NICARAGUA

TOMO I
METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-11
RIESGO POR HURACÁN DE BLUEFIELDS

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

Consorcio conformado por:

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

INGENIAR

INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA LTDA

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

C I M N E

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

ERN Ingenieros Consultores, S. C.

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

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

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

Miguel Genaro Mora C.
Especialista ERN (COL)

Carlos Eduardo Avelar F.
Especialista ERN (MEX)

Mabel Cristina Marulanda F.
Especialista CIMNE(ESP)

César Augusto Velásquez V.
Especialista ERN (COL)

Benjamín Huerta G.
Especialista ERN (MEX)

Jairo Andrés Valcarcel T.
Especialista CIMNE(ESP)

Karina Santamaría D.
Especialista ERN (COL)

Mauro Pompeyo Niño L.
Especialista ERN (MEX)

Juan Pablo Londoño L.
Especialista CIMNE(ESP)

Mauricio Cardona O.
Asistente Técnico ERN (COL)

Isaías Martínez A.
Asistente Técnico ERN (MEX)

René Salgueiro
Especialista CIMNE(ESP)

Andrés Mauricio Torres C.
Asistente Técnico ERN (COL)

Edgar Osuna H.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Nieves Lantada
Especialista CIMNE(ESP)

Diana Marcela González C.
Asistente Técnico ERN (COL)

José Juan Hernández G.
Asistente Técnico ERN (MEX)

Álvaro Martín Moreno R.
Asesor Asociado (COL)

Yinsury Sodel Peña V.
Asistente Técnico ERN (COL)

Marco Torres
Asesor Asociado (MEX)

Mario Díaz-Granados O.
Asesor Asociado (COL)

Andrei Garzón B.
Asistente Técnico ERN (COL)

Johoner Venicio Correa C.
Asistente Técnico ERN (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

Joaquín Toro
Especialista

Edward C. Anderson
Especialista

Oscar A. Ishizawa
Especialista

Fernando Ramírez C.
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 laspérdidas, 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 huracán 3-1

3.1 Eventos Históricos 3-1

3.2 Evaluación de la amenaza 3-3

3.3 Escenario de análisis 3-3

3.4 Estimación probabilista 3-4

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 para Viento huracanado 5-3

5.2.2 Resultados para marea de tormenta 5-4

5.2.3 Resultados generales 5-5

5.2.4 Mapas de riesgo 5-7

6 Conclusiones y Recomendaciones 6-1

7 Referencias 7-1

Índice de figuras

FIGURA 1-1 HURACANES, TRAYECTORIAS Y MAGNITUD (1945 – 2006) 1-1
FIGURA 1-2 HURACANES, TRAYECTORIAS Y MAGNITUD – AMPLIACIÓN CENTRO AMÉRICA (1945 – 2006) 1-1
FIGURA 1-3 MAPA DE NICARAGUA 1-2
FIGURA 1-4 BAHÍA DE BLUEFIELDS 1-2
FIGURA 3-1 ESCENARIO DE VIENTO HURACANADO PARA BLUEFIELDS – HURACÁN JOAN. CAPRA GIS .. 3-3
FIGURA 3-2 ESCENARIO DE MAREA DE TORMENTA PARA BLUEFIELDS – HURACÁN JOAN. CAPRA GIS... 3-4
FIGURA 3-3 MAPAS DE VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO [KM/H] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 3-5
FIGURA 3-4 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA POR VIENTO HURACANDO EN KPH 3-5
FIGURA 3-5 MAPA DE AMENAZA PROBABILÍSTICA POR OLEAJE DE TORMENTA EN METROS. 3-6
FIGURA 4-1 MAPA DE PREDIOS DE BLUEFIELDS 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 DE CURVA DE VULNERABILIDAD 4-4
FIGURA 4-5 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR MAREA EMPLEADAS 4-5
FIGURA 4-6 CURVAS DE VULNERABILIDAD POR VIENTO HURACANADO EMPLEADAS 4-5
FIGURA 5-1 PÉRDIDA ESPERADA (COMO PORCENTAJE DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL 5-1
FIGURA 5-2 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA VIENTO HURACANADO 5-2
FIGURA 5-3 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA MAREA DE TORMENTA 5-2
FIGURA 5-4 RESULTADOS ANÁLISIS 5-3
FIGURA 5-5 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL 5-4
FIGURA 5-6 RESULTADOS ANÁLISIS 5-4
FIGURA 5-7 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL PARA MAREA DE TORMENTA 5-5
FIGURA 5-8 RESULTADOS ANÁLISIS 5-6
FIGURA 5-9 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (AL MILLAR DEL VALOR EXPUESTO) POR SISTEMA ESTRUCTURAL PARA MAREA DE TORMENTA Y VIENTO HURACANADO 5-6
FIGURA 5-10 PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE 5-7
FIGURA 5-11 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA VIENTO HURACANADO 5-8
FIGURA 5-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO PARA MAREA DE TORMENTA 5-8
FIGURA 5-13 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR PREDIO 5-9

Índice de tablas

TABLA 3-1 PRINCIPALES HURACANES QUE HAN AFECTADO EL TERRITORIO NICARAGÜENSE 3-1
TABLA 3-2 REGISTRO DE DAÑOS CAUSADOS POR HURACANES EN LA REGIÓN AUTÓNOMA DEL ATLÁNTICO SUR (1971-1998) 3-2
TABLA 4-1 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES 4-2
TABLA 4-2 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS 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 POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ESPERADA) 5-1
TABLA 5-2 RESULTADOS GENERALES 5-3
TABLA 5-3 RESULTADOS POR SISTEMA ESTRUCTURAL (VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDA ANUAL ESPERADA) 5-3
TABLA 5-4 5-4
TABLA 5-5 5-5
TABLA 5-6 5-5
TABLA 5-7 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES (MAREA DE TORMENTA Y VIENTO HURACANADO) 5-6

1 Introducción

Nicaragua 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. La Figura 1-1 y la Figura 1-2 presentan una vista mundial de las trayectorias de eventos huracanados según la información histórica.

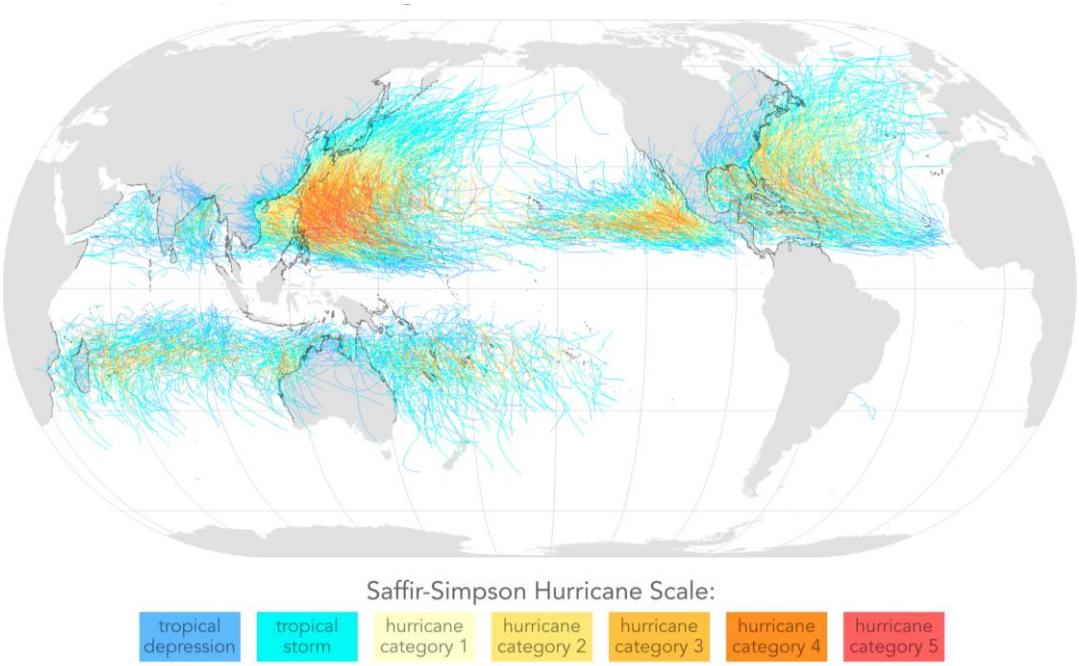

Figura 1-1
Huracanes, trayectorias y magnitud (1945 – 2006)
(Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tropical_cyclones_1945_2006_wikicolor.png)

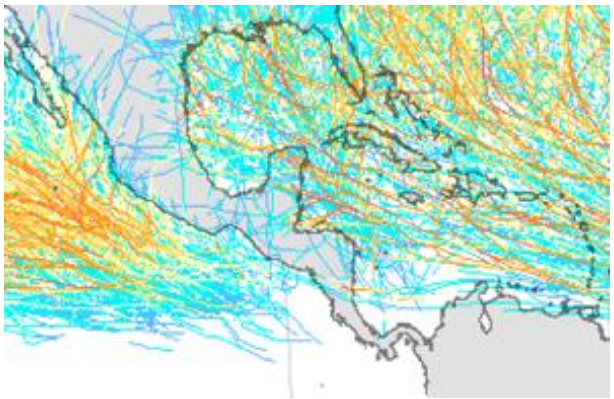

Figura 1-2
Huracanes, trayectorias y magnitud – ampliación Centro América (1945 – 2006)
(Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tropical_cyclones_1945_2006_wikicolor.png)

Bluefields es uno de los centros más activos de la costa Caribe nicaragüense. Las principales actividades productivas giran alrededor de la pesca y la madera, incluyendo entre ellas las actividades industriales y artesanales. El comercio también es una fuente importante de ingresos y generación de empleo. La extensión del área municipal es del orden de 4774 km2 y la población urbana es cercana a los 45,600 habitantes (VIII Censo de población y IV de vivienda - Censo 2005). El municipio está ubicado en la costa Caribe de Nicaragua lo cual lo hace susceptible a sufrir los efectos de huracanes que se generan en la cuenca del Océano Atlántico. La Figura 1-3 presenta la ubicación del municipio en el país.

Figura 1-3
Mapa de Nicaragua
(Fuente: http://www.abc-latina.com/pt/nicaragua/mapa-nicaragua.php)

Figura 1-4
Bahía de Bluefields
(http://www.geoair-internacional.com/Luftbilder/nicaragua%20dos.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 Bluefields ante eventos de huracán, tanto por efectos del viento como por la marea de tormenta y expresar el riesgo en términos de pérdidas económicas anuales esperadas (PAE), pérdidas máximas probables (PML) y afectación directa sobre la población. El análisis se realiza tanto en términos probabilistas como en función de escenarios deterministas correspondientes a huracanes históricos.

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 huracán de Bluefields – Nicaragua 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 huracán de Bluefields incluyó los siguientes aspectos:

(a) Evaluación de la amenaza por viento y por marea de tormenta: éstas se evalúan 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 huracán

La modelación de la 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 1988 el huracán Joan, afecto la región Atlántica, provocando en Nicaragua la evacuación de al menos 310,000 personas, 230,000 damnificados y más de 148 muertos. El monto total de pérdidas supero los $750 millones de US dólares (equivalente al 40% del PIB del país para dicho año). Posteriormente en el año 1996, el huracán Cesar atravesó Nicaragua desde el atlántico al pacífico, dejando 110,000 personas afectadas, 29,000 personas evacuadas, 9 muertos y daños por $50 millones de US dólares. En 1998 el huracán Mitch golpea nuevamente la región Atlántica, dejando a su paso 360,000 damnificados, 3800 muertos y daños hasta por $988 millones de US dólares. Finalmente en el año 2007 el huracán Félix afectó cerca de 40,000 personas, dejo 130 muertos y daños por $46.7 millones de US dólares. En la Tabla 3-1 se presentan los principales huracanes que han afectado el territorio nicaragüense.

Tabla 3-1
Principales huracanes que han afectado el territorio nicaragüense

Nombre	Año	Fecha	Cat. SS	Pérdidas directas ($USD Millones)	Muertos	Desaparecidos	Heridos	Afectados
Abby	1960	10-16 JUL	2					
Hattie	1961	27 OCT- 1 NOV	5					
Anna	1961	20-24 JUL	3					
Alma	1966	4-14 JUN	3					
Ella	1970	8-13 SEP	3					
Edith	1971	5-18 SEP	5		80			4000
Irene	1971	11-20 SEP	1		3			1500
Greta	1978	13-20 SEP	4					
Floyd	1987	9-14 OCT	1					
Joan	1988	10-23 OCT	4	658	121	19		228697
Gordon	1994	8-21 NOV	1					
Cesar	1996	24-28 JUL	1	34159	9	39		100000
Lili	1996	14-29 OCT	3	500	14			2000

Nombre	Año	Fecha	Cat. SS	Pérdidas directas ($USD Millones)	Muertos	Desaparecidos	Heridos	Afectados
Marco	1996	13-26 NOV	1		12			
Mitch	1998	22 OCT-05 NOV	5	562.4	3000			867752
Keith	2000	28 SEP- 6 OCT	4		10			2800
Michelle	2001	29 OCT- 6 NOV	4		6	12		5636
Alma	2002	24 MAY- 1 JUN	3					23000
Isidore	2002	14-27 SEP	3		2			
Felix	2007	04-Sep	5	46.7	130	110		40000

Bluefields por encontrarse ubicada sobre la vertiente al mar Caribe es uno de los centros urbanos más afectados en Nicaragua por huracanes. La Tabla 3-2 resume los eventos que han tenido un impacto directo sobre el municipio y describe brevemente las consecuencias observadas y reportadas.

Tabla 3-2
Registro de daños causados por huracanes en la Región Autónoma del Atlántico Sur (1971-1998)
(http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/Desastres/Huracanes/HURACAN.HTM http://www.helid.desastres.net/)

Año	Fecha	Nombre o Referencia	Categoría SS	Consecuencias
1971	Septiembre	Edith	5	Velocidad de viento: 200 km/h.
1971	Septiembre	Irene	1	Velocidad de viento: 100 km/h aprox. 27 casas (en Bluefields Y San José). Las intensas precipitaciones produjeron inundaciones.
1988	Octubre	Joan	4	4,000 casas dañadas y 10,000 damnificados en la Región del Atlántico Sur (RAAS).
1996	27 Julio	Cesar	1	Pérdidas materiales 349 casas, 33 heridos y 7 familias desaparecidas, y 3,137 damnificados (RAAS).
1998	Octubre	Mitch	5	Velocidad de viento: 290 km/h. 272 mm de precipitaciones. Para el RAAS, 6 muertos, 1 desaparecido, 6,736 damnificados (2.26% de la población total) y 1 centro de salud dañado (U$140,000).

3.2 Evaluación de la amenaza

La amenaza por huracán se evalúa por separado para viento huracanado y para marea de tormenta. 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-T1-3 (Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN2009) y sitio web 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.

3.3 Escenario de análisis

Como escenario determinista se escogió el huracán Joan, el cual tocó territorio nicaragüense el 10 de Octubre de 1988. La Figura 3-1 presenta el mapa de distribución geográfica de la velocidad máxima de viento sobre Bluefields. La Figura 3-2 presenta la altura máxima de oleaje sobre la superficie en metros, también para el mismo escenario seleccionado.

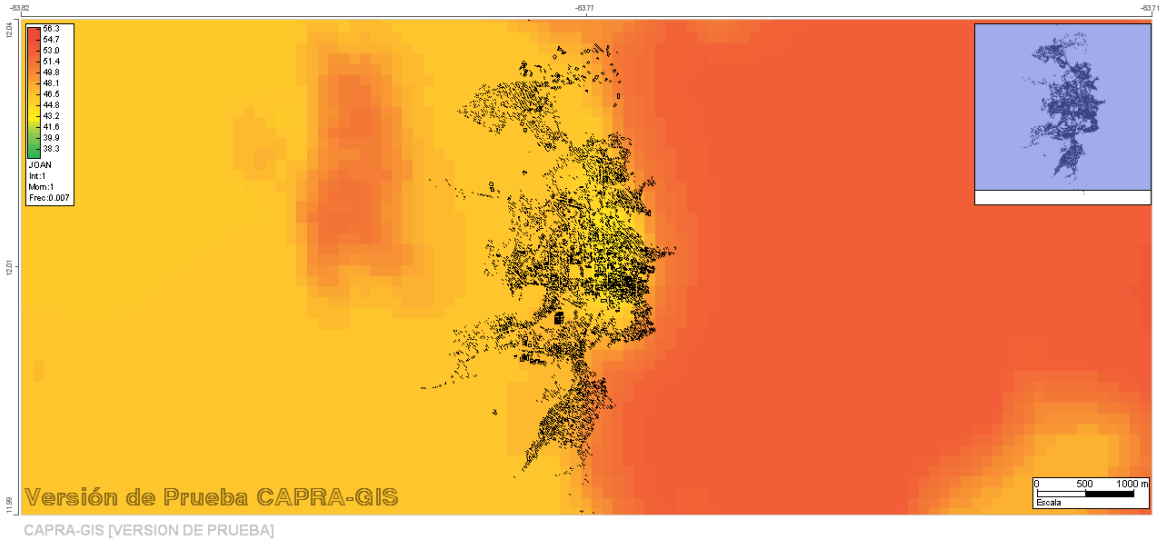

Figura 3-1
Escenario de viento huracanado para Bluefields – Huracán Joan. CAPRA GIS

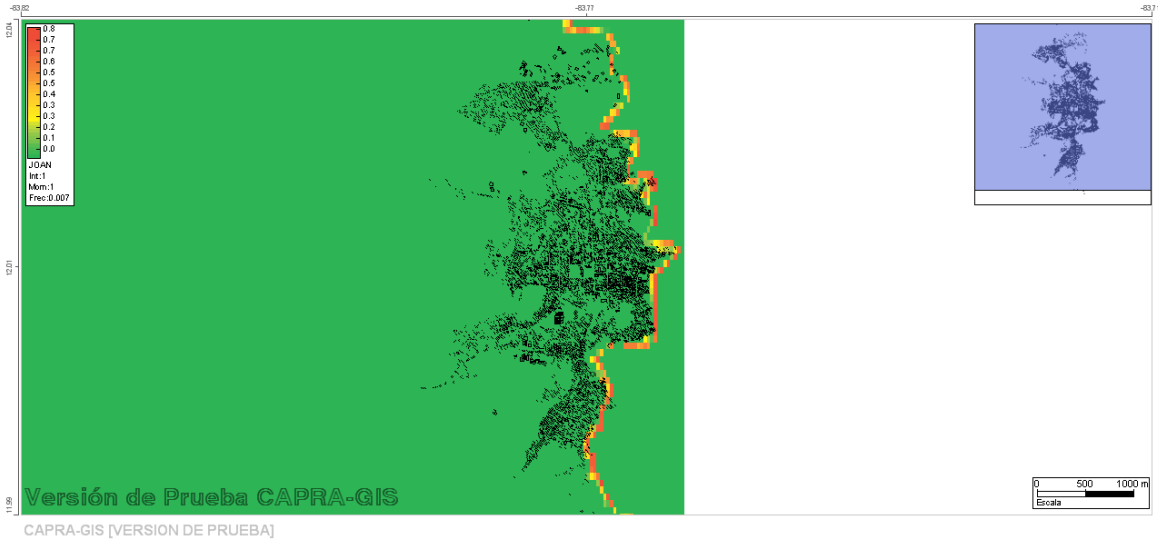

Figura 3-2
Escenario de marea de tormenta para Bluefields – Huracán Joan. CAPRA GIS

3.4 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 69 escenarios de viento huracanado y marea de tormenta, 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 3-3 presenta los mapas de amenaza por huracán, en términos de velocidad máxima de vientos huracanados, para diferentes periodos de retorno.

En la Figura 3-4 presenta resultados del análisis probabilístico de amenaza por viento huracanado para diferentes periodos de retorno. Se presentan resultados del análisis de amenaza en términos de velocidad máxima del viento en kph, para los siguientes periodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.

Finalmente la Figura 3-5 resume los resultados del análisis probabilista de marea de tormenta en términos de altura de aguas máximas con respecto al nivel del terreno para los siguientes periodos de retorno: T= 100, 500 y 1,000 años.

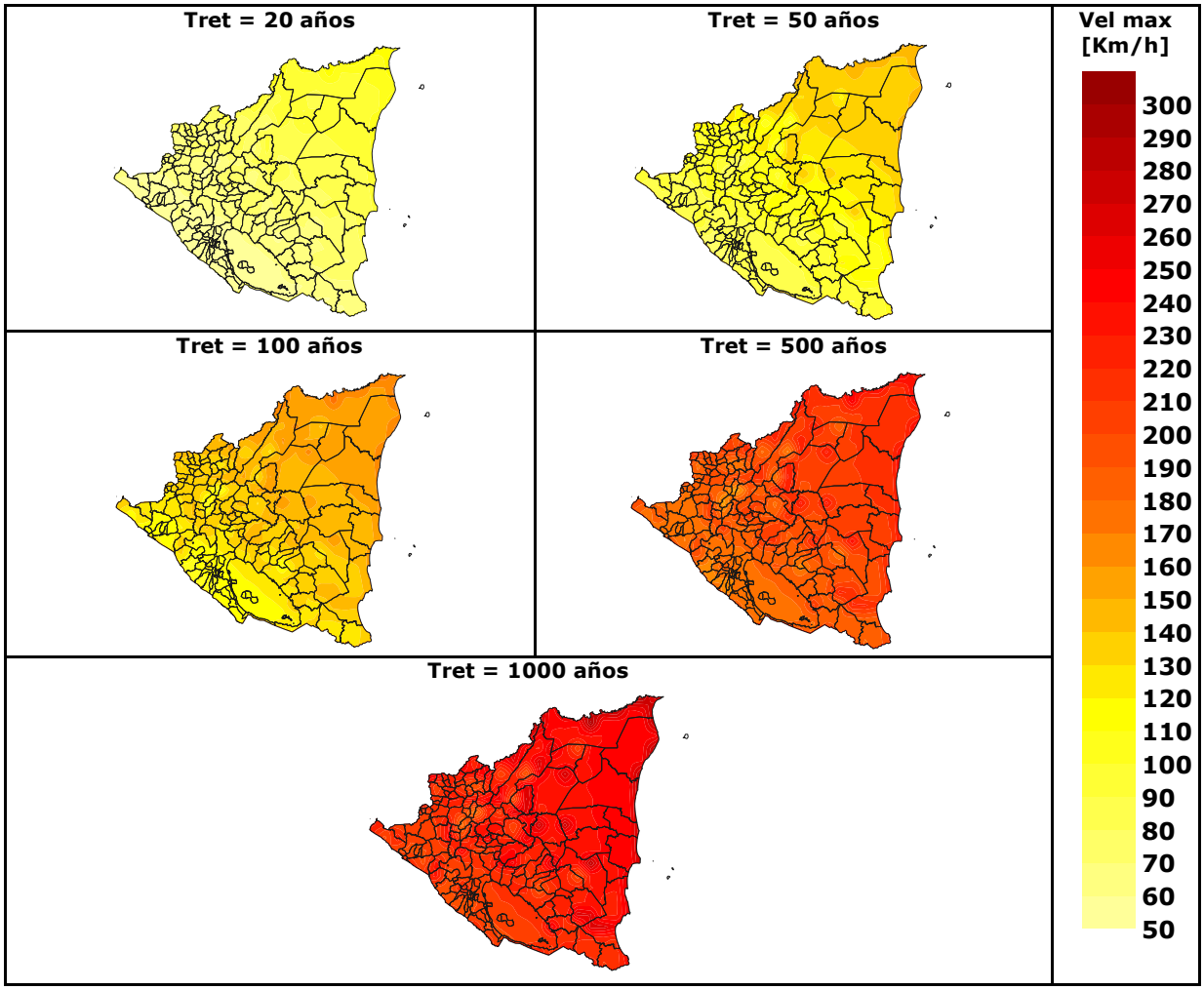

Figura 3-3
Mapas de velocidad máxima del viento [Km/h] para diferentes periodos de retorno

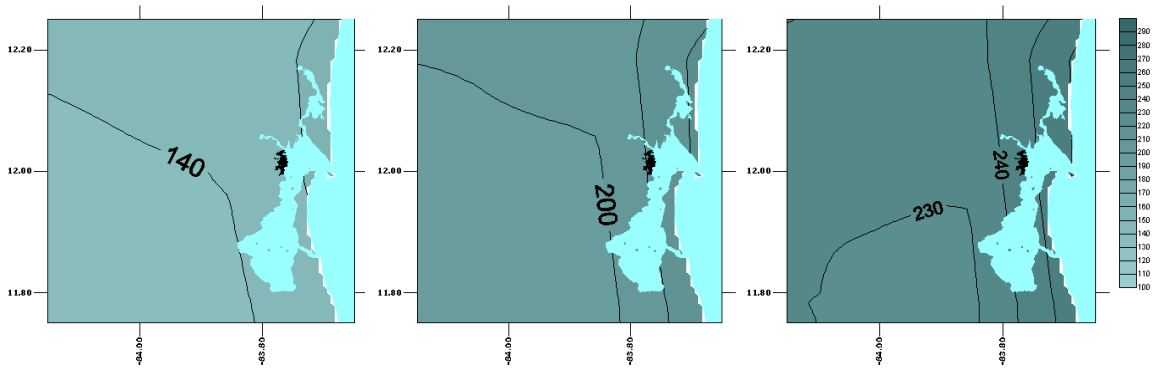

Figura 3-4
Mapa de amenaza probabilística por viento huracando en kph
(De izquierda a derecha: 100, 500 y 1,000 años de periodo de retorno)

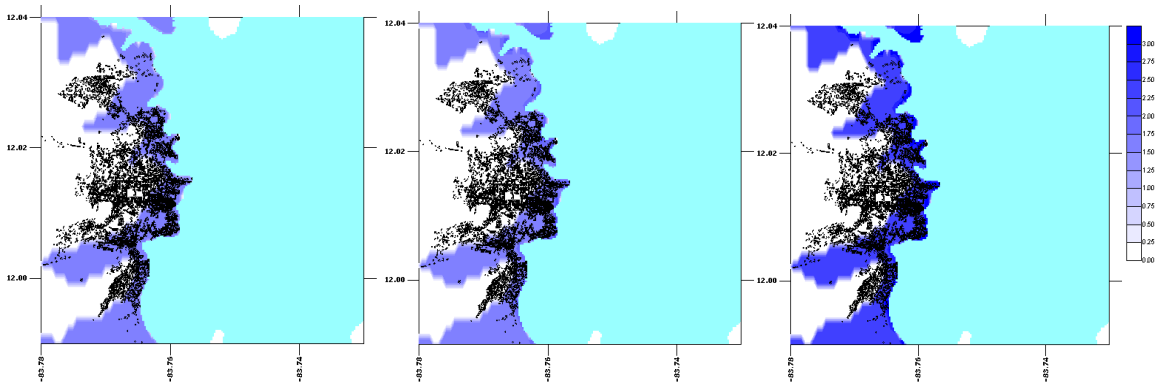

Figura 3-5
Mapa de amenaza probabilística por oleaje de tormenta en metros.
(De izquierda a derecha: Periodo de retorno 100 años, altura máxima del agua 1.70m, Periodo de retorno 500 años, altura máxima 2.30m y
Periodo de retorno 1,000 años, altura máxima 2.70m)

4 Inventario de elementos expuestos

4.1 Levantamiento de la información básica

Para la ciudad de Bluefields, 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 conformar la base de datos de exposición, con base 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).

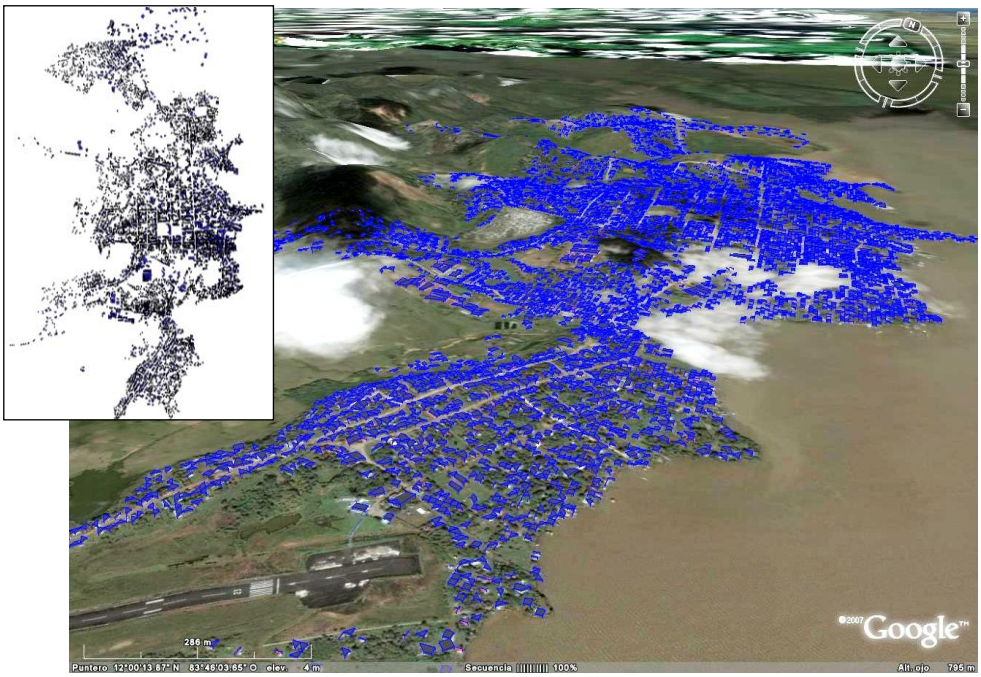

Figura 4-1
Mapa de predios de Bluefields
(Imagen generada con Google Earth. Recuadro: proyección plana)

4.2 Información de exposición de predios

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

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	1,584	42,280,262	13,226
Mampostería Simple	3,229	138,295,226	24,768
Mampostería Reforzada	2,498	101,253,207	15,590
Concreto	53	22,806,559	961
Total	**7,364**	**304,635,254**	**54,545**

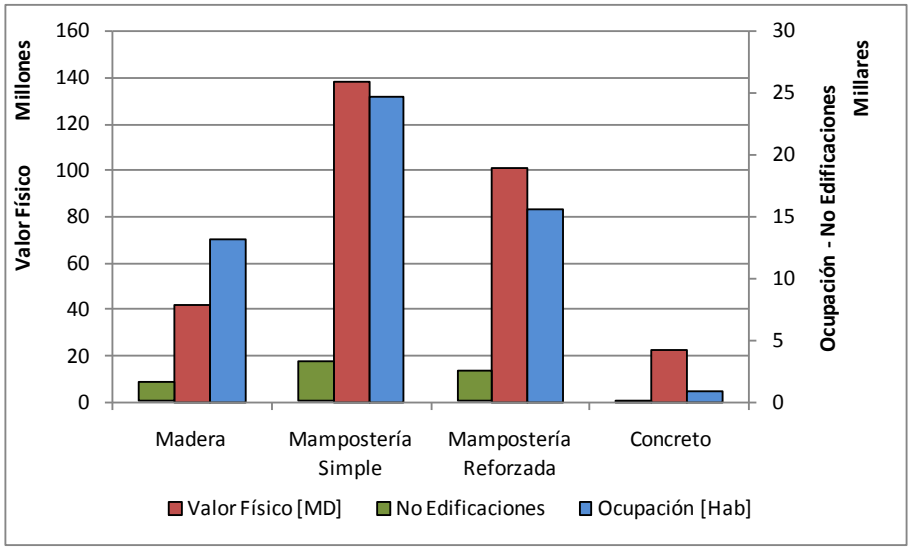

Figura 4-2
Distribución de valores expuestos, ocupación y edificaciones por sistemas estructurales

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	6,397	175,960,490	37,618
2	927	115,653,656	15,545
3	33	10,077,552	993
4	7	2,943,556	389
Total	**7,364**	**304,635,254**	**54,545**

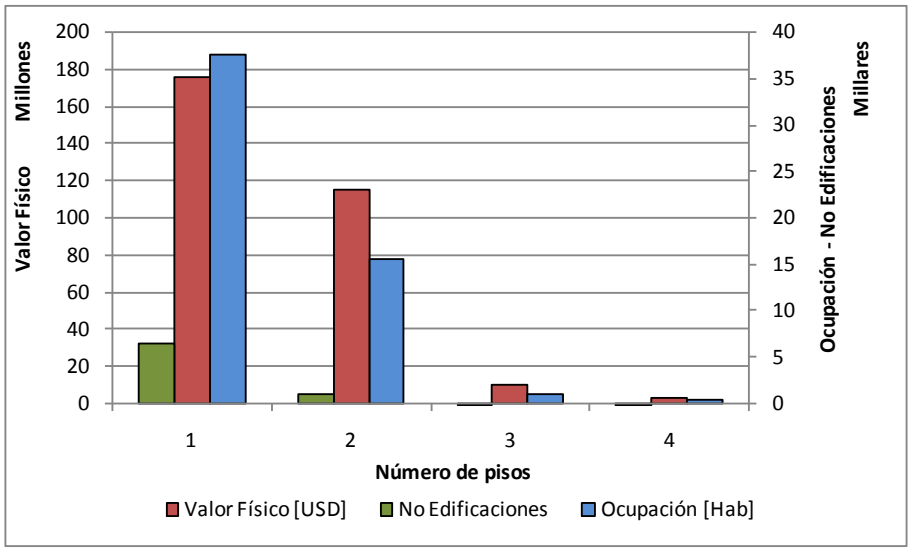

Figura 4-3
Distribución de valores expuestos, edificaciones y ocupación por número de pisos

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 y en la Figura 4-6.

Tabla 4-4
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Material	Curva Viento	Curva Marea	No Pisos	No Edificaciones	Valor Físico [USD]	Ocupación [Hab]
Madera						
Madera1	V_MD2	13	1	1,420	28,388,206	10,398
Madera2+	V_MD2	2	2	164	13,892,056	2,828
Mampostería Simple						
MSimple1	V_MS1	10	1	2,824	79,493,169	17,198
MSimple2+	V_MS1	8	2	405	58,802,057	7,570
Mampostería Reforzada						
MRef1	V_MR1	4	1	2,131	62,586,361	9,893
MRef2	V_MR1	11	2	355	35,290,460	5,272
MRef3	V_MR1	12	3	12	3,376,386	425
Concreto						
PCr1	V_PCR	4	1	22	5,492,754	129
PCr2	V_PCR	5	2	16	9,815,160	232
PCr3	V_PCR	9	3	8	4,555,089	211
PCr4	V_PCR	3	4	7	2,943,556	389
Total				**7,364**	**304,635,254**	**54,545**

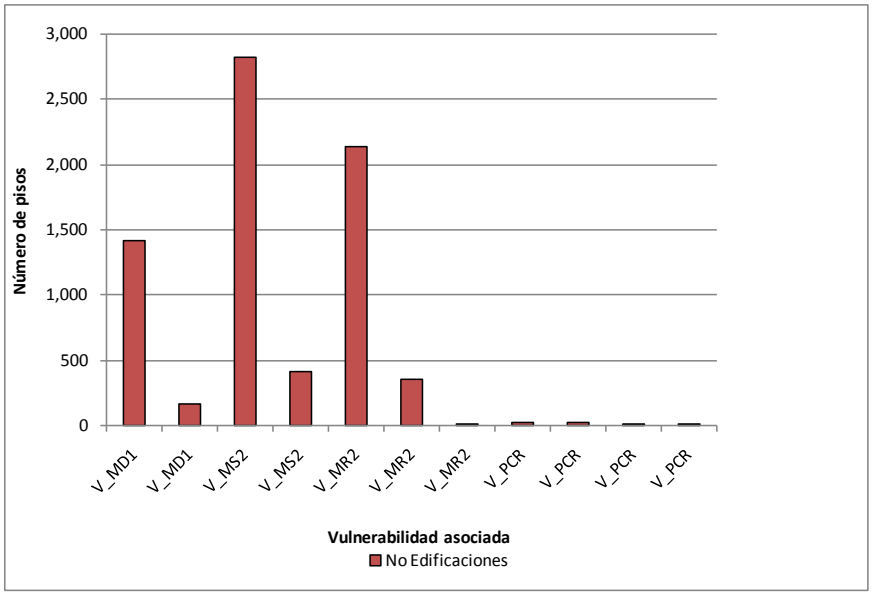

Figura 4-4
Número de edificaciones según de curva de vulnerabilidad

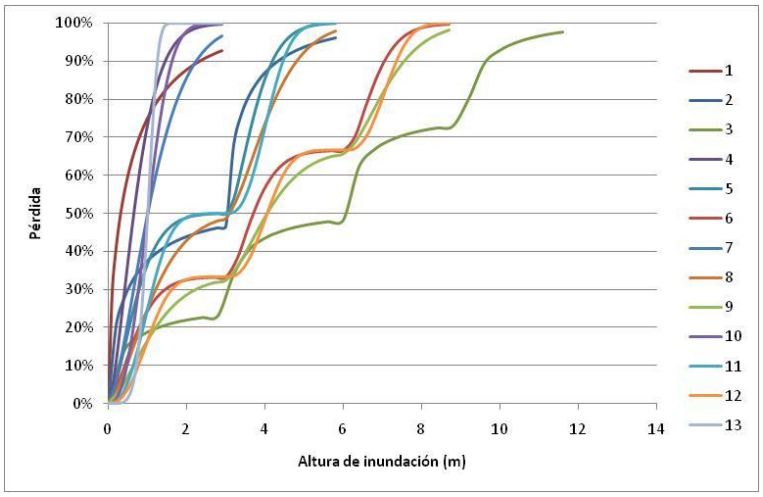

Figura 4-5
Curvas de vulnerabilidad por marea empleadas

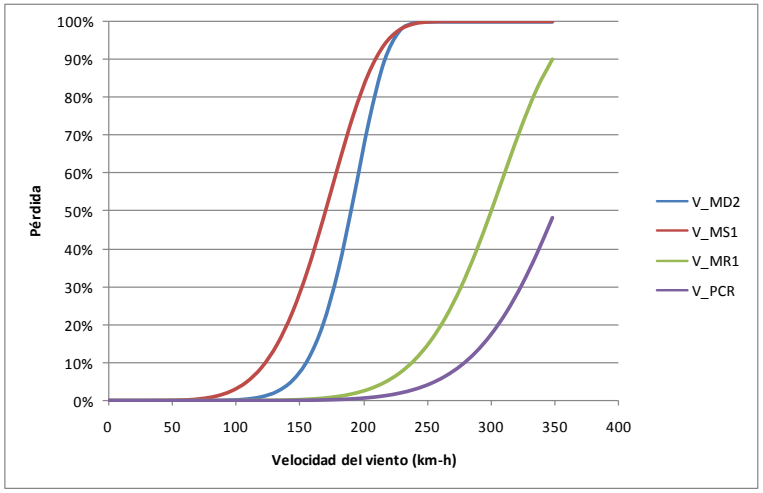

Figura 4-6
Curvas de vulnerabilidad por viento huracanado empleadas

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 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 y humanas.

La Tabla 5-1 resume los resultados encontrados para el escenario seleccionado, tanto para el escenario de viento huracanado, como para el escenario de marea de tormenta. Se presentan pérdidas económicas totales y en porcentaje con respecto al valor expuesto total.

Tabla 5-1
Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida esperada)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida esperada por Viento		Pérdida esperada por marea		Pérdida esperada total	
	[USD]	[%]	[USD]	[%]	[USD]	[%]	[USD]	[%]
Madera	42,280,262	13.9%	1,984,618	4.7%	111,069	0.3%	2,095,687	5.0%
Mampostería Simple	138,295,226	45.4%	10,936,970	7.9%	150,676	0.1%	11,087,646	8.0%
Mampostería Reforzada	101,253,207	33.2%	154,894	0.2%	403,249	0.4%	558,143	0.6%
Concreto	22,806,559	7.5%	8,397	0.0%	0	0.0%	8,397	0.0%
Totales	**304,635,254**	**100%**	**13,084,879**	**4.3%**	**664,993**	**0.2%**	**13,749,873**	**4.5%**

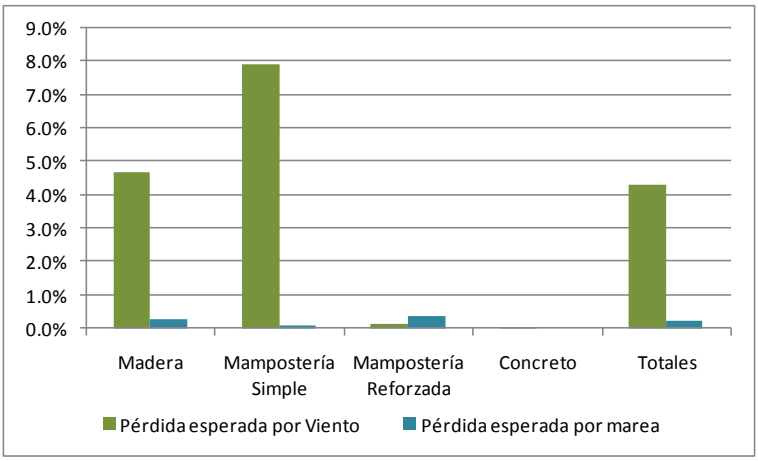

Figura 5-1
Pérdida esperada (como porcentaje del valor expuesto) por sistema estructural

Los anteriores resultados se pueden visualizar mediante mapas que ilustran la distribución geográfica de pérdidas. La Figura 5-2 y la Figura 5-3 presentan la distribución geográfica de pérdidas esperadas en porcentaje y en valor monetario para el viento huracanado y para marea de tormenta.

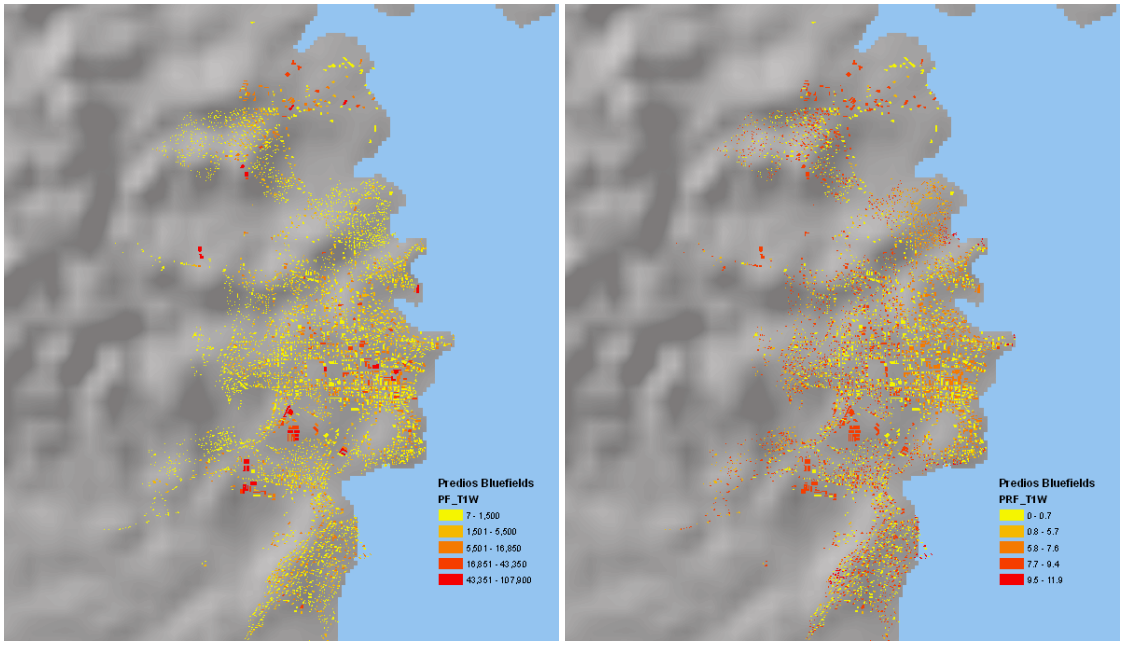

Figura 5-2
Pérdida anual esperada por predio para viento huracanado
(Izquierda: en valor, $USD; derecha: porcentaje del valor expuesto)

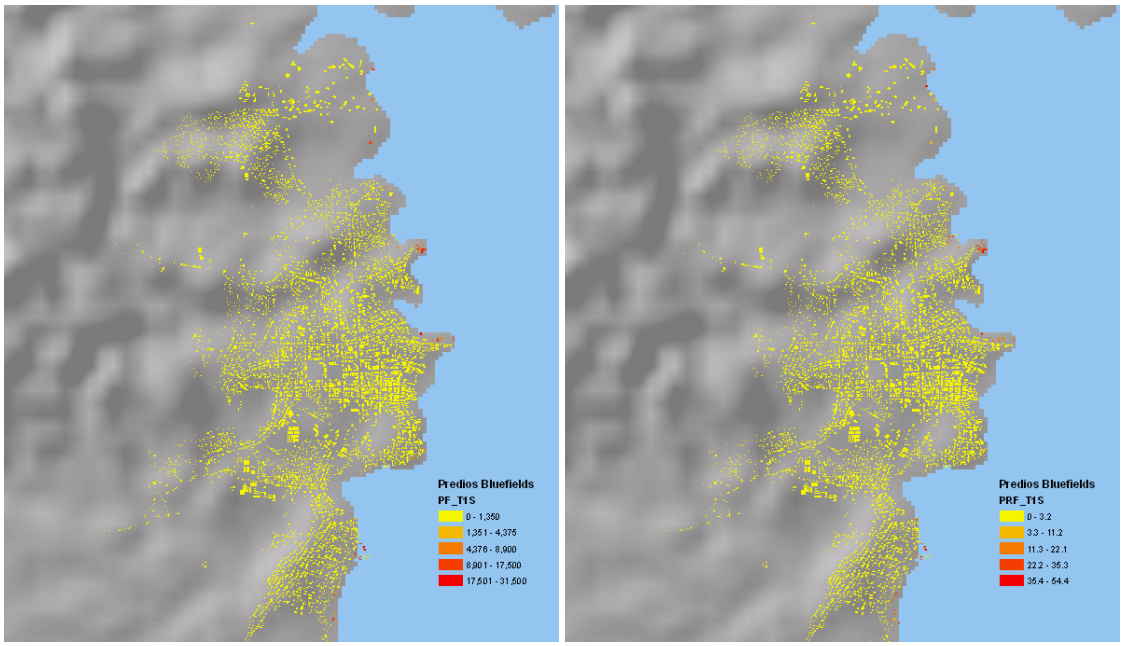

Figura 5-3
Pérdida anual esperada por predio para marea de tormenta
(Izquierda: en valor, $USD; derecha: porcentaje del valor expuesto)

5.2 Análisis probabilista

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por huracán para Bluefields. 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 para Viento huracanado*

Tabla 5-2
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	**USD$ x10^6**	$304.63
Pérdida anual esperada	**USD$ x10^6**	$0.736
	‰	2.4
PML		
Periodo retorno	**Pérdida**	
años	**USD$ x10^6**	**%**
100	$16.71	5.5
250	$28.58	9.4
500	$38.83	12.7
1000	$49.51	16.3

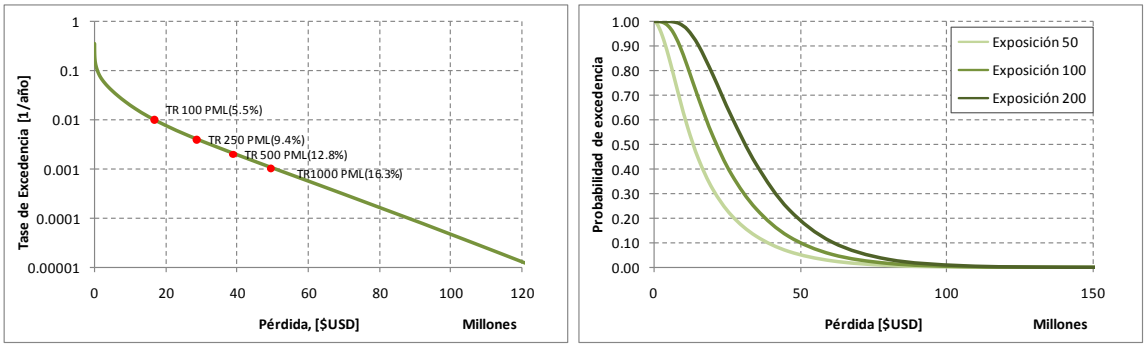

Figura 5-4
Resultados análisis
(Izquierda: Curva de excedencia de pérdidas, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

Tabla 5-3
Resultados por sistema estructural (valores expuestos y pérdida anual esperada)

Sistema	**Valor Expuesto**		**Pérdida Anual Esperada**	
	[USD]	**[%]**	**[USD]**	**[%]**
Madera	42,280,262	13.9%	79,363	1.9 ‰
Mampostería Simple	138,295,226	45.4%	650,544	4.7 ‰
Mampostería Reforzada	101,253,207	33.2%	6,508	0.1 ‰
Concreto	22,806,559	7.5%	342	0.0 ‰
Totales	**304,635,254**	**100%**	**736,757**	2.4 ‰

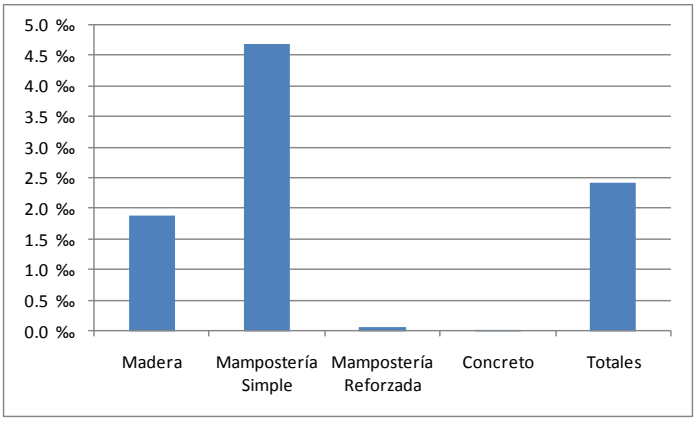

Figura 5-5
Pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural

5.2.2 *Resultados para marea de tormenta*

Tabla 5-4
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	**USD$ x10^6**	$304.63
Pérdida anual esperada	**USD$ x10^6**	$0.079
	‰	0.3
PML		
Periodo retorno	**Pérdida**	
años	**USD$ x10^6**	**%**
100	$0.97	0.4
250	$1.24	0.5
500	$1.33	0.5
1000	$1.52	0.5

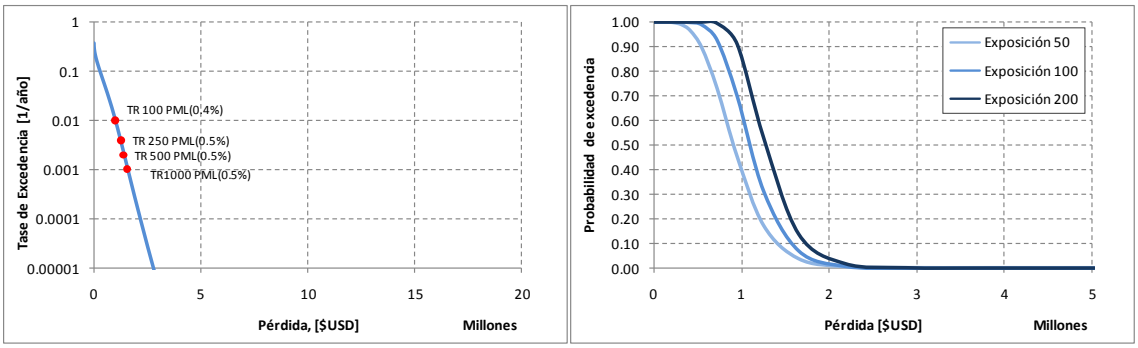

Figura 5-6
Resultados análisis
(Izquierda: Curva de excedencia de pérdidas, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

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

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[USD]	[%]	[USD]	[%]
Madera	42,280,262	13.9%	14,411	0.3 ‰
Mampostería Simple	138,295,226	45.4%	17,602	0.1 ‰
Mampostería Reforzada	101,253,207	33.2%	47,494	0.5 ‰
Concreto	22,806,559	7.5%	0	0.0 ‰
Totales	**304,635,254**	**100%**	**79,507**	0.3 ‰

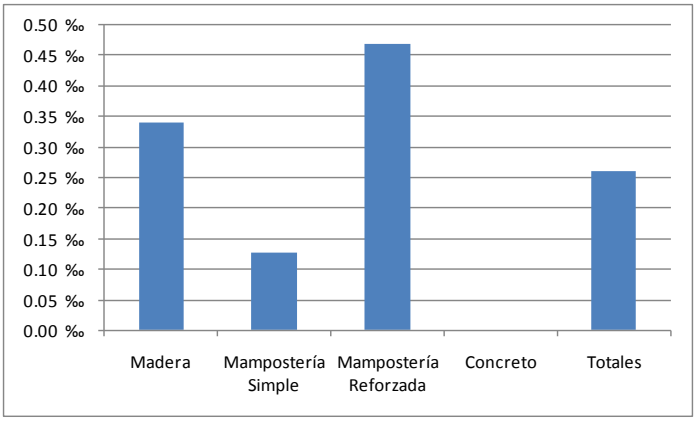

Figura 5-7
Pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural para marea de tormenta

5.2.3 *Resultados generales*

Tabla 5-6
Resultados generales

Resultados		
Valor Expuesto	**USD$ x10^6**	$304.63
Pérdida anual esperada	**USD$ x10^6**	$0.816
	‰	2.7
PML		
Periodo retorno	**Pérdida**	
años	**USD$ x10^6**	**%**
100	$16.7	5.5
250	$28.6	9.4
500	$38.8	12.8
1000	$49.5	16.3

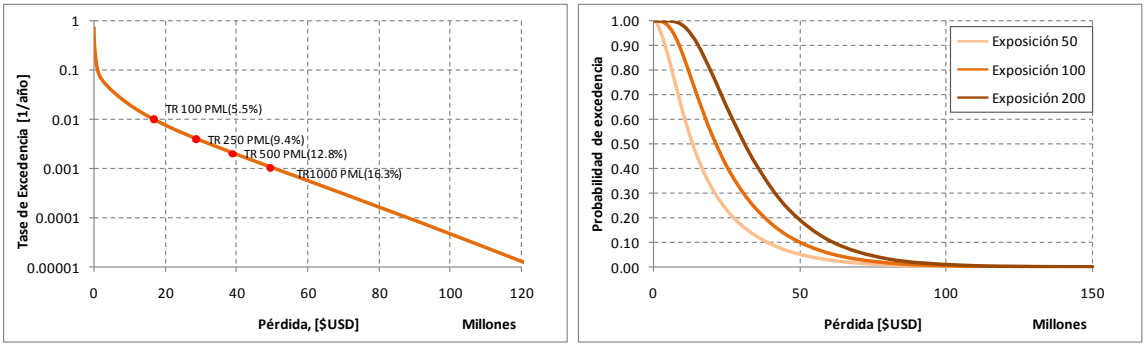

Figura 5-8
Resultados análisis
(Izquierda: Curva de excedencia de pérdidas, Derecha: Probabilidad de excedencia de pérdidas para diferentes periodos de exposición)

Tabla 5-7
Resultados valores expuestos y pérdidas probables (Marea de tormenta y Viento huracanado)

Sistema	Valor Expuesto		Pérdida Anual Esperada	
	[USD]	[%]	[USD]	[%]
Madera	42,280,262	13.9%	93,774	2.2 ‰
Mampostería Simple	138,295,226	45.4%	668,146	4.8 ‰
Mampostería Reforzada	101,253,207	33.2%	54,002	0.5 ‰
Concreto	22,806,559	7.5%	342	0.0 ‰
Totales	**304,635,254**	**100%**	**816,265**	2.7 ‰

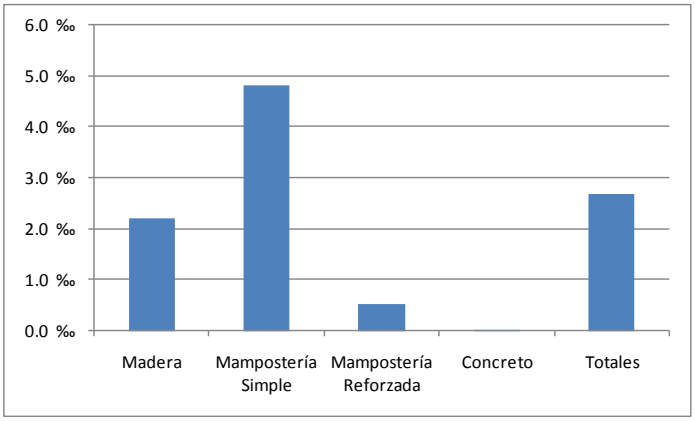

Figura 5-9
Pérdida anual esperada (al millar del valor expuesto) por sistema estructural para Marea de tormenta y Viento huracanado

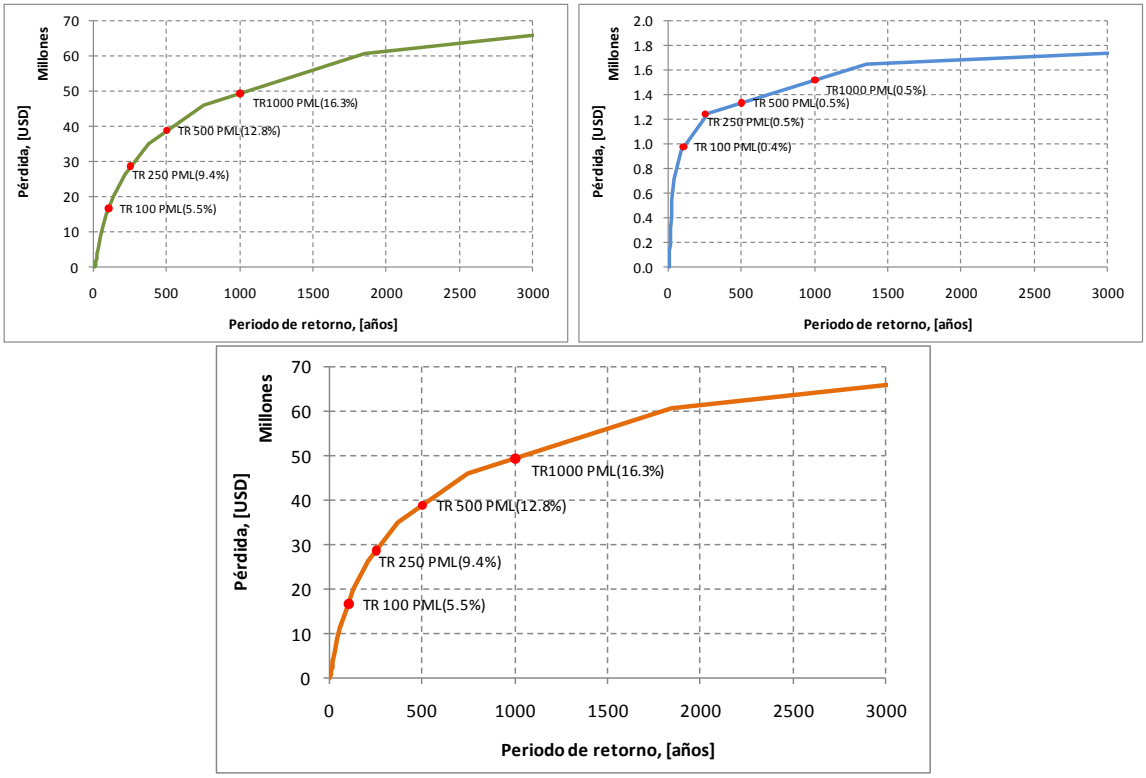

Figura 5-10
Pérdida máxima probable
Arriba: Izquierda viento huracanado, Derecha marea de tormenta
Abajo: Total (Viento huracanado mas marea de tormenta)

5.2.4 *Mapas de riesgo*

La información anterior se puede visualizar mediante mapas de riesgo. La Figura 5-11 presenta la distribución geográfica de la pérdida anual esperada por predio para viento huracanado. Los resultados se presentan al millar del valor expuesto y en valor económico. La Figura 5-12 presentan los resultados equivalentes para marea de tormenta. Finalmente la Figura 5-13 presentan las figuras correspondientes a las pérdidas agrupadas para viento huracanado y marea de tormenta.

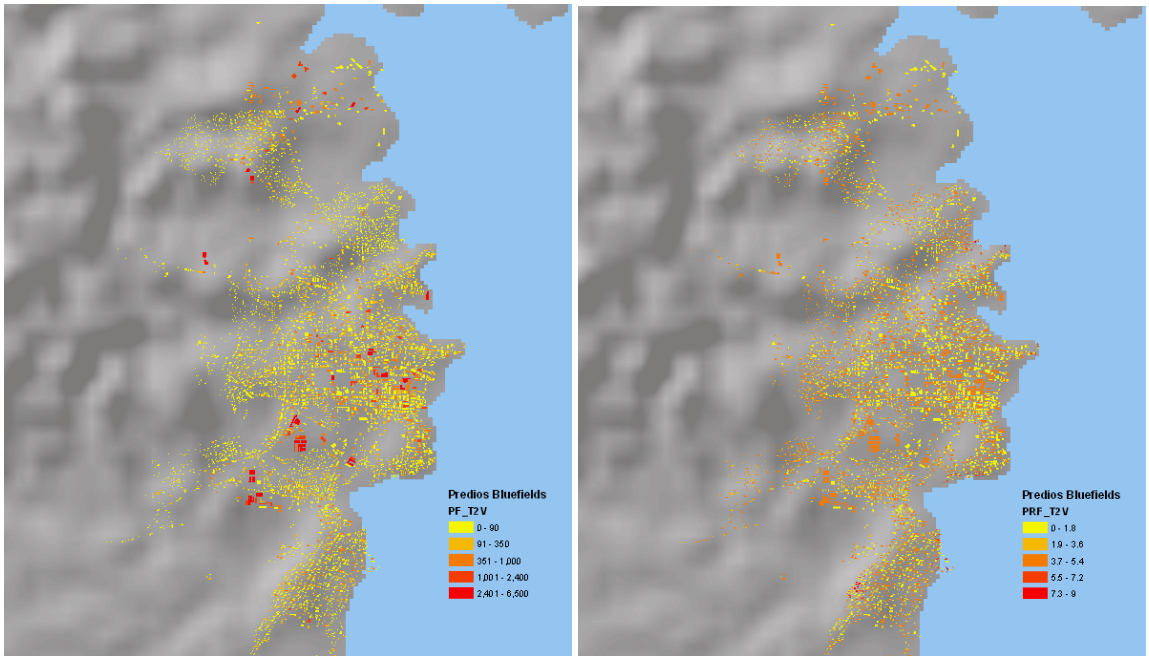

Figura 5-11
Pérdida anual esperada por predio para viento huracanado
(Izquierda: en valor, $USD; derecha: al millar del valor expuesto)

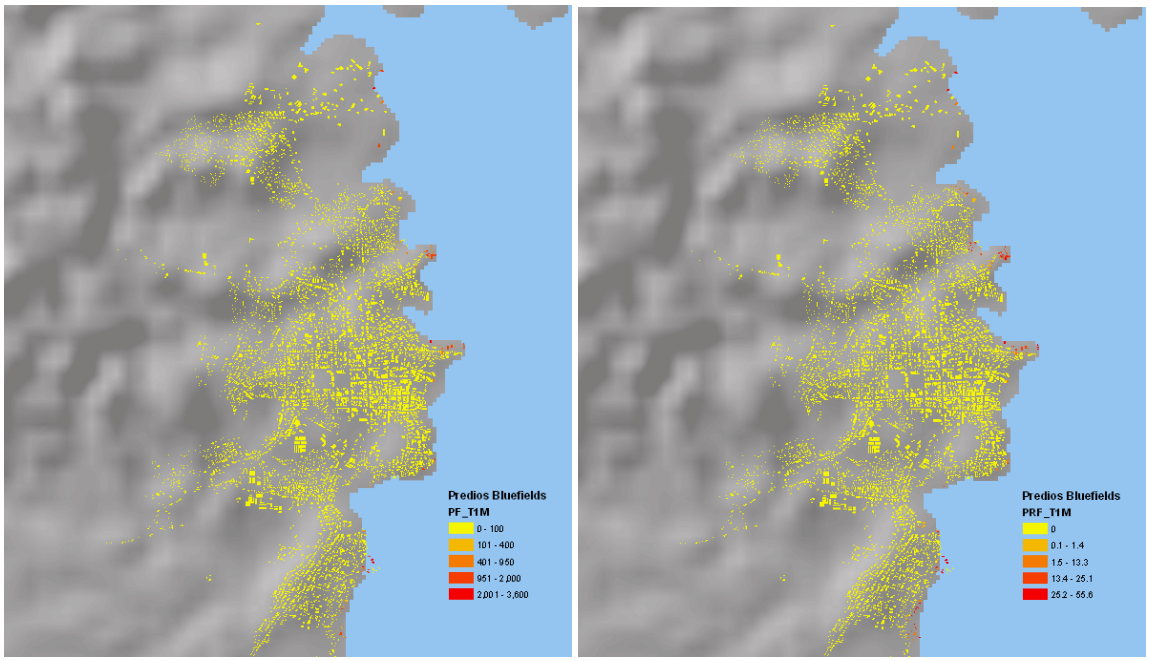

Figura 5-12
Pérdida anual esperada por predio para marea de tormenta
(Izquierda: en valor, $USD; derecha: al millar del valor expuesto)

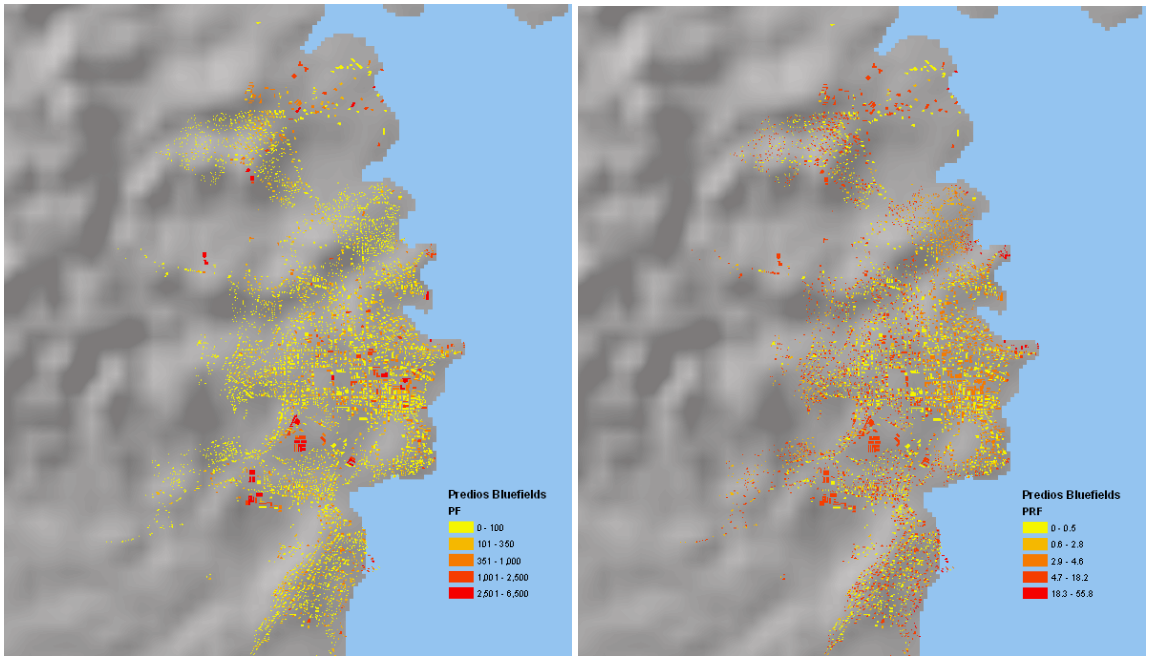

Figura 5-13
Pérdida anual esperada por predio
(Izquierda: en valor, $USD; derecha: al millar del valor expuesto)

6 Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de riesgo por huracán presentado para la ciudad de Bluefields – Nicaragua 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 sebe 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 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.

(b) Información de amenaza por marea de tormenta: 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.

(c) Información de exposición: debe recurrirse a la base catastral de la población. El modelo utilizado en el presente análisis solo sirve con propósitos ilustrativos e indicativos de valores globales a esperar. Para efectos de resultados para toma de decisiones debe contarse con la base catastral de la ciudad y con índices oficiales de ocupación y costos. Alternativamente deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.

(d) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan en el mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.

(e) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones debe realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

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

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

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

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

(a) Identificación de infraestructura crítica para la ciudad en términos de peligrosidad, valor expuesto, ocupación humana y otros criterios. Esto con el fin de priorizar inversión pública en recuperación o modernización de elementos claves para el desarrollo.

(b) Evaluación del riesgo por sectores incluyendo residencial, industrial, comercial, salud, educación, públicos y otros.

(c) Requerimientos de reforzamiento de activos públicos, especialmente edificaciones indispensables y de atención a la comunidad.

(d) Estimación del riesgo de activos privados para estratos bajos, medios y altos con fines de protección financiera y concientización del riesgo.

(e) Análisis de vulnerabilidad y requerimiento de reforzamiento para mitigación de impactos de los sistemas de servicios públicos que puedan verse afectados por los fenómenos que se analizan.

(f) Requerimientos especiales para los planes de ordenamiento territorial, definición de zonas de alto riesgo, restricciones susceptibles de inundación o deslizamiento, reubicación de vivienda so edificaciones indispensables y otras.

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

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

(b) Seguridad: requerimientos de seguridad en los instantes y días posteriores al evento en cuanto a organización policial y del ejercito. 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

20 años de huracanes y las lecciones no aprendidas en Nicaragua, Oguer Reyes Guido. El Nuevo Diario, Managua - Nicaragua. http://impreso.elnuevodiario.com.ni/2007/09/14/opinion/58891

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

Hurricane Felix, Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Felix

Hurricane Joan, Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Joan

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

INIDE, Instituto Nacional de Información de Desarrollo. Censo de población Nicaragua 2005. www.inide.gob.ni/censos2005/CifrasCompleto.pdf

Instituto Nicaragüense de fomento municipal. http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/ATLANTICO%20SUR/bluefields.pdf

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/