



**NICARAGUA**

**TOMO I**  
**METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE**  
**RIESGOS NATURALES**

**INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-7**  
**RIESGO SÍSMICO DE MANAGUA**



CEPREDENAC



Inter-American Development Bank



opportunities for all



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

**Consortio conformado por:**

**Colombia**

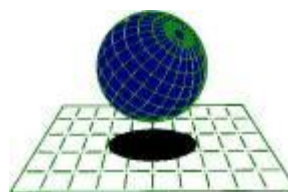
Carrera 19A # 84-14 Of 504  
Edificio Torrenova  
Tel. 57-1-691-6113  
Fax 57-1-691-6102  
Bogotá, D.C.



**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](http://www.ern-la.com)**

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

---

**Omar Darío Cardona A.**  
Dirección General del Proyecto

**Luis Eduardo Yamín L.**  
Dirección Técnica ERN (COL)

**Gabriel Andrés Bernal G.**  
Coordinación General ERN (COL)

**Mario Gustavo Ordaz S.**  
Dirección Técnica ERN (MEX)

**Eduardo Reinoso A.**  
Coordinación General ERN (MEX)

**Alex Horia Barbat B.**  
Dirección Técnica CIMNE (ESP)

**Martha Liliana Carreño T.**  
Coordinación General CIMNE (ESP)

Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo

---

**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

---

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2</b>	<b>Sismos históricos importantes.....</b>	<b>2-1</b>
<b>3</b>	<b>Metodología de evaluación del riesgo.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Evaluación de la amenaza sísmica .....	3-1
3.2	Exposición y vulnerabilidad.....	3-2
3.3	Evaluación del riesgo.....	3-3
<b>4</b>	<b>Escenarios de terremoto para Managua.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Información disponible y exposición .....	4-1
4.2	Información de vulnerabilidad .....	4-4
4.3	Estimación determinista.....	4-4
4.4	Estimación probabilista.....	4-6
<b>5</b>	<b>Resultados de la evaluación.....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Escenario determinista .....	5-1
5.1.1	Resultados distribuidos por tipo de sistema estructural.....	5-1
5.1.2	Resultados distribuidos por número de pisos .....	5-2
5.2	Escenario probabilista .....	5-8
5.2.1	Curva de excedencia de pérdida.....	5-9
<b>6</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>6-1</b>
<b>7</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>7-1</b>

## Índice de figuras

---

FIGURA 2-1 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DE 1972 EN MANAGUA .....	1
FIGURA 4-1 MAPA DE PREDIOS DE MANAGUA .....	4-1
FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	4-2
FIGURA 4-3 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN POR SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	4-2
FIGURA 4-4 DISTRIBUCIÓN DE VALORES EXPUESTOS Y EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS .....	4-3
FIGURA 4-5 DISTRIBUCIÓN DE OCUPACIÓN POR NÚMERO DE PISOS .....	4-3
FIGURA 4-6 CURVAS DE VULNERABILIDAD PARA DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	4-4
FIGURA 4-7 ACELERACIONES MÁXIMAS EN TERRENO FIRME DEBIDAS AL ESCENARIO ESCOGIDO .....	4-5
FIGURA 4-8 ACELERACIONES MÁXIMAS EN TERRENO FIRME A NIVEL DE MANAGUA .....	4-5
FIGURA 4-9 MAPAS DE ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO [CM/S <sup>2</sup> ] PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....	4-6
FIGURA 4-10 MAPAS DE ACELERACIÓN ESPECTRAL [CM/S <sup>2</sup> ] A NIVEL DE TERRENO FIRME. (TRET = 500 AÑOS) .....	4-7
FIGURA 5-1 VALOR FÍSICO EXPUESTO, PÉRDIDA FÍSICA Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	5-1
FIGURA 5-2 OCUPACIÓN Y PÉRDIDA DE VIDAS POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	5-2
FIGURA 5-3 VALOR FÍSICO EXPUESTO, PÉRDIDA FÍSICA Y NÚMERO DE EDIFICACIONES POR NÚMERO DE PISOS .....	5-2
FIGURA 5-4 OCUPACIÓN Y VÍCTIMAS POR NÚMERO DE PISOS.....	5-3
FIGURA 5-5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL VALOR EXPUESTO EN EDIFICACIONES POR BARRIO .....	5-4
FIGURA 5-6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NÚMERO DE HABITANTES POR BARRIO .....	5-5
FIGURA 5-7 DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDA ECONÓMICA POR BARRIO .....	5-6
FIGURA 5-8 DISTRIBUCIÓN DE NÚMERO DE VÍCTIMAS POR BARRIO .....	5-7
FIGURA 5-9 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR SISTEMA ESTRUCTURAL .....	5-8
FIGURA 5-10 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA POR SISTEMA ESTRUCTURAL PARA DOS PERIODOS DE RETORNO DIFERENTES.....	5-8
FIGURA 5-11 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDA .....	5-9
FIGURA 5-12 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA AGREGADA POR BARRIOS.....	5-10
FIGURA 5-13 PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE PARA 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO ESPERADA, AGREGADA POR BARRIOS .....	5-11
FIGURA 5-14 PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE PARA 500 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO ESPERADA AGREGADA POR BARRIOS .....	5-12

## Índice de tablas

---

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 TIPOS ESTRUCTURALES PRESENTES .....	4-4
TABLA 5-1 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PERDIDAS .....	5-1
TABLA 5-2 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PERDIDAS.....	5-2
TABLA 5-3 RESULTADOS VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS PROBABLES .....	5-8

# 1 Introducción

---

Nicaragua se encuentra ubicada en una zona de interacción de placas tectónicas, cuyo movimiento relativo desarrolla esfuerzos en la corteza terrestre que han derivado sistemas de fallas activas y alta ocurrencia de terremotos, que a su vez han generado y pueden causar daños en la infraestructura y consecuencias en la población expuesta. La alta sismicidad del país ha sido ratificada por la ocurrencia de un amplio número de terremotos entre los cuales se destacan los sismos de 1931 y de 1972; ambos con un alto poder destructivo y con consecuencias desastrosas para la población y la economía del país. Considerando la alta amenaza sísmica a la que está sometida Managua y su población, es fundamental que en la ciudad se tengan planes de contingencia, de mitigación física y de protección financiera para cubrir pérdidas, que permitan enfrentar con mayor eficiencia una emergencia generada por un evento sísmico con características catastróficas.

El territorio del municipio de Managua pertenece a la cuenca sur del Lago Xolotlán (Lago de Managua) y tiene un área total aproximada de 267 Km<sup>2</sup>, con un área urbana de aproximadamente 174 Km<sup>2</sup>. Es la ciudad más extensa de Nicaragua, con una población estimada de 1'300.000 habitantes a 2008; lo que corresponde al 41% de la población total del país.

La historia geológica del territorio derivó en un intrincado sistema de fallas que atraviesa la ciudad. Muchas de esas fallas se consideran activas y tienen la capacidad de generar terremotos de magnitud importante (del orden de 6 a 6.5), con epicentros directamente dentro del territorio urbano de Managua. El conocimiento de estas condiciones de amenaza, permite establecer posibles escenarios de riesgo, que sean indicativos de los niveles de afectación esperados en futuros eventos, para las condiciones actuales de exposición, consistentes con las características de generación local de terremotos.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de terremotos, 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 aquí se presenta es dimensionar un escenario de consecuencias que podrían ser causadas por un fuerte terremoto en la ciudad de Managua, teniendo como base la información de amenaza más actualizada posible y en la información digital disponible sobre los elementos o activos expuestos en la ciudad, que está actualizada a 2004.



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 financiación de las pérdidas esperadas. Las evaluaciones realizadas incluyen:

- (a) Valoración de las pérdidas económicas para el escenario seleccionado.
- (b) Estimación del número de viviendas afectadas (con algún tipo de daño) y de viviendas gravemente afectadas (con posible colapso parcial o total).
- (c) Determinación aproximada del número de personas afectadas por los daños en las viviendas y que requieren reubicación temporal o reemplazo de la vivienda.
- (d) Estimativo de víctimas humanas y su distribución geográfica.

## 2 Sismos históricos importantes

Dentro de la historia reciente de Managua se registran una serie de terremotos que han ocasionado situaciones de desastre para la ciudad y para el país en general. Se destacan principalmente los sismos de 1931 y 1972; siendo este último el de mayor impacto sobre la infraestructura física y sobre los habitantes de la ciudad.

El 31 de marzo de 1931, a las 10:23 horas de la mañana, un sismo de magnitud 5.8 sacudió el suelo de Managua, generando una tragedia que dejó un saldo de más de 1,000 víctimas, y pérdidas económicas del orden de 15 millones de dólares. El pánico se apoderó de la población nicaragüense en general, al punto de detonarse una controversia sobre la posible destitución del título de capital a la ciudad. Muchas de las edificaciones colapsaron y otras quedaron parcialmente destruidas. Particularmente, las estructuras existentes construidas en bahareque (taquezal), fueron reparadas después del terremoto, lo que derivó en su colapso inmediato 41 años más tarde.

El 23 de diciembre de 1972, un sismo de magnitud 6.2 sacudió el terreno de la capital de Nicaragua, destruyendo un amplio número de edificaciones y dejando un saldo de cerca de 10,000 víctimas fatales. Las pérdidas económicas directas ascendieron a los 845 millones de dólares, llevando a la nación a un estado de crisis por desastre. Con una población en ese momento del orden de 396,000 habitantes, las víctimas se estima llegaron al 2.5%. Se estima en general que hubo un total de 20,000.

El nivel de afectación presentado en el sismo de 1972 puede visualizarse en el mapa presentado en la Figura 2-1, el cual muestra la distribución espacial de las intensidades macrosísmicas (en escala modificada de Mercalli), las cuales están asociadas a la distribución general de daños y de percepción del evento por parte de los pobladores de la época.

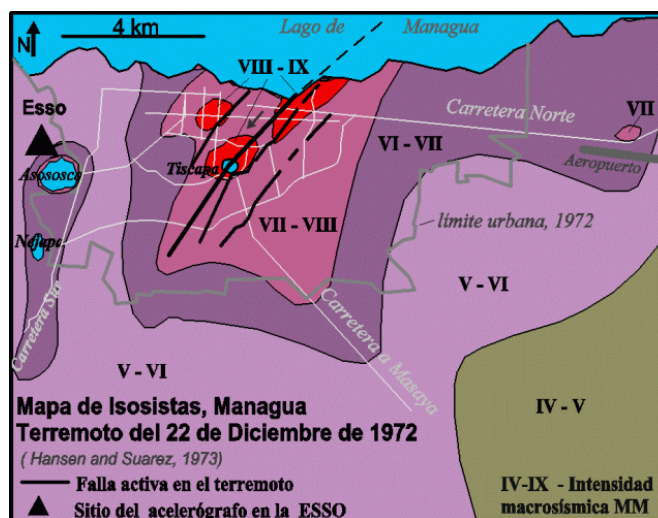


Figura 2-1

Mapa de isosistas del sismo de 1972 en Managua

### **3 Metodología de evaluación del riesgo**

---

Para la evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de Managua se siguió la metodología propuesta en el marco de la iniciativa CAPRA (Central América Probabilistic Risk Assessment) la cual se describe en detalle en los sitios Web <http://www.ern-la.com> y <http://www.ecapra.org>.

A continuación se presenta un breve resumen de la metodología de evaluación del riesgo.

#### **3.1 Evaluación de la amenaza sísmica**

El cálculo de la amenaza sísmica permite establecer el nivel de peligro esperado en un sitio o zona determinada, bajo la influencia de la actividad sísmica de fuentes aledañas identificadas. Históricamente los ingenieros, geólogos y sismólogos se han preocupado por desarrollar metodologías de cálculo que representen cada vez de mejor manera el comportamiento de las fuentes sismogénicas, el tránsito de las ondas por el medio geológico, la respuesta sismogeotécnica de los suelos y la respuesta dinámica de las estructuras de las construcciones en la zona de interés. De esta manera, es posible identificar dos metodologías primordiales de evaluación de la amenaza sísmica, que engloban los esfuerzos realizados en el pasado en diferentes estudios a nivel mundial.

Durante muchos años el análisis determinista de amenaza sísmica (DSHA - Deterministic Seismic Hazard Analysis) fue el enfoque que más se utilizó por parte de la ingeniería sísmica para la evaluación de la amenaza en una zona determinada. El uso del DSHA implica la definición de un escenario específico para un terremoto en particular. El escenario se define como un sismo de magnitud conocida que supuestamente ocurre en un sitio determinado. El DSHA permite obtener la intensidad sísmica que se causaría en el área analizada por el evento seleccionado. Por lo tanto, cuando se emplea el DSHA para la evaluación de la amenaza se puede tener un estimativo de la mayor intensidad que se presentaría y que podría afectar las estructuras localizadas en la zona que se analiza. Este enfoque es apropiado para estimar las intensidades causadas por ejemplo por un sismo histórico que se considere relevante para ilustrar lo que podría pasar si se repitiera y los efectos que causaría con el inventario de edificaciones que existen en la actualidad.

Ahora bien, con fines de evaluar los efectos máximos probables en una ventana o segmento de tiempo, que se derivan no de uno sino de muchos eventos de diferentes magnitudes y que pueden ocurrir en fuentes sismogénicas distintas, en las últimas décadas, se ha perfeccionado el enfoque probabilista de la amenaza sísmica. Este enfoque permite involucrar de manera analítica la incertidumbre asociada con las diferentes variables que intervienen en el cálculo de la amenaza o peligro sísmico de una región y permite realizar estimaciones asociadas con el nivel de probabilidad de ocurrencia de futuros eventos. Parámetros como la frecuencia de ocurrencia de determinado sismo, la probabilidad que ocurra en un sitio específico, la probabilidad de excedencia de intensidades sísmicas, etc, son tenidos en cuenta en los modelos de cálculo, para conformar un análisis probabilístico

de amenaza sísmica (PSHA - Probabilistic Seismic Hazard Analysis). El principal resultado que se obtiene es una curva del grado de amenaza para diferentes periodos de retorno o tasas de ocurrencia, que expresa la probabilidad que una intensidad sísmica específica sea igualada o excedida en un periodo de tiempo determinado.

En el presente informe se presentan resultados de la evaluación del riesgo sísmico utilizando tanto el enfoque DSHA como el enfoque PSHA; es decir resultados de un análisis determinista como probabilista.

### 3.2 Exposición y vulnerabilidad

El análisis de riesgo involucra la evaluación de los elementos expuestos susceptibles a sufrir daños por la acción sísmica que representa la amenaza considerada. Para el presente caso, dichos elementos corresponden al inventario de edificaciones de Managua. Una vez caracterizado cada uno de los componentes expuestos, es decir cada edificación, se asigna a cada una un valor (que puede ser el valor económico de reposición u otro referente que se considere apropiado) y un nivel de ocupación humana. Igualmente es necesario asignar dependiendo del tipo de edificación y de ocupación unas funciones de vulnerabilidad que darán cuenta de los daños o pérdidas correspondientes.

La vulnerabilidad sísmica de una edificación se define como la relación existente entre la intensidad sísmica en el sitio donde se encuentra ubicada la estructura y los efectos (daños) que sufrirían la estructura y sus ocupantes. Las pérdidas económicas o humanas se miden en términos relativos como una fracción del valor de reposición del inmueble y como un porcentaje del número de los ocupantes que podría perder la vida o quedar heridos.

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 sísmica. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de ese tipo estructural particular, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio de activos expuestos.

La determinación de los valores de exposición, definidos como valor de reposición y el número de ocupantes involucrados en cada caso, requiere de evaluaciones detalladas de las condiciones socioeconómicas de la ciudad, los usos predominantes de las edificaciones, y valoraciones catastrales o comerciales que en la mayoría de los casos no se conocen con precisión y para lo cual hay que hacer supuestos en la mayoría de los casos que se consideren aceptables para los fines del análisis.

Los resultados de los análisis que se presentan corresponden a valores de exposición y vulnerabilidad tomados del estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Managua (World Institute for Disaster Risk Management, 2005).

### 3.3 Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de la amenaza sísmica considerada con las funciones de vulnerabilidad sísmica definidas para los diferentes tipos constructivos de las edificaciones identificadas, empleando la herramienta de evaluación de riesgo del CAPRA. Se evalúa, entonces, el porcentaje de daños esperado en cada una de las edificaciones expuestas. Este porcentaje de daño representan la inversión que se requeriría en porcentaje del valor total de la edificación para llevar a cabo la reparación o reconstrucción respectiva y así rehabilitar o reponer al mismo estado en que se encontraba la edificación antes de haber sido afectada.

La valoración del riesgo sísmico se presenta en términos de estimaciones de:

- Porcentaje de afectación física de las construcciones.
- Pérdidas económicas directas aproximadas asociadas al daño en las construcciones
- Afectación humana términos de pérdida de vidas y heridos.
- Pérdidas económicas máximas probables.
- Pérdidas anuales esperadas.

Estas estimaciones se obtienen con base en los escenarios de amenaza y riesgo obtenidos con el enfoque determinista y los resultados del análisis probabilista que se obtienen de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad sísmica de la ciudad.

## 4 Escenarios de terremoto para Managua

---

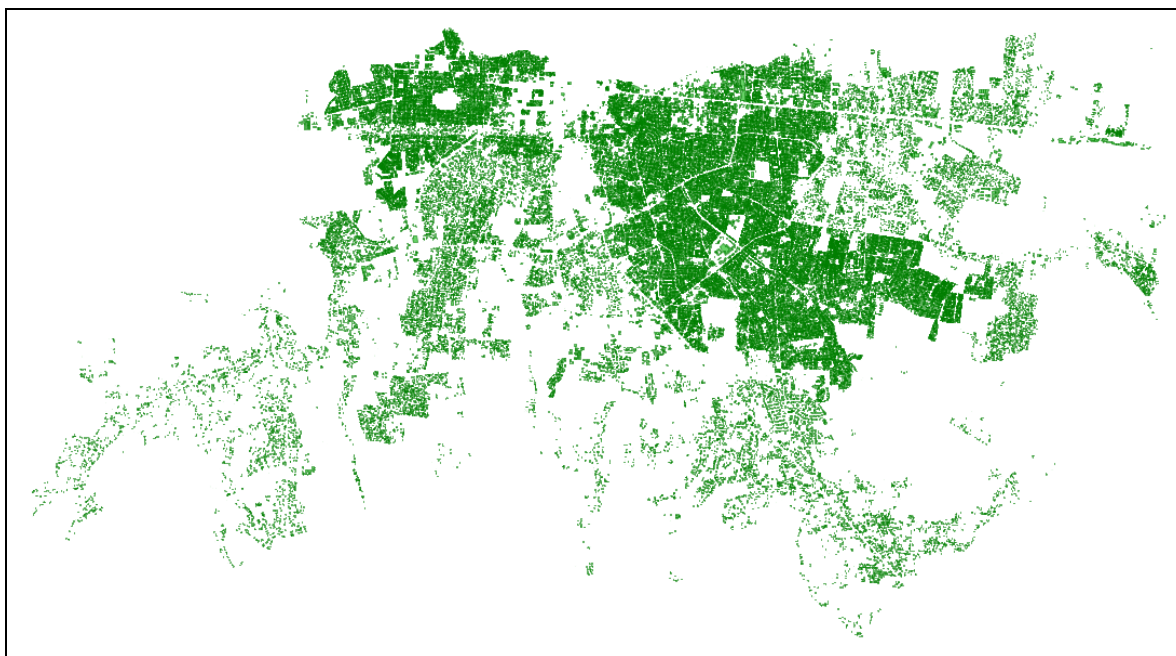
### 4.1 Información disponible y exposición

El análisis se que se presenta se ha realizado con la información disponible en el estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Managua (World Institute for Disaster Risk Management, 2005) que según se ha indicado, corresponde a datos obtenidos en 2004.

La base de datos disponible cuenta con cerca de 160,000 edificaciones y una población de 600,000 habitantes. Debe tenerse en cuenta la población actual de la ciudad es de cerca de 1,300,000 habitantes, lo que significa que se ha trabajado en el análisis con cifras que son inferiores a la mitad del nivel de exposición actual.

Las condiciones de exposición de Managua, medidas en términos de valor de reposición y número de ocupantes de las edificaciones, se encuentran claramente identificadas en la base de exposición disponible, representada por el mapa de predios de la Figura 4-1, la cual cuenta con un total de 160,454 inmuebles. Constituye la mejor información disponible a la fecha, al permitir establecer distribución geográfica de sistema estructural y número de pisos, los cuales son los principales determinantes de la vulnerabilidad asociada a cada predio.

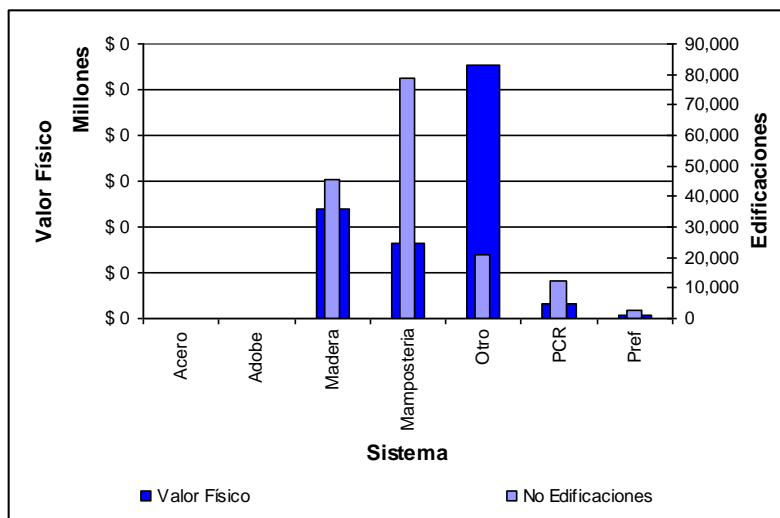
La Tabla 4-1, Figura 4-2 y Figura 4-3 presentan la distribución general de valores expuestos y ocupación de edificaciones, para los diferentes tipos estructurales identificados.



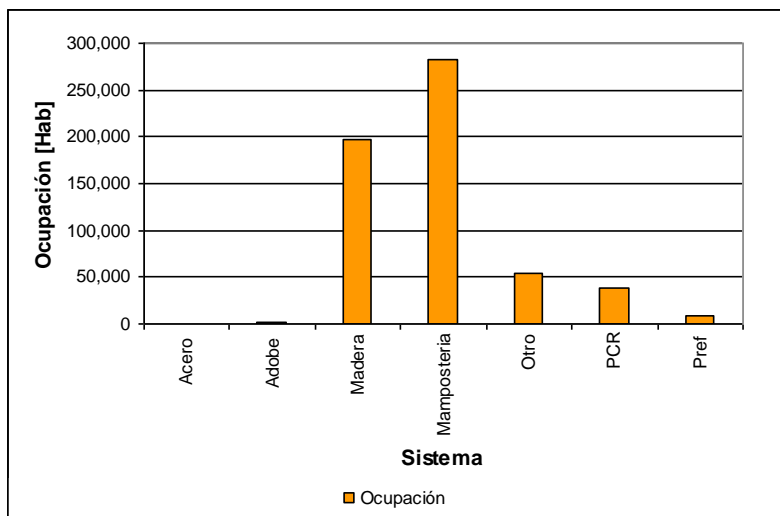
*Figura 4-1*  
*Mapa de predios de Managua*

**Tabla 4-1**  
*Valores expuestos y ocupación por sistemas estructurales*

Sistema	No Edificaciones	Valor Físico [MDC]	Ocupación [Hab]
Acero	4	\$ 129	0
Adobe	250	\$ 42	879
Madera	45,284	\$ 23,907	196,325
Mamposteria	78,815	\$ 16,485	282,869
Otro	20,881	\$ 55,518	54,916
PCR	12,413	\$ 3,061	38,809
Pref	2807	\$ 544	8828
<b>Totales</b>	<b>160,454</b>	<b>\$ 99,686</b>	<b>582,626</b>



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

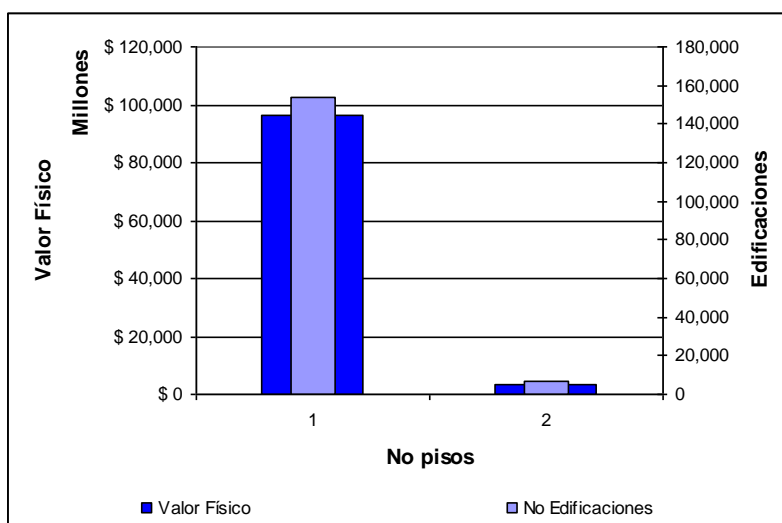


**Figura 4-3**  
*Distribución de ocupación por sistemas estructurales*

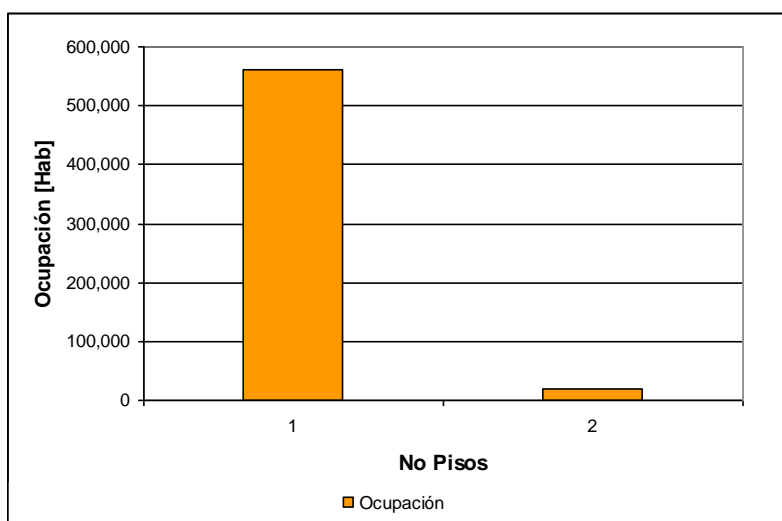
Por otra parte, la Tabla 4-2, Figura 4-4 y Figura 4-5 muestran la distribución de valores expuestos y ocupación, en función del número de pisos de las edificaciones incluidas.

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

No pisos	No Edificaciones	Valor Físico [MDC]	Ocupación [Hab]
1	153,983	\$ 96,162,714,446	562,469
2	6,471	\$ 3,523,554,719	20,157
<b>Totales</b>	<b>160,454</b>	<b>\$ 99,686,269,165</b>	<b>582,626</b>



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



**Figura 4-5**  
*Distribución de ocupación por número de pisos*

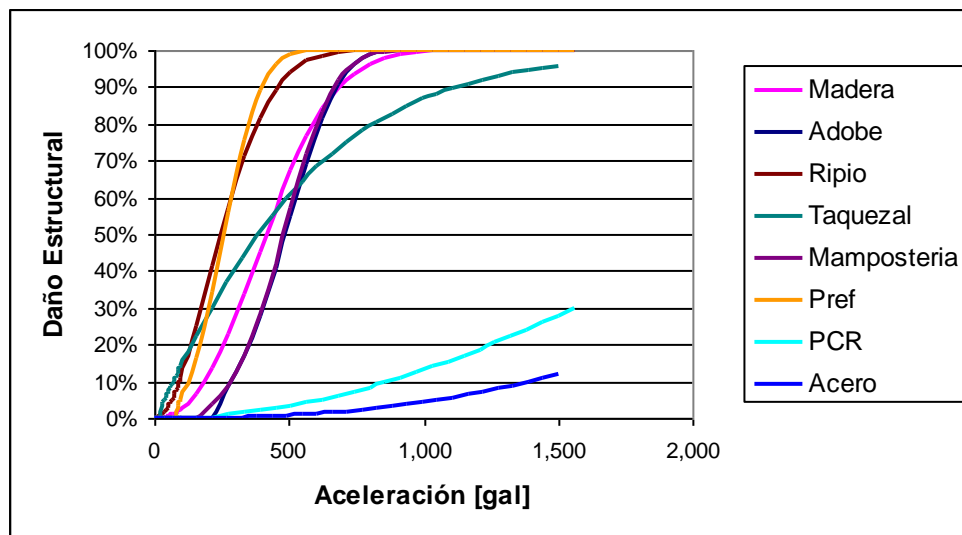


## 4.2 Información de vulnerabilidad

Los tipos estructurales contenidos en la base datos corresponden a los presentados en la Tabla 4-3. Estos tipos se caracterizaron mediante las funciones de vulnerabilidad de pérdida física y humana presentadas en la Figura 4-6.

**Tabla 4-3**  
*Descripción de los diferentes tipos estructurales presentes*

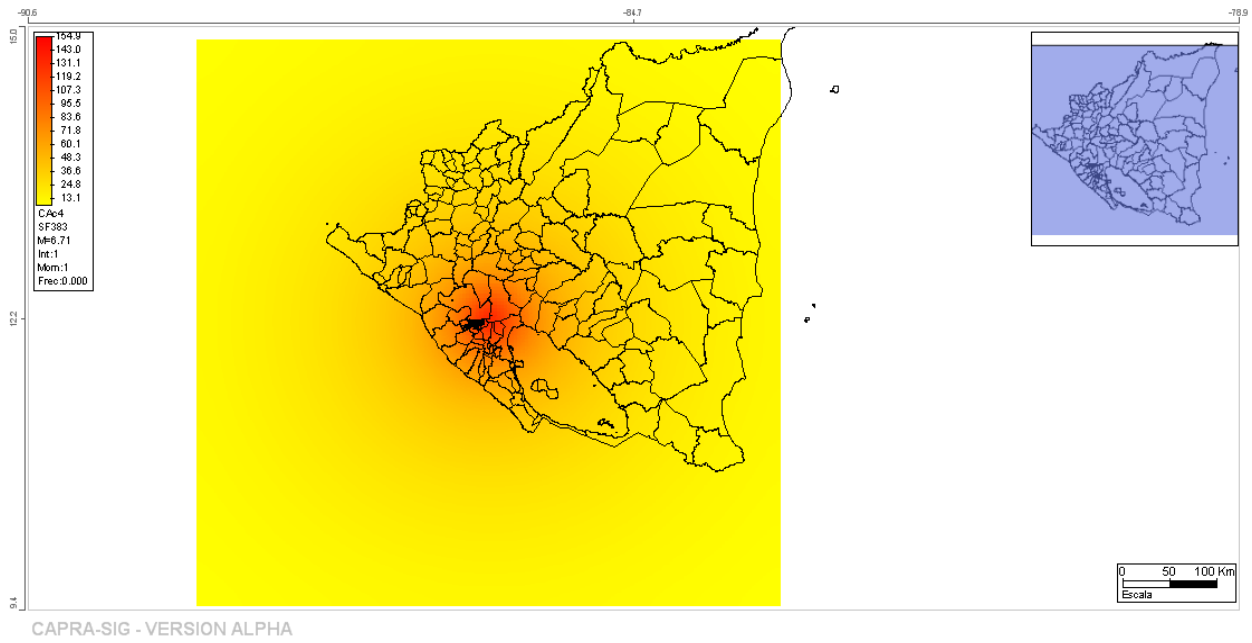
Sistema	Descripción
<b>Acero</b>	Marcos de acero con o sin diafragma de cubierta ligera o pesada.
<b>Adobe</b>	Adobe sin diafragma de cubierta ligera o pesada
<b>Madera</b>	Madera con o sin diafragma c/cubierta ligera o pesada
<b>Mampostería</b>	Muros de mampostería con o sin diafragma de cubierta ligera o pesada
<b>Otro</b>	Ripio o Taquezal sin diafragma de cubierta ligera o pesada
<b>PCR</b>	Marcos de Concreto con o sin diafragma de cubierta ligera o pesada
<b>Pref</b>	Prefabricada sin diafragma de cubierta ligera



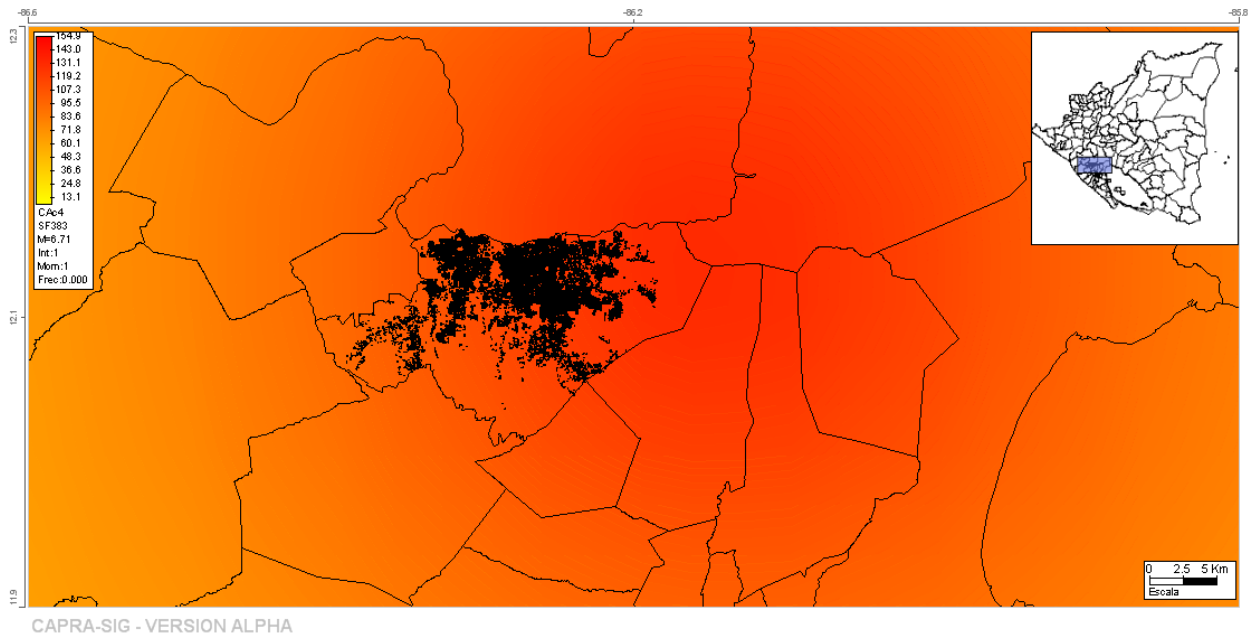
**Figura 4-6**  
*Curvas de vulnerabilidad para diferentes sistemas estructurales*

## 4.3 Estimación determinista

Se seleccionó para efectos de evaluar la amenaza un sismo de magnitud 6.7 con epicentro cerca del mercado Mayoreo, sobre el lineamiento de la falla Aeropuerto, en Managua. Se considera que este evento generaría un escenario de consecuencias representativo de la peor situación que podría presentarse en la ciudad, por lo cual se considera que es adecuado como insumo para el desarrollo del plan de contingencia interinstitucional, para formular procedimientos de emergencia por entidades y con fines de proponer programas de mitigación y protección financiera. La Figura 4-7 y Figura 4-8 presentan las aceleraciones máximas en terreno firme generadas por el evento seleccionado.



**Figura 4-7**  
*Aceleraciones máximas en terreno firme debidas al escenario escogido*



**Figura 4-8**  
*Aceleraciones máximas en terreno firme a nivel de Managua*

#### 4.4 Estimación probabilista

Para el análisis probabilista se calcularon un total de 4,011 escenarios de terremoto, cada uno de ellos asociado a una frecuencia de ocurrencia determinada, y que corresponden a un número significativo de sismos de diferente magnitud y con distintas epicentros.

En la Figura 4-9 se presentan mapas de amenaza probabilista del país en términos de aceleración máxima a nivel de terreno firme  $\text{cm/s}^2$ , calculado para periodos de retorno de 100, 250, 500, 1000, 2500 y 5000 años. Por otro lado en la Figura 4-10 se presentan mapas de aceleración espectral en  $\text{cm/s}^2$ , para un periodo de retorno de 500 años y para periodos estructurales de  $T= 0.0, 0.1, 0.15, 0.3, 0.5, 1.0$  y  $2.0$  seg.

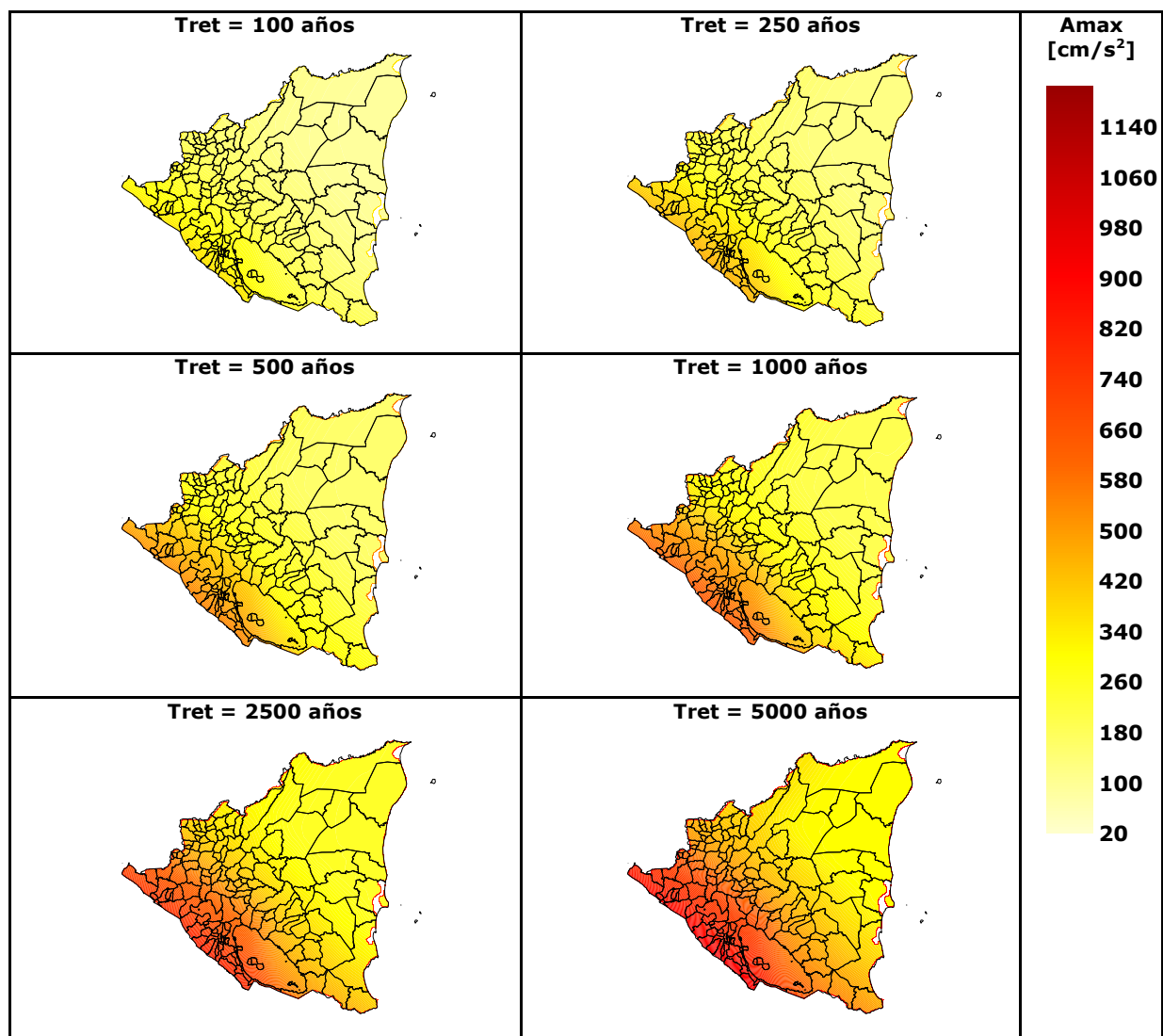


Figura 4-9

Mapas de aceleración máxima del terreno  $[\text{cm/s}^2]$  para diferentes periodos de retorno

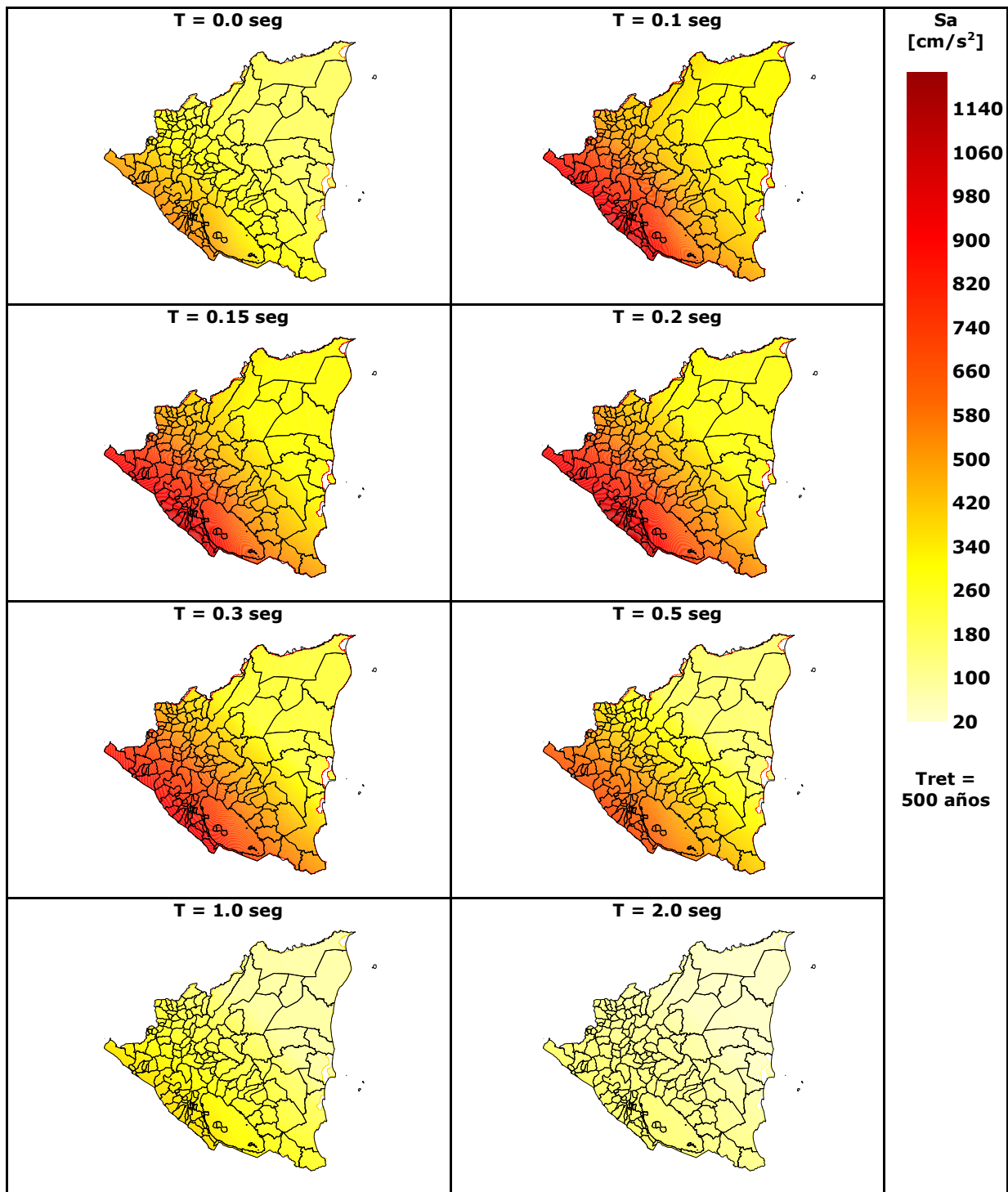


Figura 4-10  
Mapas de aceleración espectral [cm/s<sup>2</sup>] a nivel de terreno firme. (Tret = 500 años)

## 5 Resultados de la evaluación

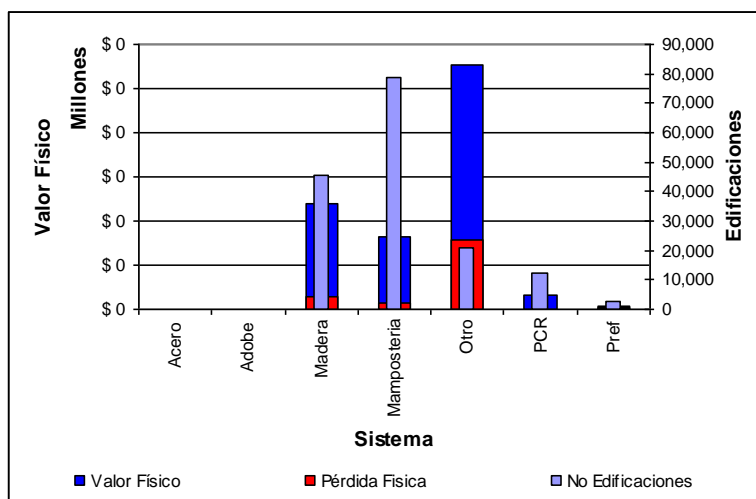
### 5.1 Escenario determinista

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 del CAPRA. Esta plataforma permite realizar evaluaciones de amenaza sísmica, 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. Las pérdidas económicas calculadas se expresan en términos de la cantidad de recursos económicos requeridos para la rehabilitación y reconstrucción de las edificaciones; en términos relativos al valor de reposición. Las pérdidas humanas se reportan en términos del número esperado de víctimas.

#### 5.1.1 Resultados distribuidos por tipo de sistema estructural

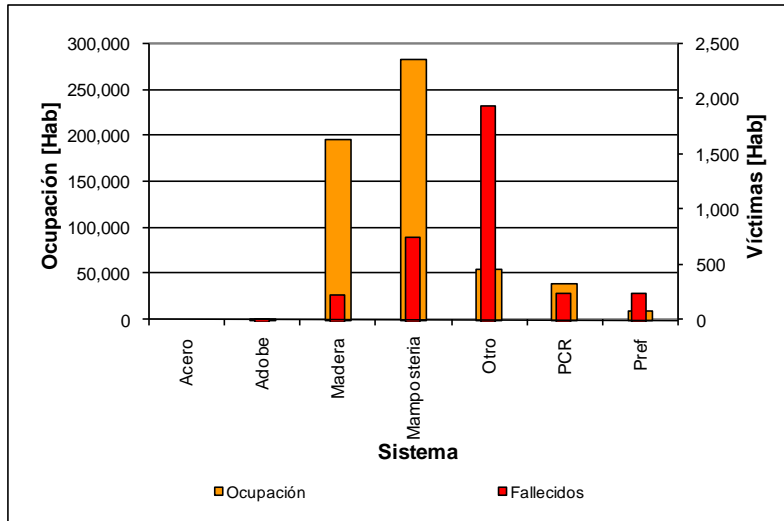
*Tabla 5-1  
Resultados valores expuestos y perdidas*

Sistema	No Edificaciones	Valor Físico [MDC]	Pérdida Física		Ocupación [Hab]	Víctimas [Hab]
			[MDC]	[%]		
Acero	4	\$ 129	\$ 1	1%	0	0
Adobe	250	\$ 42	\$ 6	13%	879	1
Madera	45,284	\$ 23,907	\$ 2,772	12%	196,325	224
Mampostería	78,815	\$ 16,485	\$ 1,406	9%	282,869	749
Otro	20,881	\$ 55,518	\$ 15,598	28%	54,916	1,944
PCR	12,413	\$ 3,061	\$ 75	2%	38,809	243
Pref	2807	\$ 544	\$ 202	37%	8828	236
<b>Totales</b>	<b>160,454</b>	<b>\$ 99,686</b>	<b>\$ 20,060</b>	<b>20%</b>	<b>582,626</b>	<b>3,397</b>



*Figura 5-1*

*Valor físico expuesto, pérdida física y número de edificaciones por sistema estructural*

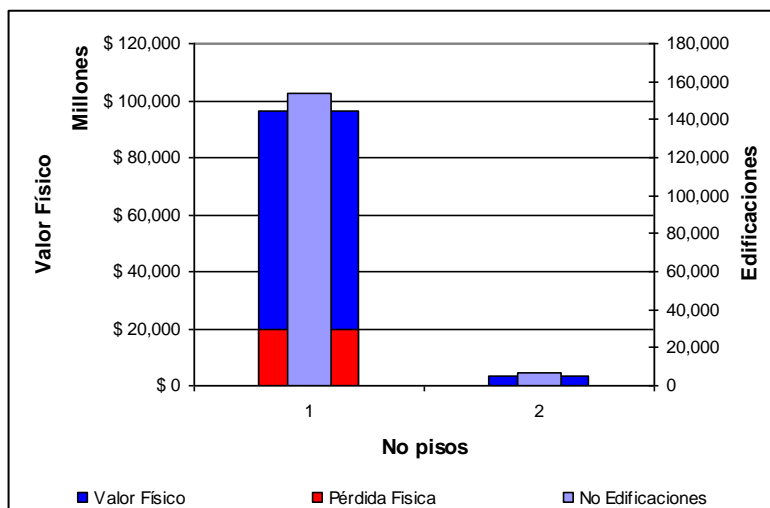


**Figura 5-2**  
*Ocupación y pérdida de vidas por sistema estructural*

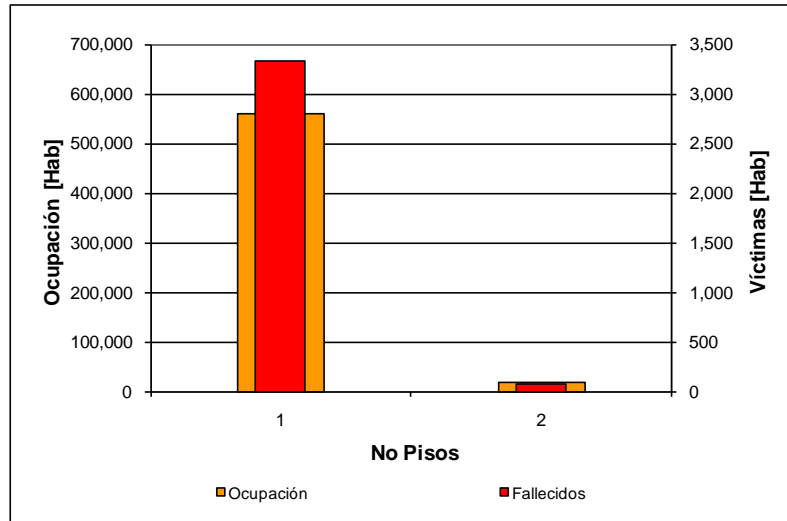
5.1.2 Resultados distribuidos por número de pisos

**Tabla 5-2**  
*Resultados valores expuestos y perdidas*

No pisos	No Edificaciones	Valor Físico [MDC]	Pérdida Física [MDC]	[%]	Ocupación [Hab]	Fallecidos [Hab]
1	153,983	\$ 96,162,714,446	\$ 19,846,189,129	21%	562,469	3,331
2	6,471	\$ 3,523,554,719	\$ 214,410,213	6%	20,157	67
<b>Totales</b>	<b>160,454</b>	<b>\$ 99,686,269,165</b>	<b>\$ 20,060,599,342</b>	<b>20%</b>	<b>582,626</b>	<b>3,397</b>

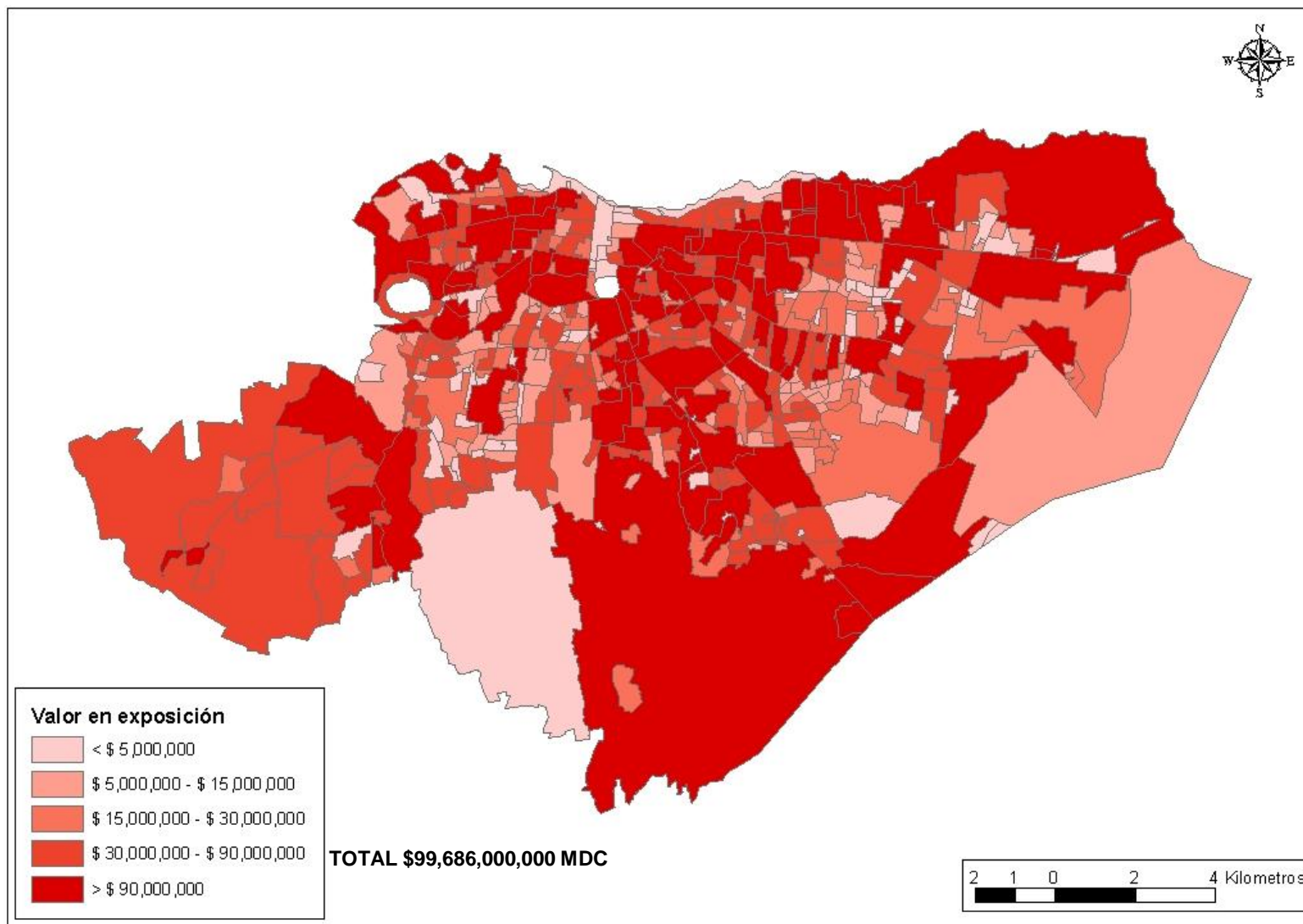


**Figura 5-3**  
*Valor físico expuesto, pérdida física y número de edificaciones por número de pisos*



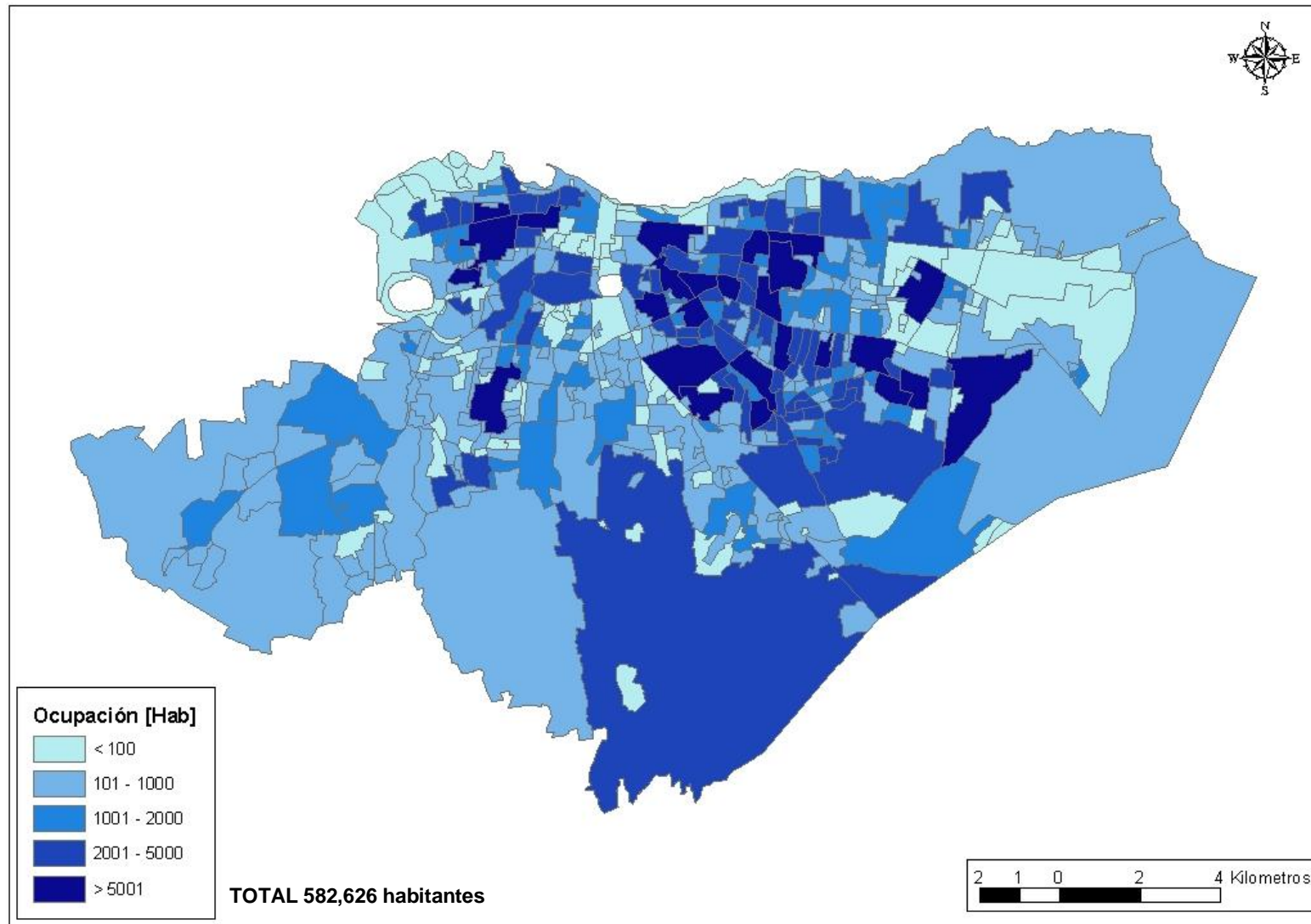
*Figura 5-4*  
*Ocupación y víctimas por número de pisos*

La Figura 5-5 y Figura 5-6 presentan mapas de distribución geográfica de las principales variables de exposición asignadas a la base de datos de predios de Managua. En la Figura 5-7 y Figura 5-8 se presentan los resultados de la evaluación del escenario determinista, en términos de pérdida física y número de personas fallecidas. Para permitir una fácil visualización, las variables y resultados han sido agrupados a nivel de barrio.

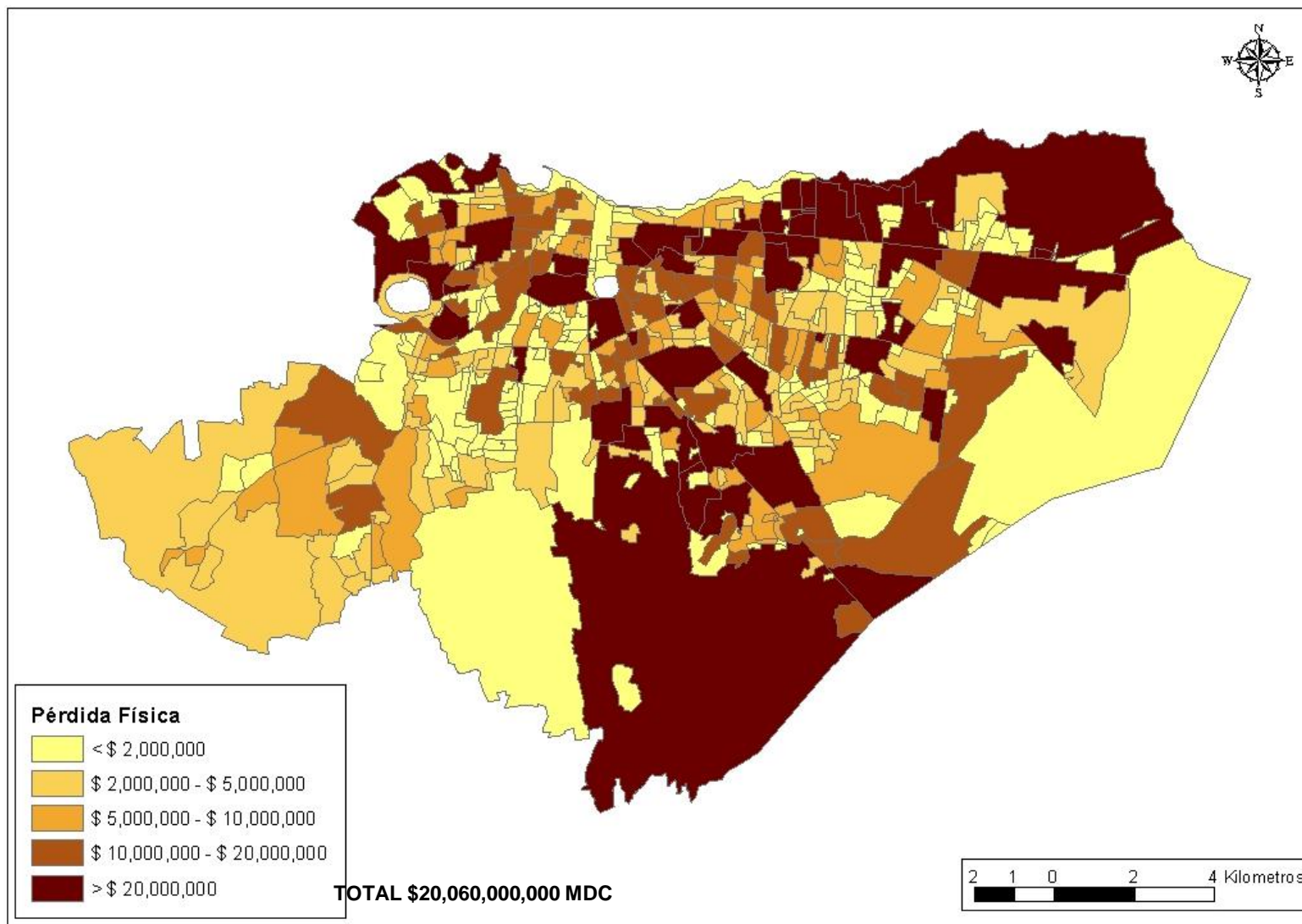


*Figura 5-5*  
*Distribución geográfica del valor expuesto en edificaciones por barrio*





*Figura 5-6*  
*Distribución geográfica de número de habitantes por barrio*



*Figura 5-7*  
*Distribución de pérdida económica por barrio*

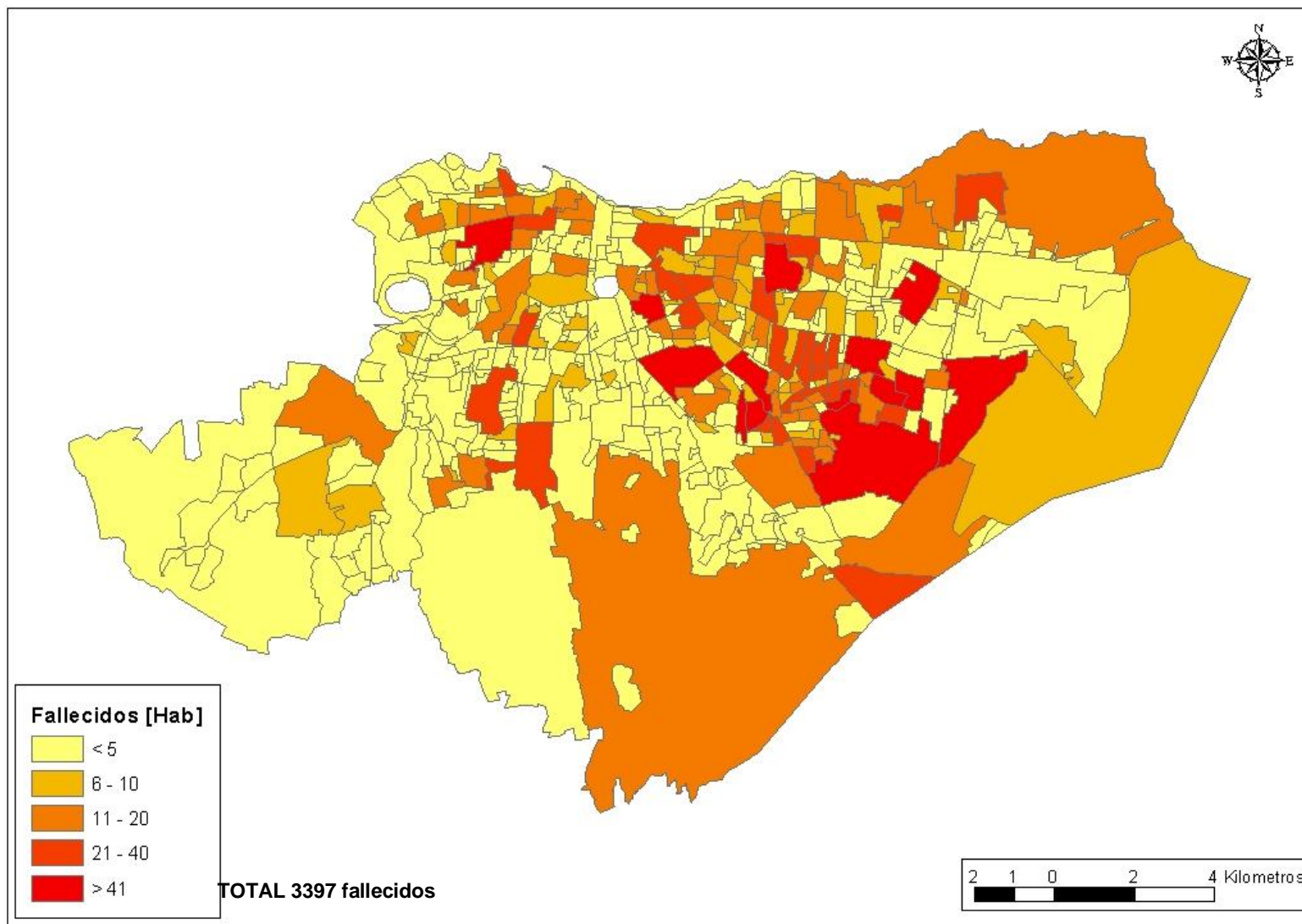


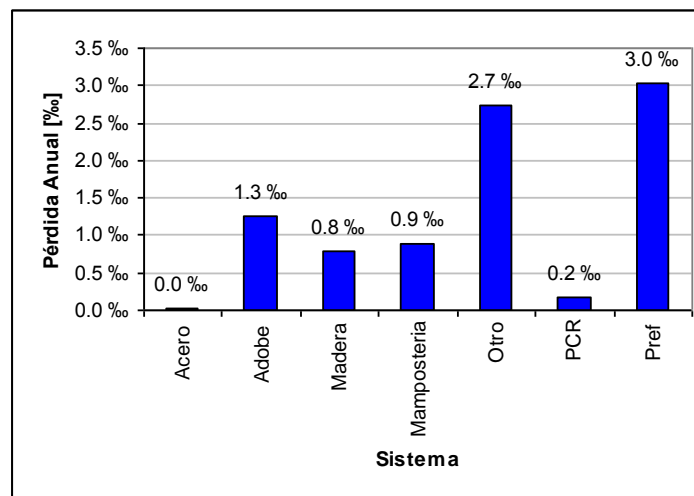
Figura 5-8  
Distribución de número de víctimas por barrio

## 5.2 Escenario probabilista

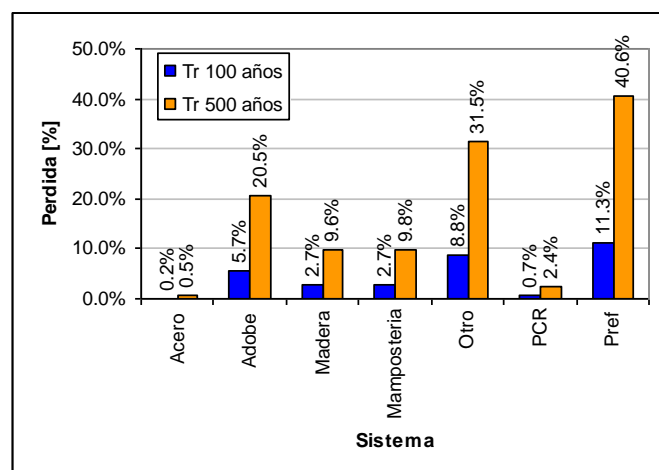
El análisis probabilístico permite obtener las gráficas y tablas de información que se presentan a continuación.

**Tabla 5-3**  
*Resultados valores expuestos y pérdidas probables*

Sistema	Valor expuesto		Pérdida anual		Pérdida Tr 100 años		Pérdida Tr 500 años	
	[MDC]	[%]	[MDC]	[%]	[MDC]	[%]	[MDC]	[%]
Acero	\$ 129	0.1%	\$ 0	0.0 ‰	\$ 0	0.2%	\$ 1	0.5%
Adobe	\$ 42	0.0%	\$ 0	1.3 ‰	\$ 2	5.7%	\$ 9	20.5%
Madera	\$ 23,907	24.0%	\$ 19	0.8 ‰	\$ 642	2.7%	\$ 2,303	9.6%
Mampostería	\$ 16,485	16.5%	\$ 14	0.9 ‰	\$ 451	2.7%	\$ 1,619	9.8%
Otro	\$ 55,518	55.7%	\$ 151	2.7 ‰	\$ 4,873	8.8%	\$ 17,486	31.5%
PCR	\$ 3,061	3.1%	\$ 1	0.2 ‰	\$ 21	0.7%	\$ 75	2.4%
Pref	\$ 544	0.5%	\$ 2	3.0 ‰	\$ 62	11.3%	\$ 221	40.6%
<b>Totales</b>	<b>\$ 99,686</b>	<b>100.0%</b>	<b>\$ 187</b>	<b>1.9 ‰</b>	<b>\$ 6,051</b>	<b>6.1%</b>	<b>\$ 21,713</b>	<b>21.8%</b>



**Figura 5-9**  
*Pérdida anual esperada por sistema estructural*



**Figura 5-10**  
*Pérdida anual esperada por sistema estructural para dos periodos de retorno diferentes*

### 5.2.1 Curva de excedencia de pérdida

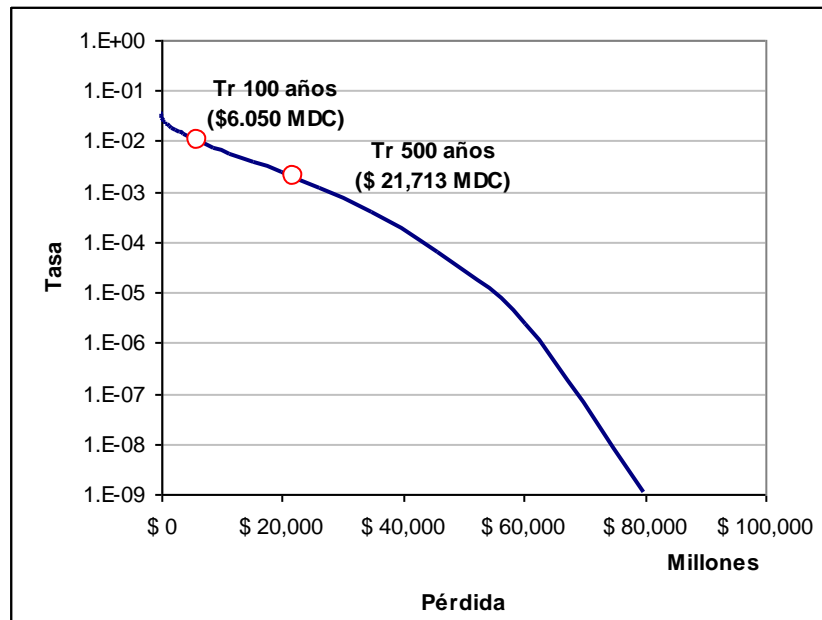


Figura 5-11  
Curva de excedencia de pérdida

En la a se presentan los resultados de la evaluación del escenario probabilista, en términos de pérdida anual esperada y pérdida máxima probables para periodos de retorno de 100 y 500 años. Para permitir una fácil visualización los resultados han sido agrupados a nivel de barrio.

5. Resultados de la evaluación

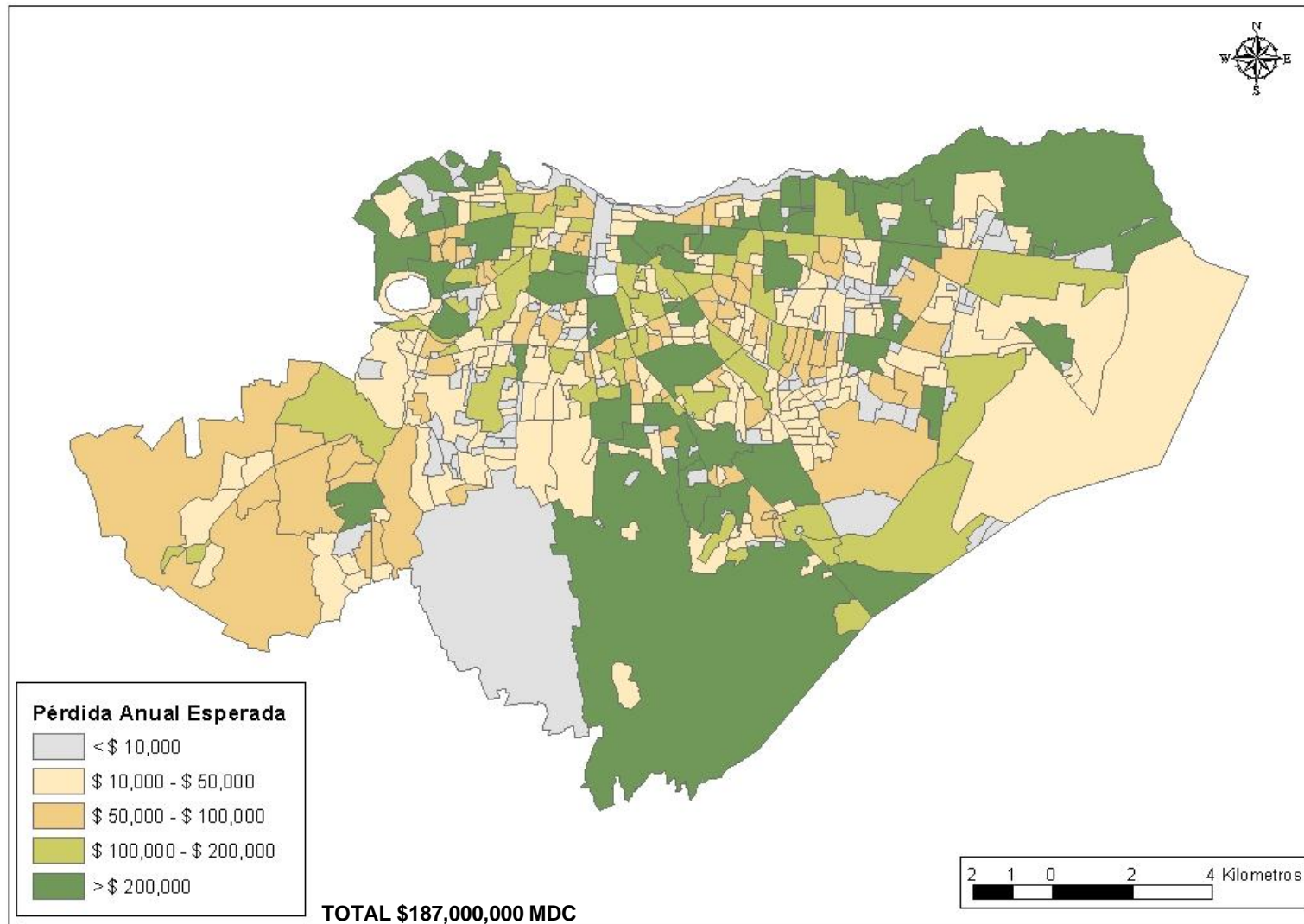
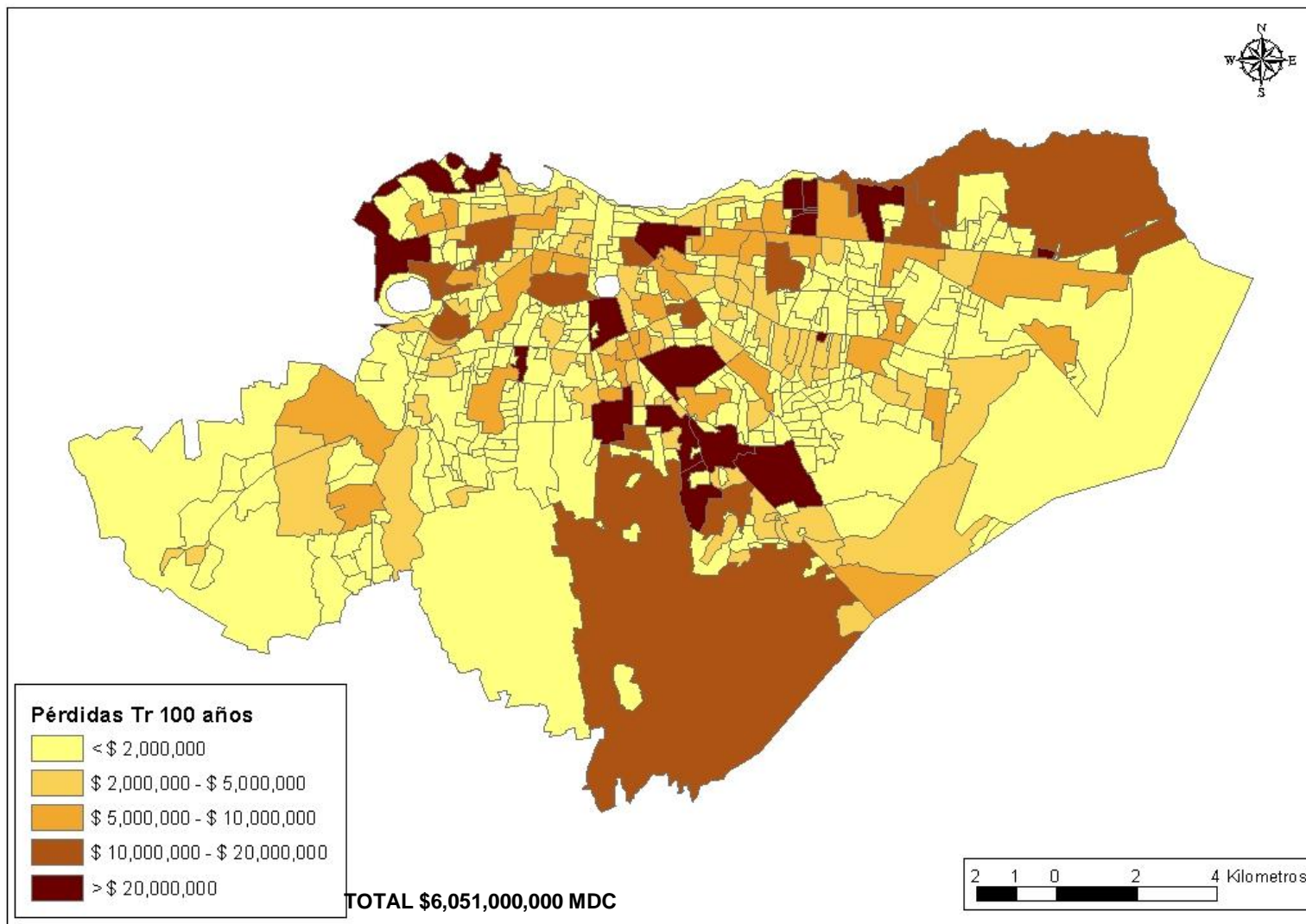
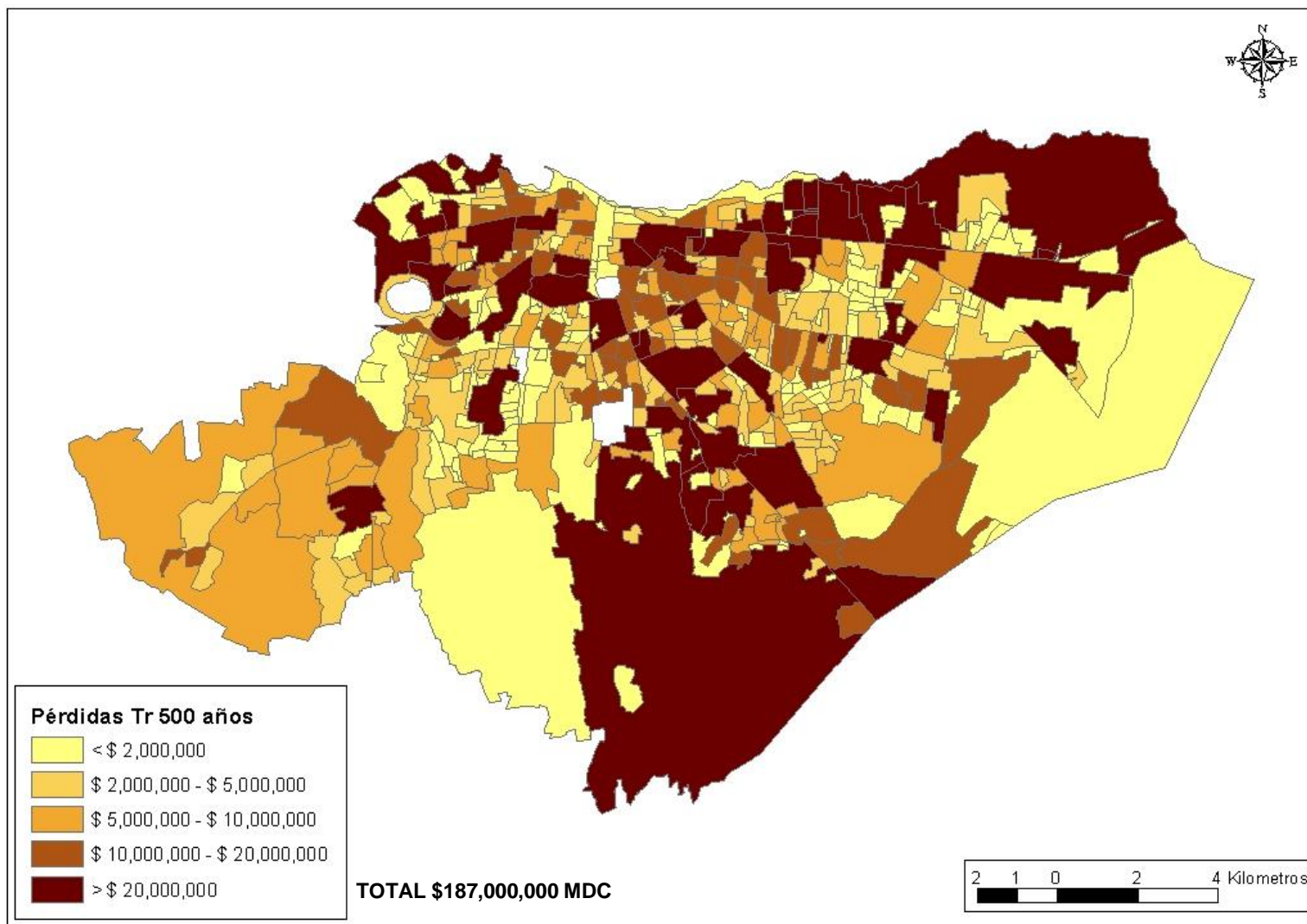


Figura 5-12  
Pérdida anual esperada agregada por barrios



*Figura 5-13*  
*Pérdida máxima probable para 100 años de periodo de retorno esperada, agregada por barrios*



*Figura 5-14*  
*Pérdida máxima probable para 500 años de periodo de retorno esperada agregada por barrios*



## 6 Conclusiones y recomendaciones

---

El análisis de riesgo por terremoto 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 preliminares presentados.

- (a) Información Sísmica: Se puede considerar de muy buena calidad y completa para efectos del presente análisis.
- (b) Información de exposición: Este trabajo se ha hecho con datos que fueron aportados en 2004 y las cifras indican que pueden ser menos de la mitad de las cifras que se estiman actualmente de población y de los elementos expuestos que se han incluido en este análisis. Por esta razón, se recomienda hacer el mejor esfuerzo por tener bases de datos actualizadas que permitan evaluaciones acordes con la realidad y de mayor precisión para efectos de la toma de decisiones que se deriva de estos estudios. Deben plantearse programas de levantamiento de información con base en visitas de campo intensivas.
- (c) Las funciones de vulnerabilidad deben revisarse y evaluarse en un plan en el mediano plazo, mediante la vinculación de universidades y centros de investigación. Estos trabajos deben basarse en modelaciones analíticas y experimentales de los tipos constructivos típicos de la ciudad y en observaciones del comportamiento de tipos constructivos característicos ante eventos determinados.
- (d) Los resultados de los análisis de riesgo y su interpretación para la toma de decisiones debe realizarse de manera conjunta con las entidades y especialistas a cargo de cada uno de los aplicativos que pueden derivarse de estos resultados.

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

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

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

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

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

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

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

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

## 7 Referencias

---

- NORSAR et. al. Proyecto regional RESIS II – Evaluación de la Amenaza sísmica en Centroamérica. 2008.
- 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.
- World Institute for Disaster Risk Management. 2005. Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Managua. INETER. SINAPRED. Proyecto de Reducción de la Vulnerabilidad ante Desastres Naturales.