



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN GEOGRAFÍA

Vulnerabilidad, prevención y resguardo ante la
ocurrencia de tsunamis en el área costera del Cantón
Atacames, Provincia de Esmeraldas, Ecuador

Edgar Fernando Parra Cárdenas

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2021

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido entre el 11 de febrero de 2015 y el 11 de mayo de 2021, bajo la dirección de la Dra. Alejandra Gernaldi y el Dr. Walter Melo

EDGAR F. PARRA C



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../.../..., mereciendo
la calificación de..... (.....)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las autoridades, personal docente y administrativo del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, por permitirme continuar mis estudios académicos en un programa de posgrado de excelencia y darme las herramientas necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

A la Dra. Alejandra Geraldí y el Dr. Walter Melo por las horas dedicadas a la dirección, asesoramiento y supervisión de la tesis de doctorado y por su gran calidad humana, paciencia y profesionalismo.

Al Instituto Geográfico Militar, al Centro de Alerta de Tsunamis del Instituto Oceanográfico de la Armada, Instituto Espacial Ecuatoriano e Instituto Nacional de Estadística y Censos, por la valiosa información entregada para la realización de esta investigación.

A toda mi familia por su amor incondicional y apoyo constante, en especial a mi madre Emma que estuvo pendiente de mí durante todo este tiempo y me acompañó con sus oraciones y bendiciones; mi padre Humberto por todo su cariño y esmero. Su amor me impulsa a ser un mejor hombre, cada día.

Mayo 2021

Edgar F. Parra C.

A Emma y Humberto

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	11
1 Antecedentes	13
2 Justificación	16
3 Localización y caracterización del área de estudio.....	16
3.1 Características Geológicas y Geomorfológicas.....	17
3.2 Características ambientales	27
3.3 Cobertura y uso de suelo	31
3.4 Batimetría del fondo oceánico.....	34
3.5 Conectividad en el Cantón Atacames.....	36
3.6 Condiciones climatológicas.....	39
3.7 Características socioeconómicas	40
4 Hipótesis	43
5 Objetivos.....	43
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO	44
1 Tsunamis: conceptos centrales, funcionamiento y dinámica.....	44
1.1 Tsunami.....	44
1.2 Elementos para describir un tsunami	45
1.3 Tamaño de un tsunami	47
1.4 Clasificación de los tsunamis	49
1.5 Descripción de un evento tsunamigénico.....	50
2 Teoría social del riesgo aplicada a tsunamis.....	53
2.1 La amenaza tsunamigénica como proceso de construcción social.....	53
2.2 La vulnerabilidad y sus distintos enfoques.	54
2.3 El riesgo como categoría de análisis de eventos tsunamigénicos	58
2.4 La geografía aplicada y tecnologías geoespaciales para el estudio de tsunamis.....	59

CAPÍTULO III

ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA TSUNAMIGÉNICA 61

1	Introducción	61
2	Materiales y métodos	62
3	Resultados	65
3.1	Catálogos históricos para la estimación de ocurrencia de eventos tsunamigénicos	65
3.2	Catálogo de eventos más importantes	73
3.3	Caracterización sismogénica de la zona de subducción	75
3.4	Malla de muestreo de eventos sísmicos en la zona de subducción	82
3.5	Cálculo de amplitud de onda máxima y tiempo de arribo.....	83

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD 92

1	Introducción	92
2	Materiales y métodos	93
2.1	Variables consideradas para la vulnerabilidad socioeconómica	94
2.2	Variables consideradas para la vulnerabilidad física	102
3	Resultados	106
3.1	Conjunto etario frágil	106
3.2	Hogares pobres según el método de necesidades básicas insatisfechas (NBI)	113
3.3	Población con discapacidad	119
3.4	Vulnerabilidad Socioeconómica	125
3.5	Accesibilidad Geográfica	131
3.6	Vulnerabilidad global.....	139

CAPÍTULO V

ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE 143

1	Introducción	143
2	Materiales y métodos	143
3	Resultados	144
3.1	Integración de las variables de amenaza y vulnerabilidad	144

CAPÍTULO VI

PROPUESTAS DE RUTAS DE EVACUACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE RUTAS ÓPTIMAS	149
1 Introducción	149
2 Materiales y Métodos.....	150
2.1 Análisis de rutas óptimas de evacuación.....	150
2.2 Señalética para alerta y evacuación de la población	152
2.3 Desarrollo de una aplicación WEB	154
3 Resultados	155
3.1 Rutas de evacuación	155
3.2 Aplicativo WEB	166
3.3 Posibilidad de uso del aplicativo WEB	168
DISCUSIÓN	172
CONCLUSIONES	175

RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación es estudiar las zonas de afectación del cantón Atacames ante la ocurrencia de tsunamis, desde una perspectiva integral, para evaluar el grado de amenaza, vulnerabilidad y estimar el riesgo de desastre; así como también generar alternativas de evacuación de la población afectada.

Se investigaron las principales características de la zona costera del cantón Atacames: geología y geomorfología, características ambientales, cobertura y uso de suelo, la batimetría del fondo oceánico, conectividades, condiciones climatológicas y socioeconómicas. El valor turístico que representa el área de estudio y la amenaza latente de ocurrencia de tsunamis motivaron la realización de esta tesis.

Se estudió el comportamiento de los tsunamis, desde su génesis, propagación y afectación en la costa contigua. Se describieron sus elementos y la clasificación de los tsunamis, su tamaño e intensidad. También se investigó la teoría social del riesgo aplicada a tsunamis para describir la amenaza como un proceso de construcción social, la vulnerabilidad y sus distintos enfoques, además del riesgo como categoría de análisis de eventos tsunamigénicos.

La estimación de la amenaza se realizó a través de la zonificación de áreas inundadas, mediante un proceso que inició con la confección de un catálogo histórico de los eventos más importantes en el litoral ecuatoriano obtenido de bases de datos paramétricas y descriptivas de diferentes autores, asimismo la elaboración de una malla de muestreo de epicentros sísmicos derivada de la caracterización sismogénica de la zona de subducción y el estudio de peligrosidad sísmica disponible; luego el modelamiento de tsunamis a través del Centro de Alerta de Tsunamis del Ecuador para calcular la máxima amplitud de ola y tiempos de arribo.

El análisis de la vulnerabilidad global se realizó a partir de la descripción y delimitación de las variables que se utilizaron como inputs para estudiar la vulnerabilidad socioeconómica y física, tales como conjunto etario frágil, pobreza según el método de necesidades básicas insatisfechas, discapacidad y accesibilidad a un sitio seguro. Este

procedimiento permite destacar las zonas donde la población es más vulnerable por sus características socioeconómicas y físicas. Posteriormente se desarrolló el modelo geográfico multivariable para el análisis espacial de la vulnerabilidad global.

Resultado final de la fase de predicción, se realizó la integración de la zonificación de la amenaza y vulnerabilidad global, ambas variables se combinaron a través de un proceso de álgebra de mapas para la obtención del riesgo de las parroquias del cantón Atacames donde se estimó la probabilidad del impacto de este evento natural en la zona de estudio.

Se desarrolló el análisis de rutas óptimas hacia puntos de encuentro seguros a lo largo de la red vial del cantón Atacames, a la vez se desarrolló un aplicativo WEB para dispositivos móviles y computadoras, con la información de la zona inundada, puntos de encuentro seguros, de manera que sirva como herramienta para la realización de simulacros y evacuación de la población durante la ocurrencia de tsunamis.

ABSTRACT

The objective of this research is to study the areas of involvement of Atacames City in the event of tsunamis, from a comprehensive perspective, to assess the degree of threat, vulnerability and estimate the risk of disaster; as well as generate alternative evacuations for the affected population.

The main characteristics of the coastal area of Atacames City were investigated: geology and geomorphology, environmental characteristics, soil coverage and use, ocean bottom bathymetry, connectivity, climatic and socioeconomic conditions. The tourist value of this area and the latent threat of tsunami occurrence motivated the realization of this research.

The behavior of tsunamis, from their genesis, spread and affectation on the adjoining coast, was studied. Its elements and tsunami classification, size and intensity were described. The social theory of risk applied to tsunamis was also investigated to describe the threat as a process of social construction, vulnerability, and its various approaches, as well as risk as a category of tsunami event analysis.

The estimation of the threat was carried out through the zoning of flooded areas, through a process that began with the preparation of a historical catalogue of the most important events on the Ecuadorian coast obtained from parametric and descriptive databases of different authors, as well as the elaboration of a sampling mesh of seismic epicenters derived from the seismic characterization of the subduction zone and the study of seismic hazards available; then tsunami modeling through Ecuador's Tsunami Warning Center to calculate maximum wave amplitude and arrival times.

The analysis of global vulnerability was based on the description and delimitation of variables that were used as inputs to study socioeconomic and physical vulnerability, such as fragile age set, poverty according to unmet basic needs method, disability, and accessibility to a safe site. This procedure allows to highlight the areas where the population is most vulnerable for its socioeconomic and physical characteristics. Subsequently, the multivariate geographic model for spatial analysis of global vulnerability was developed.

The result of the prediction phase, the integration of the zoning of the threat and global vulnerability was carried out, both variables were combined through a process of algebra of maps to obtain the risk of the parishes of Atacames City where the probability of the impact of this natural event in the study area was estimated.

The analysis of optimal routes to safe meeting points was developed throughout the road network of Atacames City, at the same time a WEB application was developed for mobile devices and computers, with information of the flooded area, safe meeting points, so that it serves as a tool for the realization of drills and evacuation of the population during the occurrence of tsunamis.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los tsunamis son fenómenos que desplazan grandes masas de agua en forma de olas, producto de eventos abruptos ocasionados en el fondo oceánico, tales como terremotos y deslizamientos submarinos. Si bien los tsunamis se originan en el mar, estos eventos afectan a las zonas costeras contiguas, donde generalmente se desarrollan actividades humanas y se evidencia el crecimiento de la población por su potencial económico, comercial, turístico y pesquero, lo que ocasiona el incremento de la susceptibilidad y exposición ante la ocurrencia de tsunamis.

En este contexto, a medida que se produce un aumento de personas afectadas por desastres naturales, la Organización de las Naciones Unidas desarrolló estrategias que se centraron en reducir el riesgo de desastres a través de decisiones y directrices que son vinculantes para todos los países miembros. En la actualidad, la política vigente se expresa en el “Marco Sendai para la reducción de riesgos de desastres 2015-2030”, aprobado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas, celebrada el 14 de marzo de 2015 en Japón. Hasta el 2030 el Marco Sendai tiene como objetivo, la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por estos, y para cumplir este objetivo se establecen 4 esferas prioritarias, de las cuales, la primera prioridad consiste en “Comprender el riesgo de desastres” (Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, 2015)

“Comprender el riesgo de desastres” es una política con directrices a nivel mundial, regional, nacional y local, que busca fomentar la evaluación y conocimiento de los “riesgos de desastres, la vulnerabilidad, la capacidad, el grado de exposición, las características de las amenazas y la posible secuencia de efectos en las escalas social y geográfica pertinentes sobre los ecosistemas”. Dado que la sociedad acciona y reacciona con base en las nociones que tiene en ese momento acerca de un determinado fenómeno o hecho, difundir el conocimiento sobre riesgos de desastres y aplicativos tecnológicos es de vital importancia (Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, 2015).

La ocurrencia de eventos tsunamigénicos en el litoral ecuatoriano es latente, por la presencia de fallas y pliegues frente a sus costas, principalmente en la zona de subducción Circum-Pacífico conocida también como Anillo de Fuego del Pacífico, fuente de eventos sísmicos abruptos donde según los registros históricos se originaron tsunamis de diferentes intensidades que afectaron la zona costera de Ecuador.

Lin y Pathranarakul (2006) señalan que existen 4 fases de la gestión de riesgos de desastres: predicción, alerta, socorro, rehabilitación (a corto plazo) y reconstrucción (a largo plazo); precisamente en la fase de predicción se determina la necesidad de la identificación y evaluación del riesgo, como punto de partida para adoptar medidas proactivas y reactivas para mitigar o reducir los efectos de amenazas latentes. De esta forma, la manera de enfrentar estos eventos adversos conlleva la necesidad de desarrollar estudios que le permitan a la población afectada y a las instituciones gestoras del riesgo de desastre, actuar de manera efectiva: antes, durante y después de la ocurrencia de un tsunami. En particular, con estudios de predicción de la amenaza tsunamigénica para evaluar su impacto, análisis de la vulnerabilidad de la zona expuesta, estimación del riesgo de desastre y actividades de respuesta que incluyen la evacuación y asistencia a la población afectada.

Con este antecedente, se propone analizar el comportamiento de la amenaza y sus posibles afectaciones, comprender la exposición y fragilidad de la población y con estas variables, estimar el riesgo de desastre realizando un estudio que aborde de manera integral la ocurrencia de un evento tsunamigénico en la zona costera del cantón Atacames, que se constituye en uno de los principales puntos de encuentro del Ecuador por su valor turístico y su cercanía con la ciudad de Quito. Asimismo, se propone desarrollar alternativas para la evacuación de la población y asistencia inmediata para prevenir pérdidas humanas y entregar las herramientas necesarias para la toma de decisiones a las instituciones encargadas de la gestión del riesgo de desastres.

1 Antecedentes

A escala global el avance del conocimiento sobre tsunamis se viene desarrollando en función de la investigación de eventos catastróficos acontecidos, principalmente, en el siglo XXI. El esfuerzo de la comunidad científica se ha concentrado en mejorar la precisión, dentro de la fase de predicción de la amenaza, de eventos tsunamigénicos latentes, la estimación de la vulnerabilidad y exposición, así como la construcción de resiliencia en las comunidades. Conviene subrayar que en el siglo XXI la mayor parte de eventos tsunamigénicos de grandes magnitudes fueron originados por sismos en el fondo oceánico que afectaron mayormente a países como Indonesia, Samoa, Chile y Japón y tan solo un evento importante, derivado del deslizamiento del flanco de un volcán en erupción en Indonesia.

Hasta la fecha se evidencia que en su mayor parte los trabajos científicos se concentran en el estudio de la amenaza tsunamigénica, que mediante el desarrollo de mapas de peligrosidad y modelos matemáticos predicen la amplitud de ola, tiempo de llegada y altura de la inundación. Estudios como los de Chandrasekar et al. (2006) en las costas de la India, se desarrolló como resultado del tsunami de 2004 que fue originado por un sismo de magnitud 9.3 en la escala de Richter en las islas de Java y Sumatra; en este caso la presencia de las desembocaduras de los ríos y de estuarios, así como la baja altura del perfil costanero acrecentaron los efectos del tsunami sobre el litoral. Para este tipo de estudios, a parte del modelamiento del tsunami, se requiere disponer de un modelo digital del terreno de alta resolución espacial que permita definir adecuadamente la configuración del relieve y por lo tanto las zonas inundadas.

Fritz et al. (2011) analizaron la afectación en distintos puntos de las islas del archipiélago de Samoa y de Niuas por el tsunami de 2009 que fue ocasionado por un terremoto de magnitud 8.1 en la escala de Richter al sur de las islas Samoa y que produjo la muerte de 189 personas. Encontraron que la máxima altura del agua sobre la superficie fue entre 17 y 22 metros, además se destaca que los ejercicios de evacuación practicados, el año anterior al evento, limitaron el número de pérdidas humanas en Samoa y, por consiguiente, es importante realizar el análisis de alternativas de evacuación para la población. Asimismo, Mohammad et al. (2020) realizaron el modelamiento numérico de la fuente del evento, en

función de las características de las ondas y la energía liberada del tsunami de 2018 que fue ocasionado por el colapso del flanco del volcán Anak Krakatoa durante su erupción y que causó la muerte de 437 personas en Indonesia.

En estudios para estimar los diferentes tipos de vulnerabilidad en cuanto a la fragilidad, susceptibilidad o exposición de la zona, Papatoma et al. (2003) analizaron la vulnerabilidad de Herakleio, Creta ante eventos tsunamigénicos. Se emplearon variables sociodemográficas, altura de las edificaciones y zonas de comercio a través de un sistema de información geográfica (SIG), como insumo para determinar las necesidades de asistencia inmediata, el diseño de medidas de mitigación y fortalecimiento de la resiliencia.

Reese et al. (2007), realizaron el estudio de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones y nivel de exposición a la amenaza en Indonesia, por efecto del tsunami de 2006. El mismo que fue originado por un terremoto de magnitud 7.7 en la escala de Richter a 230 kilómetros de la Isla Navidad (Indonesia), donde se concluye que el nivel de daño estaba relacionado con la profundidad de la inundación y la tipología constructiva de las edificaciones.

En Japón, Shibayama et al. (2012) analizaron las implicaciones para la gestión de riesgos naturales, ante la ocurrencia del tsunami de Tohoku en 2011, que fue originado por un terremoto de magnitud 9.0 en la escala Richter. Se resaltan que los métodos de infraestructura física para mitigar los efectos del tsunami no fueron suficientes para reducir el riesgo de desastre y que estos deben ser complementados con métodos de planificación tales como planes de evacuación.

Los estudios donde se llega a estimar el riesgo de desastre son menos numerosos. Koshimura y Kayaba (2010), proponen un marco metodológico para estimar el riesgo de desastre en Indonesia integrando modelos numéricos, teledetección y sistemas de información geográfica para encontrar el impacto sobre las edificaciones. Asimismo, a partir de la probabilidad de ocurrencia de tsunamis, Lagos (2012) propone una metodología para la zonificación del riesgo en el curso inferior del estuario del río Maullín (Chile) mediante un modelo geográfico multivariable y empleando funciones matemáticas de estandarización y ponderación.

A escala nacional Contreras (2013) realizó un estudio histórico de los eventos tsunamigénicos de campo cercano y lejano que afectaron al Ecuador y obtiene una base de datos de 58 tsunamis desde 1586 al 2012, concluyendo que la mayoría de los tsunamis destructivos fueron generados en la zona de subducción frente a las costas del litoral continental. Cruz de Howitt et al. (2005) realizaron el análisis de amenaza tsunamigénica de 15 poblaciones de la provincia de Esmeraldas y 22 de Manabí, donde concluyen que las poblaciones que habitan en las cercanías a playas tendidas o de poca pendiente están en muy alto riesgo de tsunami.

Las investigaciones de tsunami en el cantón Atacames son escasas. Ioualalen et al. (2010) realizaron un estudio de la probabilidad de ocurrencia de eventos tsunamigénicos frente a las costas de Atacames, a partir de simulaciones de los eventos sísmicos de 1942 y 1958, además del modelamiento de dos deslizamientos de tierra submarinos en el talud continental (en base al estudio de la batimetría). Los autores concluyeron que las costas de Atacames y Esmeraldas no se verían afectadas por estos dos tipos de eventos debido a la forma cóncava del promontorio de Atacames localizado frente a sus costas que ocasiona que la energía del tsunami se disperse. Sin embargo, posteriormente en este trabajo se verá que la amenaza tsunamigénica es latente en esta zona, si se analiza la zonificación sismogénica del área de estudio y la probabilidad de ocurrencia de terremotos en distintos puntos.

Por otra parte, el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos del Ecuador (SNGR) publicó mapas de rutas de evacuación ante tsunami para las localidades de Tonchigüe, Same, Súa, Atacames y Tonsupa con fines educativos (SNGR, 2020). En los mismos se visualizan zonas de inundación, puntos de encuentro y rutas de evacuación, sin embargo, no existen documentos técnicos que fundamenten los análisis de la amenaza, ni de rutas óptimas.

La escasez de estudios con respaldo científico-técnico resalta la importancia de este trabajo para las localidades de Cantón Atacames, un estudio que cumpla con todo el ciclo de predicción del evento y con un enfoque integral: desde el análisis del impacto de la amenaza, el estudio de la vulnerabilidad de la población hasta la estimación del riesgo de desastre y finalmente con una propuesta de evacuación de la población que se encuentra expuesta a la amenaza.

2 Justificación

El 31 de enero de 1906 se produjo un gran terremoto de magnitud 8.8 en la escala de Richter en el Océano Pacífico, frente a las costas de la provincia de Esmeraldas, el mismo se encuentra catalogado entre los 10 más fuertes a nivel mundial (USGS, 2015). Este terremoto produjo un tsunami de grandes proporciones que se presume provocó la muerte entre 500 y 1500 personas. Fue observado a largo de las costas de Centro América hasta el Norte de San Francisco y el Oeste de Japón (Lander, J & Lockridge, P, 1989). Según Contreras (2013), desde este evento se han ocasionado siete tsunamis destructivos que afectaron el litoral continental originados en la zona de subducción donde convergen la placa de Nazca con la placa Sudamericana.

La zona de estudio comprende el área costera del cantón de Atacames. Esta unidad administrativa tiene una población que supera los 41000 habitantes, siendo su cabecera cantonal la Parroquia de Atacames, con una población de más de 11000 habitantes. Su costa se extiende a lo largo de 10 km en dirección Sudoeste-Noreste y está limitada por un relieve colinado con alturas cercanas a los 130 metros. En las playas de Atacames existe abundante afluencia de turistas por su cercanía con la ciudad de Quito.

Si bien se cuenta con estudios históricos sobre la ocurrencia de tsunamis, la localidad de Atacames no cuenta con estudios que evalúen la amenaza, vulnerabilidad, riesgo de desastre y prevención de la población. Por tal motivo, la presente investigación pretende realizar un estudio integral ante la ocurrencia de tsunami, que permita a las instituciones gestoras del riesgo planificar los procesos de preparación, respuesta, recuperación y rehabilitación de las zonas afectadas.

3 Localización y caracterización del área de estudio

El cantón Atacames tiene un área de 509,95 km², se encuentra ubicado al noreste de la República del Ecuador y forma parte de la provincia de Esmeraldas, limita al Norte y Oeste con el Océano Pacífico, al Este con el cantón Esmeraldas (capital de la provincia de Esmeraldas) y al Sur con el cantón Muisne. Administrativamente se encuentra dividido en

cuatro parroquias: Atacames (cabecera cantonal), Tonsupa, Tonchigüe, Súa y La Unión (Fig. 1).

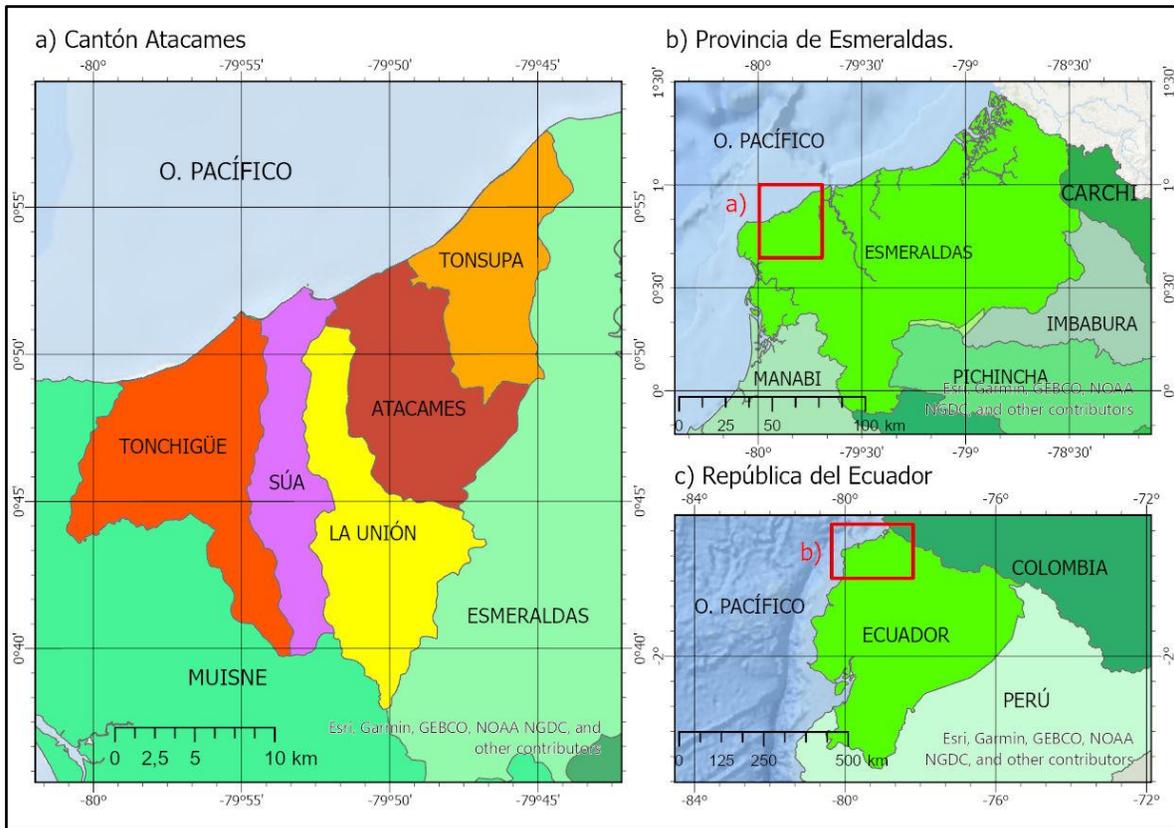


Fig. 1. Ubicación del Cantón Atacames (zona de estudio). Fuente: Elaboración propia.

3.1 Características Geológicas y Geomorfológicas

3.1.1 Unidades genéticas

Las grandes unidades geológicas y geomorfológicas de la zona de estudio en su mayor parte se originaron por procesos tectónicos erosivos, derivados del movimiento de la corteza terrestre y procesos erosivos en zonas de altitud. Además de éste, otras unidades geológicas se originaron por los siguientes procesos genéticos: estructural, denudativo, erosivo, deposicional o acumulativo, fluvio lacustre, marino y fluvio marino (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 1; Fig. 2).

UNIDAD GENÉTICA	DESCRIPCIÓN
Tectónico erosivo	Obedece a un proceso tectónico erosivo que pertenece a levantamientos tectónicos que formaron unidades geomorfológicas de distintos desniveles relativos y pendientes, que mantienen facciones reconocibles de las estructuras originales, no obstante, de haber sido afectadas en diferentes grados por los procesos erosivos
Estructural	Se originó por un proceso estructural que obedece al nivel de buzamiento de los estratos que están relacionados a eventos de sedimentación, plegamiento y tectónica. Se considera que estas geoformas evolucionaron sobre los sustratos volcánico sedimentario- sedimentario erosivo
Denudativo	Corresponden a procesos de desgaste de la superficie terrestre. Las principales unidades geomorfológicas derivadas de este proceso corresponden a coluviones y coluvio aluviales, las cuales se originaron por efecto de la gravedad en combinación con el transporte de aguas
Erosivo	Obedece a formas surgidas por el depósito de material, luego de lo cual se origina un proceso de erosión del material parental o del depósito y ha conformado unidades nuevas, con un distinto grado o nivel de desgaste de la roca
Deposicional o acumulativo	Se refiere a formas originadas por el depósito de material que fue transportado por diferentes agentes erosivos tales como el agua o el viento, los cuales también se constituyen en medio de acarreo
Fluvio lacustre	Obedece al transporte constante de material de río con un alto grado de materia orgánica, posteriormente son depositados en lagos y lagunas
Marino y fluvio marino	Se originan en la zona intermareal por acción mixta de sedimentos marinos y litorales, por efecto de las corrientes fluviales, oleaje y mareas. Predominan las arenas finas y limo arcillosos y pueden contener materia orgánica y carbonatos

Tabla 1. Unidades genéticas del cantón Atacames. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

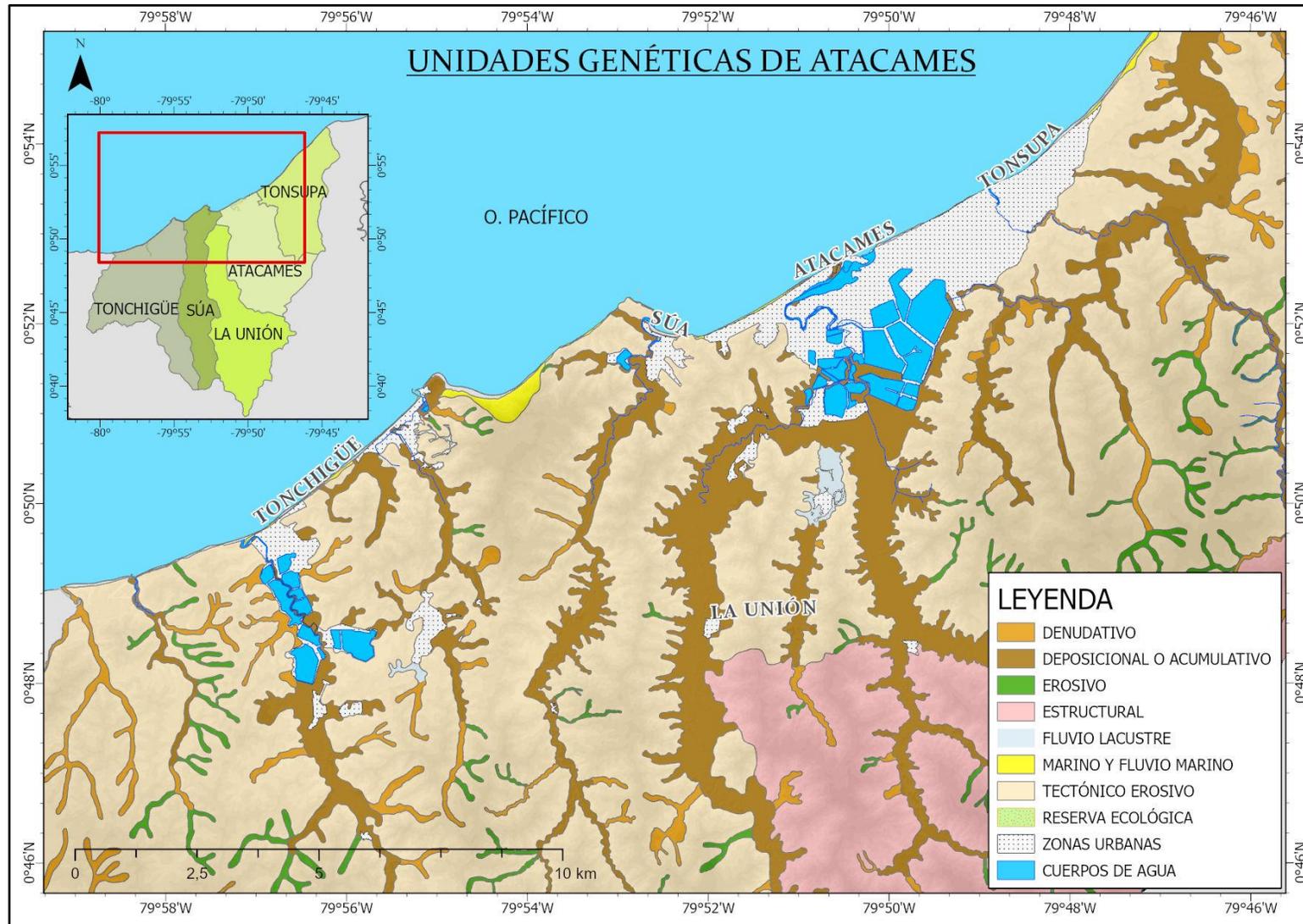


Fig. 2. Unidades genéticas del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

3.1.2 Unidades geológicas

En la zona de estudio existen 4 formaciones geológicas y 6 tipos de depósitos, la presencia de la formación Onzole es predominante con 296,07 km² que equivale al 58,05% de la superficie total. Está conformada por limolitas azules y lutitas con escasa presencia de areniscas y conglomerados, esta formación sobreyace a la formación Angostura que a su vez está constituida por areniscas de grano grueso a fino combinadas con limolitas y conglomerados basales (de una discordancia) con guijarros de material volcánico (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 2; Fig. 3).

UNIDAD GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
Formación Angostura	Está conformado por areniscas de grano grueso a fino intercalado con limolitas y conglomerados basales con guijarros de material volcánico.
Formación Onzole	Constituida por limolitas azules (amarillo- café cuando están meteorizadas) y lutitas con escasa intercalaciones areniscas y conglomerados.
Depósitos Fluvio Lacustres	Se origina del transporte constante de material de río, los depósitos están conformados por sedimentos de grano fino con predominancia de limos, arcillas y materia orgánica dando lugar a suelos muy blandos.
Depósitos Coluviales	Constituido por clastos angulares heterogéneos en matriz arcillosa o limo arcillosa, mal clasificados, generalmente de tamaño grueso, sin estratificación
Depósitos Coluvio Aluviales	Se presentan aisladamente y están relacionados con desprendimientos de material debido al arrastre y depositación de los ríos. Está constituido por materiales heterogéneos angulares a subangulares de tamaño variable.
Depósitos Aluviales	Están constituidos por material detrítico, normalmente su tamaño varía desde arcillas hasta gravas y bloques.
Depósito Fluvio Marinos	Corresponden a los depósitos actuales de interacción marino fluvial, que se forman directamente en la franja costera, influye la acción de corrientes fluviales del oleaje y mareas. Predominan arcillas, limos y arenas de grano fino.
Depósito Marinos	Se forman en la zona intermareal por la acción mixta de aportes sedimentarios marinos y litorales, se conforman de arenas finas y limo arcilloso, pudiendo contener abundante materia orgánica y carbonatos.

Tabla 2. Unidades geomorfológicas del cantón Atacames. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

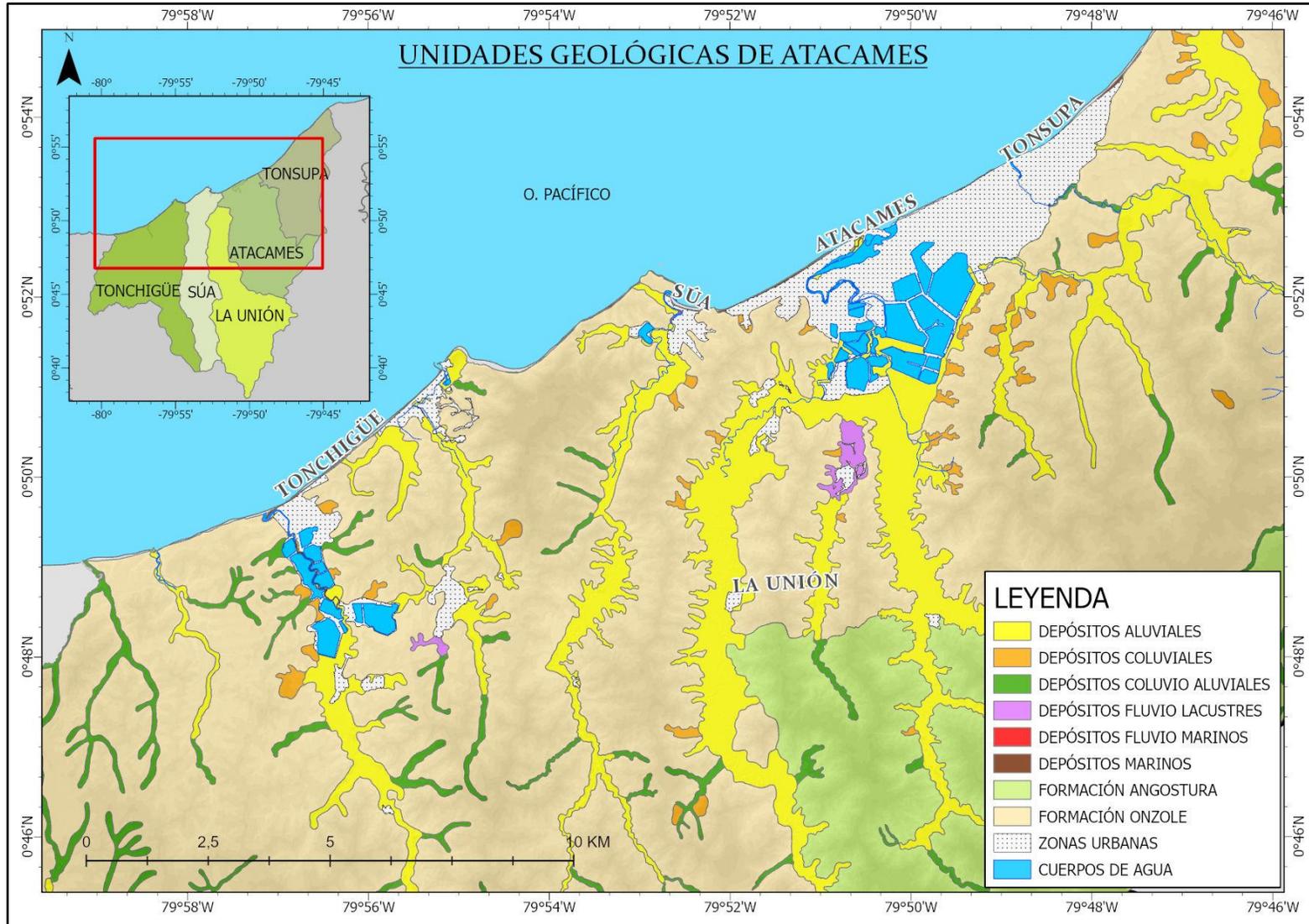


Fig. 3 Unidades geológicas del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

3.1.3 Unidades geomorfológicas

La mayor parte de la zona de estudio presenta un relieve colinado alto con pendientes que varían entre pendientes media, media fuerte y fuerte, desniveles relativos entre 100 y 200 metros y cimas agudas y redondeadas, que representan 180,73 km² de la superficie total con un 35,44%. Otras áreas se reparten 32 unidades geomorfológicas (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 3; Figs. 4 y 5).

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	GEOLOGÍA
ORIGEN TECTÓNICO EROSIVO		
Relieve montañoso	El relieve presenta un desnivel relativo > a 300 m, de cima aguda, pendiente fuerte (40 a 70 %). Presentan una extensión de 267,47 ha, lo cual equivale al 0,52 % de la superficie total del área de estudio	Formación Viche
Relieve colinado muy alto	Corresponden a relieves con cimas agudas y redondeadas, con pendientes que varían de media (12 a 25 %), media a fuerte (25 a 40 %) y fuerte (40 a 70 %), con desnivel relativo de 200 a 300 m. Estas geoformas ocupan una superficie aproximadamente 3085,41 ha, correspondiente al 6,05 % de la superficie total del área de estudio	Formación Onzole
Relieve colinado alto	Corresponden a relieves con pendientes que varían de media (12 a 25 %), media a fuerte (25 a 40 %) y fuerte (40 a 70 %), con cimas agudas y redondeadas, cuyos desniveles relativos oscilan de 100 a 200 m. Ocupa una superficie aproximada de 18073,18 ha, equivalente al 35,44 % de la superficie total del cantón.	
Relieve colinado medio	Los relieves tienen un desnivel relativo de 25 a 100 m, presentan en su mayoría cimas agudas y redondeadas, la pendiente varía desde media (12 a 25 %), media a fuerte (25 a 40 %) y fuerte (40 a 70 %). Presentan una extensión de 6 459,25 ha, lo cual equivale al 12,67 % del área de estudio	
Relieve colinado bajo	Relieves cuyos desniveles relativos oscilan de 15 a 25 m, con pendientes que varían de Suaves (5 a 12 %), media (12 a 25 %) y media a fuerte (25 a 40 %). Ocupa 524,42 ha. correspondiente al 1,03 % de la superficie total del cantón.	
Relieve colinado muy bajo	Estos relieves se caracterizan por presentar cimas redondeadas, pendiente Suave (5 a 12 %) a media (12 a 25 %), el desnivel relativo entre los 5 a 15 m. Presentan una extensión de 236,03 ha, lo cual equivale al 0,46 % de la superficie total del área de estudio.	
Vertiente abrupta	Son geoformas de pendiente fuerte (40 a 70 %), con desnivel relativo entre 50 a 100 m, con una longitud de vertiente de 50 a 250 m. Las vertientes abruptas ocupan un área aproximada de 0,74 ha	
Cerro testigo	Presentan cimas redondeadas, con pendiente media (12 a 25 %), con desnivel relativo de 5 a 15 m. Esta unidad presenta una extensión de 10,79 ha, lo cual equivale al 0,02 % de la superficie total del área de estudio	
ORIGEN ESTRUCTURAL		

Superficie disectada de mesa	Son superficies con un desnivel relativo entre los 5 a 25 m, presentan cimas planas y redondeadas, con pendientes de Suave (5 a 12 %) a media (12 a 25 %). Presentan una extensión de 1327,29 ha, lo cual equivale al 2,60 % de la superficie total del área.	Formación Angostura
Cornisa de mesa	El relieve presenta un desnivel relativo de 50 a 100 m y una pendiente muy fuerte (70 a 100 %). Presentan una extensión de 13,31 ha, lo cual equivale al 0,03 % de la superficie total del área de estudio	
Vertiente de mesa	Estas vertientes presentan pendientes que varían desde media (12 a 25 %), media a fuerte (25 a 40 %) y fuerte (40 a 70 %), un desnivel relativo que oscila entre 100 a 300 m. De vertiente irregular. Presentan una extensión de 6427,06 ha, lo cual equivale al 12,60 %	
Testigo de cornisa de mesa	Presentan cimas agudas, con pendiente de media a fuerte (25 a 40 %) hasta fuerte (40 a 70 %), un desnivel relativo de 25 a 50 m. Presentan una extensión de 199,15 ha, lo cual equivale al 0,39 % de la superficie total del área de estudio	
Superficie cimera disectada	Son superficies con un desnivel relativo de 25 a 50 m, con pendiente media (12 a 25 %) y presentan cimas redondeadas. Con una extensión aproximada de 2,83 ha, lo cual equivale al 0,01 %	Formación Borbón
Frente de cuesta	Presenta pendiente fuerte (40 a 70 %), desnivel relativo de 200 a 300 m. De vertiente irregular. Con una extensión de 155,64 ha, lo cual equivale al 0,31 % de la superficie total del área.	Formación Angostura
ORIGEN DENUDATIVO		
Garganta	Se origina a partir de cursos de aguas sobre los depósitos sedimentarios de la zona. Presentan pendientes de fuertes (40 a 70 %) a muy fuerte (70 a 100 %), con desnivel relativo de 15 a 25 m. Esta unidad ocupa una extensión de 37,24 ha, lo cual equivale al 0,07 % de la superficie total del área de estudio	Formación Onzole
Coluvión antiguo	Poseen una pendiente media (12 a 25), con desniveles relativos que oscilan entre 5 a 100 m y una longitud de la vertiente que alcanza hasta los 500 m. Ocupan un área aproximada de 291,91 ha, que representa el 0,57 % de la superficie total	Depósitos coluviales
Coluvio aluvial antiguo	Corresponden a geoformas con pendientes que van desde Suave (5 a 12 %) a media (12 a 25%), desniveles relativos que alcanzan los 15 m. Posee un área de 1 701,02 ha, correspondiente al 3,34 % de la superficie total del cantón.	Depósitos coluvio aluviales
Glacis de erosión	Poseen una pendiente de muy Suave (2 a 5%) a Suave (5 a 12%), con desnivel relativo 0 a 5 m y una longitud de vertiente de 50 a 250 m. Ocupan un área aproximada de 15,87 ha, que representa el 0,03 % de la superficie total del cantón.	Depósitos coluviales
ORIGEN EROSIVO		
Barranco	Presentan pendiente fuerte (40 a 70 %), con desniveles relativos que alcanzan los 15 m, y una longitud de vertiente que varía de 15 a 50 m. Ocupan un área aproximada de 1 422,42 ha, equivalente al 2,78 % de la superficie total del cantón.	Formación Onzole. Formación Angostura
ORIGEN DEPOSICIONAL ACUMULATIVO		
Superficie de cono de deyección reciente	Presentan pendiente Suave (5 a 12 %), con desniveles relativos que oscilan entre 5 a 50 m, y una longitud de la vertiente que varía de 50 a > 500 m. Ocupan 29,30 ha de la superficie total del cantón Atacames, lo cual es equivalente al 0,06 %.	Depósitos aluviales
Glacis de esparcimiento	Corresponde a un accidente geográfico que consta de una pendiente muy Suave (2 a 5 %) a Suave (5 a 12 %),	Depósitos coluviales

	generalmente formadas por la depositación de las partículas finas de una ladera. Ocupan un 238,18 ha, que equivale al 0,47 % del área total.	
Terraza media	Presentan pendiente muy Suave (2 a 5 %), con un desnivel relativo de 0 a 5 m. Con una extensión aproximada de 101,73 ha, lo cual equivale al 0,20 % de la superficie total del área de estudio	Depósitos aluviales
Terraza baja y cause actual	Presentan pendiente plana (0 a 2 %), con un desnivel relativo de 0 a 5 m. Una extensión de 15,40 ha, lo cual equivale al 0,03 % de la superficie total del área	
Terrazas indiferenciadas	Presentan pendiente plana (0 a 2 %) y su desnivel relativo es menor a los 5 m. El área que cubre es de 10,83 ha, que corresponde al 0,02 % de la superficie total del cantón.	
Valle fluvial	Con una pendiente relativamente plana (0 a 2 %) y muy Suave (2 a 5 %), desniveles relativos no superiores a los 5 m, se caracteriza por poseer un río como eje que fluye generalmente en forma sinuosa. La extensión de esta unidad es de 4 369,10 ha, que representa el 8,57 % del total de la superficie del cantón.	
Valle indiferenciado	Presentan pendiente plana (0 al 2 %) y muy Suave (2 al 5 %), desnivel relativo de 0 a 5 m y ocupa una superficie de 561,52 ha, equivalente al 1,10 %.	
ORIGEN FLUVIO LACUSTRE		
Depresión Pantanosa	Presentan pendiente plana (0 a 2 %) con desnivel relativo menor a 5 m. El área aproximada de esta unidad es de 79,51 ha, lo que equivale al 0,16 % de la superficie total del cantón.	Depósitos fluvio lacustres
Depresión Lagunar	Presenta pendiente plana (0 a 2 %) con desnivel relativo menor a 5 m. El área aproximada de esta unidad es de 3,38 ha, lo que equivale al 0,01 % de la superficie total del cantón.	
ORIGEN MARINO Y FLUVIO MARINO		
Acantilado	Presentan pendientes de muy fuerte (70 a 100 %) a escarpada (100 a 150 %) con desniveles relativos que varían desde 25 a 200 m. El área aproximada de esta unidad es de 100,42 ha, lo que equivale al 0,20 % de la superficie total del cantón.	Formación Onzole
Marisma	Presentan pendiente plana (0 a 2 %) con desnivel relativo menor a 5 m. El área aproximada de esta unidad es de 1,78 ha, lo que equivale al 0,003 % de la superficie total del cantón.	Depósitos fluvio lacustres
Playa marina	Presentan pendiente plana (0 a 2 %) con desnivel relativo menor a 5 m. El área aproximada de esta unidad es de 26,67 ha, lo que equivale al 0,05 % de la superficie total del cantón.	Depósitos marinos

Tabla 3. Unidades geomorfológicas del cantón Atacames. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

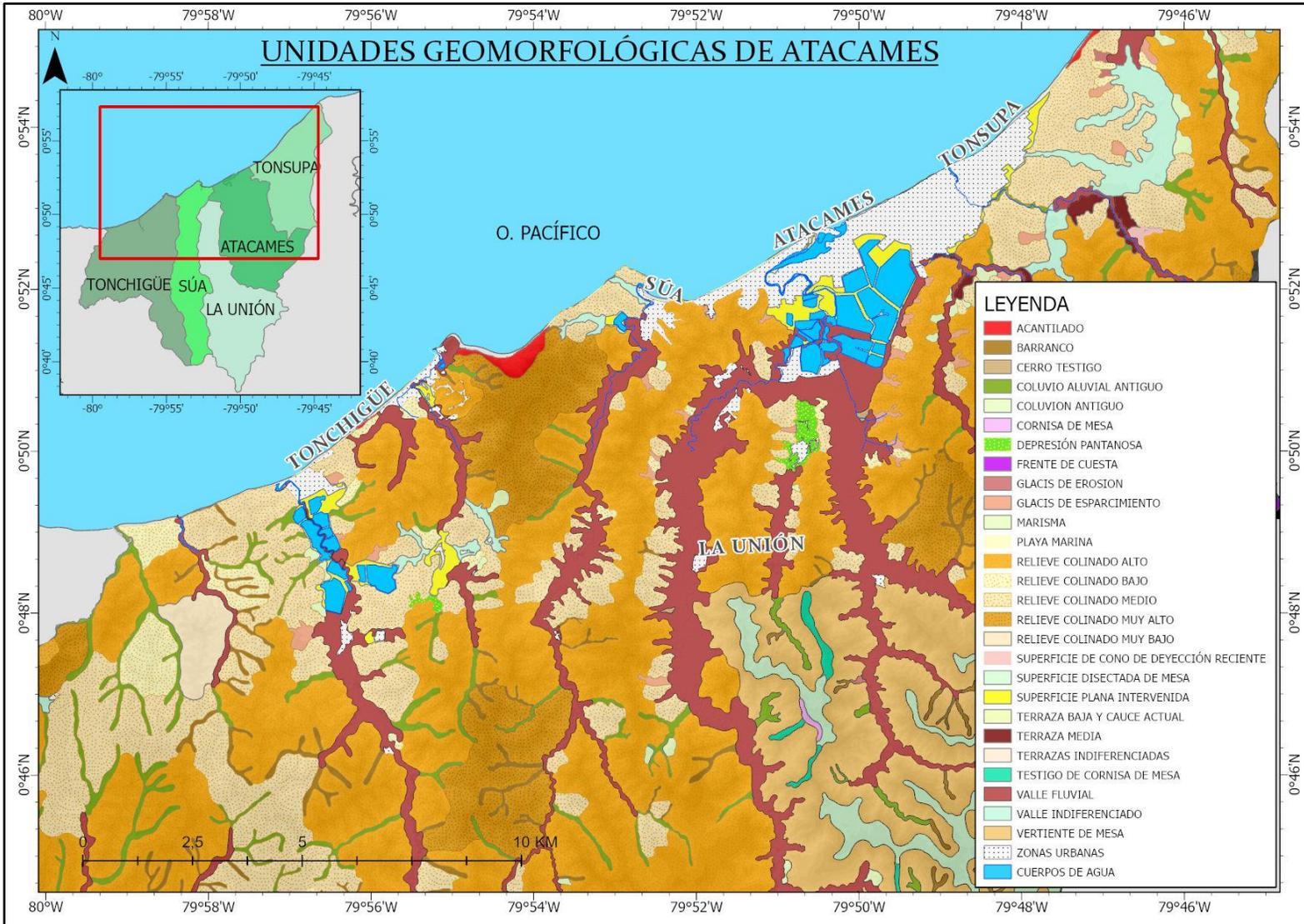


Fig. 4. Unidades geomorfológicas del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

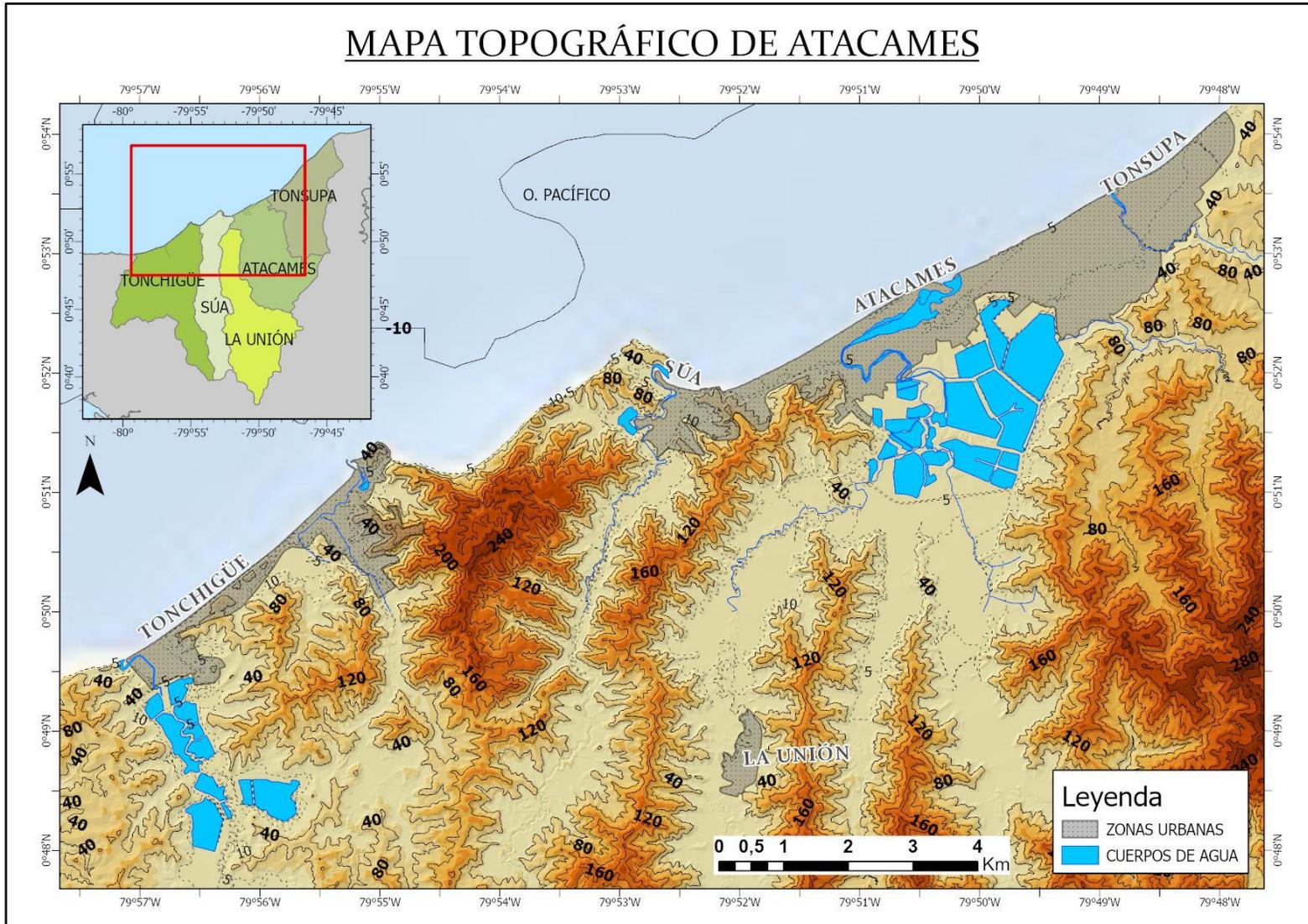


Fig. 5. Mapa topográfico de Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de IGM (2015).

3.2 Características ambientales

Se identifica la presencia de tres tipos de unidades ambientales en el cantón Atacames las cuales han sido definidas por su génesis, factores morfológicos y geológicos, además se consideran factores tales como la vegetación y el uso actual de las tierras. Las unidades ambientales corresponden a relieves estructurales y colinados terciarios, medio aluvial, relieves litorales sedimentarios y fluvio marinos (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 4; Fig. 9).

Se aprecia que la unidad ambiental que predomina en la zona de estudio corresponde a relieves estructurales y colinados terciarios que se encuentran dispuestos de manera homogénea a lo largo de 406,01 Km² (79,61% de la superficie total). Esta unidad se encuentra localizada en superficies con relieves colinados de distintas características y formas, compuestas por suelos arcillosos, coluvianados, poco profundos. La cobertura natural corresponde a pastos y cultivos, asimismo el uso actual de las tierras es, principalmente, la ganadería y en menor medida la agricultura (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 4; Figs. 6 y 9).



Fig. 6. Unidad ambiental de relieves estructurales y colinados terciarios en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La unidad ambiental medio aluvial se extiende a lo largo de 50,58 Km² (9,91% de la superficie total), se encuentra localizada alrededor de los drenajes principales y secundarios de la zona de estudio, por lo tanto, su geología corresponde a depósitos aluviales tales como arcillas, arenas y gravas, mientras que su cobertura vegetal es arbustiva, herbácea húmeda y

cultivos semipermanentes, el uso actual de las tierras es la agricultura y ganadería. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 4; Figs. 7 y 9).



Fig. 7. Unidad ambiental de relieves estructurales y colinados terciarios en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La unidad ambiental relieves litorales y fluvio marinos corresponden a 1,28 Km² (0,25% de la superficie total). Se encuentran dispuestos en relieves desarrollados por acción directa del mar, por lo tanto, su geología corresponde a depósitos marinos, arenas finas y limo arcilloso con abundante materia orgánica y carbonatos. El uso actual corresponde a complejos turísticos y cultivos de ciclo corto (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 4; Figs. 8 y 9).



Fig. 8. Unidad ambiental de relieves litorales y fluvio marinos en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

UNIDAD AMBIENTAL	CARACTERÍSTICAS
Relieves estructurales y colinados terciarios	<ul style="list-style-type: none"> • Conformado por materiales sedimentarios que han sufrido levantamiento, generando formas estructurales y relieves de distintas características • Ecología: bosque húmedo premontano, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo premontano. • Formas de relieve: Relieve montañoso, relieve colinado muy alto, relieve colinado alto, relieve colinado medio, relieve colinado bajo, relieve colinado muy bajo, superficie disectada de mesa, testigo de cornisa de mesa, superficie cimera disectada, vertiente de mesa, garganta, coluvión antiguo, coluvio aluvial antiguo y barranco. • Geología: Formación Angostura, Formación Ónzole, Formación Borbón, Depósitos coluviales y Depósitos coluvio aluviales. • Edafología: Suelos arcillosos, coluvionados, poco profundos, se caracterizan por poseer un pH menor a 7 en la superficie. • Cobertura natural: Pastos y cultivos. • Uso actual de las tierras: Ganadera.
Medio Aluvial	<ul style="list-style-type: none"> • Corresponde a todos los drenajes principales y secundarios • Ecología: Formación arbustiva densa. • Formas del relieve: Terrazas bajas, medias y altas. • Geología: Depósitos aluviales principalmente arcillas, arenas y gravas. • Edafología: Suelos con escaso desarrollo pedogenético (Entisoles) poco profundos, con texturas francas a arenosas, pedregosos y de baja fertilidad. • Cobertura natural: Vegetación arbustiva, herbácea húmeda y cultivos semipermanentes. • Uso actual de las tierras: Agrícola y ganadera.
Relieves litorales sedimentarios y fluvio marinos	<ul style="list-style-type: none"> • Relieves desarrollados por acción directa del mar • Ecología: Matorral seco de tierras bajas de la costa; Bosque deciduo de tierras bajas de la costa; Manglar; Vegetación de playas marinas. • Formas del relieve: Marisma, estuario y playa marina. • Geología: Depósitos marinos, arenas finas y limo arcilloso con abundante materia orgánica y carbonatos. • Edafología: Suelos arcillosos, medianamente profundos y régimen de humedad de ústico a arídico. • Cobertura natural: Vegetales de tierras bajas de la costa, mangle y vegetación herbácea de playa marina. • Uso actual de las tierras: Playas y complejos turísticos y esporádicos cultivos de ciclo corto.

Tabla 4. Unidades ambientales del cantón Atacames. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

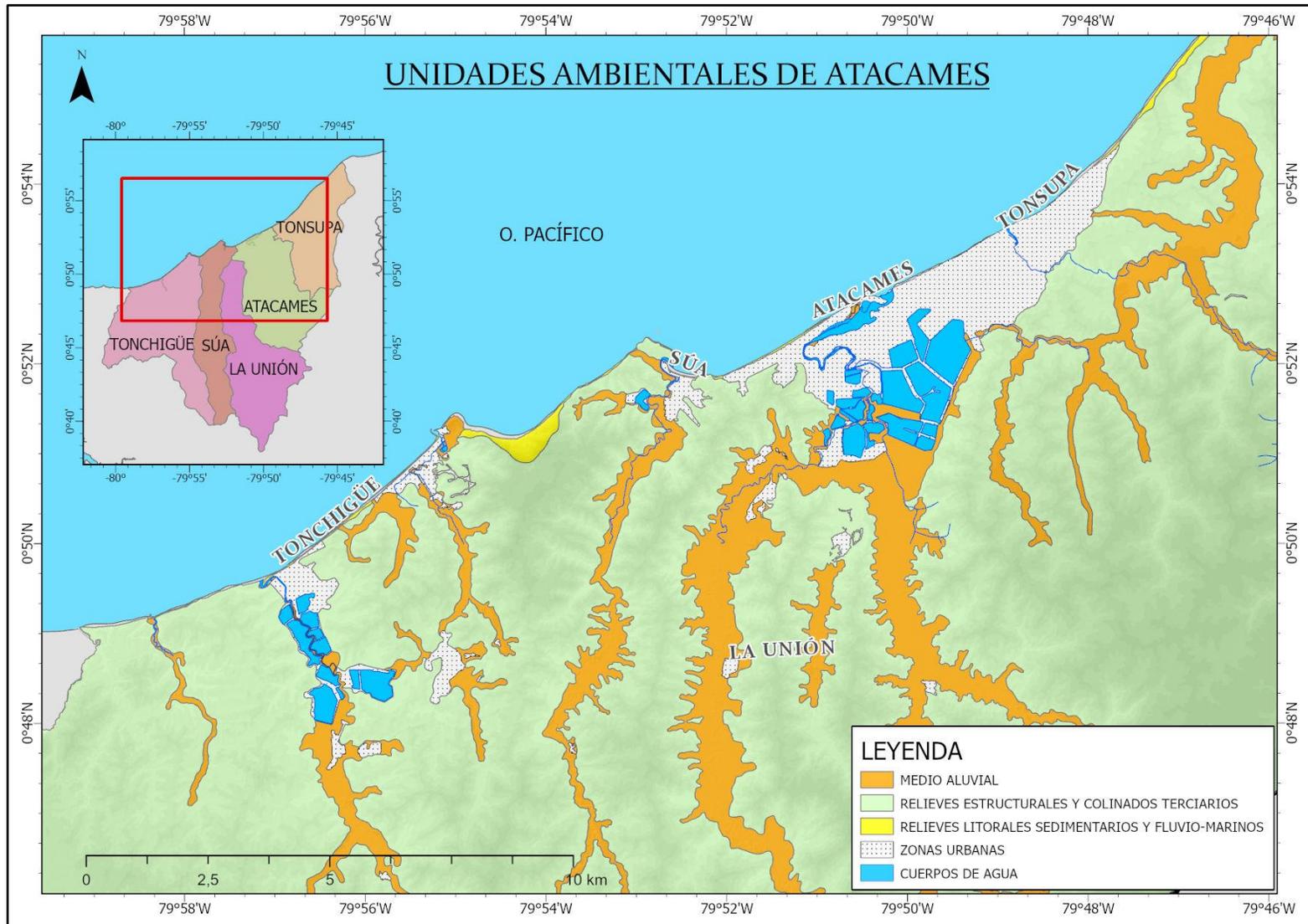


Fig. 9. Unidades ambientales del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

3.3 Cobertura y uso de suelo

La cobertura del suelo de la zona de estudio se encuentra compuesta principalmente por pasto cultivado con fines pecuarios con un 30,55%, la presencia de bosque húmedo poco alterado con un 18,272%, bosque seco poco alterado 5,815%, matorral húmedo muy alterado con el 4,859 y bosque húmedo medianamente alterado con el 4,639%. Asimismo, la cobertura del suelo con fines de uso agrícola, mayormente, corresponde a cultivos de cacao con un 3,829% del total de superficie de la zona de estudio, palma africana con un 0,715% y plátano con un 0,456%. La cobertura del suelo con fines acuícolas corresponde a camaronerías con el 1,21% del total de la zona de estudio. La cobertura de uso antrópico que incluyen centros poblados corresponde al 2,031% y la playa tiene una superficie de 67,05 hectáreas que corresponde al 0,131% (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2016) (Tabla 5; Fig. 10).

COBERTURA	USO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)
Bosque húmedo muy alterado	Conservación y protección	1421,84	2,788
Bosque húmedo medianamente alterado		2365,44	4,639
Bosque húmedo poco alterado		9317,85	18,272
Bosque seco muy alterado		815,06	1,598
Bosque seco medianamente alterado		1264,47	2,480
Bosque seco poco alterado		2965,24	5,815
Manglar medianamente alterado		93,11	0,183
Eucalipto	Protección o producción	1047,37	2,054
Teca		267,67	0,525
Balsa		74,73	0,147
Caña guadua o bambú		20,37	0,040
Reserva ecológica mache chindul	No aplicable	3185,37	6,246
Matorral húmedo muy alterado	Conservación y protección	2477,95	4,859
Matorral húmedo medianamente alterado		792,78	1,555
Matorral húmedo poco alterado		1,37	0,003
Matorral seco muy alterado		1502,36	2,946
Matorral seco medianamente alterado		124,62	0,244
Matorral seco poco alterado		49,87	0,098
Vegetación herbácea de humedal muy alterada		42,10	0,083
Vegetación herbácea de humedal medianamente alterada		5,50	0,011
Vegetación herbácea de humedal poco alterada		78,50	0,154

COBERTURA	USO	SUPERFICIE (Ha)	PORCENTAJE (%)
Vegetación herbácea seca muy alterada	Conservación y producción	820,82	1,610
Vegetación herbácea húmeda muy alterada		665,31	1,305
Cacao	Agrícola	1952,85	3,829
Palma africana		364,68	0,715
Plátano		232,61	0,456
Maíz		67,96	0,133
Limón		54,37	0,107
Maracuyá		24,20	0,047
Arroz		21,48	0,042
Papaya		9,45	0,019
Guanábana		6,62	0,013
Mango		5,60	0,011
Cocotero		2,94	0,006
Yuca		1,86	0,004
Chirimoya		1,23	0,002
Caña de azúcar artesanal		1,11	0,002
Pasto cultivado		Pecuario	15583,76
Pasto cultivado con presencia de arboles	Agropecuario mixto	1307,45	2,564
Misceláneo indiferenciado		18,65	0,037
Cacao-naranja		7,48	0,015
Misceláneo de frutales		1,28	0,003
Área de inundación	Agua	71,95	0,141
Lago/laguna		38,73	0,076
Río doble		30,96	0,061
Embalse		1,16	0,002
Urbano	Antrópico	628,52	1,233
Centro poblado		389,45	0,764
Mina		11,84	0,023
Complejo recreacional		4,69	0,009
Casa de hacienda		1,01	0,002
Camaronera	Acuícola	616,85	1,210
Playa	Tierras improductivas	67,05	0,131
Área erosionada		15,66	0,031
Área en proceso de erosión		12,11	0,024
Área salina		6,50	0,013
Sin información	Sin información	33,78	0,066
TOTAL		50995,53	100

Tabla 5. Cobertura de suelo del cantón Atacames. Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

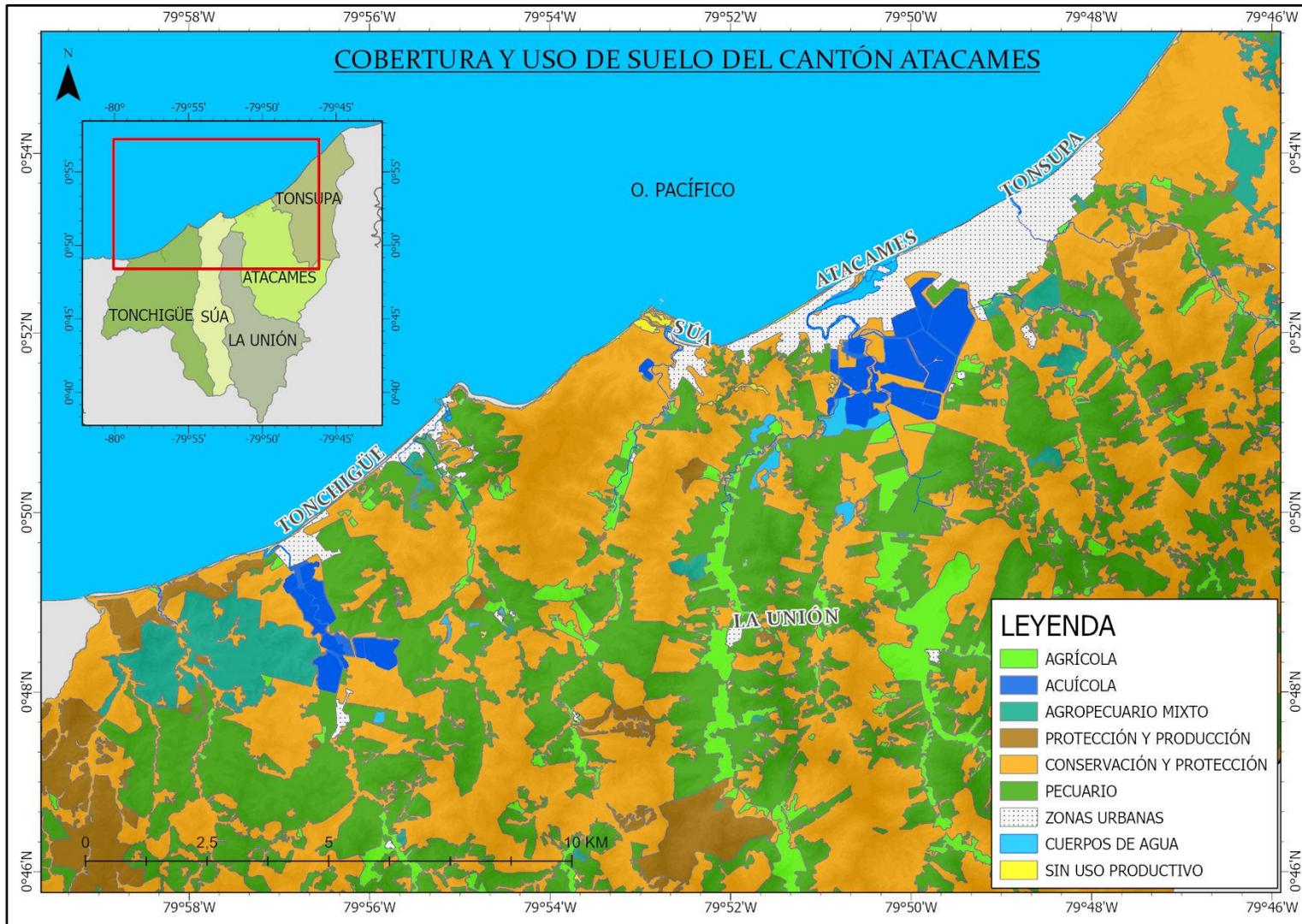


Fig. 10. Cobertura y uso de suelo del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Espacial Ecuatoriano (2016).

3.4 Batimetría del fondo oceánico

En el relieve del fondo oceánico frente al cantón Atacames se aprecian isobatos que varían en un rango 0-3900 m de profundidad, donde claramente se visualiza la zona de subducción Circum-Pacífico o conocido también como Anillo de Fuego del Pacífico. En esta zona dos placas litosféricas convergen y subduce una a la otra. En este caso la placa oceánica (o placa de Nazca), que es más densa; subduce debajo de la placa continental (o placa sudamericana), que es menos densa. Este proceso físico ejerce el control primario en tres sucesos: el vulcanismo activo en la Cordillera de los Andes, la deformación de la placa superior y la sismicidad a diferentes niveles de profundidad (Parra et al., 2016; Parra H. A., 2015) (Fig. 11).

Resultado de este proceso geológico se produce una gran depresión del suelo submarino conocido como fosa de subducción o trinchera de subducción. La fosa de subducción localizada frente al litoral ecuatoriano a 100 km aproximadamente, frente a las costas de la Provincia de Esmeraldas tiene una orientación N38°E y una profundidad que alcanza los 3900 m (Parra et al., 2016; Parra H. A., 2015) (Fig. 11).

Así mismo frente al área de estudio a 45 km se extiende la plataforma continental con una profundidad que varía de 60 a 120 km, formando un promontorio generado por el proceso de subducción y que presenta una particular forma batimétrica de forma convexa y que después se estrecha 15 km frente a las costas de la localidad de Esmeraldas, al norte Atacames, esta plataforma es conocida como el promontorio de Atacames, se afirma que el promontorio atenuaría el impacto de un evento tsunamigénico sobre su costa inmediata (Ioualalen et al., 2010) (Fig. 11).

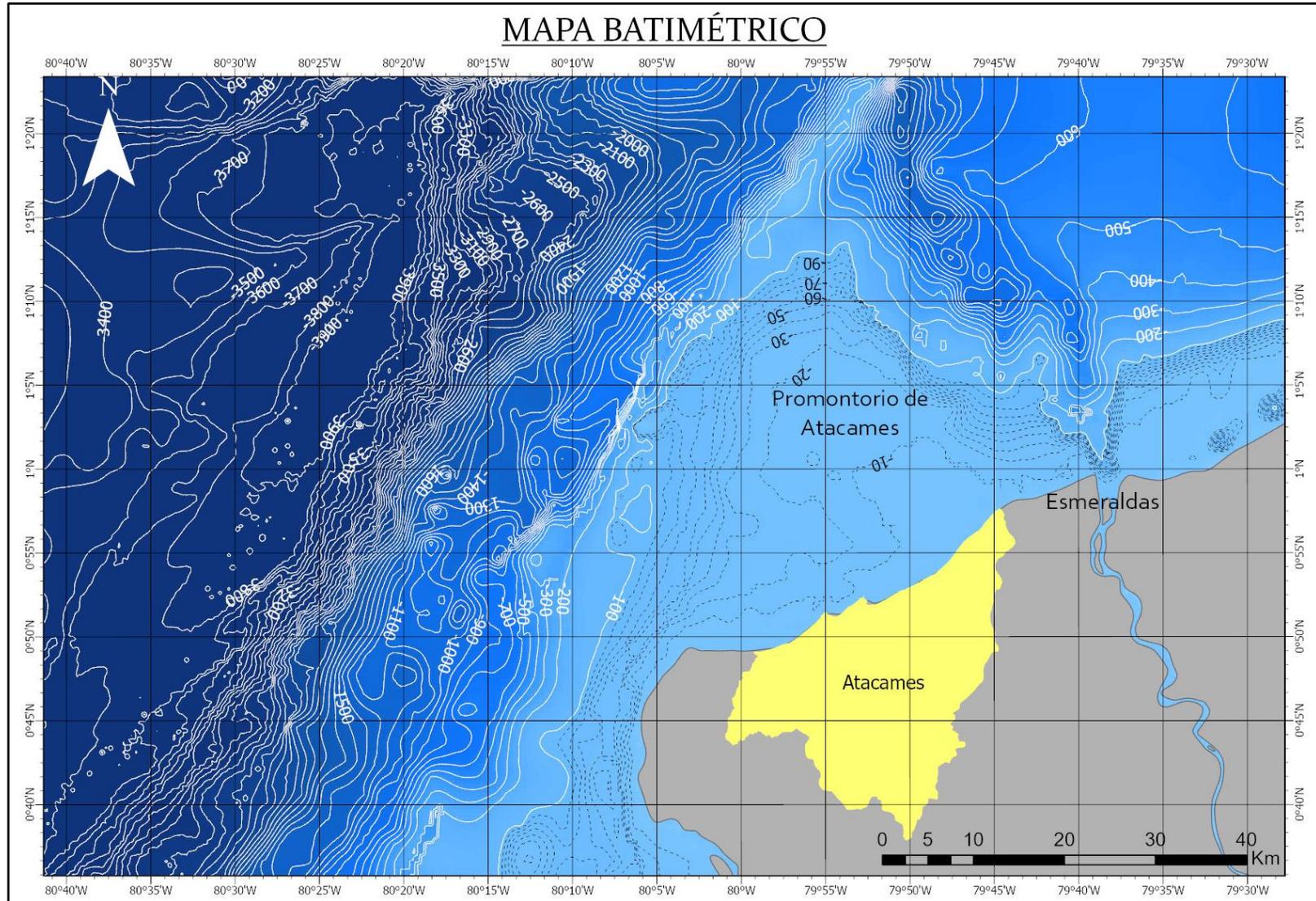


Fig. 11. Mapa batimétrico del Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de GEBCO (2020).

3.5 Conectividad en el Cantón Atacames

En el Cantón Atacames existe un pasillo urbano densamente construido que une las localidades de Súa, Atacames y Tonsupa, además 3 zonas urbanas más pequeñas en las localidades de Tonchigüe, Same y La Unión, que se encuentran servidas por la carretera E-15, conocida como Troncal del Pacífico, Vía del Pacífico o ruta del Spondylus, además existen otras vías como la variante que atraviesa el Centro de Atacames conocida como Avenida Roberto Cervantes y la vía a La Unión (Figs. 12, 13 y 14).

Si bien existen vías pavimentadas en el interior de las zonas consolidadas, se aprecia la presencia de abundantes vías únicamente afirmadas y caminos de verano que conectan las diferentes manzanas del cantón Atacames. A excepción del centro de Atacames donde existe mayor tráfico vehicular, se evidencia presencia de pocas vías de un solo sentido de circulación, la mayor parte de vías en la zona de estudio son de doble sentido.

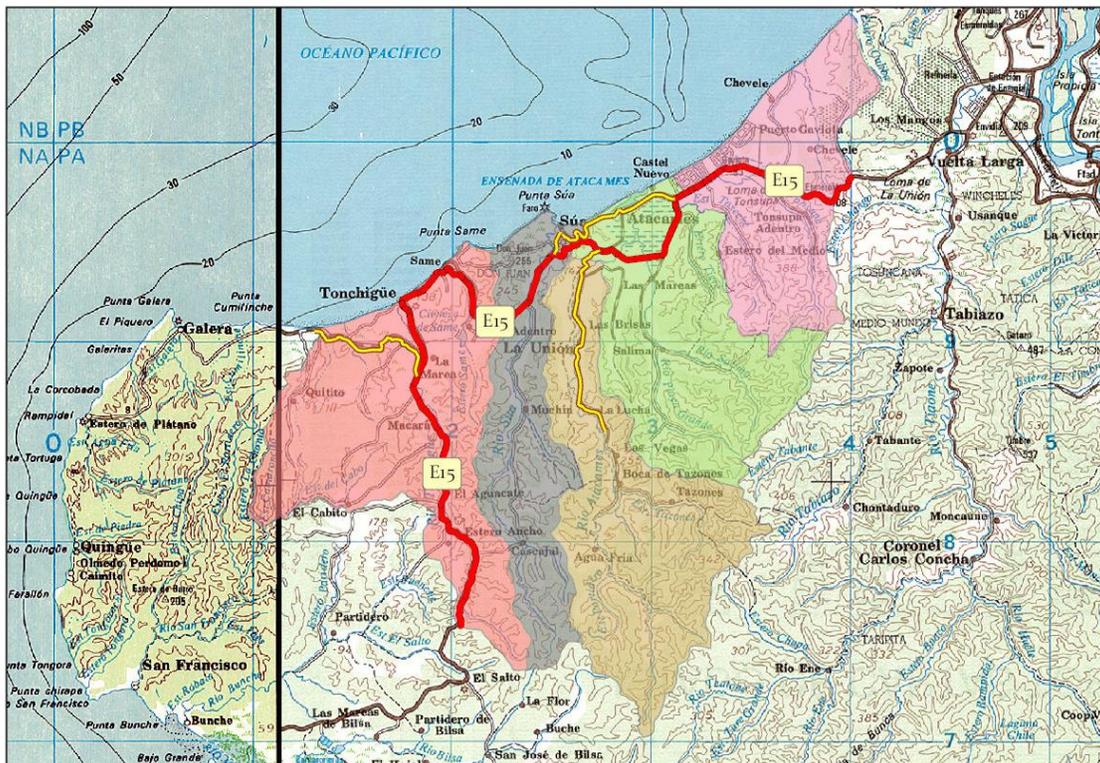


Fig. 12. Carreteras principales que unen las parroquias de Atacames, Tonsupa, Súa, Tonchigüe y La Unión. Fuente: Elaboración propia a partir de IGM (2015).

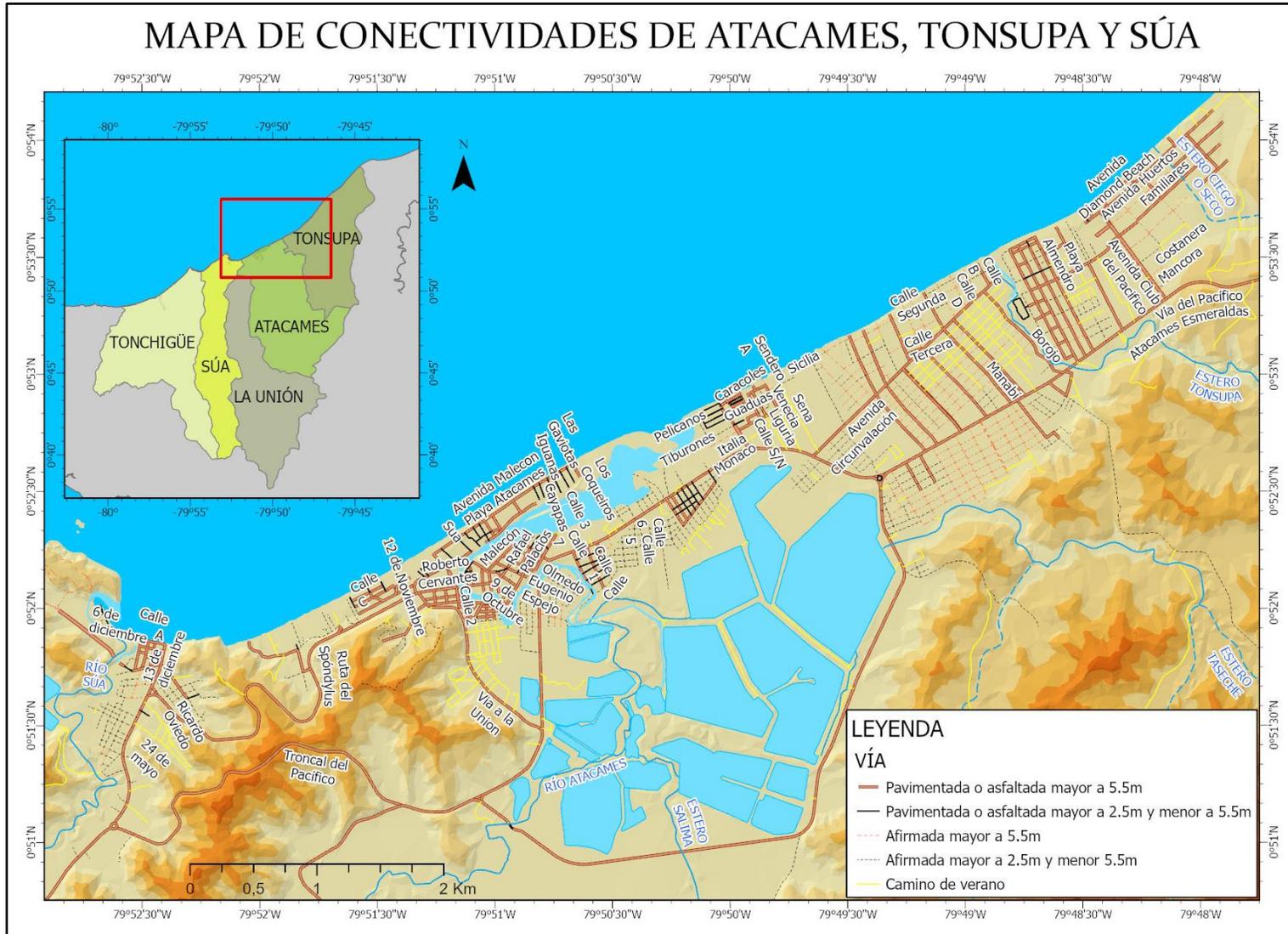


Fig. 13. Mapa de conectividades de Atacames, Tonsupa y Súa. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Geográfico Militar (2017)

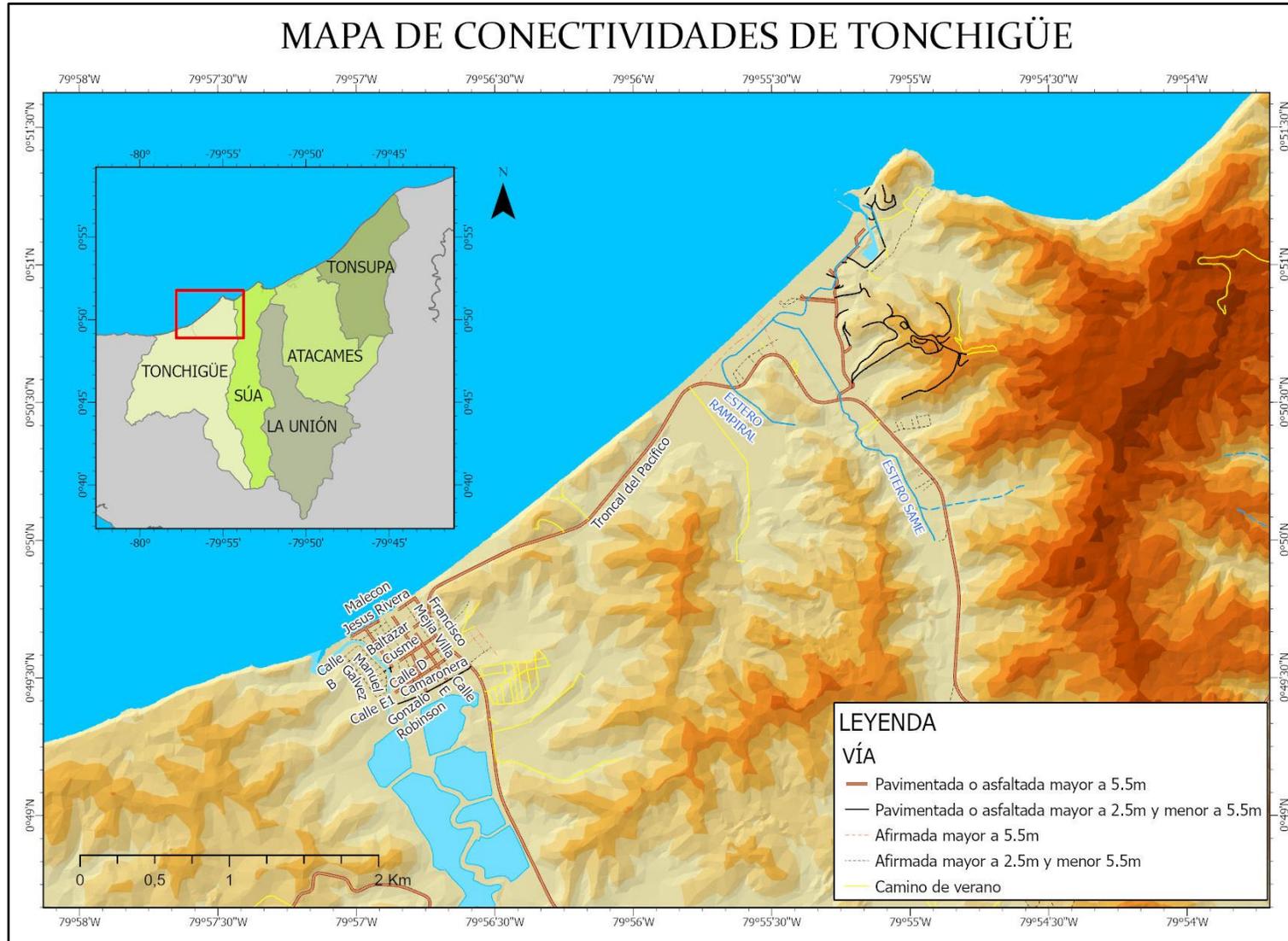


Fig. 14. Mapa de conectividades de Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Geográfico Militar (2017)

3.6 Condiciones climatológicas

Beck et al. (2018) desarrollaron un mapa global de la clasificación climática de Köppen-Geiger para el espacio temporal 1980-2016 y con una resolución espacial de 0,0083°. La clasificación de Köppen-Geiger se basa en los valores de precipitación y temperatura media anual. En lo que respecta a la zona de estudio le corresponde como clase principal: tropical y como subtipo: sabana. La sabana tropical se describe como un clima con una temperatura del aire en el mes más frío mayor o igual a 18°C y con una precipitación en el mes más seco según la siguiente fórmula:

$$Precip. < 100 - \frac{Precipitación\ media\ anual}{25}$$

Según el INAMHI (2014), el clima de la zona de estudio tiene una temperatura promedio que oscila entre 25°C y 26,5°C en 2 zonas: de 25°C a 25,6°C al Este, en las parroquias de Atacames y Tonsupa y de 25,6°C a 26,5°C al Oeste en las parroquias de Atacames, Súa, Tonchigüe y La Unión (Fig. 15). Los promedios anuales de precipitación oscilan entre 979,1 mm/año y 1468,8 mm/año, a lo largo tres zonas que se extienden, de norte a sur (Fig. 16).

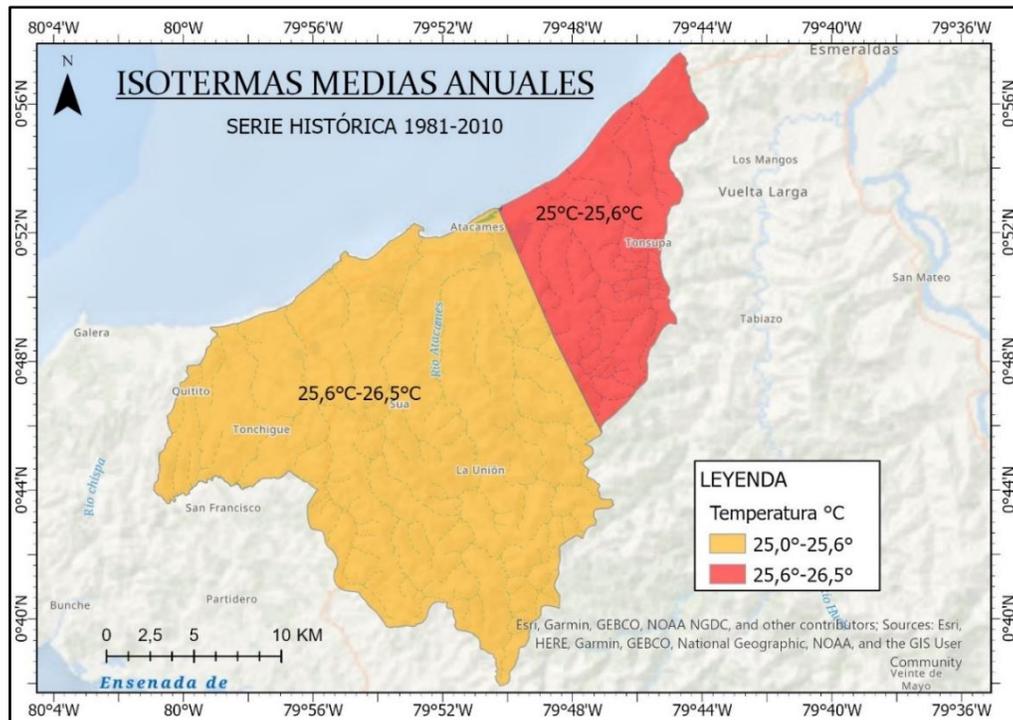


Fig. 15. Isotermas medias anuales. Fuente: Elaboración propia a partir de INAMHI (2014).

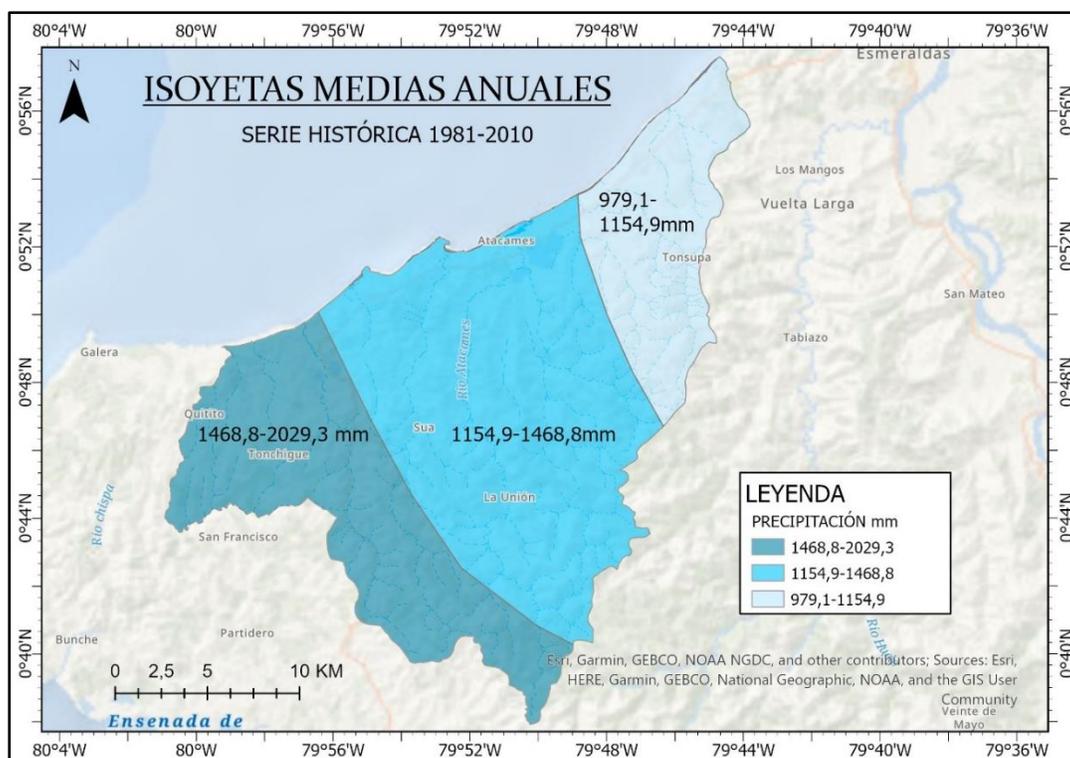


Fig. 16. Isoyetas medias anuales. Fuente: Elaboración propia a partir de INAMHI (2014).

3.7 Características socioeconómicas

La población del cantón Atacames es de 41526 habitantes según el último censo del 2010, con una tasa de crecimiento del 3,51% con respecto al censo de 2001 (30267 habitantes). Si se analiza a las parroquias de la zona de estudio se evidencia que la mayoría de los pobladores se concentran en su cabecera cantonal, conocida con el mismo nombre, con el 40,59%; le sigue Tonsupa 25,72%; Tonchigüe 19,27%; Súa 8,31% y La Unión 6,12%. (INEC, 2010) (Tabla 6; Fig. 17).

PARROQUIA	POBLACIÓN	%
Atacames	16855	40,59
La Unión	2540	6,12
Súa	3449	8,31
Tonsupa	10681	25,72
Tonchigüe	8001	19,27
TOTAL	41526	100

Tabla 6. Población del Cantón Atacames por parroquias. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010)

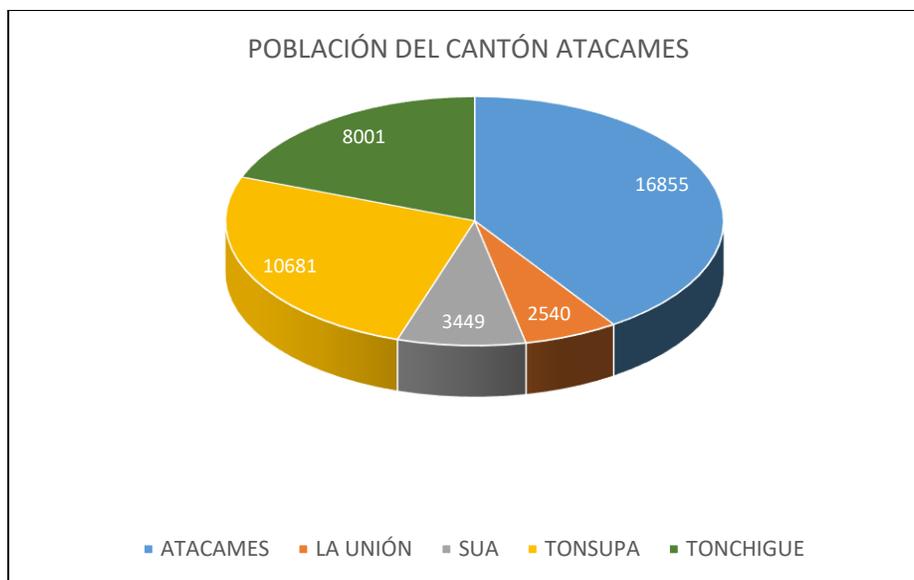


Fig. 17. Población del Cantón Atacames por parroquias. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

En los estudios de riesgo y para llevar adelante planes de contingencia, evacuación entre otros, conocer la composición de la población es sumamente importante. Por un lado, por las formas de organización social de cada cultura que llevan a una forma específica de configuración espacial y, por otro lado, para tener en cuenta las formas de comunicación entre los diferentes grupos. Según el INEC (2010) en la zona de estudio la composición de la población por sexo corresponde a 20295 habitantes de sexo femenino y 21231 de sexo masculino. Asimismo, los principales grupos poblacionales según su autoidentificación étnica y cultural corresponden a: mestizos 56,33%, afrodescendientes 32,81%, blancos 7,87%, montubios 2,26% e indígenas 0,35% (Tabla 7; Fig. 18).

AUTOIDENTIFICACIÓN ÉTNICA	HABITANTES	PORCENTAJE
Indígenas	174	0,419
Afrodescendientes	14211	34,221
Montubios	868	2,090
Mestizos	22818	54,948
Blancos	3280	7,898
Otros	175	0,4214
TOTAL	41526	100

Tabla 7. Población del Cantón Atacames por parroquias. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

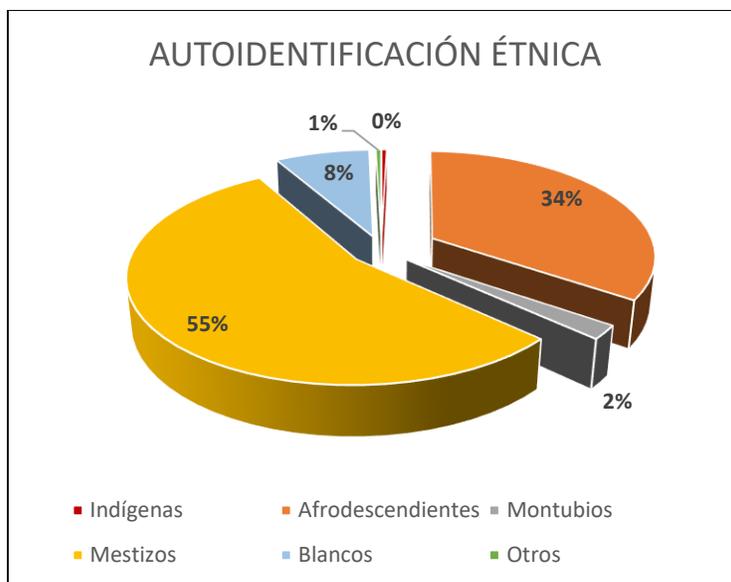


Fig. 18. Autoidentificación étnica en el Cantón Atacames. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

En cuanto a la tasa de analfabetismo, que define al porcentaje de la población que no dispone de las competencias de lectura, ni escritura y cuya edad es mayor o igual a 15 años, se encuentra en 9,1%, es decir 3783 habitantes. Por otro lado, con respecto a la población económicamente activa, es decir “personas de 15 años o más que trabajaron al menos 1 hora en la semana de referencia o, aunque no trabajaron, tuvieron trabajo (empleados); y personas que no tenían empleo pero estaban disponibles para trabajar y buscan empleo (desempleados)” (INEC, 2018), corresponde a 15163 habitantes, es decir el 36,51%. De la población económicamente activa, 13750 habitantes tienen algún tipo de ocupación es decir el 90,6% (INEC, 2010).

Según el Instituto Espacial Ecuatoriano (2016), Atacames es el tercer centro turístico del Ecuador debido a la presencia de las playas del sector, su cercanía a la ciudad de Quito y las vías de acceso. El principal origen de turistas es la ciudad de Quito y en menor cantidad de las ciudades de Ibarra, Santo Domingo y Ambato. Dispone de una capacidad hotelera y extra hotelera de 12000 plazas y existe una inversión inmobiliaria superior a los 200 millones de dólares, entre los principales atractivos turísticos están las playas de Súa, Atacames, Same, Tonsupa y Tonchigüe.

4 Hipótesis

1. El desconocimiento de eventos tsunamigénicos, la carencia de estudios técnicos con una perspectiva integral, juntamente con la falta de acceso y socialización, aumentan el riesgo de desastre de la población del cantón de Atacames.
2. Una investigación empleando geotecnologías y basada en sistemas de información geográfica, permite determinar adecuadamente las zonas de afectación y generar alternativas de evacuación ante la ocurrencia de tsunami.

5 Objetivos

5.1.1 Objetivo general

Estudiar las zonas de afectación desde una perspectiva integral para evaluar el grado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de la población del Cantón de Atacames y generar alternativas de evacuación ante la ocurrencia de tsunamis.

5.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar la estimación de la amenaza tsunamigénica a través de la zonificación de las zonas inundadas.
2. Analizar la vulnerabilidad global de la zona de estudio a través del estudio de la vulnerabilidad socioeconómica y física.
3. Estimar el riesgo de desastre ante la ocurrencia de tsunami a través de un modelo geográfico multivariable.
4. Estudiar las formas de evacuación costera, a través de la determinación de rutas óptimas de evacuación y puntos de encuentro seguros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO METODOLÓGICO

1 Tsunamis: conceptos centrales, funcionamiento y dinámica

1.1 Tsunami

Según Goff et al. (2014), fueron Darbyshire & Ishiguro (1957) quienes explicaron, por primera vez a la comunidad internacional, el uso de la terminología de tsunami, en función de su significado en Japones, tsu: puerto o bahía, y nami: ola, es decir “ola de puerto”. De manera más específica, se define como un evento complejo que involucra la presencia de olas de gravedad largas u olas de períodos y longitud de onda sumamente largos y se producen por eventos o fenómenos abruptos y extraordinarios, tales como terremotos en el fondo oceánico, deslizamientos de tierras submarinas, erupciones volcánicas o el impacto de un meteorito de gran tamaño. Un tsunami desplaza grandes masas de agua y contiene gran cantidad de energía muy superior a las olas producidas por el viento (Truong, 2012; Gómez & Adrover, 2013; COI, 2013).

En este sentido, es necesario subrayar que un tsunami no se origina por la marea, pues esta es resultado de la atracción gravitacional de cuerpos celestes, especialmente la Luna por su cercanía a la Tierra (Hendershott, 2005). Sin embargo, puede acrecentar o disminuir los efectos de un tsunami sobre la superficie, dependiendo de su estado: marea alta o baja, respectivamente.

Goff et al. (2014) propone incorporar dos definiciones de eventos tsunamigénicos extraordinarios: megatsunamis y souteigai-tsunamis. Megatsunamis se refiere a eventos inesperados y verdaderamente extremos, originados por ejemplo, por el impacto de meteoritos, colapsos de un flanco volcánico grande u otros históricamente indocumentados; mientras que souteigai-tsunamis (según el autor souteigai, significa en japonés, inesperado o más allá de las expectativas) se refieren a eventos “inesperadamente grandes” pero no raros, por ejemplo, los originados a partir de grandes eventos sísmicos, erupciones volcánicas grandes o movimientos de masas, que son más grandes de lo esperado.

1.2 Elementos para describir un tsunami

Un tsunami se propaga en forma de ondas, por lo tanto, se emplean los elementos de una curva senoide o sinusoides derivada del movimiento armónico simple para describirla. En consecuencia, la física conceptual señala que los puntos más altos de una curva senoide se denominan “crestas” y los puntos más bajos “valles”. La distancia medida desde el punto medio (el nivel medio del mar en reposo, para el caso de tsunamis), hasta la cresta, se denomina “amplitud”. La distancia medida entre dos crestas sucesivas, se denomina “longitud de onda”; mientras que, el tiempo que se demora en completar una oscilación completa, o longitud de onda se conoce como “período” (Hewitt, 2007) (Fig. 19).

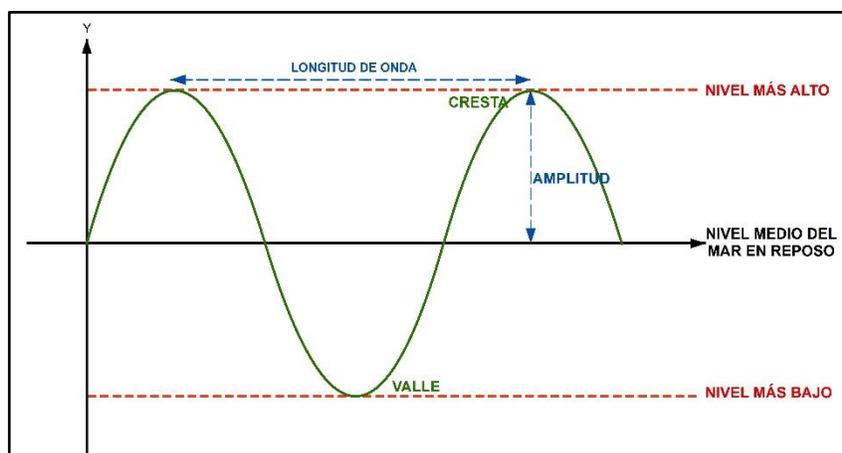


Fig. 19. Elementos de una curva senoide o sinusoides para describir un tsunami. Fuente: Elaboración propia a partir de Hewitt (2007).

Asimismo, se emplean otros términos derivados de su evaluación en la superficie afectada, tales como: “línea o límite de inundación”, límite interior que alcanza un tsunami en el área de afectación. “Run up”, altura medida desde el nivel medio del mar hasta el límite de inundación. “Altura de inundación” elevación máxima alcanzada por el mar, medida desde el nivel medio del mar. “Inundación”, distancia máxima horizontal de penetración del tsunami en la costa o zona afectada. “Tiempo de arribo”, tiempo de llegada del tsunami a la zona de afectación. “Retrosceso del mar” retiro del mar, antes de la llegada de las primeras olas. “Fuente del tsunami”, origen del tsunami (COI, 2013) (Fig. 20).

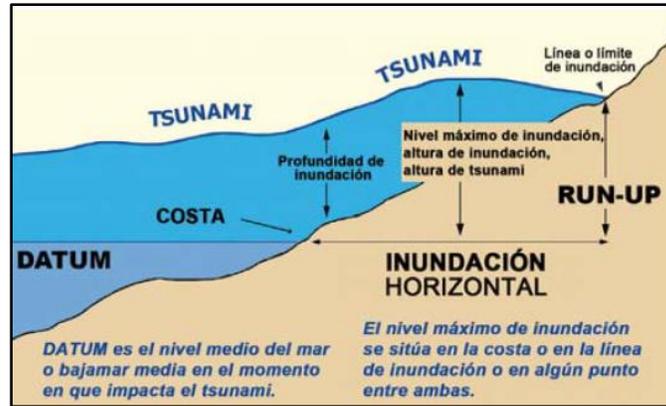


Fig. 20. Elementos para describir un tsunami, en función de la costa afectada. Fuente: COI (2013).

En cuanto a la velocidad del tsunami no se determina en términos de frecuencia (medida empleada para definir la rapidez de una onda en el movimiento armónico simple), que corresponde al número de vibraciones por segundo (Hewitt, 2007), porque el tamaño de longitud de onda (distancia medida entre dos crestas sucesivas) es demasiado larga. Por lo tanto, su velocidad viene dada, por una fórmula de onda larga (Fórmula 1). La velocidad de un tsunami y la longitud de onda dependen de la profundidad del mar, cuando la profundidad es mayor, la velocidad de un tsunami y longitud de onda es mayor, igualmente, a medida que el tsunami se acerca a la costa y la profundidad es menor, su velocidad y longitud de onda disminuyen (COI, 2013) (Fig. 21).

Fórmula 1:

$$c = \sqrt{g * h}$$

Donde,

c: es la velocidad de onda

g: es la aceleración de la gravedad

h: es la profundidad

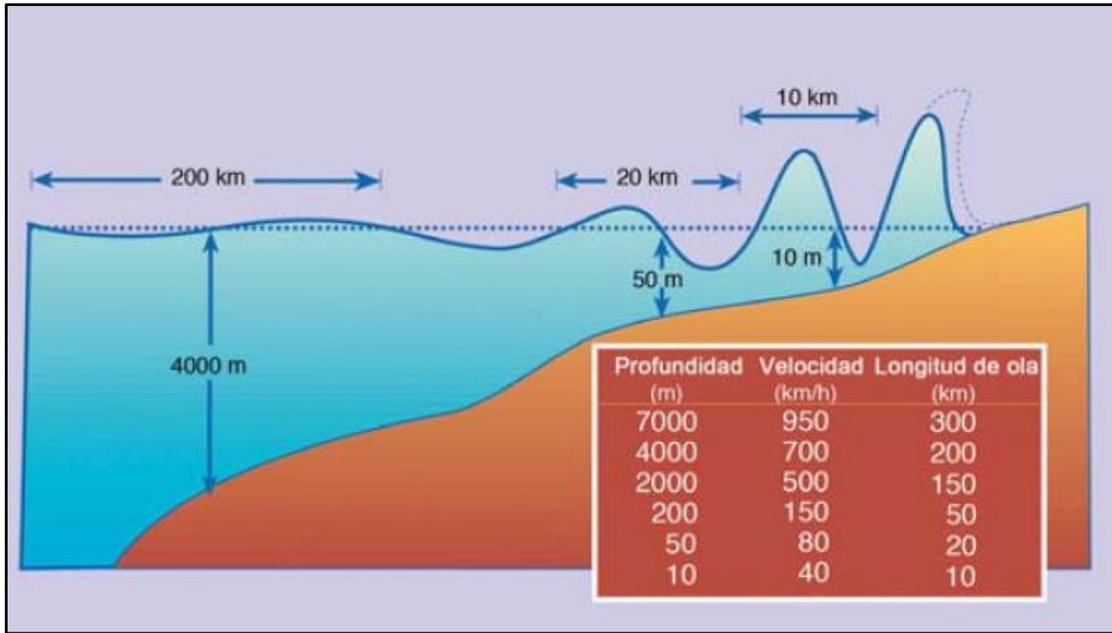


Fig. 21. Velocidad de tsunami en función de la profundidad y longitud de onda. Fuente: COI (2013).

1.3 Tamaño de un tsunami

Según Gusiakov (2009) existen dos tipos de escalas para medir el tamaño de un evento peligroso: magnitud e intensidad. La escala de magnitud es el valor único de la energía liberada en el área de origen del evento, mientras que la escala de intensidad describe los efectos resultantes en diferentes localizaciones, por lo tanto, un evento peligroso puede tener un solo valor de magnitud y varios valores de intensidad.

Iida et al. (1967) proponen una fórmula para medir el tamaño de un tsunami asociada con el valor de Run-up máximo observado en la costa, la cual fue adoptada para determinar el valor de magnitud de un tsunami en la mayoría catálogos históricos (Fórmula 2). Wiegel (1992) plantea una escala basada en Iida et al. (1967) en relación con la energía y run-up de un tsunami (Tabla 8).

Fórmula 2:

$$m = \log_2 H_{max}$$

Donde,

H_{max} : es el máximo valor de Run-up observado en la costa.

Magnitud	Energía de un tsunami (erg)	Run-up máximo (m)
5	$25,6 \times 10^{23}$	>32
4.5	12,8	24-32
4	6,4	16-24
3.5	3,2	12-16
3	1,6	8-12
2.5	0,8	6-8
2	0,4	4-6
1.5	0,2	3-4
1	0,1	2-3
0.5	0,05	1,5-2
0	0,025	1-1,5
-0.5	0,0125	0,75-1
-1	0,006	0,50-0,75
-1.5	0,003	0,30-0,50
-2	0,0015	<0,30

Tabla. 8. Escala de magnitud según (Wiegel, 1992) a partir de Iida et al. (1967). Fuente: Wiegel (1992).

Por otro lado, para determinar los efectos de las olas del tsunami en seres humanos y objetos, inclusive embarcaciones de diferentes tamaños y edificios, la Comisión Oceanográfica Internacional (COI) (2013) destaca la escala de intensidad modificada de Sieberg, la cual describe los efectos resultantes de un tsunami en la costa en 6 categorías (Tabla 9).

Int.	Efecto
1	Muy Suave. La onda es tan débil que solo es perceptible en los registros de los mareógrafos
2	Suave. Las ondas son percibidas por aquellos que viven a lo largo de la costa y están familiarizadas con el mar. Normalmente se percibe en costas planas.
3	Bastante fuerte. Generalmente es percibido. Inundación de costas de pendientes Suaves. Embarcaciones deportivas pequeñas son arrastradas a la costa. Daños leves en estructuras de material ligero situada cerca de las costas. En estuarios, se invierten los flujos de los ríos hacia arriba
4	Fuerte. Inundación general de la costa hasta determinada profundidad. Daños de erosión en rellenos construidos por el hombre. Terraplenes y diques dañados. Las estructuras de material ligero cercanas a la costa son dañadas. Las estructuras costeras sólidas sufren daños menores. Embarcaciones grandes y pequeños buques son derivados tierra adentro o mar afuera. Costas cubiertas con desechos flotantes
5	Muy fuerte. Inundación general de la costa hasta determinada profundidad. Los muros de embarcaderos y estructuras sólidas cercanas al mar son dañados. Las estructuras de material ligero son destruidas. Severa erosión de tierras cultivadas. La costa se encuentra cubierta de desechos flotantes y animales marinos. A excepción de los grandes barcos, todo tipo de embarcaciones es llevada tierra adentro o hacia el mar. Grandes ascensos de agua en ríos estuarinos. Instalaciones portuarias resultan dañadas. Gente perece ahogada. las olas van acompañadas de un fuerte rugido.
6	Desastroso. Destrucción parcial o completa de estructuras artificiales a determinada distancia de la costa. Grandes inundaciones costeras. Buques grandes severamente dañados. Árboles arrancados de raíz o rotos. muchas víctimas

Tabla. 9. Escala modificada de Sieberg de intensidades de tsunamis. Fuente: COI (2013).

1.4 Clasificación de los tsunamis

Según la COI (2013), se distinguen tres tipos de tsunamis de acuerdo con la distancia de su fuente: local, regional y transoceánico. Un tsunami local es aquel que proviene de una fuente cercana, inferior a 100 km y que han causado el 90% de muertes, como por ejemplo el tsunami del 17 de junio de 2016 en el Sur de Java (Fig. 22). Un tsunami regional es aquel que proviene de una fuente de hasta 1000 km como máximo o un tiempo de arribo de 1 a 3 horas, afectando a una región geográfica inmediata; mientras que un tsunami transoceánico (también conocido como tsunami de campo lejano) es aquel que causa afectación a través de todo el océano por el que se propaga y no únicamente a una región específica, como por ejemplo el tsunami en el Océano Índico del 2004 (Fig. 23).

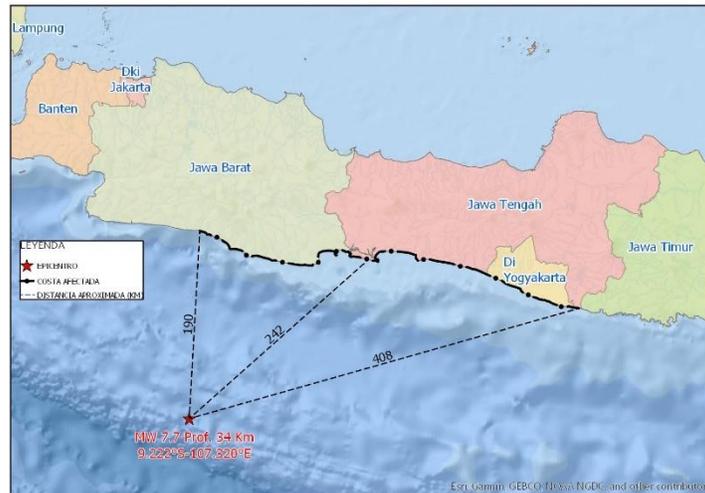


Fig. 22. Tsunami local sucedido el 17 de julio de 2006 en el Sur de Java. Fuente: Elaboración propia a partir de Reese et al. (2007).

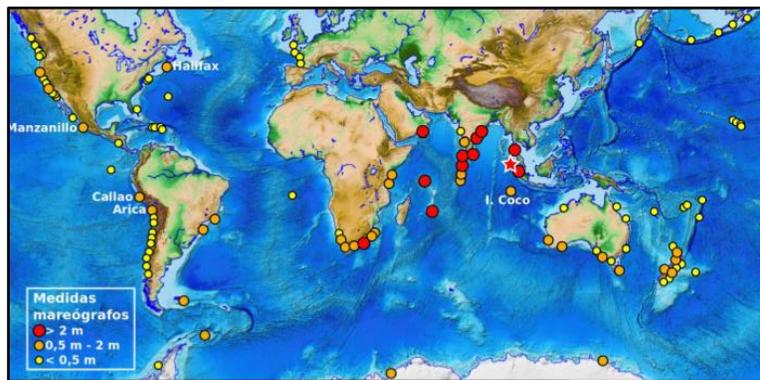


Fig. 23. Tsunami transoceánico del 2004 en el Océano Índico. Fuente: Cantavella (2015).

1.5 Descripción de un evento tsunamigénico

Para describir un tsunami se considera pertinente dividir al evento en dos partes: en la primera se explica el tsunami desde su inicio hasta su arribo al litoral y en la segunda parte los efectos en la costa contigua hasta la finalización del evento. Acerca de su génesis, si bien los tsunamis se pueden originar de varias formas como una erupción volcánica, por el impacto de un meteorito de gran tamaño (de manera extraordinaria) u otros eventos físicos, la mayor parte de eventos registrados corresponden a terremotos en el fondo oceánico (90% de tsunamis) y en menor medida al deslizamiento de tierras submarinas. Precisamente en la fuente del tsunami se produce un desplazamiento vertical de una masa de agua que se propaga en forma de ondas por el océano, a diferencia de las olas de superficie, la energía que se produce en el origen se transmite también en el fondo oceánico durante su ocurrencia (Gómez & Adrover, 2013; COI, 2013).

Si bien el comportamiento de un tsunami depende de la fuente de origen, también depende de otros factores como la dirección de propagación, distancia a la costa, forma del litoral (acantilados, bahías o ensenadas) y especialmente las profundidades del fondo oceánico que ocasionan una variación significativa de las ondas que se difunden por el océano en forma de olas.

Si el tsunami se produce en el océano profundo las ondas viajarán a una velocidad elevada, de 500 a 1000 km/h; asimismo, las longitudes de onda (distancia entre dos crestas de ola, sucesivas) serán sumamente grandes, medidas en cientos de kilómetros y por lo tanto el período (tiempo de oscilación u onda) será mucho mayor. Por el contrario, la amplitud de onda (altura de la ola) llegará a pocos metros de altura. Dadas estas características en el interior de los océanos el tsunami se hace imperceptible para los barcos de alrededor (Gómez & Adrover, 2013; COI, 2013; Cantavella, 2015; NOAA, 2019) (Fig. 24).

Conforme el tsunami se acerca a la costa, la profundidad del océano disminuye y por lo tanto la velocidad de onda será mucho menor; no obstante, la disminución de velocidad será compensada con el aumento de amplitud de onda, de hasta 20 m de manera excepcional, debido a que la energía que se difunde a lo largo del océano ahora se concentra en dirección vertical. Por otro lado, la longitud de onda y el período disminuirán considerablemente en

relación con el interior del océano (Gómez & Adrover, 2013; COI, 2013; Cantavella, 2015; NOAA, 2019) (Fig. 24).

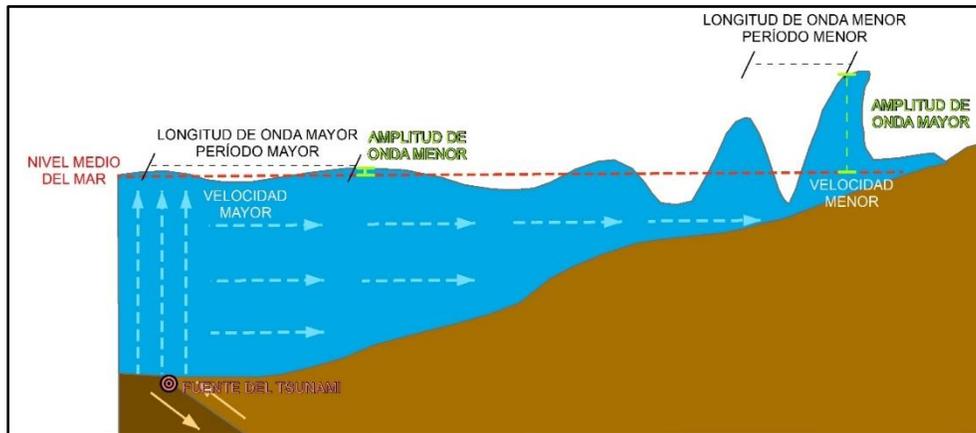


Fig. 24. Caracterización de un evento tsunamigénico desde su origen hasta su arribo a la costa Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, un evento tsunamigénico, será percibido de distintas formas en cada costa o puerto y su comportamiento varía en función de la fuente de origen, dirección de propagación, profundidad del fondo oceánico, distancia a la costa y forma del litoral (COI, 2013), pudiendo incrementar o reducir los valores de velocidad, amplitud, longitud de onda y período.

En la segunda parte, cuando el tsunami se acerca al litoral, en la mayor parte de los casos se produce una reducción del nivel medio del mar, percibida por los pobladores como un retroceso del agua dejando gran cantidad de la costa al descubierto, clara señal de la llegada de la primera ola. El comportamiento de un tsunami se presenta de distintas formas cuando arriba a la costa, dependiendo de su intensidad, en ocasiones se visualiza como una veloz marea que inunda las zonas costeras bajas únicamente, así como también, se puede presentar como grandes olas turbulentas que ocasionan una serie de daños y pérdidas humanas (COI, 2013; Cantavella, 2015).

Según la COI (2013), las afectaciones en la superficie se producen debido a tres factores: inundación, impacto de las ondas en las estructuras y la erosión de los cimientos. La inundación (distancia máxima horizontal de penetración del tsunami en la costa afectada) puede oscilar entre unos cuantos metros hasta kilómetros, ingresando tanto a zonas

consolidadas, como productivas, atrapando en su interior a personas, estructuras y recursos. La fuerza de las ondas cuando impactan ocasiona la destrucción y el arrastre de edificaciones, vehículos, barcos, entre otros elementos y materiales; también los convierte en verdaderos proyectiles que pueden ser muy destructivos contra estructuras y personas, causando pérdida de vidas y lesiones masivas. Mientras que la erosión en los cimientos ocasiona el derrumbe de puentes e instalaciones críticas.

En la costa, el período de un tsunami (tiempo entre dos olas sucesivas) puede oscilar entre cinco minutos y dos horas, asimismo la duración de la inundación y las corrientes de un tsunami puede variar entre minutos a un par de horas aproximadamente, la inundación se retirará gradualmente en períodos que oscilan entre minutos y días, sin dejar de ser dañino sobre la superficie por la fuerza de su corriente (NOAA, 2019).

La ocurrencia de un tsunami al igual que los terremotos no se puede predecir, sin embargo, los centros de monitoreo de tsunamis emiten alertas sobre terremotos en el fondo oceánico que pueden desencadenar un tsunami. También en ocasiones el tiempo de arribo del tsunami será muy corto debiendo los pobladores reconocer las advertencias naturales y responder a tiempo (NOAA, 2019).

Es importante resaltar que no son suficientes las medidas estructurales y se pueden considerar complementarias a otro tipo de medidas proactivas, tal como se evidencia en el tsunami acontecido en Tohuko, Japón el 11 de marzo de 2011, que se desencadenó por un terremoto de magnitud de 9.0. Aquí el Estado invirtió miles de millones de dólares para la construcción de muros de contención de hasta 12 m de alto en el 40% de sus costas, los cuales fueron desbordados en unos casos y destruidos en otros (Cantavella, 2015; Shibayama, et al., 2012). En conclusión, se deben mejorar y perfeccionar los estudios de la amenaza, mejorar el diseño de las medidas estructurales de mitigación, ejecutar una planificación territorial adecuada, concientizar a los pobladores, realizar simulacros de evacuación y preparar sistemas de alerta temprana.

2 Teoría social del riesgo aplicada a tsunamis

Hasta hace pocos años los estudios de desastres estaban orientados a la investigación de fenómenos naturales y las consecuencias que estos producían. Actualmente, se aborda el estudio desde el concepto de construcción social asociada al riesgo con amplia utilidad analítica. La perspectiva histórica permite la identificación de los procesos que dan lugar al evento, llevando a que las medidas de acción y prevención sean más eficientes y eficaces. Así, abordar el estudio del riesgo desde la perspectiva de construcción social implica trabajar con las dimensiones amenaza, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre (Pauker & Toulkeridis, 2015).

2.1 La amenaza tsunamigénica como proceso de construcción social.

Amenaza es un evento o probabilidad de ocurrencia de un evento que puede ocasionar graves afectaciones, tales como pérdidas humanas, heridas, daños materiales, ambientales o grave alteración social y económica. Dependiendo de su origen pueden existir dos tipos de amenaza: las de origen natural, ligadas a la dinámica y permanente transformación geológica, geomorfológica y oceanográfica de la Tierra; así como también, las amenazas de origen antropogénico o provocadas por el hombre, referidas a la degradación ambiental y amenazas tecnológicas. (Marco de Acción de Hyogo, 2005; Centro Humboldt, 2004; Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015;).

La amenaza per se no existe, pues es construida socialmente; un evento en particular se convierte en amenaza cuando un componente de la sociedad está sujeto a posibles afectaciones. En el caso de una amenaza de origen natural, cuando las actividades humanas alrededor de un fenómeno natural recurrente ocasionan que este proceso se convierta en una amenaza para un sistema territorial determinado (Centro Humboldt, 2004; Pauker & Toulkeridis, 2015) (Fig. 25).

Por lo tanto, en la definición de una amenaza de origen natural, como es el caso de la presente investigación, se destacan la persistencia y recurrencia de fenómenos y procesos naturales en la Tierra, como resultado de su dinámica y evolución constante, al mismo

tiempo, la manifestación de las actividades humanas entorno a este fenómeno natural, que le pueden ocasionar un grado de afectación determinado (Fig. 25).

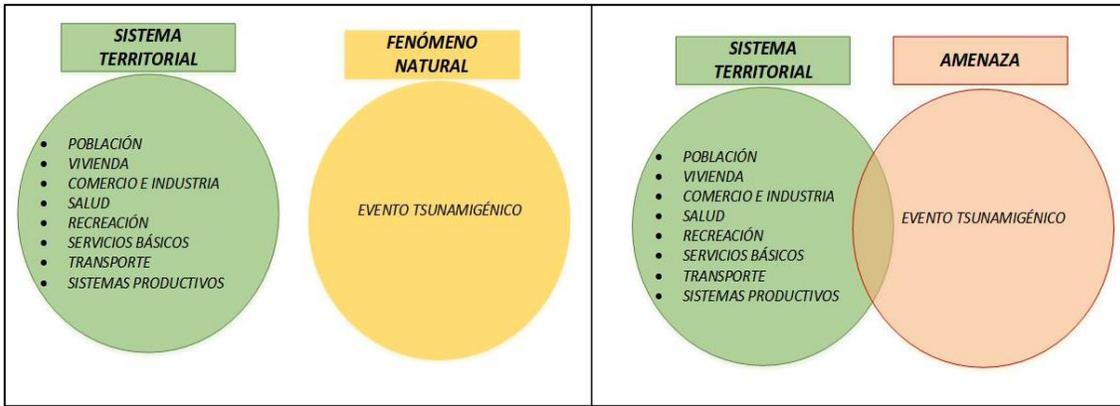


Fig. 25. Descripción de la Amenaza. Fuente: Elaboración propia.

2.2 La vulnerabilidad y sus distintos enfoques.

Bevacqua et al. (2018) en su estudio de la evolución conceptual de la vulnerabilidad costera, menciona que ésta se trata de un “concepto espacial que identifica a personas y lugares susceptibles a perturbaciones resultantes de peligros costeros” y que para su comprensión los investigadores emplean un enfoque moderno donde se analizan “complejos sistemas que determinan la distribución espacial de peligros, riesgos y exposición”.

En un sentido más amplio, la vulnerabilidad dentro de la gestión de riesgos, “es la condición en virtud de la cual un sujeto o población está o queda expuesta, o en peligro, de resultar afectada por un fenómeno de origen natural, socio-natural o humano llamado amenaza” (Centro Humboldt, 2004). Por otro lado, Blaikie et al. (2014) conceptúan a la vulnerabilidad como “Las características de una persona o grupo en cuanto a su capacidad de anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de un desastre natural”. Asimismo, Pauker y Toulkeridis (2015) señalan que la amenaza no existe *per se*, sin la presencia de poblaciones y estructuras expuestas, por lo tanto la “vulnerabilidad es la condición en la que se encuentra una población que le permite ser afectada por un fenómeno”.

En relación con el Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015 (2005), para el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, se define a la vulnerabilidad como “las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales,

económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto de amenazas”, este concepto también es utilizado en el Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (2015). Ambos documentos constituyen acuerdos alcanzados por países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el marco de las Conferencias Mundiales sobre la Reducción de Riesgo de Desastres, celebrados en Japón. Históricamente la evolución de la gestión de riesgos en el Ecuador se alineó a estas iniciativas globales, donde el país asumió compromisos y tuvo el apoyo económico y asesoramiento.

Por otro lado, D' Ercole y Metzger (2004), proponen que en una política de gestión de riesgos desplegada en un sistema territorial se debe priorizar la protección de sus elementos esenciales, es decir los elementos más importantes en un territorio, para su funcionamiento y que se encuentren en una condición de vulnerabilidad alta; en consecuencia define a la vulnerabilidad como “la fragilidad de los elementos esenciales y las posibles consecuencias de su pérdida, su destrucción o su no funcionamiento”. Como sus autores mismo lo señalan, se constituye “un cuestionamiento conceptual de la noción del riesgo” pues comienza el estudio del riesgo, sobre lo fundamental en el territorio, es decir la vulnerabilidad de los elementos esenciales y lo ubica en el centro de la conceptualización del riesgo.

Con este antecedente, se aprecia la existencia de puntos coincidentes en la conceptualización de vulnerabilidad citados por diferentes autores en ésta investigación, que permite concluir que la vulnerabilidad conlleva al estudio de características o factores intrínsecos de los elementos de un sistema territorial (población, vivienda, comercio, salud, recreación, servicios básicos, transporte o sistemas productivos), los cuales se encuentran expuestos a la ocurrencia de eventos adversos que se catalogan por su nivel de afectación en emergencia, desastre o catástrofe¹. El estudio de las características o factores intrínsecos de

¹ El Manual del Comité de Operaciones de Emergencia (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017) establece definiciones básicas para la respuesta, en función de los niveles de los eventos o situaciones peligrosas: “Emergencia: Un evento que pone en peligro a las personas, los bienes o la continuidad de los servicios en una comunidad y que requieren una respuesta inmediata y eficaz a través de las entidades locales.

los elementos del territorio varían conforme su exposición, susceptibilidad, fragilidad, dependencia, accesibilidad o redundancia; por consiguiente, estas características permiten deducir diferentes grados de vulnerabilidad de los elementos expuestos a amenazas de origen natural y antropogénico. En concreto, el análisis de vulnerabilidad del cantón Atacames ante la ocurrencia de un evento tsunamigénico se desarrolla de la misma forma (Fig. 26).

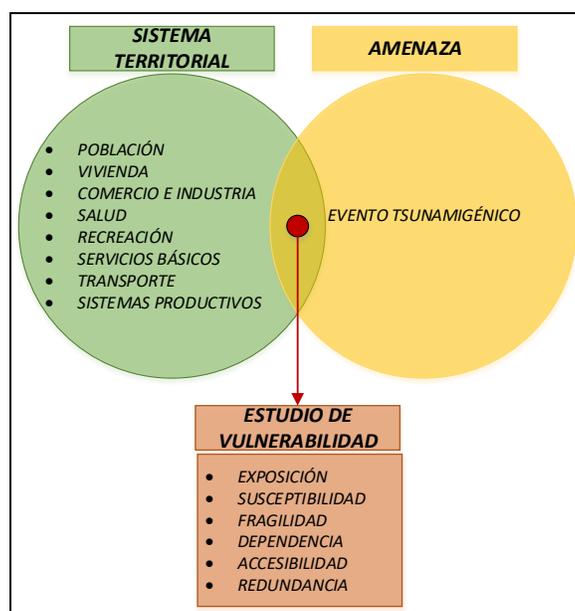


Fig. 26. Descripción de Vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia.

El estudio de la vulnerabilidad de una unidad territorial es fundamental en la Gestión del Riesgo pues de su enfoque y entendimiento permitirá a los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) y sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo², adoptar

Desastre: Una interrupción grave en el funcionamiento de una comunidad, en alguna escala, debido a la interacción de eventos peligrosos con condiciones de exposición y de vulnerabilidad que conllevan pérdidas o impactos de alguno de los siguientes tipos: humanos, materiales, económicos o ambientales.

Catástrofe: Un Desastre donde resultan insuficientes los medios y recursos del país, siendo necesario e indispensable la ayuda internacional para responder a ello”.

² En la Constitución de la República del Ecuador (2008), Art. 238 señala que los gobiernos autónomos descentralizados, lo constituyen “las juntas parroquiales rurales, los concejos municipales, los concejos metropolitanos, los consejos provinciales y los consejos regionales”, además en el Art. 389 señala que “El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional”. Finalmente, en el Art. 390 señala que “Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad”.

medidas proactivas³ para reducir o suprimir la debilidad o fragilidad de la población e infraestructura, frente a las amenazas presentes en una localidad. Asimismo, permitirá adoptar medidas reactivas para priorizar y enfocar las actividades de respuesta y recuperación ante los efectos de amenazas, tanto de origen natural como antrópico (Fig. 27).

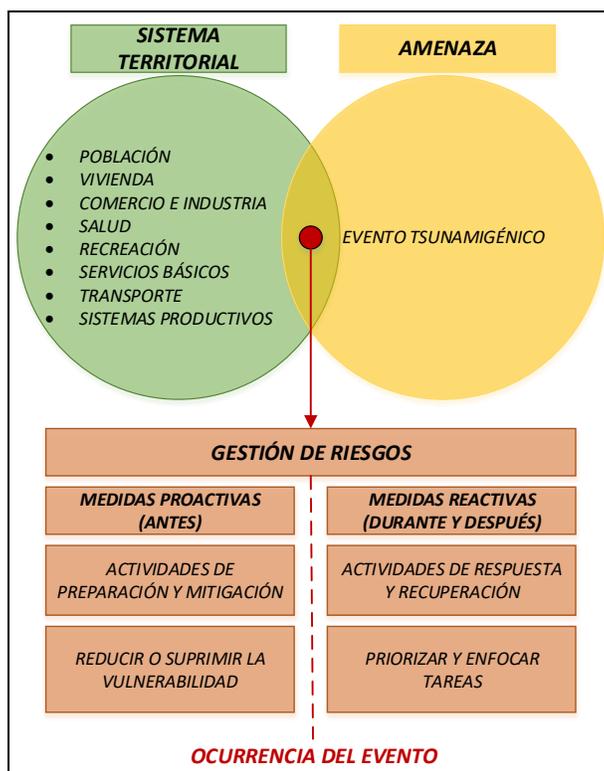


Fig. 27. Enfoque de la gestión de riesgos. Fuente: Elaboración propia a partir de Moe & Pathranarakul (2006).

De acuerdo con lo expresado anteriormente, el estudio de la vulnerabilidad de un sistema territorial se compartimenta en varias partes, siendo éste, el resultado de la suma de diversas vulnerabilidades. Por consiguiente, la vulnerabilidad según su especificidad se clasifica en: social, física, ambiental, educativa, económica y política, entre otras.

La vulnerabilidad social se conceptualiza como un conjunto de características de la población y factores que inciden en ella, tales como edad, salud, creencias, costumbres, pobreza, acceso a los recursos y bienes materiales; los cuales se encuentran relacionados

³ Según Moe & Pathranarakul (2006) las medidas proactivas comprenden un conjunto de actividades de mitigación y preparación, antes de la ocurrencia de un evento catastrófico; mientras que, las medidas reactivas comprenden un conjunto de actividades de respuesta y recuperación, durante y después de la ocurrencia de un evento catastrófico.

entre sí y coloca en un estado de susceptibilidad de daño a un individuo o población, así como también su capacidad de resiliencia, ante la presencia de una amenaza (Centro Humboldt, 2004; Dilshad, et al., 2018; UNISDR, 2009; Sánchez & Egea, 2011).

La vulnerabilidad física comprende el estudio del entorno físico y características de una zona geográfica expuesta a una amenaza, tanto las características naturales de la hidrósfera, geosfera y atmósfera. Se consideran, además, aquellas características estructurales de las obras físicas construidas por el hombre en este territorio, de los cuales se desprenderá el grado de susceptibilidad de ser afectado por una amenaza (Bevacqua, et al., 2018; Douglas, 2007).

Otros autores, analizan distintos factores de manera particular dependiendo de la especificidad de la investigación y disgregando otros componentes del sistema territorial, por ejemplo, la vulnerabilidad económica, que trata del estudio de susceptibilidad de una población por efecto del nivel de los ingresos económicos de los individuos y grupos sociales que la conforman y las políticas económicas que afectan o potencian a un territorio. La vulnerabilidad política que se refiere al estudio del sistema político en la toma de decisiones para el manejo del riesgo y a la capacidad de gestión y liderazgo de las instituciones que gobiernan un territorio. La vulnerabilidad educativa que se refiere al análisis del nivel de formación de la población, la calidad de la educación y los contenidos relacionados a la participación comunitaria en la sociedad (Centro Humboldt, 2004).

2.3 El riesgo como categoría de análisis de eventos tsunamigénicos

Según la Real Academia Española de la Lengua (2020), riesgo es la “contingencia o proximidad de daño”, mientras que contingencia es la “posibilidad de que algo suceda o no suceda”. En este contexto Pauker y Toulkeridis (2015) definen al riesgo como un estado latente que anuncia pérdidas humanas y materiales, la ocurrencia de un evento negativo y limita el desarrollo de elementos de la estructura social y económica de una localidad.

Según el Centro Humboldt (2004), el riesgo es el resultado de la interrelación de amenazas y vulnerabilidades que coexisten en una localidad ($Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad$), la construcción de un escenario de riesgo es predecir el impacto de un

fenómeno peligroso. Se sostiene que el riesgo comprende la probabilidad de que exista un desastre, el riesgo es percibido de manera diferente por los miembros de una localidad y es dinámico y cambiante. En efecto Riddell et al. (2019), afirman que el escenario de riesgo es complejo e incierto y está en continua evolución, pues cambia en función de los factores de amenaza, vulnerabilidad y exposición; pero también evoluciona en función de la política y la inversión pública y privada.

Por otro lado, el Centro Humboldt (2004), señala que un desastre es la realización o concreción de la construcción de condiciones de riesgo en una sociedad donde su ocurrencia o intensidad interviene la acción humana. Según Lin y Pathranarakul (2006) la gestión del riesgo de desastre comprende 5 fases: predicción, advertencia, socorro, rehabilitación y reconstrucción. La predicción: incluye los estudios técnicos para evaluar el riesgo, la adopción de medidas estructurales y no estructurales para asegurar una respuesta efectiva y también para limitar el efecto de fenómenos adversos. La advertencia: es la provisión de información oportuna a la población, de parte de las instituciones responsables, que permita a las personas adoptar medidas preventivas para reducir su riesgo y prepararse para una respuesta eficaz. El socorro: es la provisión de asistencia, durante o inmediatamente después de un desastre, para preservar la vida y satisfacer las necesidades de subsistencia de la población afectada. La rehabilitación: incluye las medidas tomadas después de un desastre para restaurar o mejorar las condiciones de vida a corto plazo. La reconstrucción: son todas las medidas tomadas con el fin de restaurar las actividades sociales y económicas de un sistema territorial a largo plazo.

2.4 La geografía aplicada y tecnologías geoespaciales para el estudio de tsunamis

Anteriormente, el aporte de los geógrafos a la sociedad y su desarrollo se veía ensombrecida porque se basaba en contribuciones académicas a otras disciplinas científicas, en consecuencia, la investigación académica de la geografía se impulsaba, mayormente, por la curiosidad para comprender patrones y procesos ambientales. No obstante, en la actualidad, los cambios son significativos desde que los geógrafos se empezaron a involucrar en la geografía aplicada y en la tecnología geoespacial. La geografía aplicada marca una diferencia con la investigación académica ya que se encuentra orientada e impulsada a un

usuario final. Se concentra en las interacciones humanas, estudios de área y localización espacial; en la búsqueda de comprender los procesos sociales y ambientales y dar sentido a procesos físicos complejos, proporcionando acciones y recomendaciones (Lee, 2015; Frazier, 2015).

Según Frazier (2015) otra tendencia que ha contribuido a la capacidad de resolver problemas geográficos es el vínculo con los sistemas de información geográfica (SIG), la teledetección y sistemas satelitales de navegación global (GNSS). Es decir, la combinación de tecnología automatizada de base geográfica que permiten adquirir, retratar y analizar conocimientos geográficos útiles para la resolución de problemas.

Pacione (2009) señala que la filosofía de la geografía aplicada se basa en el empleo de conocimientos y habilidades geográficas para la resolución de problemas sociales, económicos o ambientales y tiene el potencial de proponer respuestas apropiadas. Según Montz y Tobin (2011), la investigación geográfica sobre peligros naturales inicia con un enfoque en los procesos físicos y avanza con el reconocimiento de las interacciones entre los entornos físicos y humanos, que se ven facilitadas con los avances tecnológicos a través de SIG, teledetección y técnicas analíticas espaciales.

Por consiguiente, entre los problemas que enfrenta la sociedad moderna se encuentran fenómenos naturales adversos como tsunamis. La investigación geográfica para enfrentar este evento comienza por el conocimiento de los fenómenos físicos (amenaza tsunamigénica) y después, con la interacción con el entorno social (estudio de la vulnerabilidad y estimación del riesgo de desastre). Las tecnologías geoespaciales tienen un papel preponderante, puesto que permiten analizar espacialmente este fenómeno natural, fomentar la comprensión de los peligros asociados a tsunamis, proponer soluciones para mitigar el riesgo y contribuir a la resiliencia de la población afectada.

CAPÍTULO III

ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA TSUNAMIGÉNICA

1 Introducción

El objetivo de este capítulo es el estudio de la amenaza de tsunami y la estimación del peor escenario, por lo tanto, el capítulo inicia con el análisis de catálogos históricos tanto descriptivos y paramétricos de tsunamis que provocaron afectaciones en las costas ecuatorianas. Conviene subrayar que los registros disponibles describen únicamente la ocurrencia de tsunamis de origen sísmico, donde se cuenta con datos de localización, fecha, magnitud y profundidad del evento sísmico, así como también la descripción de los efectos del tsunami en el litoral ecuatoriano.

Seguidamente se analizan estudios referentes a la caracterización sísmica frente a la zona de estudio para comprender las fuentes generadoras de tsunamis y obtener datos derivados de la zonificación sismogenética y del cálculo de peligrosidad sísmica, tales como la estimación de magnitud de momento máxima y profundidad. Además, se describe las capacidades del Centro de Alerta de Tsunamis para modelar tsunamis a partir de datos sísmicos en diferentes latitudes.

Se presenta además en este capítulo, la estimación de la amenaza, a partir de la confección de un catálogo de los principales eventos tsunamigénicos de origen sísmico y de una malla de muestreo de eventos sísmicos frente a la zona de estudio. El análisis prospectivo que se presenta para la determinación del escenario futuro respalda y valida el abordaje teórico metodológico de los objetivos, con base a una interpretación del pasado, el análisis del presente para el planteamiento del peor escenario.

Finalmente, se realiza el análisis de la peligrosidad tsunamigénica obtenida del modelado espacial en el entorno de Sistemas de Información Geográfica, con aplicaciones de técnicas específicas y funciones matemáticas de estandarización y ponderación. Se aprecia de este modo, la zona inundada y la estimación del tiempo de arribo de la primera ola del tsunami para las diferentes localidades del Cantón Atacames.

2 Materiales y métodos

Se examinaron los Catálogos Históricos de diferentes fuentes y se analizaron los dos grupos de catálogos definidos por Gusiakov (2009); los descriptivos y paramétricos. Los catálogos descriptivos proporcionan información de los efectos del tsunami en las costas y son obtenidos de informes primarios donde los datos cuantitativos están dispersos en el texto y que son difíciles de recuperar. Los catálogos paramétricos donde se describe la información detallada de los parámetros del tsunami, pero carecen de información descriptiva y generalmente emplean escalas para medir la intensidad del tsunami.

A partir de los catálogos históricos de ocurrencia de tsunamis se realizó la confección de un catálogo de los eventos tsunamigénicos que incidieron de manera significativa en el Ecuador continental en base a los siguientes criterios: se consideraron los eventos que incidieron en el litoral continental únicamente, porque en el caso de las Islas Galápagos al encontrarse a una distancia de 1100 km sesga los resultados del propósito de este estudio, que es identificar las fuentes de tsunamis que puedan afectar a la zona costera de Atacames. Se descartaron los eventos que generaron disturbios menores (valores de run-up menores a 1 m) y se comprobó su localización.

Por otro lado, a partir de la zonificación de peligrosidad sísmica en la zona de subducción y la estimación de peligrosidad sísmica de Esmeraldas, se tomaron los parámetros de sismicidad y profundidad de la zona Interfase Norte (zona contigua a Atacames). También se tomaron los valores de magnitud y rango de distancia de la estimación de peligrosidad sísmica de Esmeraldas, para confeccionar una malla de muestreo de 18 puntos con datos de magnitud M_w y profundidad de epicentros sísmicos frente a la zona de estudio.

Los eventos sísmicos del catálogo de tsunamis y de la malla de muestreo de la zona de subducción se modelaron en el Centro de Alerta de Tsunamis del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR). De esta manera se obtuvo los parámetros de máxima amplitud de la ola en las costas de Atacames y tiempos de arribo del tsunami, lo que permitió seleccionar el peor escenario.

2.1.1 El Centro de Alerta de tsunamis y modelamiento de la amenaza tsunamigénica

El Centro de Alerta de Tsunamis del INOCAR es el organismo oficial responsable de generar la alerta temprana, pronósticos y predicciones de eventos tsunamigénicos en el Ecuador. Por lo tanto, se empleó su capacidad instalada para realizar el modelamiento de tsunamis y definir el peor escenario, a partir de 18 sismos correspondientes a la malla de muestreo en la zona de subducción y 9 sismos derivados de los catálogos históricos, para calcular la amplitud de onda máxima y tiempos de arribo en las costas del cantón Atacames.

El centro emplea dos softwares de modelamiento y simulación de tsunamis para determinar la amplitud: el Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model (COMCOT) y el Community Model Interface for Tsunami (ComMIT), que es una interfaz habilitada en Internet para el modelo Method Of Splitting Tsunamis (MOST). Mientras que para calcular los tiempos de arribo emplea el software Tsunami Travel Time (TTT) (INOCAR, 2019).

Los modelos COMCOT y ComMIT MOST pueden simular los tres procesos evolutivos de un tsunami: generación, propagación e inundación. Los dos modelos están basados en ecuaciones de aguas poco profundas empleando el método de diferencias finitas. Para el modelamiento, el área de estudio se transforma en un sistema de grillas acopladas en varios niveles de resolución de cuadrícula hasta alcanzar la zona de estudio (Fig. 28) (INOCAR, 2019).

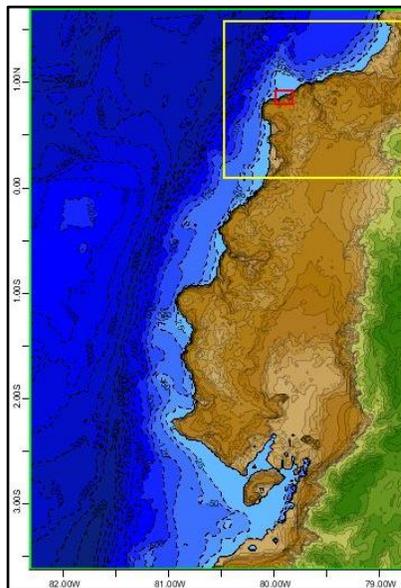


Fig. 28. Grilla en tres niveles de resolución que emplea el INOCAR para modelar los escenarios de tsunami. Fuente: INOCAR (2019).

Para determinar los efectos de la perturbación generadora del tsunami se emplean varios parámetros que complementan la información entregada. Para el desplazamiento de la superficie del agua emplea la deformación del fondo marino (correspondiente al plano de falla). Para un terremoto determinado el desplazamiento del lecho marino se determina a partir de la teoría de deformación elástica de Mansinha y Smylie (1971) y Okada (1985). Los resultados calculados por el software se suman los valores de la máxima marea de sicigia (1,9 m) (INOCAR, 2019).

El software TTT emplea la información de batimetría globales derivadas de ETOPO1 en distintas resoluciones: 60, 30, 20, 15, 10, 5, 2 m. Para calcular los tiempos de arribo del tsunami a la costa, el software se basa en la fórmula de velocidad de onda larga

$$c = \sqrt[2]{g * h}$$

Donde la velocidad de un tsunami depende de la profundidad del mar. Para la representación de resultados se subdivide la zona de estudio en dos zonas: la primera, las costas de la parroquia Tonchigüe; la segunda, las costas de las parroquias Atacames, Tonsupa y Súa (INOCAR, 2019).

A partir de un modelo digital del terreno (MDT) de 4 cm de resolución espacial proporcionado por el IGM y el cálculo de la máxima amplitud de onda y tiempo de arribo de la primera ola, se confeccionaron modelos de inundación por tsunami de la zona de estudio integrando los inputs en un SIG. Posteriormente se realizó la estimación de la peligrosidad tsunamigénica, para lo cual se empleó una función matemática de transformación lineal difusa para reclasificar la zona inundada en un solo rango o escala, para este caso, entre los valores de 0 a 10. En este proceso se aplicó una función lineal entre dos valores: mínimo y máximo, donde todo lo que está debajo del mínimo se asigna un valor de 0 y todo lo que está encima del máximo un valor de 10. El valor mínimo corresponde al valor de 0 metros de inundación y el valor máximo de peligrosidad se consideró la altura de inundación mayor o igual a 1,56 cm de profundidad que representa la medida sobre la cabeza de una mujer adulta promedio (NCD RisC, 2019) (Fig. 29). La metodología de trabajo para la estimación de la amenaza se muestra en la Fig. 30.

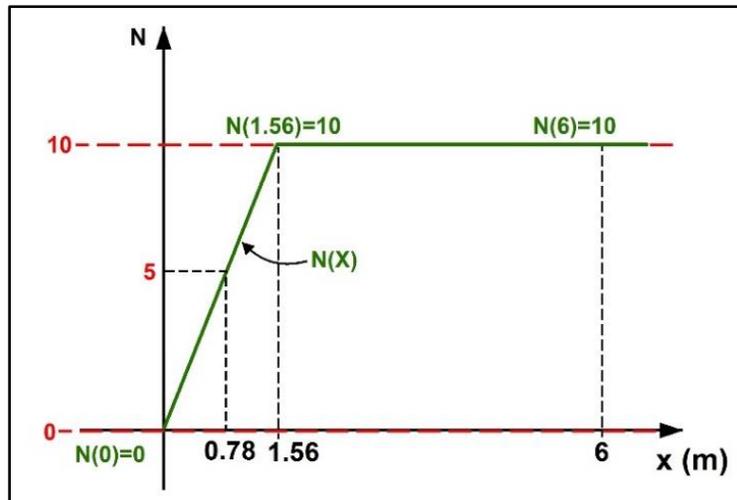


Fig. 29. Función de transformación lineal difusa para reclasificar los valores de altura de inundación. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 30. Metodología para la estimación de la amenaza. Fuente: Elaboración propia.

3 Resultados

3.1 Catálogos históricos para la estimación de ocurrencia de eventos tsunamigénicos

Existen varios estudios históricos y catálogos que describen la ocurrencia de tsunamis que provocaron daños y perturbaciones en el litoral ecuatoriano, tanto en la región insular (Islas Galápagos) como continental. Todos los registros históricos describen tsunamis originados por terremotos en el fondo oceánico, dado que no existen registros de tsunamis ocasionados por otros fenómenos físicos que hayan afectado al litoral ecuatoriano.

Espinoza (1992) proporciona un catálogo descriptivo donde detalla los eventos sísmicos que originaron tsunamis en el Ecuador a partir del catálogo de la red sísmica del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y describe la ocurrencia de 5 eventos tsunamigénicos entre 1901 y 1981 originados en la zona de subducción frente al litoral ecuatoriano (tsunamis de origen cercano) (Tabla 10; Fig. 31).

Nº	Fecha	Hora	Lat	Lon	Mw	Prof. (km)	Efectos en el litoral
1	31/01/1906	15:36	1	-81,5	8.6 8.9	25	Tumaco: tiempo de arribo 30 min; run-up de 2-5,9 m. Rioverde hacia el norte: todas las viviendas cercanas a las playas destruidas; 1000-1500 fallecidos. La Tola: más de 23 viviendas fueron destruidas Esmeraldas: Río Esmeraldas inundo zonas bajas de la población Bahía de Caráquez: el mar se elevó de 80-100 cm en 20 min
2	02/10/1933	15:29	-2	-81	6.9	x	La Libertad: 16:30 y 19:00 el mar alcanzo la marca de marea alta (2-2,5 m); un cable submarino roto. Ancón: fuertes oscilaciones del nivel del mar
3	12/12/1953	17:31	-3,5 -3,4	-81 -80,6	7.3	33	Salinas: olas no destructivas en la Puntilla de Santa Elena
4	19/01/1958	14:07	1,37 1,5	-79,34 -79,5	7.8 7.6	60	Esmeraldas: 04 fallecidos; run-up de 2-5,9 m Probable afectación a Tumaco y norte de Esmeraldas.
5	12/12/1979	07:59	1,6	-79,4	7.9	33	Graves afectaciones en Colombia Esmeraldas: Se presentaron de 3 a 4 olas que no ocasionaron daños (la marea se encontraba en su nivel más bajo)

Tabla 10. Catálogo de eventos tsunamigénicos en la zona de subducción según Espinoza (1992). Fuente: Elaboración propia a partir de Espinoza (1992).

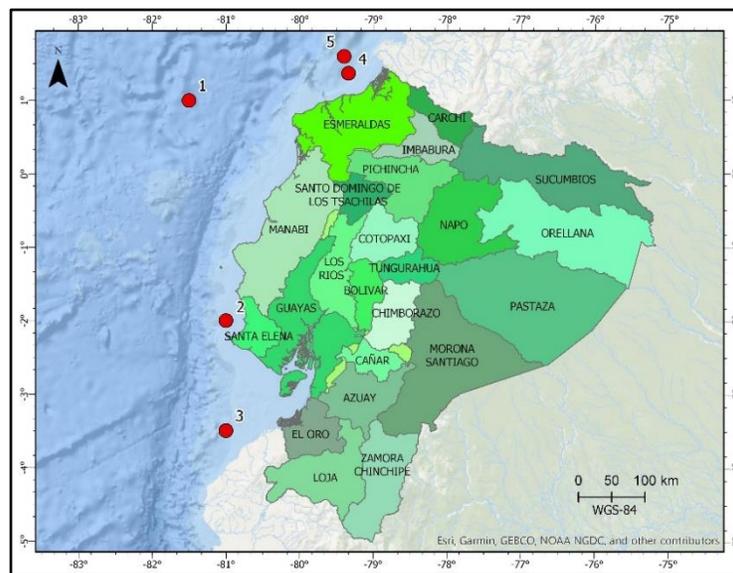


Fig. 31. Catálogo de eventos tsunamigénicos en la zona de subducción según Espinoza (1992). Fuente: Elaboración propia a partir de Espinoza (1992).

La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2019) dispone de un catálogo paramétrico de 40 terremotos tsunamigénicos que se percibieron en el litoral ecuatoriano en el espacio temporal de 1906-2019 que corresponden a registros instrumentales y de testigos oculares. Se presenta información de tsunamis de campo cercano, regional y transoceánico, existen 26 eventos que no disponen de información del tiempo de arribo y/o run-up (Tabla 11; Figs. 32 y 33).

N°	Fecha	Hora (UTC)	Lat	Long	País	Mag Mw	Prof. (km)	Run-up (m)	Tiempo de arribo	Localización
1	31/01/1906	15:36	1	-81,5	Ecuador	8.8	25	x x x x	x x x x	Esmeraldas Guayaquil Bahía de Caráquez Río Verde
2	02/10/1933	15:29	-2	-81	Ecuador	6.9	33	x	x	La Libertad
3	04/03/1952	01:22	42,15	143,85	Japón	8.1	45	0,10	x	La Libertad
4	04/11/1952	16:58	52,755	160,057	Rusia	9.0	22	1,89	17:48	La Libertad
5	12/12/1953	17:31	-3,4	-80,6	Perú	7.4	33	0,20	0:06	La Libertad
6	09/03/1957	14:22	51,292	-175,629	USA	8.6	33	x	x	La Libertad
7	19/01/1958	14:07	1,5	-79,5	Ecuador	7.6	60	x x	x x	Esmeraldas Guayaquil
8	22/05/1960	19:11	-38,143	-73,407	Chile	9.5	33	0,62 0,96	6:29 6:09	I. San Cristóbal La Libertad
9	12/03/1962	11:40	8,008	-82,757	Panamá	6.8	35	0,10	2:42	I. San Cristóbal
10	28/03/1964	03:36	61,017	-147,648	USA	9.2	33	0,58 0,62	12:51 14:33	I. San Cristóbal La Libertad
11	04/02/1965	05:01	51,290	178,550	USA	8.7	36	0,20	x	La Libertad
12	17/10/1966	21:41	-10,748	-78,638	Perú	8.1	38	0,30	x x	I. Galápagos La Libertad
13	28/12/1966	08:18	-25,5	-70,7	Chile	7.8	47	0,10	x	I. Galápagos
14	11/08/1969	21:26	43,6	147,9	Rusia	8.2	30	0,11	x	La Libertad
15	12/12/1979	07:59	1,598	-79,358	Colombia	7.7	33	x	x	Esmeraldas
16	03/03/1985	22:47	-33,132	-71,708	Chile	8.0	40	0,20	01:58	Guayaquil
17	19/09/1985	13:17	18,19	-102,533	México	8.0	28	0,11 0,30	x x	I. Baltra La Libertad
18	07/05/1986	22:47	51,52	-174,77	USA	8.0	19	0,02 0,07	x x	I. Baltra La Libertad
19	02/09/1992	0:16	11,72	-87,386	Nicaragua	7.7	40	0,56 0,09	x x	I. Baltra La Libertad
20	09/10/1995	15:35	19,055	-104,205	México	8.0	33	0,04	x	I. Baltra
21	21/02/1996	12:51	-9,593	-79,587	Perú	7.5	10	0,20	x	I. Santa Cruz

22	25/02/1996	03:08	15,978	-98,070	México	7.1	21	0,06	x	I. Baltra
23	10/06/1996	04:03	51,564	-177,632	USA	7.9	33	0,04	x	I. Baltra
24	23/06/2001	20:33	-16,26	-73,64	Perú	8.4	33	0,15 0,45	x 3:59	I. Baltra I. Santa Cruz
25	26/12/2004	0:58	3,316	95,854	Indonesia	9.1	30	0,18	29:27	I. Baltra
26	15/11/2006	11:14	46,592	153,266	Rusia	8.3	10	0,30 0,33	x x	I. Baltra I. Santa Cruz
27	15/08/2007	23:40	-13,386	-76,603	Perú	8.0	39	0,27	04:36	I. Santa Cruz
28	19/03/2009	18:17	-23,046	-174,659	Tonga	7.6	34	0,03 0,14 0,06	13:51 13:56 x	I. Baltra I. Santa Cruz La Libertad
29	29/09/2009	17:48	-15,489	-172,095	Samoa	8.1	18	0,13	x	I. Baltra
30	27/02/2010	06:34	-36,122	-72,898	Chile	8.8	23	0,35 0,53	8:18 06:09	I. Baltra I. Santa Cruz
31	11/03/2011	05:46	38,297	142,372	Japón	9.1	30	x 3,37 6,12 4,66 3,15 1,61	x x x x x 19:32	Santa Rosa I. Santa Cruz I. Isabel I. San Cristóbal I. Santiago La Libertad
32	06/07/2011	19:03	-29,539	-176,340	Nueva Zelanda	7.6	17	0,6 0,15	x x	I. Baltra I. Santa Cruz
33	27/08/2012	04:37	12,139	-88,59	El Salvador	7.3	28	0,36 0,20 0,18	2:32 2:47 3:41	I. Baltra I. Santa Cruz La Libertad
34	05/09/2012	14:42	10,085	-85,315	Costa Rica	7.6	35	0,06 0,18	2:04 1:48	I. Baltra I. Santa Cruz
35	07/11/2012	16:35	13,988	-91,895	Guatemala	7.3	24	0,05	2:46	I. Baltra
36	06/02/2013	01:12	-10,766	165,114	Islas Salomón	7.9	24	0,23 0,14	17:37 x	I. Santa Cruz La Libertad
37	01/04/2014	23:46	-19,61	-70,76	Chile	8.2	25	0,14 0,57	4:40 4:02	I. Baltra I. Santa Cruz
38	16/09/2015	22:55	-31,573	-71,674	Chile	8.3	22	0,18 0,56 0,10	5:53 5:46 x	I. Baltra I. Santa Cruz La Libertad
39	16/04/2016	23:58	0,35	-80,16	Ecuador	7.8	17	0,50 0,10 x x 0,14	x 3:02 x x x	Esmeraldas I. Santa Cruz Bahía de Caráquez Jaramijó La Libertad
40	08/09/2017	04:49	15,022	-93,899	México	8.2	47	0,23 0,28 0,23	x x x	I. Baltra I. Santa Cruz La Libertad

Tabla 11. Catálogo de eventos tsunamigénicos que se percibieron en Ecuador según la NOAA. Fuente: NOAA (2019).

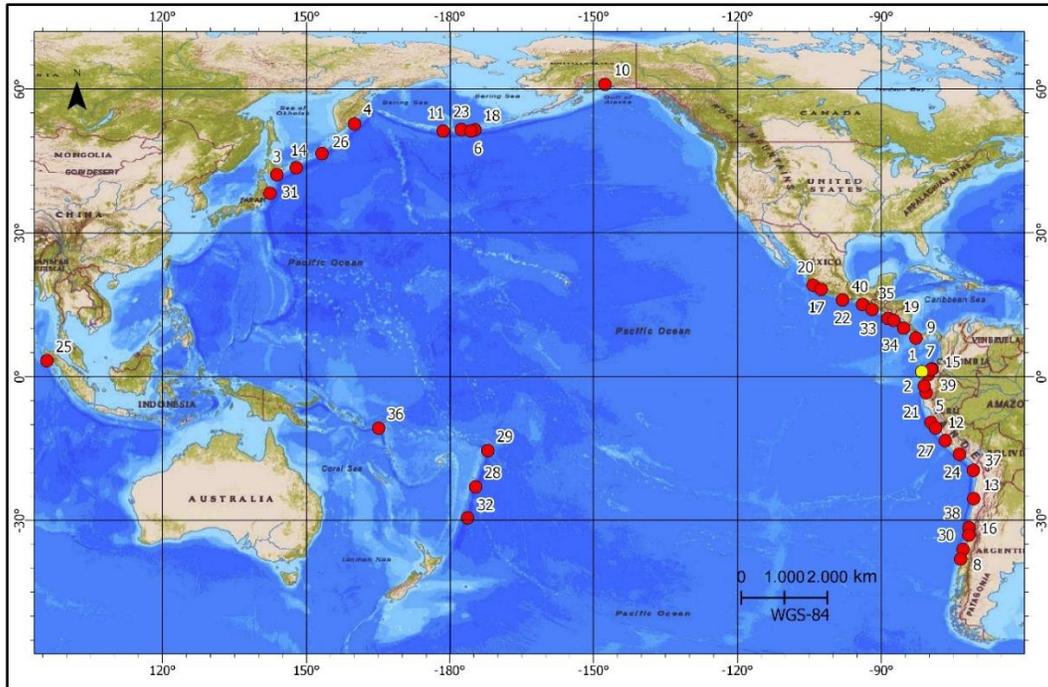


Fig. 32. Catálogo de eventos tsunamigénicos que se percibieron en Ecuador según NOAA. Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2019).

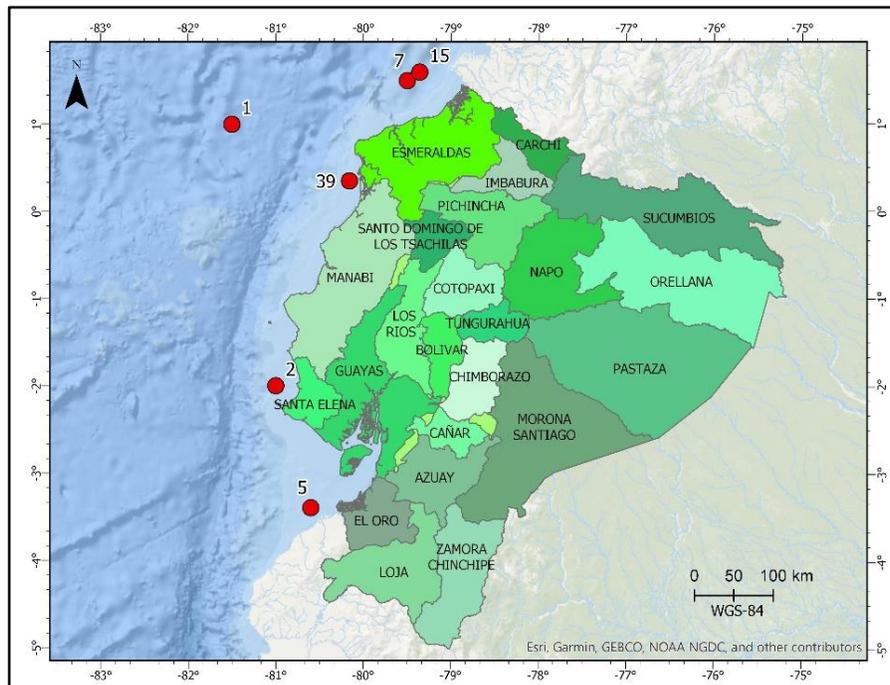


Fig. 33 Catálogo de eventos tsunamigénicos de origen cercano que se percibieron en Ecuador según la NOAA. Fuente: Elaboración propia a partir de NOAA (2019).

En la tabla 12 se presenta el catálogo diseñado por Contreras (2013). El mismo es un catálogo paramétrico de 58 eventos sísmicos que originaron tsunamis que afectaron al litoral

ecuatoriano desde 1586 al 2012 basado en varias fuentes y considera también a los tsunamis regionales y transoceánicos. La base de datos de tsunamis dispone de información anterior a 1906 donde no se contaba con registros instrumentales. Se resaltan 7 eventos que tuvieron mayor incidencia en territorio ecuatoriano: Perú 1746, Ecuador 1906 (31 de enero), Ecuador 1933, Perú 1953 (12 de enero), Colombia 1979, Chile 2010 y Japón 2011. La localización de los eventos N° 5,6 y 21 es errónea dado que las coordenadas corresponden a sismos que se originarían en el interior del continente (Tabla 12; Figs. 34 y 35).

N°	Fecha	Lat	Long	País	Mag Mw	Prof. (km)	Run-up EC(m)	Run-up GAL(m)
1	10/07/1586	-12,2	-77,7	Perú	8.5	60	x	x
2	18/6/1678	-9,0	-79,0	Perú	8.2	40	x	x
3	29/10/1746	-12,5	-77,0	Perú	8.6	30	x	x
4	01/12/1806	-12,1	-77,1	Perú	7.5	30	x	x
5	30/11/1808	-0,2	-78,3	Ecuador	x	x	x	x
6	16/11/1827	-1,8	-76,4	Ecuador	7.0	10	x	x
7	23/05/1847	-12,1	-77,1	Perú	x	x	x	x
8	23/04/1860	-12,0	-77,1	Perú	x	x	>2	x
9	08/01/1865	-12,0	-77,1	Perú	x	x	x	x
10	13/08/1868	-17,7	-71,6	Chile	9.1	25	4	x
11	18/08/1868	0,4	-78,1	Ecuador	7.7	x	x	x
12	10/05/1877	-21,1	-70,3	Chile	8.3	25	x	x
13	14/05/1877	-12,1	-77,15	Perú	x	x	x	x
14	11/10/1877	2,3	-78,8	Colombia	x	x	x	x
15	27/01/1878	-12,1	-77,1	Perú	x	x	x	x
16	07/09/1882	7,3	-77,8	Panamá	7.9	40	x	x
17	31/01/1906	1	-81,5	Ecuador	8.8	25	5	x
18	07/02/1906	1	-81,0	Ecuador	6.3	x	x	x
19	12/01/1914	-12	-76,6	Perú	x	33	x	x
20	02/10/1933	-2,2	-81	Ecuador	6.9	10	2,5	2
21	22/05/1942	4,6	-74,5	Colombia	7.0	13	x	x
22	04/03/1952	41,8	144,1	Japón	8.1	45	0,10	x
23	04/11/1952	52,755	159,5	Rusia	9.0	20	1,89	x
24	15/02/1953	-12,0	-77,5	Perú	5.5	33	x	x
25	12/12/1953	-3,6	-80,6	Perú	7.4	30	0,20	x
26	09/03/1957	51,6	-175,3	USA	8.7	28	x	x
27	19/01/1958	1,0	-79,5	Colombia	7.7	20	5,9	x
28	07/02/1959	-3,8	-81,6	Perú	7.4	19	x	x
29	22/05/1960	-38,3	-72,7	Chile	9.5	33	1,9	0,6
30	20/11/1960	-6,6	-80,6	Perú	6.8	31	x	x
31	12/03/1962	8,1	-82,7	Costa Rica	6.8	19	0,10	x
32	28/03/1964	61,0	-147,7	USA	9.2	7	0,6	1,0
33	04/02/1965	51,2	178,5	USA	8.7	30	0,20	x
34	17/10/1966	-10,8	-78,7	Perú	8.1	34	x	0,2
35	28/12/1966	-25,5	-70,7	Chile	7.8	30	x	0,10
36	03/09/1967	-10,6	-79,7	Perú	7.0	38	x	x
37	11/08/1969	43,6	147,8	Rusia	8.2	27	0,2	x

38	31/05/1970	-9,2	-78,8	Perú	7.9	43	x	x
39	03/10/1974	-12,3	-77,8	Perú	8.1	13	x	x
40	12/12/1979	1,6	-79,4	Colombia	8.1	24	>2	x
41	03/03/1985	-33,1	-71,9	Chile	8.0	33	0,20	x
42	19/09/1985	18,2	-102,5	México	8.0	27	0,30	0,11
43	07/05/1986	51,5	-174,8	USA	8.0	33	0,07	0,02
44	02/09/1992	11,7	-87,3	Nicaragua	7.7	45	0,1	0,56
45	09/10/1995	19,1	-104,2	México	8.0	33	x	0,1
46	21/02/1996	-9,6	-79,6	Perú	7.5	10	x	0,20
47	25/02/1996	15,9	-98,1	México	7.1	21	x	0,06
48	10/06/1996	51,6	-177,6	USA	7.9	33	x	0,04
49	04/08/1998	-0,6	-80,4	Ecuador	7.2	33	x	x
50	23/06/2001	-16,3	-73,6	Perú	8.4	33	x	0,9
51	26/12/2004	3,3	95,8	Indonesia	9.1	10	x	0,14
52	15/11/2006	46,6	153,3	Rusia	8.3	10	x	0,33
53	15/08/2007	-13,4	-76,6	Perú	8.0	39	x	0,54
54	19/03/2009	-23,0	-176,7	Tonga	7.6	34	0,06	0,14
55	29/09/2009	-15,5	-172,1	Samoa	8.0	18	x	0,13
56	27/02/2010	-36,1	-72,9	Chile	8.8	29	x	1,08
57	11/03/2011	38,3	142,4	Japón	9.0	29	x	>2
58	06/07/2011	-29,6	-176,3	Nueva Zelanda	7.6	17	x	0,15

Tabla 12. Catálogo de eventos tsunamigénicos que se percibieron en Ecuador según Contreras (2013). Fuente: Contreras (2013).

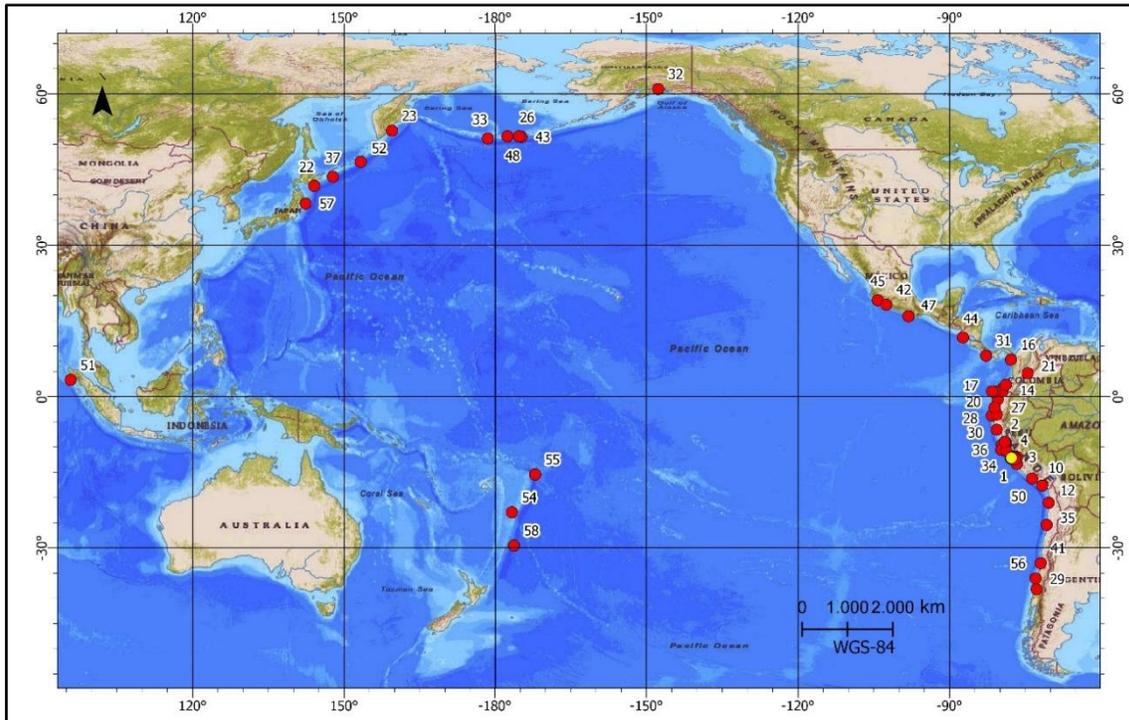


Fig. 34. Catálogo de eventos tsunamigénicos que se percibieron en Ecuador según Contreras (2013). Fuente: Elaboración propia a partir de Contreras (2013).

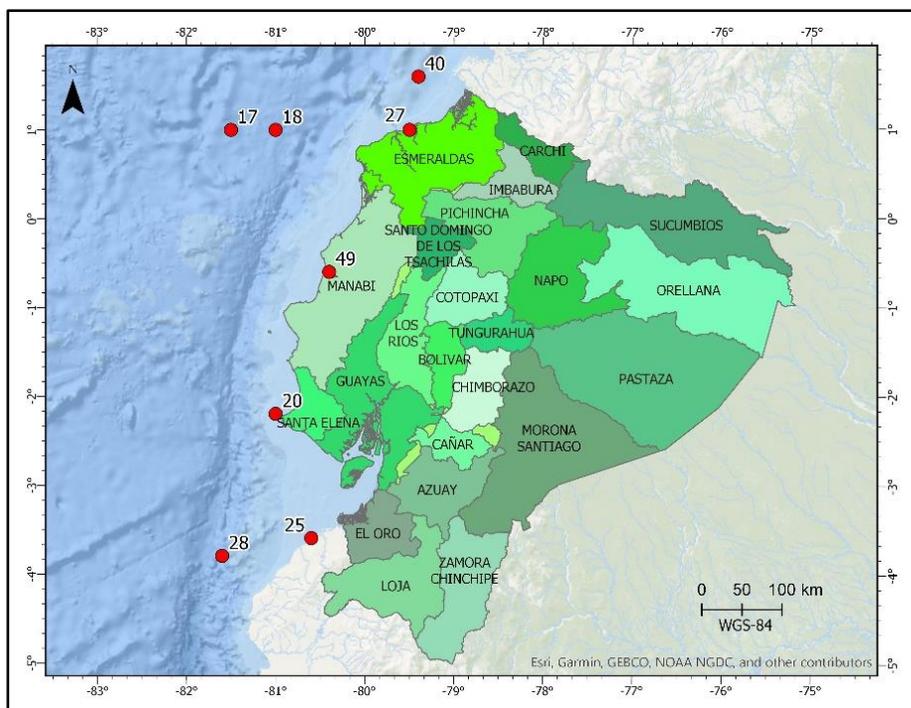


Fig. 35. Catálogo de eventos tsunamigénicos que se percibieron en Ecuador, de campo cercano según Contreras (2013). Fuente: Elaboración propia a partir de Contreras (2013).

En todos los registros y estudios históricos se evidencia la carencia de información más detallada, tanto de las características físicas del evento tsunamigénico (run-up, tiempo de arribo), como de las afectaciones en el litoral. Espinoza (1992) atribuye la falta de información más precisa al “escaso o ningún desarrollo de la costa ecuatoriana en la primera mitad del siglo (se refiere al siglo XX) en el que no existían poblaciones ni infraestructura de importancia, en la actualidad no se puede encontrar evidencias físicas o históricas de los efectos de las olas o de las características con que se presentaron fenómenos tan fuertes como el de 1906”.

Según Ioualalen, et al. (2010), las costas de Atacames y Esmeraldas no se verían afectadas debido a la forma cóncava del promontorio de Atacames, localizado frente a sus costas que ocasiona que la energía del tsunami se disperse. Dicha afirmación se apoya en un estudio de la probabilidad de ocurrencia de eventos tsunamigénicos frente a las costas de Atacames, a partir de simulaciones de los eventos sísmicos de 1942 y 1958, además de dos deslizamientos de tierra submarinos en el talud continental (en base al estudio de la batimetría).

3.2 Catálogo de eventos más importantes

El catálogo histórico contiene 9 eventos tsunamigénicos de origen sísmico que incidieron de manera significativa en el litoral ecuatoriano continental. Según su clasificación se pueden diferenciar los siguientes eventos: 5 tsunamis son de campo cercano (eventos N° 2,3,5,7 y 9), dos tsunamis de campo intermedio originados en Chile (eventos N° 1 y 6) y dos tsunamis son de campo lejano o transoceánicos originados en Rusia y Japón (eventos N° 4 y 8 respectivamente) (Tabla 14; Figs. 36 y 37).

El catálogo de eventos importantes cubre un espacio temporal entre 1868 y 2016, su distribución geográfica muestra que los tsunamis que incidieron, mayormente, en las costas de la provincia de Esmeraldas se originaron en la región interfase norte. Esto se debe a la alta intensidad sísmica de la zona y a la cercanía de la fuente de origen, ya que los tsunamis más destructivos son aquellos que provienen de una fuente cercana. El tsunami de 1906, ocasionado por un sismo de magnitud Mw 8.8, fue el más grande y existen registros instrumentales y la descripción de las afectaciones a las poblaciones de la costa contigua (Tabla 14; Figs. 36 y 37).

Después, el evento de mayor importancia que afecta a las costas ecuatorianas corresponde al sismo de magnitud Mw 9.1 originado en Chile en 1868, que según los registros ocasionó un tsunami de campo intermedio con un Run-up máximo de 4 metros en el litoral ecuatoriano, sin embargo, no se describen sus efectos. El evento N° 3 corresponde a un sismo de magnitud Mw 6.9 frente a la provincia de Santa Elena, que ocasionó un tsunami de campo cercano con un run-up de 2,5 m que no produjo daños mayores en la costa contigua. Los tsunamis regionales y transoceánicos incidieron en valores de run-up de 1,9-4 m en el litoral, pero no existen registros de afectaciones a la población y sus recursos (Tabla 13; Figs. 36 y 37).

N°	Fecha	Hora	Lat	Lon	País	Mw	Prof. (km)	Run-up Máx (m)	Efectos en el litoral
1	13/08/1868	x	-17,7	-71,6	Chile	9.1	25	4	x
2	31/01/1906	15:36	1	-81,5	Ecuador	8.6 8.9 8.8	25	x	Rioverde hacia el norte: todas las viviendas cercanas a las playas destruidas; 1000-1500 fallecidos.

									La Tola: más de 23 viviendas fueron destruidas Esmeraldas: Río Esmeraldas inundo zonas bajas de la población Bahía de Caráquez: el mar se elevó de 80-100 cm en 20 min
3	02/10/1933	15:29	-2	-81	Ecuador	69	x	2,5	La Libertad: 16:30 y 19:00 el mar alcanzo la marca de marea alta (2-2.5 m); un cable submarino roto. Ancón: fuertes oscilaciones del nivel del mar
4	04/11/1952	16:58	52,755	160,057	Rusia	9.0	22	1,89	x
5	19/01/1958	14:07	1,37	-79,34	Ecuador	7.8 7.6	60	x	Esmeraldas: 04 fallecidos; run-up de 2-5.9 m Probable afectación a Tumaco y norte de Esmeraldas.
6	22/05/1960		-38,3	-72,7	Chile	9.5	33	1,9	x
7	12/12/1979	07:59	1,6	-79,4	Colombia	7.9	33	x	Graves afectaciones en Colombia Esmeraldas: Se presentaron de 3 a 4 olas que no ocasionaron daños (la marea se encontraba en su nivel más bajo)
8	11/03/2011	05:46	38,297	142,372	Japón	9.1	30	x	x
9	16/04/2016	23:58	0,35	-80,16	Ecuador	7.8	17	0,50	La marea se encontraba baja

Tabla 13. Catálogo de eventos tsunamigénicos más importantes. Fuente: Elaboración propia a partir de Contreras (2013), NOAA (2019), Espinoza (1992).

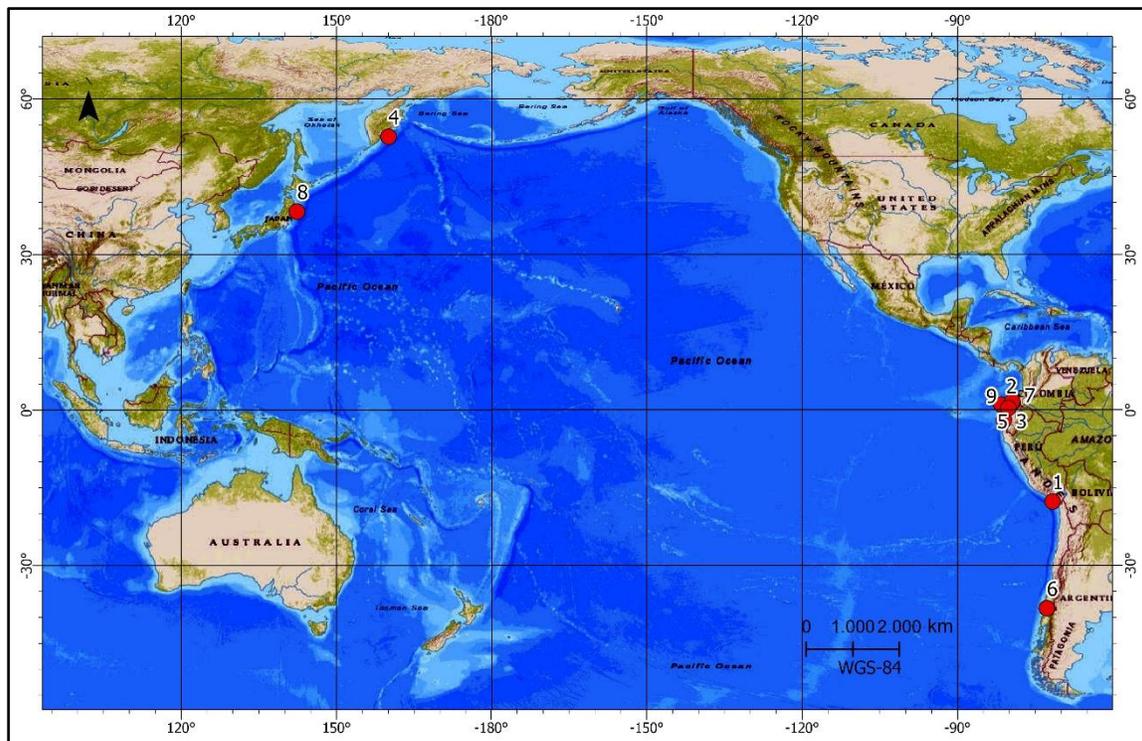


Fig. 36. Eventos tsunamigénicos más importantes que incidieron en las costas del Ecuador continental. Fuente: Elaboración propia a partir de Contreras (2013), NOAA (2019), Espinoza (1992).

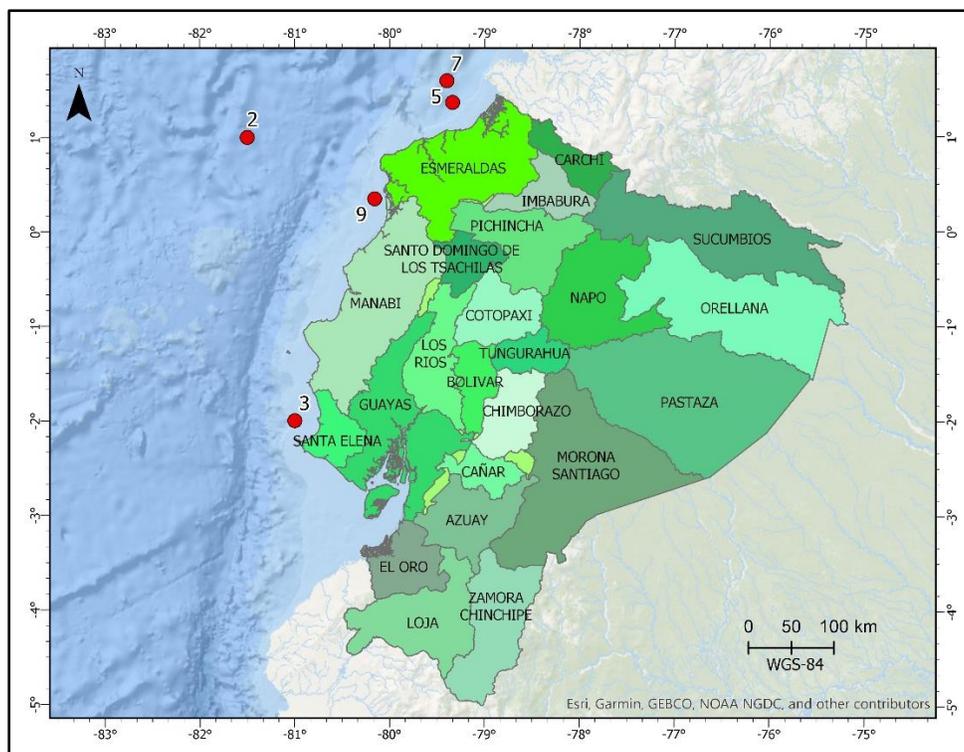


Fig. 37. Eventos tsunamigénicos de campo cercano más importantes que incidieron en las costas del Ecuador continental. Fuente: Elaboración propia a partir de Contreras (2013), NOAA (2019), Espinoza (1992).

3.3 Caracterización sismogénica de la zona de subducción

Como se aprecia en el apartado anterior, el 100% de eventos tsunamigénicos que ocasionaron daños o valores de run-up considerables en zonas aledañas a la provincia de Esmeraldas, según los registros históricos, fueron generadas por eventos sísmicos cuyo epicentro está localizado en la zona de subducción frente a Ecuador (Fig. 38). Es decir, tsunamis de una fuente cercana (tsunami local), por lo tanto, para estimar la amenaza tsunamigénica es necesario comprender el marco tectónico y la peligrosidad sísmica frente a la zona de estudio.



Fig. 38. Ilustración de una zona de subducción. Fuente: Wei-Haas (2019).

Según Martínez (2016), fueron Wadati y Benioff quienes en los años 50 descubrieron que los focos de los terremotos producidos en el fondo oceánico que bordea el Pacífico se distribuían en la profundidad en una banda cuyo buzamiento era de unos 45° . A estas zonas donde la corteza oceánica se consume fueron conocidas como zonas de subducción, zonas de Benioff o de Wadati-Benioff (Fig. 39).

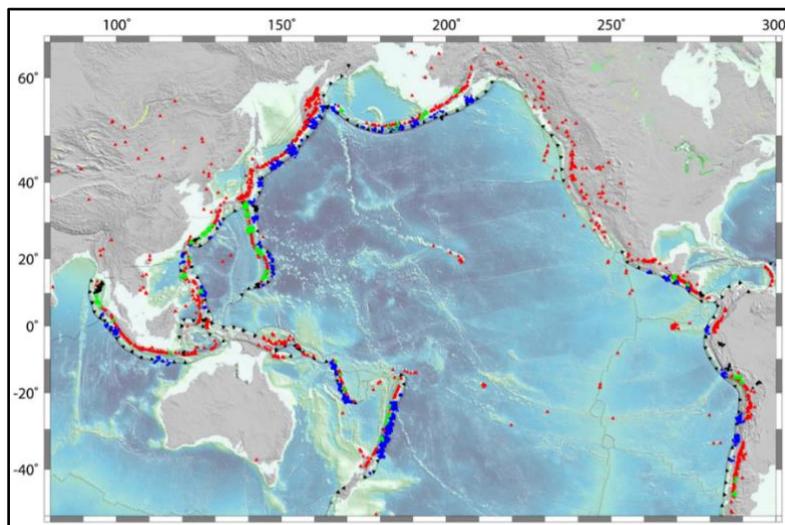


Fig. 39. Enjambres sísmicos a lo largo de la zona de subducción Circum-Pacífico a partir de la escala global de Determinación Preliminar de Epicentros (PDE) entre 1973 y 2009. Fuente: Holtkamp y Brudzinski (2011).

A la zona de subducción Circum-Pacífico conocida también como Anillo de Fuego del Pacífico es considerada una región de elevada intensidad sísmica. Precisamente el marco tectónico en el Ecuador está controlado en esta región por la subducción de la placa oceánica (o placa de Nazca), que es más densa; debajo de la placa continental (o placa sudamericana), que es menos densa. Este proceso físico ejerce el control primario en tres sucesos: el vulcanismo activo en la Cordillera de los Andes, la deformación de la placa superior y la sismicidad a diferentes niveles de profundidad (Parra et al., 2016; Parra H. A., 2015).

La fosa de subducción (trincheras de subducción) localizada frente al litoral ecuatoriano presenta las siguientes características: desde el Golfo de Guayaquil hasta Cabo San Lorenzo el eje de la fosa tiene una orientación $N10^\circ E$ y una profundidad que varía de 4700 a 2800 m y frente a las costas de la Provincia de Esmeraldas tiene una orientación $N38^\circ E$ y una profundidad que alcanzaría los 3900 m (Parra H. A., 2015) (Fig. 40).

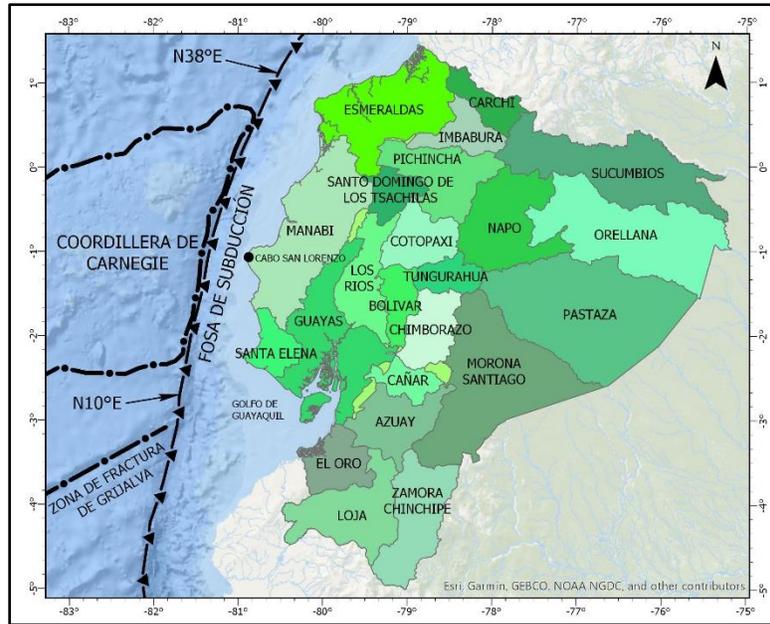


Fig. 40. Localización de fosa de subducción. Fuente: Elaboración propia a partir de Parra H. A. (2015).

En la Fig. 40 también se aprecia la Cordillera de Carnegie que se prolonga desde la zona donde subduce frente al litoral ecuatoriano hasta el hotspot de Galápagos y tiene una elevación aproximada de 2000 m sobre la placa de Nazca, además se observa el Escarpe de Grijalva, una antigua zona de fractura con orientación N60°E que se considera el límite entre la corteza Neógena y de Nazca (Parra H. A., 2015).

A partir de las características tectónicas Parra H. A. (2015) y Parra et al. (2016) definen tres fuentes generadoras de sismos: interfase, in-slab y corteza continental; la fuente sísmica interfase se encuentra al inicio de la subducción, donde se bloquea parte del movimiento de la placa de Nazca y donde el ángulo de inmersión es de 4°-16° y se extiende de 100-120 km al Este de la fosa. La fuente sísmica in-slab se extendería desde la fuente sísmica interfase hasta 400-500 km al Este de la trinchera de subducción, el buzamiento variaría de 17°-35°. La corteza continental (crustal o cortical) se encuentra constituida por la placa continental y el bloque Norandino a través de un sistema de fallas activo (Fig. 41).

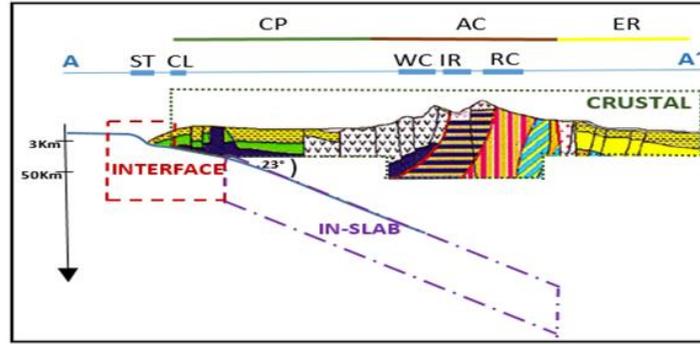


Fig. 41. Fuentes generadoras de sismos: interfase, in-slab y crustal. Notación: CP, Plano Costero; AC, Cordillera de los Andes; ER, Región Oriental; ST, Trinchera de subducción; CL, Línea de Costa; WC, Cordillera Occidental; IR, Región Interandina; RC, Cordillera Real. Fuente: Parra H. A. (2015).

En la figura 41 se aprecia la vista de perfil del corte A-A' que se extiende desde la cordillera de Carnegie hasta la Amazonía ecuatoriana; contiene el esquema de la tectónica y principales fuentes sísmicas. En primer lugar, se aprecia la fuente sísmica interfase que se prolonga desde la trinchera de subducción (ST) hasta 100-120 km al Este, en el límite de la línea de costa (CL), alcanza una profundidad de hasta 40-70 km. Luego en el plano costero (CP) se visualiza la fuente in-slab que se extiende 400-500 km al Este, hasta la cordillera de los Andes (AC), alcanza una profundidad de 200 km. Finalmente, la corteza continental (crustal) que se extiende desde la línea de costa (CL) hasta la región oriental (ER), cuyo espesor varía de 40 km en la zona costera hasta 50-75 km en la cordillera (Parra H. A., 2015).

La ocurrencia de eventos sísmicos en las fuentes generadoras (interfase, in-slab y crustal) se encuentran descritos en un catálogo actualizado elaborado por Parra H. A. (2015) sobre la base de información histórica y de eventos registrados instrumentalmente por distintas agencias que cubre un espacio temporal entre 1587 y 2014. En el mismo se distingue la ocurrencia de 1140 eventos sísmicos en la fuente sísmica interfase que pueden provocar eventos tsunamigénicos (Tabla 14; Fig. 42).

FUENTE SÍSMICA	CANTIDAD DE EVENTOS
CORTICAL	970
IN-SLAB	769
INTERFASE	1140
TOTAL	2879

Tabla 14. Resumen de eventos sísmicos según la fuente sísmica. Fuente: Parra H. A. (2015).

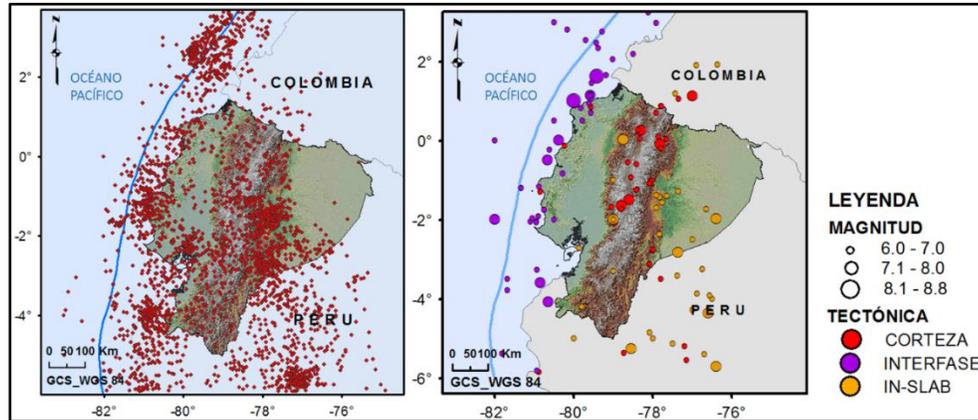


Fig. 42. Catálogo Sísmico a) $M_w \geq 4.0$, b) $M_w \geq 6.0$ Fuente: Parra H. A. (2015).

A partir de las características tectónicas, fuentes de actividad y el catálogo sísmico, Parra et al. (2016) y Parra H. A. (2015) plantean una zonificación sismogénica de subducción en base a dos fuentes diferenciadas: subducción interfase y subducción profunda (In-Slab), en estas zonas se establece la geometría de subducción y la estimación de peligrosidad sísmica equiprobable en cada área.

La zonificación interfase se extiende desde la trinchera de la subducción donde la inmersión en el plano de Benioff sería superficial; sería causante de la acumulación de tensión y generación de sismicidad hasta una profundidad de 40 a 50 km, en esta zona se originan los eventos tsunamigénicos y por sus características se subdivide en 3: sur, centro y norte (Parra H. A., 2015) (Fig. 43).

La zona Interface Sur se extiende desde el sur hasta el Golfo de Guayaquil, la subducción en esta zona es más profunda, el ángulo de inmersión sería aproximadamente 7° , su sismicidad se encuentra en un rango de magnitudes M_w de 4.0-7.5. (Parra H. A., 2015) (Fig. 43)

La zona Interface Centro se extiende desde el Golfo de Guayaquil hasta la Península de Esmeraldas, el ángulo de inmersión alcanza aproximadamente 16° , su sismicidad se encuentra en un rango de magnitud M_w de 4.0-7.9 (Parra H. A., 2015) (Fig. 43)

La zona Interfase Norte se extiende desde la Península de Esmeraldas hacia el norte, el ángulo de inmersión alcanza aproximadamente 30° , su sismicidad se encuentra en un rango

de magnitudes M_w 4.0-8.8, frente a esta zona se encuentra el cantón Atacames (Parra H. A., 2015) (Fig. 43).

La zonificación In-Slab corresponde a una subducción en profundidad, se extiende desde el límite de la zonificación interfase (100-120 km al Este de la trinchera de subducción) hasta más allá de la Cordillera de los Andes, por sus características se subdivide en 4; Sur, Sur Centro, Norte Centro y Norte Atacames (Parra H. A., 2015) (Fig. 43).

En la zona In-Slab Sur el sismo de mayor tamaño corresponde a una magnitud M_w 7.5 con una profundidad estimada de 130 km. En la zona In-Slab Centro se han registrado sismos de magnitud M_w 6.0- 7.5 con una profundidad \geq 130 km (Parra H. A., 2015) (Fig. 43). En la zona In-Slab Norte Centro se han registrado eventos en un rango de magnitud M_w de 4.0-6.5. En la zona In-Slab Norte se han registrado sismos de magnitud M_w de 4.0-7.2 (Parra H. A., 2015) (Fig. 43).

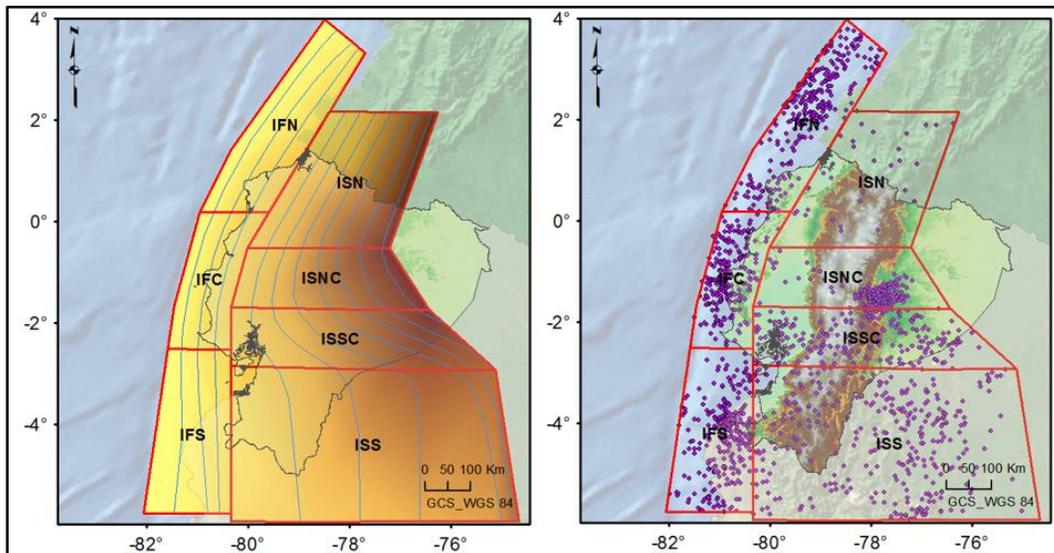


Fig. 43. Zonificación sismogénica: IFN, Interfase Norte; IFC, Interfase Centro; IFS, Interfase Sur; ISN, In-slab Norte; ISNC, In-slab Norte Centro; ISSC, In-slab Sur Centro; ISS, In-slab Sur. Fuente: Parra H. A. (2015).

En la figura 44 se presenta la peligrosidad sísmica del Cantón Esmeraldas, que se encuentra aledaña a la zona de estudio, en base a los resultados específicos de peligrosidad sísmica obtenidos por Parra et al. (2016). En la misma se identifica al evento como un par de magnitud y rango de distancia (M_w -R), para un período de retorno de 475 años un sismo de M_w 7.5 y $R=30$ -60 km y para un período de retorno de 2475 años un sismo de $M_w=6.5$ y $R=0$ -30 km.

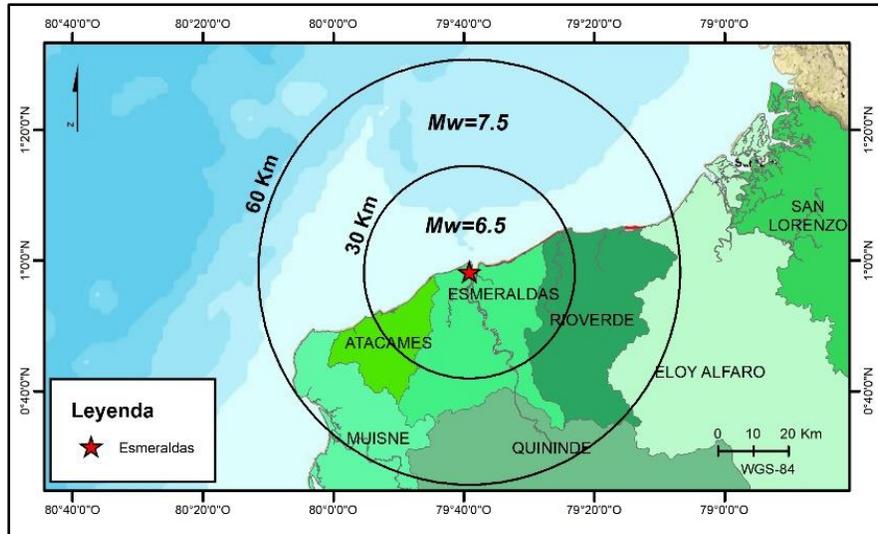


Fig. 44. Peligrosidad sísmica de Esmeraldas. Fuente: Elaboración propia a partir de Parra et al. (2016).

En la figura 45 se presenta el marco tectónico frente al área de estudio que corresponde a la unión de la zonificación de peligrosidad sísmica en la zona de subducción y la estimación de peligrosidad sísmica de Esmeraldas. Se aprecia que la sismicidad se encuentra en un rango de magnitudes M_w 6.5-8.8 y profundidad de 4000-30000 metros, conforme al buzamiento de la zona de subducción interfase norte.

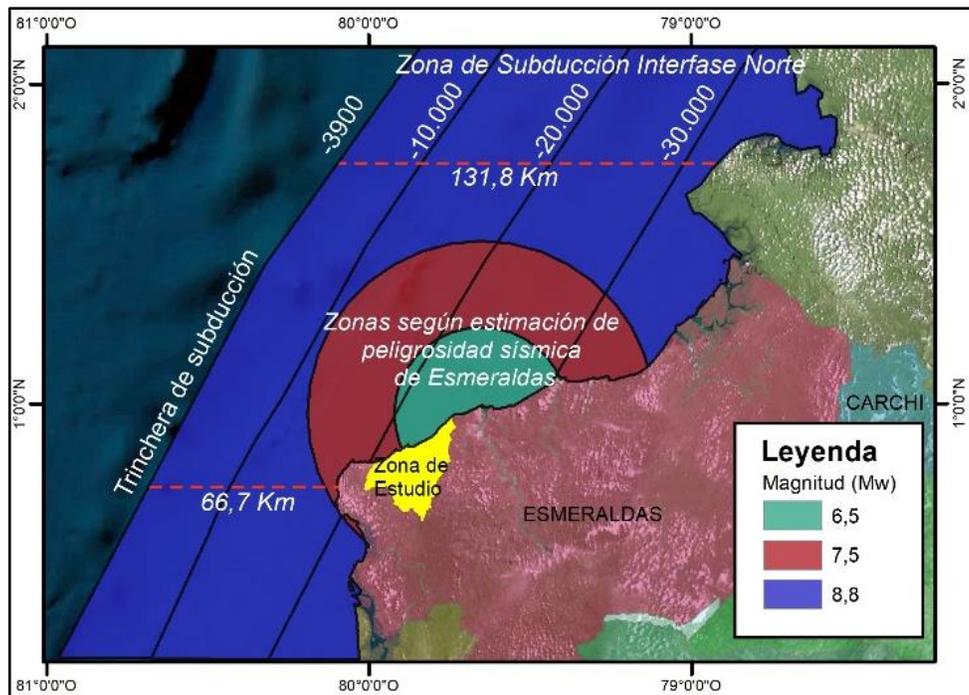


Fig. 45. Proceso para determinar el marco tectónico frente a la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Parra et al. (2016).

3.4 Malla de muestreo de eventos sísmicos en la zona de subducción

La malla de muestreo de epicentros sísmicos abarca una distancia máxima de 105 km, es decir que cubre la distancia de un tsunami de campo cercano y se extiende al Oeste hasta la trinchera de subducción. Para la distribución de la muestra se considera la ubicación de 18 epicentros sísmicos con valores de magnitud M_w y profundidad del sismo conforme el análisis de peligrosidad sísmica frente a la zona de estudio (Fig. 46, Tabla 15).

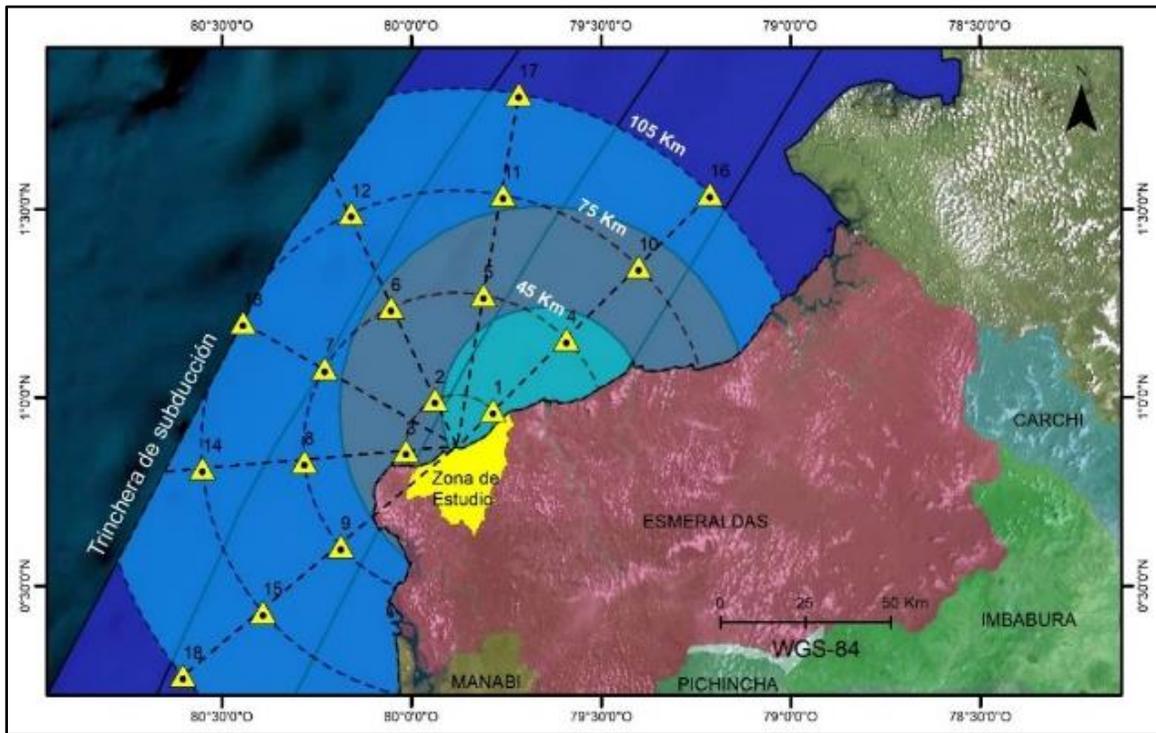


Fig. 46. Malla de muestreo de eventos sísmicos en la zona de subducción Fuente: Elaboración propia.

Nº	Longitud (°)	Latitud (°)	Magnitud (M _w)	Profundidad (Km)
1	-79,78460	0,9660	6.5	23,0
2	-79,93800	0,9940	7.5	19,3
3	-80,01509	0,8575	7.5	19,0
4	-79,59050	1,1543	6.5	25,1
5	-79,80960	1,2717	7.5	18,2
6	-80,05400	1,2390	7.5	12,4
7	-80,22960	1,0772	8.8	10,2
8	-80,28320	0,8296	8.8	12,4
9	-80,18680	0,6048	8.8	17,6

10	-79,40030	1,3466	7.5	26,9
11	-79,75810	1,5381	8.8	15,4
12	-80,15930	1,4889	8.8	6,5
13	-80,44530	1,1993	8.8	4,0
14	-80,55240	0,8118	8.8	6,3
15	-80,39270	0,4296	8.8	14,9
16	-79,21180	1,5405	8.8	28,5
17	-79,71660	1,8063	8.8	12,0
18	-80,60380	0,2606	8.8	11,2

Tabla 15. Malla de muestreo de eventos sísmicos en la zona de subducción. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Cálculo de amplitud de onda máxima y tiempo de arribo

De los 27 eventos sísmicos modelados a través del Centro de Alerta de Tsunamis: 18 de la malla de muestreo en la zona de subducción y 9 del catálogo histórico de eventos tsunamigénicos, se obtuvieron los datos de amplitud de ola y tiempo de arribo (Tablas 16 y 17), donde se evidencia que los valores máximos de amplitud de ola corresponden a los eventos planteados en la malla de muestreo, eventos N° 13, 14 y 18, esto se debe a la forma del promontorio de Atacames que atenúa los efectos de los eventos localizados en sitios más cercanos y hacia el norte. El evento N° 14 representa el peor escenario de tsunami con una amplitud de ola máxima de 10,5 m para las costas de Atacames, Tonsupa y Súa y de 6,38 m para las costas de Tonchigüe considerando que el valor máximo de pleamar de los últimos 10 años fue de 1,9 m; mientras que el tiempo de arribo de la primera ola del tsunami es de 23,5 minutos para las costas Tonchigüe y de 34,11-50 minutos para las costas de Atacames, Tonsupa y Súa. Por otro lado, del modelamiento de los eventos sísmicos del catálogo histórico, se evidencia la incidencia de valores de amplitud de ola de 1,9 a 4 metros.

No.	Fecha	País	Magnitud (Mw)	Prof. (km)	Localización		Amplitud de ola + marea (1.9 m) (m)		Tiempos de arribo (min.)	
					Long. (°)	Lat. (°)	Tonchigüe	Atacames-Tonsupa-Súa	Tonchigüe	Atacames-Tonsupa-Súa
1	13/08/1868	Chile	9.1	25	-71,600	-17,700	2,033	1,991-2,156	03:58:54	04:09:12-04:19:12
2	31/01/1906	Ecuador	8.9	25	-81,500	1,000	4,097	2,707-3,116	00:29:31	00:38:47-00:47:32
3	02/10/1933	Ecuador	6.9	-	-81,000	-2,000	1,931	1,957-1,965	01:15:45	01:26:03-01:36:03
4	04/11/1952	Rusia	9.0	22	160,057	52,755	2,658	2,272-2,545	16:54:20	16:59:44-17:04:43
5	19/01/1958	Ecuador	7.8	60	-79,340	1,370	2,528	2,393-2,745	00:40:58	00:37:18-00:38:36
6	22/05/1960	Chile	9.5	33	-72,700	-38,300	2,415	2,219-2,698	06:54:28	07:04:46-07:14:46
7	12/12/1979	Colombia	7.9	33	-79,400	1,600	2,232	2,505-2,800	00:39:42	00:37:38-00:38:20
8	11/03/2011	Japón	9.1	30	142,372	38,297	3,146	2,813-3,098	18:57:13	19:02:38-19:07:37
9	16/04/2016	Ecuador	7.8	17	-80,160	0,350	2,312	2,325-2,346	00:52:42	01:03:14-01:13:32

Tabla 16. Amplitud de ola y tiempo de arribo del tsunami en función del catálogo histórico de eventos tsunamigénicos más importantes. Fuente: INOCAR (2019).

No.	Magnitud (Mw)	Prof. (km)	Localización		Amplitud de ola + marea (1.9 m) (m)		Tiempos de arribo (min.)	
			Long. (°)	Lat. (°)	Tonchigüe	Atacames-Tonsupa-Súa	Tonchigüe	Atacames-Tonsupa-Súa
1	6.5	23,0	-79,78460	0,9660	1,902 – 1,98	1,903 – 1,95	10,567 – 35,366	12,050 – 19,200
2	7.5	19,3	-79,93800	0,9940	1,948 – 2,45	1,971 – 3,10	18,133 – 21,133	10,800
3	7.5	19,0	-80,01509	0,8575	2,041 – 2,80	2,177 – 2,88	3,567 – 8,567	12,050 – 28,133
4	6.5	25,1	-79,59050	1,1543	1,916 – 1,97	1,923 – 1,95	26,067 – 38,567	12,450 – 42,933
5	7.5	18,2	-79,80960	1,2717	2,249 – 2,37	2,361 – 3,25	30,933 – 31,750	28,083 – 39,250
6	7.5	12,4	-80,05400	1,2390	2,041 – 2,45	2,370 – 3,30	21,383 – 29,700	27,167 – 29,150
7	8.8	10,2	-80,22960	1,0772	3,032 – 4,33	3,149 – 4,20	18,017 – 43,233	28,550 – 44,817
8	8.8	12,4	-80,28320	0,8296	3,032 – 4,36	3,149 – 4,73	21,167	34,117 – 50,667
9	8.8	17,6	-80,18680	0,6048	3,032 – 4,36	3,149 – 4,73	23,517	33,150 – 59,983
10	7.5	26,9	-79,40030	1,3466	2,249 – 3,03	2,361 – 2,59	40,967 – 43,500	37,300 – 54,300
11	8.8	15,4	-79,75810	1,5381	3,032 – 4,45	3,150 – 4,73	31,700 – 32,367	32,283 – 43,883
12	8.8	6,5	-80,15930	1,4889	3,032 – 4,77	3,150 – 4,73	21,383 – 27,433	27,167 – 45,116
13	8.8	4,0	-80,44530	1,1993	3,032 – 4,07	3,150 – 9,16	23,650	30,667 – 47,433
14	8.8	6,3	-80,55240	0,8118	3,032 – 6,38	3,15 – 10,50	23,583	34,117- 50,283
15	8.8	14,9	-80,39270	0,4296	3,032 – 4,52	3,150 – 3,64	29,133	47,600 – 58,000
16	8.8	28,5	-79,21180	1,5405	3,220 – 4,38	3,150 – 7,31	39,700 – 46,617	37,633 – 57,883
17	8.8	12,0	-79,71660	1,8063	3,220 – 4,48	3,150 – 4,73	32,267 – 35,900	32,283 – 51,017
18	8.8	11,2	-80,60380	0,2606	3,220 – 3,44	3,150 – 9,18	27,683 – 37,217	38,217 – 51,667

Tabla 17. Amplitud de ola y tiempo de arribo del tsunami en función de los escenarios propuestos en la malla de muestreo. Fuente: INOCAR (2019).

Como resultado final del estudio de la amenaza, se representó el peor escenario mediante la estimación de la inundación (Fig. 50, 51) y de peligrosidad tsunamigénica (Fig. 52,53). Según los resultados obtenidos, la inundación por efecto del tsunami tiene un área 29,88 km² (5,87% del área total de la zona de estudio), 27542 personas que habitan en las zonas consolidadas de Atacames estarían expuestas a la amenaza tsunamigénica (66,32% del total de habitantes). Se aprecia en la figura 50 y 52 que la zona con mayor exposición a la amenaza es la parroquia de Atacames debido a la configuración del relieve con pendientes relativamente planas y desniveles que no superan los 10 m, en una región que se extiende a lo largo de zonas de playa, pasillo urbano y granjas acuáticas en el interior, otro de los factores que incrementan la exposición corresponde a la presencia del río Atacames y su desembocadura, que contribuye a la inundación a lo largo de su cauce y vertientes (Fig. 47).



Fig. 47. Vista desde el Oeste de Atacames donde se aprecia la configuración del relieve de la zona consolidada con pendientes relativamente planas. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 50 y 52 se observa que en la parroquia Tonsupa, al Este la exposición es menor debido a la presencia de un relieve más alto cercano a la línea de costa, con pendientes medias a fuertes (25-40%) y desniveles relativos de 25-75 m. En esta región es escaso el desarrollo urbano, no obstante, más hacia el Oeste la exposición es mayor sobre el tejido urbano en los barrios de Miramar, Totoral y Cabaplan que se encuentran asentadas sobre un terreno con pendientes menores (Fig. 48).



Fig. 48. Vista del Oeste de Tonsupa donde la exposición es mayor sobre el tejido urbano que se encuentra asentado sobre un terreno con pendientes planas. Fuente: Elaboración propia.

En la parroquia Súa la zona consolidada se encuentra expuesta en su mayor parte debido a la configuración del relieve relativamente plana, a la vez está rodeada de elevaciones con relieves colinados medios y altos con pendientes medias (25 a 40 %) y fuertes (40 a 70%), con desniveles relativos que oscilan de 100-200 m (Fig. 49). Asimismo, la presencia del río Súa acrecienta los efectos del tsunami hacia el interior y a lo largo de su vertiente (Figs. 51 y 53).



Fig. 49. Vista de la localidad de Súa que se encuentra en un terreno con pendientes planas y rodeada de elevaciones con relieves colinados medios y altos. Fuente: Elaboración propia.

En la parroquia Tonchigüe, al norte, la exposición es menor debido a la presencia de una cornisa de mesa en la punta de Same que presenta un desnivel relativo de 50 a 100 m y una pendiente muy fuerte (70 a 100 %), sin embargo la localidad de Same que se encuentra asentada sobre un terreno relativamente plano se encuentra expuesta a la amenaza, al sur en la cabecera parroquial de Tonchigüe la exposición es mayor por su terreno con pendientes Suaves y la presencia del Río Tonchigüe que se desplaza desde el interior (Figs. 51 y 53).

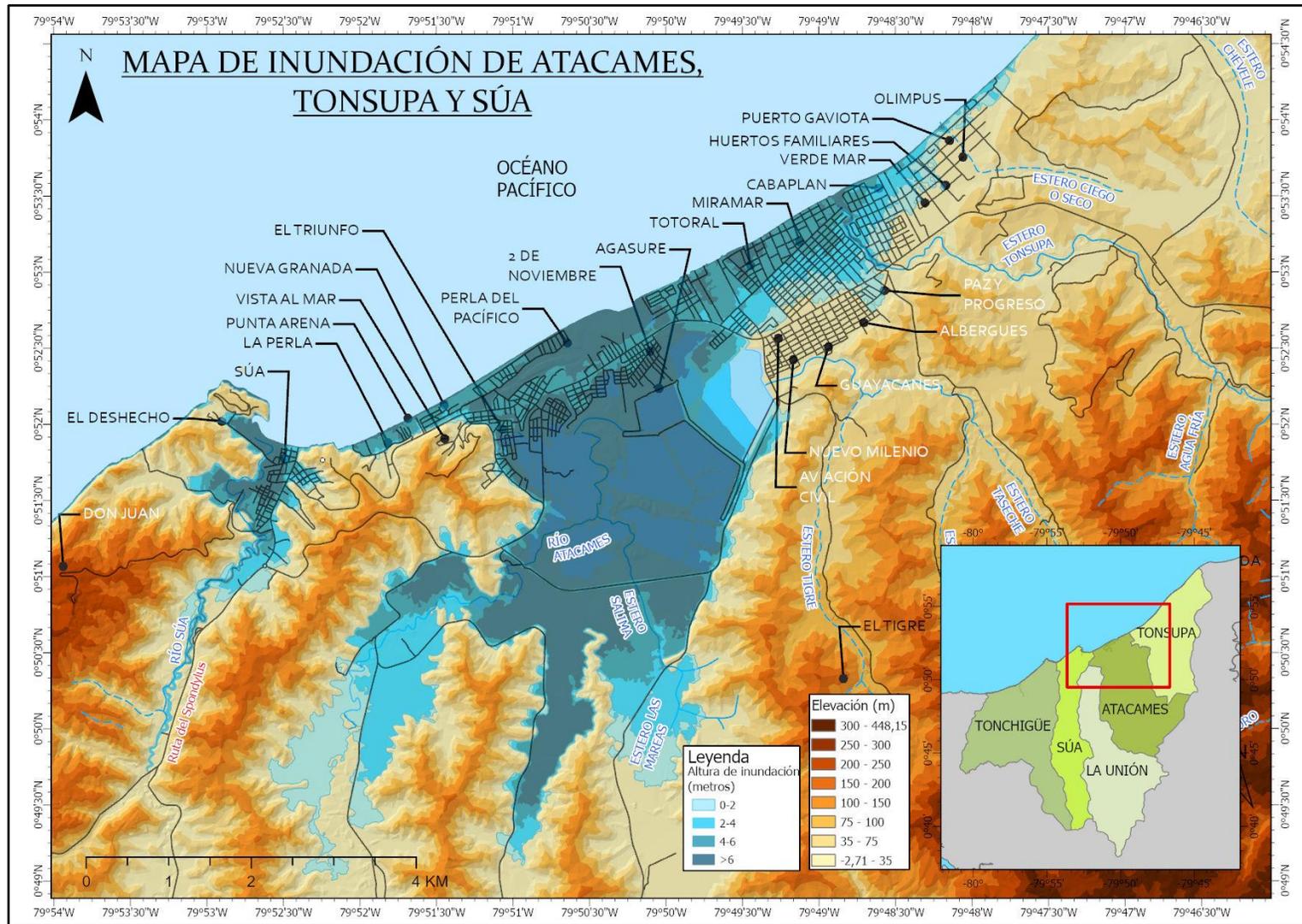


Fig. 50. Estimación de Inundación por tsunami de las parroquias Atacames, Tonsupa y Súa. Fuente: Elaboración propia a partir de INOCAR (2019). Modelo Digital del Terreno proporcionado por el IGM.

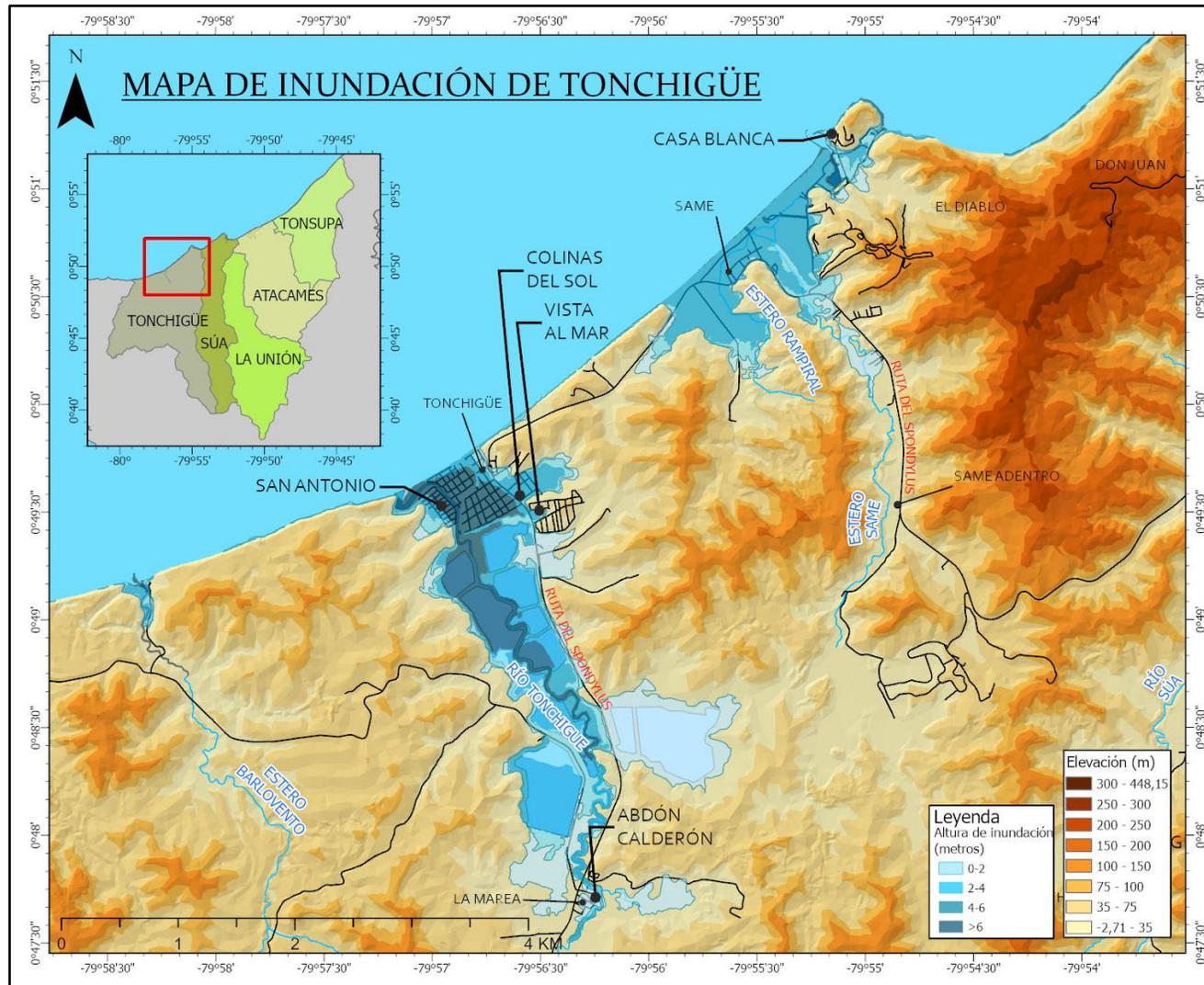


Fig. 51. Estimación de Inundación por tsunami de la parroquia Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia a partir de INOCAR (2019). Modelo Digital del Terreno proporcionado por el IGM.

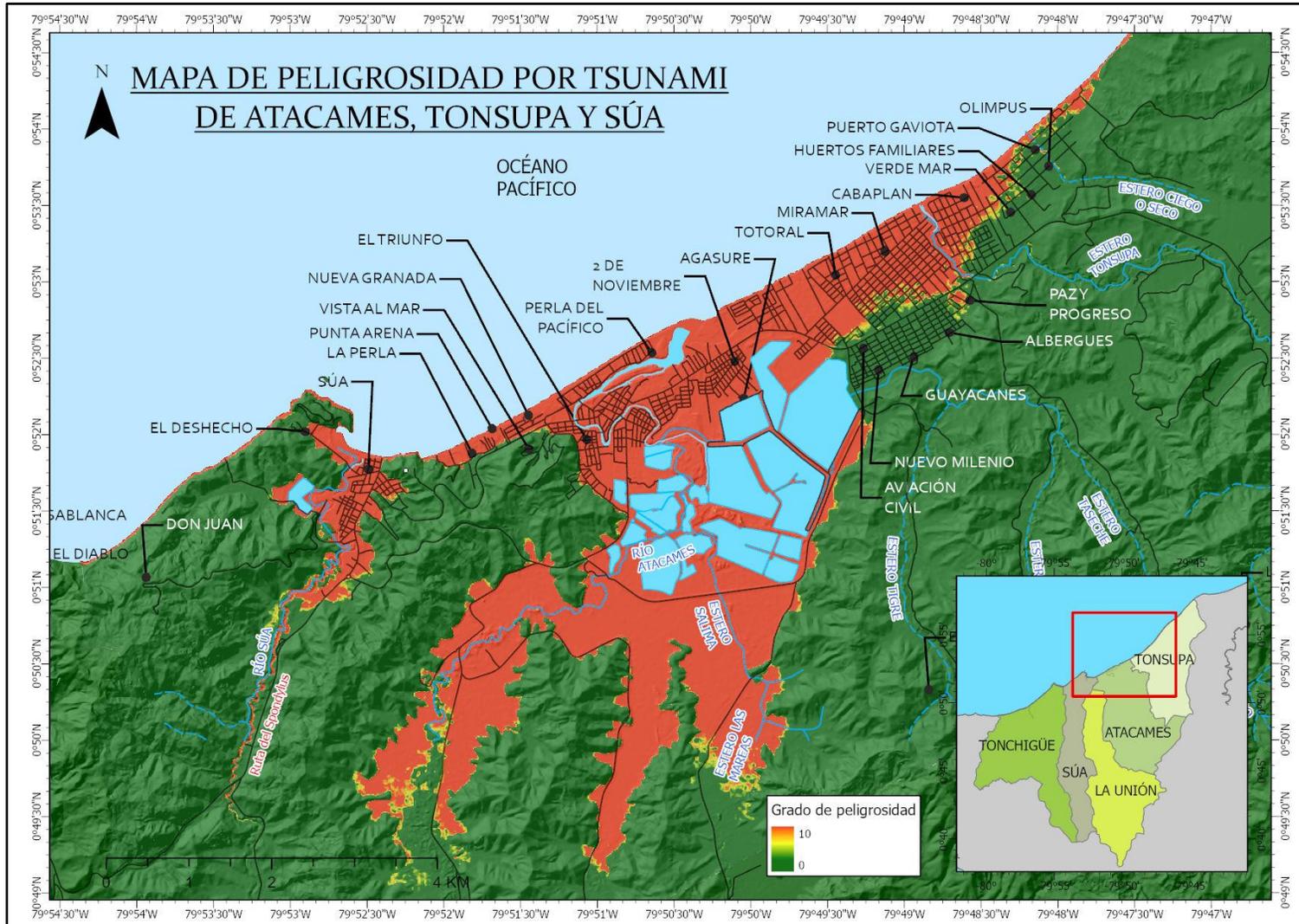


Fig. 52. Estimación de peligrosidad tsunamigénica de las parroquias Atacames, Tonsupa y Súa. Fuente: Elaboración propia a partir de INOCAR (2019). Modelo Digital del Terreno proporcionado por el IGM.

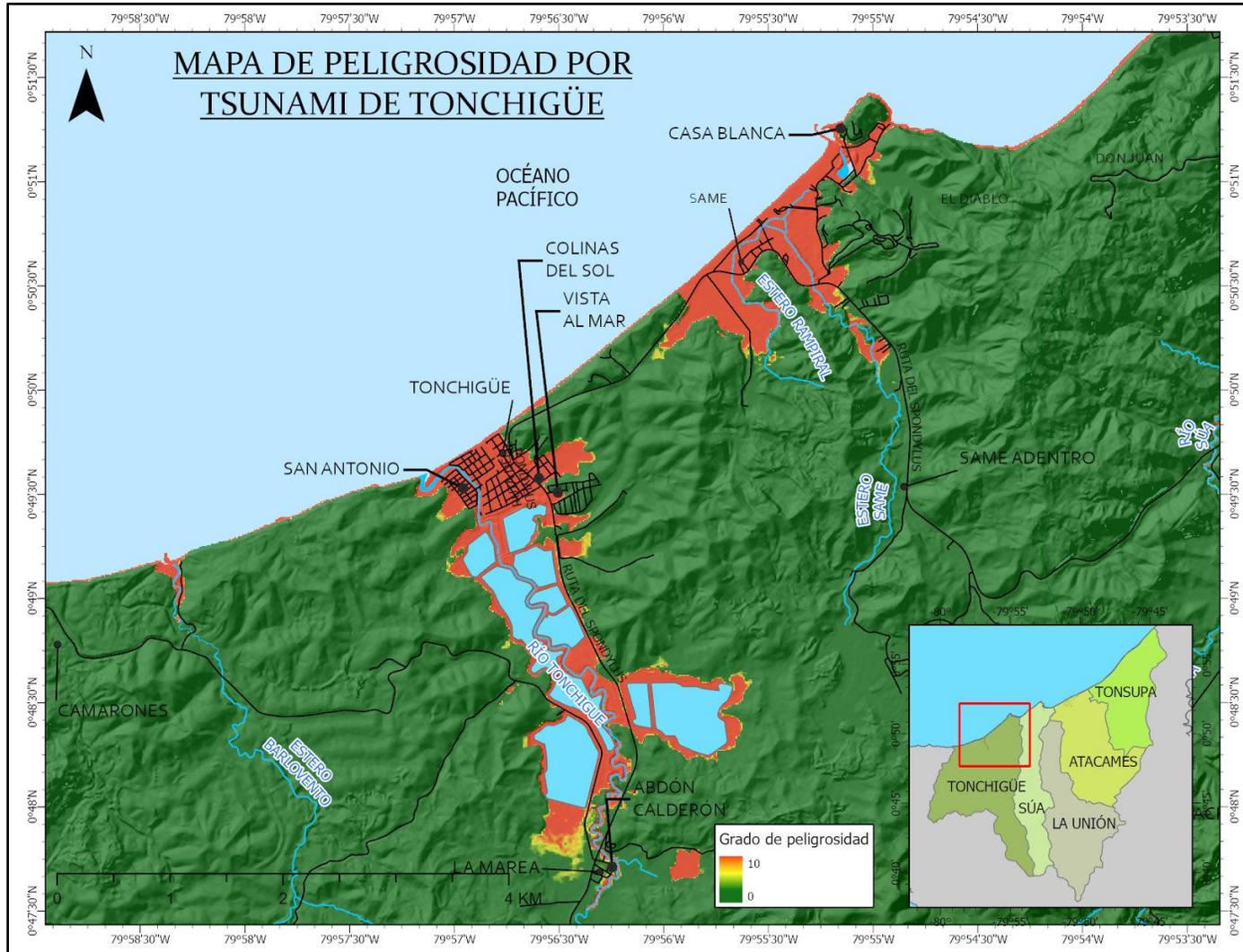


Fig. 53. Estimación de peligrosidad tsunamigénica de la parroquia Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia a partir de INOCAR (2019). Modelo Digital del Terreno proporcionado por el IGM.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD

1 Introducción

Según Durán (2017), se considera que hay vulnerabilidad cuando no se tiene la capacidad de respuesta ni de adaptarse a un nuevo escenario generado por la ocurrencia de un evento adverso, donde las diferentes dimensiones interactúan para producir la vulnerabilidad general o global de dicho territorio.

Por lo tanto, el objetivo de este capítulo es analizar la vulnerabilidad global del cantón Atacames, entendida como el resultado del estudio de diferentes vulnerabilidades particulares y que para este caso de estudio se compartimenta en dos partes: la vulnerabilidad socioeconómica y vulnerabilidad física; información muy importante que permite a las instituciones gestoras del riesgo priorizar y enfocar las actividades de respuesta y recuperación ante la ocurrencia de desastre por tsunami.

Este estudio se inicia con la descripción y delimitación de las variables que se utilizaron como inputs para estudiar la vulnerabilidad socioeconómica, tales como conjunto etario frágil, pobreza, discapacidad y accesibilidad a un sitio seguro. Este procedimiento permite destacar las zonas donde la población es más vulnerable por sus características socioeconómicas y físicas.

Posteriormente se describe el desarrollo del modelo geográfico multivariable que se empleó para el análisis espacial de la vulnerabilidad global, así como también se presentan los resultados del análisis: el análisis estadístico de las variables, la estandarización y ponderación; y finalmente la obtención de la vulnerabilidad socioeconómica y física, junto con el modelo de vulnerabilidad global de las distintas localidades del cantón Atacames a nivel de manzana. El área de las manzanas es irregular, en promedio su tamaño fluctúa alrededor de 0,86 ha y puede llegar hasta 22,36 ha.

2 Materiales y métodos

Para el análisis de vulnerabilidad del Cantón Atacames se empleó el método de evaluación multivariable (EMV), también conocido como método de evaluación multicriterio o multiobjetivo. Al respecto Pacheco & Contreras (2008) señalan que la EMV se basa en la visión racionalista positivista cartesiana que sistematiza el uso del análisis, el juicio y la argumentación para el desarrollo de una solución óptima y efectiva para un problema en concreto durante el proceso de toma de decisiones. En el ámbito geográfico existen varios trabajos de análisis espacial del riesgo que emplean esta metodología, tales como la zonificación de riesgo de tsunamis en el centro-sur de Chile (Lagos, 2012) y la integración de evaluación multicriterio y SIG para la toma de decisiones ante amenazas naturales (Chen, Blong, & Jacobson, 2001). En la EMV se reconocen 5 pasos: 1) identificar el problema, 2) identificar las variables más relevantes, 3) determinar el valor de las variables y estandarizar, 4) ponderar los valores obtenidos y 5) enlazar e interpretar los resultados (Lagos, 2012; Chen, Blong, & Jacobson, 2001; Comber, et al., 2009).

1) Identificación del problema: el estudio consistió en determinar la vulnerabilidad global del cantón Atacames, entendida como la suma del análisis particular de diversas vulnerabilidades, para este caso, se realizó el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica y vulnerabilidad física.

2) Selección de las variables más relevantes, se escogieron las variables derivadas de la vulnerabilidad socioeconómica y física. Para la primera, se escogió la población con discapacidad, hogares pobres según el método de necesidades básicas insatisfechas y conjunto etario frágil, mientras que, para el estudio de la vulnerabilidad física, se escogió la variable de accesibilidad a un sitio seguro.

3) Determinación de los valores de las variables, para el caso de la vulnerabilidad socioeconómica se empleó la cartografía censal del INEC y se obtuvieron valores según su localización geográfica y a nivel manzana y para el caso de la accesibilidad se realizó el análisis de áreas de servicio, empleando un SIG. Posteriormente se estandarizaron los valores obtenidos, en una malla de muestreo de 10 metros por lado.

Finalmente se integraron los valores obtenidos, mediante álgebra de mapas y para su interpretación se reclasificaron los valores de vulnerabilidad de la siguiente manera: no vulnerables (0), vulnerabilidad muy baja (0-2], vulnerabilidad baja (2-4], vulnerabilidad media (4-6], vulnerabilidad alta (6-8], vulnerabilidad muy alta (8-10]. La metodología para estimar la vulnerabilidad global se muestra en la Fig. 54.

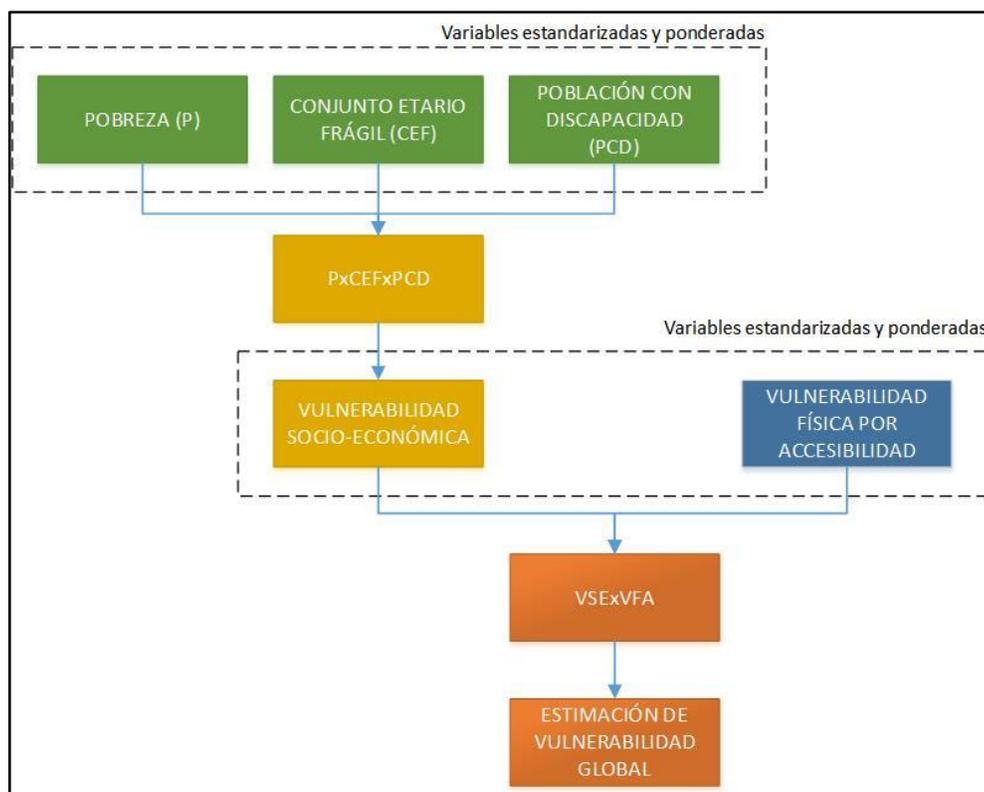


Fig. 54. Metodología general para estimar la vulnerabilidad global del cantón Atacames. Fuente: elaboración propia.

2.1 Variables consideradas para la vulnerabilidad socioeconómica

D' Ercole & Metzger (2004) señalan que toda política de prevención de riesgos apunta, primero a proteger a la población y que es necesario comprender qué variables fundamentan la vulnerabilidad de la población. Se debe responder a las consignas de “¿Qué hará más frágil a una población ante una posible catástrofe? ¿Qué características de la población vendrá a amplificar las consecuencias de un desastre?”. Para el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica se estableció el estudio de diversos componentes que permiten establecer el grado de fragilidad social y económica de la población: pobreza, población en edad frágil y población con discapacidad. Para ello se utilizó la cartografía censal del Cantón Atacames a nivel de manzana (INEC, 2010)

2.1.1 Conjunto etario frágil

Para esta variable se realizó una zonificación de los grupos etarios más frágiles y susceptibles de sufrir daños ante la ocurrencia de un fenómeno tsunamigénico: niños pequeños, adolescentes de edad temprana y adultos mayores. Para ello se determinó el número de habitantes pertenecientes a estos grupos de edad, a nivel de manzana y posteriormente se emplearon funciones de estandarización y ponderación para definir su grado de vulnerabilidad.

Referente a los grupos de edad que identifican a la edad infantil, Spencer, et al. (2017), en su estudio de cobertura y acceso de atención médica entre niños adolescentes y adultos jóvenes distingue los siguientes subgrupos: niños pequeños (0-9 años), adolescentes (10-14 años), adolescentes mayores (15-18 años), Mientras que Handisides, et al. (2018), realiza un estudio de la calidad de vida relacionada con la salud en niños y adultos jóvenes con síndrome de Marfan, donde distingue los siguientes subgrupos: niños más pequeños (5-7 años), niños mayores (8-12 años), adolescentes (13-18 años) y adultos jóvenes (19-25 años). Finalmente, Patton, et al. (2016), en su estudio sobre la salud y bienestar de los adolescentes, distingue dos grupos: adolescentes de edad temprana (10-14 años) y adolescentes de edad tardía (15-19 años), lo cual también es coincidente con las definiciones de la Organización Mundial de la Salud, referente a este grupo.

Por lo tanto, para fines del presente análisis, se consideraron los siguientes grupos de edad infantil: niños pequeños (0-9 años) y adolescentes de edad temprana (10-14 años), tomando en cuenta que, para este último grupo, psicológicamente, le caracteriza un comportamiento de baja percepción del riesgo y pobre autocontrol en la toma de decisiones (Patton, et al., 2016). Con respecto a la definición de adultos mayores existe un consenso en la edad que sitúa a este grupo de 60 años en adelante (Barrantes Monge, 2006; Rodríguez Uribe et al., 2010).

2.1.2 La Pobreza según el método de necesidades básicas insatisfechas

Según D' Ercole & Metzger (2004) la primera causa de vulnerabilidad de la población es probablemente la pobreza, debido al estrecho vínculo que existe entre vulnerabilidad y

desarrollo, confirmado en los balances de catástrofes realizados por las instituciones responsables. Señalan que la pobreza comprende no sólo los ingresos económicos, sino también en un ámbito más general la calidad de vida, acceso a la vivienda y servicios básicos, así como el nivel de instrucción. El análisis de esta variable se basó en el método de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), desarrollado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), que identificó a un hogar como pobre en base al estudio de 4 variables o necesidades básicas: acceso a vivienda, acceso a servicios sanitarios, acceso a educación y capacidad económica, (INEC, 2010). Posteriormente se realizó un proceso de agregación donde un hogar se considera como pobre si presenta al menos una carencia crítica. A continuación, se describe cada una de las variables del método NBI para caracterizar la pobreza, en base a la publicación procedimental emitida por la CEPAL (Feres & Mancero, 2001) y la descripción de los factores proporcionada por el INEC.

Para el análisis de la variable de acceso a vivienda, se consideraron dos factores: la calidad de vivienda y el hacinamiento; para la primera, se identificaron aquellas viviendas capaces de proteger a sus ocupantes de diversos factores naturales, según tipo de vivienda y materiales de construcción, de manera que se catalogó a un hogar como pobre si el material del piso es de tierra u otros similares y si el material de las paredes de caña, estera u otros similares (Fig. 55). Para el factor de hacinamiento se identificó el umbral crítico de ocupación de vivienda, es decir el número de habitantes por dormitorio; para el caso de América Latina se consideró en estado de carencia aquellos hogares con más de tres personas por dormitorio (Fig. 56) (Feres & Mancero, 2001).



Fig. 55. Viviendas localizadas en las localidades de Atacames y Tonchigüe donde el material de las paredes no proporciona protección adecuada a sus ocupantes de diversos factores naturales. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 56. Vivienda en Súa donde se evidencia el hacinamiento de sus ocupantes. Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma, en el análisis de la variable de acceso a servicios sanitarios, se consideraron dos factores: el acceso al servicio de agua potable y el acceso a los servicios sanitarios. La primera se basó en la información del abastecimiento de agua potable de manera permanente en los hogares para cubrir sus necesidades de alimentación e higiene. Para el factor de acceso a servicios sanitarios se identificó los hogares que no disponen de un servicio higiénico y de un sistema adecuado de eliminación de aguas servidas a través de redes de alcantarillado (Feres & Mancero, 2001).

El análisis de la variable de acceso a la educación básica se consideró como hogares pobres aquellos donde los niños de 6 a 12 años de edad no asisten a un establecimiento de educación primaria, toda vez que la formación de primer nivel se considera como una necesidad fundamental del ser humano e identifica el grado de privación de los hogares que tienen carencias (Feres & Mancero, 2001).

Para el análisis de capacidad económica se consideraron dos factores: el nivel de educación alcanzado por el jefe de hogar y el número de personas dependientes, de manera que la falta de preparación, le impide competir de manera adecuada en el mercado laboral, restándole su capacidad de ingresos. Para ello, se estableció como hogar pobre donde existen jefes de hogar con un grado de escolaridad menor o igual a dos años y a su vez existen más de tres personas dependientes (Feres & Mancero, 2001).

2.1.3 La discapacidad como factor de vulnerabilidad ante eventos tsunamigénicos

En el Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (2015) se menciona la necesidad de empoderar a las personas con discapacidad para que promuevan el acceso universal a los servicios y recursos adaptando y poniendo en práctica planes que cumplan requisitos específicos de acuerdo a su condición, dado que los obstáculos que afrontan estas personas durante un desastre pueden diferir considerablemente conforme su discapacidad: intelectual, físico-motora, visual, auditiva o mental.

Frecuentemente las medidas que implementan las instituciones que gestionan el riesgo a nivel global ignoran a las personas con discapacidad durante la ocurrencia de desastres naturales. Cuando el huracán Katrina golpeó el Golfo de Estados Unidos las personas con discapacidad auditiva no recibieron mensajes y avisos de evacuación a través de la televisión, tampoco fueron útiles las alertas transmitidas por altavoces, además las personas con discapacidad motora no pudieron acceder a lugares seguros. Lo mismo sucedió cuando el huracán Irene golpeó la costa Este de Estados Unidos, donde sólo el 26% de los refugios, disponían de facilidades de acceso para las personas con discapacidad; o durante el terremoto de magnitud Mw 9.0 y posterior tsunami que azotó Japón en el 2011, donde los anuncios transmitidos por la Dirección Pública no emplearon la lengua de señas (Battle, 2015).

Posterior al evento tsunamigénico en Sri Lanka en el 2004 se evidencia el testimonio de personas discapacitadas de perder todas las ayudas vitales para la movilidad, medicinas y estructuras de apoyo, además las carencias de facilidades en los refugios y albergues. Esto provocó que varias personas discapacitadas se vean obligadas a quedarse en casa, incapaces de recibir los servicios de socorro (Kett, Stubbs, & Yeo, 2005).

Por consiguiente, la construcción de la variable de población con discapacidad como grupo vulnerable ante eventos tsunamigénicos, se realiza a partir de la identificación de los habitantes de la zona de estudio que tienen una o más discapacidades. Según su clasificación las discapacidades pueden ser intelectual, físico-motora, visual, auditiva y/o mental, conforme los datos provenientes de la cartografía censal a nivel de manzana del cantón Atacames.

2.1.4 Estimación y ponderación de la vulnerabilidad socioeconómica

Para establecer la vulnerabilidad socioeconómica se empleó una función de ponderación de crecimiento logístico para cada una de las variables, que origina una curva en forma de S, similar a una función de crecimiento exponencial pero que desacelera su crecimiento hasta nivelarse y estabilizarse hasta el umbral (Fig. 57). La ecuación de la función de estandarización se encuentra definida por:

$$N(x) = \frac{N_0 K}{N_0 + (K - N_0)e^{-rx}}, \text{ donde,}$$

$N(x)$, es la función de crecimiento logístico para una variable x ,

N_0 , es la cantidad inicial de población,

K , capacidad máxima de la población,

r , tasa de crecimiento.

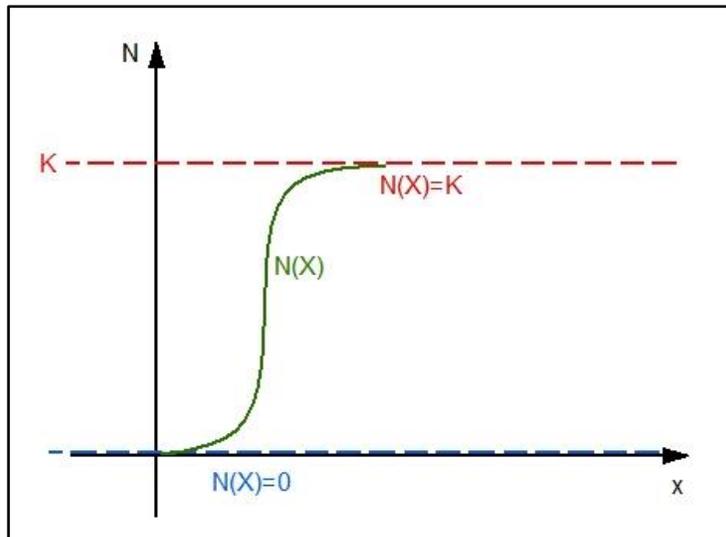


Fig. 57. Función de crecimiento logístico $N(x)$. Fuente: Elaboración propia a partir de Ulloa & Rodríguez, (2010)

Para determinar la vulnerabilidad socioeconómica de las zonas consolidadas del Cantón Atacames, se emplearon los datos estandarizados (en una malla de muestreo de 10 metros por lado) y ponderados mediante una función de crecimiento logístico en una escala de 0 a 10 a nivel de manzana de las variables: conjunto etario frágil (CEF), hogares pobres

(HP), personas con discapacidad (PCD). Por lo tanto, la integración de las variables se basó en la siguiente fórmula:

$$Vul. Socioeconómica = (CEF * 0,33) + (HP * 0,33) + (PCD * 0,33)$$

Donde:

CEF, conjunto etario frágil

HP, hogares pobres

PCD, personas con discapacidad

La metodología para estudiar la vulnerabilidad socioeconómica se muestra en las figuras 58 y 59.

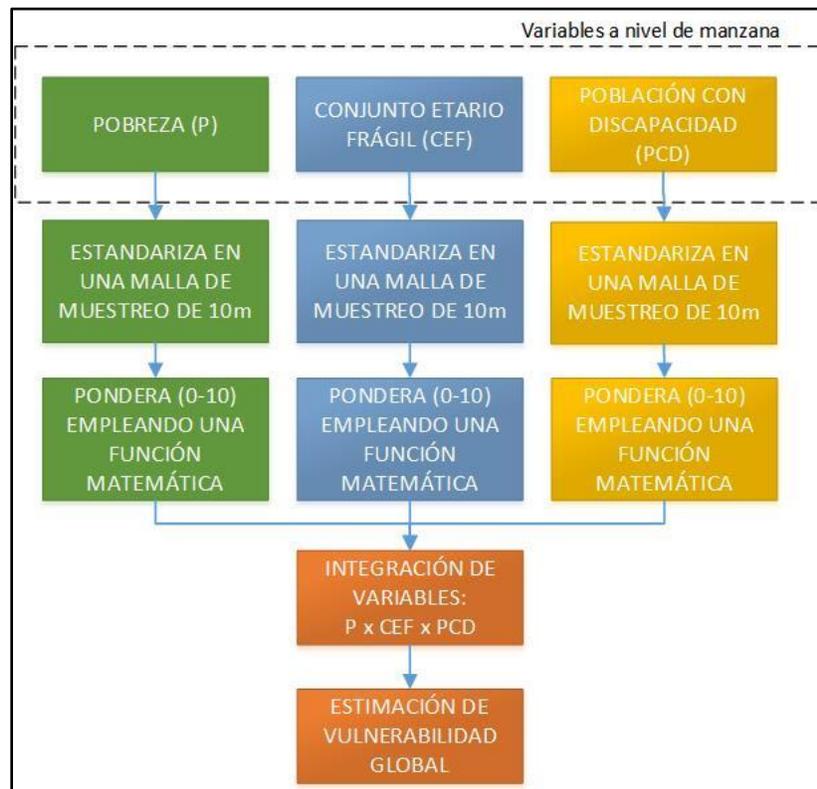


Fig. 58. Metodología para el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica. Fuente: Elaboración propia

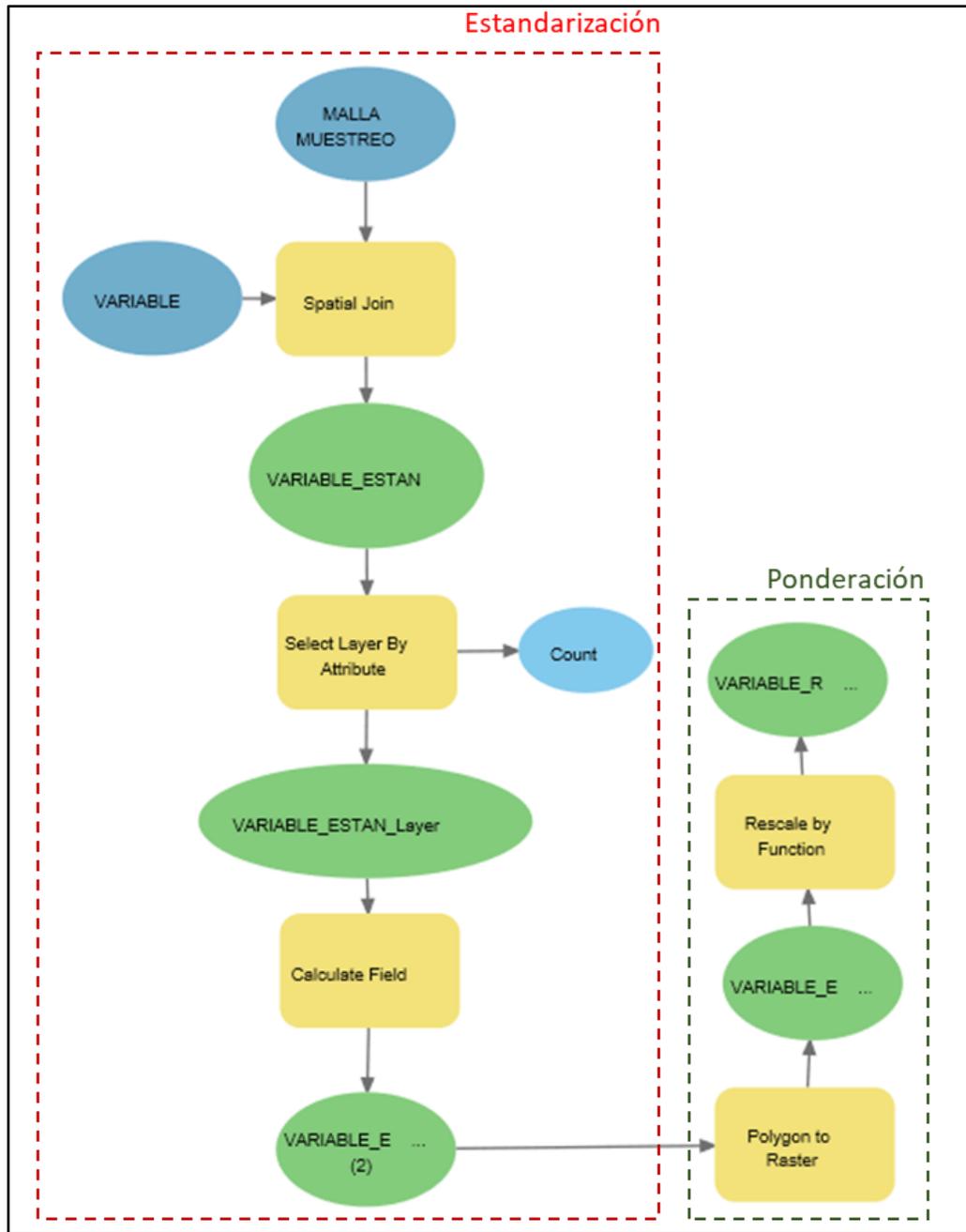


Fig. 59. Metodología para estandarizar y ponderar las variables de vulnerabilidad socioeconómica en el software ArcGis Pro, a través de la aplicación Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Variables consideradas para la vulnerabilidad física

2.2.1 Accesibilidad a un sitio seguro

Taylor (2012) señala que la accesibilidad es la “facilidad con la que se puede acceder a servicios e instalaciones mientras se utiliza la red vial” y su opuesto la lejanía es “la dificultad en el acceso mientras se utiliza la red de carreteras”. Cuando existe la ocurrencia de eventos o situaciones peligrosas la carencia de accesibilidad puede comprometer la integridad de las personas sobre todo cuando existe una fuerte concentración de éstas en la zona afectada (D' Ercole & Metzger, 2004).

Según Muriel et al. (2016) la vulnerabilidad en la accesibilidad tiene relación con la conectividad y confiabilidad de la red de transporte. La primera se basa en el rendimiento de la red en términos de tiempo y distancia, mientras que la confiabilidad se basa en el análisis de la posibilidad de falla del enlace. Por consiguiente, existen dos enfoques para evaluar la accesibilidad: accesibilidad de la persona (análisis individual) y accesibilidad del lugar (obstáculos y barreras) (Chang, 2003). Por lo tanto, primero se realizó el análisis de obstáculos y barreras; posteriormente se estableció las arterias viales de la zona y se realizó el estudio de la conectividad, analizando el rendimiento de la red de transporte en términos de distancia hacia un sitio seguro.

2.2.2 Estimación de la vulnerabilidad física por accesibilidad

Para determinar la accesibilidad a un sitio seguro se realizó el estudio de áreas de servicio de puntos de encuentro seguros en toda la zona de estudio, a partir de diferentes nodos digitalizados a lo largo de las arterias viales y fuera de la zona inundada por el tsunami. Según ESRI (2019), la diferencia entre área de influencia y área de servicio radica en que la primera determina el alcance del radio de una circunferencia alrededor del origen, mientras que el área de servicio representa la distancia máxima que se puede viajar utilizando una red de vías alrededor del origen (Fig. 60).

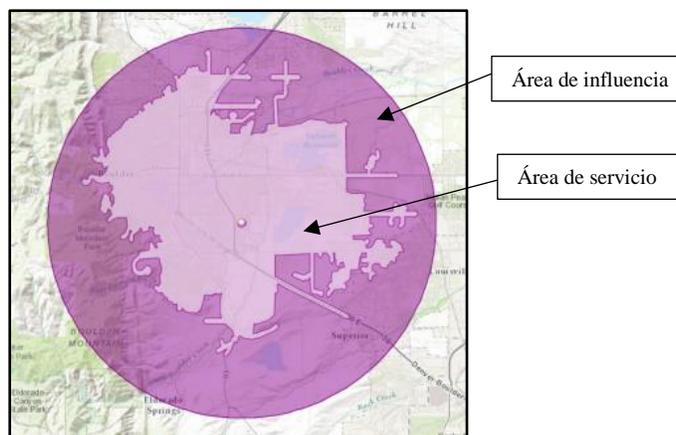


Fig. 60. Diferencia entre área de influencia y área de servicio, alrededor del origen. Fuente: ESRI (2019).

En el cantón Atacames existe un pasillo urbano densamente construido, que une las localidades de Súa, Atacames y Tonsupa, además tres zonas consolidadas más pequeñas en las localidades de Tonchigüe, Same y La Unión, que se encuentran servidas por una carretera sin redundancia, la vía del Pacífico Atacames-Esmeraldas que posteriormente se convierte en la Troncal del Pacífico o también conocida como carretera E15; además existen otras vías como la variante que atraviesa el centro de Atacames conocida como avenida Roberto Cervantes, la vía a La Unión y la vía a Galera. Por lo tanto, para determinar la accesibilidad, se empleó la herramienta de análisis de redes del paquete informático ArcGis, utilizando como inputs, la cobertura de vías escala 1:5000 del IGM, puntos de encuentro seguros que se digitalizaron afuera de la zona inundada por tsunami y como obstáculos y barreras, se utilizó la cobertura de los puentes existentes en el área de estudio, ya que la génesis del tsunami es un sismo de grandes proporciones que puede ocasionar el colapso de estas estructuras.

Como resultado se obtuvo una cobertura de polígonos de zonas de servicio a lo largo de red vial con rendimientos en términos de distancia hacia puntos de seguridad. Posteriormente se delimita el área de interés intersecando la cobertura de área de servicio con la cobertura de zonas inundadas que se obtuvo en el capítulo 3 (Estimación de la amenaza), dado que el objetivo es zonificar las áreas de servicio de cada punto de encuentro seguro (Fig. 90), únicamente en el área afectada por la inundación.

Posteriormente se realizó la estimación de la peligrosidad tsunamigénica, para lo cual se empleó una función matemática de transformación lineal difusa para ponderar las áreas de servicio en un solo rango o escala, para este caso, entre los valores de 0 a 10. En este proceso se aplicó una función lineal entre dos valores: mínimo y máximo, donde todo lo que está debajo del mínimo se asigna un valor de 0 y todo lo que está encima del máximo un valor de 10. El valor mínimo corresponde al valor de 0 metros de distancia al punto de encuentro seguro y el valor máximo de vulnerabilidad se consideró la distancia mínima de evacuación resultado del cálculo: distancia= velocidad x tiempo, donde los valores corresponden a la velocidad de evacuación de 1 m/seg (velocidad promedio de evacuación de una persona caminando, recomendada por el Servicio de Gestión de Riesgos) y el tiempo de arribo del tsunami que se obtuvo del modelamiento de la amenaza (capítulo 3) sumado un tiempo de reacción de 5 minutos; mientras que los valores de dispersión, se hallan entre la recta que une los valores máximo y mínimo (Fig. 61). La metodología de trabajo para la obtención de la vulnerabilidad física se muestra en las figuras 62 y 53.

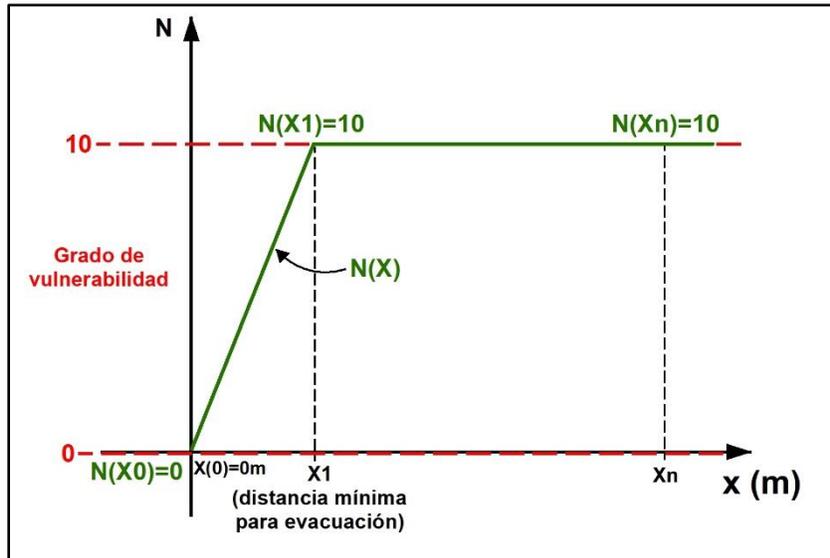


Fig. 61. Función lineal difusa $N(x)$ para ponderar el grado de vulnerabilidad de áreas de servicio. Fuente: Elaboración propia.

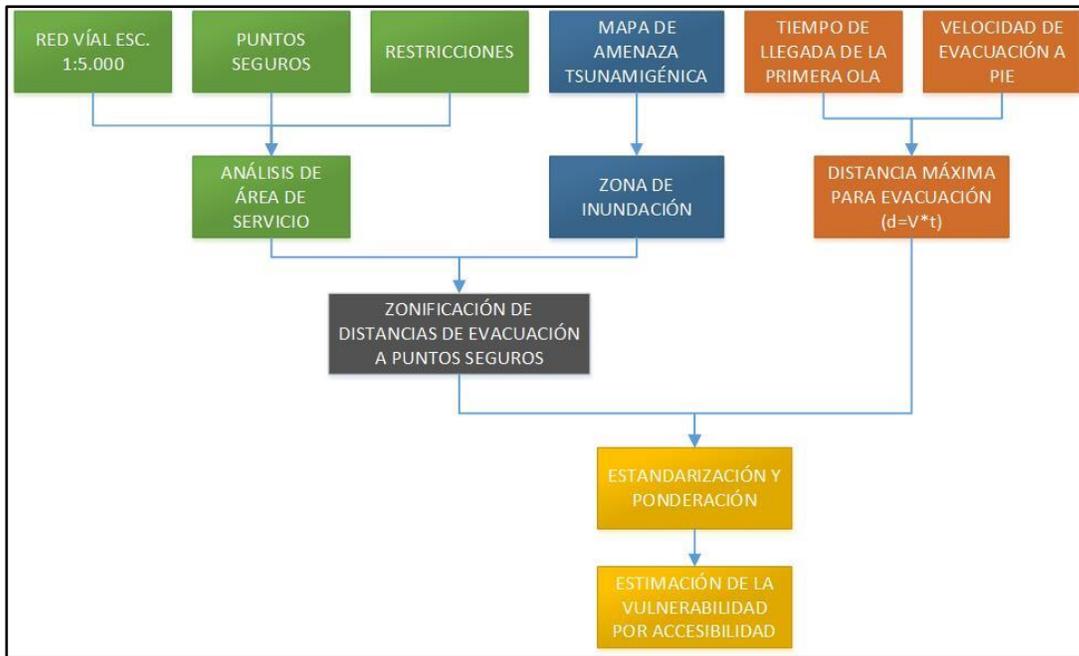


Fig. 62. Metodología para la obtención de vulnerabilidad física. Fuente: Elaboración propia.

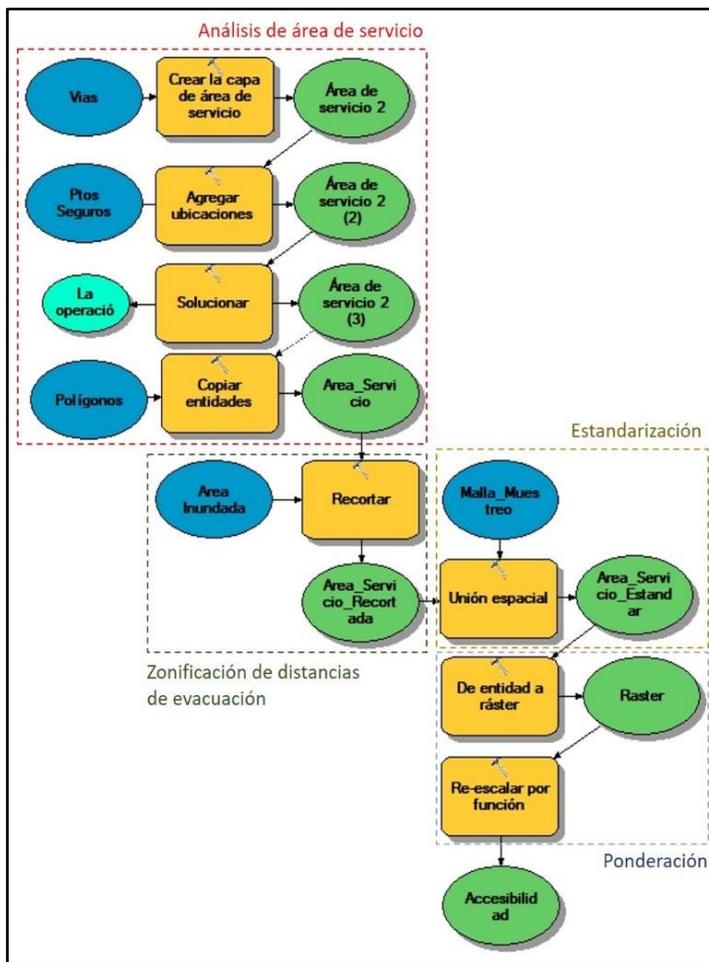


Fig. 63. Metodología para la obtención de vulnerabilidad física en el software ArcMap 10.7.1, a través de la aplicación ModelBuilder. Fuente: Elaboración propia.

3 Resultados

3.1 Conjunto etario frágil

3.1.1 Estructura etaria de la población de Atacames.

La estructura etaria de la población de Atacames es compleja. El cantón dispone de 41526 habitantes, donde 33110 pobladores habitan en las zonas consolidadas (alrededor del 80% de la población total). Considerando que la media poblacional de los cantones del Ecuador es de 64000 habitantes, se podría catalogar al cantón Atacames como un cantón pequeño. Se evidencia que, en las zonas consolidadas del Cantón Atacames, el 42,97% de la población es frágil, es decir 14226 habitantes (12125 habitantes que pertenecen al grupo de niños y adolescentes de edad temprana y 2101 habitantes que pertenecen al grupo de adultos mayores), de los cuales, en su mayor parte corresponden a niños y adolescentes de edad temprana, cuyo porcentaje es del 36,62% (Tabla 18) (Fig. 64).

GRUPOS DE EDAD	POBLACIÓN	%
Niños y adolescentes de edad temprana	12125	36,62
Adolescentes de edad tardía y adultos	18884	57,03
Adultos mayores	2101	6,35
TOTAL	33110	100

Tabla 18. Población de áreas consolidadas del Cantón Atacames por grupos de edad. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

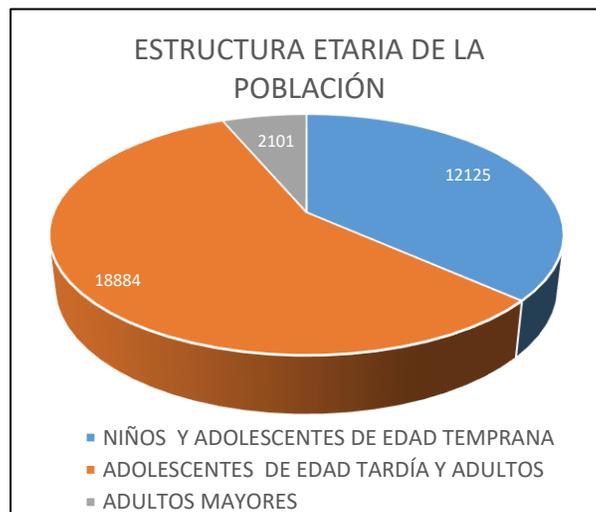


Fig. 64. Población de áreas consolidadas del Cantón Atacames por grupos de edad Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.1.2 Análisis estadístico a nivel de manzana

Al realizarse un análisis estadístico de la población en edad frágil, en 936 manzanas de las zonas consolidadas, el rango de variabilidad de la población vulnerable fluctúa entre 0-163 habitantes/manzana, la media poblacional es de 15,19 habitantes/manzana y la dispersión de frecuencias alrededor de la media se encuentra entre 0,37 hasta 30,01 (desviación estándar de 14,82). Es decir, el número de habitantes que se repite con mayor frecuencia entre las manzanas se encuentra entre 1 y 30 habitantes. Por lo tanto, en la gráfica de dispersión de la población (Fig. 65) se observa una asimetría positiva, es decir que la media poblacional es mayor que la mediana y la moda (Tabla 19)

ESTADÍSTICOS	
Media	15,199
Mediana	11
Moda	0
Desviación estándar	14,829
Rango	163
Mínimo	0
Máximo	163
Suma	14226
Manzanas	936

Tabla 19. Estadísticos de número de habitantes en edad frágil/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

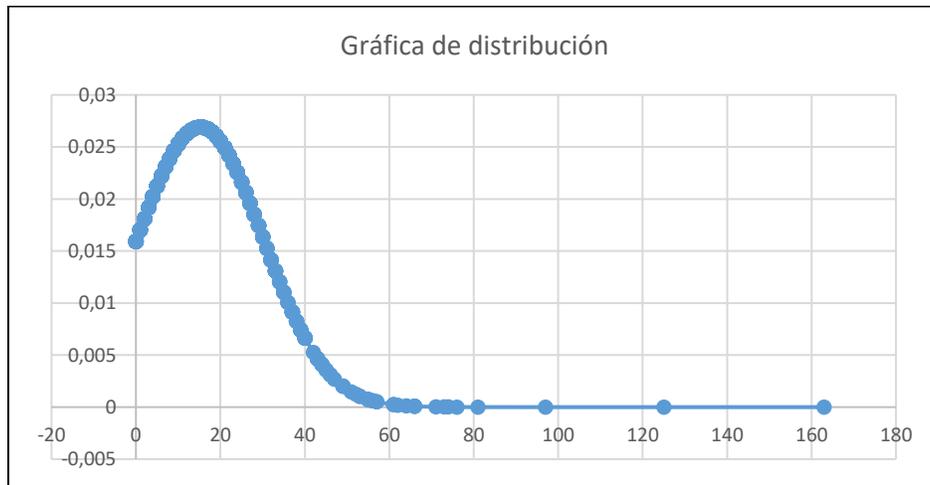


Fig. 65. Gráfica de distribución de número de habitantes en edad frágil/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

La población dentro del conjunto etario frágil a nivel de manzana de las zonas consolidadas del cantón Atacames se presentan en las figuras 66 y 67. Se observa que la distribución de manzanas con número de habitantes mayor a 30, dentro del conjunto etario frágil (valores altos según el análisis estadístico) tiene una distribución heterogénea en la zona de estudio, sin una tendencia espacial marcada, por un lado, en Tonsupa la distribución de estas manzanas se concentra hacia el Este y Sur, por otro lado en Atacames hacia el centro del pasillo urbano; mientras que, en las localidades de Súa, Tonchigüe y La Unión se concentran hacia el Sur.

En la figura 66 se aprecia la configuración espacial de las zonas consolidadas de Tonsupa, Atacames y Súa, en un pasillo urbano de forma alargada que se extiende de Noreste a Suroeste. De manera particular, en la conurbación de las parroquias de Tonsupa y Atacames, se concentran 89 manzanas con un número de habitantes en edad frágil mayor a 30, es decir el 12% de un total de 748 manzanas que conforman esta zona. Las manzanas se encuentran ubicadas junto a la línea de costa en los barrios de Puerto Gaviota, Cabaplan, Totoral, Nueva Granada y Vista al Mar; y al Sur en los barrios Verde Mar, Albergues, Nuevo Milenio, Paz y Progreso, La Florida, Torre Fuerte y Nueva Esperanza. Al Oeste, en la cabecera parroquial de Súa se observan 7 manzanas con número de habitantes en edad frágil mayor a 30, que corresponde al 8,5% de 83 manzanas en esta zona, algunas de las cuales se encuentran localizadas junto a la línea de costa.

En la figura 67, en la parroquia de Tonchigüe, tanto en su cabecera parroquial y la localidad de Same, se aprecian 17 manzanas con número de habitantes en edad frágil mayor a 30, es decir el 15% de 113 manzanas que conforman esta zona, las cuales se encuentran distribuidas en la localidad de Same y en los barrios de Vista al Mar, San Antonio y Colinas del Sol. Por otro lado, en el interior del Cantón Atacames, en la cabecera parroquial de La Unión, se aprecian dos manzanas con número de habitantes en edad frágil mayor a 30, que corresponde al 9,5% de 21 manzanas en esta zona.

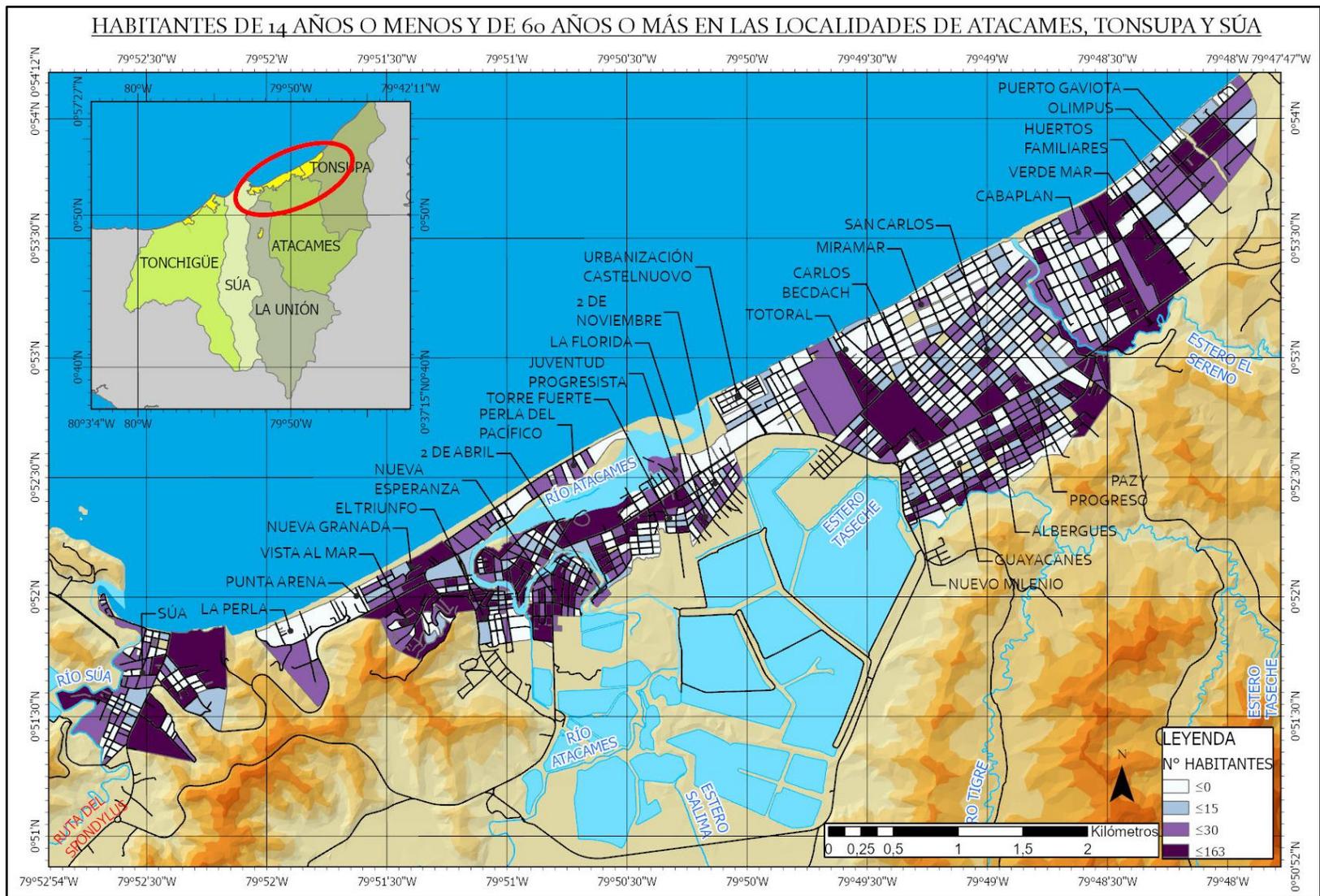


Fig. 66. Habitantes dentro del conjunto etario frágil en Súa, Atacames y Tonsupa Fuente: Elaboración propia.

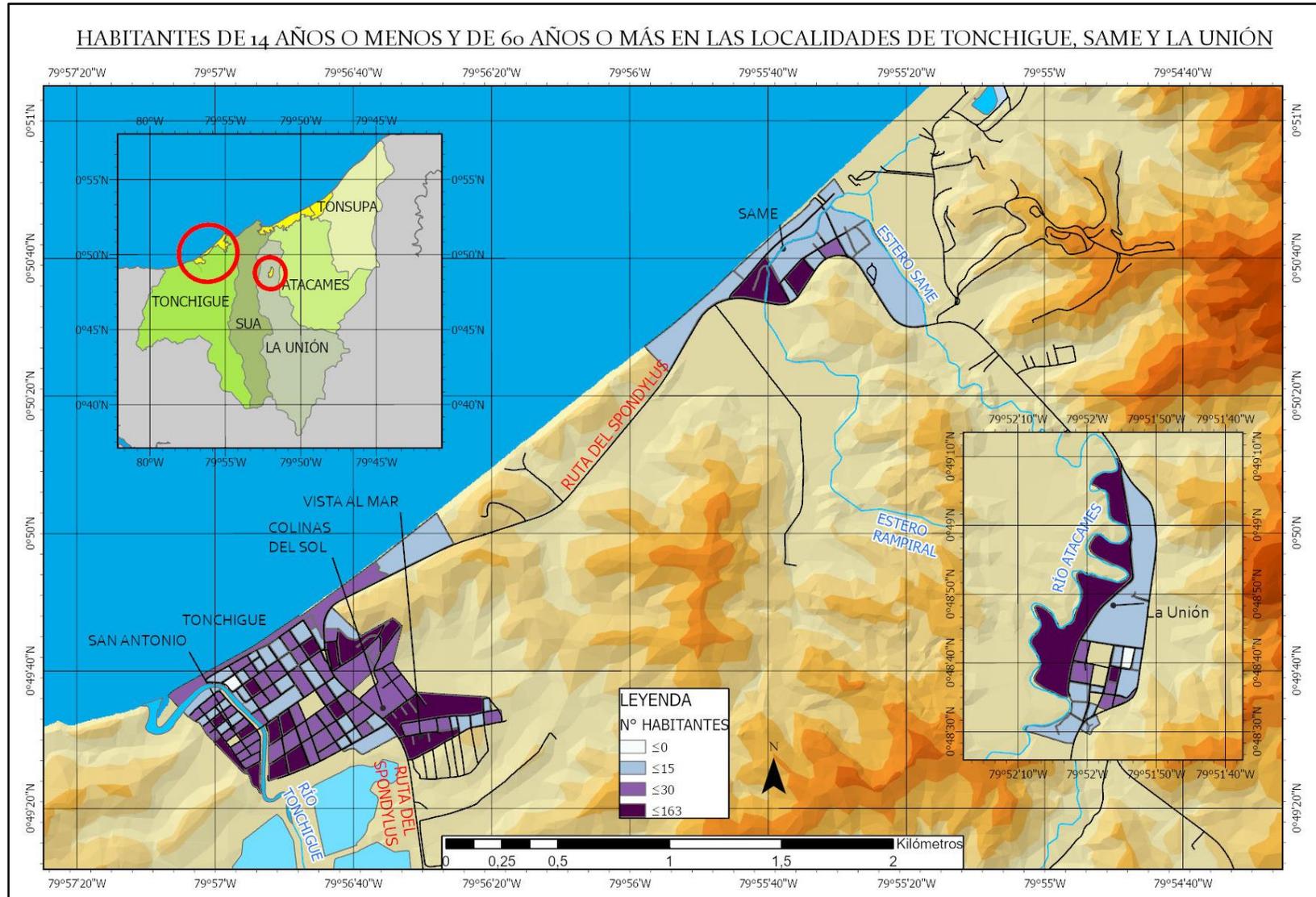


Fig. 67. Habitantes dentro del conjunto etario frágil en Tonchigue, Same y La Unión. Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Estandarización y ponderación

El empleo de la función de crecimiento logístico permitió reclasificar los valores de la población en edad frágil/manzana en una escala de 0 a 10, considerando la media poblacional y la desviación estándar, de manera que las zonas más frágiles serán aquellas manzanas que se encuentren en el rango de 30 a 163 habitantes (valor máximo poblacional). Por otro lado, las zonas que carecen de fragilidad serán aquellas manzanas que no dispongan de habitantes dentro de este grupo de edad (valor mínimo poblacional). Las zonas que dispongan de fragilidad media serán aquellas manzanas que dispongan de valores alrededor de la media poblacional; mientras que la dispersión de valores de fragilidad dependerá de la desviación estándar; es decir entre 1 y 30 habitantes/manzana (Fig. 68).

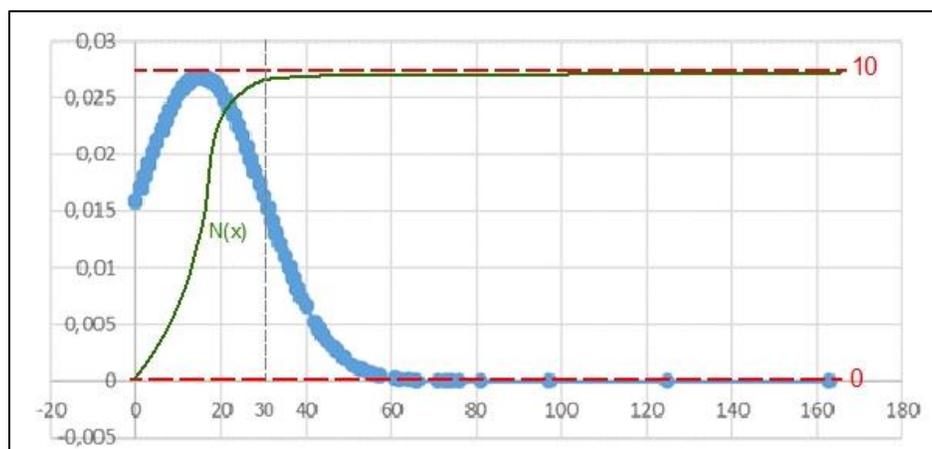


Fig. 68. Aplicación de la función de crecimiento logístico. Fuente: Elaboración propia.

Las manzanas estandarizadas y ponderadas se presentan en la figura 69. Se aprecia que, al aplicar la función de crecimiento logístico, las manzanas por su estado de fragilidad se acentúan, dado que se realzan también aquellas manzanas que tienen valores de fragilidad de 5-10, conforme el grado de fragilidad que les corresponda.

En la figura 69 se denota que la población dentro del conjunto etario frágil es mayor en la zona centro de Atacames. En este lugar la configuración urbana es más compleja, debido a varios factores, por un lado, la presencia de un elemento natural de Noreste a Suroeste, el río Atacames. Por otro lado, la trama urbana presenta manzanas de tamaño diferente.

Otras zonas que presentan mayor fragilidad pertenecen a las localidades de Tonchigüe, Súa y La Unión, donde una cantidad considerable de manzanas muestran una ponderación mayor a 5 y se encuentran distribuidas de manera homogénea en un área relativamente pequeña. Por otro lado, en Tonsupa persisten una mayor cantidad de manzanas frágiles hacia el Este y Sur.

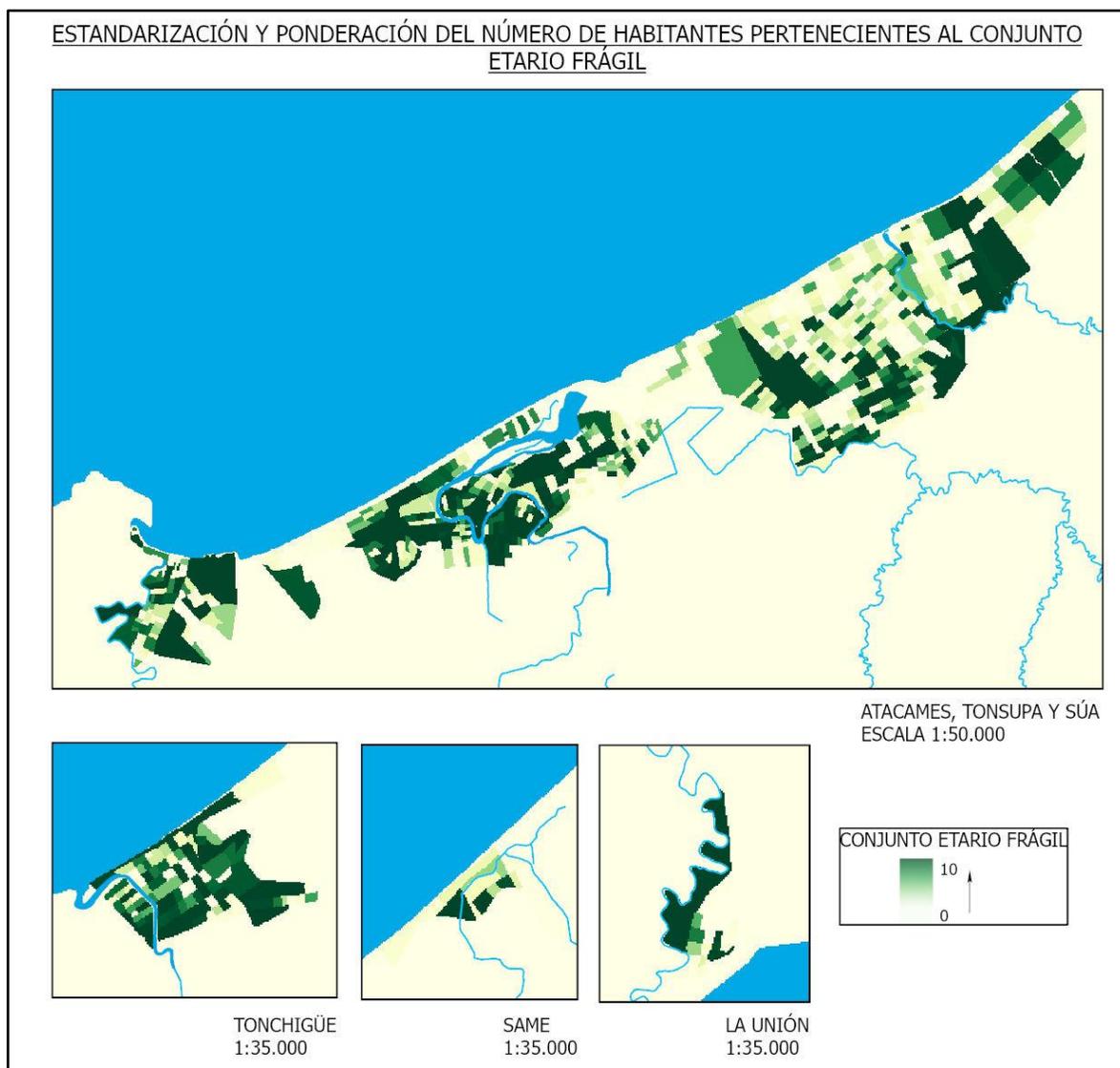


Fig. 69. Estandarización y ponderación del número de habitantes pertenecientes al conjunto etario frágil, aplicando una malla de muestreo y una función de crecimiento logístico. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Hogares pobres según el método de necesidades básicas insatisfechas (NBI)

3.2.1 Caracterización de la población

La tabla 20 representa la caracterización de población pobre según el método NBI. Se evidencia que en las zonas consolidadas del cantón Atacames existe un elevado nivel de pobreza con 5747 hogares caracterizados dentro de esta categoría y que equivale al 69,30% del total de hogares, que refleja su carencia de al menos una de las variables de satisfacción de necesidades básicas. Por otro lado, existen 2434 hogares no pobres, que equivale al 29,35%, los cuales no tienen carencias de necesidades básicas y 112 hogares sin datos, que equivale al 1,35% (Tabla 20) (Fig. 70).

TIPO	POBLACIÓN	%
Pobre	5747	69,30
No pobre	2434	29,35
Sin datos	112	1,35
TOTAL	8293	100

Tabla 20. Población según caracterización NBI. Elaboración propia a partir de INEC (2010).

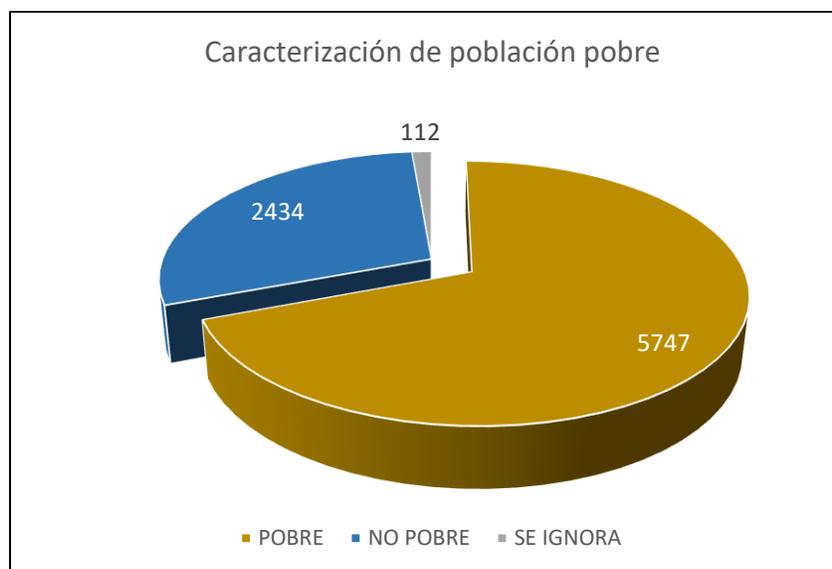


Fig. 70. Población según caracterización NBI. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.2.2 Análisis estadístico a nivel de manzana

En el análisis estadístico de la variable de pobreza se evidencia un rango de variabilidad que fluctúa entre 0 y 74 hogares pobres/manzana, la media poblacional es de 6,13 hogares pobres/manzana y la dispersión alrededor de la media es de 6,24 (Tabla 21). Es decir, que el número de hogares que se repite con mayor frecuencia se encuentra entre 0 y 12 hogares pobres/manzana; en la gráfica de dispersión se observa una asimetría positiva (Fig. 71). Por lo tanto, para el análisis de vulnerabilidad se escoge una función de ponderación de crecimiento logístico que se ajusta de mejor manera, a la gráfica de dispersión (Tabla 21; Fig. 71).

ESTADÍSTICOS	
Media	6,13995726
Mediana	4
Moda	1
Desviación estándar	6,24582561
Rango	74
Mínimo	0
Máximo	74
Suma	5747
Manzanas	936

Tabla 21. Estadísticos de hogares pobres/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.2.3 Estandarización y ponderación

Se reclasificaron los valores de los hogares pobres/manzana en una escala de 0 a 10, considerando la media poblacional y la desviación estándar, de manera que las zonas más frágiles fueron aquellas manzanas que se encontraron en el rango de 12 a 74 hogares pobres. Por otro lado, las zonas que carecen de fragilidad serán aquellas manzanas que no dispongan de hogares pobres. Las zonas que dispongan de fragilidad media serán aquellas manzanas que dispongan de valores alrededor de la media poblacional; mientras que la dispersión de valores de fragilidad dependerá de la desviación estándar; es decir entre 1 y 12 hogares pobres/manzana (Fig. 71)

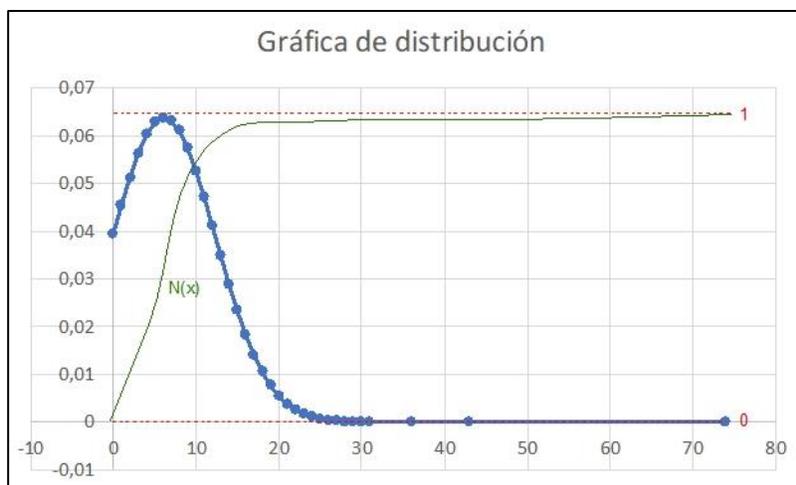


Fig. 71. Función de ponderación y gráfica de dispersión de hogares pobres/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

Las manzanas con hogares pobres según el método NBI a nivel de manzana en la zona de estudio se presentan en las figuras 72 y 73. Si se analizan las manzanas con hogares pobres mayor a 12 (valores altos fuera de la desviación estándar poblacional), se visualiza que la configuración espacial de esta variable coincide con la variable de conjunto etario frágil, reflejando que la concentración de población en edad frágil se sitúa en zonas donde existen mayor cantidad de hogares pobres. En consecuencia, la configuración espacial es similar a la variable de conjunto etario frágil: en Tonsupa la distribución de estas manzanas se concentra hacia el Este y Sur, en Atacames hacia el centro de la zona urbana; mientras que, en las localidades de Súa, Tonchigüe y La Unión se concentran hacia el Sur.

En la figura 72 se aprecia que, en las parroquias de Tonsupa y Atacames, existen 85 manzanas con valores de pobreza altos, es decir el 11% de 748 manzanas, dispuestas tanto en el centro, como el Este del pasillo urbano. Las manzanas con valores altos se encuentran ubicadas en los barrios de Puerto Gaviota, Verde Mar, Albergues, Totoral, Nueva Esperanza, Vista al Mar, Nueva Granada y El Triunfo. En la parroquia de Súa se denotan 7 manzanas con valores altos de pobreza que corresponde al 8,5% de 83 manzanas en esta zona. En la figura 73, se observa que en la parroquia de Tonchigüe, tanto en su cabecera parroquial y la localidad de Same, existen 18 manzanas con valores altos de pobreza, es decir el 16% de 113 manzanas en esta zona, las cuales se encuentran distribuidas en la localidad de Same y en los barrios de Vista al Mar, San Antonio y Colinas del Sol. Además, en la parroquia La Unión, se aprecian 4 manzanas pobres que corresponde al 19% de 21 manzanas en esta zona.

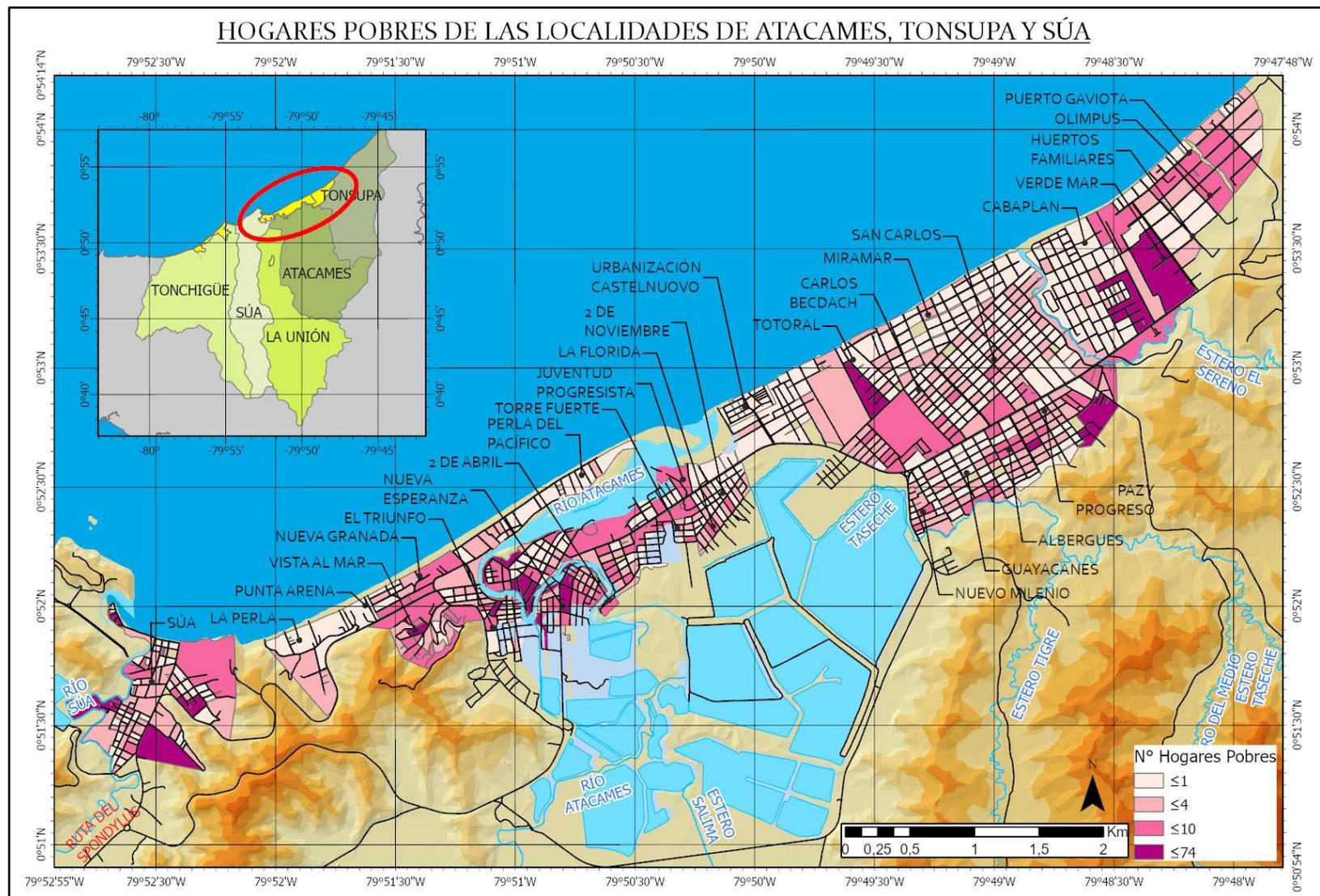


Fig. 72. Número de hogares pobres en las localidades de Atacames, Tonsupa y Súa. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

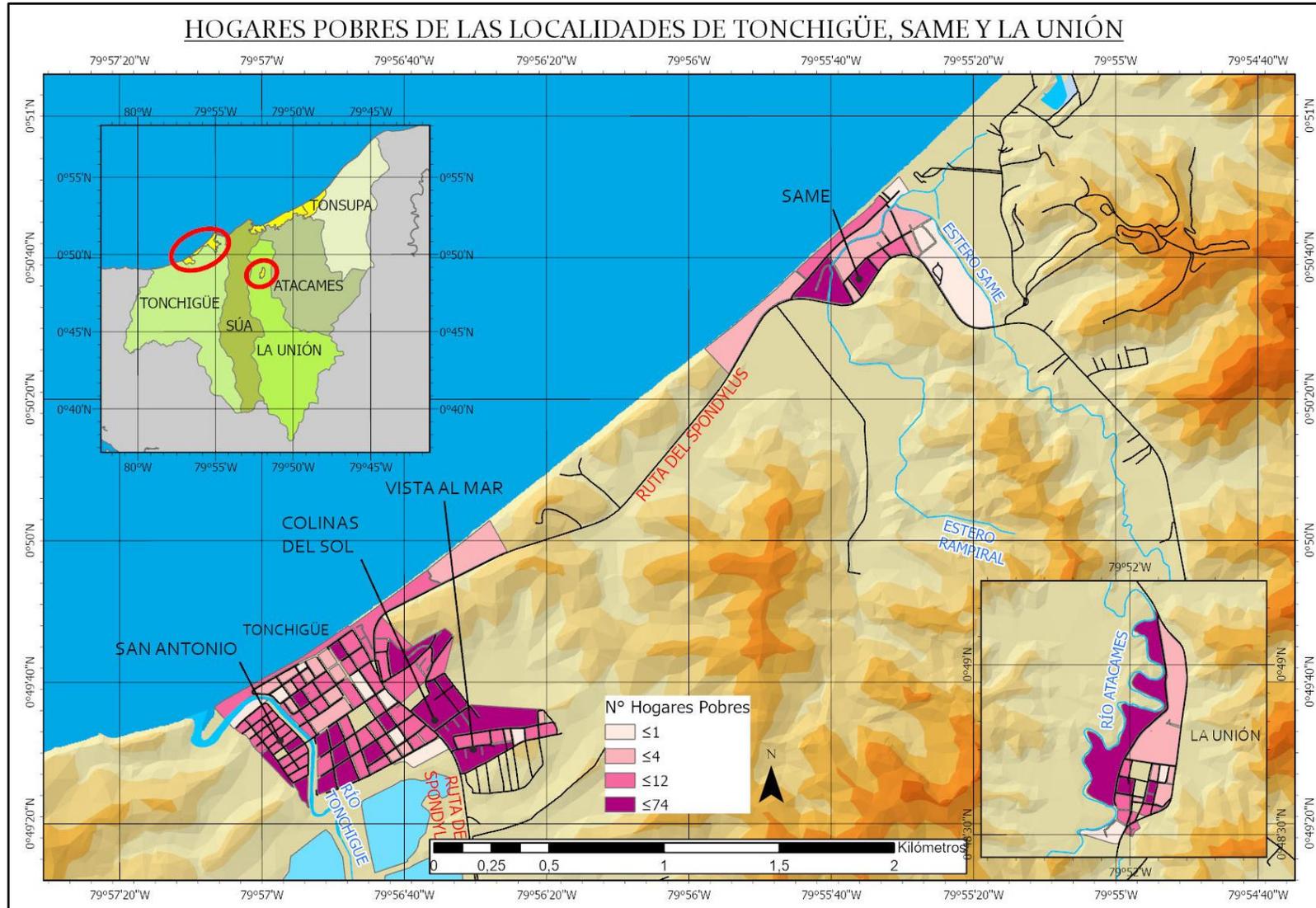


Fig. 73. Número de hogares pobres en las localidades de Tonchigüe, Same y La Unión. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

Las manzanas con hogares pobres estandarizadas y ponderadas se presentan en la figura 74. Se aprecia que en la conurbación de Atacames y Tonsupa las zonas donde se acentúan las manzanas con un grado de fragilidad alta y media se sitúan tanto al centro del tejido urbano, como al Este e interior de Tonsupa, las zonas con fragilidad baja se sitúan junto a la línea de costa en Tonsupa y hacia los flancos Este y Oeste de Atacames, así como junto a la línea de costa al frente del río Atacames. Por otro lado, en las localidades de Tonchigüe, Súa y La Unión, siendo localidades relativamente más pequeñas, se observa que se acentúan los valores de fragilidad alta y media y en menor medida, se aprecian manzanas con fragilidad baja distribuidos de manera heterogénea en estas zonas.

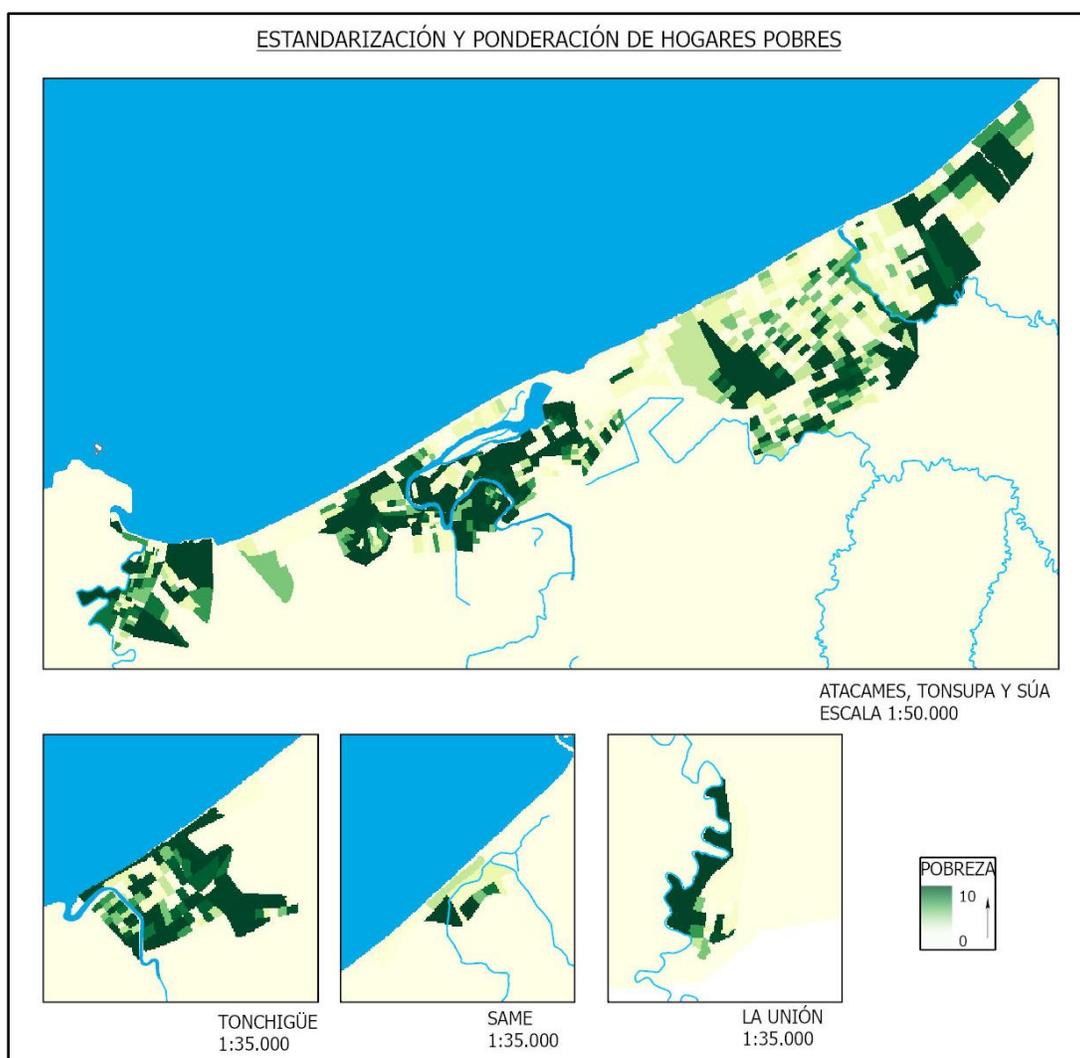


Fig. 74. Estandarización y ponderación del número de habitantes pertenecientes al conjunto etario frágil, aplicando una malla de muestreo y una función de crecimiento logístico. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Población con discapacidad

3.3.1 Estructura poblacional

Las personas que presentan algún tipo de discapacidad es una población vulnerable ante la ocurrencia de eventos de desastres, situaciones de emergencia y rescate según las Naciones Unidas. Las mismas corren un mayor riesgo de ser abandonadas cuando no hay una planificación adecuada para atenderlos, por inaccesibilidad de los centros de acogida, o cualquier otro motivo y/o obstáculo. Estas personas, por lo general, no pueden evacuarse por sus propios medios. A veces se les presenta algún inconveniente que impide su evacuación como perder sus elementos de apoyo (como silla de ruedas, aparatos de audición), o sus medicamentos. Considerar entonces a dicha población es de suma importancia en los estudios de riesgo, para brindar una buena planificación y para ofrecer propuestas integradoras. Si se analiza la tabla 22 se observa en la zona de estudio la existencia de 1800 personas con discapacidad (PCD) que equivale al 5,44% de su población (Tabla 8; Fig. 75). Este porcentaje es elevado para la elaboración de estrategias de acción que permitan mejorar la organización y preparación de los sistemas de apoyo, para atender adecuadamente a quienes poseen discapacidad.

TIPO	POBLACIÓN	%
Discapacitado	1800	5,44
No discapacitado	31310	94,56
TOTAL	33110	100

Tabla 22. Población con discapacidad. Fuente: INEC (2010).



Fig. 75. Población con discapacidad. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.3.1 Análisis estadístico a nivel de manzana

En el análisis estadístico de la variable de discapacidad se evidencia un rango de variabilidad que fluctúa entre 0 y 30 personas con discapacidad/manzana, la media poblacional es de 1 persona con discapacidad/manzana y la dispersión alrededor de la media es de 2,75. Es decir que el número de personas/manzana que se repite con mayor frecuencia se encuentra entre 0 y 4 personas con discapacidad/manzana (Tabla 23).

<i>Estadísticos</i>	
Media	1,92307692
Mediana	1
Moda	0
Desviación estándar	2,75146272
Rango	30
Mínimo	0
Máximo	30
Suma	1800
Manzanas	936

Tabla 23. Estadísticos de personas con discapacidad/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.3.1 Estandarización y ponderación

Se reclasificaron los valores de las personas con discapacidad/manzana en una escala de 0 a 10, las zonas más frágiles fueron aquellas manzanas que se encuentren en el rango de 4 a 30 personas con discapacidad. Las zonas que dispongan de fragilidad media serán aquellas manzanas que dispongan de valores alrededor de la media poblacional; mientras que la dispersión de valores de fragilidad dependerá de la desviación estándar; es decir entre 1 y 4 personas con discapacidad/manzana (Fig. 76).



Fig. 76. Población con discapacidad/manzana. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

La población con discapacidad a nivel de manzana de las zonas consolidadas del cantón Atacames se presentan en las figuras 77 y 78. Se observa que las manzanas con número de habitantes con discapacidad mayor a 4 tienen una distribución heterogénea en la zona de estudio y se ubican en áreas donde la trama urbana es más compleja. Se denota también que existen zonas coincidentes con las variables de conjunto etario frágil y pobreza: en la figura 77, los barrios de Nueva Esperanza, Nueva Granada, Totoral y Puerto Gaviota, así como la localidad de Súa; en la figura 78 el barrio Vista del Mar y la localidad de Same. Esto quiere decir que existen valores altos recurrentes de fragilidad alta de la población en determinadas manzanas y que se acentuaran al estimar la vulnerabilidad socioeconómica.

En la figura 77 se aprecia que, en la conurbación de las parroquias de Tonsupa y Atacames, se concentran 77 manzanas con un número habitantes con discapacidad mayor a 4, es decir el 10% de un total de 748 manzanas que conforman esta zona. Las manzanas se encuentran ubicadas en los barrios de Puerto Gaviota, Verde Mar, Paz y Progreso, Totoral, Torre Fuerte, Nueva Esperanza, Nueva Granada y Vista al Mar, algunas de estas manzanas se encuentran poco distantes de la línea de costa especialmente en el centro del tejido urbano. Así mismo en la cabecera parroquial de Súa se observan 12 manzanas con número de habitantes con discapacidad mayor a 4, que corresponde al 14,45% de 83 manzanas en esta zona.

En la figura 78, en la parroquia de Tonchigüe, tanto en su cabecera parroquial y la localidad de Same, se aprecian 15 manzanas con número de habitantes con discapacidad mayor a 4, es decir el 13% de 113 manzanas que conforman esta zona. Además, hacia el interior del Cantón Atacames, en la cabecera parroquial de La Unión, se aprecia 1 manzana con número de habitantes con discapacidad mayor a 4, que corresponde al 5% de 21 manzanas en esta zona.

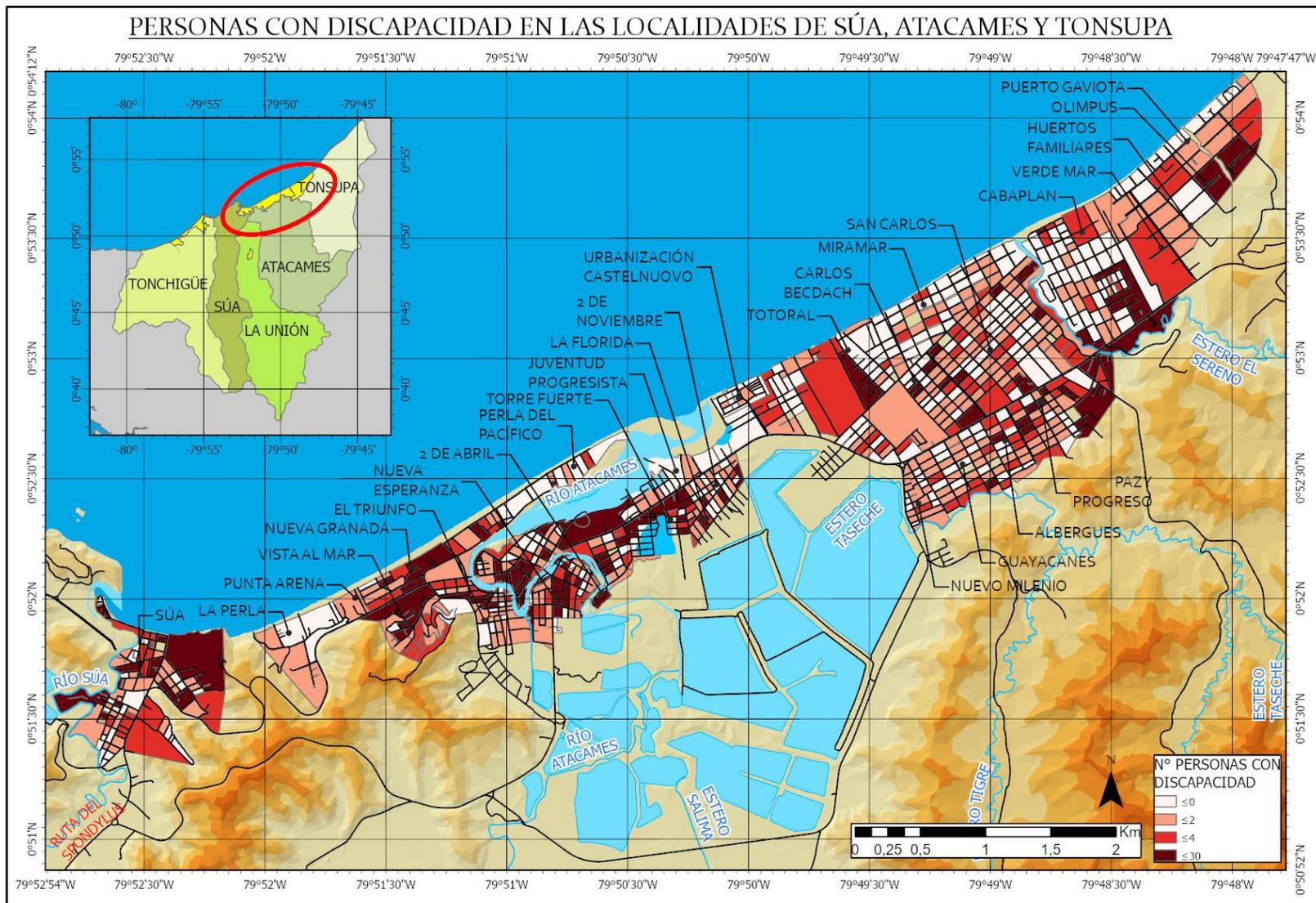


Fig. 77. Población con discapacidad en las localidades de Súa, Atacames y Tonsupa. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

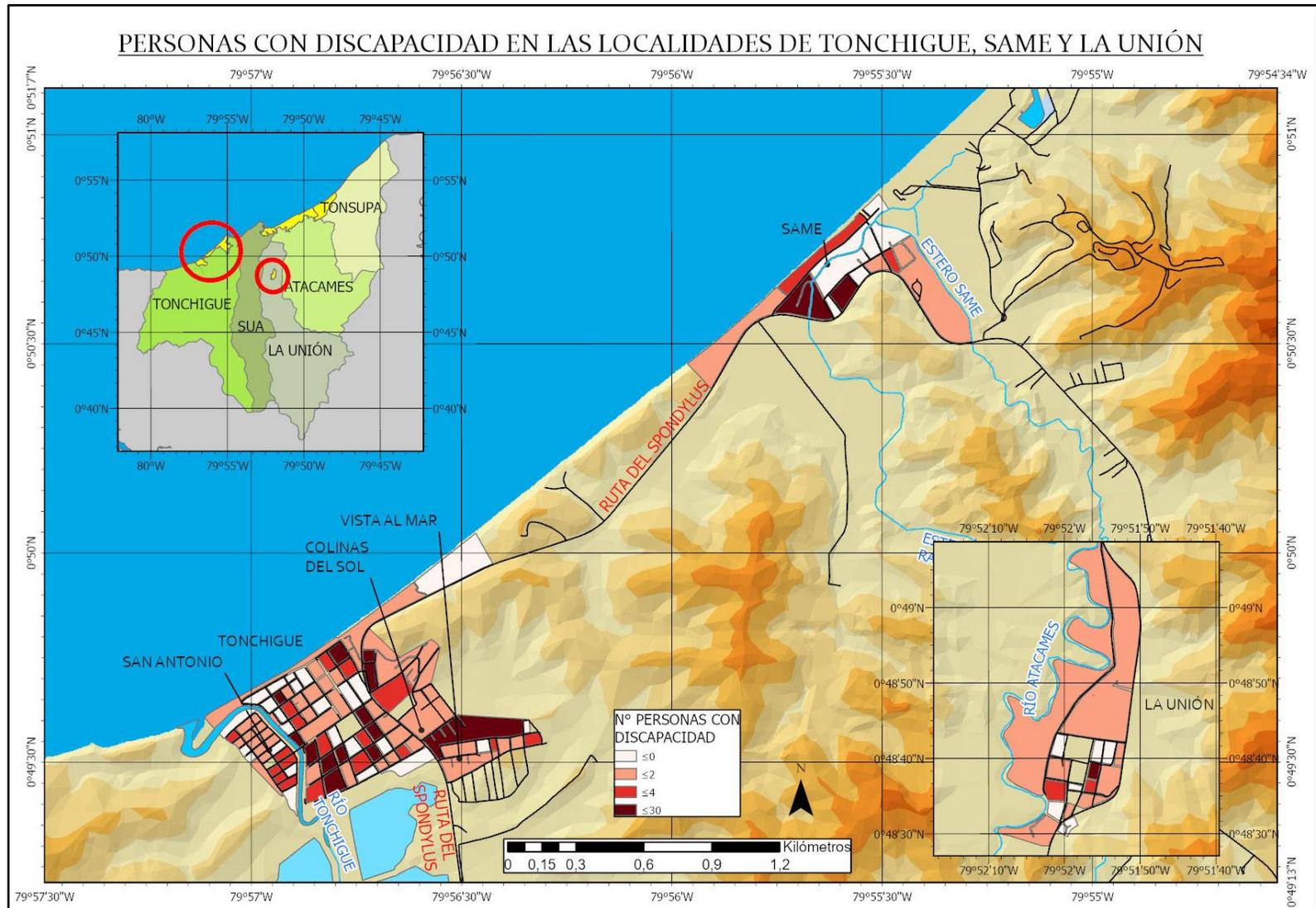


Fig. 78. Población con discapacidad en las localidades de Tonchigüe, Same y La Unión. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

Las manzanas con personas con discapacidad se presentan en la figura 79. Se aprecia que en la conurbación de Atacames y Tonsupa las manzanas con un grado de fragilidad alta y media se concentran al centro del tejido urbano de Atacames, y se ubican de manera indistinta en la parroquia de Tonsupa. Las zonas con fragilidad baja se sitúan hacia los flancos Este y Oeste de la parroquia Atacames, así como junto a la línea de costa al frente del río Atacames, mientras que en Tonsupa su configuración espacial es heterogénea. En la parroquia de Súa de acentúan las manzanas con un grado de fragilidad alta y media en la mayor parte de esta área. En cambio, en las localidades de Tonchigüe, Súa y La Unión, se observa una distribución heterogénea de manzanas con distinto rango de fragilidad dispuestas en todas estas zonas.

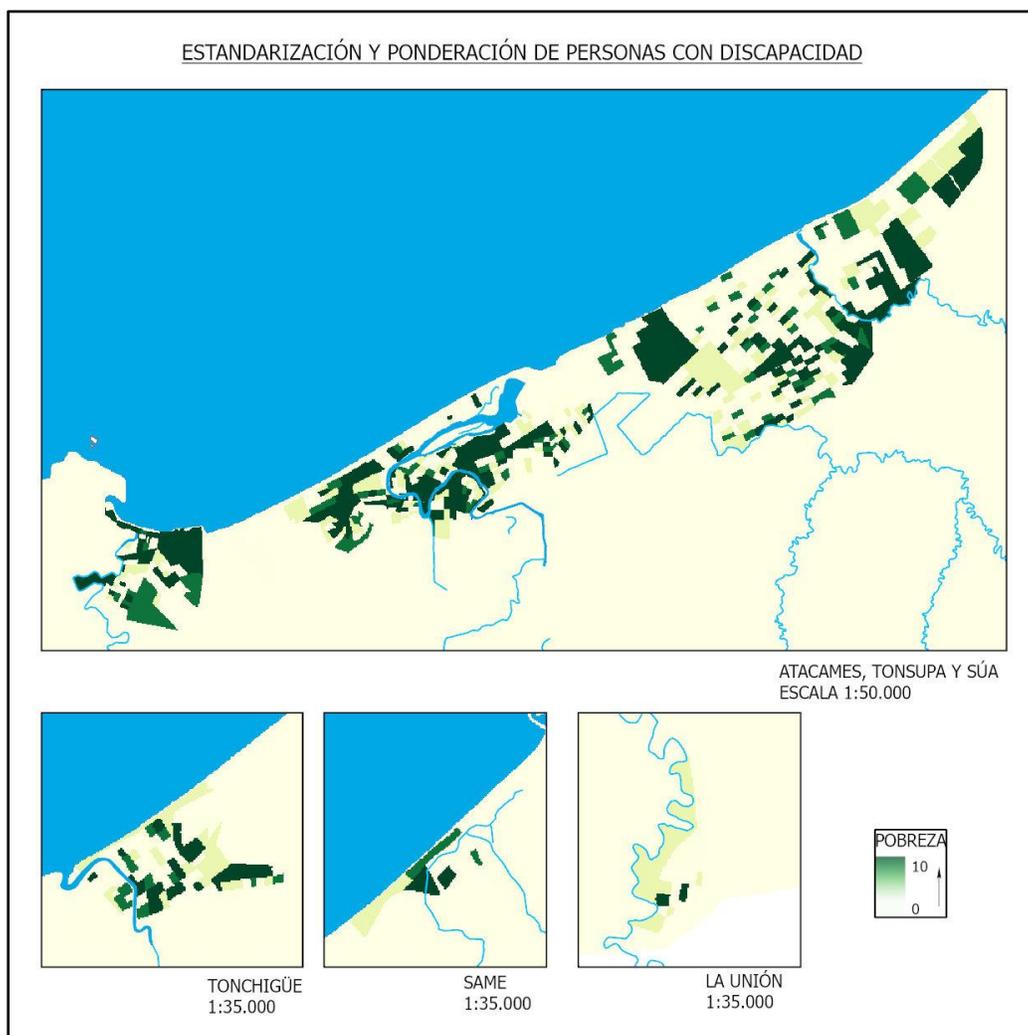


Fig. 79. Estandarización y ponderación de la variable personas con discapacidad. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.4 Vulnerabilidad Socioeconómica

El modelado espacial de las variables de habitantes pertenecientes al conjunto etario frágil, hogares pobres y personas con discapacidad permitió obtener la vulnerabilidad socioeconómica de la zona de estudio (Figs. 88 y 89). Para explicar los resultados de la vulnerabilidad socioeconómica, primero se muestran los resultados del estudio de las variables utilizadas de manera particular y posteriormente se explica su integración espacial.

En el análisis de la estructura etaria de la población de Atacames indica que el 42,97% de la población son vulnerables por pertenecer al grupo de niños, adolescentes de edad temprana y adultos mayores. En la variable de hogares pobres se aprecia, en primer lugar, que existe una segregación socioespacial en la zona de estudio, debido a la presencia homogéneas de manzanas frágiles en zonas específicas con una tendencia espacial marcada. En segundo lugar, el análisis indica que el 69,30% de hogares presentan al menos una carencia crítica de acceso a vivienda, servicios sanitarios, educación y/o capacidad económica. Por otro lado, el 5,44% de la población es vulnerable, ya que presenta al menos una de las discapacidades intelectual, físico-motora, visual, auditiva y/o mental. Conviene subrayar que la configuración espacial de las manzanas con un alto grado de fragilidad de las variables de conjunto etario frágil y hogares pobres coinciden, lo que implica una relación cercana entre ambas y la concentración de población en edad frágil en manzanas con hogares pobres.

Al integrar las variables se aprecia una distribución heterogenia de fragilidad global de la población, con la presencia de manzanas con diferente grado de vulnerabilidad a lo largo de toda la zona de estudio. De manera particular, en la figura 88 se observa que en la parroquia Tonsupa junto a la línea costa existen manzanas con menor vulnerabilidad socioeconómica debido al mayor desarrollo de esta zona, motivado por la inversión en infraestructura turística para alojamiento y alimentación de alto costo para visitantes que provienen, mayormente, de la ciudad de Quito. Estas manzanas contrastan con zonas deprimidas localizadas tanto al Este y hacia el interior de Tonsupa, donde habitan la población permanente y donde existe mayor grado de fragilidad de la población,

específicamente en los barrios de Puerto Gaviota, Cabaplan, Verde Mar, Paz y Progreso, Albergues y Totoral (Figs. 80, 81 y 84).



Fig. 80. Inversión turística en Tonsupa junto a la línea de costa. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 81. Zona deprimida de Tonsupa en el barrio Paz y Progreso. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 89, en la parroquia Tonchigüe se aprecian condiciones similares a las de Tonsupa, por un lado, se denota un desarrollo económico acelerado en Casa Blanca con una inversión importante en infraestructura de alojamiento para estratos altos. Por otro lado, zonas deprimidas con mayor grado de fragilidad de la población en Same, Vista Mar, Colinas del Sol y San Antonio, donde la población vive de la pesca artesanal (Figs. 82, 83 y 89).



Fig. 82. Desarrollo urbano en la zona de Casa Blanca. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 83. Zona deprimida en la cabecera parroquial de Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 88 en la parroquia de Atacames, existe una tendencia espacial marcada con un muy alto grado de fragilidad socioeconómica en el centro del tejido urbano, por el número de manzanas en estas condiciones, se constituye en la zona más vulnerable del área de estudio, específicamente en los barrios de Nueva Esperanza, El Triunfo, 2 de abril, Nueva Granada y Vista el Mar. Aquí persisten zonas con un alto grado de inseguridad y manzanas con población pobre según la clasificación NBI. Por otro lado, junto a la línea de costa, frente al río Atacames existe un desarrollo económico mayor, motivado por la inversión turística destinada a cubrir la demanda de estratos medios (Figs. 84, 85 y 88).



Fig. 84. Inversión turística en Atacames junto a la línea de costa de Atacames. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 85. Zona deprimida de Atacames en el barrio Nueva Esperanza. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 89, en las parroquias de Súa y La Unión, se aprecia que, en su mayor parte la estructura de la población es frágil ante la ocurrencia de tsunami debido, principalmente, a su escaso desarrollo económico. La principal actividad económica en Súa se constituye la pesca, mientras que en La Unión sus habitantes se dedican, principalmente, a la agricultura, acuicultura y ganadería (Figs. 86,87 y 89)



Fig. 86. Zona junto a la línea de costa en la parroquia de Súa, donde sus habitantes se dedican a la pesca. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 87. Cabecera parroquial de La Unión donde existe un escaso desarrollo económico. Fuente: Elaboración propia.

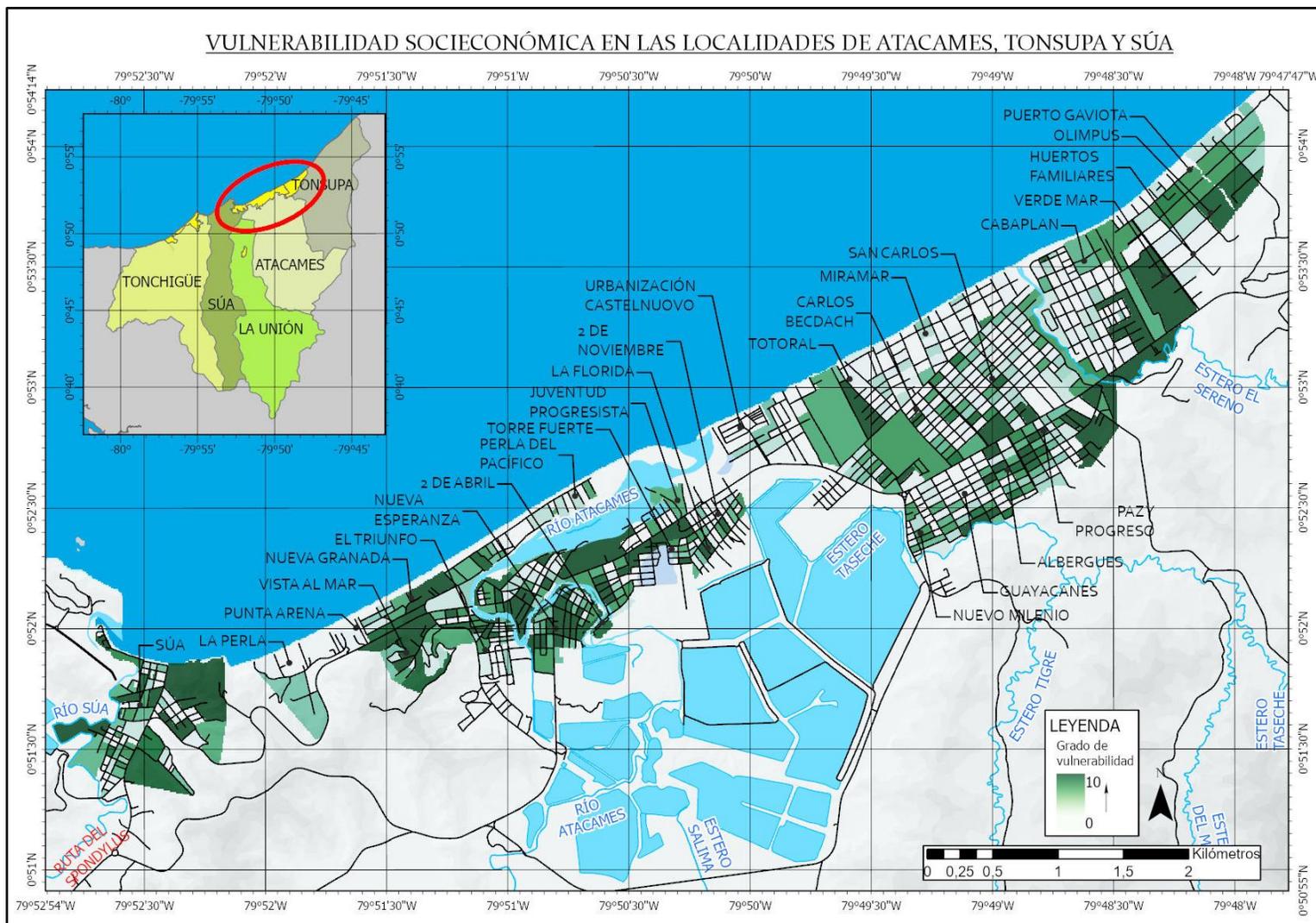


Fig. 88. Vulnerabilidad socioeconómica en las localidades de Súa, Atacames y Tonsupa. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

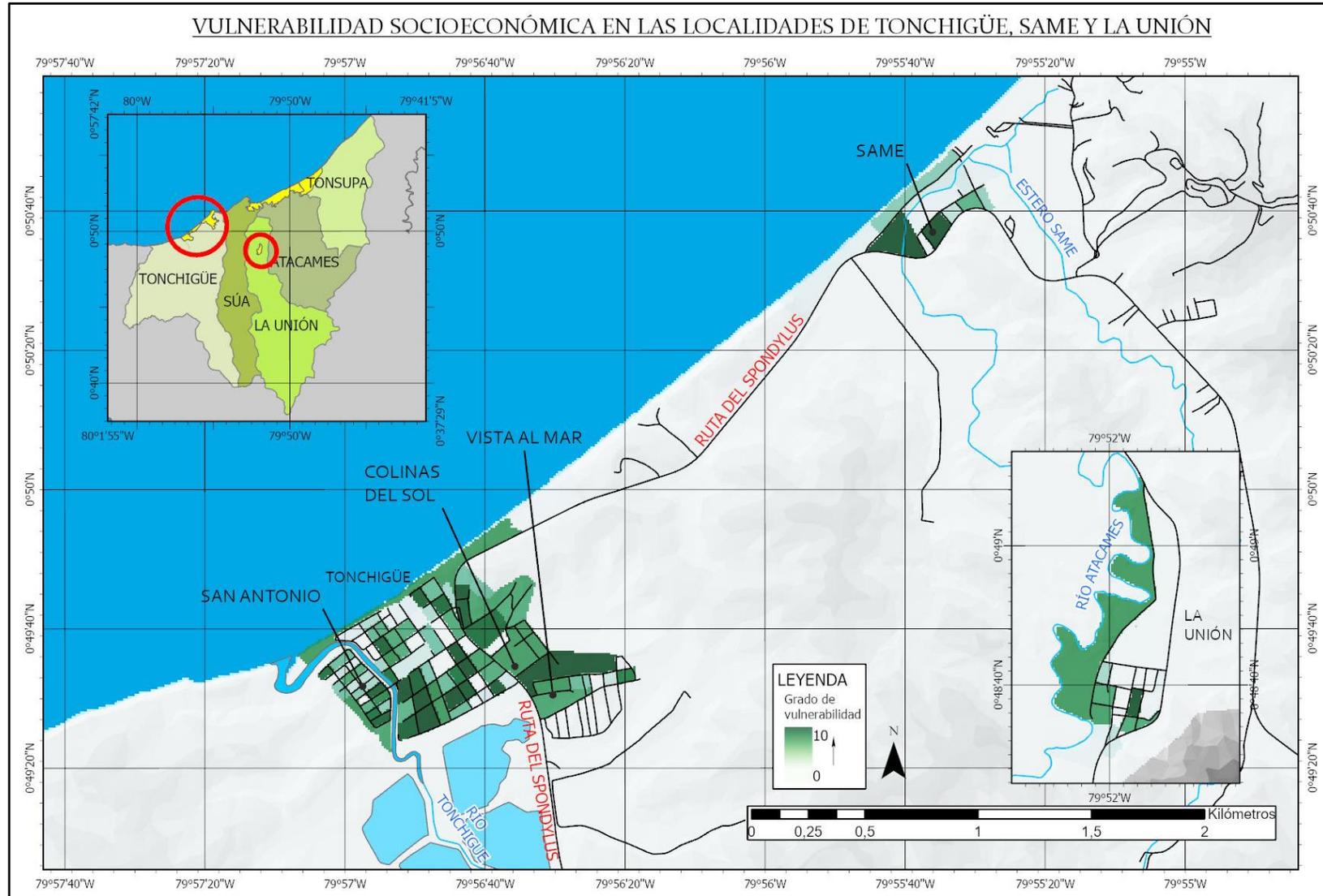


Fig. 89. Vulnerabilidad socioeconómica en las localidades de Tonchigüe, Same y La Unión. Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2010).

3.5 Accesibilidad Geográfica como variable fundamental en el análisis de la vulnerabilidad física

La accesibilidad geográfica es un concepto fundamental en geografía aplicada. Los estudios de ocurrencia de desastres y la predicción de escenarios llevan a estudios de accesibilidad. De las muchas definiciones de accesibilidad en la presente investigación se trabajó con las de Ferreira & Da Graça (2013) quienes indican que la accesibilidad geográfica es una distancia que permite comprender la proximidad, la separación y/o la discontinuidad entre dos o más elementos en el espacio. En la planificación territorial y gestión pública la accesibilidad cobra relevancia, implica la posibilidad de una población de acceder a un lugar minimizando los problemas. Si se habla de desastres el tiempo disponible para evacuar es uno de los principales factores a tener en cuenta.

3.5.1 Áreas de servicio de puntos de encuentro seguros

En las figuras 90 y 91 se presentan las áreas de servicio de 89 nodos que se digitalizaron a lo largo de las arterias viales y fuera de la zona inundada, que corresponden a los puntos de encuentro seguro en el área de estudio. En la figura 90 se aprecia que la región más lejana a los puntos de encuentro seguro es la parroquia de Atacames, con una distancia de viaje superior a 2150 m, esto se debe a la existencia de barreras físicas como el río Atacames y de granjas acuáticas situadas al Sur de la zona consolidada que dificultan el acceso hacia los puntos de encuentro seguro.

En la parroquia de Tonsupa la distancia máxima de viaje es de 1746 metros, donde a pesar de su mayor extensión, las distancias de viaje son menores en comparación de la parroquia de Atacames, esto es ocasionado por el tramado homogéneo de las vías existentes y los escasos obstáculos en la zona (Fig. 90). Además, en la parroquia de Súa la distancia de viaje máxima es de 860 metros debido al tamaño relativamente pequeño de su zona consolidada y la presencia de suficientes vías que conducen hacia los puntos seguros. Por otro lado, en la parroquia Tonchigüe pese a su menor tamaño, la distancia máxima de viaje supera los 1392 m, esto se debe, al escaso desarrollo vial de la localidad de Same. Cabe resaltar que, según el análisis de la amenaza, la cabecera parroquial de La Unión no se vería afectada por la inundación (Fig. 91).

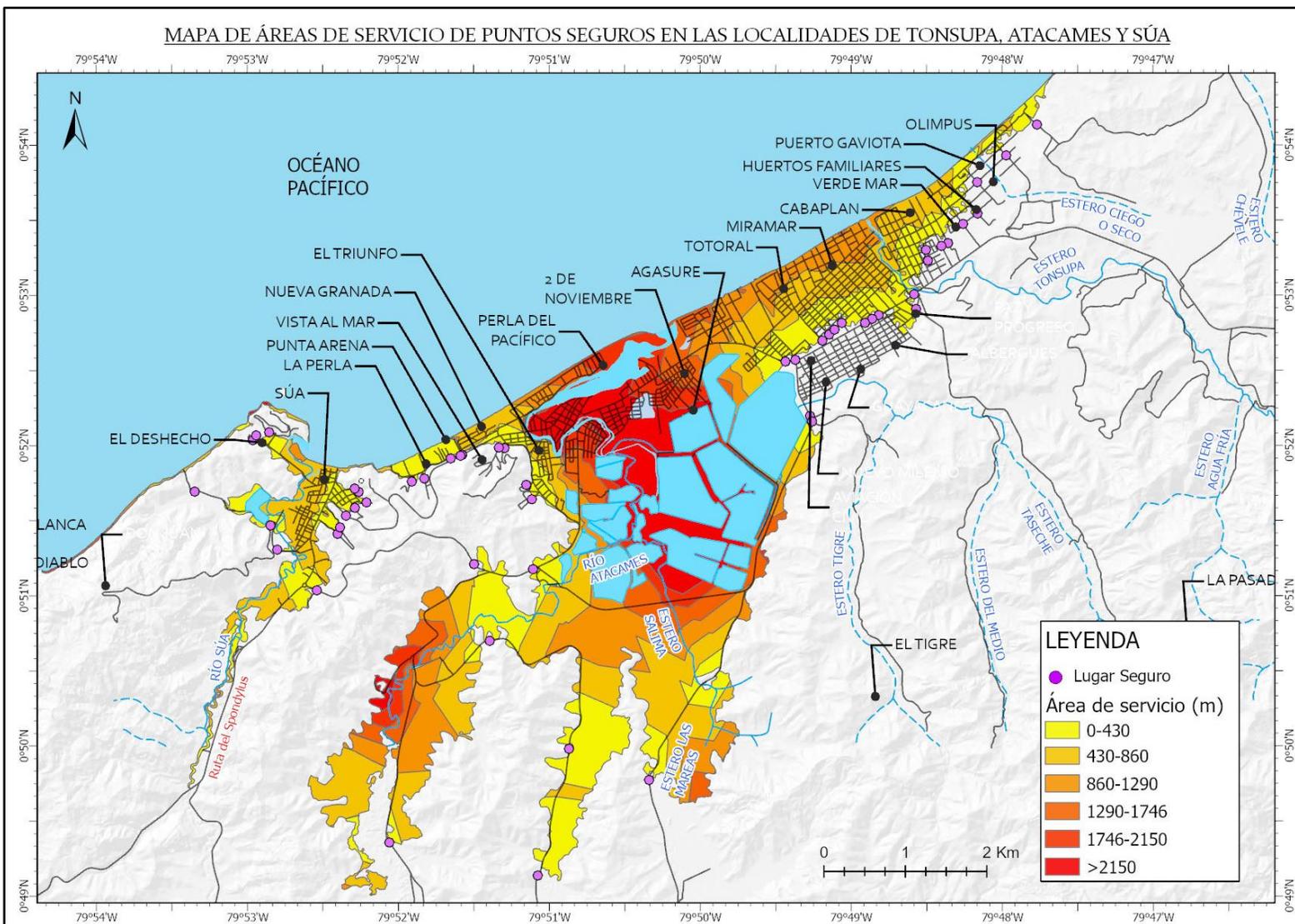


Fig. 90. Áreas de servicio de los puntos de encuentro seguros en las localidades de Tonsupa, Atacames y Súa. Fuente: Elaboración propia.

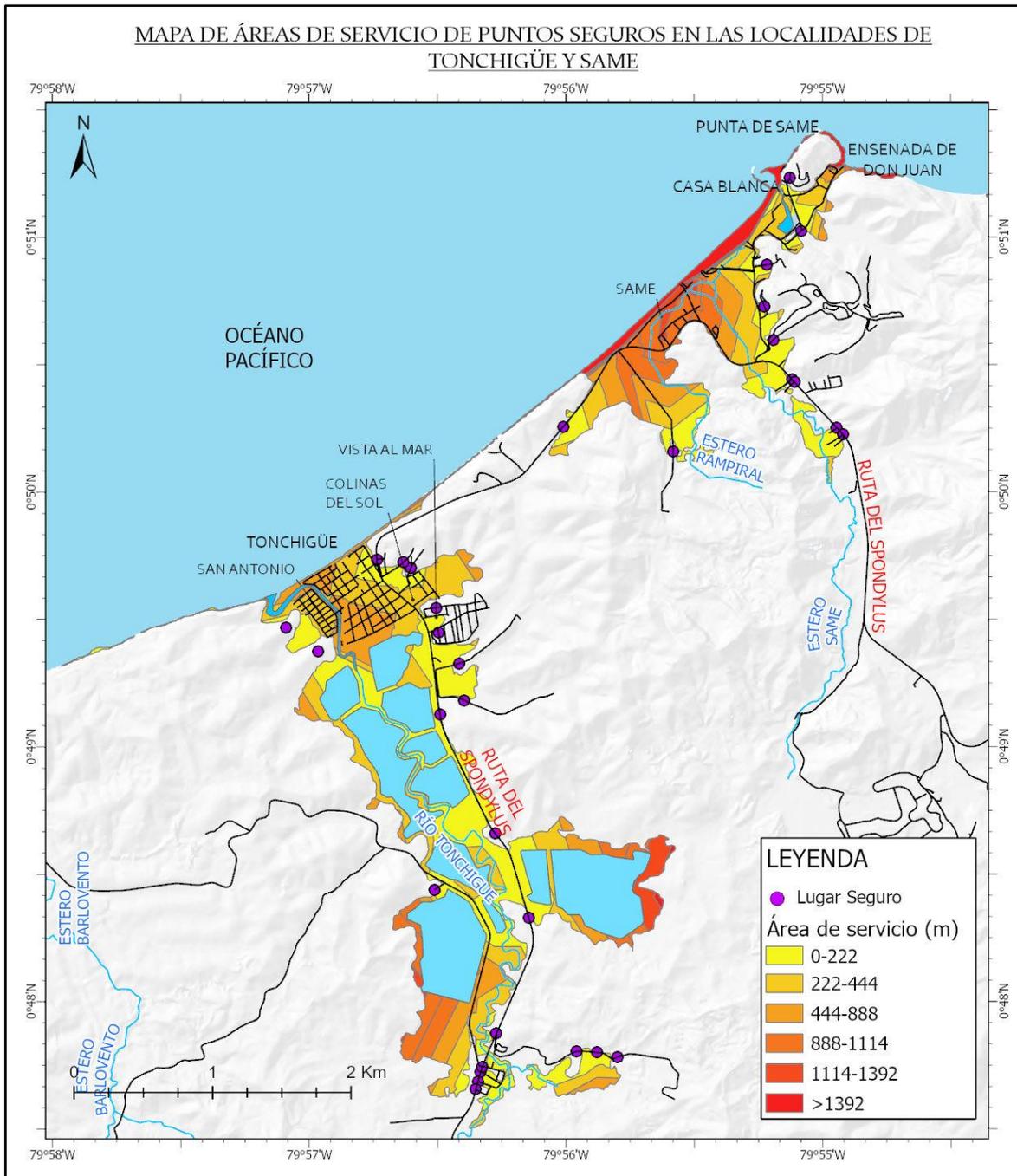


Fig. 91. Áreas de servicio de puntos de encuentro seguros en las localidades de Tonchigüe y Same. Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Estandarización y ponderación

En la tabla 24 se presentan los resultados del cálculo de la distancia mínima de evacuación a un punto de encuentro seguro, a partir de la fórmula:

$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$$

Donde se consideraron como inputs la velocidad de evacuación a pie de 1m/seg y los tiempos de arribo de la primera ola de tsunami que varía según la localización geográfica de las zonas consolidas: para el caso de Tonsupa, Atacames y Súa de 34,1 min y para el caso de Tonchigüe de 23,58 min; también se estimó un tiempo de reacción de 5 minutos, que corresponde al tiempo de preparación de las personas para iniciar la evacuación. Como resultado se calculó una distancia evacuación mínima de 1746 m para las localidades de Tonsupa, Atacames y Súa y de 1114,8 m para el caso de Tonchigüe (Tabla 24).

CÁLCULO DE LA DISTANCIA MÍNIMA DE EVACUACIÓN A UN PUNTO DE ENCUENTRO SEGURO	
TONSUPA, ATACAMES Y SÚA	TONCHIGÜE
Datos: Tiempo de arribo del tsunami (t_1) = 34,1 min Tiempo de reacción (t_2) = 5 min Velocidad de evacuación = $\frac{1 \text{ m}}{\text{seg}} = \frac{60 \text{ m}}{\text{min}}$	Datos: Tiempo de arribo del tsunami (t_1) = 23,58 min Tiempo de reacción (t_2) = 5 min Velocidad de evacuación = $\frac{1 \text{ m}}{\text{seg}} = \frac{60 \text{ m}}{\text{min}}$
$d = V \times t$ $t = t_1 - t_2$	$d = V \times t$ $t = t_1 - t_2$
$d = \frac{60 \text{ m}}{\text{min}} \times (34,1 \text{ min} - 5 \text{ min})$	$d = \frac{60 \text{ m}}{\text{min}} \times (23,58 \text{ min} - 5 \text{ min})$
$d = 1746 \text{ m}$	$d = 1114,8 \text{ m}$

Tabla 24. Cálculo de la distancia mínima de evacuación a un punto de encuentro seguro en el cantón Atacames.

El empleo de la función matemática lineal difusa permitió reclasificar las áreas de servicio en una escala de 0 a 10, de manera que las zonas más frágiles serán aquellas que sobrepasan la distancia mínima de evacuación (1746 m para el caso de Tonsupa, Atacames y Súa; 1114,8 m para el caso de Tonchigüe). Las zonas que dispongan de fragilidad media serán aquellas zonas que dispongan de valores alrededor de la distancia media de evacuación (873 m para el caso de Tonsupa, Atacames y Súa; 557,4 m para el caso de Tonchigüe); mientras que la dispersión de valores de vulnerabilidad varía entre 0 m hasta la distancia mínima de evacuación (Figs. 92 y 93).

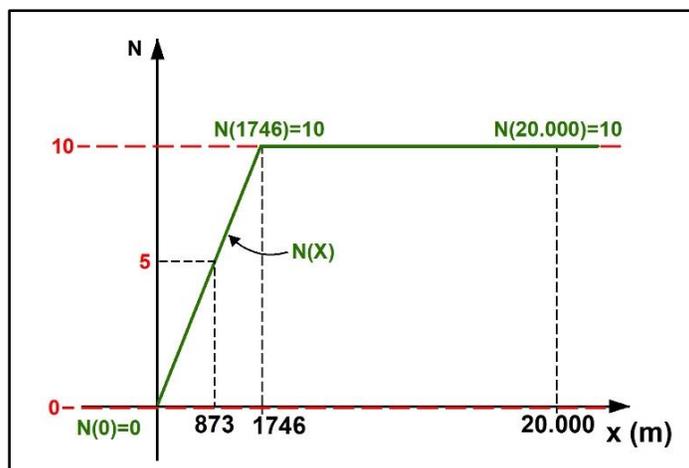


Fig. 92. Aplicación de una función matemática lineal difusa para ponderar las áreas de servicio de puntos de encuentro seguros en las parroquias de Tonsupa, Atacames y Súa Fuente: Elaboración propia.

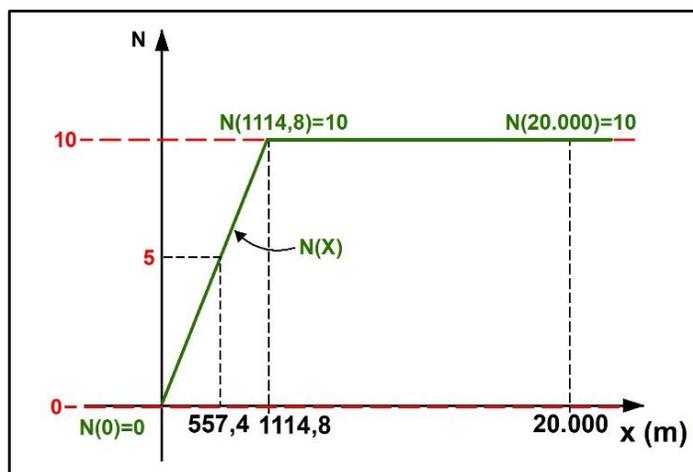


Fig. 93. Aplicación de una función matemática lineal difusa para para ponderar las áreas de servicio de puntos de encuentro seguros en la parroquia Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la vulnerabilidad física se presenta en las figuras 95 y 96. Se visualiza que la movilidad transversal de la población se ve afectada por la presencia de barreras físicas que restringen el número de accesos, por lo tanto, contribuyen a la vulnerabilidad física del área de estudio, tales barreras son obstáculos hidrográficos, topográficos y antrópicos que se describen a continuación. El tejido urbano en las parroquias de Tonsupa, Atacames y Súa, tiene un estiramiento longitudinal de 9,76 km por 1,5 km de ancho, los principales obstáculos son: al Este, en la parroquia Tonsupa, la presencia del estero El Sereno que divide los barrios de Cabaplan y Miramar; seguidamente el río Atacames que afecta la continuidad del tejido urbano de esta localidad y la presencia de granjas acuáticas situadas al sur de la parroquia Atacames que limitan la accesibilidad por esta zona (Fig. 94).

Al Oeste, la presencia de dos conjuntos montañosos de 100 metros de altitud que dividen las parroquias de Súa y Atacames se constituyen una barrera, además la presencia del río Súa que bordea la zona consolidada de este sector (Fig. 95)



Fig. 94. Granjas acuáticas situadas al Sur de la zona consolidada de Atacames. Fuente Elaboración propia.

En la parroquia de Tonchigüe existen dos tejidos urbanos: la localidad de Same de 1,9 km de longitud por 1,2 km de ancho y la localidad de Tonchigüe de 920 m de longitud por 970 m de ancho, las barreras físicas que limitan la movilidad en este sector son: al Este, el estero de Same que afecta la continuidad de la zona poblada y la presencia de conjuntos montañosos en la Punta de Same y Casabanca de 90 metros de altitud que restringen el número de accesos y se constituyen una barrera. Al Oeste, la presencia del Río Tonchigüe que divide la zona consolidada de esta localidad, asimismo la presencia de granjas acuáticas localizadas al Sureste de Tonchigüe que restringen el acceso por esta zona (Fig. 96).

Con este antecedente se aprecia que la zona con mayor vulnerabilidad por accesibilidad es la localidad de Atacames debido a la distancia que deben recorrer sus pobladores para alcanzar un punto de encuentro seguro, debido a la presencia del Río Atacames y granjas acuáticas que obstaculiza la continuidad de la red vial existente. Seguidamente se aprecia un alto grado de vulnerabilidad en la parroquia de Tonsupa en las zonas de Miramar y Totoral debido a la presencia del estero el Sereno que afecta la movilidad transversal en esta zona. En la localidad de Same se aprecia un alto grado de vulnerabilidad por la presencia del estero de Same, que contribuye a alargar la distancia de evacuación hacia un punto de encuentro seguro. Por el contrario, en las localidades de Súa y Tonchigüe tienen un grado de vulnerabilidad bajo debido al pequeño tamaño del área poblada y la cercanía a puntos de encuentro seguro que están ubicadas en zonas más elevadas (Figs. 95 y 96).

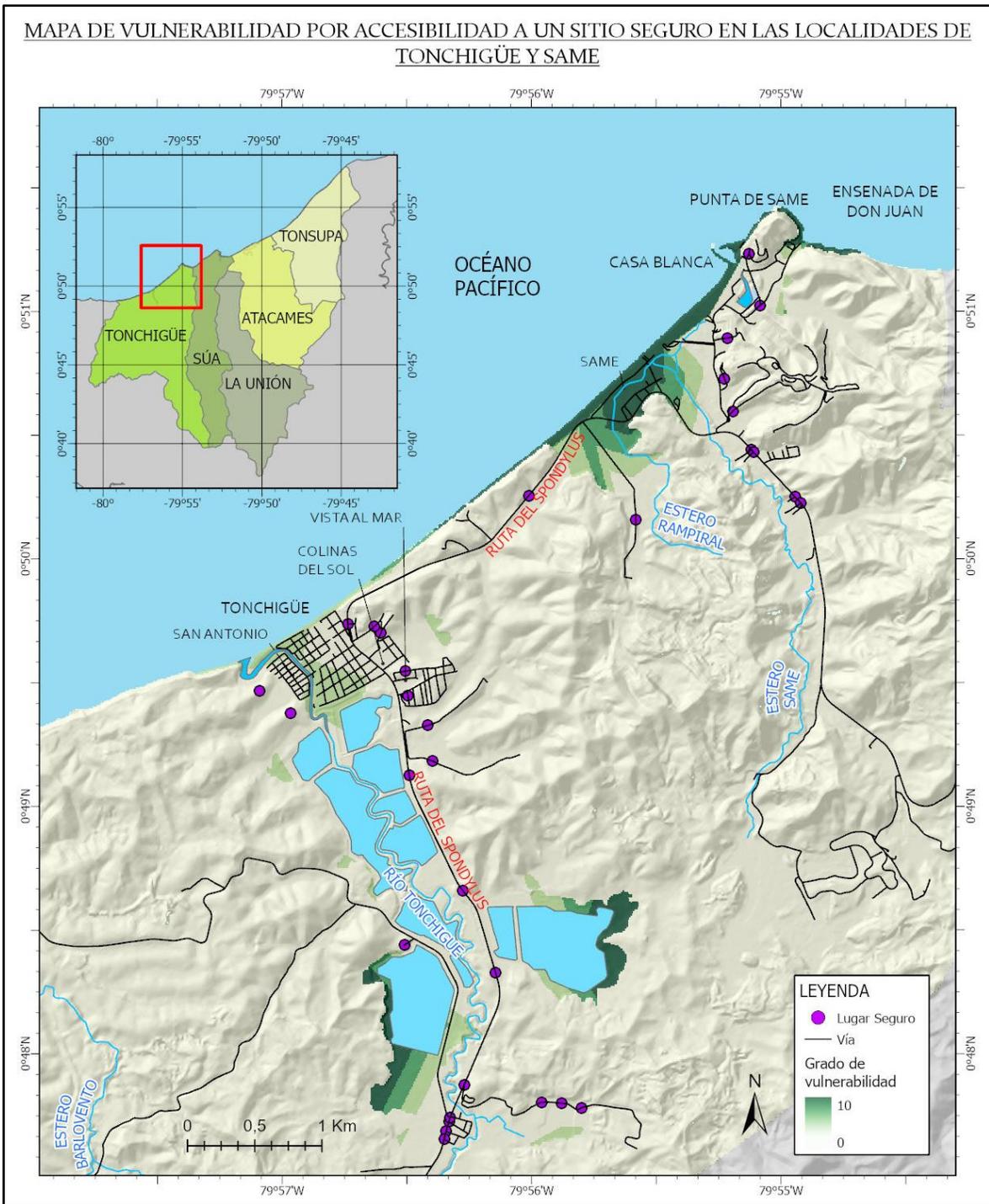


Fig. 96. Vulnerabilidad por accesibilidad a un sitio seguro en las localidades de Tonchigüe y Same. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Vulnerabilidad global

Para la zonificación de la vulnerabilidad global, se modeló espacialmente la vulnerabilidad socioeconómica y física en la zona de estudio (Figs. 98 y 99). Como resultado del estudio de vulnerabilidad global se aprecia que en las zonas consolidadas del cantón Atacames, 229 manzanas con un área de 1,31 km² tienen un grado de vulnerabilidad global alta y muy alta (16% del área consolidada total), donde la parroquia de Atacames se constituye la zona con mayor vulnerabilidad global con 167 manzanas localizadas en los barrios de Perla de Pacífico, 2 de Noviembre y el Triunfo debido a la repartición de la población frágil en esta zona y la falta de accesibilidad hacia puntos de encuentro seguros, principalmente, por la presencia del río Atacames. Le siguen la parroquia Tonchigüe con 22 manzanas localizadas en las localidades de Same y Tonchigüe, la parroquia de Súa con 19 manzanas localizadas en el margen del río Súa y la parroquia de Tonsupa con 14 manzanas localizadas en el barrio Miramar (Figs. 98 y 99).

Se aprecia una distribución homogénea de vulnerabilidad global media, baja y muy baja en el espacio consolidado de la zona de estudio; 312 manzanas con un área de 2,83 km² tienen un grado de vulnerabilidad media (34% del área consolidada total), 374 manzanas con un área de 3,72 km² tienen un grado de vulnerabilidad baja y muy baja (44% del área consolidada total), además 21 manzanas con un área de 0,48 km² no son vulnerables (6% del área consolidada total) (Tabla 25; Fig. 97). En las otras zonas que no contienen el tejido urbano, se aprecia una vulnerabilidad global muy baja, baja y media, debido a la falta de accesibilidad hacia puntos de encuentro seguro, debido principalmente a la presencia de barreras físicas como granjas acuáticas localizadas al Sureste de la parroquia de Atacames, además, el cauce de los ríos Atacames, Súa y Tonchigüe (Figs. 97,98 y 99).

VULNERABILIDAD GLOBAL	N° MANZANAS (Unidades)	ÁREA (Km ²)
Muy alta	62	0,31
Alta	167	1
Media	312	2,83
Baja	224	2,12
Muy baja	150	1,6
Ninguna	21	0,48
TOTAL	936	8,34

Tabla 25. Vulnerabilidad global a nivel de manzana, en las zonas consolidadas de Atacames. Fuente: Elaboración propia.

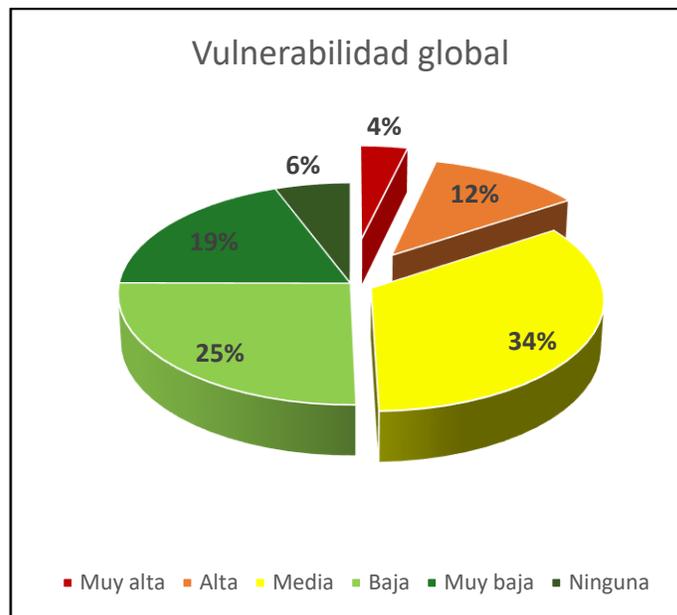


Fig. 97. Vulnerabilidad global a nivel de manzana, en las zonas consolidadas de Atacames. Fuente: Elaboración propia.

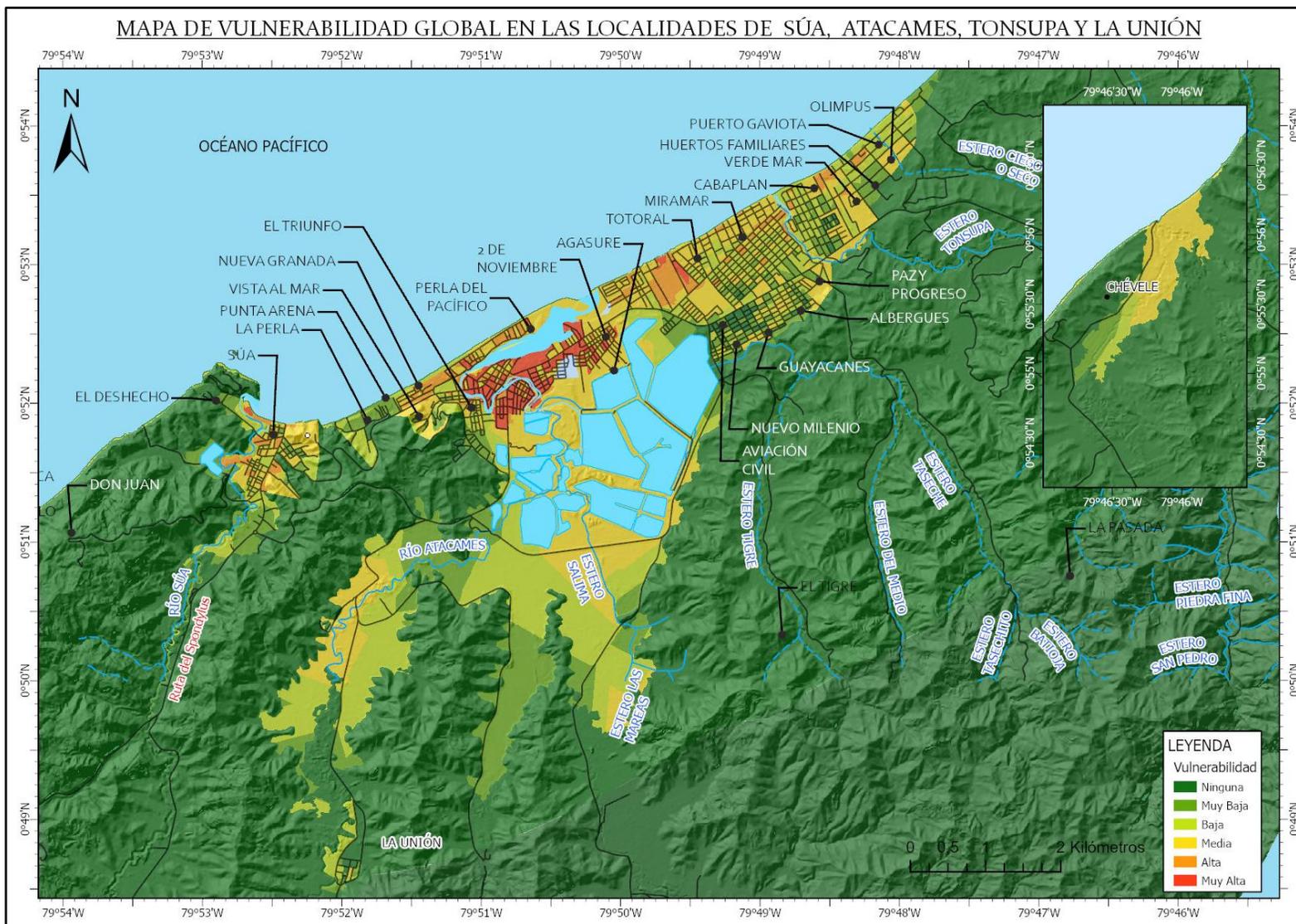


Fig. 98. Vulnerabilidad global en las localidades de Súa, Atacames, Tonsupa y La Unión. Fuente: Elaboración propia.

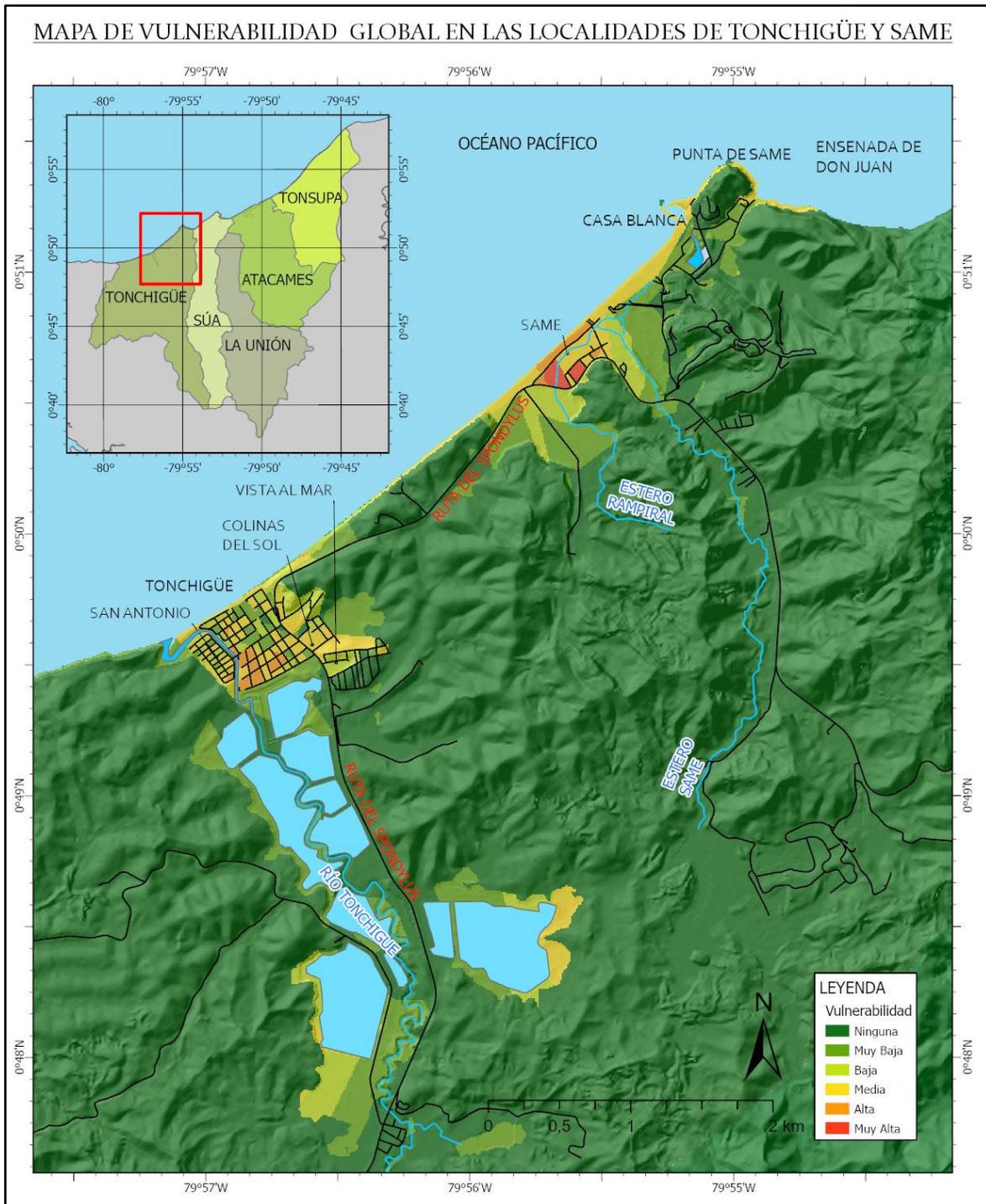


Fig. 99. Mapa de vulnerabilidad global en las localidades de Tonchigüe y Same. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE

1 Introducción

Según Lagos (2012), mientras el estudio de la amenaza y vulnerabilidad surgen de las preguntas: ¿Dónde un tsunami será más peligroso? y ¿Dónde se es más vulnerable?, respectivamente. El estudio del riesgo conlleva la solución a la pregunta ¿Dónde existe mayor riesgo de desastre? Por lo tanto, el riesgo es la concreción final del estudio de estas dos variables y el resultado final de la fase de predicción, como insumo principal que requieren las instituciones gestoras del riesgo para adoptar medidas estructurales y no estructurales, con un enfoque integral con medidas proactivas y reactivas para enfrentar la ocurrencia de un evento tsunamigénico.

La construcción de un escenario de riesgo a través de un modelo geográfico es predecir el impacto de un fenómeno tsunamigénico en las localidades de la zona de estudio. Por lo tanto, en este capítulo se realiza la integración de la zonificación de la amenaza y vulnerabilidad desarrollada en los capítulos III y IV, donde se obtuvieron modelos geográficos ponderados en una escala de 0 a 10. Ambas variables se combinan a través de un proceso de algebra de mapas para la obtención del mapa de riesgo de las parroquias del cantón Atacames donde se estima la probabilidad del impacto de este evento.

2 Materiales y métodos

Para realizar la zonificación del riesgo de desastre se utilizaron los modelos geográficos de amenaza y vulnerabilidad, que previamente se estandarizaron en una cobertura raster de resolución espacial de 10 metros. Asimismo, ambas variables fueron ponderadas con funciones matemáticas en una escala de 0-10 para distinguir su variabilidad, siendo el valor de 10 el máximo grado de amenaza y vulnerabilidad. La integración de las variables se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$Riesgo = (Amenaza \times 0,5) + (Vulnerabilidad \text{ Global} \times 0,5)$$

El resultado de la integración es un modelo de riesgo de desastre en una escala de 0-10, finalmente se reclasificaron los valores obtenidos de la siguiente forma: ningún riesgo [0], riesgo muy bajo (0-2), riesgo bajo (2-4), riesgo medio (4-6), alto riesgo (6-8), muy alto riesgo (8-10). La metodología general utilizada para la obtención del riesgo se visualiza en la Fig. 100.

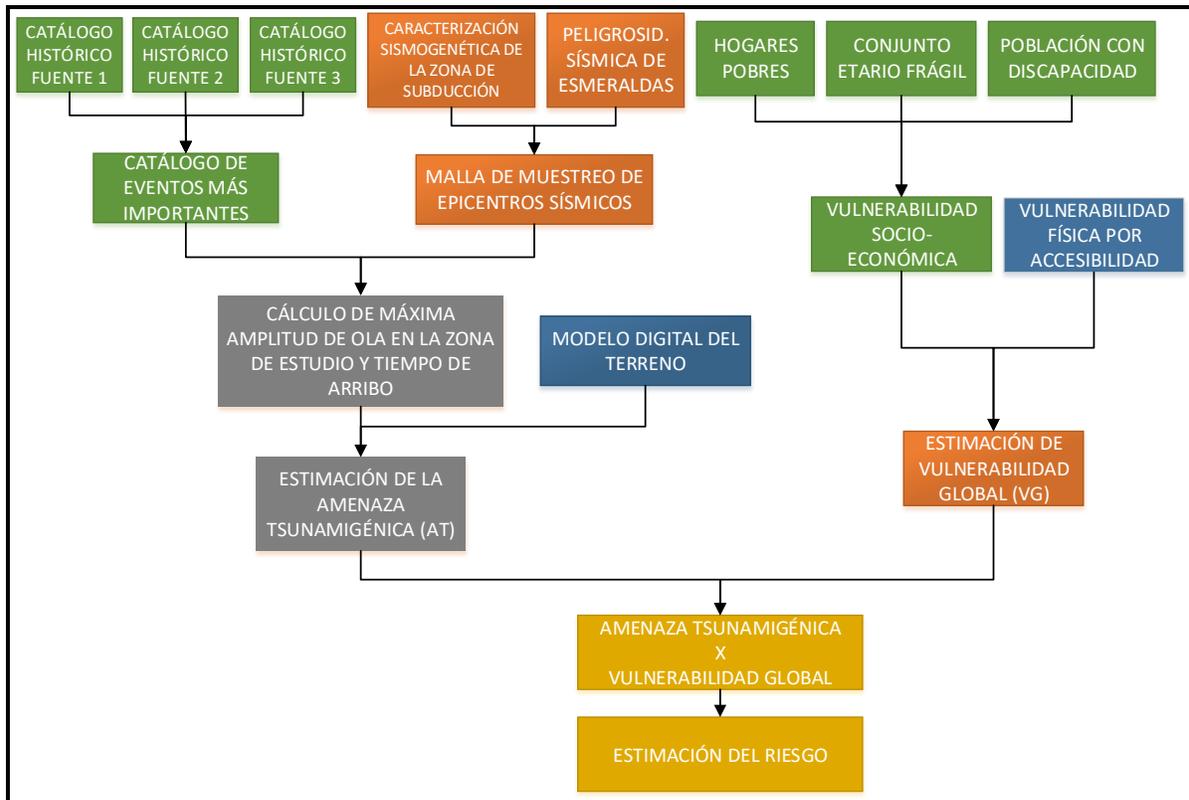


Fig. 100. Metodología general para zonificar el riesgo de desastre por tsunamis. Fuente: Elaboración propia.

3 Resultados

3.1 Integración de las variables de amenaza y vulnerabilidad

La estimación del riesgo de desastre a partir de la integración de las variables de amenaza y vulnerabilidad global se presentan en las figuras 102 y 103. Como resultado final del análisis del riesgo, se aprecia que un área de 19,57 km² de la zona inundada presenta un grado de riesgo de desastre alto y muy alto (65,4% del total). Dentro de este espacio se ubican las zonas consolidadas del cantón Atacames, donde 598 manzanas urbanas presentan un grado de riesgo alto y muy alto. Aquí habitan alrededor de 21244 personas (51,15% del total

de habitantes de Atacames) acentuando la vulnerabilidad global de la población expuesta. Hacia el interior de la zona de estudio se aprecia un riesgo diferenciado que alcanza niveles de riesgo medio y alto, la variabilidad se debe mayormente a la distancia por recorrer para alcanzar un sitio seguro desde distintos puntos de la zona afectada (Fig. 102).

De manera particular, en la parroquia de Tonsupa se aprecia que las zonas pobladas localizadas desde la vía del Pacífico hacia la línea de costa. En los sectores de Cabaplan, Miramar y Totoral, tienen un nivel de riesgo alto y muy alto, no obstante, hacia el interior en los sectores Paz y Progreso, Albergues, Guayacanes y Nuevo Milenio el nivel de riesgo es bajo y muy bajo debido a su localización en zonas de mayor altitud, donde el grado de peligrosidad tsunamigénica es menor. En la parroquia de Atacames, en general, en toda la zona poblada se presenta un riesgo muy alto debido a la falta de accesibilidad, la fragilidad de la población y un nivel de peligrosidad alto de la amenaza, asimismo en el interior donde se encuentran localizadas granjas acuáticas, el nivel de riesgo es alto, derivado de la falta de accesibilidad para alcanzar un punto de encuentro seguro (Fig. 102).

En la cabecera parroquial de Súa se aprecia un nivel de riesgo alto y muy alto debido principalmente a su localización junto a la línea de costa y su emplazamiento en un terreno relativamente plano combinado con la fragilidad de la población. No obstante, en la zona poblada de la parroquia La Unión se aprecia un nivel de riesgo muy bajo por la baja incidencia de la amenaza en esta zona (Fig. 102)

En la parroquia de Tonchigüe existe un riesgo diferenciado entre las localidades de Tonchigüe y Same con la localidad de Casablanca. En la localidad de Casablanca se aprecia un nivel de riesgo medio y bajo debido a su desarrollo económico alto y su localización en zonas de altura como en la punta de Same. En cambio, en las localidades de Tonchigüe y Same se aprecia un nivel de riesgo alto y muy alto debido a su localización junto a la costa en un terreno relativamente plano combinado con un alto grado de vulnerabilidad global (Fig. 103).

Es importante señalar que los emplazamientos de las playas de Tonsupa, Atacames, Súa, Same y Tonchigüe, lugar donde se desarrolla mayormente la actividad turística de la zona de estudio, presentan un nivel de riesgo alto y muy alto debido al alto grado de

peligrosidad de la amenaza, junto con la distancia por recorrer para alcanzar un punto de encuentro seguro.

Si se considera que la población flotante en Atacames es de 12000 personas que se alojan en complejos turísticos junto a la línea de costa, es necesario disponer de estrategias que permitan la evacuación oportuna de estas personas que incluyan una señalética visible y el trazado de las rutas de evacuación hacia puntos de encuentro seguro, junto con medidas que permitan educar de manera adecuada a los pobladores de los peligros asociados a la ocurrencia de este evento.

Actualmente en las zonas turísticas y no turísticas se aprecia que, en escasos lugares ubicados en zonas altas de colina, existe una demarcación de zonas de seguridad (Fig. 101), sin embargo, de manera general prevalece la inexistencia de señalética en lugares visibles, así como el trazado de las rutas de evacuación. Se presume que se debe a la carencia de estudios predictivos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Además, de la falta de estudios técnicos para determinar puntos de encuentro seguros y rutas óptimas.



Fig. 101. Señalética de zonas de seguridad en las afueras de la zona consolidada de Atacames. Fuente: Elaboración propia.

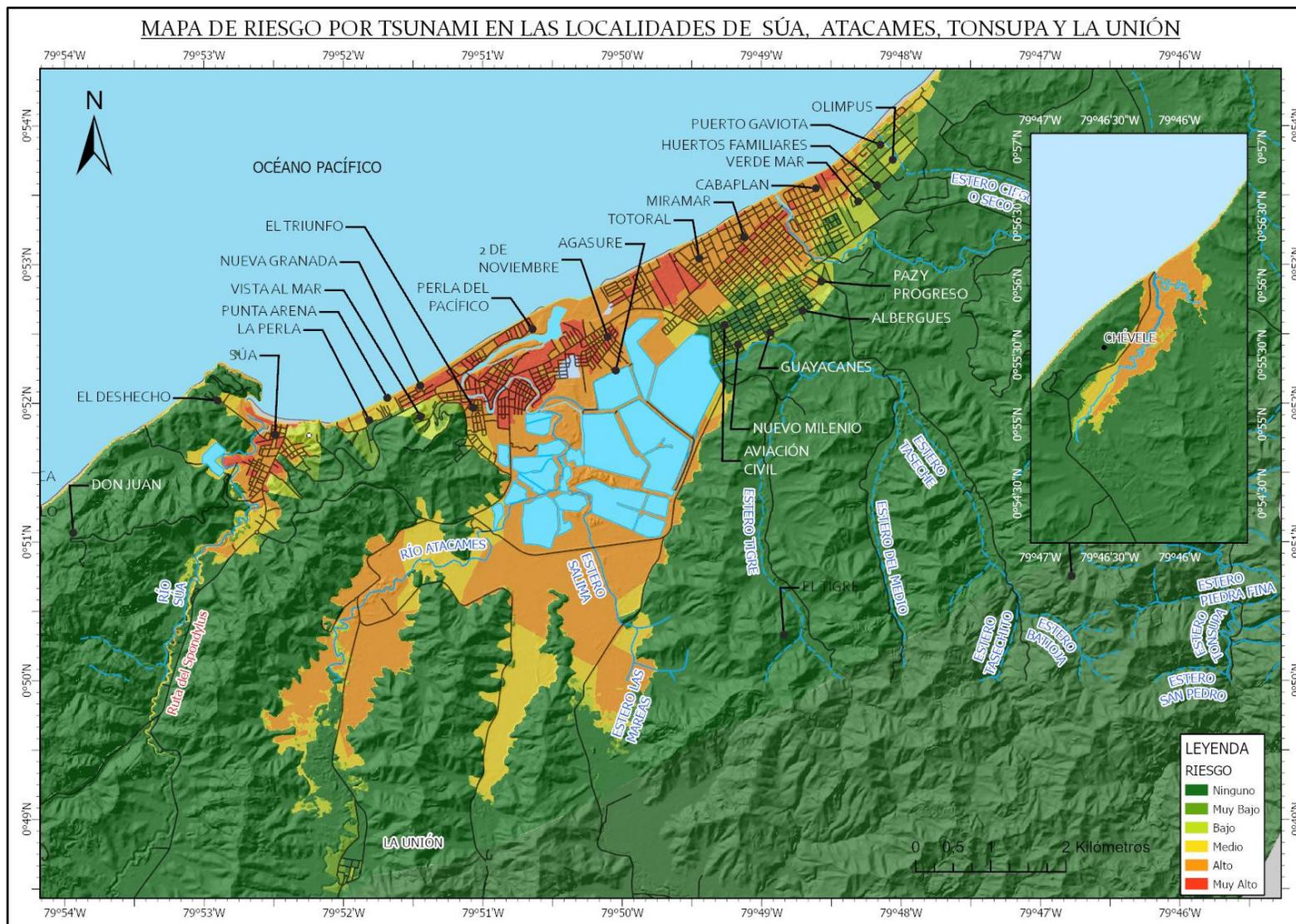


Fig. 102. Mapa de riesgo en las localidades de Súa, Atacames, Tonsupa y La Unión. Fuente: Elaboración propia.

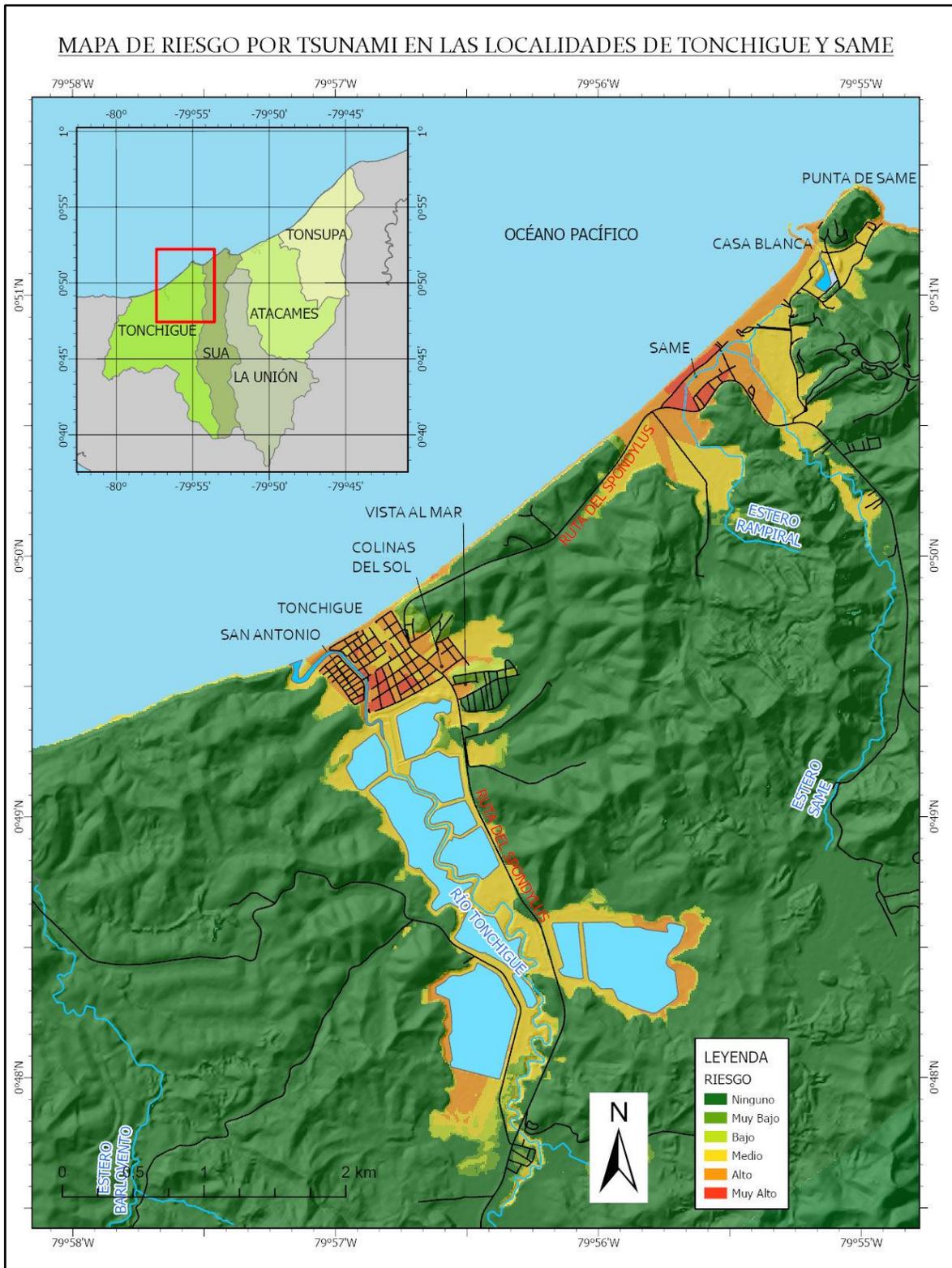


Fig. 103. Mapa de riesgo en las localidades de Súa, Atacames, Tonsupa y La Unión. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

PROPUESTAS DE RUTAS DE EVACUACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE RUTAS ÓPTIMAS

1 Introducción

Según León et al. (2019) en los países en vías de desarrollo expuestos a la amenaza de tsunami, medidas como la reubicación de poblaciones o grandes defensas marítimas, no serían factibles debido a la falta de recursos económicos y técnicos. Además que en países expuestos a tsunamis de campo cercano o local, donde los tiempos de llegada de la primera ola son mínimos, una respuesta rápida como la evacuación sigue siendo el método más efectivo para salvar vidas humanas.

El objetivo de este capítulo es desarrollar el análisis de rutas óptimas hacia puntos de encuentro seguros a lo largo de la red vial del cantón Atacames, a la vez desarrollar un aplicativo WEB para dispositivos móviles y computadoras, con la información de la zona inundada y puntos de encuentro seguros que sirva como herramienta para la realización de simulacros y evacuación de la población durante la ocurrencia de tsunami.

En este contexto, este capítulo inicia con la metodología del análisis de redes para determinar rutas óptimas, desde diferentes nodos localizados en la red vial del cantón Atacames hasta puntos de encuentro seguros empleando la información de zonas inundadas. Seguidamente se muestra la metodología para desarrollar un aplicativo WEB a través de la plataforma de ArcGis Online con un interfaz sencillo que le permita al usuario interactuar con un servicio de mapas y conocer hacia donde debe evacuar durante el evento. Finalmente se presentan los resultados a través de mapas de rutas de evacuación, así como también, la interfaz del aplicativo WEB.

2 Materiales y Métodos

2.1 Análisis de rutas óptimas de evacuación

Una red es un sistema interconectado con nodos y líneas que representa la ruta a seguir desde distintas localizaciones. Generalmente, las personas y sus recursos circulan a través de redes tales como carreteras, vías férreas, rutas fluviales, entre otras. El análisis de redes permite encontrar la mejor ruta para navegar desde una ubicación a otra a lo largo de una red estructurada encontrando la ruta más corta entre dos puntos, este análisis conlleva establecer el rendimiento de la red, también conocida como impedancia. El rendimiento (impedancia) de una red puede estar en unidades de tiempo o distancia, conforme la información que dispone el usuario y la necesidad del análisis, de manera que la ruta óptima resulta del cálculo de uno o ambos parámetros de impedancia (ESRI, 2020).

Una de las alternativas del análisis de redes es encontrar la instalación más cercana a partir de uno o varios incidentes (análisis de la instalación más cercana). En la Fig. 104 se aprecia la utilidad de esta herramienta para buscar hospitales a menos de 15 min desde la ubicación de un accidente donde, además, se obtienen las rutas óptimas para llegar a los mismos. Así pues, para el análisis de la instalación más cercana, la localización del accidente se bautiza como “incidente”, mientras que, la localización de los hospitales se conoce como “instalaciones”. Bajo este mismo principio se puede aplicar la herramienta para encontrar la ruta óptima, desde distintos nodos localizados en la zona afectada por el tsunami, hacia puntos de encuentro seguros (ESRI, 2020).

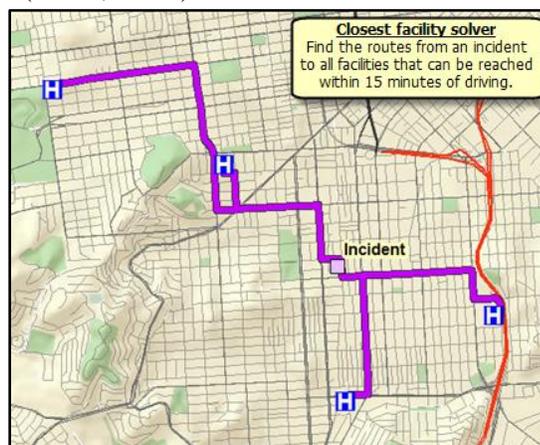


Fig. 104. Análisis de instalación más cercana para buscar hospitales a menos de 15 min desde la ubicación de un accidente. Fuente: ESRI (2020).

Para el caso del presente análisis se digitalizaron “incidentes” en todas las esquinas de la red vial afectada por la inundación y de la misma forma se digitalizaron “instalaciones” afuera de la zona inundada para materializar los puntos de encuentro seguros, además se identificaron como restricciones, a los puentes sobre el río Atacames y río Tonchigüe, considerando su mayor exposición a la amenaza, finalmente se definió la impedancia en términos de distancia, para encontrar la ruta más corta. La metodología para el análisis de rutas de evacuación se muestra en las figuras 105 y 106.

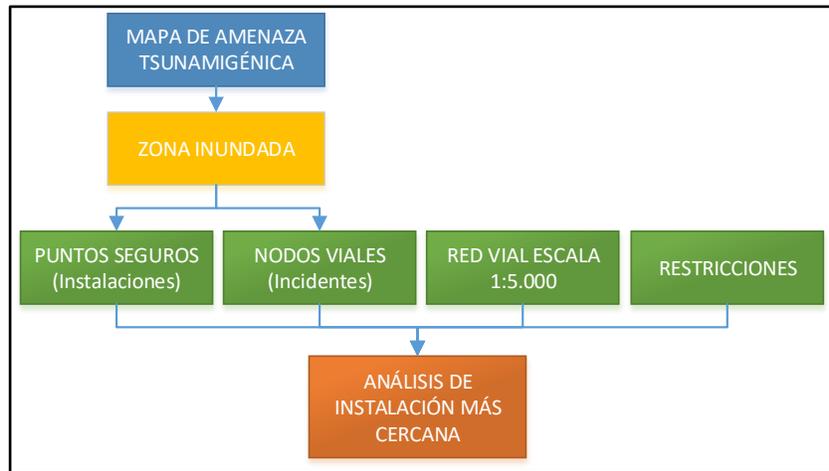


Fig. 105. Metodología para el análisis de instalación más cercana para la obtención de rutas de evacuación hacia puntos de encuentro seguros. Fuente: Elaboración propia.

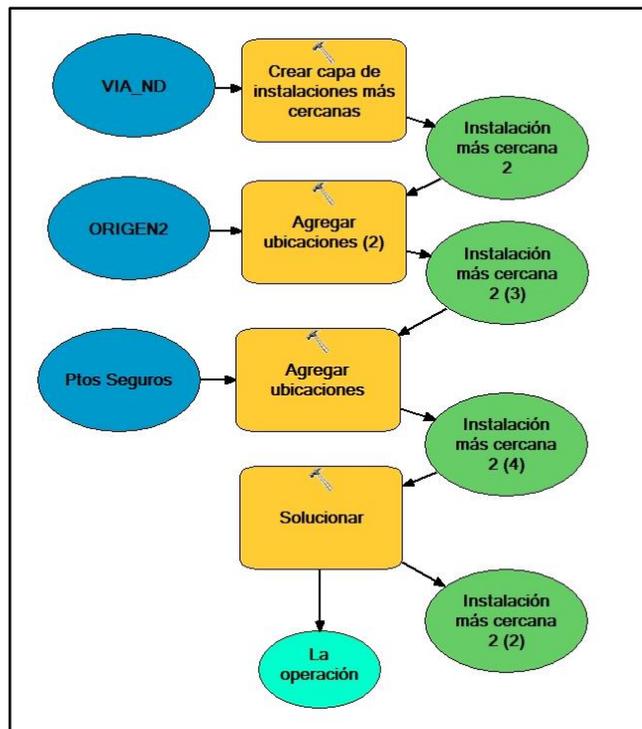


Fig. 106. Metodología para la obtención de instalación más cercana en el software ArcMap 10.7.1, a través de la aplicación ModelBuilder. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Señalética para alerta y evacuación de la población en zonas afectadas por tsunami

La Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) es una organización intergubernamental con personería jurídica de derecho internacional creada en 1966 que se encarga de coordinar las políticas marítimas de Colombia, Ecuador, Perú y Chile (CPPS, 2020). Precisamente la CPPS mediante Circular CPPS/SG/054/2010 informó a los países miembros la señalética para alerta y evacuación por tsunami aprobada en el año 2008 por la International Organization for Standardization (ISO) y recomienda sea adoptada por las Instituciones y Organizaciones responsables a Nivel Nacional (CPPS, 2010).

En Ecuador esta señalética fue adoptada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) mediante el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-1:201, Capítulo IX “Señalización de Riesgo” con el propósito de “informar y orientar a la población a través de señalización con amenazas por fenómenos de origen natural o socio natural sobre las zonas de amenazas, zonas de prohibido el paso, zonas de seguridad, albergues y refugios, así como las rutas para salir de la zona expuesta a amenazas y llegar a zonas de seguridad” (INEN, 2010) (Tabla 26).

Descripción	Señalética
Zona de seguridad en altura	 
Zona de seguridad en edificio	 
Albergues	 

Refugio temporal	 REFUGIO TEMPORAL
Punto de encuentro	 PUNTO DE ENCUENTRO
Ruta de evacuación a la derecha: Tsunami zona de altura	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m
Ruta de evacuación a la izquierda: Tsunami zona de altura	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m
Ruta de evacuación continuar derecho: Tsunami zona de altura	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m
Ruta de evacuación a la derecha: Tsunami edificio	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m
Ruta de evacuación a la izquierda: Tsunami edificio	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m
Ruta de evacuación continuar derecho: Tsunami edificio	 EVACUACION A NOMBRE DEL LUGAR 200 m

Tabla 26. Señalética para alerta y evacuación por tsunami en la República del Ecuador. Fuente: INEN 2010.

2.3 *Desarrollo de una aplicación WEB*

El aplicativo WEB de rutas de evacuación se realizó en la plataforma de ArcGis Online, que se trata de un “Software como Servicio” (SaaS) desarrollado por la empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI). Según Cho y Chan (2015), SaaS es una aplicación de software implementada, administrada y alojada remotamente y puesta a disposición a través de servicios de internet, señalan que SaaS resulta ser más económico para el cliente, ya que se utiliza un modelo de pago bajo suscripción o alquiler, de manera que los costos de implementación, administración y mantenimiento se comparten entre múltiples usuarios que utilizan la plataforma. Asimismo, Oliveira et al. (2019) señalan que, el modelo de licencias conduce a una mayor inversión de desarrollo de los aplicativos y esta inversión conduce a una mejor calidad del software SaaS en comparación con el software tradicional, además señalan que el Software como Servicio es un caso de éxito de computación en la nube y una revolución en las Tecnologías de la Información (TI).

Arcgis Online permite a la comunidad de usuarios acceder a los aplicativos desarrollados en cualquier momento o lugar, entre las herramientas de ArcGis Online disponibles para los usuarios, se encuentran las “Aplicaciones para la comunidad” que permiten compartir información, a través de plantillas de aplicaciones configurables hacia audiencias específicas o al público en general (ESRI, 2020). En la crisis global del 2020 por efecto de la pandemia del coronavirus COVID-19, tuvo relevancia el empleo de la plataforma de Arcgis Online, con las aplicaciones para la comunidad, pues fueron utilizadas por instituciones como la Organización Panamericana de la Salud para difundir los datos georeferenciados de las personas contagiadas en todos los países del continente americano.

Para la creación de una aplicación WEB se cuidó que ésta sea sencilla y amigable para el usuario, de manera que no cause confusión durante su uso, para el desarrollo de la aplicación se siguieron los siguientes pasos: primero, la creación un mapa WEB en el visor de mapas de la aplicación ArcGis Online donde se ingresaron las coberturas de zona inundada, puntos de encuentro seguro y rutas óptimas, seguidamente se realizó la simbolización y etiquetado de las coberturas y se escogió un mapa base procedente de OpenStreetMap que se trata de una plataforma de datos abiertos, donde resalta la cobertura

de avenidas y calles; posteriormente se configuró el aspecto de la aplicación, a través de plantillas donde se definió el diseño, estilo y colores de la aplicación y finalmente se agregaron los siguientes widgets, para aportar funciones a la aplicación: barra de escala, zoom, mi ubicación, herramientas de medición, búsqueda, vista de inicio y compartir. La metodología para el desarrollo de la aplicación WEB se describe en la Fig. 107.

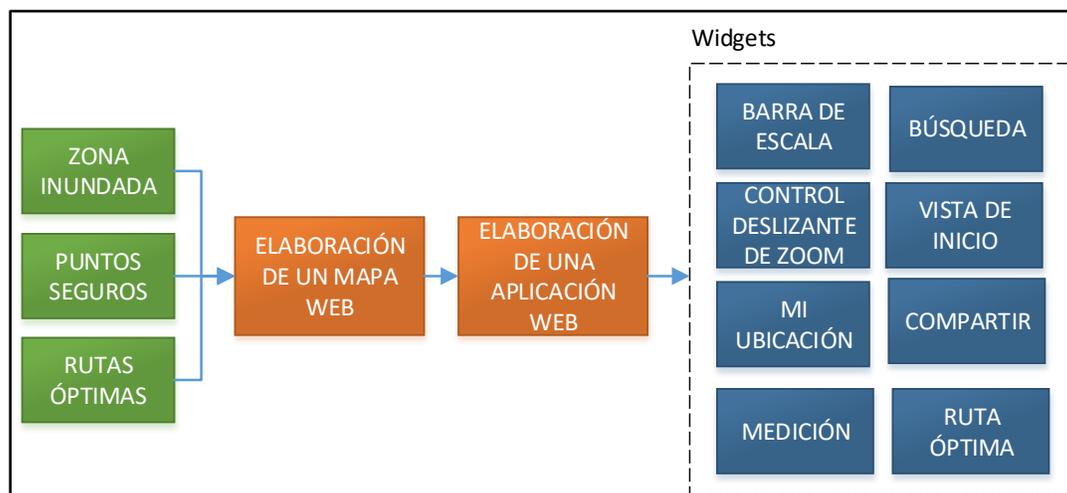


Fig. 107. Metodología para el desarrollo de una aplicación WEB en la plataforma de ArcGis Online. Fuente: Elaboración propia.

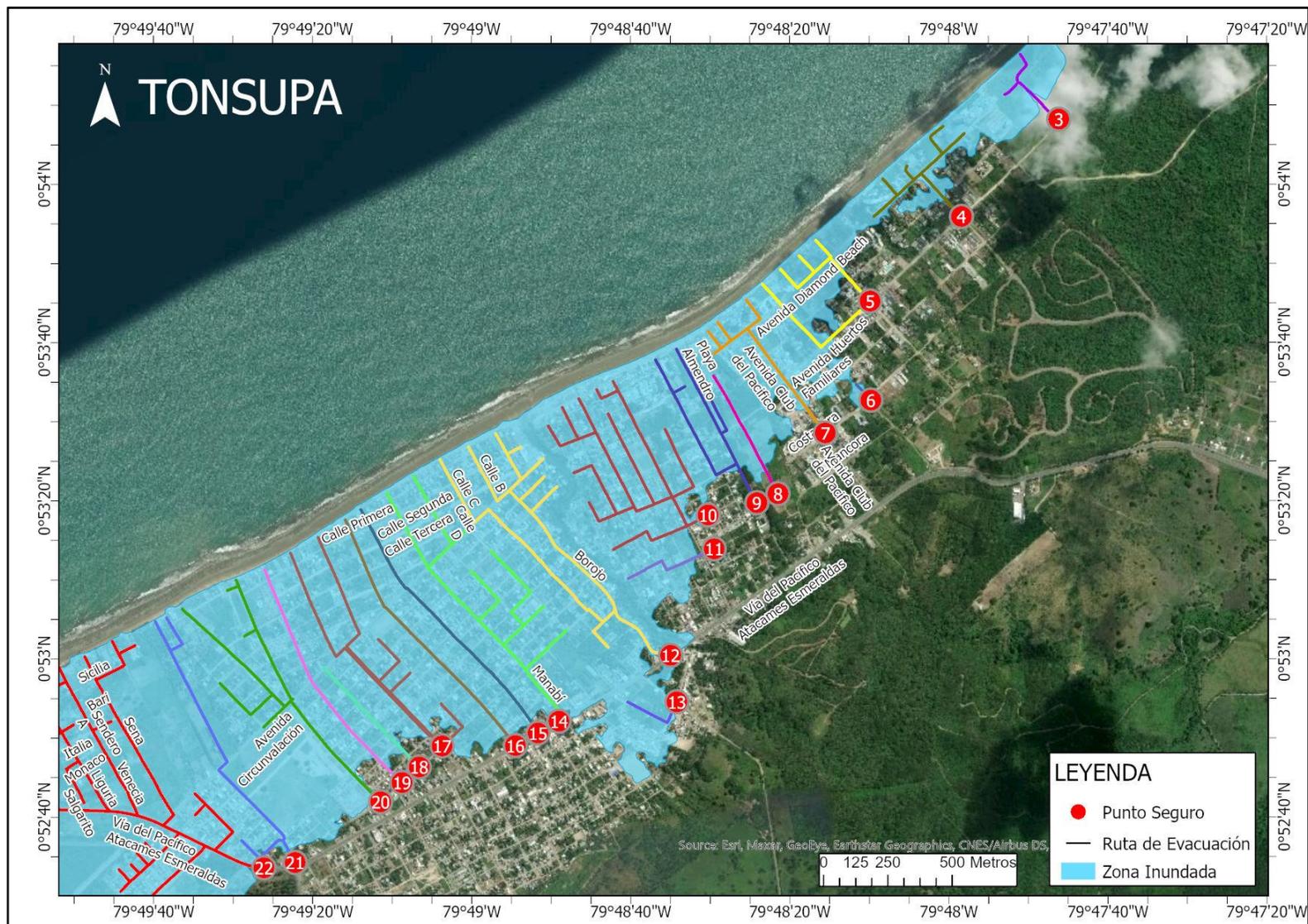
3 Resultados

3.1 Rutas de evacuación

Como resultado del análisis de rutas de evacuación, si se contrasta la distancia mínima que se requiere para alcanzar un punto de encuentro seguro en las parroquias de Súa, Atacames, Tonsupa, correspondiente a 1746 m (capítulo IV), con los mapas de rutas de evacuación en esta zona; se aprecia que en la localidad de Tonsupa (Fig. 108) existe un rango de variabilidad de 86 a 1350 m, si bien las distancias se encuentran dentro del margen de seguridad y las zonas más lejanas les corresponde un grado de vulnerabilidad física medio, se debe considerar que el grado de riesgo se acentúa por el nivel de peligrosidad de la amenaza, principalmente en zonas que conducen hacia los puntos de encuentro seguro Nro 12, 14, 21, 15, 20, 17 y 19 (Tabla 27; Fig. 108).

Punto de encuentro	Altitud (m)	Zona de influencia	Localización geográfica	Distancia máx. de evac. (m)
3	22,3	Este de Tonsupa	79°47'46"W 0°54'8"N	345,6
4	13,8	Este de Tonsupa	79°47'58"W 0°53'56"N	489,89
5	13,7	Este de Tonsupa	79°48'10"W 0°53'45"N	595,73
6	12,4	Huertos Familiares	79°48'9"W 0°53'33"N	86,65
7	11,9	Avenida Club del Pacífico, Verde Mar	79°48'15"W 0°53'29"N	717,35
8	13,38	Playa Almendro	79°48'21"W 0°53'21"N	523,93
9	13,56	Playa Almendro	79°48'24"W 0°53'20"N	768,98
10	12,09	Cabaplan	79°48'30"W 0°53'18"N	951,40
11	14,49	Cabaplan	79°48'29"W 0°53'14"N	397,38
12	12,5	Calles Borojo, B y C, Av. Circunvalación	79°48'35"W 0°53'1"N	1350,91
13	10,6	Paz y Progreso	79°48'34"W 0°52'54"N	267,71
14	12,6	Calle Manabí	79°48'49"W 0°52'52"N	1261,61
15	12,28	Calle Primera	79°48'51"W 0°52'51"N	1126,1
16	12,07	Oeste de Tonsupa	79°48'55"W 0°52'49"N	1115,82
17	10,6	Oeste de Tonsupa	79°49'4"W 0°52'49"N	1031,12
18	10,63	Oeste de Tonsupa	79°49'7"W 0°52'46"N	540,01
19	10,66	Oeste de Tonsupa	79°49'9"W 0°52'44"N	1000,55
20	10,63	Oeste de Tonsupa	79°49'12"W 0°52'42"N	1111,16
21	10,6	Oeste de Tonsupa	79°49'23"W 0°52'33"N	1182,72

Tabla 27. Puntos de encuentro seguros en la zona consolidada de la parroquia Tonsupa. Fuente: Elaboración propia.



En la parroquia de Atacames el rango de variabilidad de distancias por recorrer es de 64 a 2460 m, de las cuales el 25% se encuentran fuera del margen de seguridad en zonas distantes principalmente hacia los puntos de encuentro seguro 22, 26 y 27. En la propuesta de rutas de evacuación se consideró el paso por los puentes sobre el río Atacames en el centro de la ciudad (Fig. 109) con el fin de mitigar el riesgo de desastre en el centro de esta parroquia. Con esta propuesta se reducen considerablemente los tiempos de evacuación. Por consiguiente, es necesario reforzar los puentes existentes o diseñar nuevos puentes con características sismorresistentes (Tabla 28; Figs. 109 y 110)



Fig. 109. Puentes que unen El Triunfo con el Centro de Atacames. Fuente: Elaboración propia.

Punto de encuentro	Altitud (m)	Zona de influencia	Localización geográfica	Dist. máx. de evac. (m)
22	10,6	Vía del Pacífico, Centro de Atacames, De los Océanos, Las Palmas, Sena Venecia	79°49'25"W 0°52'33"N	2460,97
26	19,5	2 de Abril, Nueva Esperanza, El Triunfo	79°51'18"W 0°51'59"N	2251,24
27	11,04	12 de noviembre	79°51'20"W 0°51'59"N	2017,53
28	15,8	Vía a La Unión	79°51'9"W 0°51'44"N	723,75
29	14,4	Vía a La Unión	79°51'7"W 0°51'39"N	1711,45
30	15,2	Oeste de Atacames	79°51'35"W 0°51'56"N	209,96
31	15,9	Oeste de Atacames	79°51'35"W 0°51'56"N	119,58
32	14,8	Oeste de Atacames	79°51'39"W 0°51'55"N	274,85

Tabla 28. Puntos de encuentro seguros en la zona consolidada de la parroquia Atacames. Fuente: Elaboración propia.

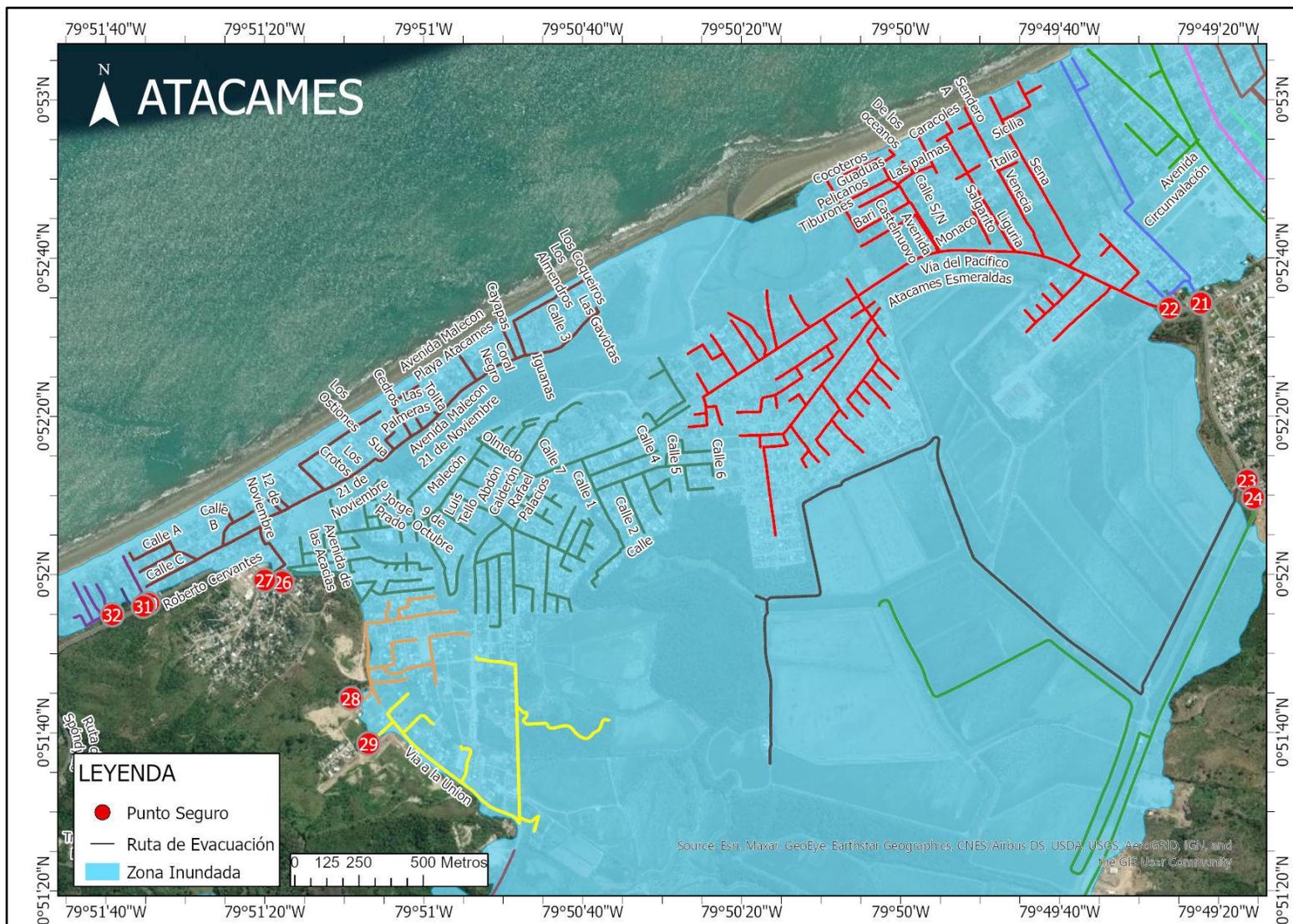


Fig. 110. Mapa de rutas de evacuación de la localidad de Atacames. Fuente: Elaboración propia.

En la parroquia de Súa existe un rango de variabilidad de distancias de evacuación de 66 a 1140 m. donde todas las distancias por recorrer se encuentran dentro del rango de seguridad debido a la pequeña extensión de la zona consolidada y la existencia de áreas de mayor altura en la periferia. La ruta más distante es la que conduce desde la Calle A localizada junto a la playa hacia el punto de encuentro seguro 41 (Tabla 29, Fig. 111)

Punto de encuentro	Altitud (m)	Zona de influencia	Localización geográfica	Dist. máx. de evac. (m)
33	12,5	Este de Súa	79°51'50"W 0°51'47"N	320,40
34	18,05	Este de Súa	79°51'55"W 0°51'46"N	313,34
39	14,23	Este de Súa	79°52'12"W 0°51'37"N	103,83
40	10,91	Este de Súa	79°52'16"W 0°51'41"N	158,57
41	12,76	Calle A, 6 de Diciembre	79°52'18"W 0°51'43"N	1140,41
42	14,15	Este de Súa	79°52'17"W 0°51'35"N	257,9
43	17,68	13 de Diciembre	79°52'21"W 0°51'32"N	612,86
44	19,75	Ricardo Oviedo	79°52'23"W 0°51'27"N	496,88
45	13,92	24 de Mayo	79°52'24"W 0°51'25"N	734,12
46	12,87	Ruta del Spóndylus	79°52'32"W 0°51'3"N	647,22
47	14,76	Sur de Súa	79°52'48"W 0°51'18"N	583,85
48	27,7	Oeste de Súa	79°52'51"W 0°51'28"N	351,15
49	31,2	Oeste de Súa	79°52'51"W 0°52'5"N	127,22
50	14,19	Oeste de Súa	79°52'56"W 0°52'5"N	220,79
51	25,13	Oeste de Súa	79°52'58"W 0°52'2"N	111,6
54	16,5	Oeste de Súa	79°53'21"W 0°51'42"N	682,22

Tabla 29. Puntos de encuentro seguros en la zona consolidada de la parroquia Súa. Fuente: Elaboración propia

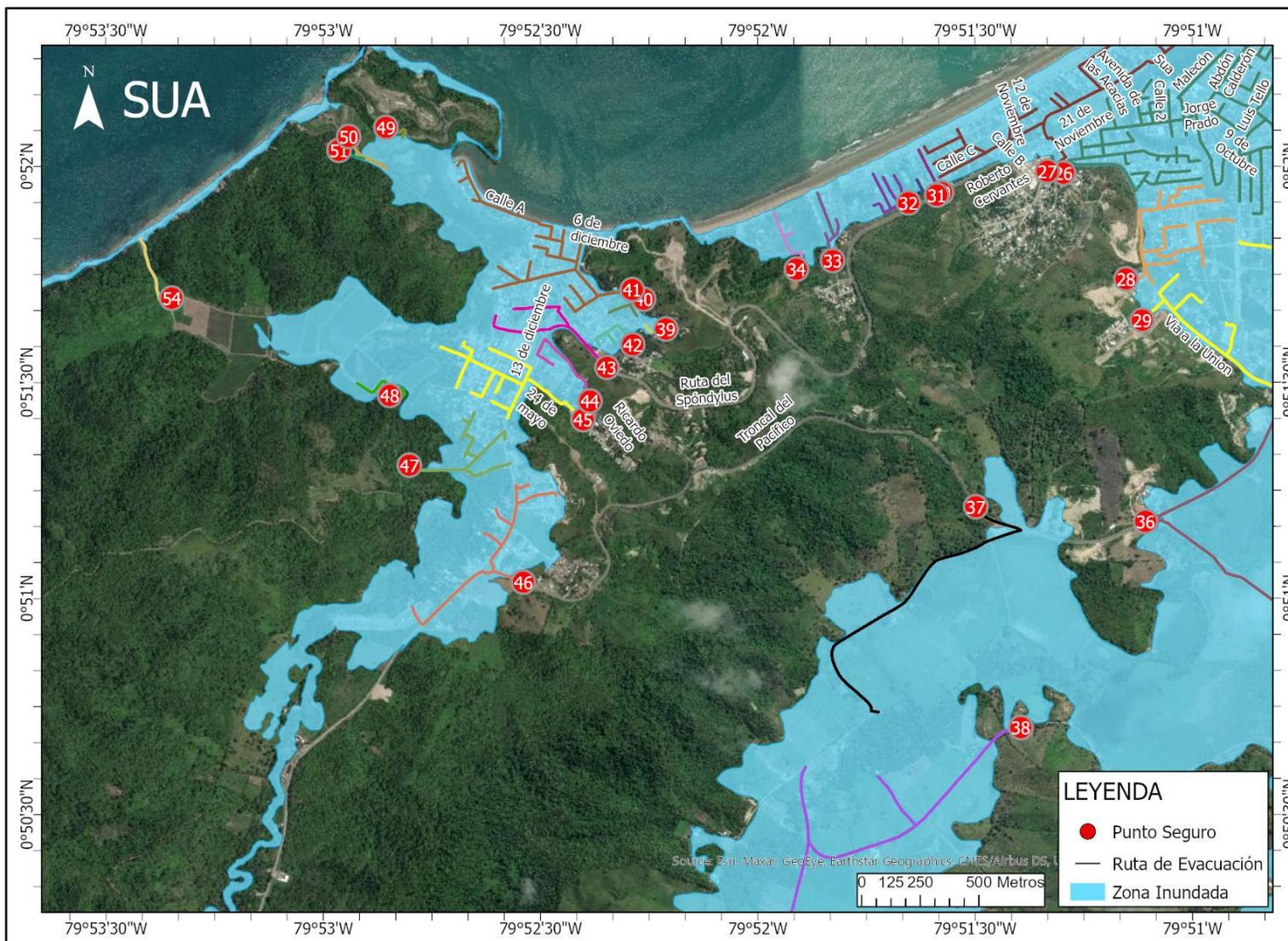


Fig. 111. Mapa de rutas de evacuación de la localidad de Súa. Fuente: Elaboración propia.

Si se compara la distancia mínima que se requiere para alcanzar un punto de encuentro seguro en la parroquia de Tonchigüe, correspondiente a 1114,8 m (capítulo IV), con los mapas de rutas de evacuación en esta zona; se aprecia que en la cabecera parroquial de Tonchigüe las distancias por recorrer se encuentran en el rango de 94-743 m, es decir que todas las distancias se encuentran dentro del margen de seguridad. La zona más distante corresponde a la calle Avelino Quintero hasta el punto de encuentro seguro 66, asimismo las distancias por recorrer desde la calle Manuel Galvez y Malecón Jesús Rivera hasta el mismo punto presentan valores altos (Tabla 30; Fig. 112)

Punto de encuentro	Altitud (m)	Zona de influencia	Localización geográfica	Dist. máx. de evac. (m)
65	14,9	Este de Tonchigüe	79°56'37"W 0°49'44"N	153,22
66	14,5	Malecón Jesús Rivera, Calle 9, María Teresa Velez, Baltazar Cusme, Malecón del Río, Avelino Quintero, 21 de Septiembre	79°56'44"W 0°49'44"N	743,71
67	23,62	Troncal del Pacífico, Ramon Alcivar, Gonzalo Robinson	79°56'36"W 0°49'42"N	528,88
68	23,57	Camaronera, Troncal del Pacífico	79°56'31"W 0°49'33"N	658,87
69	19,64	Sur de Tonchigüe	79°56'30"W 0°49'26"N	111,25
70	11,72	Troncal del Pacífico	79°56'25"W 0°49'19"N	276,58
71	15,24	Troncal del Pacífico	79°56'25"W 0°49'11"N	215,11
73	36,02	Catalina Sol, Calle D, Calle E1	79°56'57"W 0°49'23"N	463,53
74	30,78	Luis Enrique Martinez, Tiberio Patiño	79°57'5"W 0°49'29"N	452,94

Tabla 30. Puntos de encuentro seguros en la zona consolidada en la localidad de Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia.

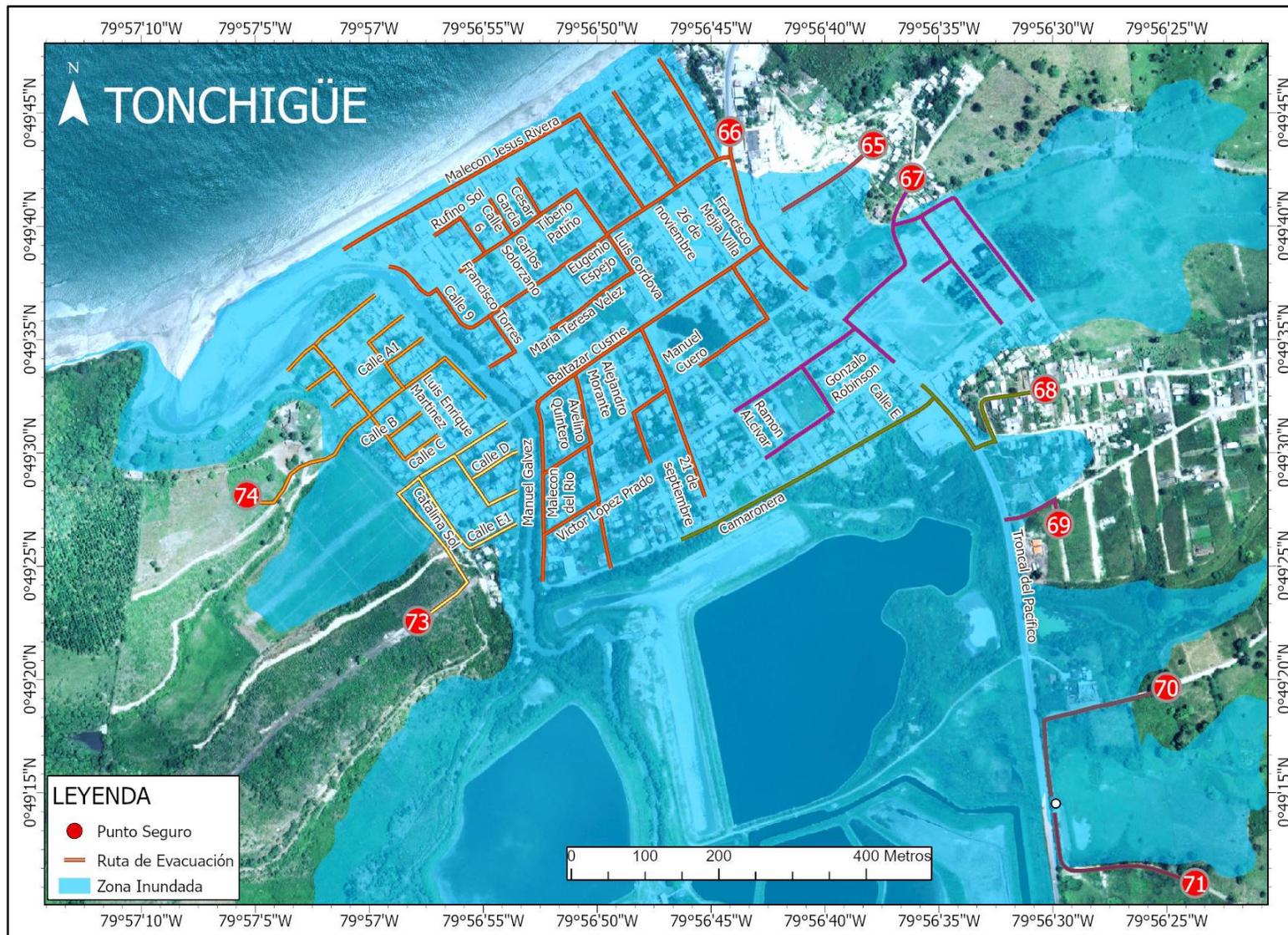


Fig. 112. Mapa de rutas de evacuación de la localidad de Tonchigüe. Fuente: Elaboración propia.

En la localidad de Same las distancias por recorrer tienen un rango de variabilidad de 47-1422 m, las distancias que persisten con mayor frecuencia fluctúan entre 158-924 m que se encuentran dentro del margen de seguridad. Sin embargo en rutas de evacuación que conducen hacia los puntos de encuentro seguro 64 y 59 desde el centro de Same se encuentran fuera del margen de seguridad con distancias máximas por recorrer de 1422,52 m y 1141,27 m respectivamente, precisamente esta zona tiene un grado de riesgo muy alto (Tabla 31; Fig. 113).

Punto de encuentro	Altitud (m)	Zona de influencia	Localización geográfica	Dist. máx. de evac. (m)
55	24,06	Casa Blanca	79°55'7"W 0°51'14"N	539,50
56	13,59	Casa Blanca	79°55'4"W 0°51'1"N	578,70
57	13,08	Casa Blanca	79°55'13"W 0°50'53"N	610,70
58	12,06	Casa Blanca	79°55'14"W 0°50'43"N	116,65
59	10,75	Troncal del Pacífico, Same	79°55'12"W 0°50'35"N	1141,27
60	12,43	Troncal del Pacífico	79°55'7"W 0°50'26"N	191,78
61	12,04	Troncal del Pacífico	79°54'57"W 0°50'15"N	62,12
63	13,44	Same	79°55'35"W 0°50'10"N	768,38
64	11,82	Same	79°56'1"W 0°50'15"N	1422,52

Tabla 31. Puntos de encuentro seguros en la zona consolidada en la localidad de Same. Fuente: Elaboración propia.

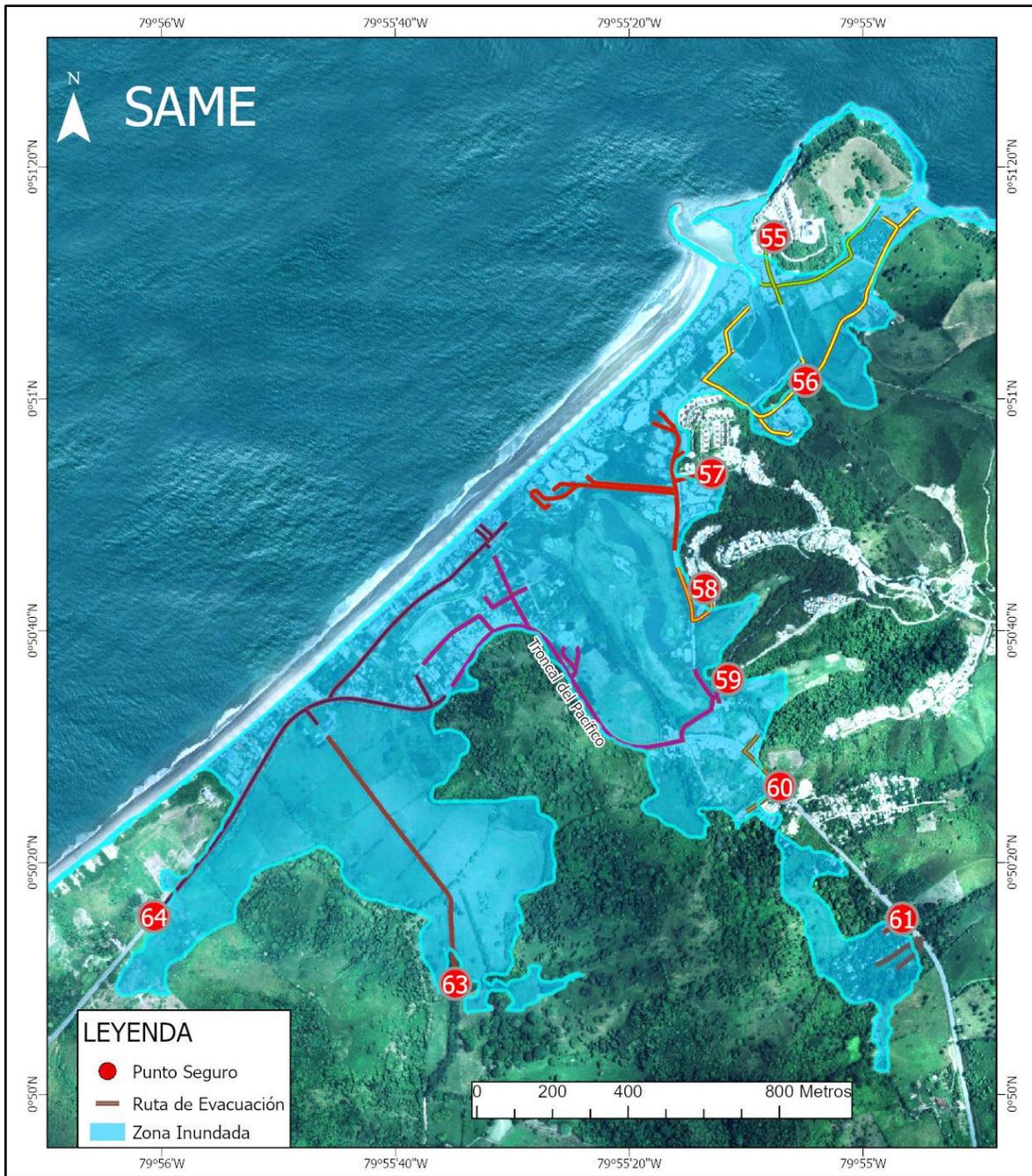


Fig. 113. Mapa de rutas de evacuación de la localidad de Same. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Aplicativo WEB

Como resultado se obtuvo un aplicativo WEB al que se puede ingresar desde una PC o dispositivos móviles (Figs. 114 y 115), en el aplicativo se visualiza la zona inundada, las rutas de evacuación y puntos de encuentro seguro, Asimismo se agregaron herramientas de funcionalidad al aplicativo para que el usuario pueda interactuar fácilmente. Entre las principales funcionalidades tenemos: herramienta de búsqueda, para encontrar direcciones; compartir, permite socializar el aplicativo a través de las redes sociales de Facebook, Twitter y WhatsApp; ruta óptima, señala las instrucciones para llegar a un destino; y mi ubicación, señala la localización actual del usuario.

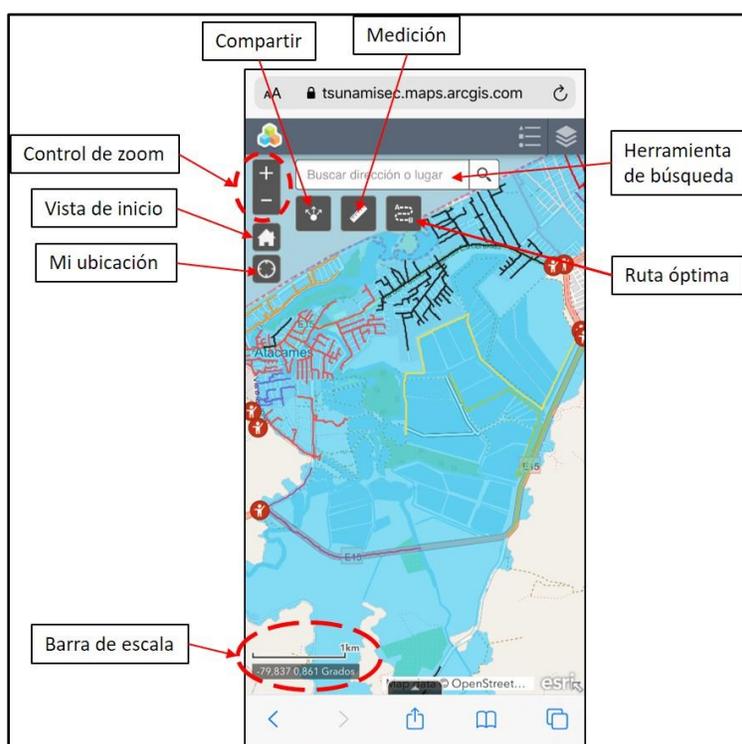


Fig. 114. Interfaz del aplicativo WEB para dispositivos móviles. Fuente: Elaboración propia.

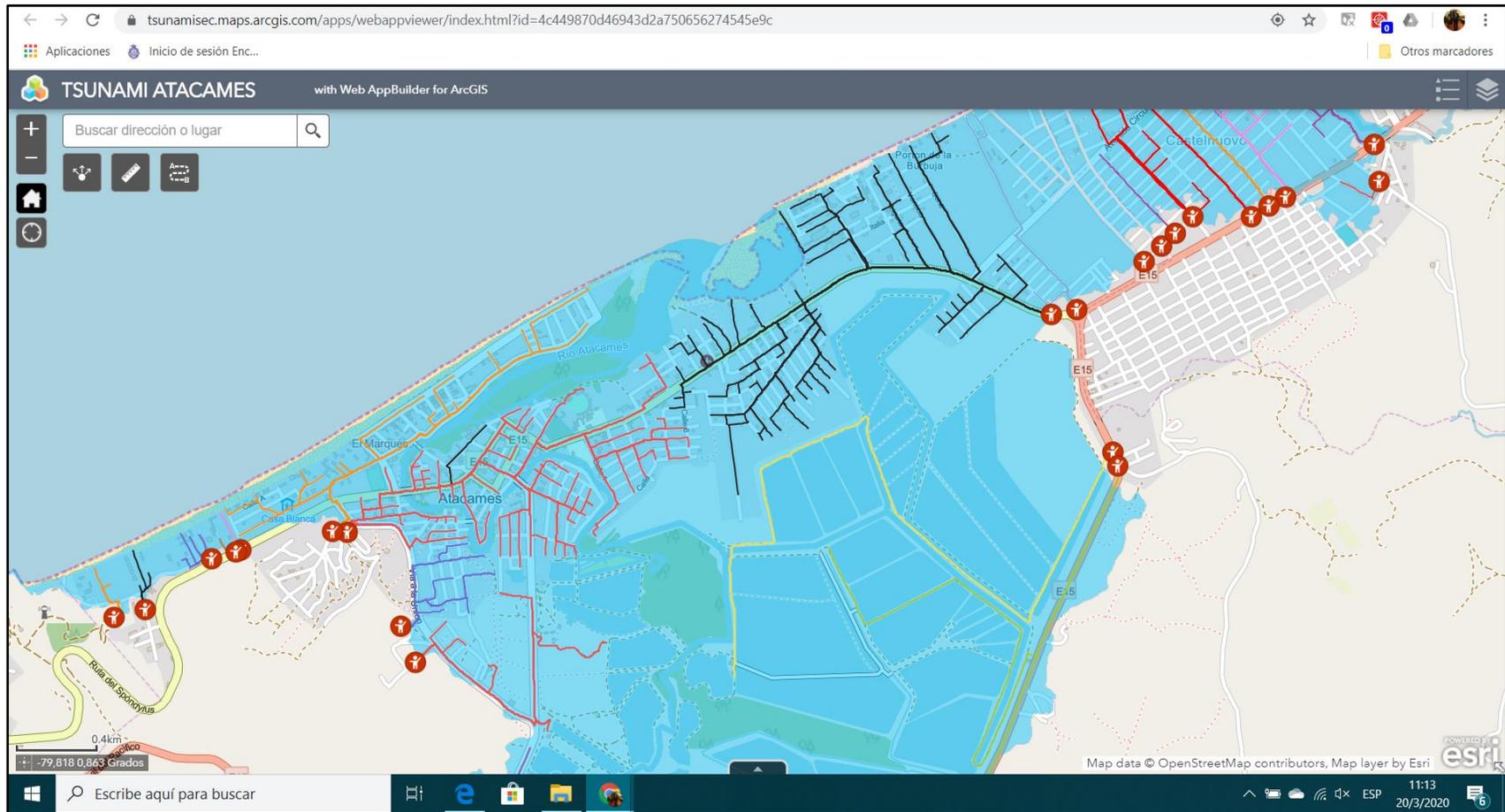


Fig. 115. Interfaz del aplicativo WEB para PCs. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Posibilidad de uso del aplicativo WEB

La posibilidad de utilizar el aplicativo WEB en la zona de estudio como herramienta para desarrollar simulacros de evacuación y conocer las zonas de afectación, rutas de evacuación y puntos de encuentro seguro, es alta. En Ecuador, el porcentaje de analfabetismo digital en la población se redujo, del 20% en el 2013 al 10,2% en el 2020; esto quiere decir que personas de 15 a 49 años que no disponen de un teléfono celular activado y que en los 12 últimos meses no utilizó la computadora o el servicio de internet, presenta una reducción significativa (INEC 2021).

Si bien se aprecia que existe un porcentaje elevado de hogares pobres, al año 2019, el gobierno eliminó los impuestos arancelarios para tablets, teléfonos celulares y laptops (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2023), de esta forma el porcentaje de la población que utilizó internet desde cualquier lugar (a nivel nacional) tuvo un incremento del 47,5% en el 2013 al 70,7% en el 2020 (INEC 2021). En el caso de Atacames, en la actualidad la población tiene dos opciones para acceder al servicio de internet y de esta forma utilizar el aplicativo WEB: a través de servicios fijos en hogares, hoteles, restaurantes, parques, centros educativos o lugar de trabajo, así como a través de dispositivos móviles. En este contexto existen dos empresas que proporcionan el servicio de internet fijo por fibra óptica, con cobertura en la mayor parte de las zonas consolidadas: Solintel S.A y Netlife. Asimismo, los gobiernos autónomos descentralizados, tanto a nivel provincial como cantonal, han instalado puntos WIFI para acceder a internet de manera gratuita.

También es importante analizar la disponibilidad de un teléfono inteligente por parte de la población para conectarse a través de redes WIFI o un plan de datos. Según INEC (2021), si bien al año 2020, el porcentaje de la población que dispone de un teléfono inteligente es de apenas el 51,5% a nivel nacional (Fig. 116). En la disgregación por grupos etarios se evidencia una alta usabilidad de teléfonos celulares inteligentes en los de grupos de edad de 25 a 44 años: 16-24 años, con el 74,9%; 25-34 años, con el 81,6%; 35-44 años, con el 71,7% (Fig. 117). Esto quiere decir que el porcentaje de la población a nivel nacional que no disponen de teléfonos inteligentes, se debe a la brecha existente con los conjuntos etarios frágiles: niños y adolescentes en edad temprana de 5 a 15 años y adultos mayores de

65 años en adelante quienes, en su mayoría, no disponen de este tipo de dispositivos (Fig. 117), además solo el 36,8% de la población en zonas rurales dispone de un teléfono inteligente, esto se debe a la falta de cobertura de servicios de datos móviles en estas zonas (Fig. 116).

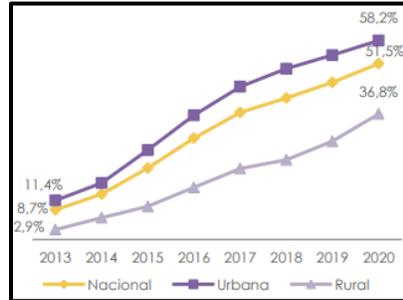


Fig. 116. Evolución de porcentaje de personas que tiene teléfono inteligente, por zonas. Fuente: INEC (2021).

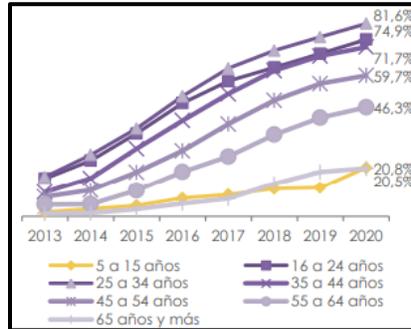


Fig. 117. Evolución de porcentaje de personas que tiene teléfono inteligente, por grupos de edad. Fuente: INEC (2021).

Específicamente en Atacames, al analizar los mapas de cobertura 4G de tres empresas prestadoras de servicios móviles en las zonas expuestas a la amenaza tsunamigénica (Fig. 118, 119 y 120), se evidencia que todas las localidades disponen de al menos una opción que le permita utilizar teléfonos inteligentes (Tabla 32, Fig. 118,119 y 120)

Zona consolidada	CNT (Señal)	Movistar (Señal)	Claro (Señal)
Tonsupa	Alta/Media	Alta/Media	Alta/Media
Atacames	Alta/Media	Alta/Media	Alta/Media
Súa	Alta/Media	Media/Sin señal	Alta/Media
Same	Media/Baja	Alta/Media	Alta/Media
Tonchigüe	Sin señal	Sin señal	Alta/Media

Tabla 32. Cobertura 4G en las zonas consolidadas expuestas a la amenaza tsunamigénica. Fuente: Elaboración propia a partir de Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2022), Movistar (2022), Claro (2022).

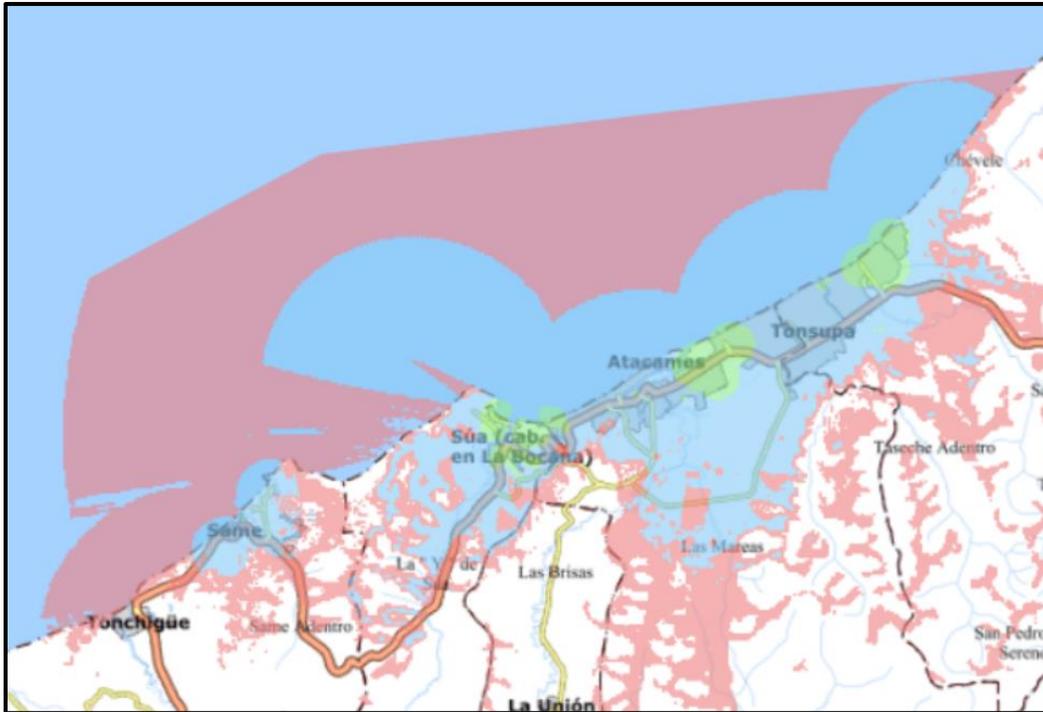


Fig. 118. Cobertura 4G de la prestadora de servicio móviles CNT. En verde: señal alta, azul: señal media, rojo: señal baja. Fuente: Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2022).

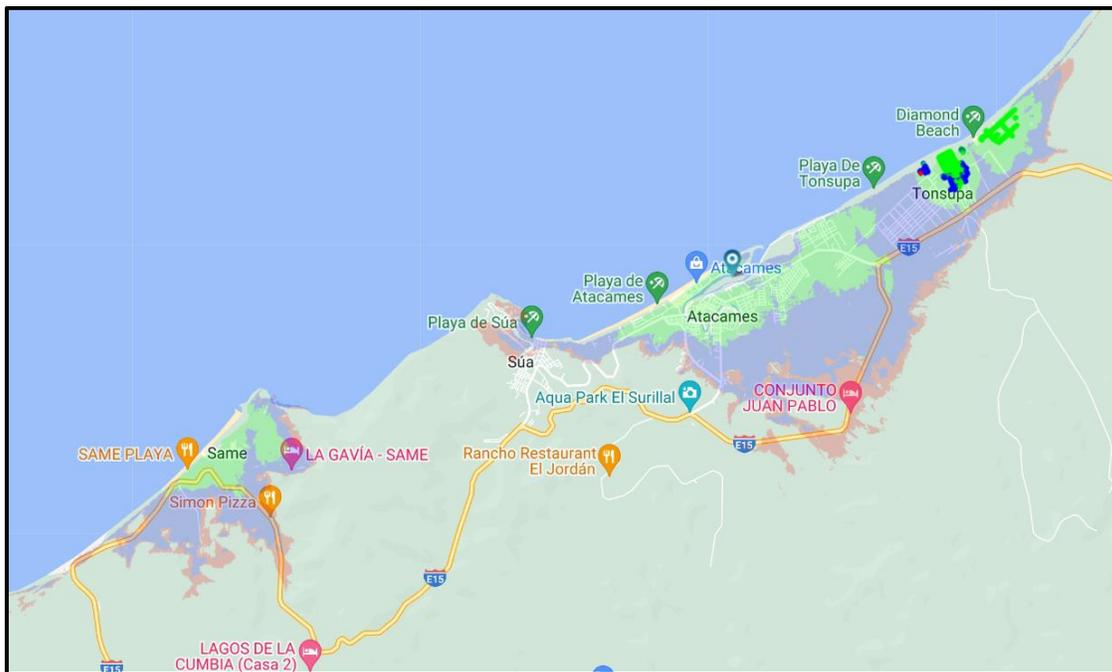


Fig. 119. Cobertura 4G de la prestadora de servicio móviles Movistar. En verde: señal alta, azul: señal media, rojo: señal baja. Fuente: Movistar (2022).

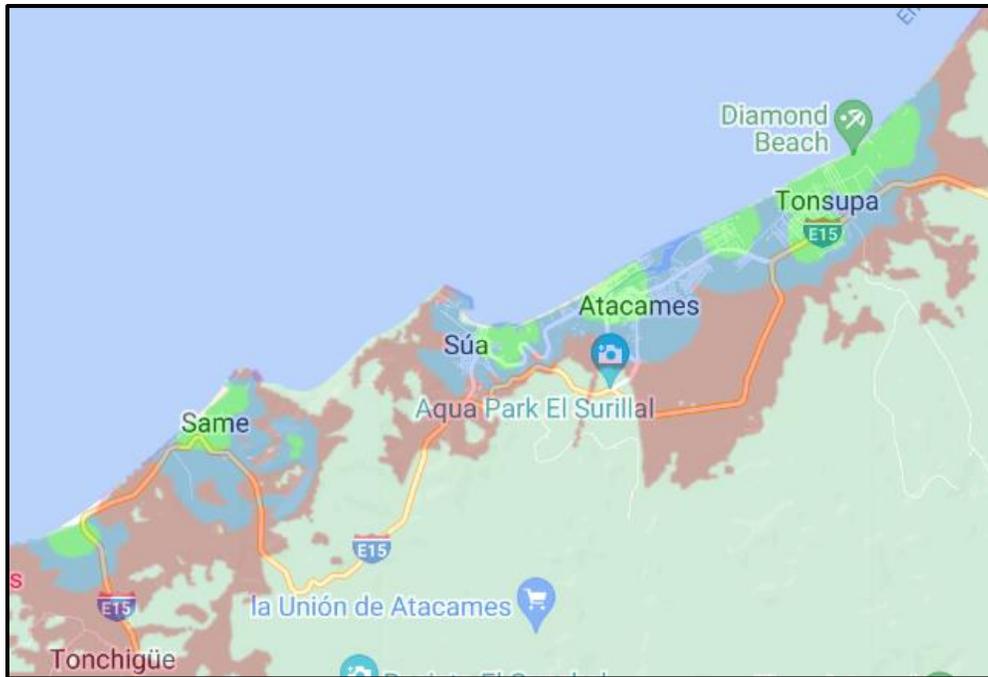


Fig. 120. Cobertura 4G de la prestadora de servicio móviles Claro. En verde: señal alta, azul: señal media, rojo: señal baja. Fuente: Claro (2022).

Otro de los factores que influyó de manera significativa, fue la pandemia por COVID-19 en el año 2020, ya que se establecieron medidas como el teletrabajo y educación virtual en todos los niveles, que obligo a los hogares a adquirir planes de datos fijos o móviles, además de dispositivos móviles o laptops para acceder a estos recursos desde sus domicilios.

También es importante mencionar que el empleo de un aplicativo WEB está destinado a medidas proactivas como educar a la población, desarrollar simulacros de evacuación e informar a turistas y visitantes sobre las zonas de afectación y rutas de evacuación. El aplicativo se debe complementar con mapas físicos localizados en zonas visibles y la señalética de riesgo, ya que en el último sismo importante que afectó la costa ecuatoriana, del 16 de abril de 2016, de magnitud de momento 7.8, en la ciudad de Pedernales, se evidencio la pérdida de señal de datos móviles y de telefonía celular inmediatamente después del evento sísmico. Con este antecedente y dado que el peor escenario del presente estudio corresponde a un tsunami de origen sísmico, la pérdida de señal impediría el uso del aplicativo WEB como medida reactiva ante la ocurrencia del evento.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados, se comprueban las hipótesis de trabajo que guían la presente investigación. Referente a la primera hipótesis que señala “El desconocimiento de eventos tsunamigénicos, la carencia de estudios técnicos con una perspectiva integral, juntamente con la falta de acceso y socialización, aumentan el riesgo de desastre de la población del cantón de Atacames”. Se evidencia que el desconocimiento de fenómenos tsunamigénicos en Atacames por parte de las instituciones gestoras del riesgo y consecuentemente por la población en general, se debe a los pocos o escasos estudios técnicos con fundamento científico sobre tsunamis en Atacames, donde se destaca el estudio realizado por Ioualalen et al. (2010) sobre la probabilidad de ocurrencia de tsunami en Atacames, además de mapas de evacuación publicados por la SNGR (2020), de los mapas se aprecia que no existen referencias que evidencien un estudio técnico científico para establecer las zonas de afectación.

Es importante mencionar que los resultados de la presente investigación no concuerdan con lo señalado por Ioualalen et al. (2010) en su estudio de ocurrencia de tsunami que se basa en simulaciones de los eventos sísmicos de 1942 y 1958, además de modelamientos de dos deslizamientos de tierra submarinos en el talud continental donde concluyeron que las costas de Atacames y Esmeraldas no se verían afectadas por estos dos tipos de eventos debido a la forma cóncava del promontorio de Atacames localizado frente a sus costas que ocasiona que la energía del tsunami se disperse. En la presente investigación al desarrollar un estudio más amplio con 27 escenarios de tsunamis de origen sísmico a partir de la caracterización sismogénica de la zona de subducción y el estudio de los catálogos históricos disponibles, la probabilidad de ocurrencia de tsunami es latente y puede ocasionar graves afectaciones en la zona de estudio. También es importante señalar que del evento sísmico de 1942 que se menciona en el estudio Ioualalen et al. (2010) no se describe en registros instrumentales y tampoco se menciona en los catálogos de tsunamis disponibles.

Asimismo, según los catálogos históricos de Espinoza (1992), Contreras (2013) y NOAA (2019), los eventos tsunamigénicos en la zona de estudio han sido poco frecuentes, se remontan a 1906 y 1958 en la provincia de Esmeraldas. Específicamente en las costas de

Atacames no se registran afectaciones mayores por el escaso desarrollo de la costa ecuatoriana en la primera mitad del siglo XX en el que no existían poblaciones ni infraestructura de importancia (Espinoza ,1992). Por lo tanto, no existe memoria histórica de los pobladores que actualmente ocupan este territorio sobre la ocurrencia de este fenómeno natural y sus efectos.

Los resultados guardan relación con lo que sostienen Lin y Pathranarakul (2006) sobre los estudios técnicos para evaluar el riesgo como punto de partida para adoptar medidas proactivas y reactivas. También coincide con lo señalado por Lagos (2012), ya que de no disponer de estos estudios técnicos es imposible abordar las preguntas: ¿Dónde un tsunami será más peligroso? ¿Dónde se es más vulnerable? y por lo tanto ¿Dónde existe mayor riesgo de desastre?

El acceso a la información y socialización tiene dos actores: las instituciones gestoras del riesgo encargadas de la toma de decisiones y la población en general, que coincide con lo señalado por Lin y Pathranarakul (2006) con respecto a que las instituciones gestoras del riesgo deben conocer los estudios técnicos sobre la amenaza, vulnerabilidad global y riesgo para emprender los planes de acción necesarios para mitigar los efectos de un fenómeno tsunamigénico como parte de la fase de predicción de la gestión de riesgos. A los pobladores se debe poner al alcance, información más sencilla y comprensible sobre las zonas de afectación, puntos de encuentro seguro y rutas de evacuación para que conozcan si se encuentran en estado de peligro y sepan hacia dónde dirigirse ante la ocurrencia de este evento, dado que la evacuación se constituye el método más eficaz para salvar vidas, lo que guarda relación con lo señalado por León et al. (2019) referente a que medidas como la reubicación de poblaciones o la construcción de grandes defensas marítimas, no serían factibles debido a la escasez de recursos económicos y técnicos en los países en vías de desarrollo.

Con respecto a la segunda hipótesis que señala “Una investigación empleando geotecnologías y basada en sistemas de información geográfica, permite determinar adecuadamente las zonas de afectación y generar alternativas de evacuación ante la ocurrencia de tsunami”, se comprueba que con el empleo de imágenes fotogramétricas,

modelos digitales de terreno de alta resolución espacial procedentes de sensores remotos, bases de datos georreferenciadas y herramientas de sistemas de información geográfica, permiten el desarrollo de la estimación de la amenaza, el estudio de la vulnerabilidad global y la evaluación del riesgo de desastre con alto grado de detalle y con procesos automatizados y lógicos, de manera que se aborda la ocurrencia de este evento de manera integral. Además, a partir de los resultados se comprueba que el uso de herramientas de análisis de redes de sistemas de información geográfica con los insumos necesarios como una red vial estructurada y su impedancia en unidades de tiempo o distancia, permiten representar rutas óptimas de evacuación para que la población conozca las alternativas para alcanzar puntos de encuentro seguros.

CONCLUSIONES

La presencia de la zona de subducción Circum-Pacífico frente a las costas de Ecuador, ha provocado históricamente, sismos de grandes magnitudes, en consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un tsunami de campo cercano y de origen sísmico en el cantón Atacames es alta. La construcción de un escenario de tsunami cuya fuente sísmica se encuentra a una distancia no mayor de 105 km de la zona de estudio, afectaría a 27542 personas que habitan junto al perfil costanero (66,32% del total de habitantes de Atacames). El principal peligro lo constituyen la inundación por tsunami que alcanza una extensión alrededor de 29,8 km² y una altura de 10,5 m, asimismo el tiempo de arribo de la primera ola al litoral de 23-34 min, representa un tiempo mínimo para evacuar.

La vulnerabilidad global de la población, entendida como la suma de la fragilidad intrínseca de sus habitantes y la susceptibilidad de su localización para acceder a un punto de encuentro seguro, es crítica en la zona consolidada de Atacames, 229 manzanas urbanas (1,31% del área consolidada total) presentan una vulnerabilidad global alta y muy alta, además 312 manzanas (2,83% del área consolidada total) presentan una vulnerabilidad global media, en estas zonas confluyen habitantes que coinciden en dos o más condiciones de vulnerabilidad por edad frágil, estado de pobreza y/o personas con discapacidad. Además la distancia para alcanzar un punto de encuentro seguro en esta zona, se encuentra al límite o fuera del margen de seguridad.

El nivel de peligrosidad de la amenaza tiende a acentuar los valores de vulnerabilidad global en la zona de estudio, de manera que 19,57 km² presentan un grado de riesgo de desastre alto y muy alto, totalizando el 65,4% del total de la zona inundada. Del área consolidada, de 936 manzanas que componen el tejido urbano, 598 manzanas presentan un grado de riesgo alto y muy alto donde habitan alrededor de 21244 personas (51,15% del total de habitantes de Atacames).

Una vez que se dispone de la estimación del riesgo de desastre, las instituciones responsables deben implementar medidas estructurales y no estructurales para reducir la vulnerabilidad y mitigar el riesgo, de manera que permitan a la población de Atacames ser resiliente ante la ocurrencia estos eventos. Las medidas incluyen diseñar estrategias de

educación y concientización a los habitantes. Medidas de aseguramiento de la infraestructura física y vivienda localizada en la zona de estudio, el desarrollo de sistemas de advertencia y alarma oportuna. La respuesta adecuada mediante planes de evacuación y la provisión de asistencia, durante o inmediatamente después de un desastre, para preservar la vida y satisfacer las necesidades de subsistencia de la población afectada. La rehabilitación que incluyen las medidas tomadas después de un desastre para restaurar o mejorar las condiciones de vida a corto plazo. La reconstrucción con medidas tomadas con el fin de restaurar las actividades sociales y económicas a largo plazo.

La evacuación es el método más efectivo para salvar vidas humanas, por lo tanto, el empleo de Sistemas de Información Geográfica para determinar rutas óptimas y puntos de encuentro seguros, es una alternativa para reducir el riesgo de desastre. Asimismo explotar los recursos tecnológicos como aplicativos WEB que estén disponibles en dispositivos móviles y que le permita al usuario conocer su ubicación, verificar si se encuentra dentro de la zona inundada por el tsunami y saber hacia dónde evacuar, se constituye una herramienta muy importante para educar a la población y desarrollar medidas proactivas tales como simulacros de evacuación.

Bibliografía

- Alexander, D. (2000). *Confronting Catastrophe: New Perspectives on Natural Disasters*. Computer Science.
- Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F., & Michel, H. V. (1980). Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. *Science*, 1095-1108.
- Armada, I. O. (2011). *Diagnóstico de la amenaza tsunamigénica de las costas ecuatorianas*. Guayaquil.
- Barrantes Monge, M. (2006). Género, Vejez Y Salud. *Acta Bioethica*, 193-197.
- Battle, D. (2015). Persons With Communication Disabilities in Natural Disasters, War, and/or Conflict. *Communication Disorders Quarterly*, 231-240.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 1-12.
- Bevacqua, A., Yu, D., & Zhang, Y. (2018). Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people. *Environmental Science and Policy*, 19-29.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*.
- Cantavella, J. (2015). La sorprendente fuerza del agua: los tsunamis. *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, 409-436.
- Centro Humboldt. (Junio de 2004). *El ABC de la Gestión de Riesgos*.
- Chandrasekar, N., Saravanan, S., Loveson Immanuel, J., & Rajamanickam, M. (2006). Classification of tsunami hazard along the southern coast of India: an initiative to safeguard the coastal environment from similar debacle. *Science of Tsunami Hazards*, 1-23.
- Chang, S. (2003). Transportation planning for disasters: an accessibility approach. *Environment and Planning*, 1051-1072.
- Chen, K., Blong, R., & Jacobson, C. (2001). MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environmental Modelling & Software*, 387-397.
- Cho, V., & Chan, A. (2015). An integrative framework of comparing SaaS adoption for core and non-core business operations: An empirical study on Hong Kong industries. *Information Systems Frontiers*, 629-244.
- Cipponeri, M., Salvioli, M., Larrivey, G., Afranchi, A., & Colli, G. (2014). Vulnerabilidad de la población de la ciudad de La Plata (Argentina). *Aqua-LAC*, 11-20.

- Collot, J. Y., Marcaillou, B., Sage, F., Michaud, F., Agudelo, W., Charvis, P., . . . Spence, G. (2004). Are rupture zone limits of great subduction earthquakes controlled by upper plate structures? Evidence from multichannel seismic reflection data acquired across the northern Ecuador-southwest Colombia margin. *Journal of geophysical research*, 1-14.
- Comber, A., Carver, S., Fritz, S., McMorran, R., Washtell, J., & Fisher, P. (2009). Different methods, different wilds: Evaluating alternative mappings of wildness using fuzzy MCE and Dempster-Shafer MCE. *Computers, Environment and Urban Systems*, 142-152.
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2013). *Glosario de tsunamis. Colección Técnica de la COI N°85*. París: UNESCO.
- Comisión Permanente del Pacífico Sur. (30 de Agosto de 2020). *Grupo de Trabajo de Alerta de Tsunamis en el Pacífico Sudeste*. Obtenido de <http://cpps-int.org/>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Montecristi.
- Contreras, M. (2013). Cronología de Tsunamis en Ecuador desde 1586 a 2012. *Revista LaTécnica*, 50-59.
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones. (09 de Diciembre de 2022). *Visor geográfico de servicios*. Obtenido de <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal>
- CPPS. (2010 de Julio de 2010). Circular CPPS/SG/054/2010 . *sta en práctica de normas aprobadas por la International Organization for Standardization (ISO) relacionadas con la señalética de tsunamis*. Guayaquil.
- Cruz de Howitt, M. A., Acosta, M. C., & Vásquez, N. E. (Septiembre de 2005). *Riesgos por tsunami en la costa ecuatoriana*.
- D' Ercole, R., & Metzger, P. (2004). *La vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- Darbyshire, J., & Ishiguro, S. (1957). Tsunamis. *Nature*, 150.
- Dilshad, T., Mallick, D., Udas, P., Prakash, A., Goodrich, C., Gorti, G., . . . Rahman, A. (2018). Growing Social Vulnerability in the River Basins: Evidence from the Hindu Kush Himalaya (HKH) Region. *Environmental Development*, 1-18.
- Douglas, J. (2007). Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 283-288.
- Durán, C. (2017). Análisis espacial de las condiciones de vulnerabilidad social, económica, física y ambiental en el territorio colombiano. *Revista Perspectiva Geográfica*, 11-32.

- Ehrlich, D., Kemper, T., Pesaresi, M., & Corbane, C. (2018). Built-up area and population density: Two Essential Societal Variables to address climate hazard impact. *Environmental Science & Policy*, 73-82.
- Espinoza, J. (1992). Terremotos tsunamigénicos en el Ecuador. En *Acta Oceanográfica del Pacífico* (págs. 21-28). Guayaquil.
- ESRI. (20 de Enero de 2019). Obtenido de Cómo funciona la pertenencia difusa: <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fuzzy-membership-works.htm>
- ESRI. (23 de Marzo de 2019). *Capa de análisis de área de servicio*. Obtenido de ArcGis Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/analysis/networks/service-area-analysis-layer.htm>
- ESRI. (3 de Abril de 2020). *¿Qué es la extensión ArcGis Network Analyst?* Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst>
- ESRI. (3 de Abril de 2020). *ArcGis Online*. Obtenido de <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-online/overview>
- Feres, J. C., & Mancero, X. (2001). *El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina*. Santiago de Chile: División de Estadística y Proyecciones Económicas.
- Fernandez, G. (2017). Propuesta metodológica: construcción de un índice de vulnerabilidad global ante la amenaza sísmica, en espacios regionales, con el uso de técnicas estadísticas multivariantes. *Terra Nueva Etapa*, 127-163.
- Ferreira, R. V., & Da Graça Raffo, J. (2013). O uso dos sistemas de informação geográfica (SIG) no estudo da acessibilidade física aos serviços de saúde pela população rural: revisão da literatura. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 177-189.
- Frazier, J. W. (2015). Applied Geography: A US Perspective. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, 845-849.
- Fritz, H. M., Borrero, J. C., Synolakis, C. E., Okal, E. A., Weiss, R., Titov, V. V., . . . Liu, P. (2011). Insights on the 2009 South Pacific tsunami in Samoa and Tonga from field surveys and numerical simulations. *Earth-Science Reviews*, 66-75.
- GEBCO. (02 de Septiembre de 2020). *Gridded Bathymetry Data*. Obtenido de <https://www.gebco.net/>
- Goff, J., Terry, J. P., Chagué-Goff, C., & Goto, K. (2014). What is a mega-tsunami? *Marine Geology*.
- Gómez, J., & Adrover, J. (2013). Meteotsunamis: un riesgo de la atmósfera en el mar. *GeoGraphos. Revista digital para estudiantes de geografía y ciencias sociales*.
- Gusiakov, V. (2009). Tsunami-Recorded. *Researchgate*, 1-30.

- Handisides, J., Hollenbeck-Pringle, D., Uzark, K., Trachtenberg, F., Pemberton, V., Atz, T., . . . Lacro, R. (2018). Health-Related Quality of Life in Children and Young Adults with Marfan Syndrome. *The Journal Of Pediatrics*, 1-7.
- Hendershott, M. (2005). Lecture 1: Introduction to ocean tides.
- Herrera, J. F., Gelvez, N. Y., & López, D. A. (2018). LMS SaaS: Una alternativa para la formación virtual. *Revista chilena de ingeniería*, 164-179.
- Hewitt, P. G. (2007). *Física conceptual*. México : Pearson Educación.
- Holtkamp, S. G., & Brudzinski, M. R. (2011). Earthquake swarms in circum-Pacific subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 215-225.
- IGM. (Mayo de 2015). *Geodescargas*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec>
- Iida, K., Cox, D., & Pararas-Carayannis, G. (1967). Preliminary Catalog of Tsunamis Occurring in the Pacific Ocean.
- INAMHI. (2014). Geoinformación Hidrometeorológica.
- INEC. (2010). Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo provincial Esmeraldas.
- INEC. (2018). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo*.
- INEC. (2021). *Indicadores de tecnología de la información y comunicación*. Quito.
- INEN. (2010). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-1:2011. *Señalética Vial. Parte 1. Señalización Vertical*.
- INOCAR. (2019). *Memoria técnica para le cálculo de amplitud y tiempo de arribo de las ondas de tsunami en Tonchigüe, Atacames y Tonsupa*. Guayaquil.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2016). Geoinformación temática del Cantón Atacames.
- Instituto Geográfico Militar. (2017). Base de Datos Cartográfica Escala 1:5.000.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2010). *Plan de Contingencia para Tsunamis de la Ciudad de Esmeraldas*.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2011). *Diagnóstico de la amenaza tsunamigénica de las costas ecuatorianas* .
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2013). *Informe de Evaluación del riesgo de tsunamis de las poblaciones de la costa central del Ecuador*. Guayaquil.
- Ioualalen, M., Ratzov, G., Collot, J. Y., & Sanclemente, E. (2010). The tsunami signature on a submerged promontory: the case study of the Atacames Promontory, Ecuador. *Geophysical Journal International*, 680-688.

- Kemec, S., Duzgun, S., Zlatanova, S., Dilmen, D. I., & Yalciner, A. C. (2010). Selecting 3D urban visualisation models for disaster management: Fethiye tsunami inundation case. *3rd International Conference on Cartography and GIS*.
- Kett, M., Stubbs, S., & Yeo, R. (2005). Disability in Conflict and Emergency Situations: Focus on Tsunami-affected Areas.
- King, J., Edwards, N., Watling, H., & Hair, S. (2018). Barriers to disability-inclusive disaster management in the Solomon Islands: Perspectives of people with disability. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-29.
- Koshimura, S., & Kayaba, S. (2010). Integrated Approach to Assess the Impact of Tsunami Disaster. *Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems*, 2302-2307.
- Lagos, M. (2012). Zonificación del riesgo de tsunami en el centro-sur de Chile. 7-21.
- Lander, J., & Lockridge, P. (1989). United States Tsunamis (Including United States Possessions) 1960-1968.
- Lee, J. (2015). Everyday work: A survey of the 2014 Applied Geography Conference. *Applied Geography*, 1-2.
- León, J., Vicuña, M., & Gubler, A. (2019). Increasing tsunami risk through intensive urban densification in metropolitan areas: A longitudinal analysis in Viña del Mar, Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-34.
- Lin, T., & Pathranarakul, P. (2006). An integrated approach to natural disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 396-413.
- Mansinha, L., & Smylie, D. (1971). The Displacement Fields Of Inclined Faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1433-1440.
- Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015. (2005). Hyogo, Japón.
- Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 . (2015). Sendai, Japón.
- Martinez, J. R. (2016). *Geología Estructural y Dinámica Global*. Salamanca: Departamento de Geología Universidad de Salamanca.
- Matehus , A., Padilla, O., & Cruz, M. (2012). Modelo de evacuación vertical y horizontal en caso de ocurrencia de tsunami para las ciudades de Salinas y Bahía de Caráquez. 1-16.
- Moe, T., & Pathranarakul, P. (2006). An integrated approach to natural disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 396-413.
- Mohammad, H., Takeo, I., Osamu, S., Abdul, M., & Antonius, W. (2020). Numerical modeling of the subaerial landslide source of the 22 December 2018 Anak Krakatoa volcanic tsunami, Indonesia. *Ocean Engineering*, 1-11.

- Montz, B. E., & Tobin, G. A. (2011). Natural hazards: An evolving tradition in applied geography. *Applied Geography*, 1-4.
- Movistar. (9 de Diciembre de 2022). *Mapas de cobertura*. Obtenido de <https://www.movistar.com.ec/mapa-de-coberturas>
- Muriel-Villegas, J., Alvarez-Uribe, K., & Patino-Rodríguez, J. (2016). Analysis of Transportation Networks Subject To Natural Hazards – insights from a Colombian case. *Reliability Engineering and System Safety*, 1-35.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (16 de Abril de 2019). *U.S Tsunami Warning System*. Obtenido de <https://www.tsunami.gov/>
- NCD RisC. (27 de Julio de 2019). *Evolution of adult height over time* . Obtenido de <http://ncdrisc.org/height-mean-ranking.html>
- Nicholson, A., & Du, Z.-P. (1997). Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model . *Transpn Rev.-B.*, 209-223.
- Okada, Y. (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1135-1154.
- Oliveira, T., Martins, R., Sarker, S., Thomas, M., & Popovic, A. (2019). Understanding SaaS adoption: The moderating impact of the environment context. *International Journal of Information Management*, 1-12.
- Open Street Map. (2019). Servidor de Mapas .
- Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008). *Manual metodológico para evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Santiago de Chile: ILPES.
- Pacione, M. (2009). Applied Geography. *International Encyclopedia of Human Geography* , 177-181.
- PAHO. (3 de Abril de 2020). *Cumulative COVID-19 cases reported by countries and territories in the Americas*. Obtenido de <https://arcg.is/1L0XT1>
- Papathoma, M., Dominey Howes, D., Zong, Y., & Smith, D. (2003). Assessing tsunami vulnerability, an example from Herakleio, Crete. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 377-389.
- Parra, H. A. (2015). *Desarrollos metodológicos y aplicaciones hacia el cálculo de la peligrosidad sísmica en el ecuador continental y estudio de riesgo sísmico en la ciudad de Quito*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Parra, H., Benito, M., & Gaspar-Escribano, J. (2016). Seismic hazard assessment in continental Ecuador. *Bull Earthquake Eng.*
- Patton, G., Sawyer, S., Santelli, J., Ross, D., Afifi, R., Allen, N., . . . Viner, R. (2016). Our future: a Lancet commission on adolescent health and wellbeing. *The Lancet*, 1-57.

- Pauker, F., & Toulkeridis, T. (2015). Riesgos y Desastres. En *Amenazas de origen natural y gestión de riesgo en el Ecuador*. Sangolquí.
- Pérez Colomé, J., & Lavilla, E. (18 de Abril de 2016). *Terremoto en Ecuador: "Mi madre estaba en casa. Todo temblaba, cayó hasta la nevera"*. Obtenido de El Español: https://www.elespanol.com/mundo/20160417/117988328_0.html
- Real Academia Española de la Lengua. (30 de Marzo de 2020). *Diccionario de la Lengua Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es>
- Reese, S., Cousins, W., Power, W., Palmer, N., Tejakusuma, J., & Nugrahadi, S. (2007). Tsunami vulnerability of buildings and people in South Java – field observations after the July 2006 Java tsunami. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 573-589.
- Riddell, G., Delden, H., Maier, H., & Zecchin, A. (2019). Tomorrow's disasters – Embedding foresight principles into disaster risk assessment and treatment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-37.
- Rodríguez Uribe, A., Valderrama Orbegozo, L., & Molina Linde, J. (2010). Intervención psicológica en adultos mayores. *Psicología desde El Caribe*, 247-258.
- Saaty, T. (1997). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications.
- Sánchez, D., & Egea, C. (2011). Enfoque de vulnerabilidad social para investigar las desventajas sociambientales. Su aplicación en el estudio de los adultos mayores. *Papeles de población*, 151-185.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de situación No. 7 (17/04/2016) 06h30.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (09 de Agosto de 2017). Manual del Comité de Operaciones de Emergencia. Samborondón.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos. (23 de Marzo de 2020). *Mapas de rutas de evacuación y puntos de encuentro ante tsunamis*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/biblioteca/>
- Shibayama, T., Esteban, M., Nistor, I., Takagi, H., Nguyen, T., Matsumaru, R., . . . Ohtani, A. (2012). Implications of the 2011 Tohoku tsunami for risk management in Japan. *Obras y Proyectos 11*, 4-17.
- Spencer, D., McManus, M., Thiede, K., Turner, J., Harwood, C., White, P., & Alarcon, G. (2017). Health Care Coverage and Access Among Children, Adolescents, and Young Adults, 2010–2016: Implications for Future Health Reforms. *Adolescent Health*, 1-7.
- Taylor, M. A. (2012). Remoteness and accessibility in the vulnerability analysis of regional road networks. *Transportation Research Part A* 46, 761-771.
- Truong, H. (2012). Wave-Propagation Velocity, Tsunami Speed, Amplitudes, Dynamic Water-Attenuation Factors. Lisboa: 15 WCEE LISBOA 2012.

- Ulloa, J. T., & Rodríguez, J. A. (2010). El modelo logístico: Una alternativa para el estudio del crecimiento poblacional de organismos. *Revista electrónica de veterinaria*, 1-11.
- UNISDR. (2009). *Terminology for Disaster Risk Reduction*. Geneva.
- USGS. (Mayo de 2015). *World Earthquakes*. Obtenido de <http://www.earthquake.usgs.gov>
- Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). *País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador*. Quito.
- Wei-Haas, M. (07 de Julio de 2019). *Este podría ser el nacimiento de una zona de subducción*. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es>
- Wiegel, R. (1992). *Oceanographical Engineering*. New York: Dover Publications, INC.