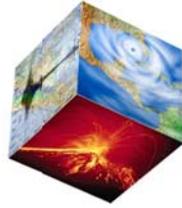


Evaluación de Riesgos Naturales
- América Latina -
Consultores en Riesgos y Desastres



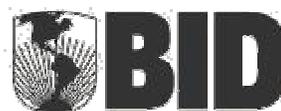
CAPRA

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

GUATEMALA

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

INFORME TÉCNICO SUBTAREA 4.2C
EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE EN
ZACAPA





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

Consortio conformado por:

Colombia

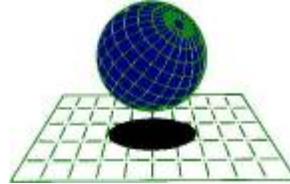
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



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.

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

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

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Julián Tristancho
Especialista ERN (COL)

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Especialista ERN (COL)

Sergio Enrique Forero A.
Especialista ERN (COL)

Mario Andrés Salgado G.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Pablo Forero A.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Johner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Juan Miguel Galindo P.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcárcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Liliana Narvaez M.
Asesor Asociado (COL)

Juan Camilo Olaya
Asistente Técnico ERN (COL)

Steven White
Asistente Técnico ERN (COL)

Asesores Nacionales

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

Osmar E. Velasco
Guatemala

Oscar Elvir Honduras
Romaldo Isaac Lewis Belice

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

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Tsuneki Hori
Consultor Interno

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Oscar Anil Ishizawa
Consultor Interno

Sergio Lacambra
Especialista Sectorial

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

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Edward C. Anderson
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Stuart Gill
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

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

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

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1-1
2	Metodología de evaluación del riesgo.....	2-1
3	Amenaza sísmica	3-1
3.1	Eventos históricos.....	3-1
3.2	Evaluación de la amenaza.....	3-2
4	Amenaza por huracán	4-1
4.1	Eventos Históricos.....	4-1
4.2	Evaluación de la amenaza.....	4-2
5	Inventario de elementos expuestos.....	5-1
5.1	Levantamiento de la información básica	5-1
5.2	Información de exposición de predios	5-2
5.3	Información de vulnerabilidad	5-5
6	Resultados de la evaluación	6-1
6.1	Evaluación probabilista del riesgo de desastre	6-1
6.1.1	Resultados para Sismo	6-1
6.1.2	Resultados para Viento Huracanado	6-5
6.1.3	Resultados agrupados.....	6-7
6.1.4	Mapas de riesgo	6-8
7	Conclusiones y Recomendaciones	7-1
8	Referencias.....	8-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE ZACAPA	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S ²] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO	3-3
FIGURA 3-2 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN ZACAPA 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 VIENTO EN ZACAPA	4-3
FIGURA 5-1 MAPA DE PREDIOS DE ZACAPA.....	5-1
FIGURA 5-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	5-3
FIGURA 5-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	5-3
FIGURA 5-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	5-4
FIGURA 5-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	5-4
FIGURA 5-6 VALOR FÍSICO Y NÚMERO DE REGISTROS POR CURVA DE VULNERABILIDAD	5-5
FIGURA 5-7 CURVAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EMPLEADAS	5-6
FIGURA 5-8 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO EMPLEADAS	5-6
FIGURA 6-1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA SISMO	6-2
FIGURA 6-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	6-3
FIGURA 6-3 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	6-3
FIGURA 6-4 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	6-4
FIGURA 6-5 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	6-4
FIGURA 6-6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA VIENTO HURACANADO	6-5
FIGURA 6-7 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	6-6
FIGURA 6-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	6-6
FIGURA 6-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	6-7
FIGURA 6-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	6-7
FIGURA 6-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	6-8
FIGURA 6-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA SISMO	6-9
FIGURA 6-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA VIENTO HURACANADO	6-10

Índice de tablas

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO GUATEMALTECO	3-2
TABLA 4-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO DE GUATEMALA	4-1
TABLA 5-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES	5-2
TABLA 5-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	5-2
TABLA 5-3 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS	5-4
TABLA 5-4 SISTEMAS EMPLEADOS	5-5
TABLA 6-1 TEMPORALIDADES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO	6-1
TABLA 6-2 RESULTADOS GENERALES PARA SISMO	6-1
TABLA 6-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL	6-2
TABLA 6-4 RESULTADOS GENERALES PARA VIENTO HURACANADO	6-5
TABLA 6-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL	6-5
TABLA 6-6 RESULTADOS GENERALES	6-8

1 Introducción

Zacapa, capital del departamento con mismo nombre, está localizada a 115 kilómetros al nororiente de la capital de Guatemala, y tiene una población de aproximadamente 31.400 habitantes con una extensión territorial de 6.3km². La población cuenta con cerca de 7,870 edificaciones, predominantemente de uso residencial y poca altura, construidas principalmente en mampostería simple.



*Figura 1-1
Localización geográfica de Zacapa*

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

Varios huracanes han afectado el municipio de Zacapa; durante el 23 de octubre y el 3 de noviembre de 1998, el huracán Mitch de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson atravesó Guatemala generando inundaciones y deslizamientos en diferentes puntos del país.

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

ocurrieron en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

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 de la aldea Los Pocitos ante eventos de huracán, eventos sísmicos y eventos volcánicos 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 de desastre en Zacapa - Guatemala se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA, la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010), y en el sitio web www.ecapra.org. La metodología para la evaluación del riesgo ante amenaza sísmica y por huracán 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 vientos huracanados: 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) Inventario de bienes expuestos: dado que no fue posible contar con la información catastral detallada de la población, se recurrió al levantamiento del inventario de activos expuestos basado en observaciones de imágenes de satélite e interpretación de las mismas. Información oficial e índices publicados permitieron establecer los valores de reposición aproximados y los índices de ocupación.
- (d) Funciones de vulnerabilidad: los diferentes tipos constructivos identificados en la zona se caracterizan mediante una función de vulnerabilidad que da cuenta de la capacidad de la edificación para resistir la acción de los diferentes eventos considerados. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de cada tipo estructural particular, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio de activos expuestos. El análisis utiliza las funciones de vulnerabilidad determinadas siguiendo las metodologías y herramientas propuestas en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2009).
- (e) Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de las amenazas consideradas sobre el inventario de activos expuestos con las funciones de vulnerabilidad relacionadas. Para el efecto se emplea la herramienta de evaluación de riesgo CAPRA-GIS (ERN 2009). Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas para cada uno de los escenarios planteados y para el análisis probabilista integral. La valoración del riesgo se presenta en términos de estimaciones de:
 - Porcentaje de afectación física de las construcciones.
 - Pérdidas económicas directas aproximadas por predio.
 - Pérdidas económicas máximas probables.
 - Pérdidas anuales esperadas.

3 Amenaza sísmica

La modelación de la amenaza sísmica 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.

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

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

3.1 Eventos históricos

El 4 de febrero de 1976, un sismo de magnitud 7.5 sacudió el territorio guatemalteco siendo el que mayor afectación y destrucción generó en el siglo XX en el país. La gran mayoría de daños ocurrió en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

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

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

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

3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza sísmica para Guatemala se calculó empleando los avances presentados en el proyecto regional RESIS II (NORSAR et. al. 2008), el cual constituye el estudio más avanzado a la fecha con relación a evaluación de amenaza sísmica en América Central. A

partir de la sismotectónica de la región y la sismicidad registrada e histórica, se definieron una serie de fuentes sismogénicas, las cuales cubren la totalidad del territorio centroamericano y conservan las condiciones de sismicidad generales y su variación regional.

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

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 la aceleración máxima del terreno, para diferentes períodos de retorno.

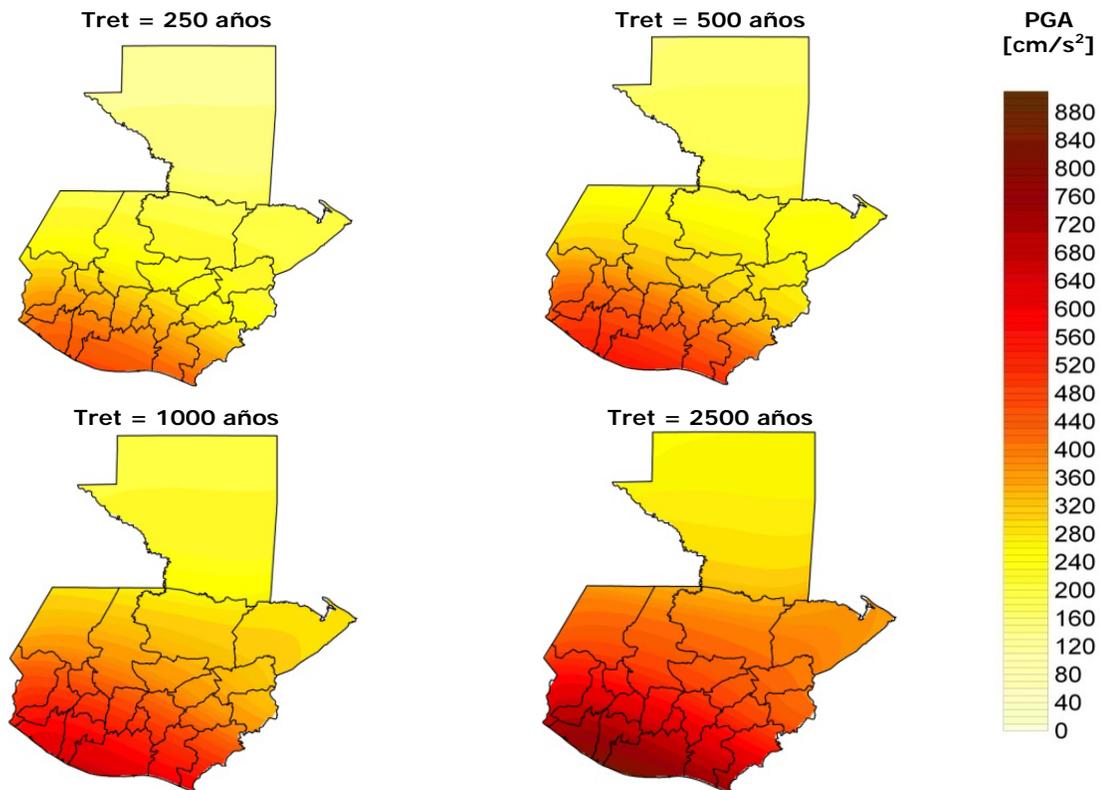


Figura 3-1

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

Finalmente la Figura 3-2 presenta la curva de amenaza para un punto representativo de la ciudad.

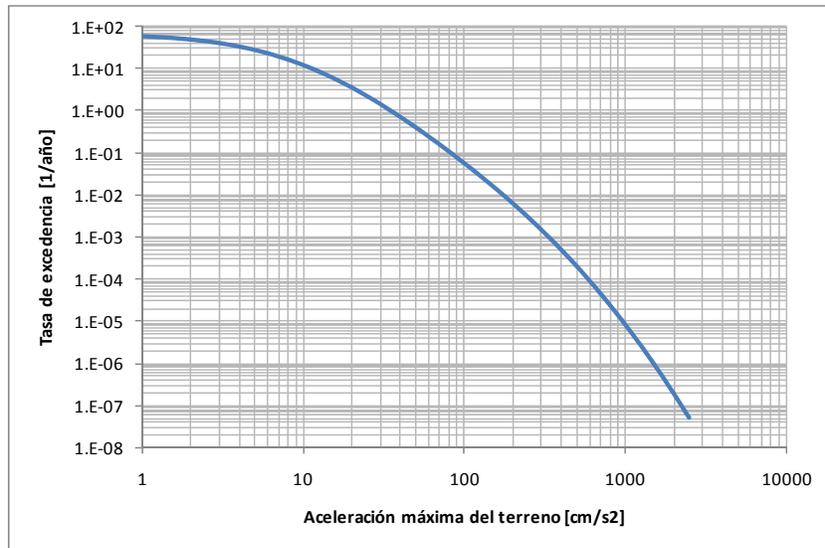


Figura 3-2
Curva de amenaza sísmica en Zacapa para la aceleración máxima del terreno

4 Amenaza por huracán

La modelación de la amenaza por huracán 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.

4.1 Eventos Históricos

En 1998 el huracán Mitch afectó gran parte del territorio guatemalteco, provocando a su paso 258 muertos y más de 100,000 damnificados. Los daños fueron cuantificados en más de \$750 millones de US dólares. Posteriormente en 2005 el huracán Stan afectó la mayoría del territorio nacional de Guatemala provocando a su paso 1,500 muertos, 3,000 desaparecidos y aproximadamente 450,000 damnificados. El monto total de pérdidas superó los \$985 millones de US dólares. La Tabla 4-1, presenta un resumen de los huracanes que han afectado con mayor fuerza el territorio de Guatemala.

*Tabla 4-1
Principales huracanes que han afectado el territorio de Guatemala*

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

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.

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, 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 76 escenarios de viento huracanado, según la metodología presentada expuesta en los informes CAPRA, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a características de eventos históricos. La Figura 4-1 presenta los mapas de amenaza por huracán, en términos de velocidad máxima de vientos huracanados, para diferentes períodos de retorno.

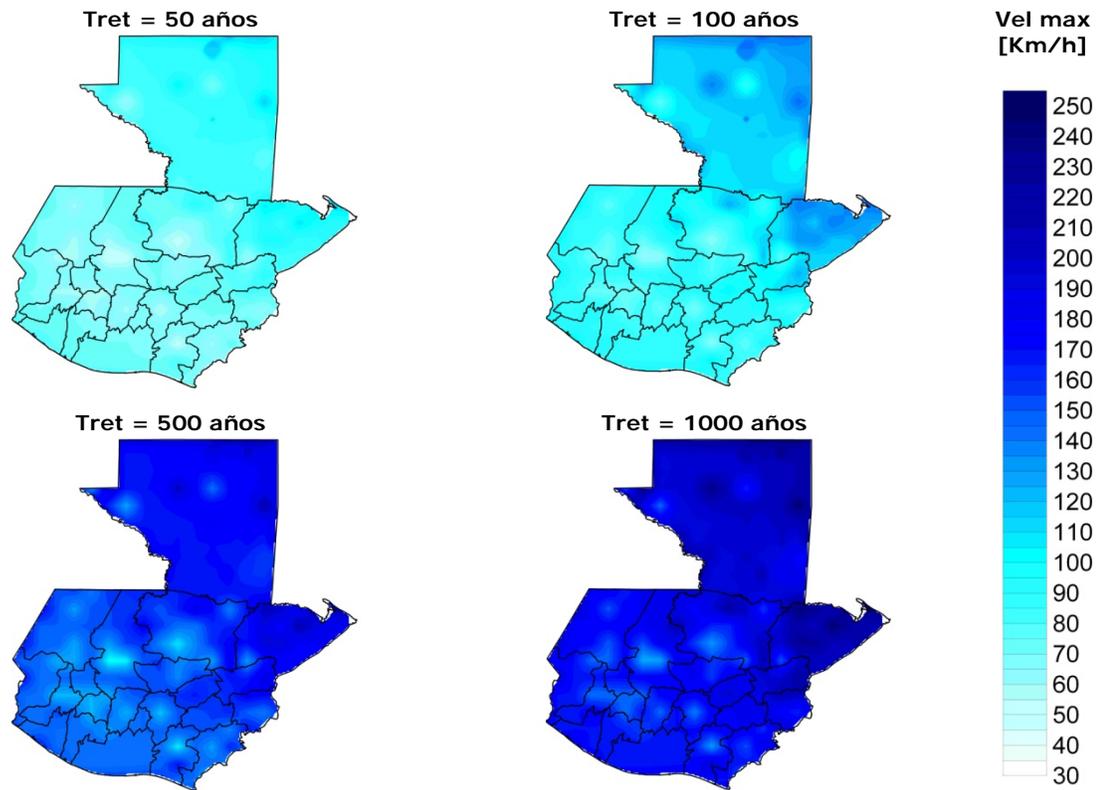


Figura 4-1
Mapas de velocidad máxima del viento [km/h] para diferentes periodos de retorno

La Figura 4-2 presenta la curva de amenaza para un punto representativo de la ciudad.

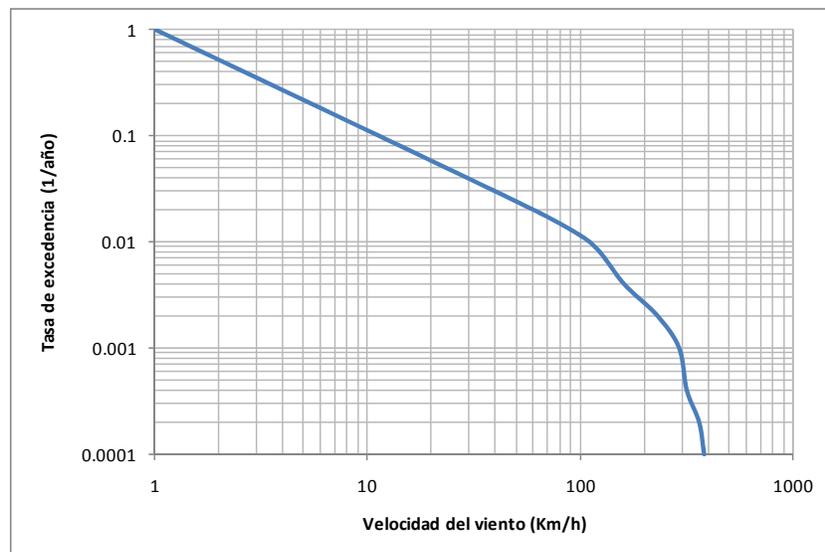


Figura 4-2
Curva de amenaza viento en Zacapa

5 Inventario de elementos expuestos

5.1 Levantamiento de la información básica

Para la ciudad de Zacapa 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 5-1 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 la ciudad de Zacapa.

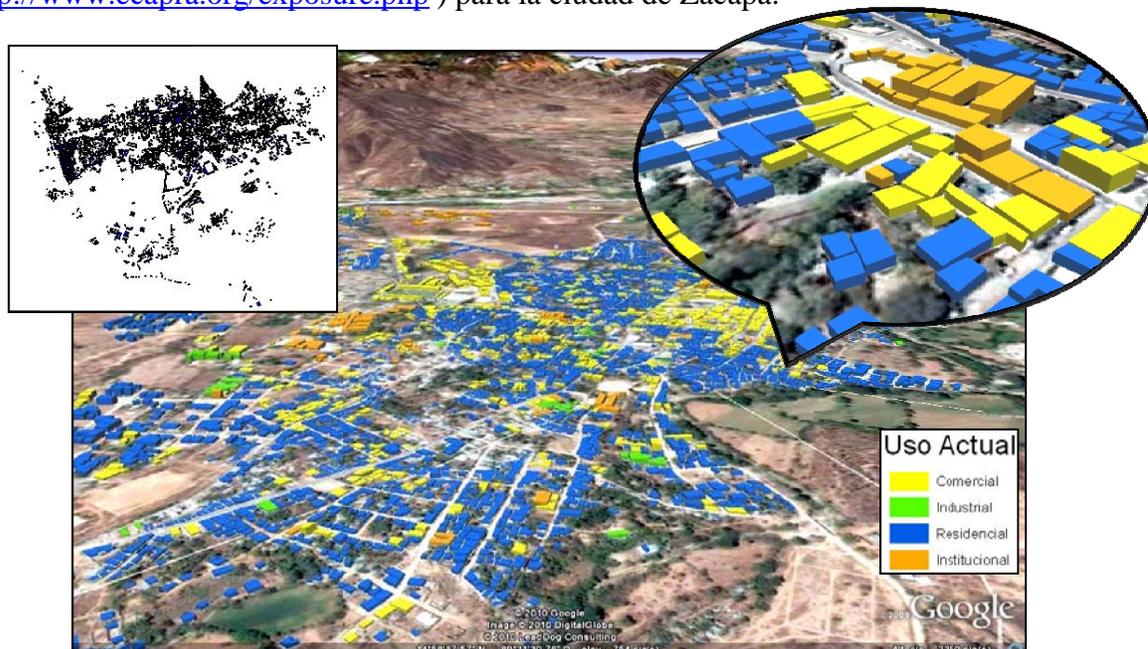


Figura 5-1
Mapa de predios de Zacapa
(Imagen generada con Google Earth. Recuadro: proyección plana)

5.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición de Zacapa, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asigna mediante la interpretación de imágenes de satélite y fotografías de la zona, y mediante la consulta de indicadores oficiales publicados sobre densidad de ocupación, valoración económica y características de las construcciones, tal como se explico en los numerales anteriores.

La Tabla 5-1 presenta algunos indicadores generales utilizados para generar la base de datos de exposición de edificaciones para esta población.

Tabla 5-1
Indicadores generales de exposición de edificaciones

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	31,358
Área total de terreno urbano	km ²	6.29
Densidad de población	Hab/km ²	4,983
No. total de Edificaciones		7,872
Área de construcción	m ²	973 x10 ³
Densidad construcción urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.15
Valoración total de construcciones	US\$ millones	348
Valor promedio/m ² construido	US\$/m ²	358

A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones La Tabla 5-2 y la Figura 5-2 y Figura 5-3 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 5-2
Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales

Sistema	Código Sistema	Nº Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Ripio	R-SLFB-1	155	1.46	539
Adobe	A-SPSB-1	1,012	26.16	3,911
Madera	W-SLFB-1	165	1.60	591
Concreto prefabricado	CP-SLSB-1	526	5.20	1,906
Mampostería simple	MS-SLSB-1	2,134	65.75	8,608
Mampostería confinada	MC-RLSB-2	21	7.45	364
Mampostería confinada	MC-RPSB-2	112	22.18	509
Mampostería confinada	MC-SLSB-1	2,505	139.49	9,025
Mampostería reforzada	MR-RLSB-2	17	5.93	289
Mampostería reforzada	MR-RPSB-2	36	7.86	183
Mampostería reforzada	MR-SLSB-1	1,013	41.56	4,504
Pórticos en concreto RM	PCR-RPSB-2	30	9.52	468
Pórticos en concreto RM	PCR-SLSB-1	79	7.00	230
Pórticos en acero RM	PAR-SLSB-1	67	7.02	231
Total		7,872	348.17	31,358

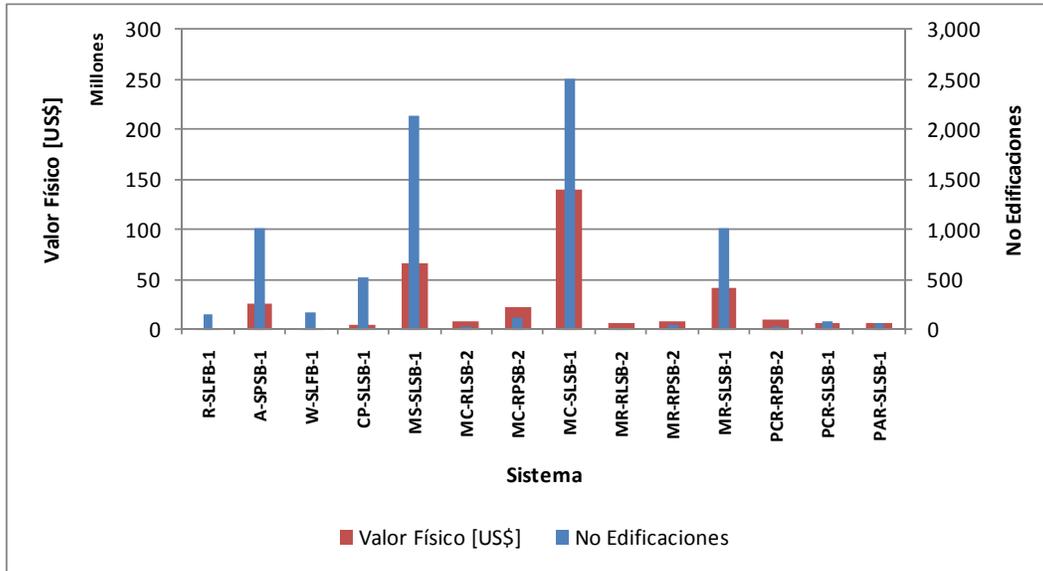


Figura 5-2
Distribución de valores expuestos y edificaciones por sistemas estructurales

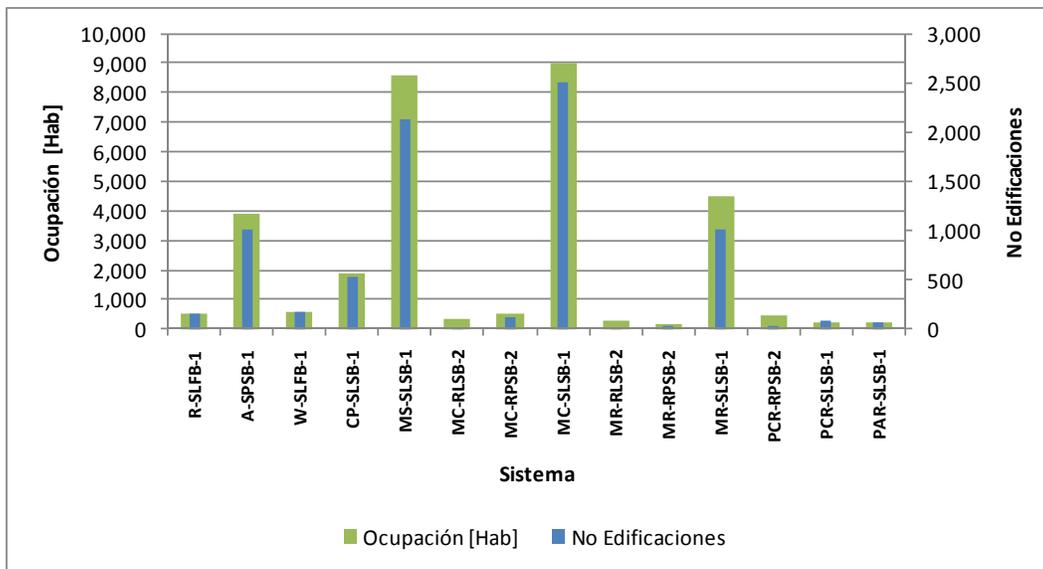


Figura 5-3
Distribución de ocupación y edificaciones por sistemas estructurales

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

Tabla 5-3
Valores expuestos y ocupación por número de pisos

No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	7,392	253.56	25,652
2	455	82.02	4,943
3	22	11.03	686
4	2	0.34	17
5	1	1.22	60
Total	7,872	348.17	31,358

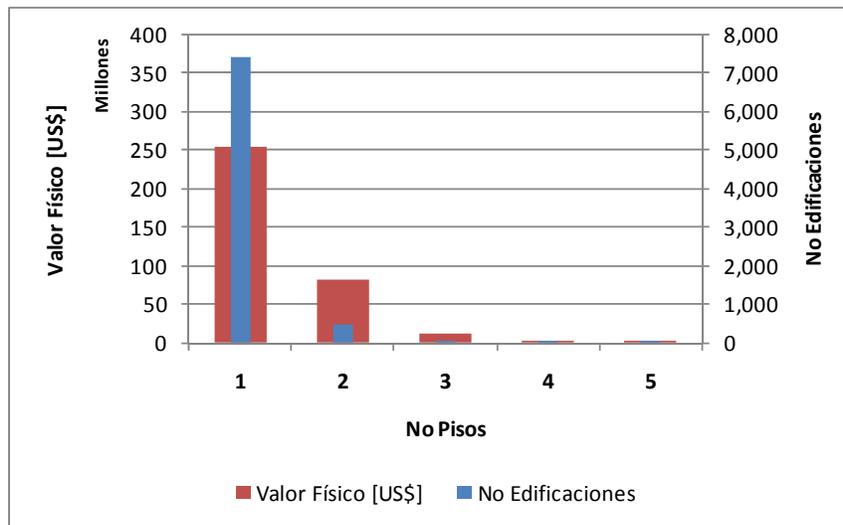


Figura 5-4

Distribución de valores expuestos y edificaciones por número de pisos

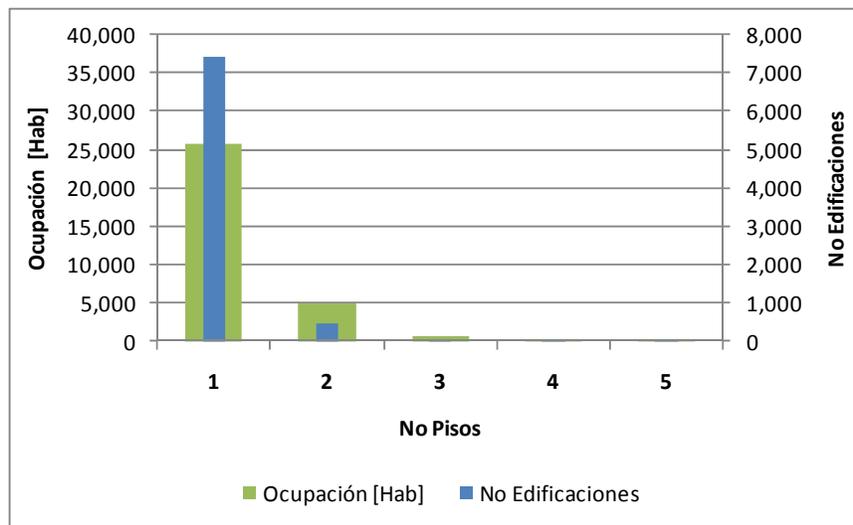


Figura 5-5

Distribución de ocupación y edificaciones por número de pisos

5.3 Información de vulnerabilidad

Los tipos estructurales contenidos en la base de datos corresponden a los presentados en la Tabla 5-4. Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 5-6 y Figura 5-7.

Tabla 5-4
Sistemas empleados

Material	Curva de Vulnerabilidad		Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
	Sismo	Viento		
Adobe				
A-SPSB-1	S_A-SPSB-1	V_PS1	1.46	539
Concreto prefabricado				
CP-SLSB-1	S_CP-SLSB-1	V_LS1	26.16	3,911
Ripio				
R-SLFB-1	S_R-SLFB-1	V_LF1	7.00	230
Madera				
W-SLFB-1	S_W-SLFB-1	V_LF1	7.02	231
Mampostería simple				
MS-SLSB-1	S_MS-SLSB-1	V_LS1	5.93	289
Mampostería confinada				
MC-SLSB-1	S_MC-SLSB-1	V_LS1	65.75	8,608
MC-RLSB-2	S_MC-RLSB-2	V_LS2	1.60	591
MC-RPSB-2	S_MC-RPSB-2	V_PS2	5.20	1,906
Mampostería reforzada				
MR-SLSB-1	S_MR-SLSB-1	V_LS1	139.49	9,025
MR-RLSB-2	S_MR-RLSB-2	V_LS2	7.45	364
MR-RPSB-2	S_MR-RPSB-2	V_PS2	22.18	509
Pórticos en concreto				
PCR-SLSB-1	S_PCR-SLSB-1	V_LS1	9.52	468
PCR-RPSB-2	S_PCR-RPSB-2	V_PS2	41.56	4,504
Pórticos en acero				
PAR-SLSB-1	S_PAR-SLSB-1	V_LS1	7.86	183
Total			348.17	31,358

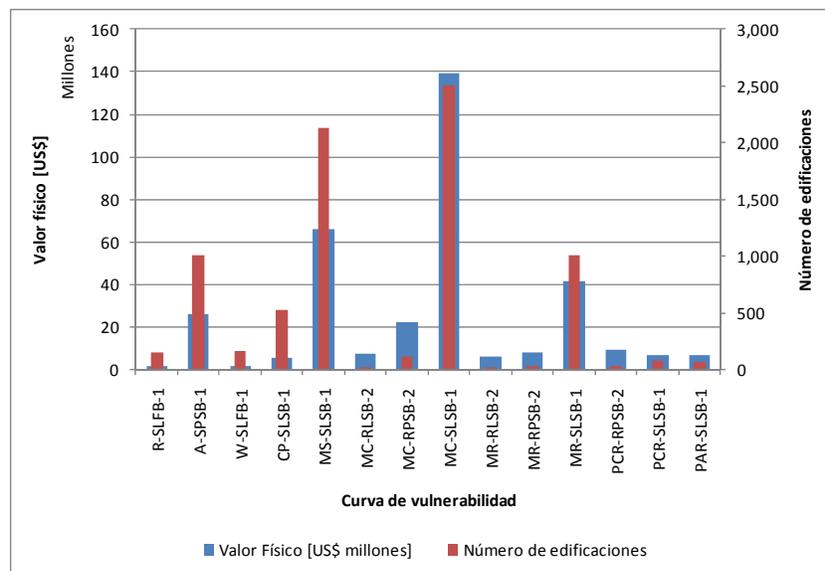


Figura 5-6

Valor físico y número de registros por curva de vulnerabilidad

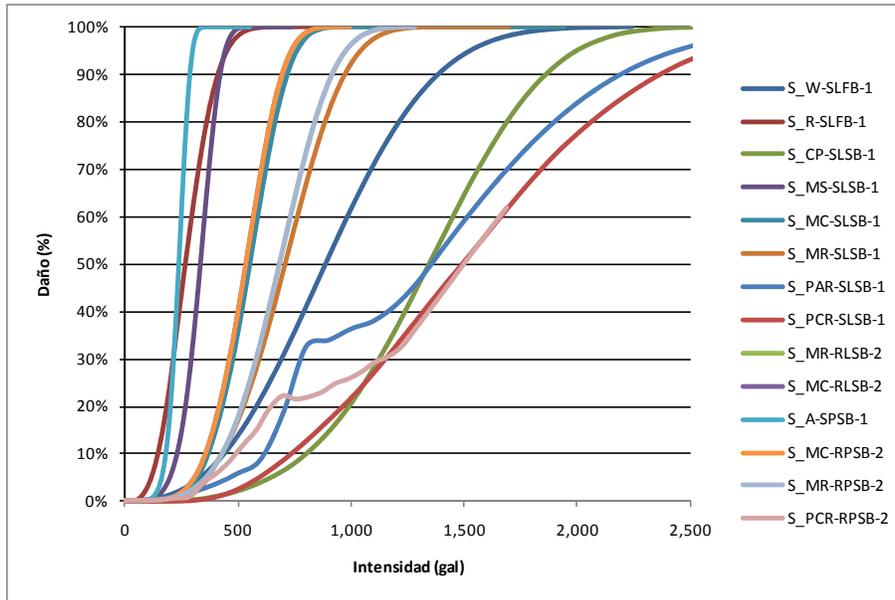


Figura 5-7
Curvas de vulnerabilidad sísmica empleadas

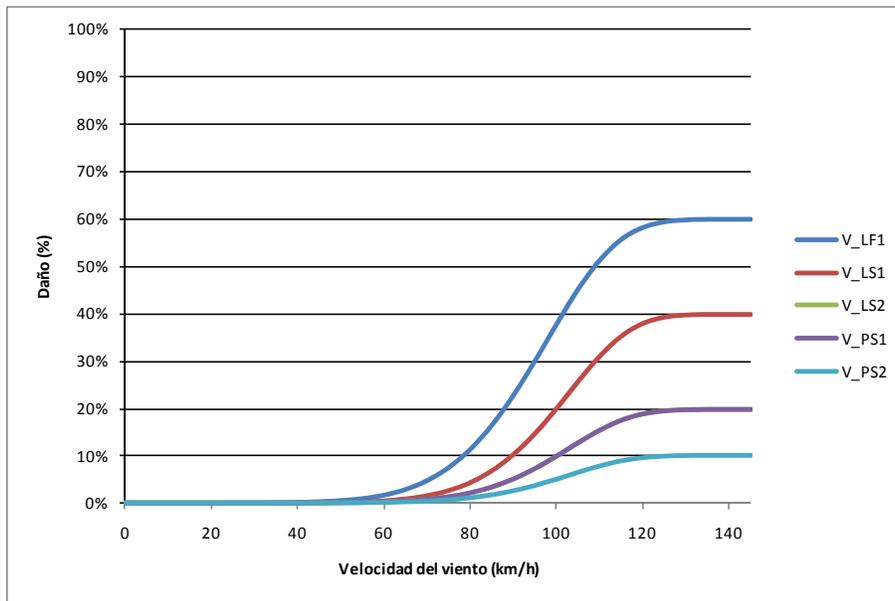


Figura 5-8
Curvas de vulnerabilidad por viento empleadas

6 Resultados de la evaluación

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

6.1 Evaluación probabilista del riesgo de desastre

La evaluación probabilista del riesgo se realizó para las temporalidades presentadas en la Tabla 6-1. 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 6-1
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 Zacapa.

6.1.1 Resultados para Sismo

*Tabla 6-2
Resultados generales para Sismo*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	348.17
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	0.67
	‰	1.92‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	20.78	5.97%
500	31.84	9.14%
1,000	44.70	12.84%
1,500	53.80	15.45%

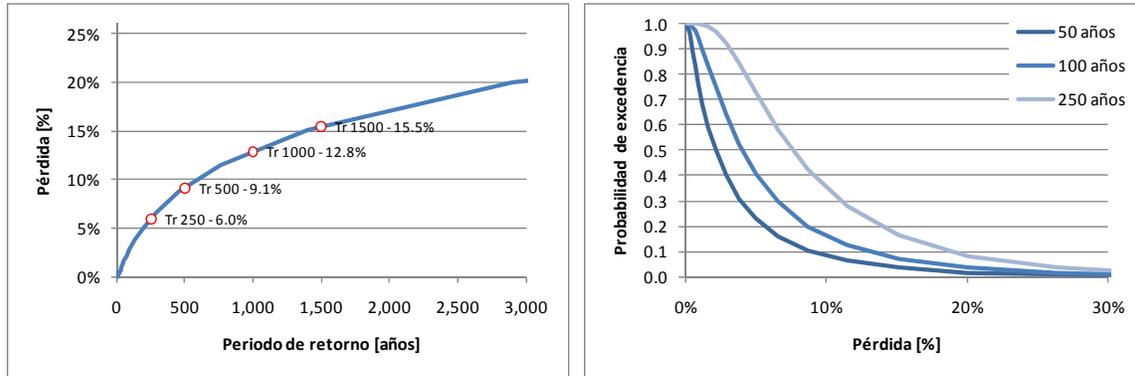


Figura 6-1

Resultados del análisis para sismo

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

Tabla 6-3

Resultados por sistema estructural

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%o]
A-SPSB-1	25,715,220	7.39%	137,169	5.22%o
R-SLFB-1	1,654,168	0.48%	19,476	11.77%o
W-SLFB-1	1,284,798	0.37%	7,468	5.81%o
CP-SLSB-1	4,929,524	1.42%	10,466	2.12%o
MC-RLSB-2	3,270,800	0.94%	11,991	3.67%o
MC-RPSB-2	22,297,752	6.40%	81,694	3.66%o
MC-SLSB-1	138,689,349	39.83%	49,336	0.36%o
MR-RLSB-2	7,917,240	2.27%	17,975	2.27%o
MR-RPSB-2	7,739,922	2.22%	17,500	2.26%o
MR-SLSB-1	42,549,560	12.23%	7,095	0.17%o
MS-SLSB-1	66,121,092	18.99%	145,552	2.20%o
PAR-SLSB-1	8,257,944	2.37%	49,021	5.94%o
PCR-RPSB-2	11,703,140	3.36%	21,069	1.80%o
PCR-SLSB-1	6,010,467	1.73%	94,928	15.79%o
TOTAL	348,170,970	100.00%	667,737	1.92%o

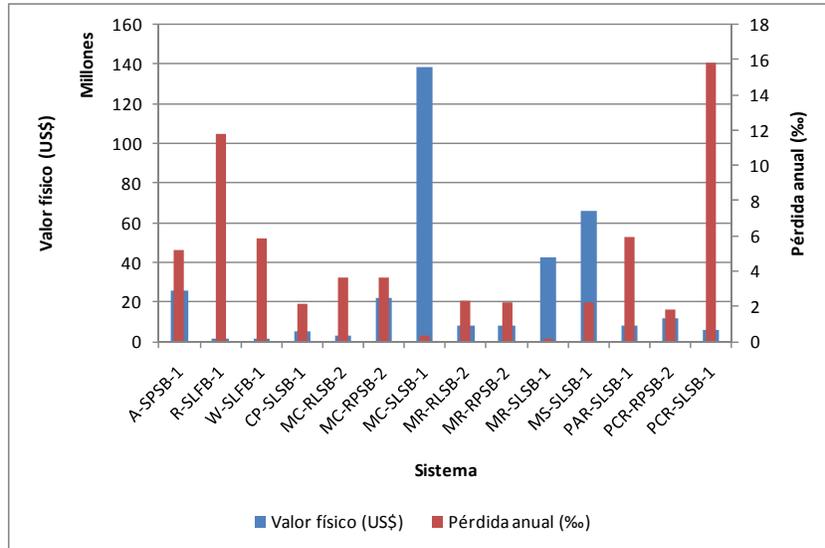


Figura 6-2

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

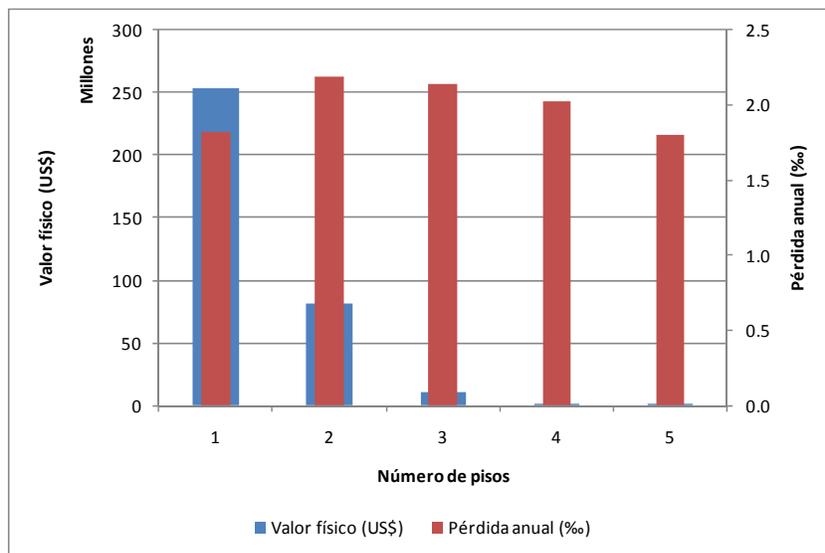


Figura 6-3

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

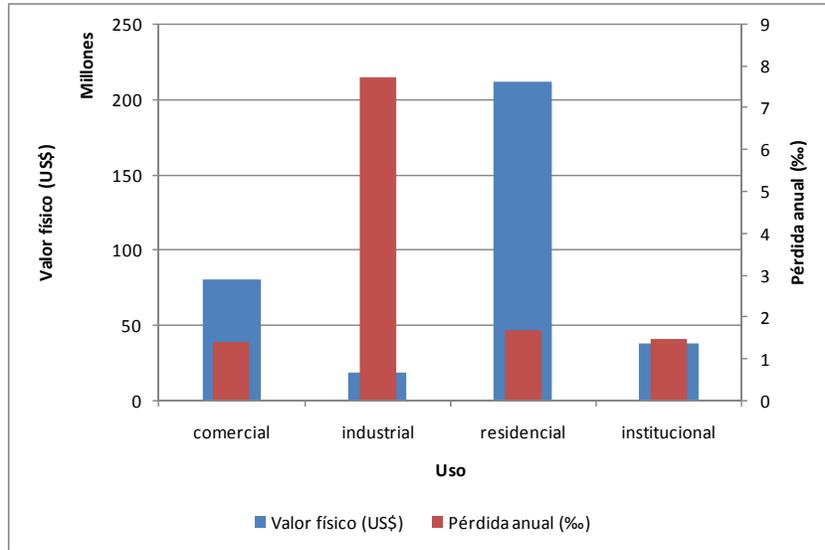


Figura 6-4
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

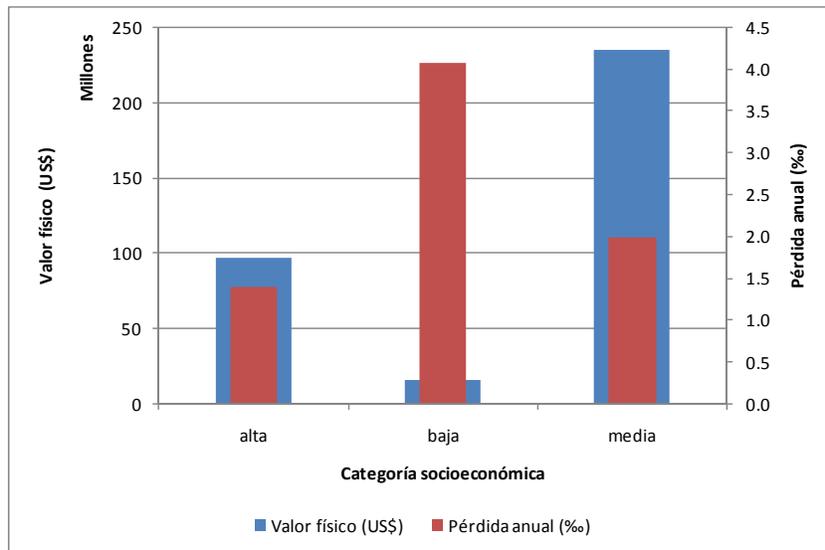


Figura 6-5
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socio-económica

6.1.2 Resultados para Viento Huracanado

Tabla 6-4
Resultados generales para viento huracanado

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	348.17
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	2.79
	‰	8.01‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
50	32.59	9.36%
100	44.28	12.72%
250	59.72	17.15%
500	72.05	20.69%
1,000	83.11	23.87%
1,500	92.25	26.50%

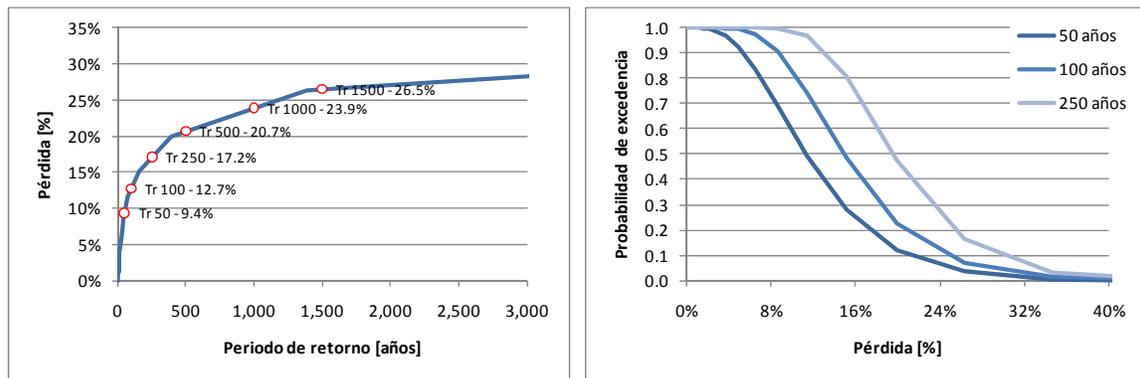


Figura 6-6

Resultados del análisis para viento huracanado

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

Tabla 6-5
Resultados por sistema estructural

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[%‰]
A-SPSB-1	25,715,220	7.39%	119,436	4.64‰
R-SLFB-1	1,654,168	0.48%	25,486	15.41‰
W-SLFB-1	1,284,798	0.37%	19,790	15.40‰
CP-SLSB-1	4,929,524	1.42%	45,756	9.28‰
MC-RLSB-2	3,270,800	0.94%	15,248	4.66‰
MC-RPSB-2	22,297,752	6.40%	51,610	2.31‰
MC-SLSB-1	138,689,349	39.83%	1,286,335	9.27‰
MR-RLSB-2	7,917,240	2.27%	36,907	4.66‰
MR-RPSB-2	7,739,922	2.22%	17,924	2.32‰
MR-SLSB-1	42,549,560	12.23%	395,889	9.30‰
MS-SLSB-1	66,121,092	18.99%	614,408	9.29‰
PAR-SLSB-1	8,257,944	2.37%	76,604	9.28‰
PCR-RPSB-2	11,703,140	3.36%	27,247	2.33‰
PCR-SLSB-1	6,010,467	1.73%	55,663	9.26‰
TOTAL	348,170,970	100.00%	2,788,303	8.01‰

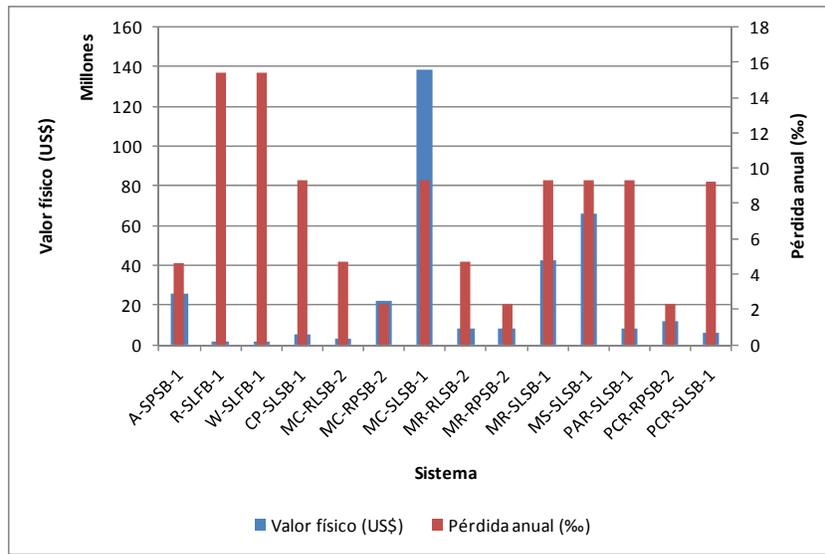


Figura 6-7
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

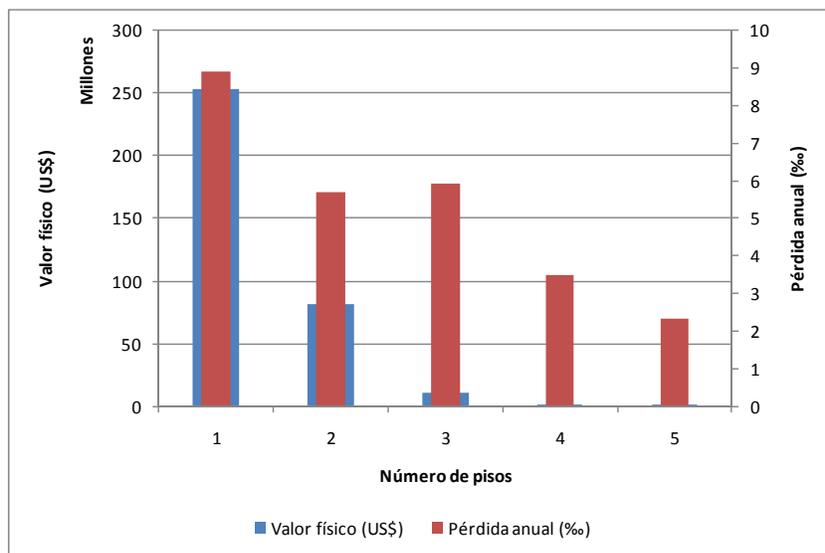


Figura 6-8
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por número de pisos

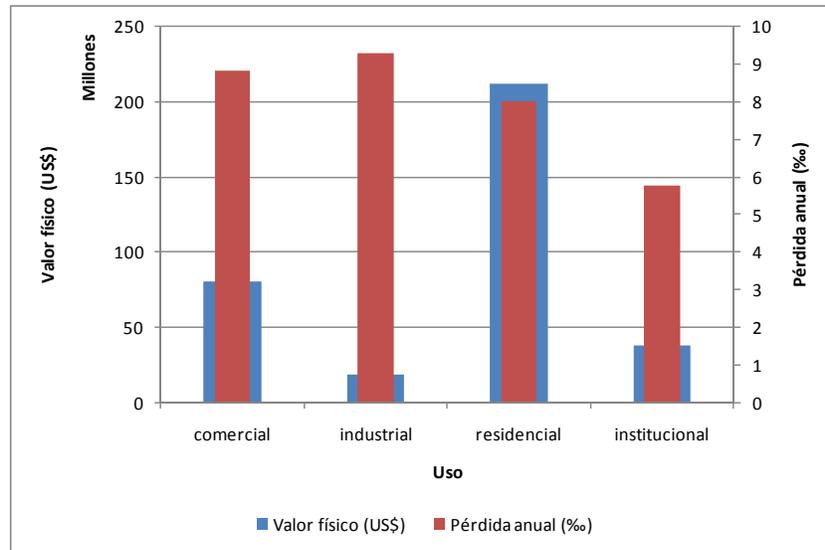


Figura 6-9

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

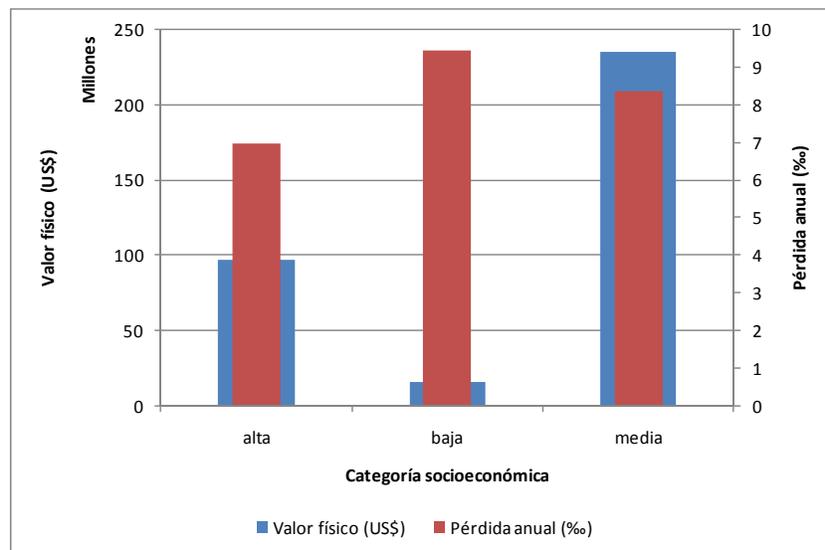


Figura 6-10

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

6.1.3 Resultados agrupados

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

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	348.17
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	3.46
	‰	9.93‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	62.02	17.81%
500	73.86	21.21%
1,000	87.39	25.10%
1,500	93.83	26.95%

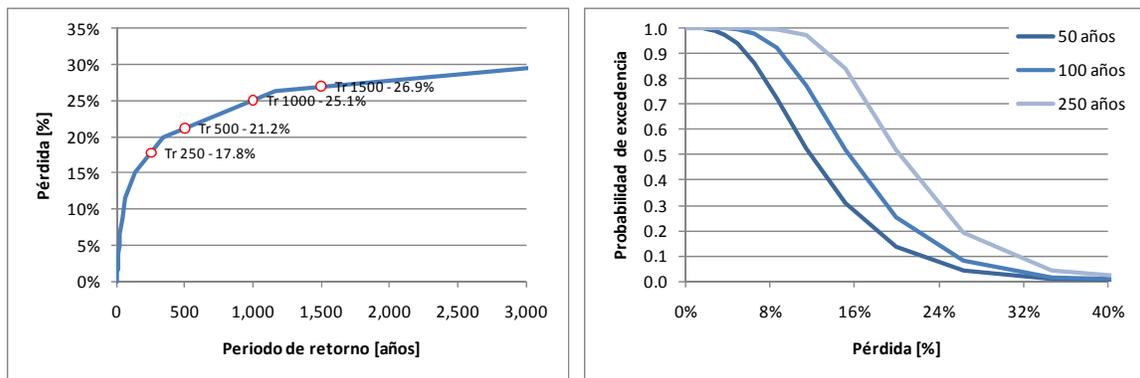


Figura 6-11

Resultados análisis

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

6.1.4 Mapas de riesgo

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo. La Figura 6-12 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por predio para sismo. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 6-13 presentan los resultados equivalentes para viento huracanado.

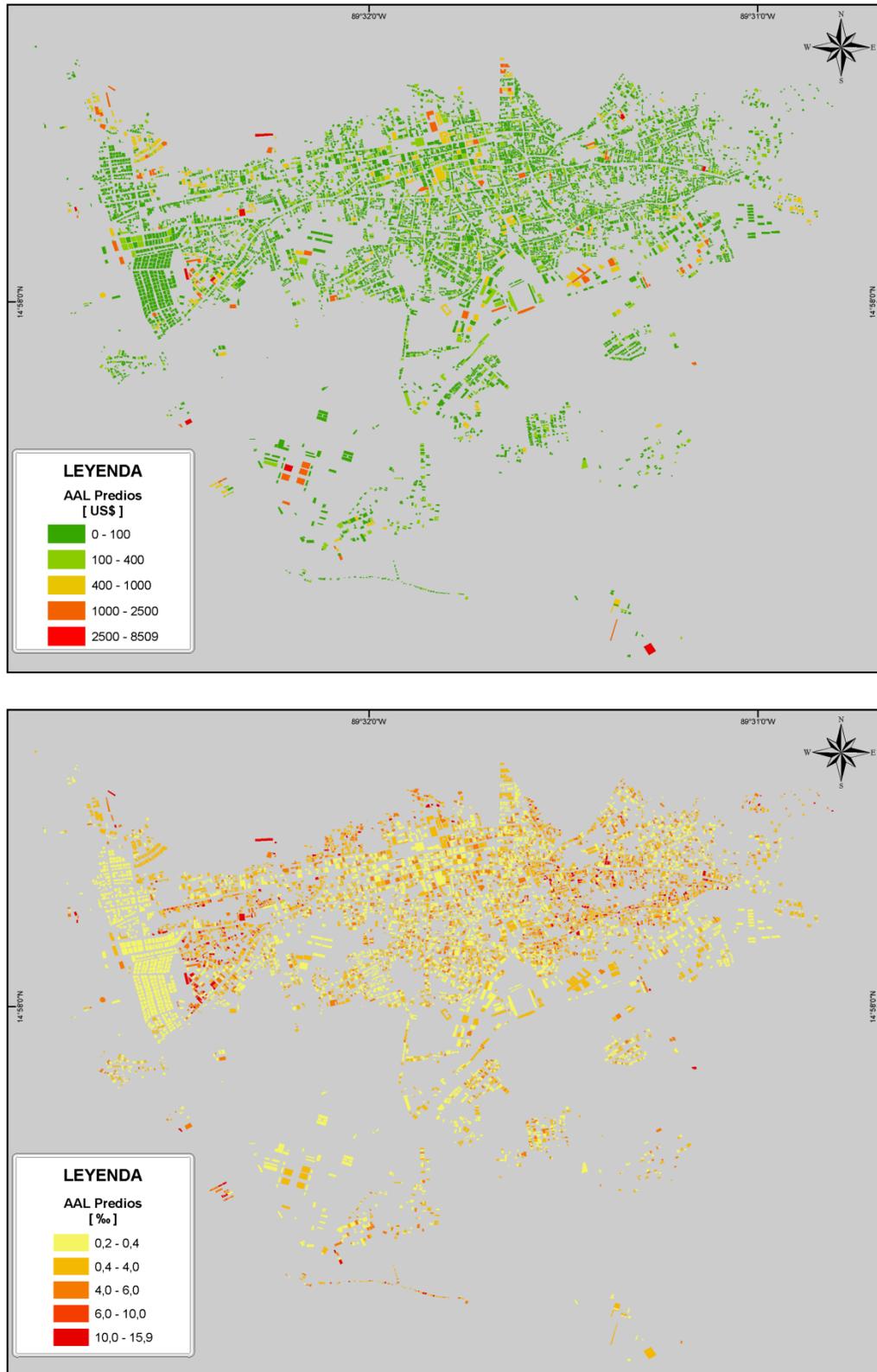


Figura 6-12
Pérdida anual esperada por predio para sismo
 (Arriba: en valor, US\$;abajo: al millar del valor expuesto)

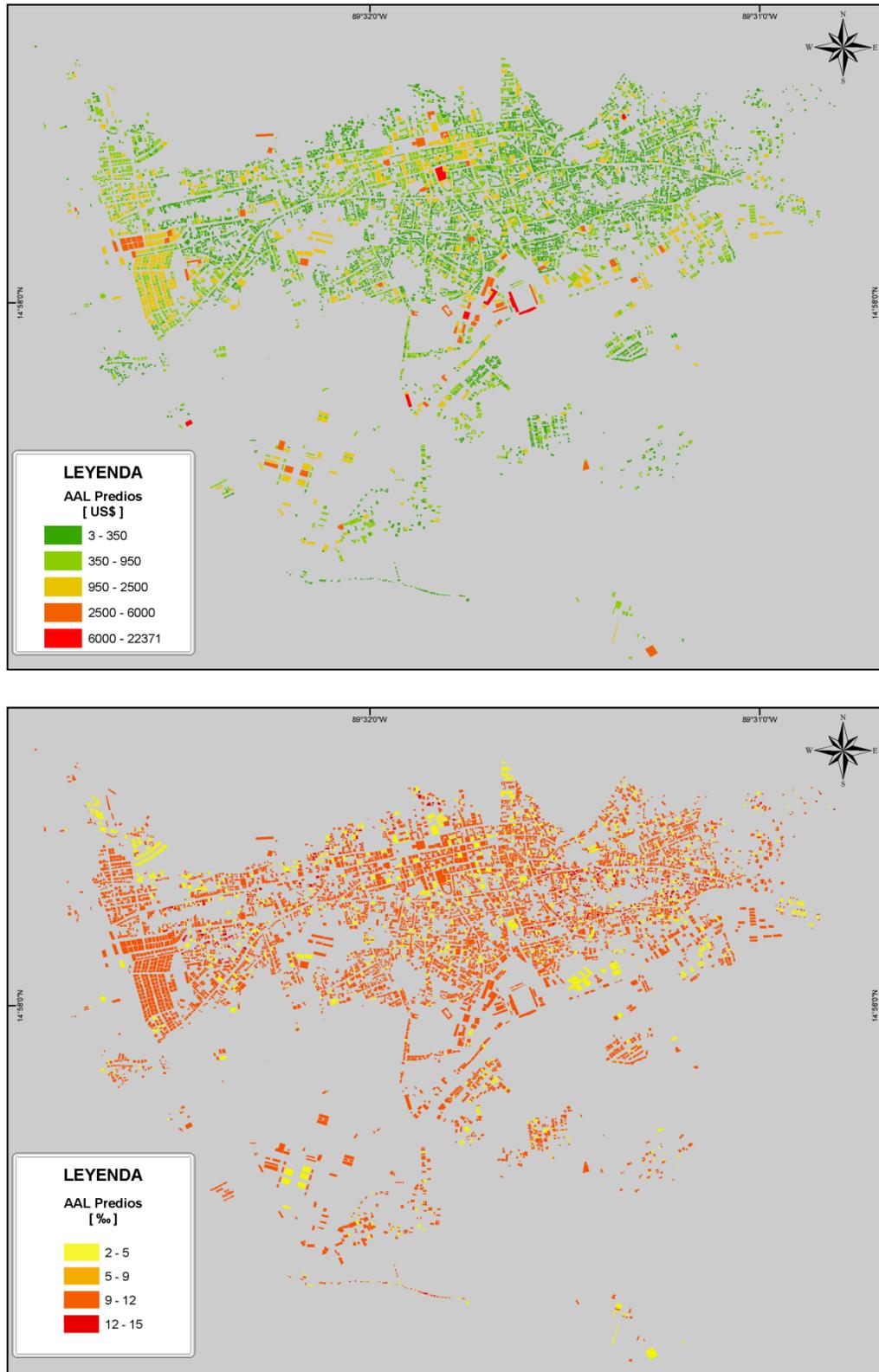


Figura 6-13
Pérdida anual esperada por predio para viento huracanado
(Izquierda: en valor, US\$; derecha: al millar del valor expuesto)

7 Conclusiones y Recomendaciones

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

La amenaza que controla el riesgo en el Municipio es la asociada a eventos de viento huracanado dada su ubicación en la costa atlántica norte y la alta frecuencia de ocurrencia de dichos eventos sobre esa zona. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 72'050.000, lo que equivale al 0.11% del PIB del país y al 20.7% del valor total expuesto de la población.

La prima pura de riesgo global calculada para el municipio (9.93‰) se considera moderada, presentando un gran aporte en pérdida por efecto de los vientos huracanados (prima pura de 8.01‰), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones, especialmente a lo que se refiere a la presencia de cubiertas livianas.

La prima pura por sismo tiene un valor intermedio (1.92‰), en comparación a la calculada para vientos huracanados. No obstante, debe ser considerada dentro de la estrategia de gestión particular que adopte la ciudad, dado que aporta un componente importante de las pérdidas futuras. Esto se refleja en los valores obtenidos de PML, donde, para 1000 años de periodo de retorno, la pérdida esperada corresponde al 12.84% del total del valor expuesto.

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: 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 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 vivienda so edificaciones indispensables y otras.

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

- (a) Sector salud: requerimientos de atención médica para heridos, centros de atención de emergencia, ubicación, requerimientos de servicios públicos, personal médico, ambulancias, organización del tema de víctimas mortales.
- (b) Seguridad: requerimientos de seguridad en los instantes y días posteriores al evento en cuanto a organización de la fuerza pública. Posibilidad de problemas sociales por falta de alimentos o de servicios.
- (c) Atención de la emergencia: planeación de las diferentes acciones posteriores a la ocurrencia del desastre tales como reconocimiento, identificación y clausura de edificaciones afectadas, demoliciones, avisos a la población, cuadrillas de rescate, manejo de donaciones, suministros de alimentación, viviendas temporales, manejo de residuos, disponibilidad de maquinaria, etc.
- (d) Requerimientos de viviendas temporales, campamentos, comida, víveres, suministros, atención médica post-emergencia, etc. Problemática de la vivienda de interés social.
- (e) Problemática de personas sin empleo o lugar de trabajo según zonas, requerimientos inmediatos, afectación de la producción, efectos a largo plazo, medidas de mitigación de impactos.

- (f) Planes de contingencia para los diferentes sectores de servicios públicos y sociales incluyendo suministro de agua, energía, gas, transporte público, generación de energía, telecomunicaciones y otras.
- (g) Pérdidas económicas esperadas, efectos en el mediano y largo plazo en las finanzas públicas, necesidades de mecanismos de transferencia del riesgo, planes de aseguramiento, proyección hacia el futuro.

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

8 Referencias

- Zacapa, Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Zacapa>
- Inforpressca, Información estratégica sobre la región Centroamericana
<http://www.inforpressca.com/zacapa/index.php>
- Huracán Mitch, <http://www.paho.org/spanish/ped/gm-guatemala.pdf>
- Sismos en Guatemala, <http://atlas.snet.gob.sv/atlas/?q=node/192>
- Zacapa, <http://www.zacapa.net/>
- Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos. Censos VI de Población y V de Vivienda 2007. <http://www.censos.gob.sv/sitepoblacion/index.html>
- El Salvador, Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/El_Salvador
- San Salvador, Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/San_Salvador
- Terremoto San Salvador 1986, Wikipedia.
http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_San_Salvador_de_1986
- Terremotos de El Salvador de 2001, Wikipedia.
http://es.wikipedia.org/wiki/Terremotos_de_El_Salvador_de_2001
- Huracán Mitch, Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Mitch
- Sismos en El Salvador 1900-2001, SNET.
<http://www.xeologosdelmundu.org/files/Sismos%20en%20El%20Salvador%201900-2001.pdf>
- Terremotos en El Salvador, Organización Panamericana de la Salud (OMS).
http://www.paho.org/spanish/sha/be_v22n1-terremotos.htm
- Revista 6 - Julio de 2001, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología El Salvador.
<http://www.conacyt.gob.sv/revista-6-7-7-01.htm>
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelos de Evaluación de Amenazas. Informe ERN-CAPRA-T1.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.3. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.

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/>