

CAPRA

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

EL SALVADOR

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

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





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

Consortio conformado por:

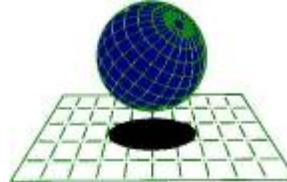
Colombia

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



España

Centro Internacional de Métodos Numéricos
en Ingeniería - CIMNE
Campus Nord UPC
Tel. 34-93-401-64-96
Fax 34-93-401-10-48
Barcelona



C I M N E

México

Vito Alessio Robles No. 179
Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac
C.P.01050 Delegación Álvaro Obregón
Tel. 55-5-616-8161
Fax 55-5-616-8162
México, D.F.



[ERNA Ingenieros Consultores, S. C.](#)

ERNA Evaluación de Riesgos Naturales - América Latina
www.erna-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	Amenaza volcánica.....	5-1
5.1	Estimación determinista	5-1
6	Inventario de elementos expuestos.....	6-1
6.1	Levantamiento de la información básica	6-1
6.2	Información de exposición de predios	6-2
6.3	Información de vulnerabilidad	6-5
7	Resultados de la evaluación	7-1
7.1	Evaluación probabilista del riesgo de desastre	7-1
7.1.1	Resultados para sismo.....	7-1
7.1.2	Resultados para viento huracanado.....	7-5
7.1.3	Resultados agrupados.....	7-8
7.1.4	Mapas de riesgo	7-9
7.2	Análisis determinista del riesgo volcánico.....	7-10
8	Conclusiones y Recomendaciones	8-1
9	Referencias.....	9-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE IZALCO.....	1-1
FIGURA 3-1 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S ²] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	3-3
FIGURA 3-2 CURVA DE AMENAZA SÍSMICA EN IZALCO PARA LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO....	3-4
FIGURA 4-1 MAPAS DE VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	4-3
FIGURA 4-2 CURVA DE AMENAZA POR HURACÁN EN IZALCO PARA VELOCIDAD DEL VIENTO EN KM/H...	4-3
FIGURA 5-1 VOLCÁN IZALCO	5-1
FIGURA 5-2 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS DE LAVA EN EL VOLCÁN IZALCO. FRECUENCIA DE PASO DEL FLUJO (50000 SIMULACIONES)	5-3
FIGURA 5-3 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS EN EL VOLCÁN IZALCO. PRESIÓN DINÁMICA DEL FLUJO [PA].....	5-3
FIGURA 5-4 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS EN EL VOLCÁN IZALCO. ESPESOR DEPOSITADO DE CENIZA [M]	5-4
FIGURA 6-1 MAPA DE MANZANAS HOMOGÉNEAS DEL MUNICIPIO DE IZALCO	6-2
FIGURA 6-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-3
FIGURA 6-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES	6-4
FIGURA 6-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	6-4
FIGURA 6-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS	6-5
FIGURA 6-6 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR SISMO EMPLEADAS	6-6
FIGURA 6-7 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO HURACANADO EMPLEADAS.....	6-6
FIGURA 6-8 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR CAÍDA DE CENIZAS EMPLEADAS	6-7
FIGURA 7-1 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-2
FIGURA 7-2 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL.....	7-3
FIGURA 7-3 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	7-3
FIGURA 7-4 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	7-4
FIGURA 7-5 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA 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.....	7-6
FIGURA 7-8 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR NÚMERO DE PISOS	7-7
FIGURA 7-9 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	7-7
FIGURA 7-10 VALOR FÍSICO Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR CATEGORÍA SOCIO-ECONÓMICA	7-8
FIGURA 7-11 RESULTADOS ANÁLISIS.....	7-9
FIGURA 7-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR MANZANA PARA SISMO	7-9
FIGURA 7-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR MANZANA PARA VIENTO HURACANADO.....	7-10
FIGURA 7-14 PÉRDIDA ESPERADA POR SISTEMA ESTRUCTURAL	7-11
FIGURA 7-15 PÉRDIDA ESPERADA POR MANZANA PARA EL ESCENARIO SELECCIONADO	7-12

Índice de tablas

TABLA 3-1 PRINCIPALES SISMOS QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO SALVADOREÑO	3-2
TABLA 4-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO SALVADOREÑO	4-1
TABLA 5-1 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN IZALCO.....	5-2
TABLA 6-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN DE EDIFICACIONES.....	6-3
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
.....	7-2
TABLA 7-4 RESULTADOS GENERALES	7-5
TABLA 7-5 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) ..	7-6
.....	7-6
TABLA 7-6 RESULTADOS GENERALES	7-8
TABLA 7-7 VALOR EXPUESTO Y PÉRDIDA ECONÓMICA	7-10
TABLA 7-8 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ESPERADA).....	7-11

1 Introducción

Izalco, municipio del departamento de Sonsonate en El Salvador, es una población con aproximadamente 40,830 habitantes, localizada en la zona occidental del país, a 55 kilómetros de San Salvador y muy cerca al volcán Izalco. La ciudad tiene una extensión en área de 2.4 km², con cerca de 2,490 edificaciones, distribuidas en uso residencial, comercial e institucional principalmente, y que en su mayoría corresponden a viviendas de un piso en materiales de tierra y en mampostería simple.



*Figura 1-1
Localización geográfica de Izalco*

Por sus características climáticas, Izalco es una región con una actividad económica altamente relacionada con la agricultura, siendo el cacao uno de los principales productos de producción. Por su cercanía al volcán Izalco, es una zona que alberga numerosas actividades relacionadas con la exploración, investigación y turismo.

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

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

La ciudad de Izalco se encuentra ubicada en las faldas del volcán del mismo nombre, y dentro de la zona de amenaza por erupciones volcánicas. Este volcán permaneció en

constante actividad desde su nacimiento en 1770 hasta 1966, desde entonces se considera en reposo.

La amenaza sísmica en Izalco es considerablemente alta, en comparación a otros municipios del país, debido a su ubicación relativamente cercana a la Costa Pacífica (25 Km aprox.) en donde se concentra la mayor actividad sísmica de El Salvador. La ocurrencia de terremotos destructivos es altamente probable en toda la costa pacífica de Centroamérica.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de eventos extremos, se deben identificar condiciones de la población relativas a la exposición del capital físico y humano y su distribución geográfica, la vulnerabilidad física y de la población y del potencial de daños y pérdidas que podrían presentarse. A través de un procedimiento de este tipo es posible contar con información útil para la toma de decisiones por parte de los funcionarios encargados de la planeación y desarrollo al poderse estimar la magnitud del impacto económico y social para la ciudad y el país. Así mismo, se pueden establecer parámetros para la formulación de planes dentro de la gestión ex ante y ex post del riesgo de desastres.

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial del municipio de Izalco 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 y deterministas.

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

2 Metodología de evaluación del riesgo

Para la evaluación del riesgo por sismo, huracán y volcán de Izalco – El Salvador se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T3.2 (Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos, ERN 2010), y en el sitio www.ecapra.org.

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

- (a) Evaluación de la amenaza sísmica: ésta se evalúa mediante un análisis probabilístico (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 huracán de 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 volcánica: ésta se evalúa mediante un análisis determinista sobre un escenario probable y característico del volcán Izalco. Este análisis permite obtener la pérdida esperada para cada bien y el portafolio en general dada la eventual ocurrencia del evento seleccionado en el escenario. En este caso se considera únicamente el efecto de la caída de cenizas volcánicas en el análisis de riesgo.
- (d) Inventario de bienes expuestos: dado que no fue posible contar con la información catastral detallada de la población, se recurrió al levantamiento del inventario de activos expuestos basado en observaciones de imágenes de satélite e interpretación de las mismas. Información oficial e índices publicados permitieron establecer los valores de reposición aproximados y los índices de ocupación.
- (e) Funciones de vulnerabilidad: los diferentes tipos constructivos identificados en la zona se caracterizan mediante una función de vulnerabilidad que da cuenta de la capacidad de la edificación para resistir la acción de los diferentes eventos considerados. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de cada tipo estructural particular, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio de activos expuestos. El análisis utiliza las funciones de vulnerabilidad determinadas siguiendo las metodologías y herramientas propuestas en el sistema ERN-Vulnerabilidad (ERN 2010).
- (f) Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de las amenazas consideradas sobre el inventario de activos expuestos con las

funciones de vulnerabilidad relacionadas. Para el efecto se emplea la herramienta de evaluación de riesgo CAPRA-GIS (ERN 2010). Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas para cada uno de los escenarios planteados y para el análisis probabilista integral. La valoración del riesgo se presenta en términos de estimaciones de:

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

3 Amenaza sísmica

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, 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.

El territorio salvadoreño se encuentra ubicado en su totalidad sobre la placa Caribe, la cual presenta un movimiento relativo convergente con relación a la placa Cocos, que la subduce. La interacción dinámica de estas placas constituye el principal rasgo tectónico de la región centroamericana (zona de subducción o Fosa Mesoamericana), y es la principal fuente de las deformaciones asociadas a la orogénesis, vulcanismo y actividad sísmica en El Salvador. La zona de subducción del Pacífico es capaz de generar eventos sísmicos de magnitud importante (8+), a profundidades que son variables a medida que se adentra en el continente, siendo más probable la generación de un sismo relativamente superficial en cercanías a la costa Pacífica. Así mismo la actividad tectónica ha generado una serie de sistemas de falla, principalmente orientados en sentido NW-SE, que delimitan el graben o depresión centroamericana, en donde se desarrollan los procesos vulcanológicos de El Salvador, y donde se han detonado varios de los sismos más destructivos ocurridos en el país.

El objetivo de la simulación que aquí se presenta es dimensionar un escenario de consecuencias que podrían ser generadas por un terremoto de magnitud importante en el municipio de Izalco, 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

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

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

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

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

3.2 Evaluación de la amenaza

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

Con base en dicha información y empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1.3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010) y en el sitio web www.ecapra.org se construyó un catálogo de eventos estocásticos que representan en conjunto la amenaza sísmica de la región.

Se determinaron en total 14,796 escenarios siguiendo 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.

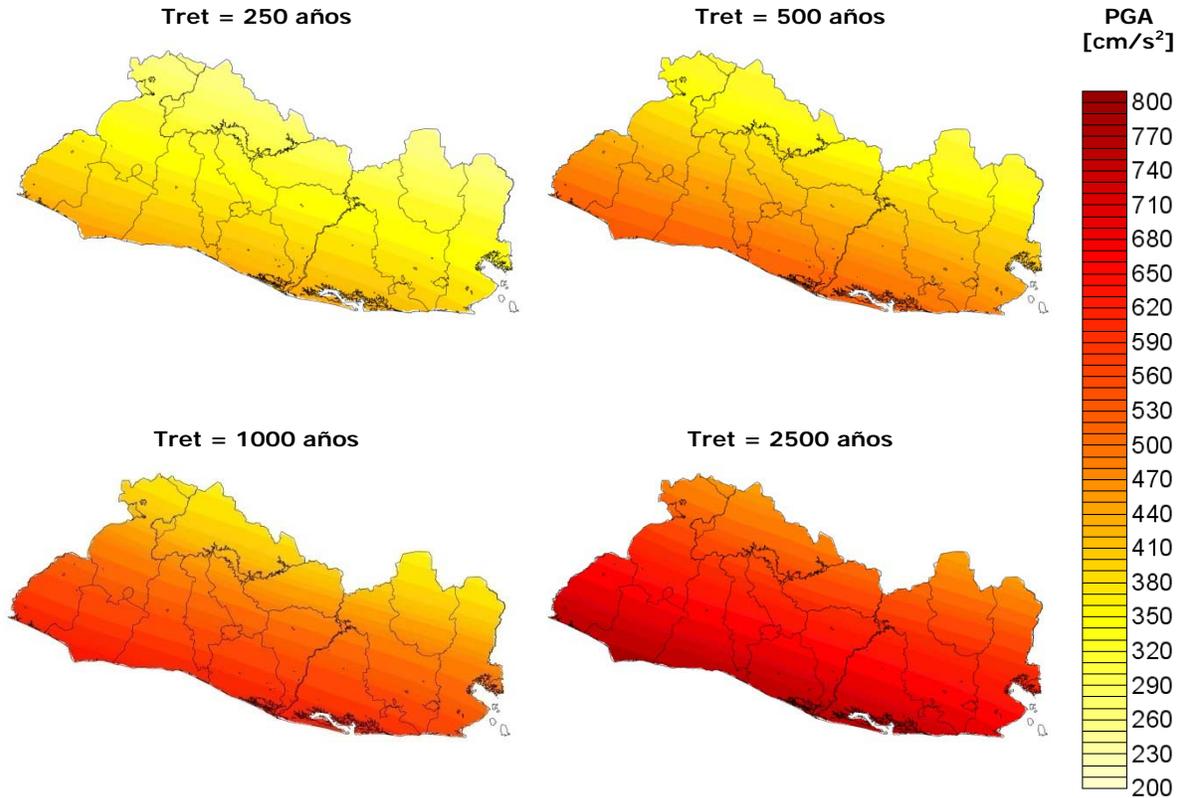


Figura 3-1
Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s^2] para diferentes períodos de retorno

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

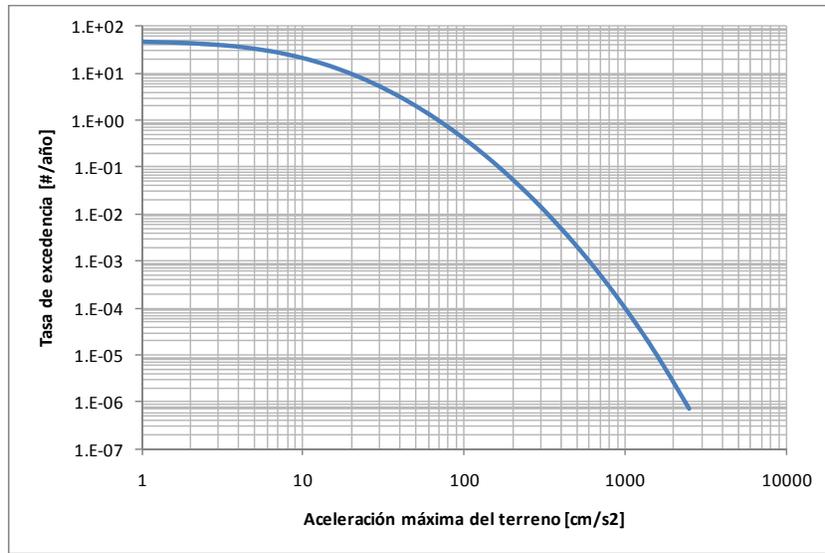


Figura 3-2
Curva de amenaza sísmica en Izalco para la aceleración máxima del terreno

4 Amenaza por huracán

La modelación de la amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T2-3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales ERN 2010). 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 salvadoreño, provocando a su paso 258 muertos y más de 100,000 damnificados. Los daños fueron cuantificados en más de \$750 millones de US dólares. Posteriormente en 2005 el huracán Stan afectó gran parte de América Central provocando a su paso 1500 muertos, 3000 desaparecidos y aproximadamente 450,000 damnificados. El monto total de pérdidas superó los \$985 millones de US\$. En la Tabla 4-1 se presentan los principales huracanes que han afectado el territorio salvadoreño

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

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

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, ERN 2010) y sitio web www.ecapra.org.

Para la modelación de la amenaza se empleó información topográfica con resolución de 30m obtenida del SRTM de la NASA. Empleando la metodología que se explica en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2010) y en el sitio web www.ecapra.org, se construyó un catálogo de huracanes estocásticos e históricos, que representan de manera integral la amenaza del país.

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 6 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.

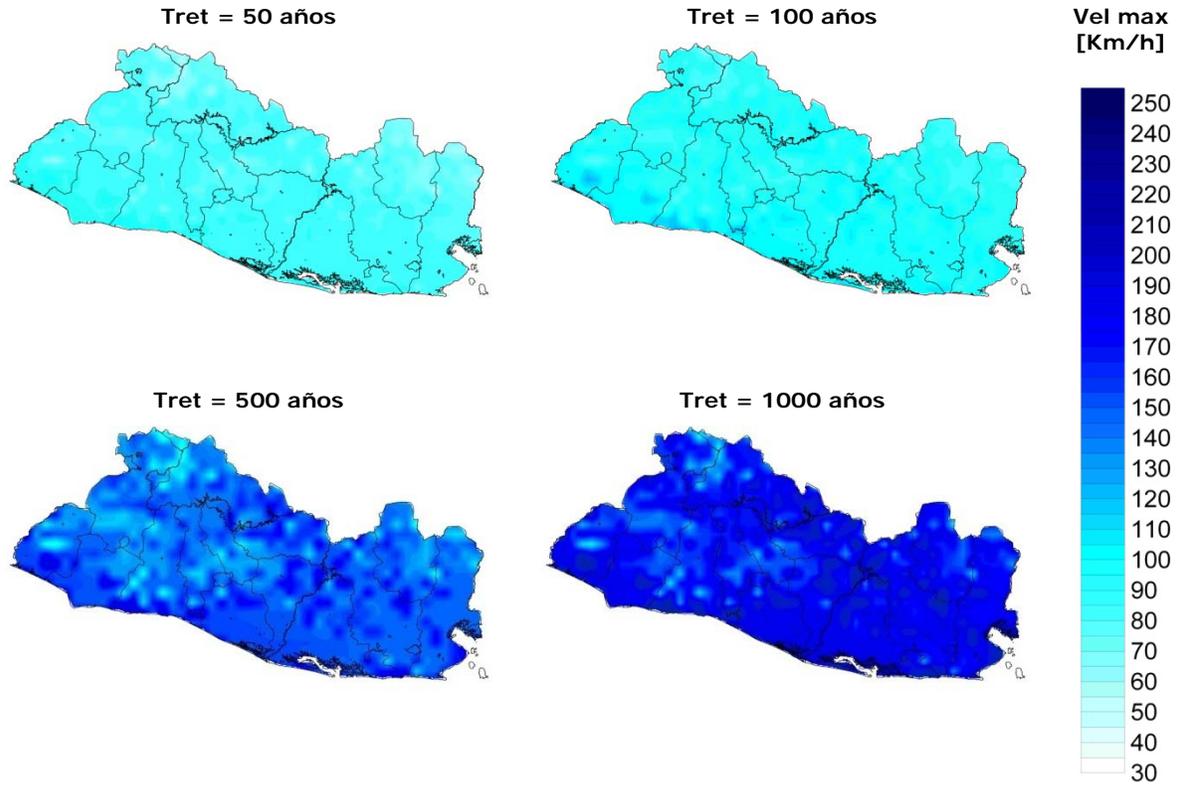


Figura 4-1
 Mapas de velocidad máxima del viento [Km/h] para diferentes períodos de retorno

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

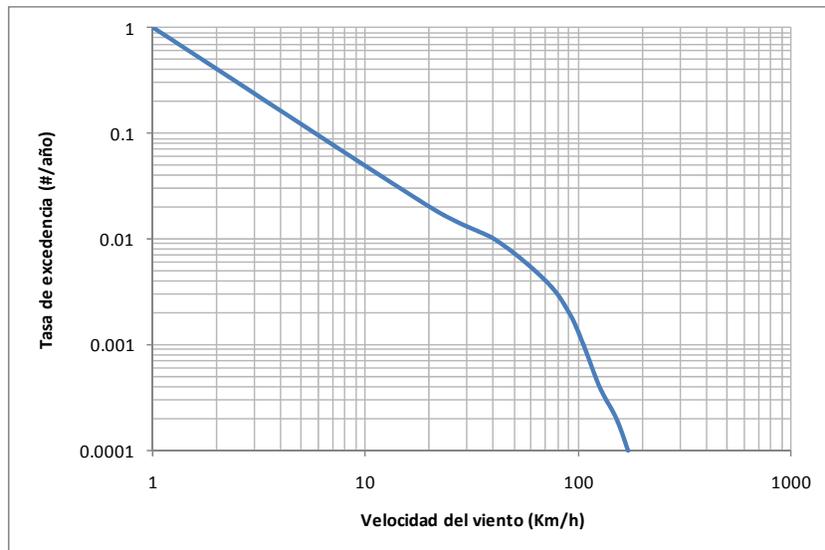


Figura 4-2
 Curva de amenaza por huracán en Izcalco para velocidad del viento en Km/h

5 Amenaza volcánica

La amenaza volcánica para la ciudad de Izalco se determinó mediante un modelo de amenaza determinista en el volcán Izalco, localizado a 8 Km al noreste de la ciudad. El modelo de amenaza volcánica del Izalco 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, ERN 2010). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

El Volcán de Izalco es el más joven de El Salvador. Emergió en el año 1770, en el flanco Sur del Volcán Santa Ana. Las erupciones estrombolianas le han hecho merecedor del título "Faro del Pacífico". Algunos científicos lo consideran un cono estratovolcánico asimétrico parasitario del volcán Santa Ana; para otros debe tratarse como un volcán independiente. Alcanza una altura de 650 metros sobre la llanura vecinal (llegando hasta 1,952 msnm) y posee un cráter de 250 m de diámetro (ver Figura 5-1)



Figura 5-1
Volcán Izalco

(Fuente: <http://www.tenchisto.com/photos/-Volcanes/izalcoaerea7at.jpg>)

5.1 Estimación determinista

La amenaza volcánica se evaluó para un evento determinista considerado como de características catastróficas, correspondiente a una erupción con índice de explosividad (VEI) de 4. Se considera que este evento generaría un escenario representativo de la peor situación que podría presentarse en la ciudad, por lo cual se considera que es adecuado como insumo para el desarrollo de un plan de contingencia, para formular procedimientos

de emergencia por entidades y con fines de proponer programas de mitigación y reducción de la vulnerabilidad.

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2010). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Izalco se presentan en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1
Parámetros del modelo del Volcán Izalco

Modelo de ERN-Volcán				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-83.90°
			Norte	9.97°
Flujos de lava				
<i>Distancia máxima:</i>	20000 m	<i>Correc. altura:</i>	2 m	
Flujos piroclásticos				
<i>Altura vértice cono:</i>	0.8 Km	<i>Ángulo cono:</i>	15°	
Caída de cenizas				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	15 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	0.1 Km ³	Altura (Km)	Vel (m/s)	Dir (°)
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	2	235
<i>N° divisiones altura:</i>	35	4	2	235
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-1.5	8	2	235
<i>σ Tamaño partículas:</i>	3	10	2	235
<i>Paso discretización X:</i>	10	15	2	235
<i>Paso discretización Y:</i>	10			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m ² /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.

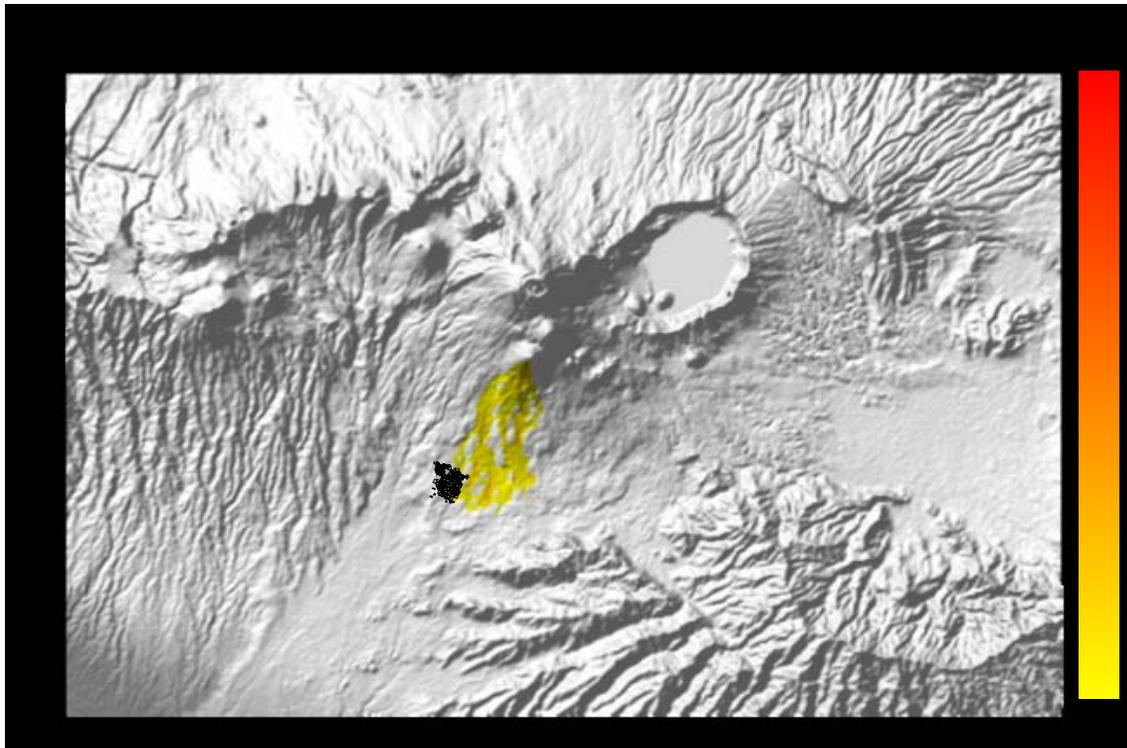


Figura 5-2

Mapa de amenaza determinista por flujos de lava en el volcán Izalco. Frecuencia de paso del flujo (50000 simulaciones)

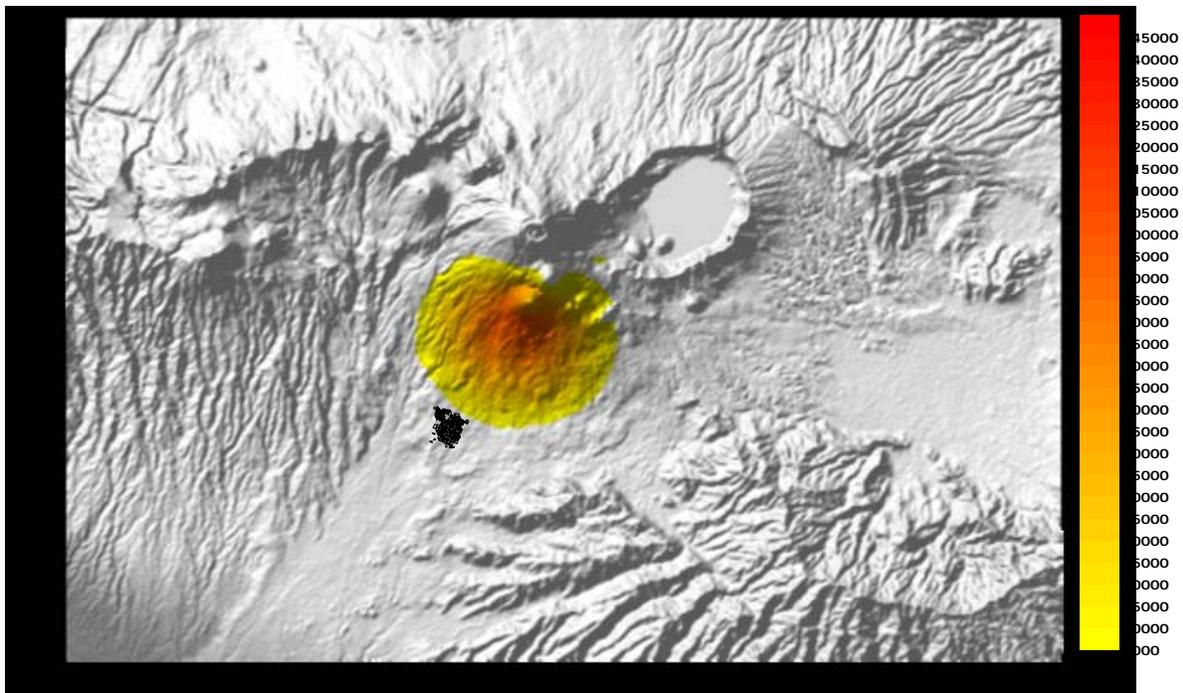


Figura 5-3

Mapa de amenaza determinista por flujos piroclásticos en el volcán Izalco. Presión dinámica del flujo [Pa]

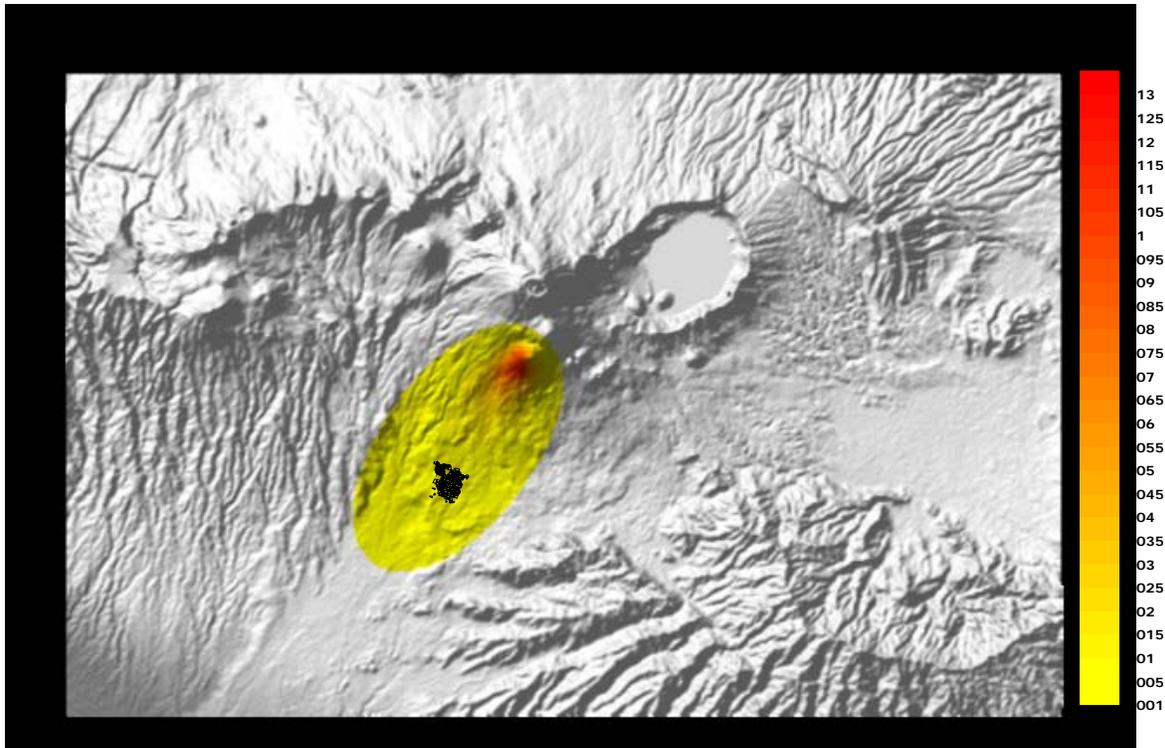


Figura 5-4
Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas en el volcán Izalco. Espesor depositado de ceniza [m]

6 Inventario de elementos expuestos

6.1 Levantamiento de la información básica

Para el municipio de Izalco 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 del municipio, digitalizadas utilizando la herramienta web de zonificación urbana, por manzanas homogéneas, de CAPRA (disponible en 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.

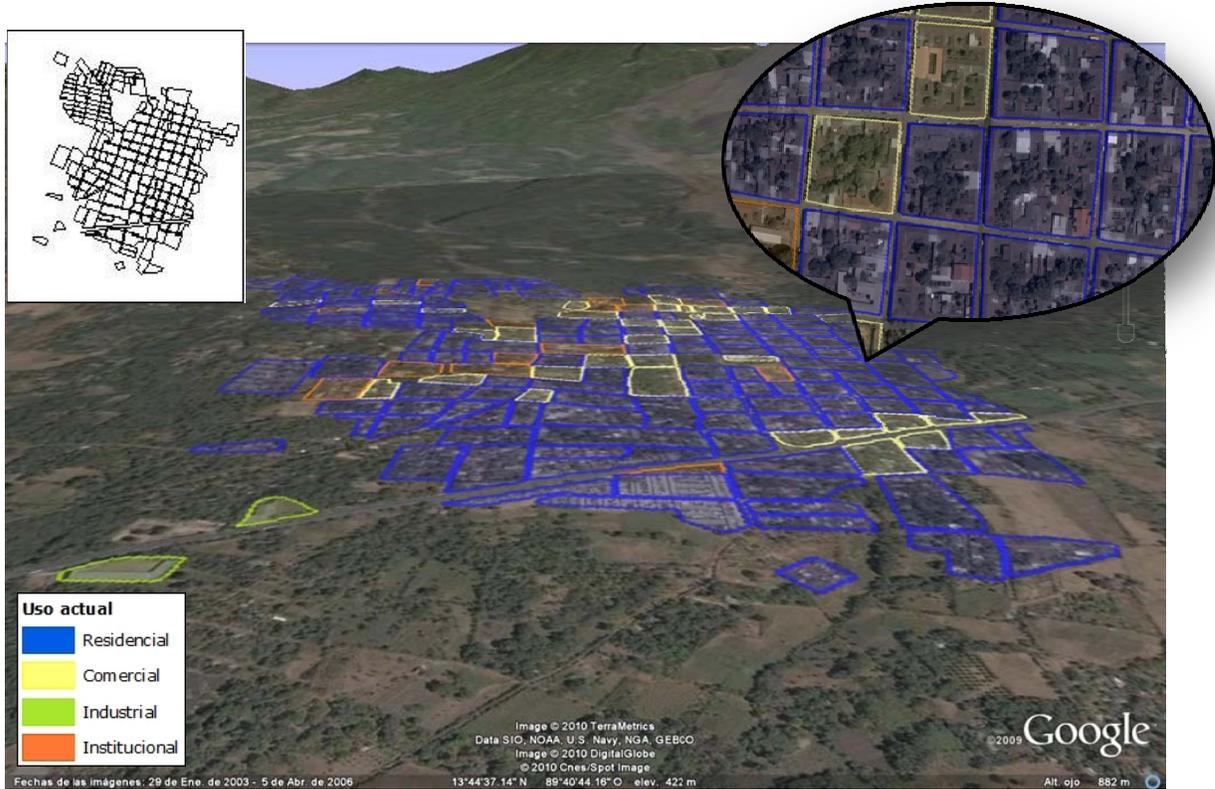


Figura 6-1

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

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.

6.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición del municipio de Izalco, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asigna mediante los métodos aproximados mencionados.

La Tabla 6-1 presenta algunos indicadores generales utilizados para generar la base de datos de exposición de edificaciones para esta población.

Tabla 6-1
Indicadores Generales de Exposición de Edificaciones

Indicador	Unidad	Valor
Población total estimada	Hab	40,835
Área total de terreno urbano	km ²	2.34
Densidad de población	Hab/km ²	17,450
No. total de Edificaciones		2,486
Área de construcción	m ²	744 x10 ³
Densidad construcción urbana	m ² /m ² terreno urbano	0.32
Valoración total de construcciones	US\$ millones	233
Valor promedio/m ² construido	US\$/m ²	310

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

Tabla 6-2
Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales

Sistema	Código Sistema	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
Bahareque	B-SPFB-1	31	2.98	492
	B-FPFB-2	20	2.06	288
Adobe	A-SPSB-1	804	73.23	13,217
	A-FPSB-2	327	32.17	5,340
Tapia	T-SPSB-1	886	81.69	14,633
	T-FPSB-2	332	32.99	5,476
Mampostería simple	MS-SLSB-1	55	4.96	892
	MS-RLSB-2	31	3.01	497
Total		2,486	233.09	40,835

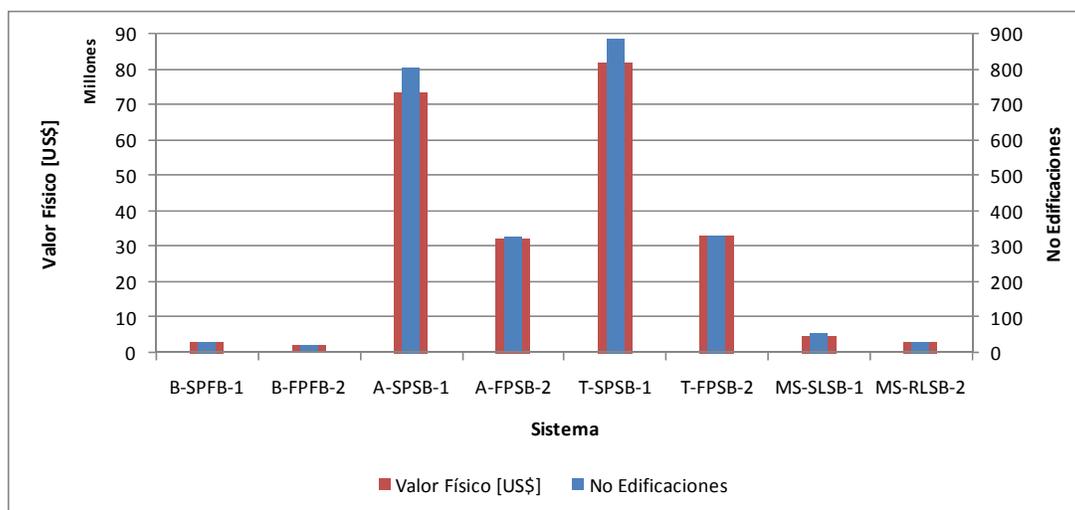


Figura 6-2
Distribución de valores expuestos y edificaciones por sistemas estructurales

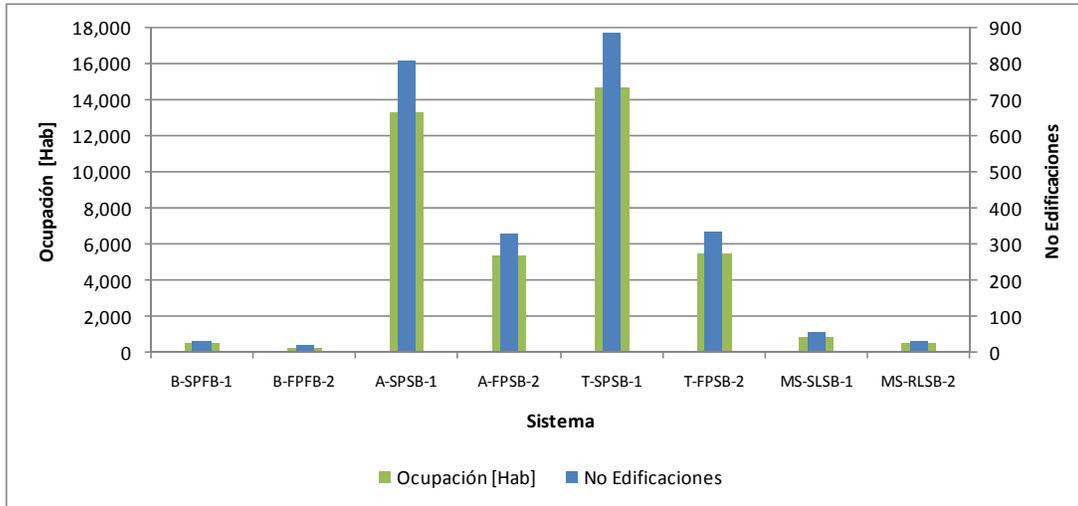


Figura 6-3
Distribución de ocupación y edificaciones por sistemas estructurales

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

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

No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [US\$ millones]	Ocupación [Hab]
1	1,776	162.86	29,234
2	710	70.23	11,601
Total	2,486	233.09	40,835

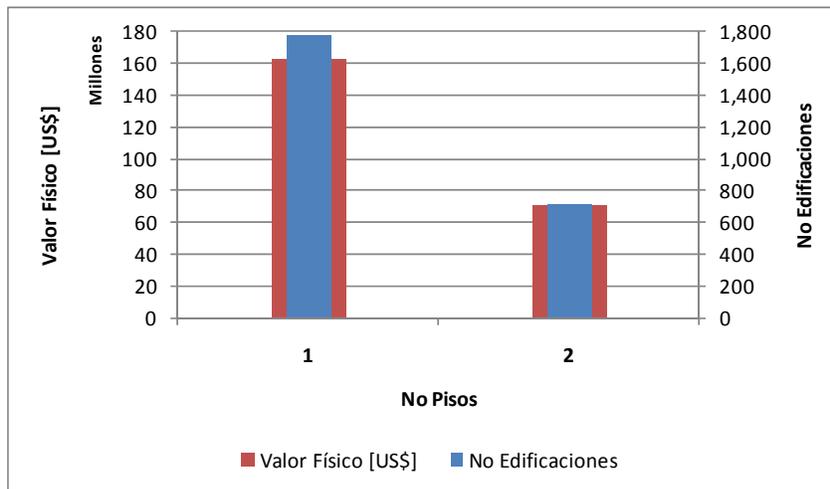


Figura 6-4
Distribución de valores expuestos y número de edificaciones por número de pisos

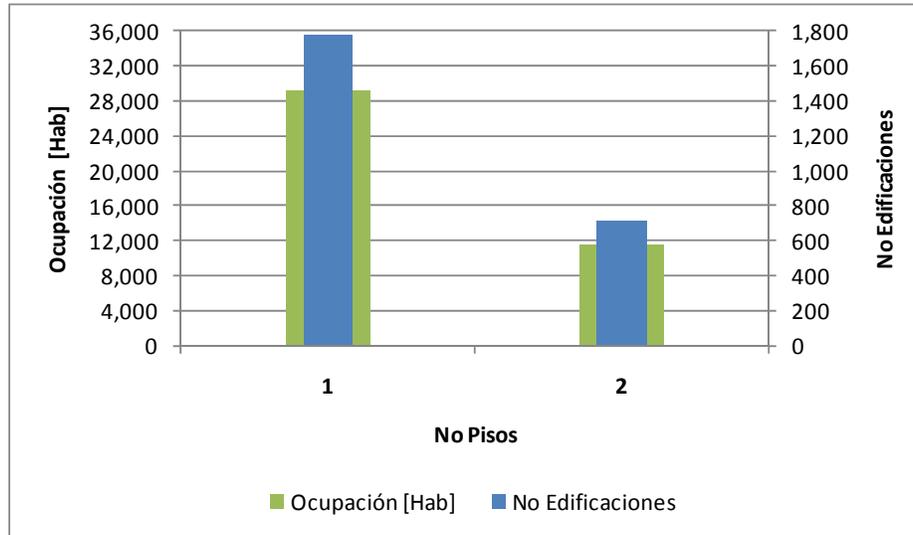


Figura 6-5

Distribución de ocupación y número de edificaciones por número de pisos

6.3 Información de vulnerabilidad

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

Tabla 6-4
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Material	Curva Sismo	Curva Viento	Curva Ceniza	Valor Físico [US\$]	Ocupación [Hab]
Adobe					
Adobe2	A-FPSB-2	V_PS2	L_180	32,167,183	5,340
Adobe1	A-SPSB-1	V_PS1	L_180	73,230,563	13,217
Bahareque					
Bahareque2	B-FPFB-2	V_PFB2	L_180	2,061,774	288
Bahareque1	B-SPFB-1	V_PFB1	L_180	2,978,742	492
Mampostería Simple					
MSimple2	MS-RLSB-2	V_LS2	L_50	3,013,269	497
MSimple1	MS-SLSB-1	V_LS1	L_50	4,960,922	892
Tapia					
Tapia2	T-FPSB-2	V_PS2	L_180	32,991,899	5,476
Tapia1	T-SPSB-1	V_PS1	L_180	81,687,417	14,633
Total				233,091,839	40,835

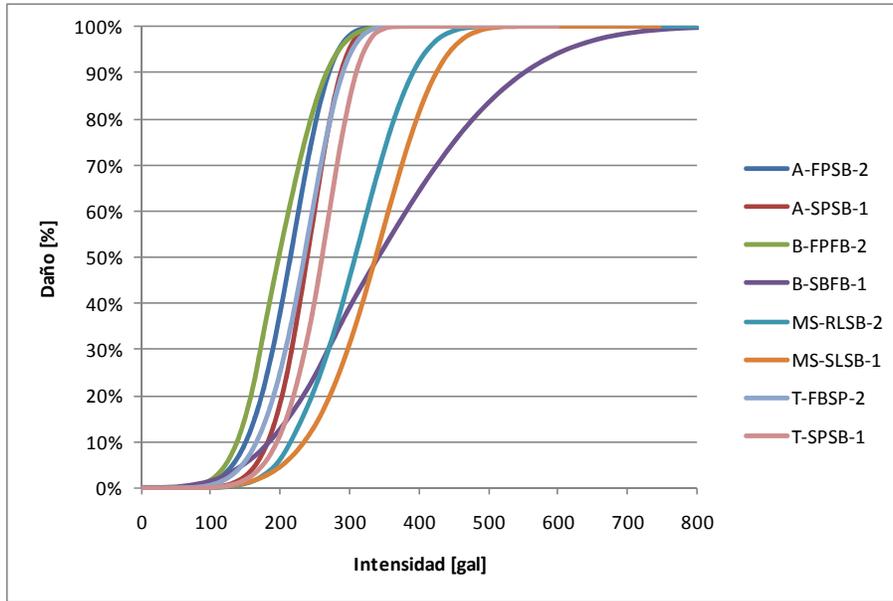


Figura 6-6
Curvas de vulnerabilidad por sismo empleadas

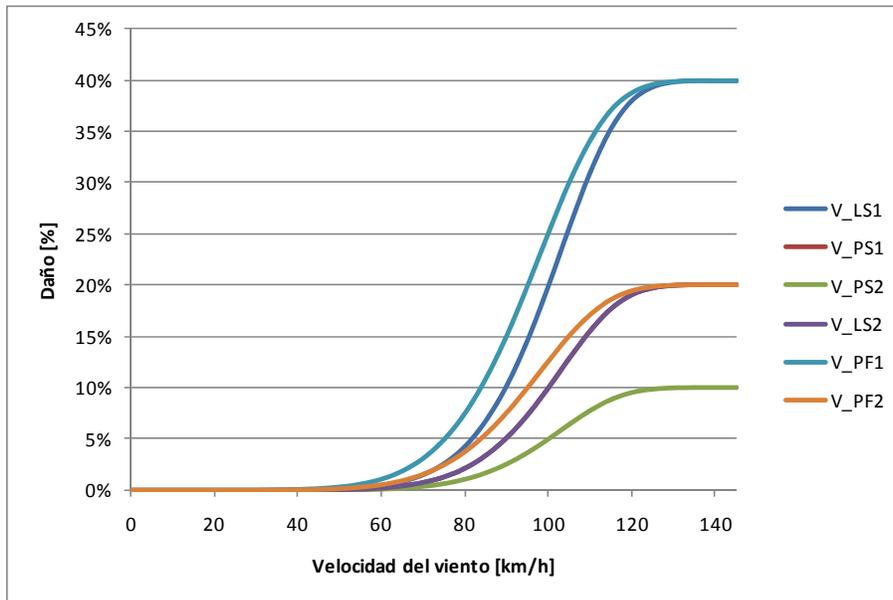


Figura 6-7
Curvas de vulnerabilidad por viento huracanado empleadas

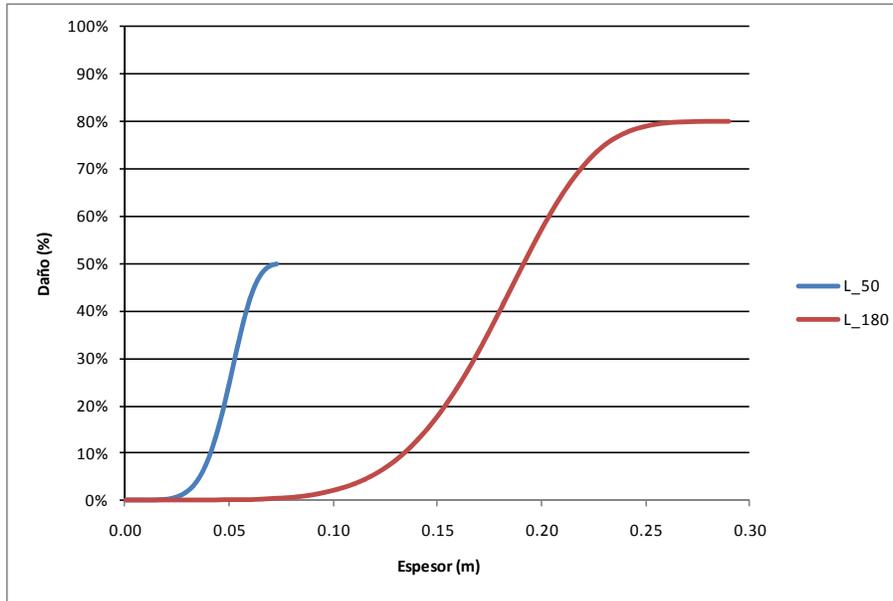


Figura 6-8
Curvas de vulnerabilidad por caída de cenizas empleadas

7 Resultados de la evaluación

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

7.1 Evaluación probabilista del riesgo de desastre

La evaluación probabilista del riesgo se realizó para las temporalidades presentadas en la Tabla 7-1. Cada temporalidad corresponde a un conjunto de amenazas que ocurren de manera simultánea.

*Tabla 7-1
Temporalidades empleadas en el cálculo*

AMENAZA	TEMPORALIDAD	
	1	2
Sismo		
Huracán - Viento		

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por sismo y huracán-viento para Izalco. En el sitio www.ecapra.org se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

7.1.1 Resultados para sismo

*Tabla 7-2
Resultados generales*

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	233.09
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	4.40
	‰	18.87‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	101.40	43.50%
500	111.97	48.04%
1,000	123.94	53.17%
1,500	135.92	58.31%

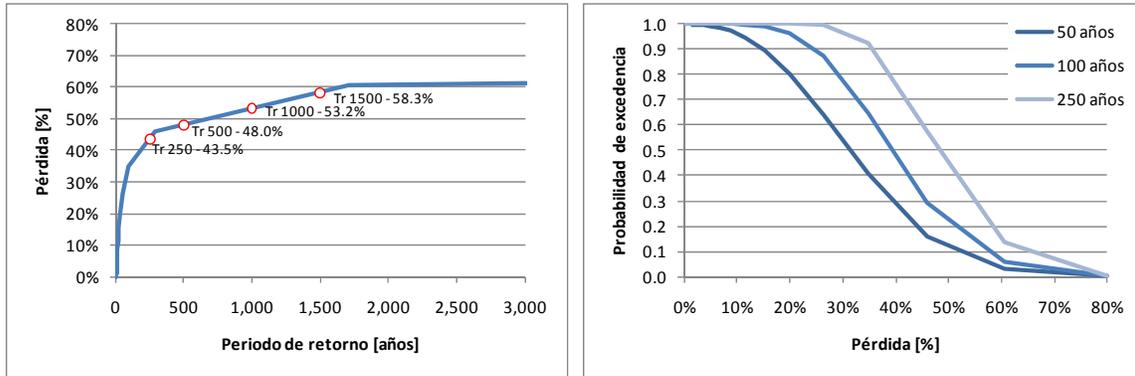


Figura 7-1

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\$]	[%o]
A-FPSB-2	32,167,183	13.80%	999,283	31.07%o
A-SPSB-1	73,230,563	31.42%	1,155,219	15.78%o
B-FPFB-2	2,061,774	0.88%	24,091	11.68%o
B-SPFB-1	2,978,742	1.28%	40,746	13.68%o
MS-RLSB-2	3,013,269	1.29%	55,119	18.29%o
MS-SLSB-1	4,960,992	2.13%	45,545	9.18%o
T-FPSB-2	32,991,899	14.15%	868,353	26.32%o
T-SPSB-1	81,687,417	35.05%	1,209,710	14.81%o
TOTAL	233,091,839	100.00%	4,398,067	18.87%o

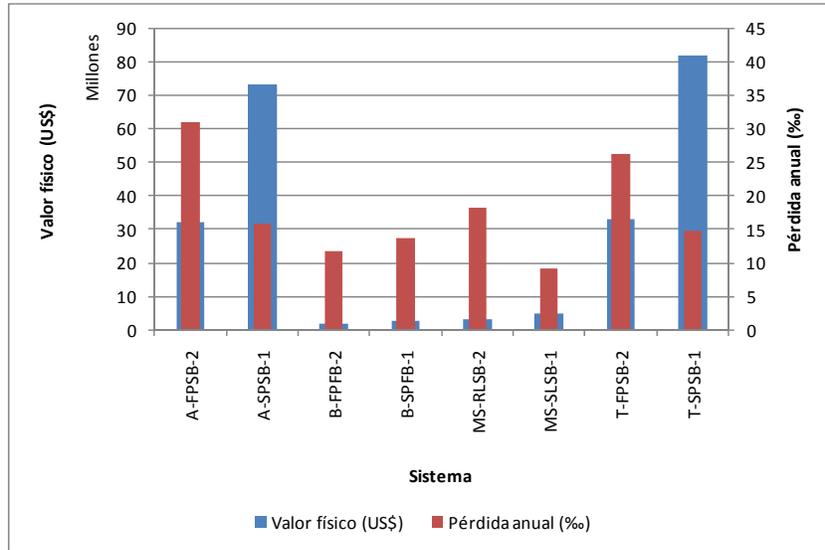


Figura 7-2

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

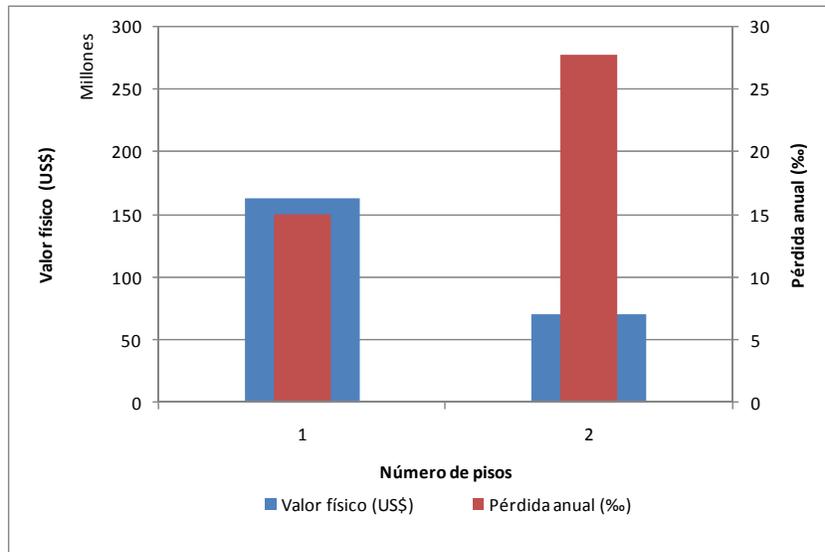


Figura 7-3

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

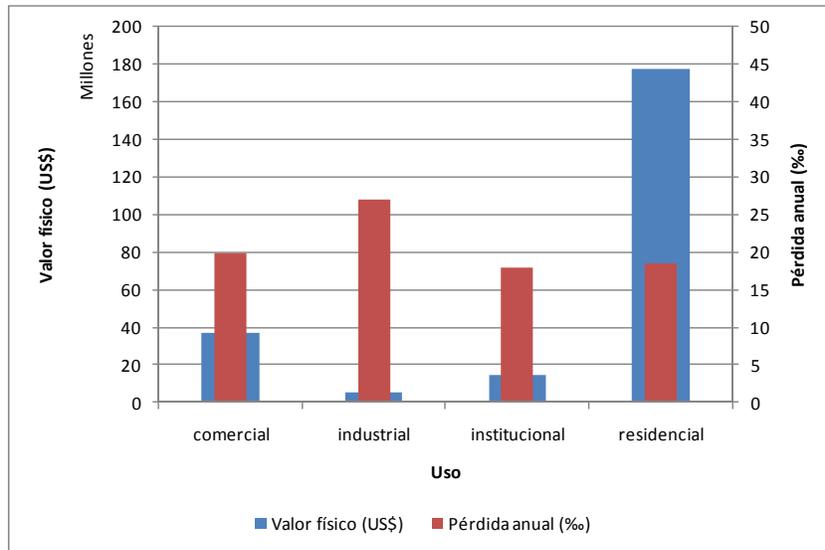


Figura 7-4
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

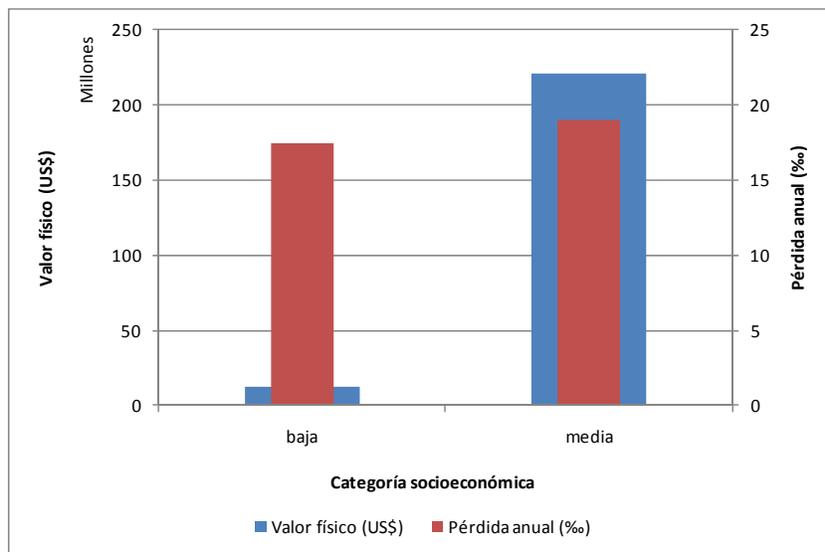


Figura 7-5
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por categoría socio-económica

7.1.2 Resultados para viento huracanado

Tabla 7-4
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	US\$ x10 ⁶	233.09
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	0.11
	‰	0.46‰
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
50	1.91	0.82%
100	2.98	1.28%
250	4.33	1.86%
500	5.43	2.33%
1,000	6.72	2.88%
1,500	7.19	3.08%

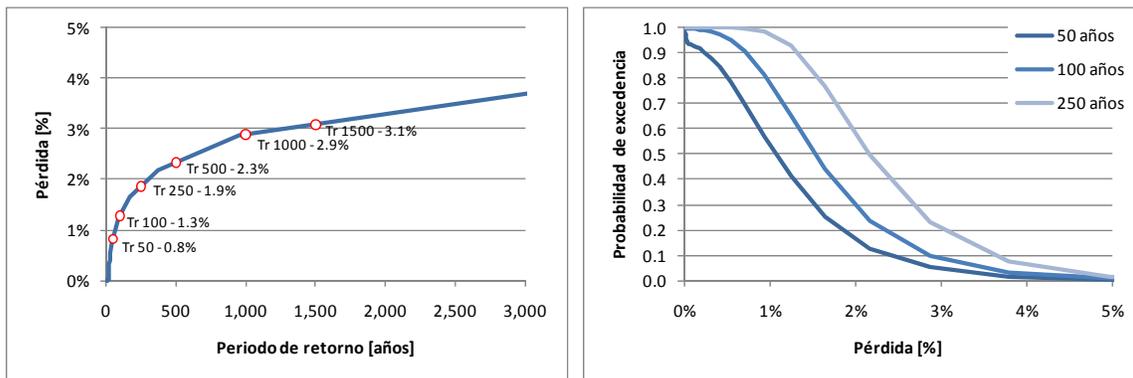


Figura 7-6

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-FPSB-2	32,167,183	13.80%	8,041	0.25‰
A-SPSB-1	73,230,563	31.42%	36,448	0.50‰
B-FPFB-2	2,061,774	0.88%	1,738	0.84‰
B-SPFB-1	2,978,742	1.28%	4,831	1.62‰
MS-RLSB-2	3,013,269	1.29%	1,504	0.50‰
MS-SLSB-1	4,960,992	2.13%	4,895	0.99‰
T-FPSB-2	32,991,899	14.15%	8,334	0.25‰
T-SPSB-1	81,687,417	35.05%	40,517	0.50‰
TOTAL	233,091,839	100.00%	106,307	0.46‰

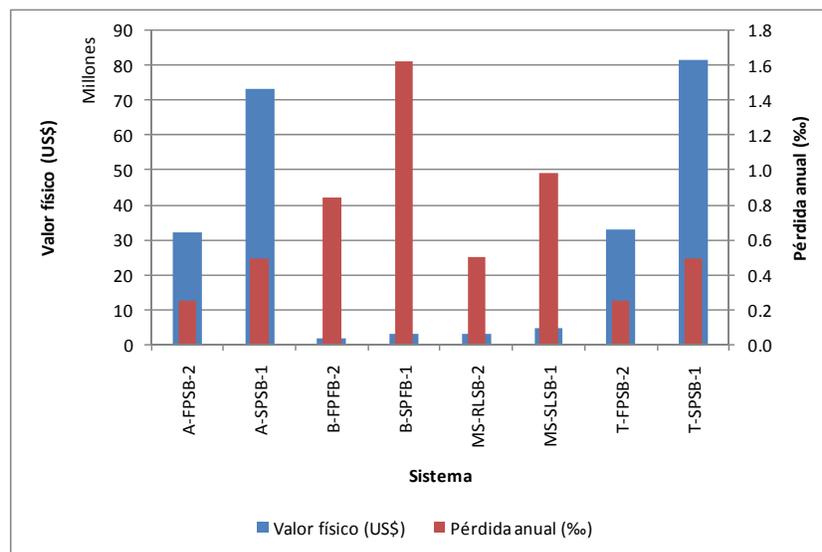


Figura 7-7
Valor físico y pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

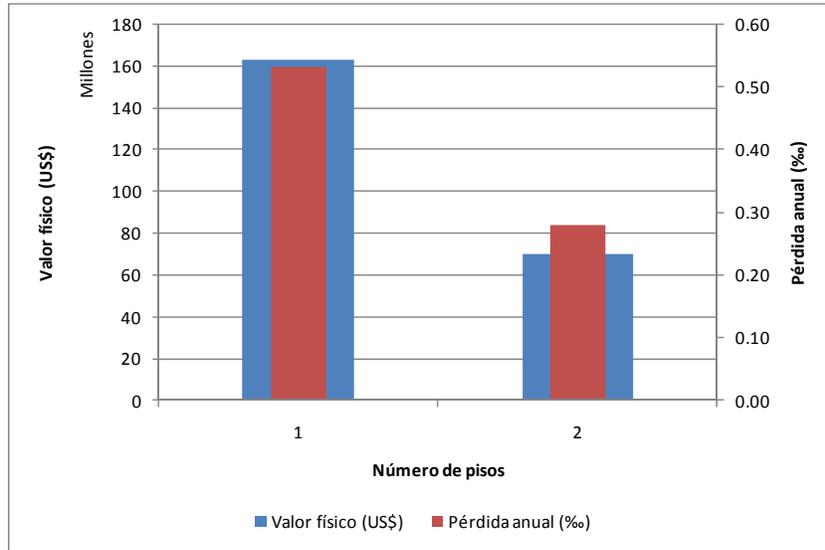


Figura 7-8

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

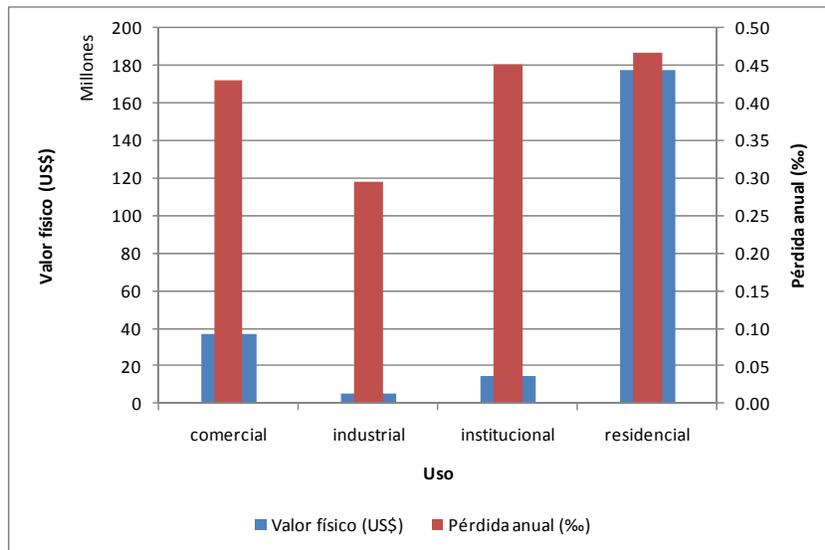


Figura 7-9

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

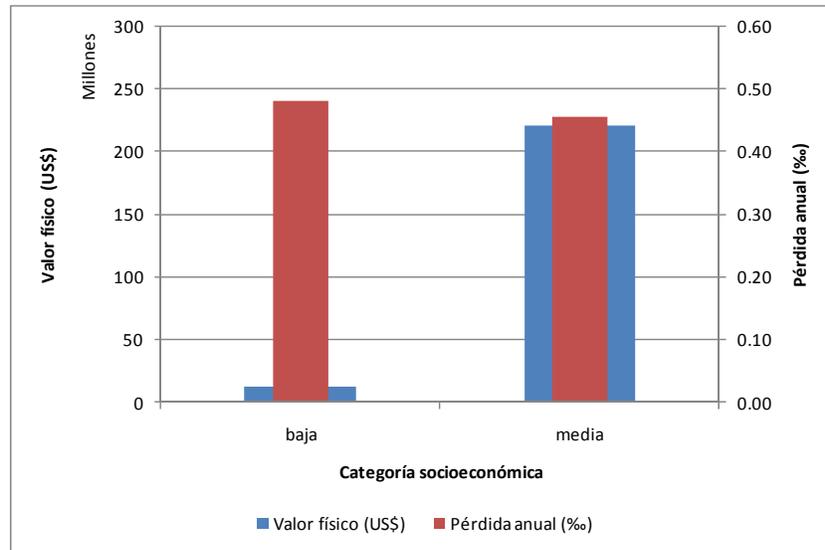


Figura 7-10

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 ⁶	233.09
Pérdida Anual Esperada	US\$ x10 ⁶	4.50
	%	19.32%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	US\$ x10 ⁶	%
250	101.40	43.50%
500	111.97	48.04%
1,000	123.94	53.17%
1,500	135.92	58.31%

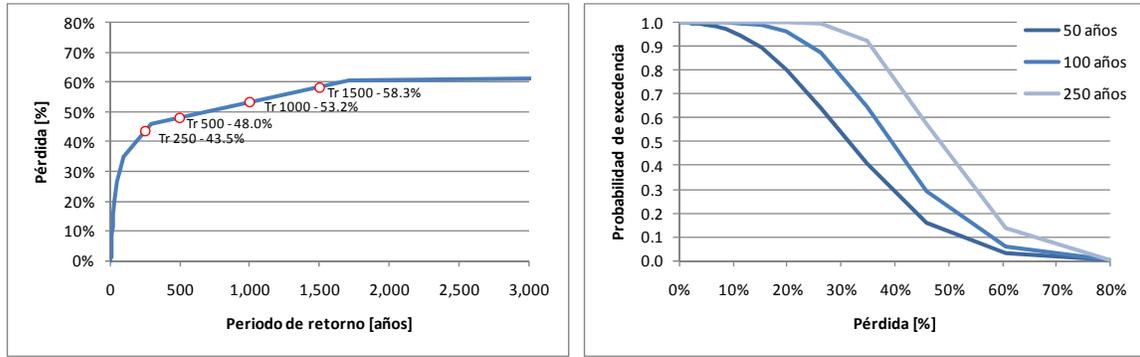


Figura 7-11
Resultados análisis

(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. La Figura 7-12 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por manzana para terremoto. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 7-13 presentan los resultados equivalentes para vientos huracanados.

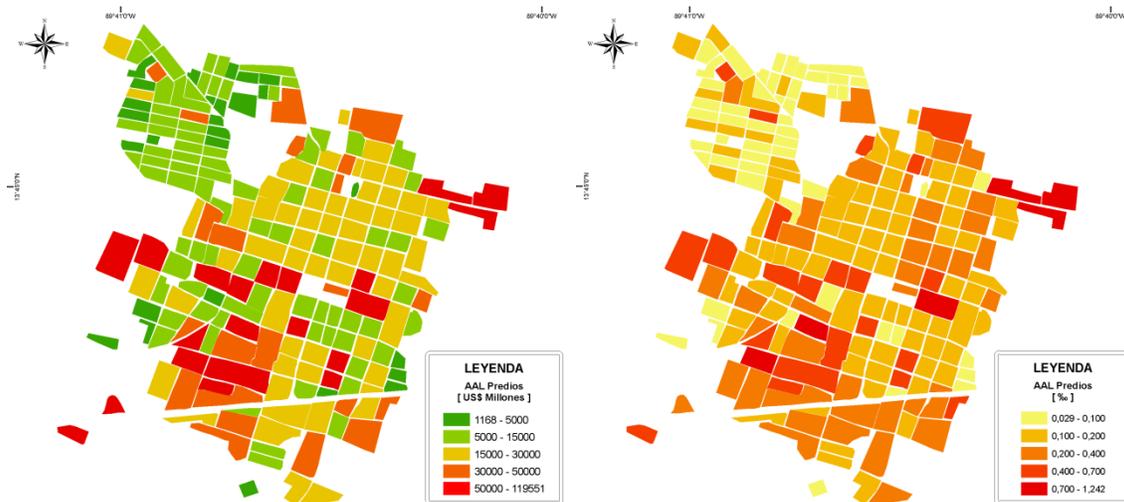


Figura 7-12
Pérdida anual esperada por manzana para sismo
(Izquierda: en valor, US\$; derecha: al millar del valor expuesto)

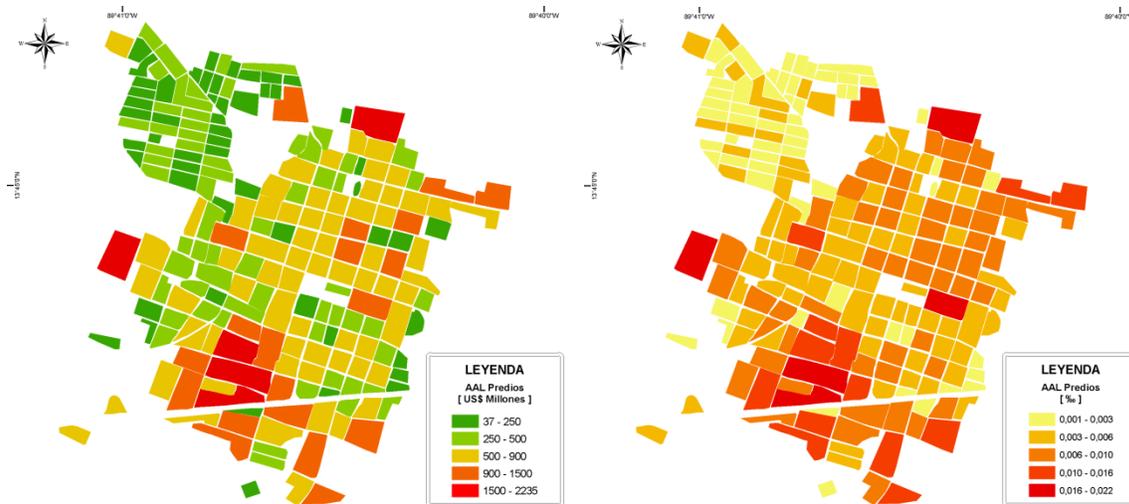


Figura 7-13
Pérdida anual esperada por manzana para viento huracanado
 (Izquierda: en valor, US\$; derecha: al millar del valor expuesto)

7.2 Análisis determinista del riesgo volcánico

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). 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. Por otra parte, la Tabla 7-8 resume los resultados encontrados para cada sistema estructural identificado.

Tabla 7-7
Valor expuesto y pérdida económica

Resultados		
Exposición	Física	
Valor Expuesto	US\$	\$233,091,839
Pérdida Económica	US\$	\$720,517
	%	0.31

Tabla 7-8
Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida esperada)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida esperada		
	[US\$]	[%]	[US\$]	[% de la pérdida]	[% del valor expuesto]
A-FPSB-2	32,167,183	13.8	61,412	8.5	0.19
A-SPSB-1	73,230,563	31.4	273,969	38.0	0.37
B-FPFB-2	2,061,774	0.9	3,411	0.5	0.17
B-SPFB-1	2,978,742	1.3	11,184	1.6	0.38
MS-RLSB-2	3,013,269	1.3	721	0.1	0.02
MS-SLSB-1	4,960,992	2.1	0	0.0	0.00
T-FPSB-2	32,991,899	14.2	61,480	8.5	0.19
T-SPSB-1	81,687,417	35.0	308,340	42.8	0.38
Total	233,091,839	100	720,517	100	0.31

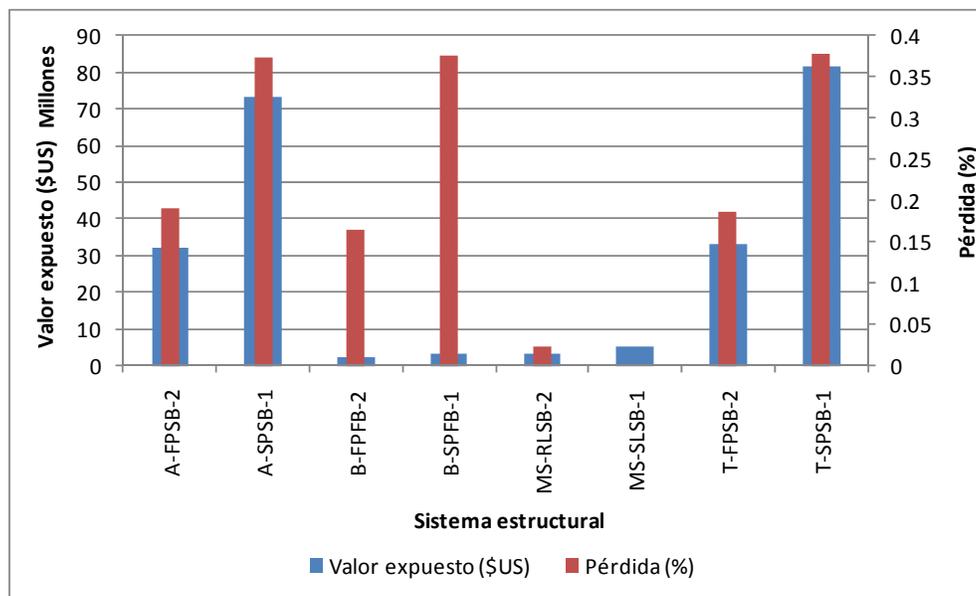


Figura 7-14
Pérdida esperada por sistema estructural

Los anteriores resultados se pueden visualizar mediante mapas que ilustran la distribución geográfica de pérdidas. La Figura 7-15 presenta la distribución geográfica de pérdidas esperadas en porcentaje y en valor monetario para la erupción seleccionada en el análisis.



Figura 7-15
Pérdida esperada por manzana para el escenario seleccionado
(Izquierda: en valor, US\$; derecha: porcentaje del valor expuesto)

8 Conclusiones y Recomendaciones

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

La amenaza que controla el riesgo en el municipio es la asociada a eventos sísmicos dada su ubicación cercana a la Costa Pacífica en inmediaciones de la zona de subducción. Para dicha amenaza la pérdida máxima probable para un período de retorno de 500 años es igual a US\$ 123'940.000, lo que equivale al 0.31% del PIB del país y al 53.2% del valor total expuesto de la población; lo que representa un valor considerablemente alto.

La prima pura de riesgo global calculada para el municipio (19.32‰) se considera alta, presentando un gran aporte en pérdida, casi en su totalidad, por efecto de los terremotos (prima pura de 18.87‰), debido principalmente a las condiciones de amenaza de la ciudad y la vulnerabilidad de las construcciones, con el agravante de su ubicación en una zona sísmicamente activa.

En cuanto al riesgo por vientos huracanados, la prima pura calculada (0.46‰) indica que no constituye una amenaza de gran importancia, en términos de generación de pérdidas futuras, comparativamente con los terremotos. Esto debido que un gran porcentaje de las edificaciones de la ciudad se encuentran construidas en tierra y con cubiertas pesadas, lo cual provee una mejor resistencia ante la acción del viento. No obstante, debe ser considerada dentro de la estrategia de gestión particular que adopte la ciudad.

La pérdida asociada al escenario volcánico se puede considerar baja (0.31% del valor expuesto de la ciudad), en términos relativos con otras amenazas. Es importante tener en cuenta que este resultado corresponde a una evaluación determinista de una erupción seleccionada como la más crítica para la población. 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. Así mismo, deben considerarse otros productos volcánicos en el análisis de riesgo.

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 sísmológico actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.

- (b) Información de amenaza por viento huracanado: se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis. El costo y tiempo requerido para mejorar este tipo de información es muy alto y requiere sobre todo de la disponibilidad de más y mejor información. Resulta de la mayor importancia mantener el catálogo de eventos actualizado y con mejor información para efectos de calibración y ajuste de los modelos.
- (c) Información de amenaza volcánica: en lo que se refiere a las características propias del volcán, aunque se considera limitada, corresponde a la mejor información disponible. El costo y tiempo requerido para mejorar este tipo de información es muy alto, y requiere principalmente del desarrollo de estudios vulcanológicos detallados. La información topográfica empleada es susceptible de mejorarse considerablemente, lo que permitiría dar una mejor resolución espacial a los resultados.
- (d) Información de exposición: debe recurrirse a la base catastral de la población. El modelo utilizado en el presente análisis solo sirve con propósitos ilustrativos e indicativos de valores globales a esperar. Para efectos de resultados para toma de decisiones debe contarse con la base catastral de la ciudad y con índices oficiales de ocupación y costos. Alternativamente deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.
- (e) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan en el mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.
- (f) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones debe realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

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

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

- Inventario de construcciones expuestas incluyendo sus características principales.

- Valoración de activos, sus contenidos y posibles pérdidas consecuenciales.
- Identificación de tipos estructurales dominantes y distribución dentro de la ciudad.
- Categorización de tipos de contenidos, calificación y valoración.
- Calificación de la vulnerabilidad estructural y humana ante las diferentes fuentes de amenaza.
- Inventario, valoración y calificación de toda la infraestructura complementaria expuesta incluyendo vías, puentes, infraestructura de servicios públicos, instalaciones industriales importantes, plantas de generación de energía, aeropuertos y en general toda la infraestructura expuesta relevante del país.

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

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

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

- (a) Sector salud: requerimientos de atención médica para heridos, centros de atención de emergencia, ubicación, requerimientos de servicios públicos, personal médico, ambulancias, organización del tema de víctimas mortales.

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

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

9 Referencias

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-3.2. <http://www.ecapra.org>. 2010.

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T1.3. <http://www.ecapra.org>. 2010.

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Plataforma para la Evaluación Probabilista de Riesgo CAPRA-GIS. <http://www.ecapra.org>. 2009.

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

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

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

SNET. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. www.snet.gob.sv/

DGEC. Dirección General de Estadística y Censos. VI Censo de población y V de vivienda de 2007. www.censos.gob.sv/util/datos/Resultados

Turismo en El Salvador. www.turismo.com.sv/destinos/izalco.php

Izalco, Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Izalco>

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

Smithsonian Institution. Global Volcanism Program