



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Uso de modelos 3D de ocupación urbana para el cálculo del riesgo por
tsunami

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero (a) Civil

AUTORES

Ochoa Candia, Giancarlo Tomas
ORCID: 0009-0000-1119-3272

Venturo Carrion, Franci Paquita
ORCID: 0009-0000-8691-5938

ASESOR

Estrada Mendoza, Miguel Luis
ORCID: 0000-0002-8646-3852

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los autores

Ochoa Candia, Giancarlo Tomas

DNI: 73070286

Venturo Carrion, Franci Paquita

DNI: 74038589

Datos del asesor

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Cordova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Sueldo Mesones, Jaime Pio

DNI: 43703437

ORCID: 0000-0003-3760-8370

JURADO 3

Valencia Gutierrez, Andres Avelino

DNI: 07065758

ORCID: 0000-0002-8873-189X

Datos de la investigación

Campo de conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Ochoa Candia Giancarlo Tomas, con código de estudiante N° 201611835, con DNI N° 73070286, con domicilio en Jr Espinar 333, distrito Santa Ana, provincia y departamento de Cusco, y, Venturo Carrión Franci Paquita, con código de estudiante N° 201620574, con DNI N° 74038589, con domicilio en Jr. Víctor A. Belaunde Mz 27 Lt 15, distrito Campo Verde, provincia y departamento de Ucayali.

En nuestra condición de bachilleres en Ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “ Uso de modelos 3D de ocupación urbana para el cálculo del riesgo por tsunami” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Dr. Miguel Luis Estrada Mendoza, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc; la cual ha sido sometido (a) al antiplagio Turnitin y tiene el 23% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 21 de octubre del 2023



Giancarlo Tomas Ochoa Candia

DNI: 73070286



Franci Paquita Venturo Carrión

DNI: 74038589

INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN

Uso de modelos 3D de ocupación urbana para el cálculo del riesgo por tsunami

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
5	cnnespanol.cnn.com Fuente de Internet	1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
7	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositoriodigital.ucsc.cl Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%

Dra. Vargas Chang Esther Jori

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Richard y Sara, mis hermanos Piero, Richard y Zoe, también a mis amigos quienes me apoyaron y aconsejaron durante el desarrollo de la tesis y en mi periodo universitario.

Venturo Carrión, Franci Paquita

Dedico esta tesis a mis padres, Sirley y Wilfredo que nunca dudaron de mis capacidades, y también a mi Tío Sergio que fue una persona que siempre estuvo para mí en los momentos más difíciles y no lo hubiera conseguido muchas sin su apoyo incondicional, gracias, tío.

Ochoa Candia, Giancarlo Tomás

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestro asesor y revisores que siempre nos han apoyado en el desarrollo de nuestra tesis, los llevaremos siempre presentes. Nuestro extenso agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma por formarnos en los profesionales que ahora somos.

Giancarlo Ochoa y Franci Venturo

INDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD-TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Importancia y justificación de la investigación	4
1.4. Delimitación del estudio	5
1.5. Objetivos de la investigación	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco Histórico	7
2.2. Investigaciones relacionadas con el Tema.....	11
2.2.1. Investigaciones nacionales.....	11
2.2.2. Investigaciones internacionales	16
2.3. Estructura Teórica y Científica que sustenta el Estudio	19
2.3.1. Modelo 3D de ocupación urbana.....	19
2.3.2. Riesgo por tsunami	20
2.3.3. Herramientas informáticas	20
2.4. Definición de Términos	20
2.5. Hipótesis	22
2.5.1. Hipótesis general.....	22
2.5.2. Hipótesis específica	22
2.6. Variables	22
2.6.1. Variable independiente: Modelo 3D de ocupación urbana	22

2.6.2. Variable dependiente: Cálculo de riesgo por tsunami	22
2.6.3. Matriz de operacionalización.....	23
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1. Tipo investigación	24
3.1.1. Tipo de estudio	24
3.1.2. Diseño de la investigación	24
3.1.3. Nivel de la investigación	24
3.2. Población y Muestra	25
3.2.1. Población	25
3.2.2. Muestra	25
3.2.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	25
3.3. Descripción de Procedimientos de Análisis de Datos	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
4.1. Resultados	27
4.2. Análisis de resultados	37
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	58
Anexo A: Matriz de consistencia.....	58
Anexo B: Excel exportado de ArcGIS.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sismos producto de tsunamis por año	2
Figura 2 Terremoto de Lisboa, Portugal	7
Figura 3 Imagen luego de un tsunami.....	8
Figura 4 Ciudad luego de un tsunami en Italia	8
Figura 5 Tsunami en Chile.....	9
Figura 6 Estragos de un tsunami en Alaska	9
Figura 7 Tsunami en Filipinas	10
Figura 8 Momentos después del tsunami en Indonesia	10
Figura 9 Maremoto en Indonesia	11
Figura 10 Puntos levantados visto desde survey123	27
Figura 11 Ítems de encuesta por lote	27
Figura 12 Inundación de las infraestructuras de la zona de estudio	28
Figura 13 Lotes con cota diferenciados por colores	29
Figura 14 Curvas de nivel del área de estudio	29
Figura 15 Mapa temático de las características de las viviendas	30
Figura 16 Curvas de fragilidad Phuket y American Samoa.....	31
Figura 17 Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 12.5 m para un sismo de 9.0 Mw	31
Figura 18 Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 10 m para un sismo de 9.0 Mw.	32
Figura 19 Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 4.75 m para un sismo de 8.5 Mw.	32
Figura 20 Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 12.5 m para un sismo de 9.0 Mw en concreto armado.....	33
Figura 21 Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 10 m para un sismo de 9.0 Mw en concreto armado	33
Figura 22 Mapa de inundación con cota de 12.5 metros	34
Figura 23 Mapa de inundación con cota de 4.75 metros	34
Figura 24 Torre metálica de evacuación vertical n°1	35
Figura 25 Torre metálica de evacuación vertical n °2	35
Figura 26 Pilotes en la estructura de acero para tsunami.....	36
Figura 27 Vías de evacuación	36

Figura 28 Ortofoto del Área de estudio	37
Figura 29 Lotes dentro del área de estudio	37
Figura 30 Encuesta Survey	38
Figura 31 Levantando los puntos en la zona de estudio	38
Figura 32 Línea de inundación 12.5 m	39
Figura 33 Línea de inundación 10.0 m	39
Figura 34 Línea de inundación 4.75 m	40
Figura 35 Intersección entre el polígono cota 12.5 m y los lotes de estudio 2	41
Figura 36 Pilotes en la estructura de acero para tsunami.....	41
Figura 37 Intersección entre el polígono cota 4.75 m y los lotes de estudio	42
Figura 38 Carta de inundación por tsunami.....	43
Figura 39 Curvas de fragilidad para tsunamis en varias regiones del mundo	44
Figura 40 Formulación de la probabilidad de daño en ArcGIS para un sismo de 8.5Mw	47
Figura 41 Sistema de consulta de abastecimiento a nivel de manzana.....	48
Figura 42 Habitantes afectados por tsunami	49
Figura 43 Mareograma de tsunami (9.0 Mw).....	50
Figura 44 Estructura anti tsunamis después de la inundación de cota 12.5 metros.....	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de vulnerabilidad según el material de construcción.....	30
Tabla 2	Porcentaje de daño para la máxima profundidad de inundación ante un sismo de 9 Mw.....	45
Tabla 3	Porcentaje de daño para la máxima profundidad de inundación ante un sismo de 8.5 Mw.....	46
Tabla 4	Tabla de variables para curva de fragilidad para Phuket y American Samoa ...	46
Tabla 5	Censo para un evento sísmico de 8.5 Mw	48
Tabla 6	Censo para un evento sísmico de 9.0 M	49
Tabla 7	Resumen de personas afectadas por un evento sísmico	49

RESUMEN

La presente tesis se realizó ante la existencia de múltiples sismos en nuestro país, sobre todo en la parte costera de la misma, la zona de estudio elegida fue el distrito Lurín en el departamento de Lima, esta es una zona altamente riesgosa ante un tsunami, pues reúne los tres parámetros requeridos para el riesgo por tsunami: vulnerabilidad, peligro y exposición sísmica. El objetivo general de la investigación es analizar la infraestructura de las viviendas de una zona costera para determinar el riesgo por tsunami a través del modelo 3D de ocupación urbana, entre los temas más relevantes utilizados son las relacionadas a la probabilidad de daño de las viviendas, los materiales de construcción utilizadas en la zona de estudio, la topografía del lugar, datos estadísticos. Esta investigación es correlacional puesto que las variables dependiente como independiente de la investigación guardan relación uno respecto a la otra, dentro de los resultado observamos que las infraestructuras estudiadas se verán altamente afectadas ante eventos sísmicos superiores a 8.5 Mw. Se concluye que es importante tener la información actualizada de lo que se va a investigar para no cometer errores en los resultados finales, las viviendas de albañilería confinada son las más afectadas en esta parte de la zona costera con un 99 % y 47% de probabilidad de daño ante evento sísmicos de 9.0 Mw y 8.5 Mw, respectivamente. Se recomienda informarse de las zonas seguras en caso de tsunami y se presenta alternativas para salvaguardar a la población.

Palabras claves: tsunami, riesgo sísmico, zonas de evacuación, curvas de fragilidad

ABSTRACT

This thesis was conducted due to the occurrence of multiple earthquakes in our country, particularly in the coastal area. The chosen study area was the Lurin district in the Lima department, which is highly vulnerable to tsunamis as it meets the three required parameters for tsunami risk: vulnerability, danger, and seismic exposure. The general objective of the research is to analyze the housing infrastructure of a coastal area to determine the risk of tsunami through the 3D model of urban occupation. Relevant topics include the probability of housing damage, construction materials used in the study area, topography, and statistical data. This is a correlational study since the dependent and independent variables are related to each other. The results indicate that the studied infrastructures will be significantly affected by seismic events greater than 8.5 Mw. It is concluded that having updated information on the research topic is crucial to avoid errors in the final results. Confined masonry houses are the most vulnerable in this coastal area, with a 99% and 47% probability of damage in the event of 9.0 Mw and 8.5 Mw seismic events, respectively. It is recommended to be aware of safe zones in case of a tsunami and alternative measures to protect the population are presented.

Keywords: tsunami, seismic risk, evacuation routes, evacuation zones, fragility curves.

INTRODUCCIÓN

El Perú ha sufrido muchos sismos al largo de la historia, es más a diario los tenemos, pero son imperceptibles para las personas, esta tesis surge de la necesidad de determinar el riesgo por tsunami en el distrito de Lurín, al pertenecer a Lima también se encuentra en zona altamente sísmica y más aún por estar cerca de la costa peruana, para ello se recurrió al uso de un dron para tener información actualizada del sitio de estudio. El objetivo de la investigación es analizar la infraestructura de las viviendas de una zona costera para determinar el riesgo por tsunami a través del modelo 3d de ocupación urbana, para ello se tiene cuatro objetivos específicos que son analizar la topografía del área de estudio a fin de determinar la exposición de riesgo al tsunami, analizar los materiales utilizados en la construcción de las viviendas a fin de conocer su vulnerabilidad, analizar las curvas de fragilidad a fin determinar la probabilidad de daño en las viviendas, elaborar mapas de riesgos por tsunami para proponer planes de evacuación. Mencionado todos los objetivos, este trabajo se desarrolla en cuatro capítulo, el primero contiene la descripción del problema y formulación del problema, importancia justificación de la investigación, delimitación del estudio y objetivos de la investigación, en el segundo capítulo contiene marco teórico, investigaciones relacionadas con el tema, investigaciones nacionales e internacionales, estructura teórica y científica que sustenta el estudio, definición de términos , hipótesis y variables, en el tercer capítulo se observa el marco metodológico donde se describe el tipo de investigación utilizada en la presente tesis, finalmente en el cuarto y último capítulo se presenta los resultados de la investigación y en el análisis se profundiza los resultados obtenidos. Se modeló en dos áreas libres y planas, cerca de la orilla, dos torres metálicas de evacuación vertical que permite salvaguardar a los habitantes que se encuentren en el lugar, estas torres podrán proteger a más de 1000 personas y tiene una altura de 15 m, superior a la cota de inundación máxima en este estudio. Las personas cuentan con 25 minutos para lograr evacuar del lugar y para ello también se trazó vías de evacuación horizontal con dirección a los tres puentes de la carretera principal para aquellas personas que no alcancen llegar a las torres de evacuación vertical y así puedan pasar a un lugar no inundable salvando sus vidas.

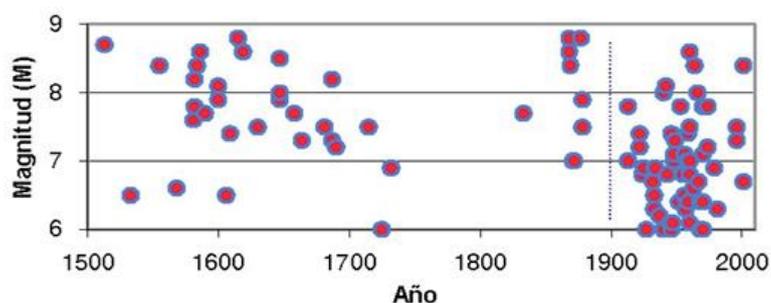
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

De acuerdo a la sucesos pasados de tsunamis en el Perú se sufrió daños de manera más seguida dentro de los 100 últimos años como se puede observar en la Figura 1, siendo los tsunamis de más intensidad los registrados en el 21 de febrero y en el 12 de noviembre del año 1996 en Chimbote y Nazca respectivamente; el tercero fue el 23 de junio de 2001 en el departamento de Arequipa registrándose 25 muertos y otros 62 desaparecidos , dichos sucesos se dieron en la ciudad de Camaná con olas de hasta 8 metros de altura que causaron inundaciones de hasta 1300 metros en el chiflón que queda cerca al río Camaná (Instituto Nacional de Defensa Civil,2007)

Figura 1

Sismos productores de tsunamis por siglo



Nota. Instituto Nacional de Defensa Civil

Desde 1586, 24 tsunamis han matado a un total de 6.044 personas en Perú. Por lo tanto, en comparación con otros países, los tsunamis ocurren con más frecuencia que el promedio, pero siguen siendo moderados. (Página: Datos mundial,2018). La mayoría de las muertes relacionadas con los tsunamis están relacionadas con ahogamientos, pero las lesiones traumáticas también son un problema importante. Lesiones como fracturas de extremidades y lesiones en la cabeza son causadas por el impacto físico de las personas que son arrastradas contra objetos como casas, árboles y otros objetos fijos. A medida que el agua retrocede, el fuerte efecto de succión de los desechos materiales transportados a zonas densamente pobladas puede causar más lesiones y debilitar edificios y servicios. (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2014).

Las causas determinantes de los tsunamis pueden ser los terremotos provocados por la liberación de energía sísmica almacenada dentro de la tierra; erupciones volcánicas, que son la liberación de material del interior de la tierra en un punto específico llamado volcán; el deslizamiento o desprendimiento de materiales elevados que ruedan por una pendiente o eventualmente hacia el océano como resultado de la caída de un meteorito. La evaluación del riesgo sísmico provocado por el tsunami cobra importancia en nuestro país, porque permite identificar acciones y actividades encaminadas a prevenir el surgimiento de nuevos riesgos o reducir los existentes, las cuales se incluyen en los planes de prevención y reducción de desastres. Implementar medidas estructurales y no estructurales para prevenir y reducir el riesgo de desastres. (Manual para la evaluación del riesgo por tsunami, 2015).

La alerta de un tsunami es algo que no se da en Lima, desde el fatídico día del 28 de octubre de 1746 en él se dio un sismo que sacudió la capital virreinal, dicho fenómeno tuvo una magnitud de 8.8 mayor o igual, de acuerdo a lo estimado por el instituto geofísico del Perú por sus siglas (IGP). Este desastre natural tuvo un impacto en el mundo de aquella época donde se juntaron conceptos como el avance de la ciencia, así como la comprensión de los desastres naturales. Por otro lado, tenemos a la religión que aprovechó esta situación para reforzar sus vulnerabilidades a través del miedo (Alvarez, 2014).

En la Lima actual el último tsunami detectado es el que se dio en el año 2007 a partir del terremoto en el que su epicentro fue ubicado en las costas de Pisco en el que fallecieron 3 personas las cuales fueron encontradas 1800 metros tierra adentro. Esto nos da una idea de los efectos que puede ocasionar no tener resueltos algunos problemas en las edificaciones, entre los que tendremos aproximadamente 8 millones de personas que serían damnificados y afectados, además de miles de heridos y fallecidos. El panorama limeño al producirse un tsunami serio con bastantes establecimientos como centros de salud, comerciales y aproximadamente un millón de viviendas colapsadas e inhabitables, por otro lado, los servicios básicos quedarían inutilizados como sería agua, luz, gas y telecomunicaciones.

También se tendría que hablar de los transportes, que es un elemento necesario tanto para abastecer de alimentos y suministros a la población que también no sería posible usarlos por las carreteras estarían interrumpidas, vehículos varados y también un tránsito interminable.

La geodinámica de nuestra región es compleja y su origen está relacionado con el choque y subducción de la tectónica activa de la placa de Nazca con el segmento continental

formado por el bloque Norandino y la placa Sudamericana. Esta estructura sismogénica de la zona de subducción se considera la principal fuente sísmica donde pueden ocurrir fuertes terremotos de magnitud 7,8-8,8 (Chunga, 2016).

Actualmente las autoridades pertinentes se encuentran trabajando para lograr el desarrollo de Lurín en todos los ámbitos.

Se desarrolló una metodología que hace uso el modelo numérico TUNAMI - N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field Tsunamis) que es un modelo desarrollado por la Universidad de Tohoku, dicho modelo hace uso de datos como la topografía de la zona, así como de su batimetría, también siendo necesarios datos sísmicos. Se hizo una simulación de 8.9 Mw y de 9.0 Mw, teniendo como muestra Lima y sus distritos, entre los que más destacaron por tener las peores consecuencias fueron Lurín y Ventanilla (Páez, 2017).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la infraestructura de las viviendas de zonas costeras está expuesta a riesgos por tsunami?

1.2.2. Problemas específicos

¿De qué manera la topografía del área de estudio influye en la exposición de riesgos por tsunami?

¿De qué manera los materiales utilizados en la construcción de viviendas influyen en su vulnerabilidad?

¿De qué manera la profundidad de inundación de viviendas influye en la curva de fragilidad?

¿De qué manera un mapa de riesgos por tsunami permite elaborar planes de evacuación?

1.3. Importancia y justificación de la investigación

1.3.1. Importancia

Esta investigación es de interés puesto que se caracteriza por identificar, exponer y ampliar conocimientos relacionado al cálculo de riesgo por tsunami mediante el uso modelos 3D de ocupación urbana, beneficiará a la población estudiada, otros investigadores y cualquier persona interesada en temas de tsunamis.

1.3.2. Justificación del estudio

La presente investigación se realiza para determinar las consecuencias del tsunami al producirse un sismo y con ello conocer la vulnerabilidad y exposición de las viviendas de la zona de estudio a través de curvas de fragilidad que nos brinda probabilidades de daño. Es de vital importancia este trabajo de investigación porque permite calcular el riesgo por tsunami a partir de la información obtenida por los sistemas informáticos. Esta investigación servirá como sustento para futuras investigaciones.

1.4. Delimitación del estudio

El presente proyecto se encuentra limitada por las siguientes dimensiones:

1.4.1. Geográfica

En este estudio nos centramos en el distrito de Lurín, uno de los 43 distritos que componen la provincia de Lima, ubicado en el departamento del mismo nombre en Perú. Limita al norte con los barrios de Villa el Salvador, Villa María del Triunfo y Pachacámac; al oriente también con el distrito de Pachacamac; al sur del Distrito de Punta Hermosa; y al oeste con el Océano Pacífico.

Latitud: -12.2736

Longitud: -76.8694

1.4.2. Temporal

Este trabajo se realizó en mayo de este año.

1.4.3. Espacial

Este estudio se desarrolló en la región Lurín de la provincia de Lima, sumando datos a partir del procesamiento de información geoespacial a través de vuelos de drones.

1.4.4. Temática

Este estudio se centra en la aplicación de SIG para determinar las consecuencias del tsunami al producirse un sismo en la región de Lurín de la provincia de Lima.

1.4.5. Muestral

Este estudio se centra en áreas de alta vulnerabilidad sísmica que se encuentran en la región de Lurín, donde la mayoría de las viviendas son autoconstruidas y no se espera que resistan en caso de un evento sísmico importante.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo general

Analizar la infraestructura de las viviendas de una zona costera para determinar el riesgo por tsunami a través del modelo 3d de ocupación urbana.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Analizar la topografía del área de estudio a fin de determinar la exposición de riesgo al tsunami.
2. Analizar los materiales utilizados en la construcción de las viviendas a fin de conocer su vulnerabilidad
3. Analizar las curvas de fragilidad a fin determinar la probabilidad de daño en las viviendas.
4. Elaborar mapas de riesgos por tsunami para proponer planes de evacuación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Histórico

Los tsunamis son causados por deslizamientos de tierra, terremotos, erupciones volcánicas o deslizamientos del límite entre dos placas tectónicas de la Tierra. De acuerdo a los registros históricos de tsunamis, este tipo de desastres naturales puede ocasionar tragedias tanto de forma estructural o cobrar vidas cerca su fuente. Estos tienen una frecuencia de dos veces al año. Los tsunamis tienen más probabilidad de causar más estragos en las costas. La constancia con la que se da un tsunami es dos veces cada década en promedio.

En el año 1755 se calcula en promedio que 60.000 personas fallecieron cuando un terremoto afectó a Lisboa, Portugal, provocando un tsunami (Figura 2)

Figura 2

Terremoto de Lisboa, Portugal



Nota. BBC News Mundo (2018)

Un total de 28000 personas fallecieron a causa del terremoto de Sanriku (Figura 3), tuvo una magnitud de 8.5 y a partir de este suceso se dio un tsunami gigante dicho evento tuvo lugar en Japón el 15 de junio del año 1896.

Figura 3

Imagen luego de un tsunami



Nota. BBC News Mundo (2018)

En el año 1908, el 28 de diciembre se dio un tsunami que llegó al Estrecho de Messina (Figura 4) donde fallecieron entre 70 000 y 100 000 pobladores, debido a un terremoto con magnitud 7.2 que movió Messina, Italia.

Figura 4

Ciudad luego de un tsunami en Italia



Nota. Revista Metrónomo (2023)

El 22 de mayo de 1960, un terremoto de magnitud 9,5 sacudió Chile, cerca de Concepción, ya venía soportando fuertes sismos de magnitudes mayores a 8, pero la gran sacudida llegó al día siguiente y provocó un tsunami, como se observa en la figura 5, donde murieron 1500 personas.

Figura 5

Tsunami en Chile



Nota. periodista en español (2014)

El 28 de marzo de 1964, 128 personas murieron en un terremoto de magnitud 9,2 que sacudió Prince William Sound en Alaska y provocó un tsunami (Figura 6).

Figura 6

Estragos de un tsunami en Alaska



Nota. El universo el mayor diario nacional (2020)

El 16 de agosto de 1976, un terremoto de magnitud 8,0 que desencadenó un tsunami mató a entre 4.000 y 8.000 personas en Filipinas (Figura 7).

Figura 7

Tsunami en Filipinas



Nota. BBC News Mundo (2019)

El 26 de diciembre de 2004, un terremoto de magnitud 9,1 en Sumatra, Indonesia, mató aproximadamente a 227.898 personas y provocó un tsunami posterior en 14 países del sur de Asia y el este de África (Figura 8).

Figura 8

Momentos después del tsunami en Indonesia



Nota. BBC News Mundo (2019)

El 25 de octubre de 2010, alrededor de 449 personas murieron cuando un terremoto de magnitud 7,7 azotó a Indonesia, causando un tsunami como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Maremoto en Indonesia



Nota. Madrid Blog (2010)

El 11 de marzo de 2011 se produjo un terremoto de magnitud 9,1 a 371 kilómetros al noreste de Tokio. El tsunami fue provocado por un terremoto de olas de nueve metros que dañó varios reactores nucleares de la zona. Hallados unos 20.000 muertos y 2.500 desaparecidos.

El 28 de septiembre de 2018, un terremoto de magnitud 7,5 sacudió la isla indonesia de Sulawesi y provocó un tsunami que mató a más de 2.100 personas.

2.2. Investigaciones relacionadas con el Tema

2.2.1 Investigaciones Nacionales

Moreno y Jiménez, (2018) hicieron una investigación sobre "Simulación numérica del tsunami de Lambayeque de 1960". El objetivo de este estudio es investigar la dinámica y simulación numérica de tres procesos durante el tsunami de Lambayeque del 20 de noviembre de 1960 en Perú ($M_w = 7,6$): generación, propagación e inundación. El modelo numérico TUNAMI simula procesos de propagación e inundaciones. Es necesario tener datos de la topografía y la profundidad del modelo GEBCO con una resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente 927 m). El resultado del modelo incluye los siguientes parámetros: hora del primer tsunami, altura máxima de las olas y área inundada para cada área simulada. Este resultado se compara con la información del modelo TUNAMI. Este artículo detalla el tsunami, el terremoto que siguió, los tiempos de llegada a las zonas de Pimentel, Santa Rosa y Puerto Eten son de 30, 35 y 40 minutos respectivamente. La mayor inundación en Pimentel ocurre a una distancia de 1,86

kilómetros y la altura de las olas es de aproximadamente 6 metros. Este método se basa en el modelo digital TUNAMI, el cual requiere como entrada un modelo digital de elevación (topografía y profundidad) entre los puertos de Eten y Pimentel en la costa de Lambayeque y utiliza un modelo de fuente sísmica. tsunami como situación inicial. El modelo numérico TUNAMI resuelve la ecuación de momento lineal integrada verticalmente y la ecuación de continuidad de aguas someras, ignorando el efecto Coriolis. También incluye un algoritmo de fricción del fondo marino integrado en el modelo. Las ecuaciones de continuidad y momento lineal se discretizan en un esquema central en diferencias finitas conocido como "rana saltadora". Se realizó 4 mallas anidadas con diferentes resoluciones espaciales (27", 9", 3", 1"), mallas A, B, C y D. La hora y la cuadrícula D contienen información detallada sobre la topografía y profundidad a la que el tsunami de Lambayeque inundó la región desde 1960, especialmente en las zonas costeras de Puerto Eten., Santa Rosa y Pimentel. En resumen, la dinámica del tsunami de Lambayeque de 1960 ($M_w=7,6$) fue simulada mediante simulación numérica. El terremoto ocurrió cerca de una trinchera que se cree es un prisma afilado (una cuña de placas tectónicas formada por escombros como resultado de la fricción entre la placa continental y la placa de Nazca). La altura y hora de llegada del tsunami se obtienen a partir de los valores acumulados de las mareas. La altura máxima de ola frente a Pimentel es de 4,82 m y el tiempo de aterrizaje es de 30 minutos. En la zona de Santa Rosa la altura máxima de ola es de 4,20 m y el tiempo de llegada es de 35 minutos. En Puerto Eten la altura de la ola más alta es de 4.51 m y el tiempo de aterrizaje es de 40 minutos. El refugio de los habitantes de Puerto Eten es el cerro La Campana, que tiene una altura máxima de 116 metros sobre el nivel del mar.

Mas, Adriano y Pulido (2014) realizaron la investigación Simulación de Inundación por Tsunami en el Centro del Perú desde Escenarios futuros del terremoto Megathrust. Esta investigación tiene como objetivo determinar a partir de doce escenarios de mega terremotos potenciales, el impacto del tsunami en la región Lima-Callao en el centro de Perú. Además, se realiza un mapeo de peligros utilizando la envolvente local de la inundación máxima simulada en estos escenarios. El enfoque determinista está respaldado por décadas de mediciones geodésicas en esta área que caracterizan la acumulación de tensión inter sísmica desde los mega terremotos históricos. Los escenarios de terremotos para la simulación propuestos introducen heterogeneidades de deslizamiento de longitud de onda corta correlacionadas espacialmente en un primer modelo de deslizamiento en calculado a partir de la distribución de acoplamiento inter

sísmico (ISC) en el centro de Perú. El ISC se derivó de datos de monitoreo de GPS, así como de información histórica de terremotos. Los resultados de las simulaciones de fuertes movimientos del suelo informaron que el escenario de deslizamiento con los valores máximos promedio más profundos a lo largo del rumbo ($M_w = 8.86$) genera el PGA más grande en el Callao. En este estudio, a partir de los resultados de la simulación de tsunamis, encontramos que el modelo de deslizamiento con el mayor deslizamiento máximo a poca profundidad ($M_w = 8.87$) produjo la mayor inundación de tsunami. Tales diferencias en los escenarios máximos para la aceleración máxima del suelo y la altura del tsunami revelan la importancia de una evaluación integral de los peligros de terremotos y tsunamis para proporcionar los peores escenarios plausibles para la gestión del riesgo de desastres y la educación.

Como metodología en este estudio, se utilizó el modelo de análisis numérico de la Universidad de Tohoku para la investigación del tsunami de campo cercano (TUNAMI-N2) para la simulación. Las ecuaciones no lineales de aguas poco profundas se discretizan utilizando un esquema de diferencias finitas de salto escalonado. La región computacional se dividió en cinco dominios representados por cuadrículas anidadas. Los datos de batimetría se obtuvieron originalmente de GEBCO2 con una resolución de 30 segundos de arco y se volvieron a muestrear para el primer y segundo dominio en 405 m y 135 m, respectivamente. En el caso de los dominios tercero a quinto, DHN3 proporcionó cartas náuticas y datos de batimetría de ecosonda a partir de una nueva campaña de adquisición de batimetría de 2014 en el área. Los datos topográficos se obtuvieron del Gobierno Regional del Callao como curvas de nivel. Se utilizó una resolución de cuadrícula de 5 m en el dominio de simulación más pequeño 963 en general, la información urbana digital detallada, como los contornos y las alturas de los edificios, era limitada en esta área. Además, las alturas de los edificios no se podían incluir como parte de un modelo topográfico, a excepción de un pequeño distrito ubicado en la península llamado La Punta, donde los datos sobre las alturas de los edificios se incluyeron en la topografía. Un desplazamiento instantáneo de la superficie del mar, idéntico al desplazamiento vertical del fondo del mar, se asume en el modelo de fuente de tsunami por medio de la fórmula analítica de Okada para la deformación estática del medio espacio elástico inducida por un deslizamiento cosísmico uniforme en fallas rectangulares. Cada escenario de déficit de deslizamiento consta de 768 subfallas de 10×10 km ubicadas frente a la costa de Lima. Debido a la gran cantidad de subfallas por modelo, los parámetros que se muestran en la tabla se limitaron a la subfalla con valor máximo de deslizamiento. Se fijó un total

de 3 horas de tiempo de cálculo para cada modelo con un paso de tiempo de 0,1 s. La inundación se calculó para los más pequeños dominios utilizando un tamaño de cuadrícula de 5 m de dominio con información de altura de construcción incluida en la topografía (modelo topográfico) para el área de La Punta, la península de Lima Callao. Para otras áreas y dominios, se utilizó un valor de rugosidad de Manning constante de 0,025. Como conclusiones se realizó la simulación de inundación por tsunami de 12 escenarios de mega-terremoto en el centro de Perú para proponer un mapa de amenaza de tsunami a corto y mediano plazo útil para las actividades de mitigación de tsunami en el área de estudio de Lima-Callao, Perú. Además, los peores escenarios para simulaciones de fuerte movimiento del suelo e inundaciones de tsunami resultaron de diferentes configuraciones de modelos de déficit de deslizamiento. Mientras que el movimiento más fuerte es generado por la distribución de deslizamiento donde el valor más alto está en la región profunda y más cerca del área de estudio, la mayor inundación de tsunami es generada por la distribución de deslizamiento con el mayor valor de deslizamiento máximo en un área menos profunda. Por lo tanto, la intensidad sísmica esperada del peor escenario de inundación por tsunami no es necesariamente la intensidad máxima producida por el peor escenario de movimiento fuerte. Dado que el comportamiento de evacuación de los residentes en estas regiones se basa en las señales de las intensidades de los terremotos, es importante educar a la población sobre la posibilidad de intensidades más pequeñas y mayores inundaciones de tsunamis, como el caso estudiado aquí, o la posibilidad de tsunamis-terremotos en la costa peruana.

Castillejo y Espinoza (2015) realizaron una investigación en la cual el propósito de la tesis es modelar tsunamis para plasmar las inundaciones dentro de unos mapas para de esta manera minimizar los daños por la vulnerabilidad y el riesgo en la zona de Ancón. Perú está ubicado en el Cinturón de Fuego, zona donde ocurre el 90% de la actividad sísmica mundial, provocando pérdidas materiales y humanas, por lo que es necesario tomar precauciones para proteger la seguridad de las personas que viven en estas zonas. En el Perú, el Océano Pacífico tiene dos placas, la placa de Nazca (océano) ocupa la mayor parte del Océano Pacífico y tiene un borde de colisión con la placa Sudamericana (continental), provocando un proceso de convergencia que se da debajo de la placa Sudamericana. Los terremotos pueden causar tsunamis. En este trabajo se realizan simulaciones para diferentes magnitudes de terremotos: 8,2 MW (Lima-Callao, 1940) y 8,5 MW (Japón, 2011), creando dos escenarios de tsunami para estudiar la región de Ancón con epicentro sísmico $11^{\circ}32' \text{S}$, $77^{\circ}46'17.31'' \text{T}$, a 70 km de la costa del

cantón Ancón, donde iniciaron con los resultados. Se obtuvieron los siguientes resultados: tiempo de aparición de la primera ola para dos escenarios, cálculo de la altura máxima de ola mediante fórmulas de Yamaguchi y Silgado. La probabilidad de falla resultante en las curvas de fragilidad de Dichato y Samoa Americana en relación con el material dominante en el área de prueba. Todos los resultados obtenidos utilizando la plataforma SIG se presentan en forma de mapas y cuadros estadísticos. Se puede decir que en el área de Ancona para ambos escenarios se han obtenido resultados que permiten planificar y mitigar los impactos de los tsunamis, informando sobre el comportamiento probable de los tsunamis, visualizados en el mapa qué áreas se verán afectadas, qué planes de contingencia puede ser implementado.

Armas y Jaramillo (2020) realizaron la tesis que tiene como objetivo identificar modelos geoespaciales en caso de tsunami utilizando observaciones satelitales y clasificación de peligro de tsunami para proponer medidas de control para reducir los riesgos en la ciudad Calle Camaná, dista 180 km de Arequipa, por la carretera Panamericana, que pueden recorrerse en 3 horas. Esta investigación es inferencial, aplicada, cuantitativa, descriptiva, observacional y longitudinal. La población de estudio incluyó las zonas costeras de la ciudad de Camaná, especialmente en los balnearios de La Punta, Los Cerrillos y Las Cuevas. Luego de analizar el desarrollo del trabajo de investigación, se observaron tres escenarios, se recolectaron datos específicos del área de investigación para calcular las características del tsunami a través de una plataforma satelital y se identificó la herramienta geográfica ArcGIS, los patrones geoespaciales brindan información sobre datos vectoriales y raster, construir modelos de inundaciones y evaluar amenazas a las áreas de investigación. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el modelo de inundación de tres escenas presenta un alto riesgo para la instalación debido al grado de daño estructural al que están construidas las salidas y la ubicación de las estructuras de salida verticales.

Melgar y Mendoza (2015) realizaron la tesis Elaboración de una Plataforma Geoespacial para el Análisis de Riesgo por Tsunami en Edificaciones del distrito de Lurín. Este trabajo incluye un análisis de riesgo de tsunami para edificaciones en el distrito de Lurín, este tiene alta vulnerabilidad por su cercanía al mar. Para realizar las simulaciones respectivas se usó magnitudes como si fuera un sismo de gran magnitud ($M_w=8.0$, $M_w=8.5$ y $M_w=8.7$), haciendo el uso de métodos empíricos para empezar a encontrar parámetros de estimación de tsunami como altura máxima que puede alcanzar una ola, el tiempo en el que llega la primera ola llega a la orilla y como resultado la altura

que tomará la crecida del mar. Teniendo los datos tomados de los parámetros del tsunami, en conjunto con los datos obtenidos del Instituto Nacional de Geografía (IGN), el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el municipio local de Lurín. Se realizó una plataforma de Sistema de Información Geográfica en la que se presentó recolectando datos que serán posteriormente analizados para ser expuestos como tablas de atributos y mapas temáticos, que nos darán una idea de identificar áreas sensibles ante un tsunami, determinar áreas inundadas por el agua, áreas afectadas, los damnificados y cuánto afectaría a la economía, es conclusión permite el análisis de los riesgos y vulnerabilidades de las edificaciones para en un futuro se pueda hacer un plan de prevención.

2.2.2. Investigaciones Internacionales

Cocuñame y Salcedo (2017) expresan que la Isla de Cascajal situado entre la bahía de Buenaventura y la ciudad de Buenaventura, es de importancia geográficamente para el Pacífico de Colombia, donde se tiene el portuario del municipio de Buenaventura, instalaciones administrativas también infraestructura administrativa gubernamental; las mencionadas edificaciones se encuentran en peligro constante ante un terremoto y si se considera la amenaza sísmica se puede hallar los escenarios ante una inundación donde se revisará hasta que altura y que área puede ser cubierto por el nivel de las agua que estará sometida la Isla de Cascajal. En el peor de los casos cuando se tenga un sismo de magnitud 8.8Mw, se tendrá una altura de inundación de 2.88 metros y cubrirá un área total de 3.32km² que sería el 94.6% de la isla. Estos resultados guardan correlación con la data obtenida en la densidad poblacional, las actividades económicas están descubiertas a ser afectadas ante dicho escenario tsunamigénico. El análisis tiene como objetivo fijar el riesgo por inundación a la cual está expuesta la población de la Isla de Cascajal, datos que pueden ser utilizados para realizar planes de mitigación y medidas de prevención en la zona de estudio.

Centro de investigación para la Gestión Integrada de Riesgos de Desastres (2019) Se estudia posibles efectos de terremotos y tsunamis en la costa de Chile realizando una intersección de información relacionadas a la intensidad de la amenaza y las condiciones de evacuación. Se busca incorporar la evacuación vertical dentro de los planes de mitigación del Estado chileno. Se mostrará antecedentes para conocer el potencial de la evacuación por tsunami, se analizó estrategias de evacuación de la zona de Viña del Mar y se comparó con la propuesta de evacuación vertical. Este trabajo motivó a realizar una intensiva revisión de las normativas chilenas respecto a los criterios a considerar tras la implementación de estos planes de evacuación vertical. Existen ciertas características que

se deben tener en cuenta: Las características morfológicas, características de ocupación y gestión, revisión estructural de las edificaciones y finalmente la evaluación de las condiciones de respuesta geotécnica del suelo. Es necesario tener en cuenta estas recomendaciones para definir criterios, regulaciones o algunos estándares que permitan la implementación de la evacuación vertical en Chile.

Urra (2015) en este trabajo se modeló un posible escenario de ruptura actual usando TUNAMI basado en estos eventos y tomando en cuenta sismos recientes. Como resultado se observó que la inundación costera de Iquique no superó los 4 m y la corriente subió al suelo 3 m. La duplicación del desplazamiento resultó en el evento $MW=9.0$, que inundó la costa hasta unos 7 m e inundó la ciudad un poco menos de 10 m. La población es un subconjunto de los elementos de un conjunto. A menudo leemos y escuchamos sobre muestras representativas, muestras aleatorias, muestras aleatorias, como si estas simples expresiones pudieran hacer que los resultados fueran más serios. En la práctica, es casi imposible medir a toda la población, por lo que creamos o seleccionamos una muestra, por supuesto este subconjunto debe representar verdaderamente a toda la población. Todas las muestras (para métodos cuantitativos) deben ser representativas; por lo tanto, el uso de las palabras aleatorias se refiere únicamente a un procedimiento de probabilidad mecánico y a la selección de elementos o unidades, sin especificar el método de muestreo ni el procedimiento de muestreo. La muestra estudiada en este proyecto de investigación comprende la población más cercana a las playas de la zona de Lurín.

Además de romper con Iquique por el norte, inundó 5 m en Cavancha y no inundó la Zona Franca de Iquique (Zofri). Luego estima el daño que el escenario $MW=9.0$ podría causarle a Iquique. Para ello se utilizó un mapa con caudal máximo, sistema de información geográfica, clasificación estructural y curvas frágiles. Los resultados mostraron que el arroyo inundó unas 2.320 casas, de las cuales 1.200 eran de ladrillo y 630 de madera. De los edificios de ladrillo afectados, más de 500 están ubicados en el área de Zofri, y 130 de ellos tienen un alto riesgo de derrumbarse o ser completamente destruidos por las inundaciones. De los 700 edificios restantes que van desde el casco antiguo de Iquique hasta Cavancha, 150 corren peligro de derrumbarse o ser destruidos. El 80% de las edificaciones de madera se concentran en el casco antiguo de Iquique y unas 150 edificaciones podrían quedar completamente destruidas.

Medina (2019) La presente tesis realiza un análisis de tsunami en Sudamérica instaurando dos perspectivas, la primera será realizar un estudio de comportamiento y

actividad de fase w, pequeño, en el Centro Sismológico Nacional; teniendo en cuenta que es necesario instaurar un mecanismo de alerta preventiva o temprana ante tsunamis. Se realizará un estudio más extenso para saber potencialmente cuantos tsunamis se generarán usando fuentes estocásticas en geometrías no planas. Luego para realizar el estudio de la fase w se investiga: la utilizada actualmente, la distribución espacial de las estaciones y la cobertura que brindan en caso de un sismo fuerte. Por supuesto, se hará un estudio en el cual compila a partir de una lista de mecanismos clave obtenida por instituciones nacionales en comparación con otras instituciones en todo el mundo. Los cambios propuestos en los litos utilizados pueden causar problemas en la etapa. Por otro lado, los mecanismos obtenidos utilizando una red local son similares en tamaño a los mecanismos obtenidos en otras instituciones, pero difieren significativamente en su orientación. Finalmente, la red parece sólida para grandes eventos, pero su cobertura podría mejorarse agregando estaciones en la región de Atacama, lo que conduciría directamente a una mejor cobertura de terremotos en el norte de Chile y más allá. en la costa de Valparaíso. Por otro lado, el estudio de potencial tsunamigénico incluye una revisión bibliográfica para contextualizar la zona de subducción e identifica 9 tsunamis potencialmente genéticos: 4 en Chile, 3 en Perú y 2 en Ecuador-Colombia. En cada zona se realiza, entre otras cosas, un estudio de la historia sísmica, acoplamiento sísmico, importantes mediciones de profundidad del relieve para obtener el mayor tamaño de ruptura posible. Con base en este valor, el modelo k 2 genera 100 escenarios de explosión estocástica, que realiza un modelado numérico de tsunamis, lo que da como resultado distribuciones de inundaciones naturalmente ascendentes o verticales para cada área de estudio. Se realizará la validación de las fuentes obtenidas y el estudio del uso local o regional que se da en cada zona estudiada para comprobar la relación entre la pendiente costera y el valor alto. Para el centro del Perú se obtienen valores altos de hasta 50 metros, pero los valores más probables son menores a 20 metros para la mayoría de los escenarios. En conclusión, se puede afirmar que los resultados obtenidos durante este trabajo indican un alto nivel de peligrosidad a nivel local en toda la zona de subducción de América del Sur.

Martínez y Aránguiz (2016) esta investigación se realiza en la ciudad de Boca Sur, región de Biobío que evalúa el riesgo de inundaciones por tsunamis, para ello se consideró un escenario de tsunami extremo para un terremoto $M_w = 9,0$. El análisis de vulnerabilidad abordó las dimensiones físicas, socioeconómicas y organizativas utilizando datos del Instituto Nacional de Estadística a nivel de censo y bloque censal. Se

estableció que la primera ola llegó a la costa 22 minutos después del terremoto y alcanzó una altura de 5 metros sobre el nivel del mar. Los altos niveles de destrucción de viviendas, la baja seguridad social, la alta densidad de población y la baja seguridad social son factores de vulnerabilidad que explican el riesgo.

2.3. Estructura Teórica y Científica que sustenta el Estudio

2.3.1. Modelo 3D de ocupación urbana

- Topografía: Es la ciencia en la se halla dimensiones y contornos en la superficie terrestre utilizando métodos de medición de distancias, ángulos, diferencia de alturas. También puede ser utilizado en la construcción de edificaciones urbanas, carreteras, estructuras de ingeniería en general, de modo que se pueden definir líneas y niveles. La mencionada ciencia implica el computa calcular áreas, volúmenes, ubicaciones con coordenadas reales que servirán para la realización de planos y mapas. (Universidad de Colima, 2022).
- Material de la edificación: Aquella materia prima o producto elaborado para ser empleado en las diferentes obras de la ingeniería civil (Ferrovial, 2023)
- Planes de mitigación de riesgo: La preparación ante tsunamis es sólo una parte de un plan integral que cubre los muchos posibles daños locales, incluidos los daños causados por terremotos, viento y lluvia, tormentas severas y erupciones volcánicas. En el caso de un tsunami local, hay poca o ninguna advertencia antes de que llegue a la costa. Por lo tanto, los elementos principales de la preparación para tsunamis son la planificación anticipada y la construcción de áreas de evacuación, el mantenimiento de las rutas de evacuación, los sistemas de comunicación y la rápida difusión de información correcta (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2018).

2.3.2. Riesgo por tsunami

- Curvas de fragilidad:

Castillejo y Espinoza definen las curvas de Fragilidad como:

Una nueva medida para evaluar los daños a los edificios causados por los tsunamis. La probabilidad de daño en la estructura de determina de acuerdo a las características hidrodinámicas de los tsunamis.

La probabilidad de daños estructurales se estima en función de las características hidrodinámicas de los tsunamis. La velocidad, la fuerza hidrodinámica, el flujo de la inundación y la profundidad de la inundación están entre los parámetros que se

han utilizado en estudios anteriores para indicar la vulnerabilidad o la tasa de mortalidad de un tsunami. Hasta ahora, las curvas de fragilidad de los tsunamis se han desarrollado combinándolas con el tipo de vivienda. La aplicación de esta frágil curva a otras regiones debe evaluarse cuidadosamente, considerando la incertidumbre del tsunami y las características locales de los edificios en el área de estudio.

- Exposición al tsunami: Por su cercanía a la costa, la región de Lurín está expuesta a tsunamis provocados por terremotos. Es por eso que los tsunamis son uno de los peligros naturales más importantes que pueden afectar los hogares, la infraestructura pública y privada y sus medios de vida (Gobierno Regional del Callao, 2021).
- Vulnerabilidad sísmica: Cuando se habla de vulnerabilidad sísmica de una edificación, condominio o un área residencial, se puede definir qué tal susceptible es a padecer daños en la circunstancia de un evento sísmico y guarda relación con el diseño físico y estructural (Barbat,1998).

2.3.3 Herramientas informáticas

Software ArcGIS, dron, Microsoft office, Survey123, Pix4D.

2.4. Definición de Términos Básicos

- Tsunami: Serie de olas del océano generadas principalmente por grandes terremotos originados en el fondo marino. Estos tsunamis llegan a inundar las costas causando muy graves daños a los distintos ambientes y comunidades costeras (Comisión Oceanográfica Intergubernamental, 2013).
- Sismo: Los terremotos, o sismos, son movimientos repentinos del suelo causados por una liberación repentina de energía en el suelo (Salazar, 2018).
- Infraestructura de las viviendas:

La Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. (2020) define la infraestructura de las viviendas como:

Tiene como principal componente determinante el tipo de material usado en su construcción de losas, muros, paredes. De esta manera se podrá tener una apreciación de la seguridad que se puede tener en una vivienda ante los riesgos, y uno de los factores para saber a qué riesgo estará expuesta una vivienda será la ubicación de la misma.

- Riesgo por Tsunami: Los riesgos a partir de un tsunami pueden ser nefastos tanto para las zonas costeras y zonas urbanas. También puede tener consecuencias perdurables

en el ecosistema marino y costero, estas consecuencias dependen íntegramente de la magnitud que provocará el mismo tsunami. (UNESCO, 2013).

- Vulnerabilidad: Es la susceptibilidad en la que se encuentran las viviendas o la gente a las inundaciones, también se puede determinar el riesgo a sufrir algún tipo de daño. (Apel, Aronica, Kreibich, & Thieken, 2009).
- Profundidad de inundación: Se refiere a la altura en la que se encuentra la superficie respecto a la inundación, es indispensable este dato para poder hallar la inundación. (Ferrer, 2012).
- Modelos 3D de ocupación urbana:

Capo y Ceballos (2018) definen el Modelado 3D de Ocupación Urbana como:

El proceso de desarrollar una representación gráfica tridimensional de un objeto, que se puede mostrar como una imagen bidimensional cuando se procesa con un software especializado. Debido a la necesidad de mejorar las tecnologías en el proceso de construcción, los especialistas utilizan con mayor frecuencia el modelado 3D en varios proyectos.

- Riesgo: Se define como cuán probable es que una situación o acción peligrosa puede convertirse en un accidente; estas situaciones por sí solas no son un peligro inminente pero sí dadas las condiciones adecuadas se convierte en un riesgo (Chávez, 2018).
- Curvas de nivel: Son líneas que conectan puntos con la misma altura o elevación, son llamadas normalmente isolíneas, pero pueden tener diferentes nombres de acuerdo con el tipo de trabajo que sean relacionados (Environmental Systems Research Institute, 2023).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La infraestructura de las viviendas de zonas costeras está expuesta a riesgos por tsunami

2.5.2. Hipótesis específica

- La topografía del área de estudio determina los riesgos por tsunami
- Los materiales utilizados en la construcción de viviendas determinan su vulnerabilidad
- La profundidad de inundación de viviendas determina su curva de fragilidad
- Un mapa de riesgos por tsunami permite elaborar planes de evacuación

2.6. Variables

2.6.1. Variable independiente

- Modelos 3D de ocupación urbana:

Capo y Ceballos (2018) definen el Modelado 3D de Ocupación Urbana como:

El proceso de desarrollar una representación gráfica tridimensional de un objeto, que se puede mostrar como una imagen bidimensional cuando se procesa con un software especializado. Debido a la necesidad de mejorar las tecnologías en el proceso de construcción, los especialistas utilizan con mayor frecuencia el modelado 3D en varios proyectos.

2.6.2. Variable dependiente

- Riesgo por tsunami:

Los riesgos a partir de un tsunami pueden ser nefastos tanto para las zonas costeras y zonas urbanas. También puede tener consecuencias perdurables en el ecosistema marino y costero, estas consecuencias dependen íntegramente de la magnitud que provocará el mismo tsunami (UNESCO, 2013).

2.6.3. Matriz de operacionalización

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Modelos 3D de ocupación urbana	Topografía, material de edificación, , planes de evacuación urbana	El modelado 3D es el proceso de desarrollar una representación gráfica de cualquier objeto en tres dimensiones, que se puede mostrar como una imagen bidimensional cuando se procesa con un software especializado. Debido a la necesidad de mejorar las tecnologías en el proceso de construcción, los especialistas utilizan con mayor frecuencia el modelado 3D en varios proyectos.	Es aquella modelación gráfica de un objeto en 3 dimensiones, entre estas tenemos a las cotas que obtenemos mediante la topografía. En la representación también se podrá saber la ubicación de la ocupación urbana, así como también el material de la edificación	- Curvas de nivel - Características de las edificaciones - Encuestas	Dron ArcGis Observacion Directa Survey 123
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Riesgo por Tsunami	Curvas de fragilidad, exposición al tsunami, vulnerabilidad sísmica	Los riesgos a partir de un tsunami pueden ser nefastos tanto para las zonas costeras y zonas urbanas. También puede tener consecuencias perdurables en el ecosistema marino y costero, estas consecuencias dependen íntegramente de la magnitud que provocará el mismo tsunami.	El riesgo por tsunami es producido por el peligro sísmico en un determinado punto, y este puede ser devastador en las áreas costeras debido a factores como la exposición sísmica a la que están expuestos las comunidades y la vulnerabilidad sísmica debido al tipo de edificaciones, dicho factor incrementa los daños.	- Peligro sísmico - Exposición sísmica - Vulnerabilidad sísmica	Simulación 3d Curvas de fragilidad de Phuked y American Samoa

Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo presenta la metodología utilizada para la tesis, el método aplicado es deductivo puesto que se utiliza teorías o leyes a casos singulares, va de lo general a lo particular, este método es muy útil para producir conocimiento de conocimientos anteriores.

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Tipo de estudio

Según Hernández Sampieri (2014):

Esta investigación es correlacional, porque debido al riesgo por tsunami se observa que la variable dependiente guarda relación con la variable independiente, se determina que el estudio es no experimental, puesto que obtendremos la información a través de modelos 3D; por su enfoque, es cuantitativo debido a que permite una generalización más amplia de los resultados, permite el control de los fenómenos, así como una visión basada en relaciones y cantidades. Además, permite una mayor repetibilidad y énfasis en puntos específicos de dichos fenómenos, al mismo tiempo que facilita la comparación de estudios similares. (p. 93)

3.1.2. Diseño de la investigación

Para Hernández Sampieri (2014) el diseño de la investigación por su propósito es no experimental, porque obtendremos la información a través de modelos 3D mas no hacemos uso de laboratorio para obtener información a analizar en la esta tesis. (p. 140)

3.1.3. Nivel de la investigación

Según Hernández Sampieri (2014) es correlacional, este tipo de investigación tiene como objetivo averiguar cuál es la relación o relación entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto determinado. A veces sólo se analiza la relación entre dos variables, pero muchas veces el estudio encuentra relaciones entre tres, cuatro o más variables. (p. 98)

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

De acuerdo con Hernández (2014) dice que:

Una muestra es un subconjunto de la población. Es un subconjunto de los elementos de un conjunto definido por una función que se llama población. A menudo leemos y escuchamos sobre muestras representativas, muestras aleatorias, muestras aleatorias, como si estas simples expresiones pudieran hacer que los resultados fueran más serios. En la práctica no se puede medir toda una población, por lo que se crea o también se selecciona, por supuesto, este subconjunto debe ser verdaderamente representativo de toda la población. Las muestras (en métodos cuantitativos) deben ser representativas; por lo tanto, el uso de las palabras aleatorio y aleatorio se refiere únicamente al proceso de probabilidad mecánica y la selección de elementos o unidades, sin especificar el tipo de proceso de muestreo o aleatorización. (p. 175)

La muestra de estudio en el presente proyecto de investigación está constituida por la población más cercana a las playas del distrito de Lurín.

3.2.2. Muestra

Hernández (2014) afirma: “La muestra es un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p. 175). La muestra seleccionada fueron viviendas que representarán a cada manzana en la zona playa de Lurín.

3.2.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Con los datos recopilados de la zona de estudio como son tesis, antecedentes, encuestas, imágenes orto mosaicas, se analizará el cálculo de riesgo por tsunami con los respectivos instrumentos, se da con la finalidad de conocer la vulnerabilidad, peligrosidad y exposición sísmica a la que se encuentra sometida la zona a ser investigada, para de esta manera prevenir a la población ante algún evento sísmico y dar a conocer los daños económicos que se generaría en la zona.

La información se consiguió de libros, tesis nacionales e internacionales y papers nacionales e internacionales. Para el proceso del desarrollo de la investigación contamos con algunas guías de propuestas de cálculo de riesgo en distintos escenarios y con diversas metodologías, dichos trabajos nos darán un mejor enfoque en nuestra tesis.

3.3. Descripción y procesamiento de análisis

Un trabajo realizado por Proyectos Educativo CR (2016) señala que las distintas operaciones a realizar sobre los datos obtenidos son: clasificación, registro, tabulación y codificación. Con relación a la forma en que se analizará, se dispondrán de técnicas estadísticas que luego se usarán para descifrar datos. Para este trabajo se ha utilizado un dron con el que se obtuvo la topografía del terreno, también el uso de un plataforma digital para realizar un encuesta de la zona de estudio, se sacó datos estadísticos de INEI para conocer la cantidad exacta de la población en el lugar, con el programa ArcGIS se generó mapas temáticos y se procesó la información para obtener la probabilidad de daño a través de curvas de fragilidad, finalmente con AutoCAD se modeló dos torres de evacuación vertical para salvaguardar a la población en caso de un tsunami.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

A continuación, se presenta los resultados obtenidos:

4.1.1. Análisis de la infraestructura de las viviendas para conocer el riesgo por tsunami

Figura 10

Puntos levantados visto desde survey123



Nota. Elaboración propia

Figura 11

Ítems de encuesta por lote

- m^3 Numero de pisos
- Material de construcción
- m^3 Numero de personas en la vivienda
- Imagen de la fachada representativa
- Numero de Lote

Nota. Elaboración propia

4.1.2. Al finalizar el análisis de toda la infraestructura estas resultaron inundadas

Figura 12

Inundación de las infraestructuras de la zona de estudio



Nota. Elaboración propia

4.1.2. Datos topográficos para determinar el riesgo por tsunami

A partir del levantamiento topográfico del dron se obtuvo las curvas de nivel (figura 14) necesarias para conocer la cota de los lotes de nuestra zona de estudio (figura 13)

Figura 13

Lotes con cota diferenciados por colores



Nota. Elaboración propia

Figura 14

Curvas de nivel del área de estudio



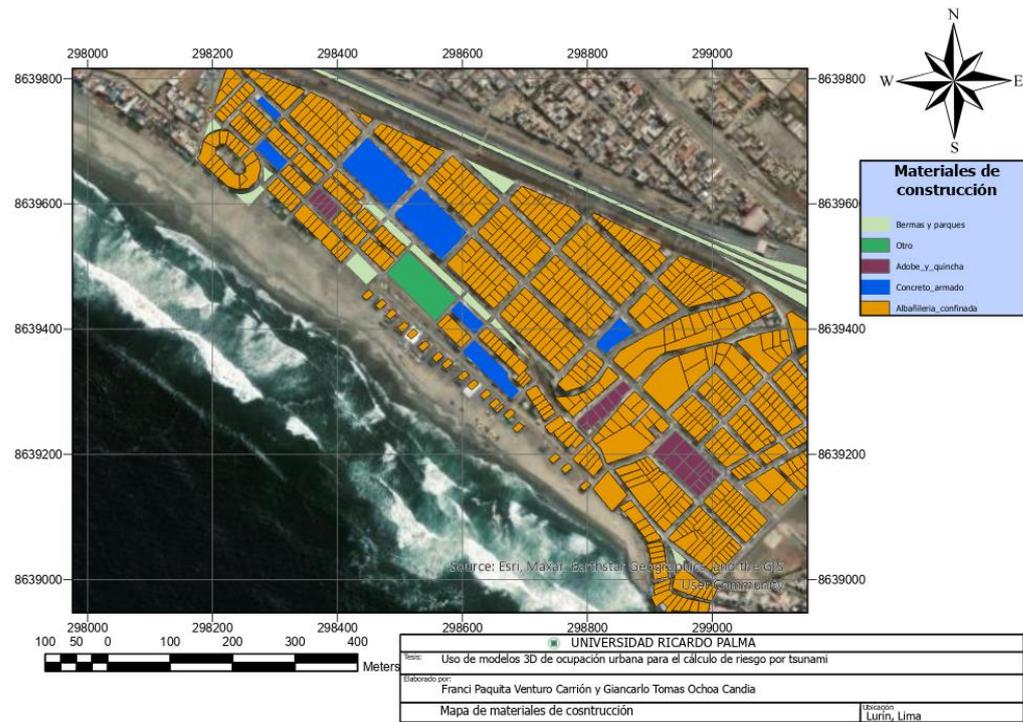
Nota. Elaboración propia

4.1.3. Vulnerabilidad de las viviendas conociendo las características de las mismas

Mediante un mapa temático (Figura 15) se representa los materiales de construcción de las viviendas y luego en la tabla 1 se resume los resultados de vulnerabilidad.

Figura 15

Mapa temático de las características de las viviendas



Nota. Elaboración propia

Tabla 1

Tabla de vulnerabilidad según el material de construcción

Evento sísmico	8.5 Mw	9.0 Mw	
Línea de inundación	4.75 m	10 m	12.5 m
Albañilería confinada	47%	96%	99%
Concreto armado	-	79%	91%

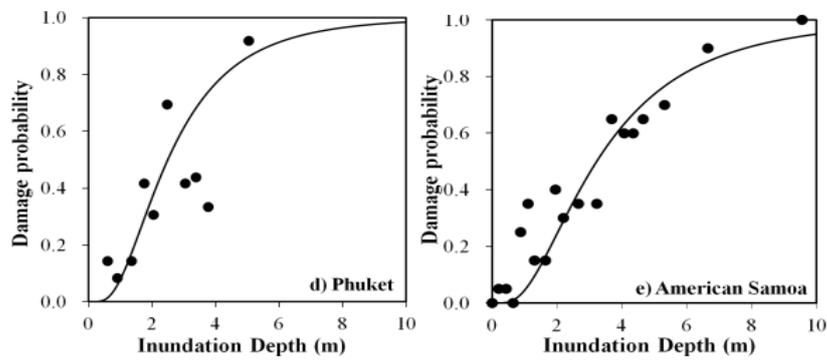
Nota. Elaboración propia

4.1.4. Probabilidad de daño mediante curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad empleadas para determinar la probabilidad de daño son Phuket (albañilería confinada) y American Samoa (concreto armado).

Figura 16

Curvas de fragilidad Phuket y American Samoa

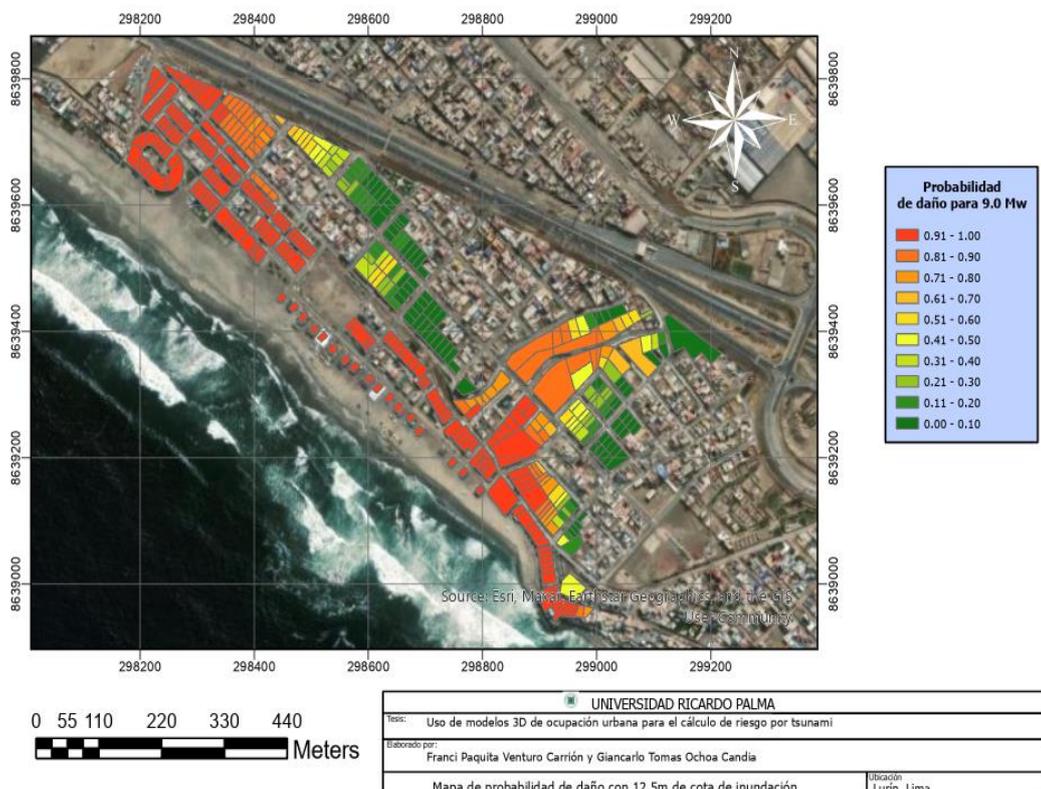


Nota. Natural Hazards and Earth System Sciences (2012)

Para Phuket tenemos:

Figura 17

Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 12.5 m para un sismo de 9.0 Mw



Nota. Elaboración propia

Para American Samoa:

Figura 20

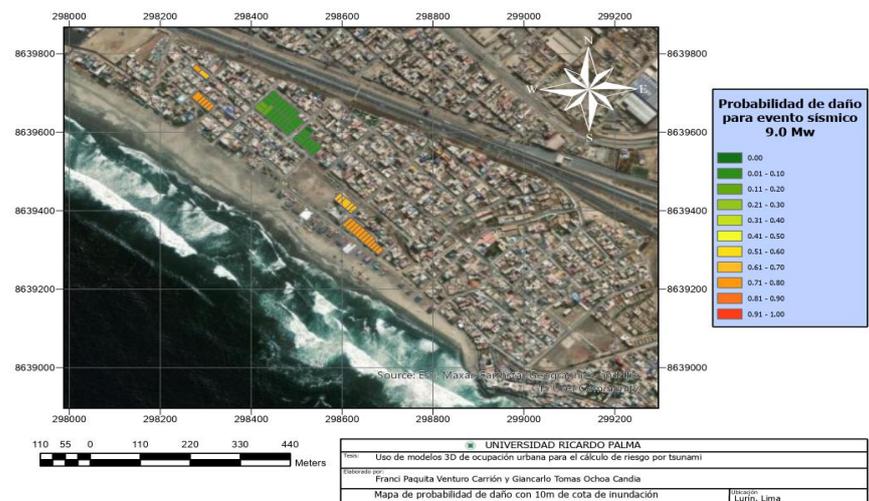
Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 12.5 m para un sismo de 9.0 Mw en concreto armado.



Nota. Elaboración propia

Figura 21

Mapa de probabilidad de daño para una línea de inundación de 10 m para un sismo de 9.0 Mw en concreto armado.

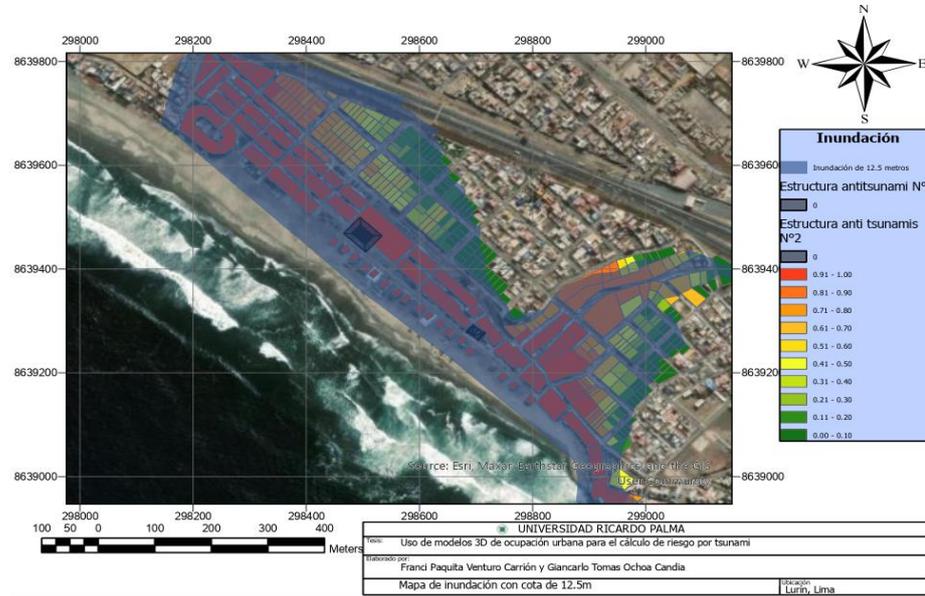


Nota. Elaboración propia

4.1.5. Mapas de riesgos para proponer planes de evacuación

Figura 22

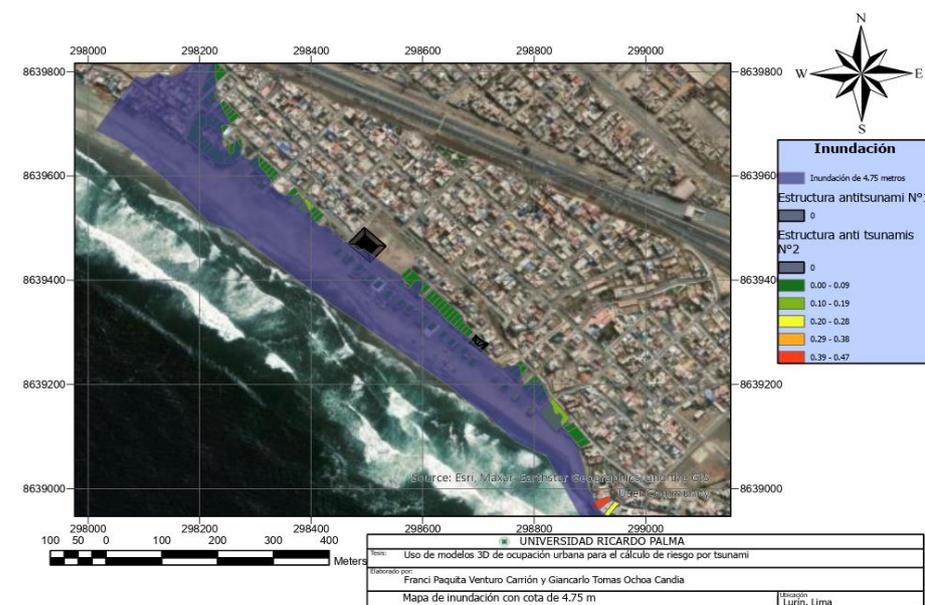
Mapa de inundación con cota de 12.5 metros



Nota. Elaboración propia

Figura 23

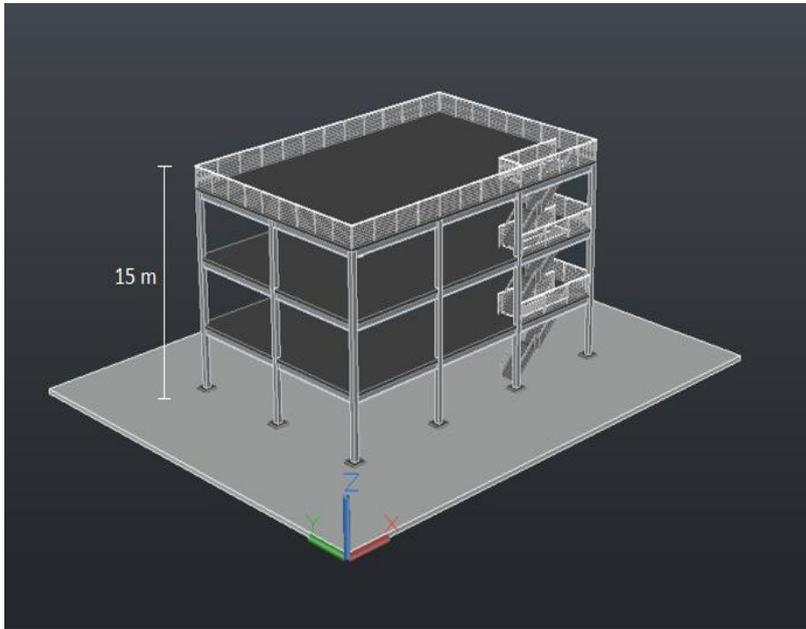
Mapa de inundación con cota de 4.75 metros



Nota. Elaboración propia

Figura 24

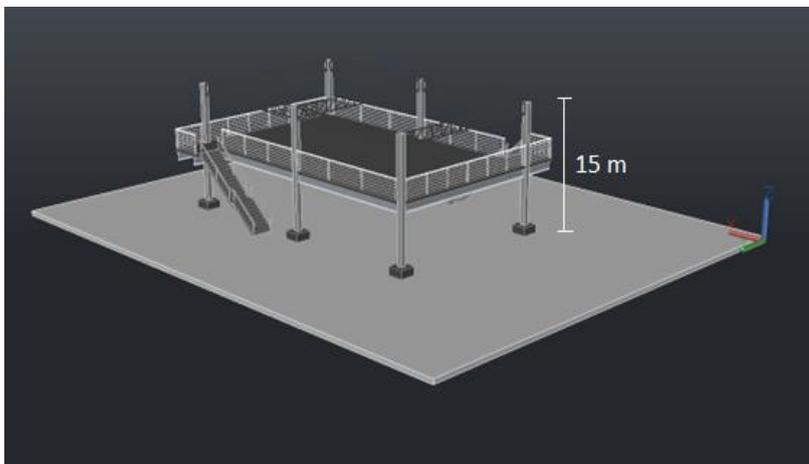
Torre metálica de evacuación vertical n°1



Nota. Elaboración propia

Figura 25

Torre metálica de evacuación vertical n°2

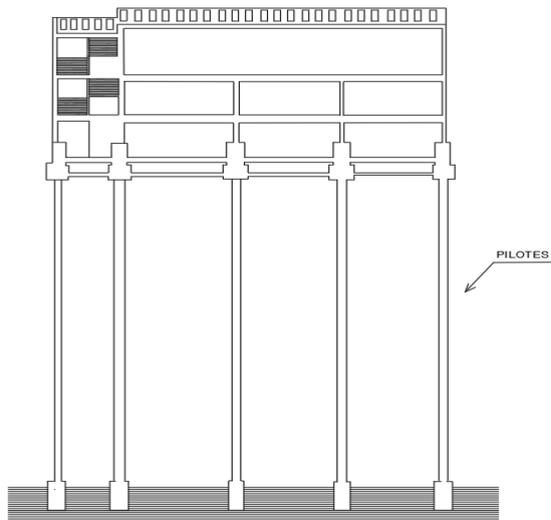


Nota. Elaboración propia

Ambas estructuras de acero van sobre pilotes (Figura 26) para tener mejor anclaje y de esta manera asegurar la estabilidad ante las fuerzas del tsunami y sea resistente al golpe de los escombros.

Figura 26

Pilotes en la estructura de acero para tsunamis



Nota. Elaboración propia

Figura 27

Vías de evacuación



Nota. Elaboración propia

4.2. Análisis de resultados

Se presenta toda la información recolectada en el distrito de Lurín, el área de estudio (figura 28) tomada con un dron, se identificó los lotes (figura 29) y se procedió a realizar las encuestas en el lugar mediante la plataforma Survey123 y el procesamiento de información en ArcGIS.

Figura 28

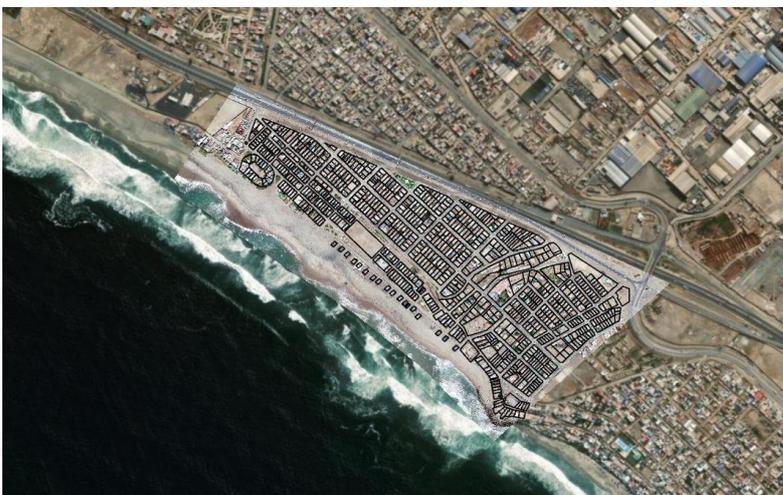
Ortofoto del Área de estudio



Nota. Elaboración propia

Figura 29

Lotes dentro del área de estudio

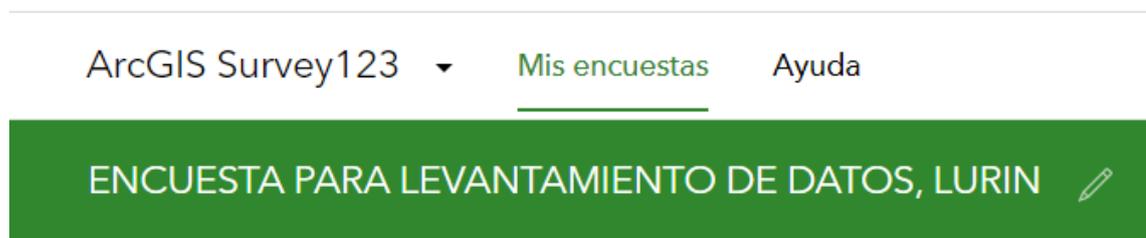


Nota. Elaboración propia

Con ayuda de Survey123 (figura 30) se realizó encuestas por manzanas eligiendo el lote más representativo dentro de ella. Dentro de esta encuesta se buscó información relacionada a número de pisos, material de construcción, número de persona en la vivienda, imagen de la fachada representativa y también una denominación por lote para su respectiva identificación.

Figura 30

Encuesta Survey123



Nota. Elaboración propia

Figura 31

Levantando los puntos en la zona de estudio



Nota. Elaboración propia

Para dos eventos sísmicos se ubicó 3 líneas (dibujada de color negro) de inundación de 12.5 m, 10m y 4.75m (figura 32, figura 33 y figura 34) y de esta manera conocer que tan afectadas resultan las viviendas.

Figura 32

Línea de inundación 12.5 m



Nota. Elaboración propia

Figura 33

Línea de inundación 10 m



Nota. Elaboración propia

Figura 34

Línea de inundación 4.75 m

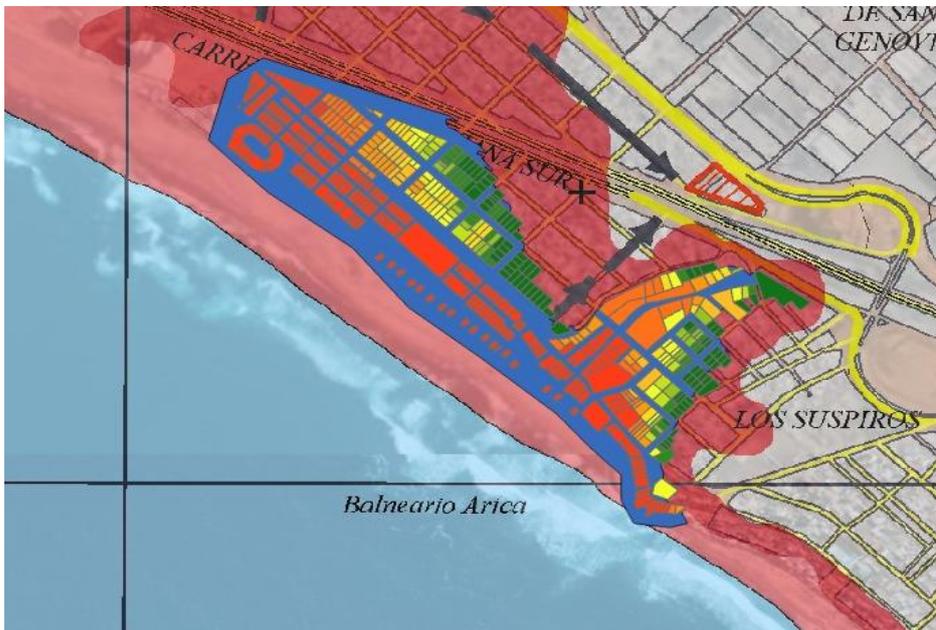


Nota. Elaboración propia

Con apoyo de la carta de inundación en caso de tsunami de la Marina de Guerra del Perú (figura 38) más la información del dron procesada en el programa Pix4D se logra ubicar a la zona de investigación altamente inundable. Con ayuda del programa ArcGIS se interceptó el polígono formado por la línea de inundación 12.5 m, 10m y 4.75m con los lotes de estudio para luego zonificar por colores los lotes más y menos afectados a causa de un tsunami (Figura 35, Figura 36, Figura 37)

Figura 35

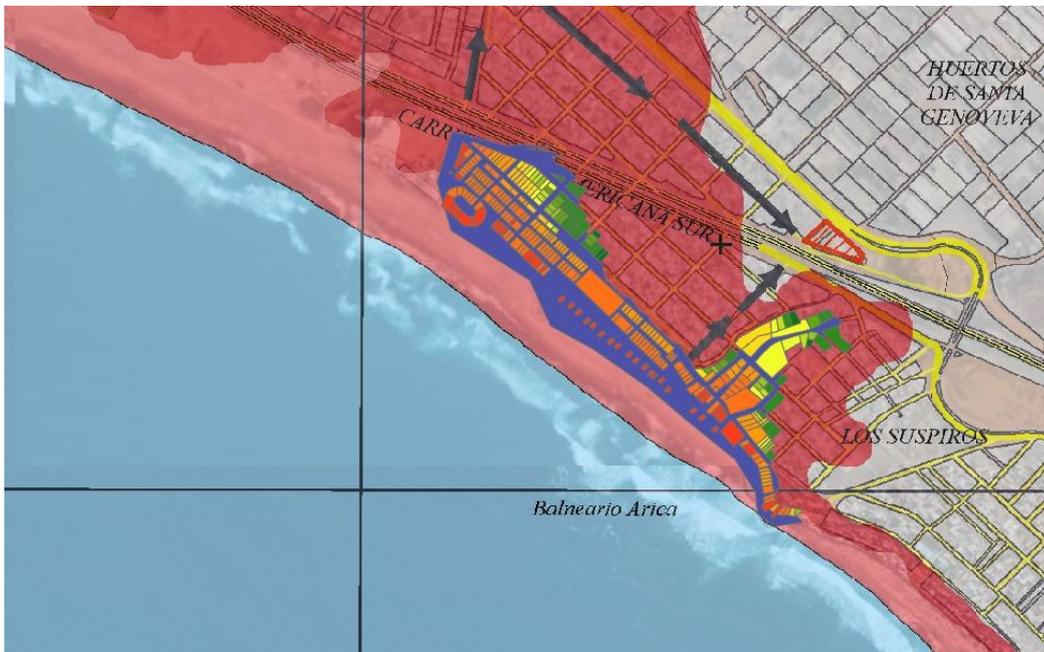
Intersección entre el polígono cota 12.5 m y los lotes de estudio



Nota. Elaboración propia

Figura 36

Intersección entre el polígono cota 10 m y los lotes de estudio



Nota. Elaboración propia

Figura 37

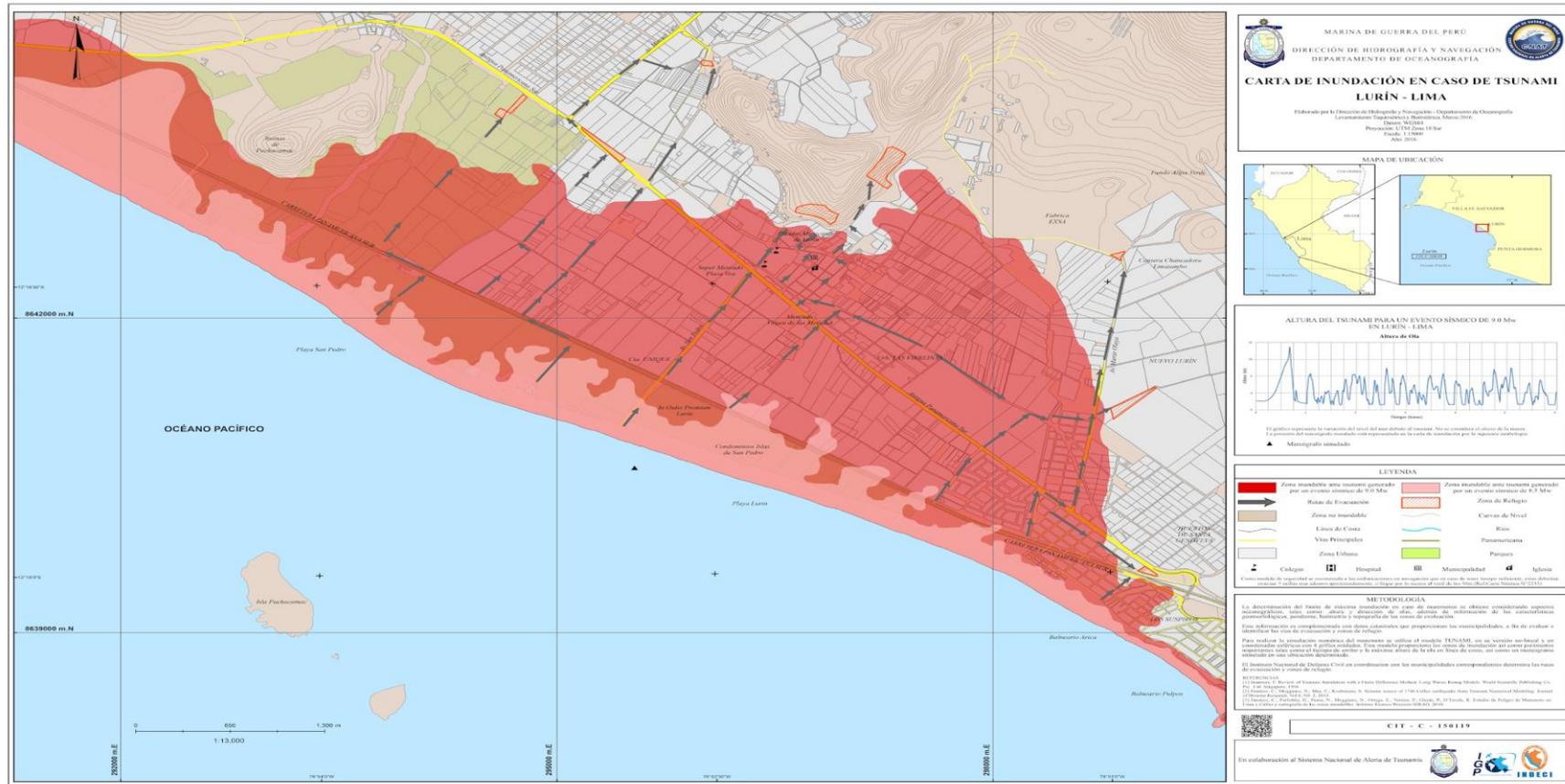
Intersección entre el polígono cota 4.75 m y los lotes de estudio



Nota. Elaboración propia.

Figura 38

Carta de inundación por tsunami



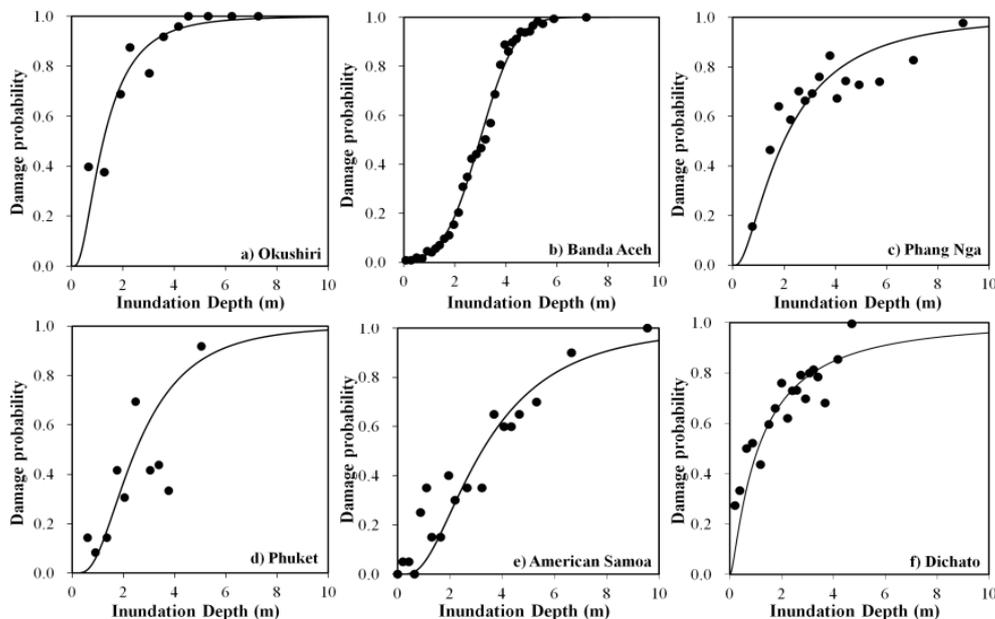
Nota. Dirección de hidrografía y navegación

Existen muchas opciones de curvas de fragilidad (figura 39) según el material de construcción, lugar donde empezó el evento, múltiples parámetros que se puede evaluar para elegir la curva de fragilidad idónea para el trabajo de investigación. Se observa que para mismos valores de profundidad de inundación tienen probabilidad de daño diferentes y esto sucede debido a muchos factores, primero el material de construcción, segundo, cuán cerca estuvo el sismo de las edificaciones, puesto que si el sismo está muy cerca de las edificaciones las fuerzas sísmicas dañarán primero a la edificación y esa edificación ya dañada por el sismo es afectada por la fuerza del tsunami, otro factor es a qué distancia de la costa está la edificación. Para esta investigación se eligió la curva de fragilidad realizada de Phuket para determinar la probabilidad de daño en viviendas de albañilería confinada y la curva de fragilidad de American Samoa para viviendas de concreto armado.

Figura 39

Curvas de fragilidad para tsunamis en varias regiones del mundo

Event (Year)	Location	Country	Structure type	No. of structures inspected	No. of structures in range	μ	σ	μ'	σ'	R^2	Fragility curve (Fig. 9)
Nansei Hokkaido (1993)	Okushiri Is. - Aomae	Japan	Wood	523	50	-	-	0.216	0.736	0.82	a.
Indian Ocean (2004)	Banda Aceh	Indonesia	Wood, timber, RC	48 910	1.000	2.985	1.117	-	-	0.99	b.
Indian Ocean (2004)	Phang Nga	Thailand	Reinforced Concrete (RC)	3.007	100	-	-	0.689	0.903	0.80	c.
Indian Ocean (2004)	Phuket	Thailand	RC	1.589	50	-	-	0.917	0.642	0.62	d.
Samoa (2009)	American Samoa	USA	RC	344	20	-	-	1.170	0.691	0.89	e.
Chile (2010)	Dichato	Chile	Wood, Masonry, mixed	915	50	-	-	0.092	1.272	0.86	f.



Nota. Natural Hazards and Earth System Sciences (2012)

Las curvas de fragilidad de Phuket y American Samoa han permitido determinar las probabilidades de daño de viviendas tanto de albañilería confinada como de concreto armado. En la Tabla 2, podemos observar que para un evento sísmico de 9.0 Mw, cota de inundación de 12.5m, las probabilidades de daño en viviendas de concreto armado y albañilería confinada para profundidades de inundación 8.10 m y 10.14 m son 91% y 99%, respectivamente.

El porcentaje de daño para las viviendas de albañilería confinada que se encuentran dentro de una cota de inundación de 10 m y con profundidad de inundación máxima de las viviendas de 7.64 m es de 96% usando la curva de fragilidad de Phuket. Para los lotes de concreto armado se usó las curvas de fragilidad de American Samoa, estos tienen como profundidad de inundación máxima 5.61 m, teniendo así una probabilidad de daño de 79%.

Se observa que para un sismo de 8.5 Mw (tabla 3) con tan solo 2.39 m se daña casi el 50% de las viviendas dentro de una cota de inundación de 4.75m.

Tabla 2

Porcentaje de daño para la máxima profundidad de inundación ante un sismo de 9.0 Mw.

SISMO 9.0 Mw		
Cota de inundación 12.5 m		
	Prof. Inundación(m)	% de daño
Albañilería confinada	10.14	99%
Concreto armado	8.10	91%
Cota de inundación 10 m		
	Prof. Inundación (m)	% de daño
Albañilería confinada	7.64	96%
Concreto armado	5.71	79%

Nota. Elaboración propia

Tabla 3

Porcentaje de daño para la máxima profundidad de inundación ante un sismo de 8.5 Mw

SISMO 8.5 Mw		
Cota de inundación 4.75 m		
	Prof. Inundación(m)	% de daño
Albañilería confinada	2.39	47%

Nota. Elaboración propia

Se utiliza las curvas de fragilidad correspondientes para cada material. Tendremos 2 curvas fragilidad tanto para la albañilería confinada como para el concreto armado.

Entre los datos más determinantes para desarrollar las curvas de fragilidad son dos variables asignadas al concreto armado y albañilería confinada.

Tabla 4

Tabla de variables para curva de fragilidad de Phuket y American Samoa

μ	σ	μ'	σ'	R^2	
-	-	0.216	0.736	0.82	
2.985	1.117	-	-	0.99	
-	-	0.689	0.903	0.80	
-	-	0.917	0.642	0.62	 PHUKET AMERICAN SAMOA
-	-	1.170	0.691	0.89	
-	-	0.092	1.272	0.86	

Nota. Natural Hazards and Earth System Sciences (2012)

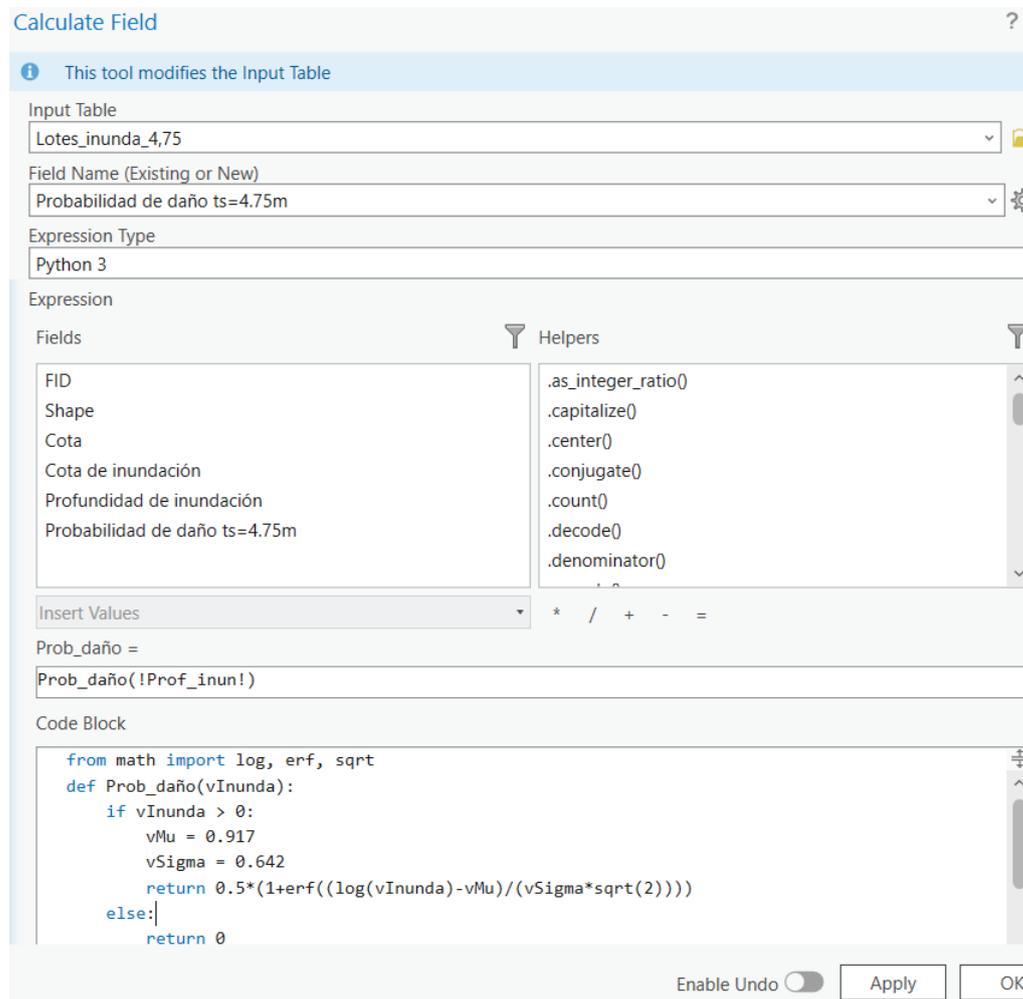
Estas variables aplicaremos en la siguiente ecuación:

$$P(x) = \Phi \left[\frac{\ln(x) - \mu'}{\sigma'} \right].$$

Siendo “x” la profundidad de inundación, Φ representa a la función de distribución logarítmica estandarizada y σ, μ , son las desviaciones estándar y normal de $\ln(x)$.

Figura 40

Formulación de la probabilidad de daño en ArcGIS para un sismo de 8.5Mw



Nota: Elaboración propia

Como ya se mencionó antes, se usarán variables dependiendo de la curva de fragilidad utilizada, en este caso el “Mu” y “sigma” serian 0.917 y 0.642 respectivamente.

Del INEI se rescató información del censo 2017 (Figura 41) para conocer las personas afectadas por el tsunami ante un evento sísmico de 8.5 Mw y 9.0 Mw (Tabla 1, Tabla 2).

Figura 41

Sistema de consulta de abastecimiento a nivel de manzana



Nota. INEI (2017)

Tabla 5

Censo para un evento sísmico de 8.5Mw

Censo de Poblacion y Vivienda 2017	Absoluto	%
Manzanas seleccionadas	8	
Total de viviendas censadas	101	
Total Poblacion Censada	63	100,0
Hombres	36	57,1
Mujeres	27	42,9

Nota. Elaboración propia

Tabla 6

Censo para un evento sísmico 9.0 Mw

Censo de Población y Vivienda 2017	Absoluto	%
Manzanas seleccionadas	58	
Total de viviendas censadas	772	
Total Población Censada	1 336	100,0
Hombres	678	50,7
Mujeres	658	49,3

Nota. Elaboración propia

Tabla 7

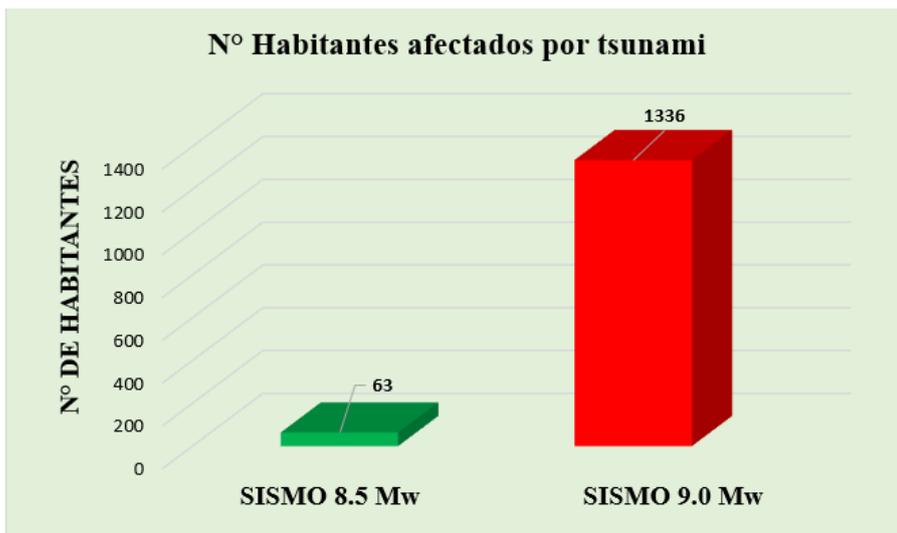
Resumen de personas afectadas por un evento sísmico

Sismo (Mw)	Nº Personas afectadas
8.5	63
9	1336

Nota. Elaboración propia

Figura 42

Habitantes afectados por tsunami



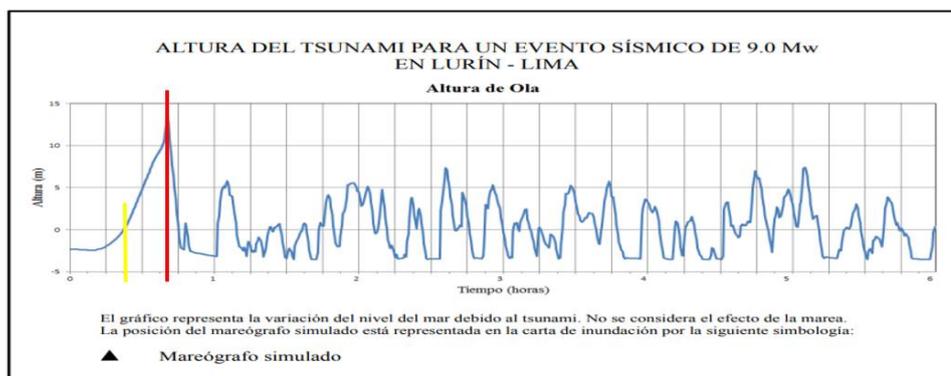
Nota. Elaboración propia

En dos zonas del área de estudio se instalan dos torres metálicas para la respectiva evacuación vertical por tsunami. La primera es una torre de evacuación de tsunamis de estructura de acero (figura 24) y tiene 15 metros de altura, un piso de evacuación de 335.92 m² en su techo donde puede evacuar unas 670 personas aproximadamente, la segunda torre mostrada en la figura 35, tiene 15 metros de altura, un piso de evacuación de 208.50 m² en su techo donde puede evacuar unas 410 personas aproximadamente. Si bien es cierto las torres servirán para evacuar a las personas en caso de un tsunami sin embargo es posible darle otros usos como un mirador en la playa, haciéndolo un espacio turístico o como un almacén. Adicional a las torres de evacuación de tsunami se señala las vías de evacuación (figura 25) hacia lugares con mayor cota y que ante un tsunami pueda encaminar a la población a un lugar seguro. En la zona de estudio se cuenta con 3 puentes a la entrada, al centro y al final de la zona a investigar, por ello la ruta de evacuación también va dirigida a esos puentes para con mayor facilidad se logre cruzar al otro lado y estar más seguro. Algunas personas que efectivamente por estar más cerca a la orilla no podrían llegar a los puentes tan rápido, se realizó como alternativa en dos espacios abiertos y planos dos torres de 15 metros de altura a los cuales las personas pueden acudir y salvaguardarse en caso de tsunami.

Teniendo en cuenta el mareograma de la carta de inundación de la Marina de Guerra del Perú (Figura 43), la primera ola que toca la playa (línea amarilla) será a los 22.5 minutos, pero la playa se inunda completamente a los 42.5 minutos (línea roja).

Figura 43

Mareograma de tsunami (9.0 Mw)

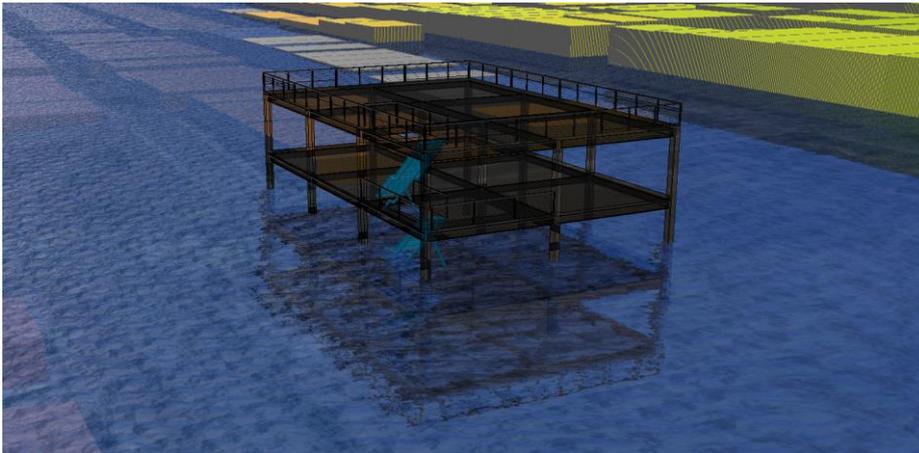


Nota. Dirección de Hidrografía y Navegación - Departamento de Oceanografía (DHN-2016)

Las personas tienen para evacuar la zona de playa en 25 minutos, teniendo en cuenta que una persona puede recorrer 1km en 15 minutos, los 25 minutos son tiempo suficiente para lograr evacuar a una zona segura, sea esta la torre de evacuación vertical o cruzar los puentes peatonales hacia un área con mayor cota.

Figura 44

Estructura anti tsunamis después de la inundación de cota 12.5 metros



Nota. Elaboración propia

Así quedaría comprobada la eficiencia de nuestra propuesta de estructura anti tsunamis, que teniendo en cuenta los respectivos cálculos se demuestra que puede ser una forma de evacuación para habitantes cercanos.

CONCLUSIONES

1. Se analizó las infraestructuras de las viviendas utilizando múltiples programas y plataformas digitales para determinar el riesgo por tsunami por medio de la información actualizada de la zona de estudio a través de Survey 123 que permitió crear una base de datos de la infraestructura de las viviendas en la zona costera y se concluye que mientras las viviendas se encuentren más cercana a la orilla son más susceptibles a sufrir daños.
2. Se analizó la topografía de la zona de estudio mediante el uso de herramientas informáticas como el dron, dichos datos fueron necesarios para obtener las cotas del terreno, así como hacer una comparación con la cota de inundación, teniendo así una diferencia que después en las curvas de fragilidad permiten determinar la probabilidad de daño y con ella determinar la exposición de riesgo al tsunami presente en el lugar de estudio. Se obtuvo información actualizada de la ocupación urbana de la zona de estudio, teniendo más de 1300 habitantes afectado en caso ocurra un evento sísmico de 8.5 Mw o 9.0 Mw, eso quiere decir que tiene una alta concentración de habitantes, existen restaurantes, tiendas, casas de playa, entre otros espacios que ante la presencia de un tsunami serían arrasados, generando mucha pérdida económica a sus habitantes.
3. Se analizó teniendo en cuenta los materiales utilizados en nuestra zona de estudio determinando que las viviendas de albañilería confinada son las más vulnerables ante la presencia de un tsunami. Para mitigar desastres en este caso de un tsunami es necesario conocer el grado de pérdidas estructurales en la zona de estudio para eventos sísmicos mayores a 8.5 Mw que generarán daños de más del 50 %.
4. Se analizó múltiples profundidades de inundación en la zona de estudio que permitieron determinar la probabilidad de daño a través de la curva de fragilidad de Phuket usadas para viviendas de albañilería confinada , teniendo una probabilidad de daño de 99% ante un evento sísmico de 9.0 Mw y 47% ante un evento sísmico de 8.5 Mw en comparación con la probabilidad de daño de las viviendas de concreto armado que utilizando las curvas de American Samoa se ven afectadas en un 91% ante un evento sísmico de 9.0 Mw.

5. Se elaboró mapas de riesgo ante la ausencia de zonas de evacuación en caso de tsunamis y se propuso planes de evacuación que incluyen dos estructuras metálicas de evacuación vertical que servirá para salvaguardar a los habitantes del lugar, sin embargo, como no todas las personas llegarían a esta torre se trazó vías de evacuación horizontal dirigida a los puentes cercanos presentes en el área que conducen a zonas más elevadas y seguras para los habitantes. Se espera que en los primeros 25 minutos de iniciado el tsunami las personas puedan lograr evacuar a un área segura.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las personas que quieran comprar o construir sus infraestructuras en las zonas costeras que tengan en cuenta mantenerse alejadas de las orillas y para aquellas que residen en la zona que tomen sus precauciones y estén informados sobre los sistemas de evacuación ante la presencia de un tsunami.
2. Se recomienda a las autoridades municipales de la zona de estudio que brinden de manera eficaz datos topográficos actualizados si es posible realizados con el equipo de Estación Total para minimizar errores que podrían generar inconvenientes para futuros estudios, pero por otro lado recomendaremos el uso del dron para minimizar gastos y ganar tiempo al momento de realizar un estudio de la zona.
3. Es recomendable en futuras viviendas utilizar el concreto armado para mitigar algunos daños que se podrían dar en caso de un tsunami, por que debido a los resultados obtenidos tenemos una mayor probabilidad de daño en viviendas de albañilería confinada, esto quiere decir que las viviendas de concreto armado tendrán mayor resistencia ante algún evento sísmico.
4. Se hace hincapié en la elección de las curvas de fragilidad elegida para conocer las probabilidades de daño, es necesario tener información actualizada para dar con las cotas correctas puesto que ellas llevarán a dar con la profundidad de inundación, un parámetro clave para conocer el daño generado en la zona de estudio.
5. Finalmente se recomienda a todas las personas informarse sobre las zonas de evacuación o zonas seguras en caso de tsunami al encontrarse cerca al mar, acudir a simulacros de evacuación puede ayudarte a conocer esta información, mantener la calma y acudir lo antes posible a ellas evitando llevar consigo cosas que dificulten su escape, localiza las vías de evacuación, prepara tu mochila de emergencia y recuerda alejarte de objetos que puedan caerse, si estás en un automóvil, estacionate y aléjate de edificios altos, árboles o postes del lugar.

REFERENCIAS

- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H., Thielen, A. H. (2009). *Flood risk analyse-how detailed do we need to be? Natural Hazards*, 49(1), 79-98.
- Armas y Jaramillo (2020). *Reconocimiento de patrones espaciales para identificar riesgos ante tsunamis* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú].
- Alvarez, E (2014), *El mar y las políticas preventivas en el Perú virreinal: impacto, control y vulnerabilidad ante los tsunamis*. [Tesis posgrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú].
- Barbat (1998). *Vulnerabilidad y daños sísmicos: Concepto y evaluación*. Madrid, España.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/03CAPITULO2.pdf>
- Capó y Ceballos (2018), *El futuro del Catastro Urbano: 3D y más allá*, Planificación física, Cuba.
https://www.researchgate.net/profile/yasmani-ceballos-izquierdo/publication/331586913_el_futuro_del_catastro_urbano_3d_y_mas_alla/links/5c81c3f8299bf1268d44a927/el-futuro-del-catastro-urbano-3d-y-mas-alla.pdf
- Castillejo y Espinoza (2015) *Simulación de tsunami para la generación de mapas de inundación y daño en el distrito de Ancón* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú]
- CENEPRED (2017) *Manual para la evaluación de riesgo por tsunami*, 12-13
https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//11841_informe-de-evaluacion-de-riesgos-ante-el-fenomeno-de-tsunami-de-los-aahh-los-licenciadoskumamoto-lotizacion-angamos-3era-etapa-la-planicie-montes-de-s.pdf
- Chavez Lopez (2018), *El Concepto de Riesgo*, Revista Digital de Divulgación Científica.
https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol4num1/03_CONCEPTO.pdf
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental (2013). *Directrices para planificar, realizar y evaluar ejercicios sobre tsunamis de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de Unesco*. Manuales y Guías de la COI No. 58rev. París, UNESCO.
- Cocuñame y Salcedo. (2017). Evaluación del riesgo de inundación ante tsunami local en la isla de Cascajal, Pacífico Colombiano. *Revista de Costa Rica*.
- Datos mundiales (2018). *Tsunamis en Perú*. Lima, Perú.

- <https://www.datosmundial.com/america/peru/tsunamis.php>
- ESRI (2023), *Cómo funciona Curvas de nivel*, <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-contouring-works.htm>
- Ferrovial (2023). *Materiales de construcción*. Madrid, España.
<https://www.ferrovial.com/es/recursos/materiales-construccion/d>
- Ferrer, C. (2012). *El sistema hidráulico del Ebro. Hidrología y Previsiones*, <https://ifc.dpz.es/recursos/publicaciones/22/86/12ferrer.pdf>. Obtenido de Institución Fernando el Católico.
- Kervin Chunga (2016), *Geología de Terremotos y Tsunamis*, Sección Nacional del Ecuador del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH.
- Mas, Adriano, Pulido, Jimenez y Koshimura (2014). Simulación de inundación por tsunami en el centro de Perú a partir de futuros escenarios de terremotos de Megathrust. *Revista Fuji Technology Press LTD*
- Mas, Koshimura, Suppasri, Matsuoka, Matsuyama, Yoshii, Jimenez, Yamazaki e Imamura (2012). Developing Tsunami fragility curves using remote sensing and survey data of the 2010 Chilean Tsunami in Dichato. Tohoku, Japón.
<https://nhess.copernicus.org/articles/12/2689/2012/>
- Marina de Guerra del Perú (2016). *Carta de inundación en caso de tsunami*. Lima, Perú.
<https://www.dhn.mil.pe/cnat/cartas-inundacion>
- Martínez y Aránguiz. (2016). Riesgo de tsunami y planificación resiliente de la costa chilena. La localidad de Boca Sur, San Pedro de la Paz (37° S). *Revista chilena*.
- Melgar y Mendoza (2015). *Elaboración de una plataforma geoespacial para el análisis de riesgo por tsunami en edificaciones en el distrito de Lurín* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú]
- Medina, M (2019). *Peligro de tsunami en Sudamérica: Extensión regional de la fase w y caracterización del potencial mediante fuentes estocásticas* [Tesis de posgrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile - Chile]
- Ministerio de Energía y minas (2020). Plan Ambiental Detallado, Área de Distribución “Majes – San Juan de Sigwas – Quilca – Santa Rita de Sigwas – Vitor – Santa Isabel de Sigwas 1”.
- Moreno, N., & Jimenez, C. (2018). *Modelado Numérico del Maremoto de Lambayeque 1960 (7.6 Mw)*. *Revista De Investigación De Física*, 21(2), 13–20.
<https://doi.org/10.15381/rif.v21i2.20235>

- Salazar-Arbelaez G (2018). *Terremotos y salud: lecciones y recomendaciones*. Salud Publica Mex ;60(suppl 1): S6-S15. <https://doi.org/10.21149/9445>.
- Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S. A. (2020). *Plan Ambiental Detallado, Área de Distribución “Majes – San Juan de Sigwas – Quilca – Santa Rita de Sigwas – Vitor – Santa Isabel de Sigwas 1*, Ministerio de energía y minas, <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/anexo-2.pdf>.
- Uribe, F. (2018), *Estudio de tsunamis provocados por deslizamientos de tierra con énfasis en el caso chileno* [Tesis de posgrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile- Chile]
- Urria, L (2015), *Estimación de daños por tsunami en Iquique*. [Tesis pregrado, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción - Chile]
- Universidad de Colima (2022). *¿Qué es la topografía?* Colima, México. <https://portal.ucol.mx/fic/topo05.htm>
- UNESCO (2008). *Guía informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes*. París, Francia. https://neamtic.iocunesco.org/images/Neamtic/PDF/resources/manuals/Tsunami_preparedness_guidefordisasterplanners_SPA.pdf
- Páez, M., (2017). Escenarios de riesgo frente a Tsunamis de fuente cercana en Lima y Callao [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/9991>
- CIGIDEN (2019). *Evacuación vertical como medida de mitigación del riesgo de tsunamis en Chile*. Villa del Mar, Chile. https://www.cigiden.cl/wpcontent/uploads/2019/07/PPCIGIDEN_EvacVert_digital.pdf

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema general	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicador V.I.
¿De qué manera la infraestructura de las viviendas de zonas costeras está expuesta a riesgos por tsunami?	Analizar la infraestructura de las viviendas de una zona costera para determinar el riesgo por tsunami a través del modelo 3d de ocupación urbana.	La infraestructura de las viviendas de zonas costeras está expuesta a riesgos por tsunami	Modelos 3D de ocupación urbana	Topografía Datos estadísticos Nivel de daño Materiales de construcción
Problema Específico	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente	Indicador V.D.
<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿De qué manera la topografía del área de estudio influye en la exposición de riesgos por tsunami? 2. ¿De qué manera los materiales utilizados en la construcción de viviendas influyen en su vulnerabilidad? 3. ¿De qué manera la profundidad de inundación de viviendas influye en la curva de fragilidad? 4. ¿De qué manera un mapa de riesgos por tsunami permite elaborar planes de evacuación? 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analizar la topografía del área de estudio a fin de determinar la exposición de riesgo al tsunami. 2. Analizar los materiales utilizados en la construcción de las viviendas a fin de conocer su vulnerabilidad . 3. Analizar las curvas de fragilidad a fin determinar la probabilidad de daño en las viviendas. 4. Elaborar mapas de riesgos por tsunami para proponer planes de evacuación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La topografía del área de estudio determina los riesgos por tsunami 2. Los materiales utilizados en la construcción de viviendas determinan su vulnerabilidad 3. La profundidad de inundación de viviendas determina su curva de fragilidad. 4. Un mapa de riesgos por tsunami permite elaborar planes de evacuación 	Riesgo por tsunami	Tamaño de la ola Tiempo de inundación Magnitud del sismo Albañilería confiada y concreto armado

Nota. Elaboración propia

Anexo B: Excel exportado de ArcGIS

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
0	8.395057042	12.5	0.06	0.00
1	6.971498451	12.5	0.09	0.00
2	5.644717476	12.5	0.10	0.00
3	5.644717476	12.5	0.11	0.00
4	3.205716974	12.5	0.12	0.00
5	6.168839557	12.5	0.13	0.00
6	2.358082923	12.5	0.14	0.00
7	4.588980612	12.5	0.15	0.00
8	4.569247243	12.5	0.18	0.00
9	5.589847189	12.5	0.20	0.00
10	5.787298645	12.5	0.21	0.00
11	5.818199091	12.5	0.21	0.00
12	5.887542589	12.5	0.23	0.00
13	6.007452369	12.5	0.23	0.00
14	5.86345153	12.5	0.25	0.00
15	5.582870673	12.5	0.25	0.00
16	5.633682169	12.5	0.25	0.00
17	9.967931913	12.5	0.26	0.00
18	7.529095273	12.5	0.26	0.00
19	7.314596162	12.5	0.26	0.00
20	11.11960966	12.5	0.28	0.00
21	11.45015126	12.5	0.28	0.00
22	6.324602586	12.5	0.29	0.00
23	7.820820792	12.5	0.30	0.00
24	4.39364208	12.5	0.31	0.00
25	6.240689586	12.5	0.34	0.00
26	4.375912026	12.5	0.35	0.00
27	6.21482287	12.5	0.36	0.00
28	9.393032759	12.5	0.37	0.00
29	4.410712708	12.5	0.38	0.00
30	12.36016896	12.5	0.40	0.00
31	8.127453727	12.5	0.40	0.00

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
32	6.174980474	12.5	0.44	0.00
33	8.520369439	12.5	0.46	0.00
34	4.398333234	12.5	0.47	0.00
35	6.095678608	12.5	0.49	0.01
36	12.2737422	12.5	0.49	0.01
37	6.064262631	12.5	0.49	0.01
38	12.22001677	12.5	0.50	0.01
39	6.056641215	12.5	0.51	0.01
40	12.1306966	12.5	0.53	0.01
41	6.03190989	12.5	0.54	0.01
42	7.4099375	12.5	0.55	0.01
43	12.09878331	12.5	0.55	0.01
44	7.723697727	12.5	0.60	0.01
45	11.958749	12.5	0.61	0.01
46	7.878227634	12.5	0.62	0.02
47	8.803839045	12.5	0.62	0.02
48	9.819144494	12.5	0.64	0.02
49	11.75684263	12.5	0.68	0.02
50	9.329123553	12.5	0.69	0.02
51	10.02647044	12.5	0.74	0.03
52	11.61814507	12.5	0.74	0.03
53	11.64425888	12.5	0.74	0.03
54	11.13900459	12.5	0.75	0.03
55	9.778596055	12.5	0.77	0.03
56	11.53973845	12.5	0.78	0.03
57	11.50921138	12.5	0.79	0.04
58	10.85552082	12.5	0.79	0.04
59	12.32070996	12.5	0.79	0.04
60	11.9947487	12.5	0.81	0.04
61	9.963922126	12.5	0.82	0.04
62	11.65095251	12.5	0.83	0.04
63	12.01334836	12.5	0.84	0.05

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
64	12.2651911	12.5	0.84	0.05
65	11.82038075	12.5	0.85	0.05
66	11.85892432	12.5	0.85	0.05
67	12.01354306	12.5	0.86	0.05
68	12.18958871	12.5	0.88	0.05
69	5.252426139	12.5	0.90	0.05
70	11.68988583	12.5	0.90	0.06
71	8.920645102	12.5	0.96	0.07
72	12.01277122	12.5	0.96	0.07
73	4.463109512	12.5	0.97	0.07
74	10.51722685	12.5	0.97	0.07
75	4.050231205	12.5	0.99	0.07
76	12.29924867	12.5	1.03	0.08
77	11.05092293	12.5	1.03	0.08
78	8.455887106	12.5	1.03	0.08
79	11.01567395	12.5	1.04	0.09
80	8.245716047	12.5	1.04	0.09
81	4.525872967	12.5	1.04	0.09
82	11.23550291	12.5	1.05	0.09
83	11.4704404	12.5	1.05	0.09
84	7.105392362	12.5	1.11	0.10
85	5.840578836	12.5	1.11	0.10
86	10.08406628	12.5	1.11	0.10
87	8.578405399	12.5	1.13	0.11
88	5.425823042	12.5	1.13	0.11
89	10.82194386	12.5	1.14	0.11
90	11.45646195	12.5	1.18	0.12
91	8.337285849	12.5	1.21	0.13
92	6.033753756	12.5	1.24	0.14
93	11.35648781	12.5	1.25	0.14
94	8.637663084	12.5	1.26	0.14
95	6.032461355	12.5	1.26	0.14

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
96	4.590753505	12.5	1.26	0.14
97	10.82194386	12.5	1.28	0.15
98	5.459628935	12.5	1.29	0.15
99	10.99168809	12.5	1.30	0.15
100	4.598594197	12.5	1.30	0.15
101	10.78554988	12.5	1.31	0.16
102	8.708495085	12.5	1.34	0.17
103	12.3740633	12.5	1.35	0.17
104	10.87045565	12.5	1.36	0.17
105	6.244467891	12.5	1.36	0.17
106	4.618567991	12.5	1.38	0.18
107	11.0993945	12.5	1.38	0.18
108	11.45987436	12.5	1.40	0.18
109	4.60394246	12.5	1.40	0.18
110	11.53668788	12.5	1.41	0.18
111	12.24582371	12.5	1.42	0.19
112	11.45987436	12.5	1.44	0.19
113	5.679883534	12.5	1.44	0.20
114	4.57522693	12.5	1.45	0.20
115	8.907565915	12.5	1.48	0.21
116	4.669924768	12.5	1.48	0.21
117	4.566651452	12.5	1.48	0.21
118	10.11263041	12.5	1.48	0.21
119	12.38402278	12.5	1.48	0.21
120	4.404386517	12.5	1.51	0.22
121	10.96617567	12.5	1.53	0.22
122	7.510086468	12.5	1.53	0.22
123	6.022934278	12.5	1.55	0.23
124	11.08398223	12.5	1.56	0.23
125	10.36644857	12.5	1.57	0.23
126	6.435946124	12.5	1.58	0.24
127	11.4699477	12.5	1.63	0.25

FID	Cota	cotainun	Profunlun	Prob_daño
128	10.85901713	12.5	1.64	0.26
129	10.3404262	12.5	1.64	0.26
130	11.70586511	12.5	1.68	0.27
131	9.716634427	12.5	1.68	0.27
132	11.80603835	12.5	1.69	0.27
133	11.96653538	12.5	1.71	0.28
134	8.911959999	12.5	1.71	0.28
135	3.55004889	12.5	1.72	0.28
136	11.2432899	12.5	1.81	0.31
137	12.00498698	12.5	1.82	0.31
138	6.978818273	12.5	1.86	0.32
139	11.95039662	12.5	1.88	0.33
140	6.035946097	12.5	1.89	0.33
141	11.71287014	12.5	1.93	0.34
142	10.6373211	12.5	1.98	0.36
143	6.978818273	12.5	1.98	0.36
144	11.59545847	12.5	1.99	0.36
145	7.8869801	12.5	2.00	0.36
146	4.061270906	12.5	2.01	0.37
147	9.107818186	12.5	2.04	0.37
148	4.023640953	12.5	2.05	0.38
149	10.10840089	12.5	2.05	0.38
150	10.91516544	12.5	2.05	0.38
151	12.25486885	12.5	2.13	0.40
152	4.023640953	12.5	2.14	0.40
153	12.05919315	12.5	2.14	0.40
154	12.25486885	12.5	2.14	0.40
155	4.314666408	12.5	2.15	0.41
156	11.65745605	12.5	2.16	0.41
157	12.35372636	12.5	2.16	0.41
158	10.4955851	12.5	2.17	0.41
159	11.5343413	12.5	2.20	0.42

FID	Cota	cotainun	Profunlun	Prob_daño
160	12.29209812	12.5	2.21	0.42
161	4.68382641	12.5	2.22	0.43
162	4.920883723	12.5	2.26	0.44
163	12.13549187	12.5	2.33	0.46
164	9.531960035	12.5	2.33	0.46
165	4.294115554	12.5	2.39	0.47
166	11.06443215	12.5	2.39	0.47
167	11.72449154	12.5	2.41	0.48
168	4.258763043	12.5	2.41	0.48
169	10.68855445	12.5	2.42	0.48
170	4.952218905	12.5	2.44	0.48
171	8.155083143	12.5	2.46	0.49
172	5.046356468	12.5	2.47	0.49
173	12.40589387	12.5	2.48	0.49
174	4.350113496	12.5	2.49	0.50
175	7.693241328	12.5	2.49	0.50
176	12.44097261	12.5	2.51	0.50
177	11.2599025	12.5	2.53	0.51
178	10.50814369	12.5	2.53	0.51
179	12.15299437	12.5	2.53	0.51
180	5.174010684	12.5	2.54	0.51
181	9.139272374	12.5	2.57	0.52
182	11.12390496	12.5	2.57	0.52
183	4.705666364	12.5	2.57	0.52
184	10.29294328	12.5	2.58	0.52
185	8.261353089	12.5	2.58	0.52
186	12.28593456	12.5	2.63	0.53
187	11.76058707	12.5	2.64	0.53
188	10.96800632	12.5	2.68	0.54
189	10.08518855	12.5	2.69	0.54
190	5.308568917	12.5	2.69	0.55
191	12.23843596	12.5	2.69	0.55

FID	Cota	cotainun	Profunlun	Prob_daño
192	10.79100707	12.5	2.72	0.55
193	5.133232111	12.5	2.73	0.55
194	5.300580401	12.5	2.75	0.56
195	8.514881007	12.5	2.78	0.57
196	11.4704404	12.5	2.80	0.57
197	10.36235356	12.5	2.85	0.58
198	9.646101894	12.5	2.85	0.58
199	12.10046601	12.5	2.88	0.59
200	5.120392598	12.5	2.94	0.60
201	5.356529426	12.5	2.96	0.60
202	5.663643829	12.5	2.97	0.60
203	11.31704259	12.5	3.04	0.62
204	6.485779529	12.5	3.09	0.63
205	6.227551496	12.5	3.10	0.63
206	5.364139207	12.5	3.11	0.63
207	10.16593575	12.5	3.12	0.63
208	11.18887876	12.5	3.15	0.64
209	3.886456976	12.5	3.17	0.64
210	6.06388114	12.5	3.31	0.67
211	4.575770485	12.5	3.31	0.67
212	11.02334801	12.5	3.36	0.68
213	11.89806919	12.5	3.39	0.68
214	10.24400175	12.5	3.39	0.68
215	6.303335078	12.5	3.39	0.68
216	5.111231185	12.5	3.39	0.68
217	4.315575726	12.5	3.51	0.70
218	8.789481798	12.5	3.58	0.71
219	10.35085388	12.5	3.59	0.71
220	11.52727613	12.5	3.59	0.71
221	6.287537347	12.5	3.60	0.71
222	9.648844424	12.5	3.60	0.71
223	9.915679001	12.5	3.62	0.72

FID	Cota	cotainun	Profunlun	Prob_daño
224	5.078244185	12.5	3.63	0.72
225	9.810370151	12.5	3.69	0.73
226	12.40337116	12.5	3.70	0.73
227	6.315486124	12.5	3.71	0.73
228	4.315575726	12.5	3.71	0.73
229	4.575770485	12.5	3.77	0.74
230	9.915679001	12.5	3.79	0.74
231	6.329148503	12.5	3.82	0.74
232	9.85523684	12.5	3.83	0.75
233	9.752520145	12.5	3.86	0.75
234	12.24065047	12.5	3.92	0.76
235	4.438621988	12.5	3.98	0.77
236	6.377696275	12.5	3.99	0.77
237	5.098015408	12.5	3.99	0.77
238	12.215077	12.5	4.04	0.77
239	10.49374571	12.5	4.05	0.77
240	9.932468535	12.5	4.06	0.77
241	12.04244591	12.5	4.10	0.78
242	3.473914735	12.5	4.16	0.79
243	11.25323367	12.5	4.17	0.79
244	9.932515489	12.5	4.24	0.79
245	6.251387237	12.5	4.24	0.79
246	5.384836945	12.5	4.25	0.80
247	11.74865783	12.5	4.34	0.80
248	11.29107143	12.5	4.34	0.81
249	10.00704892	12.5	4.37	0.81
250	10.93333814	12.5	4.44	0.81
251	6.158532652	12.5	4.45	0.81
252	5.430839127	12.5	4.57	0.83
253	3.649252033	12.5	4.61	0.83
254	11.05559983	12.5	4.61	0.83
255	10.06069768	12.5	4.62	0.83

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
256	6.165612871	12.5	4.63	0.83
257	10.61528059	12.5	4.68	0.84
258	6.147801113	12.5	4.75	0.84
259	11.66925841	12.5	4.77	0.84
260	5.583897617	12.5	4.78	0.84
261	11.3682773	12.5	4.81	0.85
262	10.35910039	12.5	4.83	0.85
263	4.309058246	12.5	4.88	0.85
264	5.914011671	12.5	4.93	0.85
265	5.499411287	12.5	4.93	0.85
266	11.94963103	12.5	4.97	0.86
267	11.14552031	12.5	4.99	0.86
268	4.182795038	12.5	5.07	0.86
269	5.914011671	12.5	5.09	0.87
270	5.473550006	12.5	5.12	0.87
271	10.17056606	12.5	5.13	0.87
272	11.87548171	12.5	5.19	0.87
273	10.61366707	12.5	5.19	0.87
274	4.32795526	12.5	5.20	0.87
275	5.346285388	12.5	5.21	0.87
276	10.93792549	12.5	5.31	0.88
277	11.87548171	12.5	5.39	0.88
278	4.742711974	12.5	5.52	0.89
279	9.807669712	12.5	5.52	0.89
280	10.46136185	12.5	5.52	0.89
281	5.282683411	12.5	5.53	0.89
282	9.93425258	12.5	5.54	0.89
283	11.37293088	12.5	5.64	0.90
284	12.20935962	12.5	5.73	0.90
285	9.807669712	12.5	5.88	0.91
286	11.01883066	12.5	5.89	0.91
287	11.73312794	12.5	6.01	0.91

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
288	9.991825249	12.5	6.05	0.92
289	10.68470557	12.5	6.06	0.92
290	10.08921478	12.5	6.09	0.92
291	6.253223129	12.5	6.11	0.92
292	8.88335123	12.5	6.12	0.92
293	7.730451502	12.5	6.17	0.92
294	5.394916729	12.5	6.18	0.92
295	10.44967904	12.5	6.18	0.92
296	4.914955741	12.5	6.20	0.92
297	10.27797293	12.5	6.21	0.92
298	9.186696389	12.5	6.24	0.92
299	4.469047802	12.5	6.25	0.92
300	8.681349715	12.5	6.25	0.92
301	4.552895857	12.5	6.25	0.92
302	4.477882269	12.5	6.26	0.92
303	4.965574897	12.5	6.26	0.92
304	6.451142518	12.5	6.27	0.92
305	10.44861114	12.5	6.27	0.92
306	10.44967904	12.5	6.29	0.92
307	9.380250718	12.5	6.33	0.93
308	5.55573159	12.5	6.33	0.93
309	4.580758822	12.5	6.33	0.93
310	5.000796348	12.5	6.34	0.93
311	8.446087719	12.5	6.34	0.93
312	6.608928351	12.5	6.35	0.93
313	11.19979209	12.5	6.39	0.93
314	3.885971832	12.5	6.40	0.93
315	9.351951771	12.5	6.42	0.93
316	5.55638337	12.5	6.44	0.93
317	10.77702122	12.5	6.44	0.93
318	4.607667642	12.5	6.44	0.93
319	5.075795949	12.5	6.45	0.93

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
320	8.259139555	12.5	6.46	0.93
321	5.547946301	12.5	6.47	0.93
322	9.113606906	12.5	6.47	0.93
323	8.506029549	12.5	6.47	0.93
324	4.730177605	12.5	6.47	0.93
325	11.19979209	12.5	6.48	0.93
326	3.704005986	12.5	6.49	0.93
327	10.52450329	12.5	6.53	0.93
328	3.701432931	12.5	6.57	0.93
329	11.24013044	12.5	6.59	0.93
330	8.673910749	12.5	6.59	0.93
331	9.456384319	12.5	6.61	0.93
332	5.084049844	12.5	6.61	0.93
333	11.39164199	12.5	6.63	0.94
334	3.913390608	12.5	6.64	0.94
335	4.671759777	12.5	6.66	0.94
336	5.544534866	12.5	6.66	0.94
337	5.058760585	12.5	6.68	0.94
338	11.65543889	12.5	6.70	0.94
339	9.619788901	12.5	6.70	0.94
340	4.905787821	12.5	6.71	0.94
341	7.894195648	12.5	6.73	0.94
342	6.774970464	12.5	6.75	0.94
343	4.369092621	12.5	6.81	0.94
344	9.113251527	12.5	6.82	0.94
345	4.942701808	12.5	6.84	0.94
346	8.052580999	12.5	6.86	0.94
347	6.861985968	12.5	6.86	0.94
348	4.985923674	12.5	6.87	0.94
349	4.590060919	12.5	6.91	0.94
350	8.438340183	12.5	6.92	0.94
351	6.983143464	12.5	6.92	0.94

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
352	5.048631734	12.5	6.93	0.94
353	4.614556968	12.5	6.94	0.94
354	5.771252163	12.5	6.94	0.94
355	7.57072393	12.5	6.95	0.94
356	7.185438955	12.5	6.96	0.94
357	5.167372174	12.5	7.00	0.95
358	4.595769593	12.5	7.03	0.95
359	7.57072393	12.5	7.03	0.95
360	9.555606303	12.5	7.04	0.95
361	7.295760316	12.5	7.07	0.95
362	4.61567299	12.5	7.07	0.95
363	6.083012845	12.5	7.10	0.95
364	9.701817869	12.5	7.11	0.95
365	5.270847322	12.5	7.12	0.95
366	7.432609722	12.5	7.13	0.95
367	4.681909924	12.5	7.14	0.95
368	8.732690783	12.5	7.14	0.95
369	9.774259084	12.5	7.14	0.95
370	4.772106515	12.5	7.15	0.95
371	9.873756122	12.5	7.18	0.95
372	7.621384788	12.5	7.19	0.95
373	8.156496933	12.5	7.20	0.95
374	5.318602522	12.5	7.22	0.95
375	10.34234537	12.5	7.23	0.95
376	8.904995978	12.5	7.23	0.95
377	5.372442243	12.5	7.25	0.95
378	4.871794899	12.5	7.30	0.95
379	9.973620552	12.5	7.30	0.95
380	8.064005289	12.5	7.33	0.95
381	5.362663898	12.5	7.33	0.95
382	8.985266364	12.5	7.37	0.95
383	9.541336601	12.5	7.38	0.95

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
384	4.722872331	12.5	7.39	0.95
385	6.025678797	12.5	7.39	0.95
386	4.073006106	12.5	7.39	0.95
387	7.674339809	12.5	7.40	0.95
388	11.75764149	12.5	7.42	0.95
389	11.09885892	12.5	7.42	0.95
390	9.111577608	12.5	7.42	0.95
391	6.054329981	12.5	7.43	0.96
392	4.197110814	12.5	7.44	0.96
393	11.89315261	12.5	7.45	0.96
394	11.15588421	12.5	7.45	0.96
395	10.36056297	12.5	7.49	0.96
396	7.931327932	12.5	7.50	0.96
397	5.203608478	12.5	7.50	0.96
398	4.282086486	12.5	7.51	0.96
399	9.404071931	12.5	7.53	0.96
400	12.38533615	12.5	7.55	0.96
401	11.22307852	12.5	7.56	0.96
402	6.253179985	12.5	7.56	0.96
403	4.330371781	12.5	7.56	0.96
404	4.93617789	12.5	7.58	0.96
405	9.966006601	12.5	7.59	0.96
406	11.38595425	12.5	7.59	0.96
407	9.191897961	12.5	7.63	0.96
408	12.19998183	12.5	7.64	0.96
409	4.4293616	12.5	7.72	0.96
410	6.257946824	12.5	7.73	0.96
411	4.93617789	12.5	7.76	0.96
412	10.29960389	12.5	7.77	0.96
413	8.789481798	12.5	7.78	0.96
414	6.225579994	12.5	7.79	0.96
415	11.44546044	12.5	7.82	0.96

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
416	5.069035261	12.5	7.82	0.96
417	5.930707097	12.5	7.83	0.96
418	5.96605806	12.5	7.83	0.96
419	5.10707694	12.5	7.83	0.96
420	6.11459361	12.5	7.84	0.96
421	4.215412969	12.5	7.86	0.96
422	6.414185455	12.5	7.88	0.96
423	12.15695574	12.5	7.88	0.96
424	10.95424295	12.5	7.89	0.96
425	11.02034533	12.5	7.89	0.96
426	12.03392209	12.5	7.89	0.96
427	11.09497729	12.5	7.90	0.96
428	11.64946434	12.5	7.90	0.96
429	11.60424575	12.5	7.90	0.96
430	11.14469065	12.5	7.90	0.96
431	5.746581238	12.5	7.91	0.96
432	5.795245517	12.5	7.91	0.96
433	5.797265924	12.5	7.91	0.96
434	5.844053709	12.5	7.92	0.96
435	5.892980146	12.5	7.92	0.96
436	4.642873554	12.5	7.92	0.96
437	4.668283679	12.5	7.92	0.96
438	8.806970508	12.5	7.93	0.96
439	6.962920512	12.5	7.93	0.96
440	3.924125101	12.5	7.95	0.96
441	3.815699374	12.5	7.97	0.96
442	11.21486954	12.5	7.97	0.96
443	5.572178518	12.5	8.02	0.97
444	5.006701074	12.5	8.02	0.97
445	11.67634182	12.5	8.03	0.97
446	8.902658474	12.5	8.04	0.97
447	10.03554683	12.5	8.06	0.97

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
448	4.285645092	12.5	8.07	0.97
449	10.81257363	12.5	8.09	0.97
450	5.871599419	12.5	8.10	0.97
451	4.132044623	12.5	8.10	0.97
452	11.70558578	12.5	8.11	0.97
453	11.01862474	12.5	8.12	0.97
454	10.00846095	12.5	8.13	0.97
455	5.002357807	12.5	8.15	0.97
456	3.92470519	12.5	8.17	0.97
457	4.857405949	12.5	8.17	0.97
458	7.289557575	12.5	8.18	0.97
459	5.273488253	12.5	8.18	0.97
460	4.611778465	12.5	8.19	0.97
461	7.314452447	12.5	8.19	0.97
462	4.596030368	12.5	8.21	0.97
463	7.370935038	12.5	8.21	0.97
464	5.40101072	12.5	8.22	0.97
465	7.753362517	12.5	8.24	0.97
466	6.616205722	12.5	8.28	0.97
467	4.779719236	12.5	8.28	0.97
468	4.482392752	12.5	8.30	0.97
469	5.467123569	12.5	8.32	0.97
470	4.530972163	12.5	8.37	0.97
471	3.993686849	12.5	8.37	0.97
472	5.685762614	12.5	8.43	0.97
473	4.655134957	12.5	8.43	0.97
474	8.873764057	12.5	8.44	0.97
475	4.130256735	12.5	8.44	0.97
476	5.105002073	12.5	8.45	0.97
477	9.408880341	12.5	8.48	0.97
478	10.02060061	12.5	8.48	0.97
479	10.57447425	12.5	8.51	0.97

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
480	11.38986983	12.5	8.54	0.97
481	12.12253878	12.5	8.56	0.97
482	12.23604168	12.5	8.58	0.97
483	4.22178884	12.5	8.58	0.97
484	5.195722115	12.5	8.58	0.97
485	10.33016376	12.5	8.59	0.97
486	3.677320098	12.5	8.59	0.97
487	3.944884999	12.5	8.60	0.97
488	4.06717856	12.5	8.61	0.97
489	3.899755155	12.5	8.61	0.97
490	3.831246535	12.5	8.65	0.97
491	3.741750004	12.5	8.67	0.97
492	3.746509736	12.5	8.68	0.97
493	3.698885432	12.5	8.71	0.97
494	3.787567131	12.5	8.73	0.97
495	3.853170564	12.5	8.75	0.97
496	3.91762422	12.5	8.76	0.97
497	3.907946052	12.5	8.78	0.97
498	3.957073088	12.5	8.80	0.97
499	4.061161403	12.5	8.80	0.97
500	3.718572923	12.5	8.80	0.97
501	3.76516449	12.5	8.82	0.98
502	3.578555611	12.5	8.85	0.98
503	3.425227737	12.5	8.92	0.98
504	7.870089495	12.5	8.95	0.98
505	7.379113018	12.5	9.03	0.98
506	6.160615416	12.5	9.07	0.98
507	6.394872646	12.5	9.29	0.98
508	8.330310726	12.5	10.14	0.99

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
0	8.395057042	10	0.00	0.00
1	6.971498451	10	0.03	0.00
2	5.644717476	10	0.03	0.00
3	5.644717476	10	0.07	0.00
4	3.205716974	10	0.07	0.00
5	6.168839557	10	0.13	0.00
6	2.358082923	10	0.14	0.00
7	4.588980612	10	0.18	0.00
8	4.569247243	10	0.19	0.00
9	5.589847189	10	0.22	0.00
10	5.787298645	10	0.23	0.00
11	5.818199091	10	0.25	0.00
12	5.887542589	10	0.28	0.00
13	6.007452369	10	0.30	0.00
14	5.86345153	10	0.35	0.00
15	5.582870673	10	0.35	0.00
16	5.633682169	10	0.38	0.00
17	9.967931913	10	0.44	0.00
18	7.529095273	10	0.46	0.00
19	7.314596162	10	0.47	0.00
20	6.324602586	10	0.54	0.01
21	7.820820792	10	0.59	0.01
22	4.39364208	10	0.60	0.01
23	6.240689586	10	0.61	0.01
24	4.375912026	10	0.62	0.01
25	6.21482287	10	0.65	0.02
26	9.393032759	10	0.67	0.02
27	4.410712708	10	0.81	0.04
28	8.127453727	10	0.81	0.04
29	6.174980474	10	0.86	0.05
30	8.520369439	10	0.89	0.05
31	4.398333234	10	0.89	0.05

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
32	6.095678608	10	0.89	0.05
33	6.064262631	10	0.89	0.05
34	6.056641215	10	1.01	0.08
35	6.03190989	10	1.08	0.10
36	7.4099375	10	1.09	0.10
37	7.723697727	10	1.09	0.10
38	7.878227634	10	1.10	0.10
39	8.803839045	10	1.10	0.10
40	9.819144494	10	1.12	0.10
41	9.329123553	10	1.13	0.11
42	10.02647044	10	1.19	0.12
43	9.778596055	10	1.20	0.13
44	5.252426139	10	1.21	0.13
45	8.920645102	10	1.21	0.13
46	4.463109512	10	1.27	0.14
47	4.050231205	10	1.29	0.15
48	8.455887106	10	1.32	0.16
49	8.245716047	10	1.33	0.16
50	4.525872967	10	1.36	0.17
51	7.105392362	10	1.42	0.19
52	5.840578836	10	1.48	0.21
53	8.578405399	10	1.49	0.21
54	5.425823042	10	1.49	0.21
55	8.337285849	10	1.54	0.23
56	6.033753756	10	1.55	0.23
57	8.637663084	10	1.56	0.23
58	6.032461355	10	1.60	0.24
59	4.590753505	10	1.66	0.26
60	5.459628935	10	1.67	0.26
61	4.598594197	10	1.74	0.29
62	8.708495085	10	1.74	0.29
63	6.244467891	10	1.75	0.29

FID	Cota	cotainun	Profuninun	Prob_daño
64	4.618567991	10	1.84	0.32
65	4.60394246	10	1.84	0.32
66	5.679883534	10	1.87	0.33
67	4.57522693	10	1.94	0.34
68	8.907565915	10	1.95	0.35
69	4.669924768	10	2.07	0.38
70	4.566651452	10	2.11	0.39
71	4.404386517	10	2.11	0.40
72	7.510086468	10	2.12	0.40
73	6.022934278	10	2.13	0.40
74	6.435946124	10	2.18	0.41
75	9.716634427	10	2.25	0.43
76	8.911959999	10	2.27	0.44
77	3.55004889	10	2.28	0.44
78	6.978818273	10	2.31	0.45
79	6.035946097	10	2.33	0.45
80	6.978818273	10	2.38	0.47
81	7.8869801	10	2.43	0.48
82	4.061270906	10	2.43	0.48
83	9.107818186	10	2.47	0.49
84	4.023640953	10	2.49	0.50
85	4.023640953	10	2.57	0.52
86	4.314666408	10	2.59	0.52
87	4.68382641	10	2.62	0.53
88	4.920883723	10	2.63	0.53
89	9.531960035	10	2.69	0.54
90	4.294115554	10	2.69	0.54
91	4.258763043	10	2.70	0.55
92	4.952218905	10	2.71	0.55
93	8.155083143	10	2.81	0.57
94	5.046356468	10	2.89	0.59
95	4.350113496	10	3.02	0.61

FID	Cota	cotainun	Profuninun	Prob_daño
96	7.693241328	10	3.02	0.62
97	5.174010684	10	3.02	0.62
98	9.139272374	10	3.03	0.62
99	4.705666364	10	3.04	0.62
100	8.261353089	10	3.14	0.64
101	5.308568917	10	3.23	0.65
102	5.133232111	10	3.38	0.68
103	5.300580401	10	3.39	0.68
104	8.514881007	10	3.51	0.70
105	9.646101894	10	3.55	0.71
106	5.120392598	10	3.56	0.71
107	5.356529426	10	3.59	0.71
108	5.663643829	10	3.61	0.72
109	6.485779529	10	3.62	0.72
110	6.227551496	10	3.67	0.72
111	5.364139207	10	3.68	0.73
112	3.886456976	10	3.68	0.73
113	6.06388114	10	3.70	0.73
114	4.575770485	10	3.71	0.73
115	6.303335078	10	3.74	0.73
116	5.111231185	10	3.75	0.74
117	4.315575726	10	3.75	0.74
118	8.789481798	10	3.75	0.74
119	6.287537347	10	3.76	0.74
120	9.648844424	10	3.76	0.74
121	5.078244185	10	3.77	0.74
122	9.810370151	10	3.77	0.74
123	6.315486124	10	3.79	0.74
124	4.315575726	10	3.83	0.75
125	4.575770485	10	3.83	0.75
126	6.329148503	10	3.83	0.75
127	9.85523684	10	3.84	0.75

FID	Cota	cotainun	Profuninun	Prob_daño
128	9.752520145	10	3.84	0.75
129	4.438621988	10	3.85	0.75
130	6.377696275	10	3.89	0.75
131	5.098015408	10	3.90	0.76
132	9.932468535	10	3.92	0.76
133	3.473914735	10	3.94	0.76
134	9.932515489	10	3.94	0.76
135	6.251387237	10	3.94	0.76
136	5.384836945	10	3.95	0.76
137	6.158532652	10	3.96	0.76
138	5.430839127	10	3.97	0.76
139	3.649252033	10	3.97	0.76
140	6.165612871	10	3.97	0.76
141	6.147801113	10	3.97	0.76
142	5.583897617	10	3.98	0.76
143	4.309058246	10	3.99	0.77
144	5.914011671	10	4.03	0.77
145	5.499411287	10	4.07	0.78
146	4.182795038	10	4.09	0.78
147	5.914011671	10	4.09	0.78
148	5.473550006	10	4.11	0.78
149	4.32795526	10	4.11	0.78
150	5.346285388	10	4.13	0.78
151	4.742711974	10	4.14	0.78
152	5.282683411	10	4.16	0.79
153	6.253223129	10	4.16	0.79
154	8.88335123	10	4.18	0.79
155	7.730451502	10	4.20	0.79
156	5.394916729	10	4.20	0.79
157	4.914955741	10	4.21	0.79
158	9.186696389	10	4.23	0.79
159	4.469047802	10	4.25	0.80

FID	Cota	cotainun	Profuninun	Prob_daño
160	8.681349715	10	4.31	0.80
161	4.552895857	10	4.32	0.80
162	4.477882269	10	4.34	0.80
163	4.965574897	10	4.36	0.81
164	6.451142518	10	4.36	0.81
165	9.380250718	10	4.37	0.81
166	5.55573159	10	4.41	0.81
167	4.580758822	10	4.42	0.81
168	5.000796348	10	4.42	0.81
169	8.446087719	10	4.43	0.81
170	6.608928351	10	4.44	0.81
171	3.885971832	10	4.44	0.81
172	9.351951771	10	4.45	0.82
173	5.55638337	10	4.46	0.82
174	4.607667642	10	4.50	0.82
175	5.075795949	10	4.53	0.82
176	8.259139555	10	4.53	0.82
177	5.547946301	10	4.54	0.82
178	9.113606906	10	4.57	0.83
179	8.506029549	10	4.57	0.83
180	4.730177605	10	4.60	0.83
181	3.704005986	10	4.61	0.83
182	3.701432931	10	4.62	0.83
183	8.673910749	10	4.63	0.83
184	9.456384319	10	4.64	0.83
185	5.084049844	10	4.64	0.83
186	3.913390608	10	4.64	0.83
187	4.671759777	10	4.65	0.83
188	5.544534866	10	4.68	0.84
189	5.058760585	10	4.69	0.84
190	9.619788901	10	4.70	0.84
191	4.905787821	10	4.72	0.84

FID	Cota	cotainun	ProfunInun	Prob_daño
192	7.894195648	10	4.73	0.84
193	6.774970464	10	4.73	0.84
194	4.369092621	10	4.75	0.84
195	9.113251527	10	4.80	0.84
196	4.942701808	10	4.80	0.85
197	8.052580999	10	4.83	0.85
198	6.861985968	10	4.83	0.85
199	4.985923674	10	4.87	0.85
200	4.590060919	10	4.88	0.85
201	8.438340183	10	4.89	0.85
202	6.983143464	10	4.89	0.85
203	5.048631734	10	4.89	0.85
204	4.614556968	10	4.90	0.85
205	5.771252163	10	4.92	0.85
206	7.57072393	10	4.92	0.85
207	7.185438955	10	4.92	0.85
208	5.167372174	10	4.93	0.85
209	4.595769593	10	4.94	0.86
210	7.57072393	10	4.95	0.86
211	9.555606303	10	4.95	0.86
212	7.295760316	10	4.99	0.86
213	4.61567299	10	5.00	0.86
214	6.083012845	10	5.00	0.86
215	9.701817869	10	5.01	0.86
216	5.270847322	10	5.03	0.86
217	7.432609722	10	5.05	0.86
218	4.681909924	10	5.06	0.86
219	8.732690783	10	5.06	0.86
220	9.774259084	10	5.06	0.86
221	4.772106515	10	5.08	0.86
222	9.873756122	10	5.09	0.87
223	7.621384788	10	5.09	0.87

FID	Cota	cotainun	ProfunInun	Prob_daño
224	8.156496933	10	5.13	0.87
225	5.318602522	10	5.14	0.87
226	8.904995978	10	5.22	0.87
227	5.372442243	10	5.23	0.87
228	4.871794899	10	5.26	0.88
229	8.064005289	10	5.27	0.88
230	5.362663898	10	5.28	0.88
231	8.985266364	10	5.29	0.88
232	9.541336601	10	5.32	0.88
233	4.722872331	10	5.32	0.88
234	6.025678797	10	5.33	0.88
235	4.073006106	10	5.33	0.88
236	7.674339809	10	5.33	0.88
237	9.111577608	10	5.34	0.88
238	6.054329981	10	5.36	0.88
239	4.197110814	10	5.38	0.88
240	7.931327932	10	5.38	0.88
241	5.203608478	10	5.39	0.88
242	4.282086486	10	5.39	0.88
243	9.404071931	10	5.39	0.88
244	6.253179985	10	5.40	0.88
245	4.330371781	10	5.40	0.88
246	4.93617789	10	5.40	0.88
247	9.966006601	10	5.40	0.88
248	9.191897961	10	5.41	0.89
249	4.4293616	10	5.41	0.89
250	6.257946824	10	5.41	0.89
251	4.93617789	10	5.42	0.89
252	8.789481798	10	5.42	0.89
253	6.225579994	10	5.42	0.89
254	5.069035261	10	5.42	0.89
255	5.930707097	10	5.43	0.89

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
256	5.96605806	10	5.43	0.89
257	5.10707694	10	5.45	0.89
258	6.11459361	10	5.47	0.89
259	4.215412969	10	5.47	0.89
260	6.414185455	10	5.52	0.89
261	5.746581238	10	5.52	0.89
262	5.795245517	10	5.53	0.89
263	5.797265924	10	5.54	0.89
264	5.844053709	10	5.56	0.89
265	5.892980146	10	5.57	0.89
266	4.642873554	10	5.59	0.89
267	4.668283679	10	5.60	0.90
268	8.806970508	10	5.60	0.90
269	6.962920512	10	5.61	0.90
270	3.924125101	10	5.62	0.90
271	3.815699374	10	5.63	0.90
272	5.572178518	10	5.65	0.90
273	5.006701074	10	5.67	0.90
274	8.902658474	10	5.67	0.90
275	4.285645092	10	5.68	0.90
276	5.871599419	10	5.68	0.90
277	4.132044623	10	5.69	0.90
278	5.002357807	10	5.69	0.90
279	3.92470519	10	5.71	0.90
280	4.857405949	10	5.71	0.90
281	7.289557575	10	5.72	0.90
282	5.273488253	10	5.74	0.90
283	4.611778465	10	5.78	0.90
284	7.314452447	10	5.78	0.90
285	4.596030368	10	5.80	0.90
286	7.370935038	10	5.82	0.91
287	5.40101072	10	5.87	0.91

FID	Cota	cotainun	Profunlnun	Prob_daño
288	7.753362517	10	5.87	0.91
289	6.616205722	10	5.93	0.91
290	4.779719236	10	5.93	0.91
291	4.482392752	10	5.94	0.91
292	5.467123569	10	5.94	0.91
293	4.530972163	10	5.95	0.91
294	3.993686849	10	5.98	0.91
295	5.685762614	10	5.98	0.91
296	4.655134957	10	6.01	0.91
297	8.873764057	10	6.04	0.92
298	4.130256735	10	6.06	0.92
299	5.105002073	10	6.08	0.92
300	9.408880341	10	6.08	0.92
301	4.22178884	10	6.08	0.92
302	5.195722115	10	6.09	0.92
303	3.677320098	10	6.09	0.92
304	3.944884999	10	6.10	0.92
305	4.06717856	10	6.11	0.92
306	3.899755155	10	6.11	0.92
307	3.831246535	10	6.15	0.92
308	3.741750004	10	6.17	0.92
309	3.746509736	10	6.18	0.92
310	3.698885432	10	6.21	0.92
311	3.787567131	10	6.23	0.92
312	3.853170564	10	6.25	0.92
313	3.91762422	10	6.26	0.92
314	3.907946052	10	6.28	0.92
315	3.957073088	10	6.30	0.92
316	4.061161403	10	6.30	0.92
317	3.718572923	10	6.30	0.92
318	3.76516449	10	6.32	0.93
319	3.578555611	10	6.35	0.93

FID	Cota	cotainun	Profunlun	Prob_daño
294	3.993686849	10	5.98	0.91
295	5.685762614	10	5.98	0.91
296	4.655134957	10	6.01	0.91
297	8.873764057	10	6.04	0.92
298	4.130256735	10	6.06	0.92
299	5.105002073	10	6.08	0.92
300	9.408880341	10	6.08	0.92
301	4.22178884	10	6.08	0.92
302	5.195722115	10	6.09	0.92
303	3.677320098	10	6.09	0.92
304	3.944884999	10	6.10	0.92
305	4.06717856	10	6.11	0.92
306	3.899755155	10	6.11	0.92
307	3.831246535	10	6.15	0.92
308	3.741750004	10	6.17	0.92
309	3.746509736	10	6.18	0.92
310	3.698885432	10	6.21	0.92
311	3.787567131	10	6.23	0.92
312	3.853170564	10	6.25	0.92
313	3.91762422	10	6.26	0.92
314	3.907946052	10	6.28	0.92
315	3.957073088	10	6.30	0.92
316	4.061161403	10	6.30	0.92
317	3.718572923	10	6.30	0.92
318	3.76516449	10	6.32	0.93
319	3.578555611	10	6.35	0.93
320	3.425227737	10	6.42	0.93
321	7.870089495	10	6.45	0.93
322	7.379113018	10	6.53	0.93
323	6.160615416	10	6.57	0.93
324	6.394872646	10	6.79	0.94
325	8.330310726	10	7.64	0.96

FID	Cota	cot_inun	Prof_inun	Prob_daño
0	3.205716974	4.75	0.49	0.01
1	2.358082923	4.75	0.53	0.01
7	4.050231205	4.75	0.53	0.01
17	3.55004889	4.75	0.55	0.01
18	4.061270906	4.75	0.57	0.01
19	4.023640953	4.75	0.62	0.01
20	4.023640953	4.75	0.62	0.01
23	4.258763043	4.75	0.68	0.02
24	3.886456976	4.75	0.68	0.02
26	3.473914735	4.75	0.69	0.02
27	3.649252033	4.75	0.69	0.02
29	4.182795038	4.75	0.70	0.02
35	3.885971832	4.75	0.73	0.03
37	3.704005986	4.75	0.73	0.03
38	3.701432931	4.75	0.76	0.03
39	3.913390608	4.75	0.79	0.04
46	4.073006106	4.75	0.81	0.04
47	4.197110814	4.75	0.83	0.04
51	4.215412969	4.75	0.83	0.04
54	3.924125101	4.75	0.83	0.04
55	3.815699374	4.75	0.84	0.04
56	4.132044623	4.75	0.84	0.04
57	3.92470519	4.75	0.85	0.05
60	3.993686849	4.75	0.86	0.05
62	4.130256735	4.75	0.86	0.05
63	4.22178884	4.75	0.90	0.06
64	3.677320098	4.75	0.92	0.06
65	3.944884999	4.75	0.93	0.06
66	4.06717856	4.75	0.96	0.07
67	3.899755155	4.75	0.98	0.07
68	3.831246535	4.75	1.00	0.08

FID	Cota	cot_inun	Prof_inun	Prob_daño
37	3.704005986	4.75	0.73	0.03
38	3.701432931	4.75	0.76	0.03
39	3.913390608	4.75	0.79	0.04
46	4.073006106	4.75	0.81	0.04
47	4.197110814	4.75	0.83	0.04
51	4.215412969	4.75	0.83	0.04
54	3.924125101	4.75	0.83	0.04
55	3.815699374	4.75	0.84	0.04
56	4.132044623	4.75	0.84	0.04
57	3.92470519	4.75	0.85	0.05
60	3.993686849	4.75	0.86	0.05
62	4.130256735	4.75	0.86	0.05
63	4.22178884	4.75	0.90	0.06
64	3.677320098	4.75	0.92	0.06
65	3.944884999	4.75	0.93	0.06
66	4.06717856	4.75	0.96	0.07
67	3.899755155	4.75	0.98	0.07
68	3.831246535	4.75	1.00	0.08
69	3.741750004	4.75	1.01	0.08
70	3.746509736	4.75	1.03	0.08
71	3.698885432	4.75	1.05	0.09
72	3.787567131	4.75	1.05	0.09
73	3.853170564	4.75	1.05	0.09
74	3.91762422	4.75	1.07	0.09
75	3.907946052	4.75	1.10	0.10
76	3.957073088	4.75	1.17	0.12
77	4.061161403	4.75	1.20	0.13
78	3.718572923	4.75	1.28	0.15
79	3.76516449	4.75	1.32	0.16
80	3.578555611	4.75	1.54	0.23
81	3.425227737	4.75	2.39	0.47