

NICARAGUA

TOMO I METODOLOGÍA DE MODELACIÓN PROBABILISTA DE RIESGOS NATURALES

INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-16

ESCENARIO DE RIESGO VOLCÁNICO EN MANAGUA



CEPRENAC



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.



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.

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 y objetivo	1-1
2	Metodología de evaluación del riesgo.....	2-1
3	Amenaza volcánica de Managua	3-1
3.1	Estimación determinista.....	3-2
4	Inventario de Elementos Expuestos	4-1
4.1	Información disponible de exposición	4-1
4.2	Información de exposición por predios.....	4-2
4.3	Información de vulnerabilidad	4-4
5	Resultados de la Evaluación	5-1
5.1.1	Mapas de riesgo por barrios.....	5-1
6	Acciones Recomendadas	6-1
7	Referencias	7-1

Índice de figuras

FIGURA 3-1 VOLCÁN APOYEQUE	3-1
FIGURA 3-2 MAPA DE AMENAZA DETERMINISTA POR CAÍDA DE CENIZAS [M] EN EL VOLCÁN APOYEQUE .	3-3
FIGURA 4-1 MAPA DE PREDIOS DE MANAGUA	4-2
FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DEL VALOR FÍSICO POR BARRIO.....	4-3
FIGURA 4-3 DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE OCUPACIÓN POR BARRIO	4-3
FIGURA 4-4 CURVA DE VULNERABILIDAD PARA CAÍDA DE CENIZAS	4-4
FIGURA 5-1 PÉRDIDA FÍSICA AGRUPADA POR BARRIOS	5-2
FIGURA 5-2 NÚMERO DE VÍCTIMAS AGRUPADAS POR BARRIOS	5-2

Índice de tablas

TABLA 3-1 PARÁMETROS DEL MODELO DEL VOLCÁN APOYEQUE	3-2
TABLA 4-1 INDICADORES GENERALES DE EXPOSICIÓN	4-2
TABLA 5-1 VALORES EXPUESTOS Y PÉRDIDAS ECONÓMICAS Y DE VIDAS HUMANAS	5-1

1 Introducción y objetivo

El territorio nicaragüense presenta una alta actividad sísmica y volcánica, generada principalmente por la interacción tectónica de las placas Cocos y Caribe. Este ambiente tectónico da origen a una determinada recurrencia de erupciones volcánicas, lo que implica algún nivel de riesgo sobre la población e infraestructura expuestas.

Considerando la actual exposición en términos de infraestructura y de población a los niveles de amenaza volcánica existentes, resulta importante que las ciudades nicaragüenses cercanas a volcanes activos cuenten con planes de contingencia y atención de emergencias, programas para la reducción y mitigación del riesgo y esquemas adecuados de protección financiera, que les permitan prevenir o cubrir las pérdidas asociadas a una erupción cercana importante.

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 Km², con un área urbana de aproximadamente 174 Km². 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.

En el proceso de conocimiento y evaluación del riesgo que se deriva de la ocurrencia de erupciones volcánicas, 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 nivel de riesgo ante una erupción determinada en el volcán Apoyeque, localizado al noroccidente de la ciudad de Managua, en términos de pérdidas económicas directas y afectación sobre la población. El análisis se realiza para un escenario determinista correspondiente a la peor erupción posible en el futuro.

Los resultados de la simulación se presentan de manera que puedan ser usados para análisis detallados posteriores y como insumos para la preparación del plan de contingencia o de atención de emergencias. Las evaluaciones realizadas incluyen:

- (a) Valoración de las pérdidas económicas para el escenario seleccionado.
- (b) Estimativo de víctimas humanas.

2 Metodología de evaluación del riesgo

Para la evaluación del riesgo volcánico de la ciudad de Managua 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 volcánico de Chinandega incluyó los siguientes aspectos:

- (a) Evaluación de la amenaza volcánica: ésta se evalúa mediante un análisis determinista sobre un escenario probable y característico del volcán Apoyeque. Este análisis permite obtener la pérdida esperada para cada bien y el portafolio en general dada la eventual ocurrencia del evento seleccionado en el escenario. Se considera únicamente el efecto de las cenizas volcánicas en la ciudad.
- (b) Inventario de bienes expuestos: el inventario de predios de Managua fue tomado del estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Managua (World Institute for Disaster Risk Management, 2005). Dicho inventario cuenta con una totalidad de 160,545 predios, con un valor físico expuesto total de cerca de \$ USD 5000 millones, y una población de 582,626 habitantes.
- (c) Funciones de vulnerabilidad: las edificaciones de la base de exposición se caracterizan mediante una función de vulnerabilidad general que tiene en cuenta la resistencia promedio de las estructuras de cubierta ante una eventual sobre carga por acumulación de ceniza volcánica. Estas funciones de vulnerabilidad representan el comportamiento esperado (probable) de las edificaciones de la ciudad, por lo que su uso es adecuado en términos estadísticos cuando existe un inventario amplio de activos expuestos.
- (d) Evaluación del riesgo: la evaluación del riesgo se lleva a cabo mediante el asocio de la amenaza volcánica considerada sobre el inventario de activos expuestos con las funciones de vulnerabilidad volcánica 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 el escenario planteado. La valoración del riesgo sísmico se presenta en términos de estimaciones de:
 - Pérdidas económicas directas aproximadas asociadas al daño en las construcciones
 - Afectación humana en términos de pérdida de vidas.

3 Amenaza volcánica de Managua

La amenaza volcánica para la ciudad de Managua es evaluada en este caso para el volcán Apoyeque, localizado a 10 Km del centro de la ciudad. El modelo de amenaza volcánica del Apoyeque 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.

Apoyeque es un estratovolcán que forma la amplia Península de Chiltepe, la cual se extiende hacia la parte sur-central del Lago Managua a una distancia de 10 km del centro de Managua, con elevación de solo 420 m. La caldera es de 2.5 km de diámetro y 400 m de profundidad. Fue la fuente de una espesa capa de pómez dacítico que cubre los alrededores del volcán. Contiene una laguna que se encuentra próxima al nivel del mar. Otra laguna cratérica, Jiloá, se ubica al SE. El domo de lava Talpetatl se ubica entre la Laguna de Jiloá y la costa del Lago Managua. (Figura 3-1).

La erupción más antigua data del año 2550 AC aproximadamente, y se cree tuvo un VEI = 5 arrojando a la atmosfera más de $1 \times 10^9 \text{m}^3$ de tefra. En el año 1050 AC otra erupción explosiva tuvo lugar expulsando un volumen de tefra de $5 \times 10^8 \text{m}^3$. Por último en el año 50 DC una erupción de VEI = 6 arrojó un volumen de $1.8 \times 10^{10} \text{m}^3$. Desde entonces no se ha registrado actividad a excepción por las emanaciones de gas que eventualmente son expulsadas por el volcán



*Figura 3-1
Volcán Apoyeque*

(Fuente: https://royshencr.powweb.com/html/pic/main.php?g2_itemId=235&g2_imageViewsIndex=1)

3.1 Estimación determinista

La amenaza volcánica se evaluó para un evento determinista considerado como de características catastróficas, correspondiente a una erupción con índice de explosividad (VEI) de 6. Se considera que este evento generaría un escenario representativo de la peor situación que podría presentarse en la ciudad, por lo cual se considera que es adecuado como insumo para el desarrollo de un plan de contingencia, para formular procedimientos de emergencia por entidades y con fines de proponer programas de mitigación y reducción de la vulnerabilidad.

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Apoyeque se presentan en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1
Parámetros del modelo del Volcán Apoyeque

Modelo de ERN-Volcán				
<i>Tipo de análisis:</i>	Determinista			
<i>Definición de ventosas:</i>	Única Ventosa	<i>Coordenadas:</i>	Este	-86.34°
			Norte	12.24°
Caída de cenizas				
<i>Altura columna eruptiva:</i>	30 Km	<i>Campo de viento</i>		
<i>Volumen expulsado:</i>	180.00 Km ³	<i>Altura (%)</i>	<i>Vel (m/s)</i>	<i>Dir (°)</i>
<i>Factor de forma:</i>	0.2	0	0.5	315
<i>N° divisiones altura:</i>	20	20	0.5	315
<i>μ Tamaño partículas:</i>	-3	40	0.5	315
<i>σ Tamaño partículas:</i>	1.5	60	0.5	315
<i>Paso discretización X:</i>	100	80	0.5	315
<i>Paso discretización Y:</i>	100			
<i>Coefficiente difusividad:</i>	750 m ² /s			

A continuación se presenta el mapa de amenaza por caída de cenizas.

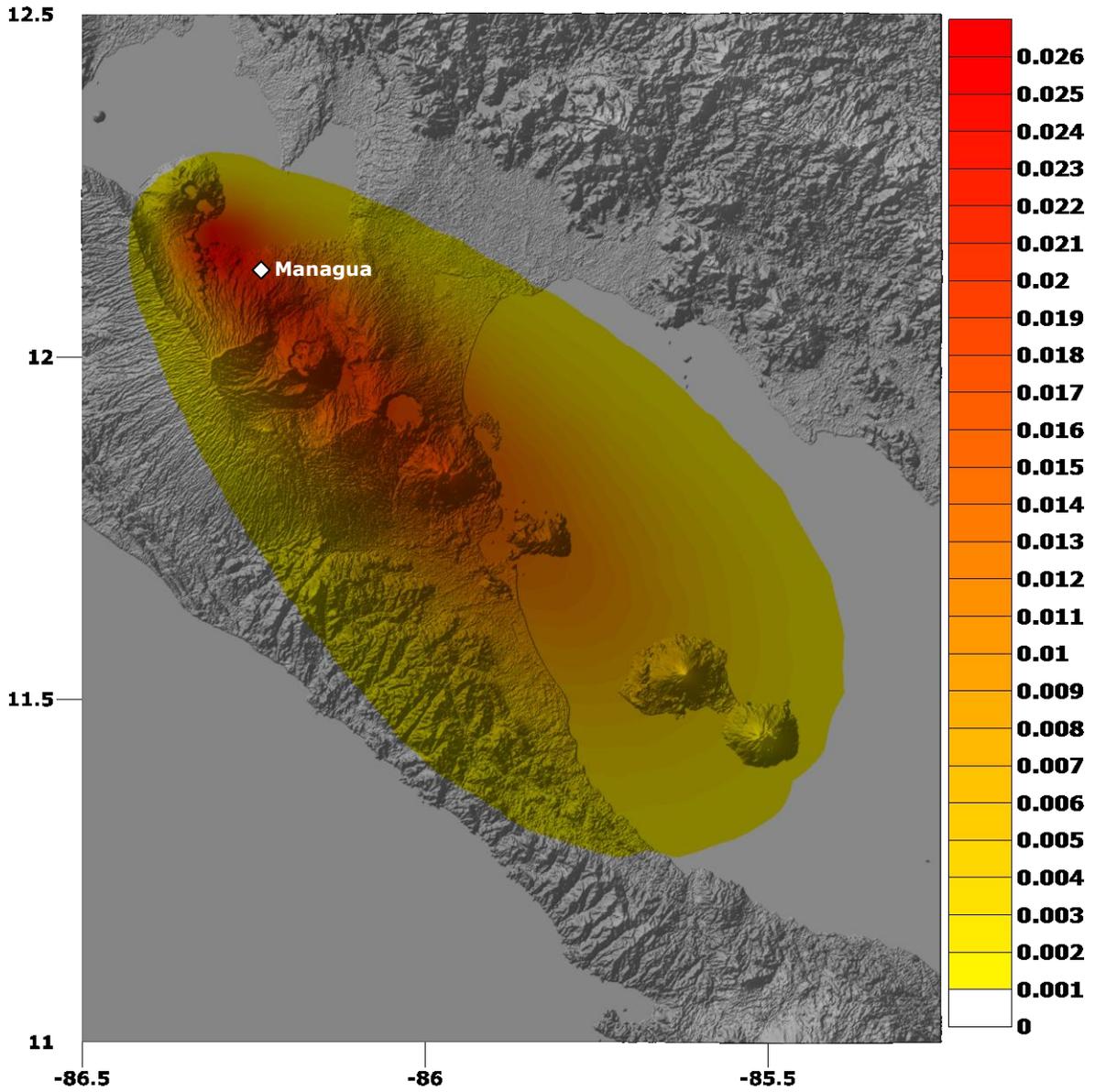


Figura 3-2
Mapa de amenaza determinista por caída de cenizas [m] en el volcán Apoyeque

4 Inventario de Elementos Expuestos

4.1 Información disponible de exposición

El análisis de riesgo involucra la evaluación de los elementos expuestos susceptibles a sufrir daños por la acción volcánica 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.

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 que se consideren aceptables para los fines del análisis.

Las variables de exposición que se emplean en el análisis corresponden a valores de exposición tomados del estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Managua (World Institute for Disaster Risk Management, 2005).

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 las variables de exposición involucradas en el análisis de riesgo.

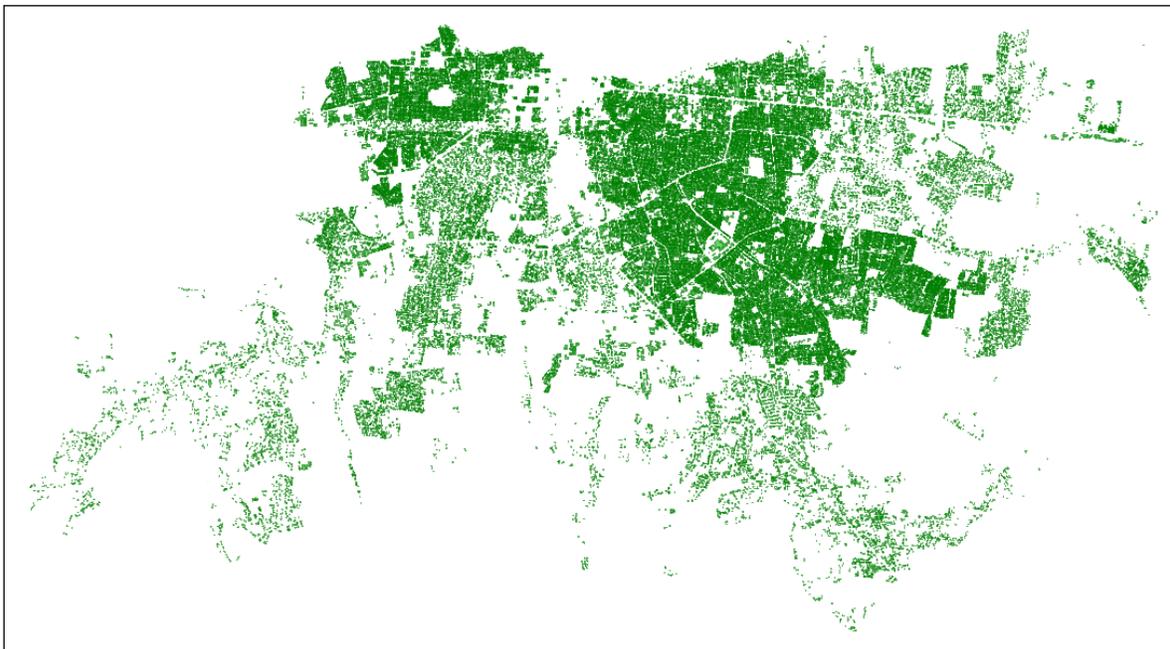


Figura 4-1
Mapa de predios de Managua

4.2 Información de exposición por predios

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. La Tabla 4-1 describe los indicadores de exposición generales de la ciudad.

Tabla 4-1
Indicadores generales de exposición

Base de exposición	
Ciudad	Managua
Número de predios	160,454
Valor físico [USD x10⁶]	4,397
Población [Hab]	582,626

Las Figuras siguientes presentan mapas de distribución geográfica de las principales variables de exposición de la base de datos de predios de Managua. Los valores se encuentran agrupados a nivel de Barrio, para facilitar su visualización.

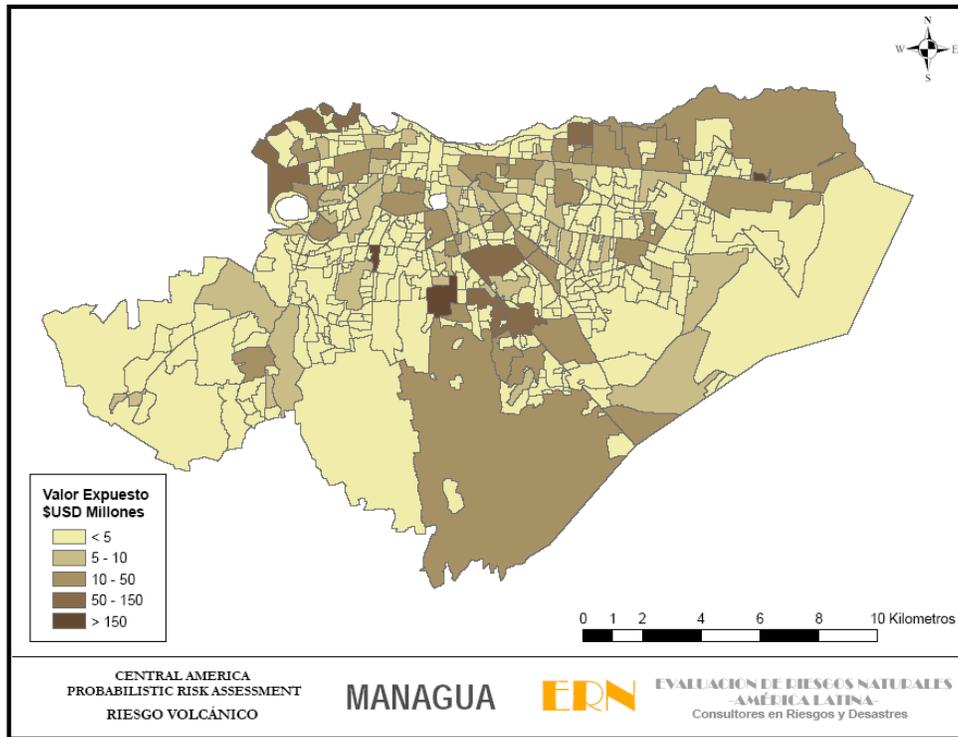


Figura 4-2
Distribución del valor físico por barrio

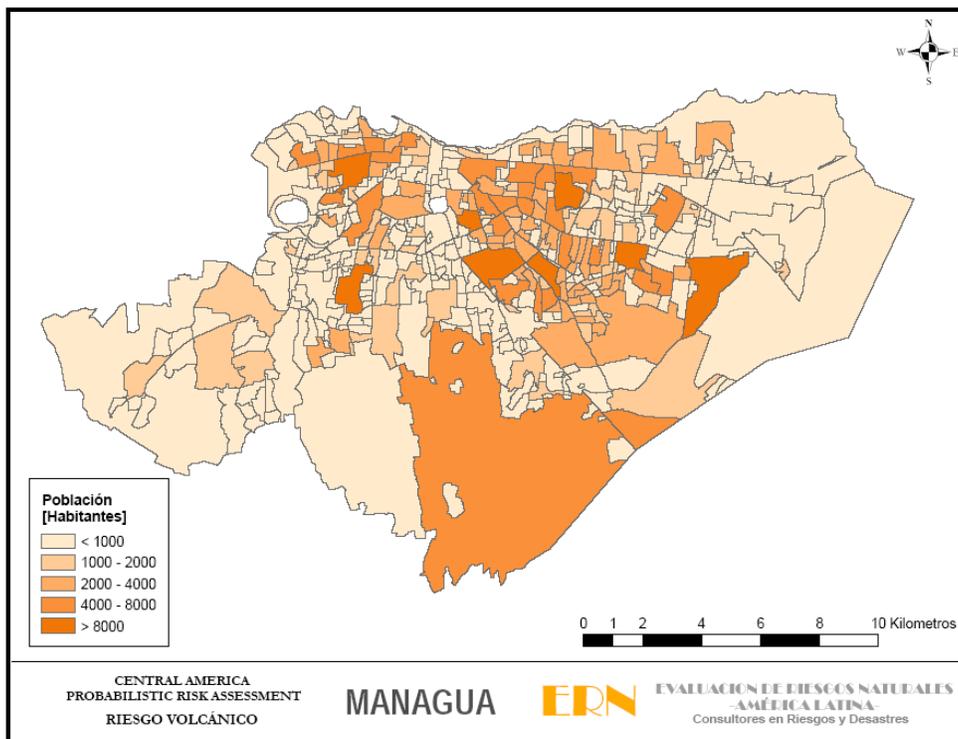


Figura 4-3
Distribución del nivel de ocupación por barrio

4.3 Información de vulnerabilidad

Se asignaron de manera uniforme a la totalidad de predios de la ciudad funciones de vulnerabilidad ante caída de cenizas. La intensidad se mide en términos del espesor depositado de ceniza volcánica. La vulnerabilidad estructural está directamente asociada con el nivel de diseño de las cubiertas de las edificaciones. Para esta evaluación se consideró, de manera uniforme en toda la ciudad, una carga de diseño de cubiertas de 50 Kg/m^2 . Las función de vulnerabilidad empleada se presenta en la Figura 4-4.

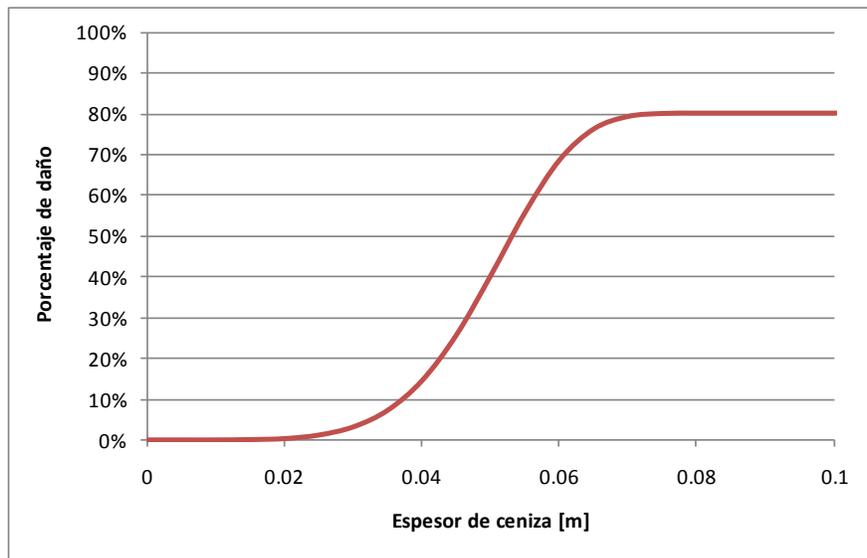


Figura 4-4
Curva de vulnerabilidad para caída de cenizas

5 Resultados de la Evaluación

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 (ERN 2009, ver www.ecapra.org). Esta plataforma permite realizar evaluaciones de amenaza volcánica, 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.

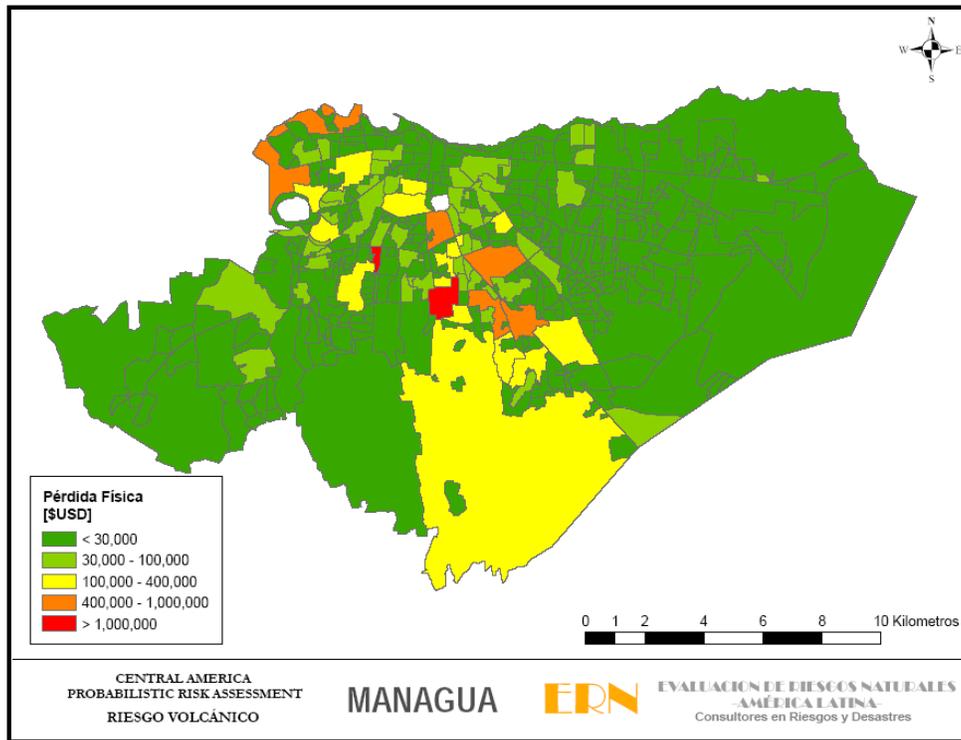
La Tabla 5-1 resume los resultados encontrados para este escenario en términos de pérdidas económicas y de vidas humanas totales y en porcentaje con respecto a los valores expuestos correspondientes.

*Tabla 5-1
Valores expuestos y pérdidas económicas y de vidas humanas*

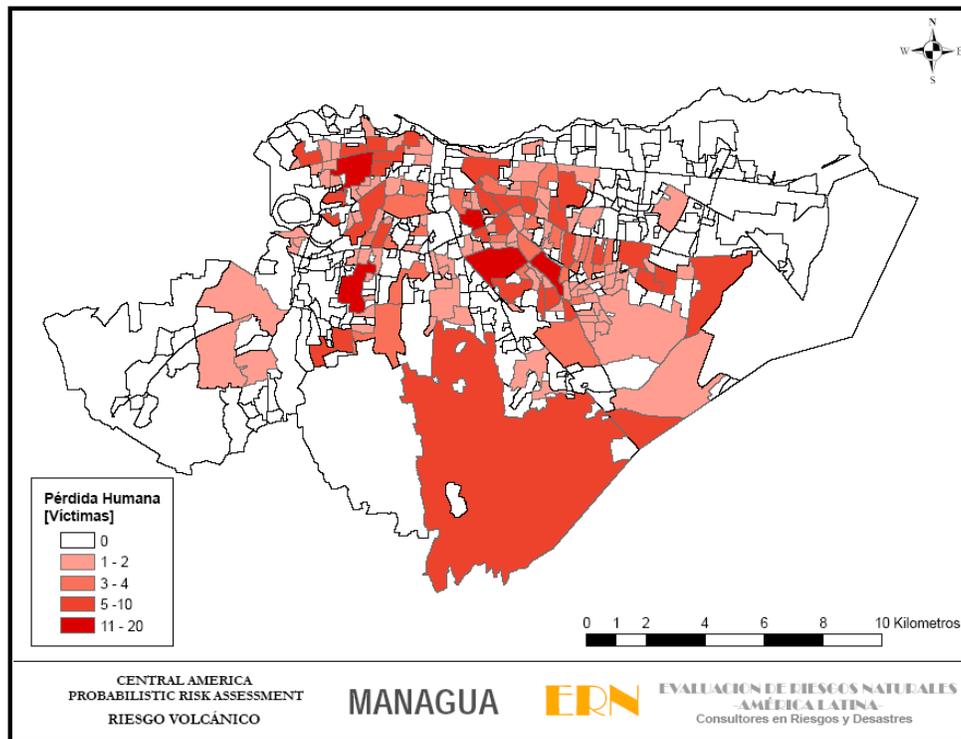
Resultados		
Exposición	Física	
Valor Expuesto	USD\$ x10⁶	\$4,937
Pérdida Económica	USD\$ x10⁶	\$31.07
	%	0.63%
Exposición	Humana	
Población Expuesta	Habitantes	582,626
Pérdida Humana	Víctimas	591
	%	0.10%

5.1.1 Mapas de riesgo por barrios

A continuación se muestran los mapas de pérdidas esperadas, económicas y de vidas humanas, para el escenario volcánico escogido. Los resultados han sido agrupados a nivel de barrio, lo que permite verlos de manera más globalizada.



*Figura 5-1
Pérdida física agrupada por barrios*



*Figura 5-2
Número de víctimas agrupadas por barrios*

6 Acciones Recomendadas

El análisis de riesgo volcánico presentado para la ciudad de Managua debe verse como una aproximación inicial que permite la cuantificación y calificación del riesgo en la ciudad 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 volcánica: es susceptible de complementarse y mejorarse, en la medida que se detalle el estudio de las características del volcán Apoyeque. Esta caracterización debe enfocarse en la determinación de parámetros del modelo probabilista propuesto en CAPRA (ver Informe ERN-CAPRA-T1-3: Modelos de Evaluación de Amenazas Naturales y Selección, ERN 2009). Sin embargo el costo y tiempo requerido para mejorar este tipo de información es muy alto y no se justifica en el corto plazo. Sí resulta de la mayor importancia mantener una red de observación vulcanológica en funcionamiento con miras a contar con mejor información en el futuro para efectos de calibración y ajuste de los modelos.
- (b) Información de exposición: la base de datos de exposición empleada en este estudio constituye la mejor información disponible a la fecha. Sin embargo debe complementarse y mejorarse paulatinamente de manera que se cuente con una versión actualizada para poder emplear los resultados del análisis en un proceso de toma de decisiones.
- (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, particularmente sus estructuras de cubierta.
- (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 (incluyendo estructura de cubierta) y su 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 clasificación 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 de amenaza volcánica probabilista e 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 siguientes sistemas de servicios públicos:
 - a. Acueducto y alcantarillado: se incluyen las redes de tuberías principales o troncales. Se incluyen instalaciones importantes tales como estaciones de bombeo, cuartos de control, subestaciones, edificaciones administrativas y otras ubicadas dentro del perímetro urbano de la ciudad.
 - b. Energía: se incluye la red de distribución principal y las subestaciones eléctricas e instalaciones importantes para el funcionamiento del sistema.

- c. Comunicaciones: se incluyen únicamente las subestaciones y centros de control importantes del sistema al igual que los sitios relevantes de retransmisión, antenas y demás puntos que se consideren estratégicos para el funcionamiento del sistema.
 - d. Gas: se considera la red de distribución principal del sistema de gas y las instalaciones relevantes tales como edificaciones administrativas, centros de control o “city gates”.
 - e. Puentes vehiculares urbanos: se consideran los puentes vehiculares urbanos principales que hacen parte de la malla vial de la ciudad.
 - f. Instalaciones industriales de alta peligrosidad.
- (f) Requerimientos especiales para normativa sismo resistente, actualización o complementación de la misma.

Por otro lado, 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. 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 de ciudades como Managua, factor clave para el desarrollo económico y social. El proceso exige la participación activa de entidades públicas, universidades, sector privado y de la comunidad en general relacionada con esta temática.

7 Referencias

- Biblioteca Virtual en Población. Centro Centroamericano de Población. Censo de Población de Costa Rica 1971. Disponible en: <http://ccp.ucr.ac.cr/bvp/censos/CostaRica/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. 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
- Evaluación de Riesgos Naturales ERN – América Latina. ERN-Volcán V1.0. 2009
- HAZUS MH MR3. Multi-hazard loss estimation methodology. FEMA. <http://www.fema.gov>
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo de población Costa Rica 2000. <http://www.inec.go.cr/>
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org/>