

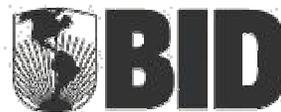
# CAPRA

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

## HONDURAS

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

**INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2A**  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE**  
**EN TEGUCIGALPA**





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

**Consortio conformado por:**

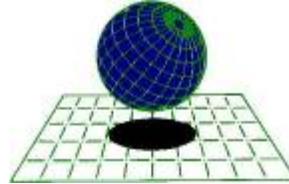
**Colombia**

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](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 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

---

<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 huracán .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Eventos Históricos.....	4-1
4.2	Evaluación de la amenaza.....	4-1
<b>5</b>	<b>Amenaza por deslizamiento .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Eventos Históricos.....	5-1
5.2	Evaluación de la amenaza.....	5-1
<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 viento huracanado.....	7-6
7.1.3	Resultados agrupados.....	7-9
7.1.4	Mapas de riesgo .....	7-10
7.2	Análisis determinista del riesgo por deslizamiento .....	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 TEGUCIGALPA .....	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S <sup>2</sup> ] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	3-3
FIGURA 3-2 EVENTOS ESTOCÁSTICOS REPRESENTATIVOS A NIVEL NACIONAL. ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO EN CM/S <sup>2</sup> .....	3-3
FIGURA 3-3 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN TEGUCIGALPA PARA LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO .....	3-4
FIGURA 4-1 MAPAS DE VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	4-3
FIGURA 4-2 CURVA DE AMENAZA POR VIENTO HURACANADO EN TEGUCIGALPA [KM/H].....	4-3
FIGURA 5-1 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO PARA TEGUCIGALPA. ESTADO DE SUELO SATURADO. ANÁLISIS MÉTODO DE FALLA TRASLACIONAL.....	5-2
FIGURA 6-1 MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS Y DISCRETIZACIÓN PREDIAL DE TEGUCIGALPA .....	6-2
FIGURA 6-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y ÁREA CONSTRUIDA POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	6-3
FIGURA 6-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y ÁREA CONSTRUIDA POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	6-4
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y ÁREA CONSTRUIDA POR NÚMERO DE PISOS.....	6-4
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y ÁREA CONSTRUIDA POR NÚMERO DE PISOS.....	6-5
FIGURA 6-6 NÚMERO DE REGISTROS SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA SISMO .....	6-6
FIGURA 6-7 NÚMERO DE REGISTROS SEGÚN LA CURVA DE VULNERABILIDAD PARA VIENTO.....	6-7
FIGURA 6-8 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR SISMO EMPLEADAS .....	6-7
FIGURA 6-9 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO EMPLEADAS .....	6-8
FIGURA 6-10 CURVA DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO EMPLEADA .....	6-8
FIGURA 7-1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA SISMO .....	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 .....	7-4
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.....	7-5
FIGURA 7-6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA VIENTO HURACANADO .....	7-6
FIGURA 7-7 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-7
FIGURA 7-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-8
FIGURA 7-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-8
FIGURA 7-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIOECONÓMICA.....	7-9
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-10
FIGURA 7-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA SISMO .....	7-11
FIGURA 7-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA VIENTO HURACANADO .....	7-12

## Índice de tablas

---

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO DE TEGUCIGALPA .....	3-2
TABLA 5-1 DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN TEGUCIGALPA .....	5-1
TABLA 6-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES .....	6-2
TABLA 6-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	6-3
TABLA 6-3 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS .....	6-4
TABLA 6-4 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS .....	6-5
TABLA 6-5 EXPOSICIÓN POR CURVA DE VULNERABILIDAD.....	6-6
TABLA 7-1 TEMPORALIDADES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO .....	7-1
TABLA 7-2 RESULTADOS GENERALES PARA SISMO .....	7-2
TABLA 7-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	7-3
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES PARA VIENTO HURACANADO .....	7-6
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	7-7
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES .....	7-9
TABLA 7-7 VALOR EXPUESTO Y PÉRDIDA ECONÓMICA .....	7-13

# 1 Introducción

---

Tegucigalpa, ciudad capital de Honduras, cuenta con una población aproximada de 1,300,000 habitantes (proyección a 2008). Se localiza en la zona central del país y se caracteriza por estar ubicada en un altiplano, a unos 990 msnm, rodeado de cerros, entre los que se destaca el cerro El Picacho (1,240 msnm), ubicado al norte de la ciudad. El río Grande o Choluteca cruza la ciudad de norte a sur y la divide en dos zonas: la Tegucigalpa propiamente dicha, al este, y Comayagüela, ciudad que se fusionó con Tegucigalpa en 1898, al oeste. Ambas forman el Distrito Central, sede constitucional del Gobierno de la República.



*Figura 1-1*  
*Localización geográfica de Tegucigalpa*

En la ciudad contrastan las edificaciones coloniales con las modernas y cuenta aproximadamente con 157,764 predios distribuidos principalmente en uso residencial, comercial, institucional e industrial, donde predominan los sistemas estructurales como la mampostería simple, confinada y reforzada, seguido de pórticos en concreto, madera y adobe.

Las actividades económicas más sobresalientes de la ciudad son el comercio, construcción, servicios, industria textil, azúcar y el tabaco, por lo que la convierte en el centro político y económico más importante del país.

Honduras se encuentra en una zona de alta susceptibilidad al paso de huracanes generados en la cuenca del Atlántico. Estos eventos afectan la región del Atlántico Norte en un promedio de 10 eventos por año. Cada uno de estos eventos se manifiesta mediante uno o varios de los siguientes fenómenos: vientos fuertes, marejadas ciclónicas y lluvias torrenciales. El 30 de octubre de 1998 la ciudad sufrió un impacto importante tras el paso por territorio hondureño del huracán Mitch, que destruyó parte de Comayagüela. El huracán se mantuvo sobre el territorio hondureño por cinco días lo que ocasionó deslizamientos de tierra e inundaciones en todo el país, principalmente en Tegucigalpa.

El 11 de julio de 1999, un sismo de magnitud 6.4 asociado a la falla Motagua (Guatemala), sacudió el territorio hondureño, siendo uno de los más sentidos en el siglo XX en el país. El 28 de mayo de 2009, un sismo de magnitud 7.1 con epicentro en el Mar Caribe sacudió fuertemente varias poblaciones localizadas sobre la costa atlántica, destruyendo varias edificaciones. Por otra parte, un terremoto de magnitud 5.5 (ML) destruyó varios municipios ubicados en el departamento de Comayagua en 1774.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de eventos extremos, se deben identificar condiciones de la ciudad 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 de la ciudad de Tegucigalpa ante eventos sísmicos y de paso de huracanes, y 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 para las amenazas de sismo y huracán.

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 en Tegucigalpa 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 web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación del riesgo ante amenaza por sismo, huracán y deslizamiento incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza sísmica: 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: ésta se evalúa 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) Evaluación de la amenaza por deslizamiento inducido por sismo: se evalúa mediante un escenario específico determinista. La evaluación permite obtener la pérdida esperada para cada bien y el portafolio en general dada la eventual ocurrencia del evento seleccionado en el escenario.
- (d) 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.
- (e) 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).
- (f) 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, 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 web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

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

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

#### 3.1 Eventos históricos

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

El 11 de julio de 1999, un sismo de magnitud 6.4 asociado a la falla Motagua que sacudió el territorio hondureño siendo uno de los más sentidos en el siglo XX en el país. El 28 de mayo de 2009, un sismo de magnitud 7.1 con epicentro en el Mar Caribe en aguas de Honduras sacudió fuertemente a toda la región. Por su ubicación, varias poblaciones localizadas hacia el Mar Caribe resultaron afectadas por el sismo y se presentó el fenómeno de licuefacción que afectó varias edificaciones. Se suspendieron las actividades por daños en la infraestructura educativa.

En la Tabla 3-1 se presenta los principales sismos que han afectado el territorio de Tegucigalpa.

**Tabla 3-1**  
**Principales sismos que han afectado el territorio de Tegucigalpa**  
(Fuente: <http://atlas.snet.gob.sv/atlas/files/sismos/tablas/invSismosHond.html>)

Año	Magnitud (Intensidad MM)	Descripción
1774	5.5 (VI)	Temblores ocurridos en Tegucigalpa y Comayagua. Las sacudidas de ese año arrasaron a Comayagua y sus cercanías, en la Depresión de Honduras.
1851	(VI)	Sismo de la Depresión de Honduras, afectó Comayagua, Tegucigalpa y alrededores.
1999	6.4	Enjambre 800 sismos, 40 sentidos con daños y pánico en la población. Golfo de Fonseca. V MM en Tegucigalpa.

### 3.2 Evaluación de la amenaza

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

Con base en dicha información y empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, 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 19,380 escenarios, según la metodología presentada en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN2010), 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 aceleración máxima del terreno para diferentes periodos de retorno.

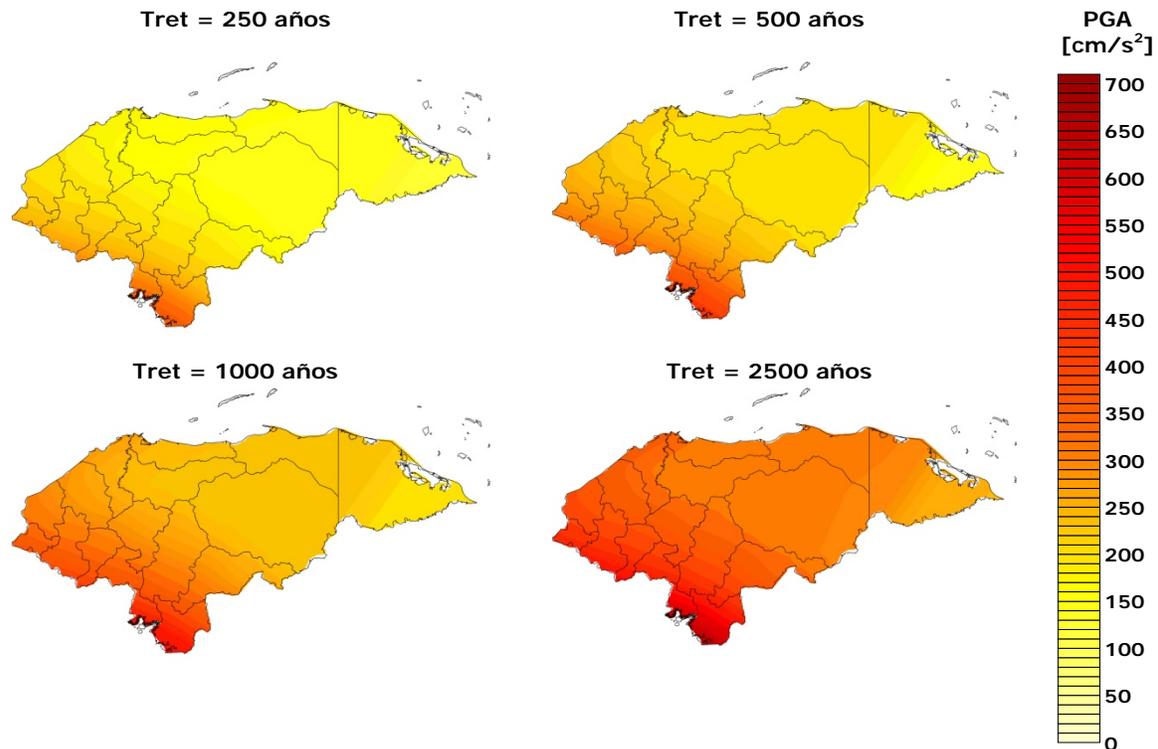


Figura 3-1

Mapas de aceleración máxima del terreno [ $\text{cm/s}^2$ ] para diferentes periodos de retorno

La Figura 3-2 presenta dos eventos estocásticos pertenecientes al catálogo de eventos simulados calculado para Honduras. El primero (izquierda) corresponde a un evento detonado por el movimiento de fuentes intraplaca en el país, cerca de Tegucigalpa. El segundo (derecha) corresponde a un terremoto generado en la zona de falla de Walton, en el Caribe Hondureño.

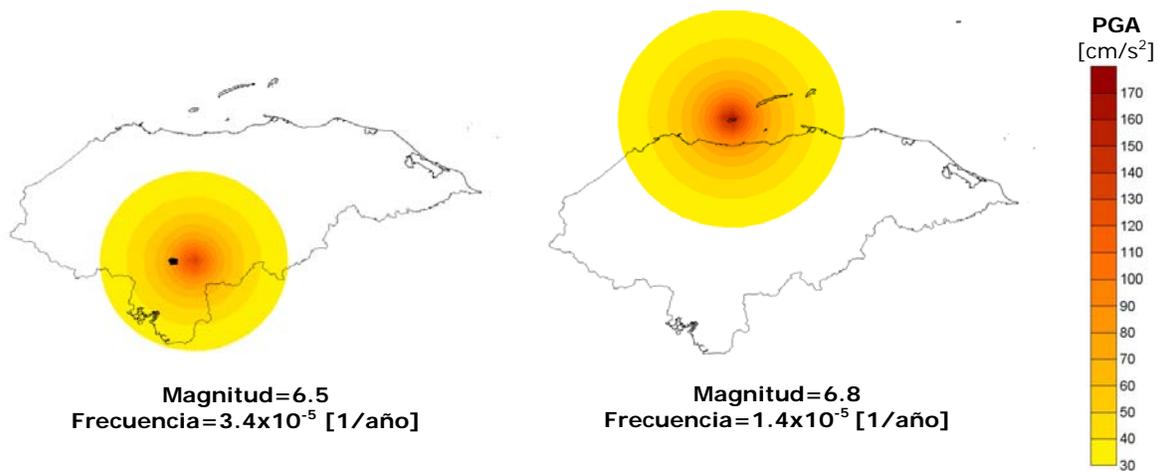
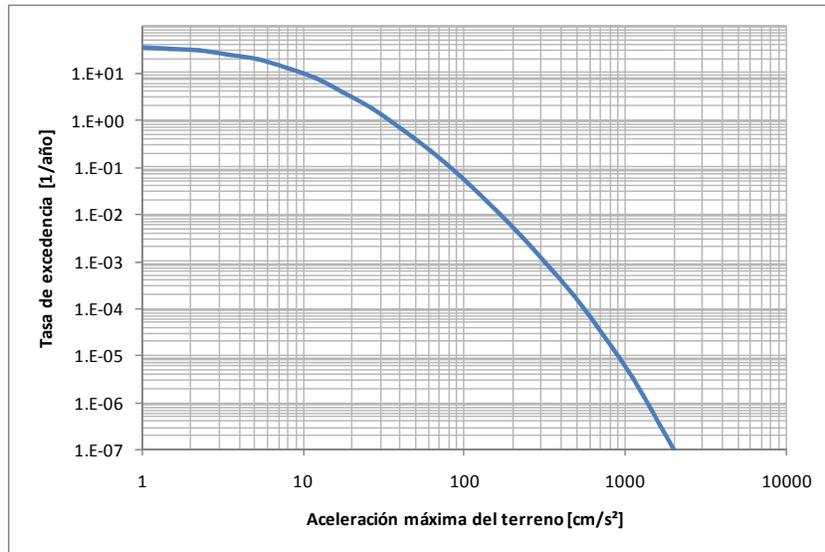


Figura 3-2

Eventos estocásticos representativos a nivel nacional. Aceleración máxima del terreno en  $\text{cm/s}^2$

Por otra parte la Figura 3-3 presenta la curva de amenaza para un punto representativo de la ciudad.



*Figura 3-3*

*Curva de amenaza sísmica en Tegucigalpa para la aceleración máxima del terreno*

## 4 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).

### 4.1 Eventos Históricos

El territorio hondureño se ve afectado principalmente por huracanes y tormentas tropicales que son originadas en el océano atlántico, o que provienen desde África y Portugal. Desde 1980 hasta el 2009, varios huracanes han afectado de manera considerable el territorio de Honduras, siendo el huracán Mitch (1998) el evento más destructivo en la historia reciente de Honduras. El paso por Tegucigalpa trajo consigo una serie de desastres que ocasionaron grandes pérdidas para la ciudad.

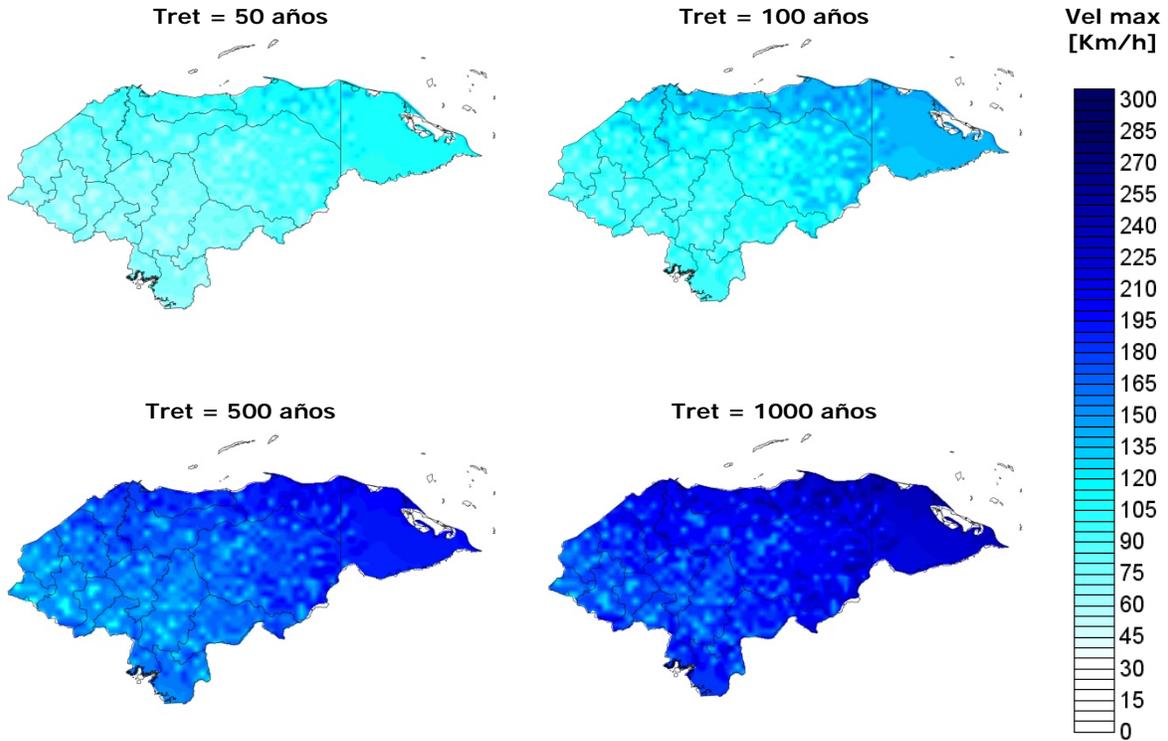
El 30 de octubre de 1998 la ciudad sufrió daños importantes tras el paso del huracán Mitch, que destruyó una parte de Comayagüela y los lugares bordeados por el río Grande o Choluteca. El huracán se mantuvo sobre el territorio hondureño por cinco días lo que ocasionó deslizamientos e inundaciones en todo el país, principalmente en Tegucigalpa.

### 4.2 Evaluación de la amenaza

Para el presente caso la amenaza por huracán se evalúa exclusivamente en términos de velocidad del viento huracanado. 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).

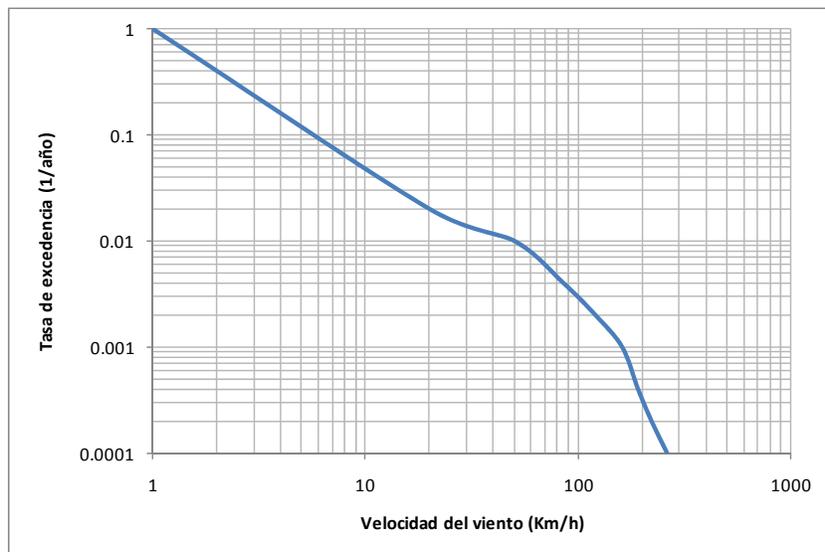
Para la modelación de la amenaza, se empleó información topográfica con resolución de 30 m, obtenida del STRM de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org), se construyó un catálogo huracanes estocásticos e históricos, que representan de manera integral la amenaza del país.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 82 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 4-1 presenta mapas de amenaza por huracán, en términos de velocidad máxima de vientos huracanados, para diferentes períodos de retorno.



*Figura 4-1*  
Mapas de velocidad máxima del viento [km/h] para diferentes periodos de retorno

Por otra parte la Figura 4-2 presenta la curva de amenaza de viento para un punto representativo de la ciudad.



*Figura 4-2*  
Curva de amenaza por viento huracanado en Tegucigalpa [Km/h]

## 5 Amenaza por deslizamiento

---

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](http://www.ecapra.org).

### 5.1 Eventos Históricos

El territorio hondureño presenta condiciones específicas de susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos. La Tabla 5-1 presenta algunos de los deslizamientos más representativos ocurridos desde mediados del siglo XX.

*Tabla 5-1  
Deslizamientos ocurridos en Tegucigalpa*

Ubicación	Fecha	Descripción
Tegucigalpa	25/08/1995	Vecindario Flor del campo, en las afueras de Tegucigalpa. Se registró un deslizamiento de tierra que arrasó con 30 casas y dejó un saldo de 2 muertos.
El Reparto	31/10/1998	Ocasionado por el Huracán Mitch. Profundo deslizamiento, representado por un hundimiento/flujo de escombros con un volumen de 400,000m <sup>3</sup> , destruyó numerosas viviendas de la sección de Tegucigalpa conocida como Colonia El Reparto.
Cerro Berrinche	1998	Gran movimiento ocurrido en el Cerro el Berrinche, en la capital de La República, el cual soterró las colonias situadas en sus laderas, ocasionado por el Huracán Mitch. Destruyó una porción del centro de la ciudad conocida como Colonia Soto y represó al Río Choluteca. También destruyó partes de las cercanas colonias Catorce de Febrero y El Porvenir.
Barrio Santa Rosa	23/09/1999	Un hundimiento incipiente cuya formación se iniciara durante el paso del huracán Mitch, con un desplazamiento de unos 80 cm ocurrido a lo largo de una grieta parcialmente formada, reanudó su desplazamiento durante un periodo de intensas lluvias vespertinas. La reactivación de este hundimiento implicó un volumen de unos 1,800 m <sup>3</sup> y afectó a 37 viviendas.
	22/06/2009	Las lluvias que se registraron en el sur, occidente y centro del país obedecieron a los efectos de la tormenta tropical "Andrés". Dejando un saldo de dos mujeres muertas y otra más desaparecida. Además de múltiples deslizamientos de tierra y rocas entre Tegucigalpa y la ciudad de Comayagua.

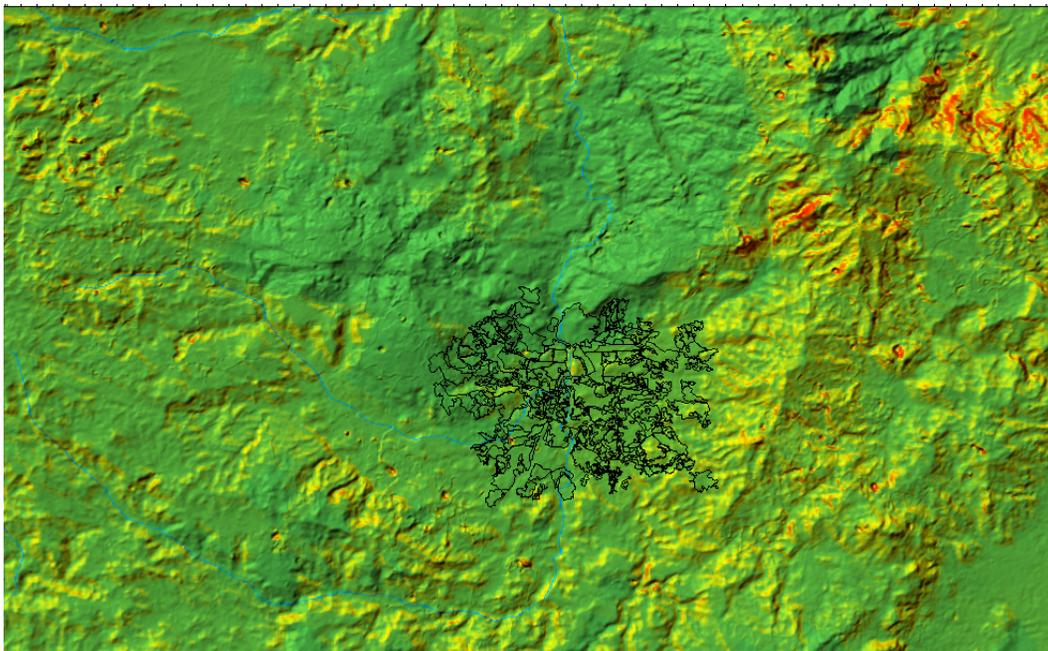
### 5.2 Evaluación de la amenaza

Para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en la zona seleccionada de estudio se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN 2010), y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación de la amenaza por deslizamiento en la zona de estudio incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza por deslizamiento inducido por sismo en condiciones de propiedades geotécnicas saturadas.
- (b) Levantamiento de información básica para el estudio lo cual incluye como mínimo el modelo digital de elevación de la zona de estudio y las propiedades geotécnicas de los suelos superficiales.
- (c) Evaluación de la amenaza por deslizamiento siguiendo la metodología de falla traslacional o plana para un talud infinitamente largo.

La amenaza sísmica detonante se consideró mediante un escenario determinista correspondiente a un sismo de magnitud 6.83 Mw. En La Figura 5-1 se presenta el resultado del análisis de amenaza, bajo condiciones de suelo saturado y terremoto, en términos del factor de inestabilidad.



*Figura 5-1*

*Mapa de amenaza por deslizamiento para Tegucigalpa. Estado de suelo saturado.  
Análisis método de falla traslacional.*

## 6 Inventario de elementos expuestos

---

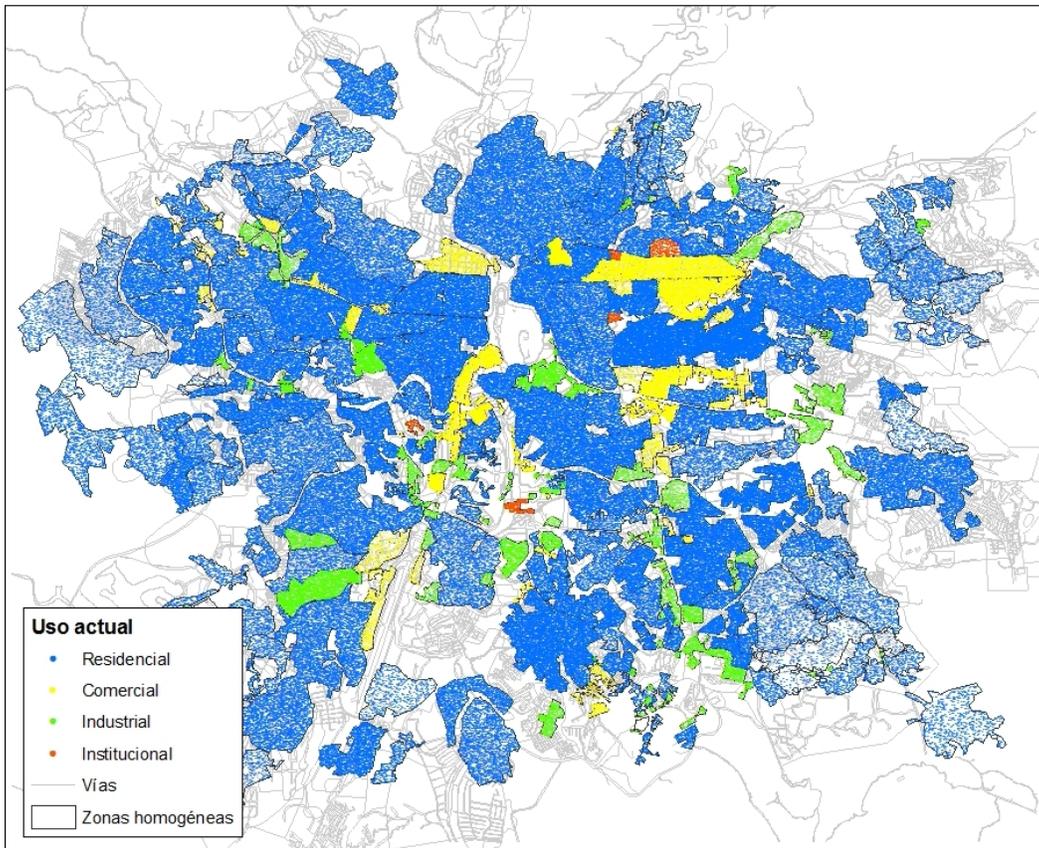
### 6.1 Levantamiento de la información básica

Para la ciudad de Tegucigalpa se cuenta con un censo poblacional que relaciona el número actual de personas, pero no 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, haciendo un levantamiento digital a partir de imágenes de satélite, complementado con estadísticas de población, fotografías, indicadores oficiales y conceptos de expertos locales. Esta información, al igual que cualquier otro modelo de información aproximada, es susceptible de ser mejorada, actualizada y depurada mediante trabajo intenso de campo o mediante la disponibilidad de la información catastral detallada. La calidad y resolución de la información de exposición levantada define la confiabilidad y resolución de los resultados del análisis de riesgo.

La Figura 6-1 presenta una imagen de las zonas homogéneas de la ciudad, digitalizadas utilizando la herramienta web de zonificación urbana de CAPRA (disponible en [www.ecapra.org/zonhu.php](http://www.ecapra.org/zonhu.php) para Tegucigalpa). Dicha herramienta permite identificar, sobre imágenes satelitales de Google Maps, zonas de exposición homogénea, es decir, zonas en donde pueden identificarse condiciones de uso, niveles de ocupación, costo y densidades de construcción similares. Cada zona homogénea es luego calificada en términos de porcentajes identificados de tipos constructivos, con relación a lo observado durante el levantamiento.

Estas zonas homogéneas fueron luego discretizadas, para simular los predios de la ciudad. El proceso de discretización consiste en ubicar aleatoriamente puntos dentro de cada zona homogénea, asignando a cada punto un costo y ocupación consistente con los valores identificados en la zona, y un tipo constructivo en función de los porcentajes previamente definidos. El número total de predios ubicados por zona es consistente con la densidad de construcciones identificada en el levantamiento.



**Figura 6-1**  
*Mapa de zonas homogéneas y discretización predial de Tegucigalpa*

## 6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición de Tegucigalpa, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asignan 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.

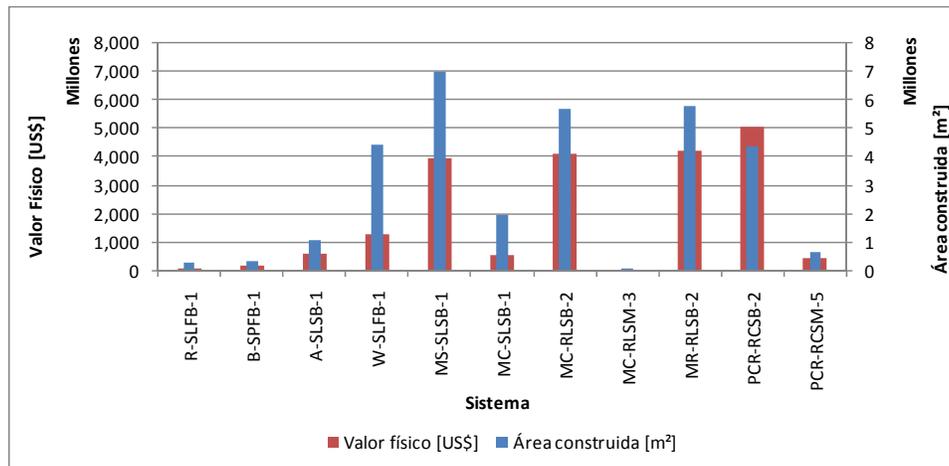
**Tabla 6-1**  
*Indicadores generales de exposición de edificaciones*

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	862,510
Área total de terreno urbano	km <sup>2</sup>	90
Densidad de población	Hab/km <sup>2</sup>	9,567
No. total de Edificaciones		157,764
Área de construcción	m <sup>2</sup>	31,553 x10 <sup>3</sup>
Densidad construcción urbana	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> terreno urbano	0.35
Valoración total de construcciones	US\$ millones	20,587
Valor promedio/m <sup>2</sup> construido	US\$/m <sup>2</sup>	650

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 y su distribución en la ciudad se encuentra en el informe ERN-CAPRA-T2.2 (Propuesta de Funciones e Indicadores de Vulnerabilidad, ERN 2010).

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

Sistema	Código sistema	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
No tecnificado	R-SLFB-1	291,390	85.19	14,578
Bahareque	B-SPFB-1	360,528	177.84	13,222
Adobe	A-SLSB-1	1,054,805	598.65	33,045
Madera	W-SLFB-1	4,402,765	1,301.12	220,174
Mampostería simple	MS-SLSB-1	6,956,166	3,963.95	215,536
Mampostería confinada	MC-SLSB-1	1,949,289	572.82	97,436
	MC-RLSB-2	5,654,393	4,116.40	112,232
	MC-RLSM-3	67,569	49.19	676
Mampostería reforzada	MR-RLSB-2	5,787,183	4,213.07	115,851
Pórticos en concreto	PCR-RCSB-2	4,384,124	5,039.39	32,661
	PCR-RCSM-5	644,353	469.09	7,100
<b>Total</b>		<b>31,552,565</b>	<b>20,586.71</b>	<b>862,511</b>



**Figura 6-2**  
*Distribución de valores expuestos y área construida por sistemas estructurales*

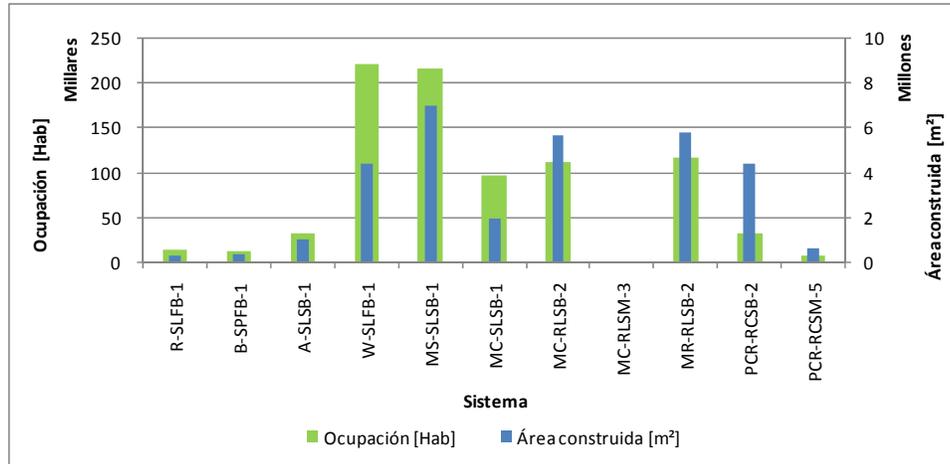


Figura 6-3

Distribución de ocupación y área construida 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	Área construida [m²]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	21,573,496	12,638.53	684,324
2	7,340,336	6,020.71	133,562
3	1,881,766	1,376.40	36,397
4	403,501	293.75	4,692
5	24,923	18.14	250
7	328,543	239.18	3,286
<b>Total</b>	<b>31,552,565</b>	<b>20,586.71</b>	<b>862,511</b>

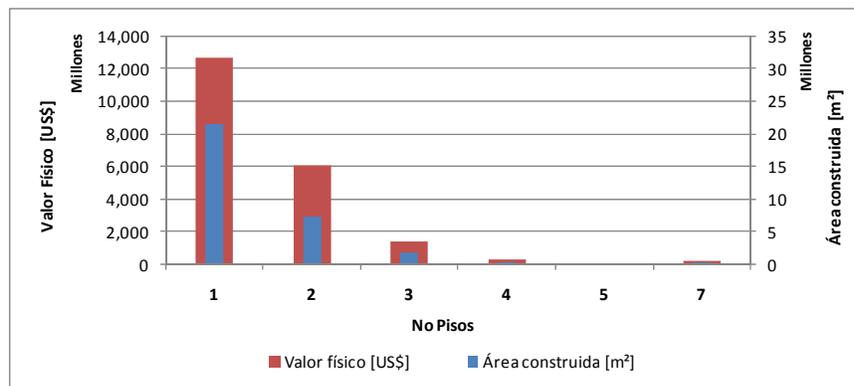


Figura 6-4

Distribución de valores expuestos y área construida por número de pisos

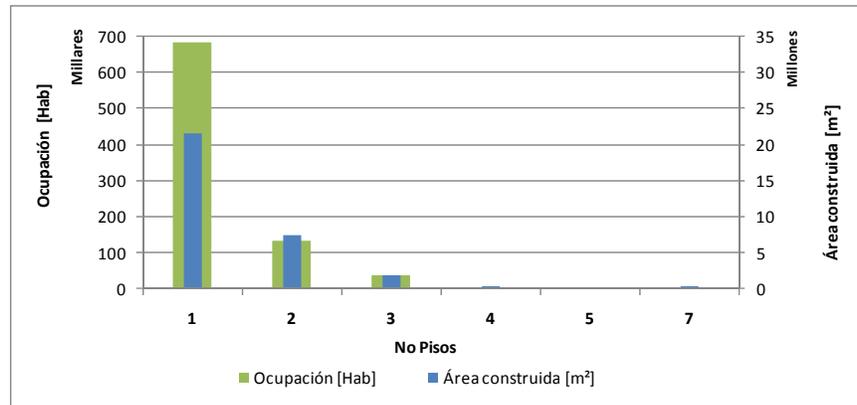


Figura 6-5

Distribución de ocupación y área construida 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.

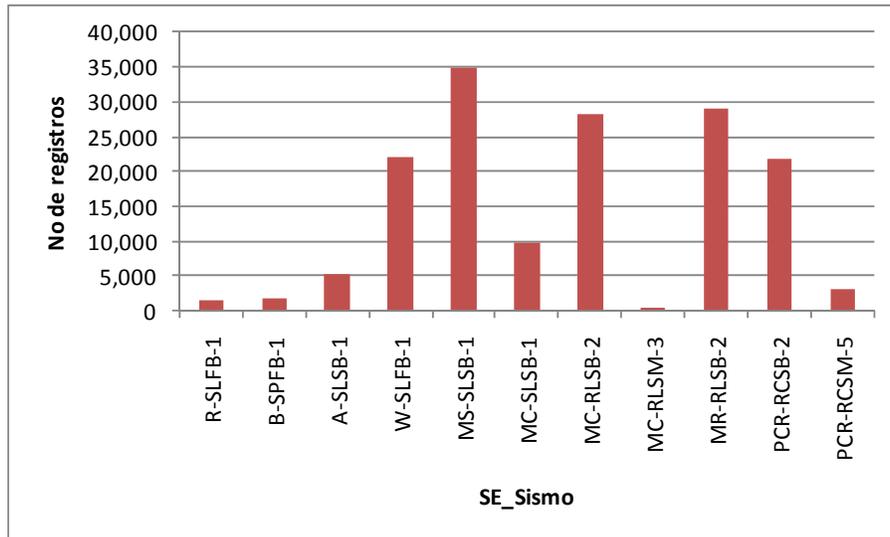
Tabla 6-4  
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Material	Curva sismo	Curva viento	Curva deslizamiento	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Valor físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
<b>Ripio</b>						
R-SLFB-1	S_R-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento (F_InS)	291,390	85.19	14,578
<b>Bahareque</b>						
B-SPFB-1	S_B-SPFB-1	V_PF1	D_Deslizamiento (F_InS)	360,528	177.84	13,222
<b>Adobe</b>						
A-SLSB-1	S_A-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	1,054,805	598.65	33,045
<b>Madera</b>						
W-SLFB-1	S_W-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento (F_InS)	4,402,765	1,301.12	220,174
<b>Mampostería simple</b>						
MS-SLSB-1	S_MS-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	6,956,166	3,963.95	215,536
<b>Mampostería confinada</b>						
MC-SLSB-1	S_MC-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento (F_InS)	1,949,289	572.82	97,436
MC-RLSB-2	S_MC-RLSB-2	V_LS2	D_Deslizamiento (F_InS)	5,654,393	4,116.40	112,232
MC-RLSM-3	S_MC-RLSM-3	V_LS3	D_Deslizamiento (F_InS)	67,569	49.19	676
<b>Mampostería reforzada</b>						
MR-RLSB-2	S_MR-RLSB-2	V_LS2	D_Deslizamiento (F_InS)	5,787,183	4,213.07	115,851
<b>Pórticos en concreto</b>						
PCR-RCSB-2	S_PCR-RCSB-2	V_CS2	D_Deslizamiento (F_InS)	4,384,124	5,039.39	32,661
PCR-RCSM-5	S_PCR-RCSM-5	V_CS5	D_Deslizamiento (F_InS)	644,353	469.09	7,100
<b>Total</b>				<b>31,552,565</b>	<b>20,586.71</b>	<b>862,511</b>

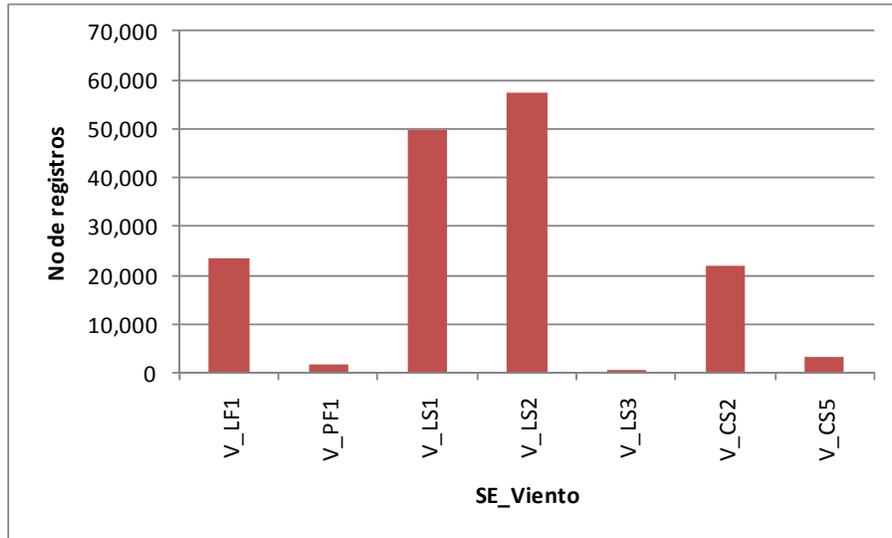
La Tabla 6-5, la Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran el número de registros que representan la distribución de los tipos estructurales empleados y las respectivas curvas de vulnerabilidad asociadas.

**Tabla 6-5**  
*Exposición por curva de vulnerabilidad*

Sistema	Valor físico [US\$ millones]	Número de registros
R-SLFB-1	85.19	1,462
B-SPFB-1	177.84	1,835
A-SLSB-1	598.65	5,286
W-SLFB-1	1,301.12	22,017
MS-SLSB-1	3,963.95	34,784
MC-SLSB-1	572.82	9,746
MC-RLSB-2	4,116.40	28,266
MC-RLSM-3	49.19	338
MR-RLSB-2	4,213.07	28,937
PCR-RCSB-2	5,039.39	21,922
PCR-RCSM-5	469.09	3,222
<b>TOTAL</b>	<b>20,586.71</b>	<b>157,815</b>

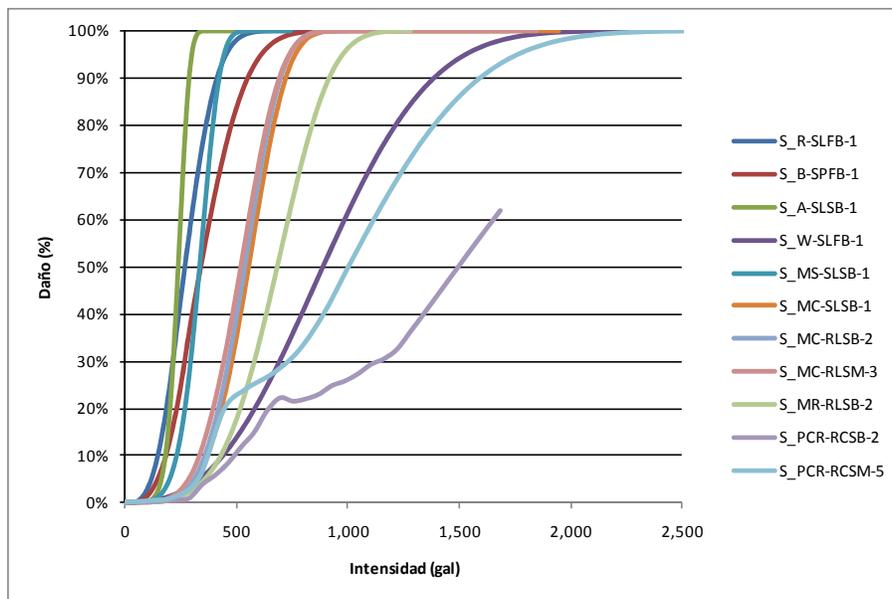


**Figura 6-6**  
*Número de registros según la curva de vulnerabilidad para sismo*

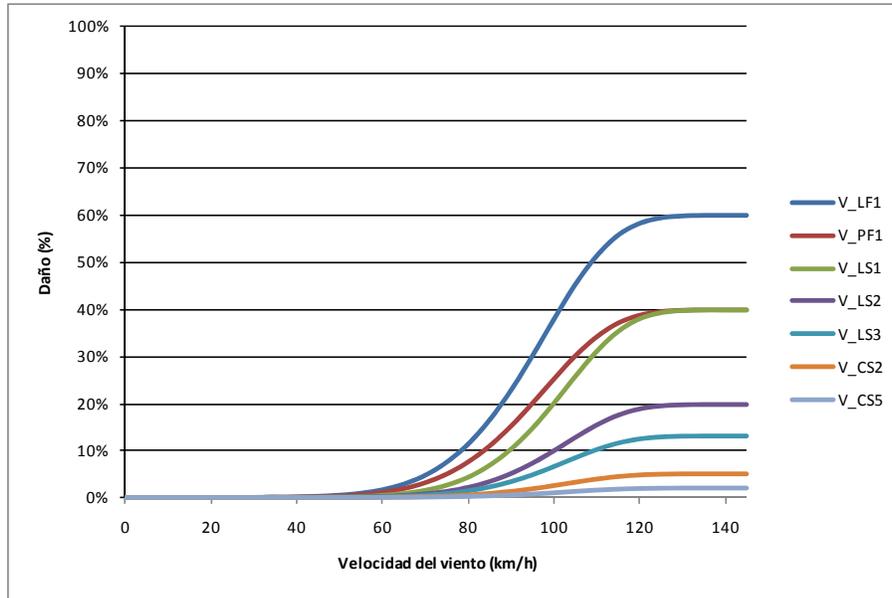


**Figura 6-7**  
Número de registros según la curva de vulnerabilidad para viento

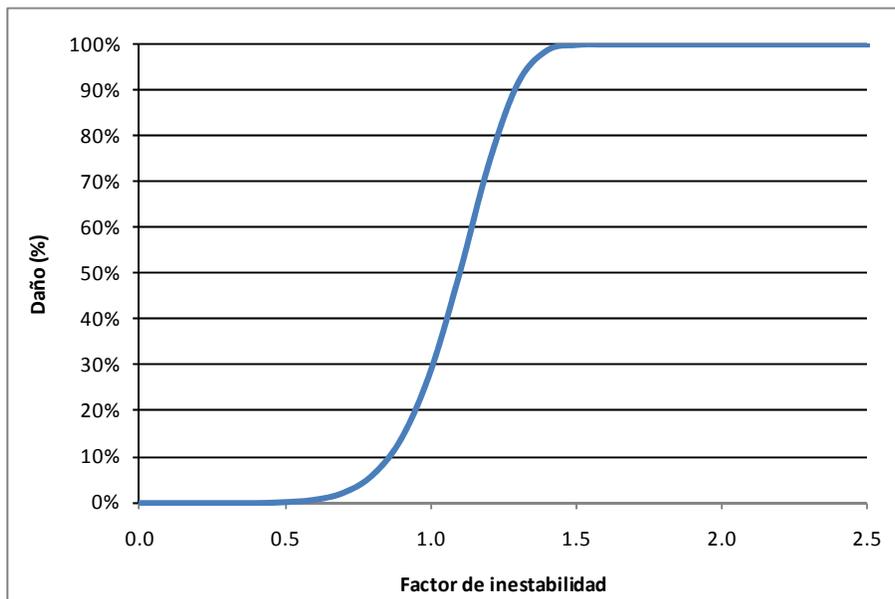
Estos tipos estructurales se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 6-8 a Figura 6-10.



**Figura 6-8**  
Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas



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



**Figura 6-10**  
*Curva de vulnerabilidad por deslizamiento empleada*

## 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 se define como un conjunto de amenazas que ocurren de manera simultánea. En el presente caso, por tratarse de eventos independientes, las temporalidades definidas contienen una sola de las amenazas consideradas.

*Tabla 7-1  
Temporalidades empleadas en el cálculo*

AMENAZA	TEMPORALIDAD	
	1	2
Sismo		
Huracán - Viento		

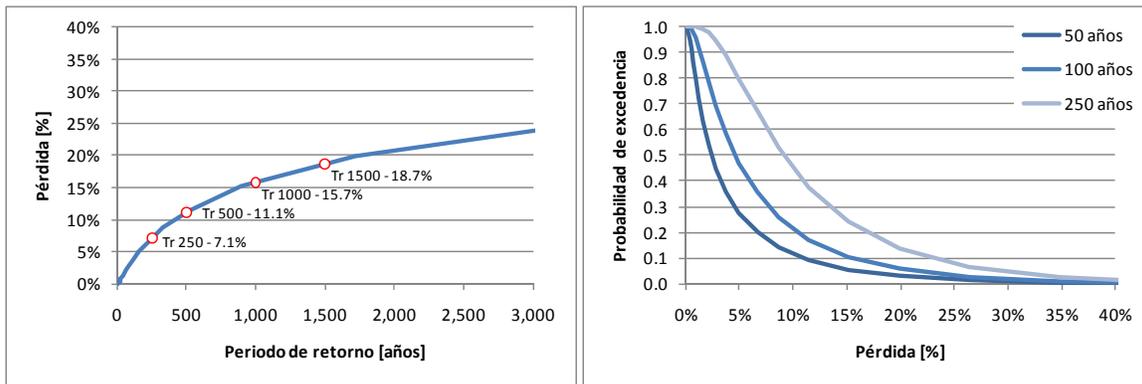
A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas para Tegucigalpa.

#### 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 para Sismo**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	20,586.71
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	33.07
	‰	1.61‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
250	1,463.11	7.11%
500	2,275.27	11.05%
1,000	3,240.47	15.74%
1,500	3,848.31	18.69%



**Figura 7-1**

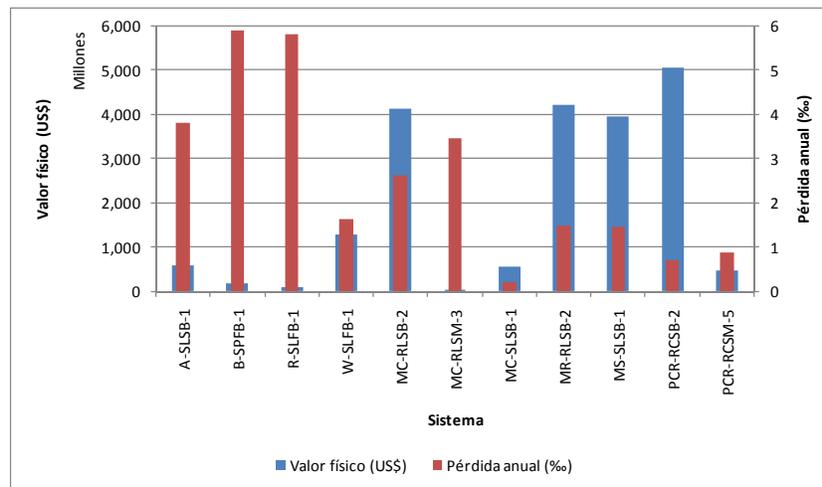
**Resultados del análisis para sismo**

(Izquierda: Curva de pérdida máxima probable, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos 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**

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$ millones]	[%]	[US\$ millones]	[%o]
A-SLSB-1	598.65	2.91%	2.27	3.79‰
B-SPFB-1	177.84	0.86%	1.05	5.89‰
R-SLFB-1	85.19	0.41%	0.50	5.82‰
W-SLFB-1	1,301.12	6.32%	2.13	1.63‰
MC-RLSB-2	4,116.40	20.00%	10.78	2.62‰
MC-RLSM-3	49.19	0.24%	0.17	3.46‰
MC-SLSB-1	572.82	2.78%	0.12	0.21‰
MR-RLSB-2	4,213.07	20.46%	6.23	1.48‰
MS-SLSB-1	3,963.95	19.25%	5.78	1.46‰
PCR-RCSB-2	5,039.39	24.48%	3.62	0.72‰
PCR-RCSM-5	469.09	2.28%	0.41	0.88‰
<b>TOTAL</b>	<b>20,586.71</b>	<b>100.00%</b>	<b>33.07</b>	<b>1.61‰</b>



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

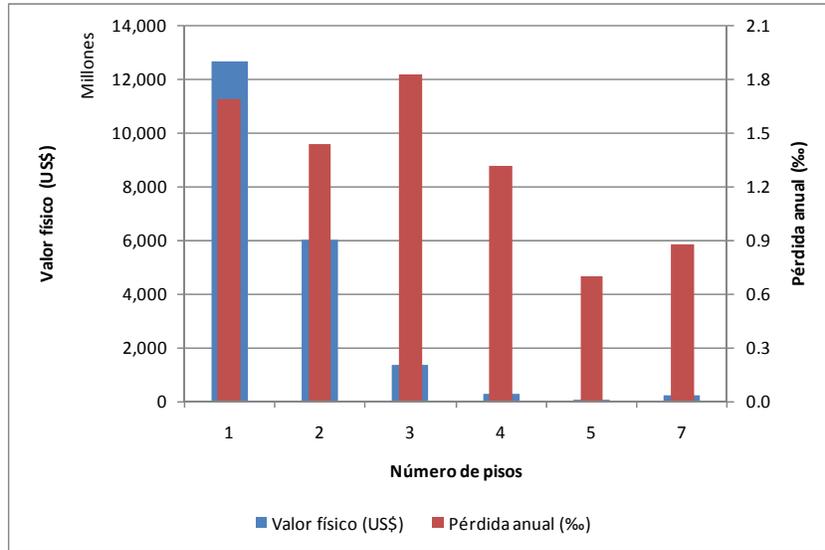


Figura 7-3

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

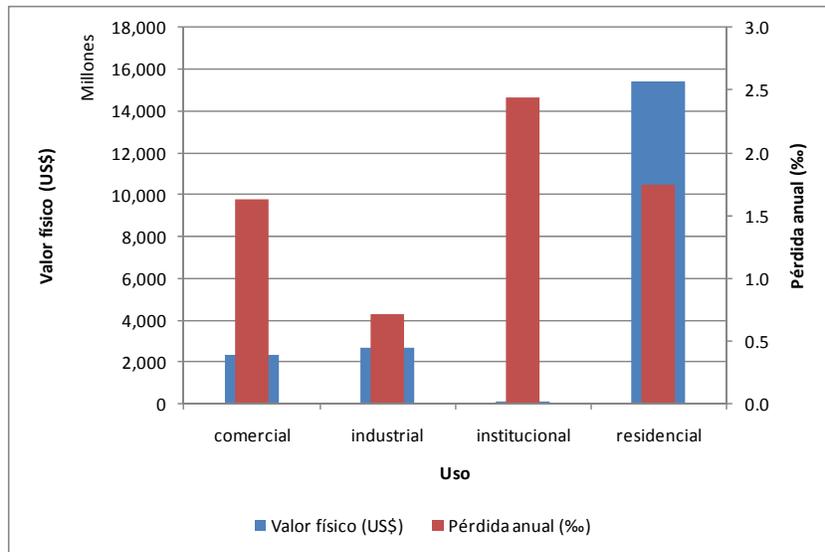
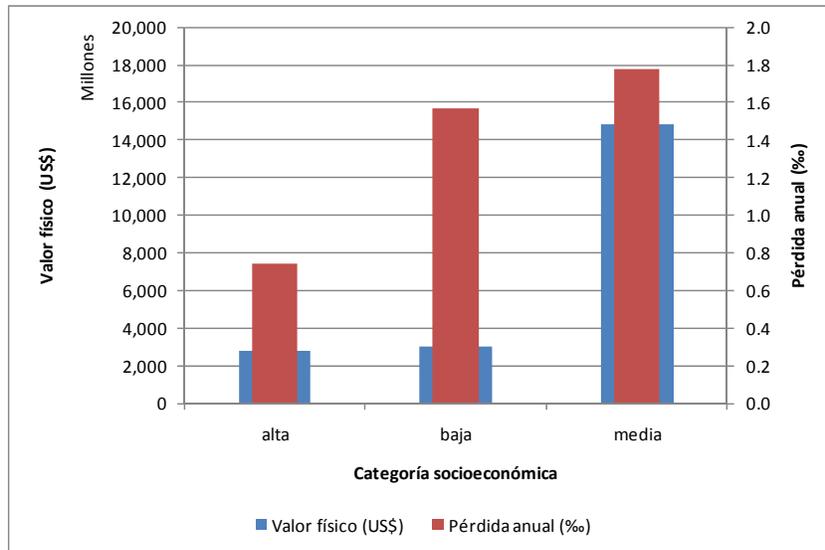


Figura 7-4

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



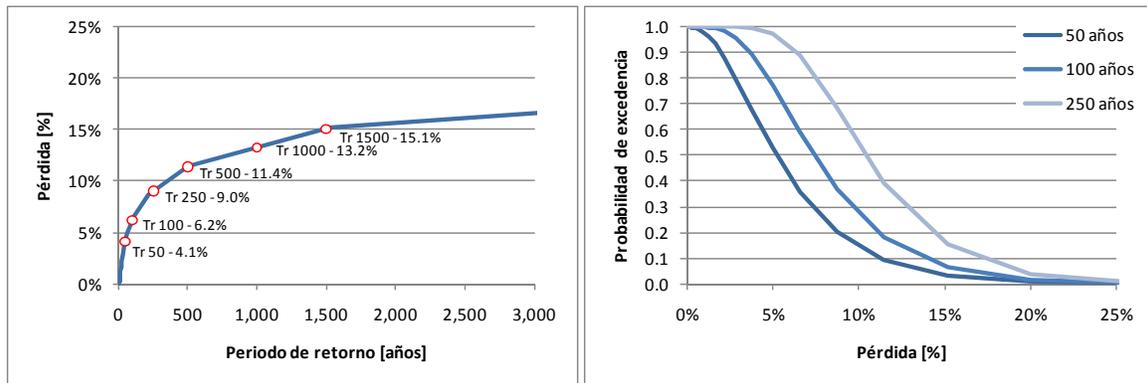
*Figura 7-5*  
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica*

### 7.1.2 Resultados para viento huracanado

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

**Tabla 7-4**  
**Resultados generales para viento huracanado**

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	20,586.71
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	64.40
	‰	3.13‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
50	846.58	4.11%
100	1,272.07	6.18%
250	1,854.04	9.01%
500	2,345.05	11.39%
1,000	2,727.20	13.25%
1,500	3,100.08	15.06%



**Figura 7-6**

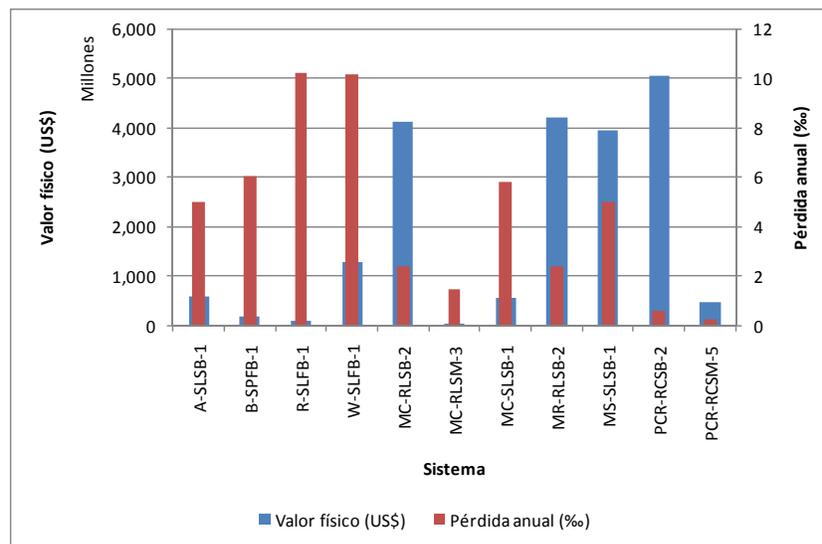
#### **Resultados del análisis para viento huracanado**

(Izquierda: Curva de pérdida máxima probable, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

Por otro lado la Tabla 7-5 y la Figura 7-7 a Figura 7-10 presentan los resultados de riesgo por viento huracanado agrupados según sistema estructural, número de pisos, grupo de uso, y categoría socioeconómica.

**Tabla 7-5**  
**Resultados por sistema estructural**

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$ millones]	[%]	[US\$ millones]	[‰]
A-SLSB-1	598.65	2.91%	3.00	5.01‰
B-SPFB-1	177.84	0.86%	1.08	6.06‰
R-SLFB-1	85.19	0.41%	0.87	10.20‰
W-SLFB-1	1,301.12	6.32%	13.22	10.16‰
MC-RLSB-2	4,116.40	20.00%	9.84	2.39‰
MC-RLSM-3	49.19	0.24%	0.07	1.48‰
MC-SLSB-1	572.82	2.78%	3.35	5.85‰
MR-RLSB-2	4,213.07	20.46%	10.07	2.39‰
MS-SLSB-1	3,963.95	19.25%	19.77	4.99‰
PCR-RCSB-2	5,039.39	24.48%	3.03	0.60‰
PCR-RCSM-5	469.09	2.28%	0.11	0.23‰
<b>TOTAL</b>	<b>20,586.71</b>	<b>100.00%</b>	<b>64.40</b>	<b>3.13‰</b>



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

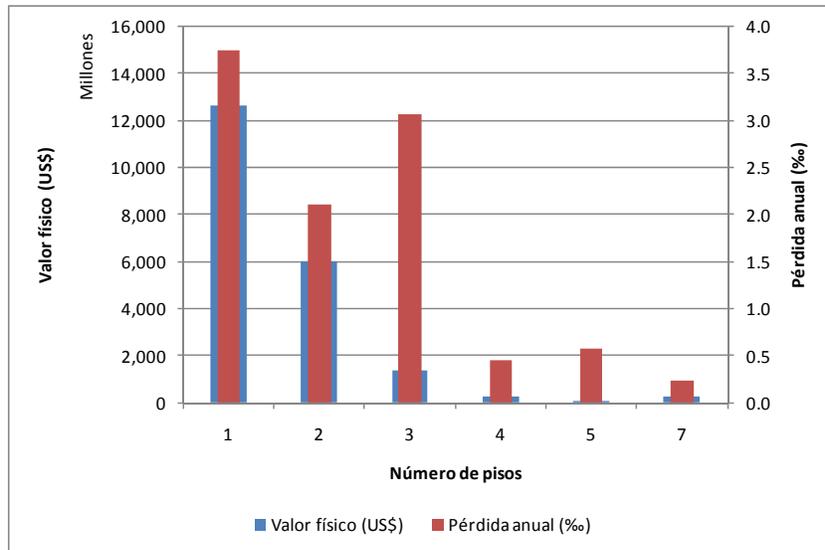


Figura 7-8

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

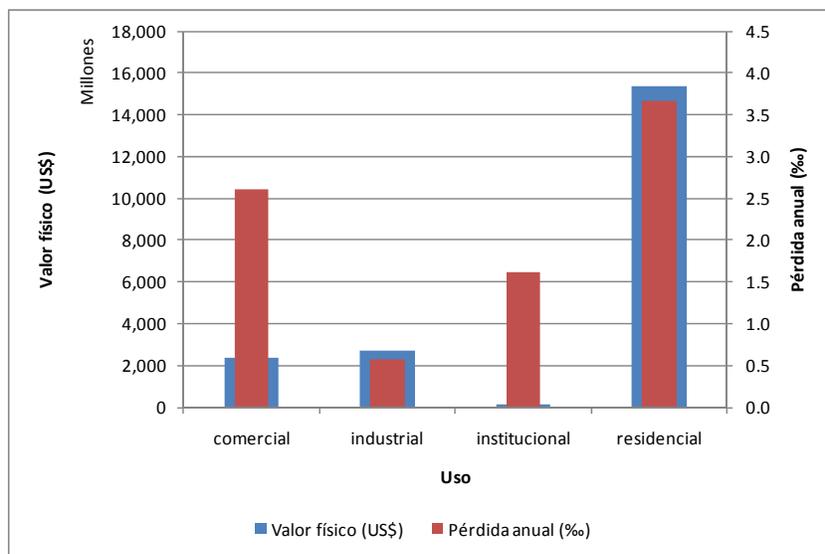


Figura 7-9

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

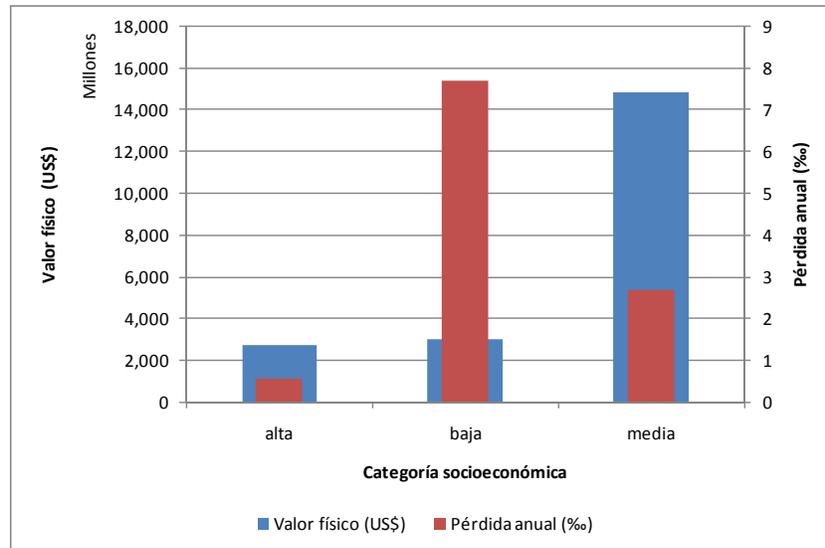


Figura 7-10

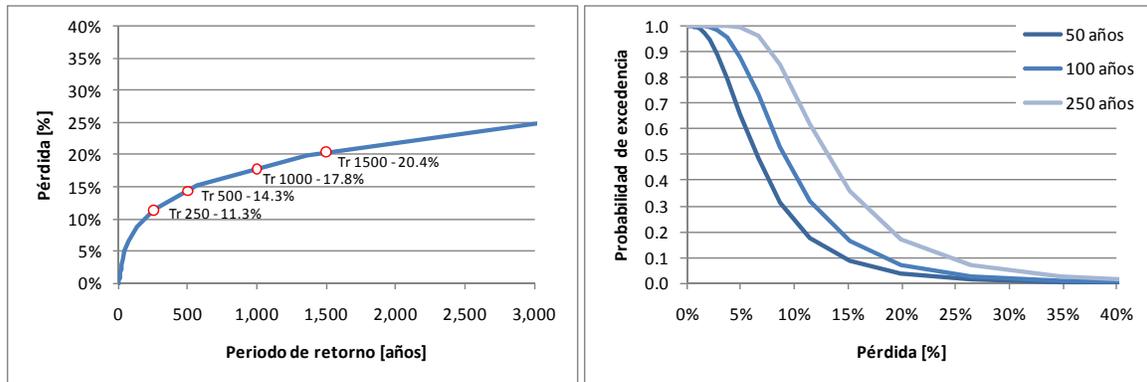
*Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socioeconómica*

### 7.1.3 Resultados agrupados

La Tabla 7-6 y la Figura 7-11 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 7-6  
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	20,586.71
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	97.46
	%	4.73%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
250	2,319.46	11.27%
500	2,952.37	14.34%
1,000	3,663.32	17.79%
1,500	4,198.86	20.40%

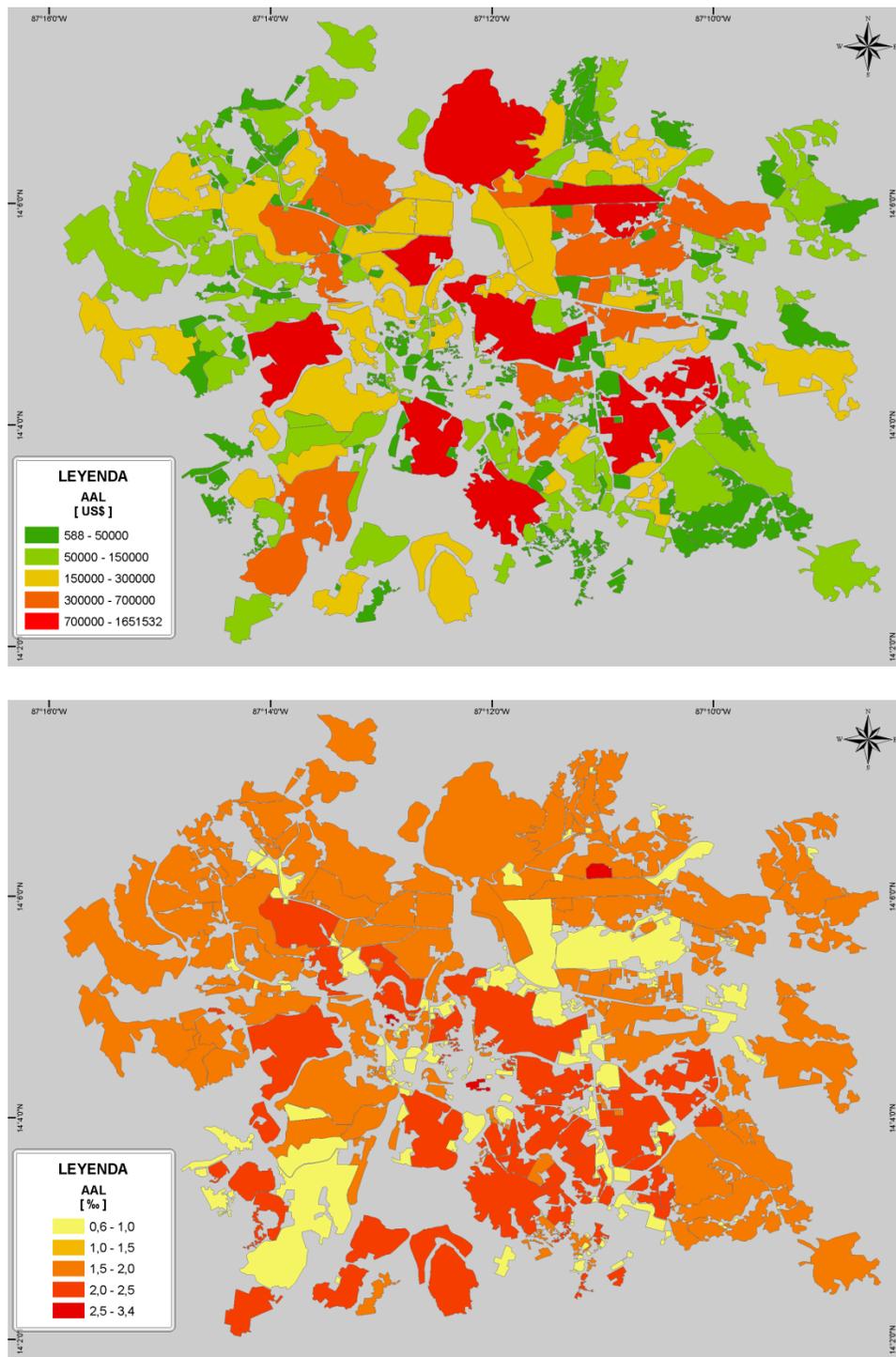


**Figura 7-11**  
**Resultados análisis**

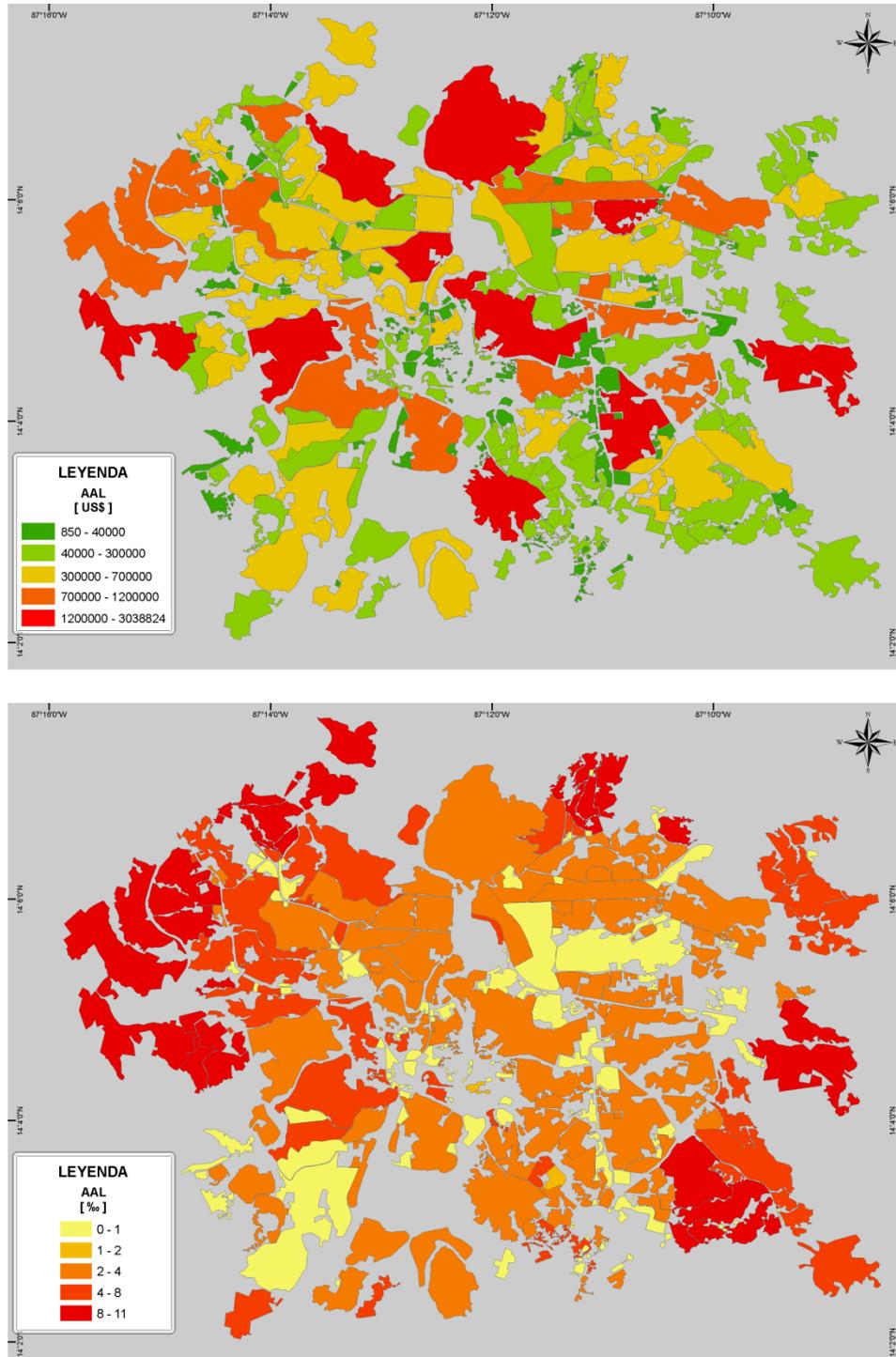
(Izquierda: Curva de pérdida máxima probable, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

#### 7.1.4 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 Tegucigalpa se presentan a continuación.



**Figura 7-12**  
*Pérdida anual esperada por predio para sismo*  
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)



**Figura 7-13**  
*Pérdida anual esperada por predio para viento huracanado*  
 (Arriba: en valor, US\$; abajo: al millar del valor expuesto)

## 7.2 Análisis determinista del riesgo por deslizamiento

La estimación del escenario de amenaza determinista y la simulación de las pérdidas esperadas que se derivan del evento seleccionado se llevaron a cabo utilizando las herramientas de evaluación de amenaza y riesgo de CAPRA GIS (ver [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org)). Esta plataforma permite realizar evaluaciones de amenaza, la asignación de las curvas de vulnerabilidad y el cálculo de riesgo para una base de exposición determinada. Los resultados se condensan en una serie de tablas y figuras que dan cuenta de la distribución general y espacial de las pérdidas económicas.

La Tabla 7-7 resume los resultados encontrados para el escenario seleccionado en términos de pérdidas económicas con respecto a los valores expuestos correspondientes.

*Tabla 7-7  
Valor expuesto y pérdida económica*

Resultados		
Exposición	Física	
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	\$20,586.71
Pérdida Económica	US\$	\$0.0
	%	%0.0

Los resultados presentados en la Tabla 7-7 indican que la amenaza de deslizamiento, calculada con la metodología presentada en este estudio, no induce ningún nivel de riesgo sobre la población e infraestructura expuestas. Este resultado debe entenderse de manera conjunta con el alcance y limitaciones del modelo de amenaza empleado en la simulación. Este modelo permite estimar la susceptibilidad a los deslizamientos de la región de análisis en términos del factor de inestabilidad (inverso al factor de seguridad), pero no incluye evaluaciones acerca del volumen de tierra deslizado, su velocidad, o su localización y disposición final una vez terminado el movimiento. Por esta razón, la actual evaluación determinista de riesgo debe verse como una primera aproximación a un problema complejo, el cual requiere de mejoras significativas que permitan estimar de manera más adecuada la amenaza y las pérdidas esperadas, así como trasladar el análisis al campo probabilista, de manera que los resultados obtenidos sean comparables y acumulables con lo calculado para otras amenazas naturales.

## 8 Conclusiones y Recomendaciones

---

El análisis de riesgo por sismo, huracán (viento huracanado) y deslizamiento presentado para la ciudad de Tegucigalpa 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 la ciudad es la asociada al tránsito de huracanes por el territorio. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 2,345.1 millones, lo que equivale al 9.5% del PIB del país y al 11.39% del valor total expuesto; una cifra considerablemente alta y más teniendo en cuentas las consecuencias a futuro que una para en la economía del país significa la eventual interrupción del motor económico nacional.

La prima pura de riesgo global calculada para la ciudad se considera moderada (4.73%), presentando un gran aporte en pérdida por efecto de los huracanes (prima pura de 3.13%), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones. La prima pura por sismo tiene un valor intermedio (1.61%) 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 15.74% del total del valor expuesto.

La pérdida asociada al escenario de deslizamiento es nula. Es importante tener en cuenta que este resultado corresponde a una evaluación determinista con un modelo de amenaza aproximado, que no considera la totalidad de los efectos asociados a los deslizamientos, en especial de grandes volúmenes de tierra. Por lo tanto, esta evaluación debe verse como una primera aproximación a un problema complejo, el cual requiere de mejoras significativas que permitan estimar de manera más adecuada la amenaza y las pérdidas esperadas. Adicionalmente, a medida que la información lo permita, el análisis puede ampliarse al campo probabilista, de manera que los resultados sean comparables con los obtenidos por efecto de las demás amenazas consideradas.

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.

- (a) Información de amenaza sísmica: es susceptible de mejorar, al considerar fallas locales y efectos de sitio, los cuales no se han incluido en el presente análisis por falta de información. También es muy importante mantener actualizado el catálogo

de eventos pasados con la mayor cantidad de información relacionada con efectos, daños e impactos producidos.

- (b) Información de amenaza por vientos huracanados: se puede considerar de 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 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.
- (d) 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.
- (e) 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 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 policial y del ejército. 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 Estadística, Censo año 2001. <http://www.ine-hn.org/>
- Catálogo de huracanes de Weather Unisys para Centroamérica. <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/index.html>
- Catálogo de sismos de USGS para Honduras. [http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic\\_rect.html](http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_rect.html)  
Catalogo-PDE
- Sismos en Honduras, <http://atlas.snet.gob.sv/atlas/?q=node/194>
- Eventos naturales en Honduras, <http://gisweb.ciat.cgiar.org/Vulnerabilidad/eventos.htm>
- Tegucigalpa, <http://es.wikipedia.org/wiki/Tegucigalpa>
- Informe ERN: Revisión de eventos históricos importantes, ERN-CAPRA-T1.1B
- 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>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN - América Latina. Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN - América Latina. Propuesta de Funciones e Indicadores de Vulnerabilidad. Informe ERN-CAPRA-2.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN - América Latina. Caracterización, Clasificación y Valoración de Elementos Expuestos. Informe ERN-CAPRA-T2.1. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- HAZUS MH MR3. Multi-hazard loss estimation methodology. FEMA. <http://www.fema.gov>