

CAPRA

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

GUATEMALA

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

INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2F
EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE EN
PUERTO BARRIOS





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

Consortio conformado por:

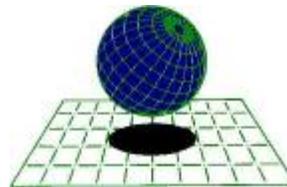
Colombia

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	6-2
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	7-4
7.1.3	Resultados para viento huracanado y marea de tormenta	7-7
7.1.4	Resultados agrupados.....	7-10
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 BARRIOS.....	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S ²] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	3-3
FIGURA 3-2 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN PUERTO BARRIOS PARA LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO	3-4
FIGURA 4-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA POR TSUNAMI, ALTURA DE OLA EN MTS	4-2
FIGURA 4-2 CURVA DE AMENAZA POR TSUNAMI EN PUERTO BARRIOS PARA ALTURA DE OLA EN METROS	4-3
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 HURACÁN EN PUERTO BARRIOS PARA VELOCIDAD DEL VIENTO EN 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 BARRIOS PARA ALTURA DE OLA EN METROS.....	5-5
FIGURA 6-1 MAPA DE PREDIOS DE PUERTO BARRIOS	6-1
FIGURA 6-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-3
FIGURA 6-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES....	6-3
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS ...	6-4
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	6-4
FIGURA 6-6 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA SISMO	6-5
FIGURA 6-7 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO	6-6
FIGURA 6-8 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA INUNDACIÓN	6-6
FIGURA 6-9 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR SISMO EMPLEADAS	6-7
FIGURA 6-10 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EMPLEADAS	6-7
FIGURA 6-11 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO HURACANADO EMPLEADAS.....	6-8
FIGURA 7-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-2
FIGURA 7-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-2
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	7-3
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.....	7-5
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	7-6
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.....	7-8
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 ...	7-9
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.....	6-2
TABLA 6-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-2
TABLA 6-3 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS	6-4
TABLA 6-4 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS	6-5
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	7-4
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-5
.....	7-5
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES	7-7
TABLA 7-7 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-8
.....	7-8
TABLA 7-8 RESULTADOS GENERALES	7-10

1 Introducción

Puerto Barrios, capital del departamento de Izabal es la población más grande de Guatemala sobre el Mar Caribe. La ciudad tiene una población de 55,700 habitantes y el municipio cuenta con una población rural de 37,200 habitantes según el censo del 2002. Se encuentra localizado sobre la Costa Atlántica a 240 kilómetros en dirección nororiental de la capital del país y tiene una extensión de 1,292 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 alrededor de 8,100 edificaciones, en su mayoría de 1 y 2 pisos construidas en madera y en mampostería simple principalmente.



Figura 1-1
Localización geográfica de Puerto Barrios

La actividad principal del municipio es la portuaria por lo que cuenta con una población de actividad comercial importante dentro del contexto nacional; dicha actividad se deriva principalmente del comercio relacionado con la importación, exportación y comercio de productos. El puerto cuenta con facilidades para recibir embarcaciones grandes lo cual ha permitido que la población recientemente se haya convertido además en una localidad con alto turismo debido al arribo de cruceros provenientes de Norteamérica y Europa principalmente.

Guatemala 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.

Varios huracanes han afectado el municipio de Puerto Barrios; durante el 27 de octubre y el 1 de noviembre de 1961 el huracán Hattie-Simone de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson transitó sobre Belice, Honduras y Guatemala causando considerables destrozos 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 Guatemala generando inundaciones y deslizamientos en diferentes puntos del país.

En la historia reciente de Guatemala se registran varios sismos que han ocasionado situaciones devastadoras para la infraestructura del municipio. El 4 de febrero de 1976, un sismo de magnitud 7.5 sacudió el territorio guatemalteco, posicionándose como el que mayor afectación y destrucción generó en el siglo XX en el país. La gran mayoría de daños ocurrieron en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

Algunos tsunamis han impactado las costas de Guatemala en ocasiones anteriores, siendo el más devastador el ocurrido el 26 de febrero de 1902 que dejó como resultado 85 fallecidos sobre el flanco del Océano Pacífico. Sobre la Costa Atlántica vale la pena resaltar el evento del 2 de abril de 1976 que alcanzó a generar olas de 45 centímetros en las playas de Puerto Barrios.

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 Barrios 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 por huracán, sismo y tsunami de Puerto Barrios – Guatemala se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-6 (Metodología de Análisis de Riesgos y sus Aplicaciones, ERN 2009), y en el sitio www.ecapra.org.

La metodología para la evaluación del riesgo por huracán, sismo y tsunami de Puerto Barrios 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 viento e inundación por marea de tormenta: éstas se evalúan mediante un análisis probabilista, 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, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

El territorio de Guatemala se encuentra ubicado en la convergencia de tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos. Los principales rasgos topográficos del país han sido determinados por el movimiento relativo de dichas placas, derivando así mismo en alta actividad sísmica y volcánica. La interacción entre las placas Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente en territorio guatemalteco, con manifestación a nivel de superficie delimitada principalmente por los sistemas de falla Chixoy-Polochic y Motagua. En la costa pacífica, la interacción entre la placa Cocos y Caribe es de tipo convergente (zona de subducción). Los sistemas transcurrentes como Chixoy-Polochic y Motagua son capaces de generar terremotos de magnitud superior a 7, a profundidades relativamente bajas (e.g. terremoto de Guatemala de 1976). Por otra parte, la subducción es capaz de generar eventos sísmicos de muy alta magnitud (8+), a profundidades que son variables a medida que se adentra en el continente, siendo más probable la generación de un sismo relativamente superficial en cercanías a la costa Pacífica. Así mismo la actividad tectónica de la región ha generado deformaciones al interior de las placas Norteamérica y Caribe, produciendo sistemas secundarios de falla como Jalpatagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, entre otros.

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 Barrios, 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

El 4 de febrero de 1976, un sismo de magnitud 7.5 sacudió el territorio guatemalteco siendo el que mayor afectación y destrucción generó en el siglo XX en el país. Aunque la gran mayoría de daños ocurrió en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas, el muelle de Puerto Barrios fue destruido quedando por fuera de servicio y golpeando de una fuerte forma la actividad económica de la región.

El 28 de mayo de 2009 ocurrió un sismo de magnitud 7.1 con epicentro en el Mar Caribe (Honduras). Se presentó afectación en algunas edificaciones de Puerto Barrios, principalmente por efectos de sitio relacionados con la licuación de suelos granulares. En la Tabla 3-1 se presentan los principales sismos que han afectado el territorio guatemalteco.

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

Año	Fecha	Epicentro	Magnitud (Intensidad)	Consecuencias
1765	24 OCT	Ostuncalco	(VII)	Evento asociado a la subducción, destrucción, grietas y deslizamientos. Sin pérdidas de vidas humanas.
1773	29 JUL	Antigua	(VII)	Evento asociado a la subducción, daño severo en Antigua y Chimaltenango
1816	22 JUL	Alta Verapaz	(VII)	Iglesias y casas destruidas en Verapaz; deslizamientos. 23 muertos y 57 heridos.
1913	8 MAR	Cuilapa	5.0	Evento asociado a la subducción, destrucción, grietas y deslizamientos. Sin pérdidas de vidas humanas.
1917	26 DIC	Ciudad de Guatemala	(VIII)	Destrucción de la capital tras haberse sentido una serie de premonitorios y posteriores réplicas. Se reportaron 250 personas fallecidas.
1942	6 AGO	San José	7.9	Extensos daños materiales en las poblaciones de Villa Nueva y San Pedro.
1976	4 FEB	Motagua	7.5	Destrucción de Ciudad de Guatemala debido a una ruptura a lo largo de la falla Motagua. Desplazamientos laterales de hasta 3 m. Se reportaron más de 25 000 muertos y 75 000 heridos.
1985	11 OCT	Uspantán	5.0	Evento con una magnitud considerablemente baja pero que destruyó más del 80% de la ciudad de Uspantán.
1988	3 NOV	San Vicente Pacaya	6.0	Tras el evento se reportó el fallecimiento de 5 personas.
1991	18 SEP	San Miguel Pochuta	5.3	El sismo destruyó el 80% de la población de San Miguel Pochuta.
1993	10 SEP	San Marcos	7.2	Daños de considerable magnitud a lo largo de la costa pacífica de Guatemala. Se reportó un fallecido como consecuencia del evento asociado a la zona de subducción.
1995	19 DIC	Tucurú	5.3	Daños en edificaciones y deslizamientos en la población de Tucurú. Se sintió en la capital de la ciudad. Se reportó una persona fallecida.
1998	10 ENE	Zona de subducción	5.8	Edificios afectados en los departamentos de San Marcos y Quezaltenango. Adicionalmente se reportó la destrucción de casas en el departamento de Sololá.
1998	2 MAR	Zona de subducción	5.6	Sismos asociados a la zona de subducción que fueron fuertemente sentidos en las poblaciones de Retalhleu y Suchitepéquez.
1999	11 JUL	Golfo de Honduras	6.7	El evento localizado en la frontera con Honduras causó daños considerables en las poblaciones localizadas sobre las costas de ambos países. El movimiento está asociado con la falla Motagua.
2009	3 MAY	Patzún	6.2	El evento sacudió las zonas sur y centro del país sin dejar daños considerables a nivel económico ni pérdidas de vidas al ser relativamente profundo.
2010	23 FEB	San Mateo Ixtatán	5.6	El evento fue localizado en la zona noroccidental del país cercano a la frontera con México. A pesar de su baja profundidad no generó daños de consideración ni pérdidas de vidas.

3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza sísmica para Guatemala 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.

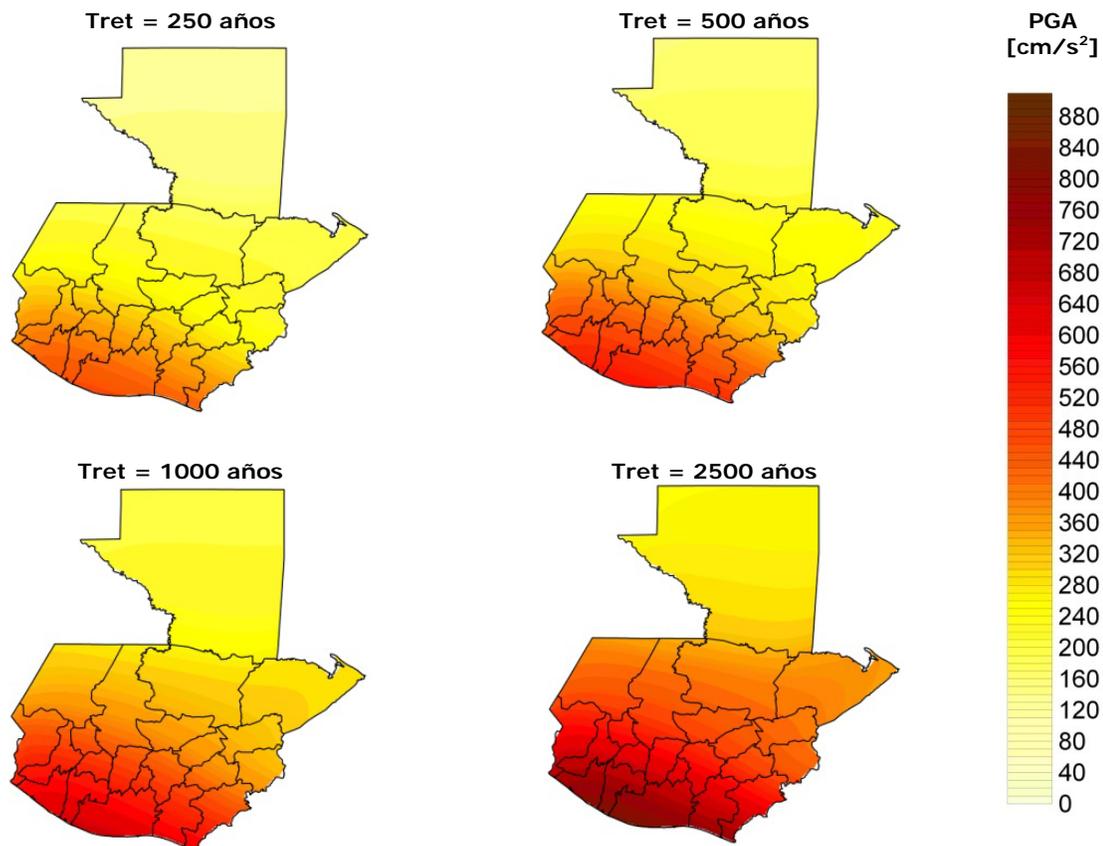


Figura 3-1

Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s²] para diferentes períodos de retorno

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

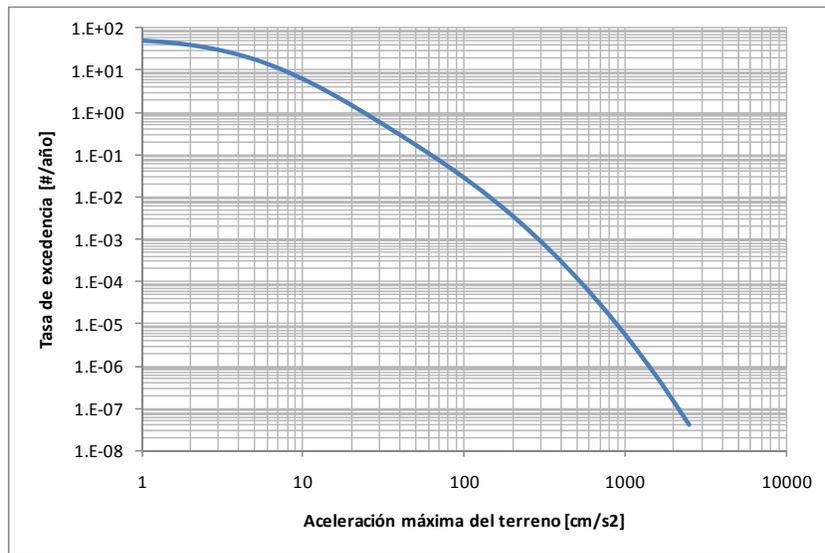


Figura 3-2

Curva de amenaza sísmica en Puerto Barrios 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, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

4.1 Eventos Históricos

Varios tsunamis han impactado las costas de Guatemala en años anteriores. El más devastador fue el ocurrido el 26 de febrero de 1902 que dejó como resultado 85 fallecidos. La Tabla 4-1 presenta los principales eventos de tsunami que han afectado la región. Sobre la Costa Atlántica vale la pena resaltar el evento del 2 de abril de 1976 que alcanzó a generar olas de 45 centímetros en las playas de Puerto Barrios.

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, ERN2010), así como en el sitio Wiki de CAPRA www.ecapra.org.

4.3 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 741 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 4-1 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.

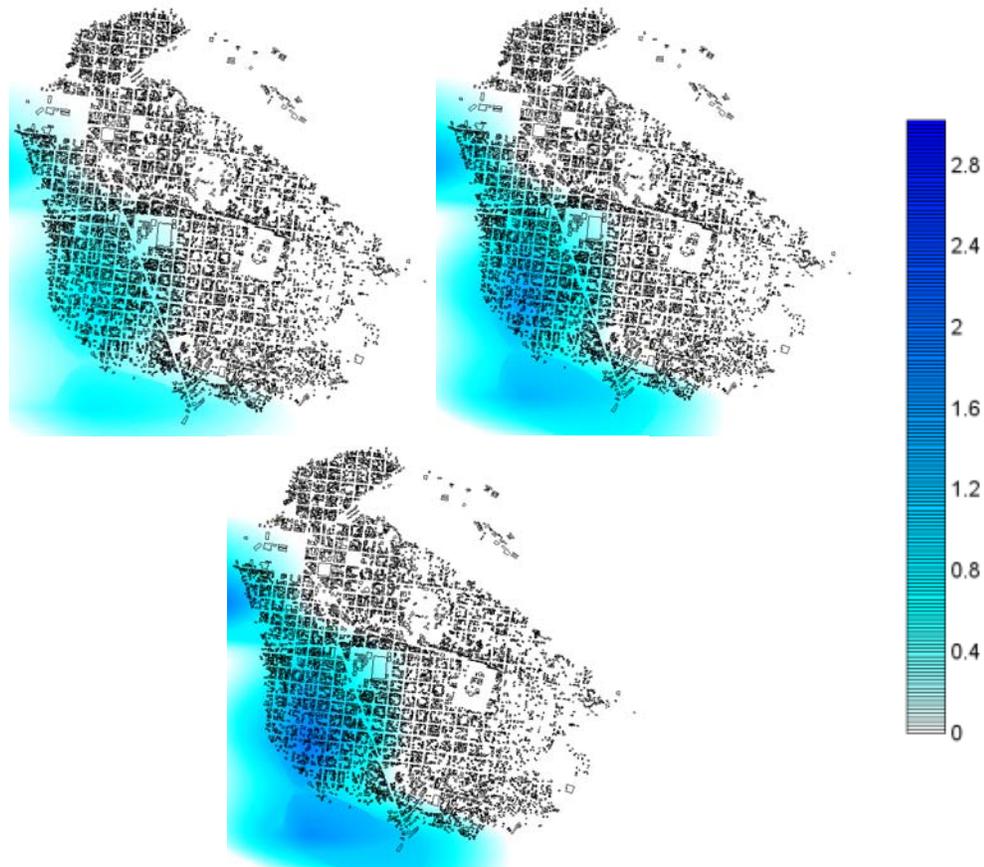


Figura 4-1

*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.

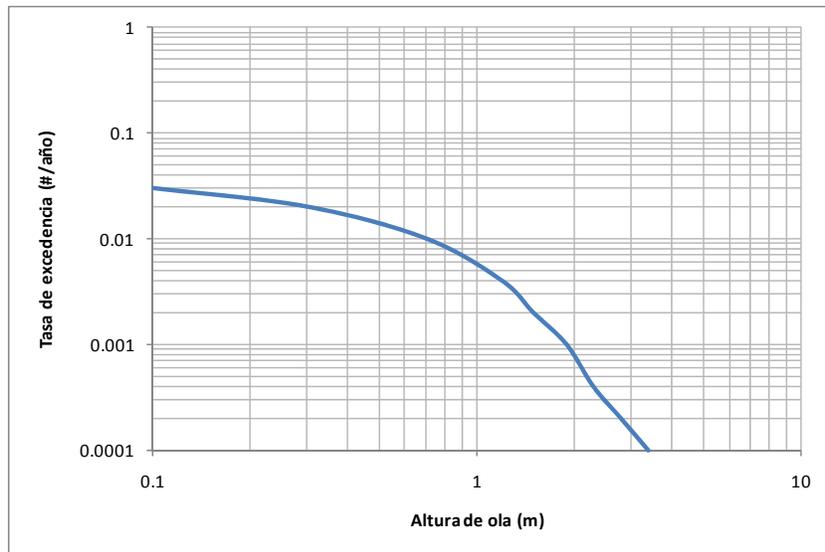


Figura 4-2

Curva de amenaza por tsunami en Puerto Barrios 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, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1-2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010). 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 dólares. Posteriormente en 2005 el huracán Stan afectó la mayoría del territorio nacional de Guatemala 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 dólares. 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, lo que permite considerar 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-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010) 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, ERN2010) 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.

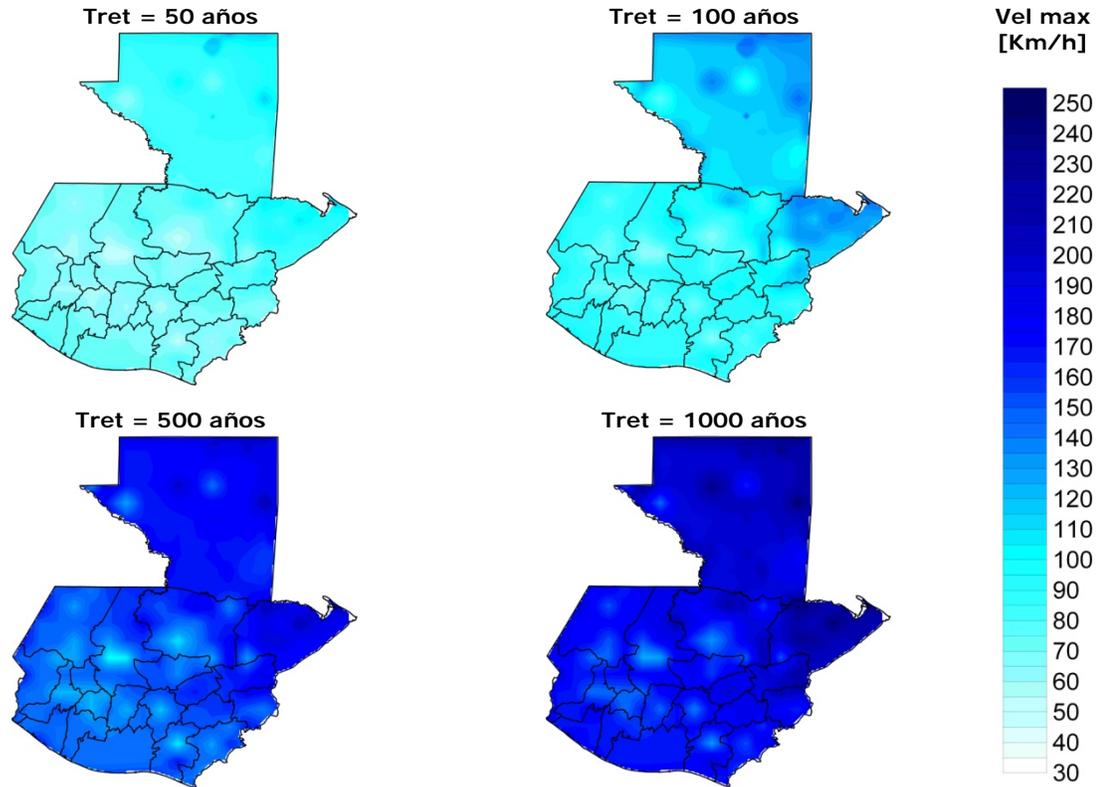


Figura 5-1

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.

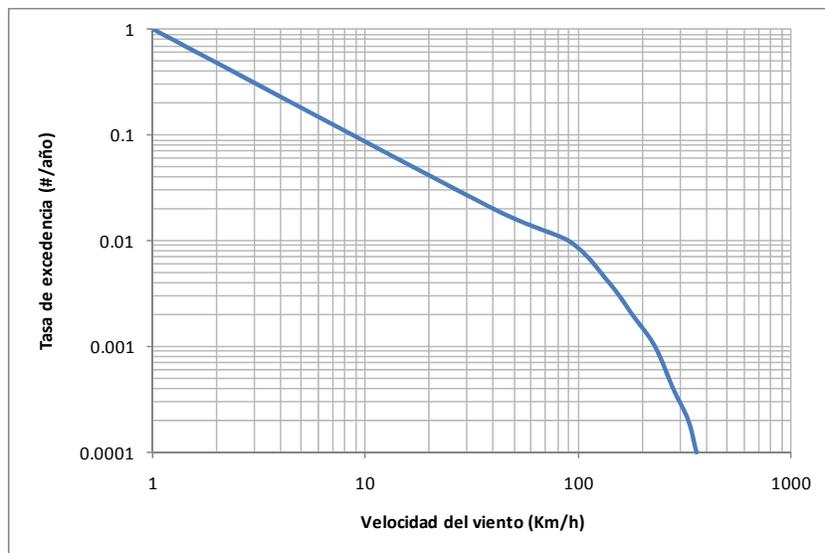


Figura 5-2

Curva de amenaza por huracán en Puerto Barrios para velocidad del viento en Km/h

La Figura 5-3 presenta los mapas de amenaza por huracán, en términos de la profundidad de inundación por marea de tormenta en la ciudad de Puerto Barrios, para diferentes períodos de retorno. Por otra parte la Figura 5-4 presenta la curva de amenaza por marea de tormenta para un punto representativo de la ciudad.

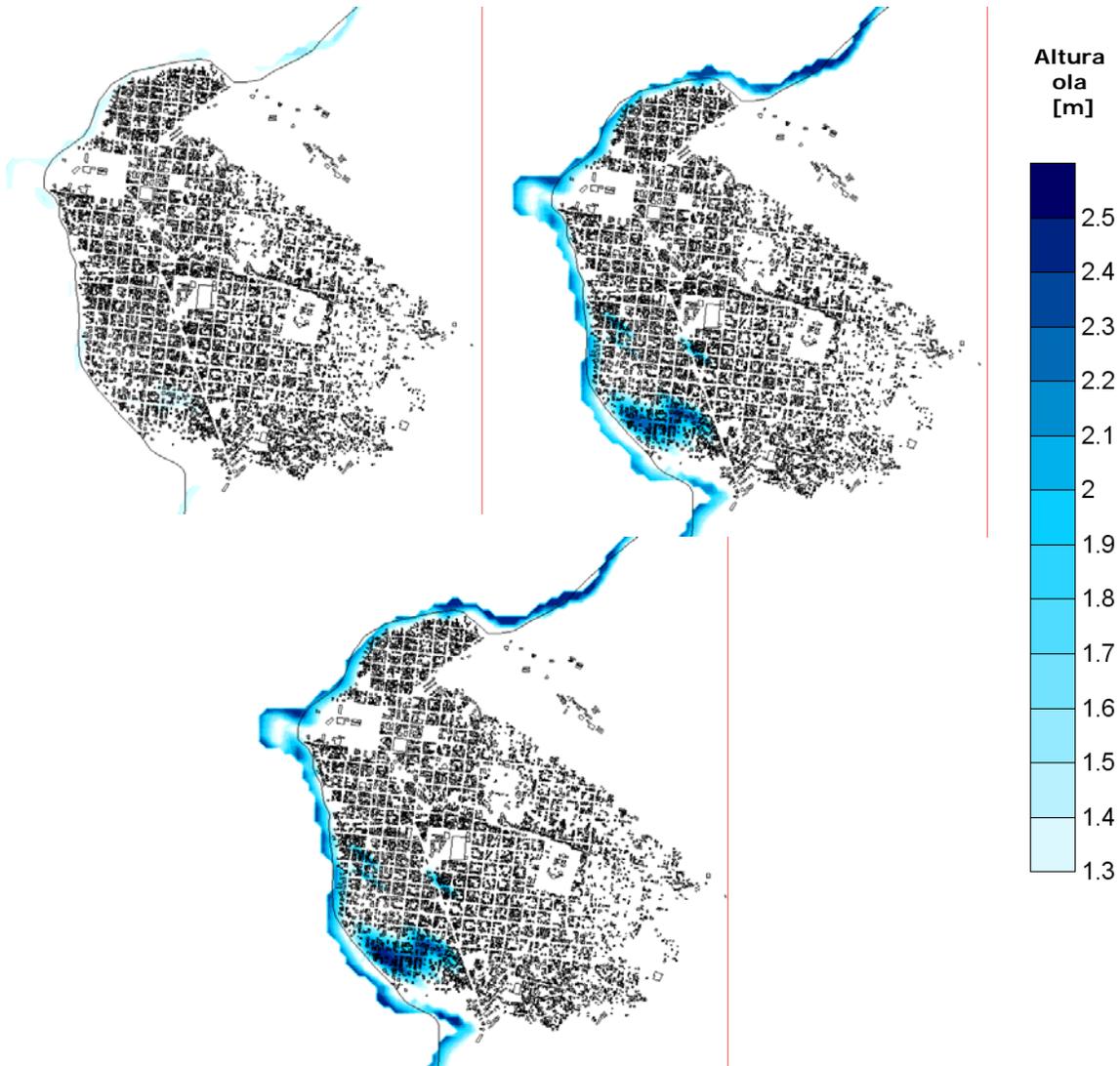


Figura 5-3

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)

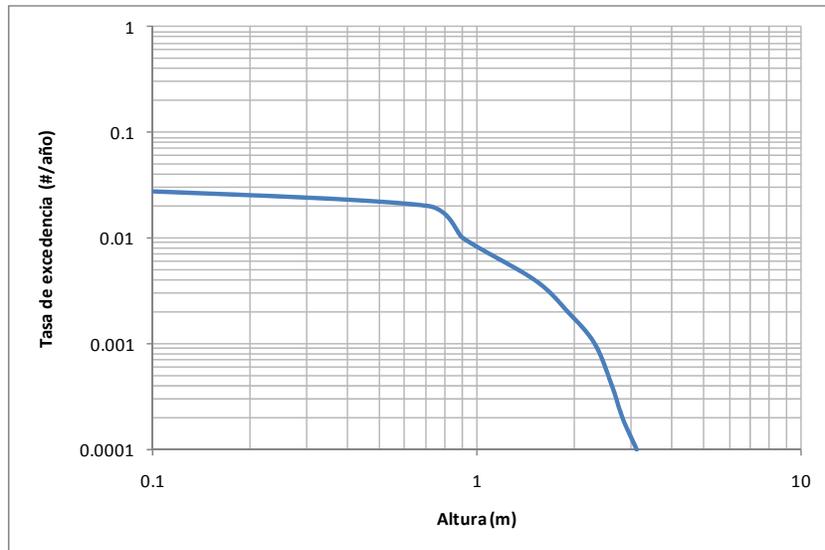


Figura 5-4

Curva de amenaza por marea de tormenta en Puerto Barrios para altura de ola en metros

6 Inventario de elementos expuestos

6.1 Levantamiento de la información básica

Para el municipio de Puerto Barrios no se cuenta con un censo poblacional que relacione el número actual de personas, su distribución o actividad económica. Tampoco se cuenta con una base de datos catastral, ni de información relacionada con sistemas constructivos, áreas de construcción, valores expuestos, fecha de construcción y otros datos que resultan de utilidad en la determinación de la exposición económica, humana y de la vulnerabilidad.

Debido a lo anterior se procedió a conformar la base de datos de exposición de edificaciones con base en 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 Barrios.



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

6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición del municipio de Puerto Barrios, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asignan mediante la interpretación de imágenes de satélite y fotografías de la zona, y 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	55,340
Área total de terreno urbano	km ²	8.38
Densidad de población	Hab/km ²	6,603
No. total de Edificaciones		8,077
Área de construcción	m ²	1545 x10 ³
Densidad construcción urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.18
Valoración total de construcciones	US\$ millones	617
Valor promedio/m ² construido	US\$/m ²	400

A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones. La Tabla 6-2, la Figura 6-2 y la Figura 6-3 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, ERN2010).

Tabla 6-2
Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales

Sistema	Código	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Mampostería Simple 2 pisos	MS-FLSB-2	485	80.10	4,339
Mampostería Simple 1 piso	MS-SLSB-1	1,169	61.19	8,108
Concreto	PCR-RLSB-2	118	45.18	1,270
Madera 2 pisos	W-FLFB-2	2,181	183.97	14,785
Madera 1 piso	W-SLFB-1	4,124	247.20	26,838
Total		8,077	617.63	55,340

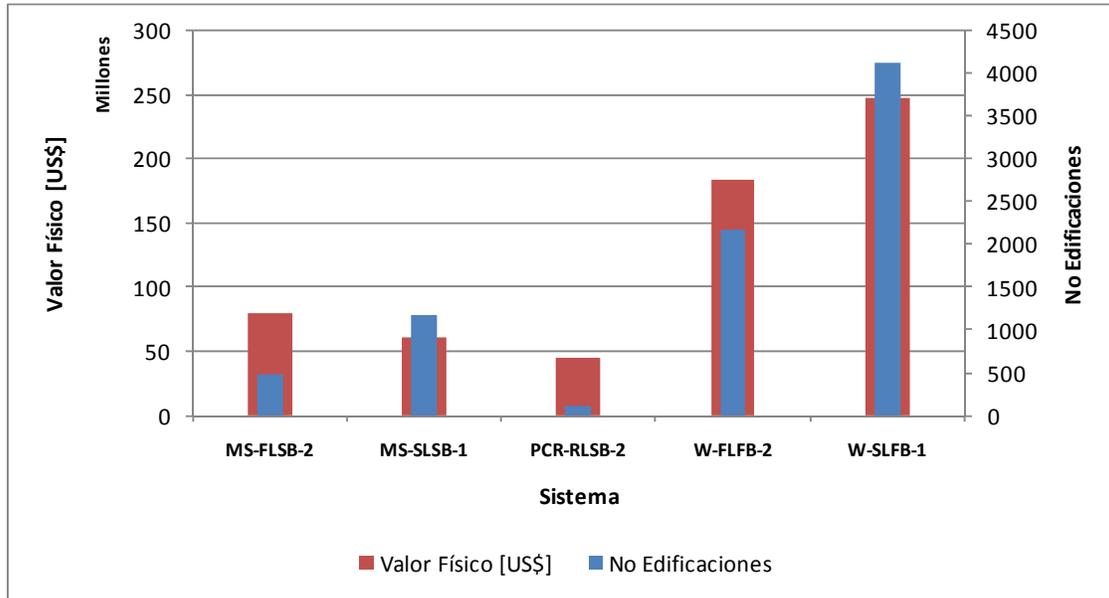


Figura 6-2

Distribución de valores expuestos y número de edificaciones por sistemas estructurales

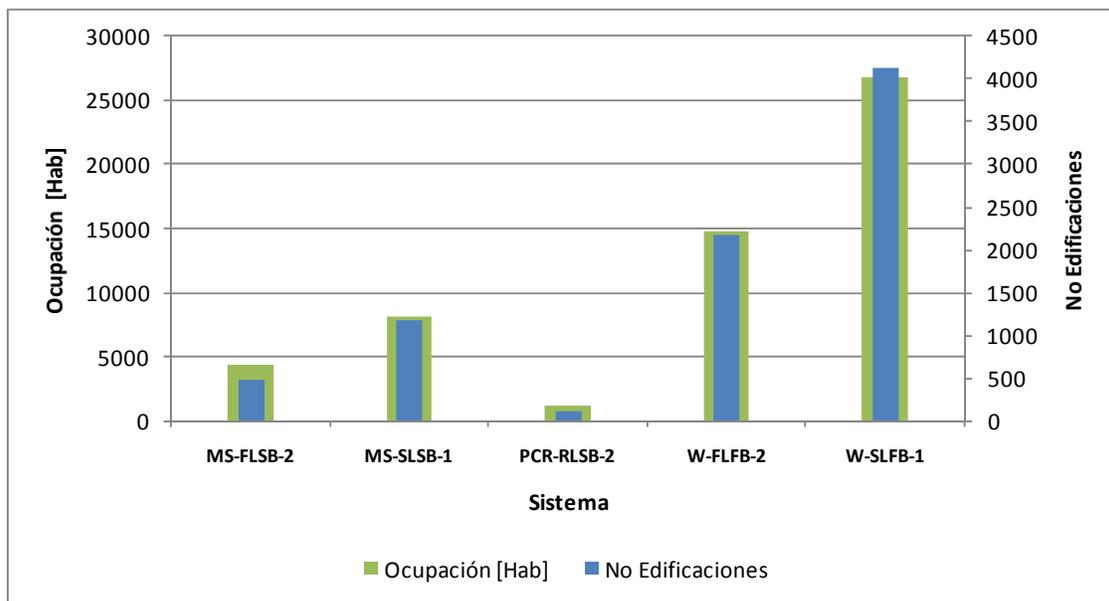


Figura 6-3

Distribución de ocupación y número de edificaciones por sistemas estructurales

Por otra parte, la Tabla 6-3, la Figura 6-4 y Figura 6-5 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	6,680	313.41	33,339
2	1,362	273.63	20,969
3	32	28.36	901
4	1	1.45	50
5	2	780.85	81
Total	8,077	617.63	55,340

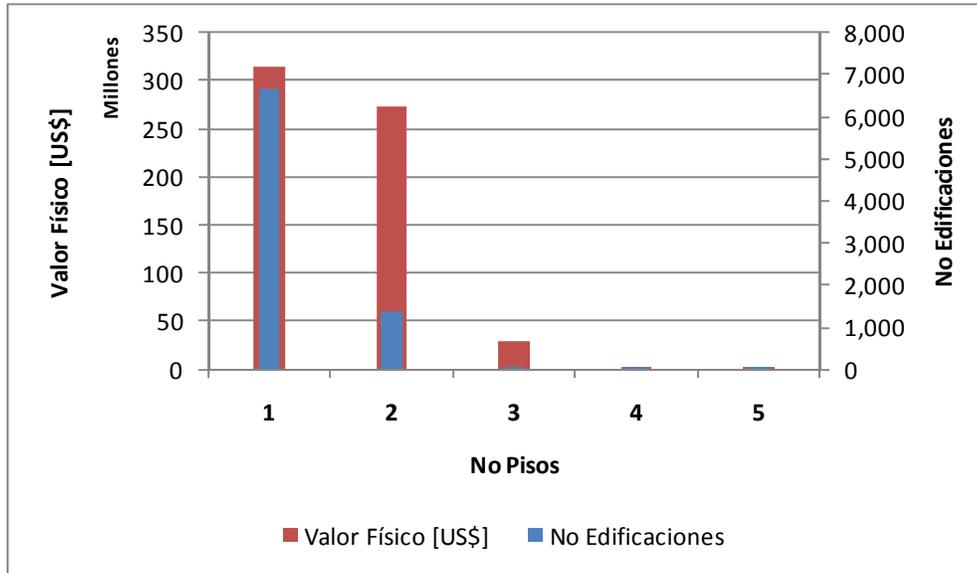


Figura 6-4

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

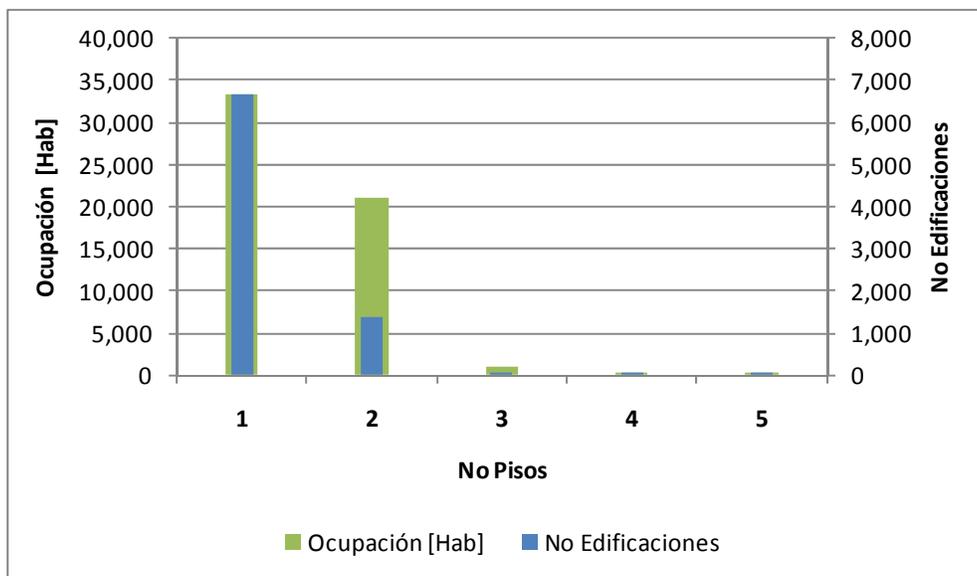


Figura 6-5

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 Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [US\$]	Ocupación [Hab]
Madera							
Madera1	W-SLFB-1	V_LF1	I_W1	1	4,124	247,198,777	26,838
Madera2+	W-FLFB-2	V_LF2	I_W2	2	2,181	183,966,126	14,785
Mampostería Simple							
MSimple1	MS-SLSB-1	V_LS1	I_M1	1	1,169	61,193,808	8,108
MSimple2+	MS-FLFB-2	V_LS2	I_M2	2	485	80,097,750	4,339
Concreto							
PCr2	PCR-RLSB-2	V_LS2	I_C2	2	118	45,176,780	1,270
Total					8,077	617,633,241	54,340

Las Figura 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.

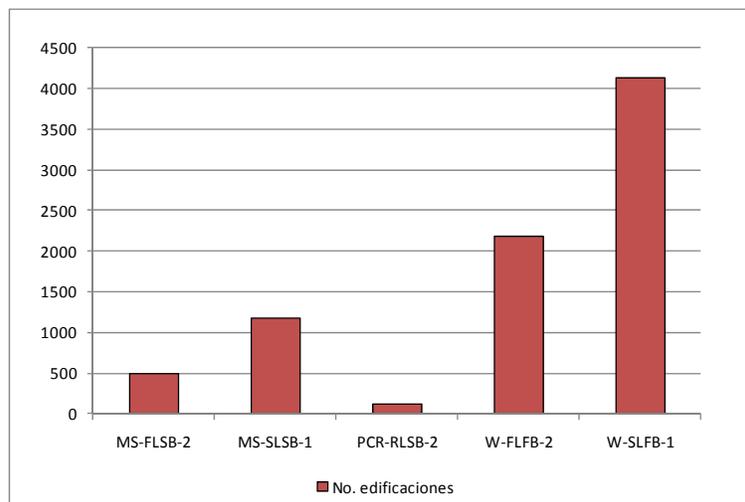


Figura 6-6
Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para sismo

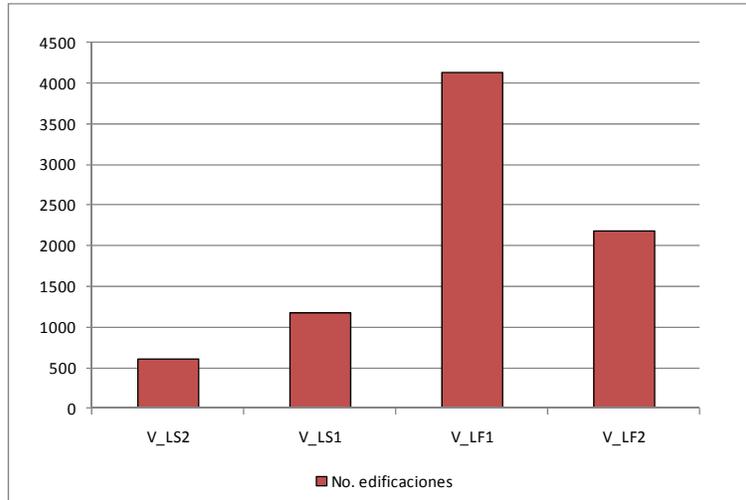


Figura 6-7

Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para viento

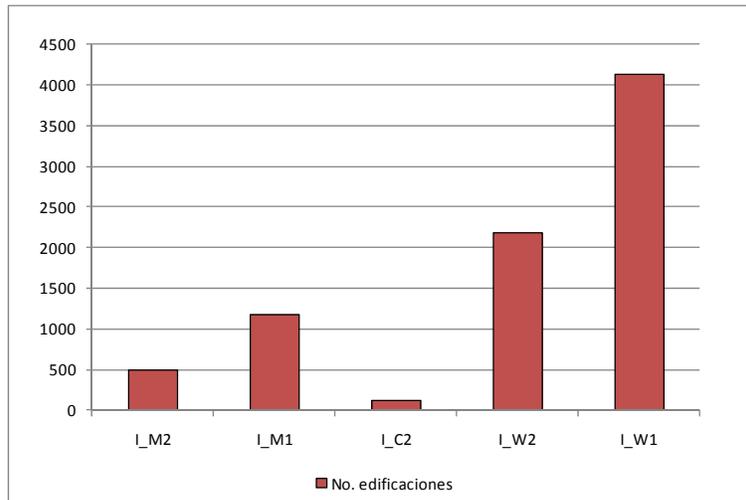


Figura 6-8

Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para inundación

Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 6-9, la Figura 6-10 y en la Figura 6-11.

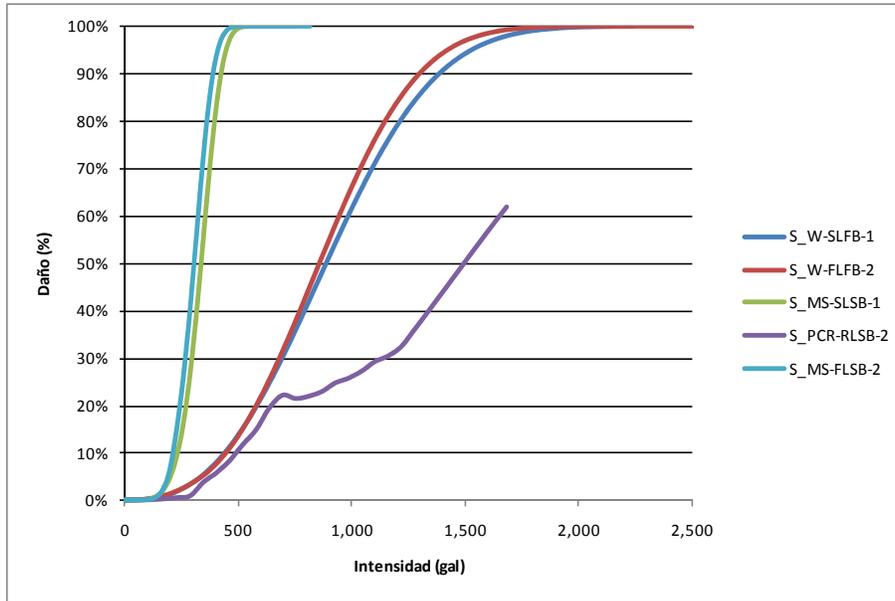


Figura 6-9
Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas

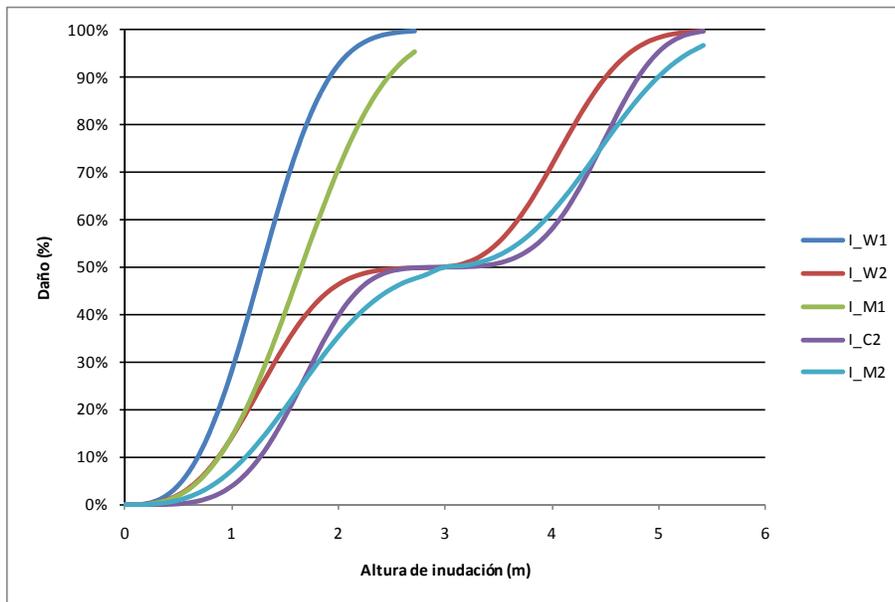


Figura 6-10
Curvas de vulnerabilidad por inundación empleadas

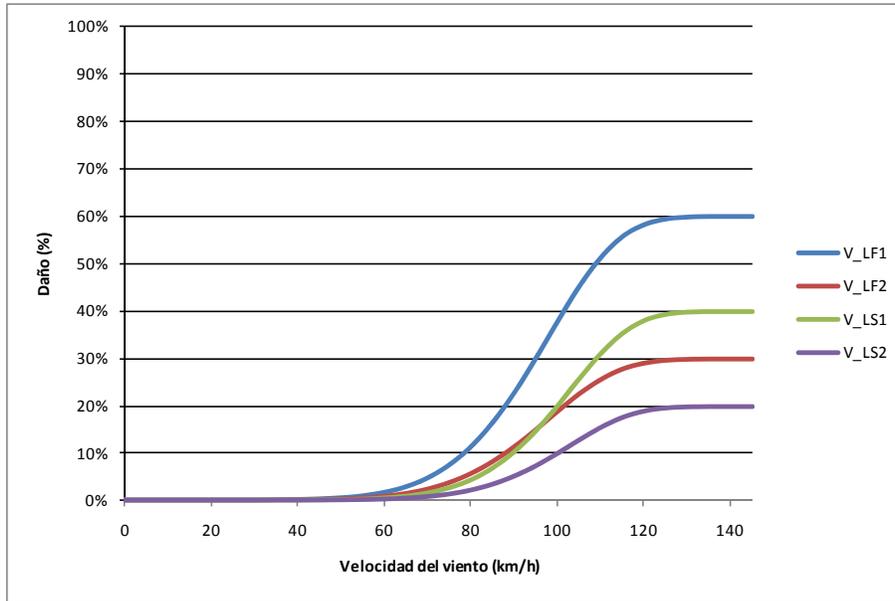


Figura 6-11
Curvas de vulnerabilidad por viento huracanado empleadas

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 de tormenta			

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por las diferentes temporalidades para Puerto Barrios. 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	617.63
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	0.73
	‰	1.18‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	37.34	6.05%
500	54.76	8.87%
1,000	74.63	12.08%
1,500	88.15	14.27%

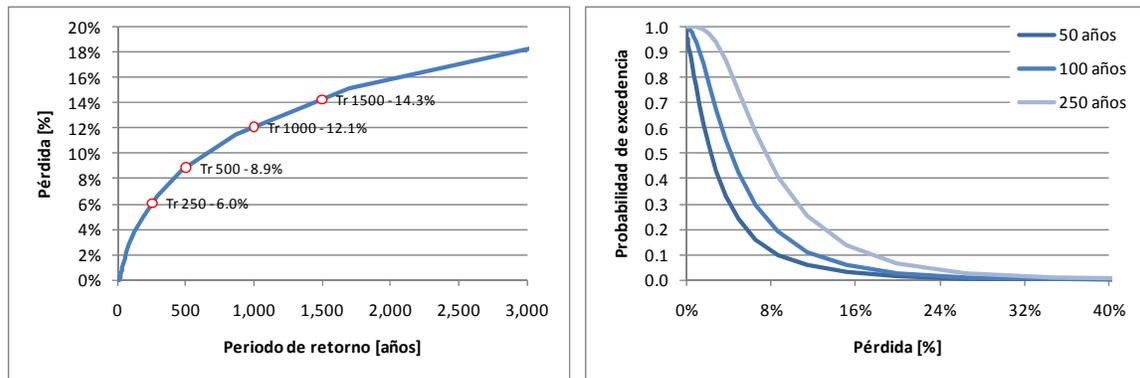


Figura 7-1

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\$]	[‰]
W-FLFB-2	183,966,126	29.8%	87,707	0.47‰
W-SLFB-1	247,198,777	40.0%	178,517	0.72‰
MS-FLSB-2	80,097,750	13.0%	374,779	4.67‰
MS-SLSB-1	61,193,808	9.9%	70,915	1.15‰
PCR-RLSB-2	45,176,780	7.3%	14,186	0.31‰
Totales	617,633,241	100%	726,107	1.17‰

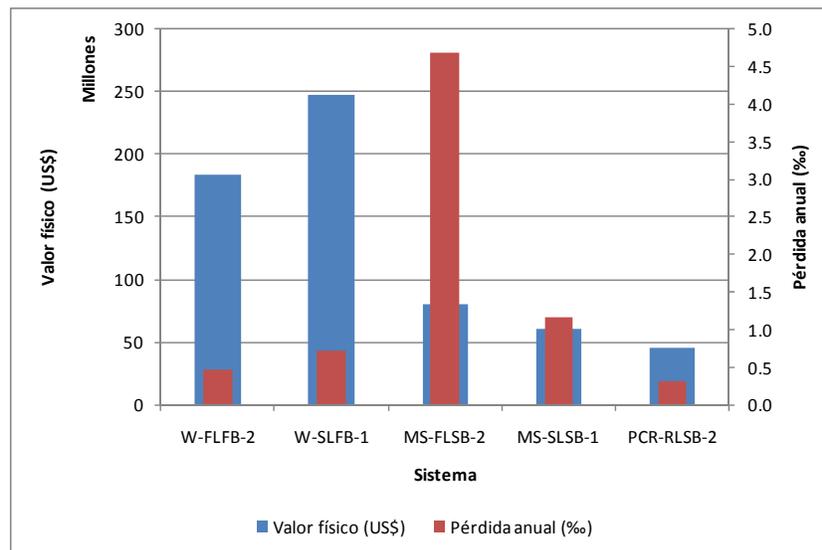


Figura 7-2

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

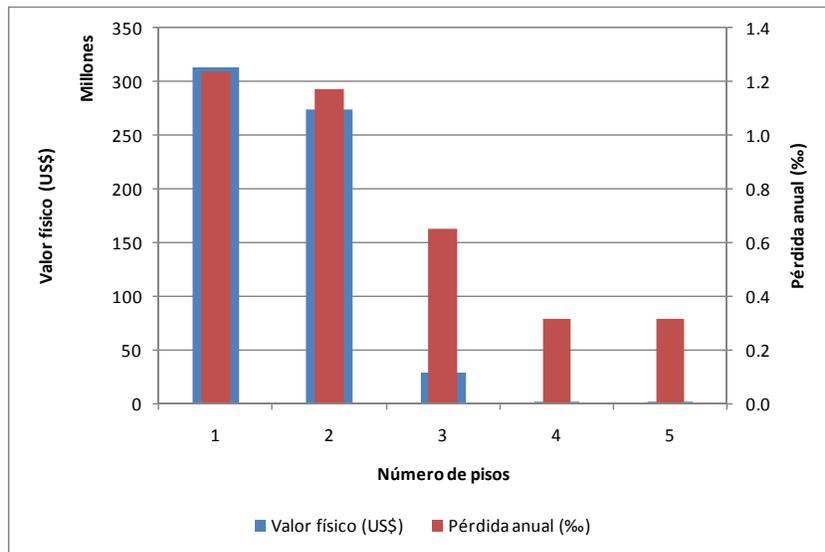


Figura 7-3

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

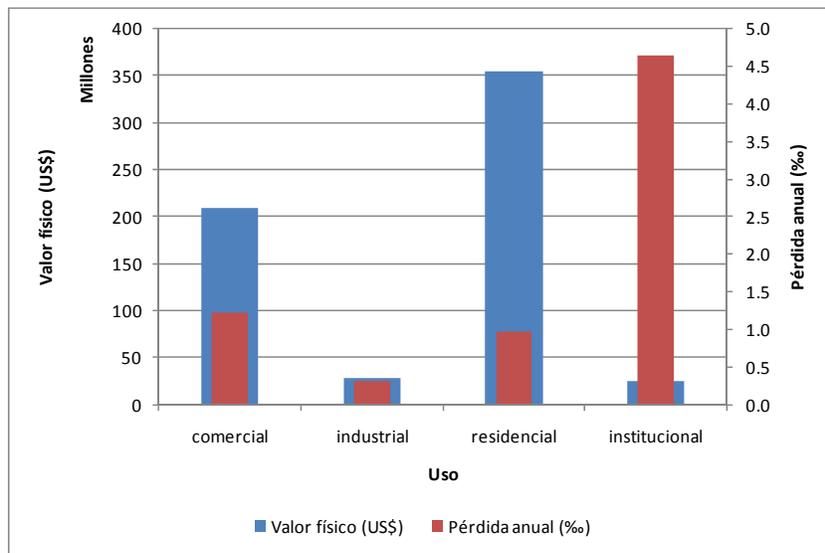


Figura 7-4

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

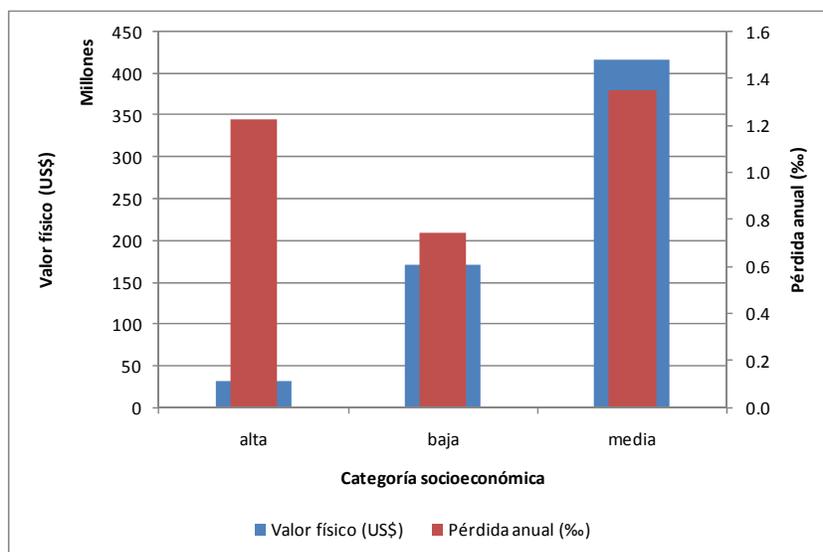


Figura 7-5

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	617.63
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	0.10
	‰	0.17‰
PML		
Período retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
100	2.25	0.36%
250	6.20	1.00%
500	12.06	1.95%
1,000	18.46	2.99%
1,500	22.32	3.61%

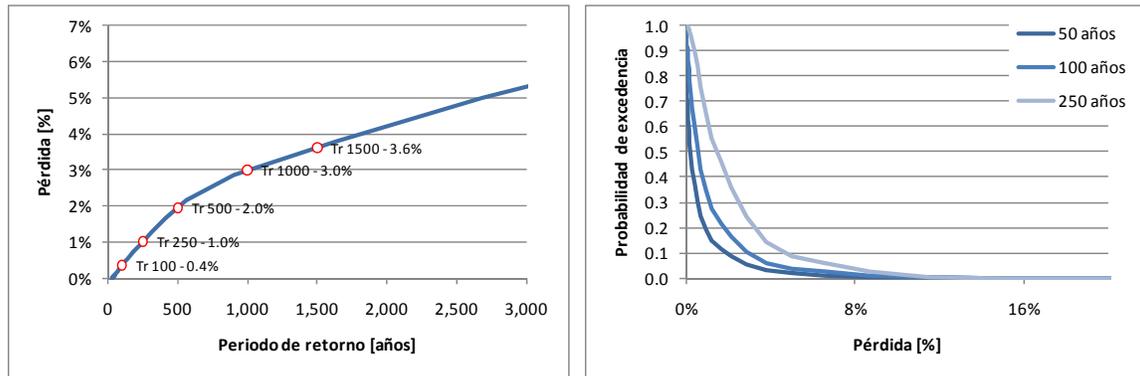


Figura 7-6

Resultados análisis

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

Tabla 7-5

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

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[‰]
W-FLFB-2	183,966,126	29.8%	18,457	0.10‰
W-SLFB-1	247,198,777	40.0%	71,005	0.28‰
MS-FLSB-2	80,097,750	13.0%	3,325	0.04‰
MS-SLSB-1	61,193,808	9.9%	8,965	0.14‰
PCR-RLSB-2	45,176,780	7.3%	723	0.01‰
Totales	617,633,241	100%	102,476	0.17‰

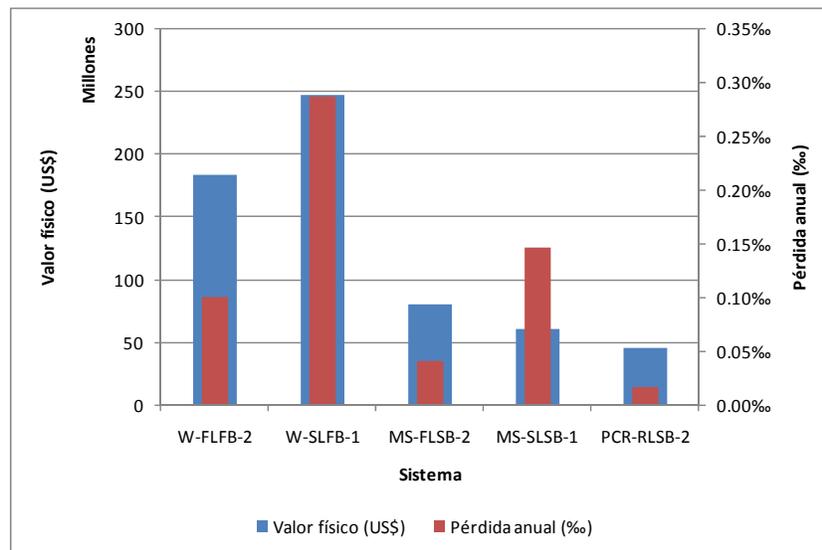


Figura 7-7

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

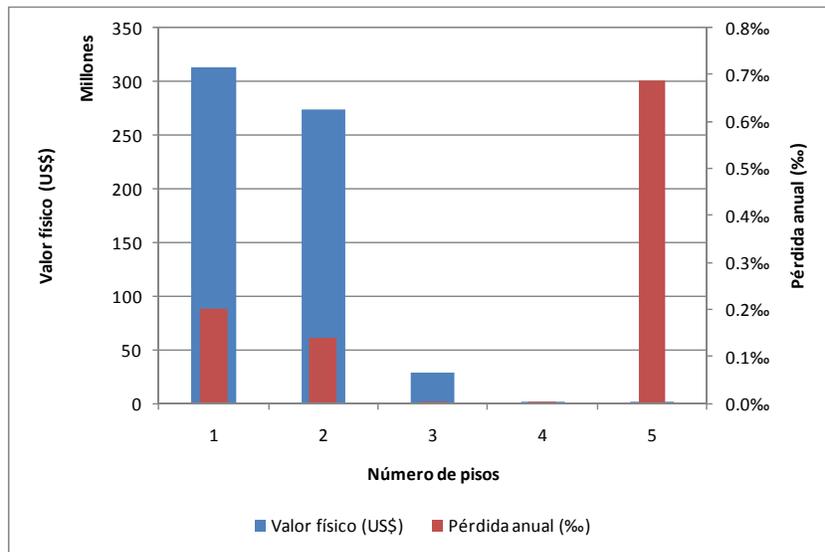


Figura 7-8

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

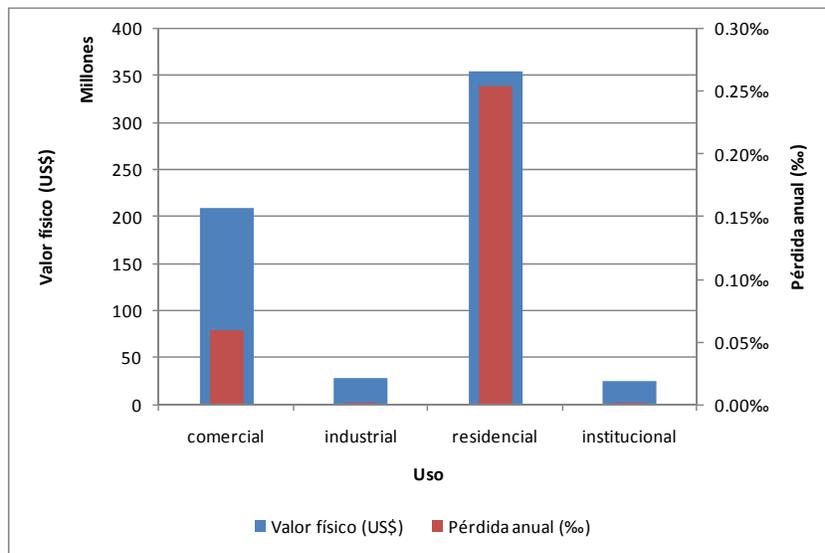


Figura 7-9

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

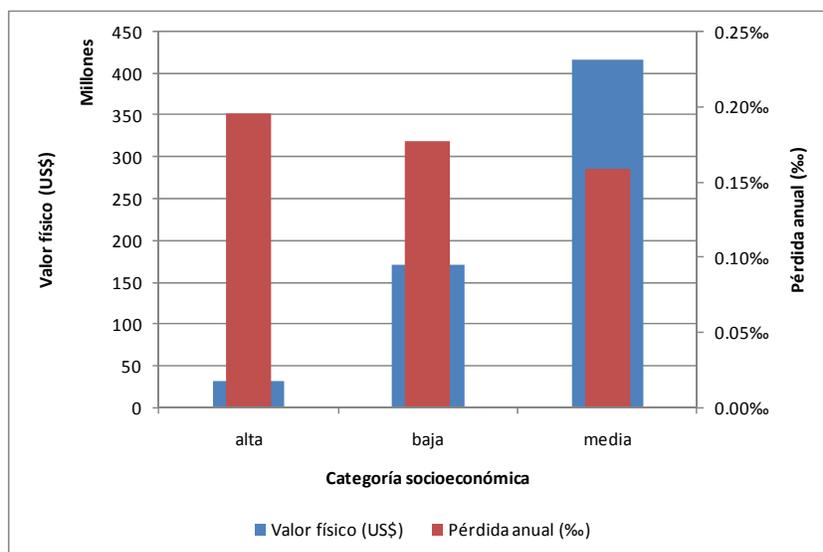


Figura 7-10

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	617.63
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	8.48
	‰	13.74‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
50	93.92	15.21%
100	122.48	19.83%
250	157.91	25.57%
500	176.98	28.65%
1,000	207.59	33.61%
1,500	218.11	35.31%

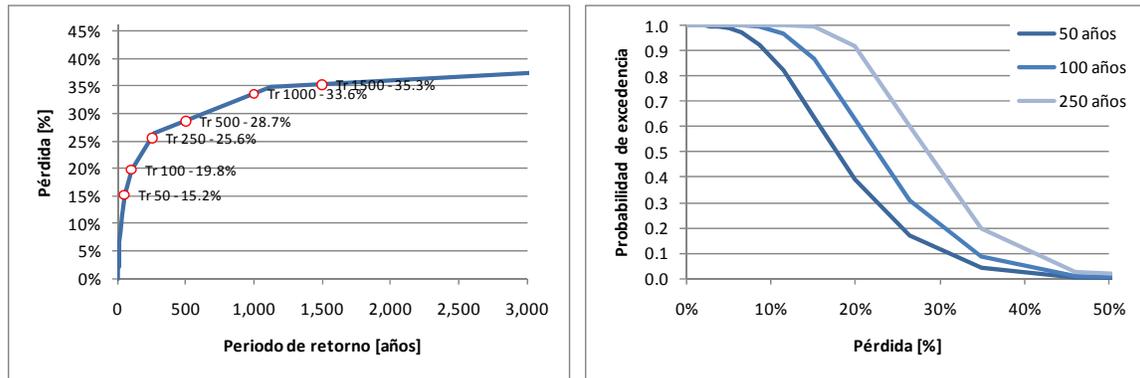


Figura 7-11

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\$]	[‰]
W-FLFB-2	183,966,126	29.8%	1,856,468	10.09‰
W-SLFB-1	247,198,777	40.0%	5,051,633	20.43‰
MS-FLSB-2	80,097,750	13.0%	503,475	6.28‰
MS-SLSB-1	61,193,808	9.9%	790,356	12.91‰
PCR-RLSB-2	45,176,780	7.3%	281,335	6.22‰
Totales	617,633,241	100%	8,483,266	13.74‰

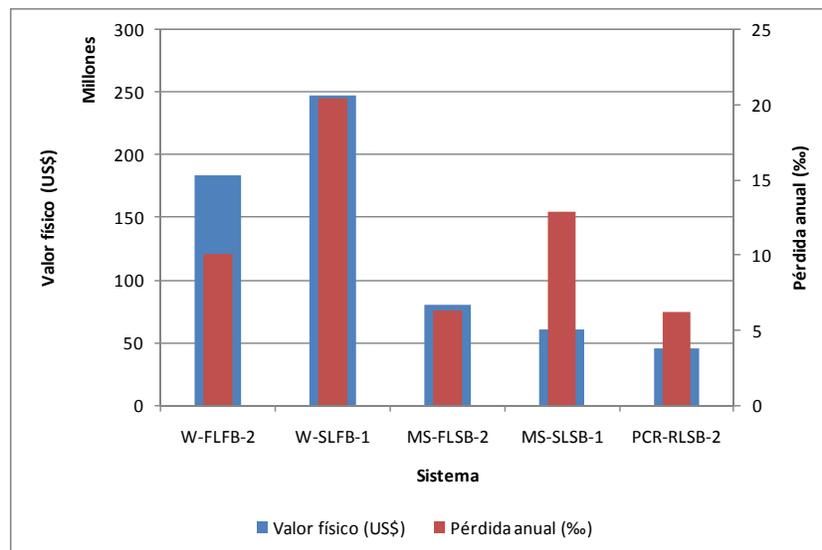


Figura 7-12

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

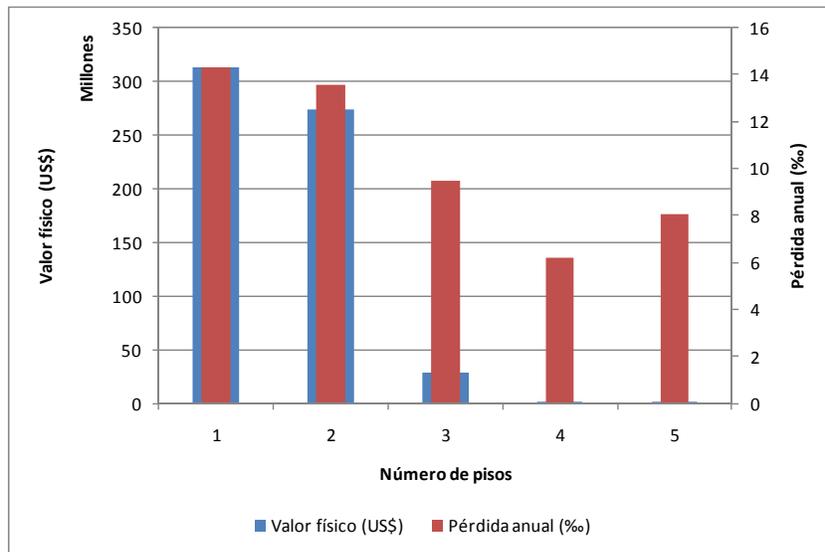


Figura 7-13

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

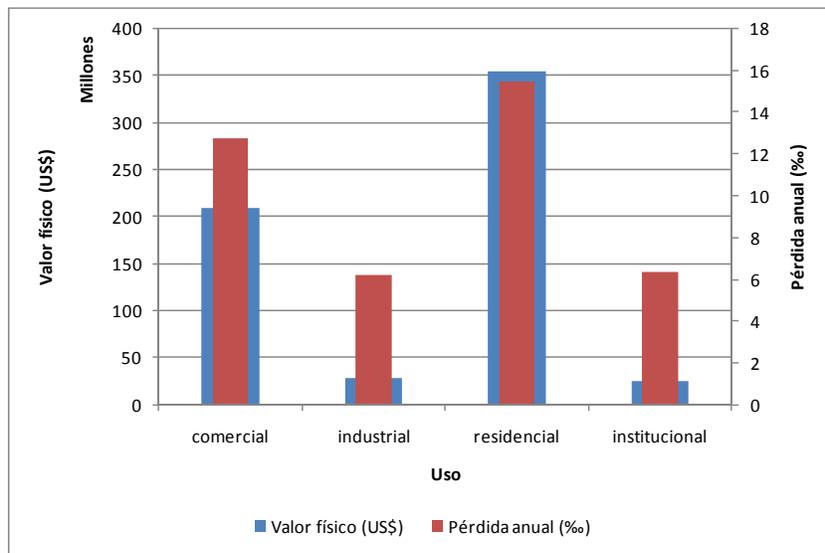


Figura 7-14

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

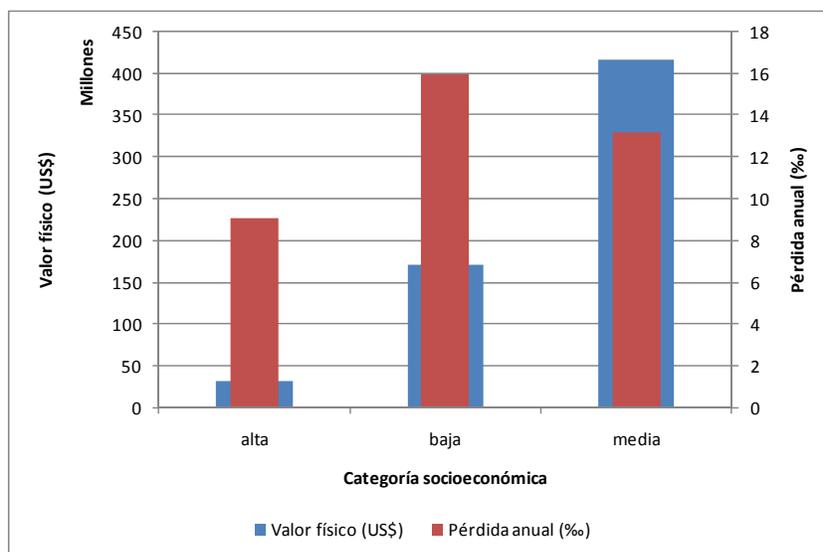


Figura 7-15

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	617.63
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	9.31
	‰	15.08‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	159.50	25.83%
500	177.97	28.82%
1,000	209.77	33.96%
1,500	218.64	35.40%

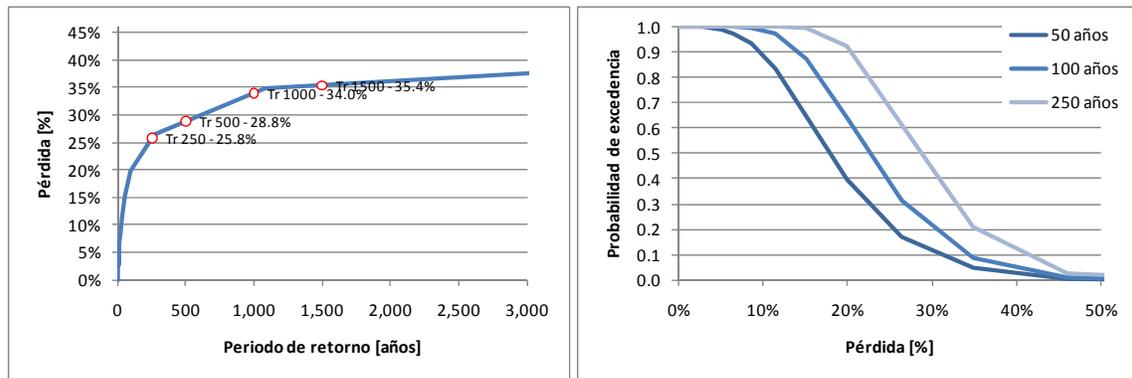


Figura 7-16

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 predio para viento huracanado. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 7-18 presentan los resultados equivalentes para marea de tormenta. Finalmente la Figura 7-19 presentan las figuras correspondientes a las pérdidas agrupadas para viento huracanado y marea de tormenta.

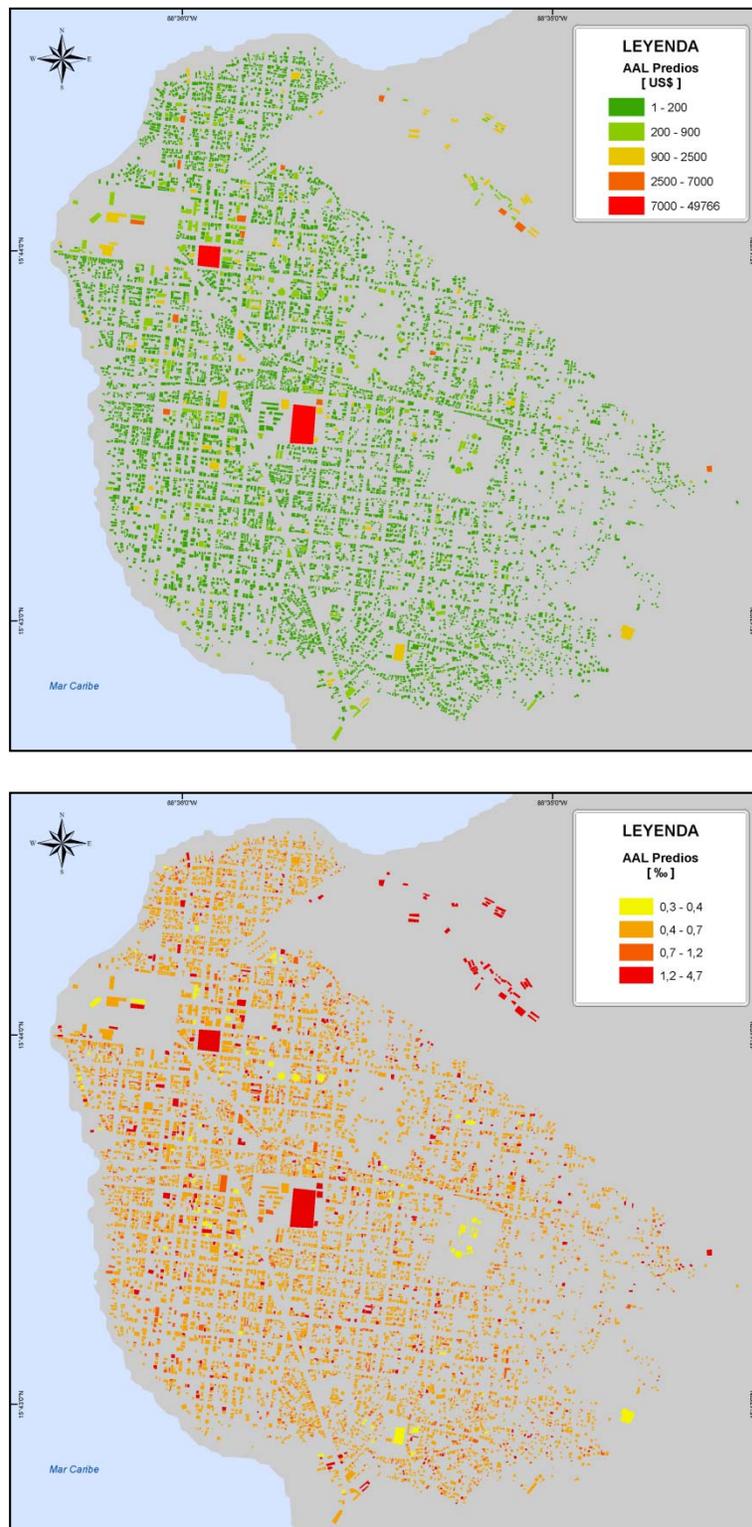


Figura 7-17
Pérdida anual esperada por predio para sismo
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

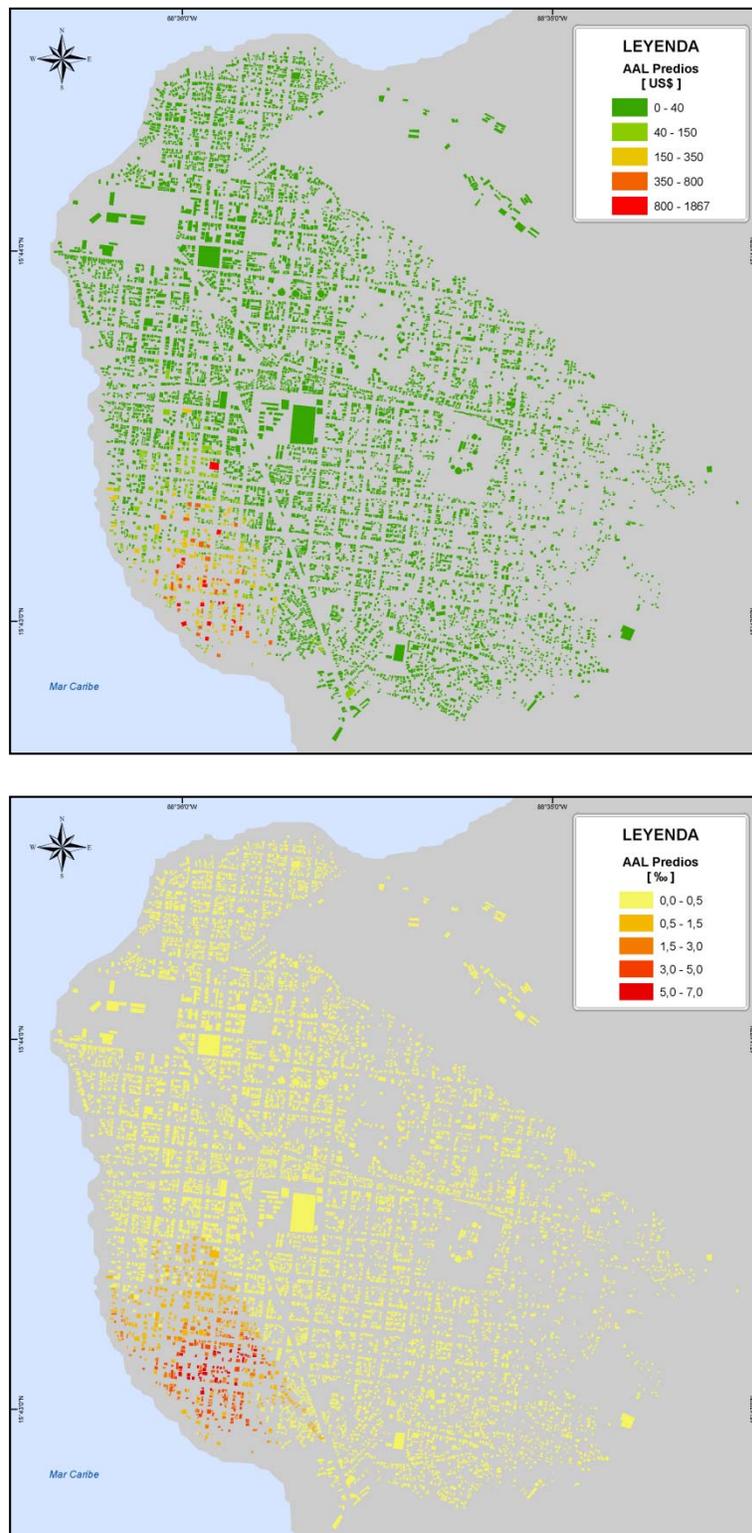


Figura 7-18
Pérdida anual esperada por predio para tsunami
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

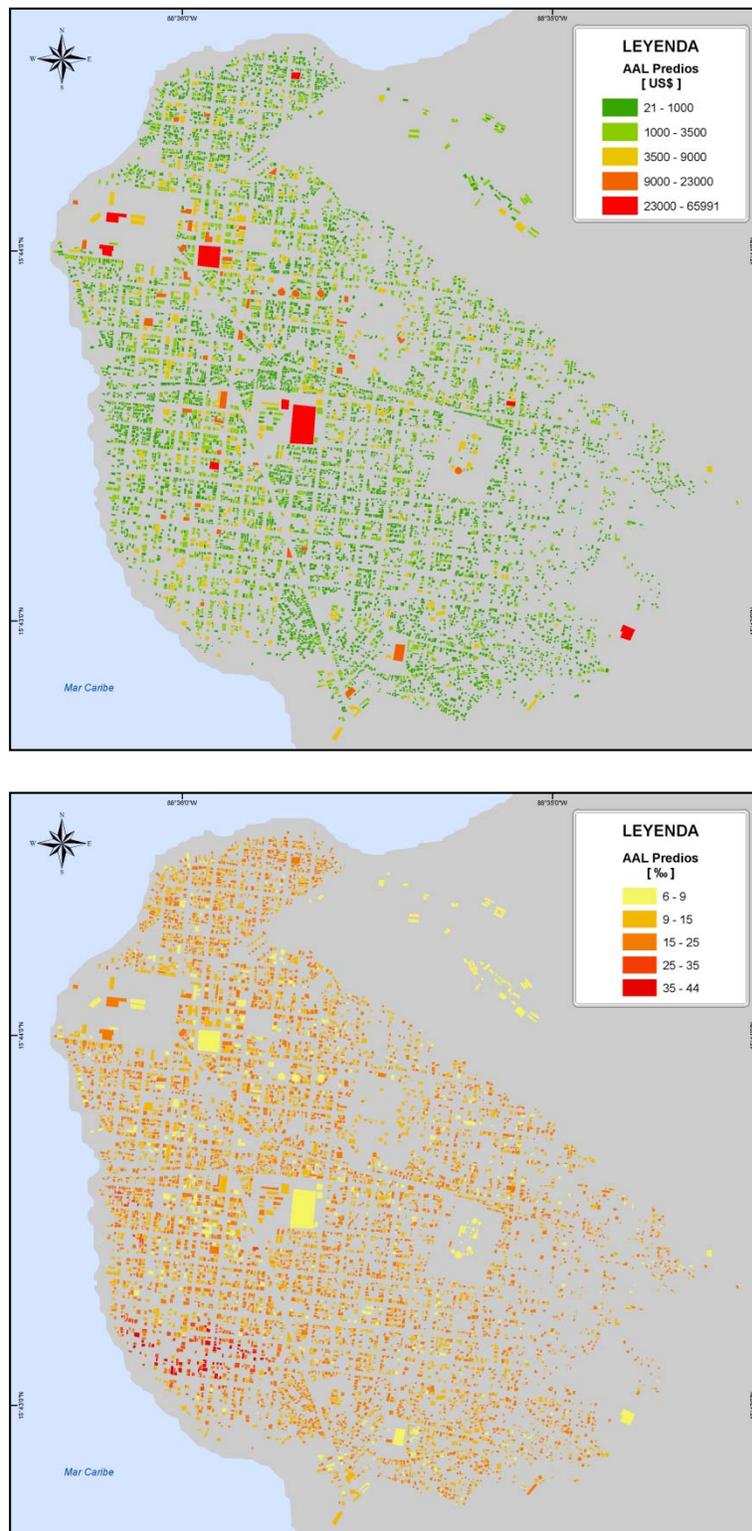


Figura 7-19
Pérdida anual esperada por predio para huracán
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

8 Conclusiones y recomendaciones

El análisis de riesgo por sismo, tsunami y huracán presentado para la ciudad de Puerto Barrios – Guatemala 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 en la costa atlántica norte y la alta frecuencia de ocurrencia de dichos eventos sobre esa zona. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 176'980.000, lo que equivale al 0.26% del PIB del país y al 28.6% del valor total expuesto de la población.

La prima pura de riesgo global calculada para el municipio se considera alta (15.08%), presentando un gran aporte en pérdida por efecto del riesgo ante huracanes (prima pura de 13.74%), 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 (1.18%), 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 12.08% del total del valor expuesto.

En cuanto al riesgo por tsunami, la prima pura calculada (0.17%) 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

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt>

Puerto Barrios, Guatemala, Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Barrios

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. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.

Terremotos en Guatemala, Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos_en_Guatemala

HAZUS MH MR3. Multi-hazard loss estimation methodology. FEMA.
<http://www.fema.gov>

Hurricane Felix, Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Felix

Hurricane Joan, Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Joan

Huracán Hattie-Simone, Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Hattie-Simone

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
<http://www.fao.org/>