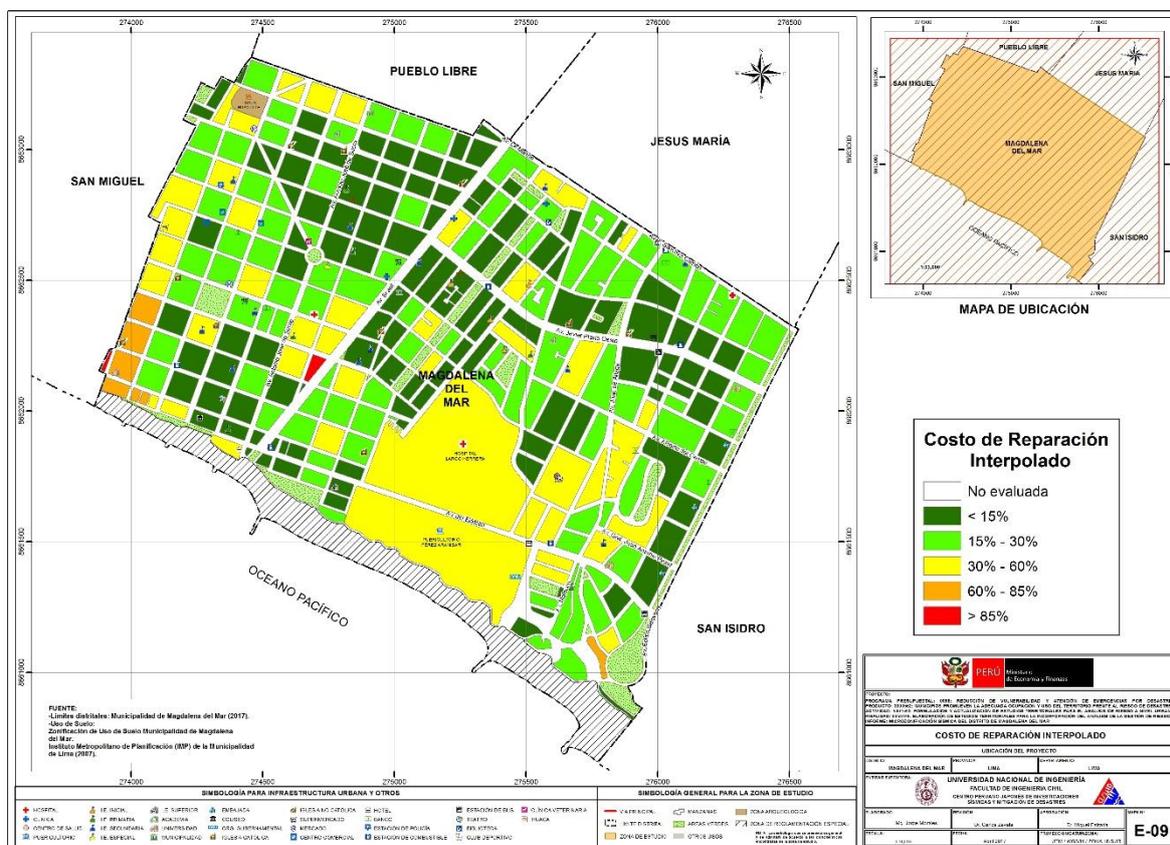


Figura 65. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

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

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

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

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	21	24.4%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	33	38.4%	62.8%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	24	27.9%	27.9%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	6	7.0%	7.0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	2	2.3%	2.3%	Colapso



En el mapa No. E-09, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Magdalena bajo un escenario del sismo. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~30% del valor de la edificación, agrupando ambos verdes se obtiene que en este grupo de daño leve se encuentra el 62.8% de las manzanas evaluadas. Los sectores en amarillo tendrían un porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%, en donde se encontró que el 27.9% de la muestra tendrían daño moderado. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60~85%, mientras que las zonas en rojo tendrían edificaciones con costos de reparación entre 85% a más. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de edificaciones en riesgo de colapso y daño severo que corresponden al 7% y 2.3%, respectivamente, de las edificaciones evaluadas para el escenario sísmico propuesto.

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

Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	0	0.0%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	0	0.0%	0%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	2	100.0%	100%	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 pueden apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el 100% de las edificaciones esenciales podrían experimentar daño moderado debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales. Este estado de riesgo medio se debe a la presencia de edificaciones que se han adecuado al uso nidos, centros educativos, academias entre otros, como también la antigüedad y falta de mantenimiento de las edificaciones. De acuerdo al estudio realizado, el nivel de daño III estaría ubicado en todo el distrito.

5. MAPAS DE AMENAZA POR TSUNAMI

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



5.1. 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 66 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2017 según la base de datos de la United States Geological Survey (USGS) esta figura muestra que la zona sísmicamente más activa en el Perú es la que corresponde a la zona sur entre Lima y Tacna, también se observa que una gran cantidad de los sismos tienen una profundidad focal menor a 50 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. En la

Figura 66 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 67, modificada de (Dorbath et al., 1990), muestra los sismos de gran magnitud o terremotos ocurridos en el Perú a lo largo del tiempo, donde las líneas continuas representan terremotos que causaron tsunamis así como la longitud aproximada del área de la falla, mientras que las líneas punteadas representan terremotos que no produjeron tsunamis. Teniendo en cuenta que las ciudades de Lima y Callao se encuentran ubicadas aproximadamente en la latitud 12°S, el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 43 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 43 años de energía sísmica acumulada, por lo tanto, estas condiciones hacen suponer la ocurrencia de un terremoto que libere toda esta energía acumulada que estaría afectando en mayor magnitud a la ciudad de Lima y Callao.

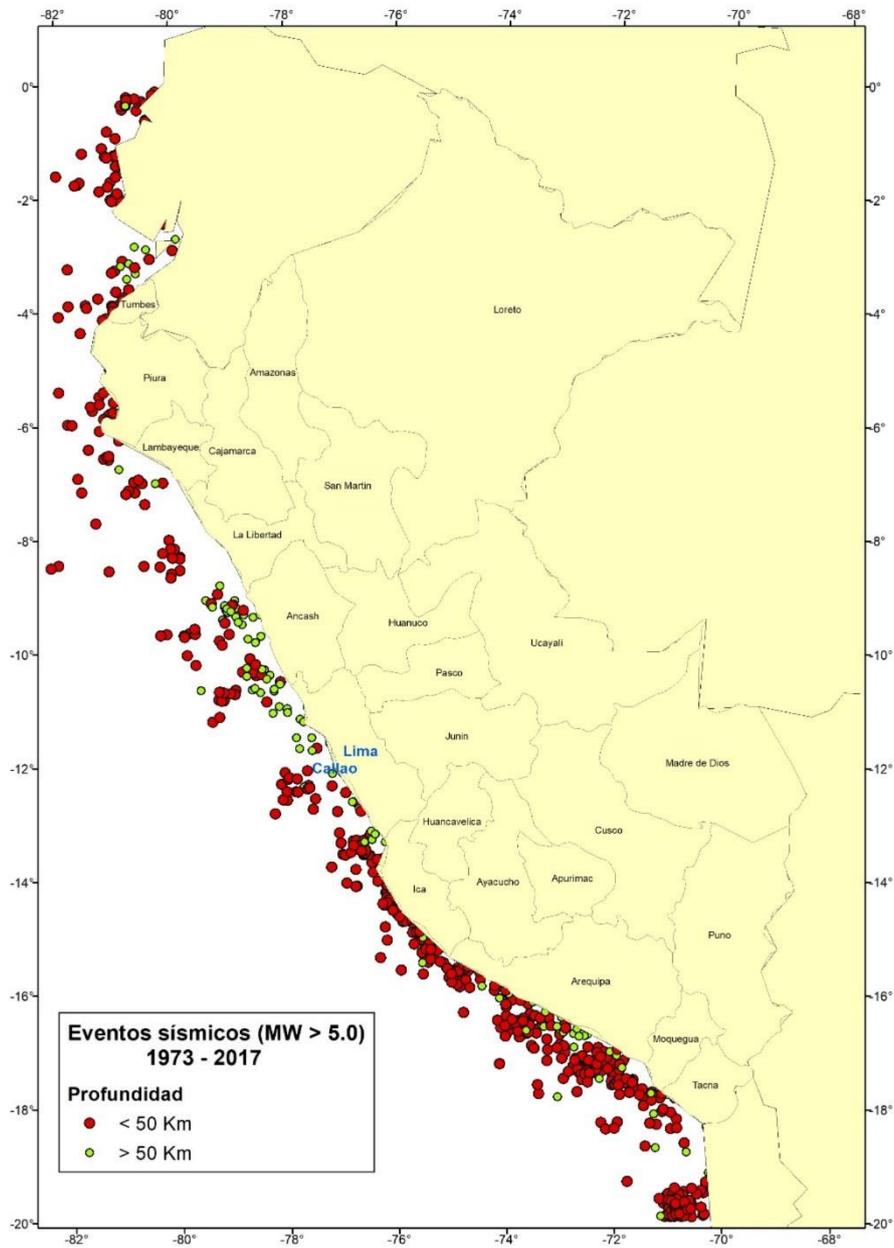


Figura 66. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2017 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).

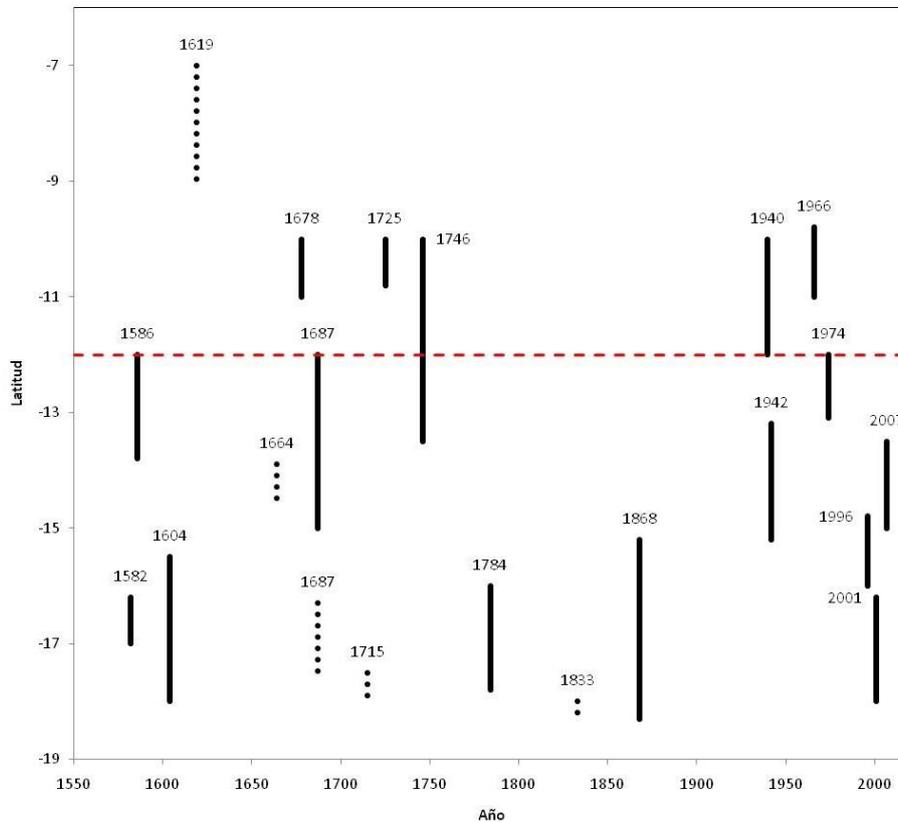


Figura 67. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990)

5.2. Tsunamis históricos en el Perú

Debido su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las cosas peruanas y que han sido registrados también en otros países (Figura 68 y Tabla 4).

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

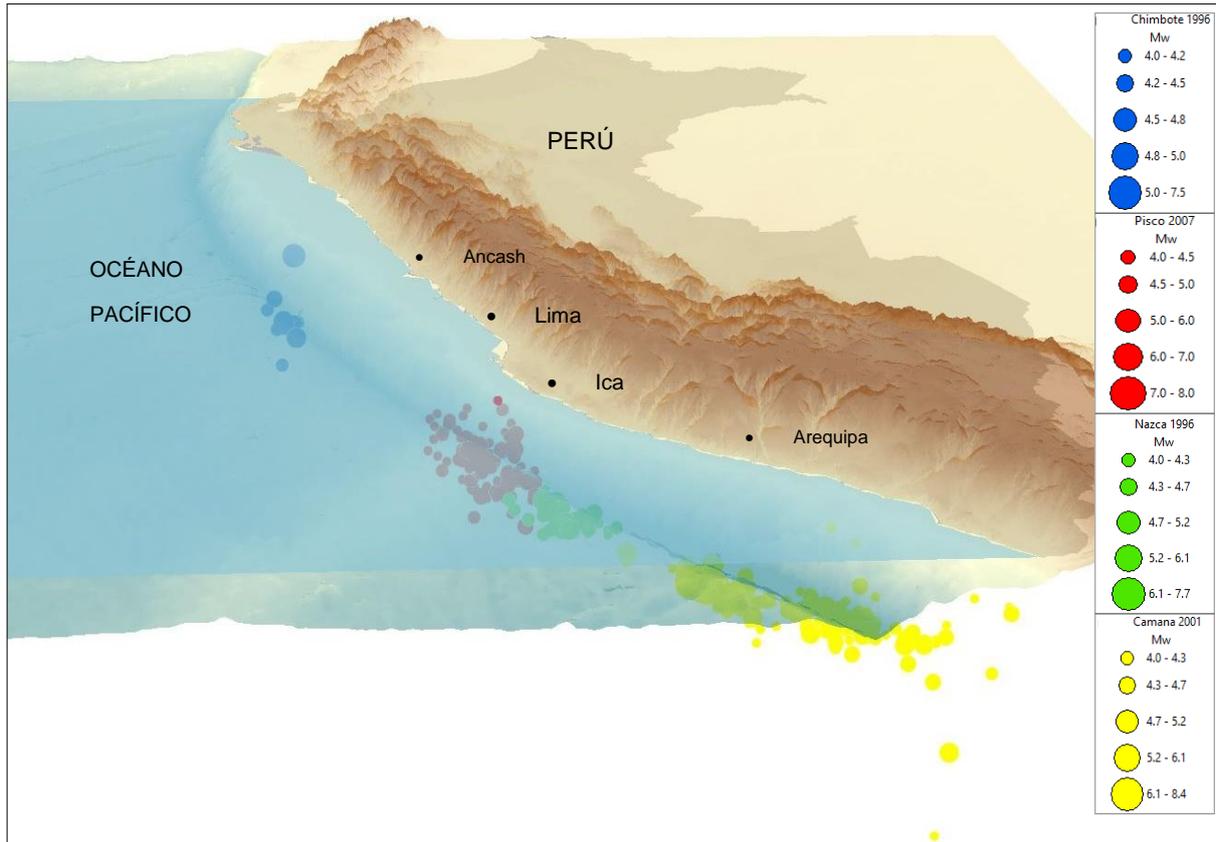


Figura 68. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

Por ejemplo, el tsunami que ocurrió el 23 de junio del año 2001 en la zona sur del Perú fue generado por un sismo de magnitud Mw 8.4 con epicentro 16.26°S 73.64°O. De acuerdo a USGS por lo menos 75 personas fallecieron, donde 26 a causa del tsunami producido, 2687 personas heridas, 17510 viviendas fueron destruidas y 35549 viviendas fueron afectadas en las aéreas de Arequipa, Camaná y Tacna. Otro ejemplo más reciente es el tsunami que ocurrió el 15 de agosto del año 2007, donde las áreas costeras de Chincha y Paracas fueron las más afectadas, por otro lado, en Camaná se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras afectadas, quienes manifestaron que 20 minutos después de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91m y para unas distancias de 102.7m. (Figura 69).



Figura 69. 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.

5.3. **Ámbito de Estudio**

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

El distrito de Magdalena del Mar pertenece a la Provincia de Lima en el Departamento de Lima, es una localidad de un área que limita por el norte los distritos de Pueblo Libre y Jesús María; por el este con el distrito de San Isidro; por el oeste con el distrito de San Miguel y por el sur con el Océano Pacífico. La Figura 70 muestra la ubicación del distrito de Magdalena del Mar en el mapa de la provincia de Lima.

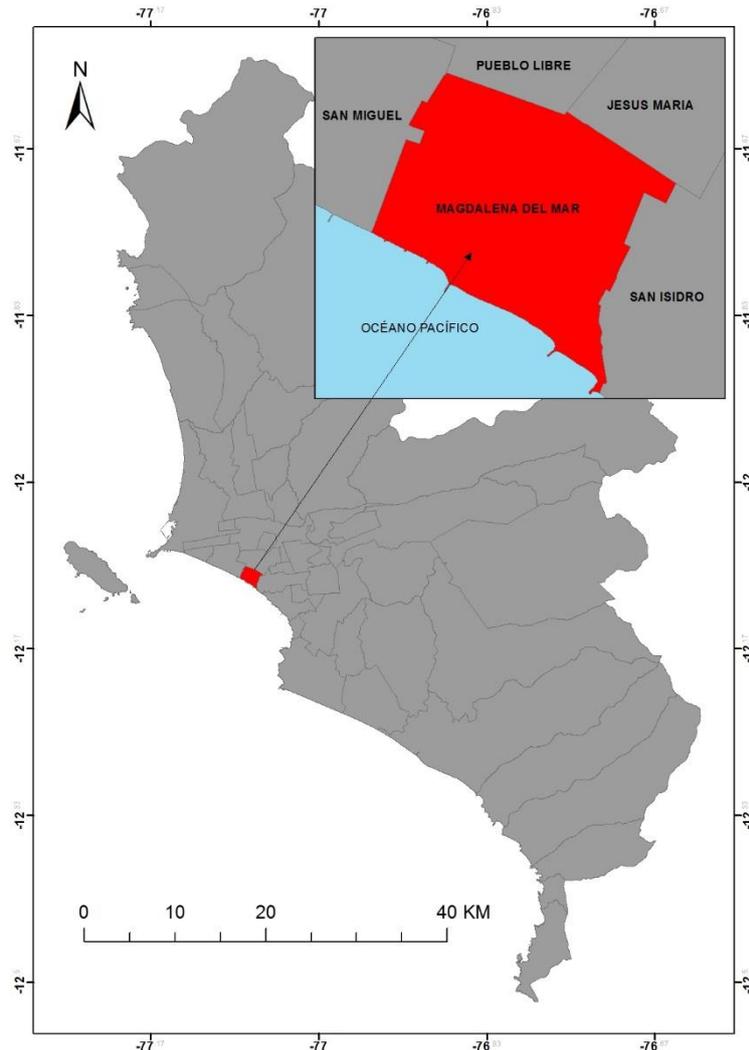


Figura 70. Localización del distrito de Magdalena del Mar.

5.4. Procedimiento de Análisis

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

5.5. Consideraciones Teóricas

5.5.1. 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 71 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.

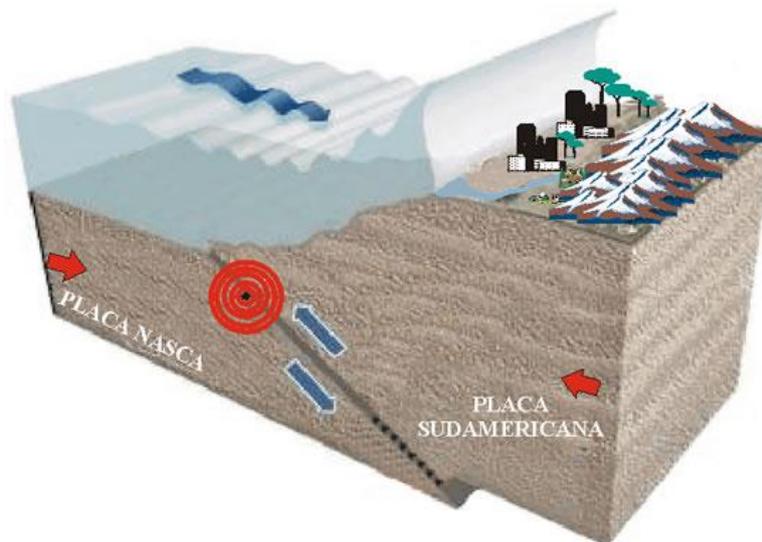


Figura 71. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).



Tipos

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

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

Características

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

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

Teoría de Aguas Poco Profundas

Para el modelamiento de tsunamis se usa la teoría de aguas poco profundas, esta teoría considera que la profundidad característica es mucho menor que la longitud de onda de las olas en el mar, teniendo en cuenta esta asunción y considerando el agua de mar como un fluido incompresible de densidad ρ la ecuación de continuidad (Ec. 9) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Ec. 10 y Ec. 11) describe cómo la velocidad y la presión de un fluido en movimiento están relacionadas. Estas ecuaciones son resueltas (Imamura, 1995). Las dos básicas expresiones son mostradas a continuación. La ecuación de continuidad puede ser expresada como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

η : amplitud de la onda

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

t : tiempo

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad \text{Ec. 10}$$

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

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad \text{Ec. 12}$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad \text{Ec. 13}$$

$$D = \eta + h \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

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

D : profundidad total del océano

n : coeficiente de rugosidad de Manning

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

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

g : aceleración de la gravedad

h : profundidad del mar

La estabilidad numérica es definida como el tiempo que asegura que la velocidad de propagación numérica no exceda a la velocidad de propagación del medio físico o velocidad del tsunami, esta condición se define con la Ec. 15.

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

Ec. 15

Donde:

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

Parámetros de Fuente Sísmica

La fuente sísmica de los terremotos para la generación de la condición inicial del tsunami o la deformación inicial de la superficie del océano, puede describirse teóricamente usando nueve parámetros, estos son mostrados en la Figura 72.

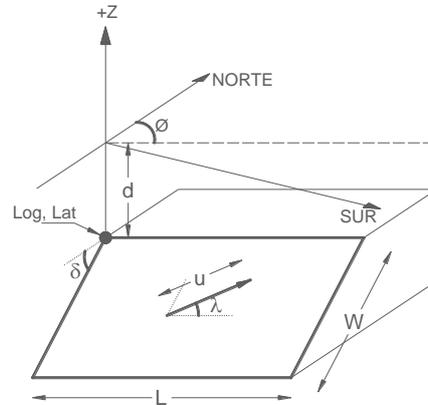


Figura 72. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.

Donde:

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



- λ : Ángulo de deslizamiento,
 δ : Ángulo de inmersión de la falla,
 u : Dislocación,

Estos parámetros son requeridos para la posterior simulación numérica del tsunami y tienen que ser obtenidos para cada una de las fallas y 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.

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).

Parámetros de las fuentes sísmicas

La fuente del primer escenario sísmico está dividida en 280 sub fallas, cada una de 20 km x 20 km, en un área de ruptura de 700 km de largo por 160 km de ancho, La magnitud de momento calculada es de 8.8 M_w . 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 73 (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 M_w , La Figura 73 (b) muestra la distribución de deslizamientos para este escenario.

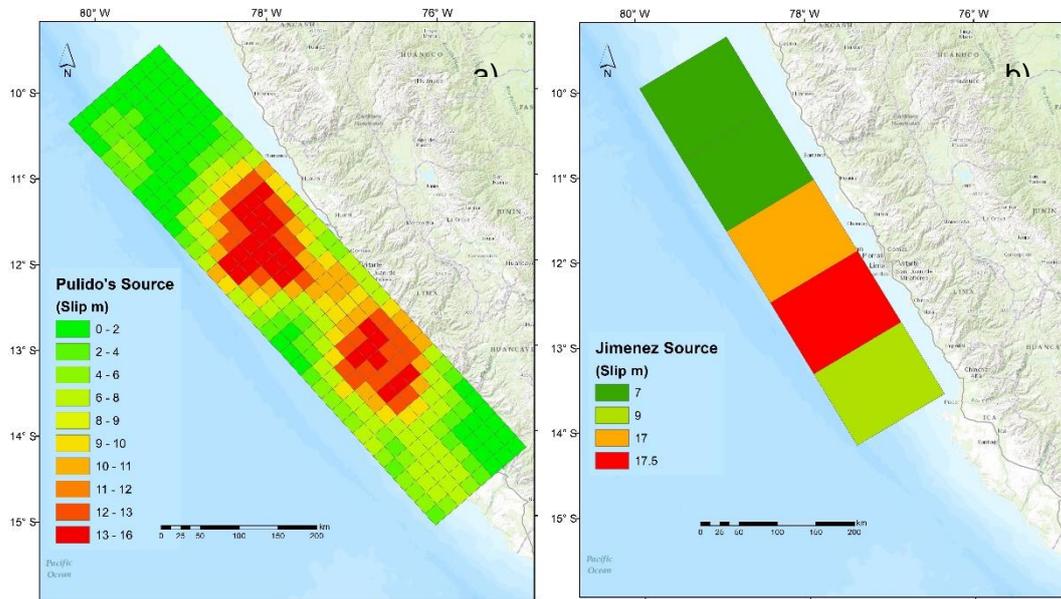


Figura 73. Distribución de desplazamientos para a) el primer escenario sísmico que consta de 280 sub fallas y b) para el segundo escenario que consta de 5 sub fallas.

5.6. Análisis del Tsunami para el distrito de Magdalena del Mar

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

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

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

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:



δ_{jk} : Delta de Kronecker,

λ y μ : Constantes de Lamé,

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

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

La Figura 74 y la Figura 75 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 muestran 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 72.

Parámetro	M _w 8.8	M _w 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
Azimut	319°	329°
Ángulo de Inmersión (Buzamiento)	15°	20°
Ángulo de deslizamiento	0-76°	90°
Dislocación (Figura 72)	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 74 y Figura 75. Esto significa que de acuerdo a este análisis, el nivel de la marea en la costa estaría descendiendo, lo que comunmente es llamado "el retroceso del mar", como condición inicial del tsunami y como una señal de alerta de la venida del tsunami.

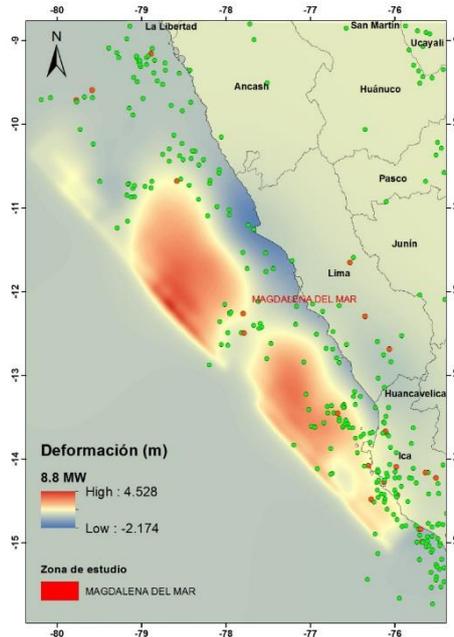


Figura 74. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de Mw 8.8. Los puntos representan la sismicidad histórica

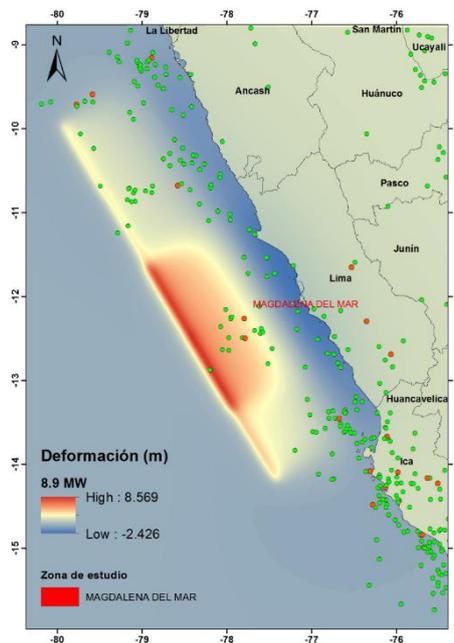


Figura 75. Deformación inicial de la superficie del fondo del océano para el sismo de Mw 8.9. Los puntos representan la sismicidad histórica

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 72 son necesarios para definir las condiciones iniciales del fondo marino y no solo aquellos que se usan para el cálculo de la magnitud M_w .

5.6.2. Fase de la Propagación del Tsunami

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

La propagación e inundación fueron calculadas usando TUNAMI-N2 en el sistema de coordenadas UTM utilizando el datum WGS84, Zona 18S y el área de cálculo fue dividida en cuatro dominios o regiones, donde los dominios se conectan unos a otros usando el sistema de mallas anidadas. Estos dominios se pueden ver en la Figura 76.

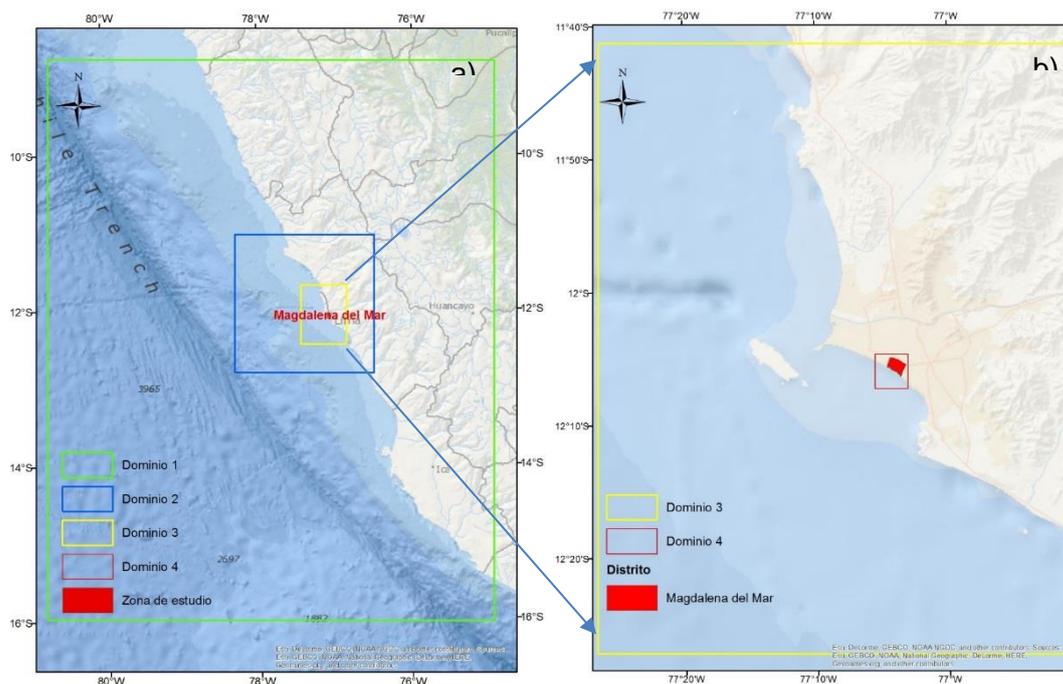


Figura 76. Dominios utilizados en la simulación numérica, a) Distribución de los 4 dominios, b) Detalle del área para el análisis de inundación.
(Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA)

Para la simulación del tsunami, la batimetría fue tomada desde la página web del General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, que para la ubicación geográfica de estudio se interpola a aproximadamente 415 metros y para el análisis de inundación se utiliza una batimetría de 15 metros obtenida de los portulanos y recaladas por la DHN (Tabla 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 77 muestra la propagación de las ondas para el escenario propuesto de 8.8 Mw en los tiempos (a) de 1 minuto y (b) el tiempo de arribo de la primera onda a la costa (minuto 20).

Además, la Figura 77 (a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud 8.8 Mw, donde las zonas en azul representan el desplazamiento vertical positivo del mar y las zonas en celeste el desplazamiento vertical negativo (b) muestra la propagación del tsunami 20 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera onda a la costa.

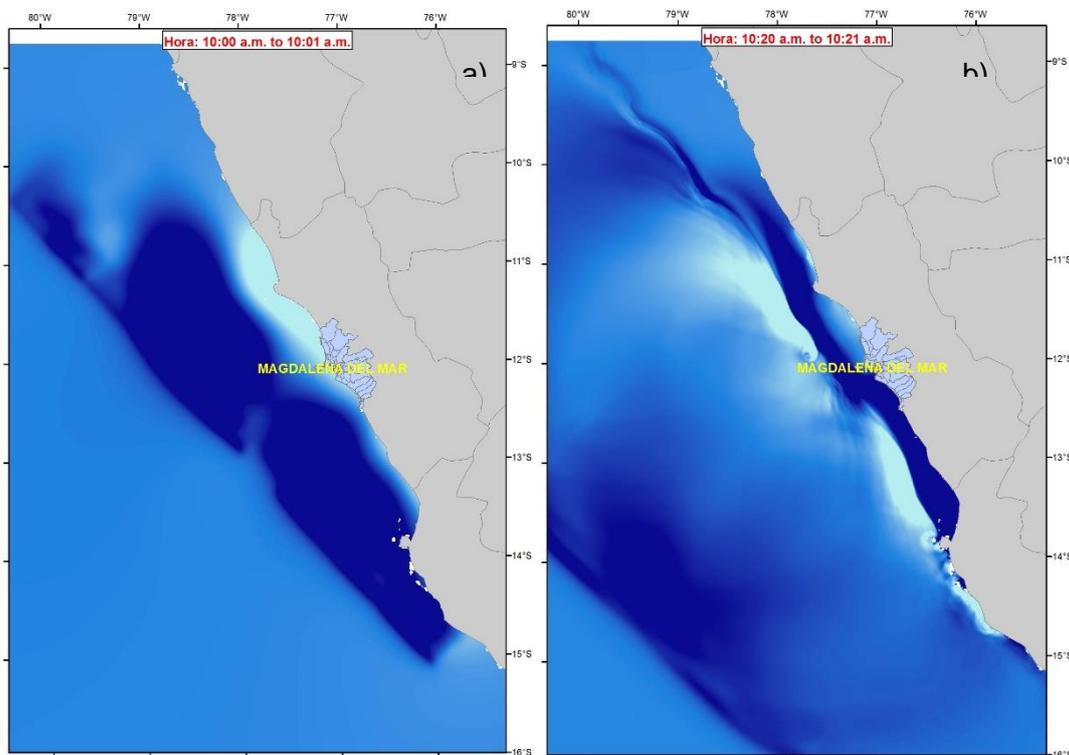


Figura 77. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.

También se muestran las amplitudes de las ondas versus el tiempo transcurrido después de haberse iniciado el tsunami para los diferentes escenarios sísmicos, estas señales fueron registradas por 13 estaciones mareográficas virtuales ubicadas en la zona costera del distrito de Magdalena del Mar, como se muestra en la Figura 78.



Figura 78. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas de Magdalena.

La Figura 79 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 la costa de Magdalena del Mar (Ver Figura 78), estas señales son el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra que en este escenario la primera ola arriba al distrito de Magdalena del Mar aproximadamente 20 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de 7.0 metros a los 48 minutos.

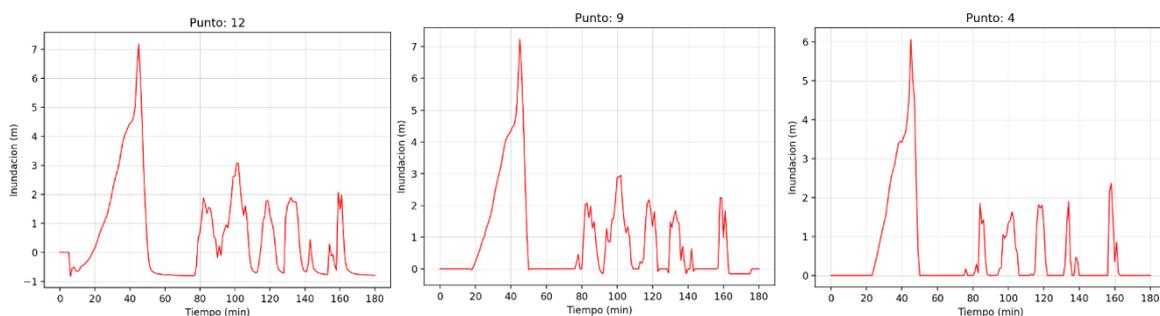


Figura 79. Señal sintética del tsunami para el escenario de $M_w = 8.8$ en las costas de Magdalena del Mar.

La Figura 80, 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 24 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera ola a la costa.

La Figura 81 muestra como varia la amplitud en el transcurso del tiempo. Esta es una representación sintética del tsunami registrado a lo largo de la costa de Magdalena del Mar, 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 máxima inundación ocurre aproximadamente 24 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de casi 20 metros aproximadamente a los 40 minutos.

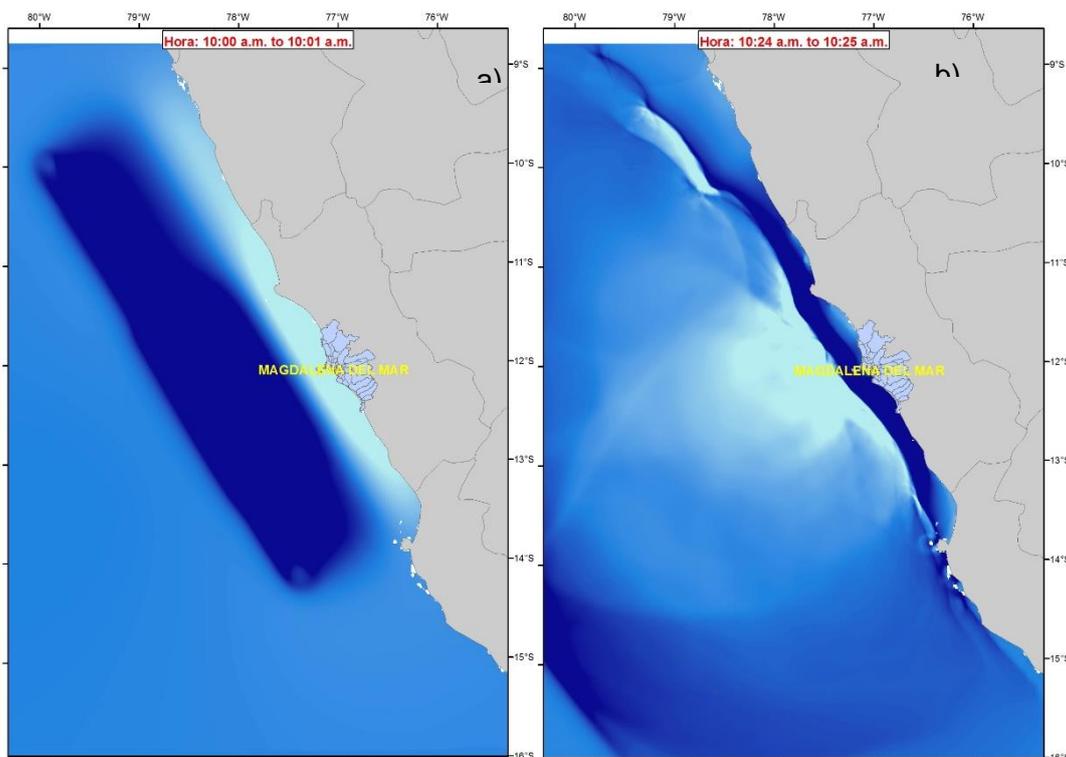


Figura 80. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.9 Mw.

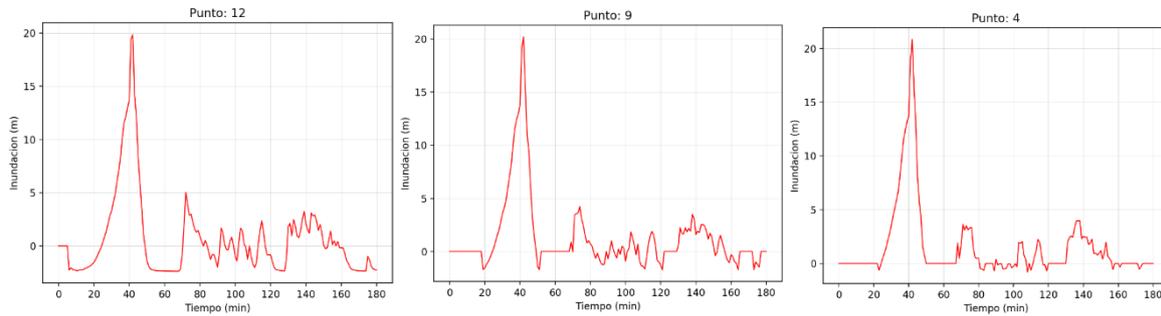


Figura 81. Señal sintética del tsunami para el escenario de Mw = 8.9 en las costas de Magdalena del Mar.

5.6.3. Fase de Inundación

En esta etapa se utilizó la batimetría obtenida por la DHN (Dirección de Hidrografía y Navegación) mediante los Portulanos y cartas de Recalada, interpolados hasta 15 metros. Así también, la topografía fue obtenida utilizando un servicio de Google Maps para obtener la elevación e integrada con la información obtenida del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), esta última fue descargada con una resolución espacial de 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 76 (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	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 13 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 Magdalena del Mar. La variación a lo largo de la costa de estas alturas máximas se puede observar en la Figura 82, y las alturas máximas de onda se resumen en la Tabla 7.

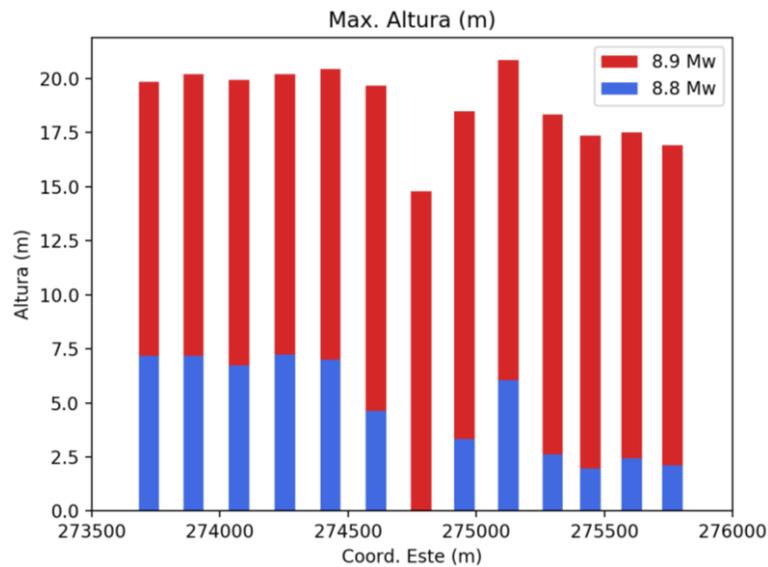


Figura 82. Alturas máximas de onda a lo largo de la costa de Magdalena para ambos escenarios.

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

Mw	Hmáx (m)
8.8	7.5
8.9	20.0

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 2017.

En esta data histórica se puede encontrar que, en las costas de Callao cercanas al distrito de Magdalena del Mar, 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	H _{máx} corregida (m)
8.8	8.95
8.9	21.45

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 83 y Figura 84 para los eventos de magnitudes 8.8 Mw y 8.9 Mw respectivamente.

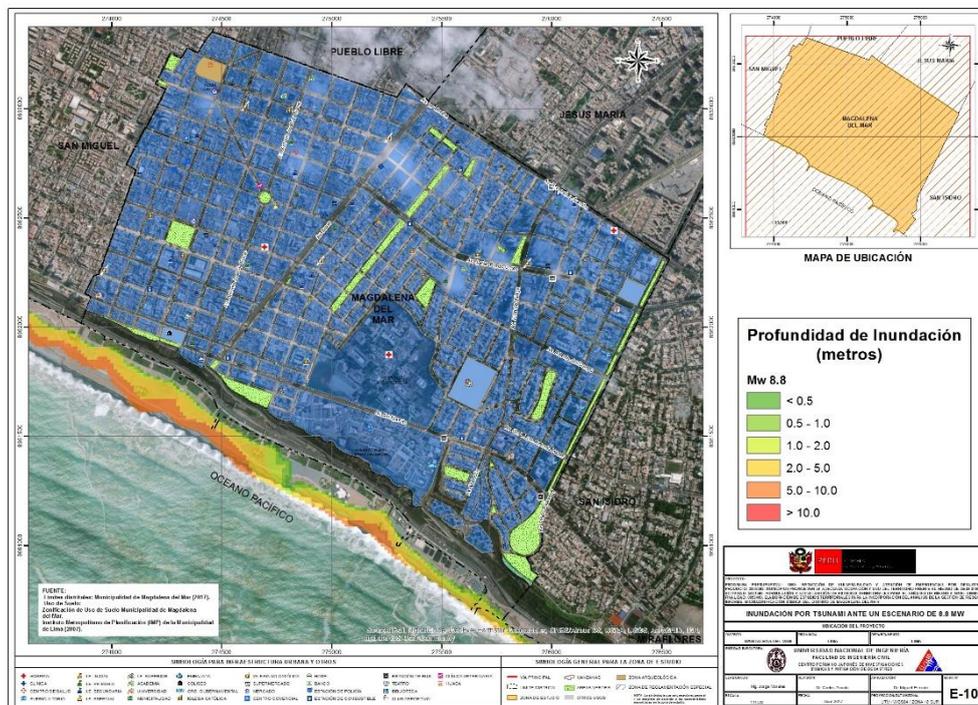


Figura 83. Profundidades de inundación para Magdalena del Mar con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw.

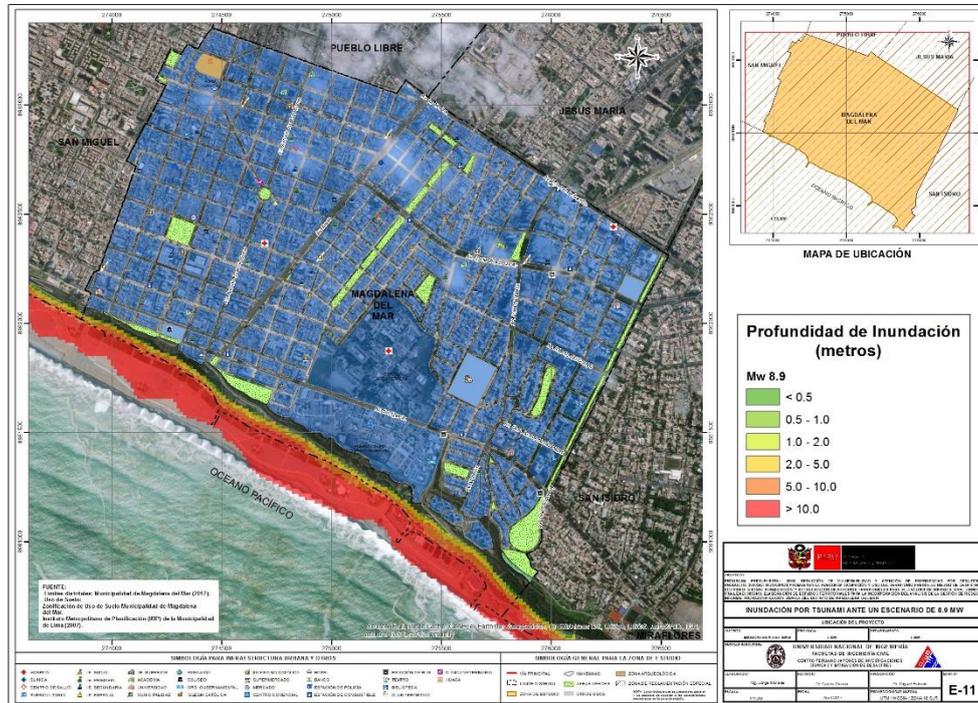


Figura 84. Profundidades de inundación para Magdalena del Mar con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw.

5.7. Análisis de Resultados

Se ha realizado un análisis cuantitativo de dos escenarios probables de tsunamis que podrían atacar las costas de Magdalena del Mar, 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 83 se puede apreciar que para el evento sísmico de magnitud 8.8 Mw los valores de inundación máximos alcanzan los 7 metros de altura y el tsunami inunda hasta 200 metros tierra adentro.

Para el evento más crítico de 8.9 Mw. (Figura 84), los niveles de inundación son mucho mayores alcanzando alturas de hasta 20 metros y llegando a inundar cerca de 300 m tierra adentro, esto debido a la topografía inclinada y la existencia del acantilado de la costa verde que se extiende a lo largo del distrito. Precisamente debido a la existencia del acantilado se observa que para ambos escenarios el área inundada no alcanza a ninguna vivienda, ya que todas están sobre dicho acantilado.

Cabe resaltar sin embargo que las personas y la infraestructura que se encuentre entre el mar y el acantilado se verían comprometidas por la inundación en ambos escenarios sísmicos.



5.8. Recomendaciones

Los resultados obtenidos muestran que, con el evento más desfavorable, toda la infraestructura entre el mar y el acantilado se vería afectada.

El tiempo de evacuación promedio disponible sería de entre 15 y 25 minutos, que es cuando arribarían las primeras olas, dependiendo del evento (ver Figura 79 y Figura 81), tiempo quizás suficiente si se evacua inmediatamente y se siguen las rutas de evacuación ya establecidas por el distrito, 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 cercanas a la costa, principalmente las casas y restaurantes que están bajo el acantilado y que son destinadas al entretenimiento en temporada de playa, serían las más afectadas.

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



6. REFERENCIAS

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



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



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



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



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



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



-
- [90] “Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo”, 2008, E. Mas y V Jácome. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería.
- [91] “Tabla de Mareas 2015”, 2015, Dirección de Hidrografía y Navegación, Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, República del Perú.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



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
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



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)
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
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



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)
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
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

AV. TÚPAC AMARU N° 1150 – LIMA 25 – PERÚ – Apartado Postal 31-250 Lima 31
Teléfono (+51) 1 482-0777, (+51) 1 482-0804, (+51) 1 482-0790, (+51) 1 481-0170
e-mail: director@uni.edu.pe <http://www.cismid.uni.edu.pe> <http://www.cismid-uni.org>



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)
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
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



**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)
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)	Azimut (°)	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