

DIRECCIÓN DE  
PREPARACIÓN



# INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL



DISEÑO DE UN MAPA DE EVACUACIÓN  
BASADO EN TECNOLOGÍA GEOMÁTICA  
PARA MEJORAR LAS ACCIONES DE  
PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI EN EL  
DISTRITO DE SUPE PUERTO, PROVINCIA  
DE BARRANCA, DEPARTAMENTO DE  
LIMA.

Diciembre 2024



## **INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL**

### **DISEÑO DE UN MAPA DE EVACUACIÓN BASADO EN TECNOLOGÍA GEOMÁTICA PARA MEJORAR LAS ACCIONES DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI EN EL DISTRITO DE SUPE PUERTO, PROVINCIA DE BARRANCA, DEPARTAMENTO DE LIMA, 2024**

**Instituto Nacional de Defensa Civil**  
**Dirección de Preparación**  
**Calle Dr. Ricardo Angulo Ramírez N° 694 Urb. Corpac, San Isidro, Lima-Perú.**  
**Teléfono: (511) 224-3600**  
**Sitio web: [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)**

**Gral. De División EP (R) Juan Carlos Urcariegui Reyes**  
Jefe del INDECI

**CrI. EP (R) José Luis Bustamante Albújar**  
Director de Preparación del INDECI

**Ing. Geog. Carlos Alejandro Pichilingue Sime**  
Subdirector(e) de la Sub Dirección de Sistematización de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres (SD SIERD – INDECI)

Autores:

**Ing. Geog. Christian Choque Amacifuentes**  
**Ing. Met. Jakie Rojas Cuyo**

Apoyo institucional de la Agencia Espacial del Perú - CONIDA  
**Ing. Geog. Wilder Hans Caballero Haro**

## INDICE GENERAL

CAPITULO I: GENERALIDADES .....	7
1.1 RESUMEN .....	7
1.2 INTRODUCCIÓN.....	8
1.3 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	10
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.5.1 Problema general .....	16
1.5.2 Problemas específicos.....	16
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.7 OBJETIVOS .....	18
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.8 HIPÓTESIS .....	18
1.8.1 HIPOTESIS PRINCIPAL.....	18
1.8.2 HIPOTESIS SECUNDARIA.....	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	19
2.1 MARCO TEÓRICO .....	19
2.1.1 MECANISMOS GENERADORES DE TSUNAMI .....	19
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE UN TSUNAMI.....	20
2.1.3 SISMOS GENERADORES DE TSUNAMIS: .....	21
2.1.4 FORMA PARTE DEL MECANISMO DE GENERACIÓN DE TSUNAMIS: .....	21
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	29
3.1 METODOLOGÍA.....	29
3.1.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: .....	29
3.1.2 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	29
3.1.3 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.1.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	31
3.2 DISEÑO METODOLÓGICO .....	32
a) IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EXPUESTA A PELIGRO DE TSUNAMI BASADO EN INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA.....	33
b) LEVANTAMIENTO DE MAPA BASE DEL ÁREA DE ESTUDIO CON IMAGEN SATELITAL Y VUELO FOTOGRAMÉTRICO .....	34
c) DESCARGA DE DATOS GEOESPACIALES SOBRE POBLACIÓN Y VIVIENDA .....	38
d) OBTENCIÓN DEL MAPA BASE DE IMAGEN SATELITAL Y ORTOFOTO CON DRONE..	40
e) DIGITALIZACIÓN DE RED VIAL (TRAMOS DE DESPLAZAMIENTO) DEL ÁREA DE ESTUDIO EN SOFTWARE LIBRE DE SIG .....	40
f) DIGITALIZACIÓN DE PUNTOS DE INICIO DE DESPLAZAMIENTO Y LLEGADA A ZONAS LIBRES EN SOFTWARE SIG .....	42
g) TRABAJO DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE VÍA PRINCIPAL DE DESPLAZAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE ZONAS LIBRES Y ENCUESTA .....	42

h)	ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA IDENTIFICAR EL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI.....	45
i)	ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI BASADO EN EL MÉTODO EPCI .....	47
j)	ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO .....	49
k)	APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA ANALIZAR RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y ZONAS LIBRES .....	51
l)	IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS ANTE TSUNAMI ...	52
m)	DISEÑO DEL MAPA DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI.....	52
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		53
4.1	RESULTADOS .....	53
a)	IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EXPUESTA A PELIGRO DE TSUNAMI BASADO EN INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA.....	53
b)	LEVANTAMIENTO DE MAPA BASE DEL ÁREA DE ESTUDIO CON IMAGEN SATELITAL Y VUELO FOTOGRAMÉTRICO .....	54
c)	DESCARGA DE DATOS GEOESPACIALES SOBRE POBLACIÓN Y VIVIENDA .....	61
d)	OBTENCIÓN DEL MAPA BASE DE IMAGEN SATELITAL Y ORTOFOTO CON DRONE..	63
e)	DIGITALIZACIÓN DE RED VIAL (TRAMOS DE DESPLAZAMIENTO) DEL ÁREA DE ESTUDIO EN SOFTWARE LIBRE DE SIG .....	64
f)	DIGITALIZACIÓN DE PUNTOS DE INICIO DE DESPLAZAMIENTO Y LLEGADA A ZONAS LIBRES EN SOFTWARE SIG .....	65
g)	TRABAJO DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE VIAL PRINCIPAL DE DESPLAZAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE ZONAS LIBRES Y ENCUESTA .....	67
h)	ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA EL ANÁLISIS DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI.....	79
i)	ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI BASADO EN EL MÉTODO EPCI .....	80
j)	ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO .....	84
k)	APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA ANALIZAR LAS RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y ZONAS LIBRES .....	86
l)	IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS .....	87
m)	DISEÑO DEL MAPA DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI.....	91
4.1	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	93
5.1	CONCLUSIONES .....	98
5.2	RECOMENDACIONES.....	100
5.3	BIBLIOGRAFÍA .....	102

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura N° 1.- Generación de Tsunamis por erupciones volcánicas. a) Erupción de un volcán submarino. b) Erupción lateral de un volcán, provocando un deslizamiento masivo de bloque de material volcánico.....	22
Figura N° 2.- Proceso de generación de Tsunamis por deslizamientos en el mar.....	23
Figura N° 3.- Mapa de Sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012.....	27
Figura N° 4.- Procedimiento para obtener el diseño de un mapa de evacuación ante tsunami.....	32
Figura N° 5.- Carta de inundación en caso de tsunami de Supe Puerto – Provincia de Barranca, Lima.....	33
Figura N° 6.- Equipo GPS instalado y realizando la medición (punto LBPS_03).....	35
Figura N° 7.- Ubicación del área de estudio con Google Earth.....	37
Figura N° 8.- Identificación y análisis de información sobre población y vivienda INEI 2017.....	39
Figura N° 9.- Corrección topológica de información sobre población y vivienda en software libre QGIS.....	39
Figura N° 10.- Proceso de digitalización y creación de base de datos de red vial del área de estudio.....	41
Figura N° 11.- Digitalización de red vial en software libre de SIG.....	41
Figura N° 12.- Digitalización de puntos de inicio de desplazamiento y llegada a zonas libres.....	42
Figura N° 13.- Identificación de población expuesta a peligro de tsunami para elaboración de encuesta.....	46
Figura N° 14.- Técnica SIG para estimar la ruta más corta entre dos puntos.....	51
Figura N° 15.- Zona de inundación por tsunami en el área de estudio de Supe Puerto.....	53
Figura N° 16.- Altura de ola de tsunami para un evento sísmico de 9.0 Mw en Supe Puerto.....	53
Figura N° 17.- Ubicación de 09 puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto.....	55
Figura N° 18.- DSM del área de estudio (Supe Puerto).....	56
Figura N° 19.- DEM del área de estudio (Supe Puerto).....	57
Figura N° 20.- Curvas de nivel a 5 metros del área de estudio (Supe Puerto).....	57
Figura N° 21.- Ortoimagen PeruSAT-1 del área de estudio (Supe Puerto).....	57
Figura N° 22.- Resultados de imagen del procesamiento de líneas base con equipo fotogramétrico.....	58
Figura N° 23.- Orientación de fotografías en software Agisoft Metashape.....	59
Figura N° 24.- Generación de nube de puntos en el software Agisoft Metashape.....	60
Figura N° 25.- Generación de DEM en software Agisoft Metashape.....	60
Figura N° 26.- Generación de ortomosaico en software Agisoft Metashape.....	60
Figura N° 27.- Información geoespacial sobre población y vivienda del área de estudio de Supe Puerto.....	61
Figura N° 28.- Corrección de alineación entre ortofoto drone y manzana catastral de INEI 2017.....	62
Figura N° 29.- Numeración correlativa para cada polígono de manzana catastral modificado.....	62
Figura N° 30.- Imagen base del área de estudio obtenida a partir de ortofoto drone Phantom 4 RTK.....	64
Figura N° 31.- Digitalización de red vial del área de estudio en Supe Puerto.....	64
Figura N° 32.- Muestra sobre digitalización de tramos de red vial del área de estudio en Supe Puerto.....	65
Figura N° 33.- Mapa de ubicación de punto inicial y final de desplazamiento ante alerta o alarma de tsunami ..	66
Figura N° 34.- Modelo de medición referencial sobre la ortofoto en software SIG de QGIS.....	76
Figura N° 35.- Simbología de diseño en SIG para las rutas de evacuación ante tsunamis.....	91
Figura N° 36.- Simbología de diseño en SIG para las zonas seguras ante tsunamis.....	91
Figura N° 37.- Simbología de diseño en SIG para los puntos de inicio de evacuación.....	92
Figura N° 38.- Simbología de diseño en SIG para zona inundable por tsunami.....	92
Figura N° 39.- Mapa de rutas de evacuación y zonas seguras por tsunami en Supe Puerto.....	93

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Cartas de inundación por tsunami elaboradas en el litoral peruano .....	10
Tabla 2.- Magnitud del terremoto y características del Tsunami .....	21
Tabla 3.- Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959 .....	26
Tabla 4.- Matriz de consistencia sobre investigación en Supe Puerto.....	31
Tabla 5.- Parámetros de lectura de datos.....	38
Tabla 6.- Modelo de ficha para obtener el largo y ancho de vía y descripción física de campo .....	43
Tabla 7.- Registro de mediciones en campo y ortofoto sobre vía de desplazamiento ante tsunami .....	44
Tabla 8.- Medida de la covarianza muestral para medidas de largo y ancho de vía en metros (m) de campo y ortofoto.....	44
Tabla 9.- Coeficiente de correlación muestral para medidas de ancho y largo de vía en metros (m) de campo y ortofoto.....	44
Tabla 10.- Encuesta para estimar el nivel de preparación ante tsunami basado en el EPCI.....	47
Tabla 11.- Método para estimar el rango, valor y categoría.....	48
Tabla 12.- Tabla de registro de talla, edad, peso y tiempo de desplazamiento de población en el área de estudio	50
Tabla 13.- Porcentaje de velocidad de movimiento según la pendiente.....	50
Tabla 14.- Imágenes estéreo de la zona de estudio obtenidas de PerúSAT-1 .....	54
Tabla 15.- Coordenadas obtenidas de puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto .....	55
Tabla 16.- Precisiones de puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto .....	55
Tabla 17.- Error en X, Y e Z en el proceso de información fotogramétrica.....	59
Tabla 18.- Información sobre población y viviendas totales y expuestas a peligro de tsunami en el área de estudio de Supe Puerto .....	63
Tabla 19.- Codificación de puntos de inicio y final de desplazamiento ante tsunami en Supe Puerto .....	66
Tabla 20.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR1 .....	67
Tabla 21.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR2 .....	68
Tabla 22.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR3 .....	69
Tabla 23.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR4 .....	70
Tabla 24.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR5 .....	71
Tabla 25.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR6 .....	72
Tabla 26.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR7 .....	73
Tabla 27.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR8 .....	74
Tabla 28.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR9 .....	75
Tabla 29.- Registro de mediciones en campo y ortofoto sobre vía de desplazamiento ante tsunami.....	76
Tabla 30.- Cálculo de la covarianza muestral para mediciones de ancho de vía en campo y ortofoto.....	77
Tabla 31.- Cálculo del coeficiente de correlación muestral para mediciones del ancho de vía en campo y ortofoto .....	77
Tabla 32.- Cálculo de la covarianza muestral para mediciones de largo de vía en campo y ortofoto .....	78
Tabla 33.- Cálculo del coeficiente de correlación muestral para mediciones del largo de vía en campo y ortofoto .....	78
Tabla 34.- Asignación de pesos para encuesta que estime el nivel de preparación ante tsunami basado en el EPCI .....	80
Tabla 35.- Valores obtenidos de los pesos mínimos y máximos de las 4 preguntas en cada componente de la EPCI .....	81
Tabla 36.- Sumatoria de pesos mínimos y máximos de cada componente EPCI y su rango, valor y categoría según resultados .....	82
Tabla 37.- Valor de componentes según MODA para la muestra de 150 personas .....	83
Tabla 38.- Registro de talla, edad, peso y tiempo de desplazamiento de la población muestral en el área de estudio .....	84
Tabla 39.- Velocidad de movimiento según la pendiente en (%)......	85
Tabla 40.- Análisis de ruta más corta entre punto inicial y final sobre red vial en el área de estudio de Supe Puerto .....	86
Tabla 41.- Identificación de rutas más corta de desplazamiento entre punto inicial y final (zona libre ZL).....	87
Tabla 42.- Estimación del tiempo de evacuación en minutos según análisis de pendientes del terreno (%) .....	88
Tabla 43.- Estimación de tiempo de evacuación en minutos hasta la zona de inundación por tsunami.....	89
Tabla 44.- Identificación de rutas de evacuación y zonas seguras según tiempo de evacuación .....	90

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 RESUMEN**

La alta vulnerabilidad de la población y sus medios de vida frente al riesgo de desastres en el territorio descrita por la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050, generaría un impacto negativo ante la ocurrencia de peligros originados por fenómenos naturales, como el caso de los tsunamis, que, cuentan con una menor probabilidad de ocurrencia, pero tienen gran poder destructivo.

Al respecto, para la mitigación del riesgo de tsunami se plantean una serie de medidas, como las estructurales, que se definen como cualquier construcción física para reducir o evitar los riesgos o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a los peligros; mientras que las medidas no estructurales se definen como cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación (Decreto Supremo N°060-2024-PCM, 2024); esto conlleva el diseño y construcción de muros de contención, diques, pórticos, compuertas u otros, con la finalidad de detener o desviar el impacto del tren de olas, las cuales no resultan ser las más eficientes, ya sea por el poder destructivo del tsunami o el alto costo de inversión para su diseño y construcción que imposibilita su implementación a ser asumida por el estado peruano.

En tal sentido, las medidas no estructurales ante tsunamis son las acciones más eficientes para fortalecer la preparación de la población y mitigar el riesgo de desastres en el territorio ante tsunamis. (Shibayama et al, 2012)

Por lo que, la finalidad de la presente investigación es el diseño de un mapa de evacuación que permita la identificación de rutas de evacuación, zonas seguras y puntos de señalización en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima, basado en información cartográfica obtenida a partir de un levantamiento fotogramétrico con dron y la utilización de software libre de Sistemas de Información Geográfica (SIG), además de contar con un mapa de peligro por tsunami con información científica que muestra el alcance máximo de la ola.

## **1.2 INTRODUCCIÓN**

El uso de tecnologías geomáticas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o los sensores remotos, permiten generar datos georreferenciados a escalas de detalle para representar, dimensionar y cuantificar elementos del territorio como las vías, viviendas, cuerpos de agua o vegetación, manzanas catastrales, estructuras de equipamiento urbano como las instituciones educativas o centros de salud, entre otros. Esto permitirá obtener una base de datos georreferenciada para la gestión de información digital, siendo sus principales aplicaciones en el ordenamiento territorial, geomática, planificación urbana, gestión ambiental y la gestión del riesgo de desastres, siendo este último, uno de los principales problemas que enfrentan las ciudades debido que la población y sus medios de vida se encuentran expuestos a peligros originados por fenómenos naturales, como los tsunamis, por lo que hace necesario la implementación de medidas para la mitigación de los riesgos.

La utilización de estas tecnologías permite la generación de información técnica y científica para mejorar y fortalecer la preparación y reducción del riesgo de desastres en la población y medios de vida, sobre todo, en las áreas expuestas a tsunamis.

En ese sentido, la presente investigación abarca el diseño de un mapa de evacuación basado en la utilización de tecnología geomática y software libre de SIG, enfocado en mejorar las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima; como, el diseño de un mapa georreferenciado y corregido geoméricamente, denominado ortofoto, permitiendo la reducción de errores en mediciones o trazos de escala sobre mapa elaborado, permitiendo estimar tiempos de evacuación, distancias horizontales o inclusive, cálculos de áreas y perímetros, así como un Modelo de Elevación Digital (DEM) para la generación de un mapa de pendientes que analice las condiciones de inclinación del terreno.

Asimismo, se tiene una imagen base obtenido del satélite peruano PeruSAT-1, que cuenta con una resolución submétrica y administrada por la Agencia Espacial del Perú (CONIDA) que, para el proceso de georreferenciación, establecieron 09 puntos de Global Positioning System (GPS) mediante un equipo receptor GNSS-GPS, las cuales fueron corregidas con la data de Estaciones de Rastreo Permanente (ERP) que administra el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Por otro lado, se realizaron mediciones de algunas secciones de vía aproximadamente de 420 metros, tomando puntos referenciales y mediciones con wincha de topografía y descarga de información secundaria obtenida del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) que administra el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), referente a datos sobre la población y vivienda a escala de manzana catastral, cuya fuente de información es el “*Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*” del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), lo que permitirá estimar la cantidad de población y viviendas expuestas a peligro de tsunami, considerando grupos etarios y materiales de construcción. La investigación abarca una encuesta dirigida a la población que permita estimar el nivel de preparación ante tsunami, adaptando la aplicación del Índice de la Capacitación de Preparación ante Emergencias (EPCI, por sus siglas en inglés), así como el cálculo de los tiempos de evacuación según velocidad de desplazamiento.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), a través de la Dirección de Preparación (DIPRE), y, de manera conjunta con la Agencia Espacial del Perú (CONIDA), a través de la Dirección de Aplicaciones Espaciales y Geomática (DIAPG), generan la presente investigación para contribuir en las acciones de preparación ante tsunamis en las instituciones públicas y privadas a nivel nacional, mediante la implementación de un mapa de evacuación para salvaguardar la vida de la población expuesta al peligro de tsunami; asimismo, fomentar y difundir el conocimiento y aplicación de las tecnologías geomáticas con la utilización del software libre en la Gestión Reactiva, así como las tecnologías de propiedad peruana como las imágenes satelitales del PerúSAT-1 o la aplicación de procedimientos metodológicos con la utilización de drones a escala de precisión.

Asimismo, la importancia de realizar un mapa de evacuación radica en que la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), a la fecha, ha elaborado 131 cartas de inundación por tsunami las cuales se encuentran ubicadas en su portal de descargas (<https://www.dhn.mil.pe/cnat/cartas-inundacion>); teniendo los siguientes registros por departamento:

Tabla 1.- Cartas de inundación por tsunami elaboradas en el litoral peruano

DEPARTAMENTO	CARTAS DE INUNDACIÓN	CUENTAN CON RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS	
		SI	NO
Áncash	15	10	5
Arequipa	13	5	8
Ica	10	3	7
La Libertad	12	3	9
Lambayeque	4	2	2
Lima	38	11	27
Moquegua	1	1	0
Piura	17	8	9
Tacna	6	1	5
Tumbes	15	0	15
<b>TOTAL</b>	<b>131</b>	<b>44</b>	<b>87</b>

Fuente: DIHIDRONAV. Elaboración: INDECI, 2024

En tal sentido, de la tabla anterior, actualmente existen 44 cartas de inundación por tsunami tienen identificadas sus rutas de evacuación y zonas seguras, pero 87 cartas de inundación por tsunami no los tienen identificadas; es decir, un 66% de las cartas de inundación por tsunami elaboradas por la DIHIDRONAV no tienen rutas de evacuación y zonas seguras, para que la población evacue de forma oportuna ante una alerta o alarma. Como el caso de los departamentos de Tumbes y Moquegua, que no disponen de mapas de evacuación ante tsunamis; y, el departamento de Lima (incluyendo la Provincia Constitucional del Callao), Ica, La Libertad y Tacna tienen menos del 50% de mapas de evacuación elaborados e implementados, mientras que los departamentos Áncash y Piura cuentan con mayor número mapas de inundación por tsunami.

### 1.3 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

**Cano, V (2011). Aplicación de los SIG para la generación de rutas de evacuación en caso de desastres, como ayuda para la planificación urbana: “Caso costa oriental del lago de Maracaibo”**

Evaluó las rutas de evacuación en áreas afectadas por el fenómeno de subsidencia de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, en caso de una eventual ruptura del dique a causa de una sacudida sísmica. Ante la ruptura del dique la zona sería anegada con las aguas del lago, razón por la cual merece la creación de rutas efectivas para evacuar a la población hacia las áreas seguras en el menor tiempo posible. Si bien se cuenta con plan de contingencia, este no cuenta con rutas de evacuación definidas, lo cual es necesario para conocer cuál es el camino más corto entre las zonas afectadas y los centros de refugio. En la creación de las rutas se creó un SIG en formato ráster del área de estudio,

el cual se sustentó en la ponderación de valores de velocidad de movimiento según el uso de la tierra, y se encontraron las rutas donde la velocidad fue máxima, asegurándose de que sea la ruta que consuma el menor tiempo para evacuar.

**Shibayama, T., Esteban, M., Nistor, I., Takagi, H., Nguyen, T., Matsumaru, R., ... & Ohtani, A. (2012). Implicaciones del tsunami de Tohoku del año 2011 para la gestión de desastres naturales en Japón. Obras y proyectos, (11), 4-17.**

La investigación tuvo como objetivo obtener un registro completo de las alturas de las olas e impacto del tsunami en las regiones costeras. Las alturas de inundación debido al tsunami fueron del orden de más de 10 metros en la zona norte de Miyagi, 5 a 10 m en la Bahía de Sendai, y alrededor de 5m en las costas de Ibaraki y Chiba. Los autores del trabajo intentaron exponer cómo colocar demasiado énfasis solo en métodos de planificación o solo en los métodos de infraestructura puede construir un problema, y como en algunos casos un método puede interferir con el correcto funcionamiento del otro. Asimismo, una de las lecciones aprendidas durante el desastre es que es necesario incrementar el entrenamiento de los residentes y hacerles conscientes de cómo los métodos físicos y de evacuación interactúan y se complementan, el método físico sigue requiriendo la evacuación del lugar, debido a que el tsunami puede ser mayor de lo que las defensas pueden resistir. Por otro lado, se indica que es necesario establecer una jerarquía de puntos de evacuación que permita a la población dirigirse a los sitios más seguros.

**Rivera, F., Arozarena, I., Chacón, S., Barrantes, G. (2016). Metodología para la evaluación de rutas de evacuación en caso de tsunami aplicado a la costa del pacífico norte y central de Costa Rica.**

Método que tiene como objetivo elaborar una cartografía de rutas de evacuación en caso de tsunami, basado en directrices establecidas por la Comisión Europea. La metodología emplea un análisis de redes en un sistema de información geográfica, para determinar costos superficiales y con ello la ruta óptima a recorrer para evacuar desde las zonas inundables hasta los refugios horizontales. El estudio tuvo como resultado preliminar, una selección de 04 localidades en las que, la realización de mapas de rutas de evacuación es más urgente, tanto por la amenaza como por la vulnerabilidad.

**Ministerio de Viviendas y Urbanismo de Chile. (2018). Guía de referencia para sistemas de evacuación comunales por tsunami.**

Esta guía define pasos prácticos para la planificación y estándares para la habilitación de los componentes del sistema de evacuación, a incorporar en el Plan de Emergencia Comunal por variable de riesgo de tsunami. Define los requerimientos para la implementación de los sistemas de evacuación por tsunami que sirve como estandarización, tanto para los municipios formuladores, como para los organismos de evaluación. Esta guía permite reforzar las acciones y condiciones de seguridad a nivel local frente a la amenaza por peligro de tsunami, de manera que contribuye a la cultura de autocuidado y a una coordinación de la evacuación integrada, estandarizada y sostenida.

**Choque, C (2019). Implementación de rutas de evacuación, zonas seguras y señaléticas en áreas de inundación por tsunami usando técnicas geomáticas”.**

La investigación realizada por Choque (2019), titulada: *“Implementación de rutas de evacuación, zonas seguras y señaléticas en áreas de inundación por tsunami usando técnicas geomáticas”*; determinan procedimientos adecuados para la implementación de rutas de evacuación, señaléticas y zonas seguras en áreas de inundación por tsunami, mediante el uso de técnicas geomáticas en gabinete y campo. Este proyecto permitió que 21 lugares sean beneficiados y hayan logrado identificar sus rutas de evacuación y zonas seguras, lo que permite salvaguardar la vida de la población.

Las investigaciones internacionales tienen mayor avance en la comprensión de la importancia de las rutas de evacuación, mientras que en los nacionales no se identificó mayor información referente a procedimientos metodológicos y técnicos respecto a la identificación o diseño de un mapa de evacuación que contemple rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis; no obstante, los estudios no han explorado profundamente el diseño del mapa de evacuación basada en tecnología geomática con la utilización de imágenes satelitales o drones, la cual constituye el enfoque principal de la presente investigación.

#### **1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

**Shibayama, T., Esteban, M., Nistor, I., Takagi, H., Nguyen, T., Matsumaru, R., ... & Ohtani, A. (2012). Implicaciones del tsunami de Tohoku del año 2011 para la gestión de desastres naturales en Japón. *Obras y proyectos*, (11), 4-17.**

El 11 de marzo del año 2011 se produjo un sismo de gran magnitud con escala de 9.9 de Richter, en el mar de la costa noreste de Japón, lo que ocasionó un tsunami que causó daños dantescos en los ámbitos costeros. Un gran número de edificios, incluso muchos de ellos construidos con hormigón armado, fueron destruidos o sufrieron daños extensos, y una gran parte de la flota pesquera terminó encallada en tierra. Asimismo, gran cantidad de estructuras para la defensa costera conocidas como diques, rompeolas u otras estructuras construidas específicamente para resistir tsunamis, también sufrieron graves daños. Durante muchos años se ha debatido entre los ingenieros y la comunidad que gestiona los desastres con métodos físicos (medidas estructurales) de protección basado sólo en infraestructura, como los rompeolas o diques, son preferibles a los métodos de planificación como los sistemas de alerta o planes de evacuación (medidas no estructurales). La gran cantidad de daños y efectos, así como el elevado número de víctimas en un país que se consideraba altamente preparado para afrontar los peligros de los tsunamis, sin duda genera un debate entre la comunidad ingenieril y gestora del riesgo de desastres; esto a pesar de las trágicas consecuencias de eventos como éste, es importante comprender que también presentan oportunidades para impulsar cambios en la utilización y protección de la costa e incrementar la capacidad de defensa de las comunidades contra futuros eventos. Es preciso señalar que muchos edificios, inclusive edificios de hormigón armado, fueron arrasados por el tsunami, e incluso gran parte de los que permanecieron en su sitio sufrieron daños graves, así como también los rompeolas, diques, bosques y otras estructuras de defensa a lo largo de la costa, siendo estos últimos diseñados específicamente para proteger contra los tsunamis fueron total o parcialmente dañados.

**Villagrán, C. P., & Soto, M. V. (2024). Vías de Evacuación e Infraestructura Crítica para la Gestión del Riesgo de Tsunamis en la ciudad de La Serena, Chile. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 151-170.**

La costa de la ciudad de La Serena se localiza en una terraza marina baja, con cordones litorales y de dunas, humedales y playas arenosas, expuesta a distintos tipos de

amenazas, como inundaciones recurrentes (por precipitaciones extremas/suelos de mal drenaje), marejadas y tsunamis. Se identifican condiciones de vulnerabilidad asociadas, por la configuración urbana que se ha emplazado en una zona expuesta a amenazas, como también frente a la ocurrencia de un evento sísmico tsunamigénico de gran magnitud, cuyo foco de generación se produzca cercano a la costa y el impacto de eventos de campo lejano. Así se conforman las condiciones propicias para un desastre, ya que el tiempo y la capacidad de respuesta de la ciudad de La Serena, se ve reducida para una evacuación hacia zonas seguras. La urbanización de la zona costera no ha sido acompañada de una planificación vial acorde a la población residente, teniendo escasas vías conectoras desde la zona costera hacia la zona céntrica de la ciudad, además Aguirre et al (2018) plantea otros ejemplos de problemas de conectividad, como la falta de fluidez vial urbana, debido a la presencia de la carretera Ruta 5, que intercepta a la ciudad, dividiendo la zona costera de la zona céntrica de La Serena. Es primordial evaluar territorialmente la infraestructura utilizada para la evacuación de la población expuesta a tsunami, es decir, las vías de evacuación y la infraestructura crítica asociada a la primera respuesta ante una emergencia. Ello cobra aún más interés, debido a las características de vulnerabilidad por la configuración urbana en la costa, la compleja consolidación a nivel local de las vías de evacuación planificadas, las que, además, están en proceso de cambios y redefiniciones legales, según gestión de riesgos de desastres en el país (Ley 21.364, 2021), sin mencionar explícitamente, una confusa gestión de administración y mantención de dichas vías de evacuación.

**Arcón Navarro, R. (2017). Estudio metodológico de señalética y de rutas de evacuación en zonas españolas de riesgo de tsunami mediante técnicas geomáticas (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).**

En la actualidad existe un desconocimiento de la situación referente a los tsunamis en España, lo que hace creer que un fenómeno natural ajeno a su ocurrencia en el país, siendo nada más lejos que la realidad. Por ello, en las costas andaluzas localizadas frente al golfo de Cádiz que son altamente vulnerables debido a la existencia de diversas fallas. De hecho, en el año de 1755, un tsunami arrasó con las costas de España y Portugal, lo que provocó grandes daños a la población y medios de vida.

En referencia a los tsunamis, resulta fundamental que primero se tiene en cuenta que el problema siempre existirá debido que la litosfera de nuestro planeta está en movimiento constante. Por ello, el desconocimiento que se tiene hoy en día acerca de las

posibilidades de que ocurra un tsunami en territorio español, así como el escaso sistema de prevención de los efectos que pueden acontecer, sugiere la necesidad de contar con un sistema de evacuación que pueda contribuir a salvar la mayor cantidad de vidas humanas. Ante la percepción de un sismo en la costa, muchas personas tienden a alejarse de los edificios y a refugiarse en zonas de explanada, o amplias para evitar que le caigan objetos o hasta edificios en su caso, y, el principal problema surge cuando hay un desconocimiento por parte de la población, que se dirige hacia la playa para protegerse del terremoto sin considerar que luego es muy probable la ocurrencia de un tsunami, en caso se den dichas condiciones. Esta tendencia en la reacción de las personas, lamentablemente se ha sido continuo por mucho tiempo a lo largo de los años, siendo como ejemplo el sismo con posterior tsunami en 1755 en Lisboa. Al tratar de buscar un refugio huyendo hacia la costa luego de un sismo, la población misma hace que exista o se incremente el número de fallecidos de manera significativa, por ello, resulta fundamental el saber cómo reaccionar o hacia dónde dirigirse en caso de su ocurrencia, lo que resulta crucial en estas circunstancias.

**Moreno, M., Molina, J., Arteaga, J., Gómez, A., Lavado, H., & Huamán, M. (2014). Zonas costeras monitoreadas y alertadas ante peligro de tsunamis-Barranca.**

Los principales problemas referentes a la gestión del riesgo de desastres ante tsunamis están enfocadas a la logística, educación, organización y presupuesto; mismos que se especifican como no contar con la identificación de riesgos de la localidad a escala detallada o inadecuada articulación para la realización de acciones multisectoriales y privados, la información sobre riesgos inadecuada o escaso acceso a la información, la escasa organización o seriedad en la población sobre temas en gestión del riesgo de desastres, el escaso presupuesto para temas de gestión de riesgos de desastres o la inadecuada priorización presupuestal o escasa asignación presupuestal, así como las rutas de evacuación no presentan condiciones adecuadas y seguras ante un sismo debido a la precariedad y los defectos del sistema constructivo de las edificaciones más antiguas y por no contar con estructuras sismo-resistentes. Asimismo, esta tendencia se agudiza en los establecimientos de comercio (restaurantes) ubicados en las zonas de las playas, principalmente en el balneario de Puerto Chico. Es por eso que se necesita reforzar este punto con mayor número de simulacros y capacitaciones al personal asignado para tal propósito por parte de Defensa Civil de la comunidad de Barranca.

## **1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.5.1 Problema general**

¿En qué medida la falta de un mapa de evacuación limita las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima?

### **1.5.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cómo la falta de imágenes satelitales y drone limita la generación de una base de datos geoespacial sobre la población y medios de vida en Sistemas de Información Geográfico (SIG)?
- b) ¿Cómo la falta de rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras limita el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis?
- c) ¿De qué manera el desconocimiento de un método con Sistemas de Información Geográfica (SIG) impide la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras?

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se refiere al diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis basado técnicas geomáticas como la utilización de imágenes satelitales y fotografías obtenidas con drone, así como la aplicación de técnicas de proximidad en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de software libre, de manera que contribuya a la gestión del riesgo de desastres en caso de tsunami, tanto a los gobiernos regionales y locales del litoral peruano, como a las instituciones públicas o privadas que realicen actividades comerciales, industriales o turísticas, y a todo profesional o entidad académica que realice investigaciones referente a la materia; lo que permitirá mejorar las acciones de preparación de la población ante tsunamis; asimismo, sea un proyecto base para el futuro se puedan utilizar otras técnicas de recolección y análisis de datos que impliquen un menor costo económico.

El diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis contribuirá a la gestión de riesgo de desastres del distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima, para la implementación de acciones de preparación en la población y medios de vida expuestos, así como de prevención y reducción, específicamente en los ámbitos del litoral expuestos a peligro por tsunami y cuya área de inundación se encuentre respaldada por información técnico-científica.

Al respecto, en el Perú se cuenta con la información de las cartas de inundación elaboradas por la DIHIDRONAV, los estudios de evaluación de riesgos (EVAR) por tsunami, cuyo procedimiento normativo y técnico se rige bajo la normatividad del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y a su vez, debe encontrarse aprobado y/o validado por el gobierno local o entidad competente; asimismo, los estudios de tsunamis elaborados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID-UNI), previa aprobación y/o validación del gobierno local.

El seguimiento e implementación del mapa de evacuación requiere de un compromiso por parte de las autoridades y población, que, posteriormente tiene la responsabilidad de implementar la señalización de evacuación, campañas y talleres de sensibilización, entre otros, lo que permitirá un mejor control del aforo en zonas de limitada accesibilidad.

La presente investigación tiene el propósito de sentar un antecedente y el sustento técnico científico para la elaboración de documentos normativos que permitan el diseño e implementación de mapas de evacuación ante tsunamis de manera oficial en el país, las cuales incluirán rutas de evacuación, zonas seguras y señalización. A nivel poblacional, las autoridades locales contarán con una herramienta que les permita realizar prácticas o ensayos sobre simulacros o simulaciones ante tsunamis, elaboración y formulación de planes relacionados a la gestión del riesgo de desastres.

Asimismo, las medidas de tipo estructural como los muros de contención, diques u otra estructura de contención, podrían resultar poco eficientes y altamente costosos para la mitigación del riesgo por tsunami, y, sobre todo en países subdesarrollados expuestos al peligro donde el crecimiento urbano e incumplimiento de las normas de diseño constructivo han generado el desarrollo de alta vulnerabilidad en la población y medios de vida, sumado que, no podrían asumir la inversión en dichas obras estructurales; por ello, el mapa de evacuación surge como una medida de tipo no estructural que contribuya a la mitigación del riesgo por tsunami.

## **1.7 OBJETIVOS**

### **1.7.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un mapa de evacuación basado en tecnología geomática para mejorar las acciones de preparación ante tsunami en el distrito Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima, 2024.

### **1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar una base de datos geoespacial con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) sobre la población y medios de vida basado en imágenes satelitales y drone.
- Analizar las rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras para el diseño del mapa de evacuación ante tsunamis.
- Proponer un método con técnicas geomáticas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis.

## **1.8 HIPÓTESIS**

### **1.8.1 HIPOTESIS PRINCIPAL**

El diseño de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática mejorará las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima.

### **1.8.2 HIPOTESIS SECUNDARIA**

- Al generar una base de datos con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se obtendrá información geoespacial de la población y medios de vida basado en imágenes satelitales y drone.
- Al analizar las rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras se obtendrá el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis.
- Al formular un procedimiento metodológico con tecnología geomática de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se identificarán las rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

El tsunami o maremoto es un fenómeno marítimo espectacular por su secuela de destrucción y pérdidas de vidas humanas. Generado por diversas causas, el tsunami es básicamente una secuencia o tren de ondas que desde su origen se desplazan en todas las direcciones y la gran velocidad, desarrollándose en las rutas que le son favorables y mitigándose en las otras, hasta llegar así a las costas, donde arriban en un tiempo corto o prolongado dependiendo de la distancia recorrida, y donde atacan con violencia consecuente con su modo de propagación.

Las causas de la generación pueden clasificarse en naturales y artificiales. Las primeras son incontrolables o difíciles de evitar; las encabezan los terremotos de gran magnitud de origen tectónico producidos en el fondo del océano, que generan a su vez tsunamis de amplio radio de acción y gran poder destructivo. Algunos sismos que ocurren en el continente generan tsunamis de incidencia local. Otros tsunamis, aunque raros, son generados por erupciones volcánicas acompañadas de grandes explosiones.

También, pueden tener origen en deslizamientos de grandes masas costeras que caen al mar, como ocurrió en algunas bahías de Alaska durante el terremoto de 1964; las olas causaron daños en las orillas opuestas de dichas bahías. Las causas artificiales más importante es la realización de pruebas atómicas o nucleares en la superficie del mar. En 1954, una prueba atómica realizada por los Estados Unidos de Norteamérica en el atolón de las islas Bikini, produjo un pequeño tsunami registrado en el Japón. (Kuroiwa, 1983).

#### **2.1.1 MECANISMOS GENERADORES DE TSUNAMI**

- **Sismos con epicentro en el mar:**

Son la principal causa de generación de los tsunamis (88% de tsunamis registrados están relacionados con actividad sísmica). Para que un terremoto origine un tsunami el fondo marino debe ser movido abruptamente en sentido vertical. No todos los terremotos generan tsunamis, solo aquellos de magnitud considerable, que ocurren bajo el lecho marino y que son capaces de deformarlo.

- **Eventos volcánicos en el mar:**

Una explosión de isla volcánica, una erupción volcánica submarina y flujos piroclásticos en el agua (8% de eventos tsunamigénico registrados históricamente son por actividad volcánica); estos fenómenos pueden ocasionar tsunamis.

- **Deslizamientos submarinos:**

Grandes cantidades de sedimentos que caen por la pendiente hacia zonas más profundas (3% de eventos de tsunami son a causa de deslizamientos). Se genera una violenta alteración del fondo oceánico produciendo así un tsunami.

- **Caída de asteroide o meteorito al océano:**

Se trata de una causa muy poco probable, sin embargo, se han encontrado cráteres y restos de meteoritos debajo del mar alrededor del mundo, lo cual por su dimensión pudieron haber ocasionado tsunamis.

## **2.1.2 CLASIFICACIÓN DE UN TSUNAMI**

Los tsunamis se clasifican, en el lugar de arribo de la costa, según la distancia (o el tiempo de viaje) desde su lugar de origen, con el que se podrá determinar los tiempos de reacción de la población para mitigar sus efectos en:

- **Tsunamis locales:**

Si el lugar de arribo en la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del tsunami, o a menos de una hora de tiempo de viaje desde su origen.

- **Tsunamis regionales:**

Si el lugar de arribo en la costa está a no más de 1000 km de distancia de la zona de generación, o a pocas horas de tiempo de viaje desde esa zona.

- **Tsunamis lejanos:**

Si el lugar de arribo está en costas extremo opuestas a través del Océano Pacífico, a más de 1000 km de distancia de la zona de generación y aproximadamente medio día o más de tiempo de viaje del tsunami desde esa zona. (Argadoña, 2009)

### **2.1.3 SISMOS GENERADORES DE TSUNAMIS:**

No todos los sismos generan tsunamis. Para generar un tsunami, la falla donde ocurre el sismo debe estar bajo o cerca del océano, y debe crear un movimiento vertical (de hasta varios metros) del piso oceánico sobre una extensa área (de hasta cien mil kilómetros cuadrados). Los sismos de foco superficial a lo largo de zonas de subducción son los responsables de la mayor parte de los tsunamis destructores.

### **2.1.4 FORMA PARTE DEL MECANISMO DE GENERACIÓN DE TSUNAMIS:**

La cantidad de movimiento vertical del piso oceánico, el área sobre la cual ocurre y la eficiencia con la que la energía es transferida desde la corteza terrestre al agua oceánica:

- **Eventos sísmicos:**

Los sismos con magnitudes mayores a 7.0Mw, son la fuente principal de generación de tsunamis, siempre y cuando ocurran en el fondo marino o muy cerca de él a profundidades focales menores a 60 Km. Estos eventos se producen en regiones de convergencia de placas tectónicas que ocasionan el levantamiento y hundimiento de la corteza continental (Stein et al.,2004).

Los parámetros de la fuente del terremoto que determinan la generación y las características del Tsunami, son: el momento sísmico, el mecanismo focal y la profundidad focal. En la siguiente tabla, se muestra las relaciones empíricas entre las magnitudes del terremoto y las características del Tsunami, llegándose observar que, para Tsunamis regionales, la magnitud debe ser mayor que 7.5Mw; mientras que, para un Tsunami local, el terremoto puede tener una magnitud de 6.5 Mw. Es decir, las características del Tsunami en el campo lejano o cercano dependerán de la magnitud del sismo (Hasan et al, 2007) y del tiempo de viaje de las olas de un Tsunami.

Tabla 2.- Magnitud del terremoto y características del Tsunami

<b>N°</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Destrucción</b>
a	$M > 7.8$	Posible, Tsunami destructivo en todo el océano.
b	$7.5 < M < 7.8$	Posible Tsunami regional destructivo con efectos limitado a un rayo de 1,000 km desde el epicentro.
c	$7.0 < M < 7.5$	Posible Tsunami local destructivo con efectos limitado a un rayo de 100 km desde el epicentro.
d	$6.5 < M < 7.0$	Muy baja posibilidad de un Tsunami local destructivo.

Fuente: Hasan et al, 2007

- **Explosión volcánica:**

Las erupciones volcánicas violentas, también pueden generar perturbaciones importantes capaces de desplazar grandes volúmenes de agua, y de producir Tsunamis extremadamente destructivos, principalmente en zonas próximas al volcán. En este caso, las olas son generadas por el desplazamiento repentino del agua a causa de la explosión volcánica, hundimiento de la pared del volcán o debido a la explosión y posterior derrumbe de la cámara de magma del volcán.

En la siguiente figura se observa dos erupciones; a) *el Tsunami se produce a causa de la erupción de un volcán submarino, la potencia con el que expulsa los materiales piroclásticos y otros, impacta con el agua haciendo que formen olas que viajen a la costa.* b) *La erupción lateral del volcán provoca el desprendimiento de un de sus lados, lo que permite que el material se deposite de forma inesperada y rápida al pie del volcán submarino, generando olas.*

Figura N° 1.- Generación de Tsunamis por erupciones volcánicas. a) Erupción de un volcán submarino. b) Erupción lateral de un volcán, provocando un deslizamiento masivo de bloque de material volcánico.



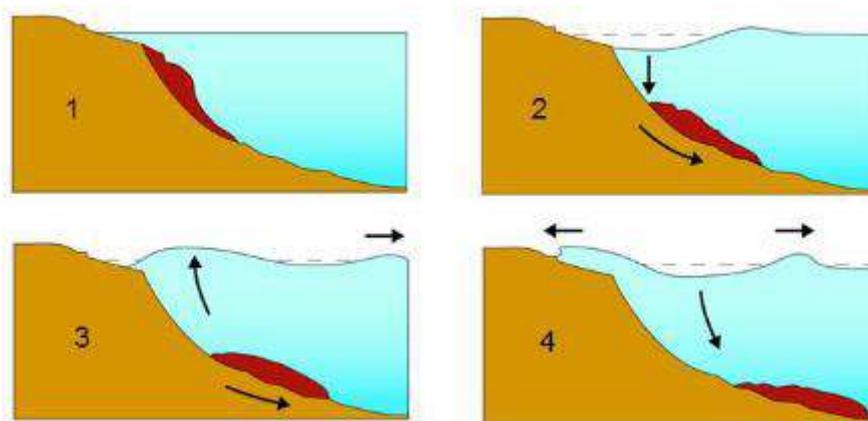
Fuente: Sullá, 2016

Las erupciones volcánicas submarinas tienen el potencial de producir olas de Tsunami verdaderamente poderosas. La gran erupción del volcán Krakatoa de 1883, ubicado cerca de la costa de Java y Sumatra, generó olas gigantescas que alcanzaron alturas de 40 metros sobre el nivel del mar, matando a miles de personas y destruyendo numerosas localidades en las costas de Sumatra, Java y las islas pequeñas alrededor de ellas.

- **Deslizamientos:**

El deslizamiento de tierras submarinas a lo largo del talud continental, es otra fuente generadora de Tsunami. Estos casos suelen producirse cuando se altera el equilibrio inestable de los fondos marinos a consecuencia de movimientos sísmicos. En la siguiente figura se muestra el proceso de generación de Tsunami por deslizamientos en el mar. Por ejemplo, el tsunami del 17 de julio de 1998 que ocurrió en la costa norte de Papua - Nueva Guinea fue generado por el desplazamiento de sedimentos que mato a cientos de personas. Sin embargo, la energía del Tsunami generada por un desplazamiento de tierras se disipa rápidamente durante el viaje a través del océano. (Sulla, 2016)

Figura N° 2.- Proceso de generación de Tsunamis por deslizamientos en el mar



*Fuente: Sulla, 2016*

- **Clasificación de Tsunami:**

Se puede clasificar a los Tsunamis, de acuerdo a su distancia epicentral en tsunamis locales. Tsunamis regionales y Tsunamis lejanos.

- **Tsunamis Locales:**

Su lugar de origen está muy cerca de la costa o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del tsunami. Estos tsunamis tienen, desde su origen, menos de una hora de viaje.

Los tsunamis de origen local son los más peligrosos, debido al poco tiempo con el cual llegan a las costas, y muchas veces no es suficiente para evacuar a la población. En el caso del Perú se estima que las olas lleguen en 10-15 minutos.

➤ **Tsunamis regionales:**

Si el lugar del tsunami está a distancias mayores a 500 km, lo cual da un tiempo del orden de horas para evacuar a la población. Ejemplo: el tsunami generado por un sismo de Camaná el 23 de junio 2001 (M8.4) que tardo aproximadamente 2 horas en llegar al puerto del Callao.

➤ **Tsunamis lejanos o remotos:**

Si el lugar del tsunami está a distancias mayores a 1000 km, lo cual causa que el tsunami llegue con más de una hora después de haber ocurrido el sismo. Ejemplo: el tsunami generado por un sismo de Japón el 11 de marzo de 2011 (M9.0) que tardo aproximadamente 21 horas en llegar al puerto del Callao (Martínez, 2023).

● **Sismos generadores de Tsunamis**

Diferentes teorías explican sobre las características de los eventos sísmicos que son capaces de generar Tsunamis. Un terremoto puede generar Tsunami solo sí, la magnitud del terremoto mayor de 7.0Mw; el origen del terremoto se debe a la deformación del piso oceánico; el foco oceánico a una profundidad inferior a 60 km y la ubicación de la fuente es en una zona de subducción. No obstante, no todos los eventos sísmicos que cumplen con estas características generan tsunamis, debido principalmente a su complejidad en el proceso de ruptura.

Es importante conocer el proceso de ruptura, en otras palabras, encontrar información de los parámetros sísmicos que caracterizan la fuente sísmica. Los parámetros sísmicos cumplen un papel importante en la generación de Tsunamis, y, por lo tanto, es fundamental entender su variabilidad y la capacidad para producir olas anómalas. La profundidad y la distribución de deslizamientos a lo largo del área de ruptura, contribuye a la amplificación o atenuación de las olas del Tsunami; de hecho, los eventos de poca profundidad, así como la distribución de los deslizamientos heterogéneos reflejan en el Tsunami olas más relevantes. Sin embargo, no solo las propiedades geométricas de la falla son importantes, la falta de homogeneidad vertical en la litosfera, tiene un efecto significativo sobre el desplazamiento de la falla en el proceso.

Los terremotos interplaca pueden ser clasificados como superficiales ya que ocurren en la zona de convergencia de placas cerca de la fosa; por tanto, son considerados como zonas de sismos generadores de Tsunami (Satake y Tanioka, 1999).

- **Sismicidad en Perú**

La sismicidad en el territorio peruano es debida al proceso de subducción de placas y a la dinámica de cada una de las unidades tectónicas presentes en el interior del continente. El mapa de la actividad sísmica ocurrida en Perú entre 1960 al 2012 ( $M_w > 4.0$ ) señala que los sismos han sido diferenciados por su rango de profundidad focal en superficiales ( $h < 351$  km).

Los sismos de foco superficial se encuentran distribuidos entre la línea de la fosa peruano chilena y la costa, desde el departamento de Tumbes hasta Tacna (círculos de color rojo), y definen a la principal fuente sismogénica del país. La deformación cortical es considerada como la segunda fuente sismogénica al dar origen a sismos sobre los bordes de la Cordillera Andina (círculos rojos) y zona subandina, para luego desaparecer completamente sobre la Llanura Amazónica.

Los sismos de foco intermedio o intraplaca se distribuyen en tres sectores bien definidos (círculos verdes), el primero paralelo a la costa por debajo de 8° latitud Sur, el segundo sobre la zona subandina al noreste de la región norte y el último, sobre toda la región sur de Perú. Los sismos de foco profundo (círculos azules), se encuentran, en su totalidad, alineados de Sur a Norte, en la frontera Perú con Brasil y en dirección Este-Oeste en la frontera de Perú con Bolivia. El origen de estos eventos aún sigue siendo tema de investigación.

- **Sismicidad Histórica**

Considera información sobre los grandes sismos que afectaron al territorio peruano en el pasado y ella es importante porque permite definir el real potencial sísmico de cada región. En Perú la información sobre la sismicidad histórica data del año 1500 y la calidad y veracidad de su información dependerá de la distribución y densidad poblacional en las regiones afectadas por los sismos. Para estos eventos se conoce la fecha de ocurrencia, entonces pueden ser utilizados para evaluar la tasa de

recurrencia y la sismicidad de una determinada región. La recopilación de esta información fue hecha por Silgado (1978) y Dorbath et al (1990); siendo mayor para eventos ocurridos frente a la costa peruana con respecto a los que habrían ocurrido en el interior del país (Ver Tabla N°3)

Tabla 3.- Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959

Fecha (dd-mm-aa)	Latitud	Longitud	Intensidad (MM)	Magnitud
22-01-1582	-16.3	-73.3	X	7.9
09-07-1586	-12.2	-77.7	IX	8.1
24-11-1604	-18.0	-71.5	IX	8.4
14-02-1619	-8.0	-79.2	IX	7.8
31-05-1650	-13.8	-72.0	X	7.2
13-11-1655	-12.0	-77.4	IX	7.4
12-05-1664	-14.0	-76.0	X	7.8
20-10-1687	-13.0	-77.5	IX	8.2
28-10-1746	-11.6	-77.5	X	8.4
13-05-1784	-16.5	-72.0	X	8.0
07-12-1806	-12.0	-78.0	VIII	7.5
10-07-1821	-16.0	-73.0	VIII	7.9
13-08-1868	-18.5	-71.2	X	8.6
09-05-1877	-19.5	-71.0	VIII	7.5
28-07-1913	-17.0	-73.0	IX	7.0
06-08-1913	-17.0	-74.0	X	7.7
24-05-1940	-10.5	-77.6	VIII	8.2
24-08-1942	-15.0	-76.0	IX	8.4
10-11-1946	-8.3	-77.8	X	7.2
01-11-1947	-11.0	-75.0	IX	7.5
21-05-1950	-14.4	-72.1	VII	6.0
12-12-1953	-3.6	-80.5	VIII	7.7

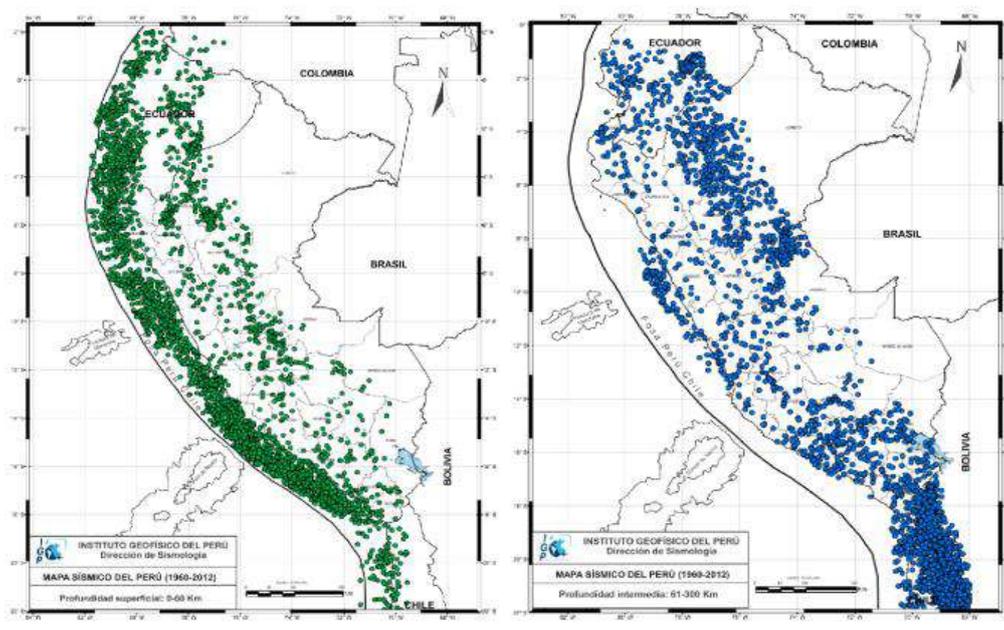
*Fuente: Silgado (1978) y Dorbath et al (1990)*

La sismicidad histórica considera información sobre grandes sismos que afectaron al territorio peruano en el pasado y ella es importante porque permite definir el real potencial sísmico de cada región. En Perú la información sobre la sismicidad histórica data del año 1500 y la calidad y veracidad de su información dependerá de la distribución y densidad población en las regiones afectadas por los sismos. Para estos eventos se conoce la fecha de ocurrencia, entonces pueden ser utilizados para evaluar la tasa de recurrencia y la sismicidad de una determinada región. La recopilación de esta información fue hecha por Silgado (1978) y Dorbath et al

(1990); siendo mayor para eventos ocurridos frente a la costa peruana con respecto a los que habrían ocurrido en el interior del país.

Los terremotos de mayor magnitud ocurridos frente a la costa son el de 1586 (primer gran terremoto con documentación histórica), 1687 y 1746 que destruyeron en gran porcentaje a la ciudad de Lima, además de producir tsunamis con olas que posiblemente alcanzaron alturas de 15-20 metros. En la región sur, los terremotos más notables fueron los ocurridos en 1604, 1784 y 1868, siendo este último el mejor documentado y descrito en detalle por Montessus de Ballores (1911) y Vargas (1922). Estos eventos produjeron daños importantes en las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna; además de Arica e Iquique en Chile. El terremoto de 1868 habría generado tsunamis con olas 14 metros de altura afectando a los departamentos de Tacna (Perú), Arica e Iquique (Chile).

Figura N° 3.- Mapa de Sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012



*Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP) 2014*

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Mapa de evacuación**

Representación gráfica que señala las rutas de evacuación en dirección de las zonas seguras. Herramienta necesaria para asegurar la evacuación eficiente de las personas desde la zona inundable por tsunami hasta las zonas seguras preestablecidas (INDECI&DHN, 2017).

- **Población flotante:**

La población flotante se define como “aquella que viaja de un lugar a otro y se encuentra en un momento y lugar dado, independientemente del tiempo que tiene de vivir en el mismo, pero cuyo lugar de residencia habitual no es dicho lugar” (Chávez y Corona, 2006)

- **Rutas de evacuación:**

Son los caminos debidamente señalizados que se definen para garantizar la rápida evacuación de zonas de peligro y que conduzcan hacia las zonas seguras o hacia las zonas de concentración transitoria para el recojo. Se pueden definir rutas de evacuación principales y rutas de evacuación secundaria o alterna (INDECI & DHN, 2015)

- **Tsunami**

Palabra de origen japones que hace referencia al fenómeno oceánico que resulta de una perturbación violenta del piso oceánico. Se caracteriza por generar una serie de olas de gran longitud que se programan en todas las direcciones y que al llegar a las costas incrementan su altura, llegando a ser en algunos casos potencialmente destructivos. Fenómeno también conocido como maremoto (INDECI, 2018).

- **Vulnerabilidad física**

Relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), para asimilar los efectos del peligro (MINAM, 2011).

- **Zonas seguras**

Lugar que se encuentra fuera del área de peligro y donde la población se puede refugiar de manera temporal hasta que las autoridades indiquen que ha pasado el peligro o hasta la movilización hacia los albergues temporales. En algunos casos puede ser posible que las zonas seguras se conviertan en albergues temporales (INDECI & DHN, 2015)

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 METODOLOGÍA**

#### **3.1.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:**

##### **a) Respecto al enfoque**

El tipo de investigación respecto al alcance es descriptivo porque resalta la descripción cualitativa de la aplicación de tecnologías geomáticas en Sistemas de Información Geográfica para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunami, considerando imágenes satelitales y ortofotografía de drone, la misma que está sujeta al nivel de conocimiento sobre las ventajas, limitaciones y características para ser empleadas.

##### **b) Respecto al diseño de investigación**

La presente investigación es de tipo “no experimental” porque los datos obtenidos son a partir de imágenes satelitales y ortofoto obtenida de drone, para luego ser procesadas y analizadas en Sistemas de Información Geográfico (SIG) y obtener información que va ser analizada y contrastada con los datos de campo.

#### **3.1.2 UNIDAD DE ANÁLISIS**

La presente investigación referente al diseño de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática para mejorar las acciones de preparación ante tsunami, tiene lugar en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca del departamento de Lima, con una altitud media de 6 m.s.n.m. y en las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator, por sus siglas en inglés), (Norte: 8804286.52 m S, Este: 200041.21 m E).

#### **3.1.3 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **a) Recolección de datos**

Los datos a recopilar son del tipo cualitativo (encuesta) y uno cuantitativo (medición directa); para el tipo cualitativo se aplicará una encuesta para 150 personas de la zona de estudio, obtenida de un tamaño muestral según aplicación estadística, mismos que se encuentran expuestos a tsunamis y permite estimar el nivel de preparación ante tsunami en el área de estudio basado en el procedimiento del “*Índice de Capacidad de Preparación ante Emergencias – EPCI*”, que mide el nivel de preparación para responder de manera óptima ante emergencias o

desastres, pero cuyo alcance está enfocado a las instituciones del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD); sin embargo, luego de un análisis técnico y normativo, se generó una encuesta cuyo propósito fue aplicarlo en la población, lo que permitirá identificar su nivel de preparación ante tsunamis. Asimismo, se registrará el tiempo de desplazamiento de 22 personas seleccionadas de diferentes talla, peso y edad, para simular la media del tiempo de desplazamiento en un tramo de 20 metros, y estimar su velocidad y tiempo de evacuación bajo procedimientos previamente establecidos. Respecto a la información cuantitativa basado en la aplicación de técnicas geomáticas, la información se realizará con una medición directa por medio de sensores de dron tipo Phantom 4RTK, 1 receptor geodésico GNSS Marca South Modelo Galaxy G1, y colectora de datos, y cuyos resultados fueron de elaboración propia; asimismo, se obtendrá una imagen satelital ortorectificada PeruSAT-1 proporcionada por la Agencia Espacial del Perú (CONIDA), mismas que serán procesadas posteriormente en el software de Sistema de Información Geográfico (SIG) de uso libre denominado Quantum GIS (QGIS) cuyo año de creación fue el mayo de 2022 como parte del proyecto SourceForge.

Por otro lado, a la información en campo de medición directa se realiza a través de una cinta métrica para determinar el ancho y largo de pista considerada como ruta de evacuación, así como su estado actual, y compararla con los resultados del dron para contrastar su precisión de la misma pista seleccionada para la evaluación; asimismo, la información obtenida de población y vivienda a nivel de manzana catastral fueron a partir de los datos del “*XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo Peruano de 2017*”, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la misma que fue descargada del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) que administra el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Finalmente, el área de peligro se obtiene a partir de las cartas de inundación de la Marina de Guerra del Perú (MGP), que, a través de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), viene identificando las zonas de inundación por tsunami en el litoral peruano ante la ocurrencia de sismos de 8.5 Mw y 9.0 Mw, siendo preciso que la presente investigación utiliza el peor de los escenarios; es decir, la información de área inundable de 9.0 Mw.

## **b) Procesamiento de información**

Para el procesamiento de datos cualitativos se empleará el programa Microsoft Excel, obteniéndose el nivel de preparación de la población ante tsunamis basada en el EPCI, considerando la muestra poblacional de 150 personas obtenida a partir de aplicación estadística. Posteriormente, para el procesamiento de datos cuantitativos se emplearán software de procesamiento de imágenes satelitales e imágenes de drone, como el QGIS o AGISOFT METASHAPE. Esto permitirá tener la información necesaria para la generación de bases de datos georreferenciados y ajustados a la Red Geodésica del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Luego, se procederá al ajuste de las manzanas catastrales obtenidas del INEI en base al mapa base de la ortofotografía de drone, para corrección de errores de precisión en planimetría, para luego realizar la digitalización y creación de la red vial de toda el área de estudio, así como generar puntos de inicio y llegada que simularan el tramo de desplazamiento de la población desde la zona de inundación hasta una zona segura previamente identificada como zona libre.

## **c) Análisis de información**

El análisis de las rutas de evacuación y zonas seguras que permitan el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis, se centrarán en el mapa base generado a partir de la imagen satelital de PerúSAT-1 y ortofoto drone, así como los resultados obtenidos del software QGIS, que, en el programa se identificarán 21 puntos de origen de desplazamiento que conectan a toda la red vial del área de estudio, previamente digitalizada sobre el mapa base y ubicadas dentro de la zona de inundación, las cuales deben llegar hasta 9 zonas libres previamente identificadas, mismas que reúnen criterios de seguridad y accesibilidad. Esta información permitirá la aplicación de la herramienta “Ruta más corta (punto a punto)” de la versión en español del QGIS, y al analizar las 21 vías de acceso que se dirigen hacia cada una de las 9 zonas libres, las rutas más cortas serán seleccionadas como “*rutas de evacuación*” y aquellas zonas libres de llegada serán seleccionadas como “*zonas seguras*”. Asimismo, el uso de bases de datos generadas y analizadas en el software SIG en mención, permitirá minimizar los costos de elaboración de mapas temáticos que comparación con otro software licenciado.

### 3.1.4 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 4.- Matriz de consistencia sobre investigación en Supe Puerto

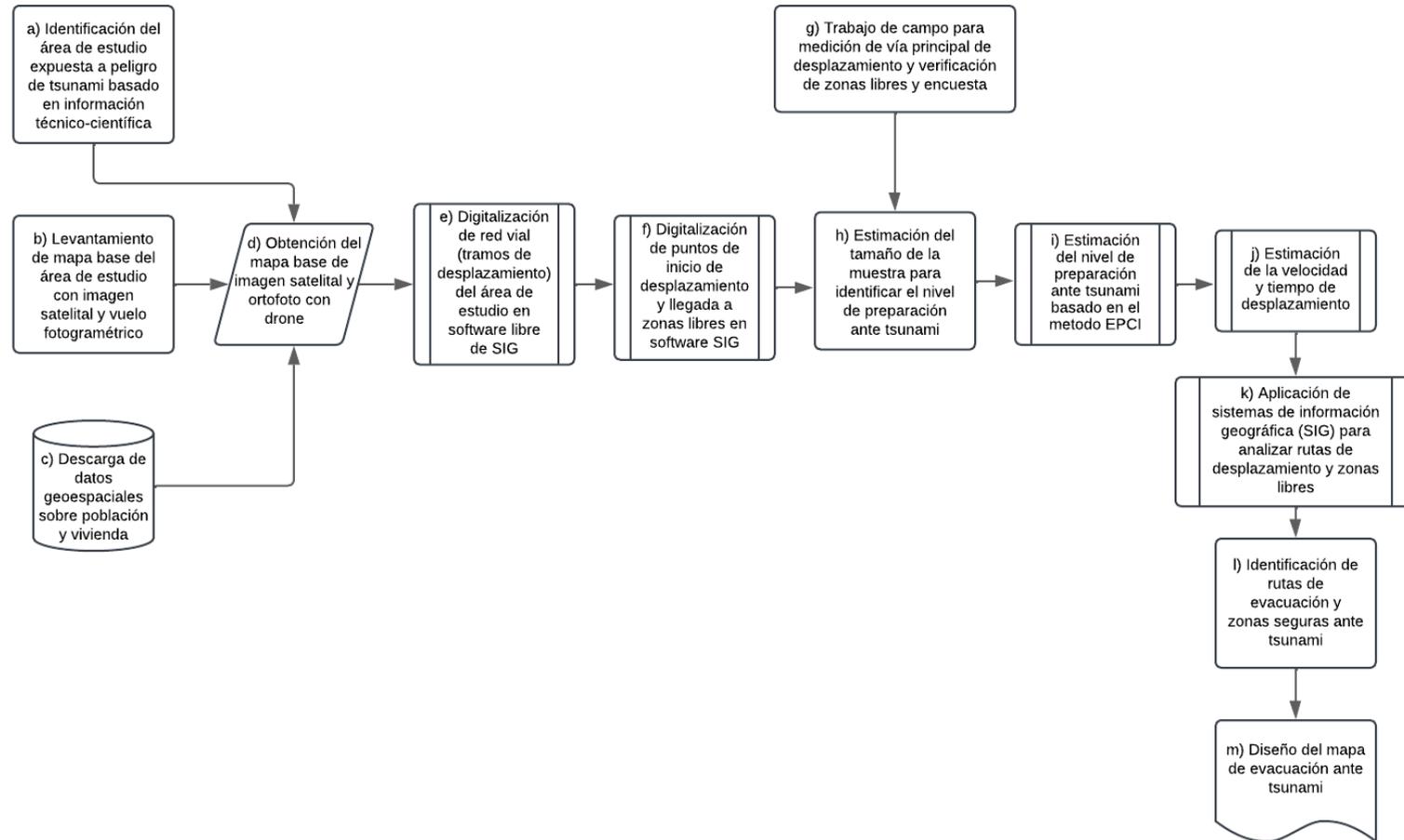
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿En qué medida la falta de un mapa de evacuación limita las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima?	Diseñar un mapa de evacuación basado en tecnología geomática para mejorar las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima	El diseño de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática mejorará las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Lima, departamento de Lima	Mejorar las acciones de preparación ante tsunamis	Diseñar un mapa de evacuación basado en tecnología geomática	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de análisis sobre levantamiento en campo</li> <li>- Estimación de tiempos de evacuación menores a 15 minutos</li> <li>- Capacidad de procesamiento por parte del personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Levantamiento fotogramétrico con drone</li> <li>- Procesamiento en software libre SIG</li> <li>- Encuestas sobre el nivel de preparación ante tsunamis en la población expuesta</li> </ul>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿Cómo la falta de imágenes satelitales y drone limita la generación de una base de datos geoespacial sobre la población y medios de vida en Sistemas de Información Geográfica (SIG)?	Generar una base de datos geoespacial con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) sobre la población y medios de vida basado en imágenes satelitales y drone	Al generar una base de datos con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se obtendrá información geoespacial de la población y medios de vida en situaciones satelitales y drone.	Generar una base de datos geoespacial sobre la población y medios de vida	Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) basado en imágenes satelitales y drone	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de conocimiento para la utilización de imágenes satelitales o drones</li> <li>- Personal capacitado en el manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesamiento en software libre SIG</li> <li>- Descarga y consulta de información existente de fuentes oficiales</li> </ul>
¿Cómo la falta de rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras limita el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis?	Analizar las rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras para el diseño del mapa de evacuación ante tsunamis	Al analizar las rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento hacia las zonas seguras se obtendrá el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis	Diseño del mapa de evacuación ante tsunami	Analizar las rutas de evacuación con menor tiempo de desplazamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimación de tiempos de evacuación menores a 15 minutos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesamiento en software libre SIG y Microsoft Excel</li> <li>- Comparación con trabajo de fichas de campo</li> </ul>
¿De qué manera el desconocimiento de un método con Sistemas de Información Geográfica (SIG) impide la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras?	Proponer un método con técnicas geomáticas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras	Al formular un procedimiento metodológico con tecnología geomática de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se identificarán las rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis	Identificación de rutas de evacuación y zonas seguras	Proponer un método con técnicas geomáticas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Personal capacitado en el manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG)</li> <li>- Nivel de implementación de herramientas tecnológicas con software libre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesamiento en software libre SIG</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, 2024

### 3.2 DISEÑO METODOLÓGICO

El método para obtener el diseño del mapa de evacuación basado en tecnología geomática para mejorar las acciones de preparación ante tsunami en el distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima, se detalla a continuación:

Figura N° 4.- Procedimiento para obtener el diseño de un mapa de evacuación ante tsunami



Fuente: Elaboración propia, 2024

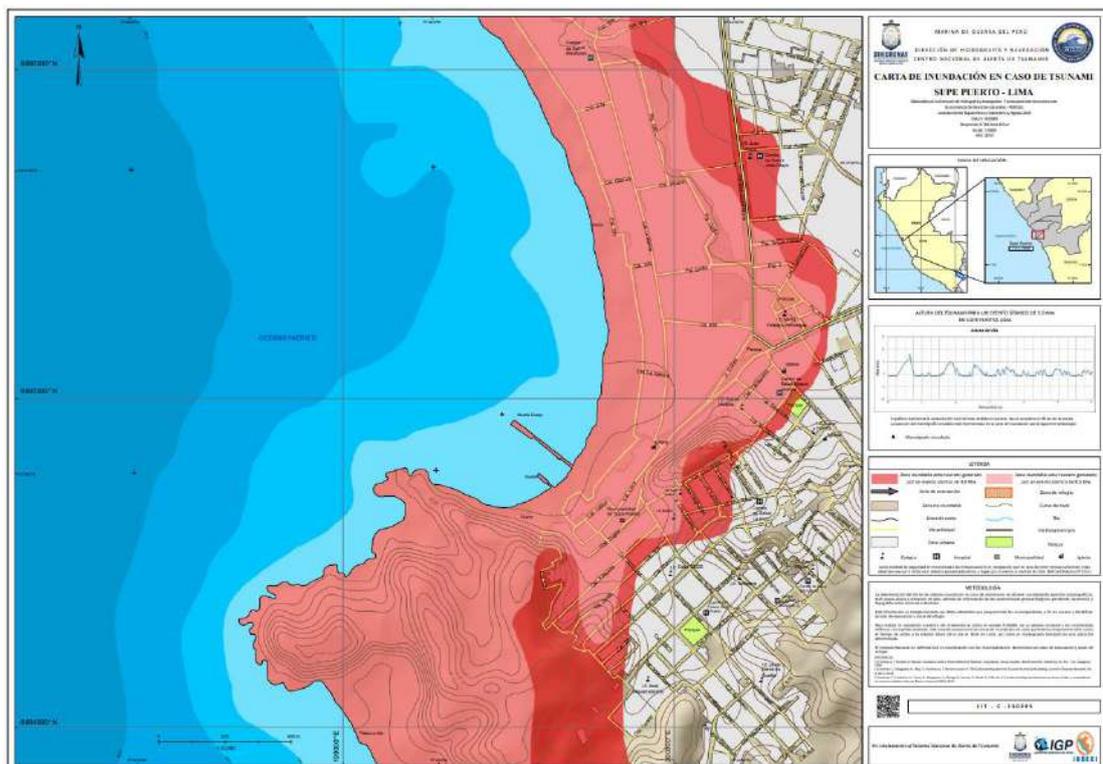
a) **IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EXPUESTA A PELIGRO DE TSUNAMI BASADO EN INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA**

La identificación del área de peligro por tsunami resulta fundamental en la presente investigación, debido a que va permitir la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras donde la población va dirigirse ante una alerta o alarma, así como ejercicios de simulacro o implementación de planes ante tsunamis; en ese sentido, su delimitación se fundamenta en información técnico-científica de las instituciones competentes del país, como las obtenidas de:

a.1) **Cartas de inundación en caso de tsunami:**

Elaboradas por la DIHIDRONAV y proporcionadas en su página web institucional para su uso en la gestión del riesgo de desastres. En el caso de estudio que comprende al distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca del departamento de Lima, se utilizará la carta de “SUPE PUERTO – LIMA”, del año 2019.

Figura N° 5.- Carta de inundación en caso de tsunami de Supe Puerto – Provincia de Barranca, Lima



Fuente: DIHIDRONAV, 2019

Luego, se realiza la georreferenciación de la imagen en la zona UTM (18) y digitalización en formato shapefile del área de inundación por tsunami (rojo), clasificándola según la magnitud de sismo 8.5 Mw y 9.0 Mw, así como analizando la altura del tsunami (run-up) y el tiempo de arribo de la primera ola.

Asimismo, se verifica si la carta de inundación cuenta con rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis previamente identificadas, y, de ser el caso, realizar una verificación en campo si se encuentran implementadas según la normativa referente a la “*Guía Técnica para la Estandarización de Señales de Seguridad en caso de Tsunami: Costa Peruana*”, aprobada por Resolución Ministerial N°382-2017-PCM.

**a.2) Evaluación del Riesgo (EVAR) por tsunami:**

Procedimiento elaborado por el CENEPRED, que aprobó el “*Manual para la Evaluación del Riesgo por Tsunamis*” mediante Resolución Jefatural N°079-2017-CENEPRED/J, con el objetivo de evaluar el riesgo originado por tsunami que permita establecer medidas de prevención y reducción del riesgo de desastres. En el caso de la presente investigación no se ha contemplado la utilización y/o elaboración del presente estudio de EVAR.

**a.3) Estudios sobre tsunami**

Los estudios sobre tsunamis elaborados por el CISMID, como institución establecida por la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), desarrolla una serie de investigaciones en el área de ingeniería sismorresistente para la implementación de obras de infraestructura de trascendencia nacional e internacional; por ello, sus estudios abarcan el caso de tsunamis los cuales contribuyen a la gestión del riesgo de desastres y pueden ser considerados como válidos para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras. En el caso de la presente investigación no se ha contemplado la utilización y/o elaboración del presente estudio sobre tsunami.

**b) LEVANTAMIENTO DE MAPA BASE DEL ÁREA DE ESTUDIO CON IMAGEN SATELITAL Y VUELO FOTOGRAFÉMICO**

**b.1) Imagen satelital**

La Agencia Espacial del Perú (CONIDA), como miembro aliado en la elaboración de la presente investigación, desarrolló y programó la obtención de imágenes de satélite peruano PeruSAT-1 estéreo, obteniéndose imágenes para el 08 de marzo del 2024, considerando que en la fecha la cobertura nubosa o nubosidad no representaba un riesgo para la toma de imágenes del referido satélite.

Asimismo, para el levantamiento de información de puntos GPS que servirán para la georreferenciación de la imagen satelital, la CONIDA proyectó la distribución de 09 puntos de control, siendo el tiempo de medición por cada punto de 1 hora y 30 minutos, ya que, el Instituto Geográfico Nacional del Perú – IGN, cuenta con una Estación de Rastreo Permanente (ERP) a una distancia de 8 a 9 kilómetros del área evaluada.

Figura N° 6.- Equipo GPS instalado y realizando la medición (punto LBPS\_03)



Fuente: CONIDA, 2024

Durante los días 13 y 14 de marzo del 2024, el CONIDA realizó el levantamiento de puntos de campo en el terreno. Para lo cual, se estableció el receptor de 01 segundo de medición, con ángulo de máscara de 15 grados y la realización de vuelo con el dron OX7 Ultra en el sector 01.

## **b.2) Imagen ortofoto con dron**

El presente punto se desarrolla en base a un levantamiento de información con dron a cargo de una empresa privada contratada por el INDECI, la cual describe la siguiente información metodológica para la obtención de datos sobre el área de estudio del distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca del departamento de Lima, misma que se considera como propiedad del INDECI de acuerdo a Ley.

Con el objetivo de obtener información geográfica o productos que permitan la actualizar los datos del distrito y contar con un mapa base georreferenciado por medio de la utilización de receptores geodésicos y drones en el área de estudio, se realizaron las siguientes actividades:

- Con el uso de un receptor geodésico de alta precisión, se señala el punto de control geodésico.
- Condiciones meteorológicas (velocidad del viento, horas de sol, precipitaciones, entre otros).
- Uso del software Trimble Business Center, en base a la Norma Técnica Geodésica para el procesamiento de datos de receptores geodésicos.
- Uso de los softwares Agisoft Metashape, Global Mapper y Civil 3d, para procesar datos obtenidos en una estación fotogramétrica.

El levantamiento geodésico se realizó con el método estático, el cual reside en el uso de un receptor base sobre un punto con coordenadas conocidas de la Red Geodésica Nacional, y otro receptor llamado “Rover”, estos dos receptores durante la medición, no se mueven. Su precisión depende de los tiempos de medición y sobre todo el tipo de receptor empleado. Este método se puede aplicar con receptores de fase de portadora L1 o con receptores de fase doble frecuencia (L1+L2). La precisión en este tipo de receptores es de  $5\text{mm}+0.5\text{ppm RMS}$ .

Las coordenadas las obtuvieron en gabinete utilizando un software apropiado. El cual, pone en relación las series de la estación con las series de los receptores de medida. La estación de referencia se ubicó en un punto de coordenadas conocidas, se puede determinar el error aproximado inducido por los satélites, dicho error es compensado sobre la serie del receptor medidor.

Se utilizó como estación base a la Estación de Rastreo Permanente ERP PATIVILCA LI07, ubicada en la Municipalidad Distrital de Pativilca. El levantamiento fotométrico tiene una gran precisión en poco tiempo. Las fotografías aéreas georreferenciadas de manera consecutiva y homogéneas que se traslapan entre ellas para crear pares estereoscópicos, son realizadas por el dron.

La tarea principal de la Fotogrametría es producir una representación (mapa y/o plano) de superficie terrestre en proyección ortogonal, a una determinada escala. El levantamiento fotográfico se inicia con el establecimiento del punto base establecido en la zona de trabajo, que será georreferenciado en coordenadas UTM en el sistema WGS 84.

La planificación del vuelo es necesario para cubrir el área de estudio, para ello utilizaron un software que les permite establecer los parámetros de vuelo, determinando así las líneas de vuelo y el recubrimiento tanto longitudinal y transversal que mejor se ajusten al proyecto a una escala ideal. En la *fase preliminar*, realizaron el planeamiento del trabajo, recopilaron información disponible, lugares para el despegue del drone y establecimiento de puntos de control y fotocontrol, los mismos que les permitirá georreferenciar el levantamiento, así como la programación del trabajo de campo y del tratamiento sistematizado de la información. El trabajo inicia con la planificación del vuelo necesario para cubrir el área de estudio, para ello contamos con el software que nos permite establecer los parámetros de vuelo, determinando así las líneas de vuelo y el recubrimiento tanto longitudinal y transversal que mejor se ajusten al proyecto a una escala ideal.

Figura N° 7.- Ubicación del área de estudio con Google Earth



Fuente: CONIDA, 2024

La planificación se realizó teniendo en cuenta el área de 276 hectáreas del polígono en estudio. Asimismo, el plan de vuelo se hizo con el aplicativo GS RTK, para lo cual se eligió como sensor el dron Phantom 4 RTK de 20 mpix de resolución. También a través de Google Earth se hizo la planificación de los puntos de fotocontrol los cuales se corroboraron en campo.

En la *fase campo*, se ubicó en un punto estratégico (parte central de la Plaza Miguel Grau) para el control de punto geodésico de orden “C”.

Tabla 5.- Parámetros de lectura de datos

CÓDIGO:	BM-01
MÉTODO DE POSICIONAMIENTO:	ESTÁTICO
ESTACIÓN BASE (ERP):	LI07 - PATIVILCA
INTERVALO DE GRABACIÓN:	1”
MÁSCARA DE ELEVACIÓN:	10°
DATUM HORIZONTAL:	WGS84
TIEMPO DE REGISTRO DE DATOS:	02h 12m 55s

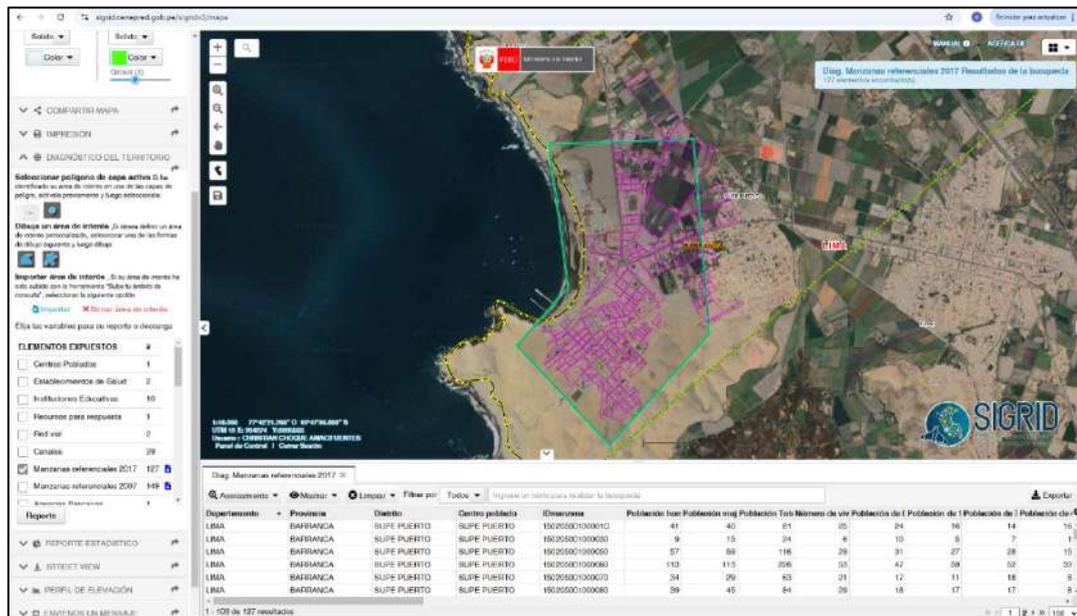
Fuente: INDECI, 2024

El establecimiento de puntos de fotocontrol, lo realizaron empleando receptores de doble frecuencia, mediante el método de PPK ajustados a la base BM-01 y metodología NTRIP ajustados a la base ERP LI07, y durante la lectura de los puntos la solución de lectura se mantuvo en fijo. En tal sentido, para un área de 276 hectáreas se determinó establecer 14 marcas de fotocontrol.

### c) **DESCARGA DE DATOS GEOESPACIALES SOBRE POBLACIÓN Y VIVIENDA**

La información sobre población y vivienda se obtiene a partir del Censo Nacional INEI 2017, cuya información puede ser descargada en el SIGRID del CENEPRED, debido que se constituye como una *“plataforma web geoespacial de libre acceso, diseñada para consultar, compartir, analizar y monitorear la información relacionada a los peligros, vulnerabilidades y riesgos originados por sucesos de la naturaleza. También contiene información territorial del país facilitada por entidades técnico científicas y entidades públicas del país relacionadas a la gestión de riesgos”*. (CENEPRED, 2021). En tal sentido, la información obtenida sobre población y viviendas a nivel de manzana catastral, se delimita en base a un polígono de formato shapefile que abarcar a toda el área de estudio y tiene una extensión aproximada de 276 hectáreas (Ha).

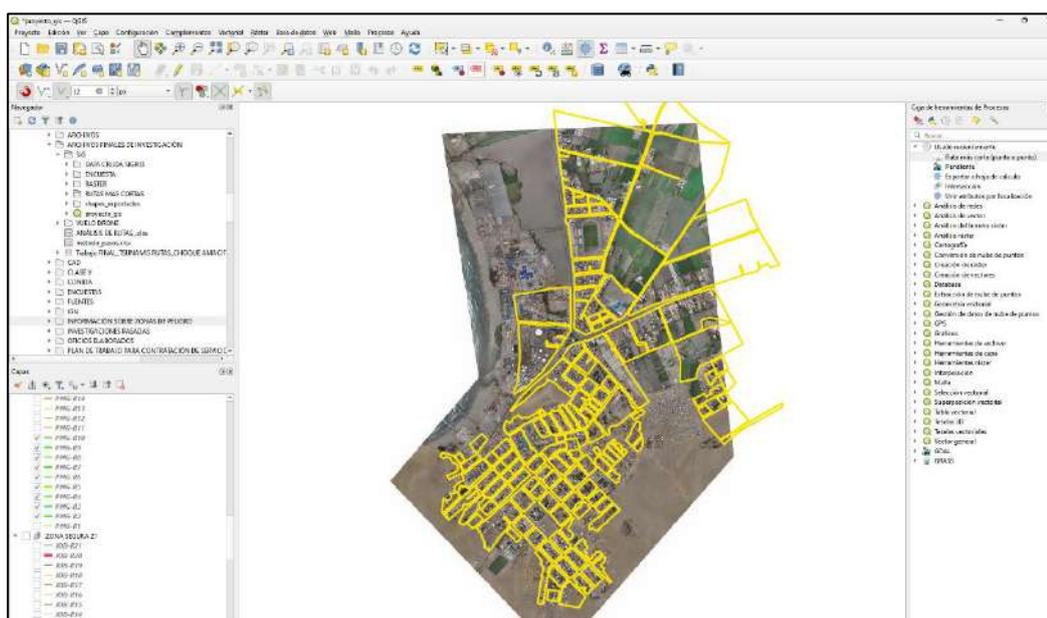
Figura N° 8.- Identificación y análisis de información sobre población y vivienda INEI 2017



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth Pro, 2024

Posteriormente, se realiza un ajuste poligonal basado en correcciones de topología o digitalización que puedan identificarse entre el límite de la manzana catastral en formato shapefile con la ortofoto generada del proceso “b.2) imagen ortofoto con drone”, y sus resultados, esto mediante el análisis en los SIG del software libre QGIS. Asimismo, para efectos de la presente investigación, el límite perimetral de las manzanas catastrales se definirá en color amarillo, según Figura N°8.

Figura N° 9.- Corrección topológica de información sobre población y vivienda en software libre QGIS



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

## **d) OBTENCIÓN DEL MAPA BASE DE IMAGEN SATELITAL Y ORTOFOTO CON DRONE**

### **d.1 Imagen satelital**

Para obtener el mapa base de imagen satelital se realiza el registro de puntos GPS tomados en campo, mediante el software Trimble Bussines Center trial y con información de la estación de rastreo permanente. Los puntos que se utilizan deben alinearse a la Norma Técnica Geodésica (NTG), que establece que el nivel de precisión horizontal en los puntos de apoyo no debe ser mayor a 10 mm.

### **d.2 Imagen ortofoto con drone**

Para obtener el mapa base de ortofoto a partir del drone se realiza el levantamiento fotogramétrico y adquiere la conexión NTRIP a la Estación de Rastreo Permanente (ERP) más cercana, en este caso fue la L107 ubicada en la Municipalidad Distrital de Pativilca.

Los vuelos fotogramétricos se ejecutan de acuerdo a la programación de vuelo y de acuerdo a los parámetros establecidos en la planificación, como: i) Altura de vuelo (150 m), ii) Traslapes (75%), iii) GSD, iv) velocidad, entre otros. Y los despegues se deben realizar en campos o zonas abiertas y despejadas de la población, para obtener un despegue seguro. En el área de estudio, las zonas de despegue fueron la Plaza la bandera, Plaza Miguel Grau y el estadio Municipal de Supe Puerto.

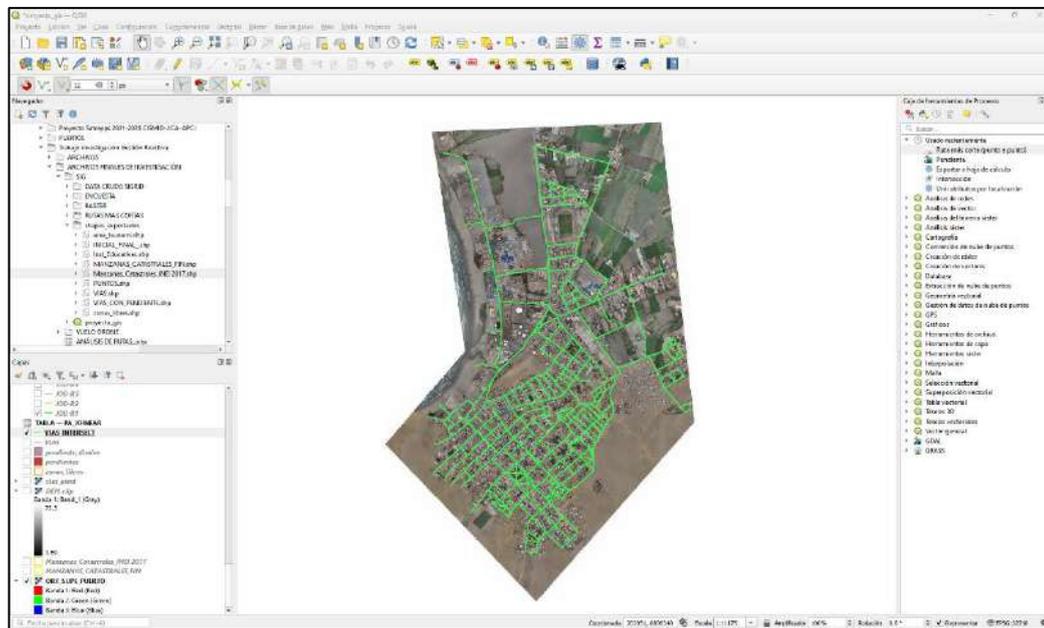
## **e) DIGITALIZACIÓN DE RED VIAL (TRAMOS DE DESPLAZAMIENTO) DEL ÁREA DE ESTUDIO EN SOFTWARE LIBRE DE SIG**

Con la corrección topológica de las manzanas catastrales INEI y el mapa base de ortofoto de mayor precisión corregido con información de la ERP del IGN, se realiza el proceso de digitalización y creación de base de datos de la red vial del ámbito de estudio, donde cada línea resulta independiente a la otra en los cruces o intersecciones de jirones, calles o avenidas, lo que simula las vías de desplazamiento por donde la población va dirigirse durante el proceso de evacuación en caso de tsunami.

Este procedimiento permite la obtención de las distancias o longitudes de vía a escala y medición adecuada; es decir, cualquier trazo realizado en la ortofoto se representa en la

realidad en función a la unidad de medida. En tal sentido, resulta fundamental una adecuada digitalización sobre el mapa base de ortofoto corregida geoméricamente y cumpliendo lo establecido en las normas técnicas del IGN.

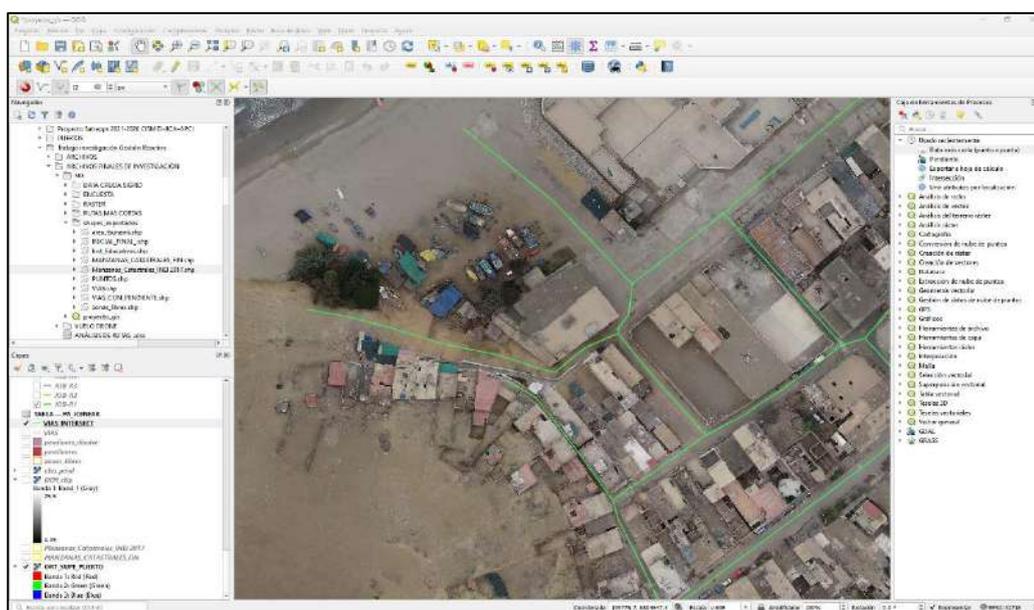
Figura N° 10.- Proceso de digitalización y creación de base de datos de red vial del área de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

La digitalización de la red vial comprende a las calles, jirones o avenidas, de tal manera que cada intersección o cruce sea tomado como un elemento independiente a otro, pero que sean continuas. Asimismo, para efectos de la presente investigación, el límite perimetral de las manzanas catastrales se definirá en color amarillo, según Figura N°10.

Figura N° 11.- Digitalización de red vial en software libre de SIG

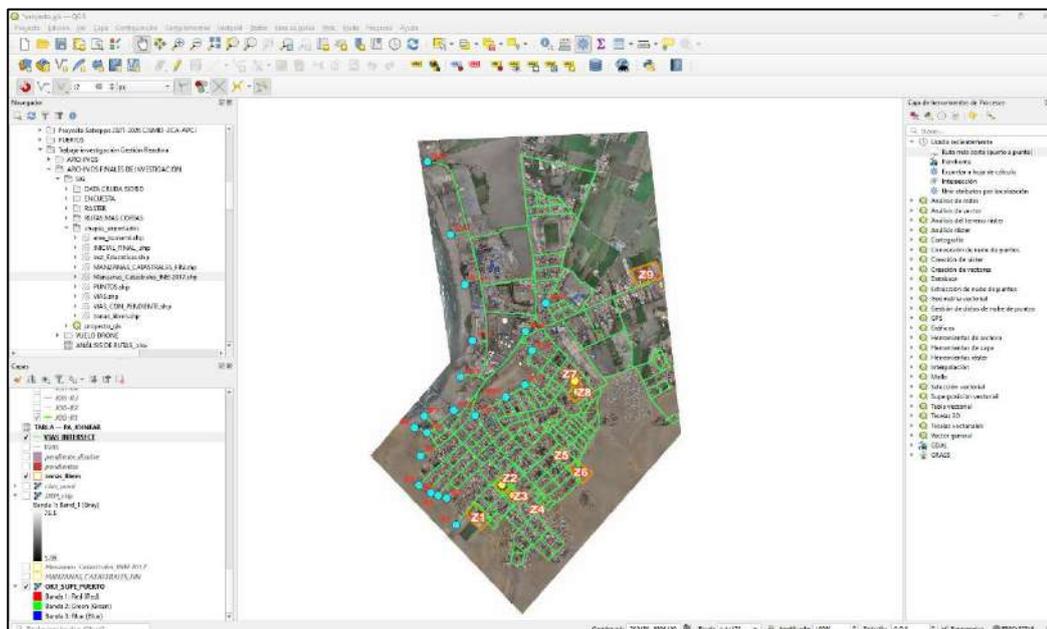


Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

**f) DIGITALIZACIÓN DE PUNTOS DE INICIO DE DESPLAZAMIENTO Y LLEGADA A ZONAS LIBRES EN SOFTWARE SIG**

Una vez digitalizada toda la red vial del área de estudio, tal como se realizó en el punto “e) Digitalización de red vial (tramos de desplazamiento) del área de estudio en software libre de SIG”, se digitaliza el punto de inicio de desplazamiento que se refiere al espacio desde donde la población va realizar su proceso de evacuación ante una alerta o alarma de tsunami, la cual va ser realizada por medio de la red vial digitalizada previamente, y va permitir dirigirse o trasladarse hasta una zona libre previamente identificada; que, luego de un análisis de seguridad y distancia, podría ser definida como “zona segura”.

Figura N° 12.- Digitalización de puntos de inicio de desplazamiento y llegada a zonas libres



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

Tal como se identifica en color turquesa, se establecen como puntos de inicio de desplazamiento para la evacuación, mismos que deben dirigirse hacia las zonas libres identificadas en base al mapa base de ortofoto.

**g) TRABAJO DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE VÍA PRINCIPAL DE DESPLAZAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE ZONAS LIBRES Y ENCUESTA**

El análisis de la vía de evacuación requiere de un nivel de precisión a escala de detalle, lo que implica un trabajo de campo de mediciones con equipos de alta precisión. Sin embargo, realizar una medición en campo de tal manera solo podría ser posible contando con un plano catastral del área de estudio adecuado al sistema WGS-84 y debidamente

georreferenciado, sin errores de topología, y, en caso no se cuente con tal información actualizada, correspondería realizar las mediciones en toda la red vial o aplicar otra técnica geomática de precisión y altamente costosa. Ante ello, se realiza la medición del ancho y largo de vía donde cada intersección representa el inicio o fin de cada tramo (TR), y cuyos datos fueron registrados a través de una “ficha de campo”. La finalidad principal de la ficha es obtener información primaria para la comparación entre mediciones de campo y las realizadas en una ortofoto generadas por dron Phantom 4 RTK, cumpliendo los procedimientos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG):

Tabla 6.- Modelo de ficha para obtener el largo y ancho de vía y descripción física de campo

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE TRAMO					
<b>Nombre de ruta:</b>				<b>Código SIG:</b>	
<b>Sector:</b>					
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>			
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>			
MEDICIONES DE VÍA					
<b>MEDIDAS</b>	Punto inicial		Punto medio		Punto final
<b>Ancho de vía – medición Ida (m):</b>					
<b>Ancho de vía – medición Vuelta (m):</b>					
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>					
<b>Ancho de vía (m):</b>					
<b>Largo de vía (m):</b>					
<b>Vulnerabilidad visual de viviendas colindantes:</b>	Baja ( )	Media ( )	Alta ( )	Muy Alta ( )	
<b>Estado de vía:</b>	Bueno ( )	Regular ( )	Malo ( )	Muy Malo ( )	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>					
<b>Obstáculos de tramo:</b>					
<b>Peligros originados por fenómenos naturales:</b>					
<b>Observaciones:</b>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

En tal sentido, para analizar la relación entre las dos variables de medición se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson mediante el siguiente procedimiento, mismo que debe ser aplicado tanto para el ancho y largo de vía:

Tabla 7.- Registro de mediciones en campo y ortofoto sobre vía de desplazamiento ante tsunami

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO		MEDIDA EN ORTOFOTO	
	ANCHO DE VÍA (M)	LARGO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)	LARGO DE VÍA (M)
TR1				
TR2				
TR3				
...				
TRN				
	MX	MX	MY	MY

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego del registro, viene la identificación de la covarianza muestral para observaciones:

Tabla 8.- Medida de la covarianza muestral para medidas de largo y ancho de vía en metros (m) de campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	X - XM	Y - YM	(X - XM)*(Y-YM)
	ANCHO O LARGO DE VÍA (m)	ANCHO O LARGO DE VÍA (m)			
TR1					
TR2					
TR3					
...					
TRN					
M	MX	MY	-	-	$\sum(X - XM)*(Y-YM)$

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$S_{xy} = \frac{\sum(X_i - XM) * (Y_i - YM)}{n - 1}$$

Donde:

- $S_{xy}$  Covarianza muestral
- $X_i$  Dato muestral de X (medición para ancho y largo de vía en campo)
- $Y_i$  Dato muestral de Y (medición para ancho y largo de vía en la ortofoto)
- $MX, MY$  Media de valores registrados

Luego, se calcula el Coeficiente de correlación muestral:

Tabla 9.- Coeficiente de correlación muestral para medidas de ancho y largo de vía en metros (m) de campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	SUMATORIA X		SUMATORIA Y		Sx (Campo)	Sy (Ortofoto)
	ANCHO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)	X - XM	(X - XM) <sup>2</sup>	Y - YM	(Y - YM) <sup>2</sup>		
TR1								
TR2								
TR3								
...								
TRN								

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Donde:

$r_{xy}$	Coefficiente de correlación muestral
$S_{xy}$	Covarianza muestral
$S_x$	Desviación estándar muestral de x
$S_y$	Desviación estándar muestral de y

Entonces, si:

### **Rango de variación $-1 \leq r_{xy} \leq 1$**

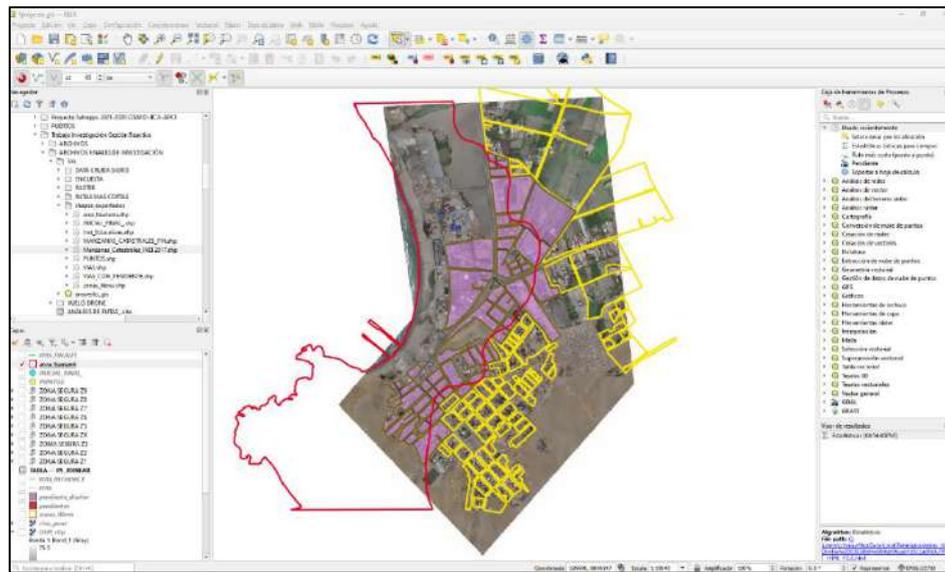
- ✓ Si  $r = +1$ ; entonces existe relación directa entre ambas variables; es decir, el coeficiente de correlación corresponde a una relación directa positiva perfecta entre  $x$  e  $y$ .
- ✓ Si  $r = -1$ ; entonces existe relación inversa entre ambas variables; es decir, el coeficiente de correlación corresponde a una relación lineal negativa perfecta entre  $x$  e  $y$ .
- ✓ Si  $r = \pm 1/2$ ; entonces no existe relación entre ambas variables; puede demostrar que, si todos los valores del conjunto de datos caen en una línea recta con pendiente positiva, el coeficiente de correlación será 1; es decir, un coeficiente de correlación de 1 corresponde a una relación lineal positiva perfecta entre  $x$  e  $y$ . Por otra parte, si los puntos del conjunto de datos caen sobre una línea recta con pendiente negativa, el coeficiente de correlación muestral será -1; un coeficiente de correlación de -1 corresponde a una relación lineal negativa perfecta entre  $x$  e  $y$ .
- ✓ Si conjunto de datos muestra una relación lineal positiva entre  $x$  e  $y$ , pero que la relación no es perfecta. El valor de  $r_{xy}$  será menor a 1, indicando que no todos los puntos del diagrama de dispersión se encuentran en una línea recta. Entre más se desvíen los puntos de una relación lineal positiva perfecta, más pequeño será  $r_{xy}$ . Si  $r_{xy}$  es igual a cero, entonces no hay relación lineal entre  $x$  e  $y$ ; si  $r_{xy}$  tiene un valor cercano a cero, la relación lineal es débil

Para la presente investigación y según el análisis del coeficiente de correlación de Pearson; significa que de existir una correlación positiva entre los datos de X e Y para el ancho y largo de vía medidos en campo (X) y la ortofoto (Y), cualquier medida tomada sobre la ortofoto en un Sistema de Información Geográfica (SIG) simula un trabajo de campo de medición en ancho y largo de vías, así como cualquier otra medición.

## **h) ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA IDENTIFICAR EL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI**

Para la estimación del tamaño de muestra para identificar el nivel de preparación ante tsunami, se identificó a las manzanas catastrales expuestas al peligro de tsunami, delimitadas por la carta de inundación por tsunami de la DIHIDRONAV, a fin de obtener la cantidad de población y viviendas expuestas:

Figura N° 13.- Identificación de población expuesta a peligro de tsunami para elaboración de encuesta



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

Luego, se obtiene la población expuesta a peligro de tsunami mediante las “herramientas de análisis” del software QGIS, para los campos de atributos del archivo shapefile descargado del SIGRID-CENEPRED, donde se identifica el campo de “c5\_p2\_1”, “c5\_p2\_2” y “pob\_tota”, que significan “Población hombre”, “Población mujer” y “Población total”, respectivamente (CENEPRED, 2017).

En tal sentido, una vez identificada la cantidad de población total expuesta a peligro de tsunami, se determina el tamaño de la muestra para la encuesta, mediante la siguiente aplicación estadística:

$$n = \frac{z^2(p)(q)N}{\epsilon^2(N - 1) + z^2(p)(q)}$$

Donde:

- n : Número de elementos de la muestra, por determinar
- N : Número de elementos en el universo o población
- p : porcentaje de hombres que participan en la variable en estudio
- q : proporción de mujeres que participan en la variable en estudio
- El valor de z que define una probabilidad, está asociado al nivel de confianza, su rango es  $90\% \leq z \leq 99\%$
- Los valores de z asociados a la confianza es  $1,65 \leq z \leq 2,58$
- € : Error estándar de la estimación, su rango de variación es:  $1\% \leq \epsilon \leq 10\%$

**i) ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI BASADO EN EL MÉTODO EPCI**

El método del “Índice de Capacidad de Preparación ante Emergencias – EPCI (por sus siglas en inglés)”, toma en consideración la elaboración de una encuesta dirigida al tamaño de muestra de la población expuesta a tsunami, lo que permite estimar su nivel de preparación para la respuesta en caso de tsunami; siendo preciso señalar que los resultados del EPCI, de acuerdo a la metodología aplicada, se clasifica en un rango de valores del 1 a 4, siendo: i) Muy Bajo (1 – 1.75), ii) Bajo (> 1.75 – 2.50), iii) Medio (> 2.50 – 3.25) y Alto (>3.25 – 4.00).

La encuesta basada en el método EPCI consta del desarrollo de 16 preguntas distribuidas en 4 componentes, donde cada componente tiene 4 preguntas que abarcan la preparación, y cada una de estas preguntas contienen 3 respuestas a elegir por única vez por parte de la población y a su vez, cada pregunta y respuesta tiene un peso asignado; siendo preciso señalar que la encuesta se fundamenta en los subprocesos de preparación de la gestión reactiva:

Tabla 10.- Encuesta para estimar el nivel de preparación ante tsunami basado en el EPCI

COMPONENTES	N°	PREGUNTA	RESPUESTAS
COMPONENTE 1: INFORMACIÓN SOBRE ESCENARIOS DE RIESGOS	1	¿Sabe si su localidad cuenta con un mapa o carta de inundación por tsunami?	Sí
			Algo
			No
	2	¿Tiene conocimiento que vive en una zona expuesta al peligro por tsunami?	Sí
			Algo
			No
	3	¿Conoce su zona segura interna o externa ante la ocurrencia de un tsunami?	Sí
			Algo
			No
	4	¿Conoce su ruta de evacuación ante la ocurrencia de un tsunami?	Sí
			Algo
			No
COMPONENTE 2: CAPACIDADES PARA LA RESPUESTA	5	¿En los simulacros por tsunami realizados por la municipalidad, ha percibido el interés de la población en participar?	Sí
			Algo
			No
	6	¿En los simulacros realizados ha notado la participación activa del personal de la municipalidad, así como personal de rescate de la policía, bomberos, salud u otros?	Sí
			Algo
			No
	7	¿Su familia ha participado de un ejercicio de simulacro de evacuación por tsunami?	Sí
			Algo
			No
	8	¿Su localidad cuenta con algún equipo de comunicación que advierta la llegada de un tsunami?	Sí
			Desconozco
			No
COMPONENTE 3: CAPACITACIÓN Y SENSIBILIZACIÓN	9	¿Cuenta con mochila de emergencias ante tsunami?	Sí
			Parcialmente equipada
			No
	10	¿Cuenta con plan familiar de emergencias ante tsunami?	Sí
			En proceso de confección
11		No	
		Sí	

		¿Ha participado en algún simulacro, taller o actividad de capacitación y sensibilización sobre tsunamis organizado por la municipalidad, ONG o entidad?	No me permitieron
			No
	12	¿En su localidad, existen brigadistas para casos de emergencias por tsunami?	Sí
			Desconozco
			No
	13	¿Cuántos pisos tiene su vivienda?	De 4 a más pisos
Entre 2 o 3 pisos			
Solo 1 piso			
14	¿De qué material está construida su vivienda?	Ladrillo o bloque de cemento	
		Piedra con cemento o quincha	
		Adobe, tapia, estera, madera o triplay	
15	¿Aproximadamente, qué antigüedad tiene su vivienda?	Menos de 15 años	
		Entre 15 y 30 años	
		Más de 30 años	
16	¿En la vía frente a su vivienda, existe alguna tranquera, reja u otro elemento que dificulte el tránsito peatonal y vehicular?	No, la vía tiene libre acceso al tránsito peatonal y vehicular	
		Sí, solo se mantiene cerrada durante la noche por seguridad	
		Sí, se mantiene cerrada gran parte del día	

Fuente: Elaboración propia a partir EPCI, 2019

De la Tabla N°10, se precisa que cada componente cuenta con 4 preguntas que tienen peso mínimo y peso máximo, según “*PESO DE PREGUNTA*” con valores del 1 – 4 (peso mínimo y peso máximo), y, respecto al “*PESO DE ALTERNATIVA*” señalar que se define con valores del 1 al 3: (1 = Menos importante, 2 = Importante y 3 = Más importante).

Luego, para obtener el valor del rango se hace restando la sumatoria del peso máximo menos la sumatoria del peso mínimo del componente y dividiendo entre 4, formando así los intervalos:

Tabla 11.- Método para estimar el rango, valor y categoría

Intervalos	Valor	Categoría
[Pmin + Rango >	1	Muy Bajo
...	2	Bajo
...	3	Medio
[... Pmax]	4	Alto

Fuente: EPCI, 2019

Como siguiente paso se calculan los porcentajes de cada pregunta, producto de la respuesta multiplicado por el peso que tiene cada pregunta, luego los puntajes obtenidos de las preguntas que conforman el componente y este resultado es la calificación del componente en valores absolutos. Esta calificación del componente se evalúa en que intervalo cae (1, 2, 3 o 4) según el valor alcanzado.

El EPCI, se determina a través de la siguiente formula:

$$EPCI = \left( \sum_{i=1}^4 V_i \right) / 4$$

donde, “V” es el valor de cada componente en un rango de 1 a 4.

Es preciso señalar que, el EPCI se diseñó para su aplicación a una institución o entidad, en tal sentido, al tener una muestra de un universo de personas donde cada una responde de manera distinta según su criterio, se realiza el análisis de la aplicación estadística de la **moda** ya que “*es el valor que se presenta con mayor frecuencia*” (Williams, 2008); en ese sentido, una vez determinado el EPCI para la muestra de la población expuesta a peligro de tsunami del área de estudio de Supe Puerto, se estimará su nivel de preparación ante tsunami.

#### **j) ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO**

La velocidad de movimiento de una persona no será la misma en todas las rutas de evacuación, esto debido a la pendiente del terreno, por ello, se determinan porcentajes de velocidad de movimiento según el tipo de pendiente expresada en porcentaje. Asimismo, para la obtención de la velocidad de movimiento en función a la pendiente, se debe estimar la velocidad de movimiento promedio de la población del área de estudio correspondiente al distrito de Supe Puerto, provincia de Barranca, departamento de Lima; por ello, se realiza la toma de datos para estimar la velocidad de desplazamiento de la población según edad, peso y talla.

Al respecto, se consideraron a 22 personas aleatorias para el registro de su tiempo de desplazamiento en segundos de ida y vuelta para un tramo de 20 metros, en una pendiente de 0 – 3%; para luego obtener la velocidad de desplazamiento de la población por segundo. Asimismo, se aplicarán formulas estadísticas de la varianza y desviación estándar, para la reducción de errores tomados a partir de registros obtenidos con equipos básicos de medición, como la varianza muestral, denotada como “ $s^2$ ”:

Tabla 12.- Tabla de registro de talla, edad, peso y tiempo de desplazamiento de población en el área de estudio

Nº	Género	Talla (m)	Edad	Peso (kg)	Tiempo de desplazamiento en seg. (s) – Ida	Tiempo de desplazamiento en seg. (s) – Vuelta
1						
2						
3						
4						
...						
19						
20						
21						
22						

Fuente: Elaboración propia, 2024

A partir de la Tabla N°12, con los registros obtenidos se realizó la varianza muestral:

$$S^2 = \frac{\sum(X_i - X)^2}{n - 1}$$

Luego, se obtiene la velocidad de movimiento en m/s según la pendiente, expresada en porcentajes, la cual va ser convertida una vez obtenido el valor de la velocidad de movimiento (100%):

Tabla 13.- Porcentaje de velocidad de movimiento según la pendiente

Pendiente (%)	(%) Velocidad de movimiento
0% - 3%	100%
3% - 6%	85%
6% - 9%	70%
9% - 12%	55%
12% - 15%	45%
15% - 18%	40%
18% - 21%	35%
21% - 24%	30%
24% - 27%	25%
27% - 30%	20%
30% - 33%	15%
33% - 36%	14%
36% - 39%	13%
39% - 42%	12%
42% - 45%	11%
> 45%	10%

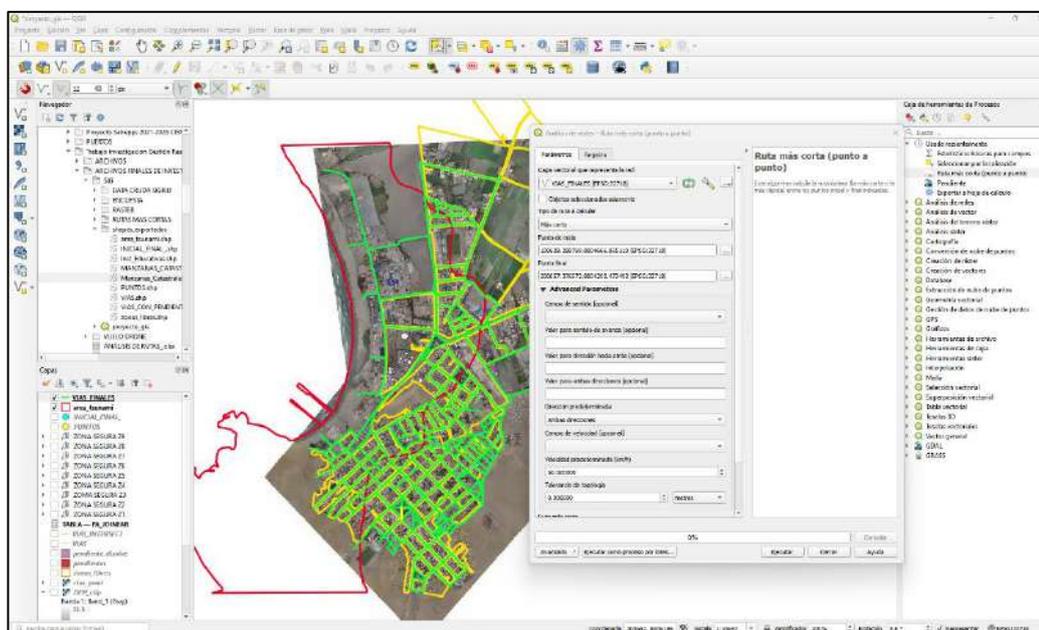
Fuente: Laghi et al. (2006) citado por Cano, V.H. (2011)

### k) APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA ANALIZAR RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y ZONAS LIBRES

Una vez obtenida la base de datos de las manzanas catastrales sobre población y vivienda en formato vectorial, así como la ortofoto, que permite la digitalización a detalle de las redes viales y zonas libres en los SIG a través del software libre de QGIS; se utiliza la técnica de “Análisis de Redes”, específicamente la herramienta “Ruta más corta” que se analiza por medio de la red vial digitalizada y está basada en identificar la ruta más corta de un punto inicial a un punto final.

El punto inicial será representado como el punto de inicio de desplazamiento de la población expuesta a tsunami, y el punto final será representado como la zona libre de llegada identificada en la ortofoto; donde, la ruta más corta de toda la red debe unir ambos puntos y aquellas seleccionadas serán consideradas como zonas seguras. Asimismo, la herramienta de QGIS debe utilizar como capa principal que representa a la red, la digitalización de vías, y el punto inicial y final colocado con precisión.

Figura N° 14.- Técnica SIG para estimar la ruta más corta entre dos puntos



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS, 2024

Una vez obtenido las distancias de cada vía, se identificó y codificó los siguientes tramos de desplazamiento y zonas libres para compararlos y estimar el valor mínimo de distancia, la cual sería considerada como ruta de evacuación ante tsunami.

## **l) IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS ANTE TSUNAMI**

Se obtiene al analizar el análisis comparativo de distancias o medidas de desplazamiento entre un punto inicial y punto final, y, donde los puntos finales seleccionados se convertirán en zonas seguras, mientras que las vías que unen a ambos puntos se crean como tipo líneas en un nuevo archivo shapefile, y será considerado como ruta de evacuación, todo ello mediante aplicación de SIG. Asimismo, la ortofoto obtenida con el drone, por encontrarse corregida y ajustada a la red geodésica nacional del IGN, permite la realización de trazos, calcular áreas o mediciones de anchos o largos de vías, permitiendo estimar algunos valores de capacidad de aforo, ancho y largo de vías, así como detectar algún obstáculo que debe ser verificado en campo, resaltando la importancia e implicancia de la utilización de técnicas geomáticas para identificar rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunamis.

## **m) DISEÑO DEL MAPA DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI**

El diseño del mapa de evacuación se centra en brindar información científica y técnica sobre cómo desarrollar el proceso de evacuación ante tsunami en el área de estudio, pero ello, no puede ser posible sin un adecuado proceso de implementación física de señalización y capacitación a la población expuesta, así como la elaboración de planes específicos para fortalecer la gestión del riesgo de desastres o la implementación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) tsunamis.

En tal sentido, mediante la *“Guía técnica para la estandarización de señales de seguridad en caso de tsunami: Costa Peruana”*, aprobada por Resolución Ministerial N°382-2017-PCM, se tiene contemplado la estandarización de señales de seguridad en caso de tsunami que deben implementarse en toda la costa peruana, mismos que forman parte del diseño del mapa de evacuación en el software SIG de QGIS y deben cumplirse de acuerdo al marco normativo vigente.

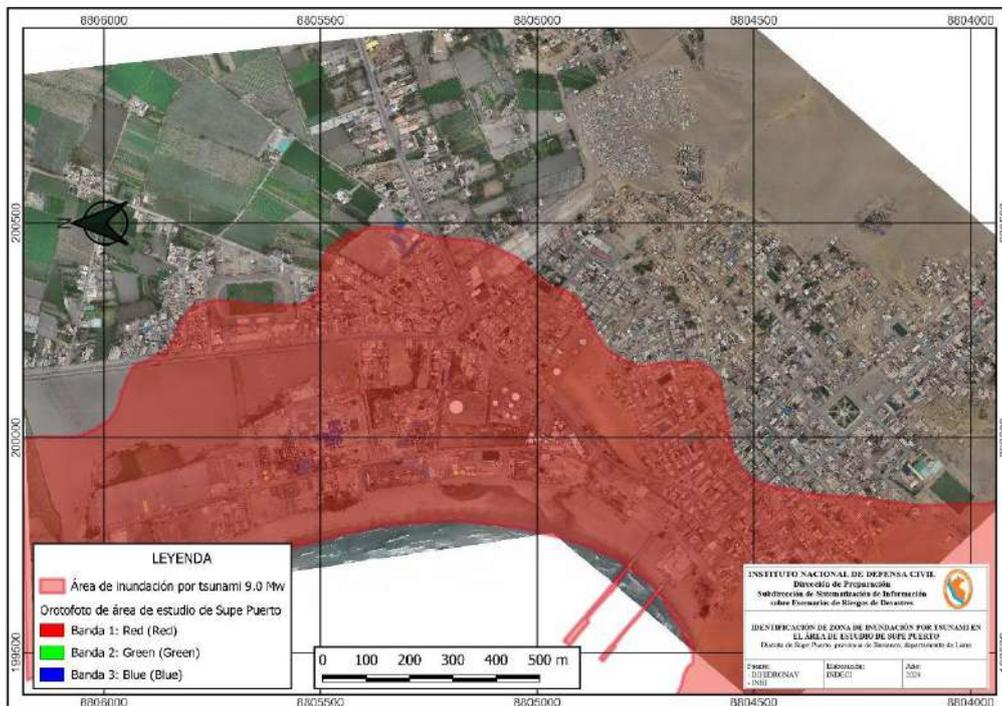
## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS

#### a) IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EXPUESTA A PELIGRO DE TSUNAMI BASADO EN INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA

El área de peligro por tsunami está determinada para el presente estudio por la Carta de Inundación elaborado por la DIHIDRONAV, y, para la cual se va utilizar la información ante un sismo de 9.0 Mw, siendo georreferenciada y digitalizada para obtener el área inundable de la carta “Supe Puerto – Lima” del año 2019:

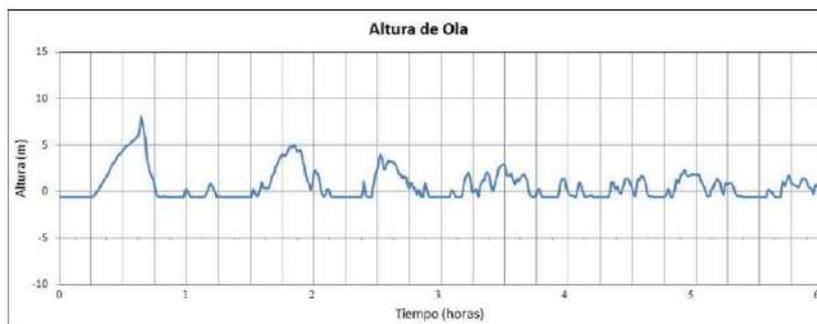
Figura N° 15.- Zona de inundación por tsunami en el área de estudio de Supe Puerto



Fuente: Elaboración propia a partir de software libre QGIS en base a DIHIDRONAV, 2024

La carta de inundación brinda la altura de tsunami para un evento sísmico de 9.0 Mw, que representa la variación del nivel del mar, sin considerar efecto de mareas, y se estima que la altura de ola sea 8 metros y arribe en un tiempo menor a 30 minutos:

Figura N° 16.- Altura de ola de tsunami para un evento sísmico de 9.0 Mw en Supe Puerto



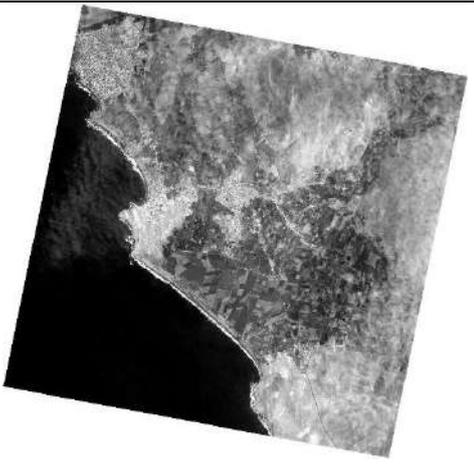
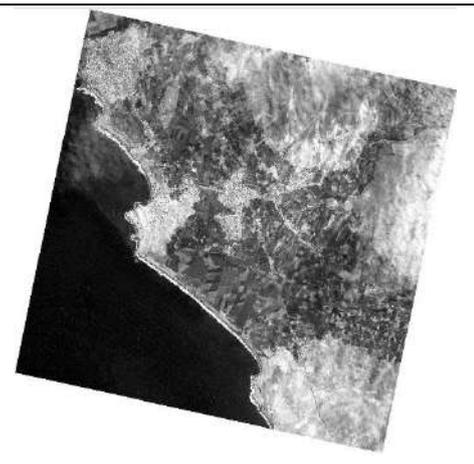
Fuente: DIHIDRONAV, 2019

**b) LEVANTAMIENTO DE MAPA BASE DEL ÁREA DE ESTUDIO CON IMAGEN SATELITAL Y VUELO FOTOGRAMÉTRICO**

**b.1) Imagen satelital**

La CONIDA obtuvo la programación de imágenes PeruSAT-1 estéreo de la zona piloto en el distrito Supe Puerto, con imágenes de 08 de marzo 2024:

Tabla 14.- Imágenes estéreo de la zona de estudio obtenidas de PerúSAT-1

ID: DS_PER1_202403081528250_PS1_W078S11_003542_CO_2405071808535	
	
Dato de adquisición	08 marzo 2024, 15:28:25
Ángulo de orientación	+ 86.6°
Ángulo de incidencia	+ 15.4°
Azimut Solar	+ 81.0°
Elevación Solar	+ 61.4°
DS_PER1_202403081529140_PS1_W078S11_003542_CO_2405071806518	
	
Dato de adquisición	08 marzo 2024, 15:29:14
Ángulo de orientación	+ 115.6°
Ángulo de incidencia	+ 15.0°
Azimut Solar	+ 80.9°
Elevación Solar	+ 61.6°

Fuente: CONIDA, 2024

Posteriormente, en el trabajo de campo, se procesaron 09 puntos de control utilizando el software Trimble Bussiness Center trial. La información de la ERP y las efemérides fueron proporcionadas por el INDECI para el procesamiento. EL resultado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15.- Coordenadas obtenidas de puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto

Punto de Control	Cuadrícula		
	Este (m)	Norte (m)	Elevación Ortom. (m)
LBPS_01	201388.715	8805297.953	34.068
LBPS_02	201427.182	8805004.584	43.164
LBPS_03	200806.860	8804833.344	25.833
LBPS_04	200338.809	8805312.115	12.166
LBPS_05	200352.605	8805002.424	15.654
LBPS_06	200364.641	8804432.421	28.848
LBPS_07	200240.587	8804138.267	30.526
LBPS_08	199726.913	8804409.748	16.239
LBPS_09	199884.588	8804860.591	2.989

Fuente: CONIDA, 2024

Tabla 16.- Precisiones de puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto

Punto de Control	Precisión Horizontal (metro)	Precisión Vertical (metro)	RMS (metro)	PDOP máximo
LBPS_01	0.011	0.065	0.025	1.971
LBPS_02	0.013	0.065	0.021	1.968
LBPS_03	0.009	0.035	0.026	1.684
LBPS_04	0.009	0.033	0.028	1.479
LBPS_05	0.012	0.055	0.025	1.486
LBPS_06	0.009	0.042	0.024	1.371
LBPS_07	0.009	0.053	0.026	1.588
LBPS_08	0.008	0.035	0.020	2.246
LBPS_09	0.006	0.029	0.025	1.820

Fuente: CONIDA, 2024

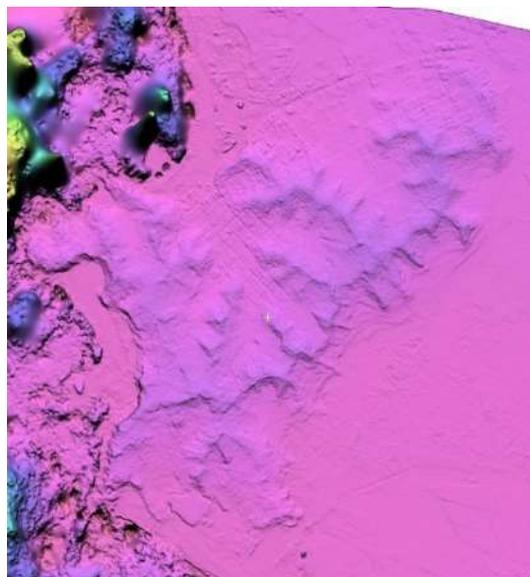
Figura N° 17.- Ubicación de 09 puntos de control en el área de estudio de Supe Puerto



Fuente: CONIDA, 2024

Luego, para obtener los DSM (Modelo Digital de Superficie) y sus productos derivados como el DEM (Modelo Digital de Elevación), Ortoimagen y las curvas de nivel cada 5m, se utilizaron los 09 puntos de control corregidos y se utilizó para dicho proceso el software PCI Geomática. Se muestra a continuación el DSM y sus derivados.

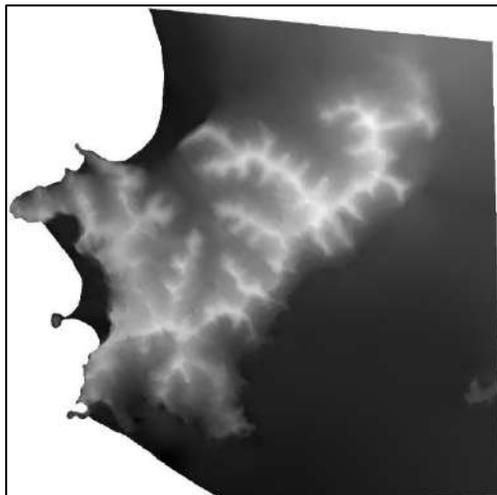
Figura N° 18.- DSM del área de estudio (Supe Puerto)



Fuente: CONIDA, 2024

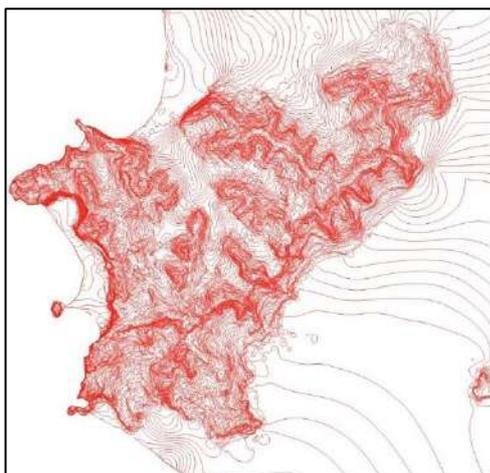
<b>Reporte del Error Residual</b>	
<b>Resumen residual</b>	<b>PER1_20240308152914_c</b>
GCPs: 09	X RMS: 0.831, Y RMS: 0.772, Z RMS: 0.504
TPs: 40	X RMS: 1.500, Y RMS: 0.308, Z RMS: 0.096
<b>Resumen residual</b>	<b>PER1_20240308152825_c</b>
GCPs: 09	X RMS: 0.831, Y RMS: 0.772, Z RMS: 0.504
TPs: 40	X RMS: 1.494, Y RMS: 0.311, Z RMS: 0.096

Figura N° 19.- DEM del área de estudio (Supe Puerto)



Fuente: CONIDA, 2024

Figura N° 20.- Curvas de nivel a 5 metros del área de estudio (Supe Puerto)



Fuente: CONIDA, 2024

Figura N° 21.- Ortoimagen PeruSAT-1 del área de estudio (Supe Puerto)



Fuente: CONIDA, 2024

## b.2) Imagen ortofoto con drone

Luego del proceso fotogramétrico con puntos de fotocontrol y en base a la metodología aplicada para obtener este tipo de información geoespacial, se sigue el siguiente procesamiento:

- ✓ Los cálculos y el post proceso de los datos de campo se realizaron empleando el método de procesamiento LÍNEA BASE empleando el software TRIMBLE BUSINESS CENTER 5.2, utilizando el modelo geoidal EGM 2008. La línea base está conformada por la ERP LI07 – BM-01, la cual tiene una longitud de 12.6 Km. A continuación, se muestran los resultados obtenidos luego del procesamiento de la información:

Figura N° 22.- Resultados de imagen del procesamiento de líneas base con equipo fotogramétrico

Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:	H:\PROYECTOS 2024\INDEC\SUPE PUERTO\GEODESIA\PROCESO TRIMBLE \AJUSTE DE LINEA BASE LI07-BM01.vce	Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:	54 KB	Datum:	WGS 1984
Modificado/a:	2/10/2024 19:13:01 (UTC:-5)	Zona:	18 South
Zona horaria:	Hora est. Pacífico, Sudamérica	Geoide:	EGM_08_PERU
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

### Informe de procesamiento de líneas base

#### Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
LI07 --- BM-01 (B1)	LI07	BM-01	Fija	0.0033	0.0198	161°06'00.7"	12661.9370	-70.4020

#### Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador	Fallida
1	1	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

- ✓ Se utilizó el software Agisoft Metashape, se obtuvo como producto el ortomosaico generado por el grupo de fotos aéreas las cuales se obtuvieron apoyadas por el drone Phantom 4RTK. El ajuste de la aerotriangulación es uno de los procesos que se lleva a cabo en gabinete, en esta etapa se centraliza la información de campo, donde se modela matemáticamente basado en ecuaciones de colinealidad que incorpora gran cantidad de redundancia al proceso para poder dar consistencia al sistema y obtener resultados con alta fiabilidad.

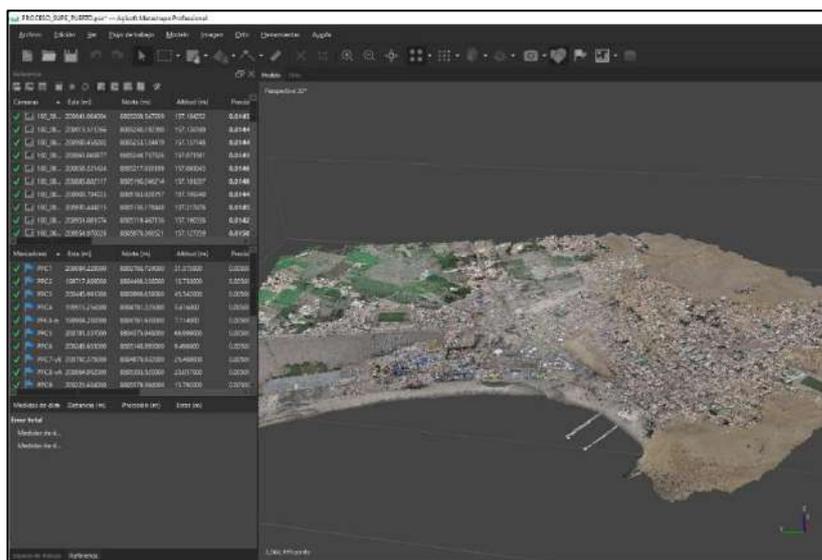
- ✓ Finalmente, concluido el proceso de Aerotringulación se observan los reportes, los cuales nos muestran la información relevante por acápite de resumen, control de calidad, ortomosaico previo, modelo digital de superficie, detalles de calibración de las imágenes aéreas, detalles del ajuste por haces en bloque, detalles de georreferenciación y la densificación de la nube de puntos.
- ✓ El flujo de trabajo en el software Agisoft Metashape fue el siguiente:
  - Orientación y alineación de fotografías.
  - Ajuste de puntos de fotocontrol.
  - Optimización de cámaras.
  - Generar nube de puntos densa.
  - Generar DEM.
  - Generar Ortomosaico.
- ✓ El error obtenido en X, Y e Z durante el procesamiento de la información fotogramétrica fue el siguiente:

Tabla 17.- Error en X, Y e Z en el proceso de información fotogramétrica

Número	Error en X (mm)	Error en Y (mm)	Error en Z (mm)	Error en XY (mm)	Total (mm)
15	3.90196	2.20567	0.619038	4.48221	4.52476

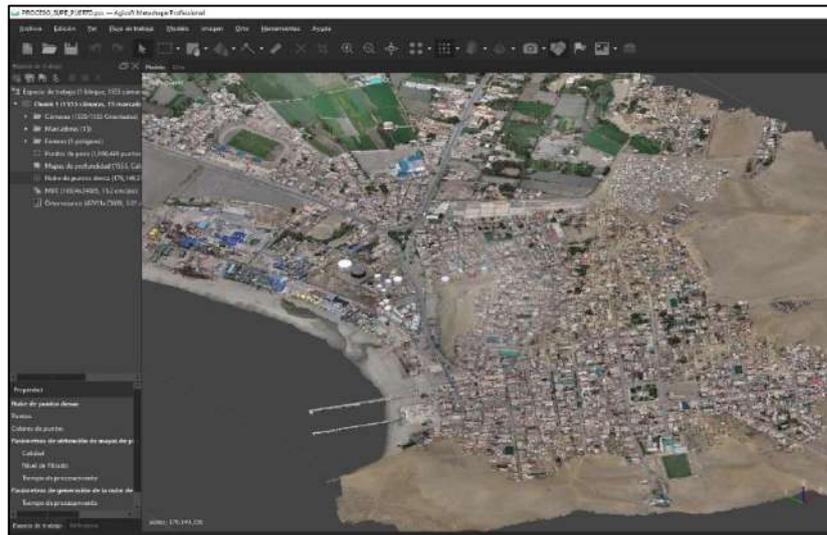
Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

Figura N° 23.- Orientación de fotografías en software Agisoft Metashape



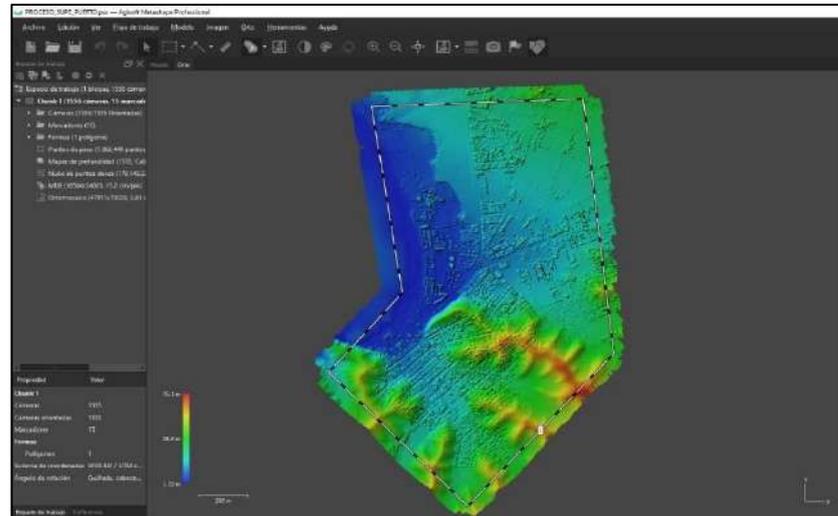
Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

Figura N° 24.- Generación de nube de puntos en el software Agisoft Metashape



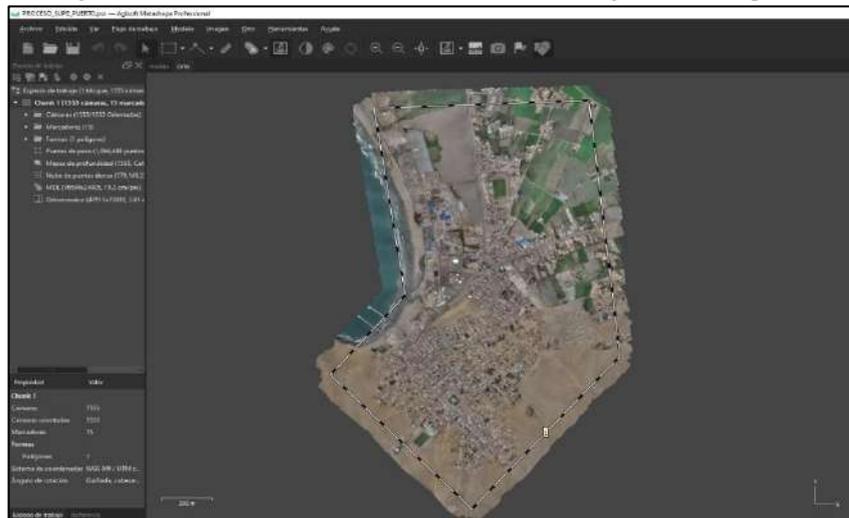
Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

Figura N° 25.- Generación de DEM en software Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

Figura N° 26.- Generación de ortomosaico en software Agisoft Metashape



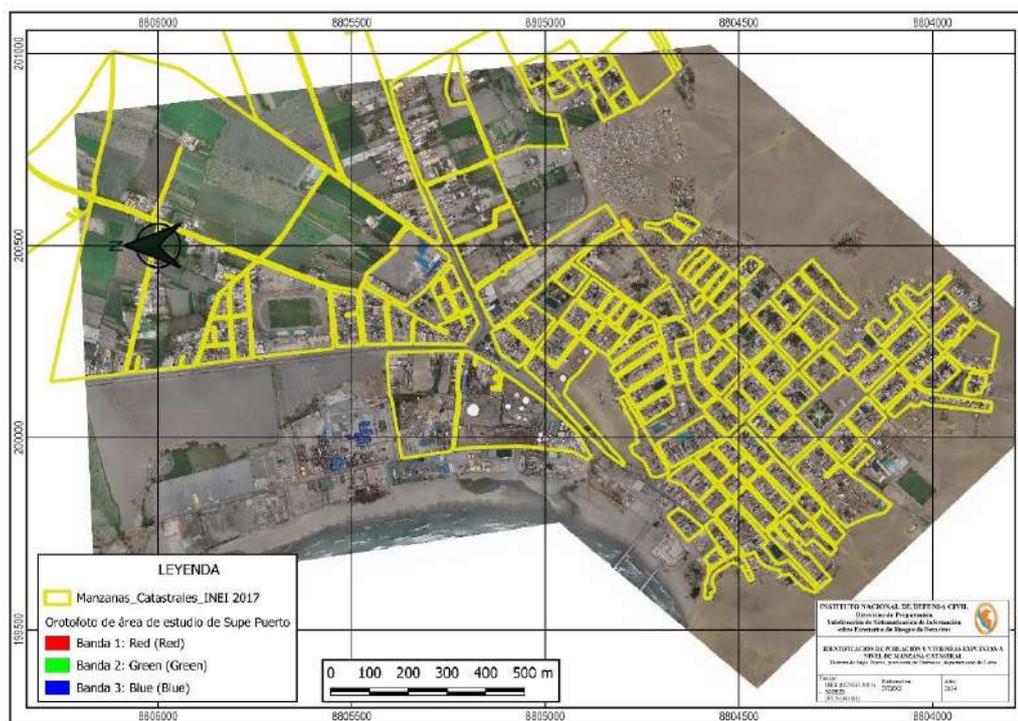
Fuente: Elaboración propia en base a software Agisoft Metashape, 2024

- ✓ De los resultados obtenidos, se especifica que el Punto de Orden “C” fue establecido en la Plaza Miguel Grau, cumpliendo los parámetros exigidos en la Norma Técnica Geodésica del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y se tomaron lectura de 14 puntos de fotocontrol dentro del área del proyecto, los cuales fueron obtenidos mediante método PPK y NTRIP. Adicional a ellos, se midió 1 punto adicional para completar los 15; como Anexo se presenta la “*Ficha técnica de la estación de rastreo permanente utilizada*”.

### c) DESCARGA DE DATOS GEOESPACIALES SOBRE POBLACIÓN Y VIVIENDA

La descarga de información geoespacial sobre población y vivienda de fuentes oficiales y procesarlos en los SIG, permite identificar la población expuesta ante peligro de tsunami, tomando como base la carta de inundación, así como establecer la población muestral para la estimación del nivel de preparación y adoptar las medidas más eficientes y óptimas.

Figura N° 27.- Información geoespacial sobre población y vivienda del área de estudio de Supe Puerto



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

El proceso de ajuste poligonal basado en correcciones de topología o digitalización permite alinear la información geoespacial descargada del INEI con límites perimetales obtenidos por la ortofoto drone, de manera que se tengan información con mayor

precisión y georreferenciada sobre mediciones en áreas o distancias, sobre todo en las rutas de evacuación y zonas seguras que se requiere medir el ancho y aforo, respectivamente.

Figura N° 28.- Corrección de alineación entre ortofoto drone y manzana catastral de INEI 2017



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

Posteriormente, a cada polígono de manzana catastral identificado se le asigna un código o numeración correlativa diferente y ordenada, de manera que luego se analicen cuáles y cuantas personas realizaran el proceso de evacuación sobre la ruta de evacuación analizada.

Figura N° 29.- Numeración correlativa para cada polígono de manzana catastral modificado



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

Como resultado del análisis, se obtuvo los siguientes valores referente a población y viviendas en toda el área de estudio correspondiente a Supe Puerto, misma que incluye grupos etarios según clasificación del INEI:

Tabla 18.- Información sobre población y viviendas totales y expuestas a peligro de tsunami en el área de estudio de Supe Puerto

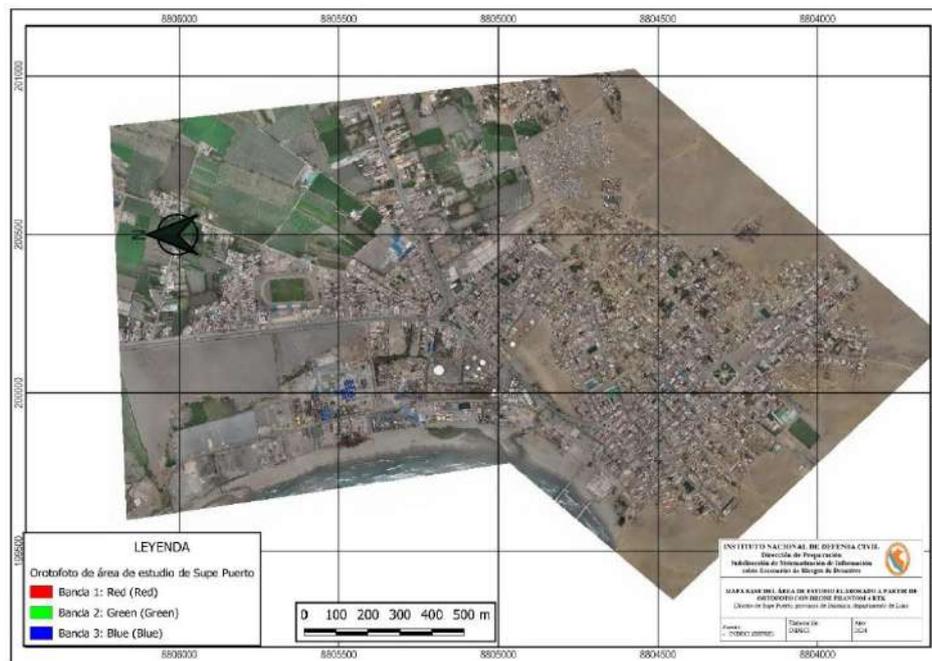
<b>INFORMACIÓN TOTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Cantidad de manzanas catastrales	127	100.00
Población total	7,682	100.00
Población Hombres	3,762	100.00
Población Mujeres	3,920	100.00
Población de 0 – 14 años	1,920	100.00
Población de 15 – 29 años	1,748	100.00
Población de 30 – 44 años	1,507	100.00
Población de 45 – 64 años	1,269	100.00
Población mayor a 65 años	1,176	100.00
Viviendas totales	2,789	100.00
<b>INFORMACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Cantidad de manzanas catastrales	52	40.94
Población total	3,785	49.27
Población Hombres	1,848	49.12
Población Mujeres	1,937	49.41
Población de 0 – 14 años	870	45.31
Población de 15 – 29 años	837	47.88
Población de 30 – 44 años	712	47.24
Población de 45 – 64 años	672	52.96
Población mayor a 65 años	694	59.01
Viviendas totales	1,363	48.87

Fuente: Elaboración propia en base a Censo INEI 2017, 2024

#### **d) OBTENCIÓN DEL MAPA BASE DE IMAGEN SATELITAL Y ORTOFOTO CON DRONE**

La presente investigación toma como referencia la imagen ortofoto elaborada por el drone Phantom 4 RTK, cumpliendo los procedimientos establecidos por el IGN, de manera que se puedan realizar trazos, mediciones de áreas y perímetros, longitudes o modelamientos en 3D (de corresponder), siendo la base para la digitalización y posterior análisis de técnicas geomáticas de proximidad en Sistemas de Información Geográfica (SIG); no obstante, la imagen satelital de PeruSAT resulta indispensable debido que permitió tener información preliminar inmediata del área de estudio y establecer la ruta de trabajo y análisis previo para el levantamiento de información detallada con el apoyo de estaciones de rastreo permanente o medición directa en campo.

Figura N° 30.- Imagen base del área de estudio obtenida a partir de ortofoto drone Phantom 4 RTK

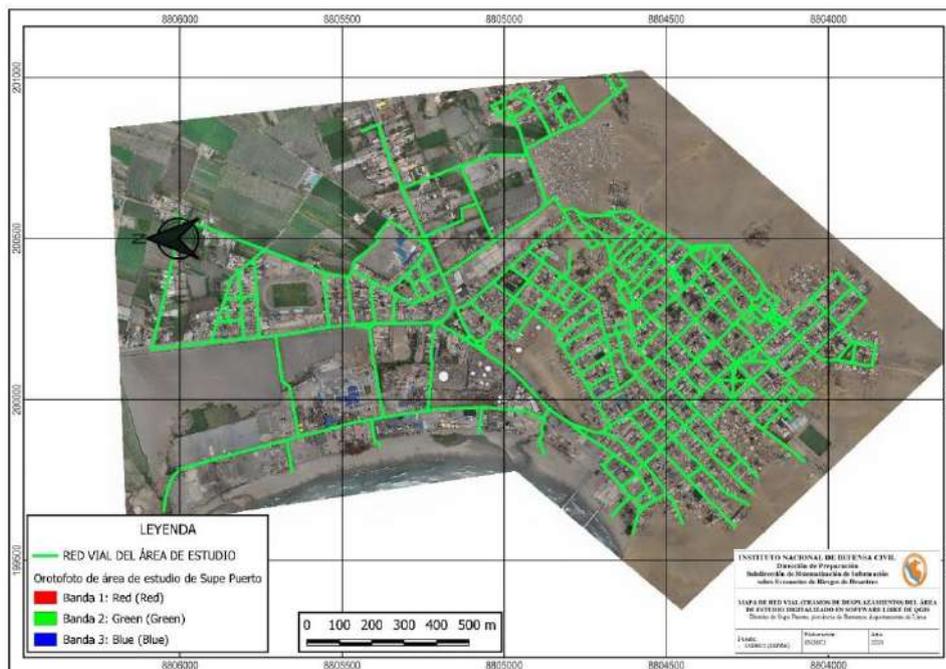


Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

e) **DIGITALIZACIÓN DE RED VIAL (TRAMOS DE DESPLAZAMIENTO) DEL ÁREA DE ESTUDIO EN SOFTWARE LIBRE DE SIG**

Este procedimiento permite la obtención de la red vial por medio del proceso de digitalización, siendo la intersección de cada vía el punto de cierre o conexión vial para cerrar todo el sistema generado en software de QGIS:

Figura N° 31.- Digitalización de red vial del área de estudio en Supe Puerto



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

Luego de este proceso de digitalización tomando como referencia un mapa base de ortofoto a escala de detalle, se obtuvo la información de redes viales correspondiente a una medición de 32,350.85 metros lineales.

Figura N° 32.- Muestra sobre digitalización de tramos de red vial del área de estudio en Supe Puerto



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

Cada círculo en rojo representa el punto de intersección en calles, avenidas o jirones donde la población debe conocer hacia dónde dirigirse de manera rápida y segura ante una situación de alerta o alarma de tsunami.

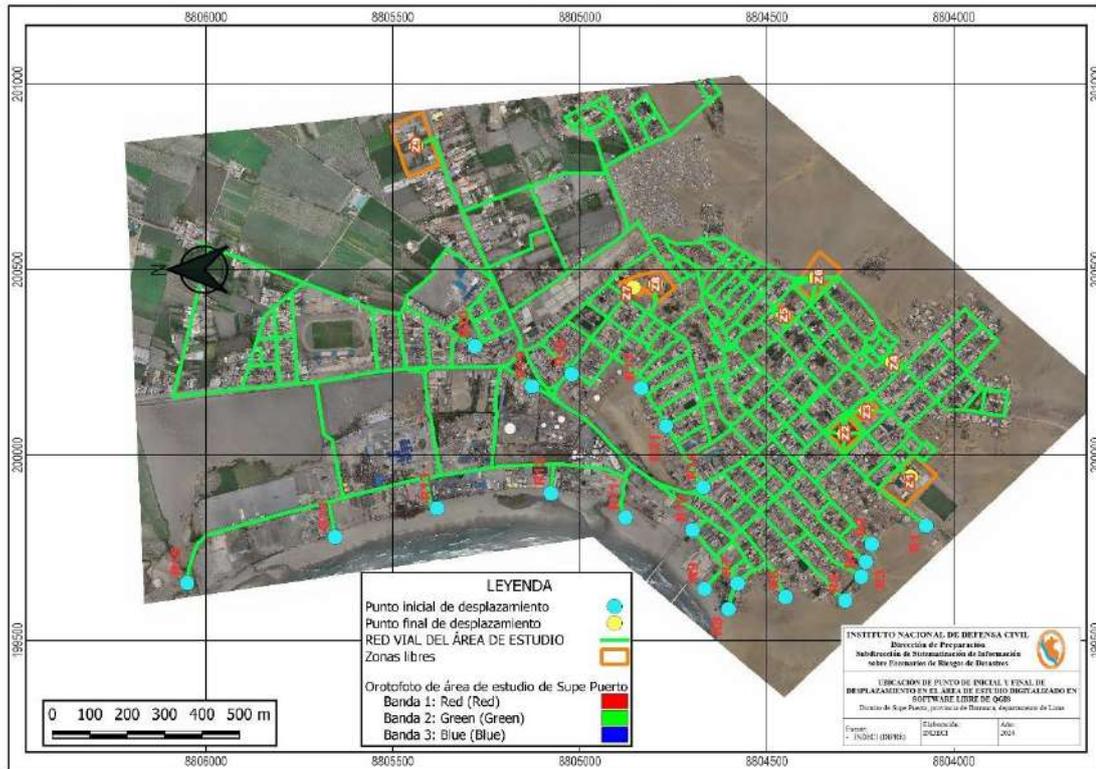
**f) DIGITALIZACIÓN DE PUNTOS DE INICIO DE DESPLAZAMIENTO Y LLEGADA A ZONAS LIBRES EN SOFTWARE SIG**

La estrategia de identificar el punto de inicio y llegada hacia una zona libre radica en contemplar la red vial digitalizada e identificar, posteriormente, mediante la aplicación de la técnica geomática de SIG sobre “ruta más rápida”, se obtendrá la ruta de evacuación más óptima por el cual la población va dirigirse ante una situación de alerta y alarma partiendo desde un punto inicial y llegando hasta un punto final, y cuyo cumplimiento va sujeto a una implementación necesaria de señalización.

En ese sentido, como parte del análisis se realizó la ubicación de 21 puntos de inicio de desplazamiento, 09 puntos finales de desplazamientos cuya ubicación coincide con

zonas libres que podrían servir de zonas seguras luego de un análisis producto de la presente investigación; siendo preciso señalar que se encuentran unidos por la red vial generada.

Figura N° 33.- Mapa de ubicación de punto inicial y final de desplazamiento ante alerta o alarma de tsunami



Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

Como resultado de dicho análisis, se generó la codificación de los siguientes puntos iniciales y finales, así como las zonas libres:

Tabla 19.- Codificación de puntos de inicio y final de desplazamiento ante tsunami en Supe Puerto

PUNTOS DE INICIO DE DESPLAZAMIENTO	PUNTOS FINALES DE DESPLAZAMIENTO	ÁREA DE ZONA LIBRE
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20 y R21	Z1	9,651.009 m <sup>2</sup>
	Z2	4,489.486 m <sup>2</sup>
	Z3	1,896.881 m <sup>2</sup>
	Z4	1,384.398 m <sup>2</sup>
	Z5	1,321.995 m <sup>2</sup>
	Z6	7,736.504 m <sup>2</sup>
	Z7	1,082.248 m <sup>2</sup>
	Z8	5,237.134 m <sup>2</sup>
	Z9	13,381.514 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS, 2024

**g) TRABAJO DE CAMPO PARA MEDICIÓN DE VIAL PRINCIPAL DE DESPLAZAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE ZONAS LIBRES Y ENCUESTA**

Como resultado del análisis para identificar las rutas de evacuación y zonas seguras, se recopila y analiza la información por tramo de una vía, tal como se muestra en la siguiente imagen:

Tabla 20.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR1

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>					
<b>Nombre de ruta:</b>	MODELO DE RUTA – TRAMO TR1			<b>Código SIG:</b> TR1	
<b>Sector:</b>	SUPE PUERTO				
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>			
					
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>			
MZ30		MODELO DE RUTA – TRAMO TR1			
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>					
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media		Medición final
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	6.62		6.67		6.66
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	6.66		6.69		6.68
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>6.64</b>		<b>6.68</b>		<b>6.67</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>6.66</b>				
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>26.95</b>				
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Media ( <input type="checkbox"/> )	Alta ( <input type="checkbox"/> )	Muy Alta ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Estado de vía:</b>	Bueno ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Regular ( <input type="checkbox"/> )	Malo ( <input type="checkbox"/> )	Muy Malo ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	5%				
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>					
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 02 poste de alta tensión</li> <li>- Desnivel de la vía que colinda con la vía principal</li> <li>- Falta de señalización de evacuación</li> </ul>				
<b>Peligros:</b>	- Sismo y Tsunami				
<b>Observaciones:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tramo colinda con la sede de la Capitanía Guardacostas Marítima de Supe de la Marina de Guerra del Perú,</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 6.66 m y un largo de 26,95 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Vía vehicular en doble sentido y con presencia de veredas en ambos sentidos.</li> </ul>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 21.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR2

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>				
<b>Nombre de ruta:</b>		MODELO DE RUTA – TRAMO TR2		<b>Código SIG:</b> R10
<b>Sector:</b>		SUPE PUERTO		
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>		
				
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>		
MZ30		MODELO DE RUTA – TRAMO TR2		
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>				
<b>MEDIDAS</b>	<b>Medición inicial</b>		<b>Medición final</b>	
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	5.41		5.24	
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	5.40		5.26	
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>5.40</b>		<b>5.25</b>	
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>5.37</b>			
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>70.88</b>			
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)	Media (___)	Alta (X_)	Muy Alta (___)
<b>Estado de vía:</b>	Bueno (___)	Regular (X_)	Malo (___)	Muy Malo (___)
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	5%			
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>				
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Casas de material de ladrillo y quincha de hasta 2 pisos</li> <li>- Falta de señalización de evacuación</li> </ul>			
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo y Tsunami</li> </ul>			
<b>Observaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En los terrenos colindantes a la vía, se tienen varios comercios de restaurantes, y prácticamente 1 carril es utilizado como estacionamiento de vehículos para comensales o trabajadores de la zona.</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 5.37 m y un largo de 70.88 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Vía vehicular en doble sentido y con presencia de veredas en ambos sentidos.</li> </ul>			

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 22.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR3

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>				
<b>Nombre de ruta:</b>	MODELO DE RUTA – TRAMO TR3			<b>Código SIG:</b> R10
<b>Sector:</b>	SUPE PUERTO			
<b>Fotos de vía:</b>			<b>Plano de ubicación:</b>	
				
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>	MZ12		<b>Ruta de evacuación:</b>	
			MODELO DE RUTA – TRAMO TR3	
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>				
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media	
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	6.18		6.26	
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	6.16		6.28	
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>6.17</b>		<b>6.27</b>	
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>6.23</b>			
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>17.20</b>			
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)	Media (X_)	Alta (___)	Muy Alta (___)
<b>Estado de vía:</b>	Buena (___)	Regular (X_)	Mala (___)	Muy Mala (___)
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	15%			
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>				
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reductor de velocidad vehicular</li> <li>- Cambio en la pendiente del terreno mayor a 5%</li> </ul>			
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo y Tsunami</li> </ul>			
<b>Observaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En los terrenos colindantes a la vía, se tiene en una intersección al mercado de Supe Puerto,</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 6.23 m y un largo de 17.20 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Vía vehicular en doble sentido y con presencia de veredas en ambos sentidos.</li> </ul>			

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 23.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR4

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>				
<b>Nombre de ruta:</b>		MODELO DE RUTA – TRAMO TR4		<b>Código SIG:</b> R10
<b>Sector:</b>		SUPE PUERTO		
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>		
				
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>		
MZ9, MZ29		MODELO DE RUTA – TRAMO TR4		
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>				
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media	
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	4.32		4.00	
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	4.34		4.00	
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>4.33</b>		<b>4.00</b>	
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>4.13</b>			
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>53.48</b>			
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)	Media (X_)	Alta (___)	Muy Alta (___)
<b>Estado de vía:</b>	Bueno (___)	Regular (X_)	Malo (___)	Muy Malo (___)
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	20%			
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>				
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reductor de velocidad vehicular</li> <li>- Cambio en la pendiente del terreno mayor a 5%</li> </ul>			
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo y Tsunami</li> </ul>			
<b>Observaciones:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En los terrenos colindantes a la vía, se tiene en una intersección al mercado de Supe Puerto</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 4.13 m y un largo de 53.48 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Se identifica mayor cantidad de postes de luz.</li> <li>- Colinda en su lado izquierdo al sentido de la vía vehicular, vivienda de 2 pisos de ladrillo tipo pandereta en mal estado de conservación.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en un solo sentido, de 50 cm de ancho aproximadamente.</li> </ul>				

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 24.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR5

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>			
<b>Nombre de ruta:</b>	MODELO DE RUTA – TRAMO TR5		<b>Código SIG:</b> R10
<b>Sector:</b>	SUPE PUERTO		
<b>Fotos de vía:</b>			<b>Plano de ubicación:</b>
			
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>	MZ13, MZ28		<b>Ruta de evacuación:</b>
			MODELO DE RUTA – TRAMO TR5
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>			
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	4.24		4.28
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	4.21		4.28
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>4.22</b>		<b>4.28</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>4.12</b>		
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>49.88</b>		
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)	Media (X_)	Alta (___)
<b>Estado de vía:</b>	Buena (X_)	Regular (___)	Mala (___)
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	15%		
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>			
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reductor de velocidad vehicular</li> <li>- Cambio en la pendiente del terreno mayor a 5%</li> </ul>		
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo y Tsunami</li> </ul>		
<b>Observaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 4.12 m y un largo de 49.88 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Se identifica mayor cantidad de postes de luz.</li> <li>- Colinda en su lado derecho al sentido de la vía vehicular, vivienda de 1 piso de concreto en mal estado de conservación.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en un solo sentido, de 40 cm de ancho aproximadamente.</li> </ul>		

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 25.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR6

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>					
<b>Nombre de ruta:</b>		MODELO DE RUTA – TRAMO TR6		<b>Código SIG:</b> R10	
<b>Sector:</b>		SUPE PUERTO			
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>			
					
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>			
MZ14, MZ27		MODELO DE RUTA – TRAMO TR6			
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>					
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media		Medición final
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	3.99		3.58		3.42
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	3.97		3.58		3.43
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>3.98</b>		<b>3.58</b>		<b>3.42</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>3.66</b>				
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>42.95</b>				
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)	Media (X_)	Alta (___)	Muy Alta (___)	
<b>Estado de vía:</b>	Bueno (___)	Regular (X_)	Malo (___)	Muy Malo (___)	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	15%				
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>					
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reductor de velocidad vehicular</li> <li>- Cambio en la pendiente del terreno mayor a 5%</li> </ul>				
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo y Tsunami</li> </ul>				
<b>Observaciones:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se evidencia presencia de casa de madera</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 3.66 m y un largo de 42.95 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Se identifica mayor cantidad de postes de luz.</li> <li>- Colinda en su lado izquierdo al sentido de la vía vehicular, vivienda de 1 piso de madera en mal estado de conservación.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en un solo sentido, de 50 cm de ancho aproximadamente.</li> </ul>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 26.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR7

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>					
<b>Nombre de ruta:</b>		MODELO DE RUTA – TRAMO TR7		<b>Código SIG:</b> R10	
<b>Sector:</b>		SUPE PUERTO			
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>			
					
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>			
MZ26, MZ34		MODELO DE RUTA – TRAMO TR7			
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>					
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media		Medición final
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	4.09		4.47		4.26
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	4.10		4.48		4.30
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>4.10</b>		<b>4.48</b>		<b>4.28</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>4.29</b>				
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>40.96</b>				
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Media ( <input type="checkbox"/> )	Alta ( <input type="checkbox"/> )	Muy Alta ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Estado de vía:</b>	Bueno ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Regular ( <input type="checkbox"/> )	Malo ( <input type="checkbox"/> )	Muy Malo ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	15%				
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>					
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reductor de velocidad vehicular</li> <li>- Cambio en la pendiente del terreno mayor a 5%</li> </ul>				
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo</li> </ul>				
<b>Observaciones:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se identificó casa de quincha y cemento con ladrillos</li> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 4.29 m y un largo de 40.96 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Se identifica mayor cantidad de postes de luz.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en un solo sentido, de 50 cm de ancho aproximadamente.</li> </ul>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 27.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR8

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>						
<b>Nombre de ruta:</b>	MODELO DE RUTA – TRAMO TR8				<b>Código SIG:</b> R10	
<b>Sector:</b>	SUPE PUERTO					
<b>Fotos de vía:</b>				<b>Plano de ubicación:</b>		
						
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>	MZ34, MZ25			<b>Ruta de evacuación:</b>		
				MODELO DE RUTA – TRAMO TR8		
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>						
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media		Medición final	
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	5.6	5.63	5.73	5.69	5.65	5.52
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	5.57	5.61	5.71	5.67	5.67	5.52
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>5.58</b>	<b>5.62</b>	<b>5.72</b>	<b>5.68</b>	<b>5.66</b>	<b>5.52</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>5.63</b>					
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>31.20</b>					
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja (___)		Media (___)		Alta (X_)	
<b>Estado de vía:</b>	Bueno (___)		Regular (X_)		Muy Malo (___)	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	10%					
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>						
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poste de alta tensión</li> <li>- Poste de transformador de electricidad</li> <li>- Cambio de pendiente mayor a 5%</li> </ul>					
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo</li> </ul>					
<b>Observaciones:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 5.63 m promedio para ambos carriles de doble vía, y un largo de 31.20 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Se identifica mayor cantidad de postes de luz.</li> <li>- Se identifica una berma central que divide ambas vías.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en ambos sentidos, de 60 cm de ancho aproximadamente</li> <li>- Parte de la vía es utilizada como estacionamiento vehicular</li> </ul>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

Tabla 28.- Registro de tramos para la identificación de características generales de ruta – TRAMO TR9

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE RUTA</b>					
<b>Nombre de ruta:</b>		MODELO DE RUTA – TRAMO TR9		<b>Código SIG:</b> R10	
<b>Sector:</b>		SUPE PUERTO			
<b>Fotos de vía:</b>		<b>Plano de ubicación:</b>			
					
<b>Manzanas catastrales colindantes:</b>		<b>Ruta de evacuación:</b>			
MZ37		MODELO DE RUTA – TRAMO TR9			
<b>MEDICIONES DE VÍA</b>					
<b>MEDIDAS</b>	Medición inicial		Medición media		Medición final
<b>Ancho de vía Ida (m):</b>	5.66		5.33		6.65
<b>Ancho de vía Vuelta (m):</b>	5.67		5.35		6.65
<b>Ancho de vía promedio total (m):</b>	<b>5.66</b>		<b>5.34</b>		<b>6.65</b>
<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>5.88</b>				
<b>Largo de vía (m)</b>	<b>91.55</b>				
<b>Vulnerabilidad física de viviendas colindantes:</b>	Baja ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Media ( <input type="checkbox"/> )	Alta ( <input type="checkbox"/> )	Muy Alta ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Estado de vía:</b>	Buena ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Regular ( <input type="checkbox"/> )	Mala ( <input type="checkbox"/> )	Muy Mala ( <input type="checkbox"/> )	
<b>Pendiente aproximada (°):</b>	10%				
<b>ANÁLISIS DE VÍA</b>					
<b>Obstáculos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poste de alta tensión</li> <li>- Casas de material noble</li> <li>- Cambio de pendiente mayor a 5%</li> </ul>				
<b>Peligros:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sismo</li> </ul>				
<b>Observaciones:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La vía cuenta con un ancho de vía de 5.88 m promedio, y un largo de 91.55 m.</li> <li>- No se identificaron cercas o tranqueras que bloqueen la vía peatonal y vehicular.</li> <li>- Vía vehicular de un solo sentido SE y con presencia de vereda en ambos sentidos, de 40 cm de ancho aproximadamente</li> <li>- Parte de la vía es utilizada como estacionamiento vehicular</li> </ul>					

Fuente: Elaboración propia, 2024

En tal sentido, luego de registrar la información en campo sobre cada tramo de desplazamiento que la población realizará ante un proceso de evacuación de tsunami, se realiza el análisis comparativo con mediciones sobre la ortofoto:

Figura N° 34.- Modelo de medición referencial sobre la ortofoto en software SIG de QGIS



Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego del procedimiento de medición de la ortofoto, se registraron 9 tramos (TR1, TR2, TR3, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8 y TR9), a fin de compararlos con las mediciones de campo:

Tabla 29.- Registro de mediciones en campo y ortofoto sobre vía de desplazamiento ante tsunami

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO		MEDIDA EN ORTOFOTO	
	ANCHO DE VÍA (M)	LARGO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)	LARGO DE VÍA (M)
TR1	6.66	26.95	6.91	26.99
TR2	5.37	70.88	5.32	71.11
TR3	6.23	17.20	6.27	17.30
TR4	4.13	52.17	4.10	53.55
TR5	4.12	49.88	4.18	45.01
TR6	3.66	42.95	3.60	43.15
TR7	4.29	40.96	4.22	41.39
TR8	5.63	31.20	5.71	31.13
TR9	5.88	91.55	5.81	91.64

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego, para la comparación de ambas medidas se aplica el coeficiente de correlación de Pearson tanto para el ancho y largo de vía, las cuales se representan como X e Y, respectivamente; obteniendo los siguientes resultados:

## g.1 CORRELACIÓN DE MEDIDAS SOBRE EL ANCHO DE VIA

- Cálculo de la covarianza muestral:

Tabla 30.- Cálculo de la covarianza muestral para mediciones de ancho de vía en campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	X - XM	Y - YM	(X - XM)*(Y-YM)
	ANCHO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)			
TR1	6.66	6.91	1.55	1.79	2.77
TR2	5.37	5.32	0.26	0.20	0.05
TR3	6.23	6.27	1.12	1.15	1.29
TR4	4.13	4.10	-0.98	-1.02	1.00
TR5	4.12	4.18	-0.99	-0.94	0.93
TR6	3.66	3.60	-1.45	-1.52	2.21
TR7	4.29	4.22	-0.82	-0.90	0.74
TR8	5.63	5.71	0.52	0.59	0.31
TR9	5.88	5.81	0.77	0.69	0.53
M	5.11	5.12	-	-	9.82

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$S_{xy} = \frac{\sum(X_i - XM) * (Y_i - YM)}{n - 1} = \frac{9.82}{9 - 1} = 1.23$$

- Cálculo del coeficiente de correlación muestral:

Tabla 31.- Cálculo del coeficiente de correlación muestral para mediciones del ancho de vía en campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	SUMATORIA X		SUMATORIA Y		Sx (Campo)	Sy (Ortofoto)
	ANCHO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)	X - XM	(X - XM)2	Y - YM	(Y - YM)2		
TR1	6.66	6.91	1.55	2.41	1.79	3.19	1.08	1.14
TR2	5.37	5.32	0.26	0.07	0.20	0.04		
TR3	6.23	6.27	1.12	1.26	1.15	1.31		
TR4	4.13	4.10	-0.98	0.96	-1.02	1.05		
TR5	4.12	4.18	-0.99	0.98	-0.94	0.89		
TR6	3.66	3.60	-1.45	2.10	-1.52	2.32		
TR7	4.29	4.22	-0.82	0.67	-0.90	0.82		
TR8	5.63	5.71	0.52	0.27	0.59	0.34		
TR9	5.88	5.81	0.77	0.60	0.69	0.47		

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{1.23}{(1.08)(1.14)} = 1.00$$

El valor de  $r_{xy}$  obtenido representa un valor muy cercano a **1**, lo que señala la relación directa existente entre las variables del ancho de vía medidas en campo y la ortofoto, significando que cualquier medida realizada sobre la ortofoto a través de un SIG, está asociada a una medida de campo.

## g.2 CORRELACIÓN DE MEDIDAS SOBRE EL LARGO DE VÍA

- Cálculo de la covarianza muestral:

Tabla 32.- Cálculo de la covarianza muestral para mediciones de largo de vía en campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	X - XM	Y - YM	(X - XM)*(Y-YM)
	LARGO DE VÍA (M)	LARGO DE VÍA (M)			
TR1	26.95	26.99	-20.13	-19.82	398.98
TR2	70.88	71.11	23.80	24.30	578.34
TR3	17.2	17.3	-29.88	-29.51	881.76
TR4	52.17	53.55	5.09	6.74	34.30
TR5	49.88	45.01	2.80	-1.80	-5.03
TR6	42.95	43.15	-4.13	-3.66	15.11
TR7	40.96	41.39	-6.12	-5.42	33.17
TR8	31.2	31.13	-15.88	-15.68	249.00
TR9	91.55	91.64	44.47	44.83	1993.59
M	47.08	46.81	-	-	4,179.22

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$S_{xy} = \frac{\sum(X_i - XM) * (Y_i - YM)}{n - 1} = \frac{4,179.22}{9 - 1} = 522.40$$

- Cálculo del coeficiente de correlación muestral:

Tabla 33.- Cálculo del coeficiente de correlación muestral para mediciones del largo de vía en campo y ortofoto

TRAMO	MEDIDA EN CAMPO (X)	MEDIDA EN ORTOFOTO (Y)	SUMATORIA X		SUMATORIA Y		Sx (Campo)	Sy (Ortofoto)
	ANCHO DE VÍA (M)	ANCHO DE VÍA (M)	X - XM	(X - XM)2	Y - YM	(Y - YM)2		
TR1	26.95	26.99	-20.13	405.31	-19.82	392.74	22.87	22.92
TR2	70.88	71.11	23.80	566.33	24.30	590.60		
TR3	17.2	17.3	-29.88	892.95	-29.51	870.71		
TR4	52.17	53.55	5.09	25.89	6.74	45.46		
TR5	49.88	45.01	2.80	7.83	-1.80	3.23		
TR6	42.95	43.15	-4.13	17.08	-3.66	13.38		
TR7	40.96	41.39	-6.12	37.48	-5.42	29.35		
TR8	31.2	31.13	-15.88	252.24	-15.68	245.79		
TR9	91.55	91.64	44.47	1977.38	44.83	2009.93		

Fuente: Elaboración propia, 2024

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{522.40}{(22.87)(22.92)} = 1.00$$

El valor de  $r_{xy}$  obtenido representa un valor muy cercano a **1**, lo que señala la relación directa existente entre las variables del largo de vía medidas en campo y la ortofoto, significando que cualquier medida realizada sobre la ortofoto a través de un SIG, está asociada a una medida de campo.

## **h) ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA PARA EL ANÁLISIS DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI**

Para la estimación del nivel de preparación ante tsunami primero se obtuvo el valor correspondiente al tamaño de muestra mediante la siguiente aplicación matemática:

$$n = \frac{z^2(p)(q)N}{\varepsilon^2(N - 1) + z^2(p)(q)}$$

Donde:

n : Número de elementos de la muestra, por determinar

N : Número de elementos en el universo o población

p : porcentaje de hombres que participan en la variable en estudio

q : proporción de mujeres que participan en la variable en estudio

El valor de z que define una probabilidad, está asociado al nivel de

z : confianza, su rango es  $90\% \leq z \leq 99\%$

Los valores de z asociados a la confianza es  $1,65 \leq z \leq 2,58$

ε : Error estándar de la estimación, su rango de variación es:  $1\% \leq \varepsilon \leq 10\%$

Obteniendo los siguientes valores:

n : Número de elementos de la muestra, por determinar

N : 3,785

p : 0.49

q : 0.51

z : 2.25

ε : 9% y una confianza al 90%

$$n = \frac{2.25^2 * (0.49) * (0.51) * 3,785}{0.09^2 * (3,785 - 1) + 2.25^2 * (0.5) * (0.5)}$$

$$n = 150$$

Para una población expuesta a tsunami de 3,785 habitantes, de las cuales el 49% son hombres y el 51% mujeres, la cual, considerando un error de 9% y un 90% de confianza, cuyo valor Z de confianza se establece como 2.25; se obtiene una muestra de 150 habitantes.

**i) ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PREPARACIÓN ANTE TSUNAMI BASADO EN EL MÉTODO EPCI**

Se realiza la toma de datos de la población de muestra que se encuentra expuesta a peligro de tsunami, y se sigue el procedimiento según método EPCI:

Tabla 34.- Asignación de pesos para encuesta que estime el nivel de preparación ante tsunami basado en el EPCI

COMPONENTES	Nº	PREGUNTA	PESO	RESPUESTAS	PESO
COMPONENTE 1: INFORMACIÓN SOBRE ESCENARIOS DE RIESGOS	1	¿Sabe si su localidad cuenta con un mapa o carta de inundación por tsunami?	1	Sí	3
				Algo	2
				No	1
	2	¿Tiene conocimiento que vive en una zona expuesta al peligro por tsunami?	2	Sí	3
				Algo	2
				No	1
	3	¿Conoce su zona segura interna o externa ante la ocurrencia de un tsunami?	3	Sí	3
				Algo	2
				No	1
	4	¿Conoce su ruta de evacuación ante la ocurrencia de un tsunami?	4	Sí	3
				Algo	2
				No	1
COMPONENTE 2: CAPACIDADES PARA LA RESPUESTA	5	¿En los simulacros por tsunami realizados por la municipalidad, ha percibido el interés de la población en participar?	1	Sí	3
				Algo	2
				No	1
	6	¿En los simulacros realizados ha notado la participación activa del personal de la municipalidad, así como personal de rescate de la policía, bomberos, salud u otros?	2	Sí	3
				Algo	2
				No	1
	7	¿Su familia ha participado de un ejercicio de simulacro de evacuación por tsunami?	3	Sí	3
				Algo	2
No				1	
8	¿Su localidad cuenta con algún equipo de comunicación que advierta la llegada de un tsunami?	4	Sí	3	
			Desconozco	2	
			No	1	
COMPONENTE 3: CAPACITACIÓN Y SENSIBILIZACIÓN	9	¿Cuenta con mochila de emergencias ante tsunami?	1	Sí	3
				Parcialmente equipada	2
				No	1
	10	¿Cuenta con plan familiar de emergencias ante tsunami?	2	Sí	3
				En proceso de confección	2
				No	1
	11	¿Ha participado en algún simulacro, taller o actividad de capacitación y sensibilización sobre tsunamis organizado por la municipalidad, ONG o entidad?	3	Sí	3
				No me permitieron	2
No				1	
12	¿En su localidad, existen brigadistas para casos de emergencias por tsunami?	4	Sí	3	
			Desconozco	2	
			No	1	
COMPONENTE 4: CONDICIONES FÍSICAS DE LA VIVIENDA	13	¿Cuántos pisos tiene su vivienda?	1	De 4 a más pisos	3
				Entre 2 o 3 pisos	2
				Solo 1 piso	1
	14	¿De qué material está construida su vivienda?	2	Ladrillo o bloque de cemento	3
				Piedra con cemento o quincha	2
				Adobe, tapia, estera, madera o triplay	1
	15	¿Aproximadamente, qué antigüedad tiene su vivienda?	3	Menos de 15 años	3
				Entre 15 y 30 años	2
				Más de 30 años	1
	16	¿En la vía frente a su vivienda, existe alguna tranquera, reja u otro elemento que dificulte el tránsito peatonal y vehicular?	4	No, la vía tiene libre acceso al tránsito peatonal y vehicular	3
Sí, solo se mantiene cerrada durante la noche por seguridad				2	
Sí, se mantiene cerrada gran parte del día				1	

Fuente: Elaboración propia a partir EPCI, 2019

Luego, se obtienen los valores de cada componente:

Tabla 35.- Valores obtenidos de los pesos mínimos y máximos de las 4 preguntas en cada componente de la EPCI

<b>COMPONENTE 1</b>	<b>Peso mínimo pregunta 1 de Componente 1 (Pmin1C1)</b>	<b>Peso máximo pregunta 1 de Componente 1 (Pmax1C1)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 2 de Componente 1 (Pmin2C1)</b>	<b>Peso máximo pregunta 2 de Componente 1 (Pmax2C1)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 3 de Componente 1 (Pmin3C1)</b>	<b>Peso máximo pregunta 3 de Componente 1 (Pmax3C1)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 4 de Componente 1 (Pmin4C1)</b>	<b>Peso máximo pregunta 4 de Componente 1 (Pmax4C1)</b>
	1	3	2	6	3	9	4	12
<b>COMPONENTE 2</b>	<b>Peso mínimo pregunta 5 de Componente 2 (Pmin1C2)</b>	<b>Peso máximo pregunta 5 de Componente 2 (Pmax1C2)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 6 de Componente 2 (Pmin2C2)</b>	<b>Peso máximo pregunta 6 de Componente 2 (Pmax2C2)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 7 de Componente 2 (Pmin3C2)</b>	<b>Peso máximo pregunta 7 de Componente 2 (Pmax3C2)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 8 de Componente 2 (Pmin4C2)</b>	<b>Peso máximo pregunta 8 de Componente 2 (Pmax4C2)</b>
	1	3	2	6	3	9	4	12
<b>COMPONENTE 3</b>	<b>Peso mínimo pregunta 9 de Componente 3 (Pmin1C3)</b>	<b>Peso máximo pregunta 9 de Componente 3 (Pmax1C3)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 10 de Componente 3 (Pmin2C3)</b>	<b>Peso máximo pregunta 10 de Componente 3 (Pmax2C3)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 11 de Componente 3 (Pmin3C3)</b>	<b>Peso máximo pregunta 11 de Componente 3 (Pmax3C3)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 12 de Componente 3 (Pmin4C3)</b>	<b>Peso máximo pregunta 12 de Componente 3 (Pmax4C3)</b>
	1	3	2	6	3	9	4	12
<b>COMPONENTE 4</b>	<b>Peso mínimo pregunta 13 de Componente 4 (Pmin1C4)</b>	<b>Peso máximo pregunta 13 de Componente 4 (Pmax1C4)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 14 de Componente 4 (Pmin2C4)</b>	<b>Peso máximo pregunta 14 de Componente 4 (Pmax2C4)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 15 de Componente 4 (Pmin3C4)</b>	<b>Peso máximo pregunta 15 de Componente 4 (Pmax3C4)</b>	<b>Peso mínimo pregunta 16 de Componente 4 (Pmin4C4)</b>	<b>Peso máximo pregunta 16 de Componente 4 (Pmax4C4)</b>
	2	6	6	18	9	27	12	36

Fuente: Elaboración propia a partir de EPCI, 2019

Luego, la sumatoria de pesos mínimos y máximos, así como el valor promedio de su diferencia; esto va permite definir los 4 niveles del nivel de preparación basado en la metodología EPCI:

Tabla 36.- Sumatoria de pesos mínimos y máximos de cada componente EPCI y su rango, valor y categoría según resultados

<b>COMPONENTE 1</b>	<b>Suma Pesos Mínimos (<math>\sum</math>PesMinC1)</b>	<b>Suma Pesos Máximos (<math>\sum</math>PesMaxC1)</b>	<b><math>(\sum</math>PesMaxC1- <math>\sum</math>PesMinC1)/4</b>	<b>Muy Bajo (1)</b>	<b>Bajo (2)</b>	<b>Medio (3)</b>	<b>Alto (4)</b>
	10	30	5	[15 > Valor X	[20 > Valor X $\geq$ 15	[25 > Valor X $\geq$ 20	[30 $\geq$ Valor X $\geq$ 25
<b>COMPONENTE 2</b>	<b>Suma Pesos Mínimos (<math>\sum</math>PesMinC2)</b>	<b>Suma Pesos Máximos (<math>\sum</math>PesMaxC2)</b>	<b><math>(\sum</math>PesMaxC2- <math>\sum</math>PesMinC2)/4</b>	<b>Muy Bajo (1)</b>	<b>Bajo (2)</b>	<b>Medio (3)</b>	<b>Alto (4)</b>
	10	30	5	[15 > Valor X	[20 > Valor X $\geq$ 15	[25 > Valor X $\geq$ 20	[30 $\geq$ Valor X $\geq$ 25
<b>COMPONENTE 3</b>	<b>Suma Pesos Mínimos (<math>\sum</math>PesMinC3)</b>	<b>Suma Pesos Máximos (<math>\sum</math>PesMaxC3)</b>	<b><math>(\sum</math>PesMaxC3- <math>\sum</math>PesMinC3)/4</b>	<b>Muy Bajo (1)</b>	<b>Bajo (2)</b>	<b>Medio (3)</b>	<b>Alto (4)</b>
	10	30	5	[15 > Valor X	[20 > Valor X $\geq$ 15	[25 > Valor X $\geq$ 20	[30 $\geq$ Valor X $\geq$ 25
<b>COMPONENTE 4</b>	<b>Suma Pesos Mínimos (<math>\sum</math>PesMinC4)</b>	<b>Suma Pesos Máximos (<math>\sum</math>PesMaxC4)</b>	<b><math>(\sum</math>PesMaxC4- <math>\sum</math>PesMinC4)/4</b>	<b>Muy Bajo (1)</b>	<b>Bajo (2)</b>	<b>Medio (3)</b>	<b>Alto (4)</b>
	29	87	14.5	[43.5 > Valor X	[58 > Valor X $\geq$ 43.5	[72.5 > Valor X $\geq$ 58	[87 $\geq$ Valor X $\geq$ 72.5

Fuente: Elaboración propia a partir de EPCI, 2019

Seguidamente, se procede con sumar los puntajes de las preguntas y clasificarlos según el rango obtenido; es preciso señalar que el valor del puntaje se obtiene con el análisis de la MODA para la muestra de 150 personas:

Tabla 37.- Valor de componentes según MODA para la muestra de 150 personas

<b>COMPONENTE 1</b>	<b>SUMA DE PUNTAJES DE PREGUNTAS (1-4)</b>	<b>Calificación C1</b>
	10	1

<b>COMPONENTE 2</b>	<b>SUMA DE PUNTAJES DE PREGUNTAS (5-8)</b>	<b>Calificación C2</b>
	10	1

<b>COMPONENTE 3</b>	<b>SUMA DE PUNTAJES DE PREGUNTAS (9-12)</b>	<b>Calificación C3</b>
	10	1

<b>COMPONENTE 4</b>	<b>SUMA DE PUNTAJES DE PREGUNTAS (12 - 16)</b>	<b>Calificación C4</b>
	29	1

Fuente: Elaboración propia a partir de EPCI, 2019

Finalmente, el EPCI para el área de estudio comprendido se obtiene:

$$EPCI = \frac{\sum_{i=1}^4 Vi}{4} = \frac{C1 + C2 + C3 + C4}{4} = \frac{1 + 1 + 1 + 1}{4} = 1$$

El nivel de preparación correspondiente al área de estudio de Supe Puerto sobre la población expuesta ante tsunamis, basado en el método EPCI, es **Muy Bajo**.

**j) ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO**

Luego de obtener el registro de 22 personas expuestas a peligro de tsunami, a fin de estimar la velocidad y tiempo de desplazamiento, considerando su talla, edad y peso, se analiza el valor del coeficiente de variación, según detalle:

Tabla 38.- Registro de talla, edad, peso y tiempo de desplazamiento de la población muestral en el área de estudio

Nº	Género	Talla (m)	Edad	Peso (kg)	Tiempo de desplazamiento en seg. (s) – Ida	Tiempo de desplazamiento en seg. (s) – Vuelta	Tiempo de desplazamiento promedio (s)	Velocidad de desplazamiento (m/s)	X (m/s)	XM (m/s)	(X-XM) <sup>2</sup> (m/s)
1	Femenino	1.52	22	49.85	18.03	18.07	18.05	1.11	1.11	1.37	0.067
2	Femenino	1.56	28	54.65	11.56	12.91	12.24	1.63	1.63	1.37	0.071
3	Femenino	1.57	46	73.00	12.71	13.04	12.88	1.55	1.55	1.37	0.034
4	Masculino	1.56	54	84.60	13.56	14.06	13.81	1.45	1.45	1.37	0.006
5	Femenino	1.55	68	92.60	23.15	21.71	22.43	0.89	0.89	1.37	0.227
6	Masculino	1.62	68	72.00	15.08	18.76	16.92	1.18	1.18	1.37	0.035
7	Femenino	1.52	41	66.11	16.81	17.50	17.16	1.17	1.17	1.37	0.041
8	Masculino	1.58	79	70.65	15.96	15.21	15.59	1.28	1.28	1.37	0.007
9	Masculino	1.60	24	84.15	17.23	15.23	16.23	1.23	1.23	1.37	0.018
10	Masculino	1.62	56	83.60	14.68	13.68	14.18	1.41	1.41	1.37	0.002
11	Masculino	1.70	56	77.75	12.93	8.84	10.89	1.84	1.84	1.37	0.221
12	Femenino	1.55	61	71.15	17.83	16.93	17.38	1.15	1.15	1.37	0.047
13	Masculino	1.64	59	98.10	11.41	12.23	11.82	1.69	1.69	1.37	0.105
14	Femenino	1.55	43	71.00	12.96	14.88	13.92	1.44	1.44	1.37	0.005
15	Masculino	1.65	70	71.59	9.68	8.20	8.94	2.24	2.24	1.37	0.756
16	Masculino	1.68	69	69.25	16.15	15.51	15.83	1.26	1.26	1.37	0.011
17	Masculino	1.70	26	71.80	13.33	14.05	13.69	1.46	1.46	1.37	0.009
18	Masculino	1.69	24	89.50	14.66	14.33	14.50	1.38	1.38	1.37	0.000
19	Femenino	1.48	20	49.75	18.23	18.53	18.38	1.09	1.09	1.37	0.078
20	Masculino	1.66	27	69.35	12.55	12.51	12.53	1.60	1.60	1.37	0.052
21	Femenino	1.55	64	84.40	21.73	21.46	21.60	0.93	0.93	1.37	0.195
22	Masculino	1.61	58	89.45	18.10	17.83	17.97	1.11	1.11	1.37	0.065

Fuente: Elaboración propia, 2024

- Varianza muestral:

$$S^2 = \frac{\sum(X_i - XM)^2}{n - 1} = \frac{2.05}{21} = 0.10$$

- Desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0.10} = 0.31$$

- Coeficiente de variación:

$$\text{Coef. Variación (\%)} = \frac{\text{Desviación Estándar (S)}}{\text{Media (XM)}} * 100\% = \frac{(0.31)}{(1.37)} * 100\% = 22.85\%$$

El coeficiente de variación señala que la desviación estándar muestral es 22.85% del valor de la media muestral, el cual es aceptable considerando que los valores de desplazamiento se estiman en metros por segundo y la distancia es variable según la talla, edad y peso de la persona.

Luego, se estima la velocidad de movimiento según la pendiente del terreno en (%):

Tabla 39.- Velocidad de movimiento según la pendiente en (%)

<b>Pendiente (%)</b>	<b>(%) Velocidad de movimiento</b>	<b>Velocidad de movimiento (m/s)</b>
0% - 3%	100%	1.37
3% - 6%	85%	1.16
6% - 9%	70%	0.96
9% - 12%	55%	0.75
12% - 15%	45%	0.62
15% - 18%	40%	0.55
18% - 21%	35%	0.48
21% - 24%	30%	0.41
24% - 27%	25%	0.34
27% - 30%	20%	0.27
30% - 33%	15%	0.21
33% - 36%	14%	0.19
36% - 39%	13%	0.18
39% - 42%	12%	0.16
42% - 45%	11%	0.15
> 45%	10%	0.14

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Laghi et al. (2006) citado por Cano, V.H. (2011)

**k) APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA ANALIZAR LAS RUTAS DE DESPLAZAMIENTO Y ZONAS LIBRES**

Una vez obtenida la digitalización de los puntos iniciales y finales, las cuales constan de 21 y 9, respectivamente, se realiza la aplicación de la técnica “ruta más corta” y se realiza un análisis sobre cuál de las rutas más rápidas se llega hasta una zona libre, y cuyo registro de longitudes se muestra a continuación:

Tabla 40.- Análisis de ruta más corta entre punto inicial y final sobre red vial en el área de estudio de Supe Puerto

ZL1: I.E. JOSÉ OLAYA BALANDRA		ZL2: PLAZA MIGUEL GRAU		ZL3: CAMPO ABIERTO 1		ZL4: LOZA DEPORTIVA A		ZL5: LOZA DEPORTIVA B		ZL6: CAMPO ABIERTO 2		ZL7: IGLESIA JESUCRISTO DE LOS SANTOS		ZL8: CAMPO ABIERTO 3		ZL9: CAMPO ABIERTO 4	
PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)	PUNTO INICIAL	LONGITUD (m)
JOB-R1	283.38	PMG-R1	349.74	CA1-R1	457.75	LDA-R1	609.46	LDB-R1	757.46	CA2-R1	877.91	IJS-R1	1,168.88	CA3-R1	1147.82	CA4-R1	2076.26
JOB-R2	579.43	PMG-R2	388.44	CA1-R2	496.45	LDA-R2	648.15	LDB-R2	796.15	CA2-R2	916.60	IJS-R2	1,058.15	CA3-R2	1037.09	CA4-R2	1939.31
JOB-R3	652.79	PMG-R3	461.79	CA1-R3	569.80	LDA-R3	721.51	LDB-R3	869.51	CA2-R3	989.96	IJS-R3	1,067.23	CA3-R3	1046.16	CA4-R3	1912.07
JOB-R4	822.94	PMG-R4	629.64	CA1-R4	707.00	LDA-R4	858.70	LDB-R4	990.09	CA2-R4	1,114.16	IJS-R4	1,139.29	CA3-R4	1118.23	CA4-R4	1892.04
JOB-R5	889.62	PMG-R5	696.31	CA1-R5	773.68	LDA-R5	925.38	LDB-R5	1,056.77	CA2-R5	1,180.84	IJS-R5	1,205.97	CA3-R5	1184.91	CA4-R5	1858.29
JOB-R6	845.46	PMG-R6	652.16	CA1-R6	729.52	LDA-R6	881.22	LDB-R6	1,012.61	CA2-R6	1,136.68	IJS-R6	1,118.22	CA3-R6	1097.15	CA4-R6	1678.66
JOB-R7	821.88	PMG-R7	628.58	CA1-R7	705.94	LDA-R7	857.64	LDB-R7	989.03	CA2-R7	1,113.10	IJS-R7	1,094.63	CA3-R7	1073.57	CA4-R7	1604.07
JOB-R8	886.78	PMG-R8	693.47	CA1-R8	770.84	LDA-R8	922.54	LDB-R8	1,053.93	CA2-R8	1,178.00	IJS-R8	1,159.53	CA3-R8	1138.47	CA4-R8	1667.23
JOB-R9	851.14	PMG-R9	657.84	CA1-R9	735.20	LDA-R9	886.90	LDB-R9	1,018.29	CA2-R9	1,142.36	IJS-R9	1,123.89	CA3-R9	1102.83	CA4-R9	1614.37
JOB-R10	800.94	PMG-R10	607.64	CA1-R10	685.00	LDA-R10	836.70	LDB-R10	968.09	CA2-R10	1,092.16	IJS-R10	955.79	CA3-R10	1036.31	CA4-R10	1412.29
JOB-R11	1,062.76	PMG-R11	837.69	CA1-R11	915.05	LDA-R11	1,017.78	LDB-R11	1,022.42	CA2-R11	1,146.48	IJS-R11	806.58	CA3-R11	926.84	CA4-R11	1263.08
JOB-R12	1,221.48	PMG-R12	996.41	CA1-R12	1,073.77	LDA-R12	1,176.50	LDB-R12	1,181.14	CA2-R12	1,305.20	IJS-R12	965.30	CA3-R12	1085.56	CA4-R12	1261.16
JOB-R13	1,553.36	PMG-R13	1,350.95	CA1-R13	1,428.32	LDA-R13	1,531.04	LDB-R13	1,535.68	CA2-R13	1,604.88	IJS-R13	1,020.82	CA3-R13	1141.08	CA4-R13	1261.29
JOB-R14	1,850.42	PMG-R14	1,625.35	CA1-R14	1,702.72	LDA-R14	1,805.44	LDB-R14	1,810.08	CA2-R14	1,879.28	IJS-R14	1,295.22	CA3-R14	1415.48	CA4-R14	1535.69
JOB-R15	2,235.92	PMG-R15	2,010.85	CA1-R15	2,088.22	LDA-R15	2,190.94	LDB-R15	2,195.58	CA2-R15	2,264.78	IJS-R15	1,680.73	CA3-R15	1800.99	CA4-R15	1921.19
JOB-R16	705.50	PMG-R16	480.44	CA1-R16	557.80	LDA-R16	660.52	LDB-R16	658.97	CA2-R16	786.37	IJS-R16	701.05	CA3-R16	679.98	CA4-R16	1333.27
JOB-R17	932.56	PMG-R17	707.49	CA1-R17	784.85	LDA-R17	882.96	LDB-R17	540.60	CA2-R17	668.00	IJS-R17	394.76	CA3-R17	373.69	CA4-R17	1108.72
JOB-R18	1,235.62	PMG-R18	1,010.56	CA1-R18	1,087.92	LDA-R18	1,186.03	LDB-R18	821.64	CA2-R18	916.51	IJS-R18	302.04	CA3-R18	422.30	CA4-R18	845.68
JOB-R19	1,259.30	PMG-R19	1,034.23	CA1-R19	1,111.60	LDA-R19	1,214.32	LDB-R19	951.62	CA2-R19	1,046.49	IJS-R19	432.01	CA3-R19	552.27	CA4-R19	801.61
JOB-R20	1,542.06	PMG-R20	1,316.99	CA1-R20	1,394.36	LDA-R20	1,447.71	LDB-R20	1,082.91	CA2-R20	1,130.70	IJS-R20	588.17	CA3-R20	708.43	CA4-R20	694.38
JOB-R21	864.20	PMG-R21	639.13	CA1-R21	716.49	LDA-R21	818.56	LDB-R21	492.38	CA2-R21	619.78	IJS-R21	515.77	CA3-R21	492.05	CA4-R21	1229.73

Fuente: Elaboración propia, 2024

Luego, el análisis de ruta más corta permite identificar las zonas libres donde la población podría llegar considerando la menor longitud de desplazamiento posible, para lo cual se analiza el valor mínimo medible entre JOB, PMG, CA1, LDA, LDB, CA2, IJS, CA3 y CA4.

## I) IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN Y ZONAS SEGURAS

Se obtienen los siguientes valores luego el análisis de ruta más corta:

Tabla 41.- Identificación de rutas más corta de desplazamiento entre punto inicial y final (zona libre ZL)

RUTA DE DESPLAZAMIENTO (PUNTO INICIAL)	LONGITUD (M) MÍNIMA	CÓDIGO DE RUTA DE DESPLAZAMIENTO	ZONA LIBRE (PUNTO FINAL)	NOMBRE DE ZONA LIBRE (ZL)
R1	283.38	JOB-R1	Z1	I.E. José Olaya Balandra
R2	388.44	PMG-R2	Z2	Plaza Miguel Grau
R3	461.79	PMG-R3	Z2	Plaza Miguel Grau
R4	629.64	PMG-R4	Z2	Plaza Miguel Grau
R5	696.31	PMG-R5	Z2	Plaza Miguel Grau
R6	652.16	PMG-R6	Z2	Plaza Miguel Grau
R7	628.58	PMG-R7	Z2	Plaza Miguel Grau
R8	693.47	PMG-R8	Z2	Plaza Miguel Grau
R9	657.84	PMG-R9	Z2	Plaza Miguel Grau
R10	607.64	PMG-R10	Z2	Plaza Miguel Grau
R11	806.58	IJS-R11	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R12	965.30	IJS-R12	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R13	1,020.82	IJS-R13	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R14	1,295.22	IJS-R14	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R15	1,680.73	IJS-R15	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R16	480.44	PMG-R16	Z2	Plaza Miguel Grau
R17	373.69	CA3-R17	Z8	Campo Abierto 3
R18	302.04	IJS-R18	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R19	432.01	IJS-R19	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R20	588.17	IJS-R20	Z7	Plaza Miguel Grau
R21	492.05	CA3-R21	Z8	Campo Abierto 3

Fuente: Elaboración propia, 2024

De la Tabla N°41, se colige que 4 zonas libres de las 9 identificadas preliminarmente, servirían como zonas seguras debido al menor tiempo de desplazamiento que cuentan con respecto a los 21 posibles puntos de inicio de desplazamiento de la población expuesta a peligro de tsunami.

Luego, por cada ruta de desplazamiento obtenida que conduce hacia una zona libre, se realiza el análisis de pendientes del terreno para la estimación del tiempo de evacuación en minutos:

Tabla 42.- Estimación del tiempo de evacuación en minutos según análisis de pendientes del terreno (%)

<b>RUTA DE DESPLAZAMIENTO (PUNTO INICIAL)</b>	<b>LONGITUD (M) MÍNIMA</b>	<b>PENDIENTE DEL TERRENO (%)</b>	<b>VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO (M/S)</b>	<b>TIEMPO DE EVACUACIÓN (MINUTOS)</b>
R1	283.38	15%	0.62	8
R2	388.44	25%	0.34	19
R3	461.79	25%	0.34	23
R4	629.64	25%	0.34	31
R5	696.31	25%	0.34	34
R6	652.16	25%	0.34	32
R7	628.58	10%	0.75	14
R8	693.47	10%	0.75	15
R9	657.84	5%	1.16	9
R10	607.64	5%	1.16	9
R11	806.58	5%	1.16	12
R12	965.30	5%	1.16	14
R13	1,020.82	5%	1.16	15
R14	1,295.22	5%	1.16	19
R15	1,680.73	5%	1.16	24
R16	480.44	10%	0.75	11
R17	373.69	10%	0.75	8
R18	302.04	10%	0.75	7
R19	432.01	10%	0.75	10
R20	588.17	10%	0.75	13
R21	492.05	10%	0.75	11

Fuente: Elaboración propia, 2024

Del análisis realizado, se estiman los valores de tiempos de evacuación en minutos por donde la población podría dirigirse desde un punto inicial hasta el punto final en un tramo de desplazamiento, siendo este un valor referencial debido a que las condiciones físicas en edad, talla y peso de la persona también influyen en su desplazamiento, así como su condición de discapacidad en caso sea el caso.

Al respecto, la Marina de Guerra del Perú (MGP) en su Norma Técnica Hidrográfica N°50 señala que los tsunamis locales, originados frente a la costa, su tiempo de arribo en la primera ola sería entre 20 – 30 minutos; además, en la carta de inundación de Supe

Puerto se aprecia la llegada de la primera ola luego de 15 minutos de arribo de ocurrido un escenario sísmico de 9.0 Mw; por lo tanto, el tiempo de arribo de la primera ola se considera para la presente investigación como un máximo de 15 minutos.

Por ello, el tiempo de evacuación debe establecerse hasta que la población pueda salir del límite de máxima inundación por tsunami, establecido por la DIHIDRONAV, siendo el análisis del tiempo de evacuación (‘) lo siguiente:

Tabla 43.- Estimación de tiempo de evacuación en minutos hasta la zona de inundación por tsunami

<b>RUTA DE DESPLAZAMIENTO (PUNTO INICIAL)</b>	<b>LONGITUD (M) HASTA LA ZONA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI</b>	<b>PENDIENTE DEL TERRENO (%)</b>	<b>VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO (M/S)</b>	<b>TIEMPO DE EVACUACIÓN (S’)</b>
R1	56.441	15%	0.62	2
R2	143.945	25%	0.34	7
R3	217.303	25%	0.34	11
R4	328.31	25%	0.34	16
R5	394.989	25%	0.34	19
R6	350.832	25%	0.34	17
R7	327.251	10%	0.75	7
R8	392.147	10%	0.75	9
R9	356.512	5%	1.16	5
R10	306.311	5%	1.16	4
R11	658.485	5%	1.16	9
R12	817.204	5%	1.16	12
R13	803.78	5%	1.16	12
R14	1,078.18	5%	1.16	15
R15	1,463.68	5%	1.16	21
R16	145.854	10%	0.75	3
R17	129.093	10%	0.75	3
R18	153.941	10%	0.75	3
R19	283.918	10%	0.75	6
R20	371.121	10%	0.75	8
R21	250.103	10%	0.75	6

Fuente: Elaboración propia, 2024

Del análisis realizado, el tiempo de evacuación (S’) se da hasta el límite de la zona de inundación por tsunami, por lo que fuera de esta distancia, la población debería encontrarse segura.

Para tal efecto, se realiza el diagnóstico sobre las rutas de evacuación y zonas seguras identificadas:

Tabla 44.- Identificación de rutas de evacuación y zonas seguras según tiempo de evacuación

RUTA DE EVACUACIÓN	TIEMPO DE EVACUACIÓN (MINUTOS ')	TIEMPO MÁXIMO PARA EVACUACIÓN (MINUTOS)	DIFERENCIA TIEMPO DE EVACUACIÓN	ZONA SEGURA	NOMBRE DE ZONA SEGURA
R1	2	15	-13	Z1	I.E. José Olaya Balandra
R2	7	15	-8	Z2	Plaza Miguel Grau
R3	11	15	-4	Z2	Plaza Miguel Grau
R4	16	15	1	Z2	Plaza Miguel Grau
R5	19	15	4	Z2	Plaza Miguel Grau
R6	17	15	2	Z2	Plaza Miguel Grau
R7	7	15	-8	Z2	Plaza Miguel Grau
R8	9	15	-6	Z2	Plaza Miguel Grau
R9	5	15	-10	Z2	Plaza Miguel Grau
R10	4	15	-11	Z2	Plaza Miguel Grau
R11	9	15	-6	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R12	12	15	-3	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R13	12	15	-3	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R14	15	15	0	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R15	21	15	6	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R16	3	15	-12	Z2	Plaza Miguel Grau
R17	3	15	-12	Z8	Campo Abierto 3
R18	3	15	-12	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R19	6	15	-9	Z7	Iglesia Jesucristo de los Santos
R20	8	15	-7	Z7	Plaza Miguel Grau
R21	6	15	-9	Z8	Campo Abierto 3

Fuente: Elaboración propia, 2024

Las rutas de evacuación *R1, R2, R3, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R16, R17, R18, R19, R20* y *R21* cumplen con el propósito de evacuar a la población desde el punto inicial tomado como referencia hasta evacuar al límite de máxima inundación por tsunami, cuyo tiempo de evacuación no supera los 15 minutos permisibles.

Las rutas de evacuación *R4, R5, R6* y *R15* superan los 15 minutos permisibles para la evacuación por tsunami hasta por 1, 4, 2 y 6 minutos, respectivamente; lo cual no es determinístico para que la población no evacue por dichas rutas de evacuación, ya que el tiempo podría disminuir con ejercicios de simulacros y fortalecimiento de capacidades para la respuesta, considerando la identificación de población más vulnerable, así como otras alternativas de evacuación como la implementación de estructuras de evacuación vertical.

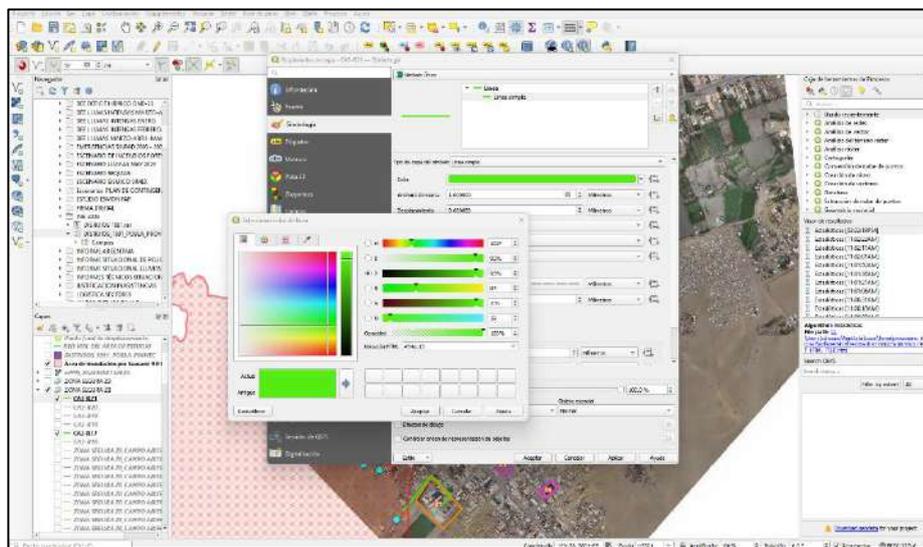
Las zonas seguras identificadas como tal serían las Z1, Z2, Z7 Y Z8, denominadas como “I.E. José Olaya Balandra”, “Plaza Miguel Grau”, “Iglesia Jesucristo de los Santos” y “Campo Abierto 3”, respectivamente.

**m) DISEÑO DEL MAPA DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI**

Una vez identificadas las rutas de evacuación y zonas seguras, se procede al diseño del mapa de evacuación mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para lo cual se utilizan la simbología y valores del software QGIS, dados a continuación:

- Rutas de evacuación (código simbología QGS= #54ec13)

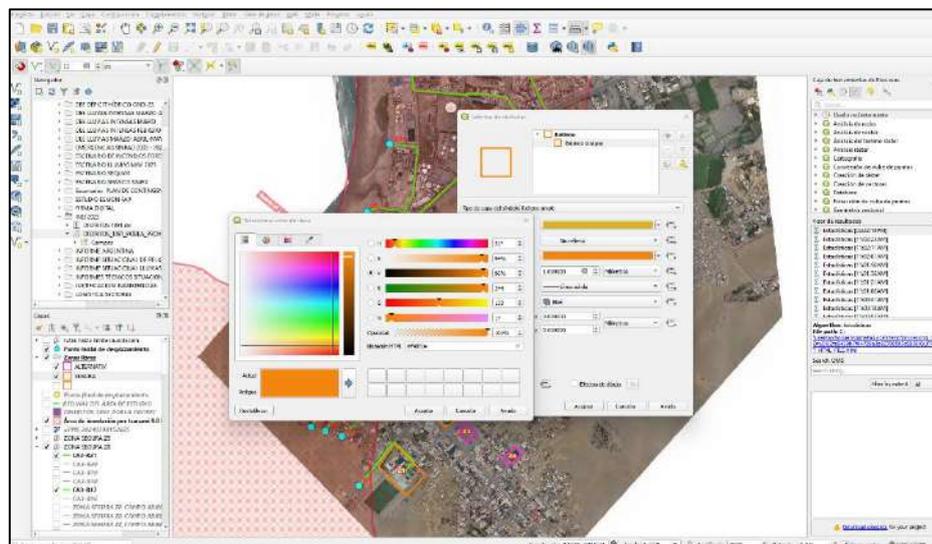
Figura N° 35.- Simbología de diseño en SIG para las rutas de evacuación ante tsunamis



Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS, 2024

- Zonas seguras (código simbología QGIS = #f4850e)

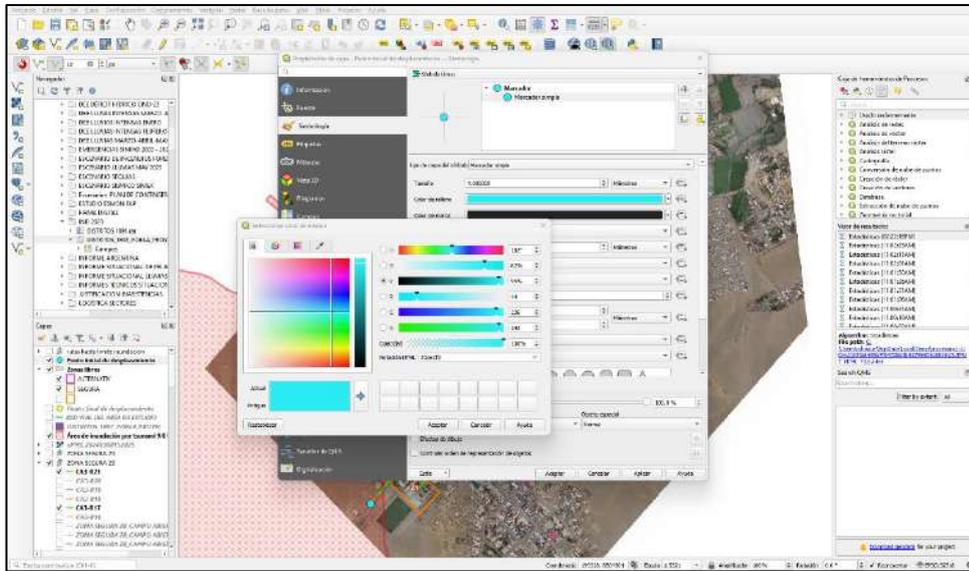
Figura N° 36.- Simbología de diseño en SIG para las zonas seguras ante tsunamis



Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS, 2024

- Punto de inicio de evacuación (código de simbología QGIS = #2cecf3)

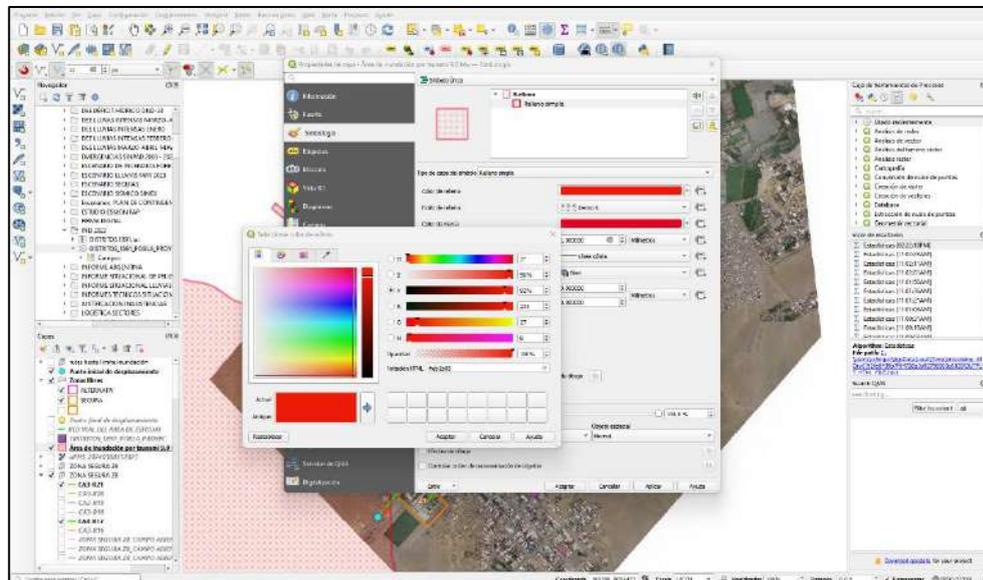
Figura N° 37.- Simbología de diseño en SIG para los puntos de inicio de evacuación



Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS, 2024

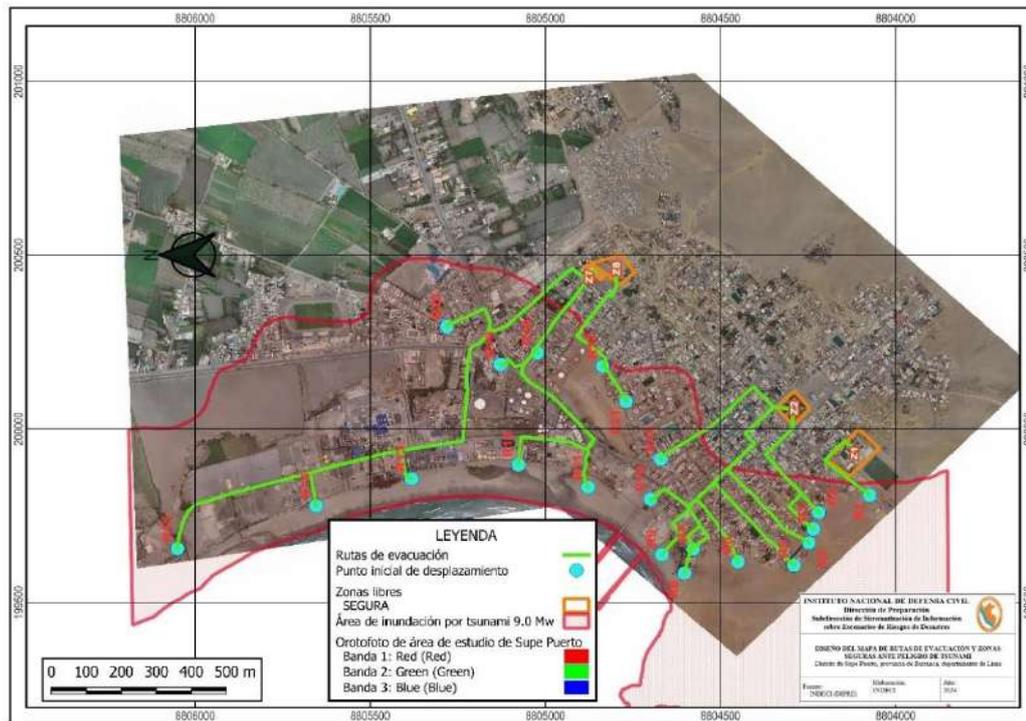
- Zona inundable por tsunami (código de simbología QGIS = #eb1b08)

Figura N° 38.- Simbología de diseño en SIG para zona inundable por tsunami



Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS, 2024

Figura N° 39.- Mapa de rutas de evacuación y zonas seguras por tsunami en Supe Puerto



Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS, 2024

#### 4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Las rutas de evacuación y zonas seguras propuestas evaluaron la accesibilidad y necesidad de desplazamiento para aquellas personas en condición de vulnerabilidad, como los niños, adultos mayores y personas con discapacidad. Para lo cual se tomó en consideración el área de inundación de la carta de inundación por tsunami de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DIHIDRONAV), sin considerar o contrastar la existencia de otros estudios relacionados como Evaluaciones de Riesgos (EVAR), antecedentes históricos o estudios pasados relacionados a tsunamis en el área de estudio.
- Se ha cubierto adecuadamente toda la playa del distrito de Supe Puerto, que, de existir áreas que no fueron cubiertas por la ortofoto, es necesario complementar el levantamiento a partir del mismo procedimiento y parámetros ajustado al drone Phantom 4 RTK o imagen satelital PeruSAT-1, siendo preciso señalar que cualquier omisión afecta la efectividad del método para identificar las rutas de evacuación y zonas seguras en caso de un tsunami. Asimismo, se debe considerar que esto podría estar relacionado a la falta de acceso a ciertas áreas privada, condiciones climáticas adversas o problemas con los límites catastrales oficiales.

- El uso de información geoespacial sobre la población y vivienda proviene de fuentes oficiales como el INEI, la cual brinda información a nivel de manzana catastral sobre grupos etarios, viviendas con acceso a servicios de saneamiento y materiales de construcción en sus estructuras, entre otros; sin embargo, esta se encuentra desactualizada (2017) y se evidenciaron errores de topología respecto a la ortofoto generada por el dron Phantom 4 RTK, cuya información se encuentra ajustada a la red geodésica nacional, siendo necesario que el gobierno local evalué la necesidad de mejorar la información poblacional en base a información catastral o la actualización del censo nacional.
- El proceso para la obtención de la imagen satelital y la ortofoto cumplen con las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para este tipo de cartografía, y una vez obtenida las imágenes, cualquier ajuste en su planeamiento de vuelo o mala calibración del equipo, afectaría la resolución del pixel y por consiguiente las correcciones en planimetría y altimetría, generando distorsión de los resultados, incluso aún, si estos productos cumplen con las especificaciones del IGN, el resultado es distinto; por lo que, los parámetros de vuelo y equipo, así como su método de obtenerlos en el software, deben encontrarse ajustados o calibrados de la misma manera.
- La generación de una base de datos de la red vial a través de la digitalización permite obtener la red vial del área de estudio, siendo indispensable contar con un nivel de precisión de detalle a efectos de identificar si existen barreras o vías bloqueadas por un elemento natural o generado la actividad humana, el software libre cuenta con la propiedad de generar un diseño para el análisis de todas las rutas de evacuación y zonas seguras; siendo importante que el gobierno local identifique las zonas de mayor congestión vehicular o puntos de manejo de materiales peligrosos, en caso sea el caso.
- El punto principal del análisis de ruta más corta está referida a la identificación de los puntos de inicio, desde donde va evacuar la población, y los puntos finales que es donde va refugiarse ante una situación de tsunami, siendo necesario que se considere todo el ámbito del área de estudio para realizar ejercicios de simulacro y

concientización en la población expuesta. Esto permite posteriormente identificar las zonas seguras y estimar los tiempos de evacuación.

- El método para el diseño de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática permite representar de manera precisa (Coeficiente de correlación de Pearson = 1), la relación directa entre la ortofoto generada por un dron Phantom 4 RTK y las mediciones de campo, respecto al ancho y largo de vías, así como cualquier otra medida dentro de los límites de la ortofoto, de manera que permitan estimar el tiempo de evacuación por tsunami, el cual no debe exceder los 15 minutos. En tal sentido, es indispensable que la municipalidad distrital valore si el mapa es lo suficientemente detallado y si permite una rápida comprensión por parte de la población.
- Con el análisis estadístico para estimar el tamaño de muestra de la población expuesta a peligro de tsunami, se obtuvo un total de 150 encuestas dirigidas a la población muestral en el área de estudio de Supe Puerto, a fin de estimar el nivel de preparación ante tsunamis; sin embargo, el análisis no abarca a la población flotante en época de verano donde hay mayor afluencia de personas, esto por ser un valor muy subjetivo y dinámico; sin embargo, el gobierno local debe considerar que en el peor escenario para la evacuación, la concientización y nivel de preparación que deben fortalecer no solo abarca a la población de su jurisdicción, sino también para aquellos que provienen de otros destinos.
- El análisis del EPCI considera cuatro componentes: *i) Información sobre escenarios de riesgos, ii) Capacidades para la respuesta, iii) Capacitación y sensibilización y iv) Condiciones físicas de la vivienda*; este análisis va dirigido para la población con la elaboración de una encuesta de 16 preguntas, 4 preguntas por componente, y basado en el método EPCI, se estima el nivel de preparación del área de estudio. Sin embargo, la toma de encuesta de la muestra para 150 personas no se ha encontrado dirigido para un grupo en específico, sino que fueron tomando los datos de manera aleatoria a las personas residentes en el lugar expuesto a tsunami.

- No se realizaron ejercicios de evacuación ante tsunami con el mapa de evacuación basado en tecnología geomática. Sin embargo, como parte de la investigación se determinó porcentajes de velocidad de movimiento según tipo de pendiente expresada en porcentajes. Por lo cual, se tomó datos para estimar la velocidad de desplazamiento de la población de Supe Puerto, teniendo en consideración la edad, peso y talla, así como aplicando técnicas estadísticas para verificar o contrastar la información idónea.
- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se constituyen como la herramienta fundamental para el desarrollo de la presente investigación, donde se utiliza el software libre de QGIS y no se presentaron inconvenientes al momento del procesamiento de datos primarios y secundarios, y cuenta con la técnica de “*ruta más corta*” para la identificación de la ruta más corta entre un punto inicial y final, permitiendo la generación de la vía de desplazamiento en formato shapefile sin la necesidad de digitalizar; sin embargo, en caso no se respeten los tramos de vías en cruces o intersecciones, la herramienta no tendrá la eficiencia de encontrar la ruta más corta dentro de una red vial.
- La metodología para un diseño de mapa de evacuación considero la densidad poblacional e información de viviendas por grupos etarios según la clasificación del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI. Sin embargo, no se ha considerado colapso de infraestructura durante una evacuación masiva.
- Con el análisis de rutas más cortas para 21 rutas de evacuación que parten desde la zona urbana y la playa, y tiempo de arribo de la primera ola del tsunami, se tiene que 17 rutas de evacuación no superan el tiempo máximo para evacuar que son 15 minutos, mientras que, desde otras 4 rutas de evacuación, el gobierno local debe considerar otro mecanismo para fortalecer la preparación de la población de estos sectores, a fin que puedan mitigar su riesgo de desastres ante tsunami. La presente investigación no contempla la utilización de otros medios para determinar la ruta más optima, considerando que el 79.3% de la muestra desconoce si su localidad cuenta con un mapa o carta de inundación ante tsunami; el 51.3% no tiene conocimiento de que vive en una zona expuesta al peligro por tsunami; el 63.3% desconoce su zona segura interna o externa ante la ocurrencia de un tsunami; 82.7

% no cuenta con un plan familia de emergencias ante tsunami y 78.7% indica que no ha participado en algún simulacro, taller o actividad de capacitación y sensibilización sobre tsunami organizado por la municipalidad, ONG o entidad. En ese sentido, se evidencia que la población no tiene un adecuado entrenamiento para interpretar mapas de evacuación y por consecuencia no puede actuar de forma rápida y segura en caso de materializarse un tsunami.

- El diseño del mapa de evacuación basado en tecnología geomática no debe ser considerado como un medio estático, se debe actualizar a medida que la información sobre el mapa de peligro, población o viviendas cambia; asimismo, el presente mapa de evacuación debe ser utilizado solo con fines académicos, más no para la toma de decisiones, toda vez que la alta rotación de personal de las oficinas de gestión de riesgo de desastres o defensa civil, deben utilizar las disposiciones o lineamientos aprobados por el ente rector del SINAGERD; por lo que esta información se constituye como una herramienta referencial sustentada técnica y científicamente para contribuir en la generación de normas o mecanismos de la gestión del riesgo de desastres. debido que el mapa de evacuación solo sea utilizado como un fin académico.

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- La experiencia internacional sugiere que las medidas estructurales no siempre reducen o mitigan el riesgo de desastres en la población y medios de vida frente la ocurrencia de un tsunami; por lo que resulta preferible la utilización de métodos de planificación como los sistemas de alerta temprana o planes de evacuación (medidas no estructurales).
- Los mecanismos generadores de tsunamis señalan como ocurrencia de un sismo de gran magnitud superior a 7.0 Mw y profundidad menor a 60 km, como principal fuente de generación, seguido de las erupciones volcánicas y deslizamientos, donde el tsunami puede llegar a tierra firme en un promedio de 15 minutos luego de ocurrido el evento desencadenante.
- La investigación para el diseño de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática es de tipo descriptiva porque resalta la descripción cualitativa sobre la aplicación y potencialidad de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), imágenes satelitales y fotogrametría con drone, sujeta al nivel de conocimiento sobre las ventajas, limitaciones y características empleadas; y de tipo no experimental por ser información analizada y contrastada con datos de campo.
- La información sobre la zona inundable por tsunami debe encontrarse sustentada con información técnico-científica, para lo cual se establece para la presente investigación, la utilización de las cartas de inundación por tsunami elaboradas por la DIHIDRONAV de la MGP; sin embargo, para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras ante tsunami, también se pueden utilizar los estudios de Evaluación de Riesgos (EVAR) bajo los procedimientos técnicos del CENEPRED, y los estudios sobre tsunamis elaborados por el CISMID-UNI.
- La información cartográfica cuenta con datos georreferenciados y cumpliendo con las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como los elaborados por la Agencia Espacial del Perú (CONIDA) a través del PeruSAT-1, y la ortofoto generada por drone Phantom 4 RTK, obtenido como parte de un servicio de fotogrametría para el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

- Las técnicas geomáticas que utilizan los Sistemas de Información Geográfica – SIG, la información satelital y fotogrametría con drone, permiten el diseño de un mapa de evacuación ante tsunamis a escala adecuada, permitiendo la medición adecuada de las rutas de evacuación y zonas seguras para obtener los tiempos de evacuación.
- El análisis estadístico de comparación entre las mediciones de ortofoto y mediciones en campo obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 1, lo que implica una relación directa entre ambas mediciones y permite establecer que cualquier medición sobre la ortofoto, replica una medida en campo a escala.
- Se identificó una población muestral de 150 personas para una población expuesta a tsunami de 3,785 habitantes, de las cuales el 49% son hombres y 51% mujeres, la cual cuenta con un error de 9% y un 90% de confianza cuyo valor Z de confianza se establece como 2.25.
- El nivel de preparación ante tsunami de la población en el área de estudio de Supe Puerto, estimado a partir del Índice de Capacidad de Preparación ante Emergencias (EPCI, por sus siglas en inglés), resulta Muy Bajo.
- Se analizaron 21 rutas de evacuación mediante la técnica de “ruta más rápida” del software libre de SIG, la cual considero como punto inicial un ámbito expuesto a tsunami y punto final una zona libre.
- El análisis de ruta más rápida permitió identificar 4 zonas seguras en el ámbito de estudio, debido a que cumplen con el menor tiempo de desplazamiento para la evacuación de la población expuesta.
- El mapa de evacuación se constituye como una herramienta para la gestión del riesgo de desastres considerando las competencias en gestión reactiva del gobierno local, siendo fundamental utilizar o mejorar los parámetros brindados para la generación de la ortofoto o el diseño del mapa de evacuación en el software libre de SIG.
- Las vías principales podrían verse obstruidas u obstaculizadas durante el proceso de evacuación, debido al probable colapso que tendrían las viviendas colindantes

en mal estado de conservación, sumado a la antigüedad de las estructuras y construcciones informales.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- La presente investigación se basa en la formulación de un método para la elaboración de un mapa de evacuación basado en tecnología geomática, el cual permite mejorar los procesos y estrategias para garantizar la seguridad de las personas durante situaciones de alerta o alarma frente a tsunamis, por lo cual la implementación de un mapa de evacuación debe considerar los procedimientos brindados por la utilización de software libre y trabajo de campo, adaptando los valores a la realidad geográfica de estudio.
- La forma en que las personas reaccionan ante situaciones de emergencia afecta significativamente la eficiencia de un proceso de evacuación, que, siendo el nivel de preparación en Supe Puerto de Muy Bajo, resulta indispensable que el gobierno local o entidad competente realice simulacros y simulaciones ante tsunamis.
- Se debe considerar en próximos estudios como factores de visibilidad reducida, colapso de infraestructura o el terreno accidentado pueden afectar la evacuación y cómo adaptar las rutas a fin de garantizar la seguridad.
- El gobierno local debe evaluar si el uso de mapas tradicionales (ploteos) aun es efectivo, o si fuese apropiado complementar con mapas digitales o sistemas interactivos que puedan ser de fácil uso y también puedan ser fácilmente actualizados y distribuidos.
- Se debe considerar estudios complementarios a los resultados obtenidos en la presente investigación, como el análisis de evacuación en distintas condiciones climáticas (niebla, neblina, garúa, vientos fuertes y lluvia). Así como, estudios de impacto del mapa de evacuación en la reducción de víctimas.
- La presente investigación sienta la base para la elaboración de una guía o lineamiento de diseño de mapa de evacuación ante tsunami en distritos costeros del Perú, y sea de uso obligatorio para los integrantes de El Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres – SINAGERD.

- Para realizar un adecuado manejo de recursos para la respuesta antes, durante y después de la emergencia ante tsunami, es importante considerar la elaboración de un registro de la cantidad de población flotante y urbana dentro del área de estudio en base a la temporalidad estacional.
- La población tiene un conocimiento limitado de las rutas de evacuación, lo que incrementa la vulnerabilidad de la población ante un evento de tsunami, resaltando la necesidad de programas de educación y simulacros regulares. A fin de sensibilizar e incrementar las capacidades de preparación y respuesta de la población.
- Las zonas seguras identificadas están en su mayoría ubicadas en áreas no inundables, pero algunas podrían presentar peligros adicionales, los cuales deben ser identificados antes de realizar el proceso de implementación.
- Se debe fortalecer la capacidad de los profesionales competentes de la oficina de defensa civil o gestión del riesgo de desastres en temas referentes al manejo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), debido a su potencial y libre acceso.
- Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante tsunami, donde la presente investigación contribuya en la formulación del cuarto componente (capacidad de respuesta), permitiendo mejorar significativamente la capacidad de orientación y comprensión del proceso de evacuación.
- La coordinación entre las autoridades y profesionales de los tres niveles de gobierno es fundamental para la actualización, mejora e implementación del presente método para la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras.

### 5.3 BIBLIOGRAFÍA

- A Hasan; A Mondal. (2007). TSUNAMI VULNERABILITY ASSESSMENT OF THE GROWTH CENTERS OF THE SOUTH EASTERN BANGLADESH. En *Implemented by the National Oceanographic and Mariteme Institute (NAOMI)*.
- Argandoña, B. (2009). MATRIZ DE RIESGO DE TSUNAMI. En *REVISTA MARINA* (págs. 260-267). Chile.
- Cano, V. (2011). *APLICACIÓN DE LOS SIG PARA LA GENERACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN EN CASO DE DESASTRES, COMO AYUDA PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA: “CASO COSTA ORIENTAL DEL LAGO MARACAIBO*. Revista de la Facultad de ingeniería Universidad Central de Venezuela.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *ArcGIS REST Services Directory*. Obtenido de [https://sigrid.cenepred.gob.pe/arcgis/rest/services/Elementos\\_Expuestos/MapServer/2100300](https://sigrid.cenepred.gob.pe/arcgis/rest/services/Elementos_Expuestos/MapServer/2100300)
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (7 de Junio de 2021). *Plataforma del Gobierno Peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/13122-acceder-al-sistema-de-informacion-para-la-gestion-del-riesgo-de-desastres-sigrid>
- Ecuador, S. N. (2021). *MANUAL TECNICO PARA ELABORACIÓN DEL PLAN DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI*.
- H, J. K. (1983). *TSUNAMIS EFECTOS SOBRE LAS COSTAS DE LIMA METROPOLITANA*.
- Hernando Tavera, Isabel Bernal, Cristobal Condori, Mario Ordaz, Antonio Zevallos y Oscar Ishizawa. (s.f.). *EVALUACIÓN DE PELIGROS SISMICOS EN PERÚ*. 2014: Instituto Geofísico del Perú.
- K Satake ; Y Tanioka . (2003). THE JULY 1998 PAPUA NEW GUINEA EARTHQUAKE: MECHANISM AND QUANTIFICATION OF UNUSUAL TSUNAMI GENERATION. *Pure and Applied Geophysics*, 2087-2118.
- Kuroiwa, J. (1983). *TSUNAMIS EFECTOS SOBRE LAS COSTAS DE LIMA METROPOLITANA*.
- Martínez, J. (2023). MODELADO NUMERICO DE TSUNAMI EN EL DISTRITO DE CHORRILLOS.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo; Ministerio de Interior y Seguridad Publica; Ministerio de Energía; Oficina Nacional de Emergencias; Centro Nacional de investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales. (2017). *GUIA DE REFERENCIA PARA SISTEMAS DE EVACUACIÓN COMUNALES POR TSUNAMI*. Chile.
- Rivera, F., Arozarena, I., Chacon, S., & Barrantes, G. (2016). *METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN EN CASO DE TSUNAMI APLICADO A LA COSTA DEL PACÍFICO NORTE Y CENTRAL DE COSTA RICA*. Revista de la Universidad Nacional de Costa Rica.
- Silgado, E. (1987). *HISTORIA DE LOS SISMOS MÁS NOTABLES OCURRIDOS EN EL PERÚ (1513-1974)*. Lima, Perú: Boletín N° 3. Instituto de Geología y Minería.
- Stein; Seth; Okal. (2005). SPEED AND SIZE OF THE SUMATRA EARTHQUAKE. En *NATURE* (págs. 581-582).
- Sulla, W. (2016). METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SISMOS GENERADORES DE TSUANMIS A DISTANCIAS REGIONALES USANDO LA TRANSFORMADA DE WAVELET.

- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishizawa, O. (2014). *EVALUACIÓN DE PELIGROS SISMICOS EN PERÚ*. Instituto Geofísico del Perú.
- Williams, A. S. (2008). Estadística para Administración y Economía. *CENGACE Learning*(10).

Atentamente,

Firmado digitalmente  
**CHRISTIAN CHOQUE AMACIFUENTES**  
ESPECIALISTA EN GRD PARA LA GESTIÓN REACTIVA  
SUB DIR. SISTEMAT. INFORM. ESCEN. RIESGOS DESAST.  
Instituto Nacional de Defensa Civil

**JAKIE STEFANIE ROJAS CUYO**  
ANALISTA EN FENOMENOS METEREOLÓGICOS  
SUB DIR. SISTEMAT. INFORM. ESCEN. RIESGOS DESAST.  
Instituto Nacional de Defensa Civil

“Visto el informe que antecede, y estando conforme con su contenido en todos sus extremos, lo suscribo en señal de conformidad”.

**CARLOS ALEJANDRO PICHILINGUE SIME**  
SUB DIRECTOR DE SIERD  
Dirección de Preparación  
Instituto Nacional de Defensa Civil

cc.: