

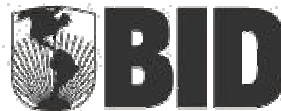
CAPRA

CENTRAL AMERICA PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT
EVALUACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS EN CENTRO AMÉRICA

HONDURAS

TAREA IV
MAPAS DE AMENAZAS Y DE RIESGOS, APLICACIONES
EN LA GESTIÓN DEL RIESGO

INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2B
EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE EN
PUERTO CORTÉS





Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres

Consortio conformado por:

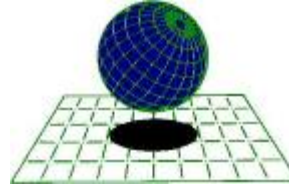
Colombia

Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



[ERN Ingenieros Consultores, S. C.](#)

ERN Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.ern-la.com

Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico – Consorcio ERN América Latina

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Julián Tristancho
Especialista ERN (COL)

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Especialista ERN (COL)

Sergio Enrique Forero A.
Especialista ERN (COL)

Mario Andrés Salgado G.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Pablo Forero A.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Miguel Galindo P.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcárcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Liliana Narvaez M.
Asesor Asociado (COL)

Juan Camilo Olaya
Asistente Técnico ERN (COL)

Steven White
Asistente Técnico ERN (COL)

Asesores Nacionales

SNET Francisco Ernesto Durán
& **Giovanni Molina** El Salvador

Osmar E. Velasco
Guatemala

Oscar Elvir Honduras
Romaldo Isaac Lewis Belice

Banco Interamericano de Desarrollo – Medio Ambiente / Desarrollo Rural / Desastres Naturales

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Tsuneki Hori
Consultor Interno

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Oscar Anil Ishizawa
Consultor Interno

Sergio Lacambra
Especialista Sectorial

Banco Mundial – Gestión de Riesgo de Desastres / Región Latinoamérica y el Caribe

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Edward C. Anderson
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

Esta aplicación es de carácter ilustrativo y presenta limitaciones y restricciones debido al nivel de resolución de la información disponible, de lo cual debe ser consciente el usuario final para efectos de poder dar un uso adecuado y consistente a los resultados obtenidos teniendo en cuenta el tipo de análisis realizado, el tipo y calidad de datos empleados, el nivel de resolución y precisión utilizado y la interpretación realizada. En consecuencia es importante señalar lo siguiente:

- Los modelos utilizados en los análisis tienen simplificaciones y supuestos para facilitar el cálculo que el usuario debe conocer debidamente. Éstas están descritas en detalle en los informes técnicos respectivos.
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado de actualización. Es posible que exista información mejor y más completa a la cual no se tuvo acceso.
- La información utilizada y los resultados de los análisis de amenaza, exposición y riesgo tienen asociado un nivel de resolución según las unidades de análisis utilizadas, lo que se explica en el documento descriptivo del ejemplo.
- El uso que el usuario final le dé a la información no compromete a los autores de los estudios realizados, quienes presentan este ejemplo como lo que puede ser factible de hacer si se cuenta con información confiable con la precisión adecuada.
- Es responsabilidad del usuario comprender el tipo de modelo utilizado y sus limitaciones, la resolución y calidad de los datos, las limitaciones y suposiciones de los análisis y la interpretación realizada con el fin de darle a estos resultados un uso adecuado y consistente.
- Ni los desarrolladores del software, ni los promotores o financiadores del proyecto, ni los contratistas o subcontratistas que participaron en las aplicaciones o ejemplos de uso de los modelos asumen ninguna responsabilidad por la utilización que el usuario le dé a los resultados que aquí se presentan, por lo tanto están libres de responsabilidad por las pérdidas, daños, perjuicios o efectos que pueda derivarse por la utilización o interpretación de estos ejemplos demostrativos.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1-1
2	Metodología de evaluación del riesgo.....	2-1
3	Amenaza sísmica	3-1
3.1	Eventos Históricos.....	3-1
3.2	Evaluación de la amenaza.....	3-2
4	Amenaza por tsunami.....	4-1
4.1	Eventos Históricos.....	4-1
4.2	Evaluación de la amenaza.....	4-2
4.3	Estimación probabilista	4-2
5	Amenaza por huracán	5-1
5.1	Eventos Históricos.....	5-1
5.2	Evaluación de la amenaza.....	5-2
6	Inventario de elementos expuestos.....	6-1
6.1	Levantamiento de la información básica	6-1
6.2	Información de exposición de predios	6-3
6.3	Información de vulnerabilidad	6-5
7	Resultados de la evaluación	7-1
7.1	Evaluación probabilista del riesgo de desastre	7-1
7.1.1	Resultados para sismo.....	7-1
7.1.2	Resultados para tsunami	7-5
7.1.3	Resultados para viento huracanado y marea de tormenta	7-8
7.1.4	Resultados agrupados.....	7-11
7.1.5	Mapas de riesgo	7-11
8	Conclusiones y Recomendaciones	8-1
9	Referencias.....	9-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE PUERTO CORTÉS	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [GAL] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	3-3
FIGURA 3-2 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN PUERTO CORTÉS PARA LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO	3-4
FIGURA 4-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE TSUNAMI PARA LA COSTA ATLÁNTICA DE HONDURAS. TR=500AÑOS (ALTURA DE OLA EN METROS)	4-2
FIGURA 4-2 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA POR TSUNAMI, ALTURA DE OLA EN MTS	4-3
FIGURA 4-3 CURVA DE AMENAZA POR TSUNAMI EN PUERTO CORTÉS PARA ALTURA DE OLA EN METROS.	4-4
FIGURA 5-1 MAPAS DE VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	5-3
FIGURA 5-2 CURVA DE AMENAZA POR VIENTO HURACANADO EN PUERTO CORTÉS [KM/H]	5-3
FIGURA 5-3 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA POR MAREA DE TORMENTA, ALTURA DE OLA EN MTS	5-4
FIGURA 5-4 CURVA DE AMENAZA POR MAREA DE TORMENTA EN PUERTO CORTÉS [M]	5-4
FIGURA 6-1 MAPA DE PREDIOS DE PUERTO CORTÉS.....	6-1
FIGURA 6-2 MAPA DE PREDIOS DE PUERTO CORTÉS, ALREDEDORES REFINERÍA DE PETRÓLEOS.....	6-2
FIGURA 6-3 MAPA DE PREDIOS DE PUERTO CORTÉS, ALREDEDORES BASE NAVAL	6-2
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-4
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES. 6- 4	
FIGURA 6-6 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	6-5
FIGURA 6-7 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	6-5
FIGURA 6-8 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA SISMO	6-6
FIGURA 6-9 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA INUNDACIÓN	6-7
FIGURA 6-10 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO	6-7
FIGURA 6-11 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR SISMO EMPLEADAS	6-8
FIGURA 6-12 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EMPLEADAS	6-8
FIGURA 6-13 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO HURACANADO EMPLEADAS.....	6-9
FIGURA 7-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-2
FIGURA 7-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-3
FIGURA 7-3 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	7-3
FIGURA 7-4 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	7-4
FIGURA 7-5 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	7-4
FIGURA 7-6 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-5
FIGURA 7-7 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-6
FIGURA 7-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	7-6
FIGURA 7-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	7-7
FIGURA 7-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	7-7
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-8
FIGURA 7-12 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-9

FIGURA 7-13 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	7-9
FIGURA 7-14 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .	7-10
FIGURA 7-15 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	7-10
FIGURA 7-16 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-11
FIGURA 7-17 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA SISMO	7-12
FIGURA 7-18 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA TSUNAMI.....	7-13
FIGURA 7-19 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA HURACÁN	7-14

Índice de tablas

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO GUATEMALTECO	3-2
TABLA 4-1 TSUNAMIS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN, DETONADOS POR SISMOS CON MAGNITUD ≥ 7 ...	4-1
TABLA 5-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO GUATEMALTECO	5-1
TABLA 6-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES.....	6-3
TABLA 6-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-3
TABLA 6-3 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS	6-4
TABLA 6-4 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS	6-6
TABLA 7-1 TEMPORALIDADES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO	7-1
TABLA 7-2 RESULTADOS GENERALES	7-1
TABLA 7-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-2
.....	7-2
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES	7-5
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-5
.....	7-5
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES	7-8
TABLA 7-7 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-8
.....	7-8
TABLA 7-8 RESULTADOS GENERALES	7-11

1 Introducción

Puerto Cortés, municipio del departamento de Cortés, es una población costera localizada en el norte del departamento. La zona urbana del municipio se encuentra ubicada en una península dividida por la Laguna de Alvarado. La ciudad tiene una población de 36,930 habitantes y el municipio una población rural de 24,620. Tiene una extensión de 2,168 km². Gran parte del área construida está destinada a comercio y vivienda así como a las facilidades necesarias para el funcionamiento del puerto como zonas de almacenamiento de contenedores y edificaciones administrativas. La población cuenta con cerca de 11,550 edificaciones, en su mayoría de 1 y 2 pisos, construidas principalmente en mampostería simple y reforzada.

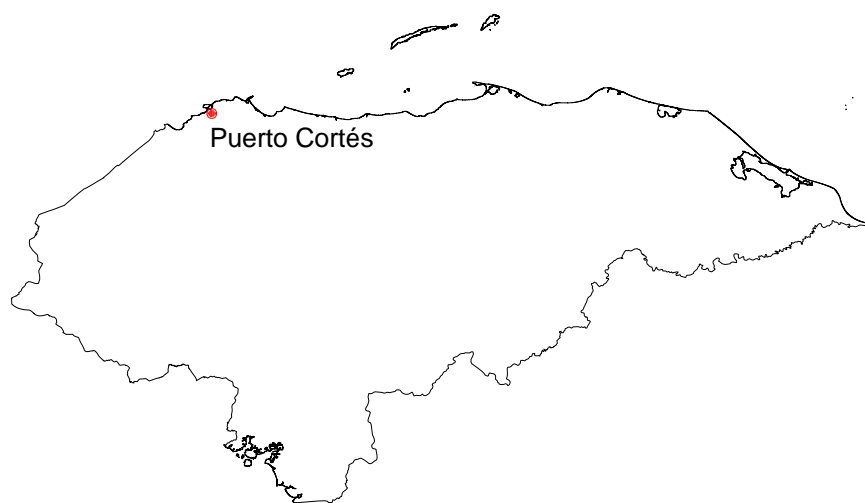


Figura 1-1
Localización geográfica de Puerto Cortés

La actividad portuaria en Puerto Cortés es la que concentra la mayoría de la producción económica de la ciudad, generando así una proporción considerable del empleo en actividades como almacenamientos, carga, descarga y transporte. Adicionalmente los sectores de la industria de manufacturas, la construcción, el turismo y el comercio tienen una participación notable.

Honduras se encuentra en una zona de alta susceptibilidad al paso de huracanes generados en la cuenca del Atlántico. Estos eventos afectan la región del Atlántico Norte en un promedio de 10 eventos por año. Cada uno de estos eventos se manifiesta mediante uno o varios de los siguientes fenómenos: vientos fuertes, marejadas ciclónicas y lluvias torrenciales.

Por su ubicación, Puerto Cortés es una ciudad propensa a sufrir embates de huracanes tal y como se ha visto en diferentes eventos anteriores; durante el 14 y el 24 de septiembre de 1974 el huracán Fifi de categoría 2 en la escala Saffir-Simpson transitó sobre Belice, Honduras y Guatemala causando pérdidas considerables en diferentes poblaciones.

Durante el 23 de octubre y el 3 de noviembre de 1998, el huracán Mitch de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson atravesó Honduras generando inundaciones y deslizamientos en diferentes puntos del país.

El 11 de julio de 1999, un sismo de magnitud 6.4 asociado a la falla Motagua que sacudió el territorio hondureño siendo uno de los más sentidos en el siglo XX en el país. El 28 de mayo de 2009, un sismo de magnitud 7.1 con epicentro en el Mar Caribe sacudió fuertemente varias poblaciones localizadas hacia sobre la costa atlántica, destruyendo varias edificaciones.

Algunos tsunamis han impactado las costas de Honduras en años anteriores. El más importante fue el ocurrido el 4 de agosto de 1856 en Omoa, sobre el Golfo de Honduras que tuvo olas de hasta 5 m de altura. También sobre la Costa Atlántica vale la pena resaltar el evento del 4 de febrero de 1976 que afectó algunas poblaciones en el departamento de Cortés.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de eventos extremos, se deben identificar condiciones de la población relativas a la exposición del capital físico y humano y su distribución geográfica, la vulnerabilidad física y de la población y del potencial de daños y pérdidas que podrían presentarse. A través de un procedimiento de este tipo es posible contar con información útil para la toma de decisiones por parte de los funcionarios encargados de la planeación y desarrollo al poderse estimar la magnitud del impacto económico y social para la ciudad y el país. Así mismo, se pueden establecer parámetros para la formulación de planes dentro de la gestión ex ante y ex post del riesgo de desastres.

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial del municipio de Puerto Cortés ante eventos de huracán, tanto por efectos del viento como por la marea de tormenta, eventos sísmicos y eventos tsunamigénicos para así expresar el riesgo en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE), pérdidas máximas probables (PML) y afectación directa sobre la población. El análisis se realiza tanto en términos probabilistas como en función de escenarios deterministas correspondientes a eventos históricos.

Los resultados de la simulación se presentan de manera que puedan ser usados para análisis detallados posteriores y como insumos para la preparación del plan de contingencia o de atención de emergencias, la formulación de planes de reducción de la vulnerabilidad física, y para plantear posibles estrategias de protección financiera.

2 Metodología de evaluación del riesgo

Para la evaluación del riesgo de desastre en Punta Gorda se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA, la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010), y en el sitio web www.ecapra.org. La metodología para la evaluación del riesgo ante amenaza sísmica, por tsunami y huracán incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza sísmica y por tsunami: estas se evalúan mediante un análisis probabilista (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Analysis) el cual permite obtener resultados relacionados con pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general.
- (b) Evaluación de la amenaza por vientos huracanados y marea de tormenta: éstas se evalúan mediante un análisis probabilístico. El cual permite obtener resultados relacionados con pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general.
- (c) Inventario de bienes expuestos: dado que no fue posible contar con la información catastral detallada de la población, se recurrió al levantamiento del inventario de activos expuestos basado en observaciones de imágenes de satélite e interpretación de las mismas. Información oficial e índices publicados permitieron establecer los valores de reposición aproximados y los índices de ocupación.
- (d) Funciones de vulnerabilidad: los diferentes tipos constructivos identificados en la zona se caracterizan mediante una función de vulnerabilidad que da cuenta de la capacidad de la edificación para resistir la acción de los diferentes eventos considerados. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de cada tipo estructural particular, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio de activos expuestos. El análisis utiliza las funciones de vulnerabilidad determinadas siguiendo las metodologías y herramientas propuestas en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2009).
- (e) Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de las amenazas consideradas sobre el inventario de activos expuestos con las funciones de vulnerabilidad relacionadas. Para el efecto se emplea la herramienta de evaluación de riesgo CAPRA-GIS (ERN 2009). Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas para cada uno de los escenarios planteados y para el análisis probabilista integral. La valoración del riesgo se presenta en términos de estimaciones de:
 - Porcentaje de afectación física de las construcciones.
 - Pérdidas económicas directas aproximadas por predio.
 - Pérdidas económicas máximas probables.
 - Pérdidas anuales esperadas.

3 Amenaza sísmica

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

El territorio centroamericano constituye una amplia región de interacción tectónica, en la cual interactúan las placas Caribe, Norteamérica, Cocos y Nazca. La mayoría del territorio se encuentra ubicado sobre la placa Caribe. Al norte, en Guatemala, la interacción de las placas Caribe y Norteamérica es de tipo transcurrente, generando una zona de falla de desplazamiento lateral con capacidad de generar terremotos altamente destructivos, y cuyo principal rasgo lo constituyen los sistemas Chixoy-Polochic y Motagua. Al sur, en Costa Rica, se encuentra el punto triple o zona de convergencia de las placas Cocos, Caribe y Nazca, en la región de Golfo Dulce, y los cinturones deformados del norte y sur de Panamá.

El territorio hondureño se encuentra ubicado en su totalidad sobre la placa Caribe, la cual presenta un movimiento relativo convergente con relación a la placa Cocos, que la subduce. La interacción dinámica de estas placas constituye el principal rasgo tectónico de la región centroamericana (zona de subducción o Fosa Mesoamericana), y es la principal fuente de las deformaciones asociadas a la orogénesis en Honduras, y a la actividad sísmica en el occidente del país. La zona de subducción del Pacífico es capaz de generar eventos sísmicos de magnitud importante (8+) y relativamente superficiales en cercanías a la costa Pacífica. Por otra parte, al norte del territorio hondureño se encuentra la zona de interacción de las placas Caribe y Norteamérica, con sistemas de falla importantes como Motagua en Guatemala y la falla submarina de Walton, al norte de la isla de Roatán. Estos sistemas, aunque presentan una menor sismicidad en comparación con la zona de subducción del Pacífico, pueden generar sismos de magnitud alta (7+).

El objetivo de la simulación que aquí se presenta es dimensionar un escenario de consecuencias que podrían ser causadas por un fuerte terremoto en el municipio de Puerto Cortés, teniendo como base la información de amenaza más actualizada posible y en la información digital disponible sobre los elementos o activos expuestos en el municipio.

3.1 Eventos Históricos

En la historia reciente de Honduras se registran varios sismos que han generado situaciones devastadoras para la infraestructura del municipio. Se destacan los eventos de 1999 y del 2009 que ocasionaron pérdidas humanas y cuantiosos daños en la infraestructura del municipio.

El 11 de julio de 1999, un sismo de magnitud 6.4 asociado a la falla Motagua que sacudió el territorio hondureño siendo uno de los más sentidos en el siglo XX en el país. El 28 de mayo de 2009, un sismo de magnitud 7.1 con epicentro en el Mar Caribe en aguas de Honduras sacudió fuertemente a toda la región. Por su ubicación, varias poblaciones

localizadas hacia el Mar Caribe resultaron afectadas por el sismo y se presentó el fenómeno de licuefacción que afectó varias edificaciones. Se suspendieron las actividades por daños en la infraestructura educativa.

En la Tabla 3-1 se presentan los principales sismos que han afectado el territorio hondureño.

Tabla 3-1
Principales sismos que han afectado el territorio guatemalteco

Año	Fecha	Epicentro	Magnitud (Intensidad)	Consecuencias
1773	13 DIC	Santa Martha	(VII)	Destrucción total en la población de Antigua.
1774		Tegucigalpa	(VI)	Primer evento sísmico del que hay registro en la ciudad de Tegucigalpa.
1809	20 JUL	Comayagua	(VI)	Evento asociado a la Depresión de Honduras.
1820	19 OCT	Cuilapa	(VIII)	Destrucción total de Omoa y San Pedro Sula con varias víctimas mortales. Deslizamientos en los cauces de los ríos.
1851	8 AGO	Trujillo	(VII)	Afectó a Trujillo y a zonas aledañas a dicha población.
1856	8 ABR	Costa Atlántica	(VIII)	Sentido a lo largo de toda la costa hondureña sentido desde Omoa hasta Belice. Variación en los cauces de los ríos y variaciones de hasta 5m en el nivel del mar. Se reportaron tsunamis en algunos puntos de la costa.
1915	29 DIC	Gracias	6.3	Destrucción total de las poblaciones de Gracias y Flores.
1982	27 ABR	Comayagua	5.4	
1999	11 JUL	Motagua	6.4	El evento sísmico más destructivo del siglo XX en Honduras. Generó daños considerables en la población de San Pedro Sula en el atlántico.
2009	28 MAY	Mar Caribe	7.1	El sismo se sintió en todo el país generando considerables destrozos en las poblaciones localizadas sobre la Costa Atlántica como Puerto Cortés y San Pedro Sula.

3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza sísmica para Honduras se calculó empleando los avances presentados en el proyecto regional RESIS II (NORSAR et. al. 2008), el cual constituye el estudio más avanzado a la fecha con relación a evaluación de amenaza sísmica en América Central. A partir de la sismotectónica de la región y la sismicidad registrada e histórica, se definieron una serie de fuentes sismogénicas, las cuales cubren la totalidad del territorio centroamericano y conservan las condiciones de sismicidad generales y su variación regional.

Con base en dicha información y empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010) y en el sitio web www.ecapra.org se construyó un catálogo de eventos estocásticos que representan en conjunto la amenaza sísmica de la región.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 19,380 escenarios de sismo, según la metodología presentada expuesta en los informes CAPRA, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada. La Figura 3-1 presenta los mapas de amenaza sísmica, en términos de la aceleración máxima del terreno, para diferentes períodos de retorno.

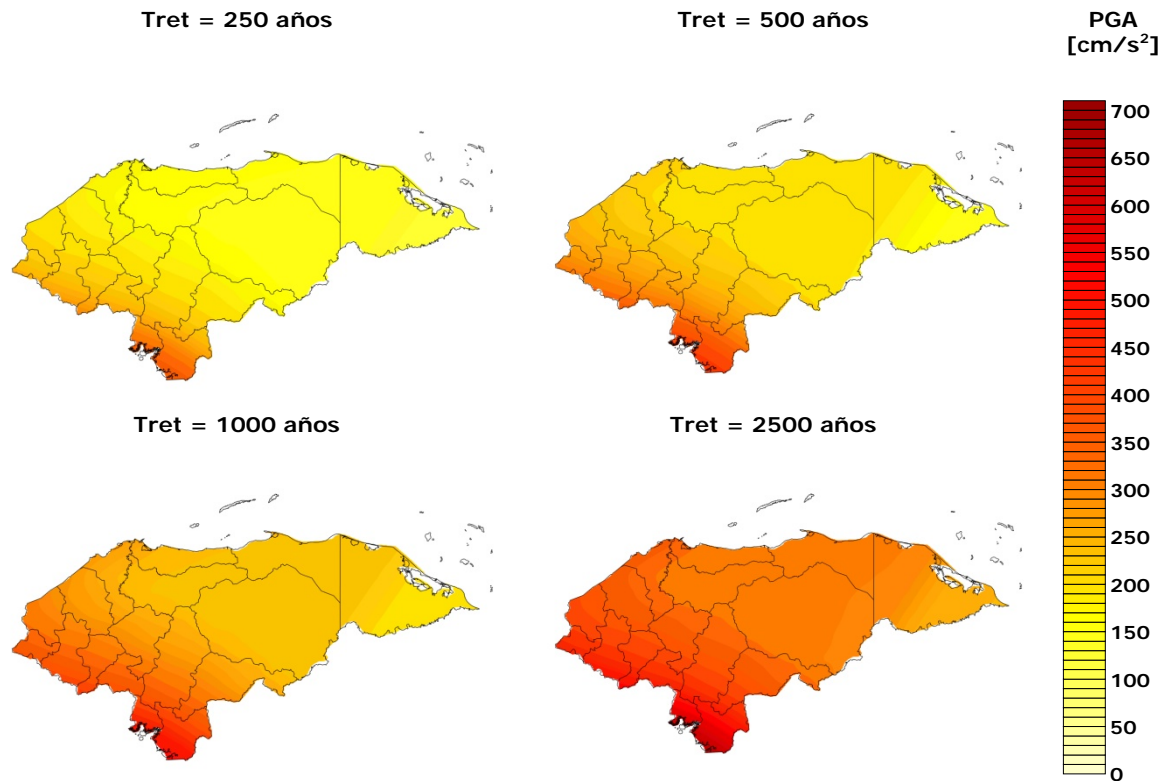


Figura 3-1
Mapas de aceleración máxima del terreno [gal] para diferentes períodos de retorno

Por otro lado la Figura 3-2 presenta la curva de amenaza para un punto representativo del municipio.

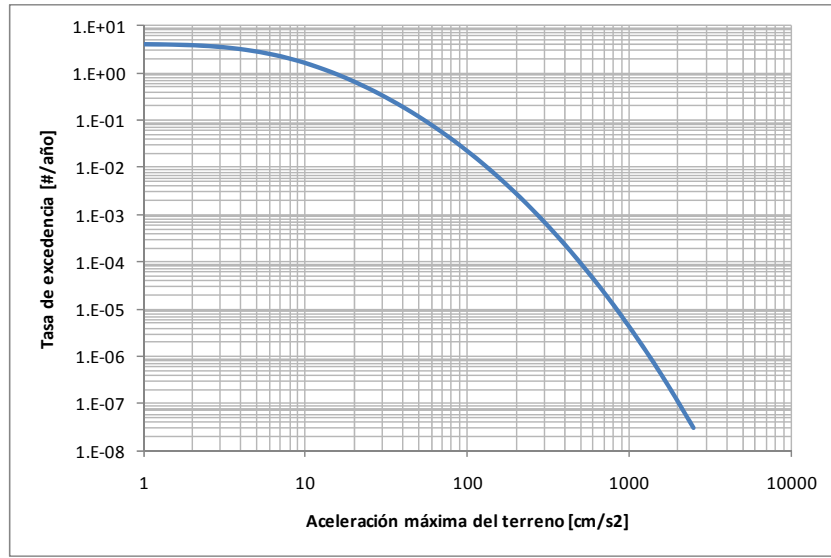


Figura 3-2

Curva de amenaza sísmica en Puerto Cortés para la aceleración máxima del terreno

4 Amenaza por tsunami

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

4.1 Eventos Históricos

Algunos tsunami han impactado las costas de Honduras en años anteriores. El más importante fue el ocurrido el 4 de agosto de 1856 en Omoa, sobre el Golfo de Honduras que tuvo olas de hasta 5 m de altura. También sobre la Costa Atlántica vale la pena resaltar el evento del 4 de febrero de 1976 que generó olas de considerable altura en el departamento de Cortés. La Tabla 4-1 presenta los principales eventos de tsunami que han afectado la región.

Tabla 4-1

Tsunamis que han afectado la región, detonados por sismos con magnitud ≥ 7

(Fuente: <http://ioc3.unesco.org/itic/files/tsunami-catalogo-ca.pdf>)

Año	Fecha	Origen	Magnitud	Región afectada
1822	05-Jul	Caribe	7.6	Matina, Costa Rica
1844	05/--	Pacífico	7.5	Lago de Nicaragua (?)
1854	08-May	Pacífico	7.2	Golfo Dulce, Costa Rica
1856	08-Abr	Caribe	7.5	Omoa, Golfo de Honduras (destrucción, muertos)
1859	12-Sep	Pacífico	7.5	Bahía de Acajutla, El Salvador
1882	09-Jul	Caribe	7.9	San Blas, Panamá
1902	Feb-26	Pacífico	7	Costas de Guatemala, El Salvador
1902	Abr-19	Pacífico	7.5	Ocós, Guatemala
1904	Dic-20	Caribe	7.5	Bocas del Toro, Panamá
1906	Ene-31	Pacífico	8.2	Ecuador, Panamá, Costa Rica
1915	09-Jul	Pacífico	7.7	Costa de El Salvador
1916	May-25	Pacífico	7.5	El Salvador
1926	11-May	Pacífico	7	Nicaragua (?)
1934	Jul-18	Pacífico	7.5	Golfo de Chiriquí, Panamá
1941	12-Jun	Pacífico	7.6	Punta Dominical, Costa Rica
1950	10-May	Pacífico	7.9	Costas de Costa Rica, Nicaragua, El Salvador
1950	Oct-23	Pacífico	7.3	Costas de Guatemala, El Salvador
1956	Oct-24	Pacífico	7.2	San Juan del Sur, Nicaragua
1957	03-Oct	Caribe	8.1	Acajutla, El Salvador
1960	May-22	Caribe	8.5	La Unión, Golfo de Fonseca
1976	02-Abr	Caribe	7.5	Cortés, Golfo de Honduras
1976	07-Nov	Pacífico	7	Jaque, Darien, Panamá
1990	Mar-25	Pacífico	7	Puntarenas, Quepos, Costa Rica
1991	Abr-22	Caribe	7.6	Costa Rica, Panamá
1992	09-Ene	Pacífico	7.2	Nicaragua (172 muertos, destrucción), Costa Rica
2001	Ene-13	Pacífico	7.6	El Salvador (pequeño tsunami, costa de El Salvador)

4.2 Evaluación de la amenaza

Los escenarios probables de tsunami deben definirse a partir de la ocurrencia de terremotos de características particulares en la zona de interacción submarina de las placas Caribe y Norteamérica. Dichos terremotos se ingresan en la modelación como eventos detonantes de tsunami. La metodología detallada de amenaza basada en eventos detonantes puede ser consultada en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010), así como en el sitio Wiki de CAPRA www.ecapra.org.

La evaluación de la amenaza puede realizarse mediante la determinación de escenarios particulares de amenaza correspondientes a un evento hipotético compatible con la información disponible, o mediante un análisis probabilista integral.

A nivel del país y solo para efectos ilustrativos, la Figura 4-1 presenta el mapa de amenaza en términos de altura máxima de oleaje para un período de retorno de 500 años.

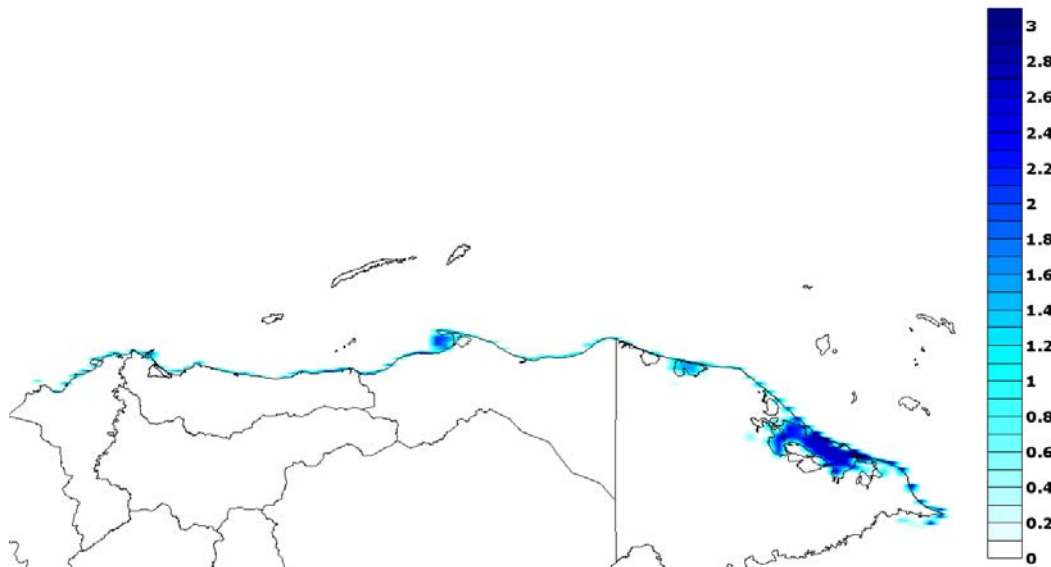


Figura 4-1

*Mapa de amenaza probabilística de tsunami para la costa atlántica de Honduras.
TR=500 años (altura de ola en metros)*

4.3 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 6,024 escenarios de tsunami en el Mar Caribe, según la metodología presentada expuesta en los informes CAPRA, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a características de eventos históricos.

La Figura 4-2 resume los resultados del análisis probabilista de tsunami en términos de altura de la ola máxima con respecto al nivel del terreno para los siguientes períodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.

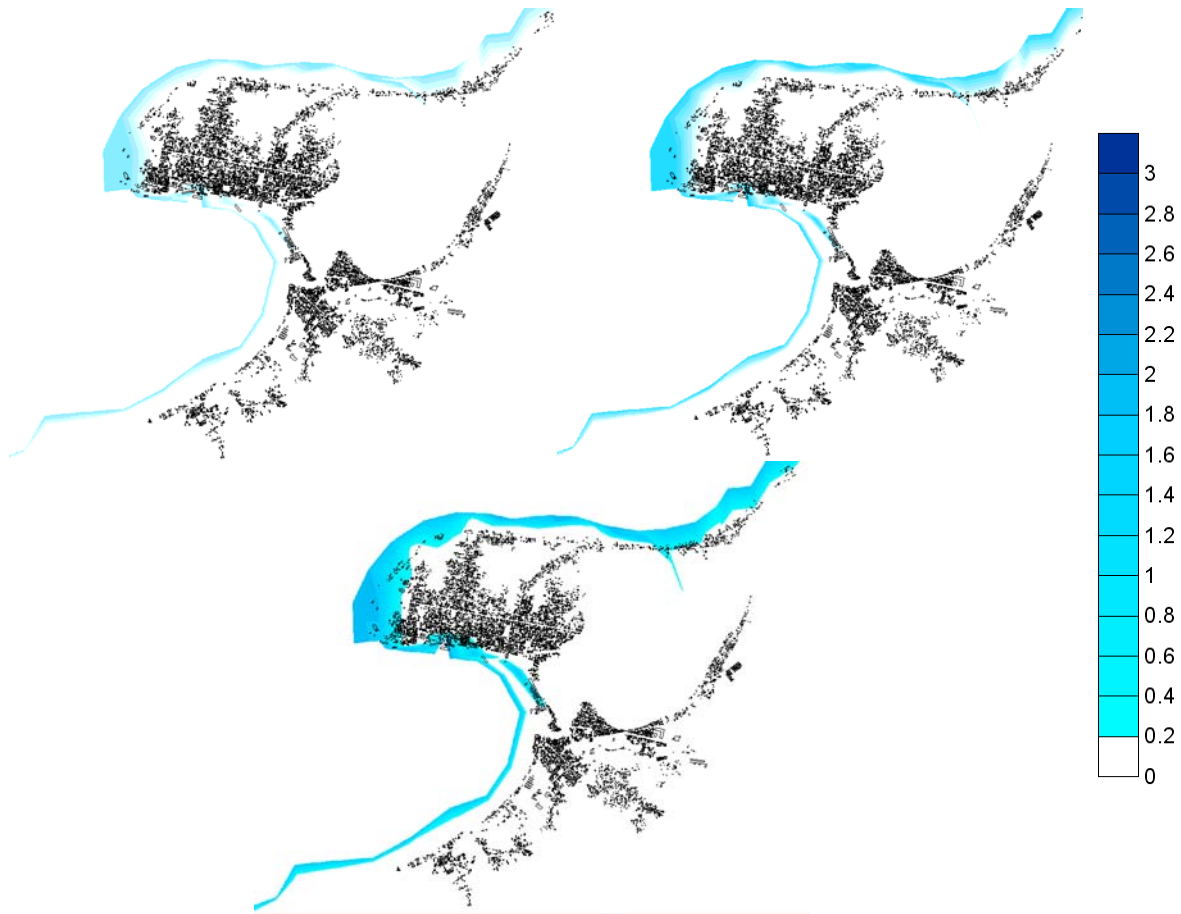


Figura 4-2

*Mapa de amenaza probabilista por tsunami, altura de ola en mts
(arriba de izquierda a derecha: 100, 500, abajo 1,000 años de período de retorno)*

Por otro lado la Figura 4-3 presenta la curva de amenaza de tsunami para un punto representativo del municipio.

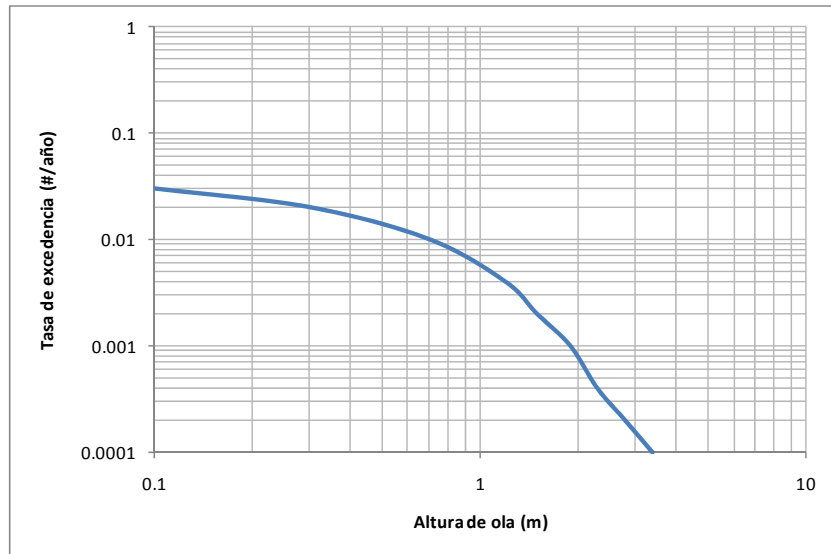


Figura 4-3

Curva de amenaza por tsunami en Puerto Cortés para altura de ola en metros

5 Amenaza por huracán

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

5.1 Eventos Históricos

En 1998 el huracán Mitch afectó gran parte del territorio guatemalteco, provocando a su paso 258 muertos y más de 100,000 damnificados. Los daños fueron cuantificados en más de 750 millones de US\$. Posteriormente en 2005 el huracán Stan afectó la mayoría del territorio de América Central, provocando a su paso 1,500 muertos, 3,000 desaparecidos y aproximadamente 450,000 damnificados. El monto total de pérdidas superó los 985 millones de US\$. En la Tabla 5-1 se presentan los principales huracanes que han afectado el territorio guatemalteco

*Tabla 5-1
Principales huracanes que han afectado el territorio guatemalteco*

Nombre	Año	Fecha	Cat. SS	Pérdidas directas (US\$ Millones)	Muertos	Desaparecidos	Heridos	Afectados
Hattie-Simone	1961	27 OCT - 1 NOV	5		11			
Francelia	1969	29 AGO - 4 SEP	3	15				
Fifi	1974	14-24 SEP	2		200			1500
Greta-Olivia	1978	13 - 23 SEP	4					
Joan-Miriam	1988	11 OCT - 2 NOV	4					
Opal	1995	27 SEP - 6 OCT	4		31			
Mitch	1998	22 OCT- 5 NOV	5	748	258			100000
Gordon	2000	14-21 SEP	1		23			
Keith	2000	28 SEP - 6 OCT	4		1			
Iris	2001	8-21 NOV	4		5		100	27 500
Adrian	2005	17-21 MAY	1		2			
Stan	2005	1-5 OCT	1	988.3	1500	3000		475 000
Felix	2007	31 AGO - 5 SEP	5					850
Dolly	2008	20-25 JUL	2		17			

5.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza por huracán se evalúa dentro de una temporalidad de manera conjunta el viento huracanado y la marea de tormenta. El análisis se realiza con base en las trayectorias y características de los registros históricos disponibles. Los eventos estocásticos se generan mediante simulación utilizando una técnica “*random-walk*” que involucra un muestreo de las distribuciones históricas en la localización de generación de la tormenta, para calcular una velocidad de avance que permita ir moviendo la tormenta hacia adelante, y haciendo muestreo en la distribución en la nueva ubicación para el siguiente intervalo de tiempo y así sucesivamente. Cada trayectoria simulada es diferente de cada otra trayectoria simulada o histórica pero el conjunto de eventos simulado mantiene las mismas propiedades estadísticas del conjunto de eventos históricos. Esta metodología se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010) y en el sitio web www.ecapra.org.

Para la modelación de la amenaza se empleó información topográfica con resolución de 30m obtenida del STRN de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010) y en el sitio web www.ecapra.org, se construyó un catálogo de huracanes estocásticos e históricos, que representan de manera integral la amenaza del país.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 76 escenarios de viento huracanado y marea de tormenta, según la metodología presentada expuesta en los informes CAPRA, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a características de eventos históricos. La Figura 5-1 presenta los mapas de amenaza por huracán, en términos de velocidad máxima de vientos huracanados, para diferentes períodos de retorno.

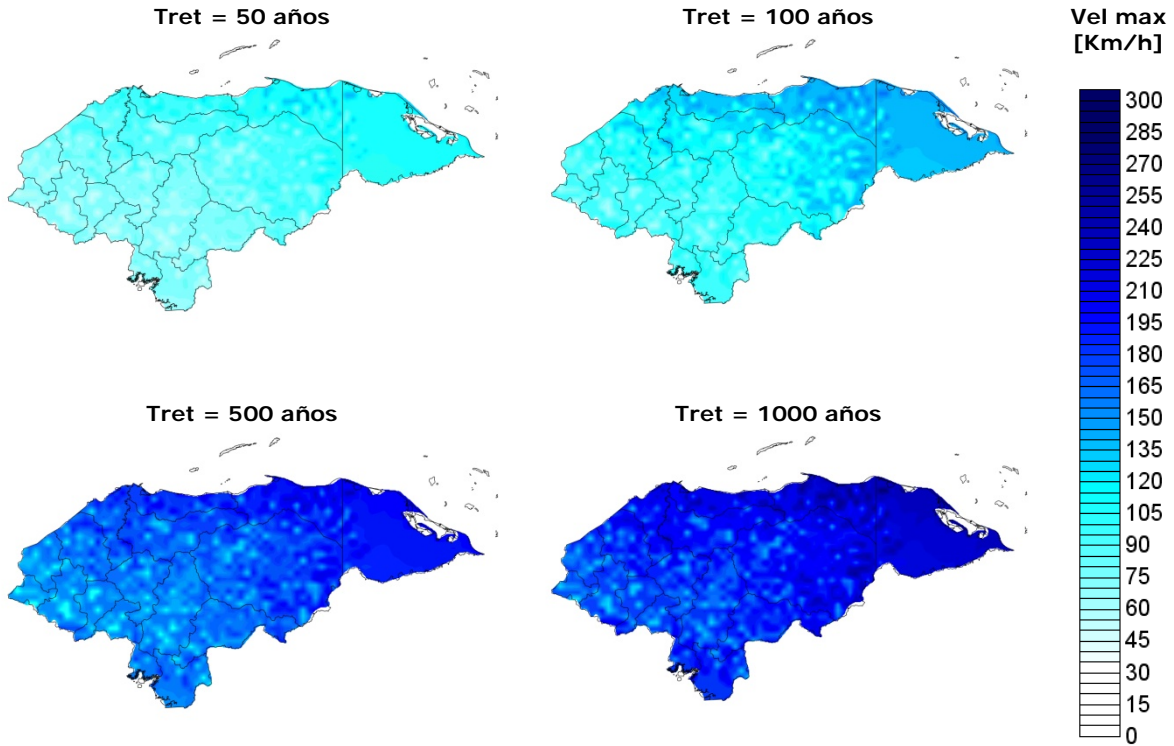


Figura 5-1
Mapas de velocidad máxima del viento [Km/h] para diferentes períodos de retorno

Por otro lado la Figura 5-2 presenta la curva de amenaza de viento para un punto representativo del municipio.

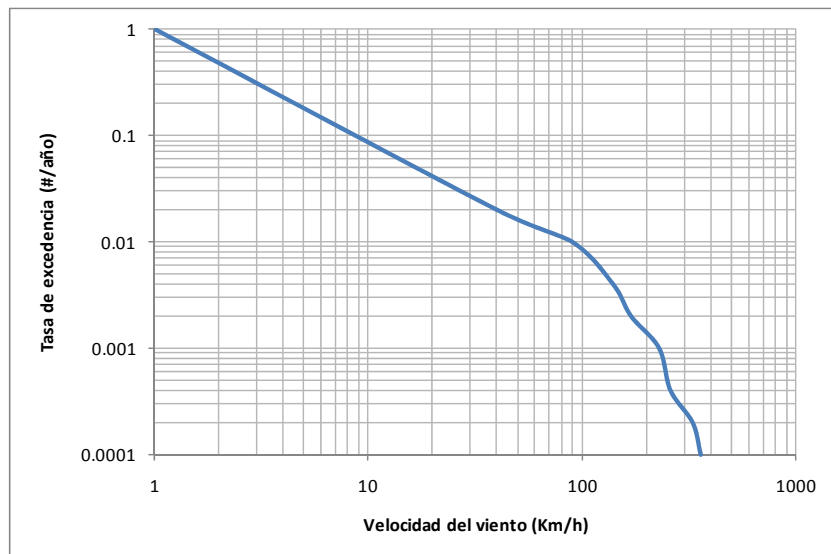


Figura 5-2
Curva de amenaza por viento huracanado en Puerto Cortés [Km/h]

La Figura 5-3 presenta los mapas de amenaza por huracán en función de la altura del oleaje por marea de tormenta para diferentes períodos de retorno. La Figura 5-4 presenta la curva de amenaza específica de un punto representativo de la población, para marea de tormenta.

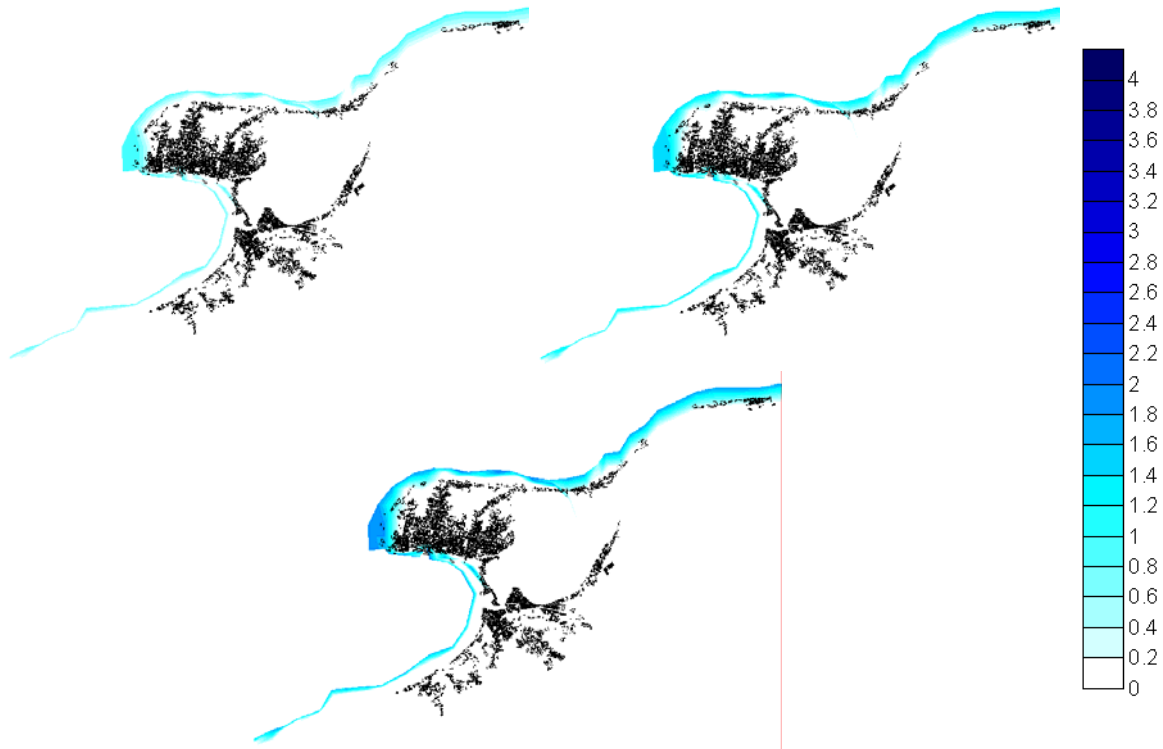


Figura 5-3

Mapa de amenaza probabilista por marea de tormenta, altura de ola en mts
(arriba de izquierda a derecha: 100, 500, abajo 1,000 años de período de retorno)

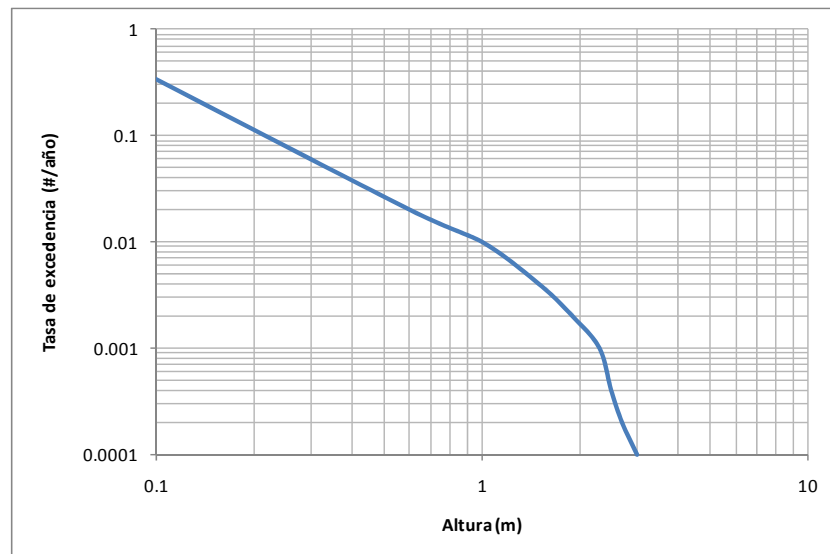


Figura 5-4

Curva de amenaza por marea de tormenta en Puerto Cortés [m]

6 Inventario de elementos expuestos

6.1 Levantamiento de la información básica

Para la ciudad de Puerto Cortés, se cuenta con información de exposición por barrios que contiene datos como distribución de sistemas constructivos, población que se relaciona al número actual de personas y valores totales de vivienda. Esta información resulta de utilidad en la determinación de la exposición económica, humana y de la vulnerabilidad. Por otro lado, carece de datos acerca de distribución o actividad económica, datos catastrales y fechas de construcción.

Debido a lo anterior se procedió a complementar la base de datos de exposición de edificaciones, haciendo un levantamiento digital a partir de imágenes de satélite, complementado con estadísticas de población, fotografías, indicadores oficiales y conceptos de expertos locales. Esta información, al igual que cualquier otro modelo de información aproximada, es susceptible de ser mejorada, actualizada y depurada mediante trabajo intenso de campo o mediante la disponibilidad de la información catastral detallada. La calidad y resolución de la información de exposición levantada define la confiabilidad y resolución de los resultados del análisis de riesgo.

La Figura 6-1 presenta una imagen de los predios digitalizados utilizando la herramienta web de levantamiento de elementos prediales tipo polígono de CAPRA (disponible en <http://www.ecapra.org/exposure.php>) para el municipio de Puerto Cortés.



Figura 6-1
Mapa de predios de Puerto Cortés
(Imagen generada con Google Earth)



Figura 6-2
Mapa de predios de Puerto Cortés, alrededores Refinería de petróleo
(Imagen generada con Google Earth. Recuadro: proyección plana)



Figura 6-3
Mapa de predios de Puerto Cortés, alrededores Base Naval
(Imagen generada con Google Earth. Recuadro: proyección plana)

6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición de Puerto Cortés, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asigna mediante los métodos aproximados mencionados.

La Tabla 6-1 presenta algunos indicadores generales utilizados para generar la base de datos de exposición de edificaciones para esta población.

Tabla 6-1
Indicadores Generales de Exposición de Edificaciones

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	51,220
Área total de terreno urbano	km ²	15.9
Densidad de población	Hab/km ²	3,221
No. total de Edificaciones		11,553
Área de construcción	m ²	2,168 x10 ³
Densidad construcción urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.14
Valoración total de construcciones	US\$ millones	1,096
Valor promedio/m ² construido	US\$/m ²	505.5

A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones. La Tabla 6-2, la Figura 6-4 y la Figura 6-5 presentan la distribución general de valores expuestos y ocupación de edificaciones, para los diferentes tipos estructurales identificados. La descripción detallada de los sistemas estructurales se encuentra en el informe ERN-CAPRA-2.2 (Propuesta de Funciones e Indicadores de Vulnerabilidad, ERN 2010).

Tabla 6-2
Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales

Sistema	Código sistema	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
No tecnificado	R-SLFB-1	691	23.78	2675
Bambú-Caña o Palma	BP-SLFB-1	26	1.49	117
Bahareque	B-SPFB-1	95	1.78	373
Adobe	A-SPSB-1	65	3.32	154
Madera	W-SLFB-1	3883	177.05	14103
	W-FLFB-2	565	110.32	4599
Mampostería simple	MS-SLSB-1	178	11.76	638
	MS-SPSB-1	34	1.25	93
	MS-RLSB-2	88	14.68	1105
Mampostería reforzada	MR-SLSB-1	4412	220.44	14396
	MR-RLSB-2	1209	333.91	11569
Pórticos en concreto	PCR-SLSB-1	277	67.64	579
	PCR-RLSB-2	30	128.59	819
TOTAL		11,553	1,096.01	51,220

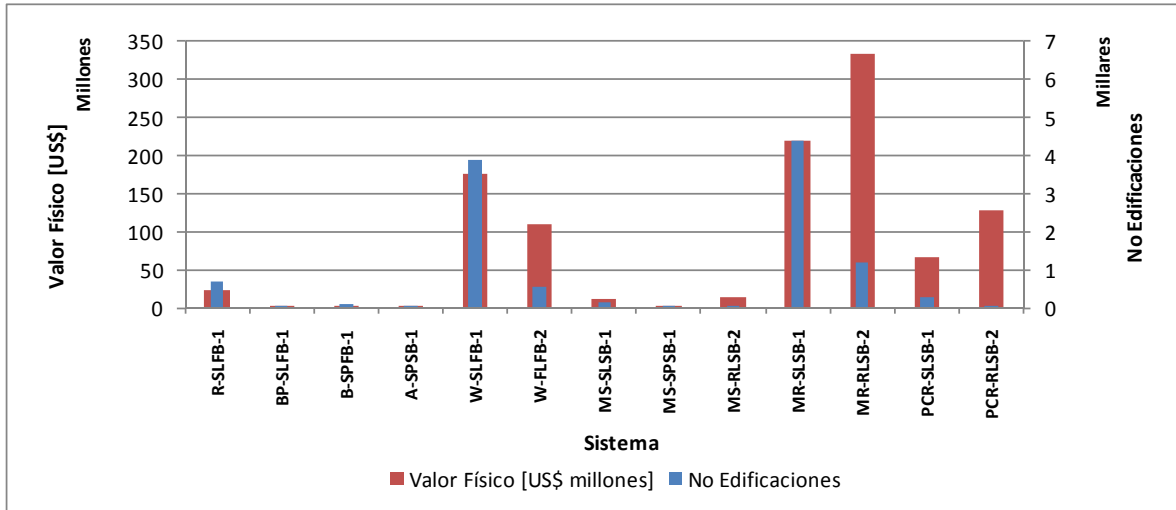


Figura 6-4

Distribución de valores expuestos y número de edificaciones por sistemas estructurales

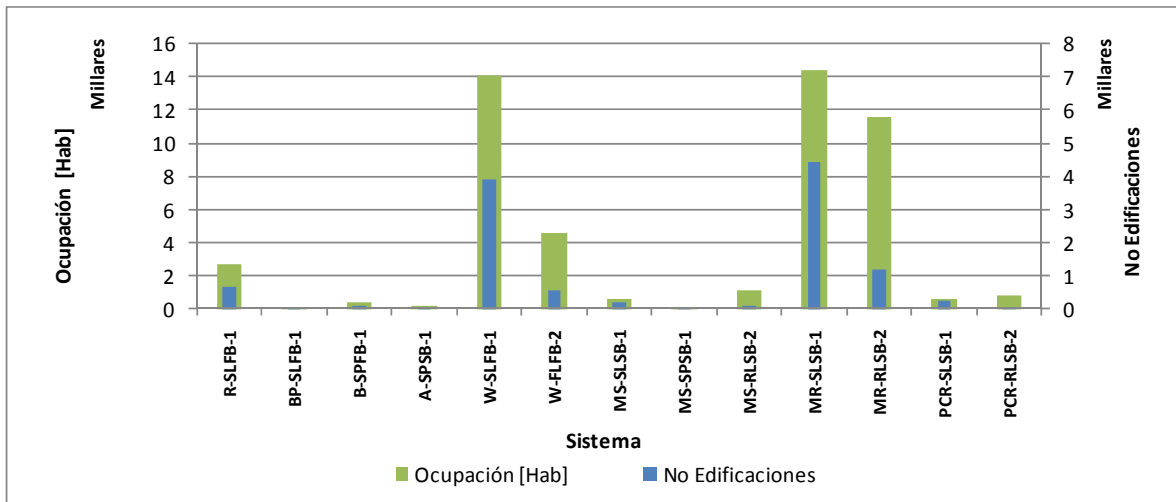


Figura 6-5

Distribución de ocupación y número de edificaciones por sistemas estructurales

Por otra parte, la Tabla 6-3, la Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran la distribución de valores expuestos y ocupación, en función del número de pisos de las edificaciones incluidas.

Tabla 6-3
Valores expuestos y ocupación por número de pisos

No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	9,492	495.53	30,876
2	1,965	533.52	18,374
3	91	62.57	1,872
4	5	4.38	98
Total	11,553	1,096.01	51,220

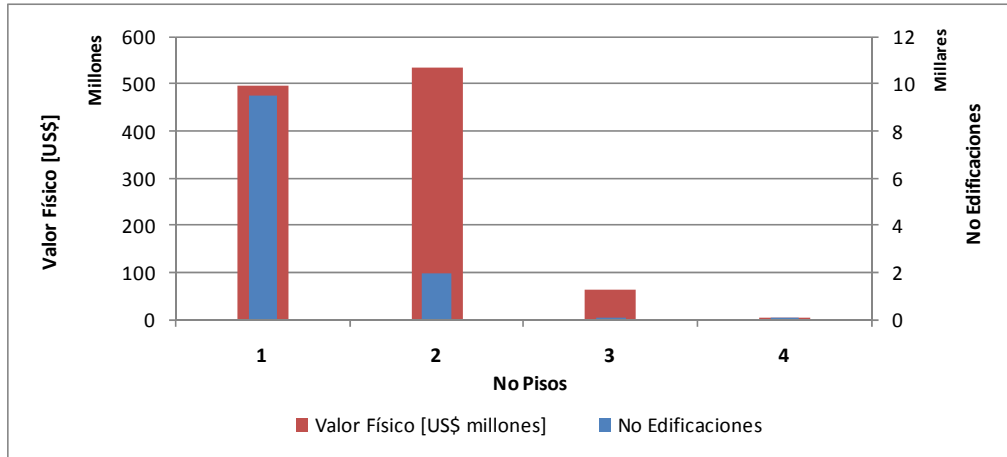


Figura 6-6

Distribución de valores expuestos y número de edificaciones por número de pisos

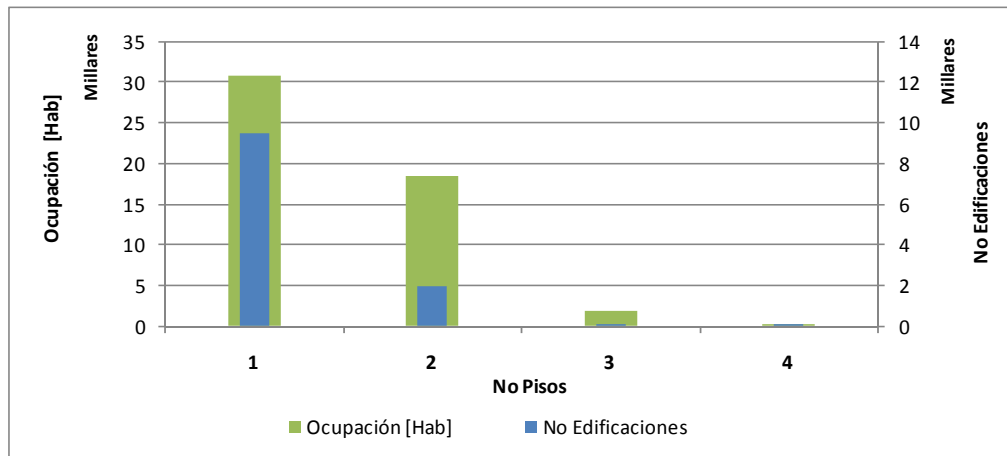


Figura 6-7

Distribución de ocupación y número de edificaciones por número de pisos

6.3 Información de vulnerabilidad

Los tipos estructurales contenidos en la base de datos corresponden a los presentados en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Material	Curva Sismo	Curva Viento	Curva Inundación	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Adobe						
Adobe1	S_A-SPSB-1	V_PS1	I_T1	65	3.32	154
Bambú						
Bambú1	S_BP-SLFB-1	V_LF1	I_W1	26	1.49	117
Bahareque						
Bahareque1	S_B-SPFB-1	V_LF1	I_T1	95	1.78	373
Mampostería reforzada						
MReforzada2	S_MR-RLSB-2	V_LS2	I_M2	1,209	333.91	11,569
MReforzada1	S_MR-SLSB-1	V_LS1	I_M1	4,412	220.44	14,396
Mampostería simple						
MSimple2	S_MS-RLSB-2	V_LS2	I_M2	88	14.68	1,105
MSimple1	S_MS-SLSB-1	V_LS1	I_M1	178	11.76	638
MSimple1	S_MS-SPSB-1	V_LS1	I_M1	34	1.25	93
Pórticos de concreto						
Concreto2	S_PCR-RLSB-2	V_LS2	I_C2	30	128.59	819
Concreto1	S_PCR-SLSB-1	V_LS1	I_C1	277	67.64	579
No tecnificado						
No tecnificado1	S_R-SLFB-1	V_LF1	I_R1	691	23.78	2,675
Madera						
Madera2	S_W-FLFB-2	V_LF2	I_W2	565	110.32	4,599
Madera1	S_W-SLFB-1	V_LF1	I_W1	3,883	177.05	14,103
Total				11,553	1,096.01	51,220

Las Figuras 6-6 a Figura 6-8 muestran el número de registros que representan los tipos estructurales empleados y la curva de vulnerabilidad asociada a cada uno de ellos.

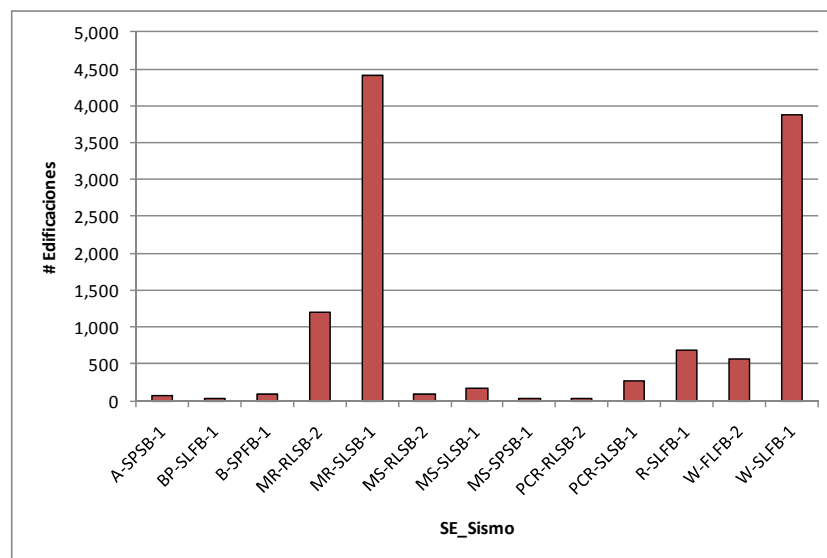


Figura 6-8
Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para sismo

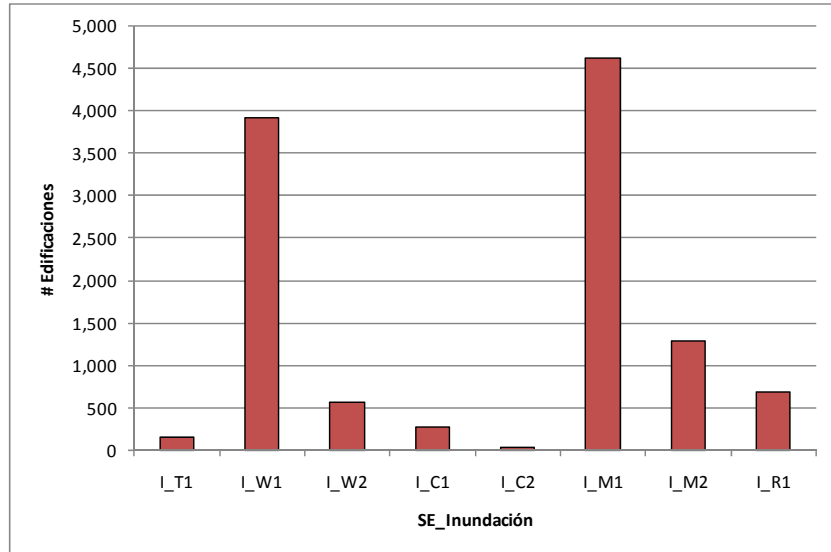


Figura 6-9

Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para inundación

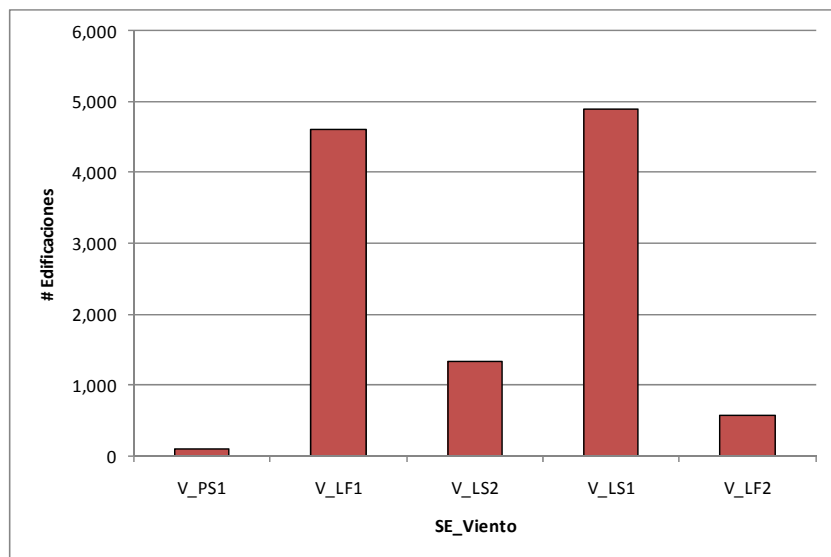


Figura 6-10

Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para viento

Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 6-11, la Figura 6-12 y en la Figura 6-13.

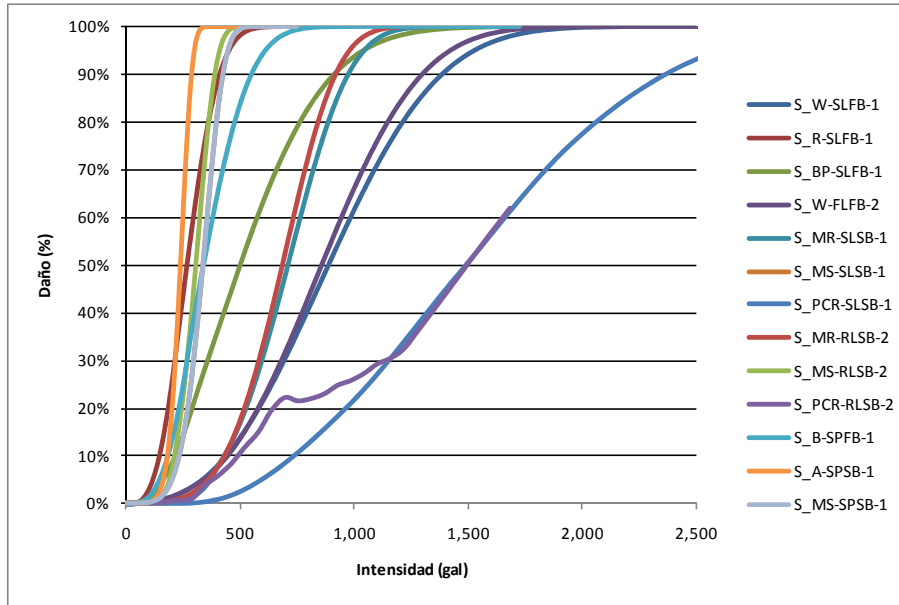


Figura 6-11
Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas

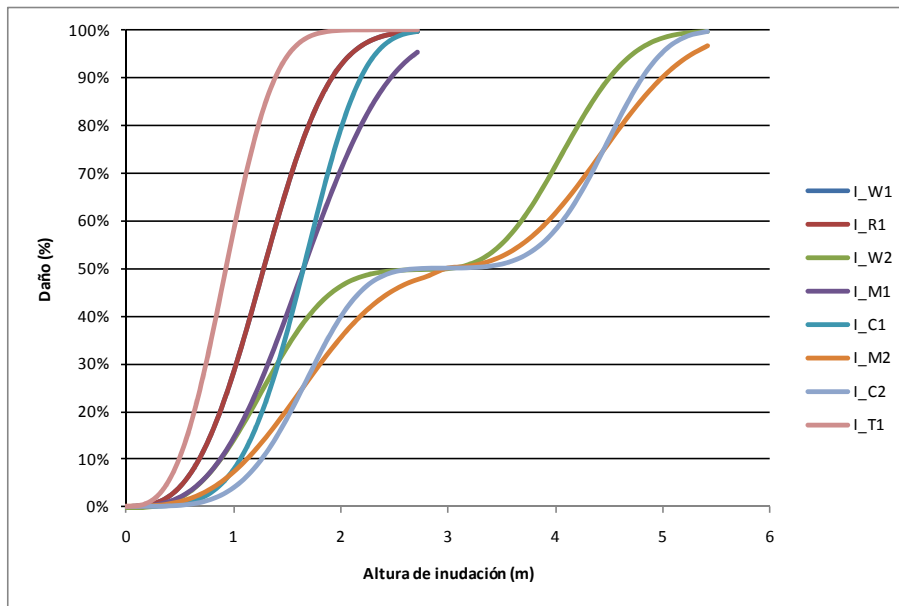


Figura 6-12
Curvas de vulnerabilidad por inundación empleadas

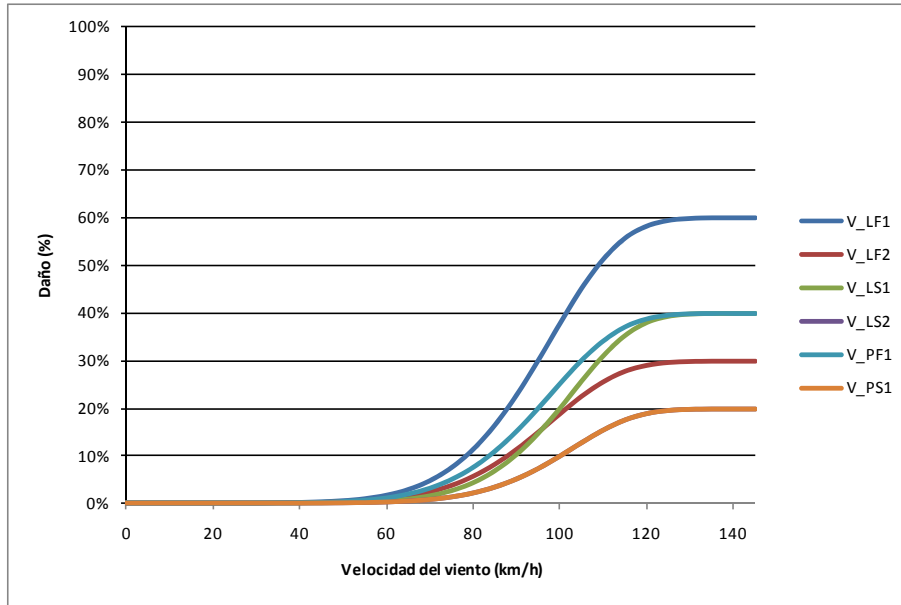


Figura 6-13
Curvas de vulnerabilidad por viento huracanado empleadas

7 Resultados de la evaluación

El análisis del riesgo se realiza siguiendo la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Modelo de Evaluación Probabilista del Riesgo, ERN 2010) y en el sitio www.ecapra.org se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

7.1 Evaluación probabilista del riesgo de desastre

La evaluación probabilista del riesgo se realizó para las temporalidades presentadas en la Tabla 7-1. Cada temporalidad corresponde a un conjunto de amenazas que ocurren de manera simultánea.

*Tabla 7-1
Temporalidades empleadas en el cálculo*

AMENAZA	TEMPORALIDAD		
	1	2	3
Sismo			
Tsunami			
Huracán - Viento			
Huracán - Marea			

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por las diferentes temporalidades para Puerto Cortés. En el sitio www.ecapra.org se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

7.1.1 Resultados para sismo

*Tabla 7-2
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	1,096.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	1.25
	‰	1.14‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
	años	US\$ x10 ⁶
250	30.92	2.82%
500	53.20	4.85%
1,000	84.60	7.72%
1,500	107.43	9.80%

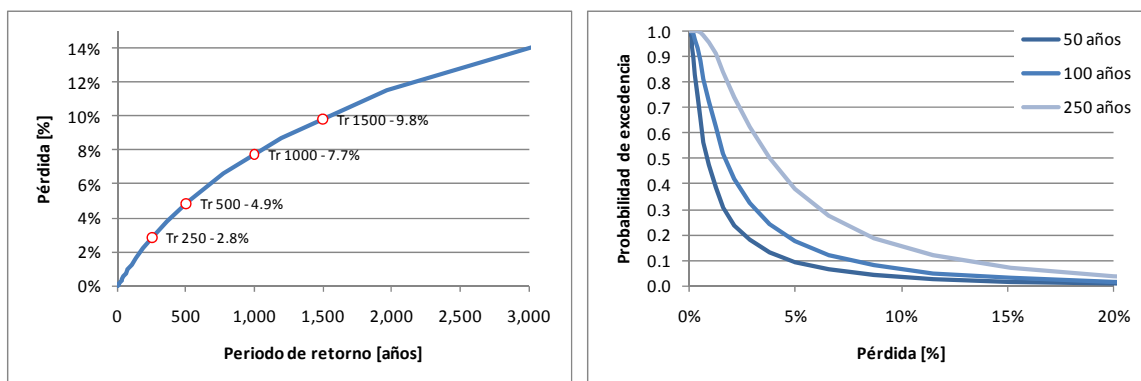


Figura 7-1

Resultados análisis

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

Tabla 7-3

Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%o]
A-SPSB-1	3,319,212	0.3%	8,578	2.58‰
BP-SLFB-1	1,492,470	0.1%	10,712	7.18‰
B-SPFB-1	1,780,596	0.2%	7,500	4.21‰
MR-RLSB-2	333,906,352	30.5%	258,482	0.77‰
MR-SLSB-1	220,444,845	20.1%	24,743	0.11‰
MS-RLSB-2	14,681,285	1.3%	74,750	5.09‰
MS-SLSB-1	11,763,382	1.1%	13,458	1.14‰
MS-SPSB-1	1,251,522	0.1%	1,439	1.15‰
PCR-1RLSB-2	128,588,829	11.7%	63,324	0.49‰
PCR-SLSB-1	67,635,113	6.2%	267,681	3.96‰
R-SLFB-1	23,780,984	2.2%	76,431	3.21‰
W-FLFB-2	110,319,965	10.1%	162,545	1.47‰
W-SLFB-1	177,046,831	16.2%	284,405	1.61‰
TOTALES	1,096,011,386	100%	1,254,050	1.14‰

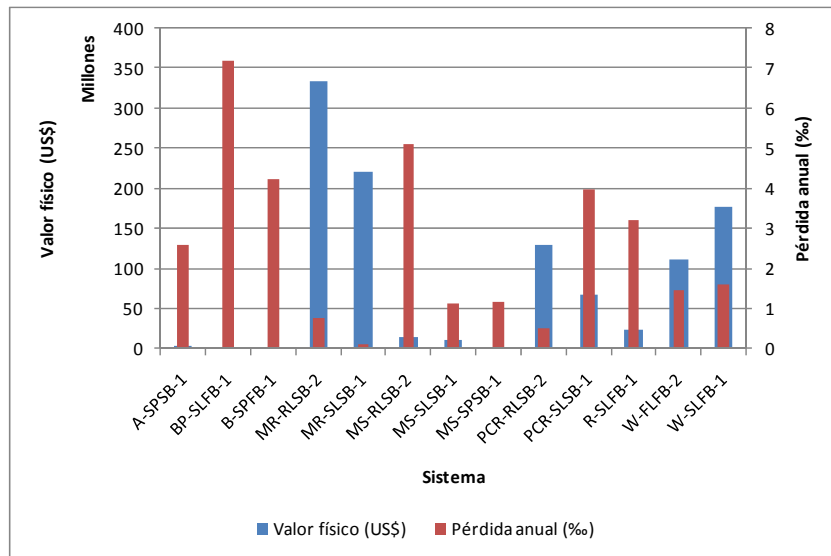


Figura 7-2

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

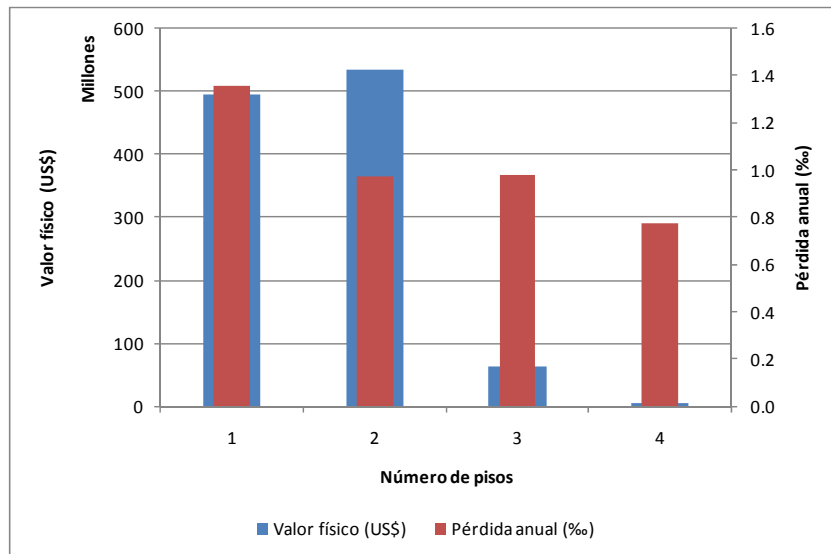


Figura 7-3

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

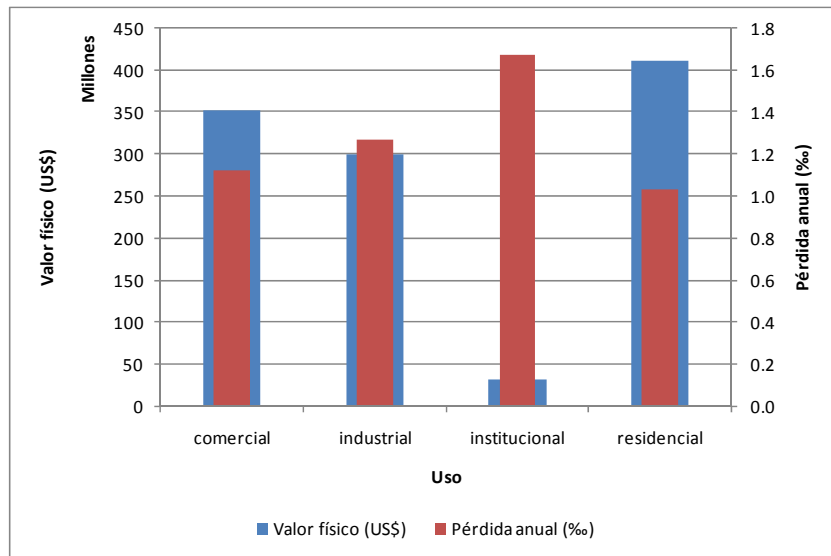


Figura 7-4

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

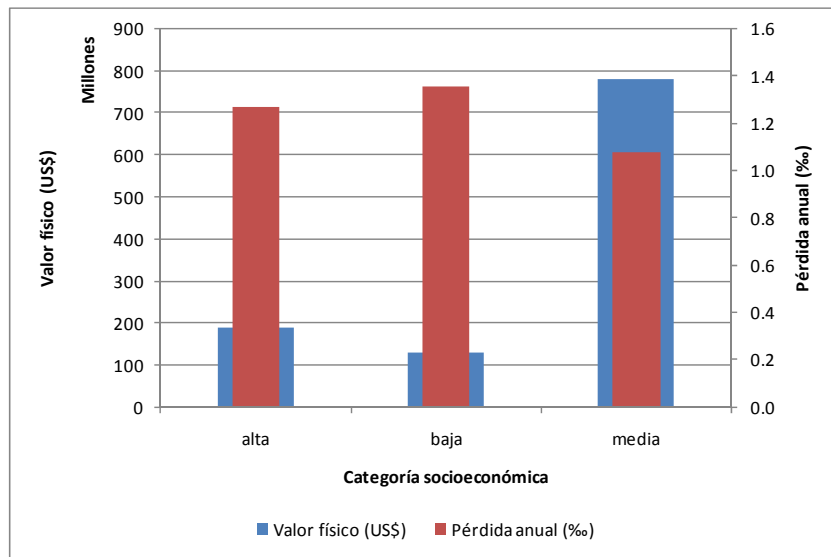


Figura 7-5

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica

7.1.2 Resultados para tsunami

Tabla 7-4
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	1,096.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	0.03
	‰	0.02‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
100	0.51	0.05%
250	1.56	0.14%
500	2.77	0.25%
1,000	4.45	0.41%
1,500	5.69	0.52%

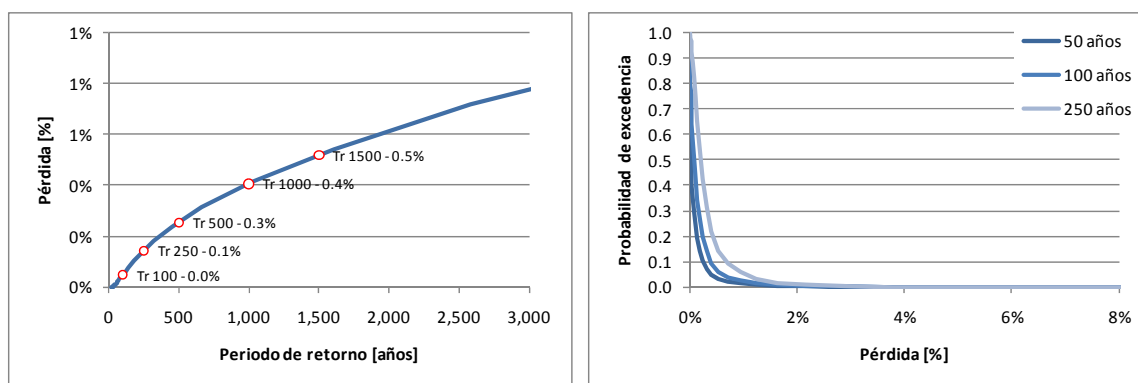


Figura 7-6

Resultados análisis

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

Tabla 7-5
Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[‰]
A-SPSB-1	3,319,212	0.3%	0	0.00‰
BP-SLFB-1	1,492,470	0.1%	0	0.00‰
B-SPFB-1	1,780,596	0.2%	128	0.07‰
MR-RLSB-2	333,906,352	30.5%	15,687	0.05‰
MR-SLSB-1	220,444,845	20.1%	419	0.00‰
MS-RLSB-2	14,681,285	1.3%	66	0.00‰
MS-SLSB-1	11,763,382	1.1%	79	0.01‰
MS-SPSB-1	1,251,522	0.1%	0	0.00‰
PCR-1RLSB-2	128,588,829	11.7%	630	0.00‰
PCR-SLSB-1	67,635,113	6.2%	5,755	0.09‰
R-SLFB-1	23,780,984	2.2%	365	0.02‰
W-FLFB-2	110,319,965	10.1%	421	0.00‰
W-SLFB-1	177,046,831	16.2%	1,669	0.01‰
TOTALES	1,096,011,386	100%	25,218	0.02‰

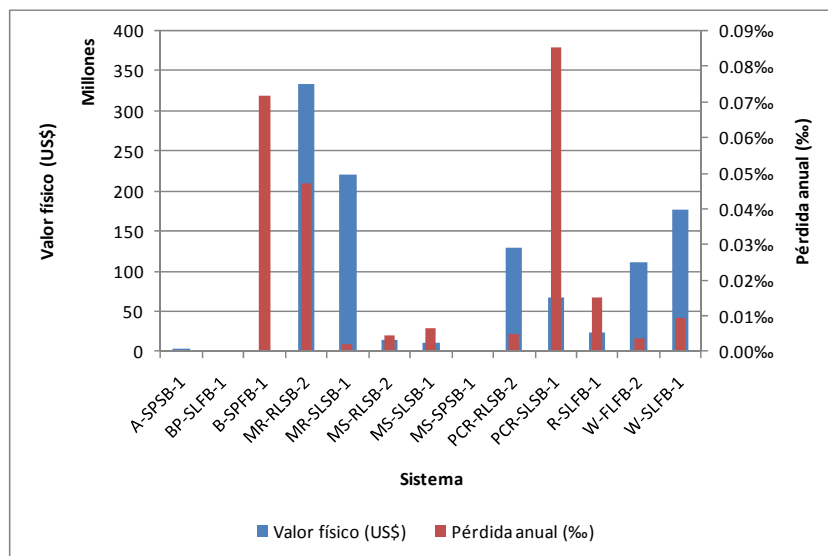


Figura 7-7
 Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

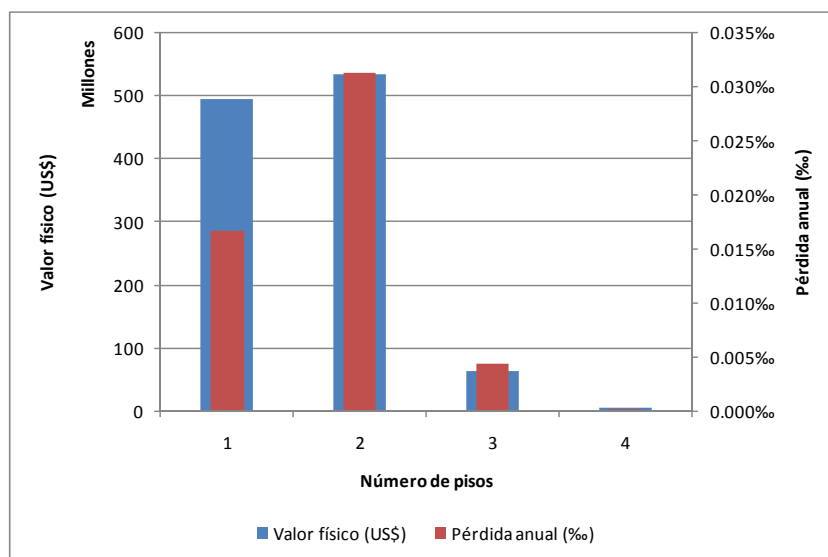


Figura 7-8
 Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

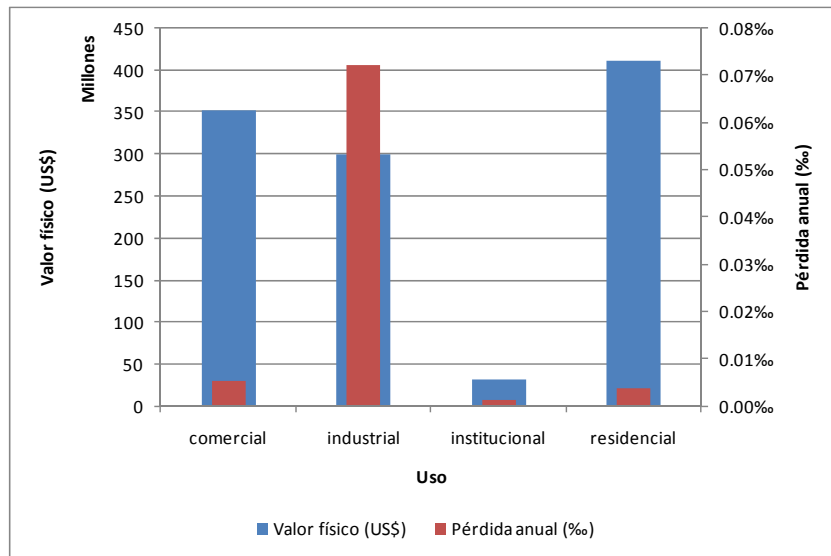


Figura 7-9

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

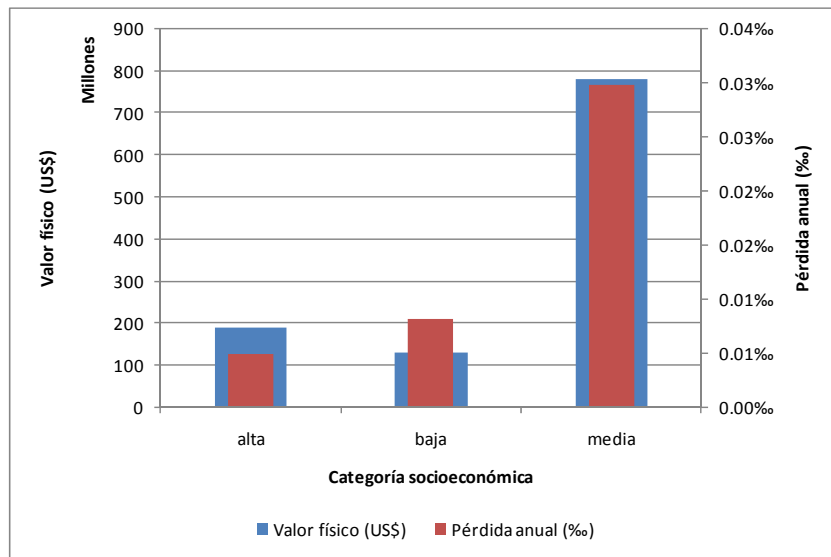


Figura 7-10

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica

7.1.3 Resultados para viento huracanado y marea de tormenta

Tabla 7-6
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	1,096.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	12.50
	‰	11.40‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
50	139.57	12.73%
100	180.56	16.47%
250	232.35	21.20%
500	275.52	25.14%
1,000	303.20	27.66%
1,500	320.03	29.20%

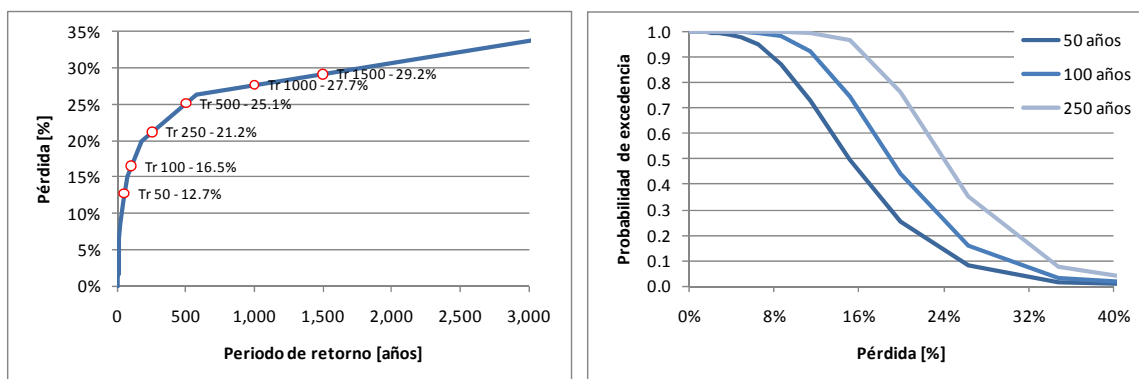


Figura 7-11
Resultados análisis

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

Tabla 7-7
Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%‰]
A-SPSB-1	3,319,212	0.3%	21,337	6.43‰
BP-SLFB-1	1,492,470	0.1%	30,673	20.55‰
B-SPFB-1	1,780,596	0.2%	26,328	14.79‰
MR-RLSB-2	333,906,352	30.5%	2,201,684	6.59‰
MR-SLSB-1	220,444,845	20.1%	2,847,054	12.92‰
MS-RLSB-2	14,681,285	1.3%	96,645	6.58‰
MS-SLSB-1	11,763,382	1.1%	155,143	13.19‰
MS-SPSB-1	1,251,522	0.1%	8,055	6.44‰
PCR-1RLSB-2	128,588,829	11.7%	854,726	6.65‰
PCR-SLSB-1	67,635,113	6.2%	947,833	14.01‰
R-SLFB-1	23,780,984	2.2%	495,146	20.82‰
W-FLFB-2	110,319,965	10.1%	1,145,818	10.39‰
W-SLFB-1	177,046,831	16.2%	3,667,868	20.72‰
TOTALES	1,096,011,386	100%	12,498,311	11.40‰

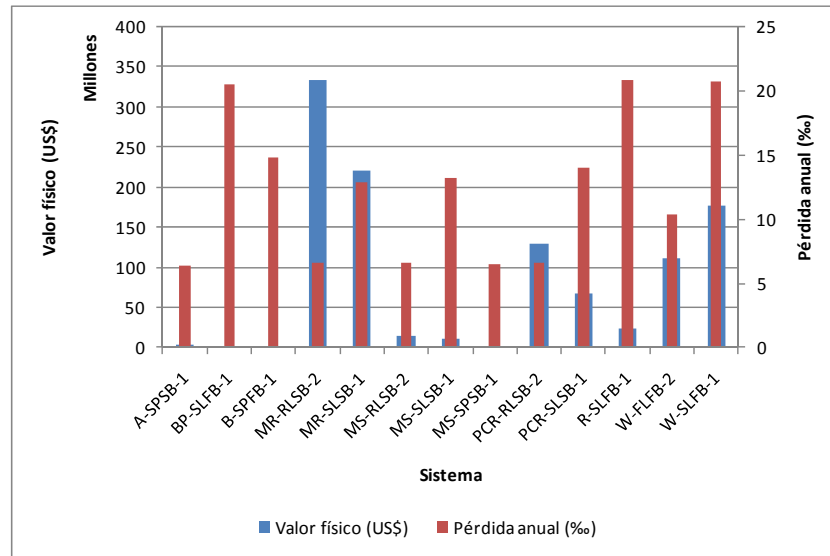


Figura 7-12

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

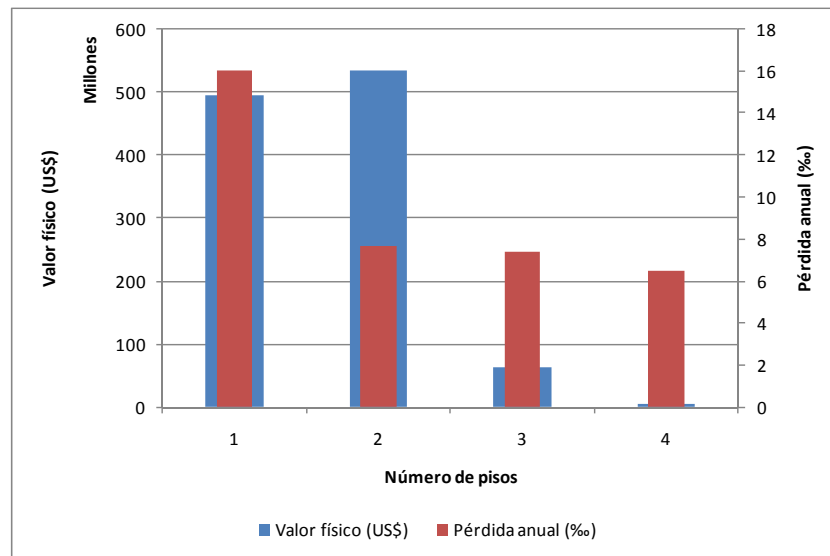


Figura 7-13

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

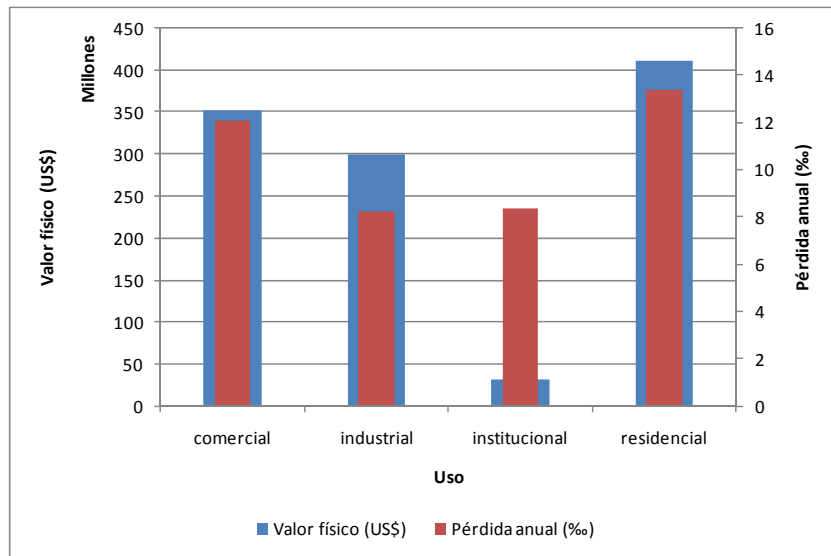


Figura 7-14

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

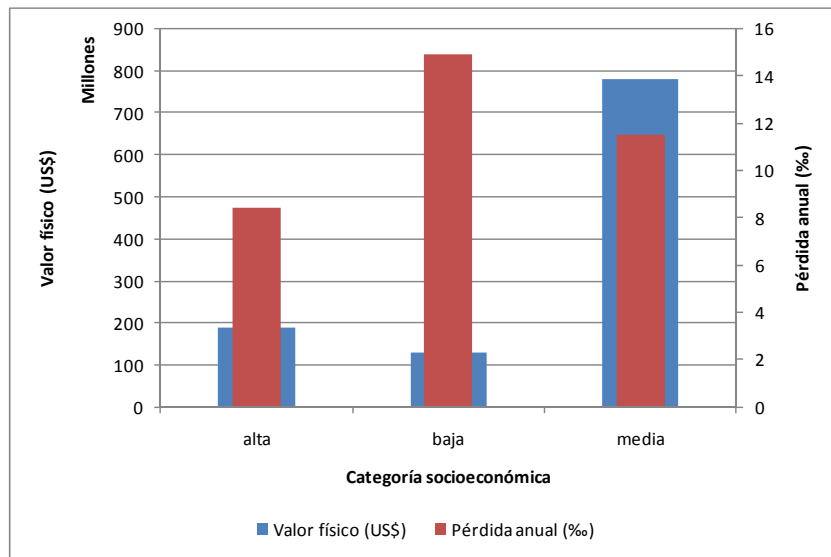


Figura 7-15

Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica

7.1.4 Resultados agrupados

A continuación se presentan los resultados para todas las temporalidades analizadas, en forma conjunta.

Tabla 7-8
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	1,096.01
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	13.78
	‰	12.57‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	233.64	21.32%
500	278.48	25.41%
1,000	305.00	27.83%
1,500	323.13	29.48%

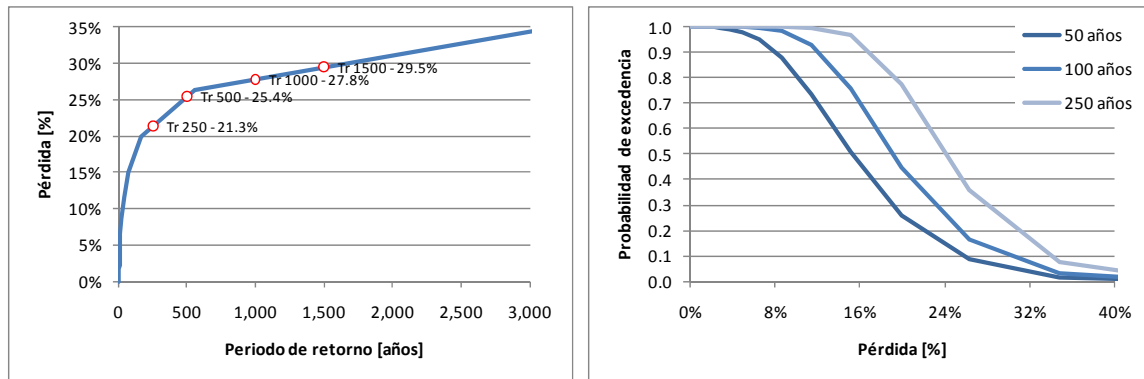


Figura 7-16

Resultados análisis

(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

7.1.5 Mapas de riesgo

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo. La Figura 7-17 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por terremoto. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 7-18 presentan los resultados equivalentes para tsunamis. Finalmente la Figura 7-19 presentan las figuras correspondientes a las pérdidas para viento huracanado y marea de tormenta.

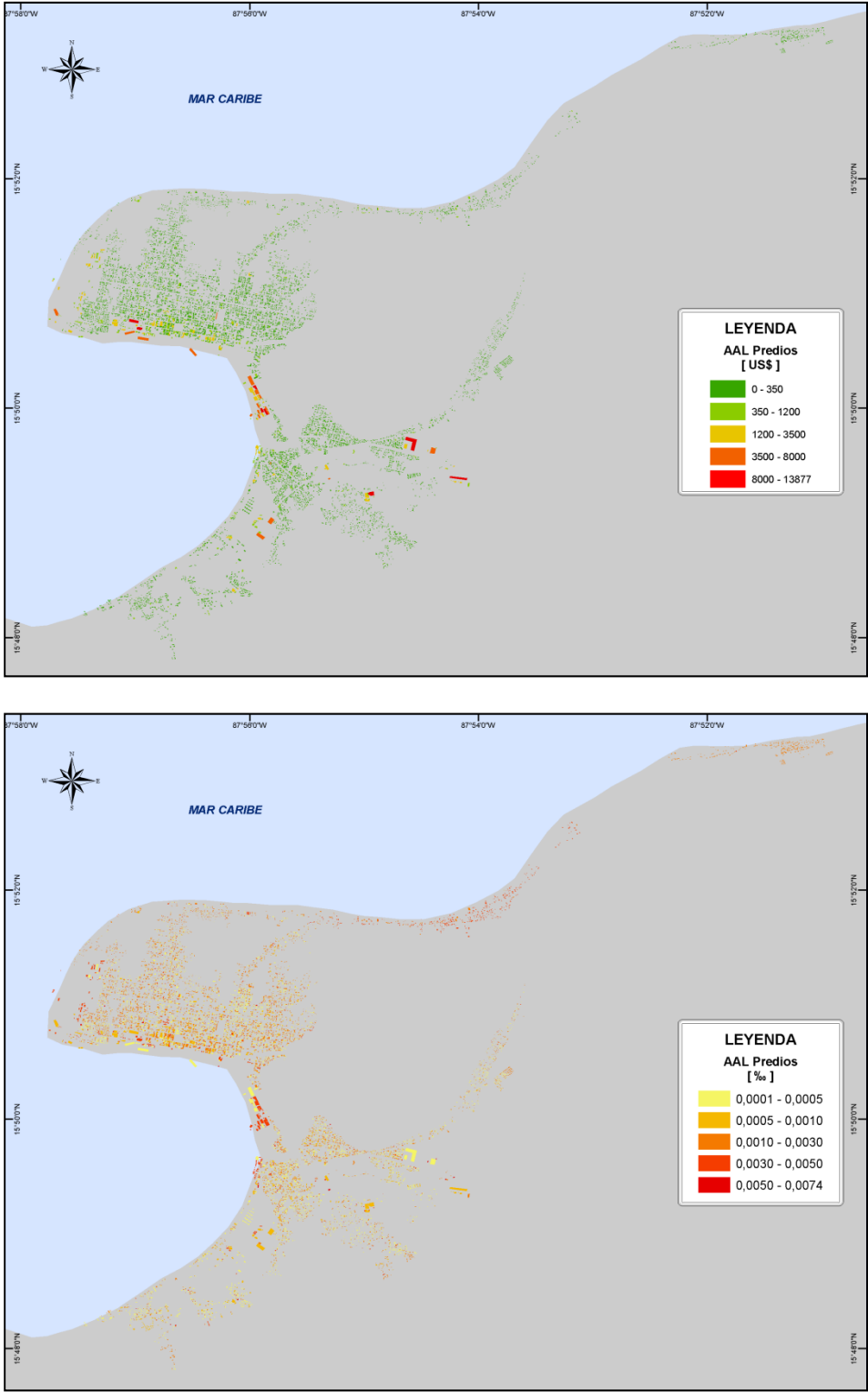


Figura 7-17
Pérdida anual esperada por predio para sismo
(Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

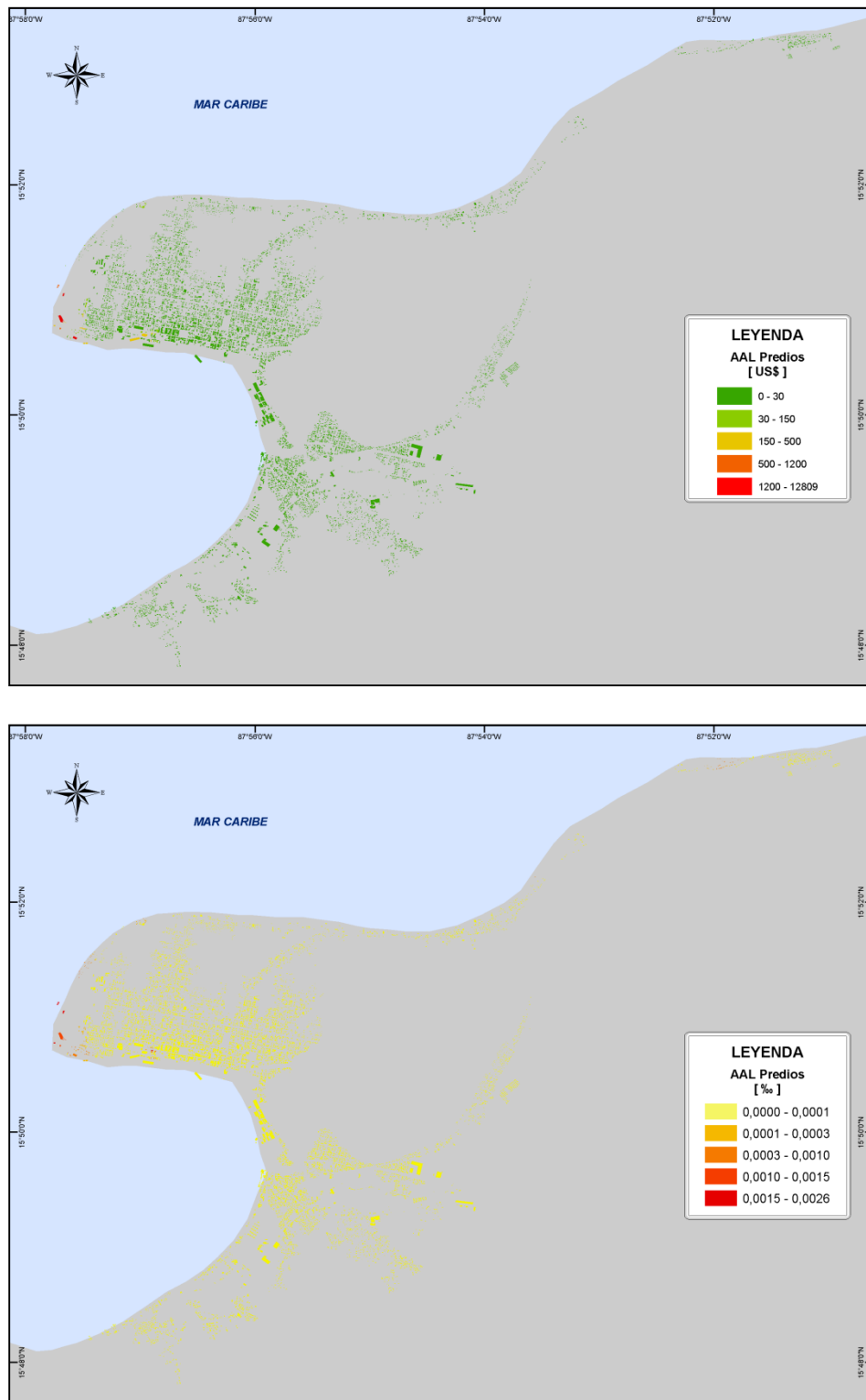


Figura 7-18
Pérdida anual esperada por predio para tsunami
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

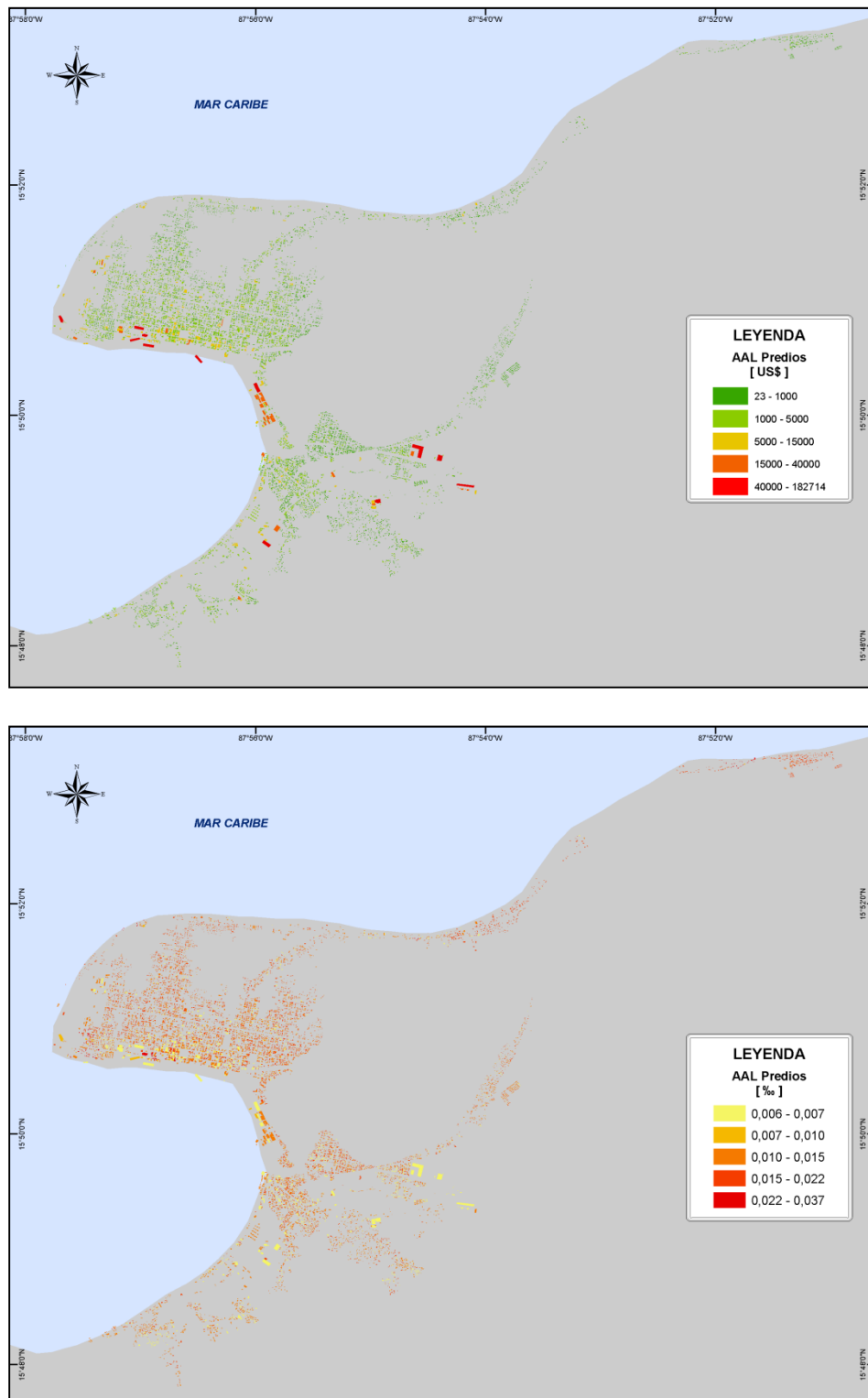


Figura 7-19
Pérdida anual esperada por predio para huracán
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

8 Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de riesgo por sismo, tsunami y huracán presentado para la ciudad de Puerto Cortés – Honduras debe verse como una plataforma inicial que permite la cuantificación y calificación del riesgo en la ciudad en cualquier instante de tiempo (según la mejor información disponible) y que debe servir de base para que mediante la complementación paulatina de la información se convierta en el corto plazo en una evaluación integral de riesgo para efectos de toma de decisiones.

La amenaza que controla el riesgo en el municipio es la asociada a eventos de huracán dada su ubicación sobre la costa atlántica. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 275'520.000, lo que equivale al 1.10% del PIB y al 25.1% del valor total expuesto del municipio; lo que es un valor considerable para una población que aunque tiene una importancia tanto comercial como histórica y turística no es catalogada como una cabecera principal.

La prima pura de riesgo global calculada para el municipio se considera alta (12.57%), presentando un gran aporte en pérdida por efecto del riesgo ante huracanes (prima pura de 11.4%), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones, especialmente a lo que se refiere a la presencia de cubiertas livianas.

La prima pura por sismo tiene un valor bajo (1.14%), en comparación a la calculada por huracán. No obstante, debe ser considerada dentro de la estrategia de gestión particular que adopte la ciudad, dado que aporta un componente importante de las pérdidas futuras. Esto se refleja en los valores obtenidos de PML, donde, para 1000 años de periodo de retorno, la pérdida esperada corresponde al 7.72% del total del valor expuesto.

En cuanto al riesgo por tsunami, la prima pura calculada (0.02%) indica que no constituye una amenaza de gran importancia, en términos de generación de pérdidas futuras, comparativamente con los huracanes y los terremotos. Sin embargo, las alturas máximas de la ola para los diferentes períodos de retorno son más elevadas que las que se han registrado en los eventos históricos, lo cual debe llamar la atención ante la posibilidad de que los nuevos eventos generen consecuencias importantes.

A continuación se dejan explícitas las limitaciones en la información utilizada para los análisis, lo cual debe servir de base para los planes de trabajos y estudios futuros por parte de la ciudad con miras a mejorar la calidad y confiabilidad de estos resultados preliminares presentados.

- (a) Información de amenaza sísmica y por tsunami: se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis. Es posible complementarla con consideraciones de efectos de sitio, especialmente en lo que se refiere a

licuación de suelos granulares finos. Complementariamente es importante mantener un catálogo sismológico actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.

- (b) Información de amenaza por viento huracanado: se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis. El costo y tiempo requerido para mejorar este tipo de información es muy alto y requiere sobre todo de la disponibilidad de más y mejor información. Resulta de la mayor importancia mantener el catálogo de eventos actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.
- (c) Información de amenaza por marea de tormenta: es susceptible de mejorar en forma significativa, especialmente lo relacionado con la batimetría detallada de la zona cercana a la costa y la topografía de detalle de la zona costera. También es muy importante mantener actualizado el catálogo de eventos pasados con la mayor cantidad de información relacionada con efectos, daños e impactos producidos.
- (d) Información de exposición: debe recurrirse a la base catastral de la población. El modelo utilizado en el presente análisis solo sirve con propósitos ilustrativos e indicativos de valores globales a esperar. Para efectos de resultados para toma de decisiones debe contarse con la base catastral de la ciudad y con índices oficiales de ocupación y costos. Alternativamente deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.
- (e) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan en el mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.
- (f) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones debe realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

Los resultados presentados anteriormente dependen directamente de la calidad y tipo de información suministrada al modelo. Entre más detallada y confiable sea la información, menor será la incertidumbre asociada a los resultados y por lo tanto el proceso de toma de decisiones podrá realizarse con mayor nivel de confianza.

En particular se hace especial énfasis en actualizar la información referente a:

- Inventario de construcciones expuestas incluyendo sus características principales.
- Valoración de activos, sus contenidos y posibles pérdidas consecuenciales.
- Identificación de tipos estructurales dominantes y distribución dentro de la ciudad.

- Categorización de tipos de contenidos, calificación y valoración.
- Calificación de la vulnerabilidad estructural y humana ante las diferentes fuentes de amenaza.
- Inventario, valoración y calificación de toda la infraestructura complementaria expuesta incluyendo vías, puentes, infraestructura de servicios públicos, instalaciones industriales importantes, plantas de generación de energía, aeropuertos y en general toda la infraestructura expuesta relevante del país.

Mediante una información más detallada especialmente de infraestructura expuesta el sistema CAPRA permitiría realizar las siguientes evaluaciones complementarias:

- (a) Identificación de infraestructura crítica para la ciudad en términos de peligrosidad, valor expuesto, ocupación humana y otros criterios. Esto con el fin de priorizar inversión pública en recuperación o modernización de elementos claves para el desarrollo.
- (b) Evaluación del riesgo por sectores incluyendo residencial, industrial, comercial, salud, educación, públicos y otros.
- (c) Requerimientos de reforzamiento de activos públicos, especialmente edificaciones indispensables y de atención a la comunidad.
- (d) Estimación del riesgo de activos privados para estratos bajos, medios y altos con fines de protección financiera y concientización del riesgo.
- (e) Análisis de vulnerabilidad y requerimiento de reforzamiento para mitigación de impactos de los sistemas de servicios públicos que puedan verse afectados por los fenómenos que se analizan.
- (f) Requerimientos especiales para los planes de ordenamiento territorial, definición de zonas de alto riesgo, restricciones susceptibles de inundación o deslizamiento, reubicación de vivienda so edificaciones indispensables y otras.

Finalmente, un análisis más detallado de la información que se presenta en este documento sirve de base para realizar una serie de análisis complementarios para efectos de los planes y preparativos de emergencia de la ciudad, incluyendo los siguientes:

- (a) Sector salud: requerimientos de atención médica para heridos, centros de atención de emergencia, ubicación, requerimientos de servicios públicos, personal médico, ambulancias, organización del tema de víctimas mortales.
- (b) Seguridad: requerimientos de seguridad en los instantes y días posteriores al evento en cuanto a organización de la fuerza pública. Posibilidad de problemas sociales por falta de alimentos o de servicios.

- (c) Atención de la emergencia: planeación de las diferentes acciones posteriores a la ocurrencia del desastre tales como reconocimiento, identificación y clausura de edificaciones afectadas, demoliciones, avisos a la población, cuadrillas de rescate, manejo de donaciones, suministros de alimentación, viviendas temporales, manejo de residuos, disponibilidad de maquinaria, etc.
- (d) Requerimientos de viviendas temporales, campamentos, comida, víveres, suministros, atención médica post-emergencia, etc. Problemática de la vivienda de interés social.
- (e) Problemática de personas sin empleo o lugar de trabajo según zonas, requerimientos inmediatos, afectación de la producción, efectos a largo plazo, medidas de mitigación de impactos.
- (f) Planes de contingencia para los diferentes sectores de servicios públicos y sociales incluyendo suministro de agua, energía, gas, transporte público, generación de energía, telecomunicaciones y otras.
- (g) Pérdidas económicas esperadas, efectos en el mediano y largo plazo en las finanzas públicas, necesidades de mecanismos de transferencia del riesgo, planes de aseguramiento, proyección hacia el futuro.

El análisis de riesgo con las herramientas indicadas se convierte por lo tanto en un elemento fundamental en la gestión integral del riesgo, factor clave para el desarrollo económico y social. El proceso exige la participación activa de entidades públicas, Universidades, sector privado y de la comunidad en general relacionada con esta temática.

9 Referencias

- Huracán Mitch. Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Mitch
- INE, Instituto Nacional de estadística. <http://www.ine-hn.org/>
- Honduras en cifras 2006-2008, Banco Central de Honduras, BCH.
- Municipalidad de Puerto Cortés, <http://www.ampuertocortes.com/>.
- Catastro municipal, <http://www.ampuertocortes.com/>.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Revisión de Eventos Históricos y Estudios de Amenaza Existentes. Informe ERN-CAPRA-T1-1. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelos de Evaluación de Amenazas. Informe ERN-CAPRA-T1-2. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1-3. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelo de Evaluación Probabilista del Riesgo. Informe ERN-CAPRA-T3-1. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T2-3. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.
- HAZUS MH MR3. Multi-hazard loss estimation methodology. FEMA. <http://www.fema.gov>
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para el cálculo probabilístico de riesgo CAPRA-GIS. 2010.