

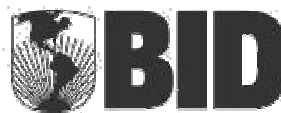
# **CAPRA**

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

## **EL SALVADOR**

**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**  
**LA LIBERTAD**





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

**Consortio conformado por:**

**Colombia**

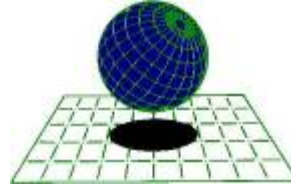
Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



**INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA**

**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.**

**ERNA Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina**  
**[www.ern-la.com](http://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 Trstancho**  
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

---

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Metodología de evaluación del riesgo.....</b>	<b>2-1</b>
<b>3</b>	<b>Amenaza sísmica .....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Eventos Históricos.....	3-1
3.2	Evaluación de la amenaza.....	3-2
<b>4</b>	<b>Amenaza por tsunami.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Eventos Históricos.....	4-1
4.2	Evaluación de la amenaza.....	4-2
4.3	Estimación probabilista .....	4-3
<b>5</b>	<b>Amenaza por huracán .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Eventos Históricos.....	5-1
5.2	Evaluación de la amenaza.....	5-2
<b>6</b>	<b>Inventario de elementos expuestos.....</b>	<b>6-1</b>
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
<b>7</b>	<b>Resultados de la evaluación .....</b>	<b>7-1</b>
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 huracán (viento huracanado y marea de tormenta) .....	7-9
7.1.4	Resultados agrupados.....	7-13
7.1.5	Mapas de riesgo .....	7-13
<b>8</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>8-1</b>
<b>9</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>9-1</b>

# Índice de figuras

---

FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LIBERTAD .....	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S <sup>2</sup> ] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO .....	3-3
FIGURA 3-2 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN LA LIBERTAD PARA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO	3-4
FIGURA 4-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA DE TSUNAMI PARA LA COSTA PACÍFICA DE EL SALVADOR. TR=500AÑOS (ALTURA DE OLA EN METROS) .....	4-2
FIGURA 4-2 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA POR TSUNAMI EN LA LIBERTAD .....	4-3
FIGURA 4-3 CURVA DE AMENAZA POR TSUNAMI EN LA LIBERTAD 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 LA LIBERTAD [KM/H].....	5-3
FIGURA 5-3 MAPA DE AMENAZA PROBABILISTA POR MAREA DE TORMENTA .....	5-4
FIGURA 5-4 CURVA DE AMENAZA POR MAREA DE TORMENTA EN LA LIBERTAD [M].....	5-5
FIGURA 6-1 MAPA DE PREDIOS DE LA LIBERTAD .....	6-1
FIGURA 6-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	6-3
FIGURA 6-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	6-3
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS .....	6-4
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y 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 INUNDACIÓN .....	6-6
FIGURA 6-8 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO .....	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.....	7-3
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 SOCIOECONÓMICA.....	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 .....	7-7
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 SOCIOECONÓMICA.....	7-8
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-9
FIGURA 7-12 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-10
FIGURA 7-13 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-11
FIGURA 7-14 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-11
FIGURA 7-15 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA .....	7-12
FIGURA 7-16 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-13

FIGURA 7-17 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA SISMO .....	7-14
FIGURA 7-18 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA TSUNAMI.....	7-15
FIGURA 7-19 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA HURACÁN (VIENTO Y MAREA) .....	7-16

## Índice de tablas

---

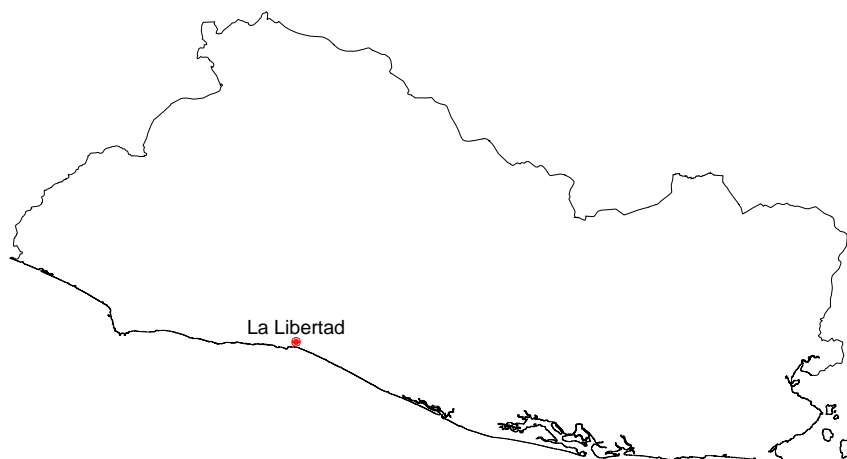
TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO SALVADOREÑO .....	3-2
TABLA 4-1 TSUNAMI QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN, DETONADOS POR SISMOS CON MAGNITUD $\geq 7$ .....	4-1
TABLA 5-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO SALVADOREÑO .....	5-1
TABLA 6-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES .....	6-2
TABLA 6-2 .....	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
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES .....	7-5
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) .. .....	7-6
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES .....	7-9
TABLA 7-7 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) .. .....	7-10
TABLA 7-8 RESULTADOS GENERALES .....	7-13



# 1 Introducción

---

La Libertad, municipio del departamento del mismo nombre en El Salvador, es una población con 19,480 habitantes, localizada en la costa pacífica a 25 km de la capital San Salvador. La población cuenta con cerca de 4,750 edificaciones, distribuidas en uso residencial y comercial principalmente. Dichas edificaciones están construidas principalmente en mampostería (simple, confinada y reforzada) así como en pórticos de concreto reforzado.



*Figura 1-1  
Localización geográfica de La Libertad*

Por sus características climáticas La Libertad es una población importante en producción agrícola, particularmente productos tales como azúcar, café, algodón y coco. El desarrollo industrial es también considerable en la economía de la población, donde se destacan empresas fundidoras de metales, manufacturas y cuero. Adicionalmente, y por su ubicación sobre la costa pacífica de El Salvador, es un atractivo puerto turístico con infraestructura para tal fin.

El Salvador 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 La Libertad, siendo el huracán Mitch, de categoría 5 (escala Saffir Simpson) el de mayor impacto. Mitch transitó por los territorios de Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala entre el 23 de Octubre y el 3 de Noviembre de 1998 causando pérdidas económicas estimadas en 5,000 millones de dólares (1998 US\$) en la región, y generando inundaciones y deslizamientos en diferentes puntos del territorio salvadoreño.

La amenaza sísmica en La Libertad es considerablemente alta, en comparación a otros municipios del país, debido a su ubicación sobre la Costa Pacífica en donde se concentra la mayor actividad sísmica de El Salvador. La ocurrencia de terremotos destructivos, y tsunamis asociados, es altamente probable en toda la costa pacífica de Centroamérica. Varios tsunamis han impactado las costas de El Salvador en ocasiones anteriores. El más devastador fue el ocurrido el 26 de febrero de 1902 que dejó como resultado 85 fallecidos a lo largo de la Costa Pacífica en países como Guatemala y El Salvador.

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 La Libertad ante diferentes amenazas naturales 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 en términos probabilistas.

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 terremoto, tsunami y huracán de La Libertad – El Salvador se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos, ERN 2010), y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación del riesgo por sismo, tsunami y huracán, de La Libertad incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza sísmica y tsunamigénica: ésta se evalúa 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 huracanado y 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 2010).
- (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 2010). 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 Naturales, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

El territorio salvadoreño 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, vulcanismo y actividad sísmica en El Salvador. La zona de subducción del Pacífico es capaz de generar eventos sísmicos de magnitud importante (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 ha generado una serie de sistemas de falla, principalmente orientados en sentido NW-SE, que delimitan el graben o depresión centroamericana, en donde se desarrollan los procesos vulcanológicos de El Salvador, y donde se han detonado varios de los sismos más destructivos ocurridos en el país.

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

#### 3.1 Eventos Históricos

En octubre de 1986 ocurrió un terremoto de magnitud ( $M_L$ ) 7.5 con epicentro en Santa Tecla, población aledaña a la capital del país, San Salvador, el cual dejó como resultado trágico 1,500 personas fallecidas y más de 200,000 damnificados. La mayoría de las construcciones colapsadas fueron afectadas previamente en el terremoto de 1965 y se encontraban sin ningún tipo de reparación. En enero y febrero de 2001 dos sismos afectaron el territorio salvadoreño, dejando en total 1,259 víctimas mortales y más de 1,600 millones de dólares en pérdidas económicas.

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

**Tabla 3-1**  
**Principales sismos que han afectado el territorio salvadoreño**

Año	Fecha	Epicentro	(Magnitud) IMM	Consecuencias
1576	23 MAY	San Marcos - Santo Tomás	VII	Completa destrucción de San Salvador.
1658	11 MAR	Sonsonate	VIII	Evento asociado a la subducción, daño severo en los municipios del departamento de Sonsonate y en San Salvador.
1719	03 MAY	San Miguel	VII	Daño en San Miguel, Santa Ana, San Vicente y Apastepeque.
1783	29 NOV	Santiago Nonualco	VIII	Evento superficial asociado a la ruptura cortical.
1839	21 MAR	San Matías	VIII	Daños considerables en San Salvador, destrucción total en Nejapa.
1902	18 ABR	Costa Pacífica	(7.9)	Tsunami en Ahuachapán; destrucción a lo largo de la Costa Pacífica del país. Daños considerables en San Salvador.
1921	28 MAR	Golfo de Fonseca	(6.5)	Destrucción en el Este y el Centro del país; se declara estado de emergencia a nivel nacional.
1965	3 MAY	Costa Pacífica	(6.0)	El evento causó aproximadamente 125 fallecidos, 400 heridos y 4000 viviendas destruidas en la zona de San Salvador.
1982	19 JUN	Costa Pacífica	VII	Fuerte sismo en la zona de subducción. En la ciudad de San Salvador se contabilizaron alrededor de 5000 damnificados, 8 fallecidos y 96 personas heridas.
1986	10 OCT	Santa Tecla	(7.5)	El sismo más fuerte sentido en la capital del país, el epicentro tuvo lugar tan solo a pocos kilómetros de San Salvador en el municipio de Santa Tecla.
1999	03 ABR	Isla de Meanguera	(5.8)	Fuerte sismo que se sintió en todo el país.
2001	13 ENE	Costa Pacífica	(7.6)	Primero de una serie de eventos que afectó con gravedad una vasta mayoría del país. Se estimaron alrededor de 1000 fallecidos, 110,000 viviendas destruidas, un millón los damnificados y las pérdidas en 1000 millones de US\$.

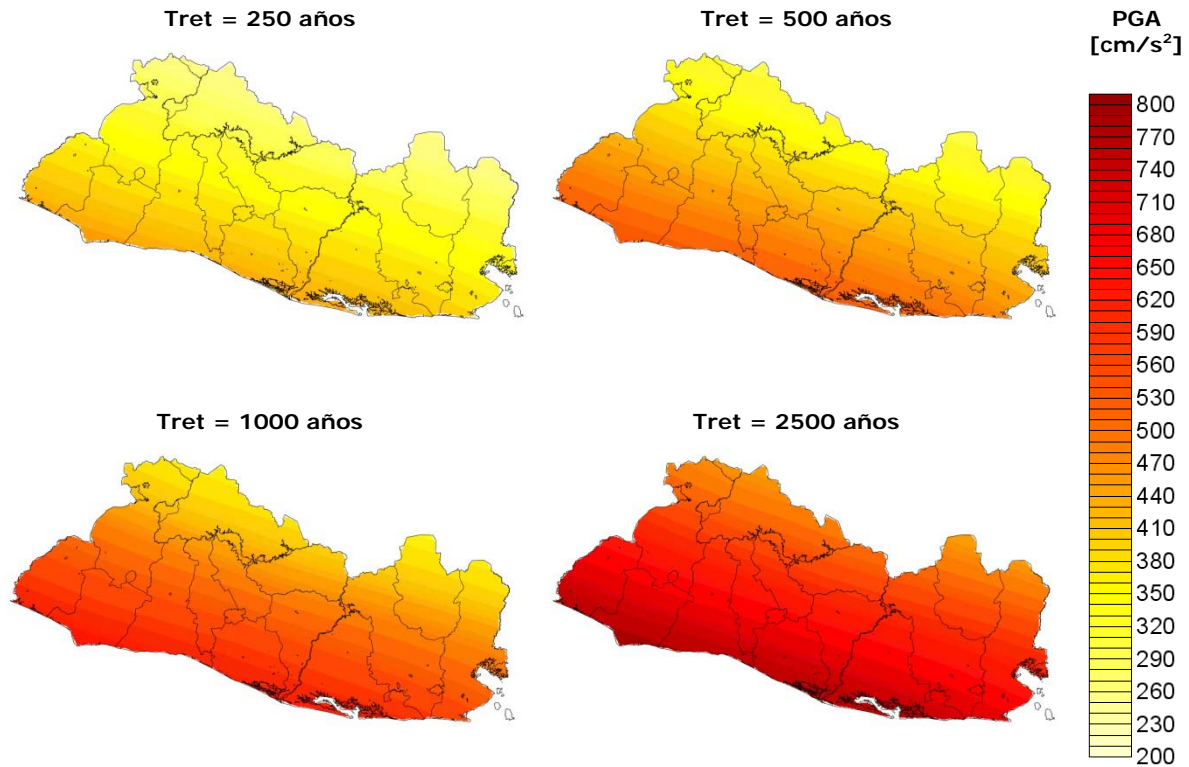
### 3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza sísmica de El Salvador 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, ERN 2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org) se construyó un catálogo de eventos estocásticos que representan en conjunto la amenaza sísmica de la región.

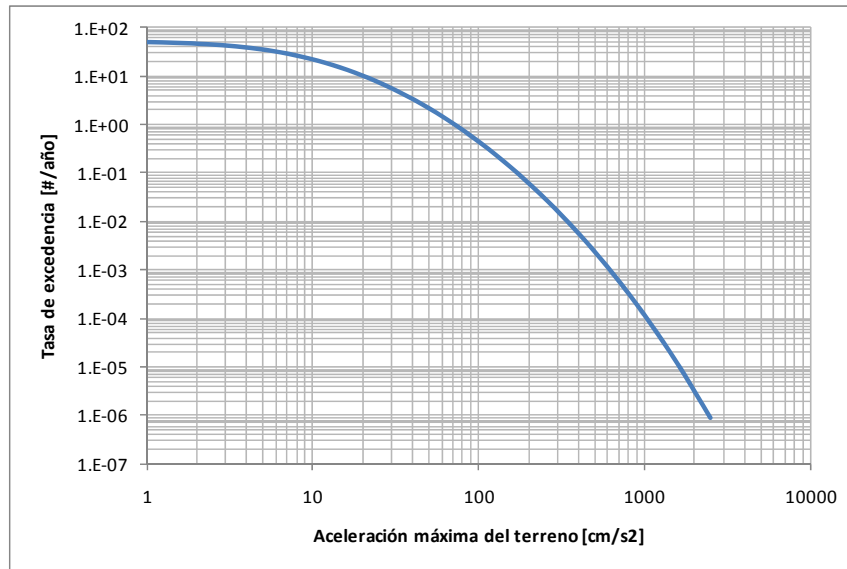
Se determinaron en total 14,796 escenarios según la metodología presentada en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN 2010), cada uno de ellos

asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada y con magnitud correspondiente a las características de las fuentes sismogénicas. 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/s<sup>2</sup>] para diferentes períodos de retorno*

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



*Figura 3-2*  
*Curva de amenaza sísmica en La Libertad para 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, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 4.1 Eventos Históricos

Varios tsunami han impactado la Costa Pacífica de El Salvador en ocasiones anteriores. El más devastador fue el ocurrido el 26 de febrero de 1902 que dejó como resultado 85 fallecidos.

Anteriormente en el mismo año, el día 18 de enero se presentó un evento sísmico en el Océano Pacífico con profundidad entre los 40 y 60 kilómetros. El sismo se presentó en la zona de subducción de las placas Cocos y Caribe, lo cual originó en la costa olas de 30 centímetros de altura. No se registraron daños de consideración, ni pérdida de vidas humanas. La magnitud del sismo fue de 6.3 ( $M_L$ ). La Tabla 4-1 presenta los principales tsunami que han afectado la región.

**Tabla 4-1**  
*Tsunami que han afectado la región, detonados por sismos con magnitud  $\geq 7$*   
(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	7.0	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

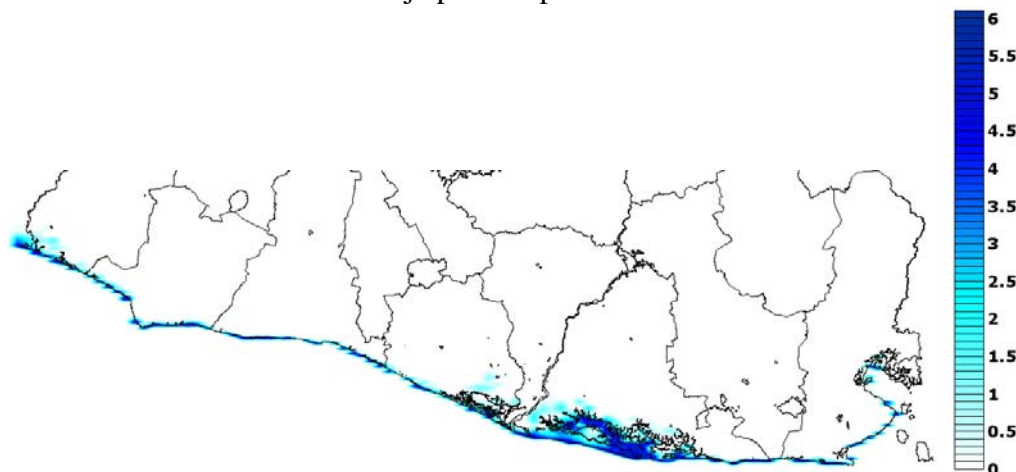
Año	Fecha	Origen	Magnitud	Región afectada
1956	Oct-24	Pacífico	7.2	San Juan del Sur, Nicaragua
1957	03-Oct	Caribe	8.1	Acajutla, El Salvador
1960	May-22	Caribe	8.5	La Unión, Golfo de Fonseca
1976	02-Abr	Caribe	7.5	Cortés, Golfo de Honduras
1976	07-Nov	Pacífico	7.0	Jaque, Darien, Panamá
1990	Mar-25	Pacífico	7.0	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 fosa mesoamericana en el pacífico salvadoreño. 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 del proyecto CAPRA [www.ecapra.org](http://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 nacional 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.

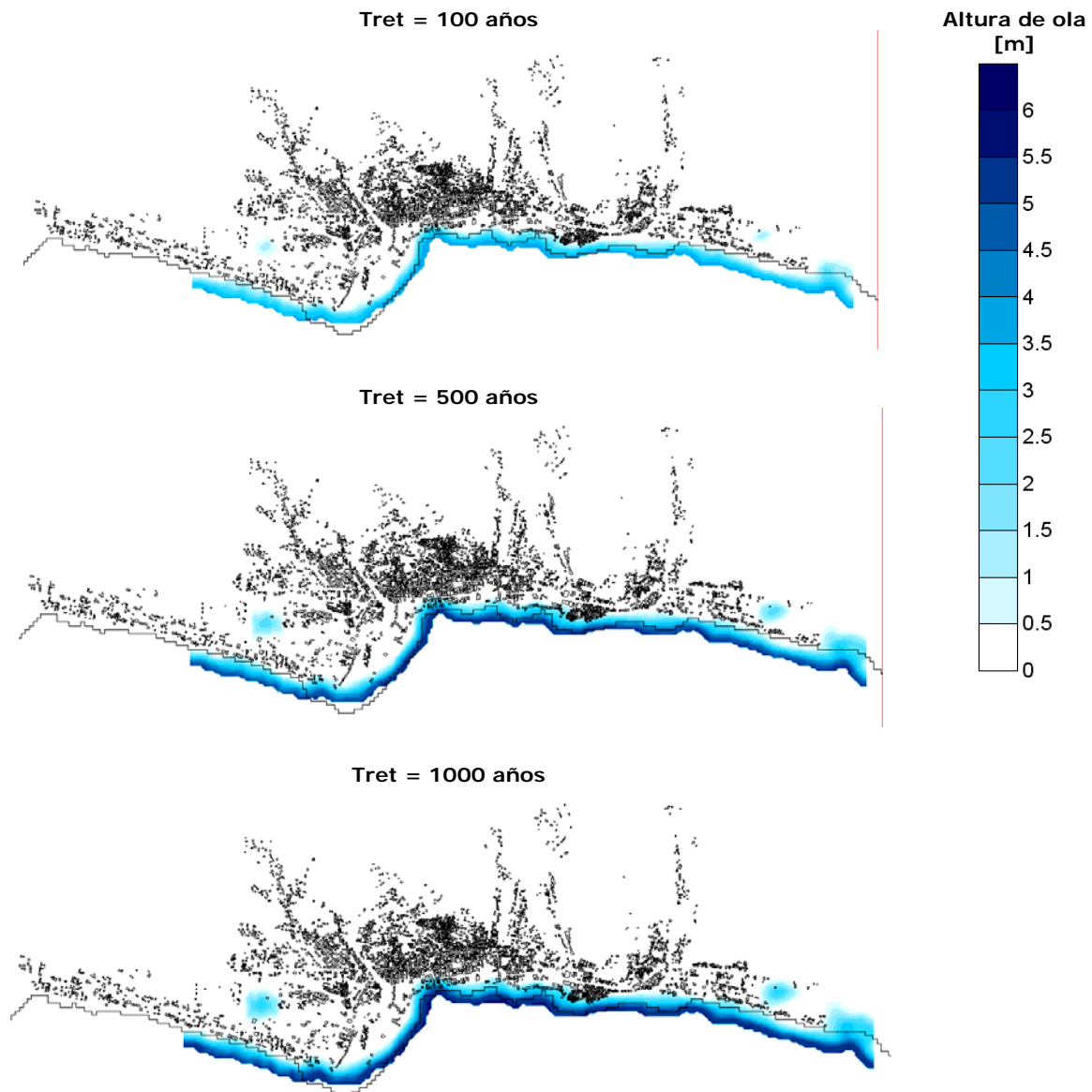


**Figura 4-1**  
**Mapa de amenaza probabilista de tsunami para la costa pacífica de El Salvador.**  
**TR=500años (altura de ola en metros)**

### 4.3 Estimación probabilista

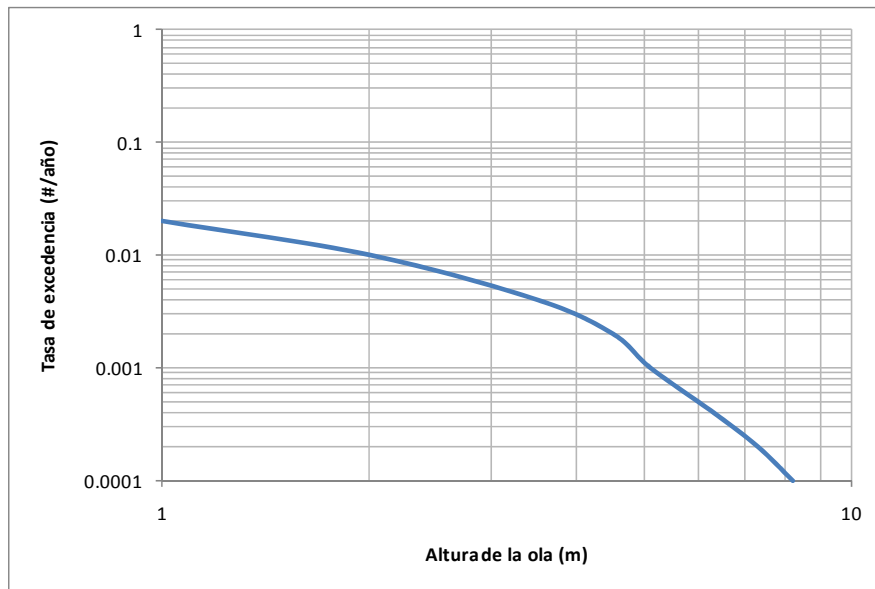
Para el análisis probabilista se calcularon un total de 3,612 escenarios de tsunami en el Océano Pacífico, según la metodología presentada expuesta en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010), cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada.

La Figura 4-2 resume los resultados del análisis probabilista de tsunami en términos de altura máxima de ola con respecto al nivel del terreno para períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años.



*Figura 4-2*  
*Mapa de amenaza probabilista por tsunami en La Libertad*

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



**Figura 4-3**  
*Curva de amenaza por tsunami en La Libertad 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, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 5.1 Eventos Históricos

En 1998 el huracán Mitch afectó gran parte del territorio salvadoreño, 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 gran parte de América Central provocando a su paso 1500 muertos, 3000 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 salvadoreño.

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

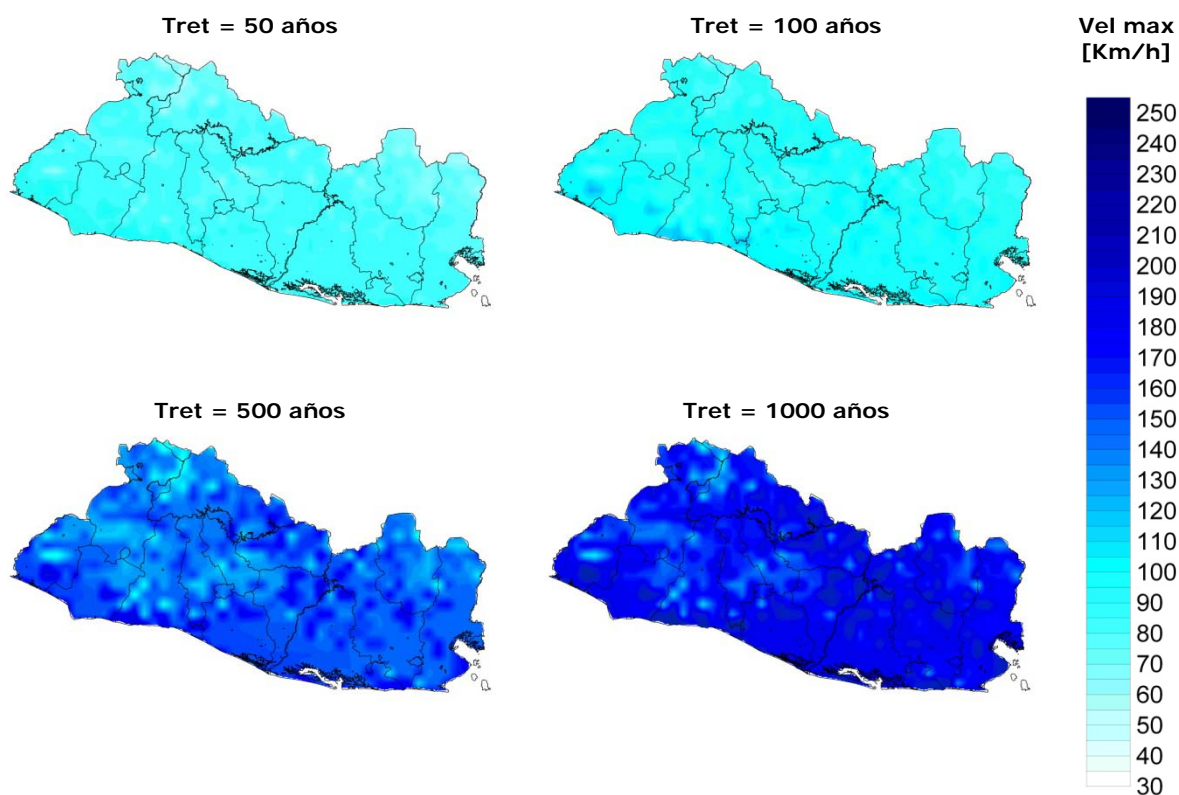
Nombre	Año	Fecha	Cat. SS	Vientos (nodos)	Presión (mb)	Descripción y efectos
Fifi	1974	14-24 SEP	2	95	971	Es uno de los huracanes que cambió nombre al hacer tránsito del Mar Caribe al Océano Pacífico. En El Salvador se generaron grandes inundaciones en la cuenca baja de los ríos medianos y grandes como el Río Lempa, el Río Paz y el Río Jiboa. El huracán causó daños en Centroamérica avaluados en 900 millones de US\$ de la época, es decir aproximadamente 4,000 millones de US\$ en valor presente. El huracán se encuentra catalogado como uno de los que más vidas ha cobrado en la historia estimando las víctimas fatales en alrededor de 9,000 personas.
Mitch	1998	22 OCT- 5 NOV	5	155	905	La Agencia Interamericana para el Desarrollo informó de 239 muertos en El Salvador. Adicionalmente debido al embate del huracán se reportaron miles de casas totalmente destruidas así como daños considerables en la infraestructura de transporte nacional tal como puentes y carreteras.
Stan	2005	1-5 OCT	1	70	977	En El Salvador se reportaron como afectadas alrededor de 300 comunidades, con más de 54,000 personas obligadas a evacuar sus lugares de residencia. Se presentaron numerosas inundaciones y deslizamientos de tierra en gran parte del país lo que generó daños extensivos en la infraestructura vial y energética. Las lluvias dejaron daños avaluados en 356 millones de dólares en valor presente.

## 5.2 Evaluación de la amenaza

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 Naturales, ERN2010) y sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

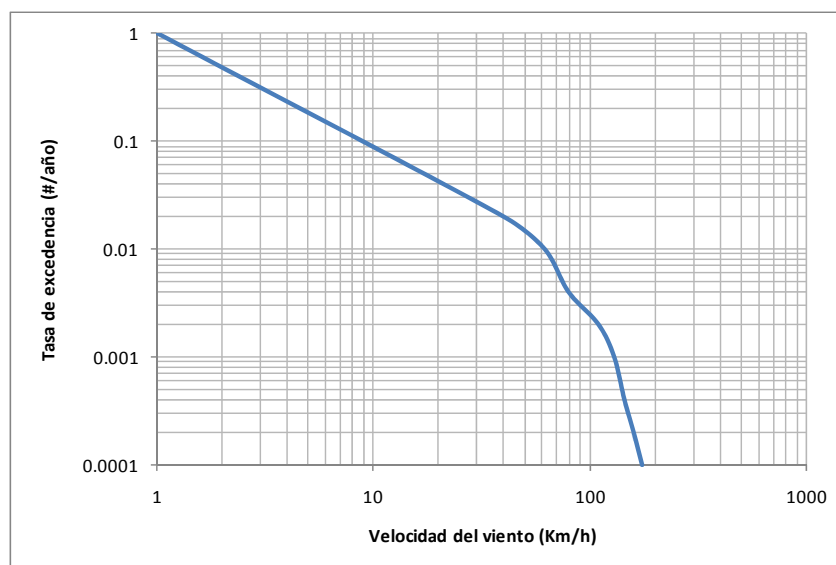
Para la modelación de la amenaza se empleó información topográfica con resolución de 30m obtenida del SRTM de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org), 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, según la metodología presentada expuesta en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN2010), cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a simulaciones a partir 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.



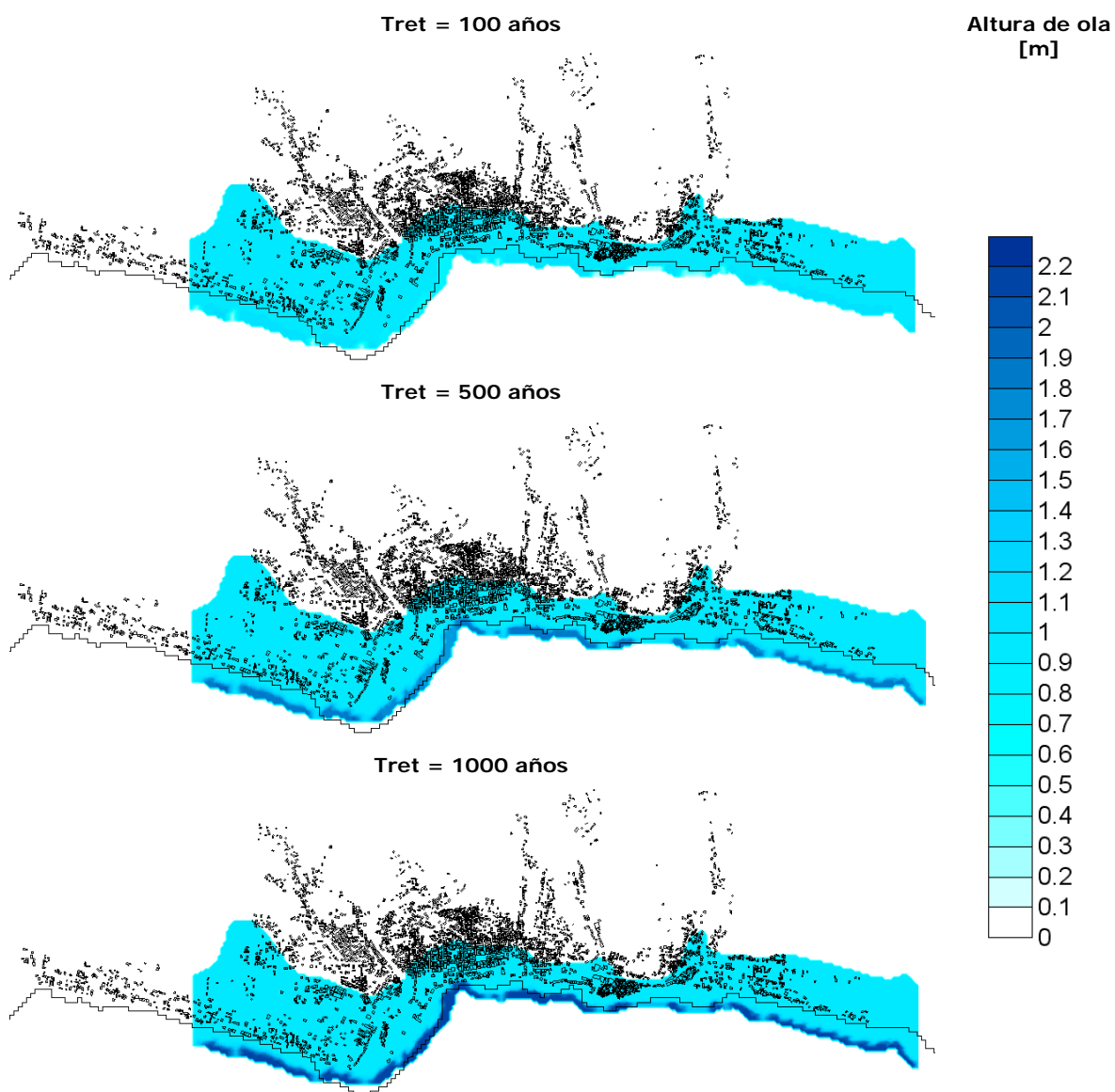
*Figura 5-1*  
 Mapas de velocidad máxima del viento [Km/h] para diferentes períodos de retorno

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



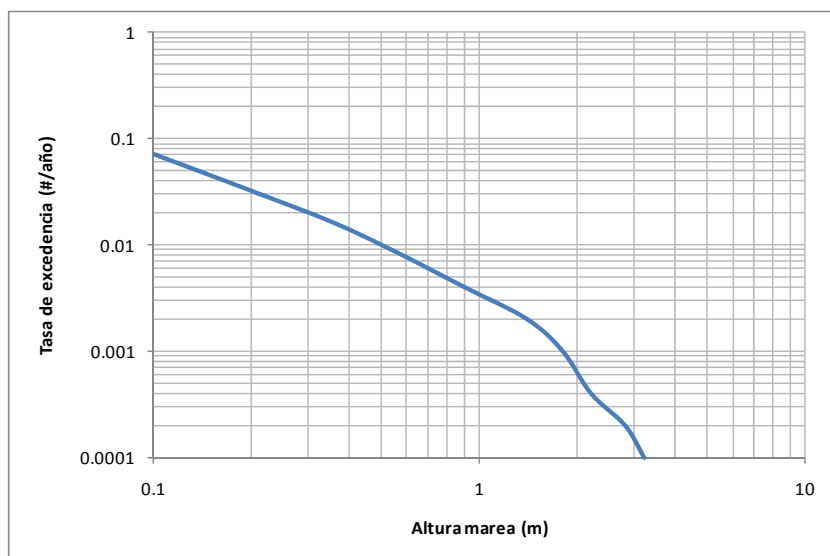
*Figura 5-2*  
 Curva de amenaza por viento huracanado en La Libertad [Km/h]

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.



*Figura 5-3*  
*Mapa de amenaza probabilista por marea de tormenta*





*Figura 5-4*  
*Curva de amenaza por marea de tormenta en La Libertad [m]*

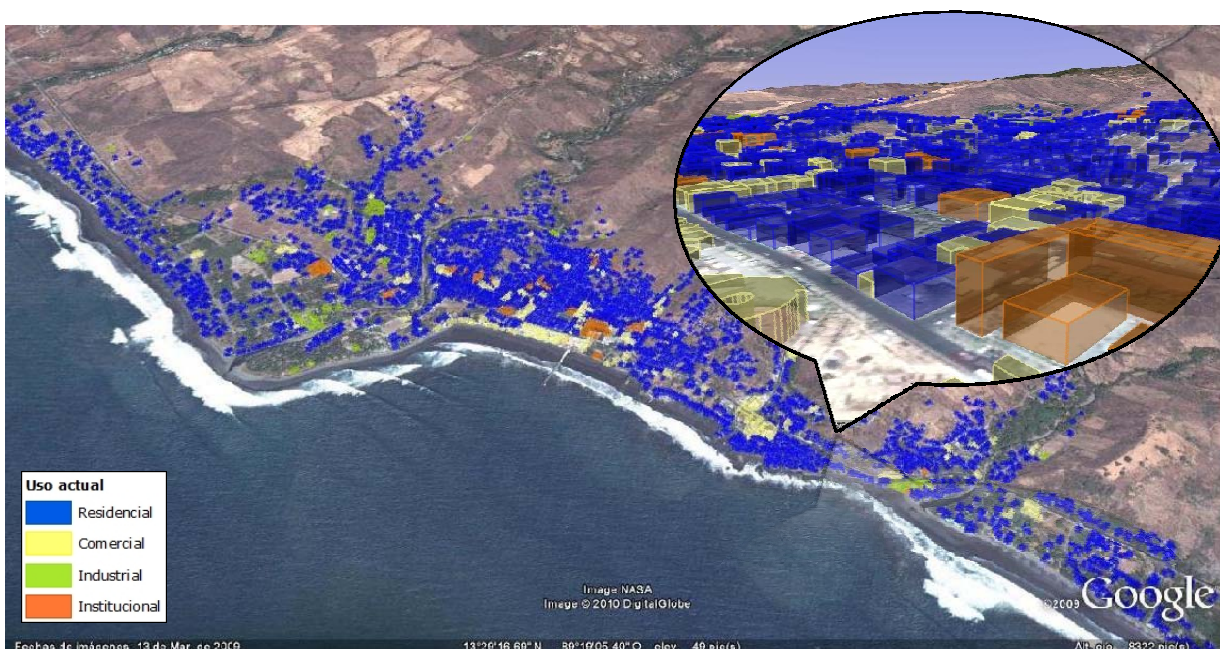
## 6 Inventario de elementos expuestos

### 6.1 Levantamiento de la información básica

Para el municipio de La Libertad 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 La Libertad.



**Figura 6-1**  
**Mapa de predios de La Libertad**  
(Imagen generada con Google Earth)

## 6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición del municipio de La Libertad, 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	19,480
Área total de terreno urbano	km <sup>2</sup>	3.70
Densidad de población	Hab/km <sup>2</sup>	5,280
No. total de Edificaciones		4,750
Área de construcción	m <sup>2</sup>	770 x10 <sup>3</sup>
Densidad construcción urbana	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> terreno urbano	0.21
Valoración total de construcciones	US\$ millones	276
Valor promedio/m <sup>2</sup> construido	US\$/m <sup>2</sup>	360

A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones. La Tabla 6-2 y la Figura 6-2 y 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, ERN 2010).

**Tabla 6-2**  
*Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales*

Sistema	Código Sistema	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Madera	W-SLFB-1	375	3.99	2,515
Mampostería simple	MS-SLSB-1	1,346	34.39	4,530
	MS-RPSB-2	182	16.55	1,848
Mampostería confinada	MC-SLSB-1	1,407	57.74	3,016
	MC-RPSB-2	545	81.43	3,614
Mampostería reforzada	MR-SLSB-1	483	15.02	1,144
	MR-RPSB-2	320	48.45	2,307
Pórticos en concreto	PCR-SPSB-1	42	10.07	162
	PCR-RPSB-2	14	4.56	283
Pórticos en acero	PAR-SLSB-1	36	4.30	65
<b>Total</b>		<b>4,750</b>	<b>276.49</b>	<b>19,484</b>

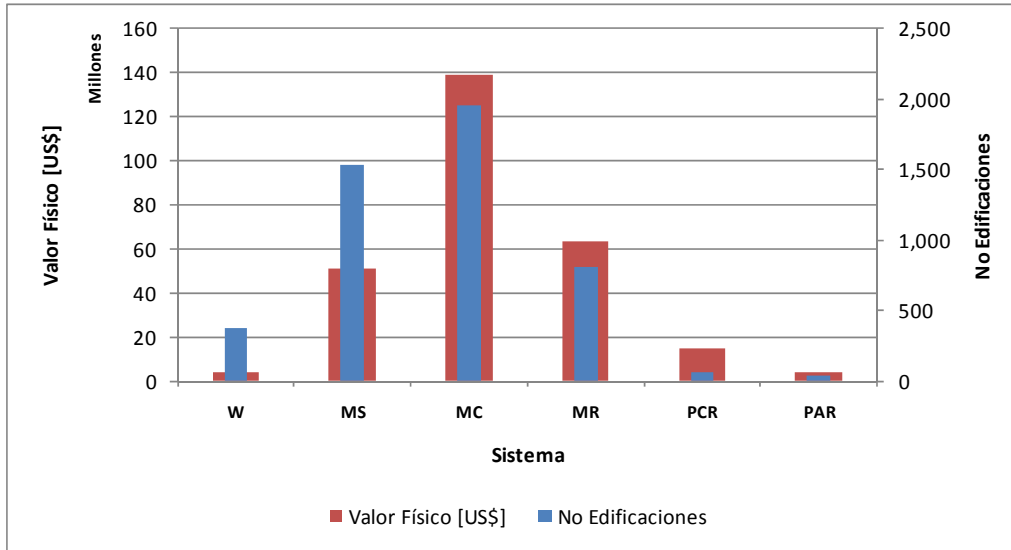


Figura 6-2

Distribución de valores expuestos y edificaciones por sistemas estructurales

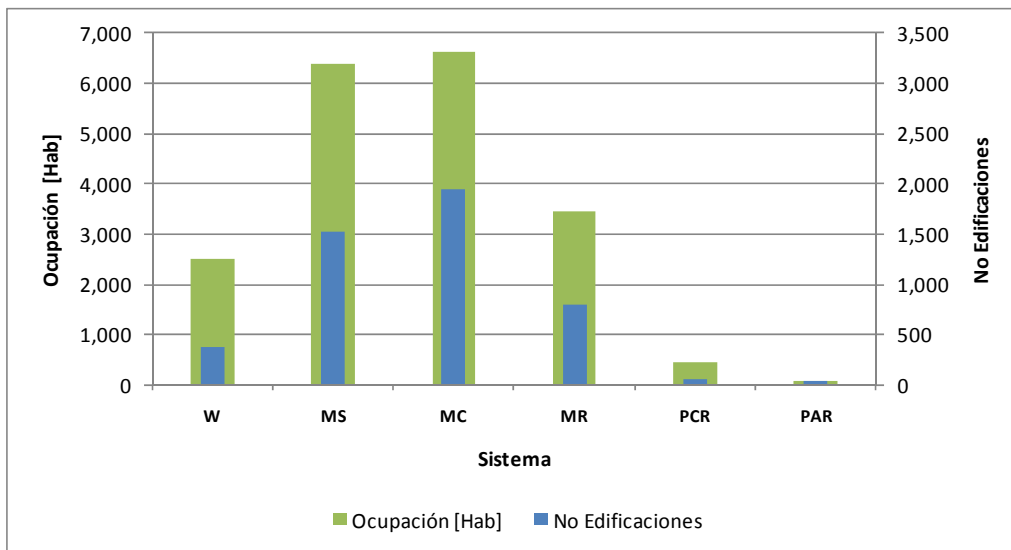


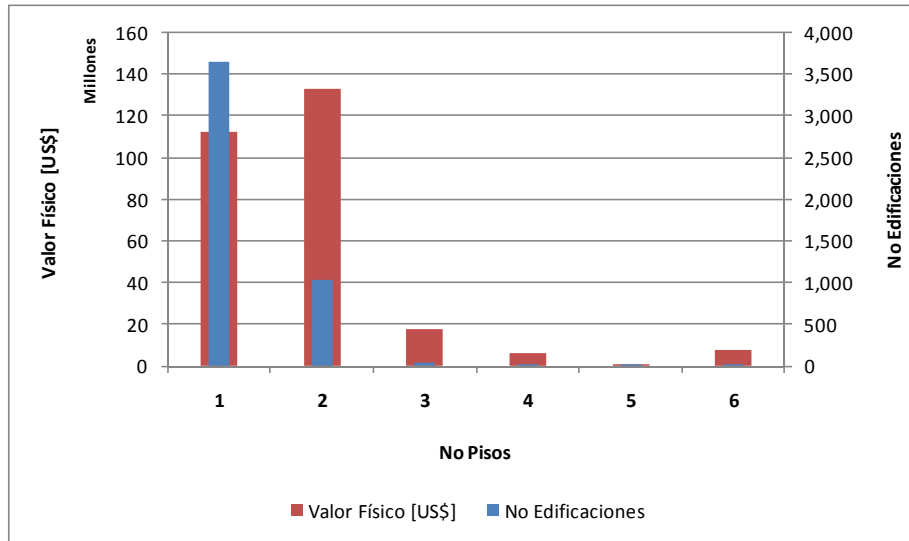
Figura 6-3

Distribución de ocupación y edificaciones por sistemas estructurales

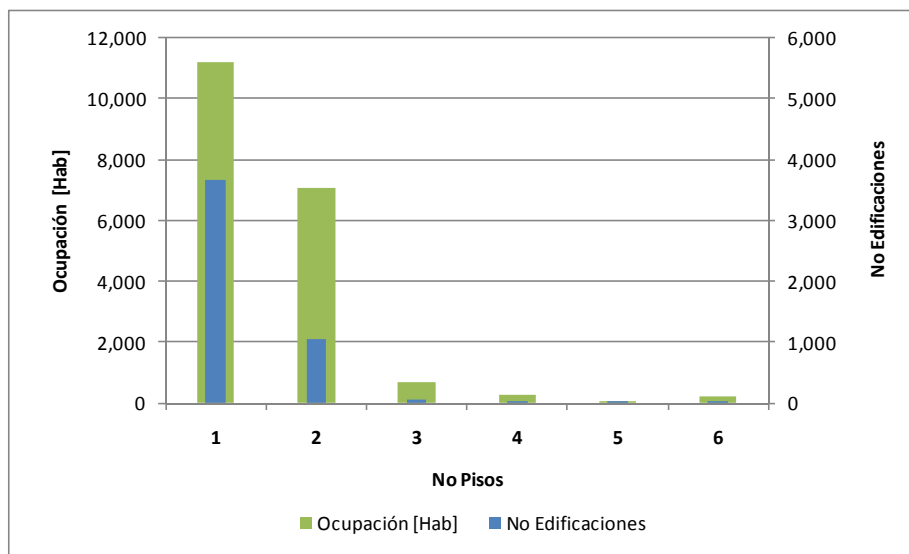
Por otra parte, la Tabla 6-3 y la Figura 6-4 y Figura 6-5 muestran la distribución de valores expuestos y ocupación, en función del número de pisos de las edificaciones incluidas.

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

No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	3,654	112.25	11,220
2	1,040	132.51	7,053
3	43	17.44	690
4	7	6.27	262
5	1	0.24	15
6	5	7.77	240
<b>Total</b>	<b>4,750</b>	<b>276.49</b>	<b>19,480</b>



**Figura 6-4**  
*Distribución de valores expuestos y edificaciones por número de pisos*



**Figura 6-5**  
*Distribución de ocupación y edificaciones por número de pisos*

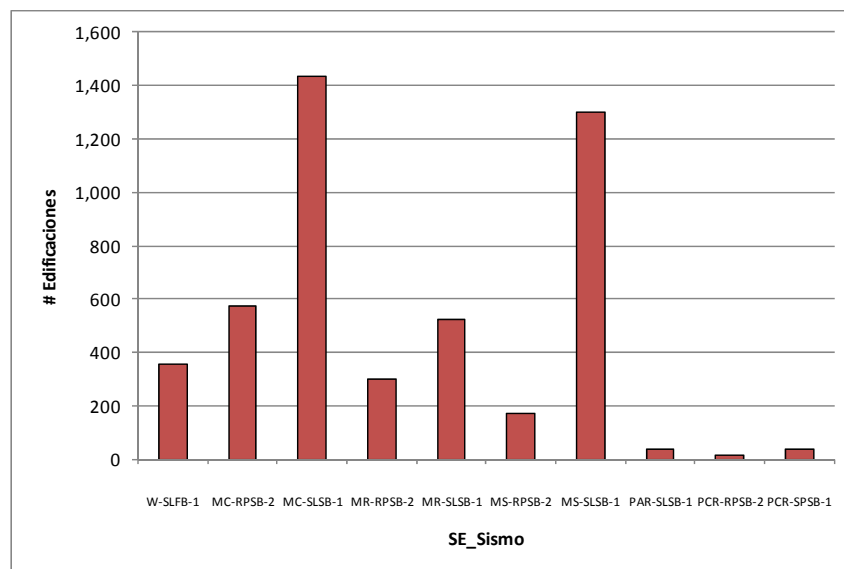
### 6.3 Información de vulnerabilidad

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

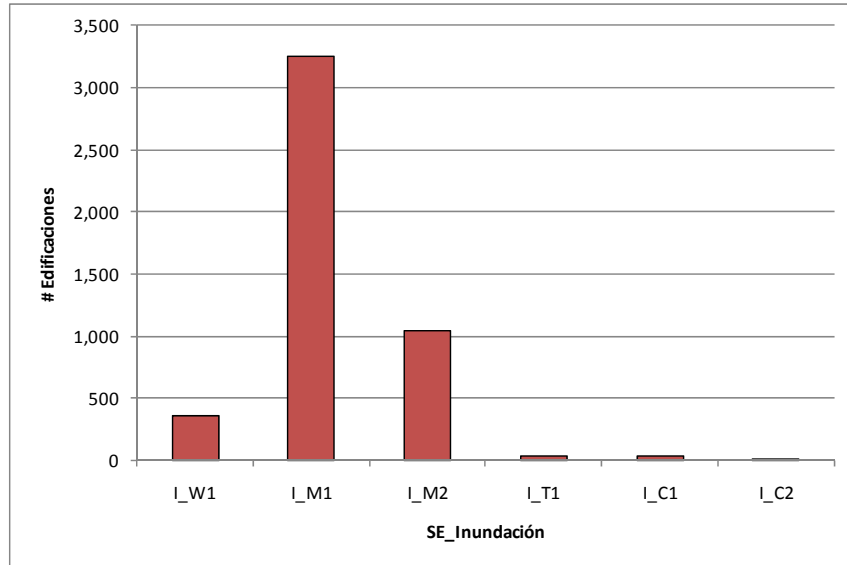
**Tabla 6-4**  
*Curvas de vulnerabilidad empleadas*

Material	Curva Sismo	Curva Viento	Curva Inundación	No Edificaciones	Valor Físico [US\$]	Ocupación [Hab]
<b>Madera</b>						
Madera1	W-SLFB-1	V_LF1	I_W1	358	3,757,866	2,365
<b>Mampostería Confinada</b>						
MConfinada2	MC-RPSB-2	V_PS2	I_M2	575	89,414,168	3,989
MConfinada1	MC-SLSB-1	V_LS1	I_M1	1,434	59,951,850	3,058
<b>Mampostería Reforzada</b>						
MRef2	MR-RPSB-2	V_PS2	I_M2	303	42,554,934	2,147
MRef1	MR-SLSB-1	V_LS1	I_M1	523	16,455,960	1,260
<b>Mampostería Simple</b>						
MSimple2	MS-RPSB-2	V_PS2	I_M2	170	15,401,124	1,692
MSimple1	MS-SLSB-1	V_LS1	I_M1	1,298	32,841,452	4,552
<b>Acero</b>						
Acero1	PAR-SLSB-1	V_LS1	I_T1	36	5,223,735	84
<b>Concreto</b>						
PCr2	PCR-RPSB-2	V_PS2	I_C2	13	3,616,812	224
PCr1	PCR-SPSB-1	V_PS1	I_C1	40	7,272,747	113
<b>Total</b>				<b>4,750</b>	<b>276,490,648</b>	<b>19,484</b>

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.

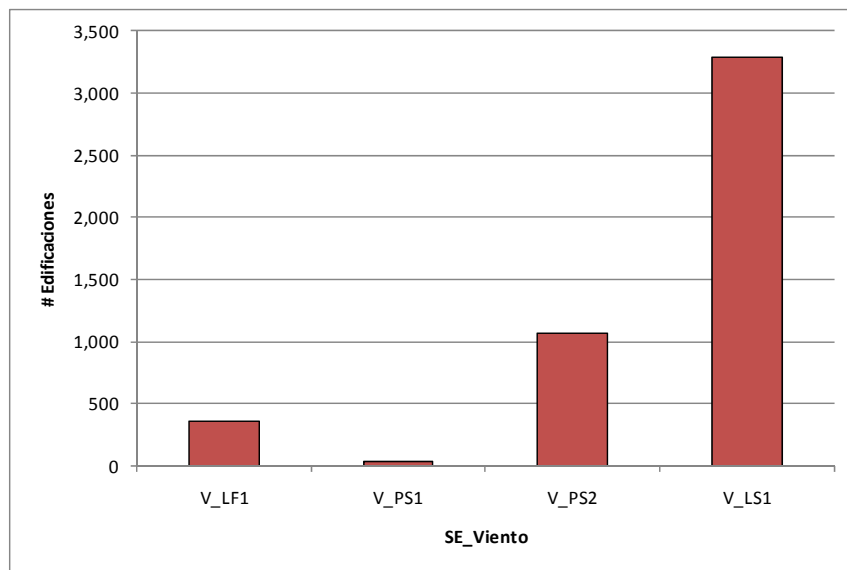


**Figura 6-6**  
*Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para sismo*



**Figura 6-7**

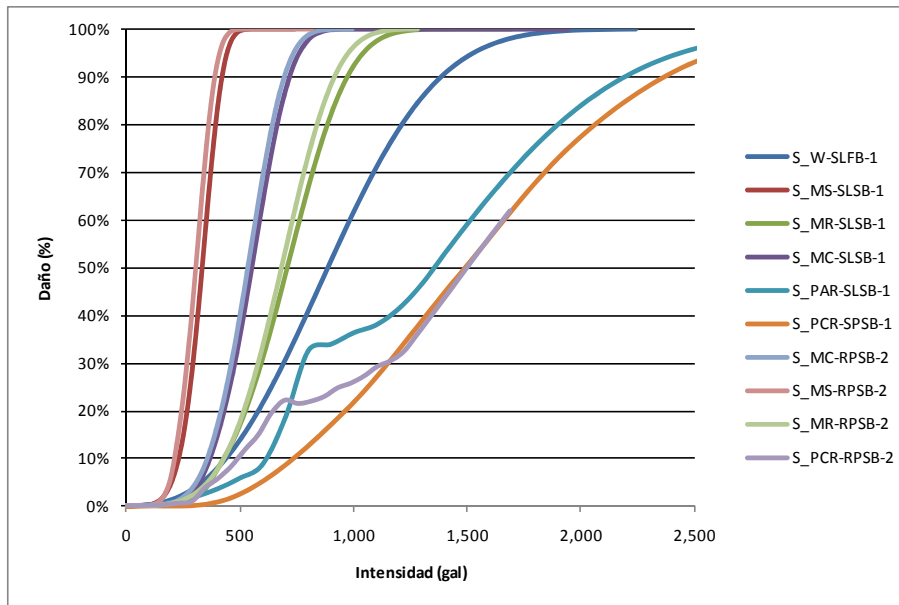
*Número de edificaciones según la curva de vulnerabilidad para inundación*



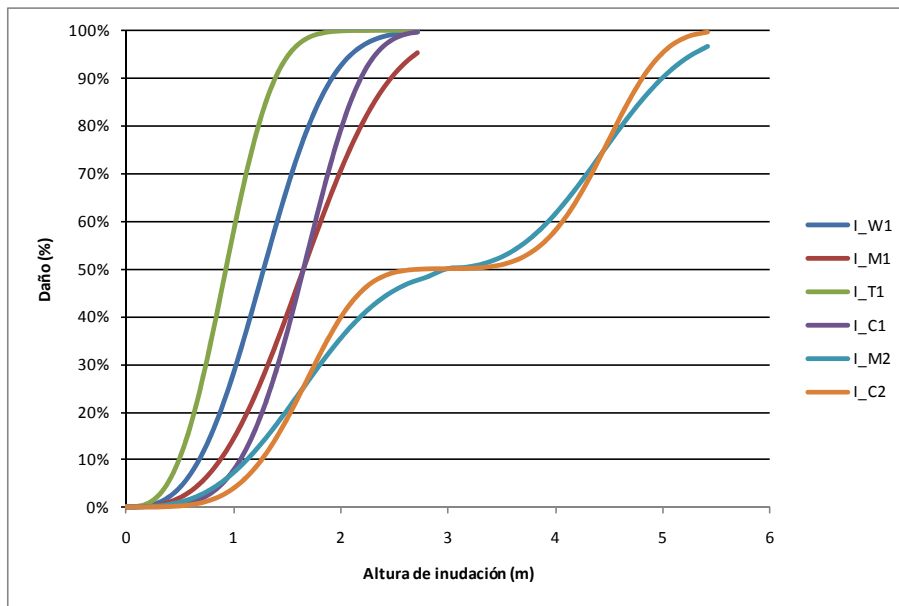
**Figura 6-8**

*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 6-9 a Figura 6-11.

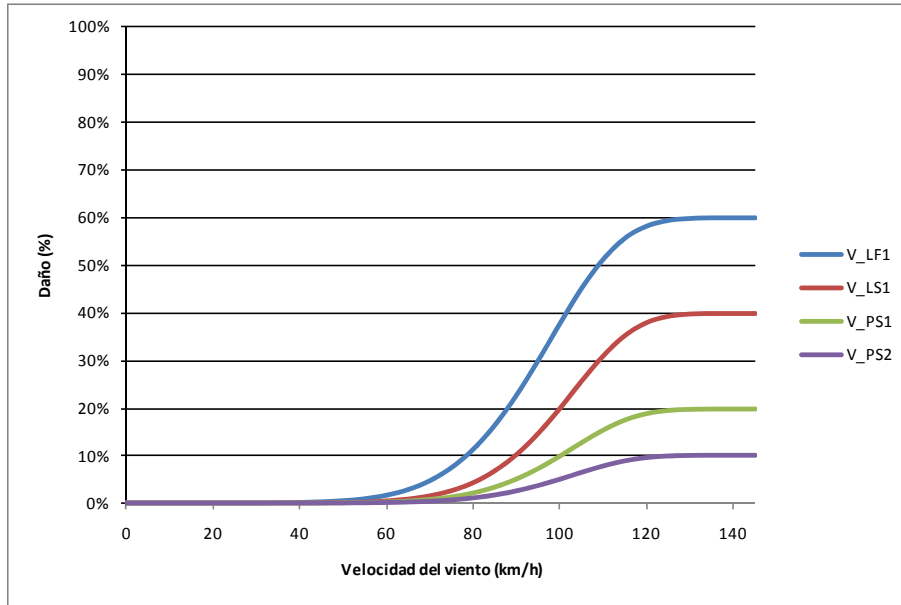


**Figura 6-9**  
*Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas*



**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](http://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			

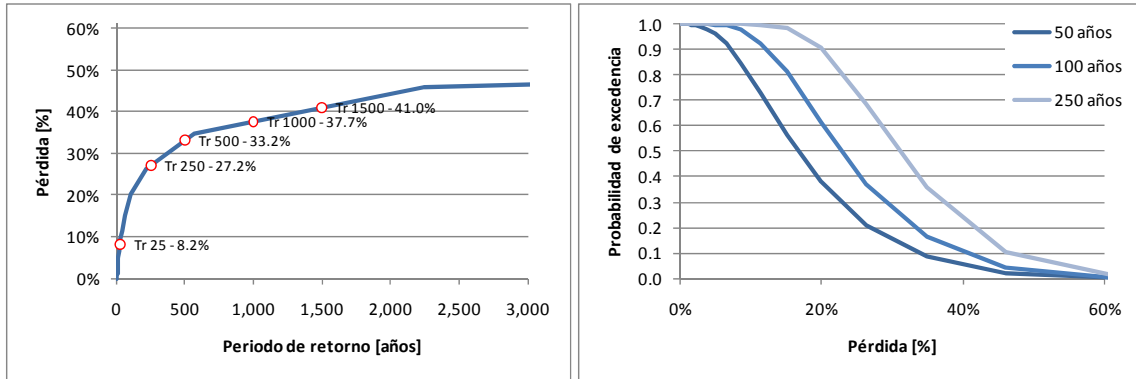
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por sismo, tsunami y huracán para La Libertad. En el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org) se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

#### 7.1.1 Resultados para sismo

La Tabla 7-2 y la Figura 7-1 resumen los resultados de riesgo para la amenaza sísmica.

*Tabla 7-2  
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	276.49
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	2.98
	‰	10.77‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
25	22.71	8.22%
250	75.23	27.21%
500	91.87	33.23%
1,000	104.16	37.67%
1,500	113.32	40.98%



**Figura 7-1**

**Resultados análisis**

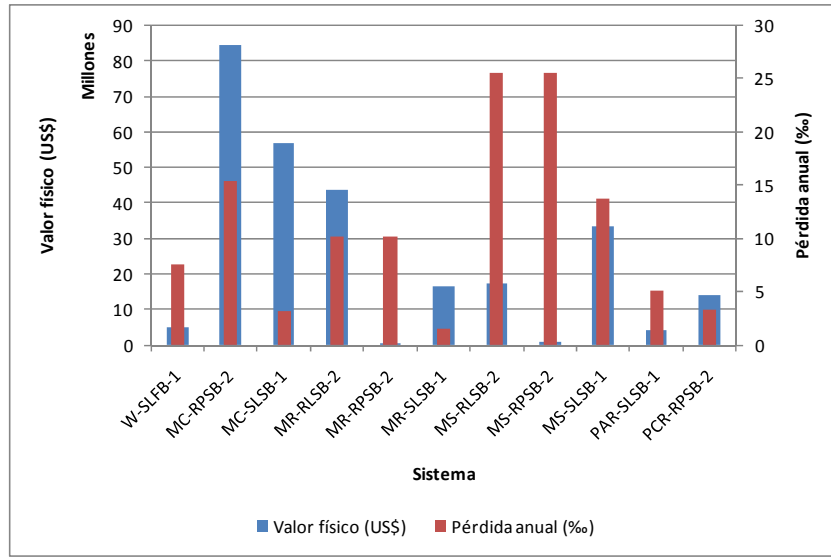
(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

La Tabla 7-3 y la Figura 7-2 a Figura 7-5 presentan los resultados del riesgo sísmico agrupados según sistema estructural, número de pisos, grupo de uso y categoría socioeconómica.

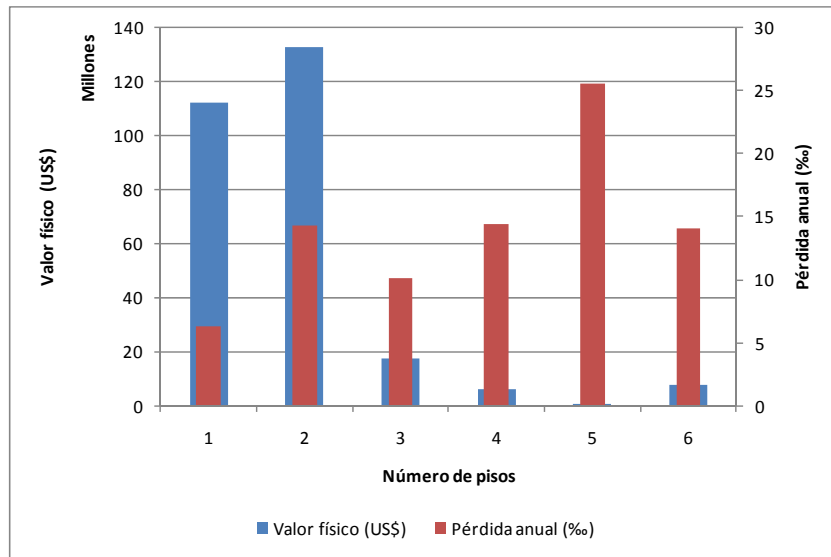
**Tabla 7-3**

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

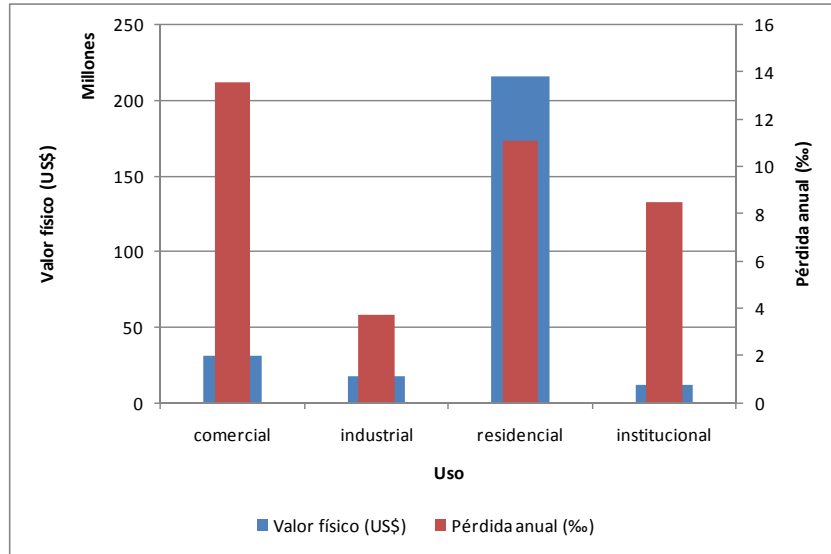
Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%o]
W-SLFB-1	5,013,016	1.8%	38,054	7.59%o
MC-RPSB-2	84,243,578	30.5%	1,293,296	15.35%o
MC-SLSB-1	56,821,917	20.6%	179,527	3.16%o
MR-RLSB-2	43,629,900	15.8%	445,150	10.20%o
MR-RPSB-2	480,816	0.2%	4,919	10.23%o
MR-SLSB-1	16,536,636	6.0%	25,892	1.57%o
MS-RLSB-2	17,201,808	6.2%	439,595	25.56%o
MR-RPSB-2	879,060	0.3%	22,466	25.56%o
MS-SLSB-1	33,490,126	12.1%	461,039	13.77%o
PAR-SLSB-1	4,331,055	1.6%	22,095	5.10%o
PCR-RPSB-2	13,862,736	5.0%	46,309	3.34%o
<b>Totales</b>	<b>276,490,648</b>	<b>100%</b>	<b>2,978,343</b>	<b>10.77%o</b>



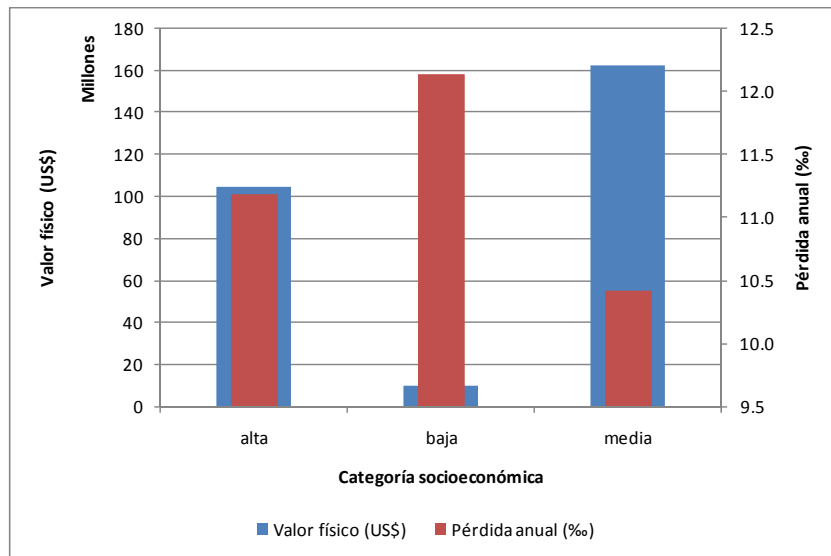
**Figura 7-2**  
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural*



**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*



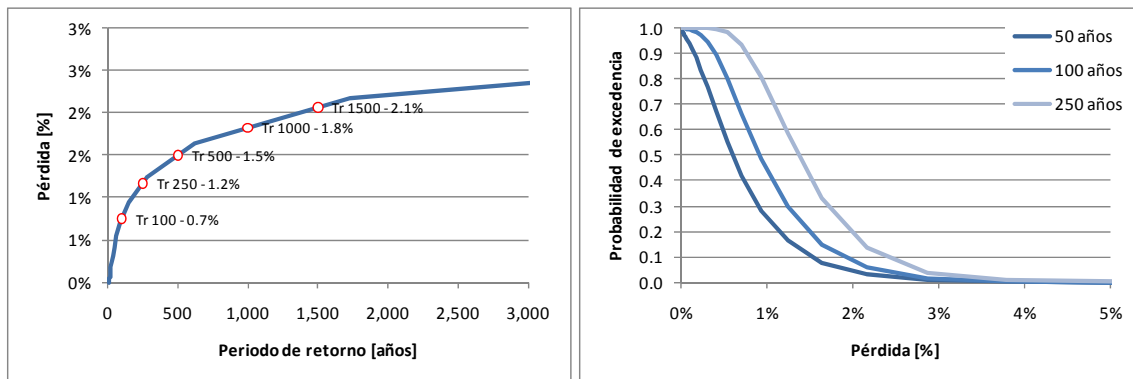
**Figura 7-5**  
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica*

### 7.1.2 Resultados para tsunami

La Tabla 7-4 y la Figura 7-6 resumen los resultados de riesgo por tsunami.

**Tabla 7-4**  
**Resultados generales**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	276.49
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	0.08
	‰	0.29‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
100	2.07	0.75%
250	3.24	1.17%
500	4.15	1.50%
1,000	5.05	1.83%
1,500	5.71	2.06%



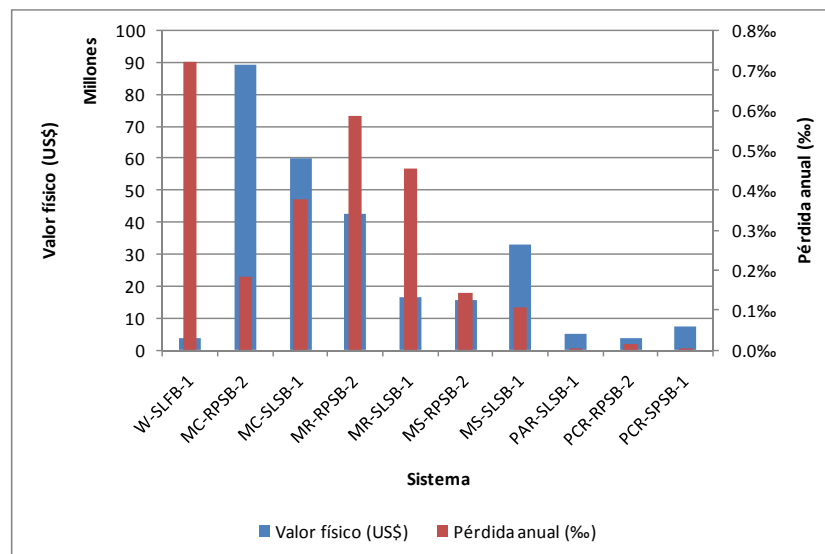
**Figura 7-6**

#### 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-SLFB-1	5,013,016	1.8%	3,602	0.72‰
MC-RPSB-2	84,243,578	30.5%	35,068	0.42‰
MC-SLSB-1	56,821,917	20.6%	14,197	0.25‰
MR-RLSB-2	43,629,900	15.8%	4,611	0.11‰
MR-RPSB-2	480,816	0.2%	0	0.00‰
MR-SLSB-1	16,536,636	6.0%	5,206	0.31‰
MS-RLSB-2	17,201,808	6.2%	3,647	0.21‰
MR-RPSB-2	879,060	0.3%	49	0.06‰
MS-SLSB-1	33,490,126	12.1%	10,119	0.30‰
PAR-SLSB-1	4,331,055	1.6%	6,363	1.47‰
PCR-RPSB-2	13,862,736	5.0%	125	0.01‰
<b>Totales</b>	<b>276,490,648</b>	<b>100%</b>	<b>82,987</b>	<b>0.29‰</b>



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

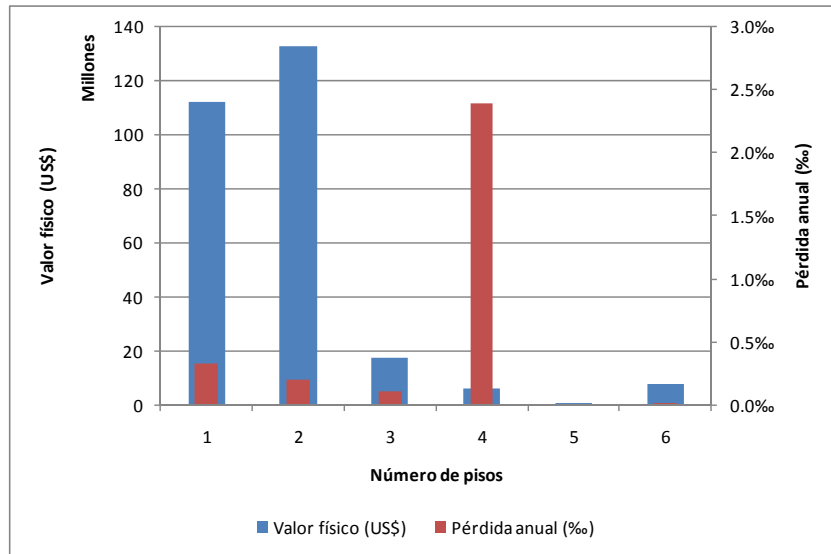


Figura 7-8

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

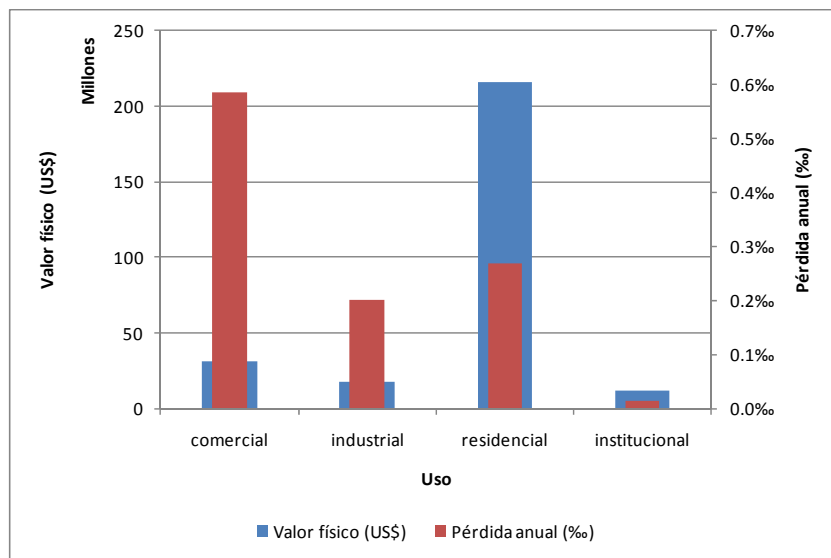
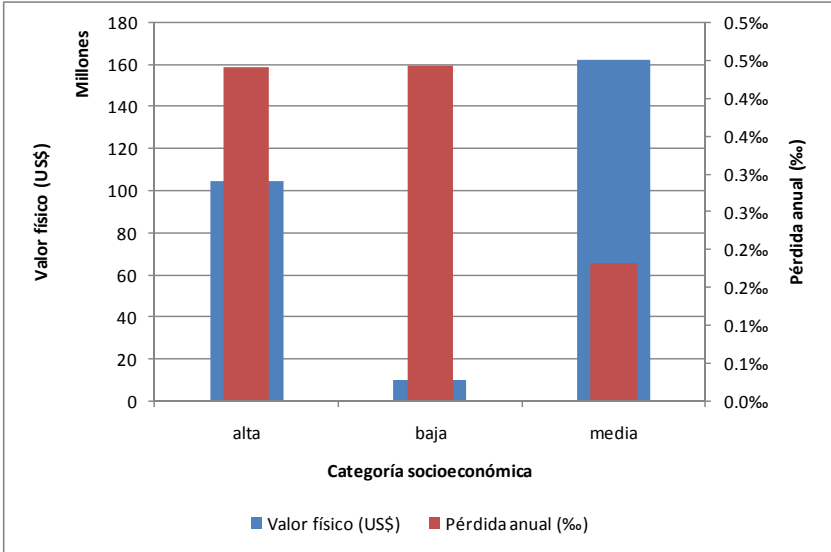


Figura 7-9

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





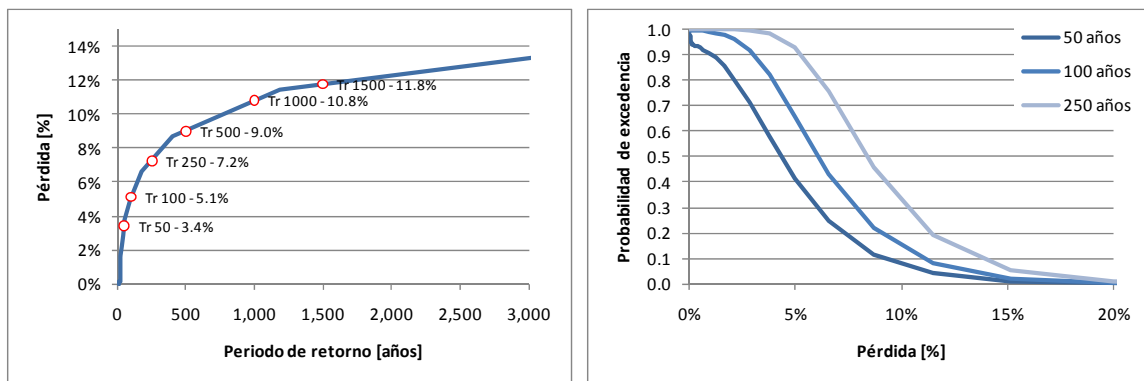
**Figura 7-10**  
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica*

### 7.1.3 Resultados para huracán (viento huracanado y marea de tormenta)

La Tabla 7-6 y la Figura 7-11 resumen los resultados de riesgo por viento huracanado y marea de tormenta.

**Tabla 7-6**  
**Resultados generales**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	276.49
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	0.51
	‰	1.85‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	9.39	3.40%
100	14.14	5.12%
250	20.05	7.25%
500	24.93	9.02%
1,000	29.89	10.81%
1,500	32.59	11.79%

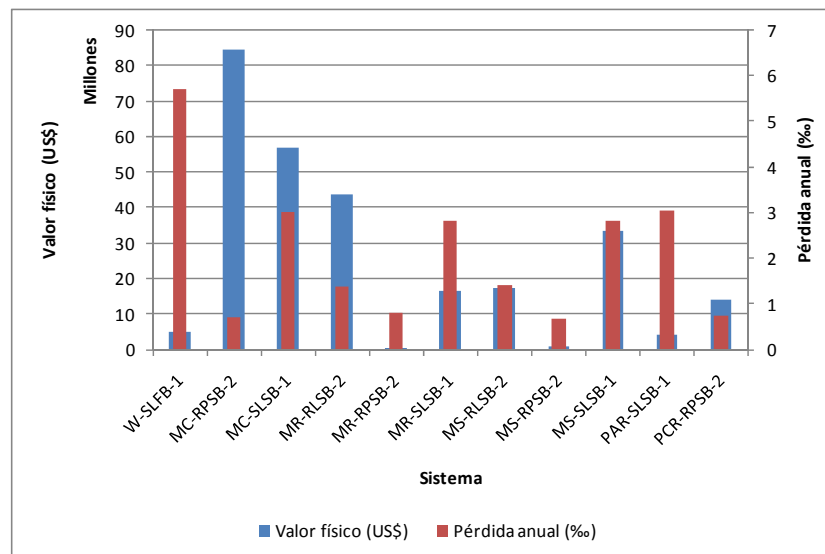


**Figura 7-11**  
**Resultados análisis**

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

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

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%o]
W-SLFB-1	5,013,016	1.8%	28,648	5.71‰
MC-RPSB-2	84,243,578	30.5%	60,244	0.72‰
MC-SLSB-1	56,821,917	20.6%	171,904	3.03‰
MR-RLSB-2	43,629,900	15.8%	60,523	1.39‰
MR-RPSB-2	480,816	0.2%	385	0.80‰
MR-SLSB-1	16,536,636	6.0%	46,620	2.82‰
MS-RLSB-2	17,201,808	6.2%	24,352	1.42‰
MR-RPSB-2	879,060	0.3%	606	0.69‰
MS-SLSB-1	33,490,126	12.1%	94,125	2.81‰
PAR-SLSB-1	4,331,055	1.6%	13,142	3.03‰
PCR-RPSB-2	13,862,736	5.0%	10,220	0.74‰
<b>Totales</b>	<b>276,490,648</b>	<b>100%</b>	<b>510,769</b>	<b>1.85‰</b>



**Figura 7-12**  
**Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural**

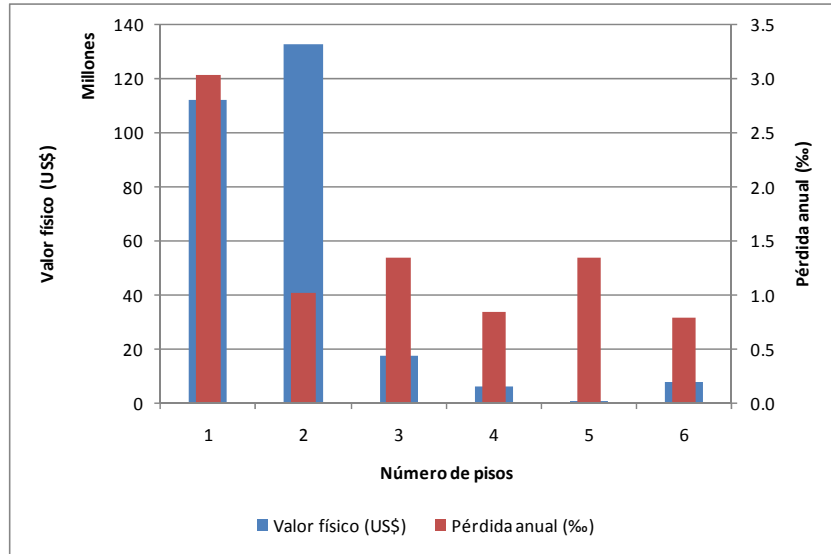


Figura 7-13

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

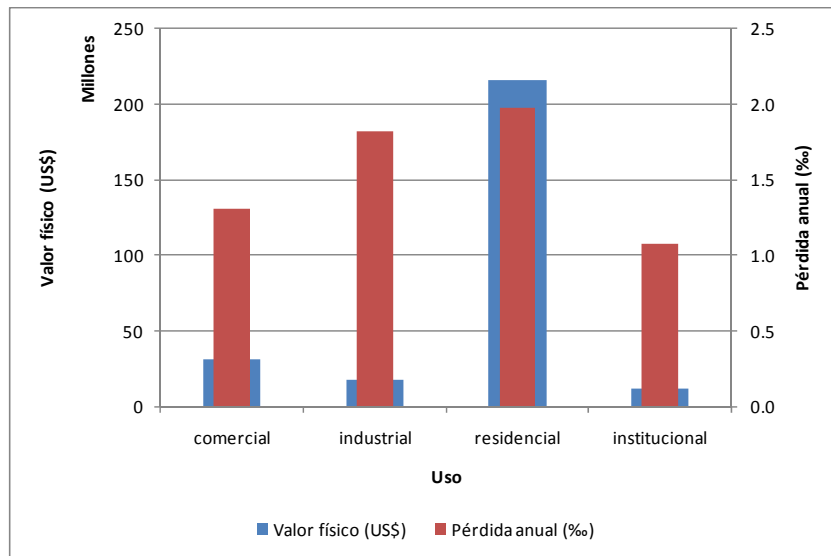
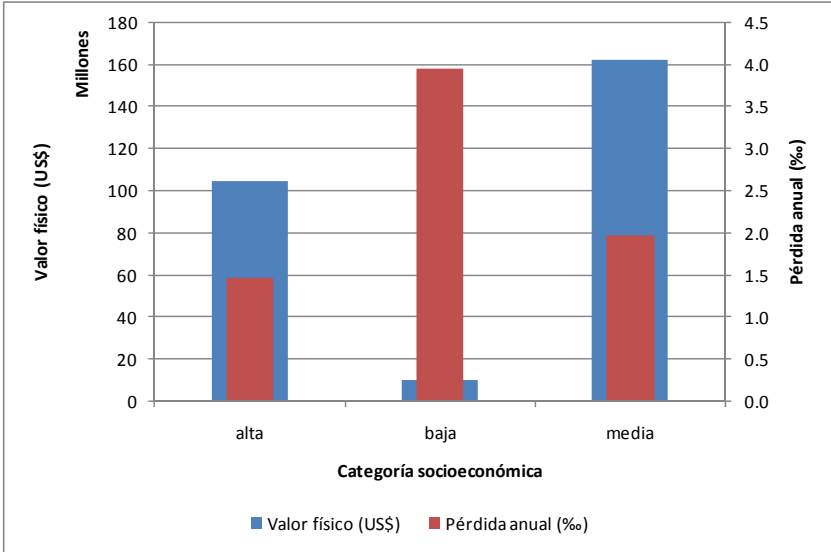


Figura 7-14

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



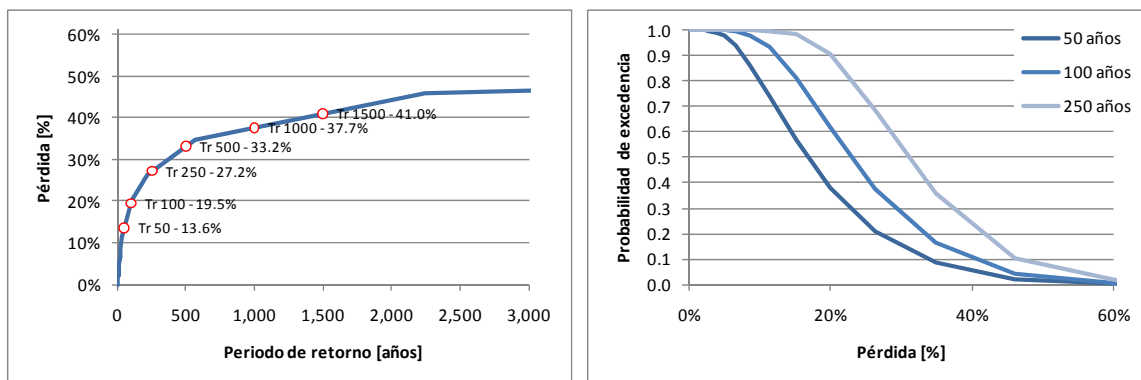
*Figura 7-15*  
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socio-económica*

### 7.1.4 Resultados agrupados

La Tabla 7-8 y la Figura 7-16 presentan los resultados para todas las temporalidades analizadas, en forma conjunta. El resultado corresponde a la suma de las tasas de excedencia de pérdida, de las curvas de excedencia obtenidas para cada temporalidad de cálculo.

**Tabla 7-8**  
**Resultados generales**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	276.49
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	3.57
	‰	12.92‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	37.67	13.63%
100	54.00	19.53%
250	75.25	27.22%
500	91.88	33.23%
1,000	104.16	37.67%
1,500	113.32	40.98%



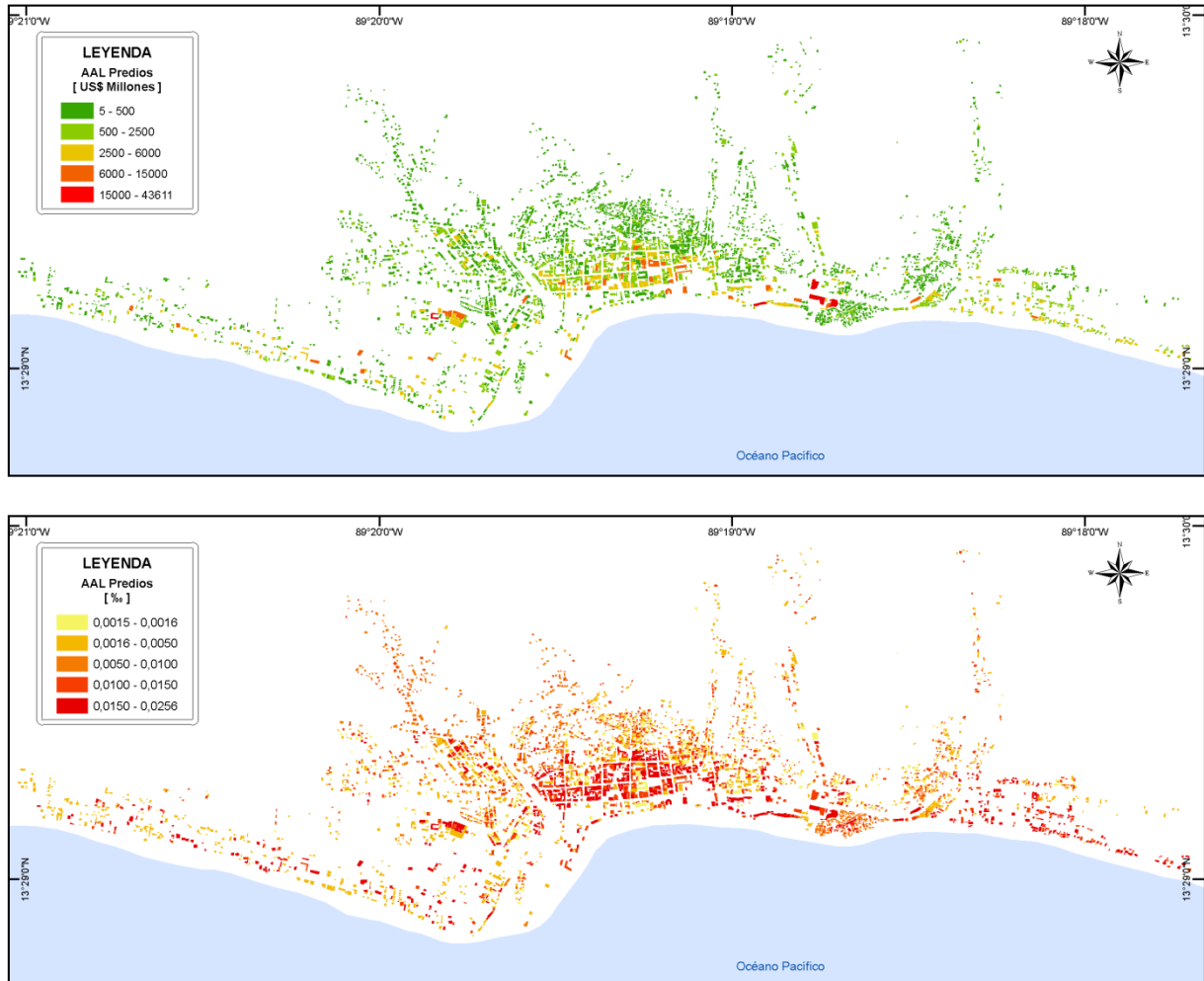
**Figura 7-16**

#### Resultados análisis

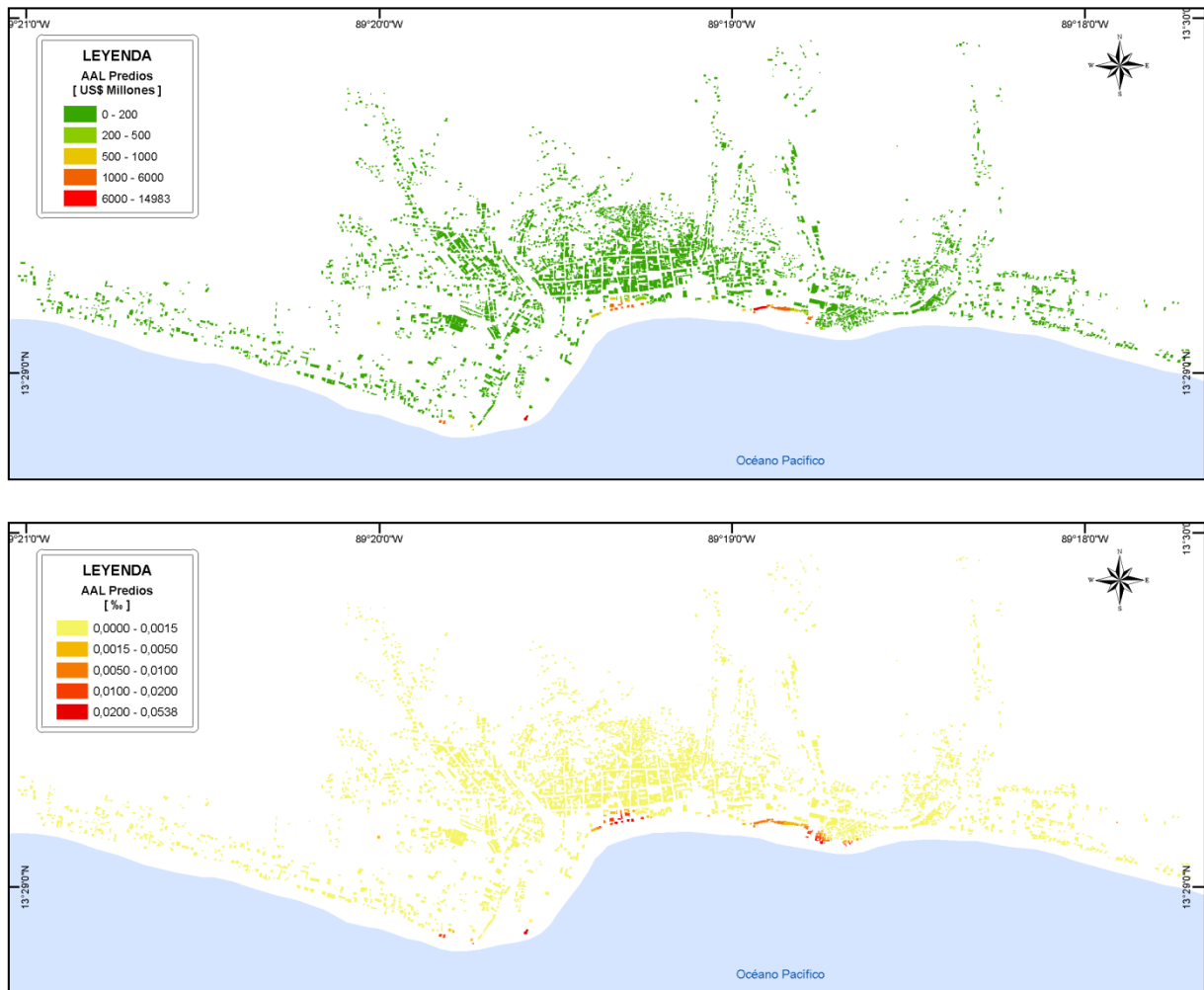
(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

### 7.1.5 Mapas de riesgo

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo, en los cuales se presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada para cada elemento expuesto. Los resultados se presentan al millar del valor de reposición y en valor económico. Los mapas de riesgo de La Libertad se presentan a continuación.

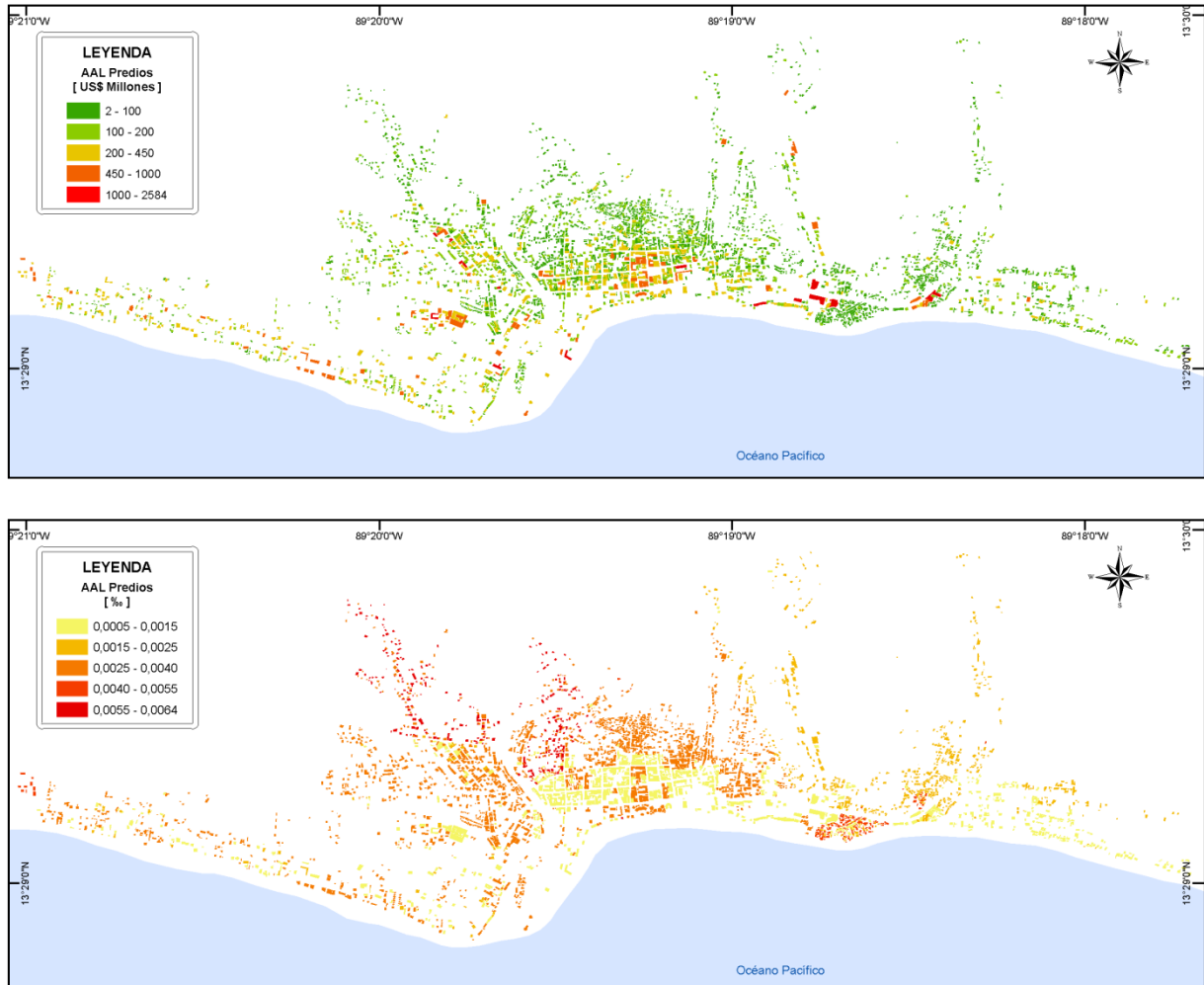


**Figura 7-17**  
*Pérdida anual esperada por predio para sismo*  
(Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)



**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 (viento y marea)**  
(Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

## 8 Conclusiones y Recomendaciones

---

El análisis de riesgo por sismo, tsunami y huracán (viento huracanado y marea de tormenta) presentado para la ciudad de La Libertad – El Salvador 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 sísmica. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 91'870.000, lo que equivale al 0.25% del PIB del país y al 33.2% del valor total expuesto del municipio.

La prima pura de riesgo global calculada para el municipio es alta (12.92‰), debido principalmente al aporte al resultado de las pérdidas probables por sismo (prima de 10.77‰); esto debido a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad dadas las características de sus construcciones.

En lo que se refiere a las amenazas por huracán y tsunami, si bien hay evidencia histórica de eventos importantes, en términos de pérdida anual es posible concluir que el riesgo asociado es menor comparativamente con la amenaza sísmica. Sin embargo es importante incluir estos resultados en políticas de reducción o de transferencia del riesgo, que permitan abordar el problema de manera integral.

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 exposición: debe recurrirse a la base catastral de la población. El modelo utilizado en el presente análisis solo es útil para 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.
- (d) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan de 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.
- (e) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones deben 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 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 amenaza, 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 viviendas o 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

---

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T3.2. <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.

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

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

Organización Mundial de la Salud, Biblioteca virtual de salud y desastres. Crónicas de Desastres - Huracanes Georges y Mitch: Segunda parte: Huracán Mitch: Nicaragua\_ Daños causados. <http://www.helid.desastres.net/>

SNET. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. [www.snet.gob.sv/](http://www.snet.gob.sv/)

DGEC. Dirección General de Estadística y Censos. VI Censo de población y V de vivienda de 2007. [www.censos.gob.sv/util/datos/Resultados](http://www.censos.gob.sv/util/datos/Resultados)

Turismo en El Salvador. [www.turismo.com.sv/destinos/izalco.php](http://www.turismo.com.sv/destinos/izalco.php)

Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y desarrollo humano. <http://www.mop.gob.sv/>