

CATÁLOGO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DEBIDO A LA INUNDACIÓN POR TSUNAMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR

EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR
FASE II: VULNERABILIDAD Y RIESGO

Catálogo Nacional



CATÁLOGO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DEBIDO A LA INUNDACIÓN POR TSUNAMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR

Proyecto:

EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSUNAMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR FASE II: VULNERABILIDAD Y RIESGO

realizado por

Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria)
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN)

con la financiación de

Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)



EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TSU AMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR

FASE II: VULNERABILIDAD Y RIESGO

Fecha de elaboración del catálogo:	Diciembre de 2012
Fecha de inicio del proyecto (Fase II):	1 de enero de 2011
Duración:	24 meses
Nombre del Director del Proyecto:	Profesor Mauricio González Rodríguez
Nombre e Institución Española coordinadora:	Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria)
Coordinadores locales por parte de El Salvador:	Licenciada Francisco José Gavidía Medina
Nombre Institución Salvadoreña:	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Entidad financiera del Proyecto:	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (A CID)

PERSONAS DE TRABAJO

Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria: Ernesto Mauricio González Rodríguez, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor titular de la Universidad de Cantabria e investigador de IH Cantabria (Director del Proyecto); Pino González-Riancho Calzada Licenciada en Ciencias Ambientales, Máster en Ciencias y Tecnología para la Gestión de la Costa e investigadora en IH Cantabria; Ignacio Aguirre-Ayerbe, Licenciado en Geografía y Máster en Técnicas de Análisis, Evaluación y Gestión Sostenible de Procesos y Riesgos Naturales e investigador en IH Cantabria; Oscar García-Aguilar, Licenciado en Ciencias del Mar, Máster en Gestión Costera y Recursos Hídricos e investigador en IH Cantabria; Iñigo Aniel Quiroga, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e investigador en IH Cantabria; Sheila Abad herrero, Licenciada en Geografía y Ordenación del Territorio, técnico GIS en IH Cantabria.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Francisco Gavidía Medina, Licenciado en Oceanología (Coordinador de Proyecto); Jeniffer Alejandra Larrayaga, Ingeniero Civil; Miguel Castro, Salvador Campos y Manuel Barrios, e Ingenieros de Física.

CONTENIDO

1. RESUME EJECUTIVO	I
Introducción	I
Antecedentes , contexto y justificación del Proyecto	I
Propósito y contenido del presente Catálogo	II
Metodología de ejecución del Proyecto	III
Información básica sobre tsunamis	III
Cálculo del riesgo ante tsunamis en la costa de El Salvador	IV
Estructura del Catálogo	VII
2. ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI A ESCALA NACIONAL	Nac-1
Peligrosidad	Nac-2
Sensibilidad Humana.....	Nac-4
Sensibilidad Ambiental.....	Nac-6
Sensibilidad Socioeconómica.....	Nac-8
Sensibilidad Infraestructuras.....	Nac-10
Resiliencia	Nac-12
Riesgo	Nac-14
3. ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI EN COSTA OCCIDENTAL	Occ-1
Peligrosidad. La amenaza del Tsunami.....	Occ-2
Riesgo humano.....	Occ-4
Riesgo ambiental.....	Occ-6
Riesgo socioeconómico.....	Occ-8
Riesgo en infraestructuras.....	Occ-10
Edificaciones críticas y de emergencia.....	Occ-12
Materiales de las edificaciones.....	Occ-14
Evacuación ante tsunamis.....	Occ-17
Tiempo de llegada del tsunami.....	Occ-18
Zonas seguras y rutas de evacuación.....	Occ-19
Evacuación Zona Barra de Santiago : actual y propuesta.....	Occ-20
Evacuación Zona Metalco: actual y propuesta.....	Occ-24

4. ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI EN LA LIBERTAD	Lib-1
Peligrosidad. La amenaza del Tsunami.....	Lib-2
Riesgo humano.....	Lib-4
Riesgo ambiental.....	Lib-6
Riesgo socioeconómico.....	Lib-8
Riesgo en infraestructuras.....	Lib-10
Edificaciones críticas y de emergencia.....	Lib-12
Materiales de las edificaciones.....	Lib-14
Evacuación ante tsunami.....	Lib-17
Tiempo de llegada del tsunami.....	Lib-18
Zonas seguras y rutas de evacuación.....	Lib-19
Evacuación Zona urbana La Libertad: actual y propuesta.....	Lib-20
Evacuación Zona San Diego: actual y propuesta.....	Lib-26
5. ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI EN BAHÍA DE JIQUILISCO	Baj-1
Peligrosidad. La amenaza del Tsunami.....	Baj-2
Riesgo humano.....	Baj-4
Riesgo ambiental.....	Baj-6
Riesgo socioeconómico.....	Baj-8
Riesgo en infraestructuras.....	Baj-10
Edificaciones críticas y de emergencia.....	Baj-12
Materiales de las edificaciones.....	Baj-14
Evacuación ante tsunami.....	Baj-17
Tiempo de llegada del tsunami.....	Baj-18
Zonas seguras y rutas de evacuación.....	Baj-19
Evacuación Zona Península San Juan del Gozo: actual y propuesta.....	Baj-20

ANTECEDENTES , CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PRO YECTO

Se han registrado 42 tsunamis en la costa Pa ífica de Centroamérica entre los años 153 y 2012. El Salvador ha sido imp ctado por 15 tsunamis entra 1859 y 2012, nueve de ellos registrados en el siglo XX, todos ellos generados por terremotos. Muchos de estos eventos ocasionaron pérdida de vidas humanas y de trucción de infraestructuras y ultivos, siendo dos de ellos altamente destru tivos, uno en 1 02 que afectó la zona Oriental del país, y otro en 195 que afectó Acajutla. El más reciente, aunque de menor magnitud, ocurrió en 2012 afectando la Bah a de Jiquilisco. Si ocurriera fren e a la costa de El Salvador, un tsunami similar al ocurrido en la osta de Nicaragua en 1992, dejaría un alto saldo de muertos y destruc ión, tal omo ocurrió con e te evento en Nicaragua.

Los tsunamis son una realidad en la costa sal adoreña y su potencial d structi o no d b priorizars por su baja frecuencia de ocurrencia sino por su grado de amenaza y de vulnerabilidad para una gesti n adecuada del riesgo. Evaluar la peligrosidad y el riesgo de tsunamis, implementar medidas de mitiga ión y preparación de la población en materi de prevención y la operación de un Sistema de Alerta de Tsunamis, son lo elementos básicos para reducir la pérdida de vidas humanas y daños en bienes materiales.

El Sal ador posee 29 Municipio costeros expue to a la amenaza por t unamis, el Ministerio de Medio Ambiente y Recu sos Natu al s MARN) a través de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) es el responsable de emitir la alarma de tsunamis lejanos en El Sal ador, emitidas por el Sistema de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC). Sin embargo, El Salvador requiere fortalecer las capacidades para la emisión de ale tas de tsunamis generados po fuentes ce anas f ente a la costa de El Salvado , los cuales ti n n potencialmente una gran capacidad de destrucción. La carencia de un Sist ma de Alerta T mprana para atender e tos evento de origen cercano, unido a la falta de medida de mitigación y preparación de la población a lo largo de su osta, lo hacen un país vulnerable frente al riesgo de tsunamis

Bajo este contexto la DGOA solicitó apoyo técnico al Instituto de Hidráulica Ambiental Cantabria (IH Cant bri) y al Centro Nacional de Informa ión Geográfica (IGN) de España, instancias que tienen una alta experiencia en la tran ferencia científico-tecnológica, desarrollando herramientas, instrumento y metodología para la gestión de riesgos naturales y alcanzar objetivos de sostenibilidad a largo plazo en las costas. Así, en abril de 2009 el Instituto de Hidr ulica Ambiental Cantabria (IH Cantabria) presentó un propuesta de Proyecto a la **Agencia Española de Cooperación Intern cional para el Desarrollo (AECID)** pa a t abajar en El Salvador evaluando la peligrosidad de Tsunamis en la costa, la cual ue ap obada el 4 de gosto de 2009 y fue publicado en el Boletín Oficial de Estado d l 29 de septi mbr de 2009.

El Proyecto Evalua ión del Riesgo de Tsunamis en la costa de El Salvador (Fase I: Peligrosidad y Fase II Vulnerabilidad y Riesgo) ” ha sido ejecutado por IH Cantabria, con la participación de l DGOA del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturale y el Centro Nacional de Información Geográfica (IGN) del Minis erio de Fomento de España.

El objetivo del Proyecto en su Fase I fue evaluar la peligrosidad frente a tsunamis en la costa salvadoreña con el fin d predecir o pronosticar su comportamiento sobr todo en cuanto a la capacidad de destruir y/o causar daños, siendo este el primer paso para reducir el riesgo de tsunamis en la costa de El Salvador. En el estudio de peligrosidad se evalúan parámetros máximos de alturas de ola, pro undidad del agua, extensión espacial, zonas de arrastre de personas y mínimos tiempos de lleg da de un tsunami a la costa. Como resultado se obtienen mapas de peligrosidad (global) e inundación (local), el estudio de medidas preliminares de mitiga ión a nivel global y local, un programa de formación de técni os locales, y la trans eren ia tecnológica de herramientas numéricas y metodologías adaptadas al sistema costero salvadoreño, que permitir n a lo técnicos locale del MARN evaluar el riesgo frente a t unamis y aplicar dichas herramientas para el diseño de un futuro sistema de alerta local. Al finalizar esta primera fase (mayo 2011) se realizó una labor de difu ión de los resultados del pro ecto a través de talleres de v rios talleres a nivel nacional y local (talleres en San Sal ador, La Libertad, Acajutla y La Unión, en abril de 2011).

Lo resultados de la Fase I son la base para el desarrollo de la Fase II del proyecto donde se evalúa el riesgo ante tsunami en la costa de El Salvado , a través del análisis de la vulnerabilidad de las distintas dimensiones d l sistema cost ro e puesto (humana, socioeconómica, ambiental e infra estructuras) así como d impactos específicos en la comunidades costeras y en las edificaciones expuestas, que permi rán establecer medida de mitigación globales y locales frente a los tsunamis. Esta fase también cubre dos escalas de trabajo, realiz ndo un estudio a escal nacional para identificar las zonas con mayor riesgo las cuales son posteriormente analizada en detalle en el e tudio de e cala local. En e ta zonas e ha realizado asimi o un análisis, modelado y propuesta de rutas de evacuación en aso de tsunami. Todo esto permite identi fi ar las zonas más expuestas proporcionar a las comunidades costeras herramientas de gestión para la toma de deci iones preliminares respecto a medida de mitigación.

PROPÓSITO Y CONTENIDO DEL PRESENTE CATÁLOGO

Este documento recoge los mapas temáticos desarrollados en el Proyecto “Evaluación del Riesgo de Tsunami en la Costa de El Salvador Fase II: Vulnerabilidad y Riesgo”. El objetivo de este documento es dar una breve descripción de la metodología de ejecución de Proyecto, así como presentar algunos de los resultados obtenidos del mismo: mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo ante tsunami a escala global y local para tres áreas costeras de especial relevancia para El Salvador por su mayor riesgo: Costa Occidental, La Libertad y Bahía de Jiquilisco. Para mayores detalles del estudio, se remite al lector al informe final del proyecto, el cual recoge la metodología llevada a cabo y el análisis de resultados.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

En este proyecto han analizado los distintos componentes del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), en varias dimensiones (humana, ambiental, socioeconómica y de infraestructuras) en varias escalas espaciales (nacional y local), por eso es necesario ser riguroso en la presentación de los resultados para mantener un hilo conductor entre los mismos. Dada la cantidad de resultados obtenidos en este proyecto, este documento intenta presentar aquellos más relevantes para poder comprender la situación de las zonas costeras de El Salvador en relación a la amenaza de tsunami.

El documento se estructura de acuerdo a las escalas espaciales analizadas y, para cada una de ellas, a los resultados obtenidos para las diferentes dimensiones del tema costero. Así se presenta inicialmente el trabajo realizado a escala nacional para a continuación pasar a la escala de detalle, mostrando los resultados obtenidos para las tres zonas de estudio: Costa Occidental, La Libertad y Bahía de Jiquilisco. Para ambas escalas se presentan resultados específicos del Riesgo en cada una de las dimensiones analizadas así como una serie de Medidas de Mitigación. Para la escala local además se presenta una Medida de mitigación del riesgo humano muy específica: la planificación de la evacuación de la población. Se muestran en este apartado los mapas de rutas de evacuación y variables a tener en cuenta en caso de un evento de tsunami.

I FORMACIÓN BÁSICA SOBRE LOS TSUNAMIS

¿Qué es un tsunami?

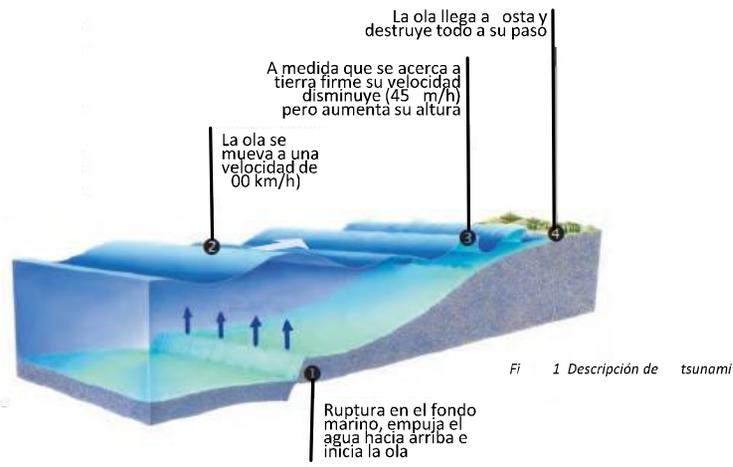
Un tsunami (del japonés *Ts* : puerto o bahía, *nami*: ola) es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente.

¿Cómo se origina un tsunami?

Un tsunami puede ser provocado por terremotos, volcanes, deslizamientos costeros o subterráneos, explosiones de gran magnitud o incluso meteoritos. Estas olas se propagan rápidamente en todas las direcciones desde su lugar de origen.

Un tsunami generalmente no es sentido por las embarcaciones en alta mar, ni puede verse desde una aeronave volando sobre el mar. En alta mar, las masas de agua que se desplazan, llegan a alcanzar altas velocidades con altura de olas muy pequeña, conforme el tsunami se acerca a la costa la ola pierde velocidad pero va aumentando su altura.

Normalmente, los tsunamis más devastadores son ocasionados por terremotos que dependiendo de la localización de su epicentro se han más o menos dañinos. **Cuanto más cerca esté el epicentro de la costa el tsunami tardará menos en alcanzar la costa dando lugar a un mayor daño ya que se dispone de menos tiempo para evacuar la zona.** Además, el caos generado por el terremoto dificultaría dicha evacuación. (Fuente : Ministerio del Interior Gobierno de España)



¿Cuánto tiempo tarda en llegar?

El tiempo de viaje de un tsunami puede oscilar entre unos minutos y varias horas. En el primer caso el tsunami es originado a partir de una fuente cercana a la costa (tsunamis locales), en el segundo caso el tsunami viaja cientos o miles de kilómetros desde el lugar de su origen (tsunamis lejanos).

¿Todos los sismos generan un tsunami?

Para que un sismo genere un tsunami es necesario:

1. Que el epicentro del sismo, o una parte importante de su zona de ruptura, esté bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 600 m (si es superficial).
2. Que ocurra en una zona de placas tectónicas, es decir que la falla tenga movimiento vertical y no sea solamente de desgarre con movimiento lateral, y
3. Que el sismo libere suficiente energía en cierto lapso de tiempo.

¿El Salvador ha sufrido tsunamis en el pasado?

En la costa pacífica de Centroamérica entre los años 1539 y 2012, se han registrado 42 tsunamis. El Salvador ha sido azotado por 15 de ellos entre 1859 y 2012, nueve de los cuales tuvieron lugar en el siglo XX y todos ellos generados por terremotos. Los tsunamis causados por terremotos locales son más frecuentes y severos que aquellos generados por terremotos lejanos o regionales.

Muchos de los eventos de tsunami pasados causaron pérdidas de vidas humanas y destrucción de infraestructuras y cultivos. Dos de ellos, en 1902 y en 1957, fueron especialmente destructivos, siendo los que más daños han causado en la historia de El Salvador (Fernández et al., 2004): el tsunami de 1902, el más devastador, fue originado por un terremoto de magnitud 7.0 (Ms) localizado frente a la costa de El Salvador y Guatemala y afectó a la zona oriental del país causando alrededor de 200 muertes y daños materiales importantes, abarcando 120 kilómetros de costa aproximadamente. El tsunami de 1957 causó daños en toda la costa del país, causando pérdida humana e importantes daños en el puerto de Acajutla. En 1999 se produjo un importante tsunami en Nicaragua, considerado el más grande ocurrido en Centroamérica, sin embargo su amplitud al llegar a la costa de El Salvador fue pequeña y apenas causó daños (Fernández et al., 2004). El más reciente, aunque de menor magnitud, ocurrió en agosto de 2012 afectando la Bahía de Jiquilisco.

CÓMO CALCULAR EL RIESGO ANTE TSUNAMI EN LA COSTA DE EL SALVADOR

La metodología desarrollada para calcular el Riesgo ante tsunami requiere analizar detalladamente las distintas dimensiones, escalas y componentes del riesgo.

Las zonas costeras han sido siempre foco de desarrollo de civilizaciones por ser fuente fundamental de alimento y materias primas, elemento estratégico de transporte y comercio así como de ocio y recreación. Se trata de sistemas complejos que entrelazan sus funciones naturales de protección y hábitat con aquellas funciones derivadas de la actividad humana, y cuyo manejo debe considerar todas sus funciones para no desarrollar unas en detrimento de las otras. En el ámbito de los riesgos naturales es esencial analizar el sistema costero aplicando un **enfoque integrado**, para poder prever los impactos en las distintas dimensiones así como las sinergias entre los mismos. Este trabajo aplica este enfoque integrado para el cálculo del riesgo, considerando las cuatro dimensiones mostradas en la Figura 2.



Figura 2. Dimensiones del Riesgo

Los elementos en riesgo varían en función del espacio y del tiempo ya que ambos factores modifican la cantidad, tipo de elementos expuestos, así como su vulnerabilidad. Por lo tanto, se consideran en este proyecto distintas escalas espaciales y temporales para el cálculo del riesgo.

Así, respecto a la **escala espacial** (Figura 3), el estudio incluye una evaluación del riesgo a escala nacional que incluye los 29 municipios costeros, y otra a escala local que se centra en 10 municipios: los ubicados en la Costa Occidental (San Francisco Menéndez, Jujula y Acajutla), La Libertad y lo que componen Bahía de Jiquilisco (Jiquilisco, Puerto El Triunfo, San Dionisio, Concepción Batres, Usulután, Jucuarán). La **escala temporal** considera en el sistema humano los movimientos poblacionales debidos a patrones ocasionales (semana santa, festividades agostinas, vacaciones navideñas, etc.), y en el sistema ambiental patrones migratorios o época de cría/nidificación en los estudios a nivel local.

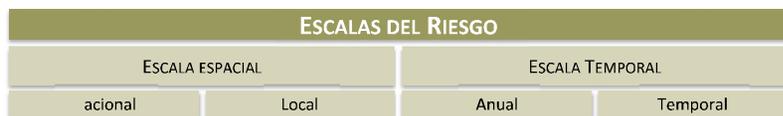


Figura 3. Escalas del Riesgo

Establecidas las dimensiones y las escalas a analizar, es necesario calcular las distintas **componentes** del Riesgo (Figura 4). Este apartado se presenta detallado en los siguientes capítulos.

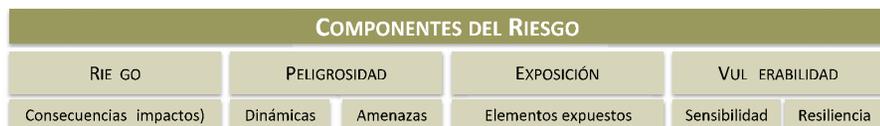


Figura 4. Componentes del Riesgo

Cálculo de la Peligrosidad

Se define Peligrosidad como la característica de un evento o fenómeno físico potencialmente dañino que puede ocasionar pérdidas de vida o lesiones personales, en propiedades, trastornos sociales y económicos o degradación ambiental (UN/ISDR, 2004).

CARACTERIZACIÓN DE ESCENARIOS DE TSUNAMI. Para analizar la amenaza que supone un posible evento de tsunami en la costa de El Salvador se han caracterizado una serie de escenarios asociados a los peores casos "creíbles" de tsunamis generados en fuentes sísmicas de origen cercano, regional y lejano.

- Para los tsunamis de origen cercano se han caracterizado los tsunamis que corresponden al terremoto de máxima magnitud que se puede generar en cada fuente, el cual se propaga en condiciones de nivel del mar de pleamar viva equinoccial (condición más desfavorable). Aunque en todos los peores escenarios son de baja probabilidad de ocurrencia, permiten estar del lado de la seguridad en cuanto a máximas cotas de inundación y alturas de ola posibles en la zona.
- Para la fuente regionales lejanas, denominaremos caso creíble a aquel que se basa en un evento histórico de terremoto de gran magnitud proximidad a esa fuente.

PROPAGACIÓN DE ESCENARIOS. Posteriormente se procede a la propagación de estos escenarios de tsunami mediante el modelo numérico C3 (CANTABRIA COMCOT, TSUNAMI-CLAW), desarrollado por el IH Cantabria. Este modelo requiere de unas mallas generadas a partir de la topografía, sobre las cuales se generan los distintos escenarios de tsunami, y se propagan desde la fuente hacia la costa.

MAPAS DE PELIGROSIDAD. El producto final es una serie de mapas de peligrosidad basados en la caracterización de escenarios asociados a los peores casos "creíbles" de tsunamis de origen cercano, regional y lejano, que combinan en un solo mapa los 3 peores casos "creíbles": Estos mapas, presentados en el **CATÁLOGO DE MAPAS DE PELIGROSIDAD E INCUBACIÓN POR TSUNAMIS EN LA COSTA DE EL SALVADOR** (2011), analizan lo siguiente:

- Altura máxima de ola en el mar (m)
- Área inundada en tierra (m²)
- Profundidad máxima de la inundación en tierra (m)
- Velocidad de la lámina de agua (m/s)
- Tiempo mínimo de viaje de tsunami (minutos)

Cálculo de la Exposición y Vulnerabilidad

Una vez calculada la Peligrosidad y conocida el área que se vería afectada, se identifican los elementos expuestos y se analizan sus características para identificar aquellos más vulnerables a la amenaza.

CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN. La Exposición se define como los elementos en riesgo, inventario de aquellas personas o elementos expuestos a un peligro en una zona y periodo de tiempo determinados (adaptado de UN/ISDR, 2004). Se han identificado por tanto todos los elementos ubicados en el área potencialmente inundable por un gran tsunami, incluyendo personas, ecosistemas, actividades socioeconómicas, infraestructuras y edificaciones y viviendas.

CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD. La Vulnerabilidad se define como las condiciones y características de los elementos expuestos a la amenaza que les hacen más susceptibles de sufrir los impactos negativos de la misma (UN/ISDR, 2009) y que, en definitiva, pueden implicar una mayor o menor afección al sistema. La vulnerabilidad es determinada por factores y procesos físicos, ambientales, sociales, económicos administrativos. En evaluaciones probabilísticas/cuantitativas del riesgo como es el caso de este estudio, el término Vulnerabilidad expresa el porcentaje de elementos expuestos que es probable que se pierdan debido a una determinada amenaza. El análisis de la Vulnerabilidad de los elementos expuestos incluye lo siguiente:

- **EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD**, definida como el grado de afección que puede generar la amenaza en los elementos expuestos, siendo una cualidad intrínseca al sistema y función de las características naturales de esos elementos y del umbral a partir del cual se produce el impacto objeto de estudio.
- **EVALUACIÓN DE LA RESILIENCIA**, definida como la capacidad de un sistema expuesto a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse del impacto de una manera oportuna y eficiente, a través de la preservación y restauración de sus funciones y estructuras básicas esenciales (UN/ISDR, 2009). El análisis de la Resiliencia requiere estudiar dos factores, uno pre-desastre y otro post-desastre:
 - la *Capacidad de Respuesta*, definida como los medios disponibles por las comunidades para la utilización de recursos y habilidades que permitan hacer frente a las consecuencias adversas que pudiera provocar un desastre natural (UN/ISDR, 2004).
 - la *Capacidad de Recuperación*, definida como la capacidad del sistema para recuperarse posteriormente al desastre.

La siguiente tabla (Figura 5) muestra el set de indicadores utilizado para calcular la exposición y vulnerabilidad de cada una de las dimensiones.

		INDICES	INDICADORES	VARIABLES	ESCALA ESPACIAL
EXPOSICIÓN		Eposición Humana (IEH)	EH1 POBLACION EXPUESTA	Población permanente expuesta Población temporal expuesta	- L - L
		Exposición Ambiental (IEA)	EA1 ECOSISTEMAS EXPUESTOS	Ecosistemas expuestos	- L
		Exposición Socioeconómica (IE)	ES1 ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS	Actividades socioeconómicas expuestas	- L
		Exposición de Infraestructuras (IEI)	EI1 INFRAESTRUCTURAS EXPUESTAS	Infraestructuras expuestas	- L
EI2 EDIFICACIONES EXPUESTAS	Edificaciones expuestas		L		
VULNERABILIDAD	SENSIBILIDAD Humana (ISH)	Sensibilidad Humana (ISH)	SH1 GRUPOS DE EDAD SENSIBLES	Personas menores de 10 años Personas mayores de 65 años	- L - L
			SH2 ALABETISMO	Personas analfabetas	- L
			SH3 POBREZA	Personas en pobreza extrema	- L
			SH4 CAPACIDADES ESPECIALES	Personas con limitación física y/o mental	L
			SH5 AISLAMIENTO	Personas aisladas	L
			SH6 EVACUACIÓN CRÍTICA	Personas en edificaciones críticas	L
	SENSIBILIDAD Ambiental (IA)	Sensibilidad Ambiental (IA)	SA1 PROTECCIÓN	Ecosistemas protegidos	- L
			SA2 SINGULARIDAD	Ecosistemas singulares	- L
			SA3 AMENAZA	Elementos amenazados	- L
			SA4 ALTERACION	Elementos alterados	L
	SENSIBILIDAD Socioeconómica (IS)	Sensibilidad Socioeconómica (IS)	SS1 GENERACIÓN DE EMPLEO	Generación de empleo	- L
			SS2 APORTACIÓN AL PIB	Aportación al PIB	- L
			SS3 APORTACIÓN AL COMERCIO EXTERIOR	Aportación al comercio exterior	- L
	SENSIBILIDAD de Infraestructuras (ISI)	Sensibilidad de Infraestructuras (ISI)	S11 INFRAESTRUCTURA SENSIBLE	Infr. de abastecimiento de agua	- L
				Infr. de transporte	- L
				Infr. peligrosas	- L
Infr. de emergencia				- L	
S12 EDIFICACIONES CRÍTICAS	Edificaciones críticas	L			
S13 EVACUACIÓN VERTICAL	Edificaciones con menos de 3 pisos	L			
S14 MATERIALES	Edificaciones materiales no resistentes	L			
RESILIENCIA	RESILIENCIA (IR)	Reiliencia (IR)	IR1 CAPACIDAD DE RESPUESTA	Información y Concienciación Alerta y Evacuación	- L - L
			IR2 CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN	Respuesta de Emergencia Recuperación Post-desastre	- L - L

Figura 5.1 Indicadores de exposición y vulnerabilidad

N = Nacional
L = Local

Cálculo del Riesgo y Propuesta de Medidas de Mitigación

Riesgo se define como probabilidad de consecuencia dañinas, o pérdidas esperadas que resultan de las interacciones entre los peligros y las condiciones de vulnerabilidad existentes (UNISDR, 2004). Dada la complejidad de las zonas costeras el cálculo del Riesgo se enfoca a priori a unas consecuencias negativas determinadas del evento, que serán expresadas en términos de **Impactos** humano, ambientales, sociales, económico, etc. (por ejemplo, riesgo de pérdida de vidas humana, riesgo de afección a ecosistemas, etc.).

Dado que se está trabajando con distintos componentes del riesgo y con varias dimensiones costeras, en este trabajo se presentan dos tipos de resultados (Figura 6):

- RESULTADOS PARCIALES (de manera separada para cada componente y dimensión)
- RESULTADOS AGREGADOS (combinando todas las dimensiones).

Así podemos analizar la Sensibilidad Humana de una zona determinada, o la Sensibilidad Agregada que integra todas las dimensiones. De la misma manera podemos analizar los Riesgos parciales o el Riesgo agregado.

Los resultados de Riesgo en cada una de las dimensiones como los resultados del análisis de Resiliencia permite identificar diferentes Medidas de Mitigación.

	PELIGROSIDAD	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD		RIESGO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
			SENSIBILIDAD	RESILIENCIA		
RESULTADOS PARCIALES INUNDACIÓN ARRASTRE		E_H	S_H		R_H	MM_H
		E_A	S_A		R_A	MM_A
		E_{SE}	S_{SE}		R_{SE}	MM_{SE}
		E_{INF}	S_{INF}		R_{INF}	MM_{INF}
RESULTADOS AGREGADOS			$S_{AGREGADA}$	RES		MM_{RES}
	P	E_{AGREGADA}	V		R_{AGREGADO}	MM

Figura 6. Cálculo del riesgo y Propuesta de Medidas de Mitigación

Fuentes de Información

Los datos para el cálculo de todos los indicadores mostrados en la siguiente tabla (Figura 7) provienen de las siguientes fuentes de información:

FUENTES DE INFORMACIÓN	
DATOS OBTENIDOS	FUENTES
Exposición y Sensibilidad Humana	DIGESTYC: Censo 2007 Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM2011)
	Ministerio de Turismo (MITUR)
	La Libertad: Área de Promoción Social de la Alcaldía, Catastro de la Alcaldía, Protección Civil
	Campaña de Campo
Exposición y Sensibilidad Ambiental	PACAP, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
Exposición y Sensibilidad Socioeconómica	DIGESTYC: Censo 2007
	Banco Central de Reserva (BCR)
	Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANADA)
	Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CHEL)
Exposición y Sensibilidad De Infraestructuras	Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma (CEPA)
	DIGESTYC: Censo 2007
	Ministerio de Obras Públicas (MOP)
	Ministerio de Economía (MINEC)
	DEPESA
	Fuerza Naval
	Ministerio de Turismo (MITUR)
Campaña de Campo	
Resiliencia	Protección Civil

Los resultados de este estudio están supeditados a los datos disponibles y suministrados por las administraciones correspondientes. En algunos casos esta información se ha complementado con datos levantados en campo.

ESTRUCTURA DEL CATÁLOGO

El objetivo de este catálogo es presentar los resultados del proyecto ordenados de tal manera que, de una forma sencilla, se pueda obtener respuesta a preguntas que son de interés tanto para la población de las zonas analizadas como para los técnicos encargados de la gestión de desastres en el país.

El documento se estructura de acuerdo a las escalas espaciales analizadas y a los resultados obtenidos para las diferentes dimensiones del sistema costero. Así se presenta inicialmente el trabajo realizado a escala nacional para a continuación pasar a la escala de detalle, mostrando los resultados obtenidos para las tres zonas de estudio: Costa Occidental, La Libertad y Bahía de Jiquilisco.

La información ofrecida en este catálogo se organiza de manera distinta para los análisis nacional y local. Se detalla a continuación la estructura de ambos catálogos.

CATÁLOGO NACIONAL: *Análisis de Riesgo a Escala Nacional*

El objetivo del análisis de Riesgo a escala nacional es **identificar las zonas costeras del país sometidas a un mayor riesgo ante tsunamis para poder realizar en ellas un estudio de mayor detalle.**

Este análisis, realizado para los 29 municipios costeros del país, ha seguido la metodología mostrada en anteriores capítulos:

- **ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD**
- **ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD**
 - Análisis de la Sensibilidad para cada una de las dimensiones
 - Análisis de la Resiliencia
- **ANÁLISIS DEL RIESGO**

La información ofrecida en este catálogo para el análisis nacional se organiza mediante un código de colores asociado a estos tres análisis. Para cada uno de estos análisis y código de color el catálogo da respuesta a una serie de preguntas clave, rele antes tanto para el tomador de decisiones como para las comunidades ubicadas en zonas expuestas a la acción de un gran tsunami.

La estructura de presentación de resultados, el código de colores asociado y las preguntas a las que responde el Catálogo Nacional se muestra en la siguiente Figura 8:

PREGUNTAS A LAS QUE RESPONDE EL CATÁLOGO NACIONAL

PELIGROSIDAD

1. ¿Por qué se realizó un análisis de la amenaza por tsunami en el nacional? ¿Cómo se hace?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre el análisis nacional y un análisis de detalle de un municipio?

SENSIBILIDAD HUMANA

3. ¿En qué municipios se encuentra la población más sensible frente al impacto de un gran tsunami?
4. ¿Cómo es de sensible la población expuesta?

SENSIBILIDAD AMBIENTAL

5. ¿Qué zonas y municipios sufrirían un mayor impacto ambiental en caso de un gran tsunami?
6. ¿Cómo son de sensibles los ecosistemas expuestos?

SENSIBILIDAD SOCIOECONÓMICA

7. ¿Qué municipios son más sensibles a la pérdida de actividades socioeconómicas debido a un gran tsunami?
8. ¿Cómo son de sensibles las actividades expuestas?

SENSIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURAS

9. ¿Qué municipios son más sensibles al impacto en infraestructuras debido a un gran tsunami?
10. ¿Qué infraestructuras esenciales se pueden ver afectadas en los municipios costeros?

RESILIENCIA

11. ¿Qué municipios tienen una menor Resiliencia frente a un gran tsunami? ¿Por qué están menos preparados ante un evento de tsunami que otros municipios?

RIESGO

12. ¿Con base en los resultados de riesgo nacional, en qué zonas es necesario hacer un estudio de detalle?

CATÁLOGOS LOCALES: Análisis de Riesgo a Escala Local

El análisis nacional ha permitido identificar las zonas costeras del país sometidas a un mayor riesgo ante tsunamis para poder realizar en ellas un estudio de mayor detalle.

Así, se han identificado como zonas de interés las siguientes:

- **COSTA OCCIDENTAL**, que incluye los municipios de San Francisco Menéndez, Jujutla y Acajula,
- **LA LIBERTAD**
- **BAHÍA DE JIQUILISCO**, que incluye los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, San Dionisio, Concepción Bares, Usulután, Jucuarán

Para cada una de estas tres zonas se ha elaborado un catálogo que resume los principales resultados. La información ofrecida en este catálogo se organiza mediante un código de colores asociado a temáticas específicas. Para cada una de estas temáticas el catálogo da respuesta a una serie de preguntas clave, relevantes tanto para el tomador de decisiones como para las comunidades ubicadas en zonas expuestas a la acción de un gran tsunami.

La Figura 9 resume las temáticas tratadas en este catálogo y las preguntas sobre cada zona de estudio a las que responde.

PREGUNTAS A LAS QUE RESPONDE EL CATÁLOGO LOCAL

PELIGROSIDAD

1. ¿Hasta dónde llegaría el agua en el caso del peor tsunami?
2. ¿Cuáles son las zonas que serían más afectadas por el impacto de un gran tsunami?
3. ¿Qué zonas tienen más peligro para las personas?
4. ¿Cuántas personas están en los distintos niveles de arrastre?

RIESGO HUMANO

5. ¿En qué zonas se encuentra la población con mayor riesgo frente al impacto de un gran tsunami?
6. ¿Cómo es la población que está expuesta al impacto de un gran tsunami?

RIESGO AMBIENTAL

7. ¿Qué ecosistemas se serían afectados en caso de un gran tsunami?
8. ¿Cómo afectaría la pérdida de ecosistemas a los modos de vida de las comunidades?
9. ¿Cómo pueden ayudarnos los ecosistemas a mitigar el impacto de un gran tsunami?

RIESGO SOCIOECONÓMICO

10. ¿Qué actividades de la región se verían más afectadas por el impacto de un gran tsunami?
11. ¿Qué implicaría la pérdida de esas actividades en la economía de las familias del país?

RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

12. ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en infraestructuras esenciales como industrias, carreteras, pozos de agua, centrales de generación de energía, etc.?
13. ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en la infraestructuras necesarias para la emergencia (bomberos, Protección Civil, etc.)?
14. ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en edificaciones que albergan un gran número de personas (centros de salud, escuelas, geriátricos, hospitales, etc.)?

RIESGO EN EDIFICACIONES

15. ¿Son resistentes a un tsunami las edificaciones y viviendas de la zona? ¿Cuál sería el impacto en ellas?
16. ¿Qué viviendas de la zona resistirían mejor el impacto de un gran tsunami?

EVACUACIÓN

17. ¿Cuánto tiempo tardaría en llegar un gran tsunami local a la costa?
18. ¿A dónde debería dirigirse la población si recibe un mensaje de alerta por tsunami?
19. ¿Cuáles son las rutas óptimas de evacuación?

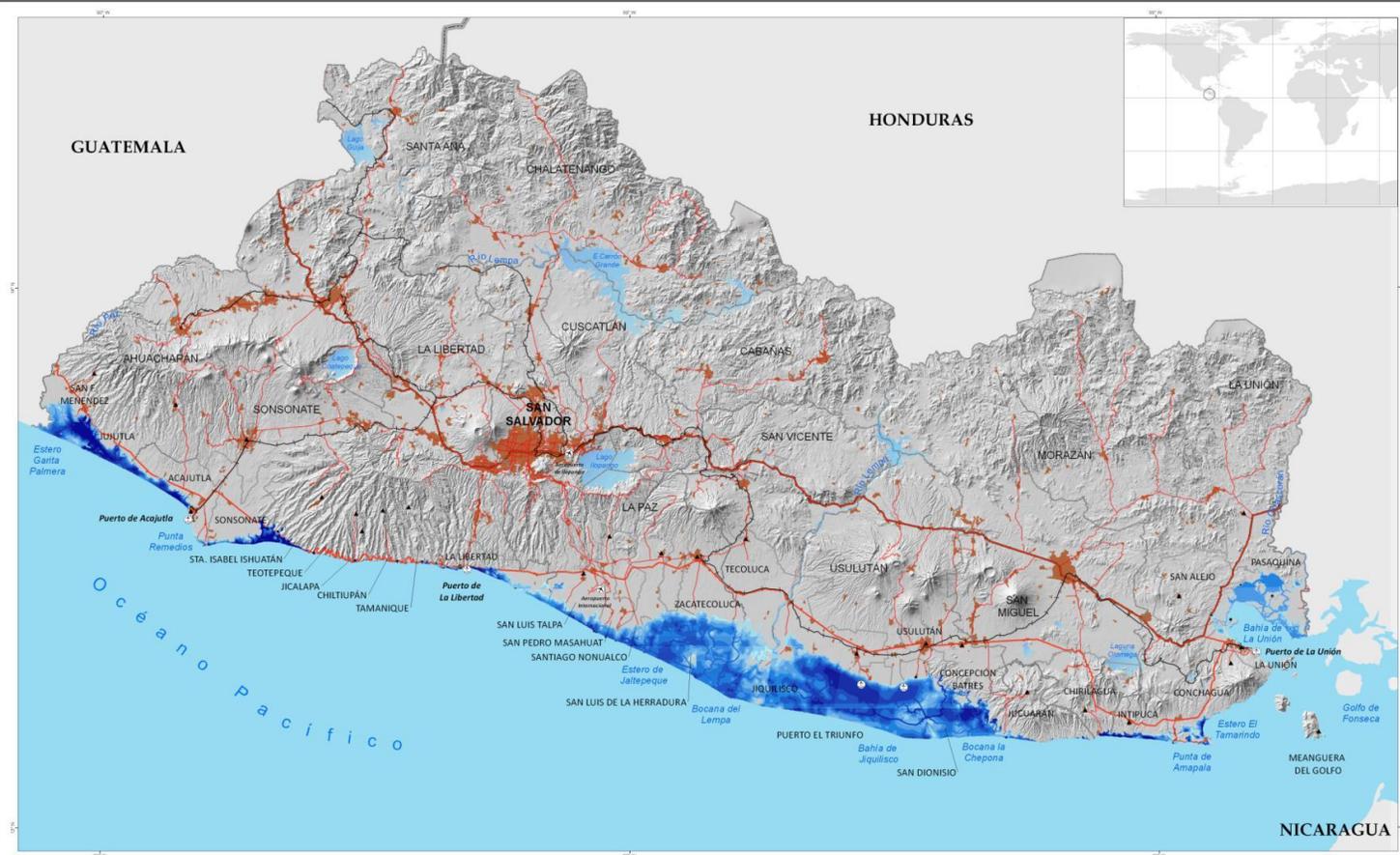
Figura 9. Estructura del Catálogo Local por temas y zonas de estudio.



ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI

ESCALA NACIONAL

LA AMENAZA DEL TSUNAMI



Proyecto Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador	Mapa Peligrosidad Profundidad de la Inundación	Escala 1:700.000	Leyenda <ul style="list-style-type: none"> Tejido Urbano Cabecezas Municipales (costeras) Cantones Esquemas Área Inundada Límites Departamentales Límites Municipales Costeros Vías de Comunicación Principales Autopista Panamericana Vía Ferrocarril Aeropuerto / Puerto 	Profundidad de la Inundación 5.0 metros 0 -1 metros Área inundada y profundidad estimada a partir de la formulación matemática de Synolakis
Logos de colaboradores: IH cantabria, FUNCIÓN, UC, GOBIERNO DE ESPAÑA, MINISTERIO DE FOMENTO, aacid, EL SALVADOR		Proyección Lambert Conformal Conic North American Datum 1927		

PROFUNDIDAD DE LA INUNDACIÓN

Para analizar la amenaza que supone un posible evento de tsunami en la costa de El Salvador se han desarrollado una serie de mapas de peligrosidad basados en la caracterización de escenarios asociados a los peores casos "creíbles" de tsunamis de origen cercano, regional y lejano. Los mapas de peligrosidad que se presentan en este documento combinan en un solo mapa los 23 peores casos "creíbles".

Obtenido el peor caso creíble de tsunami, se analiza lo siguiente:

- Altura máxima de ola en el mar (m)
- Área inundada en tierra (m²)
- Profundidad de la inundación en tierra (m)
- Velocidad de la lámina de agua (m/s)
- Tiempo mínimo de viaje de tsunami (minutos)

? ¿Para qué sirve realizar un análisis de la amenaza por tsunami a nivel nacional? ¿Cómo se hace?

El análisis de peligrosidad y riesgo ante tsunami a escala nacional sirve para identificar los posibles puntos críticos del país y realizar un estudio de detalle con información de alta resolución en los mismos.

Como se parte de datos e información de distinta resolución en las dos escalas, la metodología para el análisis es distinta:

- el análisis nacional se realiza mediante una formulación empírica que calcula la altura del tsunami en costa y proyecta esa altura tierra adentro.
- El análisis local se realiza mediante modelado numérico, calculando de esa forma la inundación por tsunami y sus características en cada punto de la costa.



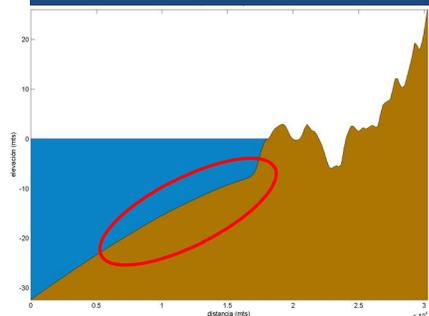
¿Cuáles son las diferencias entre el análisis nacional y un análisis de detalle de un municipio?

Para calcular la inundación a **ESCALA NACIONAL** NO se ha realizado un modelado numérico sino que se ha aplicado una **formulación empírica** similar a la de Synolakis (1987) que emplea coeficiente ajustado a El Salvador, y que calcula la altura del tsunami en costa proyecta esa altura tierra adentro. Esto se debe a la **NO** disponibilidad de topobatemetría de gran resolución a lo largo de toda la costa de El Salvador.

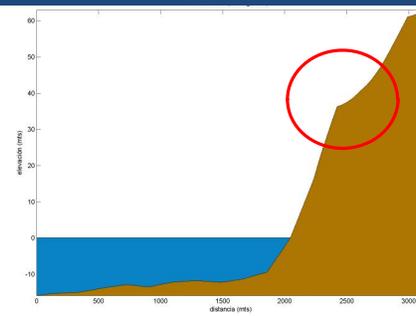
Esto implica que los resultados de área inundada a nivel nacional sean una estimación para identificar las zonas que potencialmente están bajo mayor riesgo y consecuentemente realizar estudios de detalle en las mismas.

En los estudios de detalle a **ESCALA LOCAL**, sin embargo, se aplican **modelos numéricos** gracias a la existencia de topobatemetría de mejor resolución espacial.

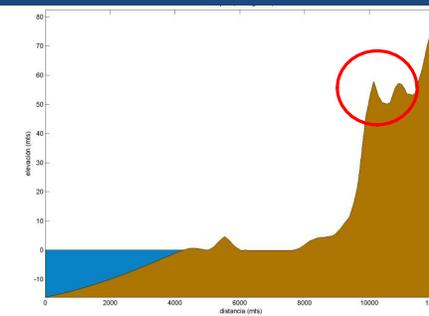
ANÁLISIS A ESCALA NACIONAL: Topobatemetría de baja resolución



Con topobatemetría de baja resolución (la que existe para todo el país) las pendientes en la costa son continuas, lo que provoca una rotura progresiva de la ola, llegando a costa con una altura importante e inundando una gran superficie.

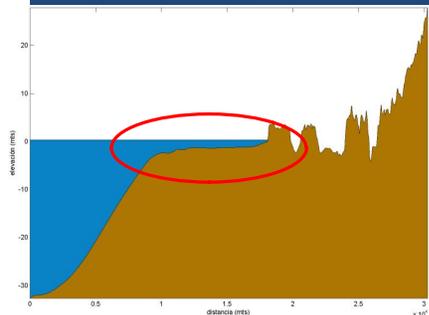


Con topobatemetría de baja resolución el modelo utiliza interpolaciones para generar datos en aquellas zonas en las que no los tiene. Estas interpolaciones arrojan puntos aproximados.

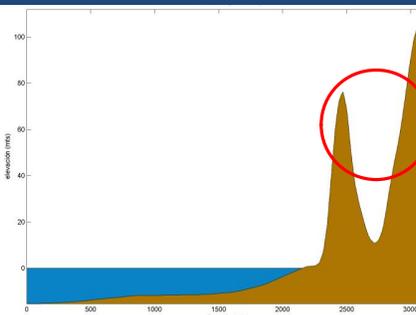


Con topobatemetría de baja resolución, al tener menos puntos, el modelo no es capaz de representar algunas singularidades de la costa.

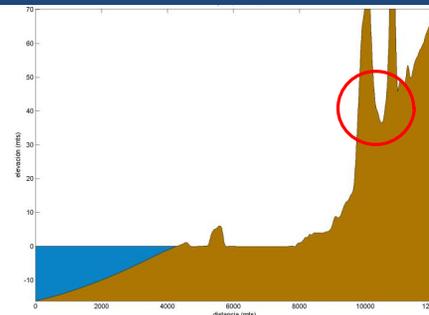
ANÁLISIS A ESCALA LOCAL: Topobatemetría de alta resolución



La topobatemetría de alta resolución muestra mayor detalle en la morfología de la costa por lo que se pueden modelar correctamente el comportamiento de la ola de tsunami. Se detectan por ejemplo las plataformas costeras que provocan la rotura de la ola en su comienzo, llegando a la costa con mucha menos altura y fuerza, y por ello inundando bastante menos que en el caso anterior.



Con topobatemetría de alta resolución, elaborada con más datos y de mejor calidad el modelo es capaz de representar zonas con datos reales, no interpolados.



Con topobatemetría de alta resolución el modelo es capaz de representar las singularidades de la costa.

Figura 2. Diferencias entre el uso de la información a nivel nacional y local.

SENSIBILIDAD HUMANA FRENTE A TSUNAMIS

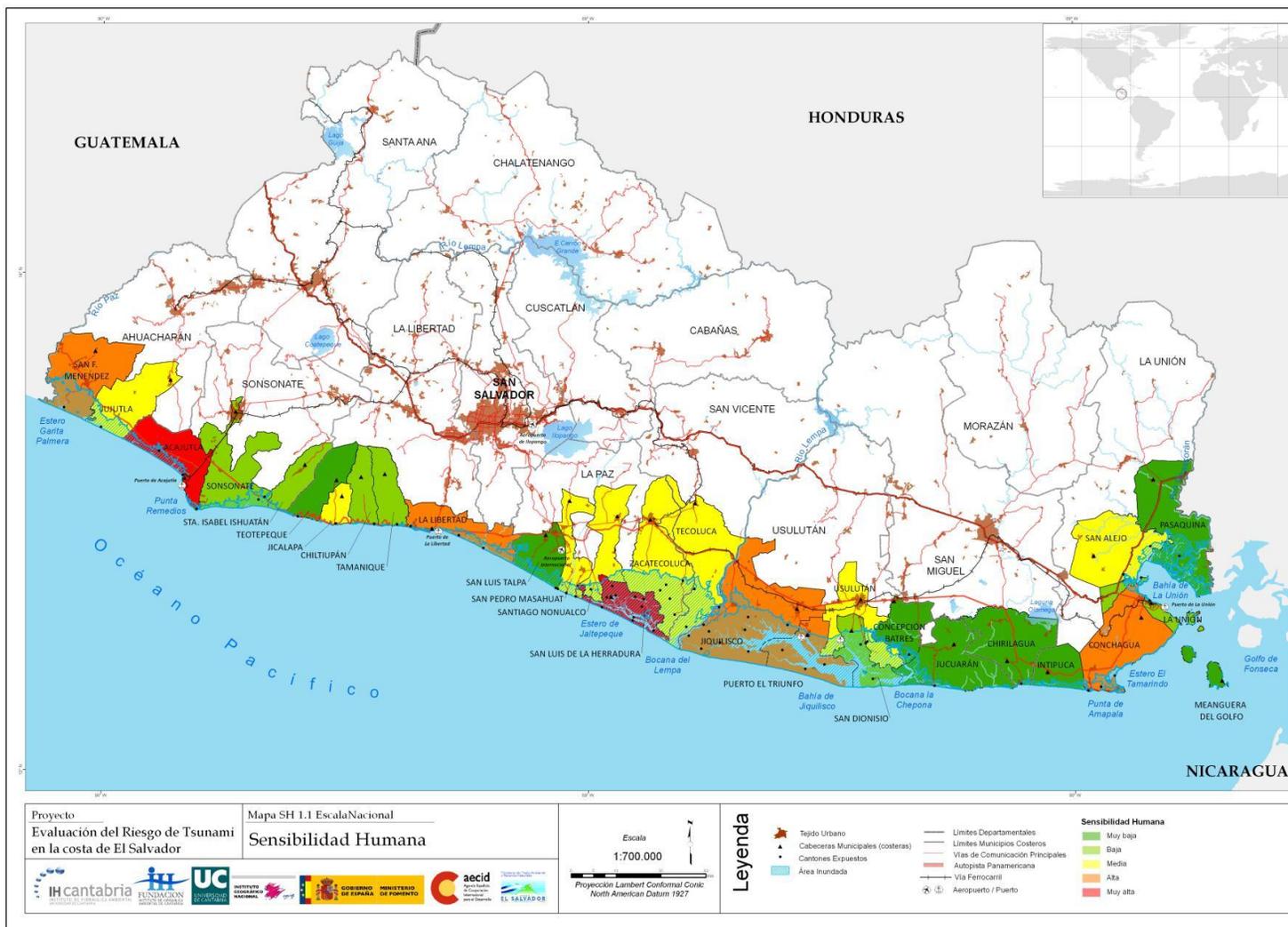


Figura Nac-3. Res o Hum o e Costa Occi ent l

SENSIBILIDAD DE LAS POBLACIONES COSTERAS FRENTE A UN TSUNAMI

Identificada la zona que podría quedar inundada por un tsunami se puede conocer el número de personas que están en zonas expuestas y las características que les hacen más o menos sensibles frente a un evento de tsunami.

La sensibilidad de las personas se ha evaluado atendiendo a los siguientes factores:

- La población con movilidad reducida, que incluyen ancianos, niños, y personas con necesidades especiales (limitación física y/o mental).
- La población que no es capaz de entender un mensaje de alerta (bien por no saber leer, tener alguna limitación mental o no hablar el idioma, por ejemplo).
- La población con menores ingresos, pues tendrán mayores dificultades para recuperarse del impacto (ej. reconstruir su casa, sobrevivir un tiempo desempleado, sostener a la familia, emigrar, etc.), muy probablemente no engañen sus bienes asegurados, y viven en zonas más precarias, sus viviendas sean de peores materiales, etc.

? ¿En qué municipios se encuentra la población más sensible frente al impacto de un gran tsunami?

La Figura Nac-3 muestra los resultados de Sensibilidad Humana en El Salvador, y considera (1) el área inundada, (2) el número de habitantes y puestos, y (3) su sensibilidad. La zona con mayor población sensible son Acajutla y San Luis de la Herradura (sensibilidad muy alta), seguidos por Francisco Menéndez, La Libertad, Jiquilisco, Puerto El Triunfo y Conchagua (sensibilidad alta).

¿Cómo es de sensible la población expuesta?

Las Figuras Na -4 a 6 muestran el número de personas por municipio cuyas características hacen que la población sea más o menos sensible a un evento de tsunami mostrando de manera separada el número de personas en edades sensibles (ac-4), analfabeta (ac-5) o en condiciones de pobreza extrema (ac-6). La gráfica Nac-7, que engloba toda la información, muestra que Acajutla y San Luis de la Herradura tienen mayor número de población expuesta y que es muy sensible en los tres factores, sobretodo en términos de edad sensible. La gráfica permite analizar las condiciones de las personas expuestas y planificar medidas de mitigación adecuada.

DIMENSIÓN HUMANA – Escala nacional			
Í DICE	Í DICADORES	VARIABLES	
Exposición Humana (IEH)	EH1	POBLACIÓN EXPUESTA	Personas expuestas
Sensibilidad Humana (ISH)	SH1	GRUPOS DE EDAD SENSIBLE	Personas expuestas menores de 10 años Personas expuestas mayores de 65 años
	SH2	ANALFABETISMO	Personas expuestas analfabetas
	SH3	POBREZA	Personas expuestas en condiciones de pobreza extrema

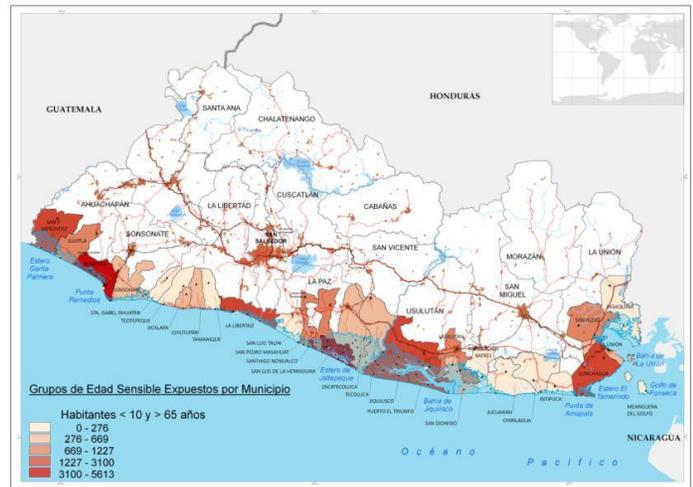


Figura ac-4. Sensibilidad humana: grupos de edad sensible

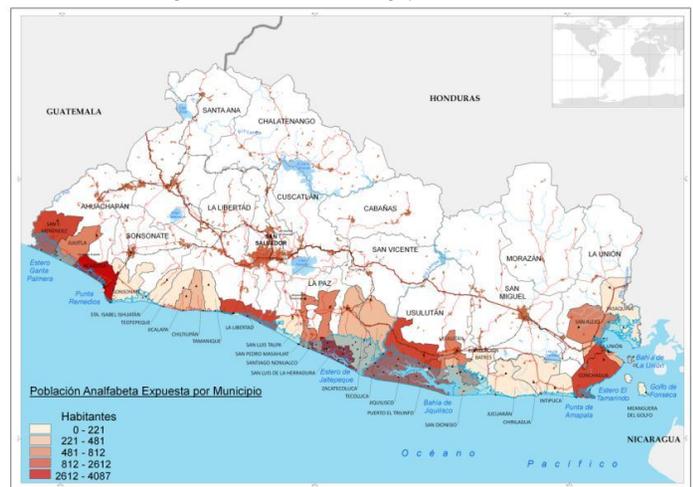


Figura ac-5. Sensibilidad humana: analfabetismo

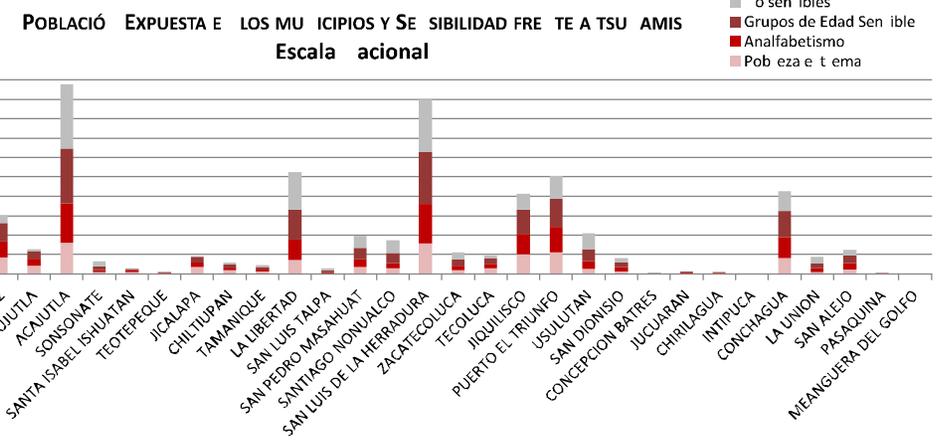


Figura Nac-7. Exposición Sensibilidad a tsunamis en la costa de El Salvador.

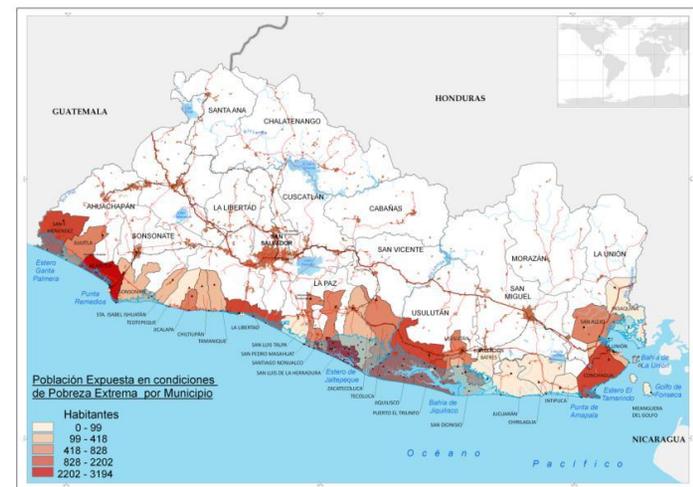


Figura Nac-6. Sensibilidad humana: pobreza extrema

SENSIBILIDAD AMBIENTAL FRENTE A TSUNAMIS

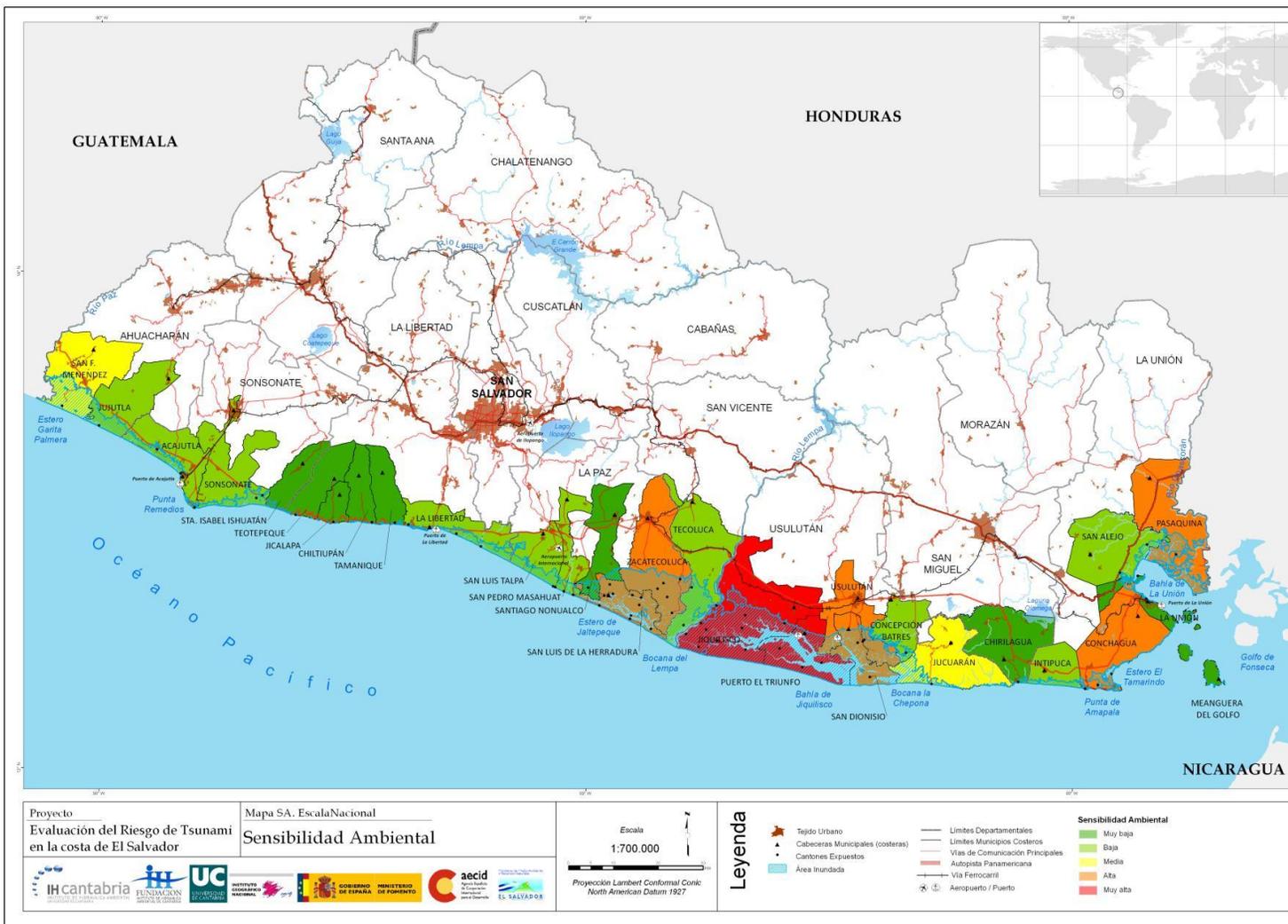


Figura Na -8. Sensibilidad ambiental de los municipios de El Salvador

SENSIBILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS COSTEROS FRENTE A UN TSUNAMI

Para evaluar el impacto ambiental de un tsunami en la Costa Occidental se han analizado los ecosistemas especialmente sensibles a la amenaza, entendidos como:

- **ecosistemas resilientes**, que están bajo figuras de protección ambiental, ocupan un limitado área a nivel nacional o son base del sustento local.
- **ecosistemas frágiles** en los que una pequeña intervención de carácter terna puede desencadenar una serie de alteraciones irreversibles del ecosistema. Dentro de este grupo se han incluido los ecosistemas amenazados.

¿Qué zonas y municipios sufrirían un mayor impacto ambiental en caso de un gran tsunami?

El Salvador posee una gran riqueza en términos de biodiversidad. Considerando (1) el área inundada por tsunami, (2) el área de ecosistema y puestos, y (3) su sensibilidad, se obtiene el mapa de la Figura Na-8. Este mapa muestra que las zonas más críticas son bahía de Jiquilisco, Estero de Jaltepeque, Conchagua y Pasajina.

Dentro de esas zonas, son especialmente relevantes los siguientes municipios: Puerto El Triunfo Jiquilisco con una sensibilidad Muy Alta, San Luis de la Herradura, Zacatecoluca, Usulután, San Dionisio, Conchagua y Pasajina con sensibilidad Alta. Tras ellos, San Francisco Menéndez y Jucarán con sensibilidad Media.

¿cómo son de sensibles los ecosistemas expuestos?

Las Figuras Nac-9 a 11 muestran el área de ecosistemas expuestos por municipio cuyas características hacen al municipio más o menos sensible ambientalmente a un evento de tsunami, mostrando de manera separada el área de ecosistemas expuestos que están bajo alguna figura de protección ambiental (Nac-9), singulares (Nac-10) o amenazados (Nac-11). La gráfica Nac-12, que engloba toda la información, muestra en un solo gráfico el área expuesta y en verde sensible: los municipios del Estero de Jaltepeque y Bahía de Jiquilisco tienen mucho área de ecosistemas expuesta (60-100 km², y 225 km² Jiquilisco). Todo el área expuesta en estas dos zonas (excepto en Jiquilisco y Zacatecoluca) es muy sensible a un evento de tsunami.

DIMENSIÓN AMBIENTAL – Escala nacional			
INDICADOR	INDICADORES	VARIABLES	
Exposición ambiental (IEA)	EA1	ECOSISTEMAS EXPUESTOS	Área de ecosistemas expuestos
Sensibilidad Ambiental (ISA)	A1	PROTECCIÓN	Área de ecosistemas expuestos protegidos
	SA2	SINGULARIDAD	Área de ecosistemas expuestos singulares
	SA3	AMENAZA	Área de ecosistemas expuestos amenazados



Figura Nac-9. Sensibilidad ambiental: ecosistemas protegidos



Figura Nac-10. Sensibilidad ambiental: ecosistemas singulares (líneas rojas y verdes en paréntesis)

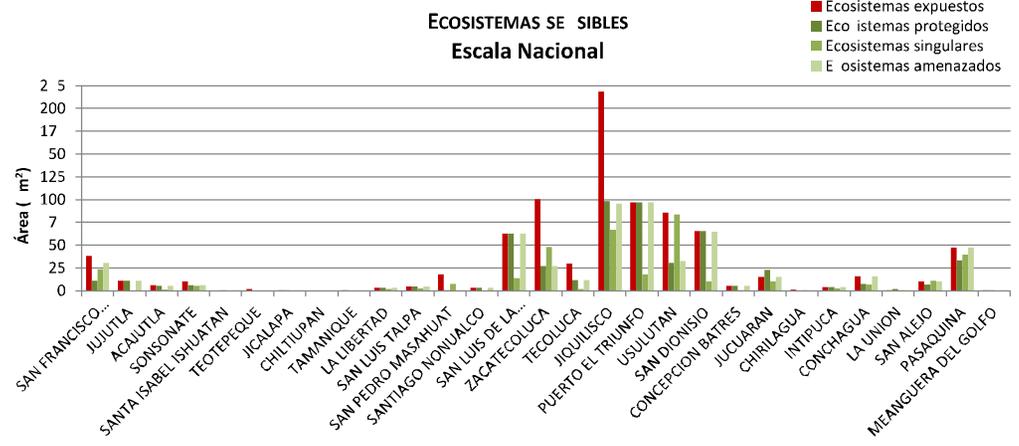


Figura Nac-12. Exposición y Sensibilidad ambiental frente a tsunamis en la costa de El Salvador.



Figura Nac-11. Sensibilidad ambiental: ecosistemas amenazados

SENSIBILIDAD SOCIOECONÓMICA FRENTE A TSUNAMIS

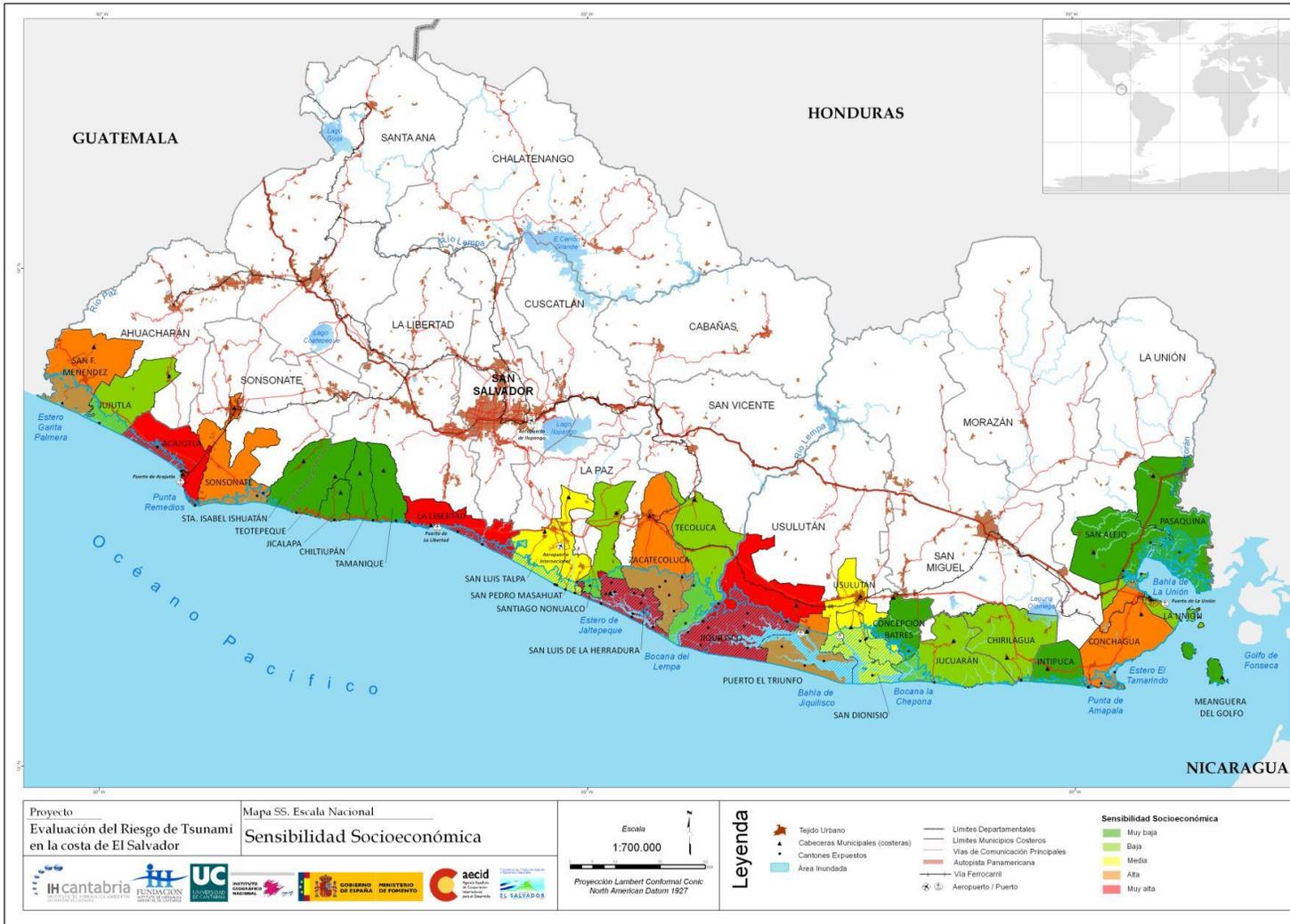


Figura Nac-13. Sensibilidad socioeconómica

SENSIBILIDAD DE LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS FRENTE A UN TSUNAMI

Se ha analizado cada actividad socioeconómica existente en municipio costeros de El Salvador para identificar aquellas localizadas en zonas expuestas a eventos de tsunami. Para poder entender los posibles impactos de un tsunami en estas actividades se calculó lo siguiente:

- Cuántas personas trabajan en esas actividades expuestas, para conocer el posible impacto social del tsunami,
- Cuántos millones de dólares generan esas actividades expuestas, a nivel de PIB y de comercio exterior del país, para poder entender los impactos económicos que podría tener un tsunami en la zona.

? ¿Qué municipios son más sensibles a la pérdida de actividades socioeconómicas debida al impacto de un gran tsunami?

La Figura Nac-13 muestra los resultados de Sensibilidad socioeconómica en El Salvador, y considera (1) el área inundada, (2) el área de actividades socioeconómicas expuestas, y (3) su sensibilidad. Los municipios más sensibles son Acajutla, La Libertad, San Luis de la Herradura y Jiquilisco (sensibilidad muy alta), seguidos por San Francisco Menéndez, Sonsonate, Zacatecoluca, Puerto El triunfo y Conchagua (sensibilidad alta).

? ¿Cómo son de sensibles las actividades expuestas?

La figura Nac-17 muestra que el 78% del área de actividades expuestas (cerca de 400 km²) corresponde a la agricultura, el resto corresponde a turismo (6%), acuicultura, comercio, con construcción y servicios (4% cada una). El 75% de la agricultura y pue ta está en los departamentos de La Paz, San Vicente y Usulután (Figura Nac-18). Considerando todas las actividades expuestas, las mayores pérdidas de empleo (Figura Nac-14) se darían en Ajujutla, La Libertad, San Luis de la Herradura, Jiquilisco y Puerto El Triunfo. La mayores pérdidas económicas (Figura Nac-15 y 16) se darían en Ajujutla, y San Luis de La Herradura por una menor aportación al PIB y en La Libertad por una menor aportación al comercio exterior.

DIMENSIÓN SOCIOECONÓMICA – Escala nacional			
INDICADOR	INDICADORES	VARIABLES	
Exposición Socioeconómica (IES)	ES1	ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS	Área de actividades socioeconómicas expuestas
	SS1	PERDIDA DE EMPLEO	Número de trabajadores asociados a actividades socioeconómicas expuestas
Sensibilidad Socioeconómica (ISS)	SS2	APORTACIÓN AL PIB	PIB (millones de dólares) asociado a actividades socioeconómicas expuestas
	SS3	APORTACIÓN AL COMERCIO EXTERIOR	Comercio exterior (millones de dólares) asociado a actividades socioeconómicas expuestas

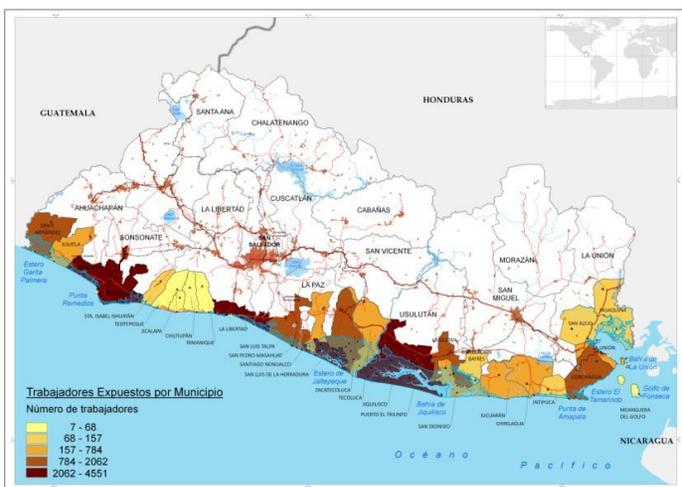


Figura Nac-14. Sensibilidad socioeconómica: pérdida de empleo

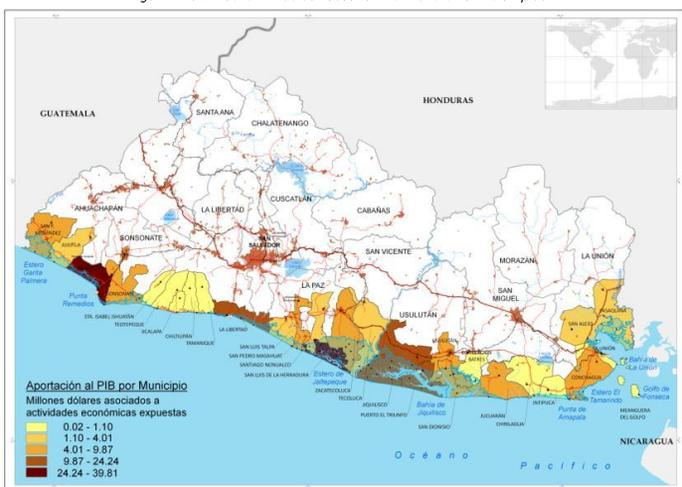


Figura Nac-15. Sensibilidad socioeconómica: aportación al PIB

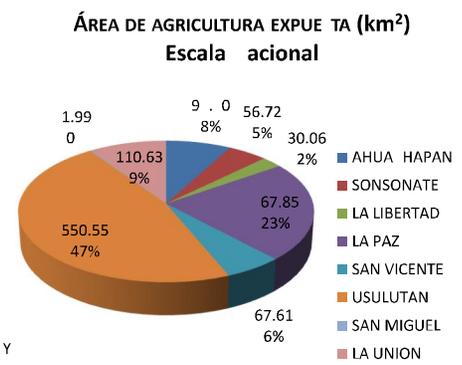
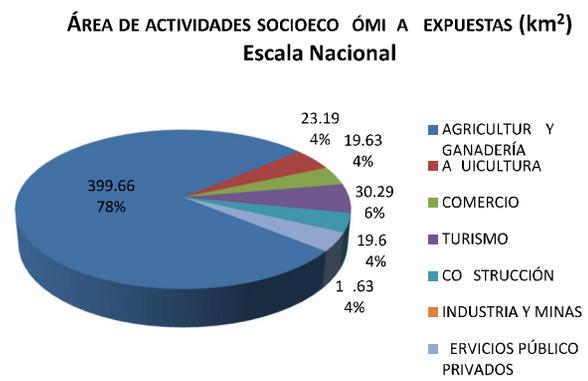


Figura Nac-17. Área de actividades socioeconómicas expuestas en la costa de El Salvador

Figura Nac-18. Área de agricultura expuesta en la costa de El Salvador

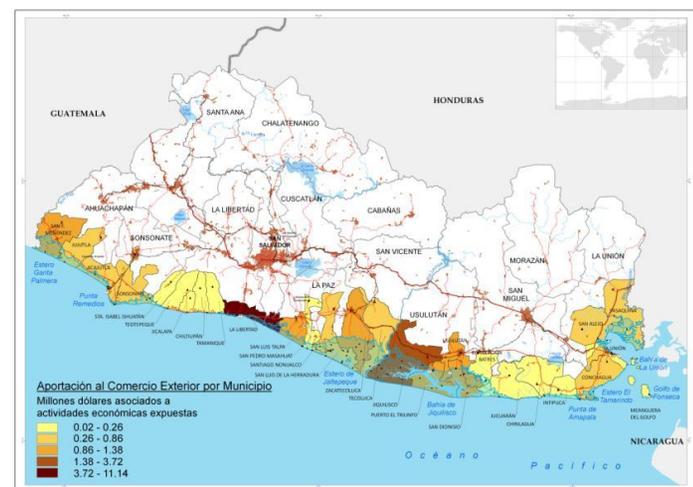
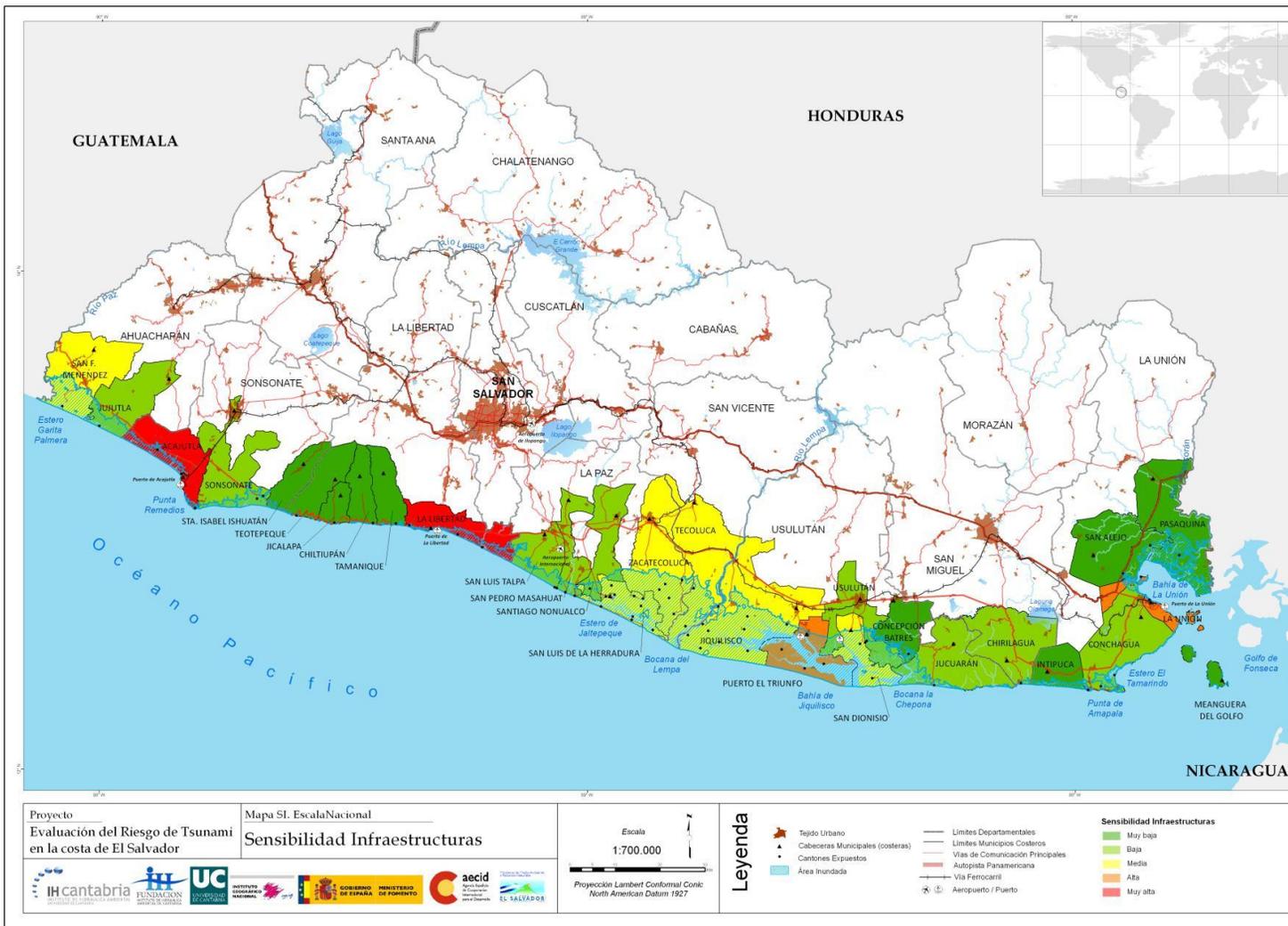


Figura Nac-16. Sensibilidad socioeconómica: aportación al comercio exterior

SENSIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURAS FRENTE A TSUNAMIS



SENSIBILIDAD DE LAS INFRAESTRUCTURAS DEBIDO A UN TSUNAMI

Para poder entender el posible impacto de un tsunami en la infraestructuras de la costa de El Salvador, se ha analizado la existencia de varios tipos de infraestructuras, y si están localizadas dentro del área que pudiera ser inundada por un posible tsunami en la zona (Figura Nac-19).

Las infraestructuras analizadas son las siguientes:

- **Infraestructuras de abastecimiento de agua**, incluyendo pozos y suministro por tubería.
- **Infraestructuras de saneamiento**.
- **Infraestructuras de abastecimiento de energía**, incluyendo centrales de generación, transmisión y distribución.
- **Infraestructuras de transporte**, incluyendo puertos, aeropuertos, carreteras, puentes, ferrocarril.
- **Infraestructuras industriales**, incluyendo la petroquímica, química, cementera, siderúrgica y metalúrgica, de alimentación y bebidas, de textil y confección, de papel y cartón, de almacenamiento y polígonos industriales.
- **Infraestructuras de protección social**.
- **Infraestructuras de emergencia**, incluyendo bomberos, Protección civil, instalaciones militares, hospitales y centros de salud.

¿Qué municipios son más sensibles al impacto en infraestructuras debida a un gran tsunami?

La Figura Nac-19 destaca Acajutla, La Libertad, Puerto El Triunfo y La Unión como municipios que sufrirían un mayor impacto en infraestructuras.

Figura ac-1. Infraestructuras sensibles en Costa Occidental

? ¿Qué infraestructuras esenciales se pueden ver afectadas en los municipios costeros?

Se han considerado como esenciales aquellas infraestructuras que son esenciales para la población en caso de un evento de tsunami, como las de transporte (necesarias para la evacuación), las de abastecimiento de agua (Por ser un servicio básico), las de industria (pueden agravar el impacto del tsunami por contaminación por ejemplo), de emergencia y de salud (infraestructuras necesarias para prestar ayuda a la población en caso de emergencia).

TRANSPORTE (Figura Nac-20 a 21). Los municipios más sensibles por la posible afección a sus infraestructuras de transporte son Acajutla, La Libertad y La Unión, principalmente por el impacto en sus puertos.

Respecto al impacto en las carreteras, destacan Jiquilisco y Puerto El Triunfo, seguidos de San Luis de la Herradura y La Libertad, Acajutla y San Francisco Menéndez.

ABASTECIMIENTO DE AGUA (Figura Nac-22). El suministro de agua de varias comunidades se vería afectado ya que algunos pozos de los que se abastecen están ubicados en zona inundable. Destacan la zona de Bahía de Jiquilisco. Es Hero de Jaltepeque, seguido de San Francisco Menéndez y Acajutla.

INDUSTRIA (Figura Nac-23). Acajutla es el municipio que sería más afectado sus infraestructura industrial seguido por La Libertad y La Unión.

EMERGENCIA (Figura Nac-24). La Libertad, Puerto El Triunfo y La Unión son los municipios que verían más afectadas sus infraestructuras de emergencia, seguidos por Acajutla y San Luis de la Herradura.

SAUD (Figura Nac-25). Se verían afectadas infraestructuras en San Francisco Menéndez, seguido por Conagua, Jiquilisco, Tecoluca y San Luis de la Herradura.

DIMENSIÓN INFRAESTRUCTURAS – Escala nacional		
I DICE	I DICADORES	
Exposición Infraestructura (IEI)	EI1	FRAESTRUCTURA EXPUESTAS
Sensibilidad Infraestructuras (ISI)	SI1	FRAESTRUCTURAS SENSIBLES
		VARIABLES
		Número de infraestructuras expuestas
		Número de infraestructuras expuestas especialmente sensibles (abastecimiento de agua, transporte, petroleras, emergencia)

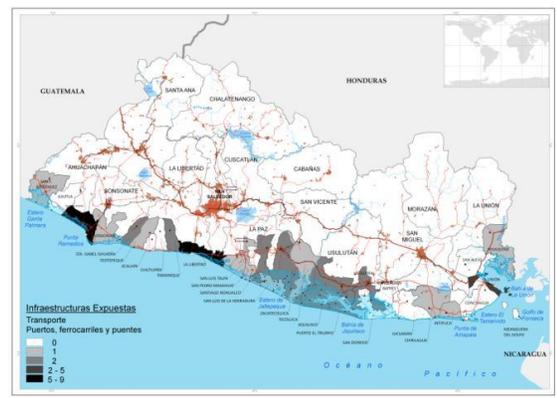


Figura Nac-20. Infraestructuras de transporte expuestas (puertos, ferrocarril, puentes)

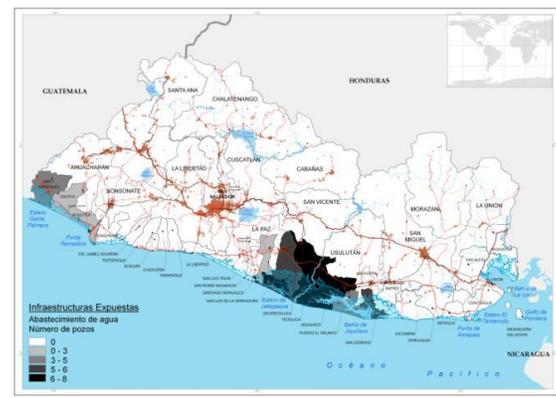


Figura Nac-22. Infraestructuras de abastecimiento de agua expuestas (pozos)



Figura Nac-24. Infraestructuras de emergencia expuestas (bomberos, protección civil, militares, etc.)

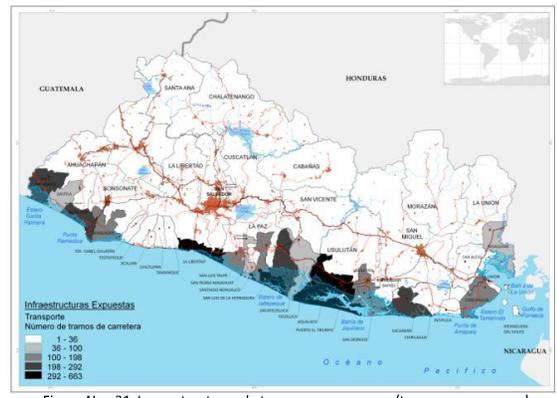


Figura Nac-21. Infraestructuras de transporte expuestas (tramos de carretera)



Figura Nac-23. Infraestructuras industriales expuestas



Figura Nac-25. Infraestructuras de salud expuestas (hospitales, centros de salud)

RESILIENCIA FRENTE A TSUNAMIS

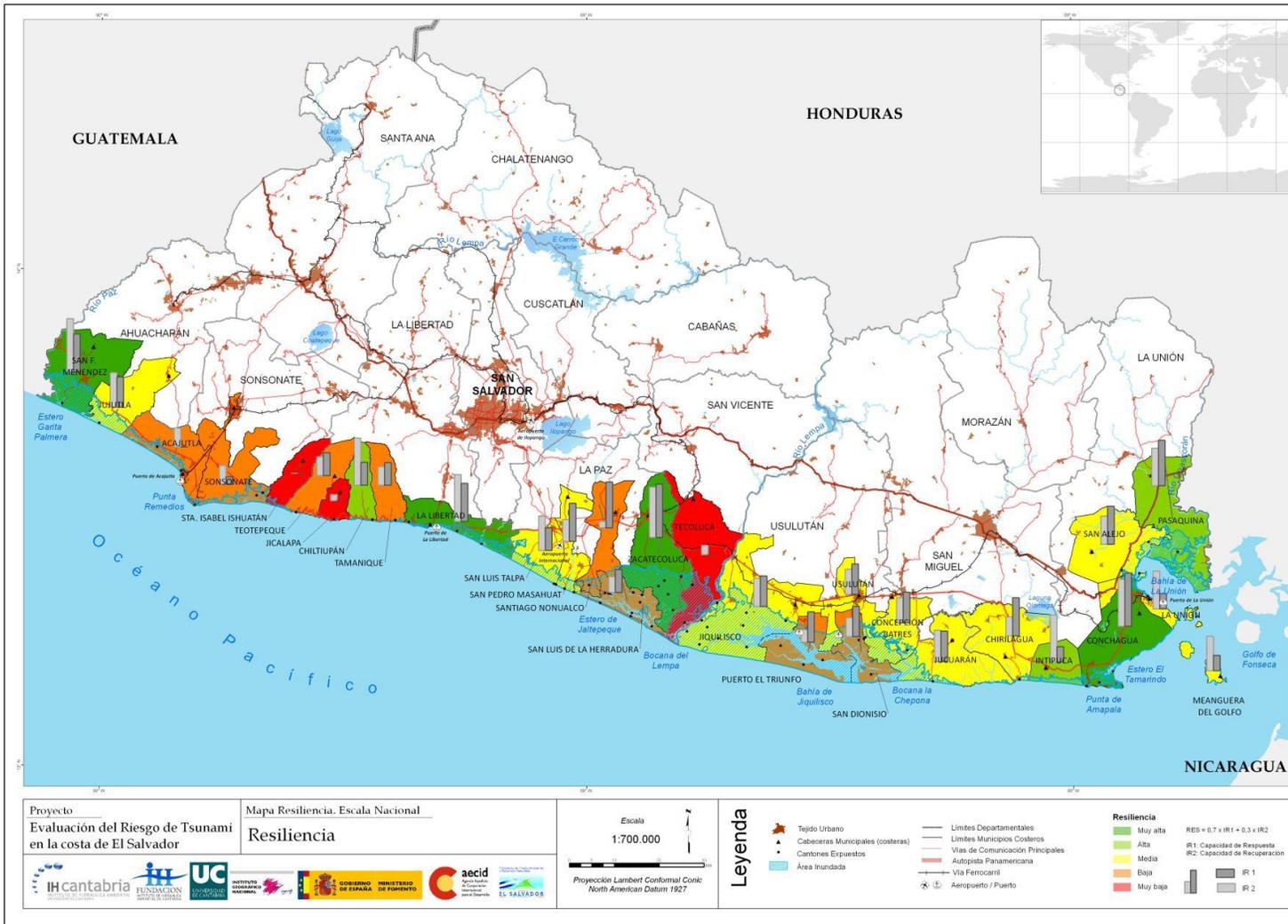


Fig. 6. Resiliencia a tsunamis en los municipios de la costa de El Salvador

RESILIENCIA

La Resiliencia se define como la capacidad de un sistema e puesto a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse del impacto de una manera oportuna y eficiente, a través de la preservación y restauración de sus funciones y estructura básica e enciales (UN/ISDR, 2009).

El análisis de la Resiliencia requiere estudiar dos factores, uno pre-desastre y otro post-desastre:

- la **CAPACIDAD DE RE PUESTA**: medios disponibles por las comunidades para la utilización de recurso y habilidades que permitan hacer frente a la consecuencias adversas que pudiera proocar un d sastre natural (UN/ISDR, 2004).
- la **CAPACIDAD DE RECUPERACI**: capacidad del sistema para recuperarse pos eriormen e

¿Cómo se calcula la Resiliencia de una comunidad?

Para analizar las capacidades de Re puesta y Recuperaci n es necesario e aminar cómo se desarrollan las cuatro fases de la gesti n de emergencia en los municipios:

- **Información y Concienciación**: el gobierno y los miembros de la comunidad son conscientes de lo peligros y la información de riesgo se utiliza la hora de tomar decisiones.
- **Alerta y E acuación**: la comunidad es c paz de recibir l s notifi ciones y alertas sobre peligros costeros, poblaciones en riesgo e individuos que actúan en la aler a.
- **Respuesta de Emergencia**: existen mecanismo y redes para responder rápidamente a los desastres costeros y manejar las necesidades de emergencia a nivel lo al.
- **Recuperación Post-desastre**: existen planes previo a los eventos de rie go que aceleran la recuperación ante desa tres, involucran a las comunidades en el proceso de recupera ión, y minimizan los impactos negativos.

La recolección de datos para la construcción de los indicadores de Resiliencia se ha realizado mediante un pequeño cuestionario que permite conocer de manera general el grado de organización y respuesta del municipio ante una emergencia.

El cuestionario ha sido contestado en cada municipio por responsables de las Comisiones Municipales de Protección Civil (CMPC). Las preguntas del cuestionario pretenden dar respuesta a la información requerida en las cuatro variables analizadas:

INFORMACIÓN Y CONCIENCIACIÓN:

1. ¿Existe conciencia social en relación al riesgo de tsunami?
2. ¿Existe conciencia institucional en relación al riesgo de tsunami?

ALERTA Y EVACUACIÓN:

3. ¿Existe un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para tsunami?
4. ¿Existen rutas de evacuación de tsunamis?
5. ¿Existen mapas/croquis con puntos críticos o zonas de peligro ante tsunamis?
6. ¿Se realizan simulacros de evacuación en instituciones?

RESPUESTA DE EMERGENCIA:

7. ¿Está conformada y funcionando la Comisión de Protección Civil Municipal?
8. ¿Existen planes de contingencia ante tsunamis?
9. ¿Existen Comisiones Comunales para la gestión del riesgo de tsunamis?
10. ¿Existen enlaces de coordinación a nivel departamental/nacional?
11. ¿Existen recursos humanos de emergencia suficientes en caso de tsunami?

RECUPERACIÓN POST-DESASTRE:

12. ¿Existen refugios temporales en caso de tsunami?
13. ¿Existen fondos municipales para cubrir gastos inmediatos en caso de tsunami?
14. ¿Existen recursos contra catástrofe en caso de tsunami?
15. ¿Existen recursos humanos médico-sanitarios suficientes en caso de tsunami?
16. ¿Existen recursos humanos para el desarrollo físico y mental en caso de tsunami?

¿Qué municipios tienen una menor Resiliencia frente a un gran tsunami? ¿Por qué están menos preparados ante un evento de tsunamis que otros municipios?

La Figura Nac-2 y Nac-28 reúnen los resultados obtenidos.

En la Figura Nac-27 se puede apreciar el municipio con menor Resiliencia son Santa Isabel, Iquique, Jicalapa y Teotihuacán. Por otro lado, San Francisco Menéndez, La Libertad y Conchagua. Para cada uno de ellos se puede conocer si necesitan mejorar la Capacidad de Respuesta o de Recuperación.

La Figura Nac-28 muestra la situación de cada uno de los municipios en relación a las cuatro fases de la gestión de emergencias. Así, analizando Puerto El Triunfo, por ejemplo se observa que tiene el mayor puntaje en la fase de (1) Información y concienciación (2) alerta y evacuación.

Esta información permite proponer medidas específicas y orientadas a cada localidad con el objetivo de incrementar la Resiliencia de cada municipio.

RESILIENCIA- Escala nacional			
Resiliencia (I)	IR1	CAPACIDAD DE RESPUESTA	VARIABLES
			IR2

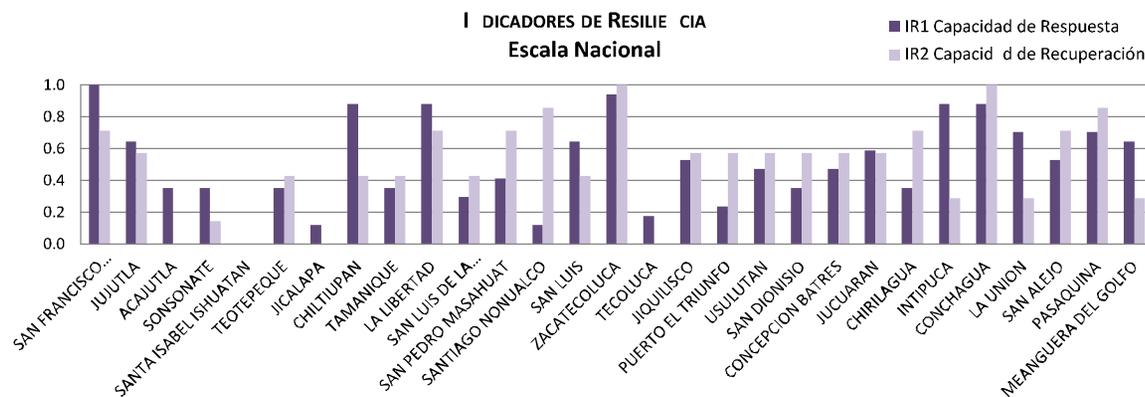


Figura Nac-27. Indicadores de Resiliencia en los municipios de la costa de El Salvador

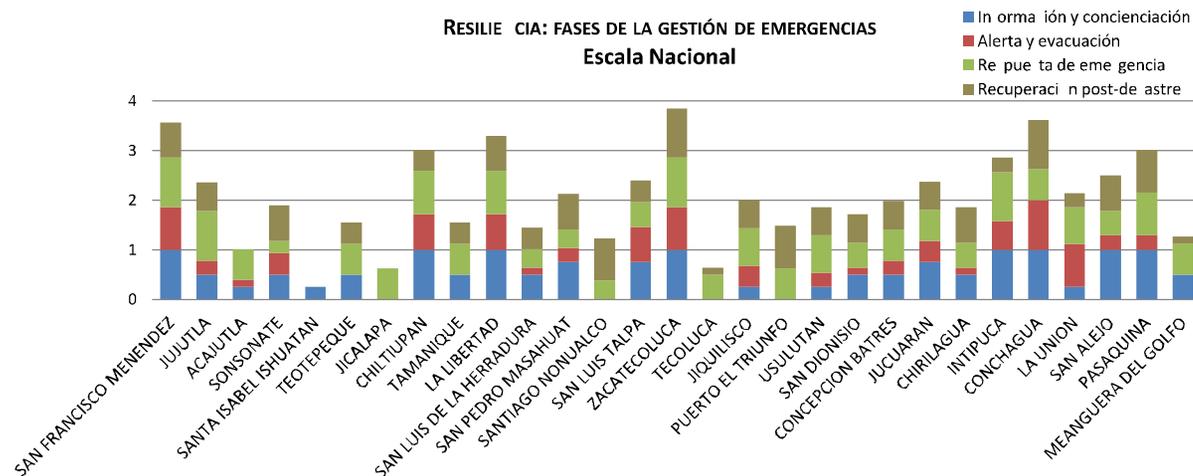
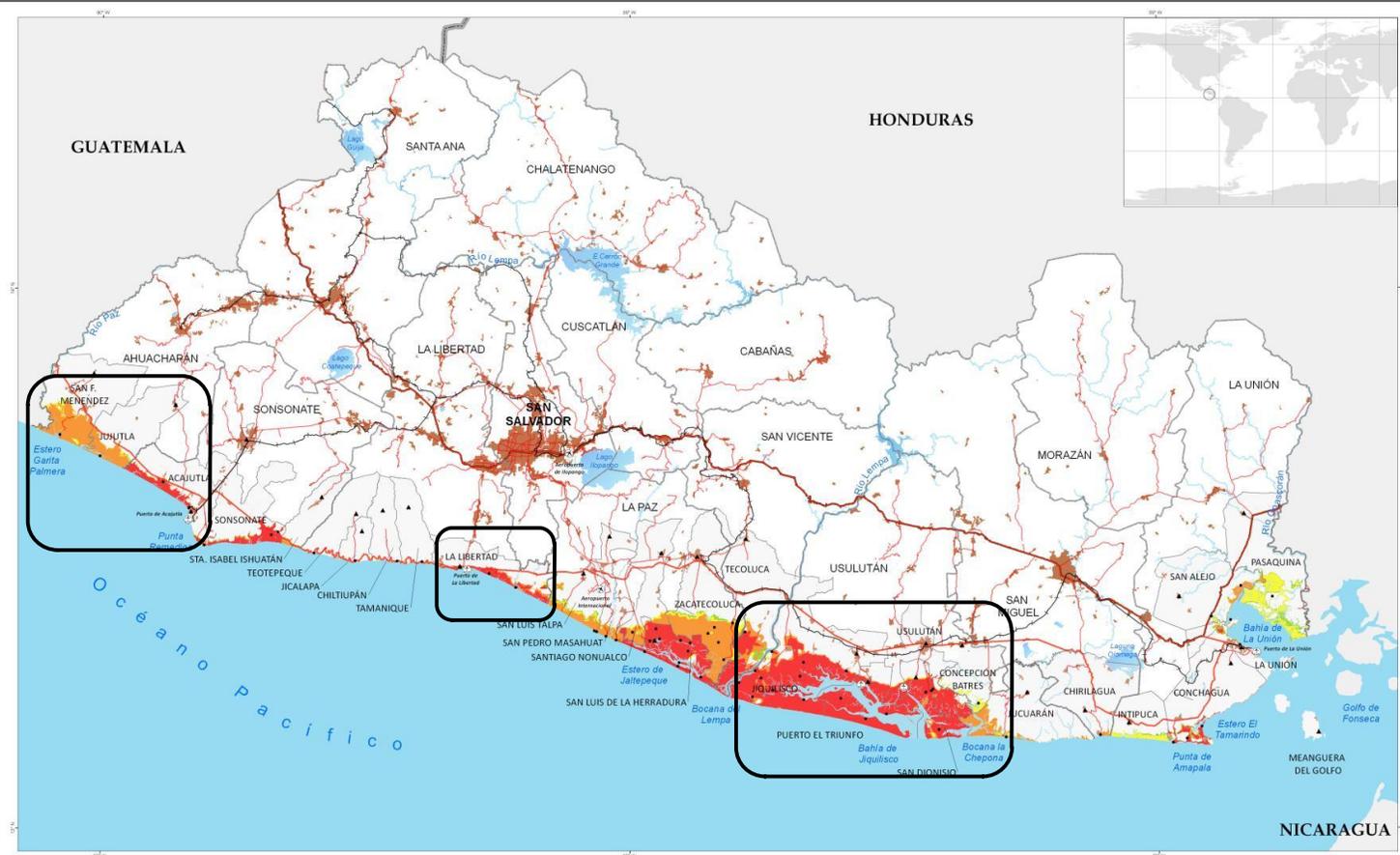


Figura Nac-28. Resiliencia y fases de la gestión de emergencias en los municipios de la costa de El Salvador

RIESGO ANTE TSUNAMIS



Proyecto: Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa RAg, Escala Nacional: Riesgo Agregado

Escala: 1:700.000

Proyección Lambert Conformal Conic North American Datum 1927

Legenda

- Tejido Urbano
- Cabeceras Municipales (costeras)
- Cantones Espurios
- Área Inundada
- Límites Departamentales
- Límites Municipales Costeros
- Vías de Comunicación Principales
- Autopista Panamericana
- Vía Ferrocarril
- Aeropuerto / Puerto

Riesgo Agregado

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

Localidad	100m	200m	300m	400m	500m
Muy bajo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bajo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Medio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muy alto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura N c-2. Riesgo geológico tsunamis en la costa salvadoreña

RIESGO ANTE TSUNAMIS EN LA COSTA DE EL SALVADOR

Una vez calculada la peligrosidad (área y profundidad de inundación por tsunami) y la vulnerabilidad de los elementos expuestos (sensibilidad y resiliencia), se calcula el riesgo.

Debe recordarse que para calcular la inundación a escala nacional no se ha realizado un modelado numérico sino que proviene de una formulación matemática que calcula la altura del tsunami en la costa y proyecta esa altura tierra adentro.

Esto implica que los resultados de área inundada sean una **ESTIMACIÓN** para identificar las zonas que potencialmente están bajo mayor riesgo y convenientemente realizar **ESTUDIOS DE DETALLE** en las mismas.

? ¿En qué zonas es necesario hacer un estudio de detalle?

Considerando los resultados del Riesgo obtenido mediante la agregación de los riesgos humano ambiental, socioeconómico de infraestructuras, se concluye que es necesario realizar un estudio de detalle en las siguientes zonas: Costa Occidental, La Libertad, Bahía de Jiquilisco y Estero de Jaltepeque.

Este proyecto incluye los estudios de detalle de Costa Occidental, La Libertad, Bahía de Jiquilisco, marcado con un recuadro en la Figura Nac-29

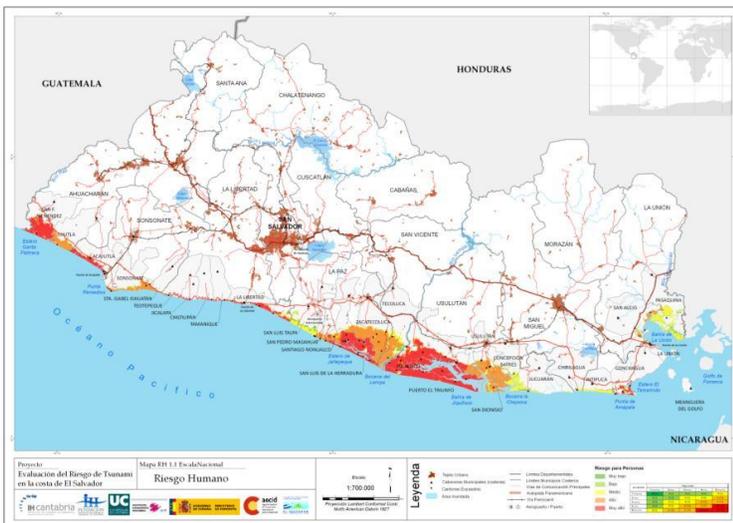


Figura Nac-30. Riesgo Humano ante tsunamis en la costa de El Salvador



Figura Nac-31. Riesgo Ambiental ante tsunamis en la costa de El Salvador

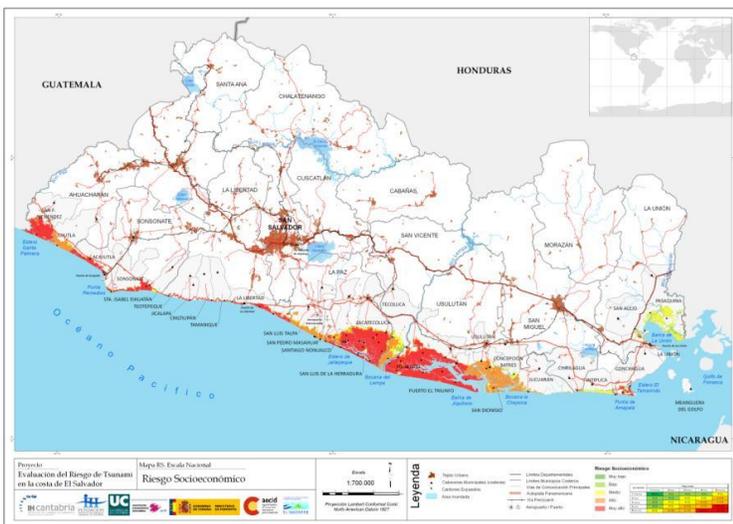


Figura Nac-32. Riesgo Socioeconómico ante tsunamis en la costa de El Salvador



Figura Nac-33. Riesgo en Infraestructuras por tsunamis en la costa de El Salvador

El Riesgo agregado ante tsunamis combina los resultados de riesgo obtenidos para cada una de las dimensiones.

Las siguientes figuras 30-32 muestran los resultados de:

- Riesgo Humano,
- Riesgo Ambiental,
- Riesgo Socioeconómico,
- Riesgo en Infraestructuras en la costa de El Salvador.

Las figuras Nac-30 a 33 reflejan las diferencias existentes en los resultados del riesgo para cada una de las dimensiones.



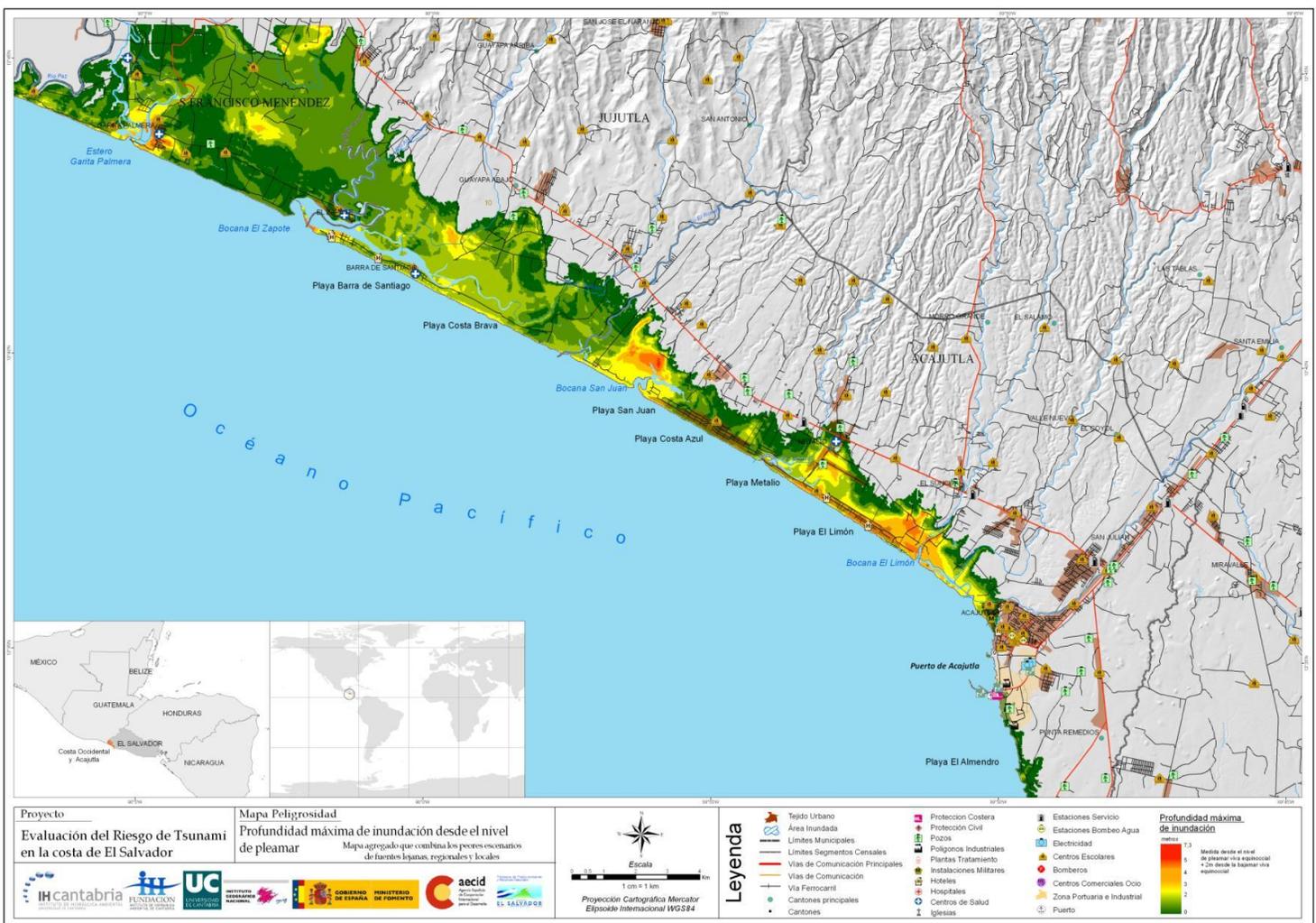
ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI

COSTA OCCIDENTAL

Municipios de San Francisco Menéndez, Jujutla y Acajutla

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

PROFUNDIDAD DE LA INUNDACIÓN



Para analizar la amenaza que supone un posible evento de tsunami en la costa de El Salvador se han desarrollado una serie de mapas de peligrosidad basados en la caracterización de escenarios asociados a los peores casos "creíbles" de tsunamis de origen cercano, regional y lejano. Los mapas de peligrosidad que se presentan en este documento combinan en un solo mapa los 23 peores casos "creíbles".

Obtenido el peor caso creíble de tsunami, se analiza lo siguiente:

- Altura máxima de ola en el mar (m)
- Área inundada en tierra (m²)
- Profundidad de la inundación en tierra (m)
- Velocidad de la lámina de agua (m/seg)
- Tiempo mínimo de viaje de tsunami (minutos)

La figura Occ-1 muestra el área que se vería inundada en la Costa Occidental en caso de un gran tsunami, así como la profundidad máxima de la inundación.

? ¿Hasta dónde llegaría el agua en el caso de un gran tsunami?
¿Cuáles son las zonas que se verían más afectadas por el impacto?

Se puede apreciar que las zonas de los Esteros (Garita Palmira, San Juan, El Limón) son los puntos más críticos en este aspecto (entre 3 y 6m). La zona de Metalío es la más amenazada, pues es la que mayor área tiene sujeta a grandes profundidades. San Francisco Menéndez aunque tiene mayor área inundada, la mayor parte de ésta tiene profundidades muy pequeñas (menores de 1m).

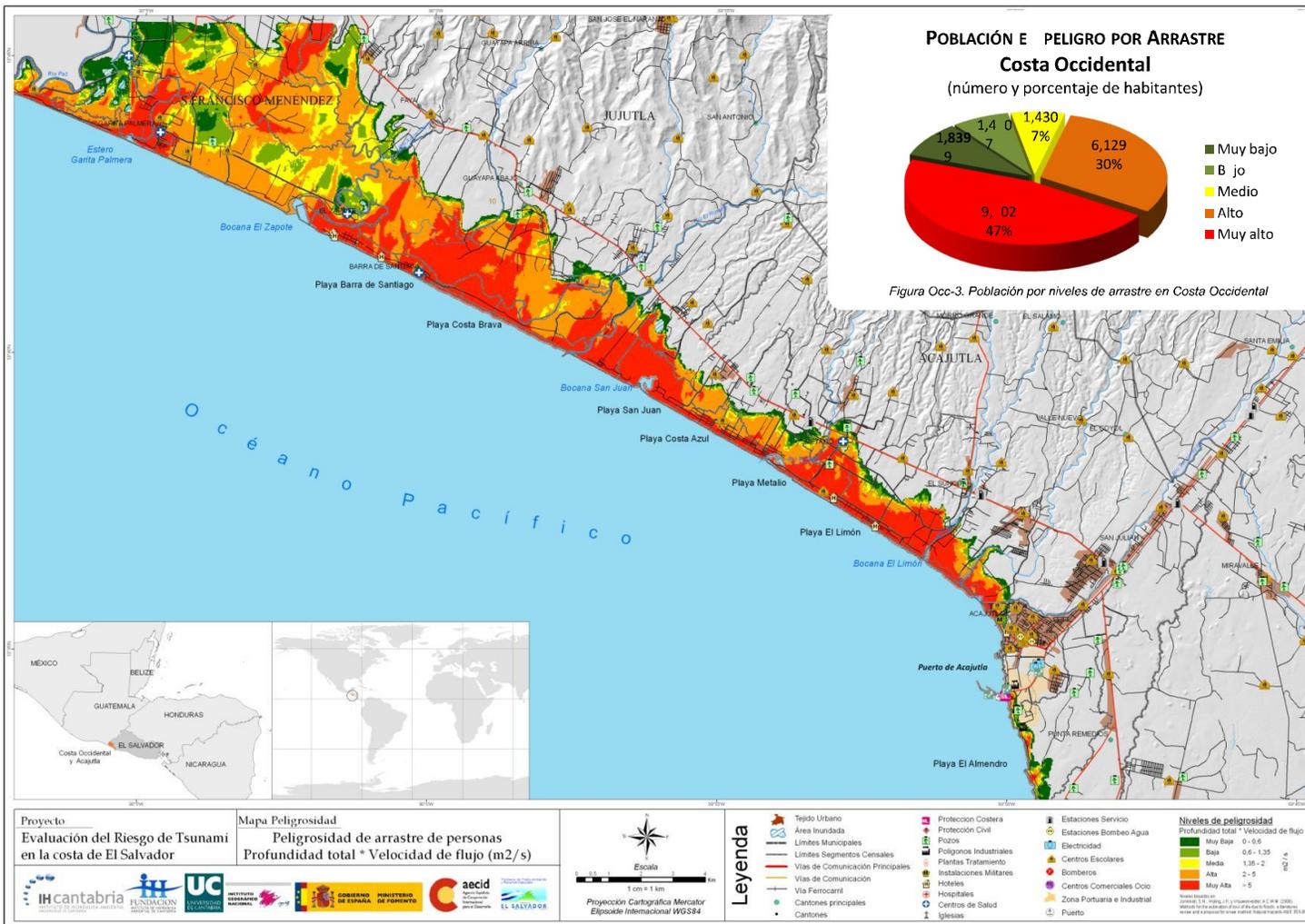
Fig. Occ-1. Profundidad máxima de inundación en la Costa Occidental

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

ARRASTRE DE PERSONAS

La capacidad del tsunami para arrastrar personas se calcula a partir de la profundidad de la inundación (m) y la velocidad del agua (m/s).

A partir de estas dos variables se establecen unos umbrales tal como aparecen reflejado en la leyenda del mapa. Estos umbrales hacen referencia a la pérdida de estabilidad de una persona al ser sometida a la fuerza del arrastre del agua.



¿Qué zonas tienen más peligro para las personas?

En el mapa (Figura Occ-2) se identifican los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre en la Costa Occidental. Prácticamente toda la costa es zona de peligrosidad muy alta, incluyendo la zona de Garita Palmera y la zona entre Barra de Santiago y Acajutla. El resto de la zona tiene una peligrosidad alta.

¿Cuántas personas están en los distintos niveles de arrastre?

La Figura Occ-3 muestra el porcentaje número de personas ubicados en los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre: Así se puede apreciar que el 77% de la población (15,731 personas) se estima que es a en nivel de peligro Mu Alto y Alto, el 7% (1,430 personas) en nivel Medio, mientras que un 16% (3,269 personas) están entre los niveles Bajo y Muy Bajo.

Figura Occ-3. Población por niveles de arrastre de la inundación en la costa Occidental

POBLACIÓN EN RIESGO

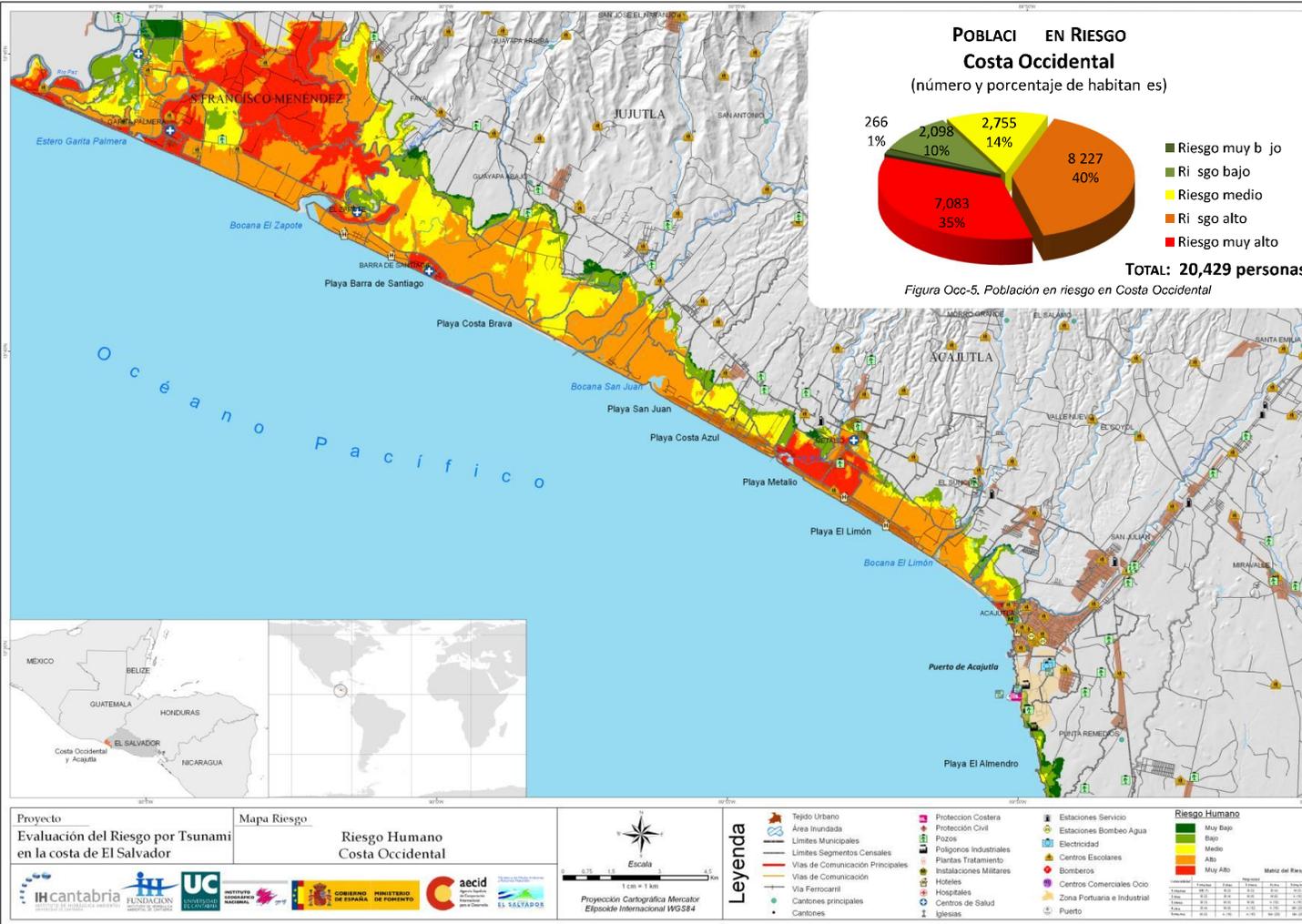


Figura Occ-4. Riesgo en Costa Occidental

RIESGO HUMANO DEBIDO A UN TSUNAMI

Identificada la zona que podría quedar inundada por un tsunami se puede conocer el número de personas que están en riesgo.

Para construir este mapa se ha realizado la simulación de la inundación del tsunami para arrastrar personas (Figura Occ-2), el número de personas que viven en las zonas inundadas (Figura Occ-6) y la sensibilidad de las mismas de cara a una posible emergencia (Figuras Occ-7 a 11).

La sensibilidad de las personas se ha evaluado atendiendo a los siguientes factores:

- La población monomodal reducida, que incluyen ancianos, niños, y personas con necesidades especiales (limitación física y/o mental).
- La población que no es capaz de entender un mensaje de alerta (bien por no saber leer, tener alguna limitación mental o no hablar el idioma, por ejemplo).
- Los grupos de población que por el aislamiento de los cantones en los que viven oporarán una mayor dificultad de evacuación y de recuperación post-desastre.

? ¿En qué zonas se encuentra la población con mayor riesgo frente al impacto de un gran tsunami?

En la costa Occidental de El Salvador (Figuras Occ-4 y 5) los puntos más críticos debido a un mayor riesgo humano son la zona de Metalo, Barra de Santiago, Garita Palmera y gran parte de San Francisco Menéndez, lo que supone un 35% de los habitantes de la zona (7,083 personas). Un 40% de la población (8,227 personas) está sujeta a un riesgo Alto, lo que supone en el mapa la mayor parte del territorio. El 25% de la población (5,119 personas) se encuentra entre riesgo Muy Bajo y riesgo Medio.

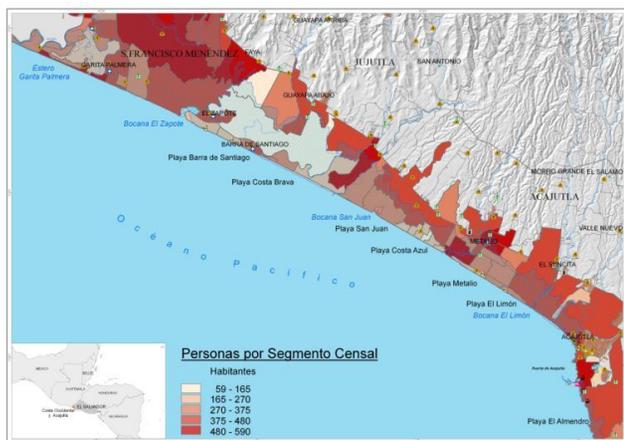


Figura Occ-6. Número de personas por segmento censal

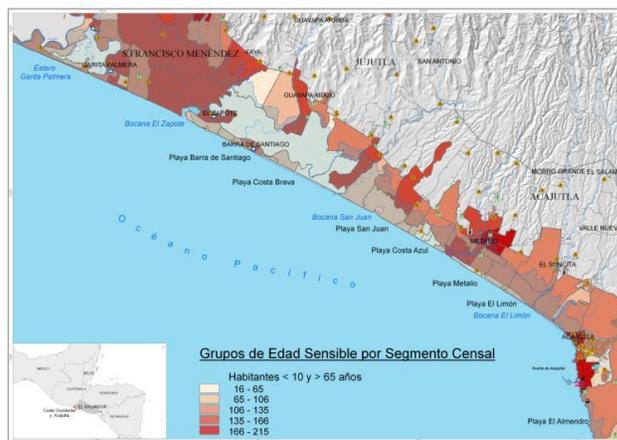


Figura Occ-7. Grupos de Edad Sensible por segmento censal

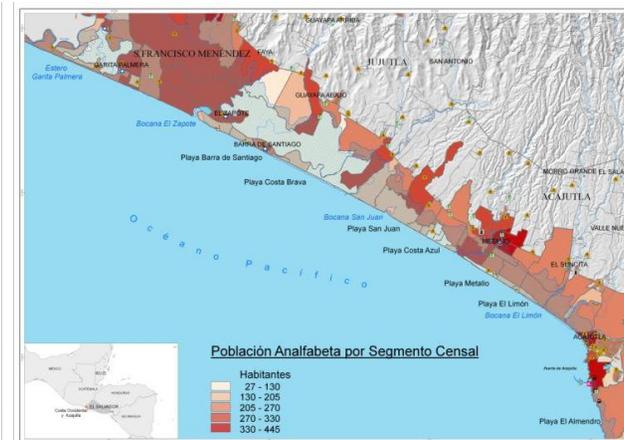


Figura Occ-8. Población analfabeta por segmento censal

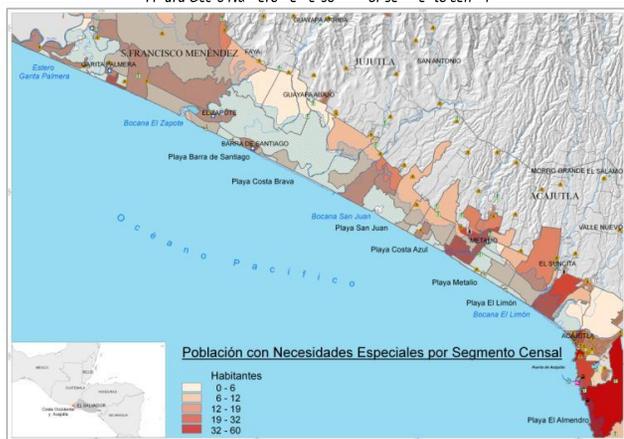


Figura Occ-9. Población con necesidades especiales por segmento censal

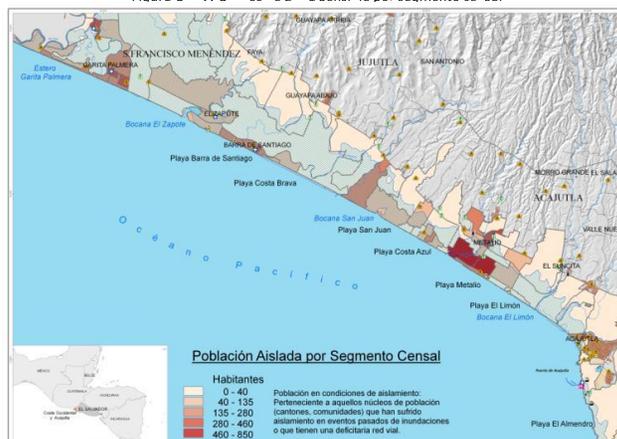


Figura Occ-10. Población aislada por segmento censal

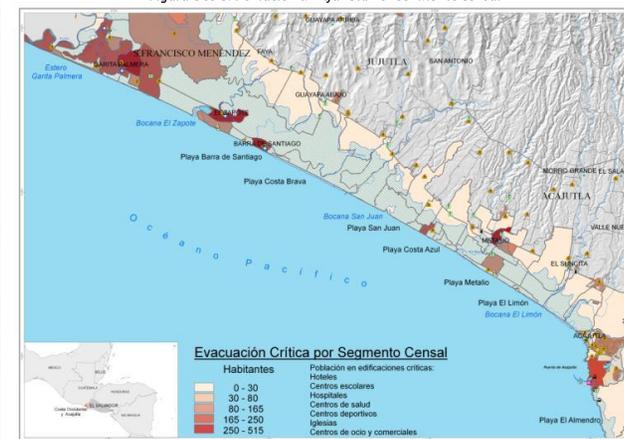


Figura Occ-11. Población en edificaciones críticas por segmento censal

IMPACTO EN LA POBLACIÓN

Las Figuras Occ-6 a 1 muestran el número de personas por segmento censal (CENSO 2007) y las características de éstas, que hacen a la población más o menos sensible a un evento de tsunamis.

? ¿Cómo es la población que está expuesta al impacto de un gran tsunami?

La población es especialmente vulnerable en términos de movilidad (grupos de edad sensible y necesidades especiales) en Acajutla, El Almendro, El Limón, Metalío, Barra de Santiago, en varias zonas de San Francisco Menéndez. Se pueden encontrar dificultades para entender un mensaje (analfabetismo) y necesidades especiales en Acajutla, El Almendro, El Limón y Metalío. Existen comunidades aisladas en Metalío y Barra de Santiago. La evacuación crítica destaca en Acajutla, Barra de Santiago, El Zapote y Garita Palmera.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO HUMANO

- Establecer un Sistema de Alerta Temprana nacional que alerte a la población ante tsunamis locales y regionales.
- Establecimiento, por parte de Protección Civil y las Autoridades locales, de Planes de Emergencia ante tsunamis complementados de Programas de Información y Capacitación de la población. Prestar especial atención a aquellos segmentos identificados como sensibles y enfocar la ayuda a las debilidades identificadas (énfasis en las personas con movilidad reducida, necesidades especiales o con dificultades para entender un mensaje de alerta).
- Simulacro de evacuación, con énfasis en (1) las personas con movilidad reducida, necesidades especiales o con dificultades para entender un mensaje de alerta; y en (2) la edificación identificadas como críticas, ya que albergan gran número de población y la evacuación será más complicada. Organización comunal de la evacuación
- Mejorar y/o ampliar el número de accesos en las zonas identificadas como aisladas.

ECOSISTEMAS EN RIESGO

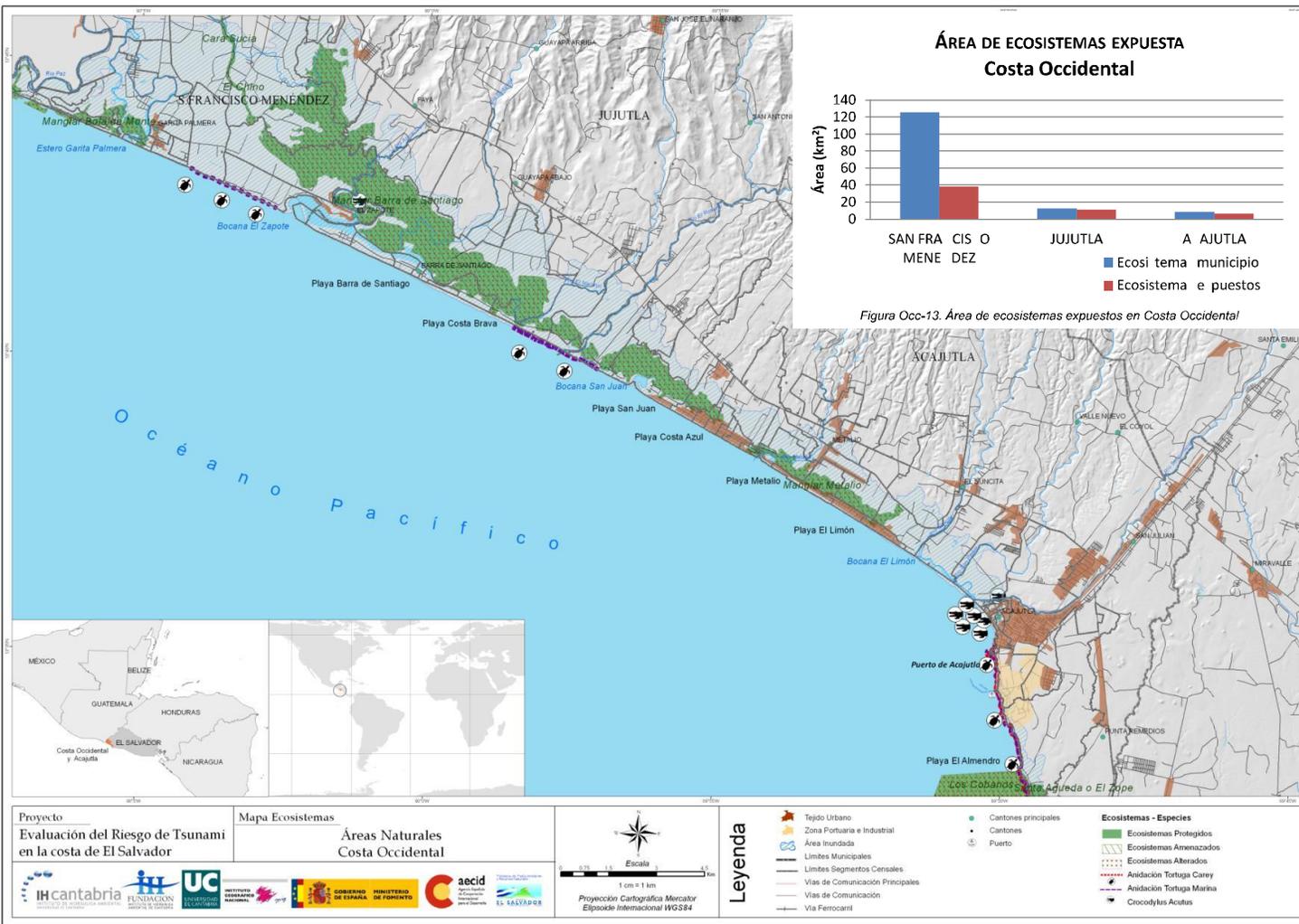


Figura Occ-12. Ecosistemas en riesgo en Costa Occidental

IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A UN TSUNAMI

Para calcular el impacto ambiental de un tsunami en la Costa Occidental se han analizado los ecosistemas especialmente sensibles a la amenaza, entendidos como:

- **ecosistemas relevantes**, que están bajo figuras de protección ambiental, ocupan un limitado área a nivel nacional o son base del sustento local.
- **ecosistemas frágiles**, en los que una pequeña intervención de carácter externa puede desencadenar una serie de alteraciones irreversibles del ecosistema. Dentro de este grupo se han incluido los ecosistemas amenazados y los ecosistemas alterados, es decir, aquellos que no están en sus condiciones óptimas.

¿Qué ecosistemas se verían afectados en caso de un gran tsunami?

En la costa Occidental de El Salvador el municipio que se verá más afectado en caso de tsunami es San Francisco Menéndez con 38 km² de área de ecosistema expuesta. Jujutla y Acajutla aunque tienen menor área expuesta (cerca de 10 km² cada uno), ésta supone la totalidad de sus ecosistemas. La gráfica Occ-14 muestra cómo son de sensibles los ecosistemas expuestos.

SENSIBILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS EXPUESTOS Costa Occidental

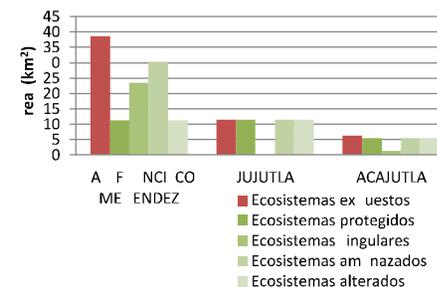


Figura Occ-14. Sensibilidad de ecosistemas expuestos en Costa Occidental

ESPECIES AMENAZADAS

La Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es el inventario más completo del estado de conservación de especies de animales y plantas a nivel mundial. Su objetivo es llevar al público la urgencia de los problemas de conservación, así como ayudar a la comunidad internacional a reducir la extinción de especies. Según esta Lista Roja, El Salvador tiene varias especies en peligro en las zonas costero-marinas, siendo 7 de ellas estudiadas en este trabajo. Esta 7 especie se muestra en la tabla y en las figuras Occ-15 a 18.

Para analizar el impacto que un tsunami podría tener en la biodiversidad de la zona y a nivel mundial por la posible desaparición de ejemplares de estas especies se ha estudiado la distribución de las mismas. El mapa Occ-12 muestra que todas ellas están presentes en la Costa Occidental.

GRUPO	Clase/Orden/Familia	Nombre Científico	Nombre Común	MAR 2009	UICN	ECOSISTEMA
Reptiles	Crocodylidae	Crocodylus acutus	Cocodrilo	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR
Reptiles	Cheloniidae	Chelonia mydas	Tortuga Prieta, Tortuga Negra	En Peligro	Endangered	COSTERO-MARINO
Reptiles	Cheloniidae	Eretmochelys imbricata	Tortuga Carey	En Peligro	Critically Endangered	COSTERO-MARINO
Reptiles	Cheloniidae	Lepidochelys olivacea	Tortuga Golfina, Tortuga Blanca	En Peligro	Vulnerable	COSTERO-MARINO
Reptiles	Dermochelyidae	Dermochelys coriacea	Tortuga Baule	En Peligro	Critically Endangered	COSTERO-MARINO
Mamíferos	Cebidae	Ateles geoffroyi	Mono Araña	En Peligro	Endangered	BOQUEPÓN, NIFOLIO COSTERO
Plantas	Avicenniaceae	Avicennia bicolor	Madresal	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR



Figura Occ-15. COCODRILO (Crocodylus acutus)



Figura Occ-16. TORTUGA BLANCA (Lepidochelys olivacea)



Figura Occ-17. TORTUGA CAREY (Eretmochelys imbricata)



Figura Occ-18. MADRESAL (Avicennia bicolor)

ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La protección de un determinado espacio natural es de por sí un reconocimiento explícito sobre el valor ambiental de los recursos que alberga y sobre su relevancia para el país. Las figuras de protección ambiental permiten identificar aquellos ecosistemas relevantes bien porque implican un elevado valor para el país o porque ocupan una limitada área a nivel nacional. En la zona de estudio se verían afectados los siguientes espacios protegidos: Complejo Barra de Santiago.

ECOSISTEMAS SINGULARES

Se han considerado bajo la categoría de singulares aquellos ecosistemas que bien ocupan una pequeña área en el país como los arrecifes con parches de coral bien son representativos de la biodiversidad del país o son base del sustento de comunidades locales (como los manglares). La Costa Occidental se caracteriza en este caso por la existencia de importantes manglares.

¿Cómo afectaría la pérdida de ecosistemas a los modos de vida de las comunidades?

Existen varios tipos de mangle en Costa Occidental, principalmente el mangle blanco y el mangle rojo. Las zonas de mangle son aprovechadas por las comunidades por ser hábitat de los estadios juveniles de cientos de especies de peces, moluscos y crustáceos, así como para la obtención de varios recursos (madera para leña y construcción de viviendas, para curtumbres y tintorería como plantas medicinales).

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

- Protección y restauración de las zonas de manglar.
- Protección de las especies amenazadas para mejorar su estado de conservación (viveros de tortugas para evitar la depredación o la extinción ilegal).
- Protección de ecosistemas y restauración de zonas alteradas.

LA ALTERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

La mayor alteración de los ecosistemas en Costa Occidental está asociada a la deforestación del manglar. Existen zonas, como es el caso de la costa oriental de Metalo (Figura Occ-19), en la que el mangle ha desaparecido casi por completo. Un manglar alterado supone una menor protección frente a tsunamis.

¿Cómo pueden ayudarnos los ecosistemas a mitigar el impacto de un gran tsunami?

Los manglares desempeñan una función clave en la protección de las costas contra la erosión eólica y por oleaje, siendo esenciales en la protección contra el impacto de tsunamis.



Figura Occ-19. Ecosistemas alterados en Costa Occidental

ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EN RIESGO

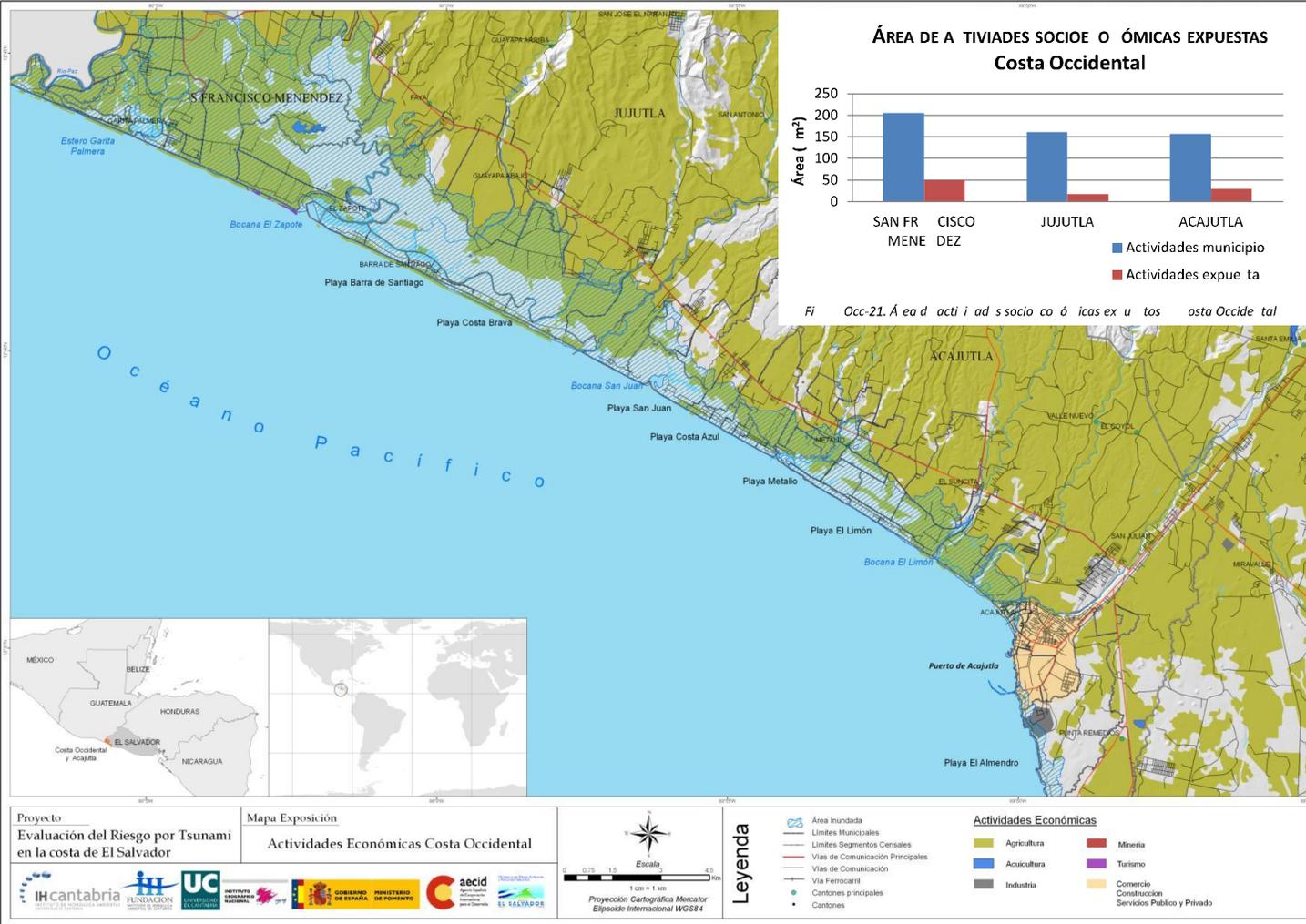


Fig. Occ-20. Actividad s socioeco ó micas expuestas en la Costa Occidental

RIESGO SOCIOECONÓMICO DEBIDO A UN TSUNAMI

Se ha analizado cada actividad socioeconómica existente en la Costa Occidental de El Salvador para identificar aquellas localizadas en zonas expuestas a eventos de tsunamis. Para poder entender los posibles impactos de un tsunami en estas actividades se ha calculado lo siguiente:

- Cuántas personas trabajan en esas actividades expuestas, para conocer el posible impacto social del tsunami,
- Cuántos millones de dólares generan esas actividades expuestas, a nivel de PIB y de comercio exterior del país, para poder entender los impactos económicos que podría tener un tsunami en la zona.

La Figura Occ-21 muestra el área de actividades expuestas respecto al total existente en el municipio. San Francisco Menéndez es el municipio con mayor área expuesta (50 m²). La Figura Occ-22 muestra la importancia de las actividades expuestas, en términos de empleo y contribución económica, para cada municipio. Así se puede apreciar que Acajutla, con un menor área de actividades expuestas (25 m²) que San Francisco Menéndez, sufriría unos impactos sociales y económicos mayores.

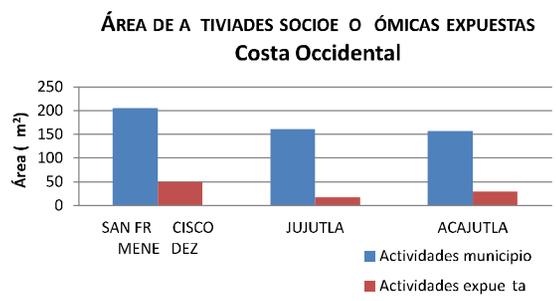


Fig. Occ-21. Área de actividades socioeconómicas expuestas en la Costa Occidental

SE SIBILIDAD DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS COSTA OCCIDENTAL

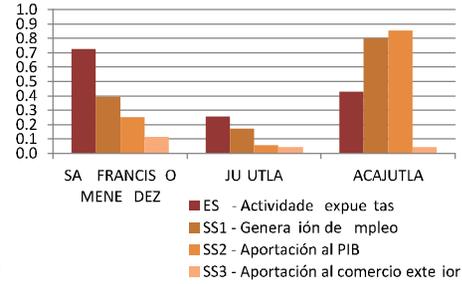


Figura Occ-22. Sensibilidad socioeconómica de la Costa Occidental

IMPACTO EN LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS

? ¿Qué actividades de la región se verían más afectadas por el impacto de un gran tsunami?

PÉRDIDA DE ÁREA (Figura Occ-23). La actividad que perdería mayor área es la agricultura, con cerca de 50 m² expuestos en San Francisco Menéndez, y alrededor de 15 m² en Jujutla y Acajutla. Existe una pequeña área expuesta (3 m² aproximadamente) dedicada al turismo en Jujutla y Acajutla. Acajutla además cuenta con áreas expuestas orientadas a comercio, construcción y servicios, principalmente en los núcleos urbanos.

PÉRDIDA DE EMPLEO (Figura Occ-24). Las mayores pérdidas de empleo se producirían en Acajutla en comercio, turismo, construcción y servicios (3,300 trabajadores aproximadamente), y en la agricultura en San Francisco Menéndez (1,000 trabajadores aproximadamente).

? ¿Qué implicaría la pérdida de estas actividades en la economía de las familias y del país?

PÉRDIDAS ECONÓMICAS. Los impactos económicos más importantes para el país (Figura Occ-25) se producirían debido a una pérdida de contribución al PIB de 30 millones de dólares en Acajutla y cerca de 10 millones en San Francisco Menéndez, asociada a varias actividades. Las pérdidas debido a una menor aportación al comercio exterior (Figura Occ-26) estarían asociadas principalmente a la destrucción de zonas de agricultura y se haría especialmente relevante en San Francisco Menéndez.

ÁREA DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Costa occidental

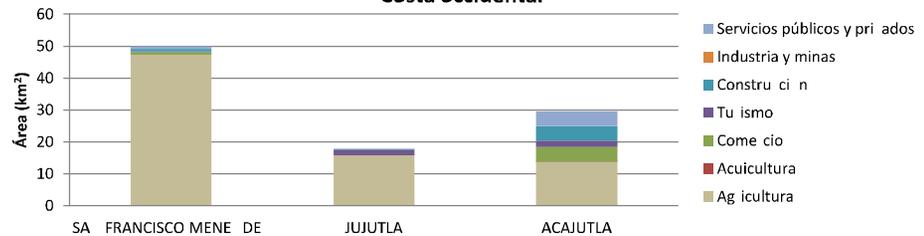


Figura Occ-23. Área de actividades socioeconómicas expuestas en la Costa Occidental.

CONTRIBUCIÓN AL PIB DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Costa occidental

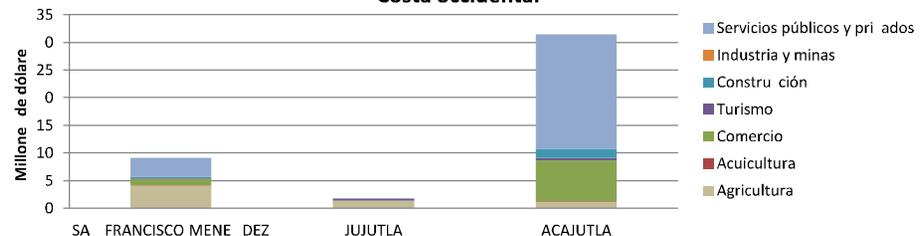


Figura Occ-25. Contribución al PIB de actividades socioeconómicas expuestas en la Costa Occidental.

TRABAJADORES EN ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Costa occidental

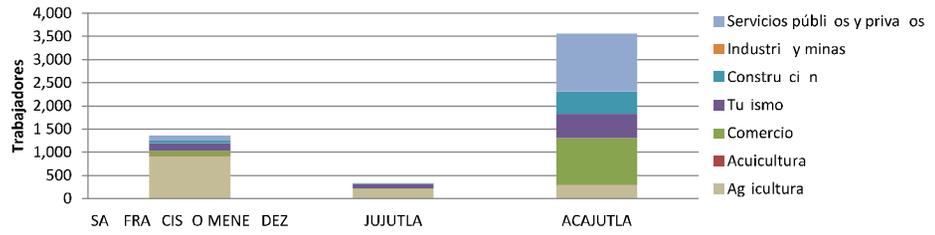


Figura Occ-24. Trabajadores en actividades socioeconómicas expuestas en la Costa Occidental.

CONTRIBUCIÓN AL COMERCIO EXTERIOR DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Costa occidental

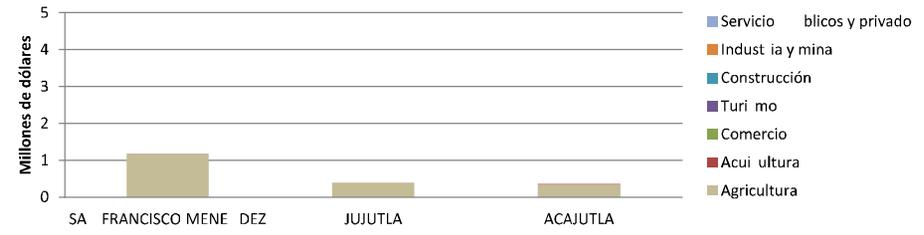


Figura Occ-26. Contribución al Comercio Exterior de actividades socioeconómicas expuestas en la Costa Occidental.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO SOCIOECONÓMICO

- Destinar una partida presupuestaria para asegurar los terrenos agrícolas sujetos a una posible pérdida de área de producción debida a un tsunami.
- Reserva de semillas de cultivos agrícolas
- Retirada o fortalecimiento de las construcciones de aquellas actividades expuestas (turismo, comercio, etc.)
- Desarrollo de procesos de capacitación de trabajadores e puestos para facilitar su incorporación gradual a actividades alternativas o de manera puntual en caso de emergencia.

INFRAESTRUCTURAS EN RIESGO



RIESGO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DEBIDO A UN TSUNAMI

Para poder entender el posible impacto de un tsunami en las infraestructuras de la Costa Occidental de El Salvador, se ha analizado la existencia de varios tipos de infraestructuras en San Francisco Menéndez Jujutla y Acajutla, y si están localizadas dentro del área que pudiera ser inundada por un posible tsunami en la zona (Figura O c-27).

Las infraestructuras analizadas son las siguientes:

- **Infraestructuras de abastecimiento de agua**, incluyendo pozos y suministro por tuberías.
- **Infraestructuras de saneamiento**.
- **Infraestructuras de abastecimiento de energía**, incluyendo centrales de generación, transmisión y distribución.
- **Infraestructuras de transporte**, incluyendo puertos, aeropuertos, carreteras, puentes, ferrocarril.
- **Infraestructuras industriales**, incluyendo la petroquímica, química, cementera, siderúrgica y metalúrgica, de alimentación y bebidas, de textil y confección, de papel y cartón, de almacenamiento y polígonos industriales.
- **Infraestructuras de protección costera**.
- **Infraestructuras de emergencia**, incluyendo bomberos, Protección civil, instalaciones militares, hospitales y centros de salud.
- **Edificaciones críticas**, entendidas como aquellas que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar ayuda en caso de evacuación. Esta categoría incluye hoteles, hospitales, centros escolares, centros deportivos, iglesias, centros de ocio comerciales.

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS



¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en infraestructuras esenciales?

ABASTECIMIENTO DE AGUA (Figura Occ-28). El suministro de agua de varias comunidades se vería afectado ya que algunos pozos de los que se abastecen están ubicados en zona inundable (1 pozo en San Francisco Menéndez, 1 en Jujutla, 3 en Acajutla). Los niveles de salinidad por el agua del mar y contaminación proveniente de pesticidas de áreas agrícolas pueden provocar la inutilización de los pozos meses después del evento.

EMERGENCIA (Figura Occ-29). Todas las infraestructuras de emergencia de la zona (3 en San Francisco Menéndez, 1 en Jujutla, 3 en Acajutla) se verían afectadas por la inundación, quedando inutilizadas para prestar ayuda en la emergencia.

TRANSPORTE (Figuras Occ-30 y 31). Gran parte de la infraestructura de transporte de la zona se verían afectadas lo que implica dificultades de evacuación y ayuda de emergencia, así como importante pérdida económica. La mitad de las carreteras de la zona apropiadamente se verían afectadas (63% en San Francisco Menéndez, 44% en Jujutla y 42% en Acajutla) si no casi todas ellas de tipo 2 y 3 (camino secundario mejorado y camino seco sólo para verano).

Se verían afectados los puertos marítimo y petroquímico y varias infraestructuras de ferrocarril en Acajutla. Asimismo 4 puentes (1 en Jujutla y 3 en Acajutla) están expuestos al tsunami.

INDUSTRIA (Figuras Occ-32 y 33). Acajutla es el único municipio de la zona que cuenta con infraestructuras industriales, la mitad de las cuales (5) están expuestas a un posible tsunami.

De estas 5 infraestructuras expuestas una pertenece a la industria petroquímica (Figura Occ-3), dos son infraestructuras de almacenamiento y dos polígonos industriales.

INFRAESTRUCTURAS DE ABASTECIMIENTO EXPUESTAS: POZOS
Costa occidental

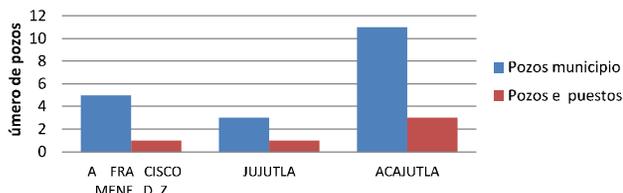


Figura Occ-28. Infraestructuras de abastecimiento de agua (pozos) expuestas en Costa Occidental

INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EXPUESTAS: CARRETERAS
Costa occidental

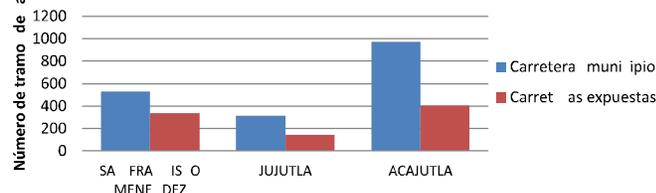


Figura Occ-30. Infraestructuras de transporte (carreteras) expuestas en Costa Occidental

INFRAESTRUCTURAS DE INDUSTRIA EXPUESTAS
Costa occidental

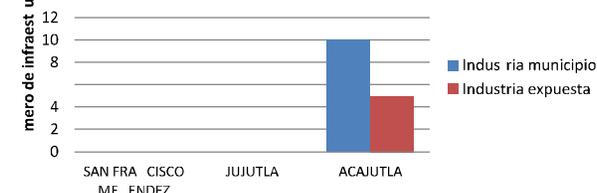


Figura Occ-32. Infraestructuras industriales expuestas en Costa Occidental

INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EXPUESTA
Costa occidental

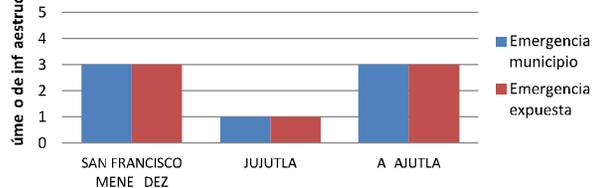


Figura Occ-29. Infraestructuras de emergencia expuestas en Costa Occidental

TIPOS DE CARRETERAS EXPUESTAS
Costa occidental

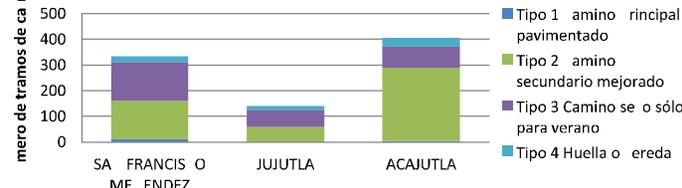


Figura Occ-31. Tipos de carreteras expuestas en Costa Occidental

TIPOS DE INFRAESTRUCTURAS INDUSTRIALES EXPUESTAS
Costa occidental

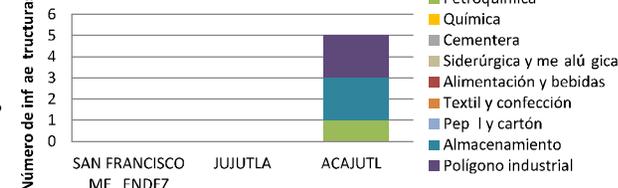


Figura Occ-33. Tipos de infraestructuras industriales expuestas en Acajutla

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificar un sistema de abastecimiento de agua alternativo para caso de tsunami, de manera que se pueda abastecer a las comunidades afectadas durante un largo período de tiempo tras el tsunami.
- Traslado de infraestructuras de emergencia a zona segura. Si no fuera posible, planificar una ayuda de emergencia alternativa en caso de tsunami. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura.
- Identificar las carreteras que podrían verse afectadas y sus características, saltar al menos las vías que resulten estratégicas para una efectiva evacuación de la población y/o ayuda de emergencia.
- Retirar las infraestructuras industriales expuestas a zonas seguras. En caso de no ser posible, protegerlas del impacto del tsunami y asegurarlas contra desastres naturales. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura.

EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

RIESGO EN EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

Este mapa muestra las edificaciones críticas y de emergencia que están localizadas en zona potencialmente inundables por un evento de tsunami en la Costa Occidental de El Salvador.

La categoría de **edificaciones críticas** incluye todas aquellas que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar especial atención en caso de evacuación. Para una adecuada evacuación de la zona en caso de tsunami es necesario tener localizadas estas edificaciones, conocer cuántas personas albergan y sus características. Se incluyen en esta categoría a la siguiente lista:

- Hoteles
- Hospitales
- Centros escolares
- Centros deportivos
- Iglesias
- Centros de ocio y comerciales.

La categoría de **edificaciones de emergencia** incluye todas aquellas infraestructuras e instalaciones que deberían prestar ayuda en caso de una emergencia. Su ubicación en una zona de riesgo impedirá que cumplan su función de ayuda a la sociedad. Se incluyen en esta categoría las siguientes instalaciones:

- Bomberos
- Protección civil
- Militares
- Hospitales
- Centros de salud.

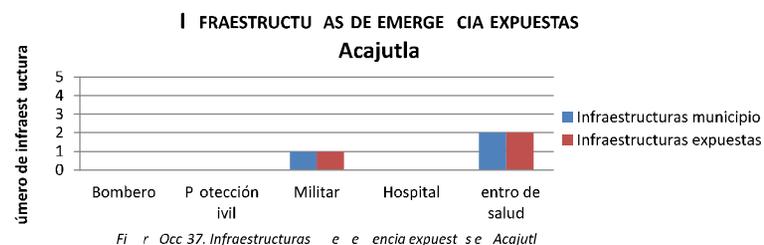
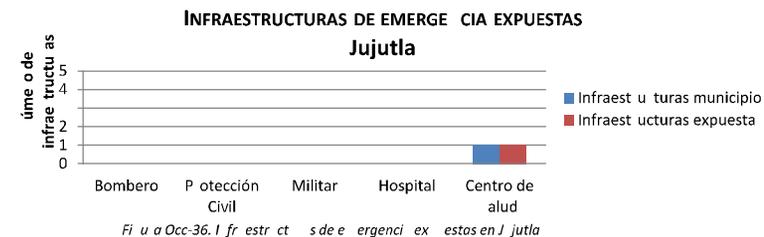
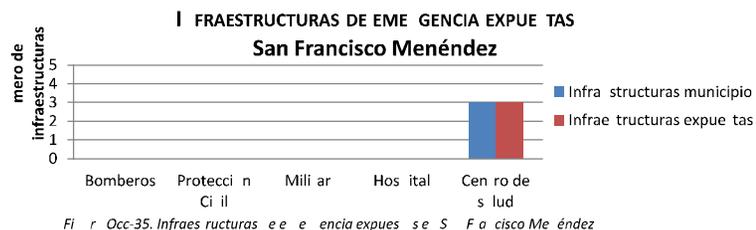


Figura Occ-34. Edificaciones críticas y de emergencia en la Costa Occidental

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y EDIFICACIONES CRÍTICAS

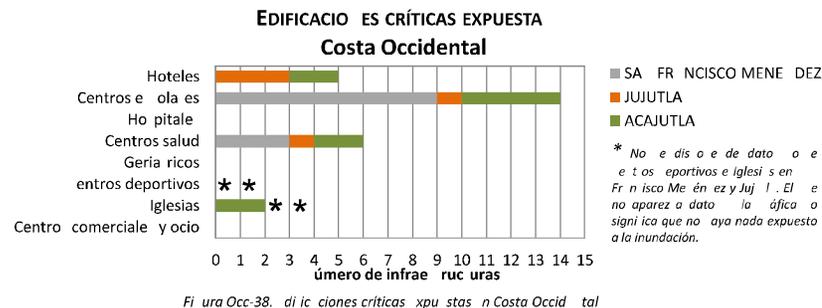
? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las infraestructuras necesarias para la emergencia?

Las infraestructuras de emergencia expuestas a un posible evento de tsunami (Figuras Occ-35 a 37) y que, por lo tanto, no tendrían capacidad para prestar ayuda en caso de emergencia son principalmente Centros de Salud (3 en San Francisco Menéndez, 1 en Jujutla y 2 en Acajutla) e instalaciones militares (1 en Acajutla). Todas estas infraestructuras expuestas suponen la totalidad de las existentes en los municipios, por lo que no existiría servicio de emergencia.



? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las edificaciones que albergan un gran número de población?

Las edificaciones críticas expuestas a un posible evento de tsunami (Figura Occ-38) son principalmente hoteles (3 en Jujutla y 2 en Acajutla), centros escolares (9 en San Francisco Menéndez, 1 en Jujutla y 4 en Acajutla), centros de salud (3 en San Francisco Menéndez, 1 en Jujutla y 4 en Acajutla) e iglesias (2 en Acajutla).



Los centros escolares expuestos se muestran en la siguiente tabla. Existen en toda la costa occidental 14 centros ubicados en zona inundable por tsunami, lo que supone un total de 2852 personas expuestas: 2,741 alumnos y 111 docentes.

IMPACTO EN CENTROS ESCOLARES					
MUNICIPIO	OMBRE CENTRO ESCOLAR	CANTO	DOCENTES	ALUMNOS	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CATALI OPIEDA RIVERA	GARITA PALMERA	5	1	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR HACIENDA BOLA DE MOLE	ARITA PALMERA	7	23	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CASERIO PLAYA BOLA DE MOLE	GARITA PALMERA	7	215	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	COMPLEJO EDUCATIVO GORIT PALMERA	GARITA PALMERA	12	311	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CASERIO EL TAMARINDO CANTO GARITA PALMERA	ARITA PALMERA		46	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CASERIO BRISAS DEL MAR CANTO GARITA PALMERA	GARITA PALMERA	4	14	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CASERIO EL CHICO CANTO GARITA PALMERA	GARITA PALMERA	3	131	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	CENTRO ESCOLAR CASERIO EL POVELO CANTO EL ZAPOTE	EL ZAPOTE	7	99	
SA FRANCISCO MENÉNDEZ	COMPLEJO EDUCATIVO ATON EL ZAPOTE	EL ZAPOTE	9	25	
JUJUTLA	COMPLEJO EDUCATIVO BARRA DE SA TIAGO	BARRA DE SA TIAGO	12	332	
ACAJUTLA	CENTRO ESCOLAR "CASERIO LA PLAYA C/METALIO"	METALIO			
ACAJUTLA	COMPLEJO EDUCATIVO "HABIE DA METALIO"	METALIO	25	100	
ACAJUTLA	CENTRO ESCOLAR "CASERIO COSTA AZUL"	METALIO	9	233	
ACAJUTLA	CENTRO ESCOLAR "CANTO LA COQUERA"	LA COQUERA	6	150	
TOTAL			111	2,741	

Figura Occ-39. Edificaciones críticas expuestas en Costa Occidental

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificación urbanística que tenga en cuenta la zona en riesgo ante tsunami. Prohibiendo o regulando algunos desarrollos urbanísticos
- Especial atención a la ubicación de edificaciones críticas y de emergencia, pues tienen gran importancia en caso de tsunami.
- Si no fuera posible retirar las edificaciones críticas de su ubicación actual para localizarlas en zonas seguras (por ejemplo escuelas, hoteles, etc.), es recomendable la construcción de instalaciones para la evacuación vertical de la población
- Si no fuera posible la retirada de las infraestructuras de emergencia a zonas más seguras, será necesario organizar una asistencia suplementaria en caso de tsunami con equipos de otras zonas.

EDIFICACIONES Y VIVIENDAS EN RIESGO

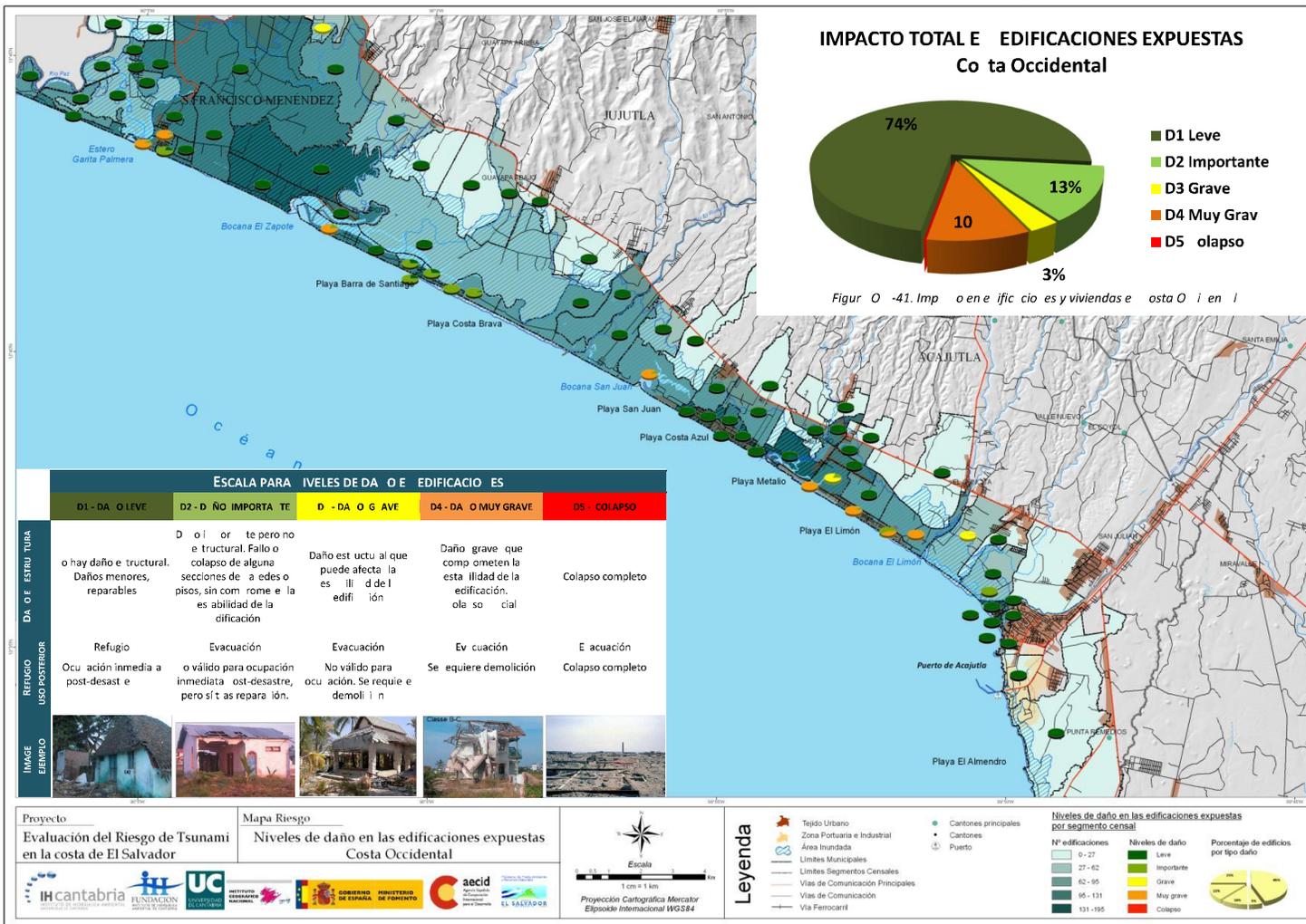


Figura 41. Impacto en edificaciones y viviendas de la Costa Occidental

IMPACTO EN EDIFICACIONES EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Para analizar el posible impacto de un tsunami en las edificaciones y viviendas de la zona de estudio se han estudiado dos factores:

- la profundidad de la inundación,
- los materiales de construcción de edificaciones y viviendas en la zona.

La Tabla de la Figura Occ-40 muestra la Escala para Niveles de Daño en Edificaciones, en la que se detallan los cinco Niveles de Daño establecidos, la descripción del daño en la infraestructura asociado a cada Nivel de Daño, el posible uso de la edificación como refugio de evacuación y uso posterior al desastre, y una imagen ejemplo del tipo de daño.

? ¿Son resistentes a un tsunami las edificaciones y viviendas de la zona? ¿Cuál sería el impacto en ellas?

Considerando la profundidad media de la inundación en cada segmento censal, las zonas de la Costa Occidental de El Salvador con impactos más severos en sus edificaciones y viviendas serían Metalco, Barra de Santiago y Garita Palmera. La mayor parte de las edificaciones ubicadas en estas zonas sufrirían Daño Grave y Muy Grave, lo que implica un daño estructural que compromete la estabilidad de la edificación y quizás un colapso parcial, así como una demolición tras el evento.

De manera general en la Costa Occidental (Figura Occ-41), el 10% de la edificación y viviendas sufrirían un Daño Muy Grave y con un posible colapso parcial de las mismas; un 3% soportaría Daño Grave; un 13% un Daño Importante que no compromete la estabilidad. Estas 3 categorías suponen un número total de 1,683 edificaciones aproximadamente. El resto, cerca de 4,84 edificaciones, sufrirían un Daño Leve.

Análisis basado en el modelo de riesgo en el Proyecto SCHEMA de riesgos para la reducción de Emergencias en la Operación Comisaría, Join Reseach Centre, Instituto de Planificación y Seguridad Ciudadana (2011)

TIPOS DE EDIFICACIONES SEGÚN SUS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

? ¿Qué viviendas de la zona resistirían mejor el impacto de un gran tsunami?

Existen en la Costa Occidental más de 6,500 edificaciones y viviendas expuestas a un posible evento de tsunami. Se han clasificado según sus tipos de materiales, englobándolas en 2 categorías: Tipo I No Resistentes y Tipo II Resistentes. La Figura Occ-42 muestra las distintas combinaciones de materiales de paredes y techo incluidas en cada categoría. La Figura Occ-43 muestra el número total de edificaciones expuestas por segmento censal y cuántas son de Tipo I y Tipo II. La Gráfica Occ-44 muestra los datos globales para toda la Costa Occidental: 6,557 edificaciones expuestas, siendo el 90% de ellas No Resistentes.

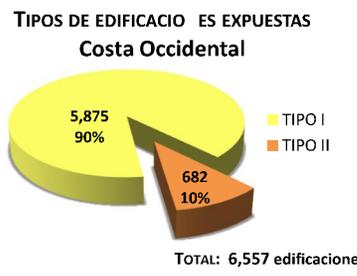
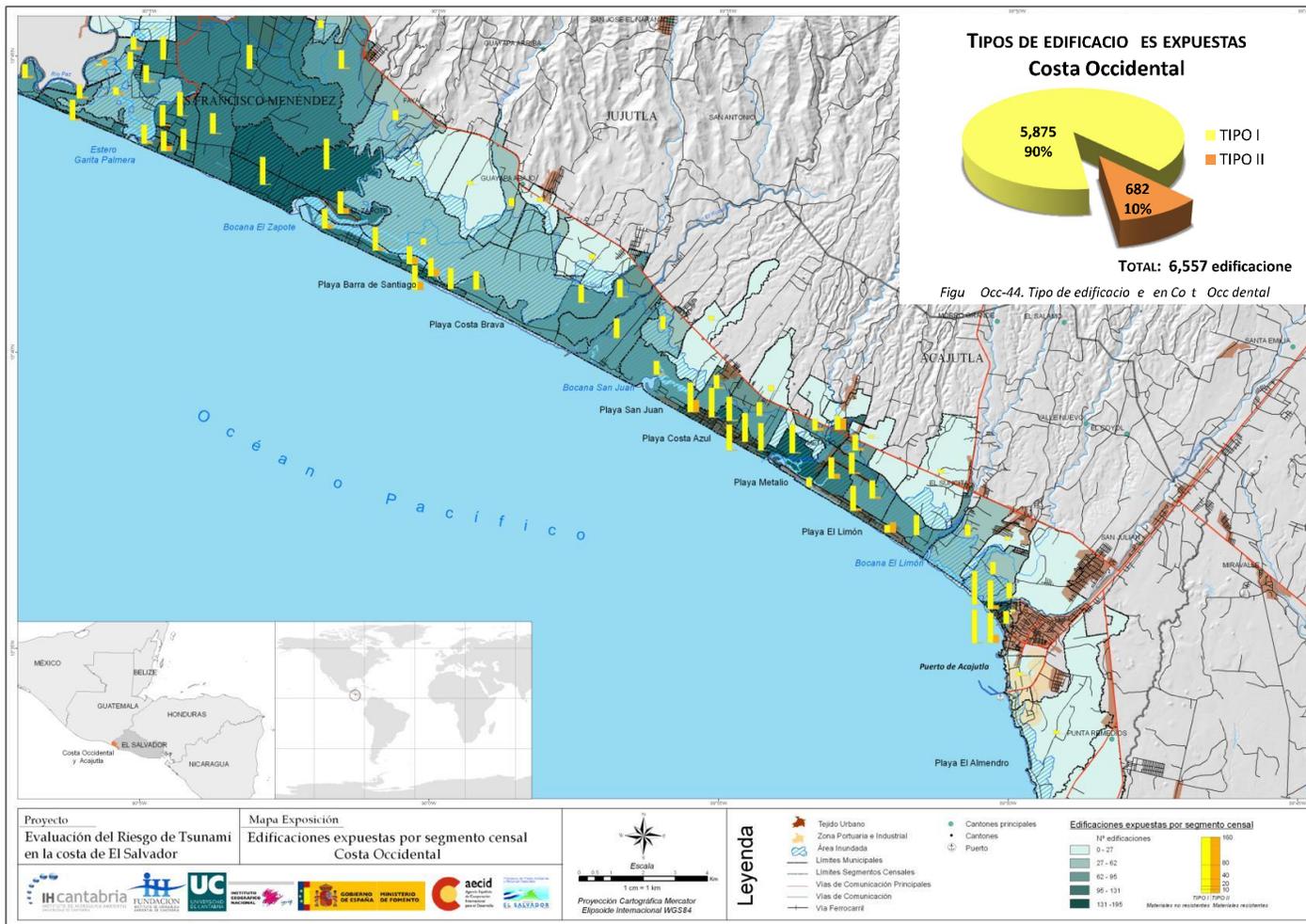


Figura Occ-44. Tipo de edificaciones en la Costa Occidental

COMBINACIONES ENTRE TIPO DE MATERIAL DE PAREDES Y TECHO	EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES FRÁGILES
TIPO I	<p>EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES FRÁGILES</p> <p>PAREDES: PAJA DESECHO, PALMA OTRO VEGETAL, MADERA, LÁMINA METÁLICA</p> <p>TECHO: PAJA / DESCHO, PALMA OTRO VEGETAL, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES DE LA ZONA</p> <p>PAREDES: PAJA DESECHO, ADOBE, MADERA</p> <p>TECHO: PAJA, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</p> <p>PAREDES: COCOTE O MIXTO</p> <p>TECHO: LÁMINA METÁLICA, TEJA, AS ESTO</p>
TIPO II	<p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA ALTA-ALTA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES RESISTENTES, BUELOS ACABADOS Y DECORADOS DE TAL FORMA QUE IMPARTAN SU VALOR</p> <p>PAREDES: COCOTE O MIXTO</p> <p>TECHO: FERRÓCEMENTO, LOSA DE CONCRETO</p>

Figura Occ-42. Tipos de edificaciones y sus materiales

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EDIFICACIONES

- Establecimiento de un código de construcción sismo-resistente para las nuevas edificaciones.
- Ayudas eventuales a la población para el reforzamiento de las viviendas actuales Tipo I.

Figura Occ-43. Tipos de edificaciones y viviendas expuestas en la Costa Occidental

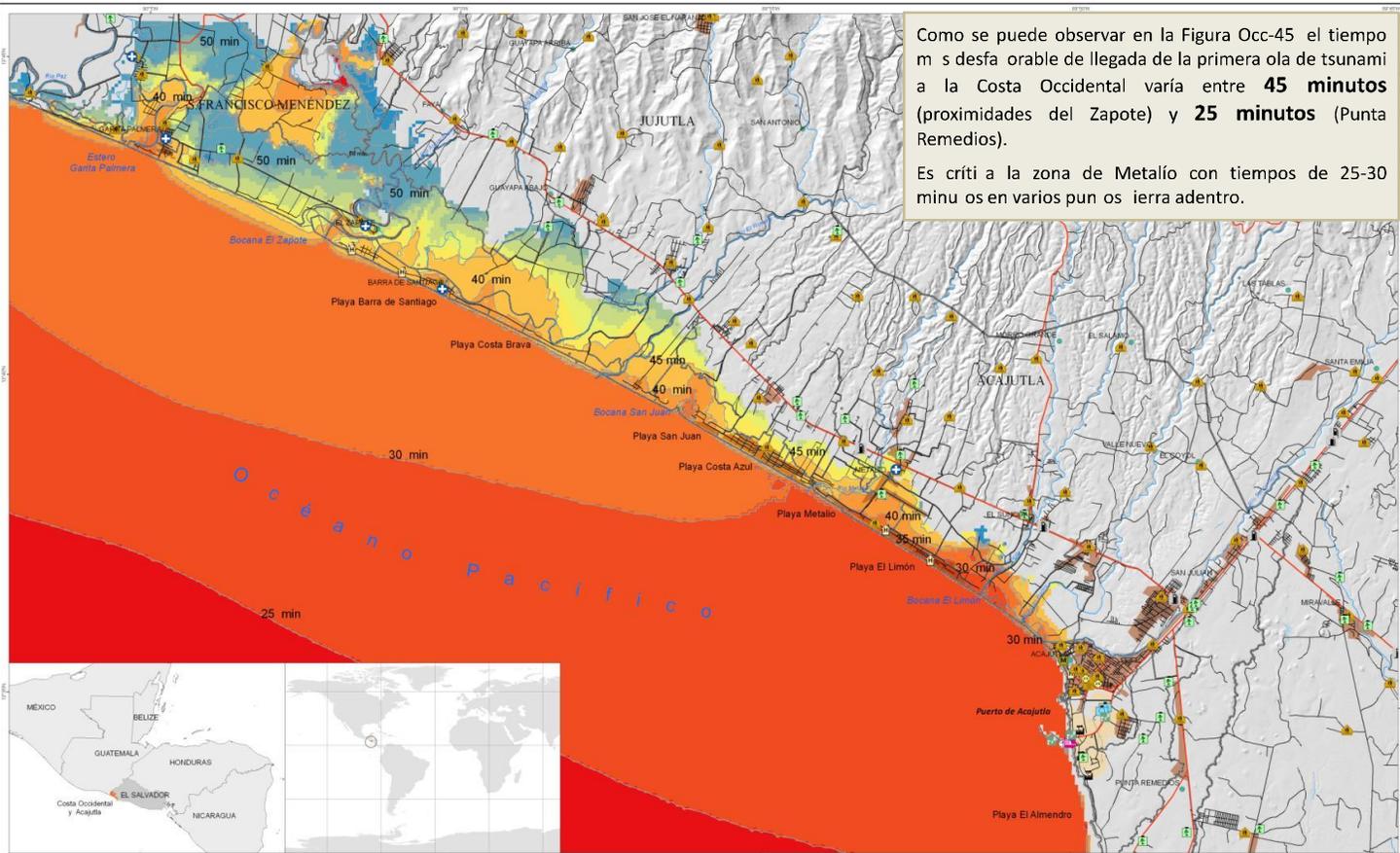
EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI

COSTA OCCIDENTAL

Municipios de San Francisco Menéndez, Jujutla y Acajutla

TIEMPO MÁS DESFAVORABLE DE LLEGADA DEL TSUNAMI

Como se puede observar en la Figura Occ-45 el tiempo más desfavorable de llegada de la primera ola de tsunami a la Costa Occidental varía entre **45 minutos** (proximidades del Zapote) y **25 minutos** (Punta Remedios).
Es crítica la zona de Metalío con tiempos de 25-30 minutos en varios puntos tierra adentro.



Proyecto
Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa Peligrosidad
Tiempo de llegada de tsunami
Mapa agregado que combina los peores escenarios de fuentes lejanas, regionales y locales

Legenda

- Tejido Urbano
- Área Inundada
- Limites Municipales
- Limites Segmentos Censales
- Vías de Comunicación Principales
- Vías de Comunicación
- Vía Ferrocarril
- Cantones principales
- Cantones
- Protección Costera
- Protección Civil
- Pozos
- Polígonos Industriales
- Plantas Tratamiento
- Instalaciones Militares
- Hoteles
- Hospitales
- Zona Portuaria e Industrial
- Iglesias
- Estaciones Servicio
- Estaciones Bombeo Agua
- Electricidad
- Centros Escolares
- Bombos
- Centros Comerciales Ocio
- Puerto

Tiempos de arribo (minutos)

< 20	46-47
25 - 30	47-48
30 - 35	48-49
35 - 40	49-50
40 - 45	50-60
45-46	> 60

Proyección Cartográfica Mercator
Elipsoide Internacional WGS84

Figura Occ-45. Tiempo más desfavorable de llegada de la primera ola de tsunami a la Costa Occidental

TIEMPO DE LA POBLACIÓN PARA EVACUAR

Se ha realizado del caso más conservador, en términos de tiempos de llegada de la primera ola de tsunami, que puede afectar a El Salvador y en concreto a la Costa Occidental. Lo tiempo que se presentan en el análisis (tiempo de llegada del tsunami y tiempo que tiene la población para evacuar) están calculados en base al caso más desfavorable posible. Estos tiempos podrían variar asociado a un tsunami generado en fuentes cercanas, debido a un terremoto originado en la zona de subducción (Placa de Cocos - Placa Caribe) frente a la costa de El Salvador. Para el caso de un tsunami originado en una fuente lejana, estos tiempos cambiarían.

Algunos conceptos esenciales para entender el estudio son los siguientes:

TIEMPO DE LLEGADA DEL TSUNAMI ($T_{Tsunami}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que llega la primera ola a un punto concreto de la zona costera. En el mapa se representa mediante isólinas de tiempo y un código de color.

TIEMPO DE RESPUESTA ($T_{respuesta}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que la población comienza a evacuar. Este tiempo incluye lo siguiente:

- Tiempo de Detección del terremoto y análisis de características + Tiempo de Emisión de Alerta de tsunami por el MAR.
- Tiempo de Recepción de la Alerta por parte de la Dirección General de Protección Civil y transmisión a la Comisión Municipal de Protección Civil.
- Tiempo de Transmisión de la Alerta a las comunidades.
- Tiempo de Reacción de la población

TIEMPO DE EVACUACIÓN ($T_{evacuación}$): tiempo que transcurre desde que la población comienza a evacuar hasta que llega a zona segura (evacuación a pie).

$$T_{E\text{vacuación}} = T_{Tsunami} - T_{Respuesta}$$

ZONAS SEGURAS Y RUTAS DE EVACUACIÓN PRINCIPALES

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SEGURAS

El modelado de este evento de tsunami proporciona el área que quedaría inundada. La Figura Occ-46 muestra la zonificación de seguridad en base a el área inundada. Así, se diseñan 3 zonas:

- **ZONA A INUNDADA POR EL TSU AMI** (en color azul): zona con profundidades y elocidade de inundación mayores cerca de la costa menores al avanzar tierra adentro.
- **ZONA DE SEGURIDAD MEDIA** (en color amarillo): esta zona de seguridad media se ha establecido entre la cota máxima de inundación en la zona de estudio y la cota 20m.
- **ZONA DE SEGURIDAD ALTA** (en color verde): zona a partir de la cota 20m.

IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN

Analizando los tiempos de llegada de tsunami (Figura Occ-45), la zonificación de seguridad (Figura Occ-46) y la red vial existente, se ha realizado un modelado de tiempos de evacuación.

Este modelado establece la ruta más corta desde cada punto de origen hasta cada punto de destino (punto por donde cada carretera sale de la lámina de inundación).

EVACUACIÓN PARA TIEMPO DE RESPUESTA 45 MINUTOS

En la Costa Occidental el tiempo de llegada del tsunami es de 25-45 minutos. Se ha establecido el Tiempo de Respuesta actual en 45 minutos. Para este Tiempo de Respuesta prácticamente ninguna de las comunidades partiendo de los puntos de origen establecidos conseguiría evacuar a tiempo.

ANÁLISIS DE DETALLE

Se presenta a continuación el análisis de detalle de dos zonas: Barra de Santiago y Metalío.

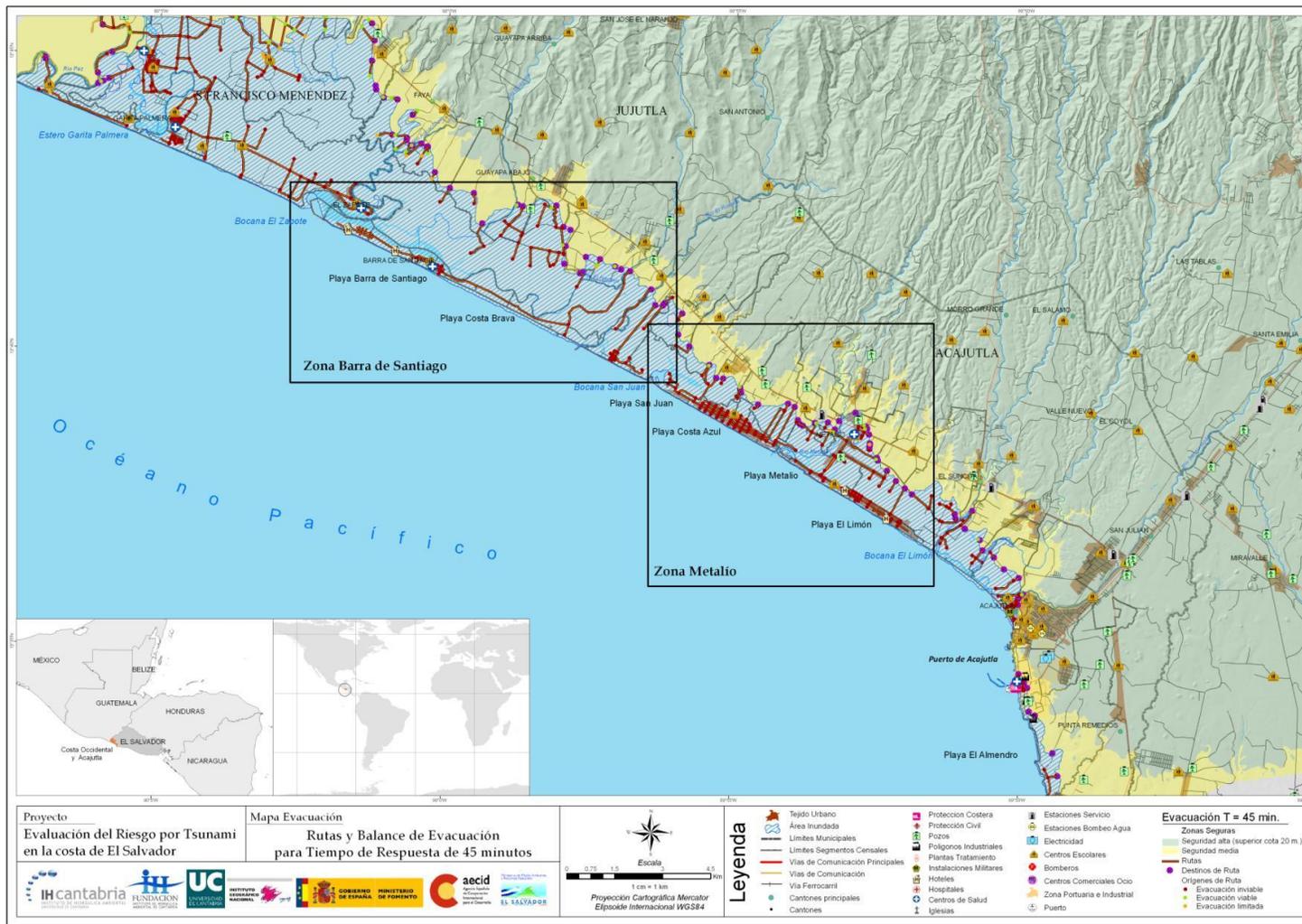


Figura Occ-46. Zonas seguras y modelado de tiempos de evacuación en la Costa Occidental. Un tiempo de respuesta de 45 minutos.

RUTAS DE EVACUACIÓN ZONA BARRA DE SANTIAGO

RUTAS DE EVACUACIÓN EXISTENTES

Se presentan en la Figura O c-47 las rutas de evacuación existentes en la Zona Barra de Santiago.

En páginas posteriores se muestra el análisis de la evacuación con estas rutas.

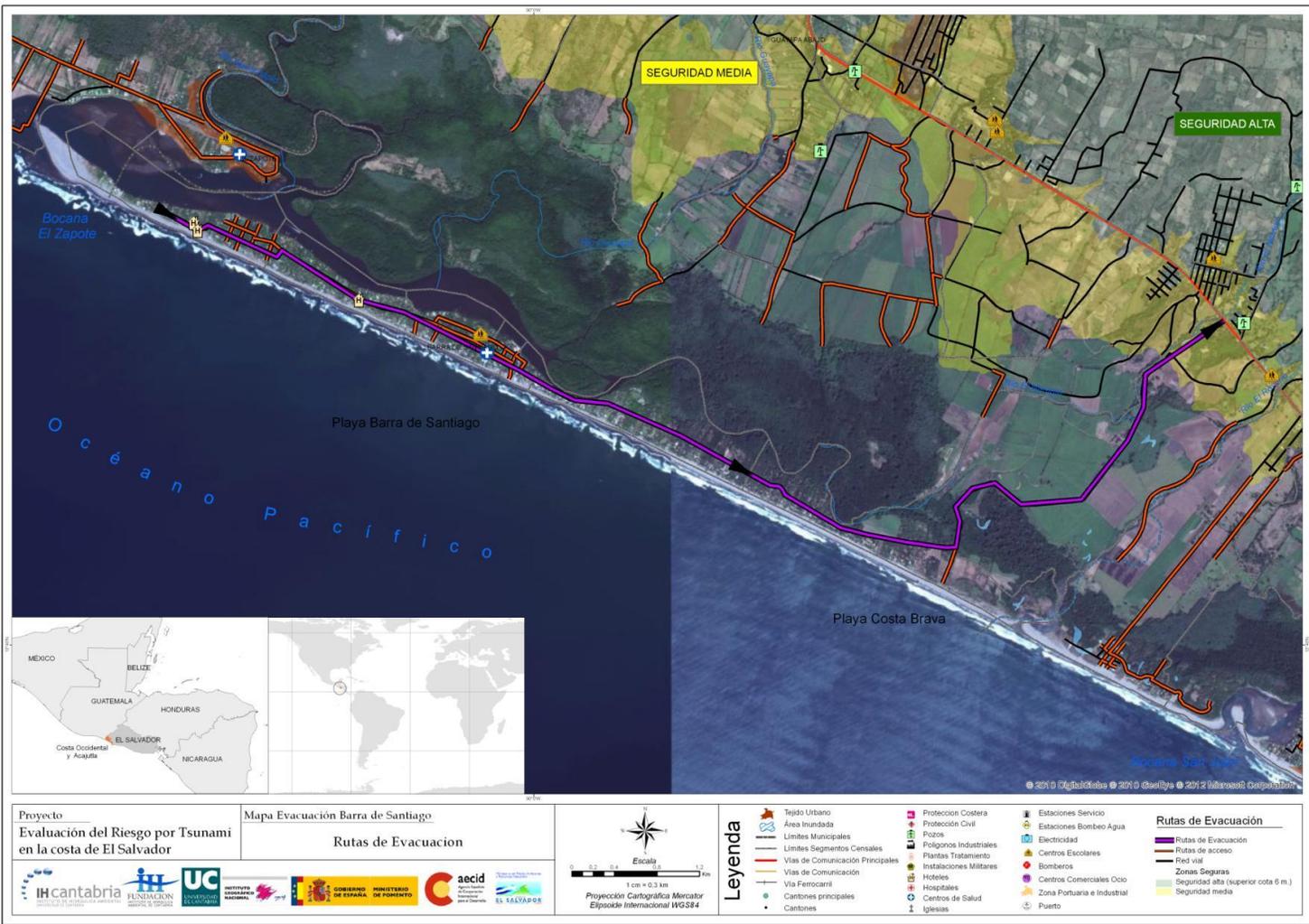


Figura O c-47. Rutas de evacuación existentes en la Zona Barra de Santiago.

EVACUACIÓN ZONA BARRA DE SANTIAGO (T = 45 min)

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

Se presenta en la Figura Occ-48 el modelado de evacuación de la zona Barra de Santiago para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

La línea discontinua color naranja muestra hasta dónde llegaría la primera ola de tsunami pasados 45 minutos de la generación del tsunami.

Resumiendo:

- Tiempo de Respuesta = 45 minutos
- Tiempo Llegada del tsunami = 40-4 minutos

Las comunidades ubicadas entre la línea de costa y la isóclona de 4 minutos no tendrían oportunidad de evacuar y cuando el tsunami llegaría antes de que recibieran la alerta por parte de las autoridades. Por esa razón los puntos de origen aparecen en color rojo.

Las comunidades ubicadas entre la isóclona de 45 minutos y la zona de seguridad media aparecen en distintos colores en función de la distancia que tengan que recorrer. Los puntos de origen en color verde implican que el tiempo que tarda la población en recorrer la distancia hasta zona segura es menor que la que tarda en llegar el tsunami desde que recibieron el aviso, es decir, consiguen evacuar todos. Los puntos de origen de color naranja implican que las comunidades que salen de esos puntos de origen evacuarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas -1m/s- conseguirían evacuar, las lentas no).

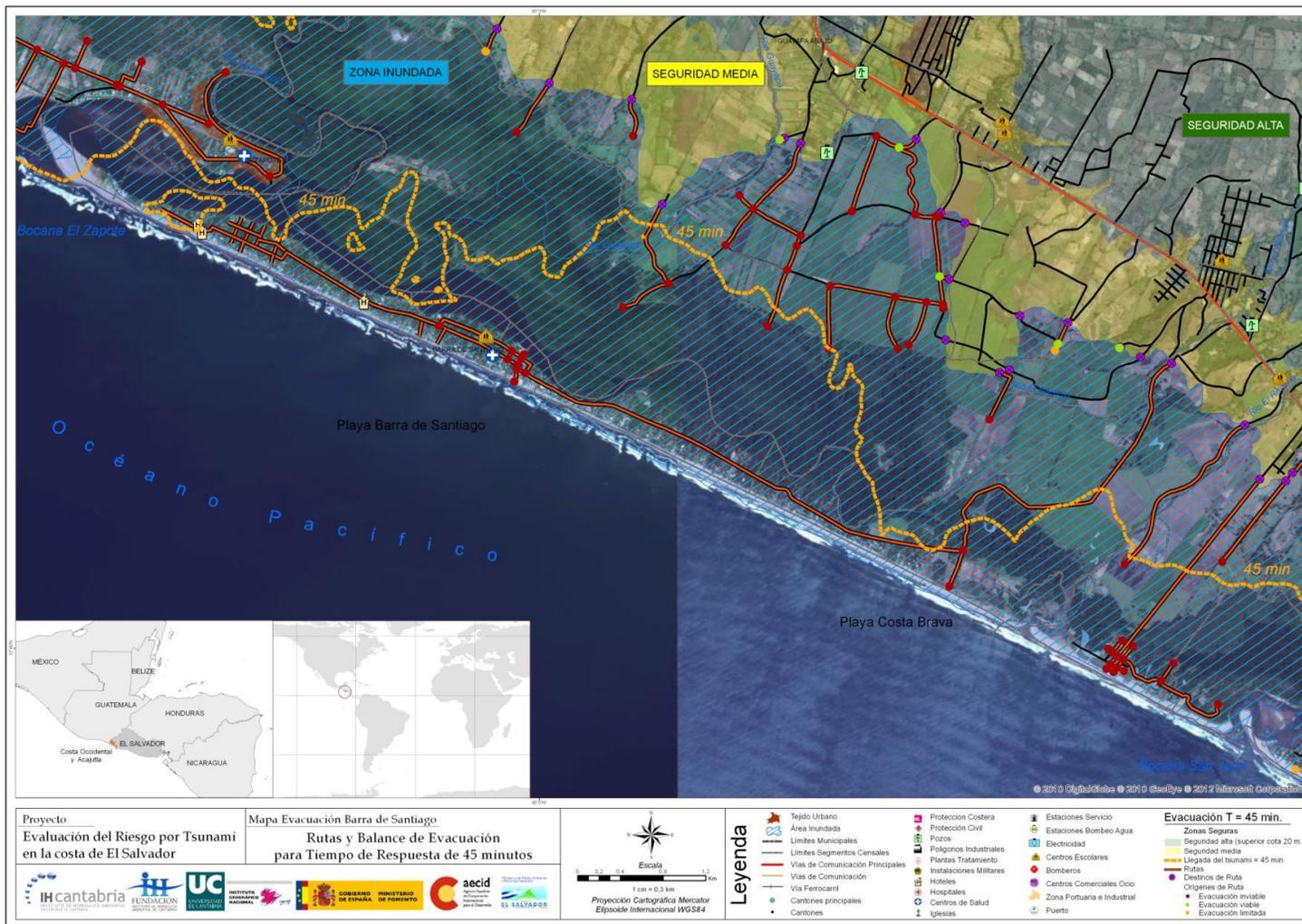


Figura Occ-48. Modelado de evacuación de la Zona Barra de Santiago a un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

BALANCE DE EVACUACIÓN (T = 45 min)

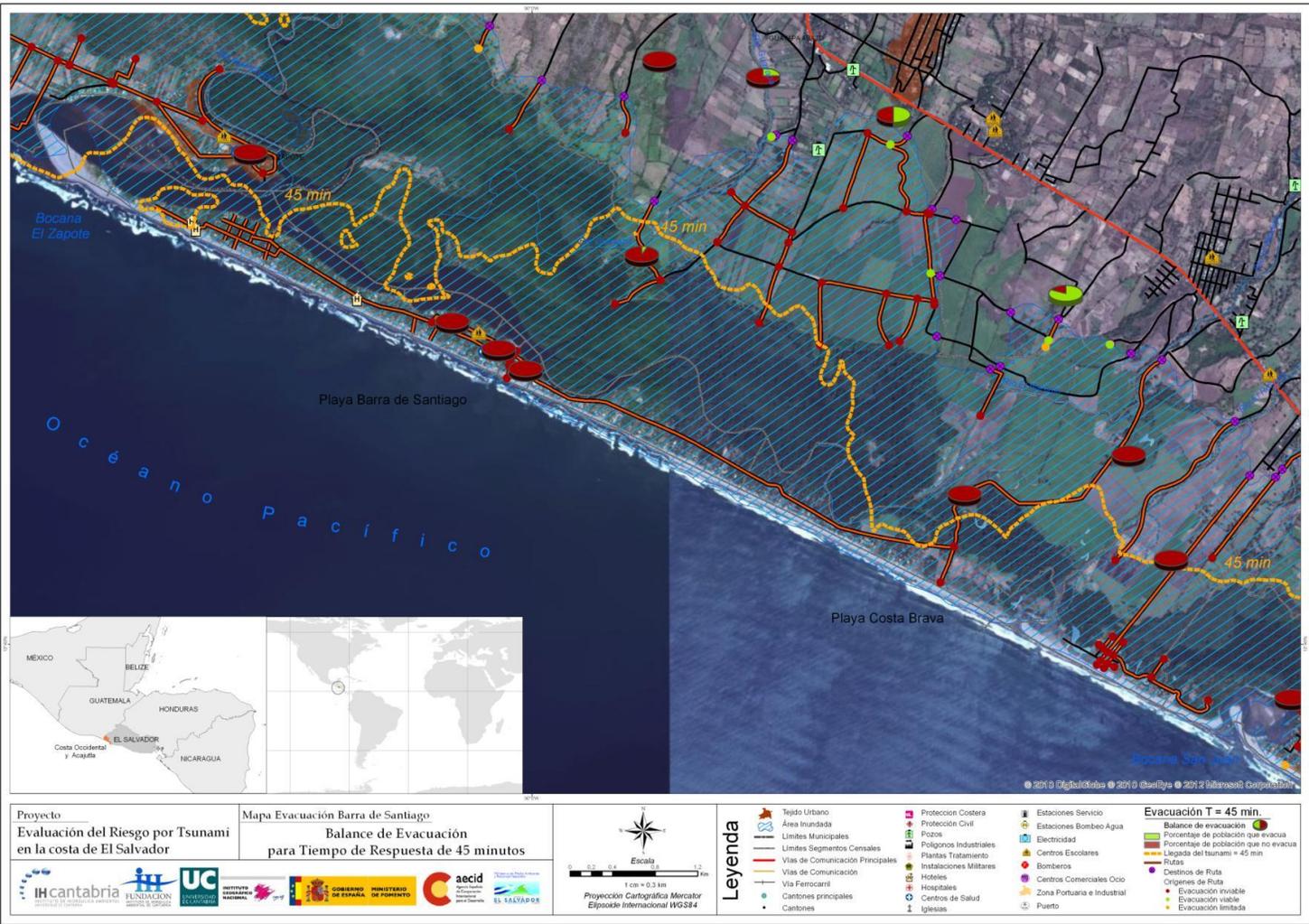


Figura Occ-49. Balance de evacuación de la Zona Barra de Santiago a un tiempo de Respuesta de 45 minutos.

PERSONAS QUE CONSIGUEN EVACUAR PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

La Figura Occ-49 muestra el balance de evacuación (porcentaje de personas por segmento censal que consigue evacuar) para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos (T45) en base a los resultados ya mostrados en la Figura Occ-48. Se presentan los resultados en forma de tartas por segmento censal.

Se puede apreciar en la figura que para el Tiempo de respuesta de 45 minutos desde que ocurre el tsunami hasta que la población comienza a evacuar la totalidad de las comunidades ubicadas más cerca de la costa no conseguiría evacuar. Aquellas situadas más cerca de la zona de seguridad e acudirían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas conseguirían evacuar, las lentas no).

MEDIDAS PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN

De estos resultados se concluye que es necesario proponer una serie de medidas para mejorar la evacuación de esta zona:

- reducir el **Tiempo de Respuesta**
- construir estructuras de evacuación artificial que permitan evacuar a algunas de las comunidades que actualmente no lo conseguirían (para este tipo de tsunami).
- Construir nuevas vías de evacuación que acorten la distancia a recorrer.

A continuación se presenta el modelado de la evacuación de la zona aplicando algunas de estas medidas.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS - EVACUACIÓN ZONA BARRA DE SANTIAGO

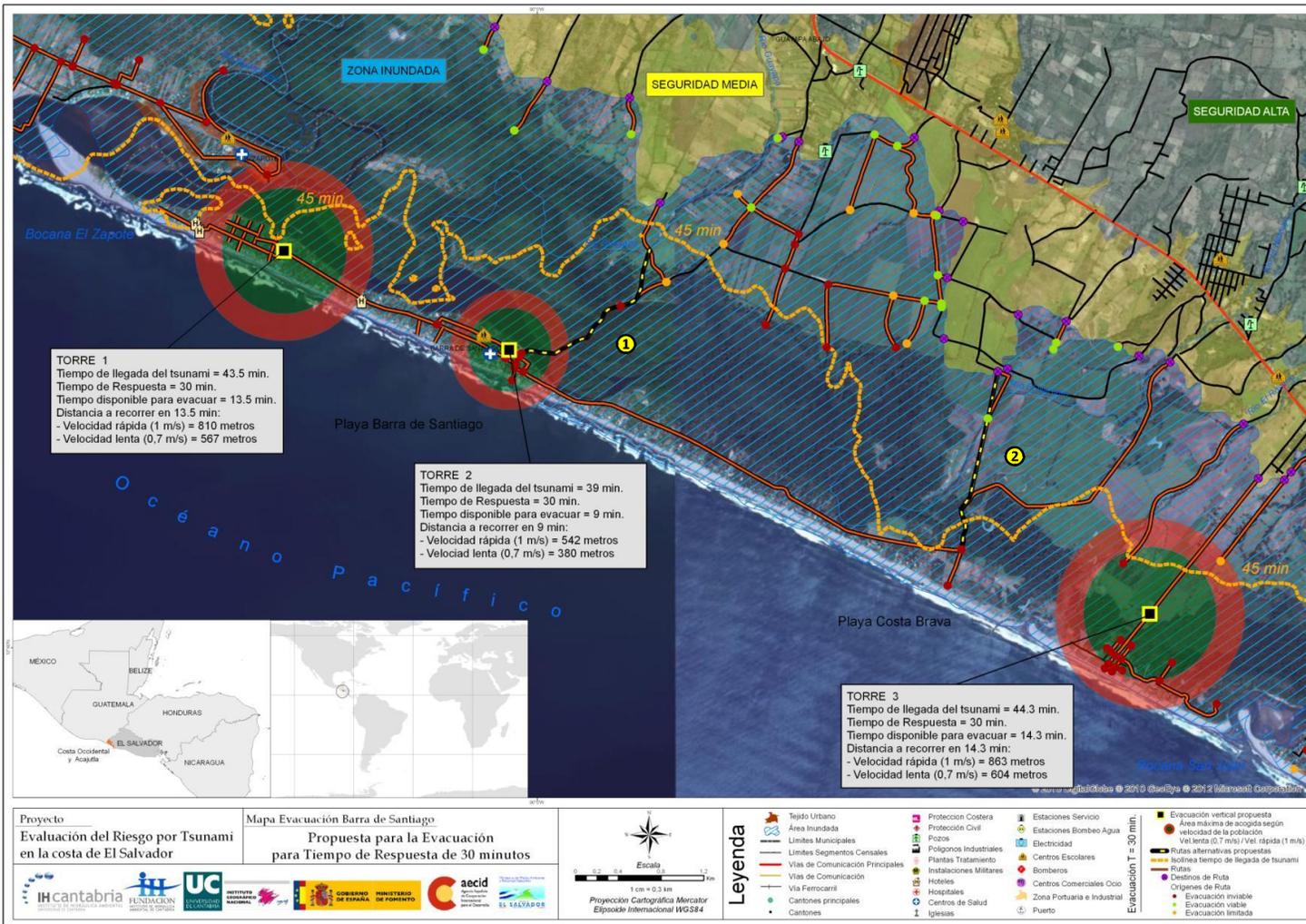


Figura 50. Modelado de evacuación de la Zona Barra de Santiago para un tiempo de respuesta de 30 minutos. Propuesta de alternativas.

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Se presenta en la Figura 50 el modelado de evacuación de la Zona Barra de Santiago para un tiempo de respuesta de 30 minutos (T30) con la red vial e infraestructuras existentes.

Se puede apreciar que la mayor parte de las comunidades ubicadas entre la isolinea de 45 minutos la zona segura evacuarán para T30 (predominan los puntos de origen color naranja y verde). Las comunidades entre la zona costera y la isolinea de 45 minutos en cambio se mantienen de color rojo incluso reduciendo el tiempo de respuesta a 30 minutos.

Para que las comunidades más cercanas a la costa consigan evacuar es necesario proponer medidas alternativas:

- **CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL:** se ha analizado la posible ubicación de 3 torres de evacuación vertical en la zona. Para cada una de ellas se ha calculado el tiempo que tiene la población para llegar a las mismas ($T_{\text{tsunami}} - T_{\text{respuesta}}$). Los anillos (verde y rojo) que rodean a las torres propuestas representan la distancia de acogida de población de esas torres. Con esas torres la gran mayoría de las comunidades en línea de costa conseguiría evacuar.

- **CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVAS:** se proponen dos rutas nuevas que podrían acortar la distancia a recorrer en la evacuación (marcadas en amarillo y negro). La Ruta 1 parte del embarcadero en el interior del estero y cruza el canal hasta llegar a zona segura pero tiene el inconveniente de la marea baja y de las épocas de lluvias que lo inutilizan. La Ruta 2 es una ruta factible que ahorraría mucha distancia a la comunidad cercana a la costa.

RUTAS DE EVACUACIÓN ZONA METALÍO

RUTAS DE EVACUACIÓN EXISTENTES

Se presentan en la Figura O c-51 las rutas de evacuación existentes en la Zona Metalío. En página posterior se muestra el análisis de la evacuación con estas rutas.

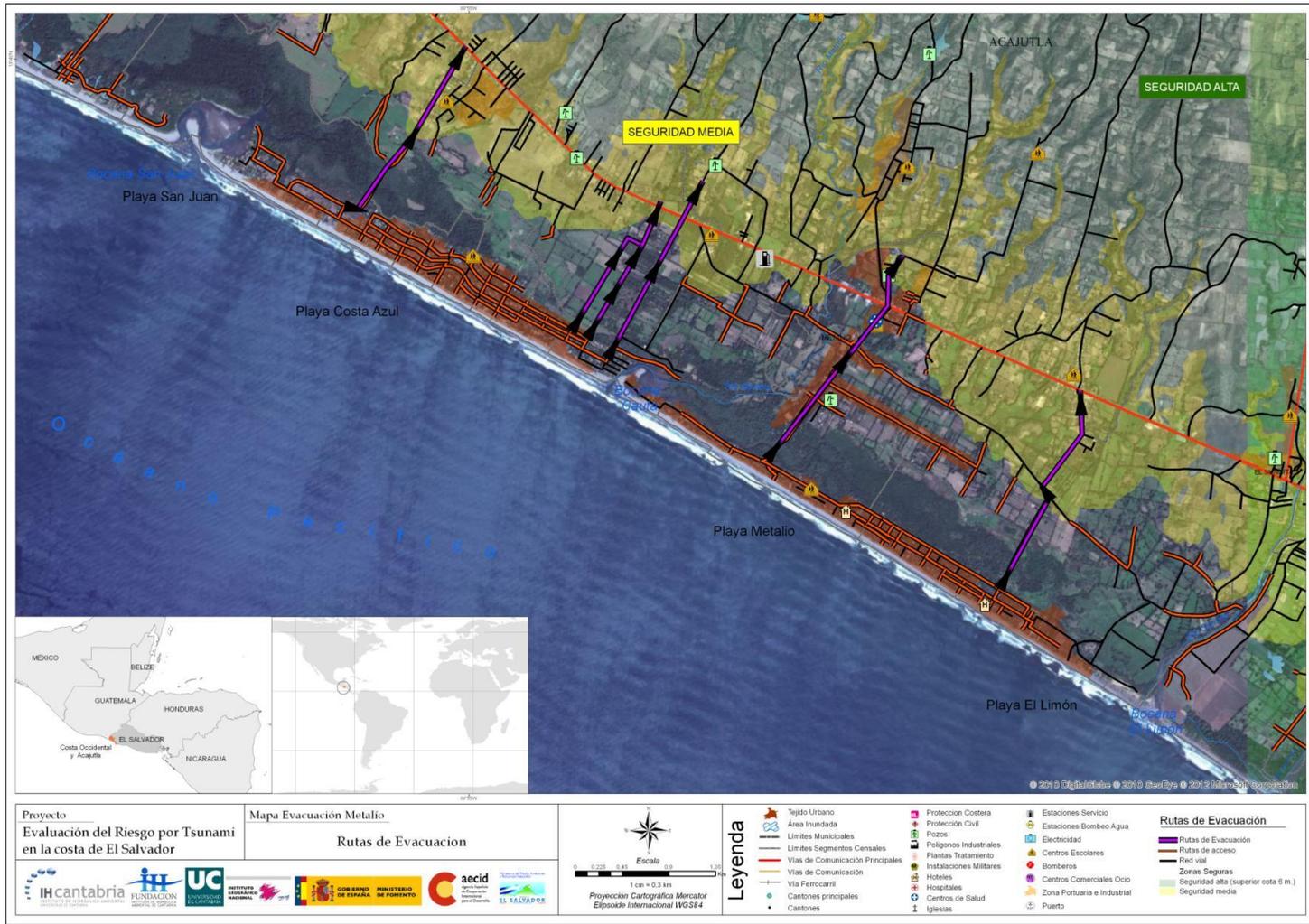


Figura O c-51. Rutas de evacuación existentes en la Zona Metalío.

EVACUACIÓN ZONA METALÍO (T = 45 min)

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

Se presenta en la Figura Occ-52 el modelado de evacuación de la zona Metalío para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

La línea discontinua color naranja muestra hasta dónde llegaría la primera ola de tsunami pasados 45 minutos de la generación del tsunami.

Resumiendo:

- Tiempo de Respuesta = 45 minutos
- Tiempo Llegada del tsunami = 40-45 minutos

Las comunidades ubicadas entre la línea de costa y la línea de 45 minutos no tendrán oportunidad de evacuar ya que el tsunami llegaría antes de que recibieran la alerta por parte de las autoridades. Por esa razón los puntos de origen aparecen en color rojo.

Las comunidades ubicadas entre la línea de 45 minutos y la zona de seguridad media aparecen en distintos colores en función de la distancia que tengan que recorrer. Los puntos de origen en color verde implican que el tiempo que tarda la población en recorrer la distancia hasta zona segura es menor que la que tarda en llegar el tsunami desde que recibieron el aviso, es decir, consiguen evacuar todos. Los puntos de origen de color naranja implican que las comunidades que salen de esos puntos de origen evacuarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas -1m/s- conseguirían evacuar, las lentas no).

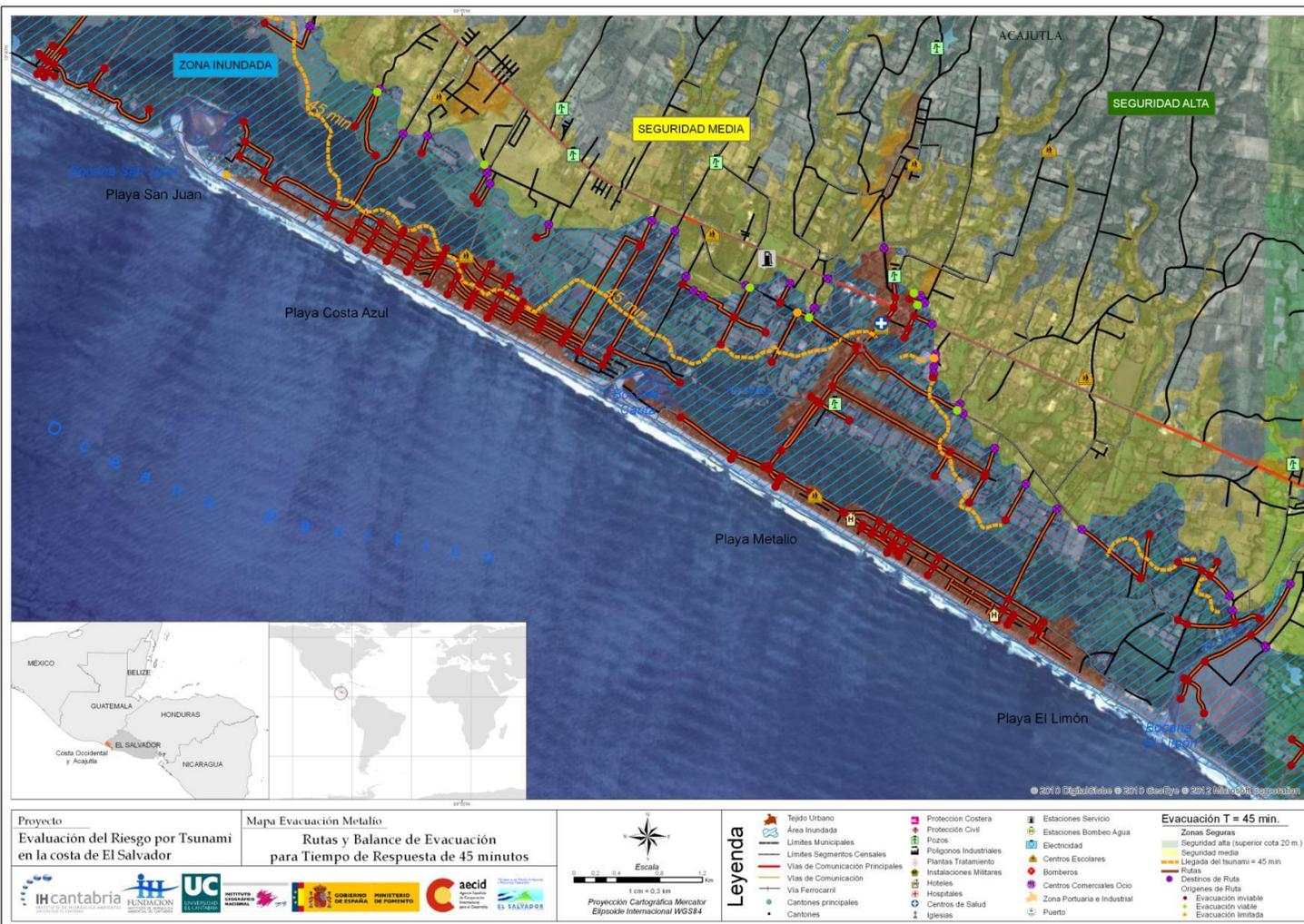


Figura Occ-52. Modelado de evacuación de la Zona Metalío para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

BALANCE DE EVACUACIÓN (T = 45 min)

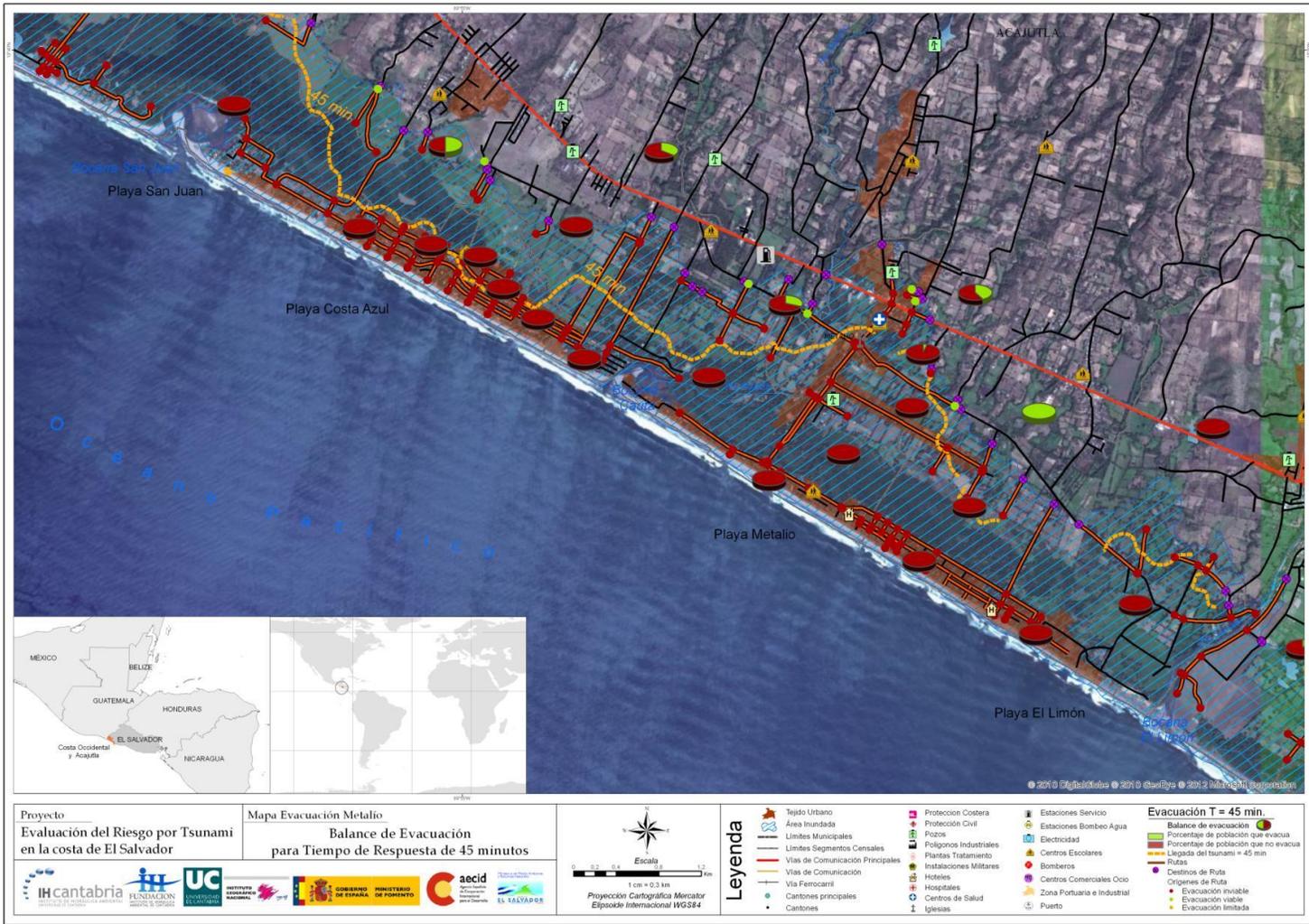


Figura Occ-53. Balance de evacuación de la Zona Metalio a un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

PERSONAS QUE CONSIGUEN EVACUAR PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

La Figura Occ-53 muestra el balance de evacuación (porcentaje de personas por segmento censal que consigue evacuar para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos (T45) en base a los resultados ya mostrados en la Figura Occ-52. Se presentan los resultados en forma de tartas por segmento censal.

Se puede apreciar en la figura que para el Tiempo de Respuesta aplicado (45 minutos) desde que ocurre el tsunami hasta que la población comienza a evacuar la totalidad de las comunidades ubicadas más cerca de la costa no consiguen evacuar. Aquellas situadas más cerca de la zona de seguridad y acuarían en un función de la velocidad de las personas (las más rápidas conseguirían evacuar, las lentas no).

MEDIDAS PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN

De estos resultados se concluye que es necesario proponer una serie de medidas para mejorar la evacuación de esta zona:

- Reducir el **Tiempo de Respuesta**
- Construir estructura de **evacuación vertical** que permitan evacuar a algunas de las comunidades que actualmente no lo conseguirían (para este tipo de tsunami).
- Construir **nuevas vías de evacuación** que acorten la distancia a recorrer.

A continuación se presenta el modelado de la evacuación de la zona aplicando algunas de estas medidas.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS - EVACUACIÓN ZONA METALÍO

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Se presenta en la Figura 0 c-54 el modelado de evacuación de la Zona Metalío para un **TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS (T30)** con la red real e infraestructura existente.

Se puede apreciar que todas las comunidades ubicadas entre la isolinia de 45min y la zona segura acuarían para T30 (todos los puntos de origen son color verde). Las comunidades entre la zona costera y la isolinia de 45 minuto en cambio mantienen de color rojo incluso reduciendo el tiempo de Respuesta a 30 minutos.

Para que las comunidades más cercanas a la costa consigan evacuar es necesario proponer medidas alternativas:

- **COLOCACIÓN DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL:** se ha analizado la posible ubicación de 4 torres de evacuación vertical en la zona. Para cada una de ellas se ha calculado el tiempo que tiene la población para llegar a las mismas ($T_{Tsunami} - T_{respuesta}$). Los anillos (verde y rojo) que rodean a las torres propuestas representan la distancia de acogida de población de esas torres. Con esas torres la gran mayoría de las comunidades en línea de costa conseguiría evacuar. La Torre 7, sin embargo, está en una zona donde el tsunami llegaría en 30 minutos, por esa razón, aparte de construir la torre sería necesario reducir el Tiempo de Respuesta más aún y asegurar que las comunidades allí ubicadas sean la primera en recibir la alerta, para asegurar que dispongan del mayor tiempo de evacuación posible.

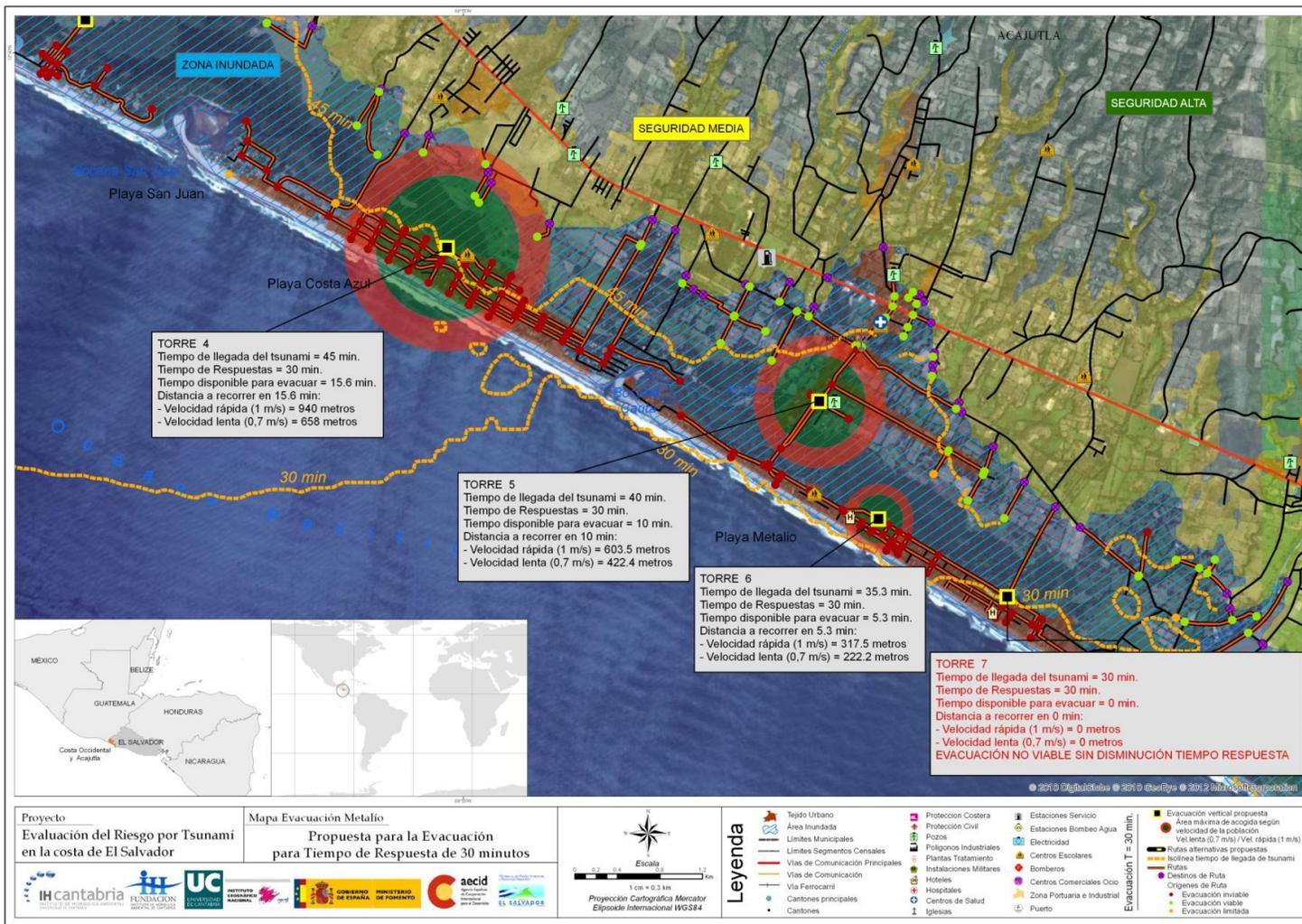


Figura 0c-54. Modelado de evacuación de la Zona Metalío para un Tiempo de Respuesta de 30 minutos y propuesta de alternativas.



ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI

LA LIBERTAD

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

PROFUNDIDAD DE LA INUNDACIÓN

Para analizar la amenaza que supone un posible evento de tsunami en la costa de El Salvador se han desarrollado una serie de mapas de peligrosidad basados en la caracterización de escenarios asociados a los peores casos "creíbles" de tsunamis de origen cercano, regional y lejano. Los mapas de peligrosidad que se presentan en este documento combinan en un solo mapa los 23 peores casos "creíbles".

Obtenido el peor caso creíble de tsunami, se analiza lo siguiente:

- Altura máxima de ola en el mar (m)
- Área inundada en tierra (m²)
- Profundidad de la inundación en tierra (m)
- Velocidad de la lámina de agua (m/seg)
- Tiempo mínimo de viaje de tsunami (minutos)

La figura Lib-1 muestra el área que se vería inundada en La Libertad en caso de un gran tsunami, así como la profundidad máxima de la inundación.

? ¿Hasta dónde llegaría el agua en el caso de un gran tsunami?
 ¿Cuáles son las zonas que se verían más afectadas por el impacto?

Se puede apreciar que la zona de Playa Conchalío es más crítica en este aspecto con profundidades de 5 y 6m de inundación. La parte oriental del muelle también podría estar sujeta a profundidades de 4-5m. La zona de San Diego cuenta con una gran extensión sujeta a profundidades de alrededor de 4m.

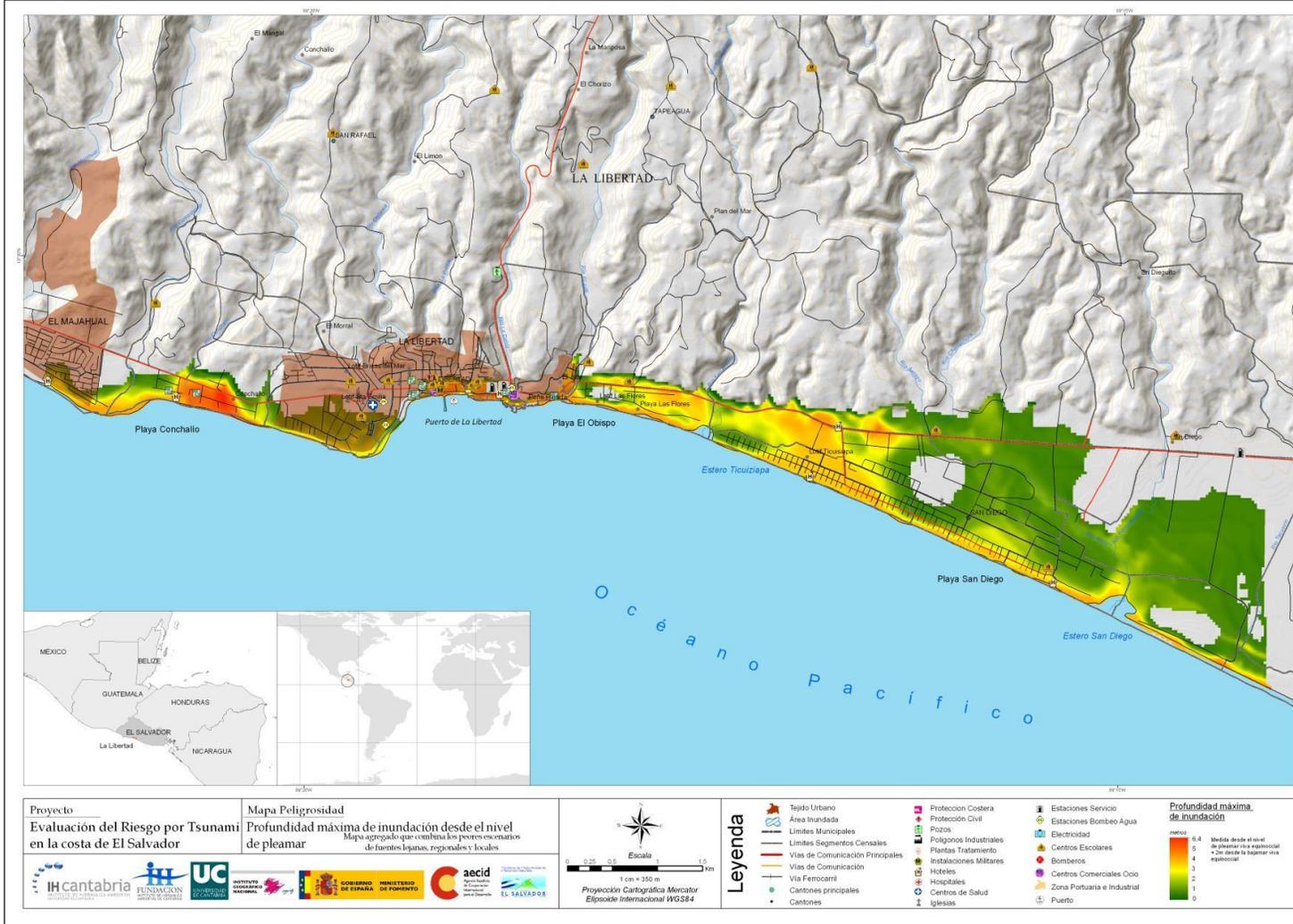


Figura Lib-1. Profundidad máxima de inundación en La Libertad

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

ARRASTRE DE PERSONAS

La capacidad del tsunami para arrastrar personas se calcula a partir de la profundidad de la inundación (m) y la velocidad del agua (m/s).

A partir de estas dos variables se establecen unos umbrales tal como aparecen reflejado en la leyenda del mapa. Estos umbrales hacen referencia a la pérdida de estabilidad de una persona al ser sometida a la fuerza de arrastre del agua.

? ¿Qué zonas tienen más peligro para las personas?

Este mapa (Figura Lib-2) identifica los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre en La Libertad. Prácticamente toda costa es zona de peligrosidad muy alta, incluyendo la zona de Conchalío, el Puerto, Playa El Obispo y Playa San Diego. En San Diego la peligrosidad de la inundación disminuye a medida que avanza tierra adentro. En otras zonas este fenómeno no ocurre por el cambio brusco en el relieve.

? ¿Cuántas personas están en los distintos niveles de arrastre?

La Figura Lib-3 muestra el porcentaje y número de personas ubicados en los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre. Así se puede apreciar que el 84% de la población (5,572 personas) está entre niveles de peligro Muy Alto y Alto, el 4% (265 personas) está en el Medio, mientras que un 12% (796 personas) están entre los niveles Bajo y Muy Bajo.

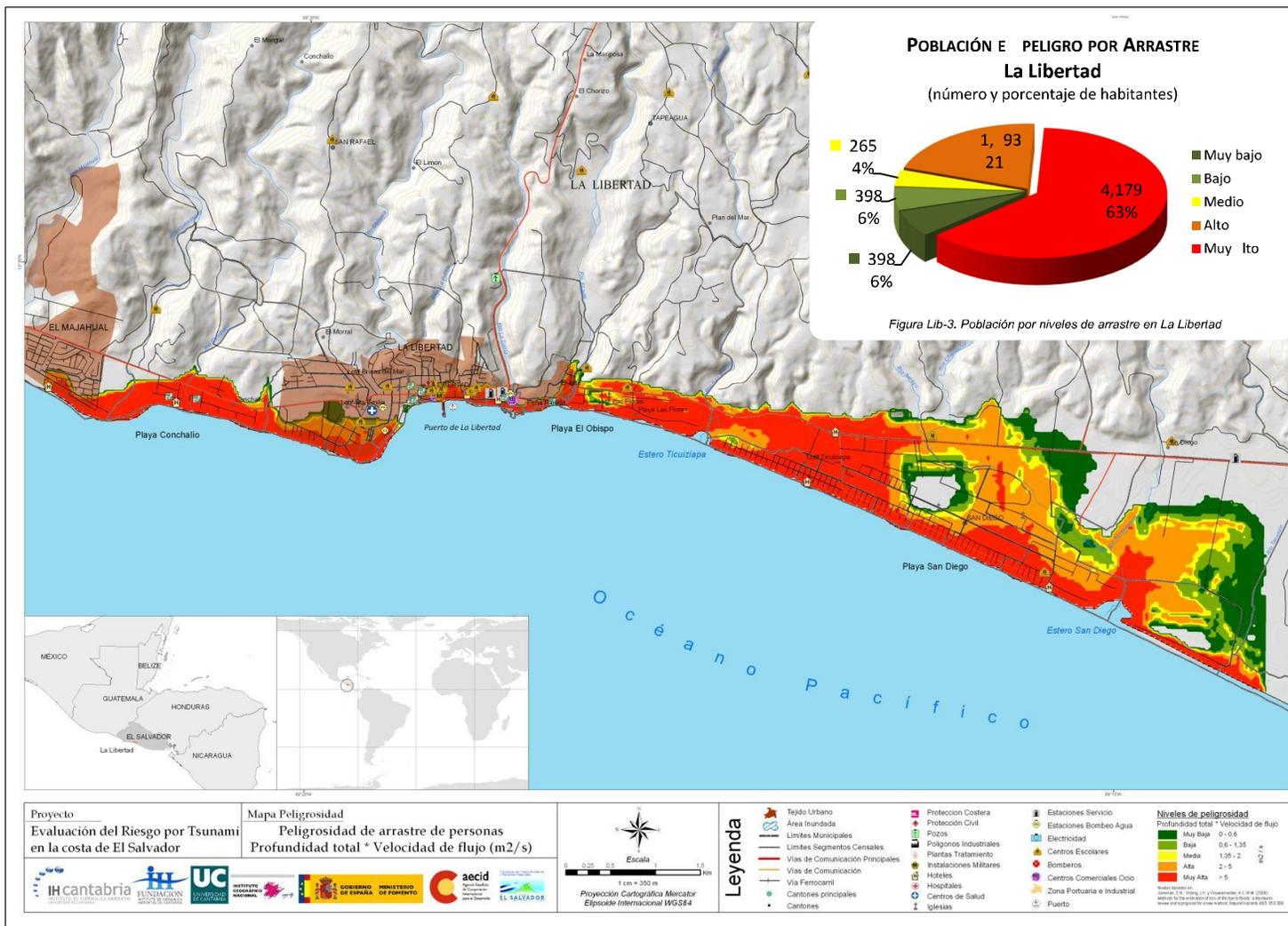
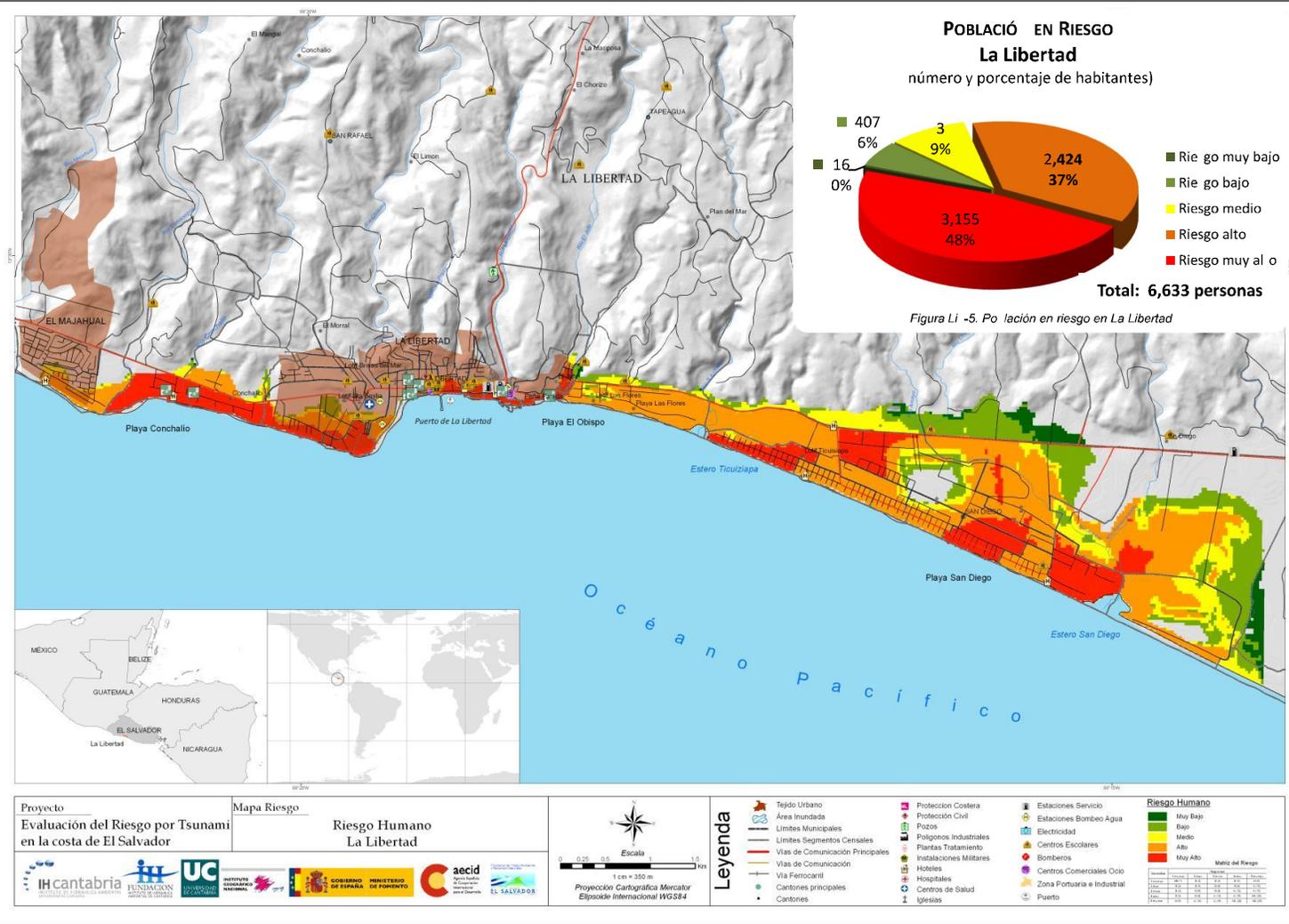


Figura Lib-2. Capacidad de arrastre de la inundación

POBLACIÓN EN RIESGO



RIESGO HUMANO DEBIDO A UN TSUNAMI

Identificada la zona que podría quedar inundada por un tsunami se puede conocer el número de personas que están en riesgo.

Para construir este mapa se ha realizado la evaluación de la capacidad del tsunami para arrastrar personas (Figura Lib-2), el número de personas que viven en las zonas inundadas (Figura Lib-6) y la sensibilidad de las mismas de cara a una posible emergencia (Figuras Lib-7 a 11).

La sensibilidad de las personas se ha evaluado atendiendo a los siguientes factores:

- La población en movilidad reducida, que incluyen ancianos, niños, y personas con necesidades especiales (limitación física y/o mental).
- La población que no es capaz de entender un mensaje de alerta (bien por no saber leer, tener alguna limitación mental o no hablar el idioma, por ejemplo).
- Los grupos de población que por el aislamiento de los cantones en los que viven oportarán una mayor dificultad de evacuación y de recuperación post-desastre.

? ¿En qué zonas se encuentra la población con mayor riesgo frente al impacto de un gran tsunami?

En la costa de La Libertad (Figuras Lib-4 y 5) los puntos más críticos debido a un mayor riesgo humano son la Playa Conchalí, algunos puntos de la ciudad de La Libertad y tres zonas de Playa San Diego, una cercana al Estero Ticuizapi y dos próximas al Estero San Diego. Esto supone un 48% de los habitantes de la zona (3,155 personas). Un 37% de la población (2,424 personas) está sujeta a un riesgo Alto, lo que supone en el mapa la mayor parte del territorio. El 15% de la población (1,054 personas) se encuentra entre riesgo Muy Bajo y riesgo Medio.

Figura Li -4. Riesgo humano en La Libertad

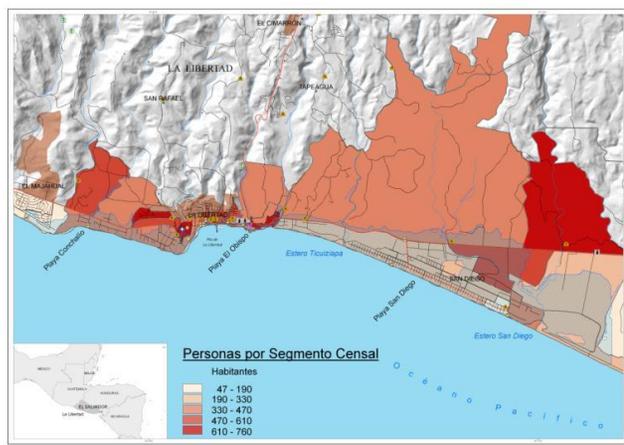


Figura Lib-6. Número de personas por segmento censal

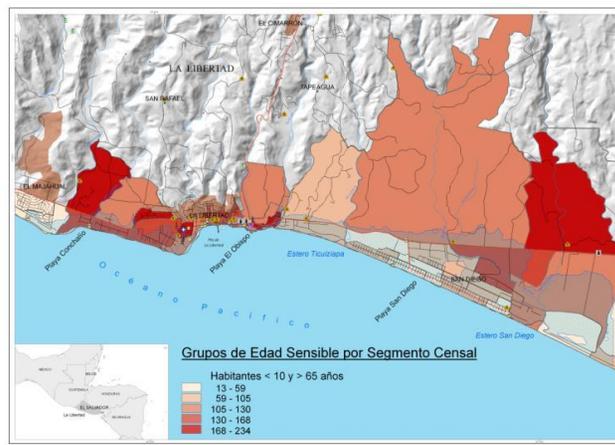


Figura Li-7. Grupos de edad sensible por segmento censal

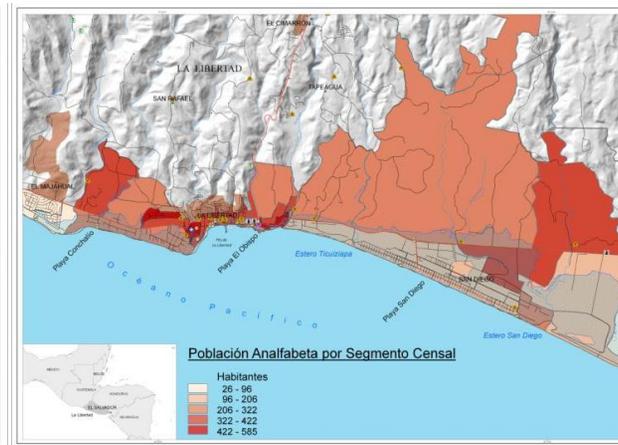


Figura Li-8. Población analfabeta por segmento censal

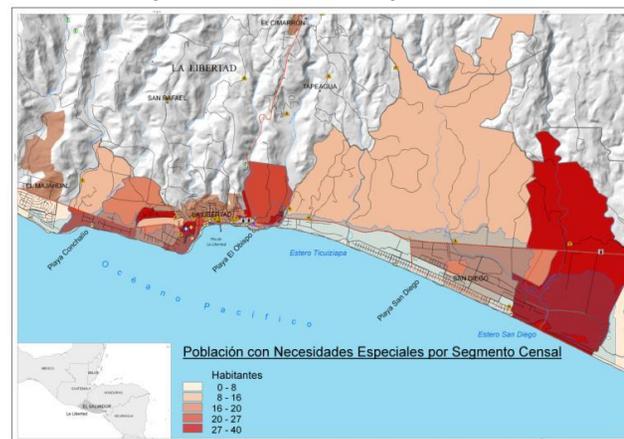


Figura Lib-9. Población con necesidades especiales por segmento censal

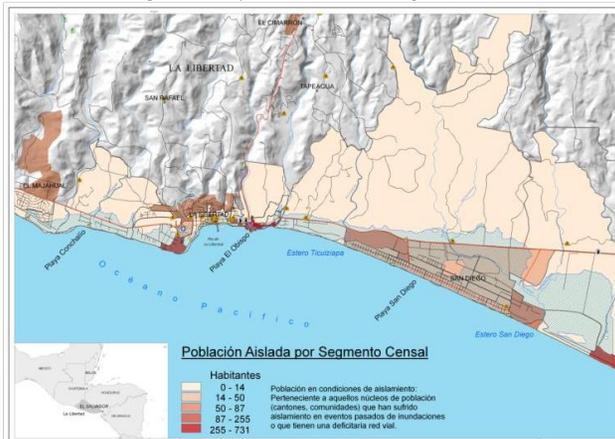


Figura Li-10. Población aislada por segmento censal

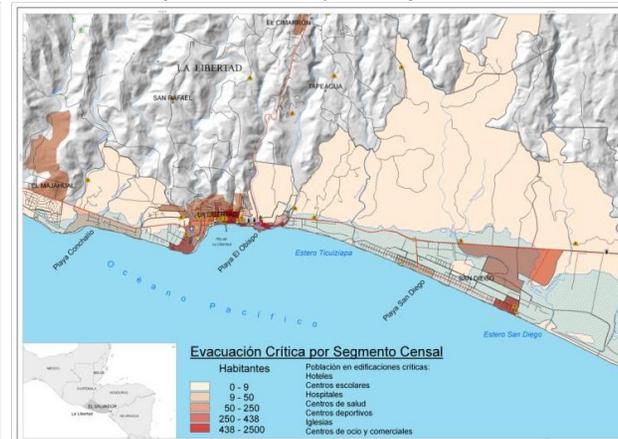


Figura Li-11. Población en condiciones de evacuación crítica por segmento censal

IMPACTO EN LA POBLACIÓN

Las Figuras Lib-6 a 11 muestran el número de personas por segmento y las características de éstas, que hacen a la población más o menos vulnerable a un evento de tsunami.

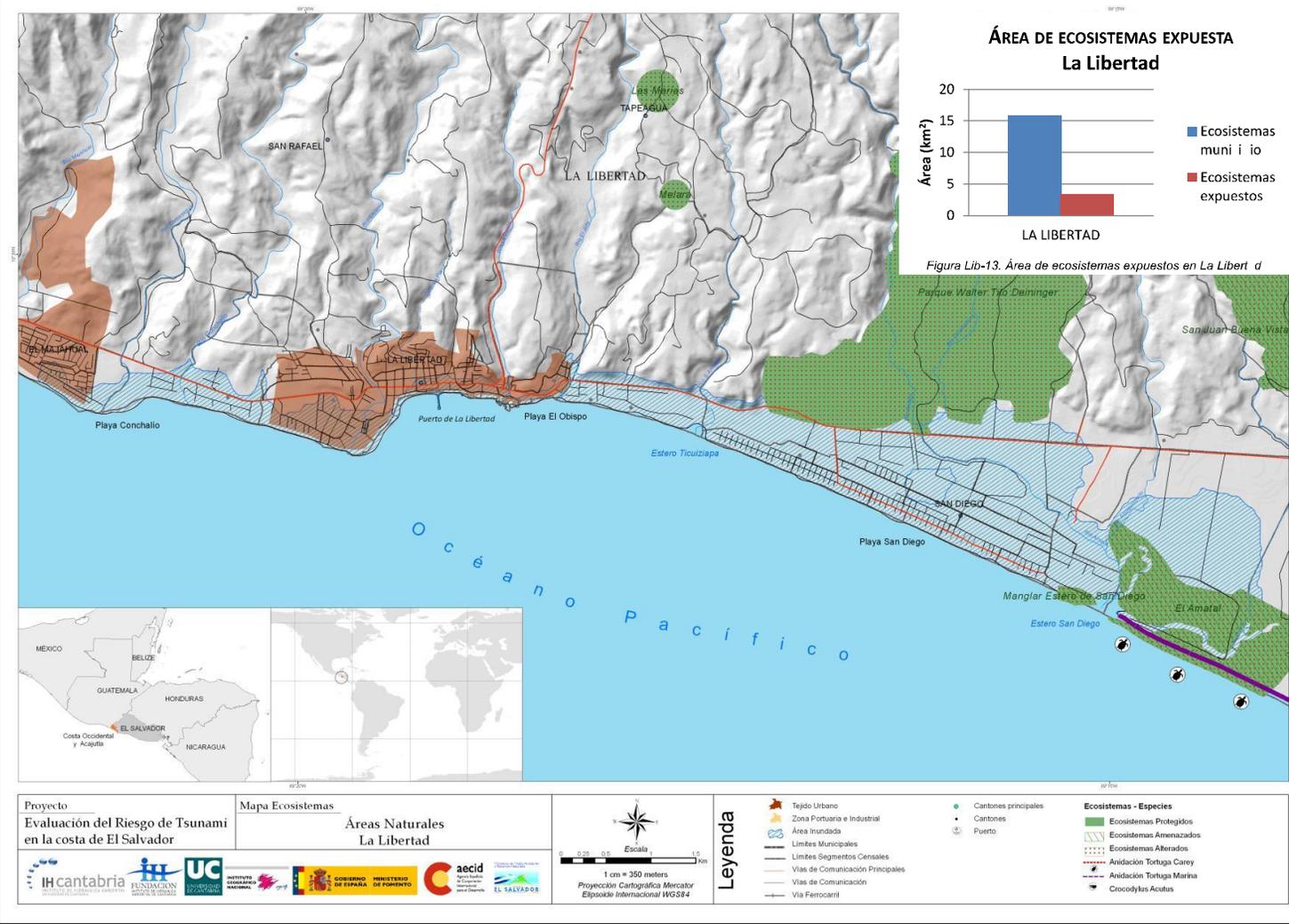
¿Cómo es la población que está expuesta al impacto de un gran tsunami?

La población es especialmente vulnerable en términos de movilidad (grupos de edad sensible y necesidades especiales) en Conchalí, la zona del malecón, Playa del Obispo y Estero San Diego. Se pueden encontrar dificultades para entender un mensaje (analfabetismo y necesidades especiales) en Conchalí, malecón, Playa del Obispo y El Amatal. Existen comunidades aisladas en la punta del cabo de Conchalí, Playa del Obispo y San Diego. La población en condiciones de evacuación crítica destaca en la zona del malecón, el frente costero de La Libertad y la parte oriental de San Diego.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO HUMANO

- Establecer un Sistema de Alerta Temprana nacional que alerte a la población ante tsunamis locales y regionales.
- Establecimiento, por parte de Protección Civil y las Autoridades locales, de Planes de Emergencia ante tsunami complementados de Programas de Información y Capacitación de la población. Prestar especial atención a aquellos segmentos identificados como sensibles y enfocar la ayuda a las debilidades identificadas (énfasis en las personas con movilidad reducida, necesidades especiales o con dificultades para entender un mensaje de alerta).
- Simulacro de evacuación, con énfasis en (1) las personas con movilidad reducida, necesidad especiales o con dificultades para entender un mensaje de alerta; y en (2) la edificación identificadas como críticas, ya que albergan gran número de población y la evacuación será más complicada. Organización comunal de la evacuación
- Mejorar y/o ampliar el número de accesos en las zonas identificadas como aisladas

ECOSISTEMAS EN RIESGO



IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A UN TSUNAMI

Para calcular el impacto ambiental de un tsunami en La Libertad se han analizado los ecosistemas especialmente sensibles a la amenaza, entendidos como:

- **ecosistemas relevantes**, que están bajo figuras de protección ambiental, ocupan un limitado área a nivel nacional o son base del sustento local.
- **ecosistemas frágiles**, en los que una pequeña intervención de carácter externa puede desencadenar una serie de alteraciones irreversibles del ecosistema. Dentro de este grupo se han incluido los ecosistemas amenazados y los ecosistemas alterados, es decir, aquellos que no están en sus condiciones óptimas.

¿Qué ecosistemas se verían afectados en caso de un gran tsunami?

En la costa de La Libertad la zona que se vería más afectada ambientalmente en caso de tsunami (Figura Lib-12) es el Amatal y el Estero de San Diego en general, con cerca de 3.5 km² de área de ecosistema expuesta (Figura Lib-13). La gráfica Lib-14 muestra cómo son de sensibles los ecosistemas expuestos, siendo todo el área espacio protegido hábitat de especies amenazadas (Tortuga Marina) estando en condiciones de alteración. Aproximadamente la mitad de esta área es zona de mangle.

SENSIBILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS EXPUESTOS La Libertad

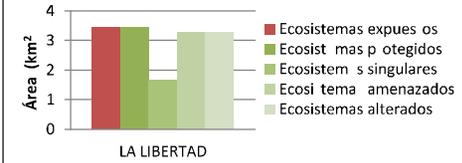


Figura Lib-12. Ecosistemas expuestos en La Libertad

Figura Lib-14. Sensibilidad de ecosistemas expuestos en La Libertad

Proyecto: Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa Ecosistemas: Áreas Naturales La Libertad

Escala: 1 cm = 350 meters

Proyección Cartográfica: Mercator

Elipsoido Internacional: WGS84

Leyenda

- Tejido Urbano
- Zona Portuaria e Industrial
- Área Inundada
- Límites Municipales
- Límites Segmentos Censales
- Vías de Comunicación Principales
- Vías de Comunicación
- Vía Ferrocarril
- Cartones principales
- Cartones
- Puerto
- Ecossistemas - Especies**
 - Ecosistemas Protegidos
 - Ecosistemas Amenazados
 - Ecosistemas Alterados
 - Anidación Tortuga Carey
 - Anidación Tortuga Marina
 - Crocodylus Acutus

ESPECIES AMENAZADAS

La Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es el inventario más completo del estado de conservación de especies de animales y plantas a nivel mundial. Su objetivo es llevar al público la urgencia del problema de conservación, así como ayudar a la comunidad internacional a reducir la extinción de especies. Según esta Lista Roja, El Salvador tiene varias especies en peligro en las zonas costero-marina, siendo 7 de ellas estudiadas en este trabajo. Estas 7 especies se muestran en la tabla y en las figuras Lib-15 a 18.

Para analizar el impacto que un tsunami podría tener en la biodiversidad de la zona y a nivel mundial por la posible desaparición de ejemplares de estas especies se ha estudiado la distribución de las mismas. El mapa Lib-12 muestra que la zona de Estero San Diego es zona de anidación de tortuga marina, por lo que esta especie está expuesta a un posible efecto de tsunami.

GRUPO	Clase/Orden/Familia	Nombre Científico	Nombre Común	MAR 2009	UICN	ECOSISTEMA
Reptiles	Crocodylidae	<i>Crocodylus acutus</i>	Cocodrilo	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR
Reptiles	Cheloniidae	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga Prieta, Tortuga Negra	En Peligro	Endangered	COSTERO-MANGLAR
Reptiles	Cheloniidae	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga Carey	En Peligro	Critically Endangered	COSTERO-MANGLAR
Reptiles	Cheloniidae	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga Golfina, Tortuga Blanca	En Peligro	Vulnerable	COSTERO-MANGLAR
Reptiles	Dermochelyidae	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga Baule	En Peligro	Critically Endangered	COSTERO-MANGLAR
Mamíferos	Cebidae	<i>Ateles geoffroyi</i>	Mono Araña	En Peligro	Endangered	BOQUEPÓN, NIFOLIO, COSTERO
Plantas	Avicenniaceae	<i>Avicennia bicolor</i>	Madresal	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR



Figura Lib-15. COCODRILLO (*Crocodylus acutus*)



Figura Lib-16. TORTUGA BLANCA (*Lepidochelys olivacea*)



Figura Lib-17. TORTUGA CAREY (*Eretmochelys imbricata*)



Figura Lib-18. MADRESAL (*Avicennia bicolor*)

ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La protección de un determinado espacio natural es de por sí un reconocimiento explícito sobre el valor ambiental de los ecosistemas que alberga y sobre su relevancia para el país. Las figuras de protección ambiental permite identificar aquellos ecosistemas relevantes bien porque implican un elevado valor para el país, bien porque ocupan un limitado área a nivel nacional. En la zona de estudio se verían afectados los siguientes espacios protegidos: Estero de San Diego (El Amatal) y menormente el Parque Walter Tito Deninger.

ECOSISTEMAS SINGULARES

Se han considerado bajo la categoría de singulares aquellos ecosistemas que bien ocupan una pequeña área en el país (como los arrecifes con parches de coral), bien son representativos de la biodiversidad del país o son base del sustento de comunidades locales (como los manglares). La Libertad se caracteriza en este caso por la existencia algunas zonas de manglares en Estero San Diego

¿Cómo afectaría la pérdida de ecosistemas a los modos de vida de las comunidades?

Existen varios tipos de mangle en El Salvador, principalmente el manglar blanco, mangle colorado (*Rhizophora mangle*), mangle rojo (*Rhizophora racemosa*), *Rhizophora harrizini*, madresal (*Avicennia bicolor*), botonillo (*Conocarpus erecta*), e istaten (*Laguncularia racemosa*). Las zonas de mangle son aprovechadas por las comunidades por ser habitad de los recursos de cientos de especies de peces, moluscos y crustáceos, así como para la obtención de varios recursos (madera para leña y construcción de viviendas, para curtumbres y tintorería como plantas medicinales).

LA ALTERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

La alteración de ecosistemas en La Libertad está asociada a la deforestación del manglar. Existen zonas, como es el caso del Estero San Diego (Figura Lib-19), en la que el mangle ha desaparecido casi por completo. Un manglar alterado supone una menor protección frente a tsunamis.

¿Cómo pueden ayudarnos los ecosistemas a mitigar el impacto de un gran tsunami?

Los manglares desempeñan una función clave en la protección de las costas contra la erosión yólica y por oleaje, siendo esencial en la protección contra el impacto de tsunamis.

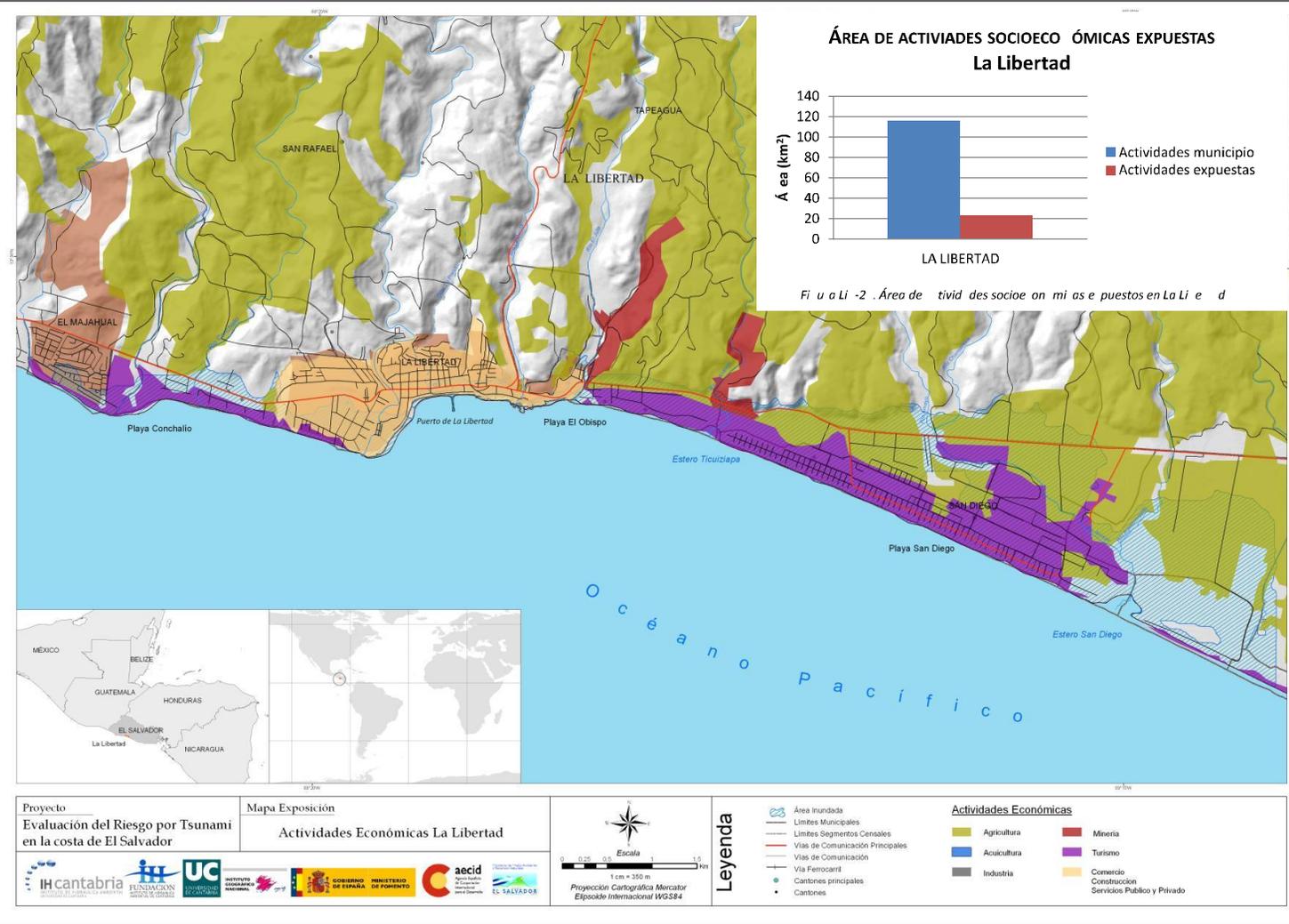


Figura Lib-19. Ecosistemas alterados en La Libertad

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

- Protección y reforestación de las zonas de manglar.
- Protección de las especies amenazadas para mejorar su estado de conservación (tortugas para evitar la depredación o la extracción ilegal).
- Protección de ecosistemas y restauración de zonas alteradas.

ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EN RIESGO



ÁREA DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUSTAS La Libertad

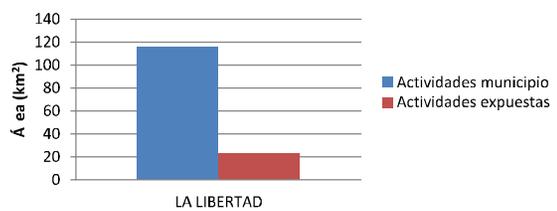


Figura Lib-2. Área de actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

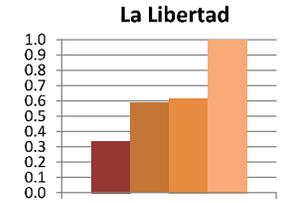
RIESGO SOCIOECONÓMICO DEBIDO A UN TSUNAMI

Se ha analizado cada actividad socioeconómica existente en La Libertad de El Salvador para identificar aquellas localizadas en zonas expuestas a evento de tsunami. Para poder entender los posibles impactos de un tsunami en estas actividades se calculó lo siguiente:

- Cuántas personas trabajan en esas actividades expuestas, para conocer el posible impacto social del tsunami,
- Cuántos millones de dólares generan esas actividades expuestas, a nivel de PIB y de comercio exterior del país, para poder entender los impactos económicos que podría tener un tsunami en la zona.

La Figura Lib-21 muestra el área de actividades expuestas en La Libertad respecto al total existente en el municipio: 23.15km² de un total de 115 km²). La Figura Lib-22 muestra la importancia de las actividades expuestas, en términos de empleo, contribución económica, por cada municipio. Así se puede apreciar que aunque el área de actividades expuestas en La Libertad es relativamente pequeña, esta implica un gran impacto en términos de pérdidas de empleo y pérdidas económicas, sobretudo a nivel de comercio exterior para el país.

SE SIBILIDAD DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS La Libertad



- ES1 - Actividades expuestas
- S1 - Generación de empleo
- SS2 - Apoyación al PIB
- SS3 - Apoyación al comercio exterior

Figura Lib-22. Sensibilidad socioeconómica en La Libertad

Figura Lib-20. Actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

IMPACTO EN LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS

? ¿Qué actividades de la región se verían más afectadas por el impacto de un gran tsunami?

PÉRDIDA DE ÁREA (Figura Lib-23). La actividad que perdería mayor área es la agricultura, con cerca de 18 m² expuestos. El Turismo vería afectados 3 m² de su área. Áreas expuestas orientadas a comercio, construcción y servicios, principalmente en los núcleos urbanos serían afectados conjuntamente otros 3 m². La industria pierde a menos de 1km² de área de actividad.

PÉRDIDA DE EMPLEO (Figura Lib-24). A pesar de que la agricultura es la más afectada en pérdida de área, y el resto de actividades suponen un porcentaje muy pequeño de área afectada, son éstas últimas las que implicarían una mayor pérdida de empleos. Se estima que se verían afectados aproximadamente 120 trabajadores de industria, 250 de agricultura, 900 de turismo, 900 de construcción, y cerca de 1,200 de servicios y comercio, principalmente en las zonas urbanas.

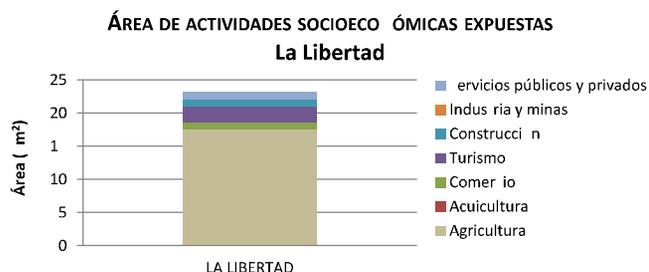


Figura Lib-23. Área de actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

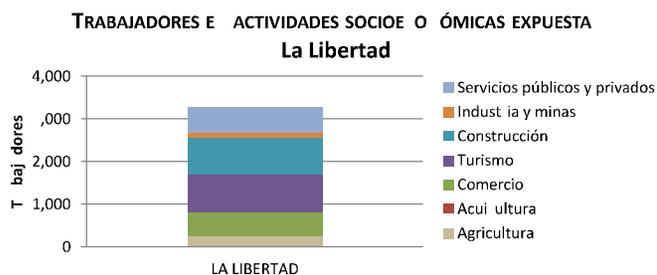


Figura Lib-24. Trabajadores en actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

? ¿Qué implicaría la pérdida de estas actividades en la economía de las familias y del país?

PÉRDIDAS ECONÓMICAS. Los impactos económicos más importantes para el país (Figura Lib-25) se producirían debido a una pérdida de contribución al PIB de cerca de 25 millones de dólares en La Libertad, asociada a varias actividades, principalmente a industria y servicios. Las pérdidas debido a una menor aportación al comercio exterior (Figura Lib-26) estarían asociadas principalmente a la destrucción de zonas de industria y agricultura que son las que más aportan al comercio internacional del país.

CONTRIBUCIÓN AL PIB DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS

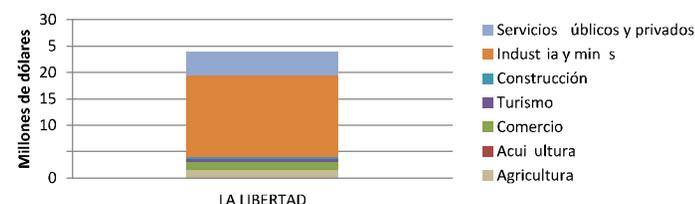


Figura Lib-25. Contribución al PIB de actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

CONTRIBUCIÓN AL COMERCIO EXTERIOR DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS

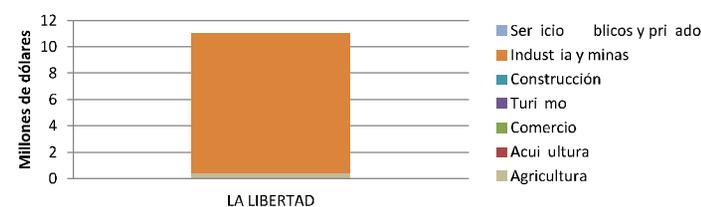


Figura Lib-26. Contribución al Comercio Exterior de actividades socioeconómicas expuestas en La Libertad

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO SOCIOECONÓMICO

- Destinar una partida presupuestaria para asegurar los terrenos agrícolas sujetos a una posible pérdida de área de producción debida a un tsunami.
- Reserva de semillas de cultivos agrícolas
- Retirada o fortalecimiento de las construcciones de aquellas actividades expuestas (turismo, comercio, etc.)
- Desarrollo de procesos de capacitación de trabajadores y puestos para facilitar su incorporación gradual a actividades alternativas o de manera puntual en caso de emergencia.

INFRAESTRUCTURAS EN RIESGO

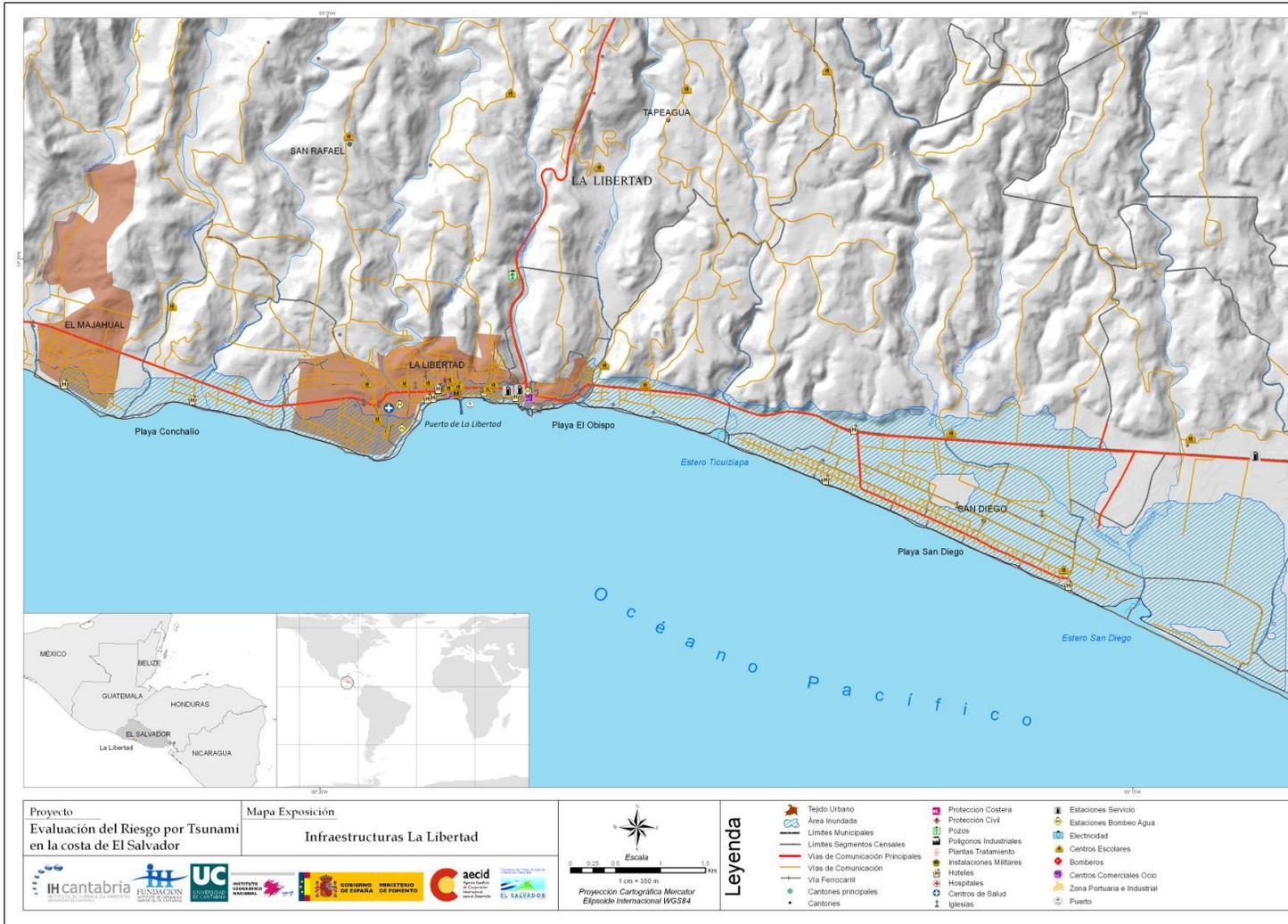


Figura Lib-27. Infraestructuras en riesgo en La Libertad

RIESGO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DEBIDO A UN TSUNAMI

Para poder entender el posible impacto de un tsunami en las infraestructuras de la costa de La Libertad, se ha analizado la existencia de varios tipos de infraestructuras, y se han localizado dentro del área que pudiera ser inundada por un posible tsunami en la zona (Figura Lib-27).

Las infraestructuras analizadas son las siguientes:

- **Infraestructuras de abastecimiento de agua**, incluyendo pozos y suministro por tubería.
- **Infraestructuras de saneamiento**.
- **Infraestructuras de abastecimiento de energía**, incluyendo centrales de generación, transmisión y distribución.
- **Infraestructuras de transporte**, incluyendo puertos, aeropuertos, carreteras, puentes, ferrocarril.
- **Infraestructuras industriales**, incluyendo la petroquímica, química, cementera, siderúrgica y metalúrgica, de alimentación y bebida, de textil y confección, de papel y cartón, de almacenamiento y polígonos industriales.
- **Infraestructuras de protección costera**.
- **Infraestructura de emergencia**, incluyendo bomberos, Protección civil, instalaciones militares, hospitales y centros de salud.
- **Edificaciones críticas**, entendidas como aquella que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar ayuda en caso de evacuación. Esta categoría incluye hoteles, hospitales, centros escolares, centro deportivos, iglesia, centros de ocio y comerciales.

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS



¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en infraestructuras esenciales?

ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO (Figura Lib-28). El suministro de agua de varias comunidades se vería afectado ya que algunas instalaciones de bombeo están ubicados en zona inundable (Rebombero El Obispo y Rebombero El Cominterio). No existen pozos expuestos al impacto del tsunami. Una infraestructura de saneamiento ubicada en la zona del puerto está asimismo expuesta y se podría ver afectada por un tsunami.

EMERGENCIA (Figura Lib-29). Una infraestructura de emergencia en La Libertad (instalación militar) está expuesta y se vería afectada por la inundación, quedando inutilizada para prestar ayuda en la emergencia.

TRANSPORTE (Figuras Lib-30 y 31). Gran parte de las infraestructuras de transporte de la zona se verían afectadas lo que implica dificultades de evacuación y ayuda de emergencia, así como importantes pérdidas económicas. Siete de los 10 puentes identificados se verían afectados, así como la mitad de las carreteras de la zona. Las carreteras expuestas son principalmente de tipo 2 y 4 (camino secundario mejorado y huellas o veredas).

Se vería igualmente afectado el puerto pesquero

INDUSTRIA (Figura Lib-32 y 33). En La Libertad hay únicamente 2 infraestructuras industriales expuestas, dos gasolineras, pertenecientes en este caso a la industria petroquímica. Es importante tener en cuenta la ubicación de las mismas, pues en caso de tsunami podrían agravar el impacto por la generación de contaminación o explosiones.

INFRAESTRUCTURAS DE ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO EXPUESTAS
La Libertad

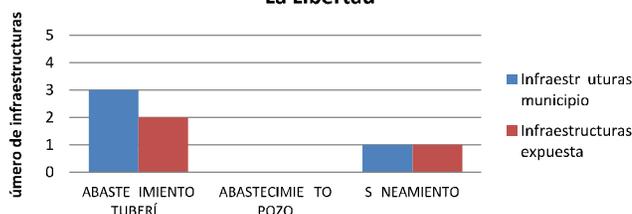


Figura Lib-28. Infraestructuras de abastecimiento y saneamiento expuestas en La Libertad

INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EXPUESTAS: CARRETERAS
La Libertad

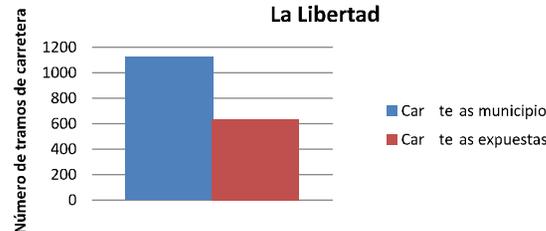


Figura Lib-30. Infraestructuras de transporte (carreteras) expuestas en La Libertad

INFRAESTRUCTURAS DE INDUSTRIA EXPUESTAS
La Libertad

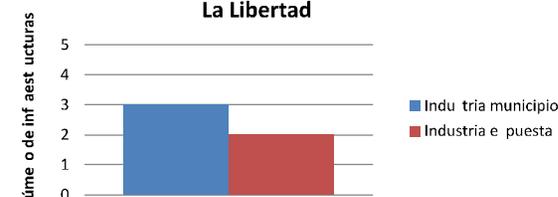


Figura Lib-32. Infraestructuras industriales expuestas en La Libertad

INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EXPUESTAS
La Libertad

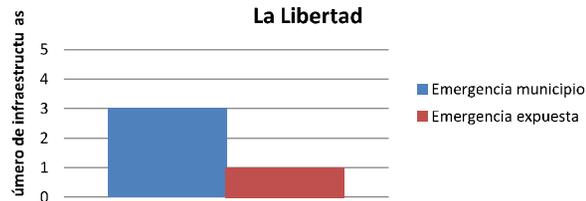


Figura Lib-29. Infraestructura de emergencia expuesta en La Libertad

TIPOS DE CARRETERAS EXPUESTAS
La Libertad

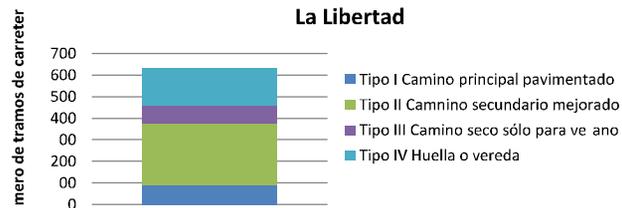


Figura Lib-31. Tipos de carreteras expuestas en La Libertad

TIPO DE INFRAESTRUCTURAS DE INDUSTRIA EXPUESTAS
La Libertad

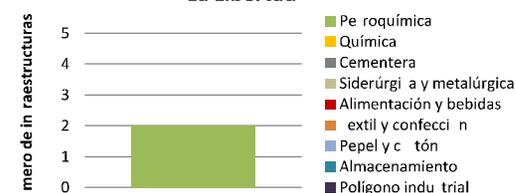


Figura Lib-33. Tipos de infraestructura industrial expuesta en La Libertad

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificar un sistema de abastecimiento de agua alternativo para caso de tsunami, de manera que se pueda abastecer a las comunidades afectadas durante un largo periodo de tiempo tras el tsunami.
- Traslado de infraestructuras de emergencia a zonas seguras. Si no fuera posible, planificar una ayuda de emergencia alternativa en caso de tsunami. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura.
- Identificadas las carreteras que podrían verse afectadas y sus características, asfaltar al menos las vías que resulten estratégicas para una efectiva evacuación de la población y/o ayuda de emergencia.
- Retirar las infraestructuras industriales expuestas a zonas seguras. En caso de no ser posible, protegerlas del impacto del tsunami y asegurarlas contra desastres naturales. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura

EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

RIESGO EN EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

Este mapa muestra las edificaciones críticas y de emergencia que están localizadas en zona potencialmente inundables por un evento de tsunami en la costa de La Libertad.

La categoría de **edificaciones críticas** incluye todas aquellas que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar especial atención en caso de evacuación. Para una adecuada evacuación de la zona en caso de tsunamis es necesario tener localizadas estas edificaciones, conocer cuántas personas albergan y sus características. Se incluyen en esta categoría las siguientes instalaciones:

- Hoteles
- Hospitales
- Centros escolares
- Centros deportivos
- Iglesias
- Centros de ocio y comerciales.

La categoría de **edificaciones de emergencia** incluye todas aquellas infraestructuras e instalaciones que deberían prestar ayuda en caso de una emergencia. Su ubicación en una zona de riesgo impedirá que cumplan su función de ayuda a la sociedad. Se incluyen en esta categoría las siguientes instalaciones:

- Bomberos
- Protección civil
- Militares
- Hospitales
- Centros de salud.

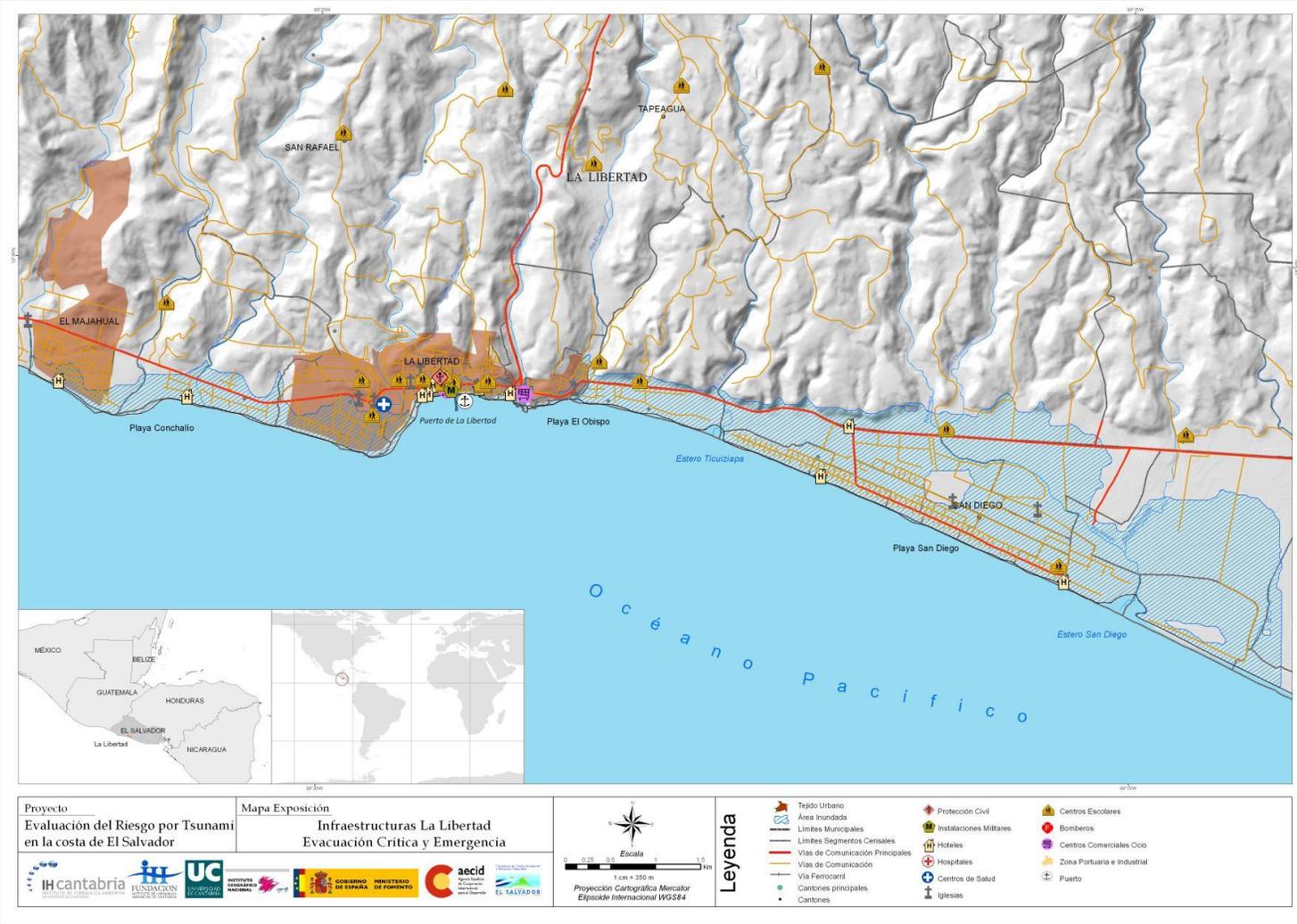
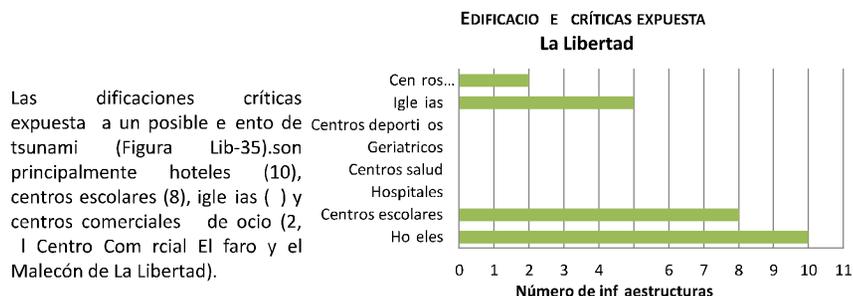


Figura 34. Edificaciones críticas y de emergencia en La Libertad

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y EDIFICACIONES CRÍTICAS

? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las edificaciones que albergan un gran número de población?



Las edificaciones críticas expuestas a un posible evento de tsunami (Figura Lib-35) son principalmente hoteles (10), centros escolares (8), iglesias (1) y centros comerciales de ocio (2), el Centro Comercial El Faro y el Malecón de La Libertad).

Figura Lib-35. Edificaciones críticas expuestas en La Libertad

La siguiente Figura Lib-36 muestra el listado de los hoteles expuestos a un evento de tsunami en La Libertad. El impacto en estas edificaciones implicaría la evacuación conjunta de cerca de 200 personas teniendo en cuenta sólo a los huéspedes. Suponiendo 10 trabajadores por hotel, el número de personas a evacuar asciende a 300.

IMPACTO EN HOTELES				
MUNICIPIO	NOMBRE HOTEL	CANTIDAD	HABITACIONES	CAPACIDAD
La Libertad	Hotel Puerto Bello	AREA URBANA	11	21
La Libertad	Hotel Sunrise	AREA URBANA	30	40
La Libertad	Hotel Los Arcos del Mediterraneo	AREA URBANA	15	6
La Libertad	Hotel La Teraza	AREA URBANA	5	10
La Libertad	Hotel Rincón	AREA URBANA	5	10
La Libertad	Hotel La Cabaña de Don Lito	SA DIEGO	3	7
La Libertad	Hotel Las Brisas	SA DIEGO	5	10
La Libertad	Hotel El Malecón de Don Lito	SA DIEGO	14	36
La Libertad	Hotel Punta Oca	SA RAFAEL	9	4
La Libertad	Hotel Sol Bohemio	EL MAJAHUAL	-	9
TOTAL			103	193

Figura Lib-36. Edificaciones críticas expuestas en La Libertad

Los centros escolares expuestos se muestran en la siguiente tabla (Figura Lib-37). Existen en la costa de La Libertad 8 centros ubicados en zona inundable por tsunami, lo que supone un total de 1,956 personas expuestas: 1,870 alumnos y 86 docentes.

IMPACTO EN CENTROS ESCOLARES				
MUNICIPIO	NOMBRE CENTRO ESCOLAR	CANTIDAD	DOCENTES	LUMINOS
LA LIBERTAD	ESCUELA "L. Z. DE SOTOMAYOR"	A	17	05
LA LIBERTAD	COLEGIO FRANCISCO LARA	A	6	305
LA LIBERTAD	INSTITUTO CATOLICO "FRANCISCO DE ASIS"	A	14	291
LA LIBERTAD	ESCUELA DE EDUCACION PARVULARIA "CANTON EL UTE"	TEPEAGUA	1	49
LA LIBERTAD	INSTITUTO NACIONAL DEL PUERTO DE LA LIBERTAD	A	19	186
LA LIBERTAD	COLEGIO HUGO LINDO OLIVARE	A	14	271
LA LIBERTAD	CENTRO ESCOLAR COOPERATIVA SAN DIEGO	SA DIEGO	2	130
LA LIBERTAD	CENTRO ESCOLAR PLAYASA DIEGO	SA DIEGO	1	
TOTAL			86	1,870

Figura Lib-37. Edificaciones críticas expuestas en La Libertad

? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las infraestructuras necesarias para la emergencia?

La infraestructura de emergencia expuesta a un posible evento de tsunami (Figura Lib-38) y que, por lo tanto, no tendría capacidad para prestar ayuda en caso de emergencia es la instalación militar ubicada en el frente marítimo de la ciudad.

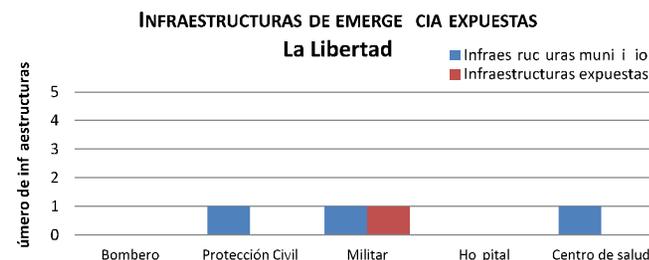


Figura Lib-38. Infraestructuras de emergencia expuestas en La Libertad

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificación urbanística que tenga en cuenta la zona en riesgo ante tsunami. Prohibiendo o regulando algunos desarrollos urbanísticos
- Especial atención a la ubicación de edificaciones críticas y de emergencia, que tienen gran importancia en caso de tsunami.
- Si no fuera posible retirar las edificaciones críticas de su ubicación actual para localizarlas en zonas seguras (por ejemplo escuelas, hoteles, etc.), es recomendable la construcción de instalaciones para la evacuación vertical de esta población **Trasladar a los presos de la Comisaría de San Diego a una zona segura frente a tsunamis.**
- Si no fuera posible la retirada de las infraestructuras de emergencia a zonas más seguras, será necesario organizar una asistencia suplementaria en caso de tsunami con equipos de otras zonas.

EDIFICACIONES Y VIVIENDAS EN RIESGO

IMPACTO EN EDIFICACIONES EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

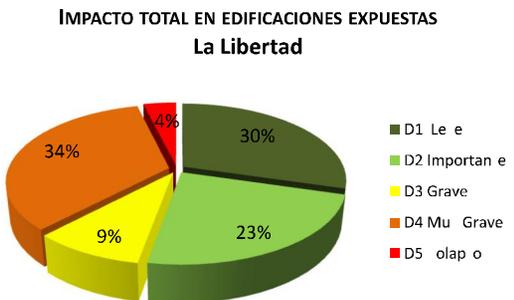
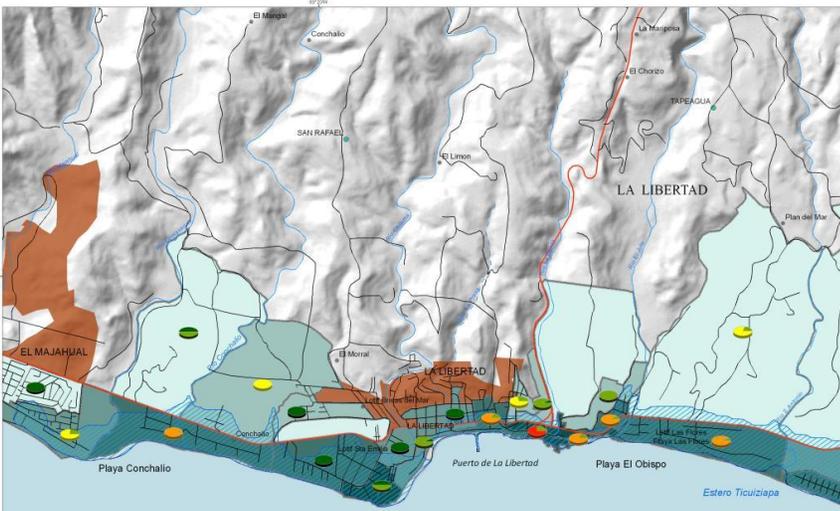


Figura Lib-40.1 Impacto de edificaciones y viviendas en La Libertad

Para analizar el posible impacto de un tsunami en las edificaciones y viviendas de la zona de estudio se han estudiado dos factores:

- la profundidad de la inundación,
- los materiales de construcción de edificaciones y viviendas en la zona.

La Tabla de la Figura Lib- 9 muestra la Escala para Niveles de Daño en Edificaciones, en la que se detallan los cinco niveles de Daño establecidos, la descripción del daño en la infraestructura asociado a cada Nivel de Daño, el posible uso de la edificación como refugio de evacuación y uso posterior inmediato, y una imagen ejemplo del tipo de daño.

? ¿Son resistentes a un tsunami las edificaciones y viviendas de la zona? ¿Cuál sería el impacto en ellas?

Considerando la profundidad media de la inundación en cada segmento censal, las zonas de la costa de La Libertad con impactos más severos en sus edificaciones y viviendas sería Playa del Obispo, seguida de San Diego, Conchalio. La mayor parte de las edificaciones ubicadas en estas zonas sufrirían Daño Grave y Muy Grave, lo que implica un daño estructural que compromete la estabilidad de la edificación y quizás un colapso parcial, así como su demolición tras el evento.

De manera general en la costa de La Libertad (Figura Lib-40), el 4% de las edificaciones y viviendas sufrirían un Daño Muy Grave y con un posible colapso parcial de las mismas; un 32% soportaría Daño Grave; un 9% un Daño Importante que no compromete la estabilidad. Estas 3 categorías suponen un número total de 1,163 edificaciones aproximadamente. El resto, cerca de 1,303 edificaciones, sufrirían un Daño Leve.

	ESCALA PARA NIVELES DE DAÑO EN EDIFICACIONES				
	D1 - DAÑO LEVE	D2 - DAÑO IMPORTANTE	D3 - DAÑO GRAVE	D4 - DAÑO MUY GRAVE	D5 - COLAPSO
DAÑO ESTRUCTURAL	No hay daño estructural. Daños menores, reparables.	Daño importante pero no estructural. Fallo o colapso de algunas secciones de paredes o techos, sin comprometer la estabilidad de la edificación.	Daño estructural que afecta la estabilidad de la edificación.	Daños graves que comprometen la estabilidad de la edificación. Colapso parcial.	Colapso completo.
REFUGIO Y USO POSTERIOR	Refugio. Ocupación inmediata post-desastre.	Evacuación o válido para ocupación inmediata post-desastre, o si la reparación.	Evacuación o válido para ocupación. Se requiere demolición.	Evacuación. Se requiere demolición.	Evacuación. Colapso completo.
IMAGEN EJEMPLO					

Proyecto
Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa Riesgo
Niveles de daño en las edificaciones expuestas en la costa de El Salvador

Escala: 1 cm = 300 m
Proyección Cartográfica: Mercator
Elipsoide: Internacional WGS84

Legenda

- Tejido Urbano
- Zona Portuaria e Industrial
- Área Inundada
- Límites Municipales
- Límites Segmentos Censales
- Vías de Comunicación Principales
- Vías de Comunicación
- Vía Ferroviaria

- Cantones principales
- Cantones
- Puerto

Niveles de daño en las edificaciones expuestas por segmento censal

Nº edificaciones	Niveles de daño	Porcentaje de edificios por tipo de daño
0 - 8	Leve	
9 - 24	Importante	
25 - 74	Grave	
75 - 116	Muy grave	
117 - 138	Colapso	

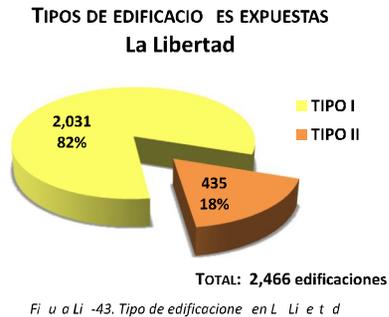
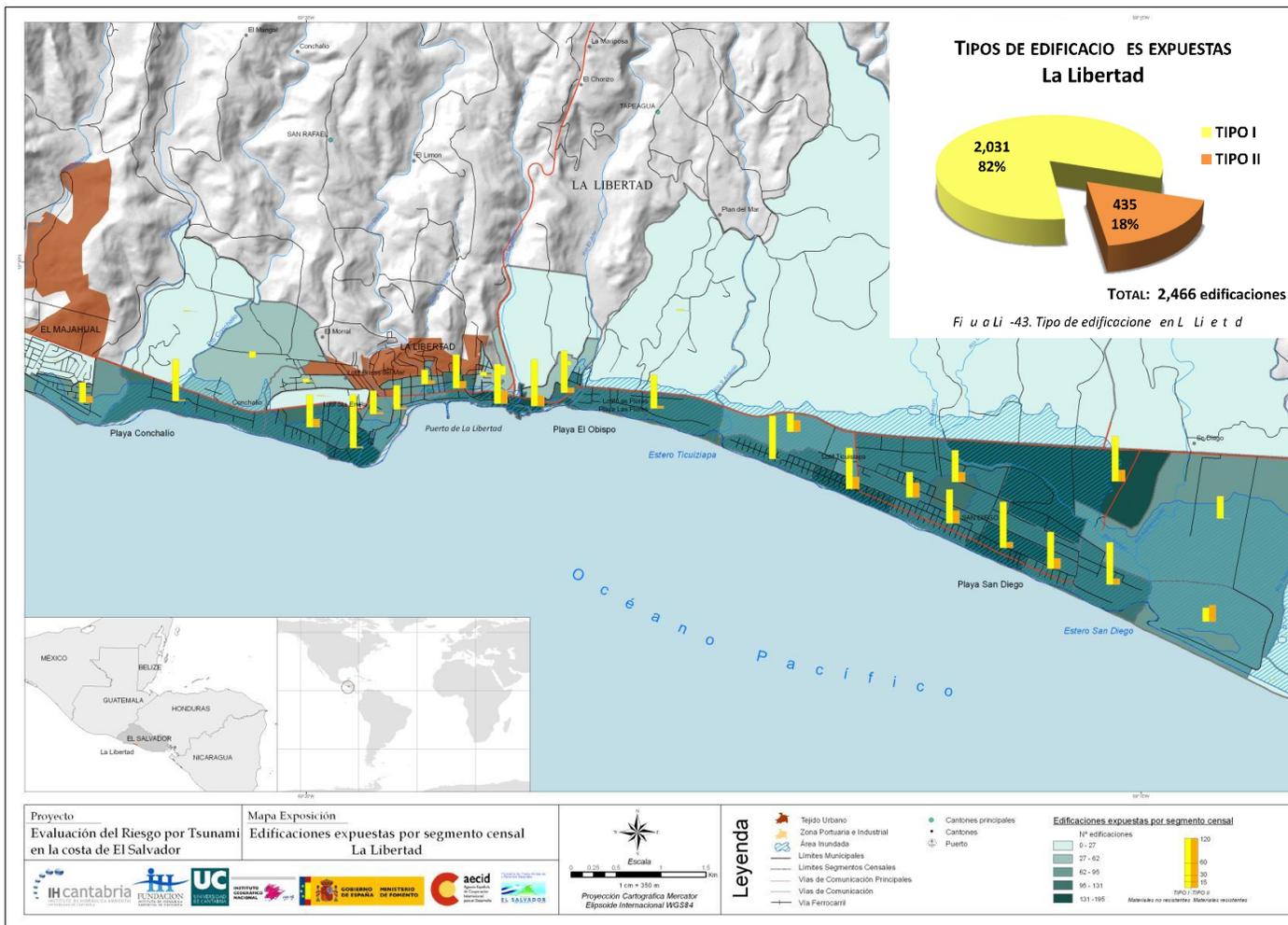
Figura Lib-39. Riesgo de edificaciónes y viviendas en La Libertad

Análisis basado en el modelo de riesgo en el Proyecto SCHEMA censores para la identificación de emergencias en la zona de estudio, Joint Research Center, Institute for Policy and Security of Cities (2011)

TIPOS DE EDIFICACIONES SEGÚN SUS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

? ¿Qué viviendas de la zona resistirían mejor el impacto de un gran tsunami?

Existen en La Libertad cerca de 2,500 edificaciones y viviendas e puestas a un posible evento de tsunami. Se han clasificado según sus tipos de materiales, englobándolas en 2 categorías: **Tipo I** No Resistentes y **Tipo II** Resistentes. La Figura Lib-41 muestra las distintas combinaciones de materiales de paredes y techo incluidas en cada categoría. La Figura Lib-42 muestra el número total de edificaciones expuestas por segmento censal y cuántas son de Tipo I y Tipo II. La Gráfica Lib-43 muestra los datos globales para toda La Libertad: 2,466 edificaciones expuestas, siendo el 82% de ellas No Resistentes.



COMBINACIONES ENTRE TIPO DE MATERIAL DE PAREDES Y TECHO	EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES FRÁGILES
TIPO I	<p>PAREDES: PAJA DESECHO, PALMA OTRO VEGETAL, MADERA, LÁMINA METÁLICA</p> <p>TECHO: PAJA / DESCHO, PALMA OTRO VEGETAL, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES DE LA ZONA:</p> <p>PAREDES: PAJA DESECHO, MADERA</p> <p>TECHO: PAJA / DESCHO, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:</p> <p>PAREDES: COCOTE O MIXTO</p> <p>TECHO: LÁMINA METÁLICA, TEJA, AS ESTO</p>
TIPO II	<p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA ALTA-ALTA, CON ESTRUCTURAS DE MATERIALES RESISTENTES, BUELOS ACABADOS Y DECORADOS DE TAL FORMA QUE IMPEDIRÍAN SU VALOR:</p> <p>PAREDES: COCOTE O MIXTO</p> <p>TECHO: FERRÓCEO, LOSA DE CONCRETO</p>

Figura Lib-41. Tipos de edificaciones según sus materiales

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EDIFICACIONES

- Establecimiento de un código de construcción sismo-tsunami-resistente para las nuevas edificaciones.
- Ayudas eventuales a la población para el reforzamiento de las viviendas actuales Tipo I.

Figura Lib-42. Tipo de edificaciones y viviendas expuestas en La Libertad

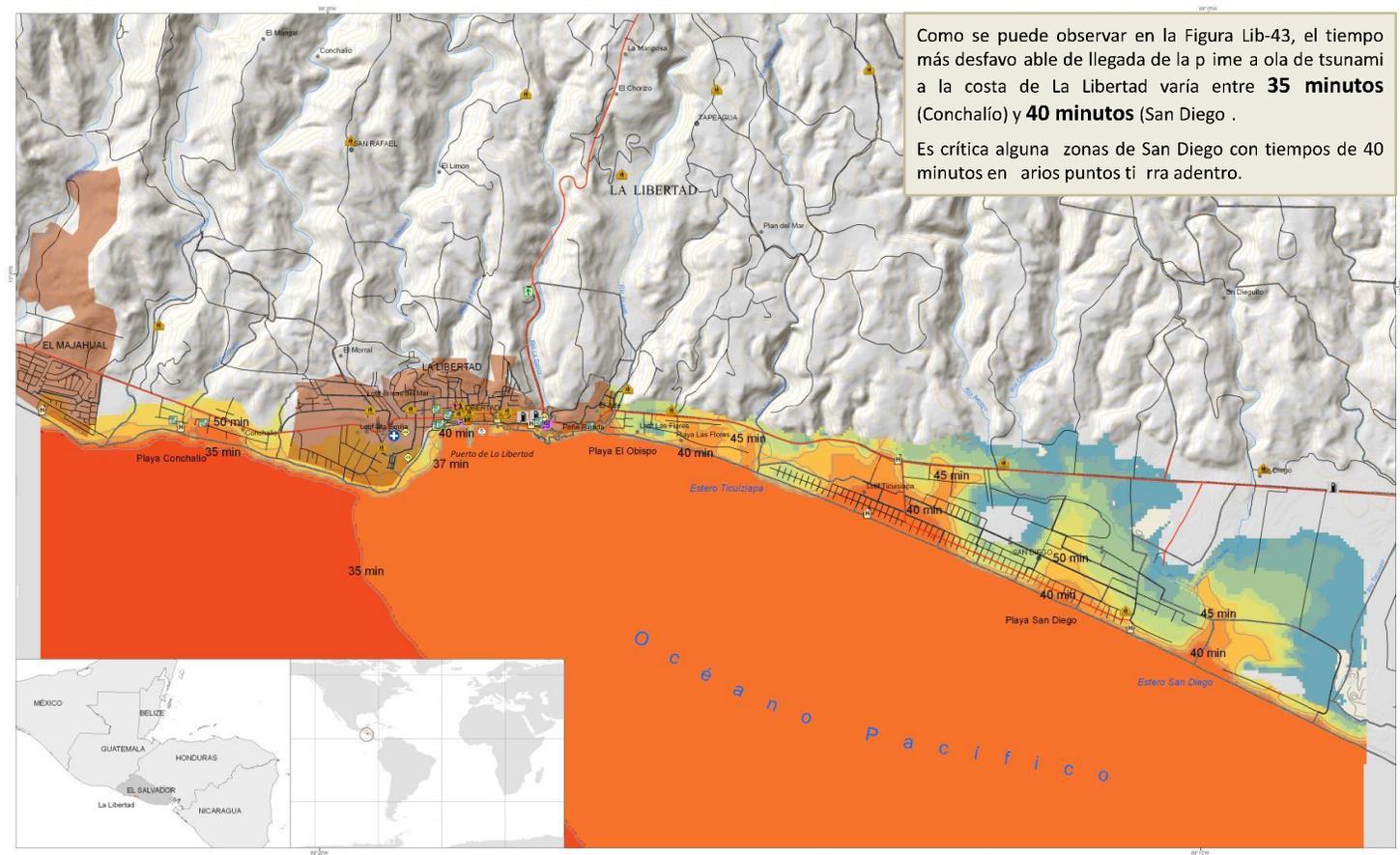
EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI

LA LIBERTAD

TIEMPO MÁS DESFAVORABLE DE LLEGADA DEL TSUNAMI

Como se puede observar en la Figura Lib-43, el tiempo más desfavorable de llegada de la primera ola de tsunami a la costa de La Libertad varía entre **35 minutos** (Conchalí) y **40 minutos** (San Diego).

Es crítica alguna zonas de San Diego con tiempos de 40 minutos en varios puntos tierra adentro.



<p>Proyecto</p> <p>Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador</p>	<p>Mapa Peligrosidad</p> <p>Tiempos de llegada de tsunami</p> <p>Mapa agregado que combina los peores escenarios de fuentes lejanas, regionales y locales.</p>	<p>Escala</p> <p>0 0.25 0.5 1.0 km</p> <p>Proyección Cartográfica Mercator</p> <p>Elipsoido Internacional WGS84</p>	<p>Leyenda</p> <ul style="list-style-type: none"> Tejido Urbano Área Inundada Limites Municipales Limites Segmentos Censales Vías de Comunicación Principales Vías de Comunicación Vía Ferrocarril Cantones principales Cantones Protección Costera Protección Civil Pozos Polígonos Industriales Plantas Tratamiento Instalaciones Militares Hoteles Hospitales Centros de Salud Iglesias Estaciones Servicio Estaciones Bombeo Agua Electricidad Centros Escolares Bomberos Centros Comerciales Ocio Zona Portuaria e Industrial Puerto 	<p>Tiempos de arribo (minutos)</p> <table border="1"> <tr><td>33</td><td>52-53</td></tr> <tr><td>33-35</td><td>53-54</td></tr> <tr><td>35-40</td><td>54-55</td></tr> <tr><td>40-45</td><td>55-60</td></tr> <tr><td>50-51</td><td>60-65</td></tr> <tr><td>51-52</td><td>> 65</td></tr> </table>	33	52-53	33-35	53-54	35-40	54-55	40-45	55-60	50-51	60-65	51-52	> 65
33	52-53															
33-35	53-54															
35-40	54-55															
40-45	55-60															
50-51	60-65															
51-52	> 65															

Figura Lib-43. Tiempo de llegada de la primera ola de tsunami a la costa de La Libertad

TIEMPO DE LA POBLACIÓN PARA EVACUAR

Se ha analizado el caso más conservador, en términos de tiempos de llegada de la primera ola de tsunami, que puede afectar a El Salvador y en concreto a la costa de La Libertad. Los tiempos que se presentan en el análisis (tiempo de llegada del tsunami y tiempo que tiene la población para evacuar) están calculados en base al caso más desfavorable posible. Estos tiempos podrían ser asociados a un tsunami generado en fuentes cercanas, debido a un terremoto originado en la zona de subducción (Placa de Cocos - Placa Caribe) frente a la costa de El Salvador. Para el caso de un tsunami originado en una fuente lejana, estos tiempos cambiarían.

Algunos conceptos esenciales para entender el estudio son los siguientes:

TIEMPO DE LLEGADA DEL TSUNAMI ($T_{Tsunami}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que llega la primera ola a un punto concreto de la zona costera. En el mapa se representa mediante isótopos de tiempo y un código de color.

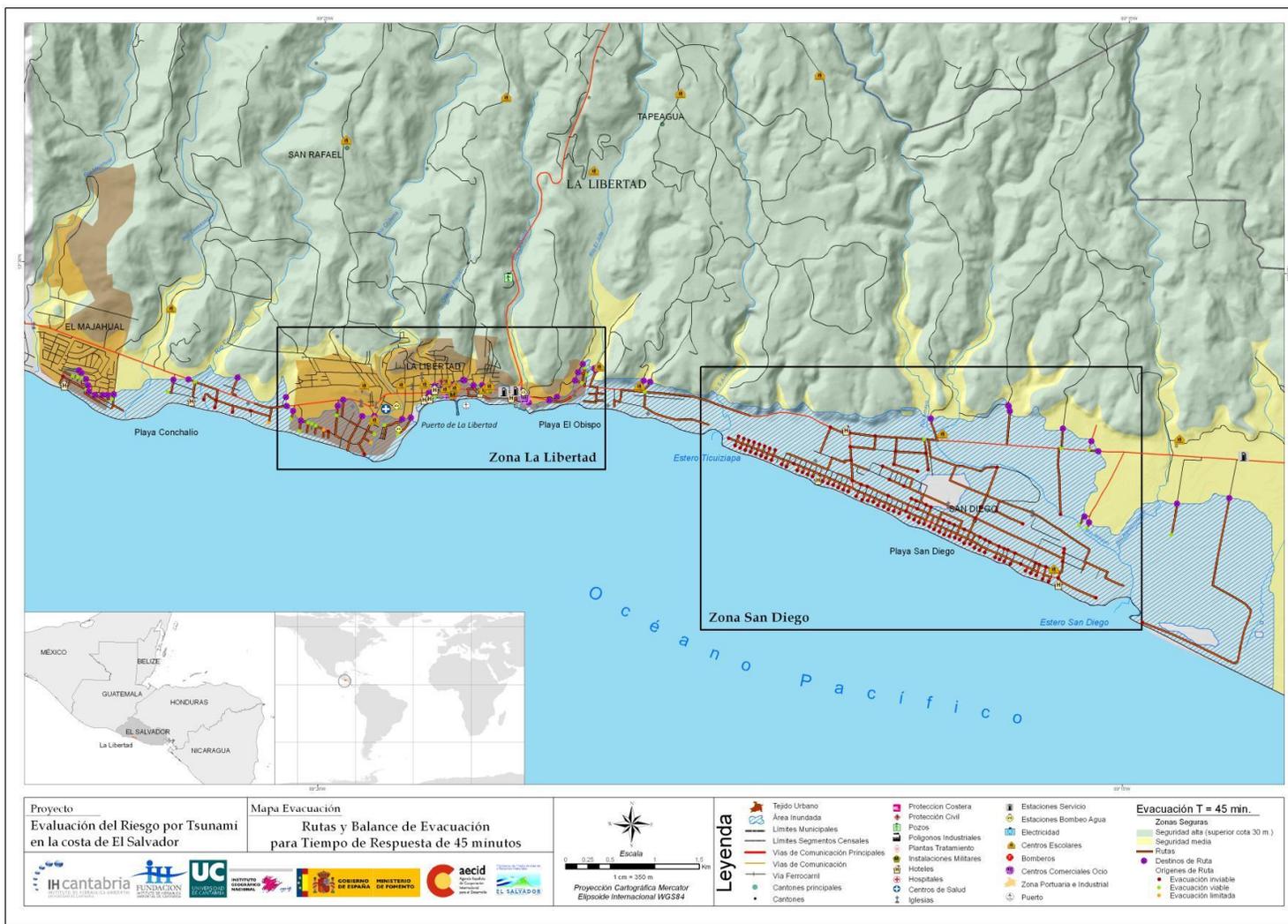
TIEMPO DE RESPUESTA ($T_{Respuesta}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que la población comienza a evacuar. Este tiempo incluye lo siguiente:

- Tiempo de Detección del terremoto y análisis de características + Tiempo de Emisión de Alerta de tsunami por el MARN.
- Tiempo de Recepción de la Alerta por parte de la Dirección General de Protección Civil y transmisión a la Comisión Municipal de Protección Civil.
- Tiempo de Transmisión de la Alerta a la comunidades.
- Tiempo de Reacción de la población

TIEMPO DE EVACUACIÓN ($T_{Evacuación}$): tiempo que transcurre desde que la población comienza a evacuar hasta que llega a zona segura (evacuación a pie).

$$T_{Evacuación} = T_{Tsunami} - T_{Respuesta}$$

ZONAS SEGURAS Y RUTAS DE EVACUACIÓN PRINCIPALES



IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SEGURAS

El modelado de este evento de tsunami proporciona el área que quedaría inundada. La Figura Lib-44 muestra la zonificación de seguridad en base a el área inundada. Así, se diseñan 3 zonas:

- **ZONA INUNDADA POR EL TSU AMI** (en color azul): zona con profundidades y elocidade de inundación mayores cerca de la costa menores al avanzar tierra adentro.
- **ZONA DE SEGURIDAD MEDIA** (en color amarillo): esta zona de seguridad media se ha establecido entre la cota máxima de inundación en la zona de estudio y la cota 30m.
- **ZONA DE SEGURIDAD ALTA** (en color verde): zona a partir de la cota 20m.

IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN

Analizando los tiempos de llegada de tsunamis (Figura Lib-43), la zonificación de seguridad (Figura Lib-44) y la redial e i tente, se ha realizado un modelado de tiempos de evacuación.

Este modelado establece la ruta más corta desde cada punto de origen hasta cada punto de destino (punto por donde cada carretera sale de la lámina de inundación).

EVACUACIÓN PARA TIEMPO DE RESPUESTA 45 MINUTOS

En la costa de La Libertad el tiempo de llegada del tsunami es de 35-40 minutos. Se ha establecido el Tiempo de Respuesta a tual en 45 minutos. Para este Tiempo de Respuesta prácticamente ninguna de las comunidades partiendo de los puntos de origen e tablecidos conseguiría evacuar a tiempo.

ANÁLISIS DE DETALLE

Se presenta a continuación el análisis de detalle de dos zonas: La Libertad y San Diego.

Figura Lib-44 Zonas seguras y modelado de tiempos de evacuación en La Libertad para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

RUTAS DE EVACUACIÓN ZONA URBANA LA LIBERTAD

RUTAS DE EVACUACIÓN EXISTENTES

Se presentan en la Figura Lib-45 las rutas de evacuación existentes en la Zona urbana La Libertad.

En páginas posteriores se muestra el análisis de la evacuación con estas rutas.

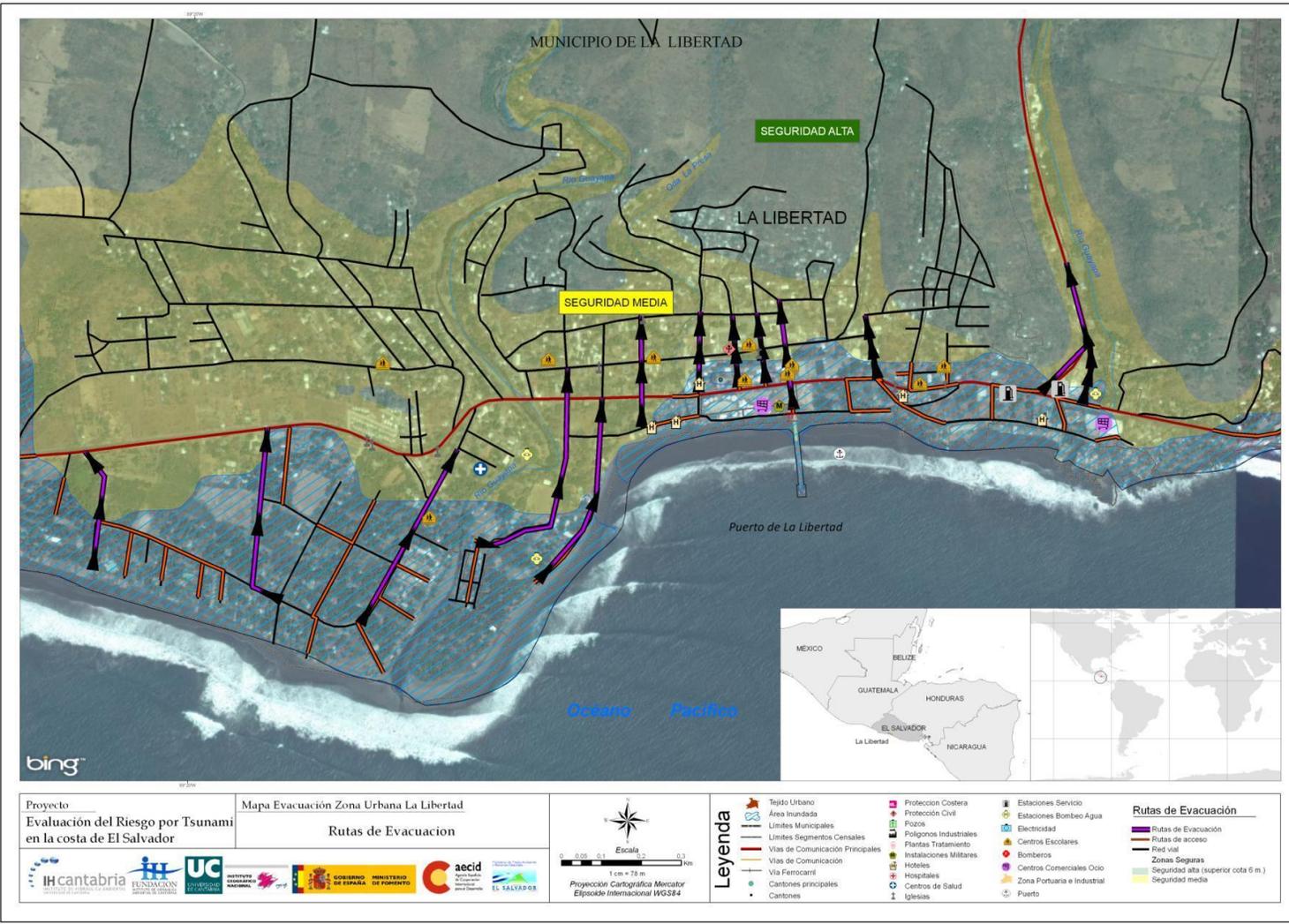


Figura Lib-45 Rutas de evacuación existentes de la Zona Urbana La Libertad

EVACUACIÓN ZONA URBANA LA LIBERTAD (T = 45 min)

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

Se presenta en la Figura Lib-46 el modelado de evacuación de la zona urbana de La Libertad para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

La línea discontinua color naranja muestra hasta dónde llegaría la primera ola de tsunami pasados 45 minutos de la generación del tsunami.

Resumiendo:

- Tiempo de Respuesta = 45 minutos
- Tiempo Llegada del tsunami = 35-40 minutos

El cambio brusco de relieve en la zona urbana de La Libertad hace que el área inundada no cubra una gran extensión. Por esta razón la gran mayoría de Puntos de Origen seleccionados aparecen en color verde en el mapa, pues implican que el tiempo que tarda la población en recorrer la distancia hasta zona segura es menor que la que tarda en llegar el tsunami desde que recibieron el aviso, es decir, consiguen evacuar todos.

Los puntos rojos, más cercanos a la línea de costa, al estar próximos a la isocrona de 45 minutos no tendrían oportunidad de evacuar a que el tsunami llegaría antes de que recibieran la alerta por parte de las autoridades. Los puntos de origen de color naranja implican que las comunidades que salen de esos puntos de origen evacuarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas conseguirían evacuar, las lentas no).

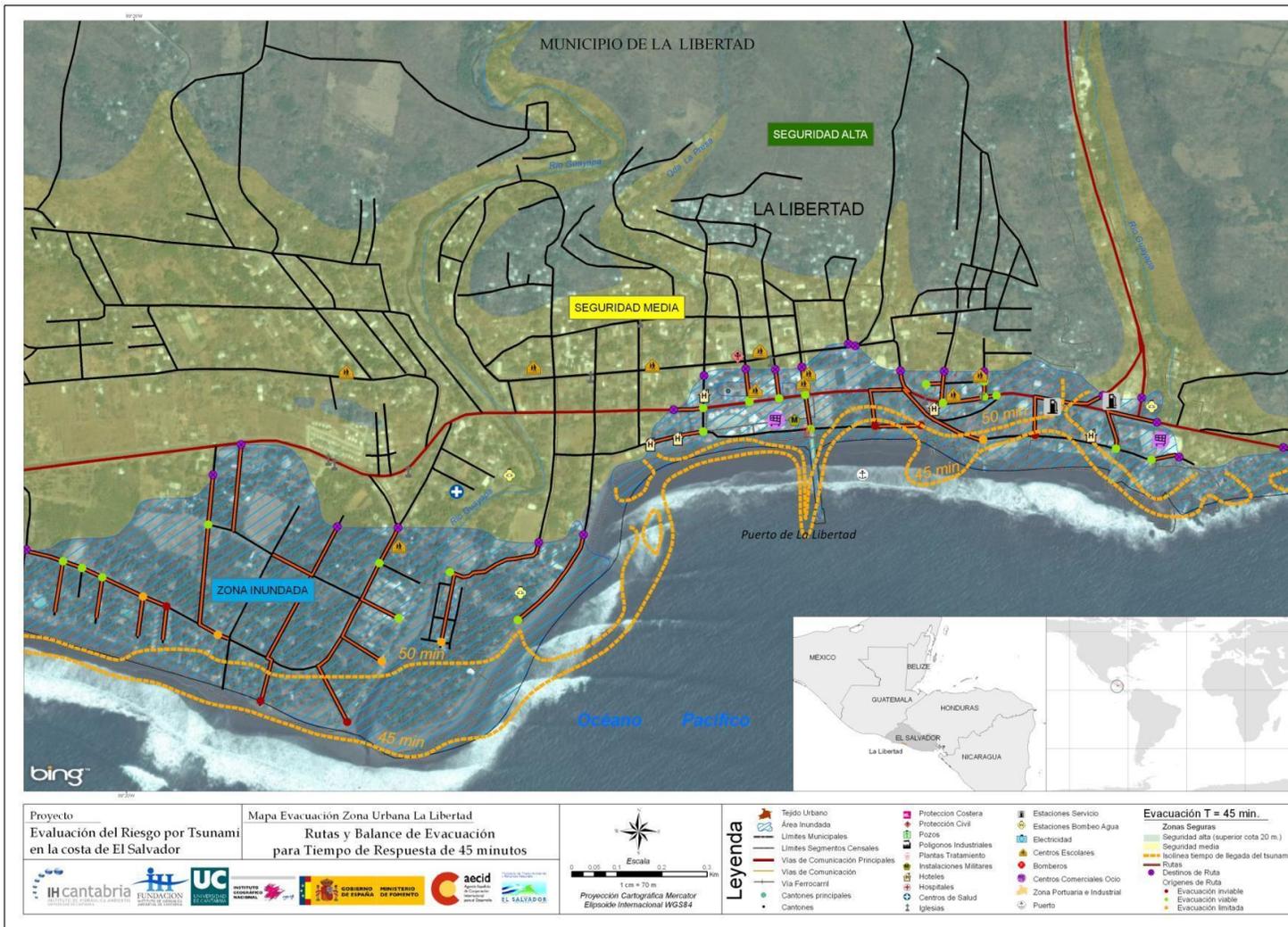
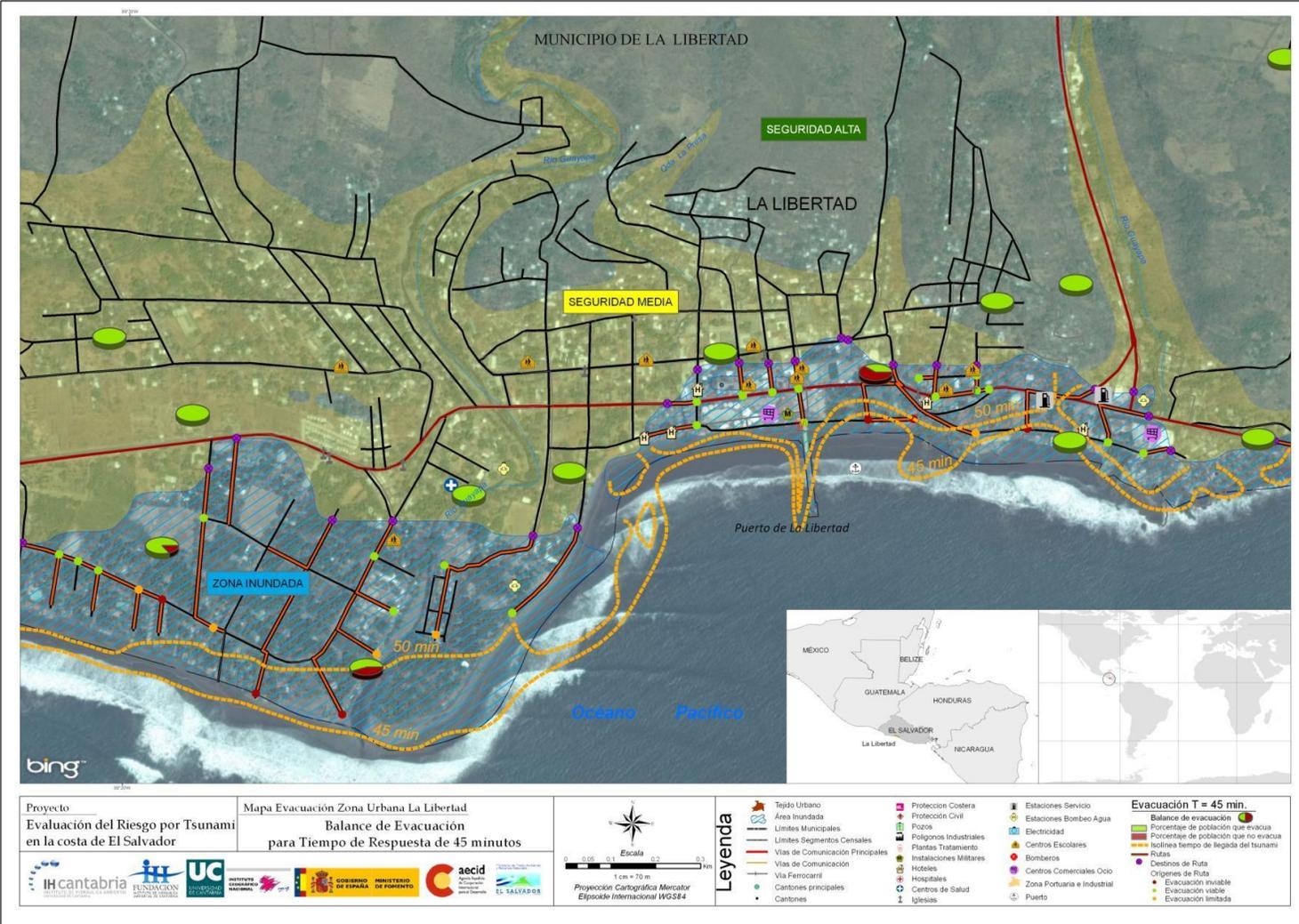


Figura Lib-46. Modelado de evacuación de la Zona Urbana de La Libertad para un tiempo de respuesta de 45 minutos

BALANCE DE EVACUACIÓN (T = 45 min)



PERSONAS QUE CONSIGUEN EVACUAR PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

La Figura Lib-47 muestra el balance de evacuación (porcentaje de personas por segmento censal que consigue evacuar) para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos (T45 en base a los resultados ya mostrados en la Figura Lib-46. Se presentan los resultados en forma de tarta por segmento censal.

Se puede apreciar en la figura que para el Tiempo de Respuesta aplicado (45 minutos) desde que ocurre el tsunami hasta que la población comienza a evacuar un porcentaje de las comunidades ubicadas más cerca de la costa no conseguiría evacuar. Aquellas situadas más cerca de la zona de seguridad tienen un porcentaje muy alto de evacuación.

MEDIDAS PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN

Las personas ubicadas cerca de los puntos rojos y naranjas no consiguen evacuar por un problema de tiempo, pues las distancias a recorrer son pequeñas. De estos resultados se concluye que es necesario proponer la siguiente medida para mejorar la evacuación de esta zona:

- Reducir el **Tiempo de Respuesta**
- A continuación se presenta el modelado de la evacuación de la zona aplicando esta medida.

Figura Lib-47. Balance de evacuación en la Zona Urbana de La Libertad para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

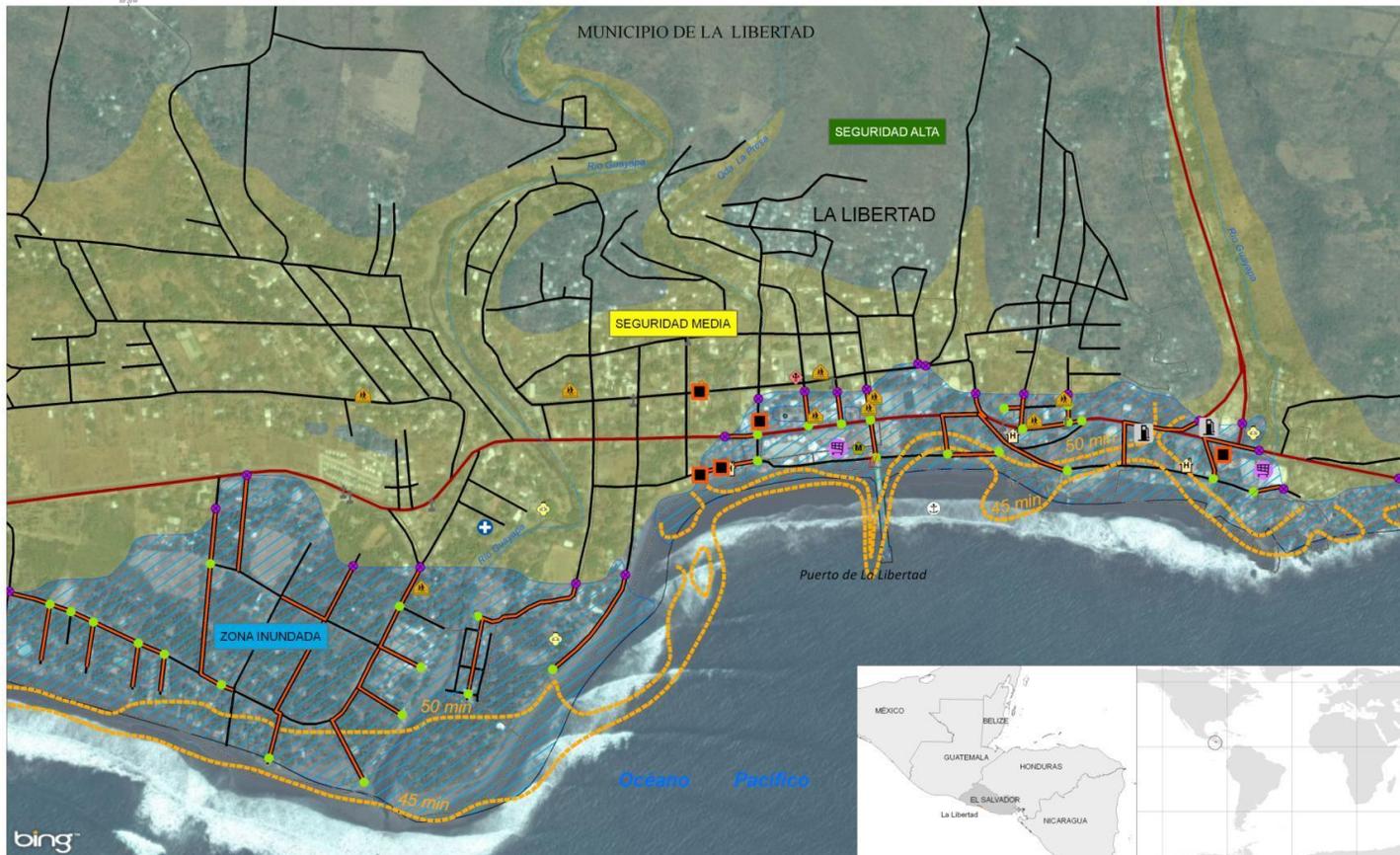
PROPUESTA DE ALTERNATIVAS - EVACUACIÓN ZONA URBANA LA LIBERTAD

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Se presenta en la Figura Lib-48 el modelado de evacuación de la Zona Urbana de La Libertad para un TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS (T30) con la red vial e infraestructuras existentes.

Se puede apreciar que para T0 todas las comunidades con seguir an evacuar (dominan los puntos de origen color verde).

e muestran además en el mapa las edificaciones existentes con más d 3 pisos y que permitirían una evacuación vertical. En la siguiente página se presenta el listado y fotos de esas edificaciones.



Proyecto Evaluación del Riesgo por Tsunami en la costa de El Salvador	Mapa Evacuación Zona Urbana La Libertad Propuesta para la Evacuación para Tiempo de Respuesta de 30 minutos	Escala 1 cm = 70 m Proyección Cartográfica Mercator Elipsoide Internacional WGS84	Leyenda <ul style="list-style-type: none"> Tejido Urbano Área Inundada Límites Municipales Límites Segmentos Censales Vías de Comunicación Principales Vías de Comunicación Vías Ferrocarril Cantones principales Cantones Protección Costera Protección Civil Pozos Polígonos Industriales Plantas Tratamiento Instalaciones Militares Hoteles Hospitales Centros de Salud Iglesias Estaciones Servicio Estaciones Bombeo Agua Electricidad Centros Escolares Bomberos Centros Comerciales Ocio Zona Portuaria e Industrial Puerto 	Evacuación T = 30 min. <ul style="list-style-type: none"> Evacuación vertical existente Rutas alternativas propuestas línea tiempo de llegada de tsunami Rutas Destinos de Ruta Orígenes de Ruta Evacuación inviable Evacuación viable Evacuación limitada
---	---	--	---	--

Figura Lib-48. Modelado de evacuación de la Zona Urbana de La Libertad para un Tiempo de Respuesta de 30 minutos y propuesta de alternativas.

EDIFICACIONES DE EVACUACIÓN VERTICAL EXISTENTES EN LA ZONA URBANA DE LA LIBERTAD

Se presenta en la Figura Lib-49 el listado de edificaciones que permitirían la evacuación vertical de la población existentes en la zona urbana de la Libertad, junto con sus principales características.

MUNICIPIO	CANTÓN	NOMBRE EDIFICACION	CAPACIDAD (personas)	NÚMERO PISOS	DISTANCIA A COSTA (m)	ELEVACIÓN (m)	ACCESO	RESISTENCIA
LA LIBERTAD	REA URBANA	HOTEL PUERTO BELLO	100	3	127,20	12	1	Tipo 2 - Resistente
LA LIBERTAD	REA URBANA	HOTEL RENACER	100	3	56,08	10	1	Tipo 2 - Resistente
LA LIBERTAD	REA URBANA	LA TERRAZA HOTEL	50	3	54,30	7		Tipo 2 - Resistente
LA LIBERTAD	ÁREA URBANA	CENTRO COMERCIAL EL FARO	750	5	102,86	13		Tipo 2 - Resistente
LA LIBERTAD	REA URBANA	RESTAURANTE DON GERENTE	100	3	49,97	12	1	Tipo 1 - Resistente
LA LIBERTAD	REA URBANA	EL DELFÍN II	100	3	41,69	12	1	Tipo 1 - Resistente

Figura Lib-49. Listado de edificaciones de evacuación vertical existentes en la zona urbana de la Libertad

Las Figuras Lib-50 a 54 muestran las fotografías de algunas de estas edificaciones.



Figura Lib-50. Hotel Puerto Bello



Figura Lib-51. Hotel Renacer



Figura Lib-52. Restaurante Don Gerente (construido en zona elevada, la fachada hacia la costa consta de 3 pisos)



Figura Lib-53. Centro Comercial El Faro



Figura Lib-54. Restaurante El Delfín II

RUTAS DE EVACUACIÓN ZONA SAN DIEGO

RUTAS DE EVACUACIÓN EXISTENTES

Se presentan en la Figura Lib-55 las rutas de evacuación existentes en la Zona San Diego. En páginas posteriores se muestra el análisis de la evacuación con estas rutas.

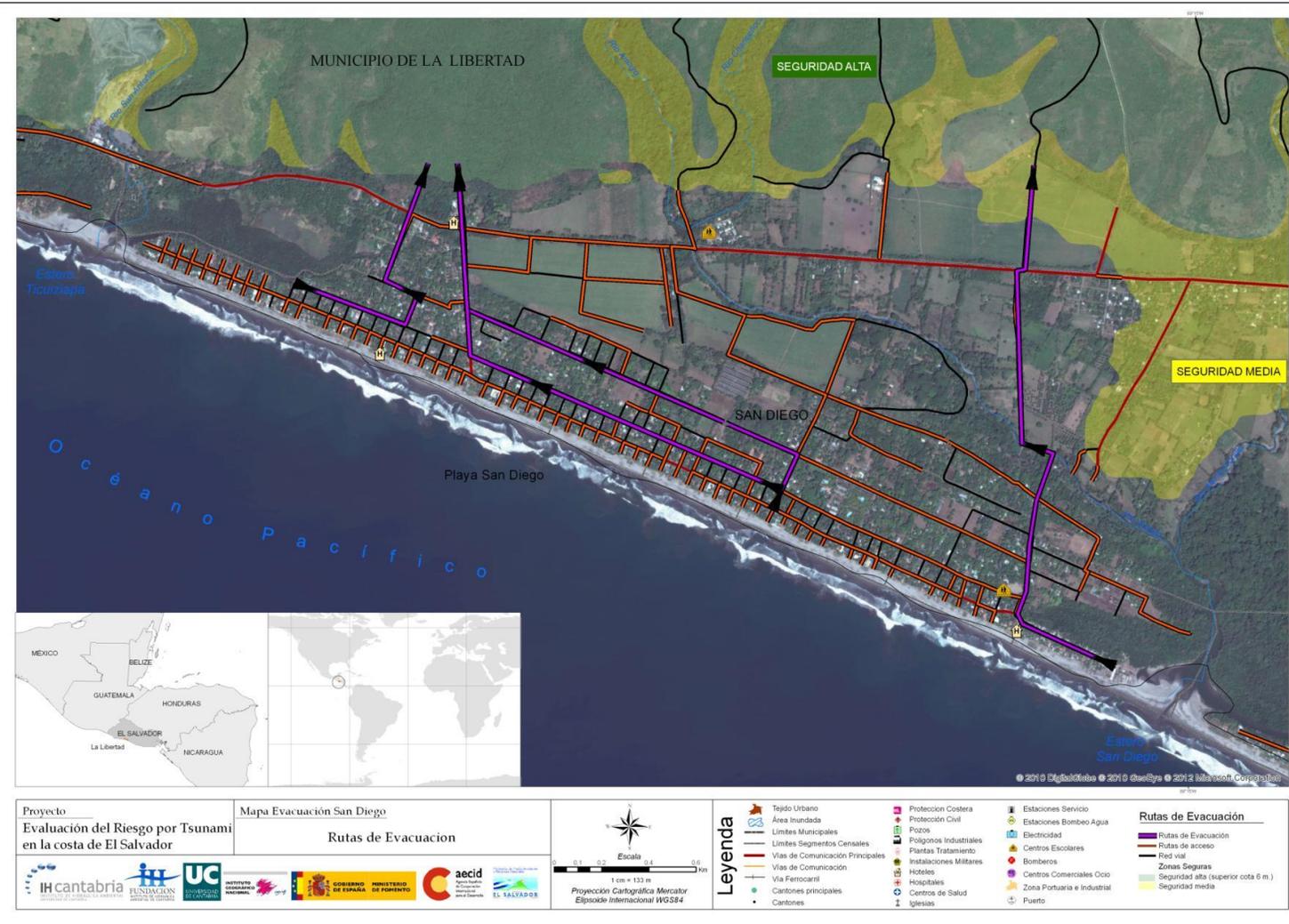


Figura Lib-55 Rutas de evacuación existentes de la Zona San Diego

EVACUACIÓN ZONA SAN DIEGO (T = 45 min)

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

Se presenta en la Figura Lib-56 el modelado de evacuación de la zona San Diego para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

La línea discontinua color naranja muestra hasta dónde llegaría la primera ola de tsunami pasados 45 y 50 minutos de la generación del tsunami. La ola alcanzar a la costa en menos de 40 minutos.

Resumiendo:

- Tiempo de Respuesta = 45 minutos
- Tiempo Llegada del tsunami = 40-45 minutos

Se identifica en San Diego una discontinuidad en los tiempos de llegada del tsunami a costa. Las zonas B, D y F mostradas en el mapa sufrirán una llegada del tsunami tierra adentro mucho antes que en otros puntos de la línea de costa. Estas 3 zonas son las más críticas.

Las comunidades ubicadas entre la línea de costa y la isolinia de 45 minutos no tendrían oportunidad de evacuar ya que el tsunami llegaría antes de que recibieran la alerta por parte de las autoridades. Por esta razón los puntos de origen aparecen en color rojo.

Las comunidades ubicadas entre la isolinia de 45 minutos y la zona de seguridad media aparecen en distintos colores en función de la distancia que tengan que recorrer. Los puntos de origen en color verde implican que el tiempo que tarda la población en recorrer la distancia hasta zona segura es menor que la que tarda en llegar el tsunami desde que recibieron la alerta, es decir, consiguen evacuar todos. Los puntos que conseguirían evacuar están principalmente ubicados en la carretera del Litoral, el resto tendrá tiempo suficiente para evacuar.

San Diego es una zona crítica en la evacuación.



Figura Lib-56. Modelo de evacuación de la Zona San Diego para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos

BALANCE DE EVACUACIÓN (T = 45 min)



Figura Lib-57. Balance de evacuación en la Zona San Diego para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

PERSONAS QUE CONSIGUEN EVACUAR PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

La Figura Lib- muestra el balance de e acucción (porcentaj de personas por segmento censal que consigue evacuar) para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos (T45) en base a lo resultado ya mos rados en la Figura Lib-56. Se presentan los resultados en forma de tarta por segmento censal.

Se puede apreciar en la figura que para el Tiempo de Respuesta aplicado (45 minutos desde que ocurre el tsunami hasta que la población comienza a evacuar) la totalidad de las comunidades ubicadas más ceca de la costa no conseguiría evacuar. Aquellas situadas m cerca de la zona de seguridad acuarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas -1m/s- conseguirían evacuar, las lentas no).

MEDIDAS PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN

De estos resultados se concluye que es nece ario proponer una serie de medida para mejorar la evacuación de esta zona:

- Reducir el **Tiempo de Respuesta**
- Construir estructura de e acucción ertical qu p rmitan e acuar a algunas d las comunidades que actualmente no lo consigui ían para este tipo d tsunami).
- Cons ruir **nuevas vías de evacua ión** que acorten la distancia a recorrer.

A continuación se presenta el modelado de la evacuación de la zona aplicando algunas de estos medidas.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS - EVACUACIÓN ZONA SAN DIEGO

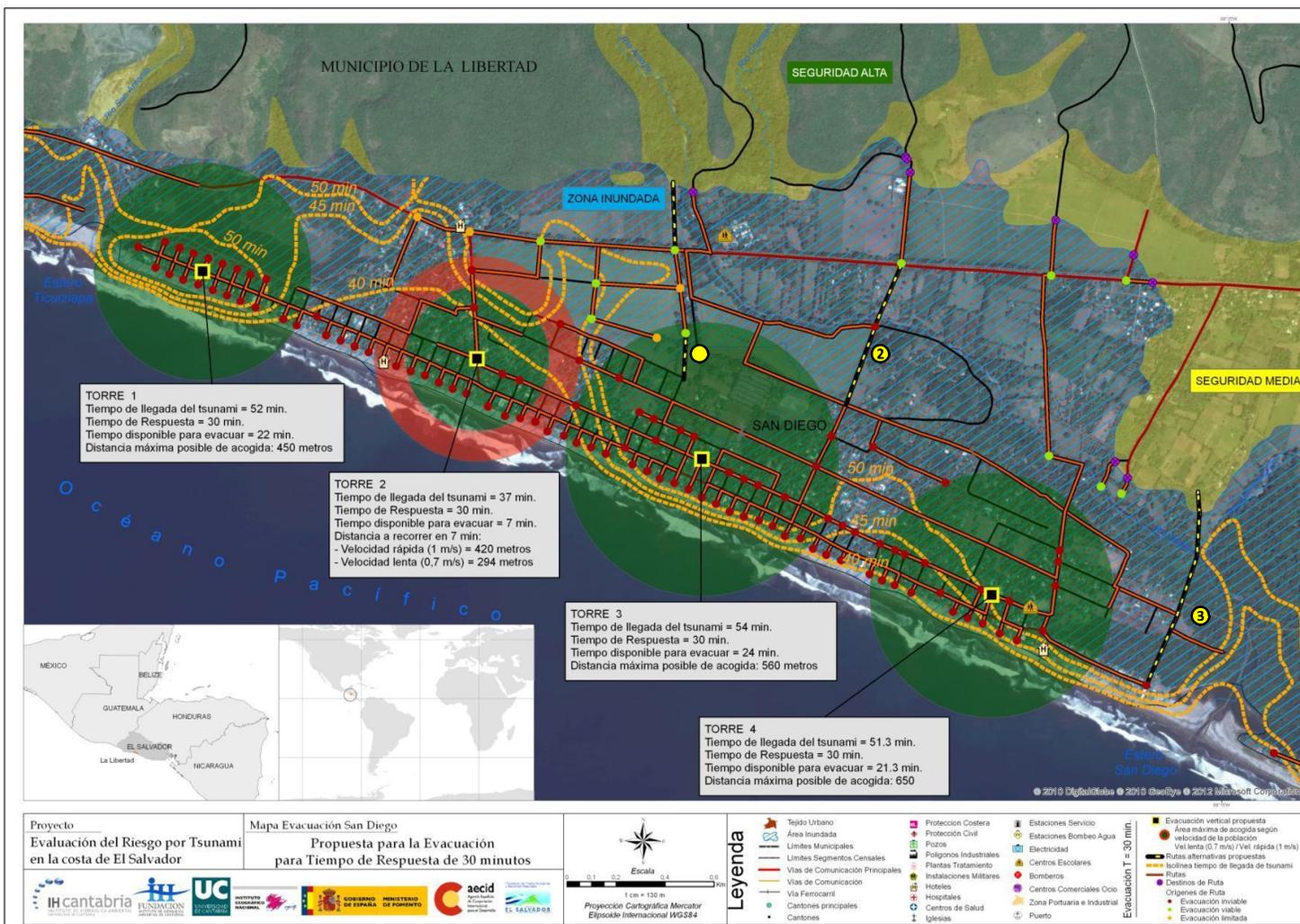


Figura 58. Modelo de evacuación de la Zona San Diego para un tiempo de respuesta de 30 minutos o de alta en las vías.

EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

La Figura Lib-58 muestra el modelado de evacuación de la Zona San Diego para un tiempo de respuesta de 30 minutos (T30) con la red vial e infraestructuras existentes. Se puede apreciar que la mayor parte de las comunidades ubicadas entre la isolinia de 45min y la zona segura evacuarían para T30 (todos los puntos de origen son color verde y naranja). La comunidad entre la zona costera y la isolinia de 45 minutos en cambio se mantienen de color rojo incluso reduciendo el tiempo de Respuesta a 30 minutos.

Para que las comunidades más cercanas a la costa consigan evacuar es necesario proponer medidas alternativas:

- CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL:** se ha analizado la posible ubicación de 4 torres de evacuación vertical en la zona. Las discontinuidades en el tiempo de llegada del tsunami a la costa hace necesario la distribución de las torres en función de estas discontinuidades. Para cada torre se ha calculado el tiempo que tiene la población para llegar a las mismas ($T_{\text{tsunami}} - T_{\text{respuesta}}$). Los anillos que rodean a las torres representan la distancia de acogida de población. De la población ubicada en el anillo rojo, sólo llegarían a tiempo los más pedidos. Con estas torres la gran mayoría de las comunidades conseguiría evacuar.
- CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVAS:** se proponen tres rutas nuevas que podrían acortar la distancia a recorrer en la evacuación (marcadas en amarillo y negro). Y fortalecer mejor la zona con la Carretera del Litoral. La Ruta 1 parte del centro de San Diego pasando por el Sitio Chanseño a para llegar al Parque Deninger. La Ruta 2 implica alargar la carretera existente hasta la Litoral y la construcción de un puente para salvar el río. La Ruta 3 une la Bocaña San Diego con la colonia 13 de Enero, con el inconveniente de que sería únicamente para la estación seca.



ANÁLISIS DE RIESGO ANTE TSUNAMI

BAHÍA DE JIQUILISCO

Municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután,
San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

PROFUNDIDAD DE LA INUNDACIÓN

Para analizar la amenaza que supone un posible evento de tsunami en la costa de El Salvador se han desarrollado una serie de mapas de peligrosidad ba ado en la caracterización de escenarios asociados a los peores casos "reibles" de tsunamis de origen cercano, regional y lejano. Los mapas de peligrosidad que se pre entan en e te documento combinan en un solo mapa los 23 peores ca os "cre bles".

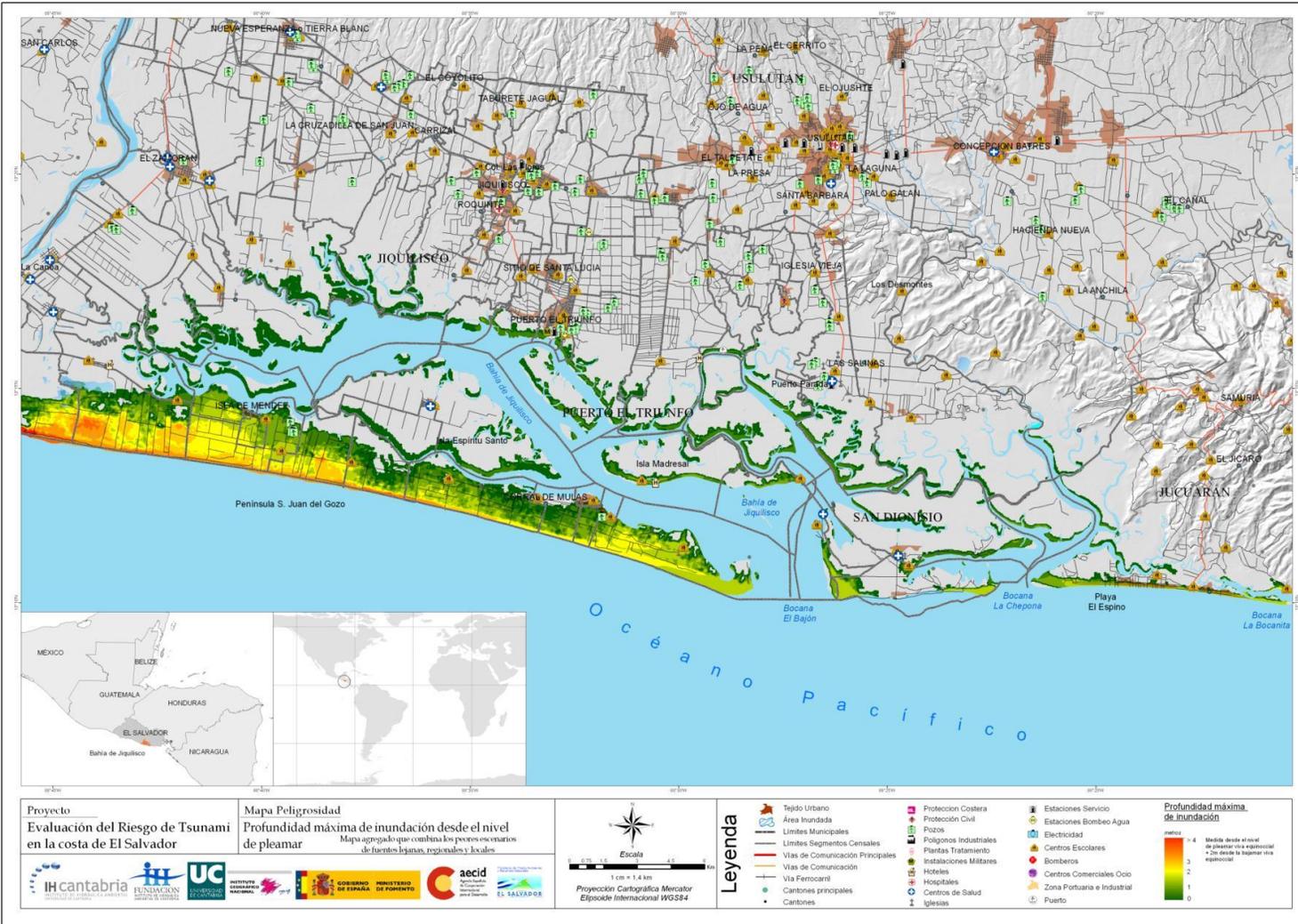
Obtenido el peor caso creible de tsunami, e analiza lo siguiente:

- Altura máxima de ola en el mar (m)
- rea inundada en tierra (m)
- Profundidad de la inundación n tierra (m)
- Velocidad de la lámina de agua (m/s)
- Tiempo mínimo de viaje de tsunami (minutos)

La Figura BaJ-1 muestra el área que se vería inundada en Bahía de Jiquilisco en caso de un gran tsunami, así como la profundidad máxima de la inundación.

? ¿Hasta dónde llegaría el agua en el caso de un gran tsunami?
 ¿Cuáles son las zonas que se verían más afectadas por el impacto?

Se puede apreciar que la zona de la Península San Juan del Gozo es más cíti a en este aspecto. Se detectan profundidades de 5 y 6m de inundación en la zona más occidental de la barra, disminuyendo la profundidad a medidas que s anza hacia Corral d Mulas. L s zonas cercanas a las Bocanas El Bajón, La Chepona y La Bocanita se ver an afectadas por profundidades de inundación de entre 1 y 2m. La parte interna de la bah a registraría profundidades menores (alrededor de 1m).



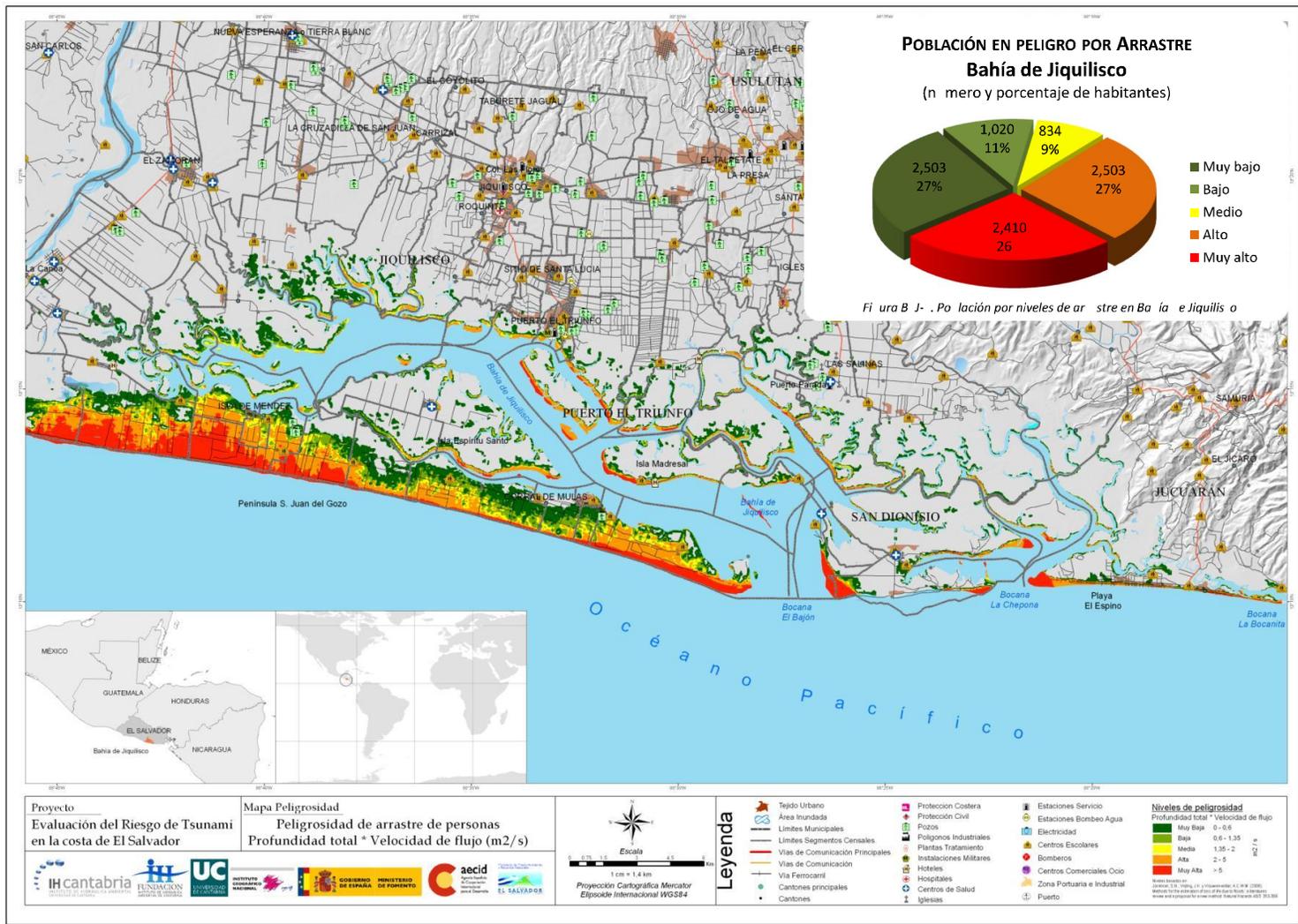
Fi BaJ-1. Pofu ia xi ad i acción e Ba ía e i ilisco

LA AMENAZA DEL TSUNAMI

ARRASTRE DE PERSONAS

La capacidad del tsunami para arrastrar personas se calcula a partir de la profundidad de la inundación (m) y la velocidad del agua (m/s).

A partir de estas dos variables se establecen unos umbrales tal como aparecen reflejado en la leyenda del mapa. Estos umbrales hacen referencia a la pérdida de estabilidad de una persona al ser sometida a la fuerza del arrastre del agua.



¿Qué zonas tienen más peligro para las personas?

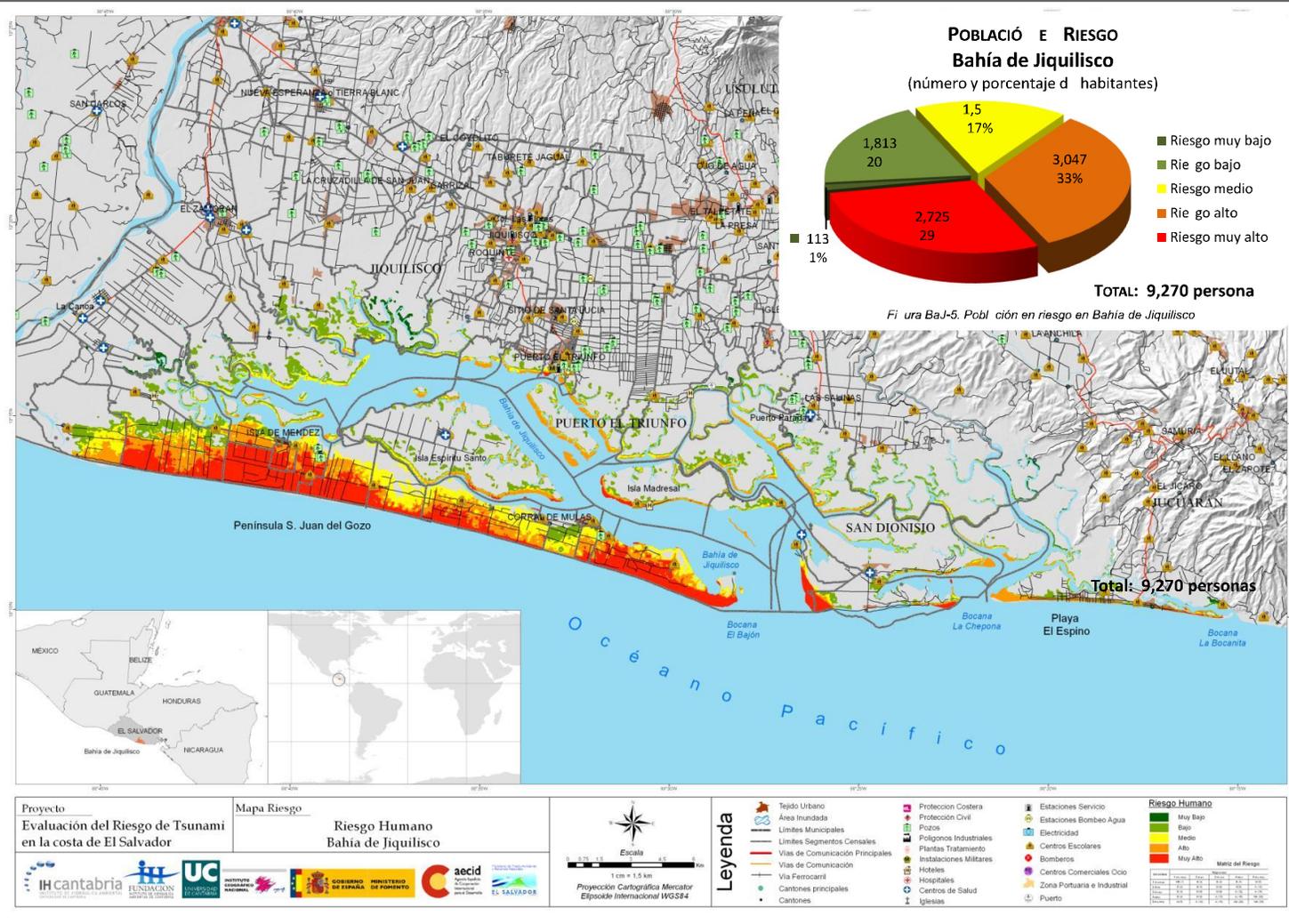
Este mapa (Figura B J-2) identifica los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre en Bahía de Jiquilisco. Prácticamente toda la costa de la bahía es zona de peligrosidad muy alta, y zonas próximas a las bocanas de la bahía. Las zonas internas de la bahía tienen menos peligrosidad en general, aunque algunos puntos de la costa de Puerto El Triunfo tienen zonas críticas.

¿Cuántas personas están en los distintos niveles de arrastre?

La Figura B J-3 muestra el porcentaje y número de personas ubicados en los distintos niveles de peligrosidad por Arrastre: Así se puede apreciar que el 3% de la población (4,913 personas) se estima que está entre los niveles de peligro Muy Alto y Alto, el 9% (834 personas) en nivel Medio, mientras que un 38% (3,523 personas) están entre los niveles Bajo y Muy Bajo.

Figura B J-2. Capacidad de arrastre e inundación Bahía de Jiquilisco

POBLACIÓN EN RIESGO



RIESGO HUMANO DEBIDO A UN TSUNAMI

Identificada la zona que podría quedar inundada por un tsunami se puede conocer el número de personas que están en riesgo.

Para construir este mapa se ha realizado la modelación de la inundación del tsunami para arrastrar personas (Figura BaJ-2), el número de personas que viven en las zonas inundadas (Figura BaJ-6) y la sensibilidad de las mismas de cara a una posible emergencia (Figuras BaJ-7 a 11).

La sensibilidad de las personas se ha evaluado atendiendo a los siguientes factores:

- La población en su composición por edad, que incluyen a ancianos, niños, y personas con necesidades especiales (limitación física y/o mental).
- La población que no es capaz de entender un mensaje de alerta (bien por no saber leer, tener alguna limitación mental o no hablar el idioma, por ejemplo).
- Los grupos de población que por el aislamiento de los cantones en los que viven oportarán una mayor dificultad de evacuación y de recuperación post-desastre.

? ¿En qué zonas se encuentra la población con mayor riesgo frente al impacto de un gran tsunami?

En la costa de la Bahía de Jiquilisco (Figuras BaJ-4 y 5) los puntos más críticos debido a un mayor riesgo humano son las zonas externas de la bahía: Península San Juan del Gozo, y zonas próximas a las bocanas de la bahía. Esto supone aproximadamente un 62% de los habitantes de la zona (5,772 personas) en Riesgo Muy Alto y Alto. Un 17% de la población (1,572 personas) están sujetas a un riesgo Medio. El 21% de la población (1,926 personas) se encuentra entre riesgo Bajo y riesgo Muy Bajo.

Figura BaJ-4. Riesgo humano en la Bahía de Jiquilisco

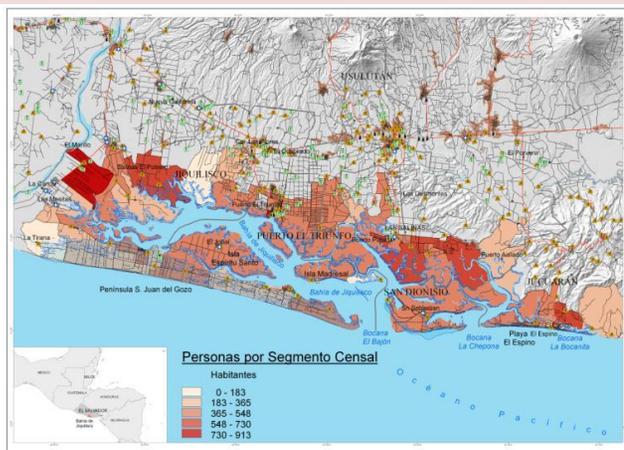


Figura BAJ-6. Número de personas por segmento censal

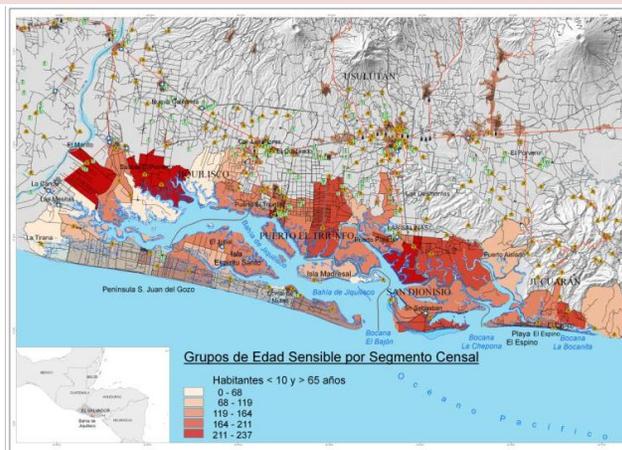


Figura BAJ-7. Grupos de Edad Sensible por segmento censal

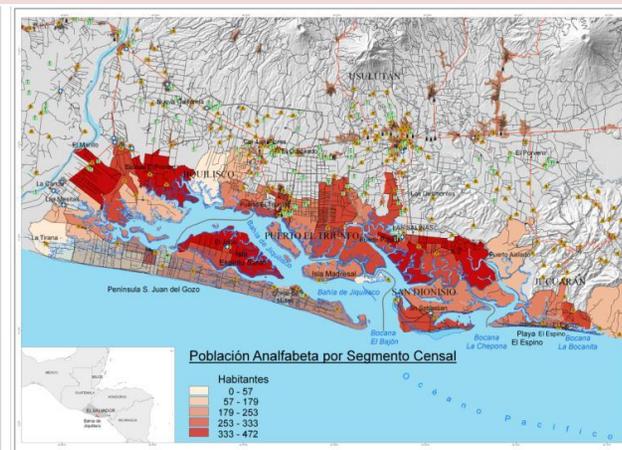


Figura BAJ-8. Población Analfabeta por segmento censal

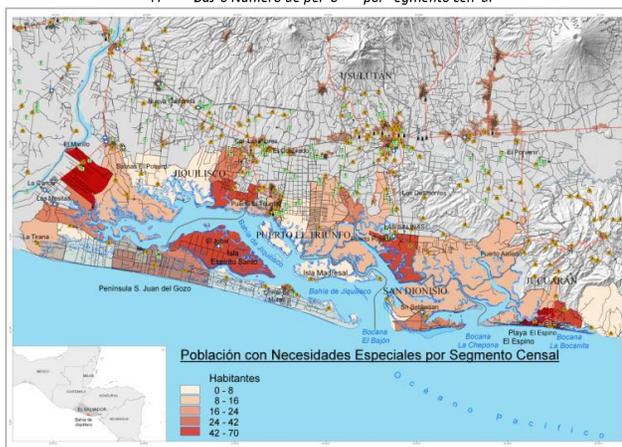


Figura BAJ-9. Población con necesidades especiales por segmento censal

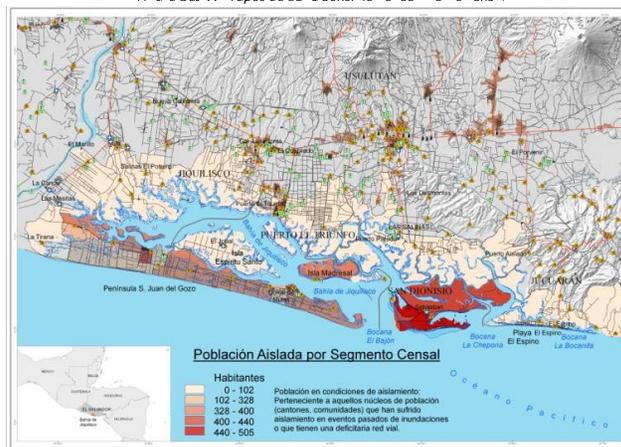


Figura BAJ-10. Población aislada por segmento censal

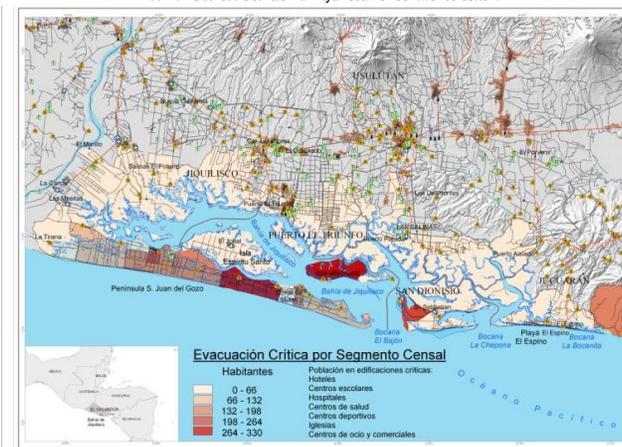


Figura BAJ-11. Población en condiciones de evacuación crítica por segmento censal

IMPACTO EN LA POBLACIÓN

Las Figuras BAJ-6 a 1 muestran el número de personas por segmento y las características de esta, que hacen a la población más vulnerable a un evento de tsunami.

? ¿Cómo es la población que está expuesta al impacto de un gran tsunami?
 Centrando el análisis en la Península de San Juan del Gozo, que es la zona con mayor probabilidad de verse afectada, la población es especialmente vulnerable en términos de movilidad (grupo de edad sensible, necesidades especiales). Se pueden encontrar asimismo dificultades para entender un mensaje (analfabetismo y necesidades especiales). Es de las zonas más aisladas de la bahía por lo que existirían dificultades importantes en la evacuación. Existen además varias edificaciones críticas en la zona, principalmente en el centro y colares.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO HUMANO

- Establecer un Sistema de Alerta Temprana nacional que alerte a la población ante tsunamis locales y regionales.
- Establecimiento, por parte de Protección Civil y las Autoridades locales, de Planes de Emergencia ante tsunami complementados de Programas de Información y Capacitación de la población. Prestar especial atención a aquellos segmentos identificados como sensibles y enfocar la ayuda a las debilidades identificadas (énfasis en las personas con movilidad reducida, necesidades especiales o con dificultades para entender un mensaje de alerta).
- Simulacro de evacuación, con énfasis en (1) las personas con movilidad reducida, necesidad epeciales o con dificultades para entender un mensaje de alerta; y en (2) la edificación identificadas como críticas, ya que albergan gran número de población y la evacuación será más complicada. Organización comunal de la evacuación
- Mejorar y/o ampliar el número de accesos en las zonas identificadas como aisladas

ECOSISTEMAS EN RIESGO

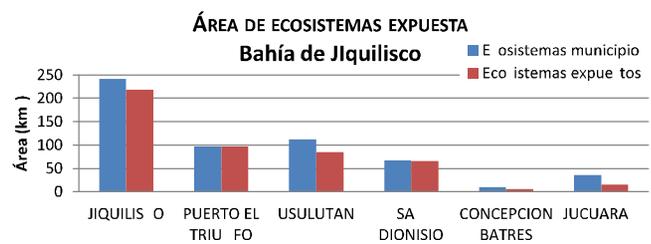


Figura BaJ-13. Área de ecosistemas expuestos en Bahía de Jiquilisco

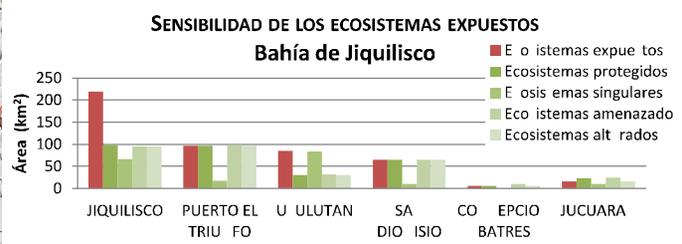
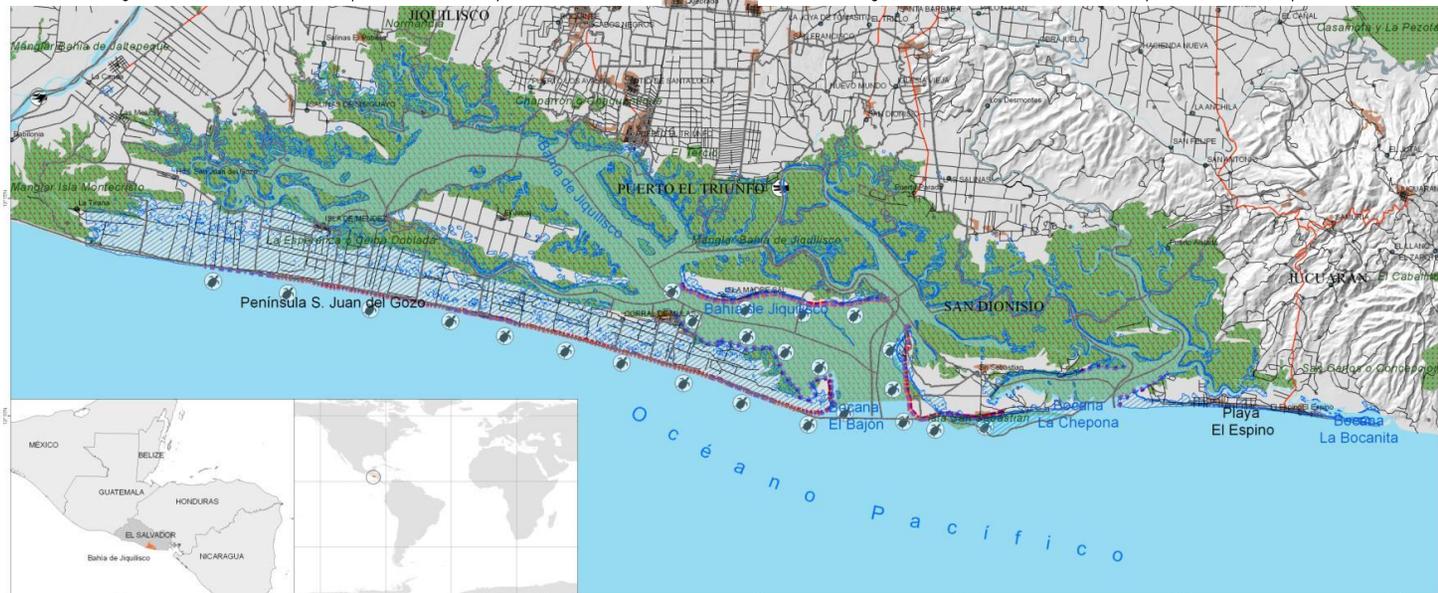


Figura BaJ-14. Sensibilidad de ecosistemas expuestos en Bahía de Jiquilisco



Proyecto
Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa Ecosistemas
Áreas Naturales Bahía de Jiquilisco

Leyenda

- ★ Tejido Urbano
- ★ Zona Portuaria e Industrial
- ☁ Área Inundada
- ⬜ Límites Municipales
- ⬜ Límites Segmentos Censales
- Vías de Comunicación Principales
- Vías de Comunicación
- Vía Ferrocarril
- Cantones principales
- Cantones
- ⊙ Puerto
- Ecosistemas - Especies
- Ecosistemas Protegidos
- Ecosistemas Amenazados
- ⋯ Ecosistemas Alterados
- ⋯ Anidación Tortuga Carey
- ⋯ Anidación Tortuga Marina
- ⋯ Crocodylus Acutus

Figura BaJ-12. Ecosistemas expuestos en Bahía de Jiquilisco

IMPACTO AMBIENTAL DEBIDO A UN TSUNAMI

Para evaluar el impacto ambiental de un tsunami en la costa de Bahía de Jiquilisco se han analizado los ecosistemas especialmente sensibles a la amenaza, entendidos como:

- **ecosistemas resilientes**, que están bajo figuras de protección ambiental, ocupan un limitado área a nivel nacional o son base del sustento local.
- **ecosistemas frágiles** en los que una pequeña intervención de carácter puntual puede desencadenar una serie de alteraciones irreversibles del ecosistema. Dentro de este grupo se han incluido los ecosistemas amenazados y los ecosistemas alterados, es decir, aquellos que no están en sus condiciones óptimas.

¿Qué ecosistemas se verían afectados en caso de un gran tsunami?

Bahía de Jiquilisco es de las zonas más importantes desde el punto de vista ambiental en El Salvador. Las Figuras BaJ-12 y 13 muestran los municipios de la bahía que se verían más afectados ambientalmente en caso de tsunami: Jiquilisco (219 km² de área de ecosistema expuesto), Puerto El triunfo (97 km²), Usulután (85 km²) y San Dionisio (65 km²).

La gráfica BaJ-14 muestra cómo son de sensibles los ecosistemas expuestos, siendo prácticamente todo el área espacio protegido, singular (manglares), hábitat de especies amenazadas (tortuga marina y cocodrilo) y estando en condiciones de alteración. Aproximadamente mitad de esta área es zona de manglar. Todo esto indica que el área de ecosistema expuesta en la bahía es altamente sensible a un posible impacto de tsunami.

ESPECIES AMENAZADAS

La Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) es el inventario más completo del estado de conservación de especies de animales y plantas a nivel mundial. Su objetivo es llevar al público la urgencia de los problemas de conservación, así como ayudar a la comunidad internacional a reducir la extinción de especies. Según esta Lista Roja, El Salvador tiene varias especies en peligro en las zonas costero-marina, siendo 7 de ellas estudiadas en este trabajo. Estas 7 especies se muestran en la tabla y en las figuras BaJ-15 a 18.

Para analizar el impacto que un tsunami podría tener en la biodiversidad de la zona y a nivel mundial por la posible desaparición de ejemplares de estas especies se ha estudiado la distribución de las mismas. El mapa BaJ-12 muestra que toda la costa oriental de la bahía y parte de la Bocaña El Bajón son zona de anidación de tortuga marina, estando por tanto expuestas a un posible efecto de tsunami. El hábitat del cocodrilo está en zonas más internas de la bahía.

GRUPO	Clase/Orden/Familia	Nombre Científico	Nombre Común	MAR 2009	UICN	ECOSISTEMA
Reptile	Crocodylidae	<i>Crocodylus acutus</i>	Cocodrilo	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR
Reptiles	Cheloniidae	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga Prieta, Tortuga Negra	En Peligro	Endangered	COSTERO-MARINO
Reptiles	Cheloniidae	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga Carey	En Peligro	Critical Endangered	COSTERO-MARINO
Reptiles	Cheloniidae	<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga Golfina, Tortuga Blanca	En Peligro	Vulnerable	COSTERO-MARINO
Reptiles	Dermodochelyidae	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga Baul	En Peligro	Critical Endangered	COSTERO-MARINO
Mamíferos	Cebidae	<i>Ateles geoffroyi</i>	Mono Aca	En Peligro	Endangered	BOSQUE PERENIFOLIO COSTERO
Plantas	Avicenniidae	<i>Avicennia bicolor</i>	Madresal	En Peligro	Vulnerable	MANGLAR



Figura B J-15. COCODRILLO (*Crocodylus acutus*)



Figura B J-16. TORTUGA BLANCA (*Lepidochelys olivacea*)



Figura B J-17. TORTUGA CAREY (*Eretmochelys imbricata*)



Figura B J-18. MADRESAL (*Avicennia bicolor*)

ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La protección de un determinado espacio natural es de por sí un reconocimiento explícito sobre el valor ambiental de los recursos que alberga y sobre su relevancia para el país. Las figuras de protección ambiental permiten identificar aquellos ecosistemas relevantes bien porque implican un elevado valor para el país, bien porque ocupan un limitado área a nivel nacional. En la zona de estudio se vería significativamente afectado el siguiente espacio protegido: Complejo Bahía de Jiquilisco.

ECOSISTEMAS SINGULARES

Se han considerado bajo la categoría de singulares aquellos ecosistemas que bien ocupan una pequeña área en el país (como los arrecifes con parches de coral), bien son representativos de la biodiversidad del país o son base del sustento de comunidades locales (como los manglares). Bahía de Jiquilisco destaca en este aspecto por la existencia de importantes zonas de manglares, la mayor extensión en el país.

¿Cómo afectaría la pérdida de ecosistemas a los modos de vida de las comunidades?

Existen varios tipos de mangle en la bahía de Jiquilisco: las especies que conforman el manglar son el mangle colorado (*Rhizophora mangle*), mangle rojo (*Rhizophora racemosa*), *Rhizophora mangle*, madresal (*Avicennia bicolor*), botonillo (*Conocarpus erectus*), e istaten (*Laguncularia racemosa*). Las zonas de mangle son aprovechadas por las comunidades por ser hábitat de los peces juveniles de especies de peces, moluscos y crustáceos, así como para la obtención de varios recursos (madera para leña y construcción de viviendas, para curtambres y tintorería y como plantas medicinales).

LA ALTERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

La alteración de los ecosistemas en bahía de Jiquilisco está principalmente asociada a la contaminación y a la deforestación del manglar (Figura BaJ-19). Un manglar alterado supone una menor protección frente a los tsunamis.

¿Cómo pueden ayudarnos los ecosistemas a mitigar el impacto de un gran tsunami?

Los manglares desempeñan una función clave en la protección de las costas contra la erosión eólica y por oleaje, siendo esenciales en la protección contra el impacto de tsunamis. Por esta razón se prevé un menor impacto en los municipios ubicados en el interior de la bahía. Es esencial proteger los manglares de cualquier tipo de alteración así como recuperar y reforzar los que están ya dañados.



Figura BaJ-19. Ecosistemas alterados en Bahía de Jiquilisco

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

- Protección y reforestación de las zonas de manglar.
- Protección de las especies amenazadas para mejorar su estado de conservación (especialmente tortugas para evitar la depredación o la extracción ilegal).
- Protección de ecosistemas y restauración de zonas alteradas.

ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EN RIESGO

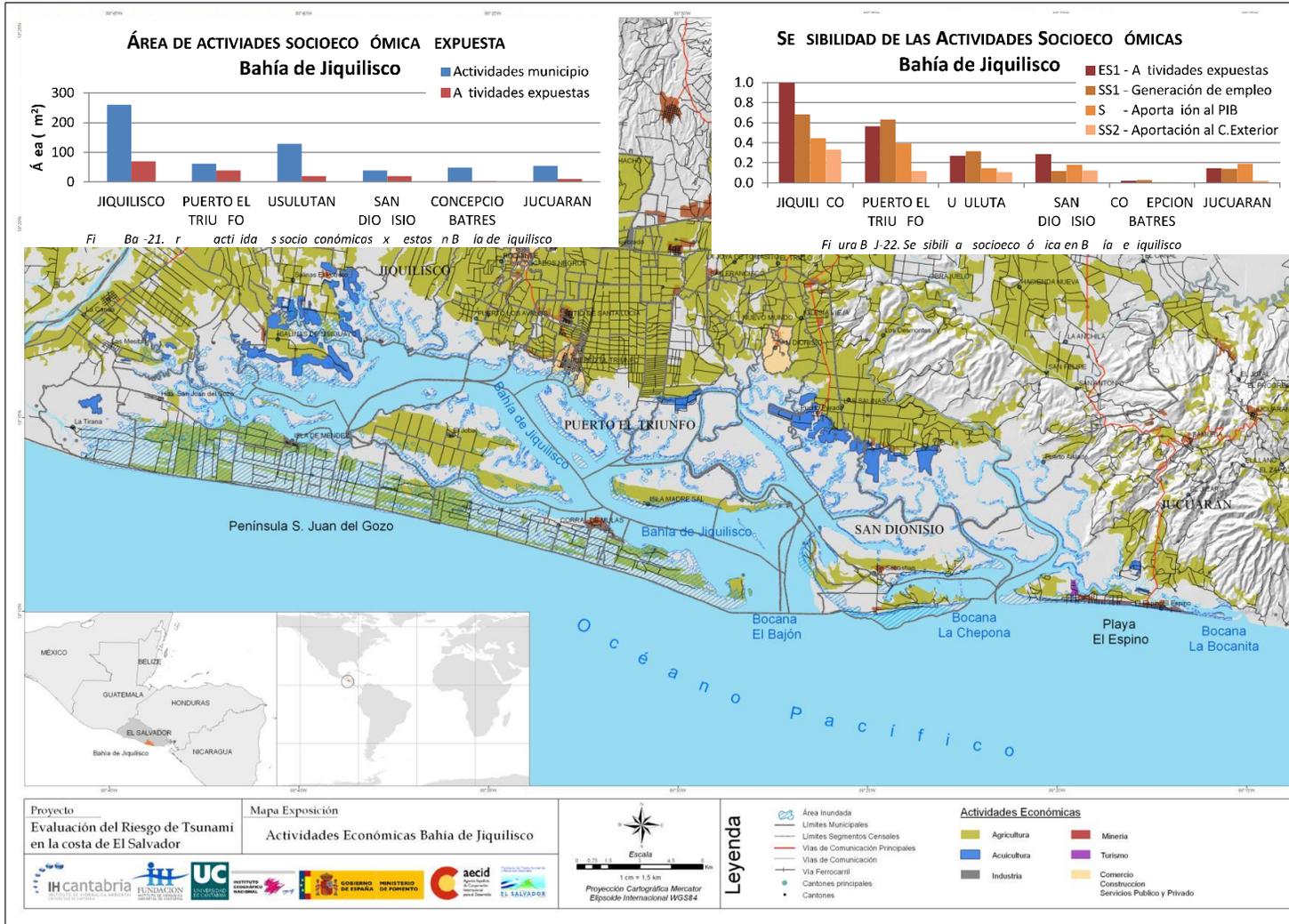


Figura BaJ-20. Actividades socioeconómicas expuestas en la Bahía de Jiquilisco

RIESGO SOCIOECONÓMICO DEBIDO A UN TSUNAMI

Se ha analizado cada actividad socioeconómica existente en la Bahía de Jiquilisco para identificar aquellas localizadas en zonas expuestas a eventos de tsunami. Para poder entender los posibles impactos de un tsunami en estas actividades se calculó lo siguiente:

- Cuántas personas trabajan en esas actividades expuestas, para conocer el posible impacto social del tsunami,
- Cuántos millones de dólares generan esas actividades expuestas, a nivel de PIB y de comercio exterior del país, para poder entender el impacto económico que podría tener un tsunami en la zona.

La Figura BaJ-21 muestra el área de actividades expuestas en la Bahía de Jiquilisco respecto al total existente en el municipio: se perdería un 26% del área de actividades, 157 km² de un total de 590 km², principalmente en Jiquilisco y Puerto El Triunfo.

La Figura BaJ-22 muestra la importancia de las actividades expuestas, en términos de empleo y contribución económica, para cada municipio. Así se puede apreciar que la pérdida de actividades es muy relevante en pérdidas de empleo en Jiquilisco y Puerto El Triunfo y principalmente en Usulután. Esto implicaría también pérdidas económicas asociadas a una menor aportación al PIB en los dos primeros principalmente. Una menor aportación al comercio exterior se sentiría sobre todo en Jiquilisco.

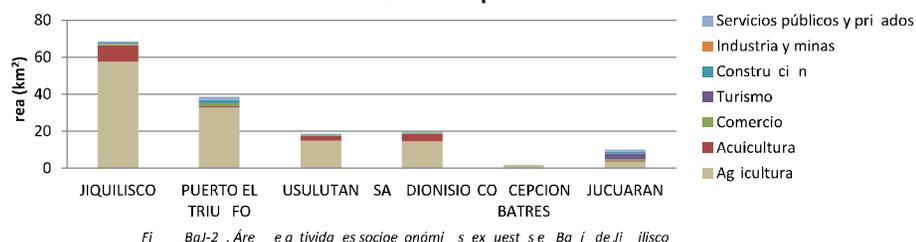
IMPACTO EN LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS

? ¿Qué actividades de la región se verían más afectadas por el impacto de un gran tsunami?

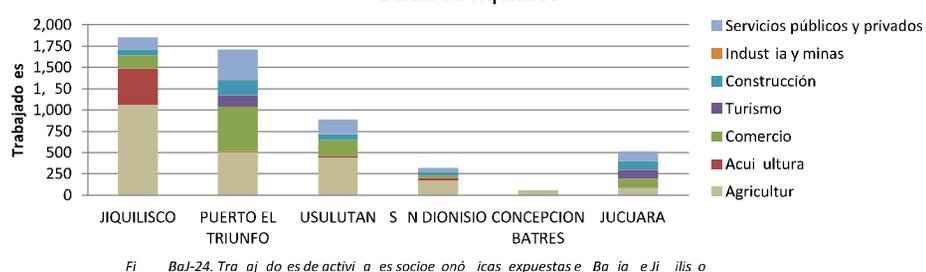
PÉRDIDA DE ÁREA (Figura BaJ-23). La actividad que perdería mayor área es la agricultura con cerca de 70 m² expuestos (58 de ellos en Jiquilisco). La acuicultura vería afectados 1 m² de su extensión principalmente en Jiquilisco, Usulután y San Dionisio. La extensión expuesta de otras actividades es menor: comercio, servicios, construcción (asociada a núcleos urbanos) y turismo.

PÉRDIDA DE EMPLEO (Figura BaJ-24). A pesar de que la agricultura es la más afectada en pérdida de área, y el resto de actividades suponen un porcentaje muy pequeño de área afectada, en todas implicaría una pérdida de empleos. Se estima que se verían afectados aproximadamente 2,320 trabajadores de agricultura (cerca de 2,000 entre Jiquilisco, Puerto El triunfo y Usulután), 487 trabajadores de acuicultura principalmente en Jiquilisco y 2,088 de turismo, construcción, comercio y servicios, principalmente en las zonas urbanas de Puerto El Triunfo, seguido de Jiquilisco y Usulután.

ÁREA DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco



TRABAJADORES E ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco

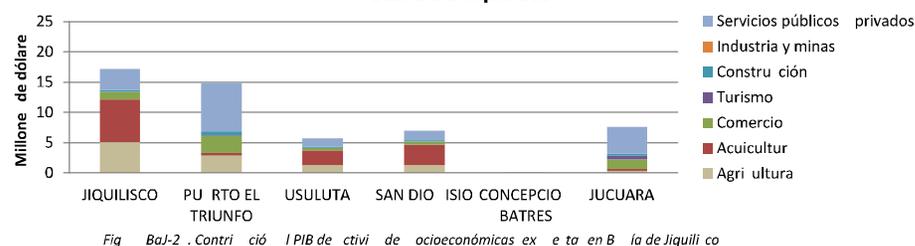


? ¿Qué implicaría la pérdida de estas actividades en la economía de las familias y del país?

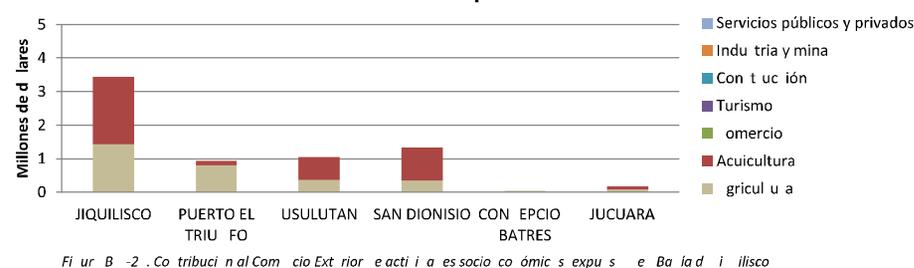
PÉRDIDAS ECONÓMICAS. Los impactos económicos más importantes para el país (Figura BaJ-25) se producirían debido a una pérdida de contribución al PIB de cerca de 56 millones de dólares entre los municipios de Bahía de Jiquilisco, asociada a varias actividades, principalmente a agricultura, acuicultura, comercio y servicios. Los municipios más afectados serían Jiquilisco y Puerto El Triunfo.

La pérdida debido a una menor aportación al comercio exterior (Figura BaJ-26) estaría asociada principalmente a la destrucción de zonas de agricultura y acuicultura que son las que más aportan al comercio internacional del país. Entre los municipios afectados destacarían Jiquilisco, seguido por San Dionisio, Usulután y Puerto El Triunfo.

CONTRIBUCIÓN AL PIB DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco



CONTRIBUCIÓN AL COMERCIO EXTERIOR DE ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco



MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO SOCIOECONÓMICO

- De tener una partida presupuestaria para asegurar los terrenos agrícolas sujetos a una posible pérdida de área de producción debida a un tsunami.
- Reserva de semillas de cultivos agrícolas
- Retirada o fortalecimiento de las construcciones de aquellas actividades expuestas (turismo, comercio, etc.)
- Desarrollo de procesos de capacitación de trabajadores expuestos para facilitar su incorporación gradual a actividades alternativas o de manera puntual en caso de emergencia.

INFRAESTRUCTURAS EN RIESGO



RIESGO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DEBIDO A UN TSUNAMI

Para poder entender el posible impacto de un tsunami en las infraestructuras de la costa de Bahía de Jiquilisco, se ha analizado la existencia de varios tipos de infraestructuras, y si están localizadas dentro del área que podría ser inundada por un posible tsunami en la zona (Figura BaJ-27).

Las infraestructuras analizadas son las siguientes:

- **Infraestructuras de abastecimiento de agua**, incluyendo pozos y suministro por tubería.
- **Infraestructuras de saneamiento**.
- **Infraestructuras de abastecimiento de energía**, incluyendo enterales de generación, transmisión y distribución.
- **Infraestructuras de transporte**, incluyendo puertos, aeropuertos, carreteras, puentes, ferrocarril.
- **Infraestructuras industriales**, incluyendo la petroquímica, química, cementera, siderúrgica y metalúrgica, de alimentación y bebida, de textil y confección, de papel y cartón, de almacenamiento y polígonos industriales.
- **Infraestructuras de protección costera**.
- **Infraestructura de emergencia**, incluyendo bomberos, Protección civil, instalaciones militares, hospitales y centros de salud.
- **Edificaciones críticas**, entendidas como aquella que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar ayuda en caso de evacuación. Esta categoría incluye hoteles, hospitales, centros escolares, centro deportivos, iglesia, centros de ocio y comerciales.

Figura BaJ-27. Infraestructuras en riesgo de tsunami en Bahía de Jiquilisco

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS



¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en infraestructuras esenciales?

ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO (Figura BaJ- 8). El suministro de agua de varias comunidades se veía afectado en Jiquilisco y Puerto El Triunfo ya que existen pozos ubicados en zona inundable.

INFRAESTRUCTURAS DE ABASTECIMIENTO EXPUESTAS: POZOS
Bahía de Jiquilisco

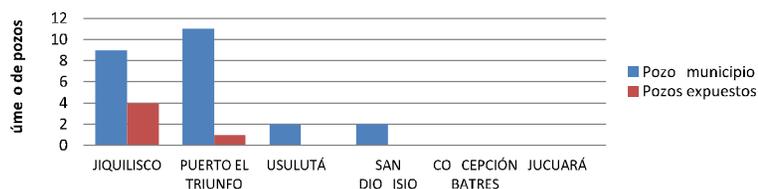


Figura BaJ- 8.1 Infraestructuras de abastecimiento de agua (pozos) expuestas en Bahía de Jiquilisco

EMERGENCIA (Figura BaJ-29). Existen dos infraestructuras de emergencia expuestas (una en Puerto El Triunfo y otra en San Dionisio), se verían por tanto afectadas por la inundación quedando inutilizada para prestar ayuda en la emergencia.

INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco

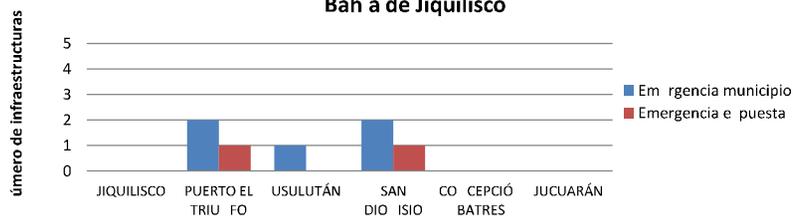


Figura BaJ-29.1 Infraestructuras de emergencia expuestas en Bahía de Jiquilisco

TRANSPORTE (Figuras BaJ-30 y 31). Parte de la infraestructuras de transporte de la zona se verán afectada lo que implica dificultad de evacuación ayuda de emergencia, así como importantes pérdidas económicas. Los municipios con mayor número de tramo de carreteras expuestas a la inundación son Jiquilisco y Puerto El Triunfo, siendo las carreteras expuestas principalmente de tipo 3 y 4 (camino seco sólo para verano y huellas o veredas).

El puerto de Mulas se vería afectado en caso de tsunami.

INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE EXPUESTAS: CARRETERAS
Bahía de Jiquilisco

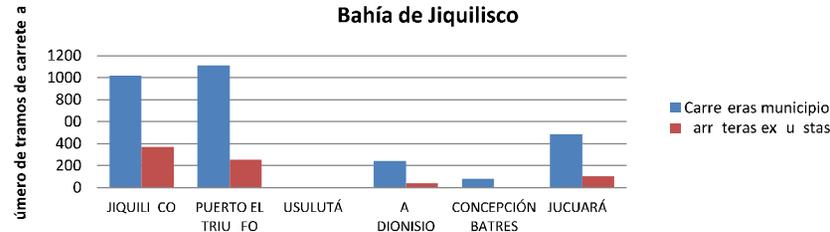


Figura BaJ-30. Infraestructuras de transporte (carreteras) expuestas en Bahía de Jiquilisco

TIPOS DE CARRETERAS EXPUESTAS
Bahía de Jiquilisco

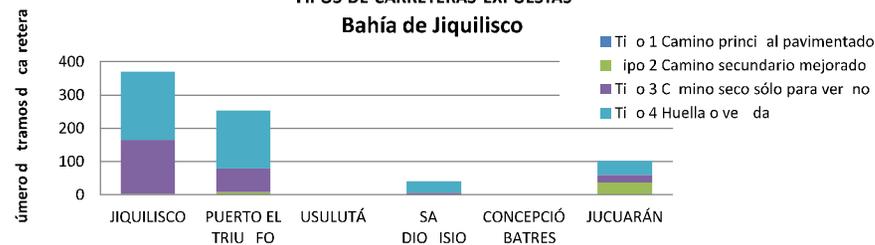


Figura BaJ-31. Tipos de carreteras expuestas en Bahía de Jiquilisco

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificar un sistema de abastecimiento de agua alternativo para caso de tsunamis, de manera que se pueda abastecer a las comunidades afectadas durante un largo periodo de tiempo tras el tsunami.
- Traslado de infraestructura de emergencia a zonas seguras. Si no fuera posible, planificar una ayuda de emergencia alternativa en caso de tsunami. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura.
- Identificadas las carreteras que podrían verse afectadas y sus características, asfaltar al menos las vías que resulten estratégicas para una efectiva evacuación de la población y/o ayuda de emergencia.
- Retirar las infraestructuras industriales expuestas a zonas seguras. En caso de no ser posible, protegerlas del impacto del tsunami asegurando contra desastres naturales. Cualquier nueva infraestructura deberá ubicarse en zona segura

EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

RIESGO EN EDIFICACIONES CRÍTICAS Y DE EMERGENCIA

Este mapa muestra las edificaciones críticas y de emergencia que están localizadas en zona potencialmente inundables por un evento de tsunami en la costa de Bahía de Jiquilisco.

La categoría de **edificaciones críticas** incluye todas aquellas que albergan un número elevado de personas y que pueden necesitar especial atención en caso de evacuación. Para una adecuada evacuación de la zona en caso de tsunamis necesario tener localizadas estas edificaciones, conocer cuántas personas albergan y sus características. Se incluyen en esta categoría la siguiente instalación:

- Hoteles
- Hospitales
- Centros escolares
- Centros deportivos
- Iglesias
- Centros de ocio y comerciales.

La categoría de **edificaciones de emergencia** incluye todas aquellas infraestructuras e instalaciones que deberían prestar ayuda en caso de una emergencia. Su ubicación en una zona de riesgo impedirá que cumplan su función de ayuda a la sociedad. Se incluyen en esta categoría las siguientes instalaciones:

- Bomberos
- Protección civil
- Militares
- Hospitales
- Centros de salud.



Figura B J-32. Edificaciones críticas y de emergencia en la Bahía de Jiquilisco

IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS DE EMERGENCIA Y EDIFICACIONES CRÍTICAS

? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las edificaciones que albergan un gran número de población?

La infraestructura de emergencia expuesta a un posible evento de tsunami (Figuras Baj-33 a 35) y que, por lo tanto, no tendría capacidad para prestar ayuda en caso de emergencia es la siguiente: 1 instalación militar en Puerto El Triunfo y 1 centro de salud en San Dionisio.

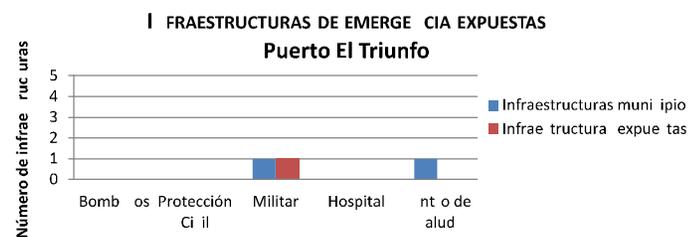


Figura Baj-33. Infraestructuras de emergencia expuestas en Puerto El Triunfo



Figura Baj-34. Infraestructuras de emergencia expuestas en Puerto El Triunfo

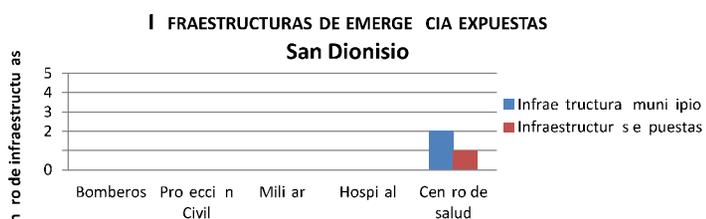


Figura Baj-35. Infraestructuras de emergencia expuestas en Puerto El Triunfo

? ¿Cuál sería el impacto de un gran tsunami en las edificaciones que albergan un gran número de población?

EDIFICACIONES CRÍTICAS EXPUESTAS Bahía de Jiquilisco

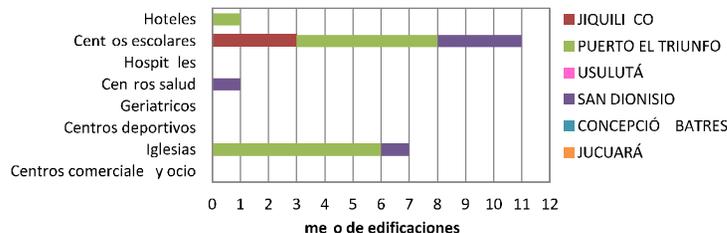


Figura B J-36. Edificaciones críticas expuestas en Bahía de Jiquilisco

Las edificaciones críticas expuestas a un posible evento de tsunami (Figura Baj-36) son principalmente hoteles (1 en Puerto El Triunfo) 11 centros escolares (3 en Jiquilisco, 5 en Puerto El Triunfo, 3 en San Dionisio), centros de salud (1 en San Dionisio), iglesias (6 en Puerto El Triunfo, 1 en San Dionisio).

IMPACTO EN CENTROS ESCOLARES				
MUNICIPIO	OMBRE CENTRO ESCOLAR	CANTON	DOCENTES	ALUMNOS
JIQUILISCO	CENTRO ESCOLAR "CANTON ISLA DE MENDEZ"	ISLA DE MENDEZ	0	8
JIQUILISCO	INSTITUTO ACIO AL "PABLO TESA"	ISLA DE MENDEZ	8	131
JIQUILISCO	CENTRO ESCOLAR CASEJO LOS LLAMOS	ISLA DE MENDEZ	2	146
PUERTO EL TRIUNFO	CENTRO ESCOLAR CASERIO EL ICACO	CORRAL DE MULAS		147
PUERTO EL TRIUNFO	CENTRO ESCOLAR "ASERIO EL TULAR"	CORRAL DE MULAS	2	14
PUERTO EL TRIUNFO	CENTRO ESCOLAR ASEJO EL RETIRO	CORRAL DE MULAS	4	180
PUERTO EL TRIUNFO	CENTRO ESCOLAR CANTON LA MADRESAL	MADRESAL	4	196
PUERTO EL TRIUNFO	CENTRO ESCOLAR CANTON CEIBA DOBLADA	CEIBA DOBLADA	4	19
SAN DIONISIO	CENTRO ESCOLAR ASEJO LA PIRRYA	ISLA SAN SEBASTIAN	8	264
SAN DIONISIO	CENTRO ESCOLAR CANTON LA RA CHO VIEJO	ISLA RA CHO VIEJO		147
SAN DIONISIO	CENTRO ESCOLAR "OLO LA EL CO OYON"	ISLA SAN SEBASTIAN	1	81
TOTAL			49	1,852

Figura B J-7. Edificaciones críticas expuestas en Bahía de Jiquilisco

Los centros escolares expuestos se muestran en la siguiente tabla (Figura Baj-37). Existen en la costa de Bahía de Jiquilisco 11 centros ubicados en zona inundable por tsunami, lo que supone un total de 1,901 personas expuestas: 1,852 alumnos y 49 docentes.

IMPACTO EN HOTELES				
MUNICIPIO	NOMBRE HOTEL	CANTON	HABITACIONES	CAPACIDAD
PUERTO EL TRIUNFO	HOTEL BAHIA PORT	MADRESAL	10	25
TOTAL			10	25

Figura B J-38. Edificaciones críticas expuestas en Bahía de Jiquilisco

Existe un hotel ubicado en zona expuesta en Puerto El Triunfo. Se muestra en la Figura Baj-38.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS

- Planificación urbanística que tenga en cuenta las zonas en riesgo ante tsunamis. Prohibiendo o regulando algunos desarrollos urbanísticos
- Especial atención a la ubicación de edificaciones críticas y de emergencia, pues tienen gran importancia en caso de tsunamis.
- Si no fuera posible retirar las edificaciones críticas de su ubicación actual para localizarla en zonas seguras (por ejemplo escuelas, hoteles, etc.), es recomendable la construcción de instalaciones para la evacuación alternativa de esta población
- Si no fuera posible la retirada de las infraestructuras de emergencia a zonas más seguras, será necesario organizar una asistencia suplementaria en caso de tsunami con equipos de otras zonas.

EDIFICACIONES Y VIVIENDAS EN RIESGO

IMPACTO EN EDIFICACIONES EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Para analizar el posible impacto de un tsunami en las edificaciones y viviendas de la zona de estudio se han estudiado dos factores:

- la profundidad de la inundación,
- los materiales de construcción de edificaciones y viviendas en la zona.

La Tabla de la Figura BaJ-39 muestra la Escala para Niveles de Daño en Edificaciones, en la que se detallan los cinco Niveles de Daño establecidos, la descripción del daño en la infraestructura asociado a cada Nivel de Daño, el posible uso de la edificación como refugio de evacuación y uso posterior al desastre, y una imagen ejemplo del tipo de daño.

? ¿Son resistentes a un tsunami las edificaciones y viviendas de la zona? ¿Cuál sería el impacto en ellas?

Considerando la profundidad media de la inundación en cada segmento censal, las zonas de Bahía de Jiquilisco con impactos más severos en sus edificaciones y viviendas sería la parte occidental de la Península San Juan del Gozo. Sin embargo la mayor parte de las edificaciones ubicadas en estas zonas sufrirían Daño Leve y Daño Importante, lo que no implicaría un daño estructural que comprometa la estabilidad de la edificación.

De manera general en la Bahía de Jiquilisco (Figura BaJ-40), el 29% de las edificaciones (342) sufrirían un Daño Importante mientras que un 71% (830) un Daño Leve.

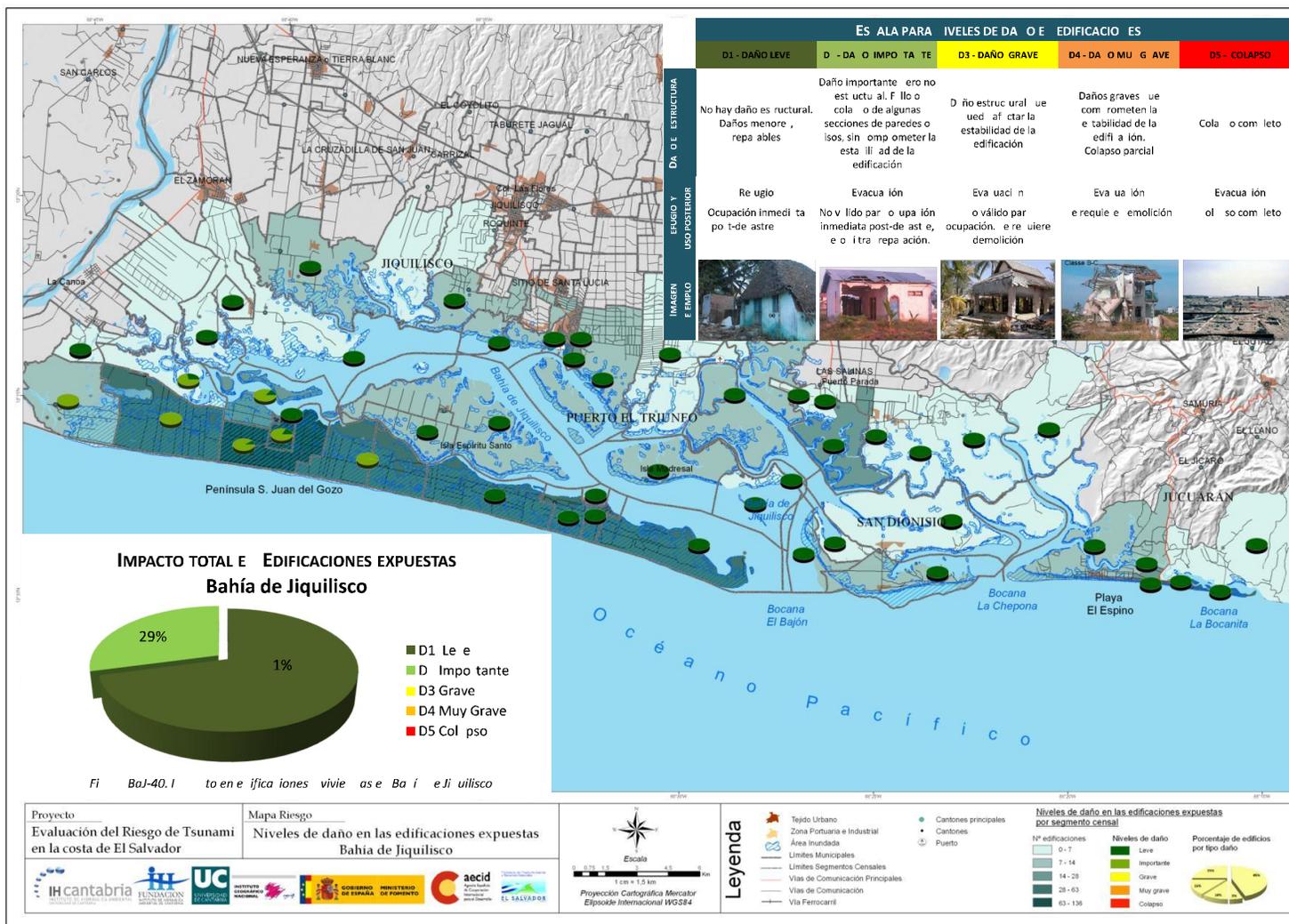


Figura BaJ-40. Impacto en edificaciones y viviendas en Bahía de Jiquilisco

Proyecto: Evaluación del Riesgo de Tsunami en la costa de El Salvador

Mapa Riesgo: Niveles de daño en las edificaciones expuestas Bahía de Jiquilisco

Proyección Cartográfica: Mercator, Elipsoide Internacional WGS84

Legenda: Tejido Urbano, Zona Portuaria e Industrial, Área Inundada, Límites Municipales, Límites Segmentos Censales, Vías de Comunicación Principales, Vías de Comunicación, Vía Ferrocarril.

Niveles de daño en las edificaciones expuestas por segmento censal: 0-7 (Leve), 7-14 (Importante), 14-28 (Grave), 28-63 (Muy grave), 63-136 (Colapso).

Porcentaje de edificios por tipo de daño: 71% D1, 29% D2.

Figura BaJ-39. Riesgo en edificaciones y viviendas en Bahía de Jiquilisco

Análisis basado en el modelo de riesgo en el Proyecto SCHEMA de los Centros de Investigación y Desarrollo de Emergencias en la Operación Comunitaria, Joint Research Center, Instituto de Prevención y Protección Civil (2011)

TIPOS DE EDIFICACIONES SEGÚN SUS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

? ¿Qué viviendas de la zona resistirían mejor el impacto de un gran tsunami?

Existen en Bahía de Jiquilisco 1,172 edificaciones y viviendas e puestas a un posible evento de tsunami. Se han clasificado según sus tipos de materiales, englobándolas en 2 categorías: **Tipo I** No Resistentes y **Tipo II** Resistentes. La Figura BaJ-41 muestra las distintas combinaciones de materiales de paredes y te ho in luidas en ada ategoría. La Figura BaJ-42 muestra el número total de edificaciones e puestas por segmento censal y uántas son de Tipo I y Tipo II. La Grá ica BaJ-43 muestra los datos globales para toda la bahía: 1,172 edifica iones expuestas, siendo el 88% de ellas No Resistentes.

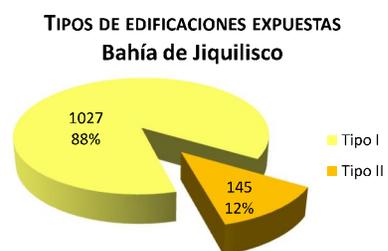
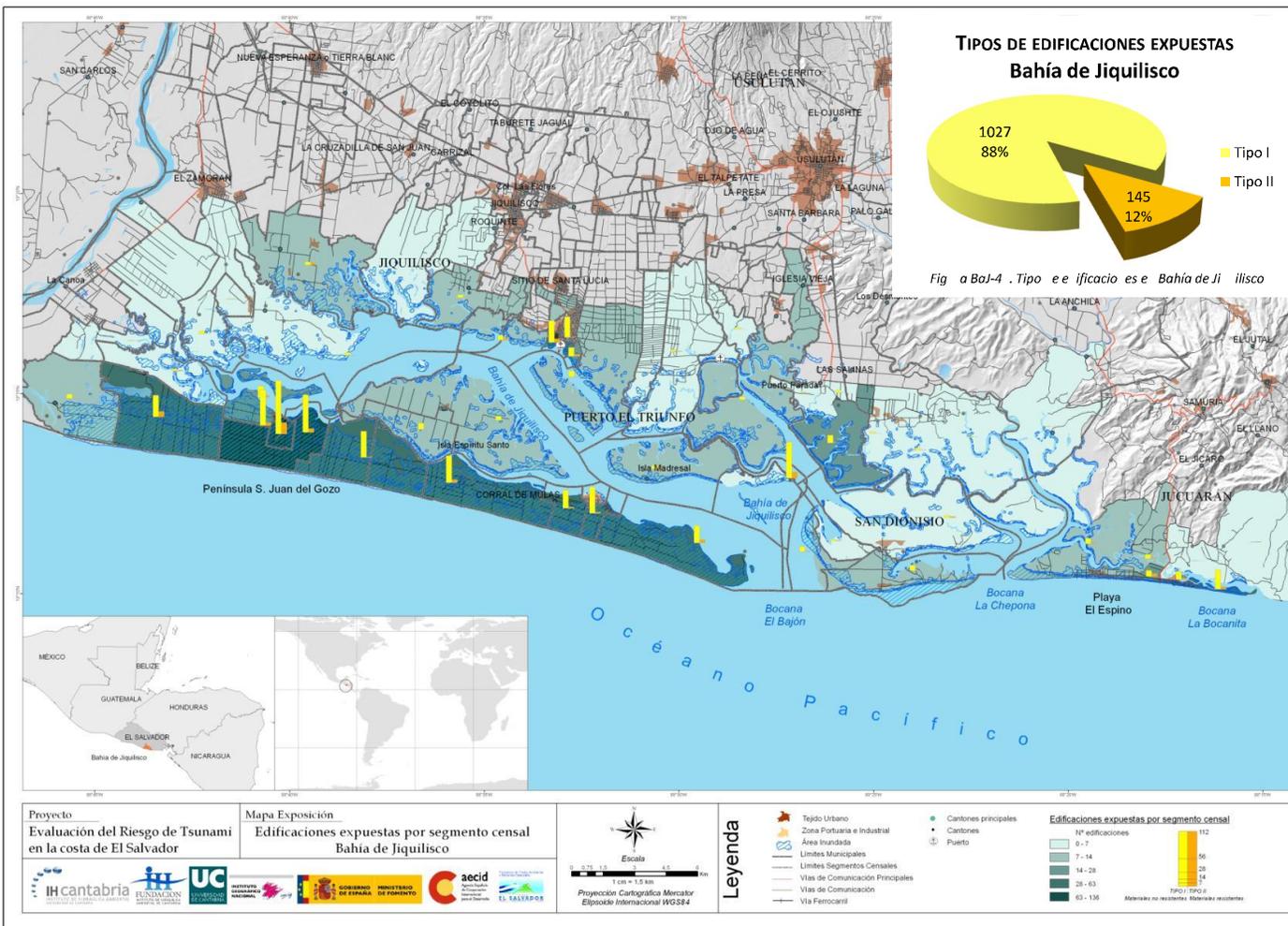


Fig. 4-1. Tipo e e ificacio es e Bahía de Jiquilisco

COMBINACIONES ENTRE TIPO DE MATERIAL DE PAREDES Y TECHO	TIPO DE MATERIAL DE PAREDES Y TECHO
TIPO I	<p>EDIFICACIONES PRECARIAS, DE AUTOCSTRUCCIÓN CO MATERIALES FRÁGILES</p> <p>PAREDES: PAJA DESECHO, PALMA OTRO VEGETAL, MADERA, L M I A M TÁLICA</p> <p>TECHO: PAJA / DES CHO, PALMA OTRO VEGETAL, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE BAJA, CO STUIDO CO MATERIALES DE LA ZONA</p> <p>PAREDES: A A EQU, ADOBE, MADERA</p> <p>TECHO: EJA, LÁMINA METÁLICA</p> <p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA, CO STRUIDOS CO MATERIALES DE CO STRUCCIÓN</p> <p>PAREDES: CO C ETO O MIXTO</p> <p>TECHO: L M I A M TÁLICA, TEJA, AS ESTO</p>
TIPO II	<p>EDIFICACIONES DE CLASE MEDIA ALTA-ALTA, CO STRUIDOS CO MATERIALES RESISTENTES, BUE OS ACABADOS Y DECORADOS DE TAL FORMA QUE I CREME TAN SU VALOR</p> <p>PAREDES: CO C O O MIXTO</p> <p>TECHO: FI ROCEM TO, LOSA DE CONCRETO</p>

Figura B-J-41 Tipo e e ificacio se funció d sus ater i s

MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO EN EDIFICACIONES

- Establecimiento de un código de construcción sismo tsunami-resistente para las nuevas edificaciones.
- Ayudas eventuales a la población para el reforzamiento de las viviendas actuales Tipo I.

Fig. 4-2. Tipo e ificacio syvivi d sex est e B h d Jiquilisco

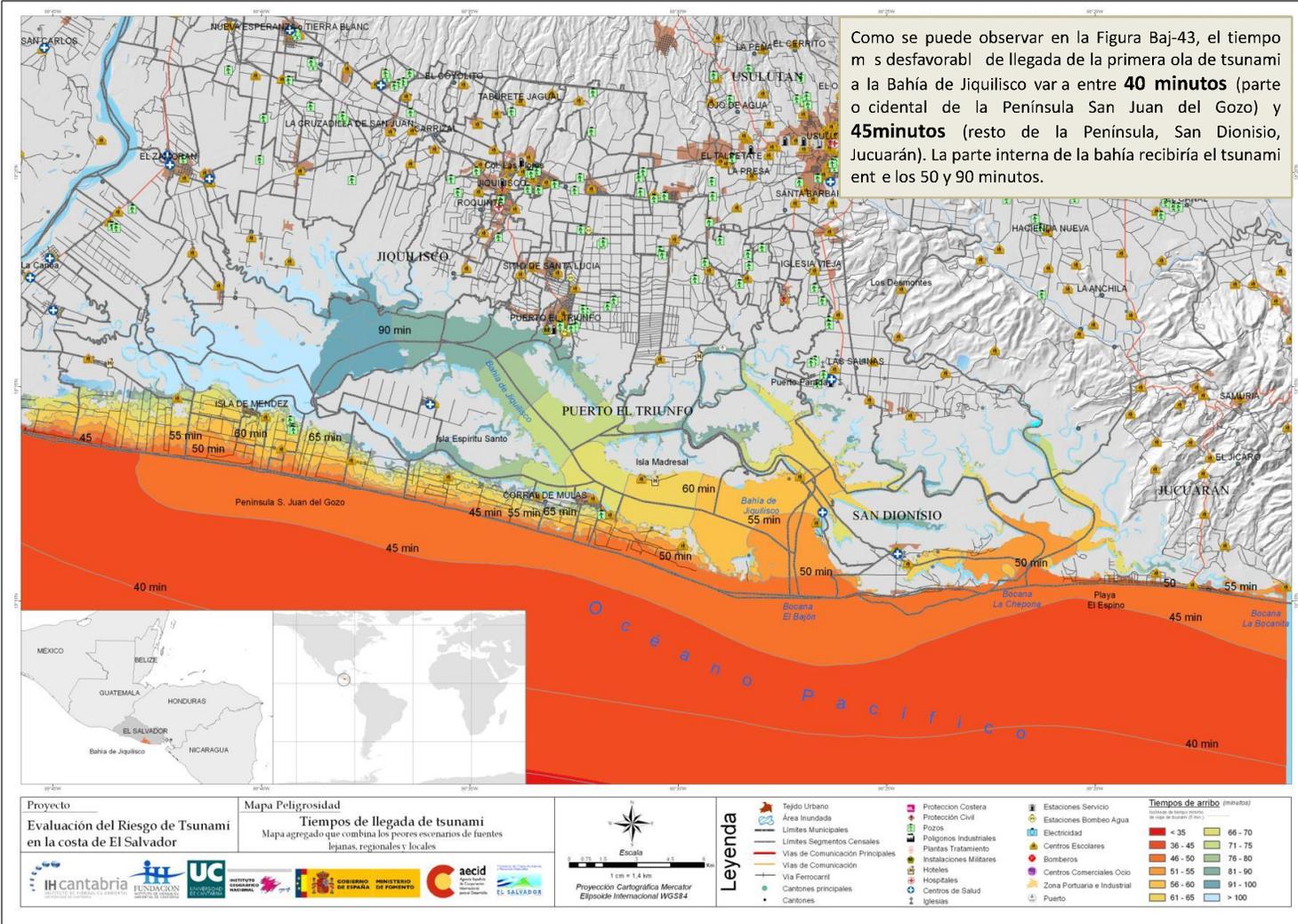
EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI

BAHÍA DE JIQUILISCO

Municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután,
San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán

TIEMPO MÁS DESFAVORABLE DE LLEGADA DEL TSUNAMI

Como se puede observar en la Figura Baj-43, el tiempo más desfavorable de llegada de la primera ola de tsunami a la Bahía de Jiquilisco varía entre **40 minutos** (parte occidental de la Península San Juan del Gozo) y **45 minutos** (resto de la Península, San Dionisio, Jucuarán). La parte interna de la bahía recibiría el tsunami entre los 50 y 90 minutos.



TIEMPO DE LA POBLACIÓN PARA EVACUAR

Se ha analizado el caso más conservador, en términos de tiempos de llegada de la primera ola de tsunami, que puede afectar a El Salvador y en concreto a Bahía de Jiquilisco. Los tiempos que se presentan en el análisis (tiempo de llegada del tsunami y tiempo que tiene la población para evacuar) están calculados en base al caso más desfavorable posible. Estos tiempos podrían variar asociado a un tsunami generado en fuentes cercanas, debido a un terremoto originado en la zona de subducción (Placa de Cocos - Placa Caribe) frente a la costa de El Salvador. Para el caso de un tsunami originado en una fuente lejana, estos tiempos cambiarían.

Algunos conceptos esenciales para entender el estudio son los siguientes:

TIEMPO DE LLEGADA DEL TSUNAMI ($T_{Tsunami}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que llega la primera ola a un punto concreto de la zona costera. En el mapa se representa mediante isólinas de tiempo y un código de color.

TIEMPO DE RESPUESTA ($T_{Resuesta}$): tiempo que transcurre desde que se genera el tsunami hasta que la población comienza a evacuar. Este tiempo incluye lo siguiente:

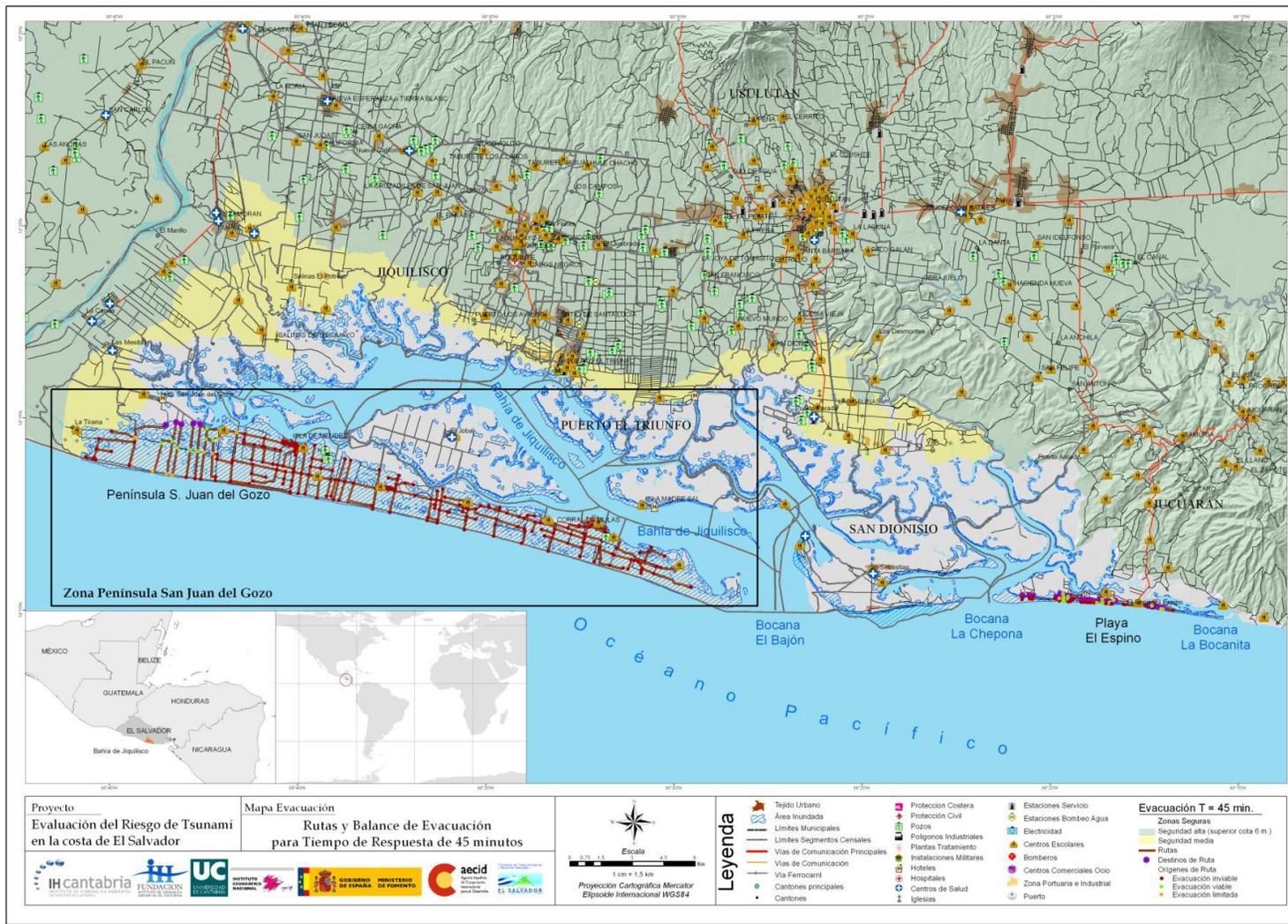
- Tiempo de Detección del terremoto y análisis de características + Tiempo de Emisión de Alerta de tsunami por el MAR.
- Tiempo de Recepción de la Alerta por parte de la Dirección General de Protección Civil y transmisión a la Comisión Municipal de Protección Civil.
- Tiempo de Transmisión de la Alerta a las comunidades.
- Tiempo de Reacción de la población

TIEMPO DE EVACUACIÓN ($T_{Evacuación}$): tiempo que transcurre desde que la población comienza a evacuar hasta que llega a zona segura (evacuación a pie).

$$T_{Evacuación} = T_{Tsunami} - T_{Respuesta}$$

Figura B J-43. Tiempo de llegada de la primera ola de tsunami a Bahía de Jiquilisco

ZONAS SEGURAS Y RUTAS DE EVACUACIÓN PRINCIPALES



IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SEGURAS

El modelado de este evento de tsunami proporciona el área que quedaría inundada. La Figura BaJ-44 muestra la zonificación de seguridad en base a el área inundada. Así, se diseñan 3 zonas:

- **ZONA INUNDADA POR EL TSU AMI** (en color azul): zona con profundidades y elocidade de inundación mayores cerca de la costa menores al avanzar tierra adentro.
- **ZONA DE SEGURIDAD MEDIA** (en color amarillo): esta zona de seguridad media se ha establecido entre la cota máxima de inundación en la zona de estudio y la cota 6m.
- **ZONA DE SEGURIDAD ALTA** (en color verde): zona a partir de la cota 20m.

IDENTIFICACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN

Analizando los tiempos de llegada de tsunamis (Figura BaJ-43), la zonificación de seguridad (Figura BaJ-44) y la red vial existente, se ha realizado un modelado de tiempos de evacuación.

Este modelado establece la ruta más corta desde cada punto de origen hasta cada punto de destino (punto por donde cada carretera sale de la lámina de inundación).

EVACUACIÓN PARA TIEMPO DE RESPUESTA 45 MINUTOS

En la Bahía de Jiquilisco el tiempo de llegada de tsunamis es de 40-45 minutos. Se ha establecido el Tiempo de Respuesta actual en 45 minutos. Para este Tiempo de Respuesta prácticamente ninguna de las comunidades partiendo de los puntos de origen establecidos conseguiría evacuar a tiempo.

ANÁLISIS DE DETALLE

Se presenta a continuación el análisis de detalle de dos zonas: Península San Juan del Gozo.

Figura BaJ-44. Zonificación de seguridad y rutas de evacuación principal de la Bahía de Jiquilisco para un tiempo de respuesta de 45 minutos.

RUTAS DE EVACUACIÓN ZONA PENÍNSULA SAN JUAN DEL GOZO

RUTAS DE EVACUACIÓN EXISTENTES

Se presentan en la Figura BaJ-45 las rutas de evacuación existentes en la Zona Península San Juan del Gozo.

En páginas posteriores se muestra el análisis de la evacuación con estas rutas.



Figura B J-45. Rutas de evacuación existentes en la Zona Península San Juan del Gozo

EVACUACIÓN ZONA PENÍNSULA SAN JUAN DEL GOZO (T = 45 min)

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

Se presenta en la Figura BaJ-46 el modelado de evacuación de la zona Península San Juan del Gozo para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

La línea discontinua color naranja muestra hasta dónde llegaría la primera ola de tsunami pasados 45 minutos (y posteriores) desde la generación del tsunami.

Resumiendo:

- Tiempo de Respuesta = 45 minutos
- Tiempo Llegada del tsunami = 40-4 minutos

Las comunidades ubicadas en la zona central oriental de la Península no tendrían oportunidad de evacuar ya que el tsunami llegaría 5 minutos después de recibir la alerta por parte de las autoridades y tienen que recorrer una gran distancia. Por esa razón los puntos de origen aparecen en color rojo.

Las comunidades ubicadas entre la isóclina de 45 minutos y la zona de seguridad media aparecen en distintos colores en función de la distancia que tengan que recorrer. Los puntos de origen en color verde implican que el tiempo que tarda la población en recorrer la distancia hasta zonas seguras es menor que la que tarda en llegar el tsunami desde que recibieron el aviso, es decir, consiguen evacuar todos. Los puntos de origen de color naranja implican que la comunidad que alen de esos puntos de origen evacuarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas -1m/s- conseguirían evacuar, las lentas no).

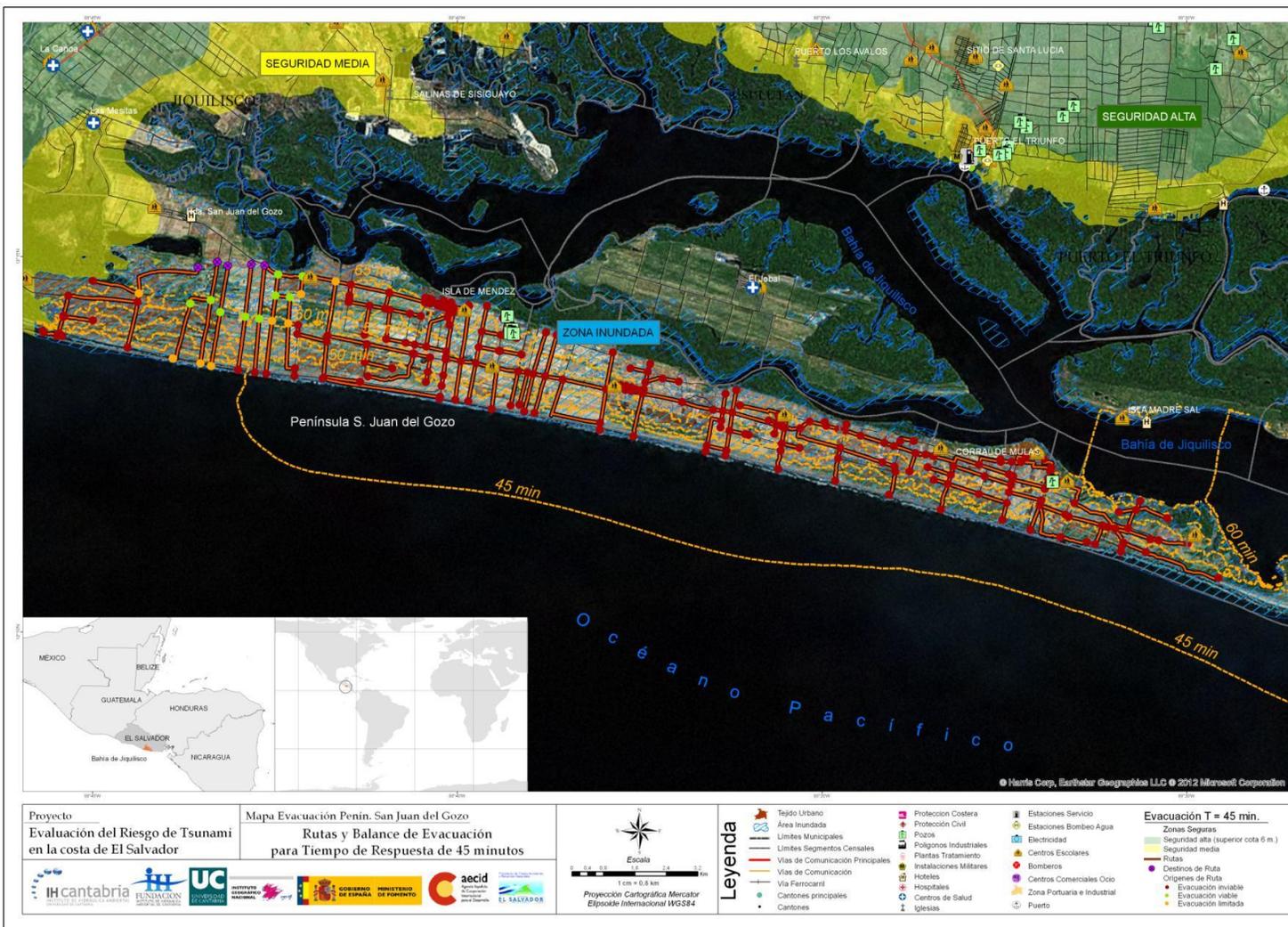


Figura BaJ-46. Zonas de riesgo y modelo de evacuación de la Zona Península de San Juan del Gozo para un tiempo de respuesta de 45 minutos.

BALANCE DE EVACUACIÓN (T = 45 min)

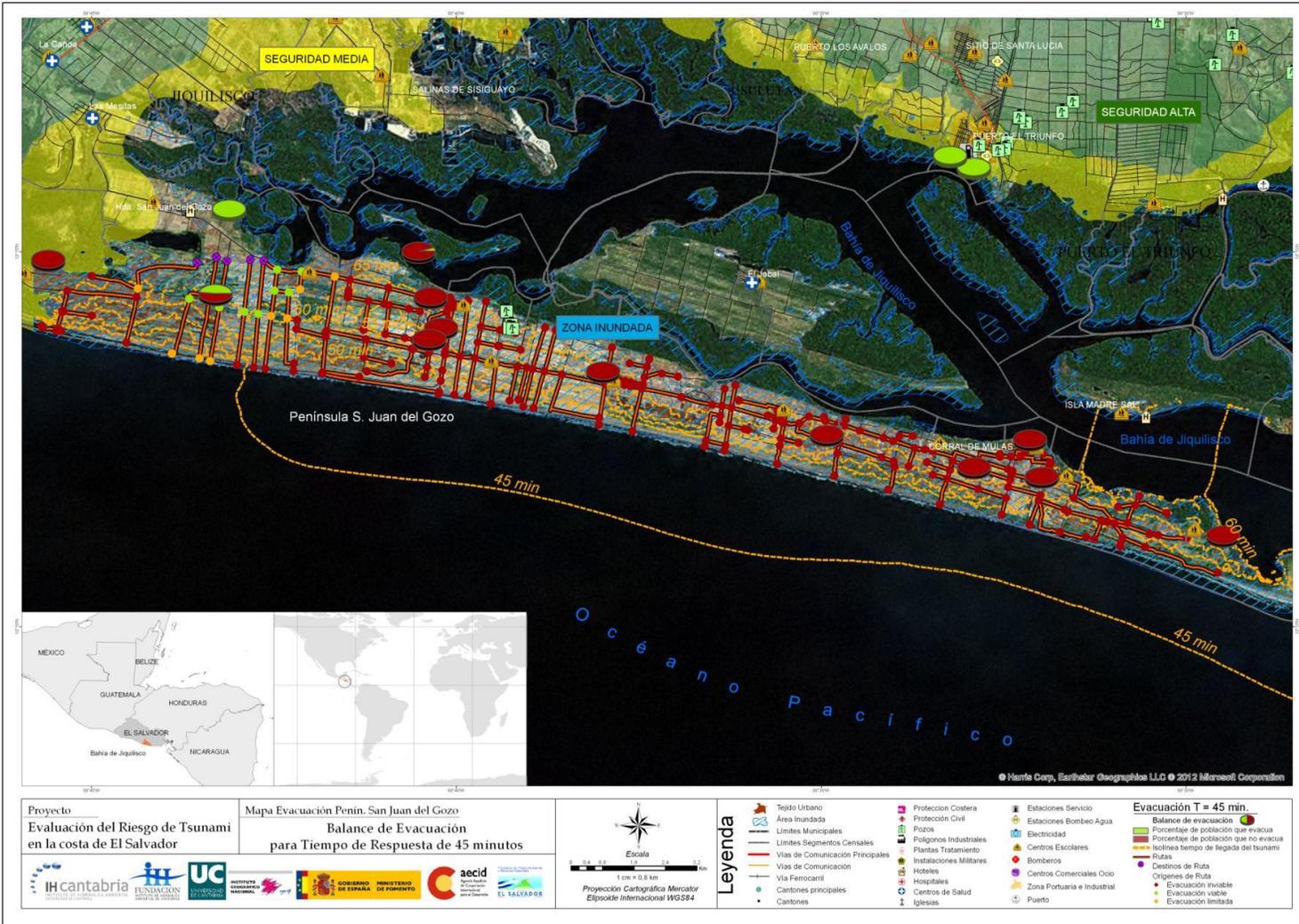


Figura BaJ-47. Balance de evacuación de la Zona Península San Juan del Gozo para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos.

PERSONAS QUE CONSIGUEN EVACUAR PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 45 MINUTOS

La Figura BaJ-47 muestra el balance de evacuación (porcentaje de personas por segmento censal que consigue evacuar) para un Tiempo de Respuesta de 45 minutos (T45) en base a lo resultados ya mostrado en la Figura BaJ-46. Se presentan los resultados en forma de tartas por segmento censal.

Se puede apreciar en la figura que para el Tiempo de Respuesta aplicado (45 minutos desde que ocurre el tsunami hasta que la población comienza a evacuar) prácticamente la totalidad de las comunidades de la Península no conseguiría evacuar, a excepción de aquellas situadas más cerca de la zona de seguridad, que evaluarían en función de la velocidad de las personas (las más rápidas -1m/s- conseguirían evacuar, las lentas no).

MEDIDAS PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN

De estos resultados se concluye que es necesario proponer una serie de medidas para mejorar la evacuación de esta zona:

- Reducir el **Tiempo de Respuesta**
- Construir estructuras de **evacuación vertical** que permitan evacuar a algunas de las comunidades que actualmente no lo consiguen (para este tipo de tsunami).
- Construir **nuevas vías de evacuación** que acorten la distancia a recorrer.

A continuación se presenta el modelado de la evacuación de la zona aplicando algunas de estas medidas.

PROPUESTA DE ALTERNATIVAS - EVACUACIÓN SAN JUAN DEL GOZO

MODELADO DE EVACUACIÓN PARA UN TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTOS Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Se presenta en la Figura BaJ-48 el modelado de evacuación de la Zona Península San Juan del Gozo para un **TIEMPO DE RESPUESTA DE 30 MINUTO (T30)** con la red vial e infraestructuras existentes.

Se puede apreciar que en la parte de la Península cercana a la zona de seguridad la mayor parte de las comunidades evacuarían para T30 (predominan los puntos de origen color naranja y verde). Las comunidades ubicadas en la parte central y oriental de la península no conseguirían evacuar a tiempo por la larga distancia a recorrer hasta zona segura (los puntos se mantienen de color rojo incluso reduciendo el tiempo de Respuesta a 30 minutos).

Para que las comunidades de la Península consigan evacuar es necesario proponer medidas alternativas:

- **CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL:** se ha analizado la posible ubicación de 6 torres de evacuación vertical en la zona. Para cada una de ellas se ha calculado el tiempo que tiene la población para llegar a las mismas ($T_{Tsunami} - T_{respuesta}$). Los anillos (verde y rojo) que rodean a las torres propuestas representan la distancia de acogida de población de esas torres. Con esas torres la gran mayoría de las comunidades en línea de costa conseguiría evacuar.
- **CONSTRUCCIÓN DE VIAS DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVAS:** se proponen dos rutas nuevas que podrían cortar la distancia a recorrer en la evacuación (marcadas en amarillo y negro). Ambas Rutas intentan conectar (mediante puentes o embarcaderos) la Península con la Isla El Espíritu Santo que está más resguardada del impacto del tsunami.

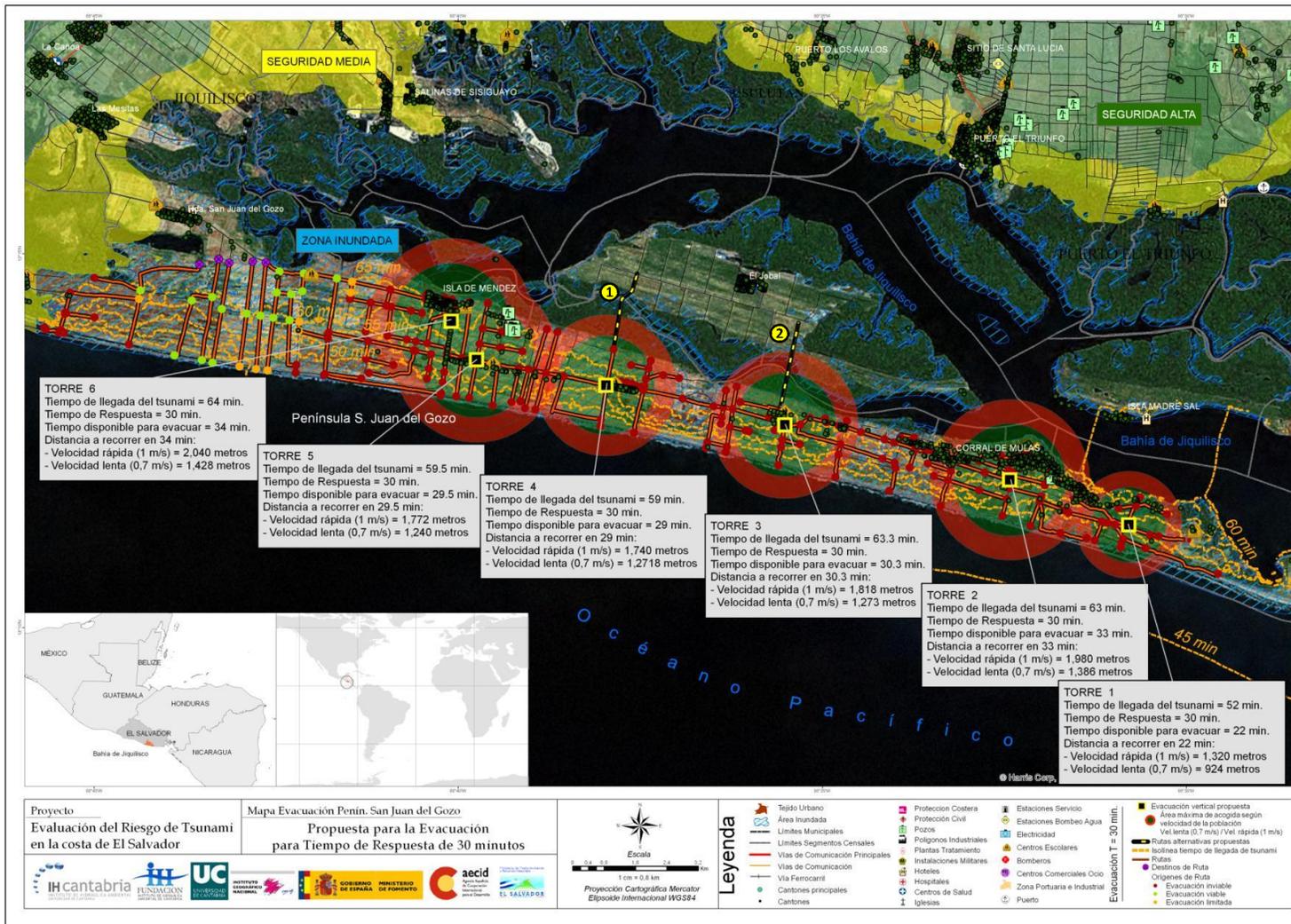


Figura BaJ-48. Modelado de evacuación de la Zona Península San Juan del Gozo a un Tiempo de Respuesta de 30 minutos y propuesta de alternativas.

