

COSTA RICA

TOMO II ANÁLISIS PROBABILISTA DE AMENAZAS Y RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-9 RIESGO POR TSUNAMI DE PUNTARENAS



CEPREDENAC



opportunities for all



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

Consortio conformado por:

Colombia

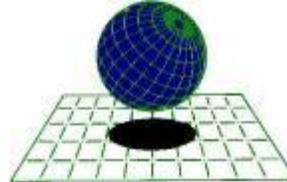
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



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.



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

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Andrei Garzón B.
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)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

Jairo Andrés Valcarcel 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)

Asesores Nacionales

Osmar E. Velasco
Guatemala

Sandra Zúñiga
Nicaragua

Alonso Brenes
Costa Rica

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

Francis Ghesquiere
Coordinador Regional

Oscar A. Ishizawa
Especialista

Joaquín Toro
Especialista

Fernando Ramírez C.
Especialista

Edward C. Anderson
Especialista

Stuart Gill
Especialista

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

Flavio Bazán
Especialista Sectorial

Cassandra T. Rogers
Especialista Sectorial

Hori Tsuneki
Consultor Interno

LIMITACIONES Y RESTRICCIONES

La aplicación que aquí se presenta 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 (ver referencias).
- Los análisis se han desarrollado con la mejor información disponible que presenta limitaciones en su confiabilidad y su grado 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 una 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 por tsunami.....	3-1
3.1	Eventos Históricos.....	3-1
3.2	Evaluación de la amenaza.....	3-2
3.3	Escenarios de análisis.....	3-2
3.4	Estimación probabilista.....	3-3
4	Inventario de Elementos Expuestos.....	4-1
4.1	Levantamiento de la Información básica.....	4-1
4.2	Información de exposición de predios.....	4-2
4.3	Información de vulnerabilidad.....	4-3
5	Resultados de la Evaluación.....	5-1
5.1	Escenario determinista.....	5-1
5.2	Análisis probabilista.....	5-3
5.2.1	Resultados generales.....	5-3
5.2.2	Mapas de riesgo por distritos.....	5-5
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	6-1
7	Referencias.....	7-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 DAÑOS CAUSADOS POR EL TSUNAMI DE 1992 EN NICARAGUA	1-1
FIGURA 1-2 MAPA DE COSTA RICA	1-2
FIGURA 1-3 PUNTARENAS, VISTA AÉREA	1-2
FIGURA 3-1 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA DE TSUNAMI PARA LA COSTA PACÍFICA DE COSTA RICA. TR=500AÑOS (ALTURA DE OLA EN METROS)	3-2
FIGURA 3-2 ESCENARIO DE TSUNAMI. CAPRA GIS	3-3
FIGURA 3-3 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA PARA TSUNAMI EN METROS	3-3
FIGURA 4-1 MAPA DE PREDIOS DE PUNTARENAS	4-1
FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS, OCUPACIÓN Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	4-2
FIGURA 4-3 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS, EDIFICACIONES Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS...	4-3
FIGURA 4-4 NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN CURVA DE VULNERABILIDAD.....	4-4
FIGURA 4-5 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR MAREA EMPLEADAS	4-4
FIGURA 5-1 PÉRDIDA ESPERADA (COMO PORCENTAJE DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	5-1
FIGURA 5-2 PÉRDIDA ESPERADA (COMO PORCENTAJE DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL	5-2
FIGURA 5-3 PÉRDIDA ESPERADA POR PREDIO	5-2
FIGURA 5-4 RESULTADOS ANÁLISIS	5-3
FIGURA 5-5 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR USO	5-4
FIGURA 5-6 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL	5-4
FIGURA 5-7 PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE	5-5
FIGURA 5-8 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO	5-5

Índice de tablas

TABLA 3-1 TSUNAMIS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN ORIGINADOS DE SISMOS CON MAGNITUD ≥ 7	3-1
TABLA 4-1 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	4-2
TABLA 4-2.....	4-3
TABLA 4-3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES ASIGNADOS.....	4-3
TABLA 4-4 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS.....	4-4
TABLA 5-1 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES (POR USO).....	5-1
TABLA 5-2 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES (POR SISTEMA ESTRUCTURAL).....	5-2
TABLA 5-3 RESULTADOS GENERALES.....	5-3
TABLA 5-4 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES (POR USO).....	5-3
TABLA 5-5 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES (POR SISTEMA ESTRUCTURAL).....	5-4

1 Introducción

La tectónica del territorio centroamericano, particularmente la zona de convergencia de las placas Cocos y Caribe, inducen un potencial alto de generación de tsunamis en la región. Dada la gran extensión de costa de Costa Rica y el número de poblaciones cercanas al océano Pacífico, es necesario evaluar y considerar los posibles daños que sobre las poblaciones podría causar un tsunami.

El tsunami más importante de la región centroamericana ocurrió el 2 de Septiembre de 1992, cuando un terremoto de magnitud Ms 7.2 ocurrido en la fosa mesoamericana, 125 Km frente a las costas de Nicaragua, detonó un tsunami cuya ola alcanzó entre 4 y 10 m de altura, con una velocidad estimada de avance de 120 Km/h, que destruyó varias poblaciones costeras de ese país, y afectando considerablemente poblaciones de países vecinos (ver Figura 1-1).



Figura 1-1

Daños causados por el Tsunami de 1992 en Nicaragua

(Fuente: INETER)

Según datos de la CEPAL, este evento dejó un saldo de 116 personas muertas, 63 desaparecidas, 489 heridas y cerca de 20.700 afectadas directamente, principalmente por pérdida de sus medios de sustento (pesca artesanal, comercio y turismo). También 2800 personas que residían fuera del área afectada perdieron total o parcialmente sus inmuebles. Se estima que las pérdidas económicas alcanzaron los \$USD 25 millones, siendo el sector vivienda el más afectado (53% del total), seguido de los sectores de comercio, turismo y pesca. Los servicios de agua potable, electricidad e infraestructura portuaria también resultaron seriamente afectados.

Las principales actividades económicas de la ciudad de Puntarenas son la pesca, el comercio y el turismo, con un muelle de 600 metros en el cual ocasionalmente atracan cruceros.

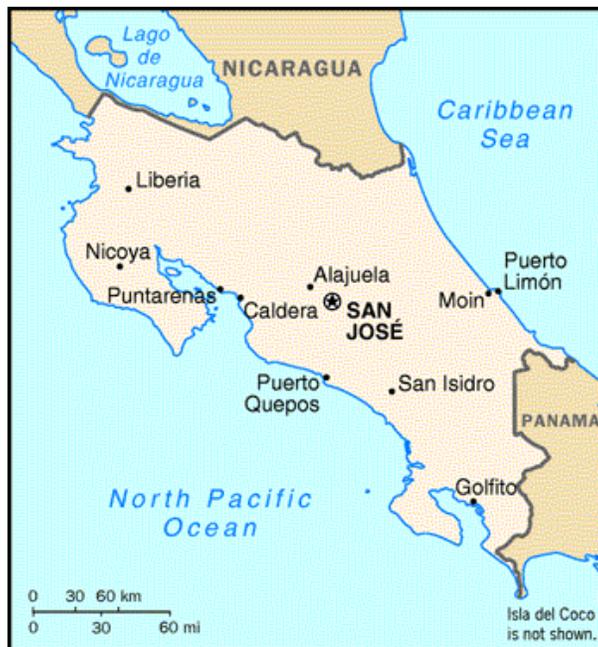


Figura 1-2

Mapa de Costa Rica

(Fuente: <http://pt.abc-latina.com/costa-rica/mapa-costa-rica.php>)



Figura 1-3

Puntarenas, vista aérea

(Fuente: <http://img377.imageshack.us/img377/1928/dsc02070lp3.jpg>)

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

El objetivo de la simulación que se presenta más adelante consiste en evaluar el riesgo potencial de la ciudad de Puntarenas ante un evento de tsunami y expresar el riesgo en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE) y pérdidas máximas probables (PML). El análisis se realiza tanto en términos probabilistas como en función de escenarios deterministas correspondientes a eventos ocurridos en el pasado o que pudiesen presentarse en el futuro.

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 tsunami en Puntarenas – Costa Rica se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA la cual se describe en detalle en el informe ERN-CAPRA-T1-6 (Metodología de Análisis de Riesgos y sus Aplicaciones, ERN 2009), y en el sitio www.ecapra.org.

La metodología para la evaluación del riesgo por tsunami para Puntarenas incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza por inundación: ésta se evalúa mediante un análisis probabilístico y mediante escenarios específicos deterministas. El primero permite obtener resultados relacionados con pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general. El segundo permite obtener la pérdida esperada para cada bien y el portafolio en general dada la eventual ocurrencia del evento seleccionado en el escenario.
- (b) 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.
- (c) 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 propuestas en HAZUS MH MR3.
- (d) 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 asociadas al daño en las construcciones.
 - Pérdidas económicas máximas probables.
 - Pérdidas anuales esperadas.

3 Amenaza por tsunami

El modelo de amenaza se presenta en detalle en el informe ERN-CAPRA-T2-3 (Modelación Probabilista de Amenazas Naturales, ERN 2009). Las bases teóricas del modelo de amenaza se presentan en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN2009). Toda la información anterior se encuentra también descrita en detalle en el sitio www.ecapra.org.

3.1 Eventos Históricos

En Costa Rica solo se han documentados cerca de 15 tsunamis desde 1539, cinco de los cuales han ocurrido en el Caribe y 10 en el Pacífico, no existe mucha información de ellos ya que no han acarreado grandes consecuencias. (Fuente: Universidad de Costa Rica)

Tabla 3-1

Tsunamis que han afectado la región originados de sismos con magnitud ≥ 7
(Fuente: INETER, <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/tsunami/tsunami-list.html>)

Año	Fecha	Origen	Magnitud	Región afectada
1822	05-Jul	Caribe	7.6	Matina, Costa Rica
1844	05/--	Pacífico	7.5	Lago de Nicaragua (?)
1854	08-May	Pacífico	7.2	Golfo Dulce, Costa Rica
1856	08-Abr	Caribe	7.5	Omoa, Golfo de Honduras (destrucción, muertos)
1859	12-Sep	Pacífico	7.5	Bahía de Acajutla, El Salvador
1882	09-Jul	Caribe	7.9	San Blas, Panamá
1902	Feb-26	Pacífico	7	Costas de Guatemala, El Salvador
1902	Abr-19	Pacífico	7.5	Ocos, Guatemala
1904	Dic-20	Caribe	7.5	Bocas del Toro, Panamá
1906	Ene-31	Pacífico	8.2	Ecuador, Panamá, Costa Rica
1915	09-Jul	Pacífico	7.7	Costa de El Salvador
1916	May-25	Pacífico	7.5	El Salvador
1926	11-May	Pacífico	7	Nicaragua (?)
1934	Jul-18	Pacífico	7.5	Golfo de Chiriquí, Panamá
1941	12-Jun	Pacífico	7.6	Punta Dominical, Costa Rica
1950	10-May	Pacífico	7.9	Costas de Costa Rica, Nicaragua, El Salvador
1950	Oct-23	Pacífico	7.3	Costas de Guatemala, El Salvador
1956	Oct-24	Pacífico	7.2	San Juan del Sur, Nicaragua
1957	03-Oct	Caribe	8.1	Acajutla, El Salvador
1960	May-22	Caribe	8.5	La Unión, Golfo de Fonseca
1976	02-Abr	Caribe	7.5	Cortes, Golfo de Honduras
1976	07-Nov	Pacífico	7	Jaque, Darien, Panamá
1990	Mar-25	Pacífico	7	Puntarenas, Quepos, Costa Rica
1991	Abr-22	Caribe	7.6	Costa Rica, Panamá
1992	09-Ene	Pacífico	7.2	Nicaragua (172 muertos, destrucción), Costa Rica
2001	Ene-13	Pacífico	7.6	El Salvador (pequeño tsunami, costa de El Salvador)

3.2 Evaluación de la amenaza

Los escenarios probables de tsunami deben definirse a partir de la ocurrencia de terremotos de características particulares en la fosa mesoamericana en el pacífico nicaragüense. Dichos terremotos se ingresan en la modelación como eventos detonantes de tsunamis. La metodología detallada de amenaza basada en eventos detonantes puede ser consultada en el informe ERN-CAPRA-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN 2009), así como en el sitio Wiki de CAPRA www.ecapra.org.

La evaluación de la amenaza puede realizarse mediante la determinación de escenarios particulares de amenaza correspondientes a un evento hipotético compatible con la información disponible, o mediante un análisis probabilista integral.

A nivel del país y solo para efectos ilustrativos, la Figura 3-1 presenta el mapa de amenaza en términos de altura máxima de oleaje para un periodo de retorno de 500 años.

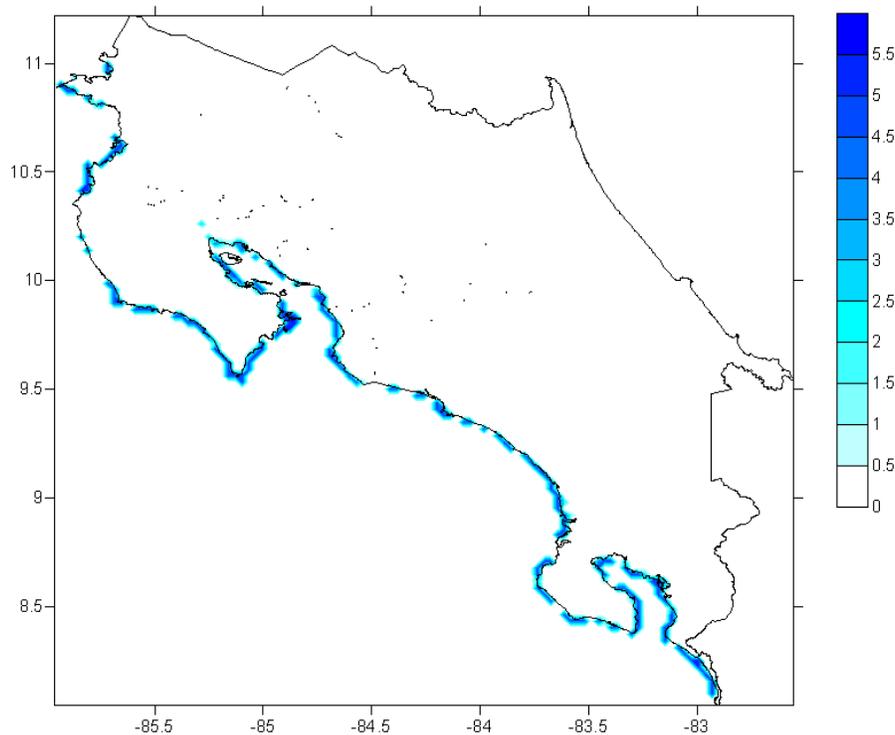


Figura 3-1
Mapa de amenaza probabilística de tsunami para la costa pacífica de Costa Rica.
TR=500 años (altura de ola en metros)

3.3 Escenario de análisis determinista

En la Figura 3-2 se presenta un mapa de amenaza en términos de la altura máxima de oleaje sobre la superficie en metros (si presenta signo negativo, indica que no supera el nivel del terreno), para el escenario más crítico.

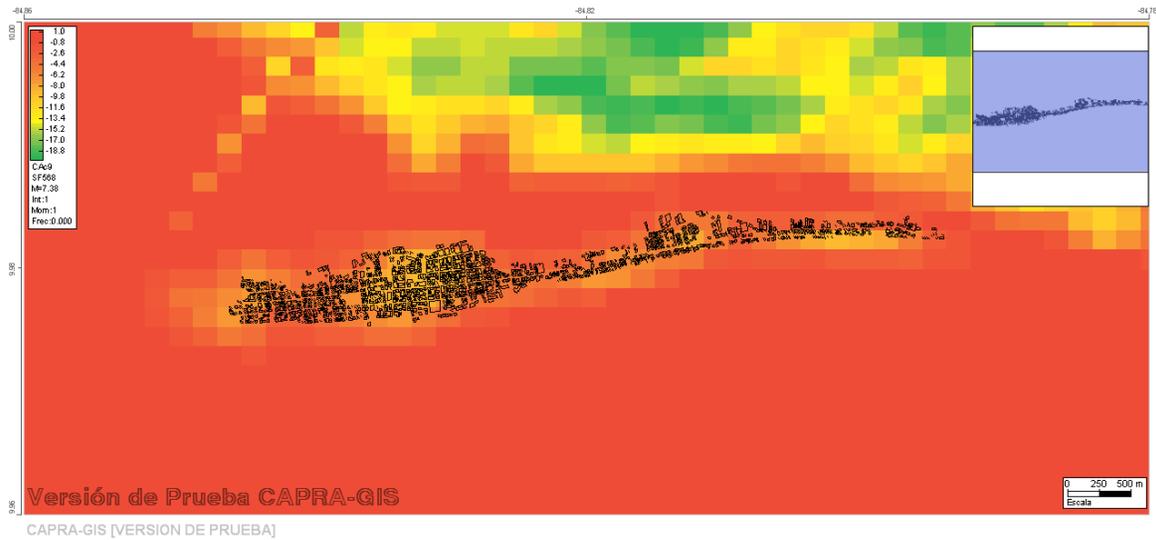


Figura 3-2
Escenario de tsunami. CAPRA GIS

3.4 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 10,062 escenarios, según la metodología presentada expuesta en la metodología empleada, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada. En la Figura 3-3 presenta resultados del análisis probabilístico de amenaza por tsunami para diferentes periodos de retorno. Se presentan resultados del análisis de amenaza en términos de altura máxima de oleaje sobre la superficie en metros, para los siguientes periodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.

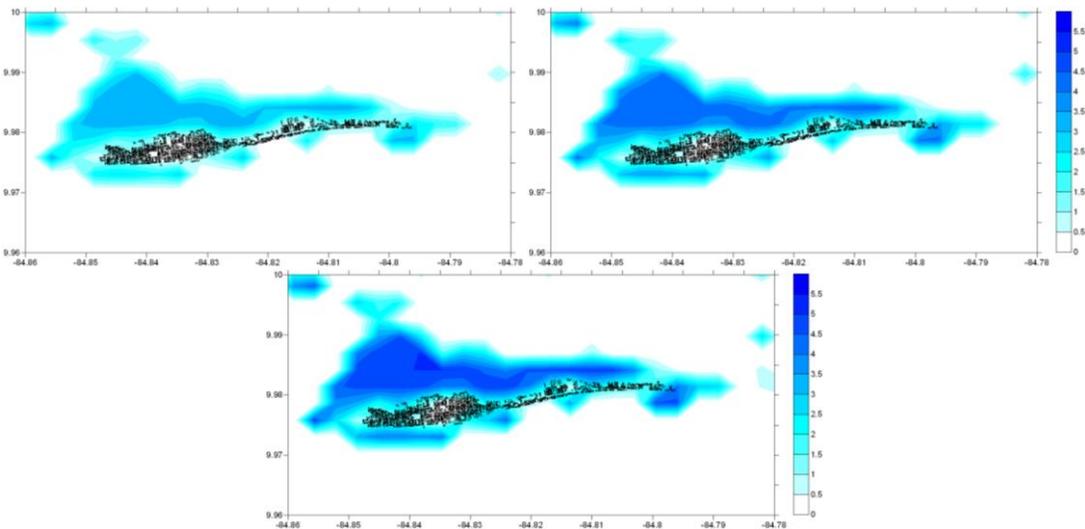


Figura 3-3
Mapa de amenaza probabilística para tsunami en metros
(Arriba de izquierda a derecha: 100 y 500 años, abajo 1,000 años de periodo de retorno)

4 Inventario de Elementos Expuestos

4.1 Levantamiento de la información básica

Para la ciudad de Puntarenas, no se cuenta con un censo poblacional que relacione el número actual de personas, su distribución o actividad económica, así como tampoco se cuenta con un 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 estimar la base de datos de exposición, basados en estadísticas de población, fotografías satelitales y conceptos de expertos locales, a manera de ejemplo para mostrar las capacidades del sistema CAPRA. 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 Figura 4-1 presenta una imagen de los predios digitalizados utilizando la herramienta web de levantamiento de elementos prediales tipo polígono de CAPRA (disponible en <http://www.ecapra.org/exposure.php>).



Figura 4-1

Mapa de predios de Puntarenas

Imagen obtenida generada Google Earth. Recuadro: proyección plana.

4.2 Información de exposición de predios

Las condiciones de exposición de Puntarenas, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se asignan mediante la interpretación de imágenes de satélite y fotografías de la zona, y mediante la consulta de indicadores oficiales publicados sobre densidad de ocupación, valoración económica y características de las construcciones.

La Tabla 4-1 y la Figura 4-2 presentan la distribución general de valores expuestos y ocupación de edificaciones, para los diferentes tipos estructurales identificados.

Tabla 4-1
Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales

Sistema	No Edificaciones	Valor Físico [USD]	Ocupación [Hab]
Madera	411	42,648,252	1,928
Mampostería Simple	819	75,560,200	3,753
Mampostería Reforzada	821	101,636,791	3,739
Concreto	19	34,272,843	409
Total	2,070	254,118,086	9,829

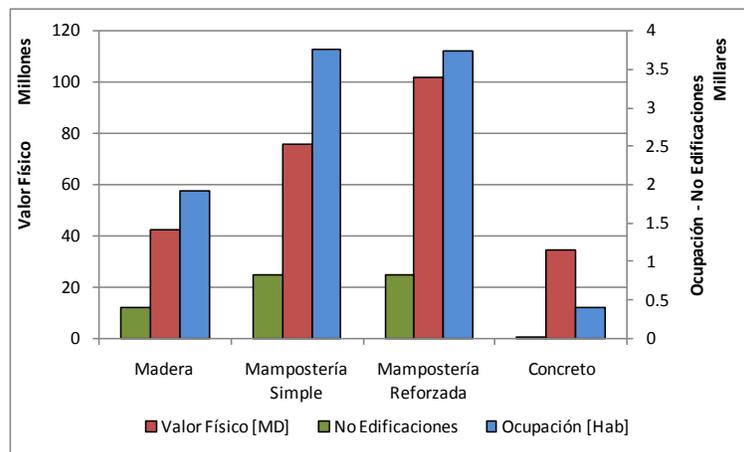


Figura 4-2

Distribución de valores expuestos, ocupación y edificaciones por sistemas estructurales

Por otra parte, la Tabla 4-2 y la Figura 4-3 muestran la distribución de valores expuestos y ocupación, en función del número de pisos de las edificaciones incluidas.

Tabla 4-2
Valores expuestos y ocupación por número de pisos

No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [USD]	Ocupación [Hab]
1	1658	123,176,230	5,936
2	361	87,361,492	3,081
3	41	28,156,536	615
4	10	15,423,828	197
Total	2,070	254,118,086	9,829

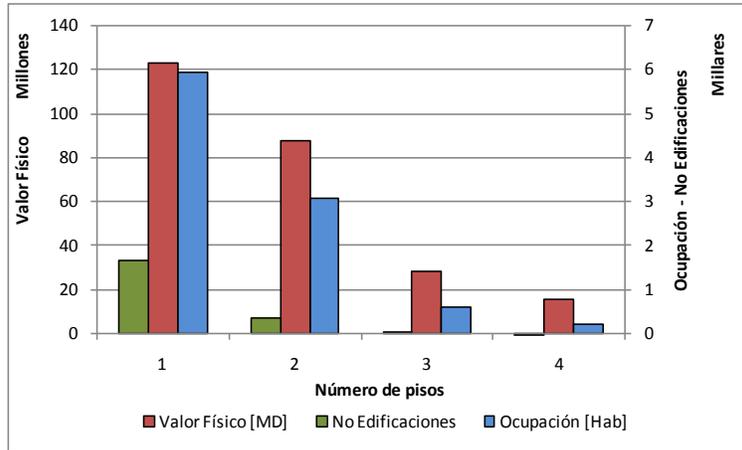


Figura 4-3
Distribución de valores expuestos, edificaciones y ocupación por número de pisos

Los sistemas estructurales asignados a la base datos corresponden a los presentados en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3
Descripción de los diferentes sistemas estructurales asignados

Sistema	Descripción
Mampostería Estructural	Muros de mampostería estructural o confinada, con o sin diafragma y con cubierta ligera o pesada
Mampostería Simple	Muros de mampostería simple, con o sin diafragma y con cubierta ligera o pesada
Madera	Madera con o sin diafragma con cubierta ligera o pesada
Pórticos de Concreto	Marcos de Concreto con o sin diafragma y con cubierta ligera o pesada

4.3 Información de vulnerabilidad

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

Tabla 4-4
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Curva	Uso	No Pisos	No Edificaciones
1	Industrial	1	57
2	Industrial	2	9
3	Industrial	4	10
4	Comercial	1	301
5	Comercial	2	86
6	Comercial	3	15
7	Institución	1	62
8	Institución	2	31
9	Institución	3	7
10	Residencial	1	1238
11	Residencial	2	235
12	Residencial	3	19

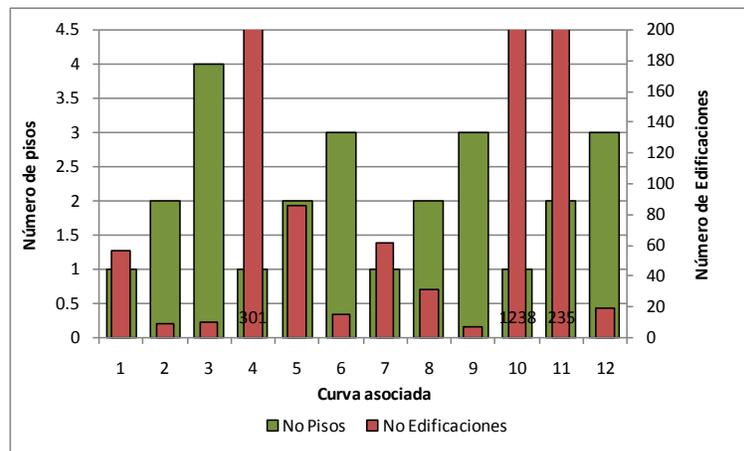


Figura 4-4
Número de edificaciones según curva de vulnerabilidad

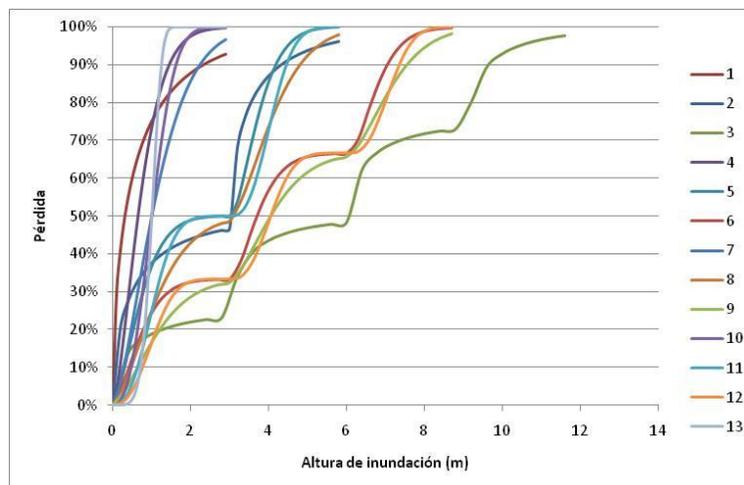


Figura 4-5
Curvas de vulnerabilidad por marea empleadas

5 Resultados de la evaluación

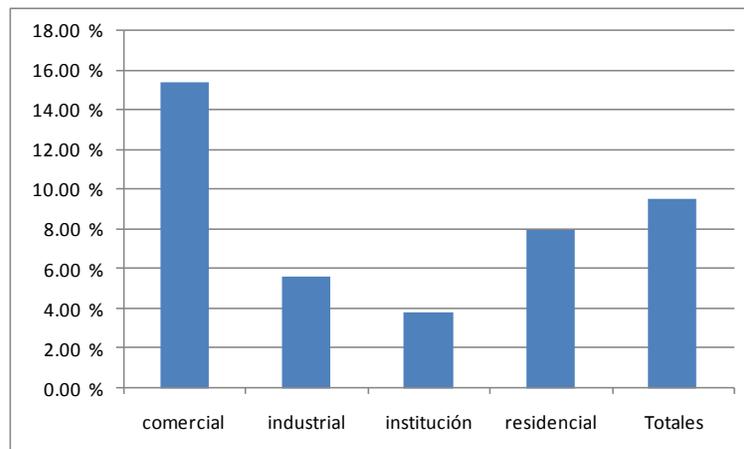
5.1 Escenario determinista

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 (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 y humanas.

La Tabla 5-1 y la Tabla 5-2 resumen los resultados encontrados para el escenario seleccionado. Se presentan pérdidas económicas totales y en porcentaje con respecto al valor expuesto total.

*Tabla 5-1
Resultados valores expuestos y pérdidas probables (por uso)*

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida	
	[USD]	[%]	[USD]	[%]
comercial	86,638,296	34.09%	13,325,703	15.38 %
industrial	19,364,040	7.62%	1,086,769	5.61 %
institución	47,521,365	18.70%	1,819,032	3.83 %
residencial	100,594,385	39.59%	7,993,401	7.95 %
Totales	254,118,086	100%	24,224,906	9.53 %



*Figura 5-1
Pérdida esperada (como porcentaje del valor expuesto) por uso*

Tabla 5-2
Resultados valores expuestos y pérdidas probables (por sistema estructural)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida	
	[USD]	[%]	[USD]	[%]
Madera	42,648,252	16.78%	3,470,262	8.14 %
Mampostería Simple	75,560,200	29.73%	7,180,017	9.50 %
Mampostería Reforzada	101,636,791	40.00%	12,107,028	11.91 %
Concreto	34,272,843	13.49%	1,467,600	4.28 %
Totales	254,118,086	100%	24,224,906	9.53 %

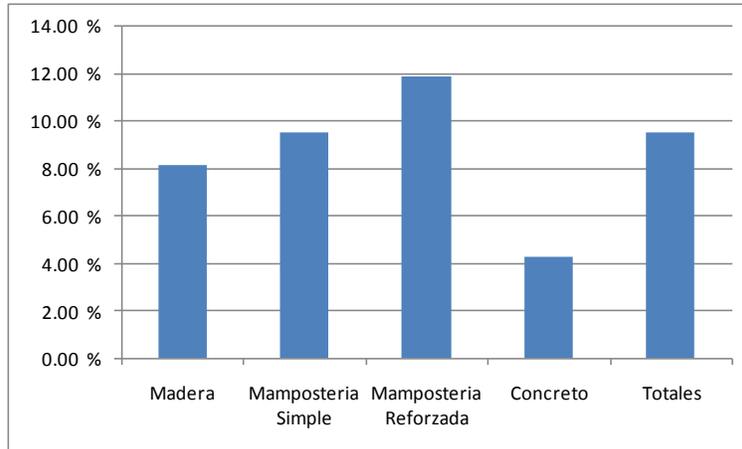


Figura 5-2
Pérdida esperada (como porcentaje del valor expuesto) por sistema estructural

Los anteriores resultados se pueden visualizar mediante de mapas que ilustran la distribución geográfica de pérdida y efectos.

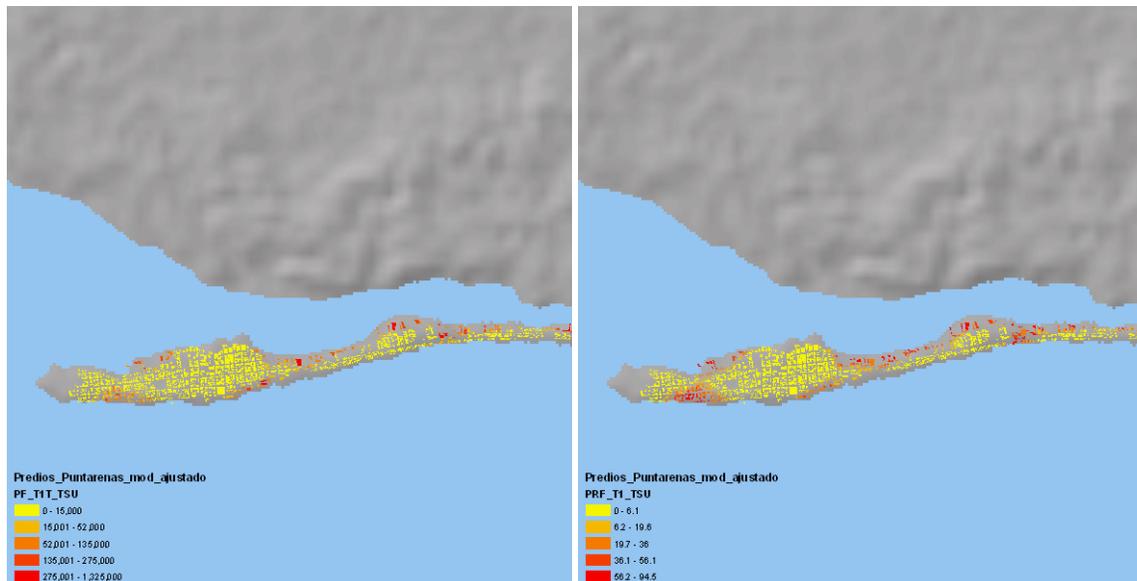


Figura 5-3
Pérdida esperada por predio
(Izquierda: en valor, \$USD; derecha: como porcentaje del valor expuesto)

5.2 Análisis probabilista

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por tsunami para Puntarenas. En el sitio www.ecapra.org se puede consultar en detalle la metodología de evaluación de pérdidas empleada en este estudio.

5.2.1 Resultados generales

Tabla 5-3
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	USD\$ x10⁶	\$254.1
Pérdida anual esperada	USD\$ x10⁶	\$0.491
	‰	1.929
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD\$ x10⁶	%
100	\$13.42	5.3
250	\$20.01	7.9
500	\$24.73	9.7
1000	\$29.96	11.8

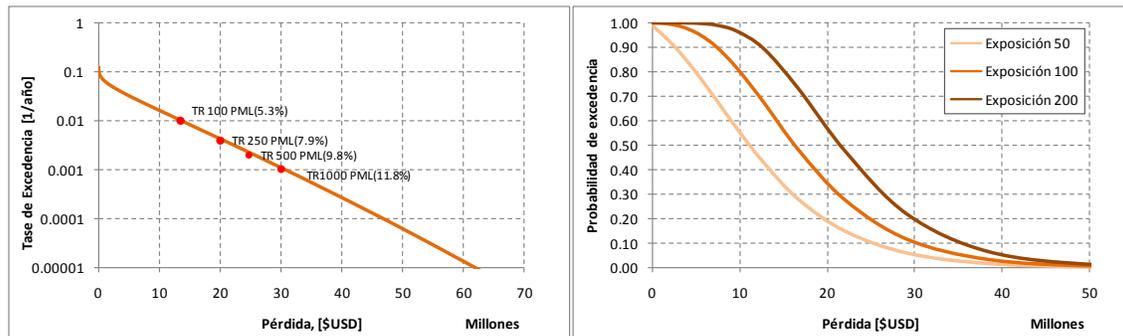


Figura 5-4

Resultados análisis

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

Tabla 5-4
Resultados valores expuestos y pérdidas probables (por uso)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[USD]	[%]	[USD]	[‰]
comercial	86,638,296	34.09%	298,795	3.45 ‰
industrial	19,364,040	7.62%	14,631	0.76 ‰
institución	47,521,365	18.70%	25,443	0.54 ‰
residencial	100,594,385	39.59%	152,742	1.52 ‰
Totales	254,118,086	100%	491,612	1.93 ‰

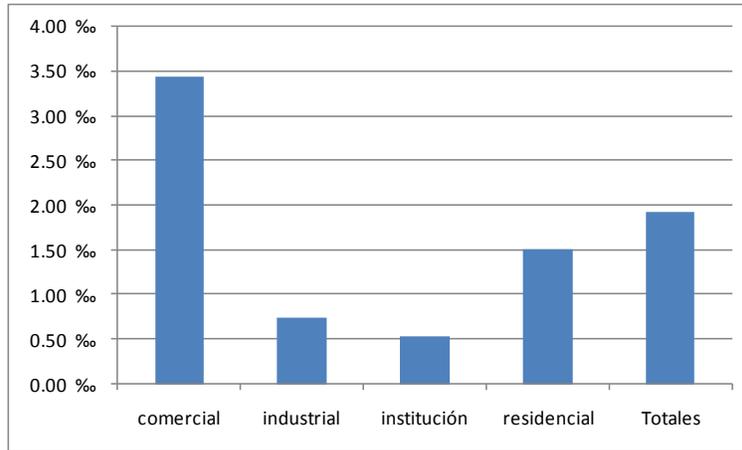


Figura 5-5
Pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por uso

Tabla 5-5
Resultados valores expuestos y pérdidas probables (por sistema estructural)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[USD]	[%]	[USD]	[‰]
Madera	42,648,252	16.78%	41,705	0.98 ‰
Mampostería Simple	75,560,200	29.73%	117,140	1.55 ‰
Mampostería Reforzada	101,636,791	40.00%	283,587	2.79 ‰
Concreto	34,272,843	13.49%	49,181	1.43 ‰
Totales	254,118,086	100%	491,612	1.93 ‰

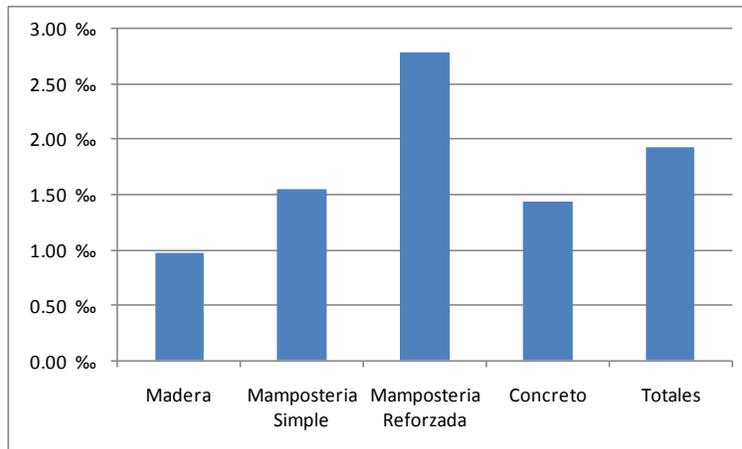


Figura 5-6
Pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

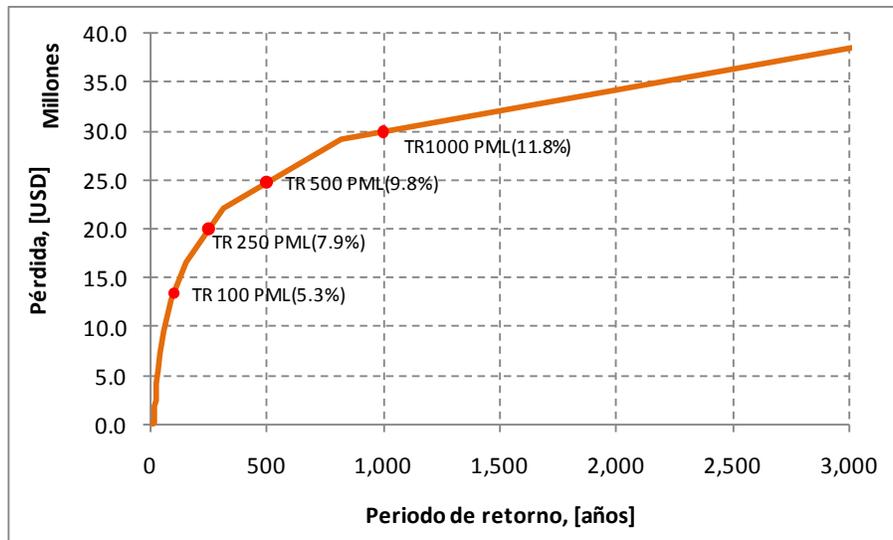


Figura 5-7
Pérdida máxima probable

5.2.2 Mapas de riesgo

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo. La Figura 5-8 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por predio para inundación por tsunamis. Los resultados se presentan al millar y en valor económico.

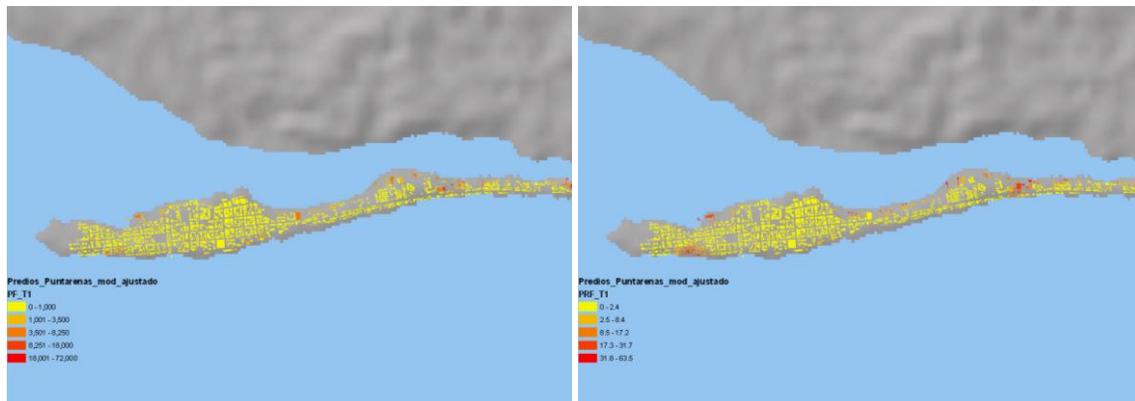


Figura 5-8
Pérdida anual esperada por predio
(Izquierda: en valor, \$USD; derecha: al millar del valor expuesto)

6 Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de riesgo por tsunami presentado para la ciudad de Puntarenas 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.

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 por tsunami: es susceptible de mejorar en forma significativa, especialmente lo relacionado con la batimetría detallada de la zona cercana a la costa y la topografía de detalle de la zona costera. También es muy importante mantener actualizado el catálogo de eventos pasados con la mayor cantidad de información relacionada con efectos, daños e impactos producidos.
- (b) Información de 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 debe plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.
- (c) 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.
- (d) 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, hidroeléctricas, presas, túneles, 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 policial y del ejército. Posibilidad de problemas sociales por falta de alimentos o de servicios.
- (c) Atención de la emergencia: planeación de las diferentes acciones posteriores a la ocurrencia del desastre tales como reconocimiento, identificación y clausura de edificaciones afectadas, demoliciones, avisos a la población, cuadrillas de rescate, manejo de donaciones, suministros de alimentación, viviendas temporales, manejo de residuos, disponibilidad de maquinaria, etc.
- (d) Requerimientos de viviendas temporales, campamentos, comida, víveres, suministros, atención médica post-emergencia, etc. Problemática de la vivienda de interés social.
- (e) Problemática de personas sin empleo o lugar de trabajo según zonas, requerimientos inmediatos, afectación de la producción, efectos a largo plazo, medidas de mitigación de impactos.
- (f) Planes de contingencia para los diferentes sectores de servicios públicos y sociales incluyendo suministro de agua, energía, gas, transporte público, generación de energía, telecomunicaciones y otras.
- (g) Pérdidas económicas esperadas, efectos en el mediano y largo plazo en las finanzas públicas, necesidades de mecanismos de transferencia del riesgo, planes de aseguramiento, proyección hacia el futuro.

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

7 Referencias

Biblioteca Virtual en Población. Centro Centroamericano de Población. Censo de Población de Nicaragua 1971. Disponible en: <http://ccp.ucr.ac.cr/bvp/censos/nicaragua/1971/index.htm>

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Metodología de Análisis Probabilista de Riesgos. Informe ERN-CAPRA-T1-6. <http://www.ecapra.org>. 2009.

Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. Modelación Probabilista de Amenazas Naturales. Informe ERN-CAPRA-T2-3. <http://www.ecapra.org>. 2009.

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>

INETER. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. www.ineter.gob.ni/

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

Universidad de Costa Rica. Prevención sobre maremotos podría salvar miles de vidas. <http://www.vinv.ucr.ac.cr/>