

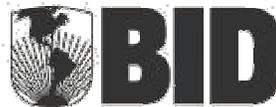
# **CAPRA**

**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 4.2D**  
**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE EN**  
**SANTIAGO DE ATITLÁN**





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

**Consortio conformado por:**

**Colombia**

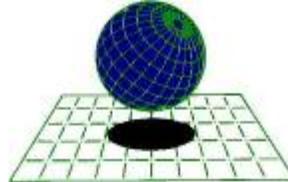
Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



**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](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. Éstos están descritos 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.
- La utilización 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.....	4-2
<b>5</b>	<b>Amenaza por deslizamiento .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Eventos Históricos.....	5-1
5.2	Evaluación de la amenaza.....	5-2
<b>6</b>	<b>Inventario de elementos expuestos .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Levantamiento de la información básica .....	6-1
6.2	Información de exposición de predios .....	6-2
6.3	Información de vulnerabilidad .....	6-5
<b>7</b>	<b>Resultados de la evaluación .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	Evaluación probabilista del riesgo de desastre .....	7-1
7.1.1	Resultados para sismo.....	7-1
7.1.2	Resultados para huracán (viento huracanado).....	7-4
7.1.3	Resultados agrupados.....	7-7
7.1.4	Mapas de riesgo .....	7-8
7.2	Análisis determinista del riesgo por deslizamiento .....	7-11
<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 SANTIAGO DE ATITLÁN.....	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 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN SANTIAGO ATITLÁN 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 SANTIAGO ATITLÁN [KM/H] .....	4-4
FIGURA 5-1 MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO PARA LA CIUDAD SANTIAGO ATITLÁN. ESTADO DE SUELO SATURADO. ANÁLISIS MÉTODO FALLA TRASLACIONAL .....	5-3
FIGURA 6-1 MAPA DE MANZANAS HOMOGÉNEAS DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO ATITLÁN .....	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 HURACANADO ..	6-6
FIGURA 6-8 CURVAS DE VULNERABILIDAD SÍSMICAS EMPLEADAS.....	6-7
FIGURA 6-9 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO EMPLEADAS.....	6-7
FIGURA 6-10 CURVA DE VULNERABILIDAD POR DESLIZAMIENTO EMPLEADA .....	6-8
FIGURA 7-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-2
FIGURA 7-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-2
FIGURA 7-3 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-3
FIGURA 7-4 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-3
FIGURA 7-5 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA .....	7-4
FIGURA 7-6 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-5
FIGURA 7-7 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-5
FIGURA 7-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS .....	7-6
FIGURA 7-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO .....	7-6
FIGURA 7-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA .....	7-7
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-8
FIGURA 7-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR MANZANA PARA SISMO .....	7-9
FIGURA 7-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR MANZANA PARA HURACÁN (VIENTO) .....	7-10

## Índice de tablas

---

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ.....	3-2
TABLA 4-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO A SANTIAGO ATITLÁN .....	4-2
TABLA 5-1 DESLIZAMIENTOS OCURRIDOS EN GUATEMALA .....	5-1
TABLA 5-2 PRINCIPALES DESLIZAMIENTOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO DE SANTIAGO DE ATITLÁN .....	5-2
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 7-1 TEMPORALIDADES EMPLEADAS EN EL CÁLCULO .....	7-1
TABLA 7-2 RESULTADOS GENERALES .....	7-1
TABLA 7-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-2
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES .....	7-4
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-5
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES .....	7-7
TABLA 7-7 VALOR EXPUESTO Y PÉRDIDA ECONÓMICA .....	7-11

# 1 Introducción

---

Santiago Atitlán es un municipio perteneciente al Departamento de Sololá, que limita al norte con el Lago Atitlán, al este con San Lucas Toliman (Sololá), al sur con Bárbara Suchitepéquez y al oeste con Chicacao y San Pedro La Laguna (Sololá). Tiene una extensión territorial de 136 kilómetros (12.82% del total del departamento de Sololá) y se encuentra a 1,592 metros sobre el nivel del mar. La población cuenta con cerca de 2200 edificaciones que en general corresponden a viviendas de 1 piso construidas principalmente en adobe, mampostería simple, mampostería confinada, pórticos de concreto y madera. Su población total es de 32,254 habitantes, según el censo INE de 2002<sup>1</sup>. El levantamiento realizado en este estudio corresponde a una porción de la ciudad, con una población estimada de 19,490 habitantes.



**Figura 1-1**  
*Localización geográfica de Santiago de Atitlán*

En 1902 un terremoto de 7.5 grados en la escala Richter afectó a Guatemala en la noche del 18 de Abril, ocasionando daños principalmente en Quetzaltenango y Sololá, con un reporte total de 200 personas fallecidas. 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 ocurrieron en el valle de Ciudad de Guatemala donde se estiman en 23,000 las personas fallecidas y en 76,000 las heridas.

Guatemala se encuentra en una zona de alta susceptibilidad al paso de huracanes generados en la cuenca del Atlántico; durante el 27 de octubre y el 1 de noviembre de 1961 el huracán

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. <http://www.ine.gob.gt/>

Hattie-Simone de categoría 5 en la escala Saffir-Simpson transitó sobre Belice, Honduras y Guatemala causando considerables pérdidas en diferentes poblaciones. Alcanzó vientos de hasta 300 km/h y presiones mínimas de 92 kPa. A su paso por Centroamérica se estima que causó el fallecimiento de 319 personas y daños por 440 millones de dólares.

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. Alcanzó vientos sostenidos de hasta 285 km/h y presiones mínimas de 90 kPa.

En el año 2005 Guatemala fue afectado por el huracán Stan, el cual causó pérdidas humanas y daños a la agricultura e infraestructura. Este evento causó el deslave sobre el cantón Panabaj y Tzanchaj en Sololá, en el que 208 personas perdieron la vida, 647 desaparecieron y 883 familias fueron afectadas.

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 población y el país. Así mismo, se pueden establecer parámetros para la formulación de planes dentro de la gestión ex ante y ex post del riesgo de desastres.

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial del municipio de Santiago Atitlán ante diferentes amenazas naturales para así expresar el riesgo en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE), pérdidas máximas probables (PML) y afectación directa sobre la población. El análisis se realiza en términos probabilistas.

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

## 2 Metodología de evaluación del riesgo

---

Para la evaluación del riesgo sísmico, por huracán y por deslizamiento en Santiago Atitlán se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos, ERN 2010), y en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

La metodología para la evaluación del riesgo sísmico, por huracán y por deslizamiento de Santiago Atitlán 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: ésta se evalúa mediante un escenario 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 2009).
- (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 2009). Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas para cada uno de los escenarios planteados y para el análisis probabilista integral. La valoración del riesgo se presenta en términos de estimaciones de:

- Porcentaje de afectación física de las construcciones.
- Pérdidas económicas directas aproximadas por predio.
- Pérdidas económicas máximas probables.
- Pérdidas anuales esperadas.

### **3 Amenaza sísmica**

---

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://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 que afecte el municipio de Santiago de Atitlán, teniendo como base la información de amenaza más actualizada posible y la información digital disponible sobre los elementos o activos expuestos en el municipio.

#### **3.1 Eventos históricos**

A continuación se presentan los eventos sísmicos que han afectado al departamento de Sololá a lo largo de la historia y que han causado un impacto de magnitud considerable en el municipio de Santiago de Atitlán.

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

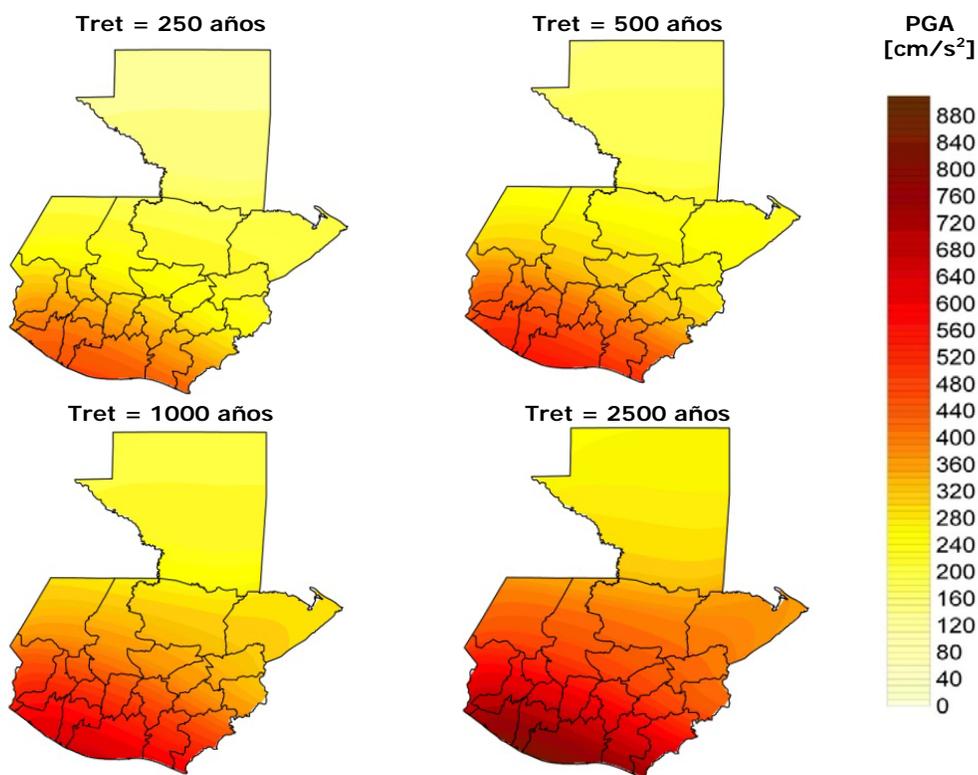
Año	Fecha	Lat (N)	Long (O)	Magnitud	Intensidad (MM)	Observaciones
1902	Abr-18	14.9	91.5	(7.5 a 8.3)	-	Ocurrió un sismo fuerte que ocasionó daños en Quetzaltenango y Sololá. Hubo reportes de unos 200 muertos.
1942	Ago-06	13.9	90.8	Ms 8.3	-	Moderado daño en Quiriguá. Efectos: en Deptos. de Guatemala: Amatitlán. 253 casas con daños leves, 99 destruidas y 196 de consideración. San Juan Sacatepéquez. Edificios y varias casas afectadas. Sacatapéquez. Edificios, templos católicos y casas con daños de poca consideración, derrumbes en la carretera. Chimaltenango, edificios sufrieron desperfectos. En Comalapa, Tecpán y Patzicía, varios edificios y casas destruidas, algunos muertos. Acatenango fue destruida con muertos. En San Marcos se dañaron edificios. En Totonicapán, El Quiché y Sololá daños ligeros en casas. Escuintla: Varios edificios, entre ellos la Policía y casas fueros destruidos sin muertos. Huehuetenango.
1998	10/01/2010 (02:20:10.7)	14° 00.13'	91° 45.60	5.8 y 4.4	VII y VI	Episcentros en la zona de subducción frente a costas de Retalhuleu y Suchitepéquez. Produjo daños en Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, San Marcos, Sololá, Totonicapán, Escuintla y la Ciudad Capital. Con 4 personas heridas, 520 afectadas por destrucción de viviendas, 5 casas afectadas severamente, 1 moderadamente dañada y 20 con daños menores; Hubo 8 derrumbes, 1 incendio y algunos postes cayeron.

### 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](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 533 escenarios según la metodología presentada en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas, ERN 2010), cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada y con magnitud correspondiente a las características de las fuentes sismogénicas. La Figura 3-1 presenta los mapas de amenaza sísmica, en términos de la aceleración máxima del terreno, para diferentes períodos de retorno.



*Figura 3-1*  
*Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s<sup>2</sup>] para diferentes periodos de retorno*

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

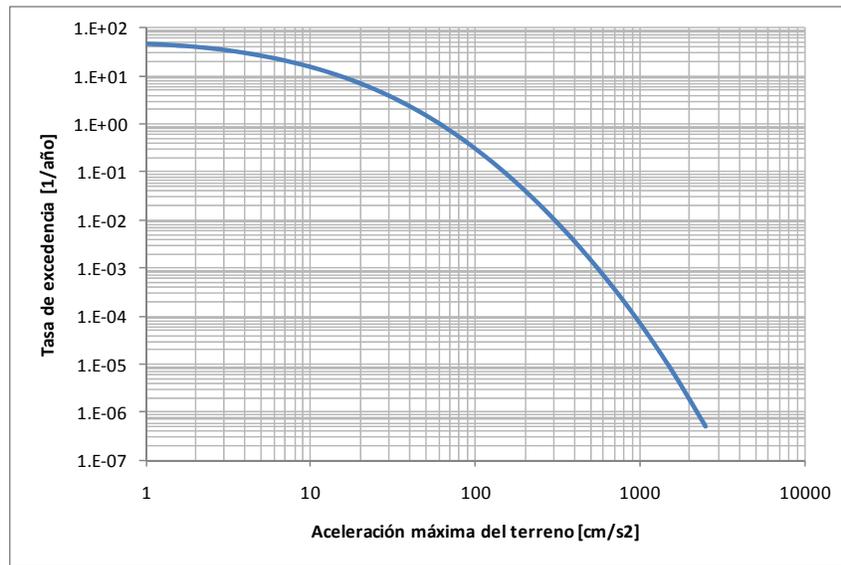


Figura 3-2

*Curva de amenaza sísmica en Santiago Atitlán 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 Naturales, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 4.1 Eventos Históricos

El paso de la tormenta tropical Stan por Guatemala afectó el 32% de la población total e incluyó varios departamentos del país. El municipio que registró el mayor número de víctimas fatales, además de enormes daños en infraestructura, fue Santiago de Atitlán. Los primeros derrumbes e inundaciones se registraron en el norte del municipio y los principales cantones afectados fueron Panul, Chu'ul y Pachichaj, producto de las intensas lluvias registradas el 4 de Octubre. En el sur del municipio se presentaron varias correntadas que inundaron los cantones de Panabaj y Tzanchaj. Uno de los principales desastres ocurrió en la mañana del 5 de Octubre cuando se desprendió un deslave del volcán Tolimán y sepultó las casas de Panabaj bajo lodo y escombros. El evento ocasionó la muerte de 208 personas, principalmente mujeres y niños, 883 familias resultaron afectadas, de las cuales 672 correspondían al cantón de Panabaj.

La Tabla 4-1, presenta un resumen de los huracanes que han afectado con mayor fuerza a Santiago Atitlán.

Tabla 4-1

**Principales huracanes que han afectado a Santiago Atitlán**(Fuente: <http://muniatitlan.gob.gt/medioambienteyriesgo/medioambienteyriesgo2.html>)

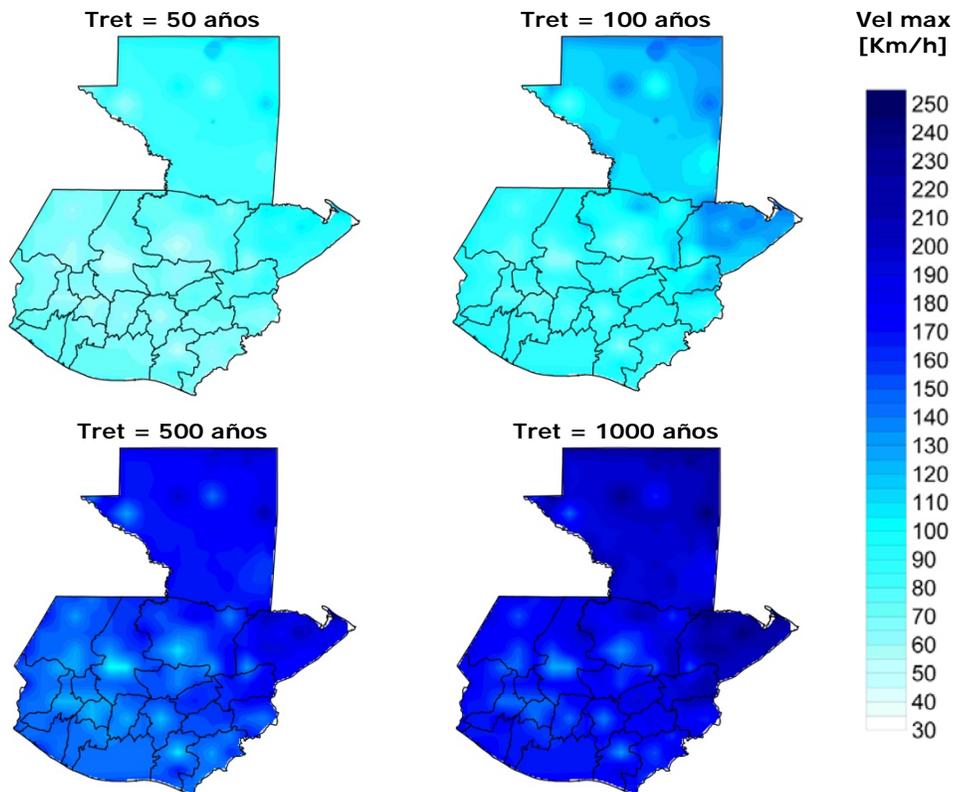
Nombre	año	Lugar afectado	Efectos	Daños ocasionados
HURACÁN MITCH	1998	Centroamérica	En territorio guatemalteco ocasionó fuertes lluvias que generaron deslizamientos e inundaciones.	Las inundaciones destruyeron cerca de 6000 viviendas y causaron daños en otras 20000. Además de esto se presentaron inundaciones en las tierras cultivadas y cultivables de la mayor parte del país, destruyendo cultivos de maíz, frijol, plátano y café.
HURACÁN IRIS	2001	Aldea Cerro de Oro, Cantón Panabaj (casco Urbano), Cantón Tzanchaj	Vientos Fuertes Lluvias Torrenciales.	Desbordamiento de quebradas. Deslaves. Árboles caídos. Enfermedades.
HURACÁN STAN	2005	Aldea Cerro de Oro, Cantón Panabaj (casco urbano), Cantón Tzanchaj, Cantón Chu'ul	Inundaciones Vientos Fuertes Lluvias Torrenciales. Deslaves. Desbordamiento de ríos	Árboles caídos. Pérdida de Viviendas Pérdida de Vidas Humanas. Enfermedades. Daños a la Agricultura. Daños a la Infraestructura.

## 4.2 Evaluación de la amenaza

El análisis se realiza con base en las trayectorias y características de los registros históricos disponibles. Los eventos estocásticos se generan mediante simulación utilizando una técnica “*random-walk*” que involucra un muestreo de las distribuciones históricas en la localización de generación de la tormenta, para calcular una velocidad de avance que permita ir moviendo la tormenta hacia adelante, y haciendo muestreo en la distribución en la nueva ubicación para el siguiente intervalo de tiempo y así sucesivamente. Cada trayectoria simulada es diferente de cada otra trayectoria simulada o histórica pero el conjunto de eventos simulado mantiene las mismas propiedades estadísticas del conjunto de eventos históricos. Esta metodología se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN2010) y sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

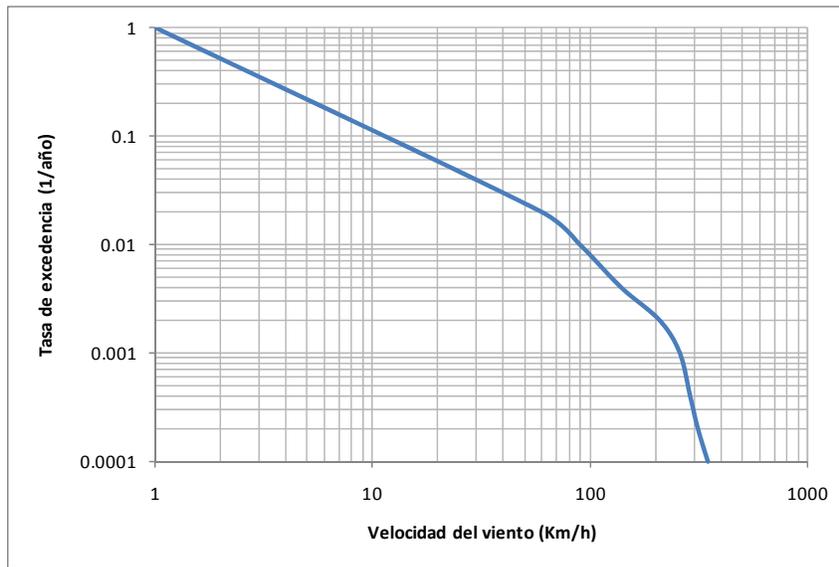
Para la modelación de la amenaza, se empleó información topográfica con resolución de 30 m, obtenida del STRM de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN2010) y en el sitio web [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org), 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 76 escenarios de viento huracanado, según la metodología 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 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*

Por otro lado la Figura 4-2 presenta la curva de amenaza de viento para un punto representativo de la población.



*Figura 4-2*  
*Curva de amenaza por viento huracanado en Santiago Atitlán [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, ERN 2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1.2 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales, ERN2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio [www.ecapra.org](http://www.ecapra.org).

### 5.1 Eventos Históricos

El territorio guatemalteco 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 Guatemala*

Fecha	Localización	Fallecidos	Heridos
1948	Lavarreda	7	
1963	Senahú	6	7
1970	Ciudad de Guatemala	6	
1986	Ciudad de Guatemala	8	
1987	La Democracia	40	
2000	Senahú	14	
2002	El Porvenir	32	
2003	Aldea Chichicaste	22	
2005	Senahú	22	32
2008	La Unión	12	
2009	San Cristóbal Verapaz	33	

El 13 de septiembre de 2002 se presentó un deslizamiento debido a las intensas lluvias de la temporada. El evento afectó el departamento de Sololá y en especial la zona de San Lucas Toliman. Este fenómeno causó la muerte de 68 personas y la afectación directa de 474 habitantes de la zona<sup>2</sup>.

Durante el paso del huracán Stan por territorio guatemalteco (05/10/2005), un deslave generado por la inestabilidad de las laderas del volcán Atilán sepultó parte de la población de Panabaj, causando la muerte a 208 personas.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> <http://www.emdat.be/search-details-disaster-list>

<sup>3</sup> <http://www.atitlan.org/panabaj/panabaj.htm>

En la Tabla 5-2 se presentan un resumen de los dos deslizamientos más importantes asociados con la zona de estudio.

**Tabla 5-2**  
*Principales deslizamientos que han afectado el territorio de Santiago de Atitlán*

Fecha	Descripción Ubicación	Muertos	Desaparecidos	Heridos	Afectados
13/09/2002	San Lucas Toliman	68	-	-	474
05/10/2005	Santiago de Atitlán, cantón de Panabaj	208	647	-	883 familias

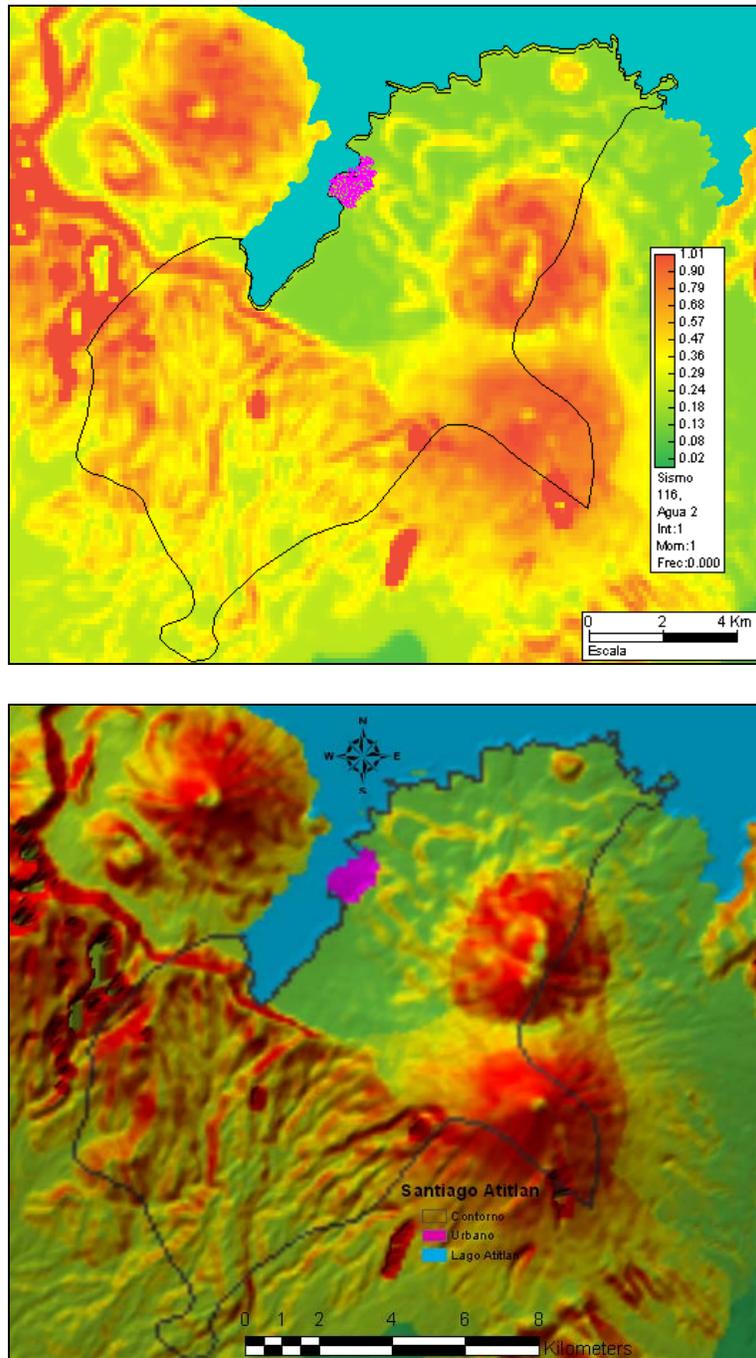
## 5.2 Evaluación de la amenaza

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 6.75 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, el cual corresponde al inverso del factor de seguridad.



**Figura 5-1**  
*Mapa de amenaza por deslizamiento para la ciudad Santiago Atitlán. Estado de suelo saturado. Análisis método Falla traslacional*

## 6 Inventario de elementos expuestos

---

### 6.1 Levantamiento de la información básica

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

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

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

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

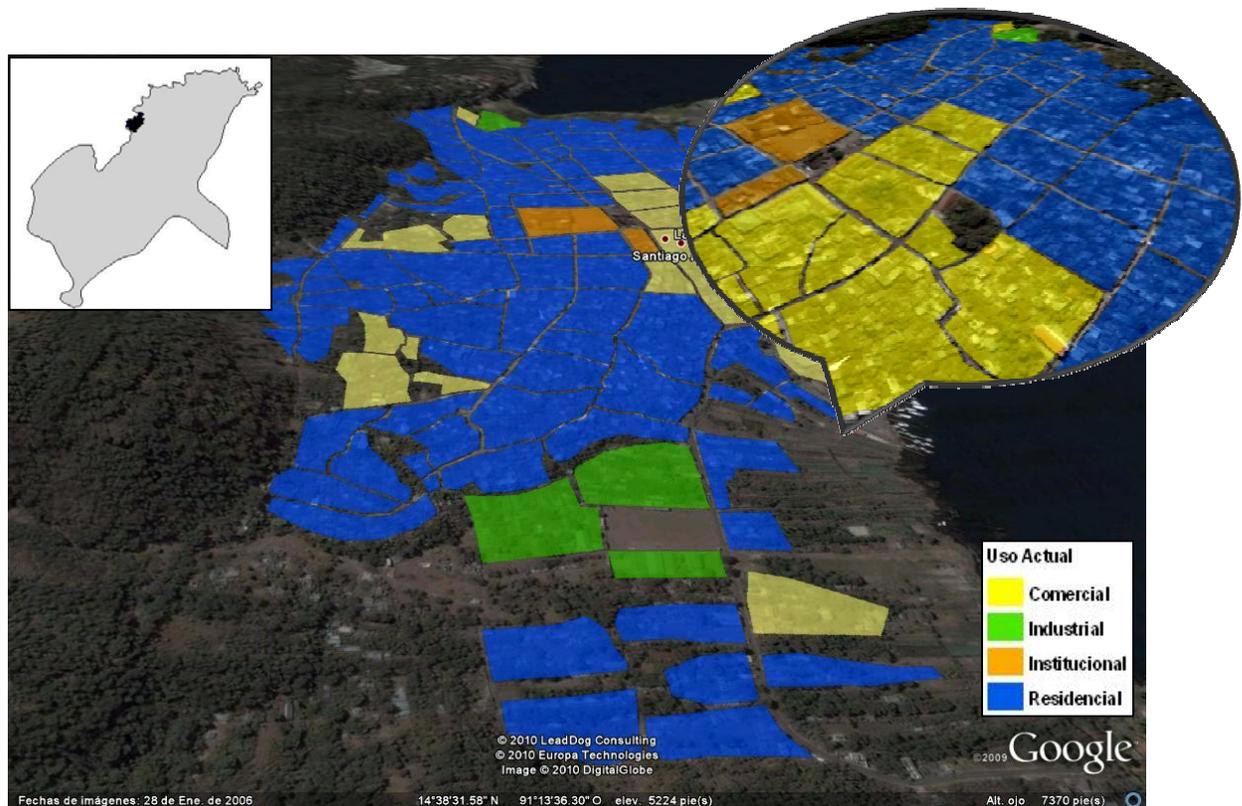


Figura 6-1

Mapa de manzanas homogéneas del municipio de Santiago Atitlán  
(Imagen generada con Google Earth. Recuadro: proyección plana)

## 6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición del municipio de Santiago Atitlán, 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.

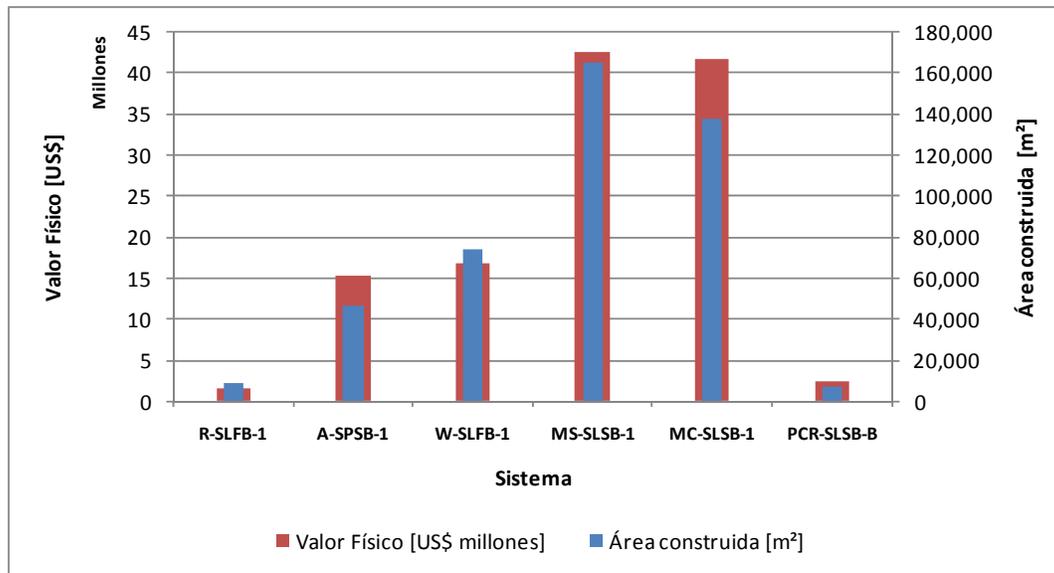
Tabla 6-1  
Indicadores generales de exposición de edificaciones

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	19,490
Área total de terreno urbano	km <sup>2</sup>	1.25
Densidad de población	Hab/km <sup>2</sup>	15,575
No. total de Edificaciones		2,200
Área de construcción	m <sup>2</sup>	440 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	120
Valor promedio/m <sup>2</sup> construido	US\$/m <sup>2</sup>	273.53

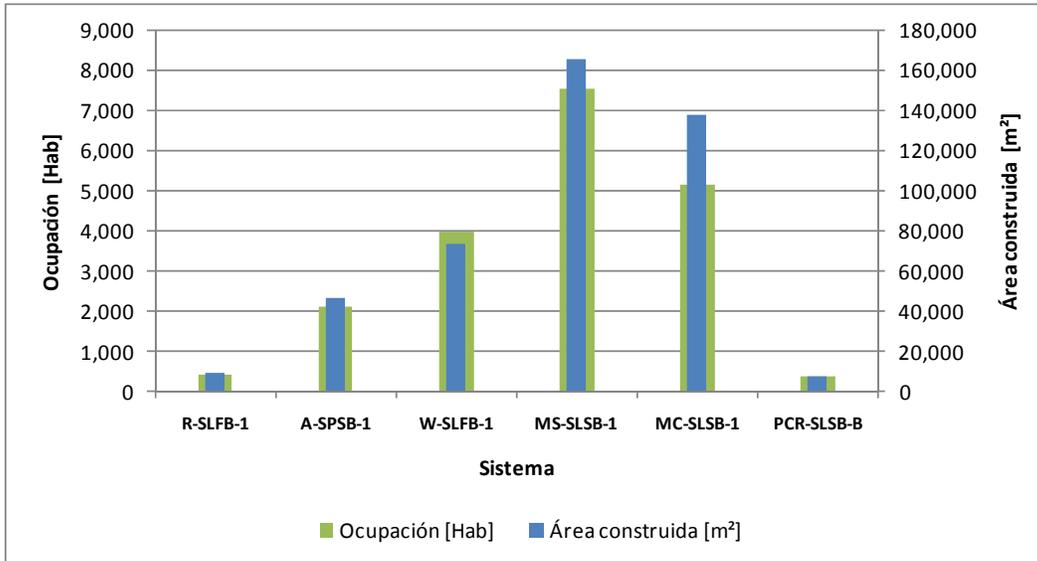
A continuación se presentan algunas estadísticas resultantes del proceso de conformación de la base de exposición de edificaciones. La Tabla 6-2 y la Figura 6-2 y Figura 6-3 presentan la distribución general de valores expuestos y ocupación de edificaciones, para los diferentes tipos estructurales identificados. La descripción detallada de los sistemas estructurales se encuentra en el informe ERN-CAPRA-2.2 (Propuesta de Funciones e Indicadores de Vulnerabilidad, ERN 2010).

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

Sistema	Código Sistema	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Sistema no tecnificado	R-SLFB-1	8,922	1.58	423
Adobe	A-SPSB-1	46,959	15.37	2,092
Madera	W-SLFB-1	73,814	16.71	3,963
Mampostería simple	MS-SLSB-1	165,094	42.47	7,520
Mampostería confinada	MC-SLSB-1	137,622	41.58	5,125
Pórticos en concreto	PCR-SLSB-B	7,139	2.51	366
<b>Total</b>		<b>439,551</b>	<b>120.23</b>	<b>19,489</b>



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

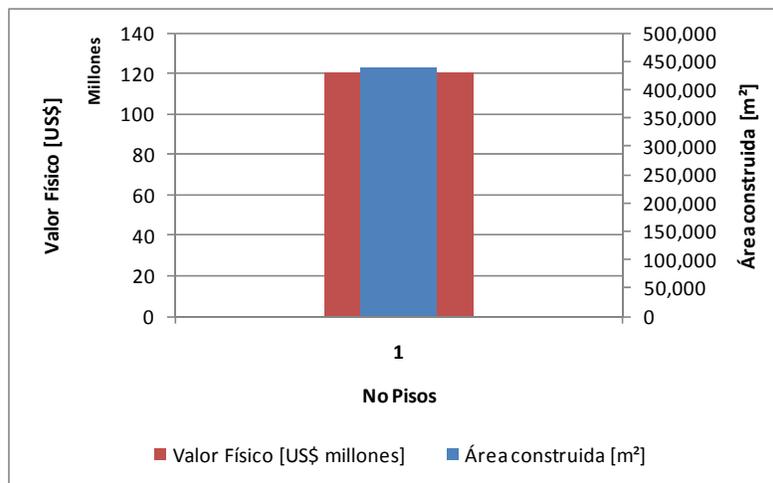


**Figura 6-3**  
*Distribución de ocupación y área construida por sistemas estructurales*

Por otra parte, la Tabla 6-3, la Figura 6-4 y la 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	439,551	120.23	19,489
<b>Total</b>	<b>439,551</b>	<b>120.23</b>	<b>19,489</b>



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

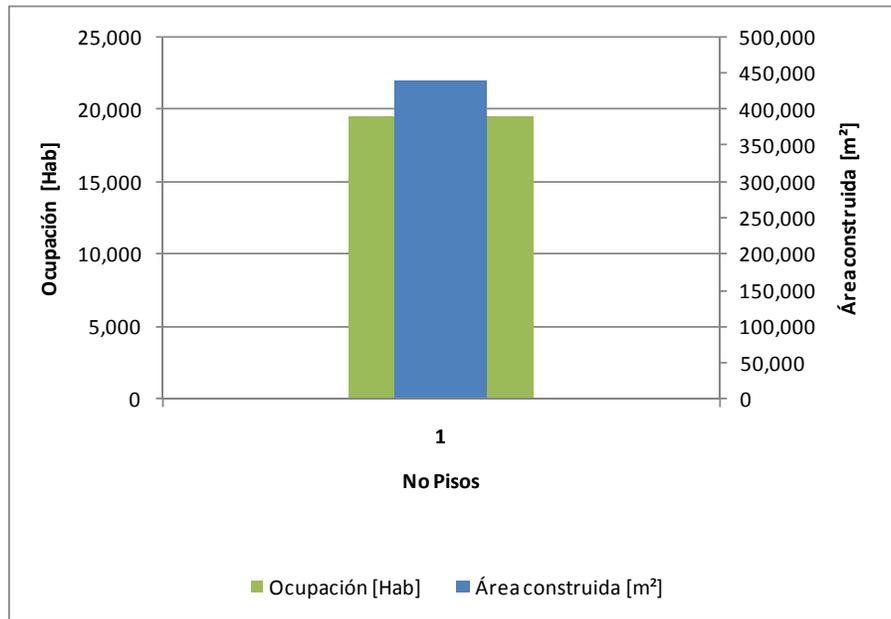


Figura 6-5

Distribución de ocupación y área construida por número de pisos

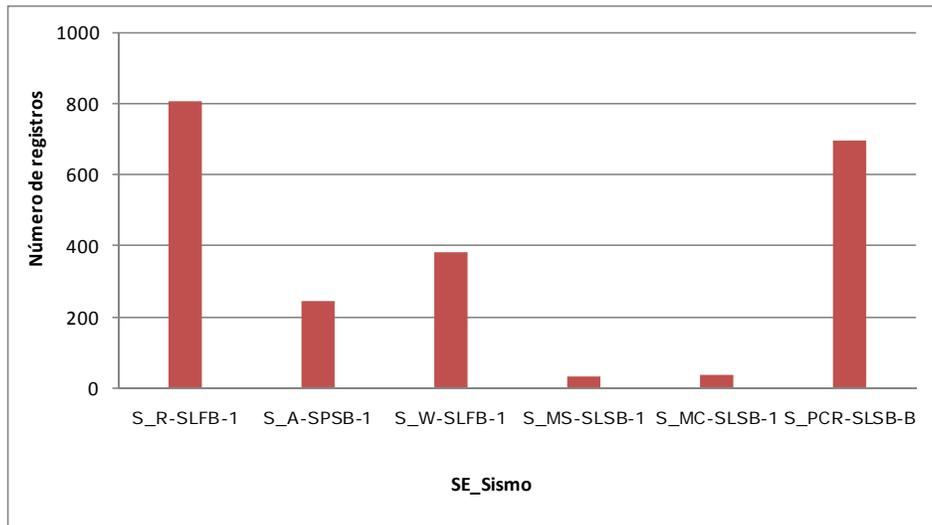
### 6.3 Información de vulnerabilidad

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

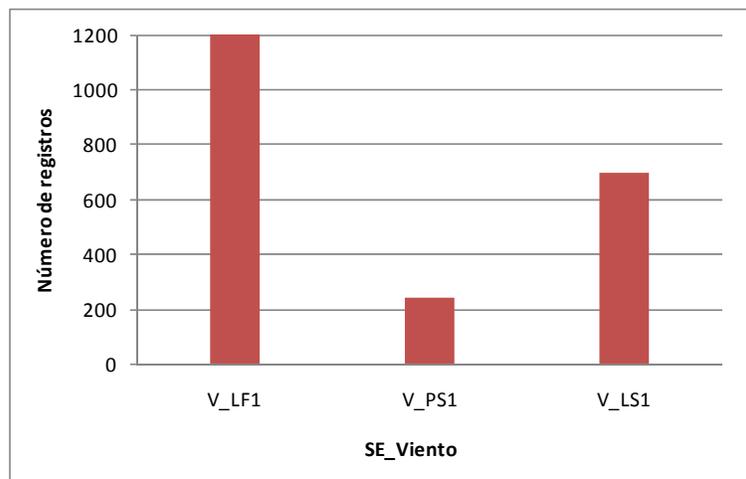
Tabla 6-4  
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Material	Curva sismo	Curva viento	Curva deslizamiento	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
<b>Sistema no tecnificado</b>					
R-SLFB-1	S_R-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento(F_InS)	1.58	423
<b>Adobe</b>					
A-SPSB-1	S_A-SPSB-1	V_PS1	D_Deslizamiento(F_InS)	15.37	2,092
<b>Madera</b>					
W-SLFB-1	S_W-SLFB-1	V_LF1	D_Deslizamiento(F_InS)	16.71	3,963
<b>Mampostería simple</b>					
MS-SLSB-1	S_MS-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento(F_InS)	42.47	7,520
<b>Mampostería confinada</b>					
MC-SLSB-1	S_MC-SLSB-1	V_LS1	D_Deslizamiento(F_InS)	41.58	5,125
<b>Pórtico en concreto</b>					
PCR-SLSB-B	S_PCR-SLSB-B	V_LS1	D_Deslizamiento(F_InS)	2.51	366
<b>Total</b>				<b>120.23</b>	<b>19,489</b>

La Figura 6-6 y la Figura 6-7 muestran el número de registros que representan los tipos estructurales empleados y la curva de vulnerabilidad asociada a cada uno de ellos, para el caso de sismo y viento.

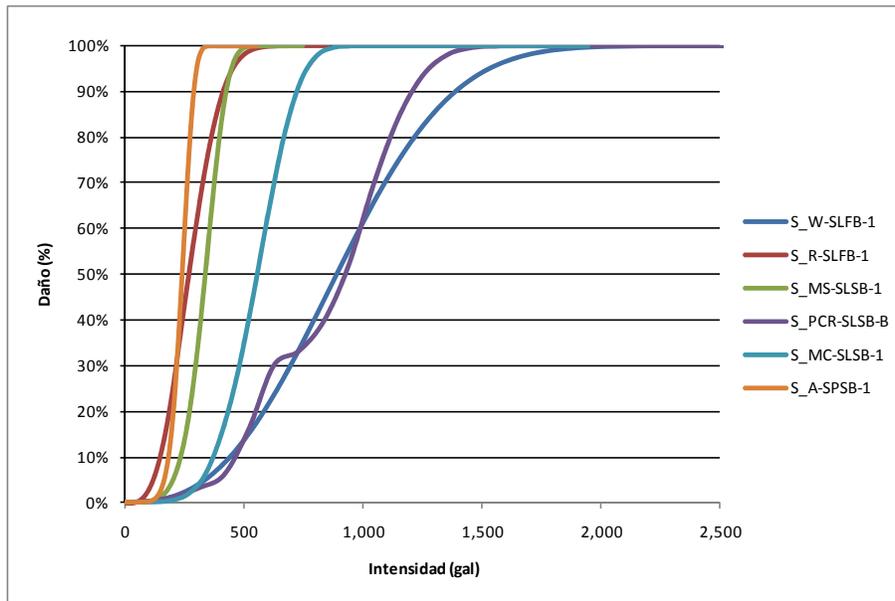


**Figura 6-6**  
Número de registros según la curva de vulnerabilidad para sismo

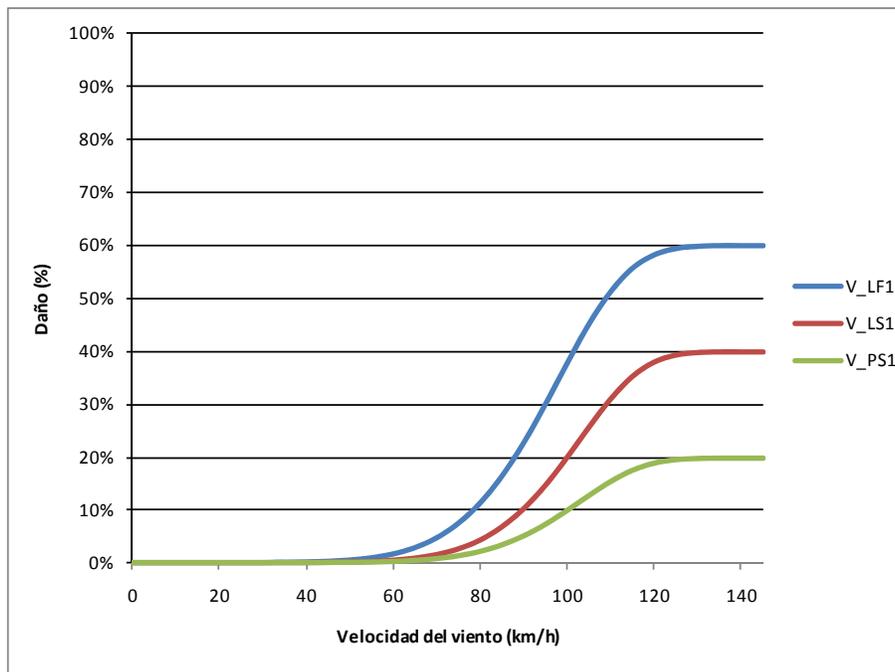


**Figura 6-7**  
Número de registros según la curva de vulnerabilidad para viento huracanado

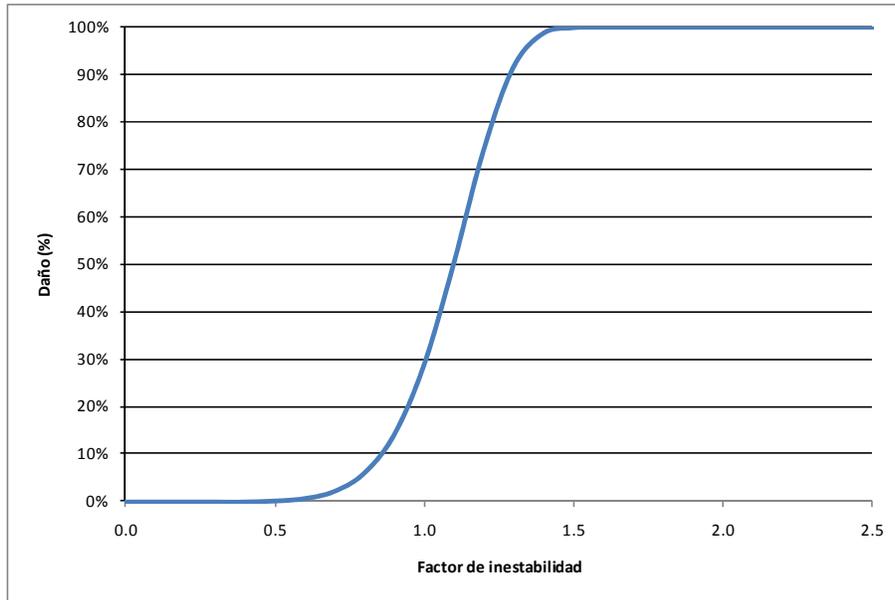
Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física presentadas en la Figura 6-8 a la Figura 6-10.



**Figura 6-8**  
*Curvas de vulnerabilidad sísmicas 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 corresponde a un conjunto de amenazas que ocurren de manera simultánea.

*Tabla 7-1  
Temporalidades empleadas en el cálculo*

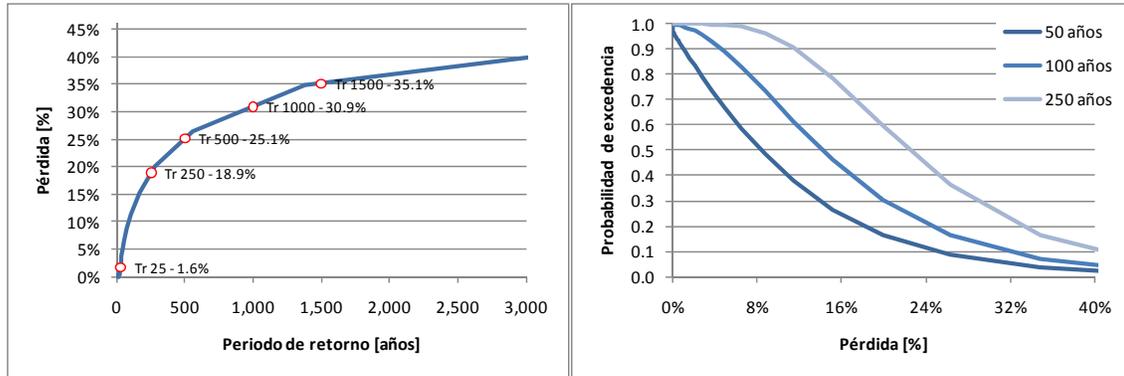
AMENAZA	TEMPORALIDAD	
	1	2
Sismo		
Huracán - Viento		

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

#### 7.1.1 Resultados para sismo

*Tabla 7-2  
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	120.23
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	0.44
	‰	3.64‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 <sup>6</sup>	%
25	1.98	1.65%
250	22.68	18.86%
500	30.24	25.15%
1,000	37.14	30.89%
1,500	42.24	35.13%

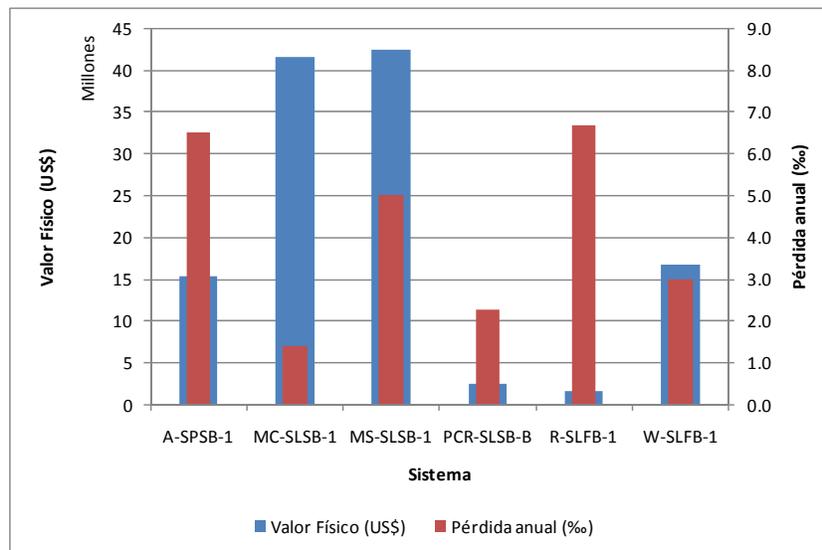


**Figura 7-1**  
**Resultados análisis**

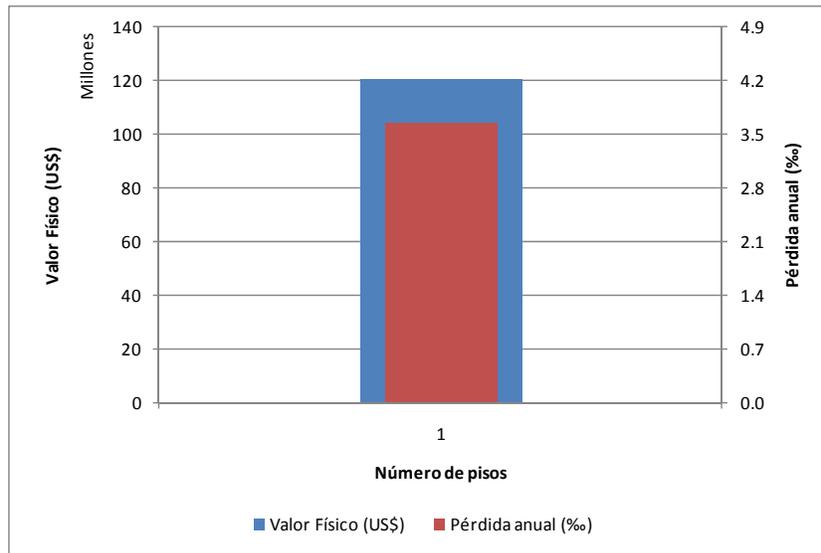
(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

**Tabla 7-3**  
**Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)**

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[‰]
A-SPSB-1	15,371,002	12.8%	100,280	6.52‰
MC-SLSB-1	41,581,273	34.6%	58,317	1.40‰
MS-SLSB-1	42,472,794	35.3%	212,638	5.01‰
PCR-SLSB-B	2,511,020	2.1%	5,715	2.28‰
R-SLFB-1	1,581,210	1.3%	10,593	6.70‰
W-SLFB-1	16,712,534	13.9%	50,086	3.00‰
<b>Totales</b>	<b>120,229,833</b>	<b>100%</b>	<b>437,630</b>	<b>3.64‰</b>

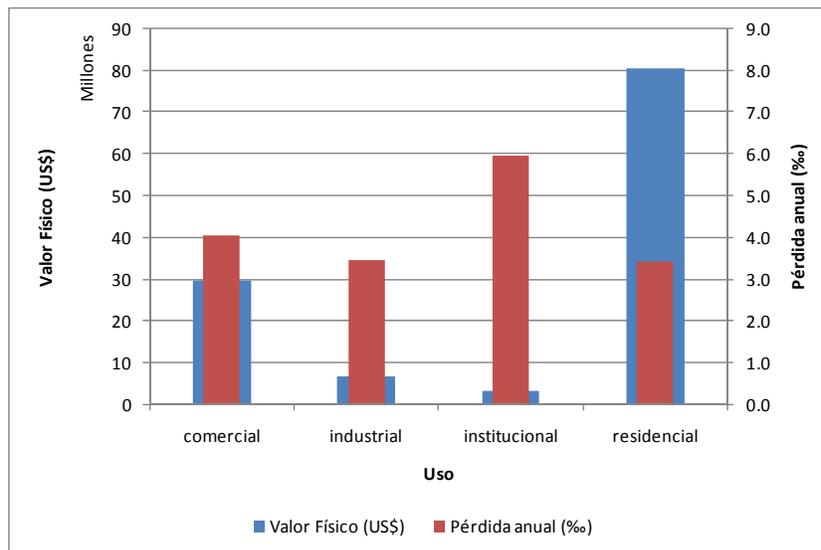


**Figura 7-2**  
**Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural**



**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*

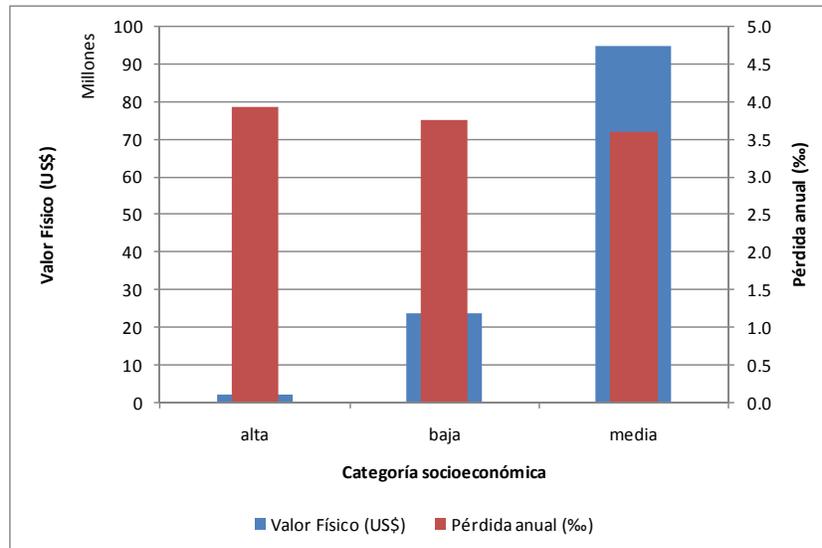


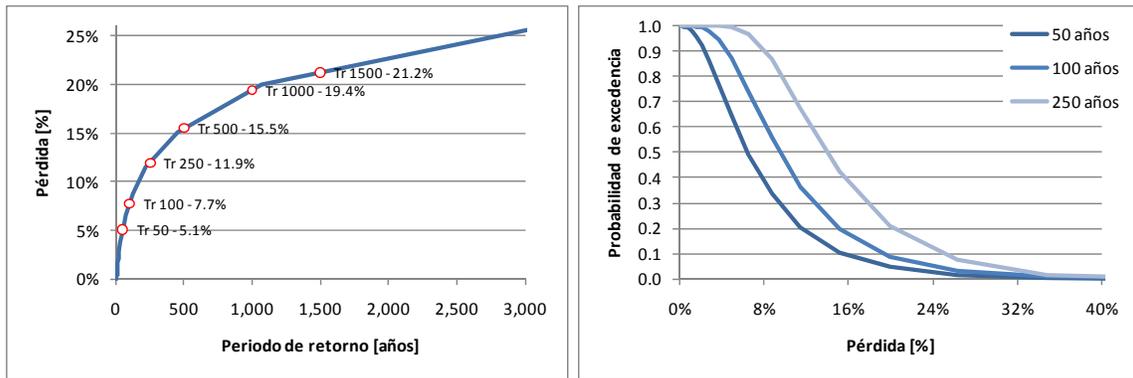
Figura 7-5

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

### 7.1.2 Resultados para huracán (viento huracanado)

Tabla 7-4  
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	120.23
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	0.49
	‰	4.05‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
	años	US\$ x10 <sup>6</sup>
50	6.13	5.10%
100	9.31	7.75%
250	14.34	11.93%
500	18.66	15.52%
1,000	23.32	19.40%
1,500	25.50	21.21%

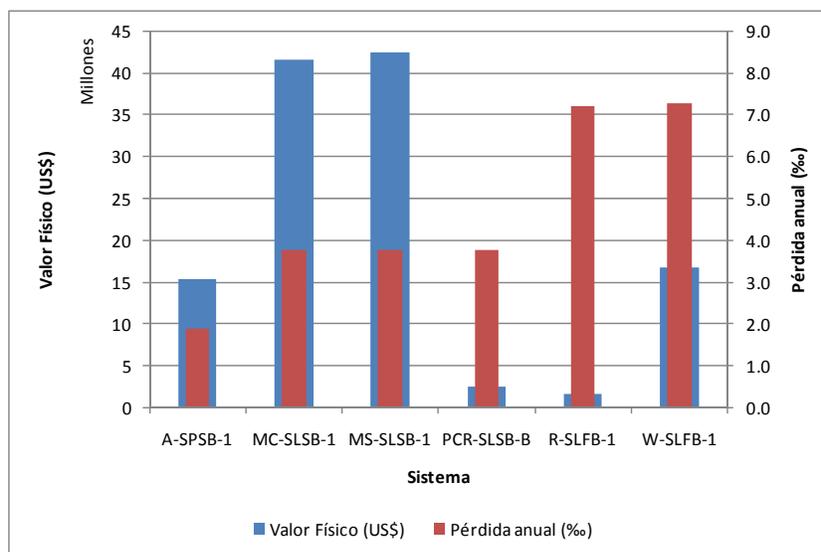


**Figura 7-6**  
**Resultados análisis**

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

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

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[US\$]	[%]	[US\$]	[‰]
A-SPSB-1	15,371,002	12.8%	28,760	1.87‰
MC-SLSB-1	41,581,273	34.6%	156,175	3.76‰
MS-SLSB-1	42,472,794	35.3%	159,369	3.75‰
PCR-SLSB-B	2,511,020	2.1%	9,423	3.75‰
R-SLFB-1	1,581,210	1.3%	11,386	7.20‰
W-SLFB-1	16,712,534	13.9%	121,742	7.28‰
<b>Totales</b>	<b>120,229,833</b>	<b>100%</b>	<b>486,855</b>	<b>4.05‰</b>



**Figura 7-7**

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

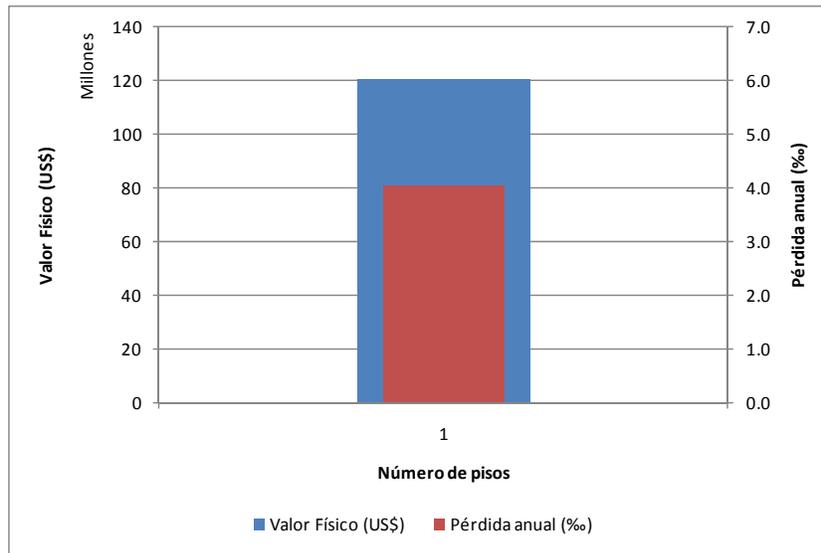


Figura 7-8

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

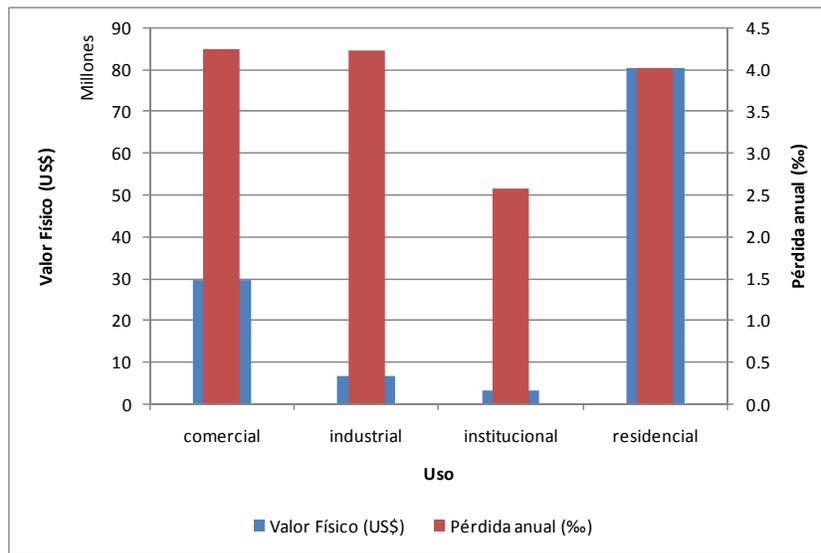


Figura 7-9

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

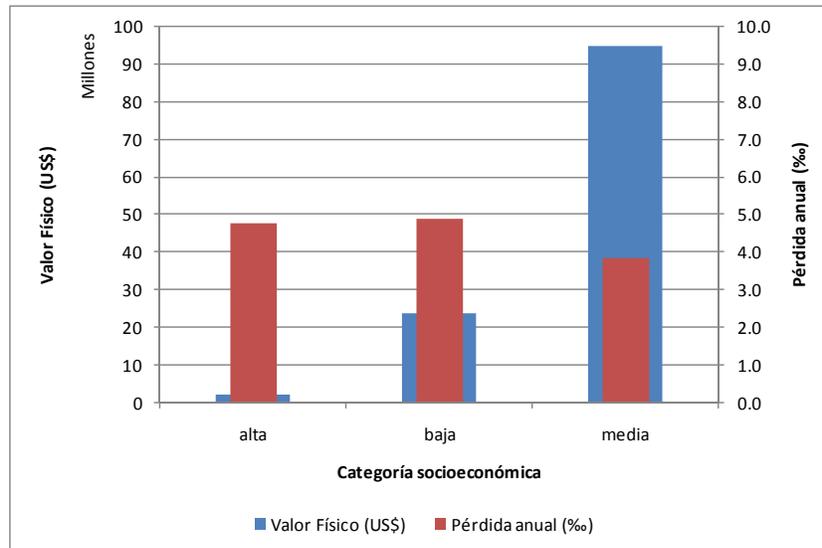


Figura 7-10

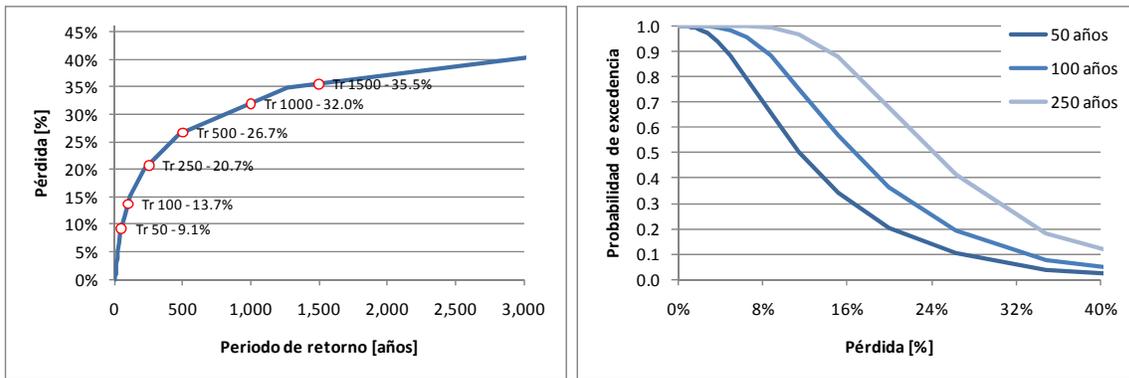
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socio-económica

### 7.1.3 Resultados agrupados

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

Tabla 7-6  
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 <sup>6</sup>	120.23
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 <sup>6</sup>	0.92
	‰	7.69‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
	años	US\$ x10 <sup>6</sup>
50	10.99	9.14%
100	16.46	13.69%
250	24.92	20.73%
500	32.06	26.67%
1,000	38.42	31.95%
1,500	42.69	35.51%

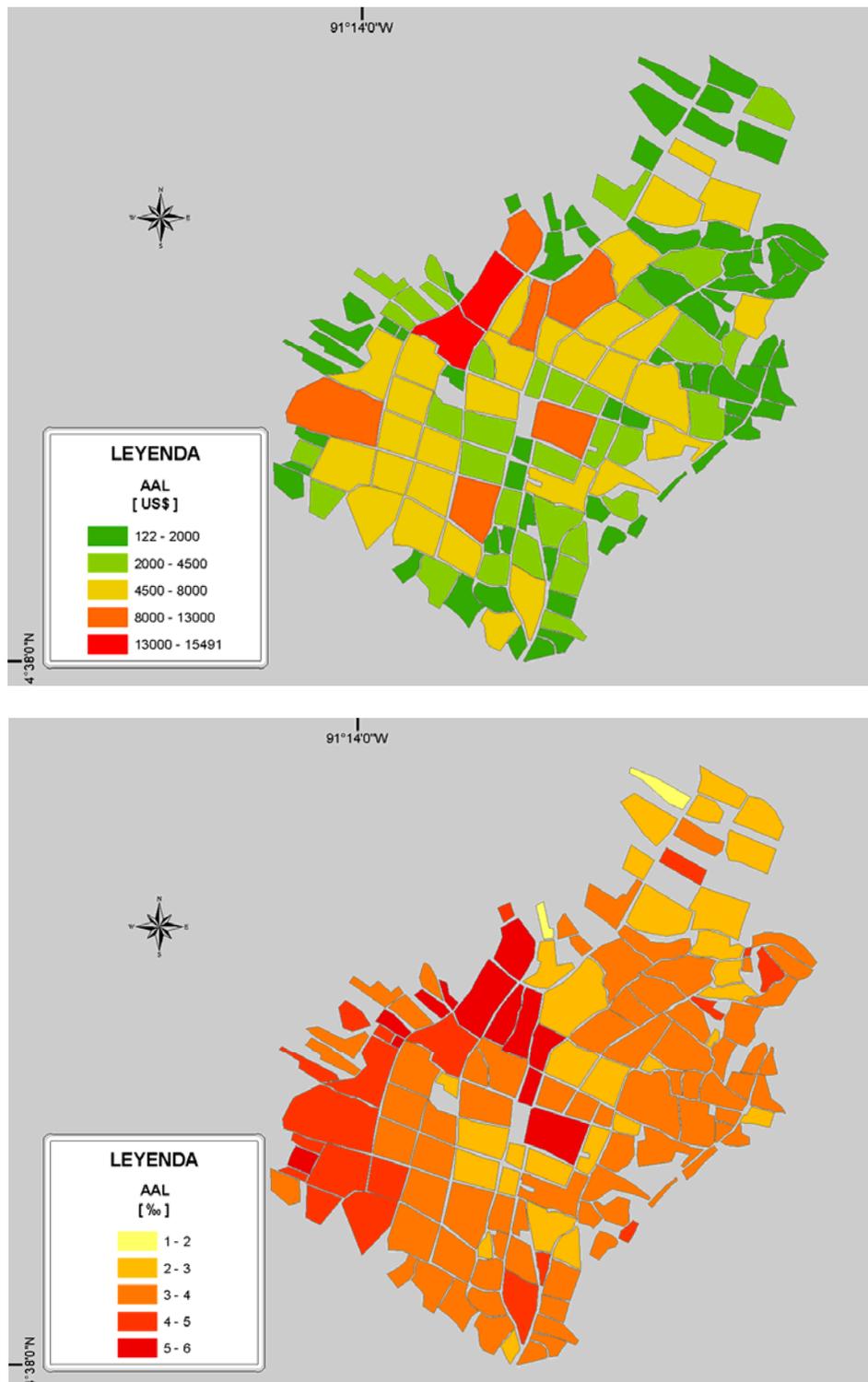


**Figura 7-11**  
**Resultados análisis**

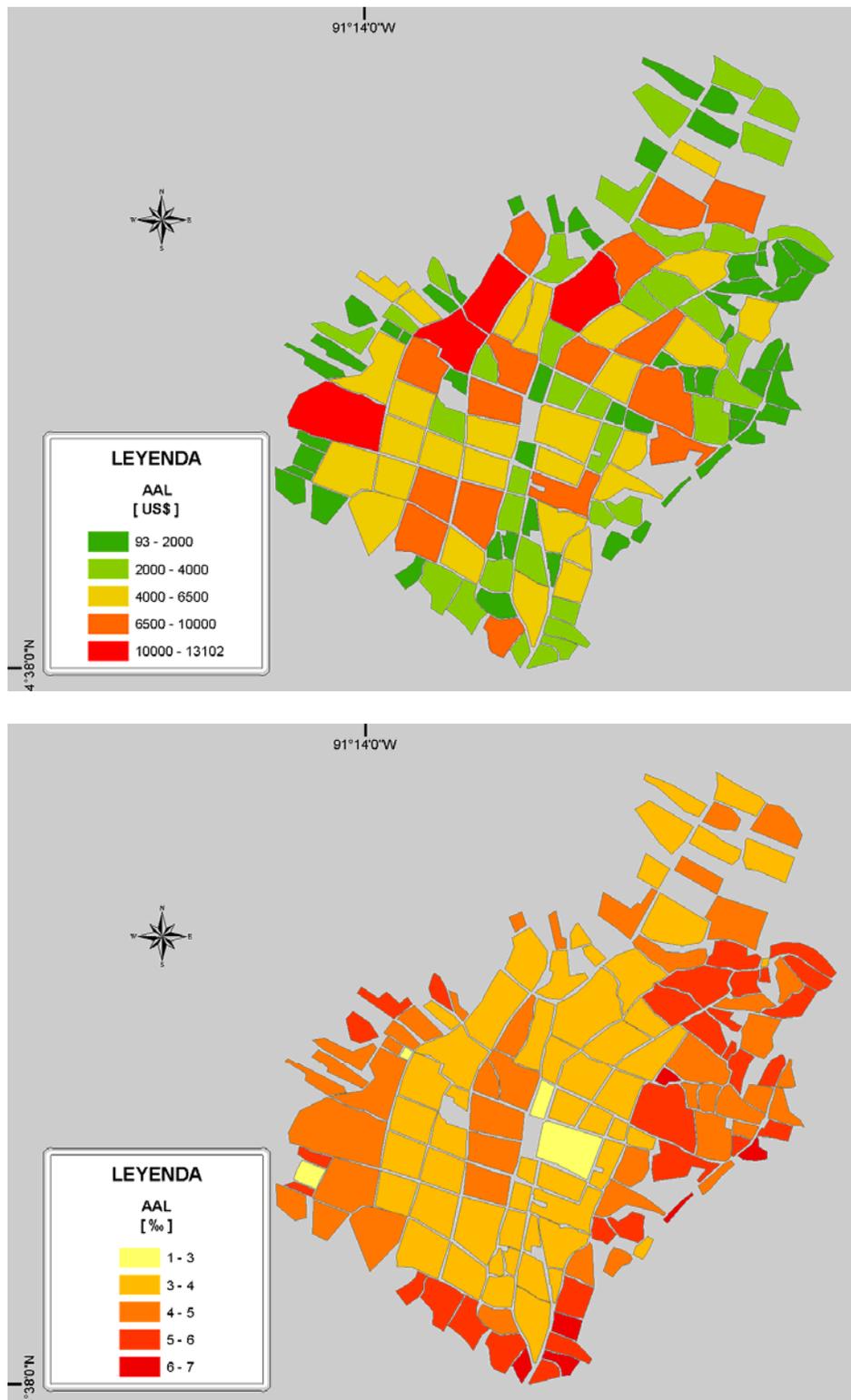
(Izquierda: Curva de PML, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes períodos de exposición)

#### 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 Santiago Atitlán se presentan a continuación.



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



**Figura 7-13**  
***Pérdida anual esperada por manzana para huracán (viento)***  
*(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\$	\$120,229,833
Pérdida Económica	US\$	\$0.96
	%	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 población de Santiago Atitlán – Guatemala debe verse como una plataforma inicial que permite la cuantificación y calificación del riesgo en la población 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.

Las temporalidades de sismo y de huracán son las que controlan el riesgo en la población de Santiago de Atitlán. De acuerdo con la modelación realizada, la pérdida anual esperada por huracán es de US\$ 490,000 (que equivale a 4.05% del valor expuesto), mientras que para terremoto la pérdida anual esperada es de US\$ 440,000 (que equivale a 3.64% del valor expuesto).

El valor de pérdida máxima probable para huracán con un periodo de retorno de 500 años es de US\$ 18,660,000 (15.52% del valor asegurable), mientras que este mismo valor para sismo es de US\$ 30,240,000 (25.15% del valor asegurable). Esto corresponde al 0.028% del PIB de Guatemala para huracán y 0.045% para sismo.

La prima pura de riesgo global calculada para la ciudad se considera alta (7.69%), presentando un gran aporte en pérdida por efecto de los vientos huracanados (prima pura de 4.05%), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones.

La prima pura por terremoto tiene un valor similar a la calculada para vientos huracanados (3.64%). Por tal razón, 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 30.89 % 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 población 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 ciudad. 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 de mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.
- (e) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones deben realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 9 Referencias

---

- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T3.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.3. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN - América Latina. Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.2. <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. Revisión de eventos históricos importantes. Informe ERN-CAPRA-T1.1B-GUATEMALA. <http://www.ecapra.org>. 2010.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN - América Latina. Revisión de estudios de amenaza existentes. Informe ERN-CAPRA-T1.1A GUATEMALA. <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>
- <http://www.santiagoatitlan.com/indexes.html>
- <http://www.santiagoatitlan.com/Today/hoy.html>
- <http://www.inforpressca.com/santiagoatitlan/index.php>
- <http://muniatitlan.gob.gt/medioambienteyriesgo/medioambienteyriesgo2.html>
- <http://atlas.snet.gob.sv/atlas/files/sismos/tablas/invSismosGuatemII.html>
- <http://muniatitlan.gob.gt/proyectos/pdfproyectos/plandereconstrucion.pdf>
- <http://www.emdat.be/>
- Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. <http://www.ine.gob.gt/>