

NICARAGUA

TOMO I METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-8 ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES PRIMORDIALES DE MANAGUA



CEPREDENAC



opportunities for all



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

Consortio conformado por:

Colombia

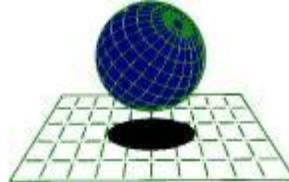
Carrera 19A # 84-14 Of 504
Edificio Torrenova
Tel. 57-1-691-6113
Fax 57-1-691-6102
Bogotá, D.C.



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.



ERN Ingenieros Consultores, S. C.

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

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

Omar Darío Cardona A.
Dirección General del Proyecto

Luis Eduardo Yamín L.
Dirección Técnica ERN (COL)

Gabriel Andrés Bernal G.
Coordinación General ERN (COL)

Mario Gustavo Ordaz S.
Dirección Técnica ERN (MEX)

Eduardo Reinoso A.
Coordinación General ERN (MEX)

Alex Horia Barbat B.
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

Martha Liliana Carreño T.
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

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 sismo.....	3-1
3.1	Aspectos generales.....	3-1
3.2	Resultados de la amenaza sísmica.....	3-1
3.2.1	Participación de fuentes en la amenaza.....	3-1
3.2.2	Amenaza sísmica en terreno firme a nivel regional.....	3-4
3.2.3	Eventos estocásticos para el análisis de amenaza.....	3-7
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
4.2.1	Escuelas y colegios.....	4-2
4.2.2	Hospitales y centros de salud.....	4-3
4.2.3	Tanques almacenamiento agua potable.....	4-4
4.3	Información de vulnerabilidad.....	4-5
5	Resultados de la Evaluación.....	5-1
5.1	Escuelas y colegios.....	5-1
5.2	Hospitales y centros de salud.....	5-2
5.3	Tanques almacenamiento de agua.....	5-3
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	6-1
7	Referencias.....	7-1

Índice de figuras

FIGURA 3-1 TASAS DE EXCEDENCIA DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA MANAGUA	3-2
FIGURA 3-2 PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS EN LA AMENAZA DE MANAGUA, PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO.....	3-2
FIGURA 3-3 ESPECTROS DE AMENAZA UNIFORME PARA DIFERENTES INTENSIDADES SÍSMICAS. A: ACELERACIÓN [CM/S ²], B: VELOCIDAD [CM/S], C: DESPLAZAMIENTO [CM].....	3-3
FIGURA 3-4 MAPAS DE ACELERACIÓN ESPECTRAL [CM/S ²] A NIVEL DE TERRENO FIRME. (TRET = 500 AÑOS)	3-5
FIGURA 3-5 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S ²] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. (NÓTESE COMO LOS VALORES DE ACELERACIÓN AUMENTAN A MEDIDA QUE AUMENTA EL PERIODO DE RETORNO, LO QUE INDICA QUE EXISTE UNA MENOR PROBABILIDAD QUE DICHOS VALORES SE VEAN IGUALADOS O EXCEDIDOS EN UNA VENTANA DE TIEMPO ARBITRARIA)	3-6
FIGURA 3-6 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA UN SISMO DE MAGNITUD 6.8 OCURRIENDO EN LA A NIVEL CORTICAL EN CERCANÍAS A LA CIUDAD DE MANAGUA. 3-7	
FIGURA 3-7 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO PARA UN SISMO DE MAGNITUD 7.6 OCURRIENDO EN LA ZONA DE SUBDUCCIÓN DEL PACÍFICO NICARAGÜENSE	3-8
FIGURA 4-1 MAPA DE PREDIOS DE MANAGUA	4-1
FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN Y POR COMPONENTE.....	4-2
FIGURA 4-3 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS, Y NÚMERO DE CAMAS DISPONIBLES	4-3
FIGURA 4-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	4-4
FIGURA 4-5 CURVAS DE VULNERABILIDAD ESTADO ACTUAL	4-5
FIGURA 4-6 CURVAS DE VULNERABILIDAD ESTADO REHABILITADO.....	4-6
FIGURA 5-1 CURVA PML PARA LOS ESTADOS ACTUAL Y REHABILITADO	5-1
FIGURA 5-2 CURVA PML PARA LOS ESTADOS ACTUAL Y REHABILITADO	5-2
FIGURA 5-3 CURVA PML PARA LOS ESTADOS ACTUAL Y REHABILITADO	5-3

Índice de tablas

TABLA 4-1 VALORES EXPUESTOS Y OCUPACIÓN POR COMPONENTE.....	4-2
TABLA 4-2 VALORES EXPUESTOS Y NÚMERO DE CAMAS	4-3
TABLA 4-3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES ASIGNADOS.....	4-3
TABLA 4-4 VALORES EXPUESTOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	4-4
TABLA 4-5 CURVAS DE VULNERABILIDAD EMPLEADAS.....	4-5
TABLA 4-6 COSTO OBRAS DE INTERVENCIÓN PARA REHABILITACIÓN SÍSMICA.....	4-6
TABLA 4-7 COSTO TOTAL DE OBRAS DE INTERVENCIÓN PARA REHABILITACIÓN SÍSMICA, POR GRUPOS....	4-6
TABLA 5-1 RESULTADOS ANÁLISIS PARA ESTADO ACTUAL Y REHABILITADO	5-1
TABLA 5-2 RESULTADOS ANÁLISIS PARA EL ESTADO ACTUAL Y REHABILITADO	5-2
TABLA 5-3 RESULTADOS ANÁLISIS PARA EL ESTADO ACTUAL Y REHABILITADO	5-3

1 Introducción

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel regional es la evaluación del riesgo de catástrofe, o de eventos extremos, para lo cual es necesario aplicar metodologías confiables que permitan una adecuada estimación y cuantificación del potencial de pérdidas en un tiempo de exposición determinado. No obstante, aunque se han desarrollado a nivel internacional diversas metodologías para la evaluación detallada del riesgo para diferentes tipos de amenazas naturales, pocas metodologías permiten realizar un análisis a nivel regional por dos razones principales: primero, la falta de información detallada que permita caracterizar y tipificar activos para conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de su respectiva convolución.

Para alcanzar, entonces, el objetivo general de identificar y cuantificar el riesgo de catástrofe de una región, es necesario utilizar e incluso desarrollar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa, y en lo posible detallada, la exposición de los bienes de infraestructura –teniendo en cuenta sus principales características–, que permita tener en cuenta la vulnerabilidad específica de cada componente de dicha infraestructura y que finalmente permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado que tenga en cuenta las incertidumbres propias de un proceso de este tipo y las inevitables limitaciones en la información.

En la mayoría de los casos es necesario utilizar ciertos enfoques o criterios de simplificación y agregación de información, debido a la ausencia de datos o a la inherente baja resolución de la información. Esta circunstancia en ocasiones significa sacrificar algunas características técnico-científicas o econométricas, como la exactitud y la completitud, consideradas en general como deseables e incluso como ineludibles cuando de riesgo se trata.

Este informe presenta la evaluación del riesgo catastrófico por sismo para algunas edificaciones indispensables para la ciudad de Managua, Nicaragua, teniendo en cuenta que estos fenómenos naturales son los que mayor amenaza representan para la región. La metodología probabilista utilizada es considerada la más robusta para este tipo de modelación e identifica los aspectos más importantes del riesgo de catástrofe con fines de protección financiera de acuerdo con la responsabilidad fiscal del Estado. Adicionalmente, los resultados del análisis pueden ser de especial utilidad para orientar las prioridades del gobierno regional en materia de gestión del riesgo de desastres en general. Los fundamentos metodológicos y técnicos de esta evaluación del riesgo corresponden a los modelos realizados por este grupo consultor en el marco de la plataforma ERN-CAPRA - *Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment*, de arquitectura abierta, desarrollada con apoyo del BID, el Banco Mundial y la Estrategia Internacional de

Reducción de Desastres de Naciones Unidas. Detalles del modelo y su aplicación se encuentran en www.ecapra.org.

Este informe aporta insumos relevantes para la formulación y actualización de la estrategia de protección financiera de la región frente al riesgo de catástrofe. En conjunto con el informe que se entrega posteriormente, ERN-CAPRA-T2-17 “*Análisis Beneficio Costo De La Mitigación Del Riesgo Sísmico En Edificaciones Primordiales De Managua*”, el gobierno regional puede tener un orden de magnitud de los pasivos contingentes por desastres extremos y priorizar alternativas factibles de inversión para reducir la responsabilidad fiscal.

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 sísmico para la ciudad de Managua – 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 sismo para Managua - Nicaragua incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza: ésta se evalúa mediante un análisis probabilístico el cual permite obtener resultados de pérdidas máximas probables y pérdidas anuales esperadas para cada uno de los bienes y para el portafolio en general.
 - (b) Inventario de bienes expuestos: dado que no fue posible contar con la información de características estructurales (número de pisos, materiales, tipo de cubierta, etc), costos de reposición, áreas construidas de los bienes objeto de este análisis, se recurrió a la información existente (localización y capacidad) para indagar sobre las características necesarias para un análisis de este tipo.
 - (c) Funciones de vulnerabilidad: por las razones descritas en el punto anterior, los diferentes tipos constructivos asignados a los componentes fueron inducidos con base en información tomada de fotos satelitales como el área, capacidad de las edificaciones (número de camas, capacidad de alumnos) ó a partir de modelos de caracterización global de vulnerabilidad de la ciudad. En general estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado de cada componente en 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 el documento ERN-CAPRA-T1-5 - Vulnerabilidad de Edificaciones e Infraestructura.
- Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante la convolución de la amenaza considerada 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 uno de los componentes expuestos para la totalidad de escenarios. La valoración del riesgo se presenta en términos de; las pérdidas económicas máximas probables para el grupo de edificaciones; y la pérdida anual esperada para el grupo y cada edificación.

3 Amenaza por sismo

3.1 Aspectos generales

La forma clásica de representar la amenaza sísmica es mediante tasas de excedencia de intensidades determinadas. También puede representarse mediante mapas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del terreno para diferentes períodos de retorno o para determinados escenarios sísmicos específicos. Conocida la demanda sísmica sobre cada uno de los elementos que conforman el inventario de activos del país, es posible estimar la respuesta de los mismos frente a la acción sísmica potencial y evaluar sus efectos, daños o pérdidas económicas probables.

La amenaza sísmica de Nicaragua se calcula empleando como referencia los parámetros de sismicidad y el modelo de fuentes del proyecto regional RESIS II – Evaluación de la Amenaza sísmica en Centroamérica, 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.

A partir de la revisión del modelo de amenaza sísmica anteriormente referido, se desarrolló un modelo de amenaza sísmica nacional, basado en la teoría sismológica clásica, que permite estimar la probabilidad de excedencia de intensidades relevantes en el comportamiento de estructuras, para diferentes periodos de exposición.

La amenaza sísmica fue calculada usando el Módulo de Amenazas del **ERN-CAPRA**. Detalles del modelo se presentan en: <http://www.ecapra.org/es/> (wiki – amenazas)

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).

3.2 Resultados de la amenaza sísmica

3.2.1 Participación de fuentes en la amenaza

La evaluación de la amenaza sísmica en un punto representativo del país indica la participación de las fuentes sismogénicas más cercanas. La Figura 3-1 presenta la participación relativa en términos de las tasas de excedencia de cada una de las fuentes sismogénicas principales y la amenaza global dada por la integración de las amenazas de las fuentes, en este caso específico para Managua.

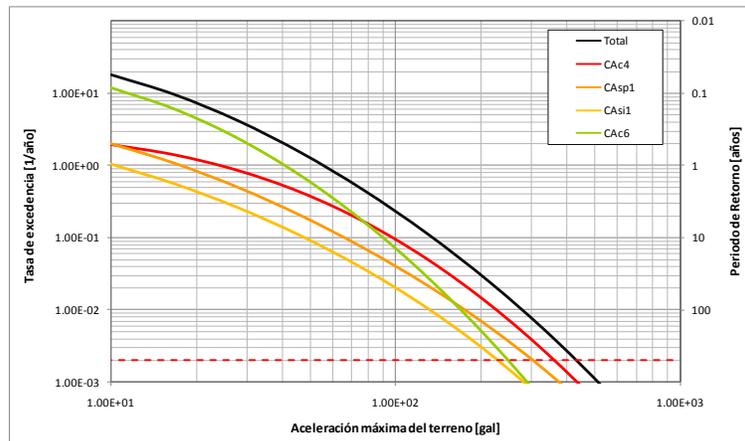


Figura 3-1
Tasas de excedencia de aceleración máxima del terreno para Managua

Si sobre la Figura 3-1 se establece una tasa de excedencia para un estado de funcionalidad determinado es posible trazar líneas horizontales que interceptan a las curvas de las tasas de las diferentes fuentes que aportan amenaza a la región. Por ejemplo, al establecer un periodo de retorno de 500 años (tasa de 0.002/año) resulta posible encontrar los puntos de aceleración máxima de cada fuente sobre la zona de estudio. Además siguiendo la teoría clásica de amenaza sísmica es posible calcular la amenaza total de la contribución de todas las fuentes (ver Figura 3-2). Para un período de retorno de 500 años se obtiene una aceleración máxima probable en terreno firme del orden del 45% de la aceleración de la gravedad (450 gal).

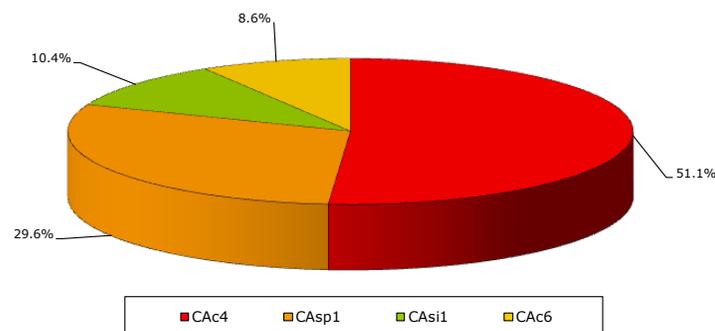


Figura 3-2
Porcentaje de participación de fuentes sísmicas en la amenaza de Managua, para 500 años de periodo de retorno
(Nótese que la Fuente CAc4, de tipo cortical, aporta cerca del 52% de la amenaza de la ciudad)

Extendiendo el procedimiento mencionado para diferentes ordenadas espectrales es posible construir espectros de amenaza uniforme que tienen la característica que todos los valores de intensidad sísmica calculados tienen la misma probabilidad de excedencia. En la Figura 3-3 se presentan espectros de peligro uniforme de aceleración, velocidad y desplazamiento espectral en terreno firme, para un punto ubicado en la zona de estudio.

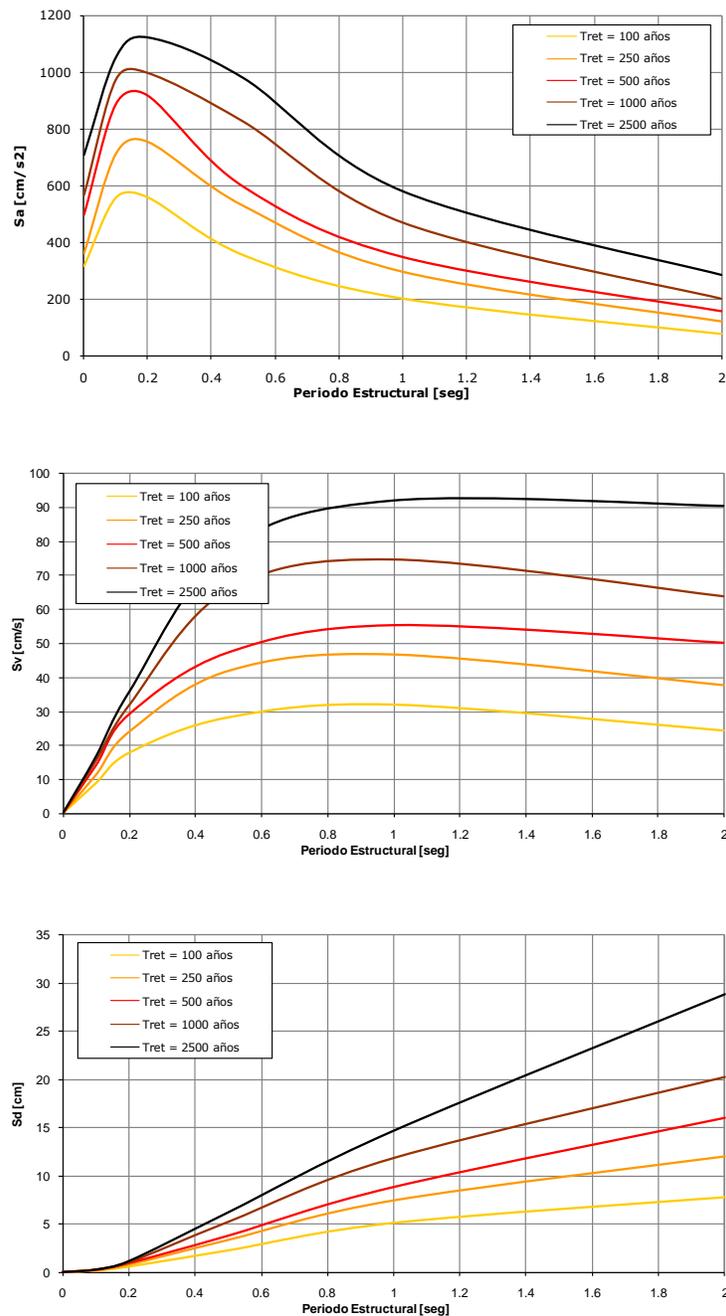


Figura 3-3

Espectros de amenaza uniforme para diferentes intensidades sísmicas. A: Aceleración [cm/s²], B: velocidad [cm/s], C: desplazamiento [cm]

(Los espectros de amenaza uniforme mostrados representan los niveles máximos de aceleración (A), velocidad (B) y desplazamiento (C), sentidos por estructuras con diferente periodo estructural)

3.2.2 Amenaza sísmica en terreno firme a nivel regional

En este numeral se presentan los resultados de amenaza sísmica en terreno firme para todo el país considerando la totalidad de las fuentes sísmicas.

La Figura 3-4 presenta los mapas de amenaza sísmica en términos de aceleración espectral para 500 años de período de retorno, para algunos periodos estructurales escogidos. En la Figura 3-5 se presentan los mapas para aceleración máxima del terreno para diferentes periodos de retorno (Tret).

Los mapas de amenaza que se presentan corresponden a la respuesta esperada en las formaciones geológicas del basamento rocoso, con velocidades de onda de cortante en el orden de 800 m/seg o más. Al llegar a estos estratos y para las zonas en que existan depósitos de suelo blando de espesor considerable, la onda sísmica se propagará dentro del subsuelo superficial generalmente menos rígido, hasta alcanzar la cimentación de las estructuras o simplemente el nivel del terreno.

Para efectos de esta evaluación se trabaja de manera directa con los parámetros de amenaza obtenidos a nivel de terreno firme y no se incluyen efectos de respuesta sísmica local por depósitos de suelos específicos en las diferentes ubicaciones.

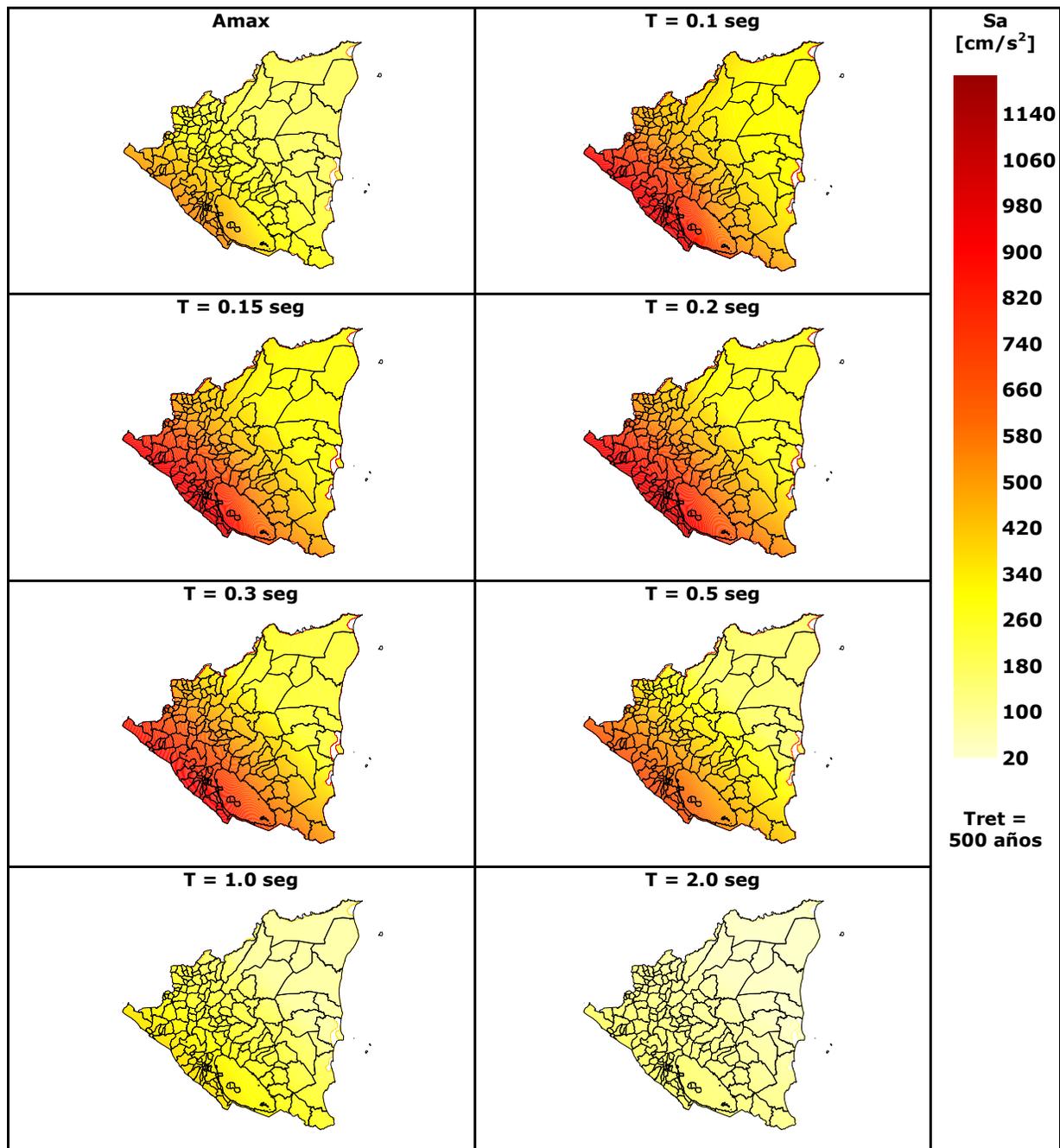


Figura 3-4
Mapas de aceleración espectral [cm/s²] a nivel de terreno firme.
(Tret = 500 años)

La amenaza del país se concentra hacia el oeste, en cercanías a la zona de subducción del Pacífico. Nótese como el valor de aceleración aumenta para diferentes periodos estructurales, alcanzando valores máximos en periodos relativamente cortos, representativos de edificaciones de entre 1 y 5 pisos)

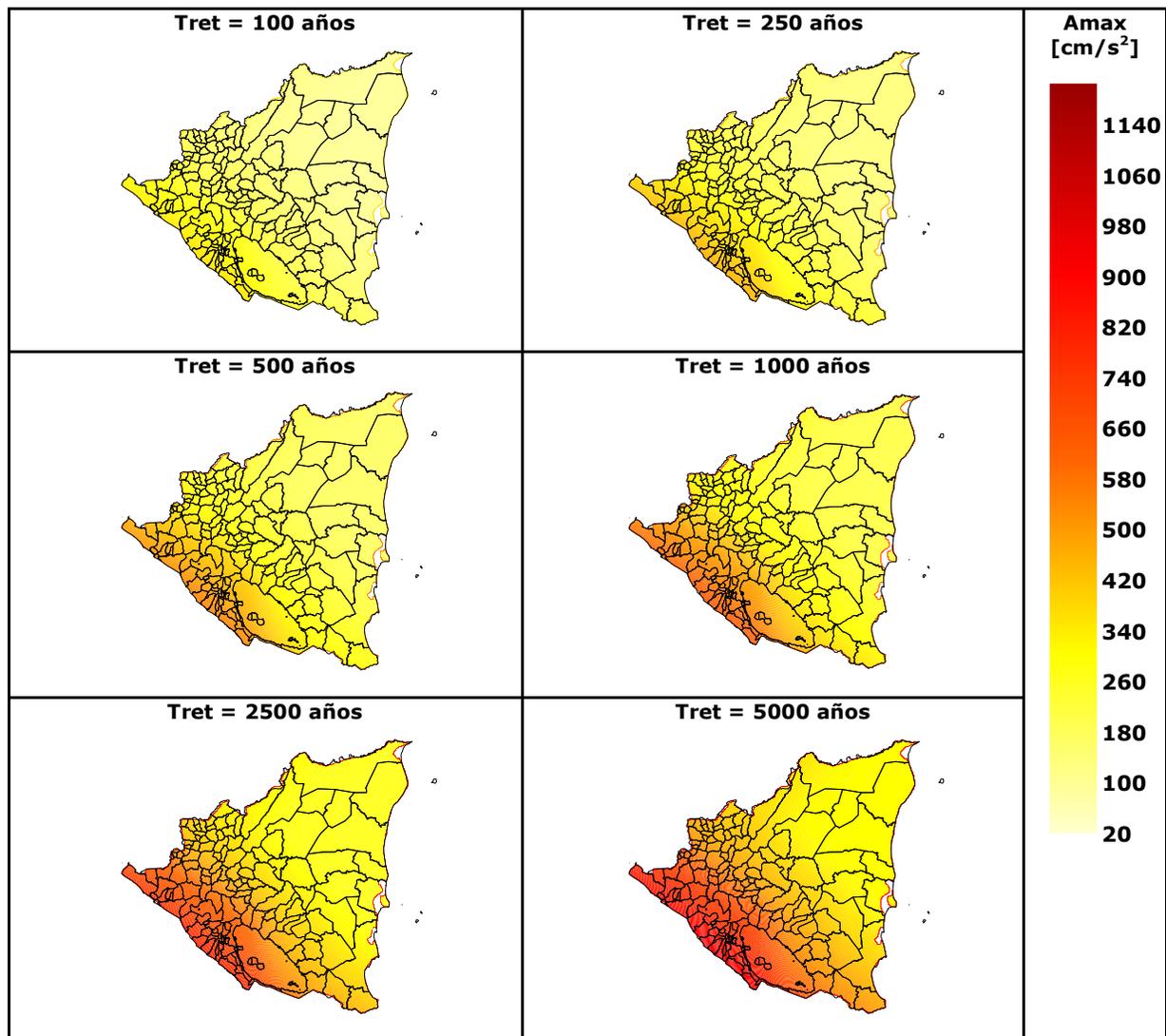


Figura 3-5
Mapas de aceleración máxima del terreno [cm/s²]
para diferentes periodos de retorno.

(Nótese como los valores de aceleración aumentan a medida que aumenta el periodo de retorno, lo que indica que existe una menor probabilidad que dichos valores se vean igualados o excedidos en una ventana de tiempo arbitraria)

3.2.3 Eventos estocásticos para el análisis de amenaza

Para el análisis probabilista del riesgo se simulan una serie de eventos estocásticos que representen de manera adecuada los efectos de sismos en cualquier ubicación y magnitud factible de presentarse en el área de influencia. El conjunto de escenarios que se generan deben representar de manera adecuada todos los hipocentros y toda la gama posible de magnitudes asociadas con una determinada localización hipocentral. Cada uno de estos eventos o escenarios tiene asociada una frecuencia de ocurrencia específica. Naturalmente, los escenarios asociados a sismos de menor magnitud tendrán una mayor probabilidad de ocurrencia, mientras que los escenarios asociados a sismos de mayor magnitud tendrán una probabilidad de ocurrencia relativamente baja.

El procedimiento de cálculo probabilista consiste en evaluar los parámetros de riesgo deseados tales como porcentajes de daño, pérdidas económicas asociadas, efectos sobre la población y cualquier otro, para cada uno de los escenarios de amenaza y luego integrar probabilísticamente los resultados obtenidos utilizando las frecuencias de ocurrencia de cada escenario sísmico. Para el caso del análisis en Nicaragua se generaron un total de 8,591 escenarios de amenaza sísmica algunos de los cuales se ilustran en la Figura 3-6 y Figura 3-7.

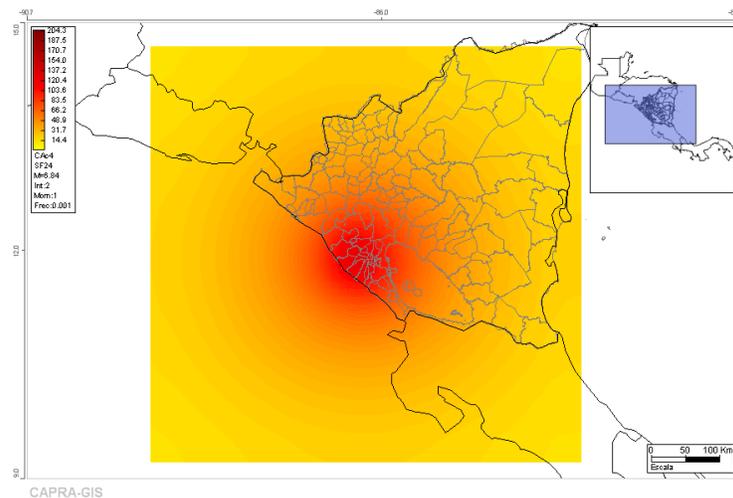


Figura 3-6

Mapa de distribución de aceleración máxima del terreno para un sismo de magnitud 6.8 ocurriendo en la a nivel cortical en cercanías a la ciudad de Managua

(Obtenido con el sistema CAPRA-GIS, ERN 2009)

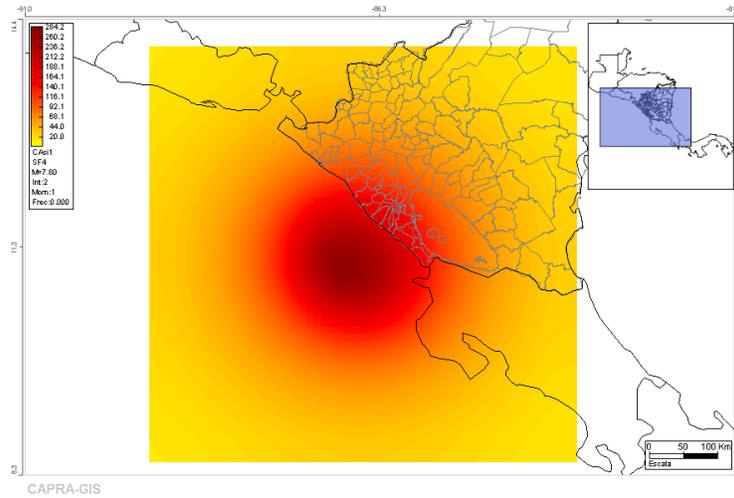


Figura 3-7
Mapa de distribución de aceleración máxima del terreno para un sismo de magnitud 7.6
ocurriendo en la Zona de subducción del Pacífico nicaragüense
(Obtenido con el sistema CAPRA-GIS, ERN 2009)

4 Inventario de elementos expuestos

4.1 Levantamiento de la Información básica

Para la ciudad de Managua, se cuenta con un incipiente inventario de edificaciones primordiales, en el cual se presenta la localización de cada componente y la capacidad en términos del número de camas en el caso de los hospitales, la cantidad de alumnos en el caso de colegios y escuelas, y capacidad de almacenamiento en el caso de los tanques de agua potable, información que ha sido usada como referente para asignar el valor expuesto de cada componente con base en indicadores de costo de reposición tomados de estándares internacionales. No se cuenta con información adicional relacionada con sistemas constructivos, áreas y fechas de construcción y otros datos indispensables en la determinación adecuada de la exposición económica, humana y de vulnerabilidad.

Este modelo al igual que cualquier otro modelo de información aproximada, es susceptible de ser mejorado, actualizado y depurado mediante trabajo intensivo de campo o mediante la incorporación de información detallada disponible.

La Figura 4-1 presenta una imagen de los predios presentes en la base de datos, se presentan tres tipos distintos de componentes: hospitales y centros de salud, escuelas y colegios, y tanques de almacenamiento de agua potable.

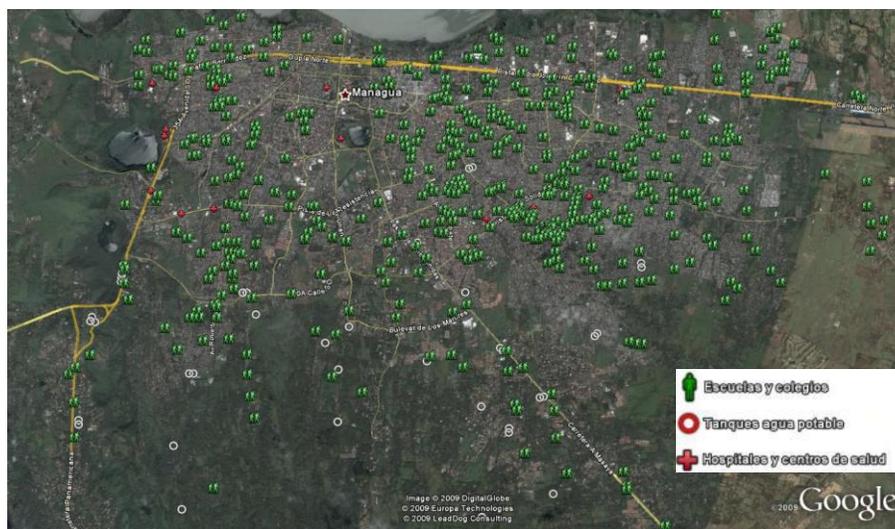


Figura 4-1
Mapa de predios de Managua
Imagen generada en Google Earth.

4.2 Información de exposición de predios

A continuación se presenta la caracterización de la base de datos empleada para el análisis probabilista, se presenta por componente de infraestructura.

4.2.1 Escuelas y colegios

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

Tabla 4-1
Valores expuestos y ocupación por componente

Tipo	No Edificaciones	Valos físico [US\$]	Capacidad [Alumnos]
Jardín	14	4,200,000	1,400
Preescolar	32	12,483,000	4,161
Colegio	61	68,289,000	22,763
Escuela	51	53,610,000	17,870
Instituto	44	88,998,000	29,666
Otro	311	254,802,000	84,934
Total	513	482,382,000	160,794

Se han tomado como valores indicativos del tamaño y valor expuesto para los componentes de este grupo, 10 m² por estudiante a demás de US\$ 300 dólares por metro cuadrado respectivamente.

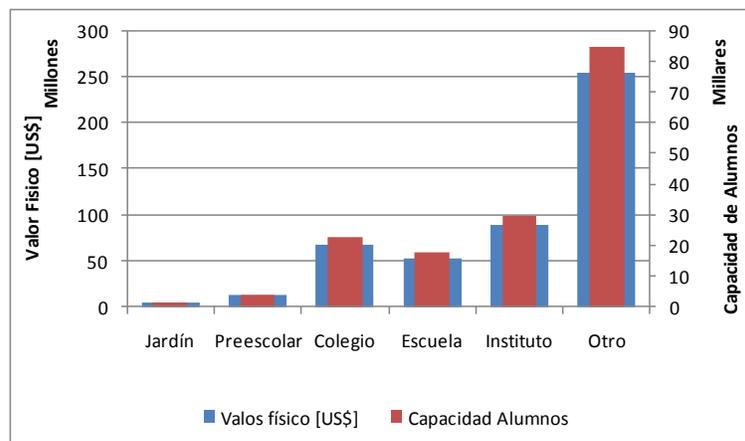


Figura 4-2
Distribución de valores expuestos y ocupación y por componente

De la Figura 4-2 observamos la ausencia de información acerca del tipo y características de los componentes identificados para el grupo de escuelas y colegios, además de la falta de información alrededor de los materiales e información de vulnerabilidad sísmica.

4.2.2 Hospitales y centros de salud

La Tabla 4-2 y la Figura 4-3 muestran la distribución de valores expuestos y número de camas, de los centros de salud con información disponible.

Tabla 4-2
Valores expuestos y número de camas

Sistema estructural	No Edificaciones	Valor físico [US\$]	Capacidad [No camas]
CP	2	2,320,677	303
MC	9	9,206,118	1,202
MCR	1	130,203	17
S4	1	2,060,271	269
Total	13	13,717,269	1,791

Se han tomado como valores indicativos del tamaño y valor expuesto para los componentes de este grupo, 9 m² por cama a demás de US\$ 851 dólares por metro cuadrado respectivamente.

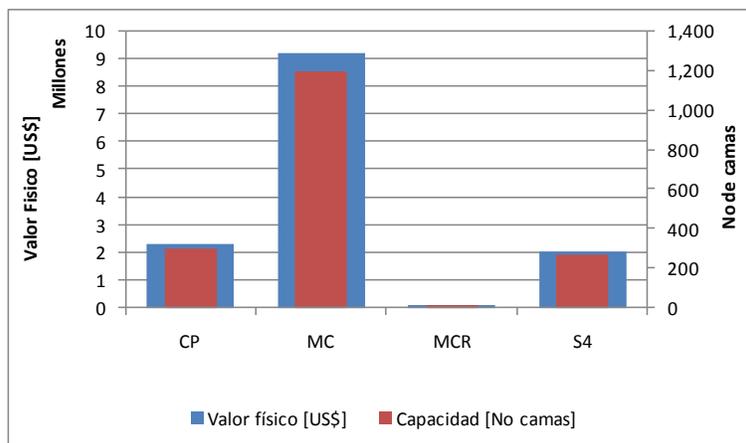


Figura 4-3
Distribución de valores expuestos, y número de camas disponibles

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
MC	Mampostería confinada
MCR	Mampostería confinada y concreto monolítico
CP	Mampostería confinada y prefabricado
S4	Estructura Metálica, mampostería confinada

4.2.3 Tanques almacenamiento agua potable

Por otro lado, la Tabla 4-4 y la Figura 4-4 muestran la distribución de valores expuestos de los tanques de almacenamiento de agua potable por material.

Tabla 4-4
Valores expuestos de tanques de almacenamiento

Tipo tanque	No tanques	Valor físico [US\$]	Capacidad m ³
Acero	29	1,957,284	19,573
Concreto	14	8,146,481	81,465
Total	43	10,103,765	101,038

Para estos componentes de infraestructura se han tomado como valor indicativo del valor expuesto, US\$100 por metro cúbico.

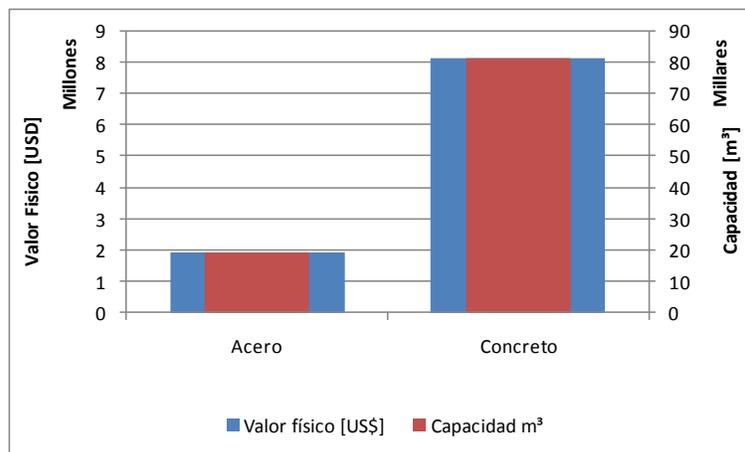


Figura 4-4
Distribución de valores expuestos de tanques de almacenamiento

De la Figura 4-4 y Tabla 4-4 se evidencia el uso frecuente tanques de acero de poca capacidad frente a los tanques de concreto menores en número aunque superiores en capacidad.

4.3 Información de vulnerabilidad

Dadas las características determinadas a partir de la información disponible, la vulnerabilidad asociada (tipos estructurales) a los componentes de los grupos presentados previamente corresponde a la presentada en la Tabla 4-5. Las funciones de vulnerabilidad se presentan en la Figura 4-5 para el estado actual y en la Figura 4-6 para el estado rehabilitado.

Tabla 4-5
Curvas de vulnerabilidad empleadas

Clave	Función vulnerabilidad	Descripción
MSD	S_MS_RN_13_Mod(gal).fvu	Mampostería simple, diafragma rígido
MS	S_MS_RN_28_Mod(gal).fvu	Mampostería simple
MC	S_MC_RN_1_Mod(gal).fvu	Mampostería confinada
MR	S_MR_Mod(gal).fvu	Mampostería confinada y concreto monolítico
S4L	S_S4L_Moderate_RN_9(gal).fvu	Porticos metálicos llenos de mampostería
S4H	S_S4L_High_RN_9(gal).fvu	Porticos metálicos llenos de mampostería
Tq concreto	S_Tanque tipo1(gal).fvu	Tanques de concreto
Tq acero	S_Tanque metálico_1(gal).fvu	Tanques de acero
Tq acero Ref	S_Tanque metálico_2(gal).fvu	Tanques de acero anclados

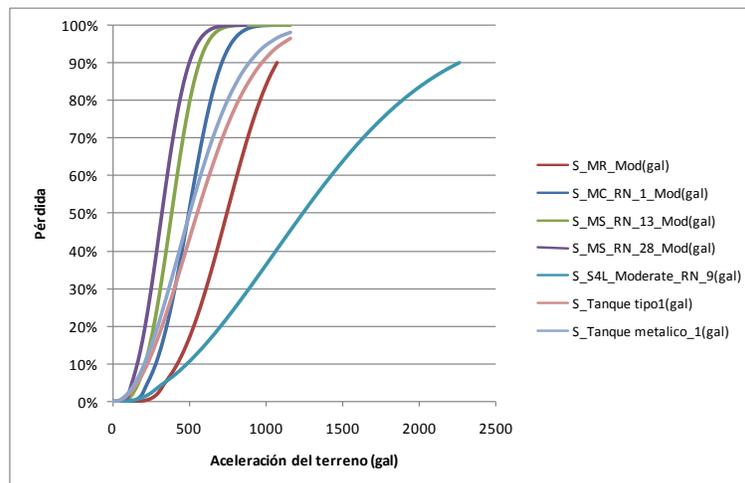


Figura 4-5
Curvas de vulnerabilidad estado actual

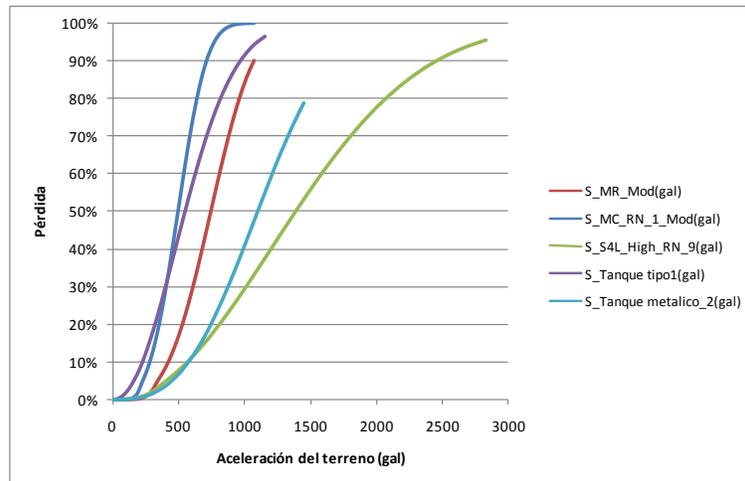


Figura 4-6
Curvas de vulnerabilidad estado rehabilitado

Asignados los tipos estructurales, tanto para el estado actual como para el estado rehabilitado, es posible estimar los costos aproximados de dichas intervenciones en rehabilitación sísmica para cada grupo de análisis, de acuerdo a valores tomados de estándares internacionales para este tipo de obras. Los costos de intervención para cada uno de los tipos estructurales adoptados y los costos totales de intervención para los grupos de análisis se presentan en la Tabla 4-6 y Tabla 4-7.

Tabla 4-6
Costo obras de intervención para rehabilitación sísmica

Sistema estructural	Costo intervención [US\$/m ²]	Función de vulnerabilidad *.fvu (estado actual)	Función de vulnerabilidad *.fvu (estado rehabilitado)
MC	110	S_MC_RN_1_Mod(gal).fvu	S_MR_Mod(gal).fvu
S4L	200	S_S4L_Moderate_RN_9(gal).fvu	S_S4L_High_RN_9(gal).fvu
MR	120	S_MR_Mod(gal).fvu	S_MR_Mod(gal).fvu
Tq concreto	200	S_Tanque tipo1(gal).fvu	S_Tanque tipo1(gal).fvu
Tq acero	200	S_Tanque metalico_1(gal).fvu	S_Tanque metalico_2(gal).fvu
MSD	100	S_MS_RN_13_Mod(gal).fvu	S_MC_RN_1_Mod(gal).fvu
MS	100	S_MS_RN_28_Mod(gal).fvu	S_MC_RN_1_Mod(gal).fvu

Tabla 4-7
Costo total de obras de intervención para rehabilitación sísmica, por grupos

4. Inventario de elementos expuestos

Grupo	Valor físico	Costo intervención	% del valor físico
	US\$ x 10 ⁶	US\$ x 10 ⁶	
Escuelas	482.4	166.0	34%
Hospitales	13.7	3.5	25%
Tanques	10.1	20.2	200%
Total	506.2	189.7	37%

5 Resultados de la evaluación

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación probabilista de pérdidas por sismo para Managua - Nicaragua.

5.1 Escuelas y colegios

Con el modelo de exposición desarrollado para las escuelas y colegios (ver numeral 4.2.1) los resultados de riesgo obtenidos para los estados actual y rehabilitado se presentan en la Tabla 5-1 en donde se incluye el valor expuesto total, la pérdida anual esperada y diferentes valores de pérdida máxima probable para periodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

Tabla 5-1
Resultados análisis para estado actual y rehabilitado

Resultados - Escuelas y colegios					
Situación		Actual		Rehabilitado	
Valor Expuesto	USD\$ x10 ⁶	\$482.4		\$482.4	
Pérdida anual esperada	USD\$ x10 ⁶	\$6.95		\$3.01	
	‰	14.41		6.23	
Periodo retorno		Pérdida máxima probable			
años		USD\$ x10 ⁶	%	USD\$ x10 ⁶	%
100		\$63.6	13.2%	\$38.7	8.0%
250		\$97.4	20.2%	\$63.3	13.1%
500		\$125.0	25.9%	\$86.4	17.9%
1000		\$150.4	31.2%	\$111.9	23.2%

De manera similar a la tabla anterior, en la Figura 5-1 se presenta la curva de pérdida máxima probable para el presente grupo de edificaciones en el estado actual y rehabilitado.

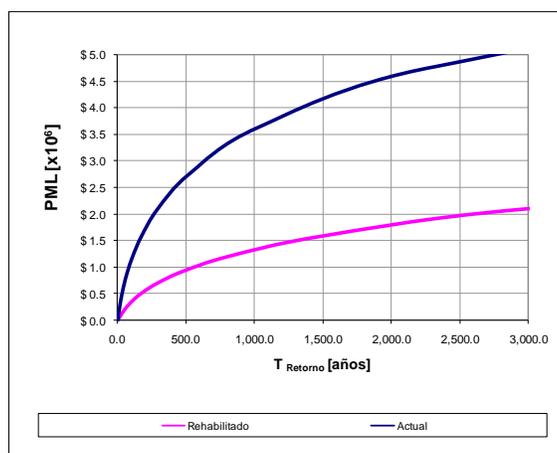


Figura 5-1
Curva PML para los estados actual y rehabilitado

5.2 Hospitales y centros de salud

Con el modelo de exposición desarrollado para las escuelas y colegios (ver numeral 4.2.2) los resultados de riesgo obtenidos para los estados actual y rehabilitado se presentan en la Tabla 5-2 en donde se incluye el valor expuesto total, la pérdida anual esperada y diferentes valores de pérdida máxima probable para periodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

Tabla 5-2
Resultados análisis para el estado actual y rehabilitado

Resultados - Hospitales y centros de salud					
Situación		Actual		Rehabilitado	
Valor Expuesto	USD\$ x10 ⁶	\$13.7		\$13.7	
Pérdida anual esperada	USD\$ x10 ⁶	\$0.08		\$0.02	
	‰	6.11		1.66	
Periodo retorno		Pérdida máxima probable			
años		USD\$ x10 ⁶	%	USD\$ x10 ⁶	%
100		\$1.1	8.2%	\$0.3	2.4%
250		\$1.9	13.9%	\$0.6	4.5%
500		\$2.7	19.5%	\$0.9	6.8%
1000		\$3.6	26.1%	\$1.3	9.5%

De manera similar a la tabla anterior, en la Figura 5-2 se presenta la curva de pérdida máxima probable para el presente grupo de edificaciones en el estado actual y rehabilitado.

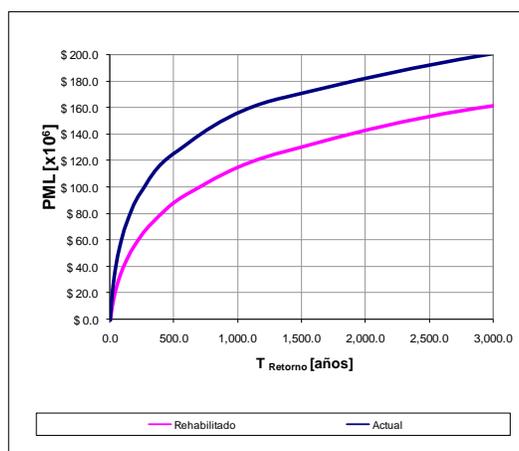


Figura 5-2
Curva PML para los estados actual y rehabilitado

5.3 Tanques almacenamiento de agua

Con el modelo de exposición desarrollado para las escuelas y colegios (ver numeral 4.2.3) los resultados de riesgo obtenidos para los estados actual y rehabilitado se presentan en la Tabla 5-3 en donde se incluye el valor expuesto total, la pérdida anual esperada y diferentes valores de pérdida máxima probable para periodos de retorno de 100, 250, 500 y 1000 años.

Tabla 5-3
Resultados análisis para el estado actual y rehabilitado

Resultados - Tanques almacenamiento de agua					
Situación		Actual		Rehabilitado	
Valor Expuesto	USD\$ x10 ⁶	\$10.1		\$10.1	
Pérdida anual esperada	USD\$ x10 ⁶	\$0.37		\$0.29	
	‰	36.59		28.91	
Periodo retorno		Pérdida máxima probable			
años		USD\$ x10 ⁶	%	USD\$ x10 ⁶	%
100		\$1.1	10.9%	\$0.9	9.0%
250		\$1.6	15.3%	\$1.3	12.6%
500		\$1.9	18.9%	\$1.6	15.9%
1000		\$2.3	22.3%	\$2.0	19.6%

De manera similar a la tabla anterior, en la Figura 5-3 se presenta la curva de pérdida máxima probable para el presente grupo de edificaciones en el estado actual y rehabilitado.

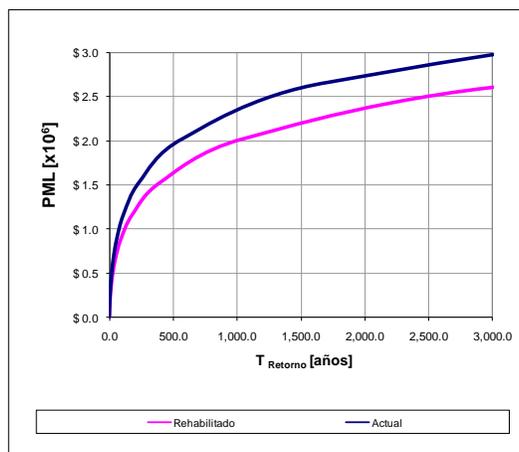


Figura 5-3
Curva PML para los estados actual y rehabilitado

6 Conclusiones y recomendaciones

El análisis de riesgo por sismo presentado para la ciudad de Managua – 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 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 de ejemplo de aplicación presentados.

- (a) Información de exposición: debe recurrirse a la base de datos catastral de edificaciones. El modelo utilizado en el presente análisis solo sirve con propósitos ilustrativos a manera de ejemplo de aplicación, e indicativos de valores globales a esperar. Para efectos de resultados para toma de decisiones debe contarse con la información catastral de los inmuebles objeto del análisis y/o alternativamente debe plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.
- (b) 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.
- (c) 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 ingresada 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 indispensables de la ciudad incluyendo sus características principales.
- Valoración de activos, sus contenidos y posibles pérdidas consecuenciales.
- Identificación del tipo estructural de cada componente.

- Categorización de tipos de contenidos, calificación y valoración.
- Calificación de la vulnerabilidad estructural y humana ante las diferentes fuentes de amenaza.

Mediante una información más detallada especialmente de infraestructura indispensable 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.
- (d) 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.
- (e) 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) 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.
- (e) 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

- 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. Inventario de Elementos Expuestos. Informe ERN-CAPRA-T2-4. <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.
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. ERN-Vulnerabilidad V1.0. 2009.
- IDEA. Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. En: <http://idea.unalmz.edu.co>. 2005
- NORSAR et. al. Proyecto regional RESIS II – Evaluación de la Amenaza sísmica en Centroamérica. 2008.