

**INFORME FINAL**

**PROYECTO DE AMENAZA SISMICA DE  
AMERICA CENTRAL**

**Walter Montero P.  
Giovanni Peraldo H.  
Wilfredo Rojas Q.**

**Universidad de Costa Rica  
Escuela Centroamericana de Geología**

**Instituto Panamericano de Geografía y Historia  
(IPGH)**

**Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo  
(IDRC-CANADA)**

**Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en  
América Central  
(CEPRENAC)**

**-Setiembre 1997-**

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. Resumen   | 4  |
| Abstract   | 6  |
| 2. Introducción  | 8  |
| 2.1. Objetivos del proyecto  | 8  |
| 2.1.1. Objetivo general  | 8  |
| 2.1.2. Objetivos específicos   | 9  |
| 2.1.2.1. Relativos a los estudios de sismicidad histórica                    | 9  |
| 2.1.2.2. Relativos al estudio de amenaza sísmica América Central             | 10 |
| 3. Organización y actividades  | 10 |
| 3.1. Investigaciones en archivos para la documentación de sismos             | 11 |
| 3.2. Interpretación sismológica de eventos históricos                        | 12 |
| 3.3. Talleres efectuados   | 13 |
| 3.3.1 Taller de catálogos sísmicos   | 13 |
| 3.3.2. Taller de regionalización sísmica de América Central                  | 14 |
| 4. El Catálogo   | 14 |
| 4.1. Catálogo histórico  | 14 |
| 4.2. Investigación de la sismicidad histórica de América Central             | 16 |
| 4.2.1. Metodología y resultados de la investigación de sismos históricos     | 16 |
| 4.3. Catálogo instrumental   | 24 |
| 5. El Software   | 25 |
| 5.1. Descripción del software usado en la elaboración del banco de temblores | 25 |
| 5.2. Software desarrollado para el banco de temblores históricos             | 25 |
| 5.2.1. Descripción del programa "CATASIS"                                    | 26 |
| 5.2.2. Acceso y costo de distribución del programa "CATASIS"                 | 27 |
| 5.3. Software utilizado en la estimación de la amenaza sísmica               | 27 |
| 6. Estimación de Amenaza Sísmica   | 27 |
| 6.1. Metodología   | 27 |
| 6.1.1. Consideraciones de incertidumbre                                      | 28 |
| 6.1.2. Completitud   | 28 |
| 6.2. Presentación del modelo, descripción de las fuentes sísmicas            | 29 |
| 6.3. Relación de atenuación  | 35 |
| 7. Presentación de mapas   | 38 |
| 7.1. Proceso de compilación  | 38 |
| 7.2. Elaboración de los mapas de amenaza                                     | 38 |
| 7.3. Estimación y resultados de la amenaza                                   | 39 |
| 7.4. Conclusiones  | 41 |
| 8. Relevancia y significado regional y local                                 | 44 |
| 9. Esfuerzo para diseminación de resultados                                  | 45 |
| 9.1. Durante el proyecto   | 45 |
| 9.2. Posteriores al proyecto   | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 9.2.1. Sobre sismicidad histórica   | 46 |
| 10. Conclusiones  | 46 |
| 11. Referencias   | 47 |
| 12. Apéndices   | 49 |
| Apéndice1 -Taller de catálogos sísmicos   | 49 |
| Apéndice 2 -Información recuperada de los archivos y hemerotecas consulatadas     | 52 |
| Apéndice 3 -Terromotos históricos interpretados                                   | 59 |
| Apéndice 4 -Formato del catálogo del proyecto                                     | 62 |
| Apéndice 5 -Descripción de publicaciones realizadas dentro del marco del proyecto | 71 |
| Apéndice 6 - Bibliografía del proyecto  | 75 |

### **INDICE DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Fig 1. Marco Metodológico para estudios de sismicidad histórica   | 17 |
| Fig. 2. Temblores de 1526, Guatemala y El Salvador  | 18 |
| Fig 3: Mapa de intensidades para los temblores de 1776 y 1815, El Salvador                                      | 19 |
| Fig. 4: Mapa de intensidades del temblor del 16\04\1854, El Salvador  | 20 |
| Fig. 5: Mapa de sismos históricos de Honduras, 1733-1809  | 21 |
| Fig. 6: Mapa de intensidades para los sismos de mayo de 1830 Guatemala  | 22 |
| Fig. 7: Mapa de intensidad para los sismos de 1874 y 1883, Guatemala  | 23 |
| Fig. 8: Marco geotectónico de América Central   | 30 |
| Fig. 9: Areas de fuentes sísmicas para profundidades entre 0 a 40 km  | 32 |
| Fig. 10. Perfil de las fuentes sísmicas definidas por la actividad sísmica a lo largo de la placa subducida     | 34 |
| Fig. 11: Areas de fuentes sísmicas para las profundidades entre 40 a 70 km                                      | 35 |
| Fig. 12: Areas de las fuentes sísmicas para las profundidades entre 70 a 110 km                                 | 36 |
| Fig. 13: Areas de las fuentes sísmicas para las profundidades entre 110 a 200 km                                | 37 |
| Fig. 14: Curva de amenaza para roca en Managua, calculada a partir de los parámetros PGA contra probabilidad de |    |

|  |    |
|--|----|
| excedencia anual, para la mayor componente del movimiento horizontal.  | 39 |
| Fig. 15: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 50 años.  | 40 |
| Fig. 16: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 100 años. | 41 |
| Fig. 17: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 500 años. | 42 |
| Fig. 18: Mapa probabilístico de amenaza sísmica en América Central para condición en roca, para un período de retorno de 1000 años | 43 |

## **INFORME FINAL**

### **PROYECTO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL**

#### **1. RESUMEN**

La Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (ECG-UCR) asumió las responsabilidades de las actividades del proyecto para América Central, con el beneplácito de la Secretaria General del Centro Regional para la Prevención de Desastres Naturales de América Central (CEPREDEDAC), unos ocho meses después de que empezó el proyecto. Luego de un inicio no auspicio la ECG-UCR empezó un riguroso programa de investigación frecuentemente llevando adelante varias actividades diferentes simultaneamente. A través de su propio esfuerzo y con la asistencia de agencias en Noruega (NORSAR) y en América Central, la ECG-UCR pudo llevar adelante las metas que se le impusieron dentro del proyecto en menos de cuatro años.

La primera fase del proyecto consistió en la compilación de un catálogo de eventos históricos y macrosísmicas y de eventos determinados de registro instrumentales de sismicidad (o sencillamente eventos instrumentales). Walter Montero (M.Sc ), Director de la ECG-UCR, y Giovanni Peraldo asumieron la responsabilidad para la realización del catálogo macrosísmico y a Wilfredo Rojas le correspondió la compilación de los eventos instrumentales.

La investigación de la sismicidad histórica incluyó varias visitas a los archivos de España, Costa Rica, Colombia y Guatemala, realizados bajo la supervisión de Giovanni Peraldo de la ECG-UCR. Además, sismólogos de la región revisaron la literatura para recolectar información de estudios anteriores de macrosismicidad que cubren hasta alrededor del año 1500. El análisis de la información resultante incluyó la compilación de mapas de intensidad, para los cuales se tenía la garantía de que eran de calidad de acuerdo con criterios definidos durante un taller centroamericano y a la experiencia de los investigadores relacionadas con la interpretación de los datos macrosísmicos. Este amplio espectro de actividades llevó a la creación de un catálogo macrosísmico revisado consistente en cientos de eventos, que cubren un período de más de cuatrocientos años, hasta el inicio del siglo XX este catálogo se denominó CATASIS. Las interpretaciones macrosísmicas para los eventos de inicios de 1900 son de gran importancia, dada la muy limitada cobertura de sismógrafos que existía dentro la región en este tiempo.

Durante el mismo período otro grupo de sismólogos dirigados por Wilfredo Rojas, reevaluó los resultados de la sismicidad registrada instrumentalmente empezando con el primer evento detectado en 1902. Desde entonces, la cobertura instrumental de la región se incrementó paulatinamente hasta el punto en que hoy existe una red de estaciones cuyas señales se registran digitalmente y que es operada por cada uno de los países y con el apoyo de CEPREDENAC. La interpretaciones locales de la sismicidad instrumental son enviadas por cada país a CEPREDENAC donde se reúne la información para ser publicada en forma de boletines mensuales y anuales y la cual mediante solicitud de los interesados, la información esta disponible.

La compilación final del catálogo instrumental fue realizado en Noruega por Wilfredo Rojas, durante el estudio que llevó a una tesis de Licenciatura. Varios programas de cómputo proporcionadas por NORSAR y el desarrollo de la base de datos CATASIS fueron esenciales para la realización de este actividad. La base de CATASIS se continua usando ampliamente en la ECG-UCR.

El catálogo combinado (eventos macrosísmicos e instrumentales) fue enviado al IPGH en 1994, lo cual marcó el inicio de un período de actividades breve pero intenso, que permitió la incorporación de esta base dentro del catálogo de proyecto. Utilizando las salidas del programa MANAGE y el resultado de la comparación con las entradas del catálogo obtenido del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y del Centro Internacional de Sismología (ISC), la oficina del proyecto identificó eventos que requirieron un revisión adicional. ECG-UCR sopesó los datos proporcionados por la oficina del proyecto y realizó recomendaciones para eliminar cualquier discrepancia. En el proceso un nueva metodología para la selección de soluciones múltiples para un mismo evento permitió realizar mejoras significativas al catálogo, así como la conversión de las magnitudes al momento, dado que este es el parámetro más apropiado para definir el tamaño de los sismos.

Un grupo de sismólogos de todos los países de América Central se reunieron en 1994 para definir las fuentes sísmicas, con base en consideraciones tectónicas y en la distribución de la sismicidad. Este permitió la definición de 28 zonas sísmicas entre las cuales se distribuyó la sismicidad de la región. Relaciones de recurrencia para cada magnitud dentro de cada zona sísmica fueron realizados usando la bien conocida relación de Gutenberg y Richter, incluyendo la asignación de incertidumbres máxima y mínima, cada una de las cuales fueron asignadas para su uso dentro del árbol de lógica que fue usado en los cálculos de la amenaza. Este proceso además permitió estimar los períodos de completitud para cada magnitud dentro de cada fuente sísmica.

La relación de atenuación usada en el cálculo de la amenaza fue derivada por Climent et al (1994), a partir de datos de aceleración obtenidos en América Central y en el sur de México. Un total de 218 de tales medidas fueron usadas en la derivación del modelo de atenuación, mediante el uso de la técnica de ajustes por mínimos cuadrados. El uso de las observaciones del sur de México permitió restringir la relación en las altas magnitudes y en las distancias epicentrales más grandes.

El cómputo de la amenaza sísmica fue realizado usando un programa proporcionado por NORSAR, con base en el 10% de probabilidad de excedencia para los períodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años. Estos períodos de retorno son diferentes de aquellos usados en otras regiones, aunque el de 500 años es un período de retorno cercano al de 474.56 años (10% de probabilidad de excedencia en 50 años) usado más frecuentemente dentro del proyecto. El mapa mismo, como podía esperarse, muestra que las regiones de máxima amenaza coinciden con la zona de subducción a lo largo de la costa pacífico de América Central y con la zona de fractura de Panamá. Otra zona de relativamente alta amenaza ubicada al norte de América Central, tiene dirección cercana al este-oeste y corresponde con el límite de placas Caribe-Norteamérica.

## **ABSTRACT**

The Escuela Centroamericana de Geología of the Universidad de Costa Rica (ECG-UCR) assumed responsibility for the activities of the project within Central America from the then Secretary General of the Centro Regional para la Prevención de Desastres Naturales America Central (CEPREDENAC) about eight months after its beginning. From this inauspicious start, ECG-UCR undertook a vigorous program of research frequently involving several contemporaneous but different activities. Through its own efforts and with the assistance of agencies in Norway (NORSAR) and in Central America, ECG-UCR managed to accomplish the goals set for it by the project in less than four years.

The first phase of the project involved the compilation of the best possible catalogue of historical or macroseismic events and events determined from instrumental recordings of seismicity (or simply instrumental events) Walter Montero (M.Sc.), the Director of ECG-UCR and Giovanni Peraldo assumed responsibility for the macroseismic portion of the catalogue and Wilfredo Rojas for the compilation of instrumentally recorded events.

The research into historical seismicity included several visits to archives in Spain, Costa Rica, Colombia and Guatemala by teams of individuals under the leadership of Giovanni Peraldo of ECG-UCR. In addition, seismologists from the region conducted an extensive review of the literature to collect the available information on previous studies of macroseismicity which dated back to about 1500. The analysis of the resultant information included the re-compilation of intensity maps where warranted and independent checks of the quality of previous seismic interpretations of macroseismic data carried out either separately or at working meetings of individuals from Central America knowledgeable in both the seismicity of the region and the interpretation of macroseismic data. This broad spectrum of activities led to the creation of a revised macroseismic catalogue consisting of several hundred events extending over a period of more than four hundred years, including the early 1900s. The macroseismic interpretations for the 1900s turned out to be very useful given the limited coverage of seismographs within the region during this interval.

During the same period other groups of seismologists led by Wilfredo Rojas re-evaluated the results of instrumentally recorded seismicity, beginning with the first such event in 1902. From that time the instrumental coverage in the region slowly improved to the point where to-day there exists a network of digital seismographs, operated by the individual countries under the general direction of CEPREDENAC. Local interpretations of instrumental seismicity are forwarded by each country to CEPREDENAC which puts together monthly and yearly bulletins of events and, on request, makes digital data available to seismologists from outside the region.

The final compilation of the instrumental catalogue was carried out in Norway by Wilfredo Rojas during the course of an M.Sc. study. Several computer programmes provided by NORSAR

and the development of the CATASIS system were essential to this activity. CATASIS continues to be used extensively by ECG-UCR to-day.

The combined catalogue (macroseismic and instrumental events) was forwarded to to IPGH in 1994 which marked the start of a brief but intense period of activities to incorporate it into the project catalogue. Using outputs from the MANAGE programme and the results of comparisons with entries in catalogues obtained from the United States Geological Survey (USGS) and the International Seismological Centre (ISC), the project office identified events which required further review. ECG-UCR assessed the data provided by the project office and made recommendations to eliminate any discrepancies. In the process a new hierarchy for the selection of multiple solutions to the same event led to some significant improvements in the catalogue as did its conversion to the use of moment magnitude as the descriptor of the size of the events.

A group of seismologists from all the countries in Central America met in 1994 to define source zones based on considerations of tectonic patterns and the distribution of seismicity. This led to the definition of 28 source zones into which the seismicity of the region as defined by the catalogue has been subdivided. Recurrence relations for each magnitude within each source zone have been established using the well known Gutenberg-Richter equation with a maximum and minimum envelope of uncertainty, each of which has been assigned a weight in the formation of the "logic tree" used in the calculations. This meeting also estimated the periods of completeness for each magnitude within each source zone.

The attenuation relation used for the computations is that derived by Climent et al (1994) from strong motion data observed in both México and Central America. A total of some 218 such measurements has been used in the least squares derivation of this attenuation model. The use of the observations from México provided important data at greater distances from the epicentres.

The computations of seismic hazard were made, using a computer programme provided by NORSAR, on the basis of a 10% probability of exceedance for return periods of 50, 100, 500 and 1000 yr. These return periods are different from those used in other regions, but that for 500 yr is reasonably close to the 474.56 yr return period (10% probability of exceedance in 50 yr) used more generally within the project. The map itself, as might be expected, shows the regions of highest hazard to coincide with the zone of subduction earthquakes along the west coast of Central America and with the Panamá fracture zone. Another zone of relatively high hazard trends more or less east-west across the northern part of Central America, connecting up with similar trends in the Caribbean.

## **2. INTRODUCCION**

El proyecto de Amenaza Sísmica del **Instituto Panamericano de Geografía e Historia (I.P.G.H.)**, contando con el financiamiento de la **Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (I.D.R.C.)**, inició en 1990 una serie de programas dirigidos hacia la evaluación de la amenaza sísmica en América Latina. Esta gran región se dividió en varias subregiones, a saber México, América Central, El Caribe y América del Sur. En cada una de ellas se realizaron una serie de actividades e investigaciones encaminadas hacia el anterior objetivo general. En este informe se presentan los resultados obtenidos en la subregión de América Central, la cual se ejecutó a través del **Centro de Prevención de Desastres Naturales de América Central (CEPREDENAC)**, como organismo regional coordinador y en su desarrollo técnico fue coordinado y ejecutado por la **Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica**. El coordinador técnico nombrado por CEPREDENAC fue **Walter Montero**. En los capítulos siguientes se describirán los principales resultados obtenidos en las diversas fases del proyecto.

La primera fase del proyecto contempló el estudio de la sismicidad histórica de América Central. Un elemento fundamental para el desarrollo de este estudio, fue la elaboración de una base de datos de temblores históricos que incorporará las diversas referencias sobre eventos sísmicos ocurridos en esta región desde la conquista española. El catálogo realizado incorpora catálogos de diversos países individuales y distintos documentos históricos obtenidos de fuentes variadas. Se incluye además interpretaciones de los autores, para varios sismos históricos. Este banco de información se complementó con el que realizó para esta misma región Wilfredo Rojas et al (1993), que incorpora información proveniente de temblores recientes (posteriores a 1900), y que se realizó dentro del proyecto CEPREDENAC-NORSAR (Norwegian Seismic Array). El banco de temblores fue luego utilizado en un estudio de amenaza sísmica que se configuró como el objetivo terminal de este proyecto en América Central.

En los siguientes apartados se presentan los resultados y logros realizados a través de los diferentes fases que se desarrollaron en el proyecto.

### **2.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del proyecto fue realizar un estudio de amenaza sísmica de la región de América Central, utilizando la más moderna metodología de análisis y contando con el soporte de una base actualizada y completa de temblores históricos y recientes, elaborada de diferentes fuentes de información.

Un objetivo general dentro del proyecto fue incentivar el desarrollo de recursos humanos dentro de la región de América Central, dirigidos a la realización de estudios de sismicidad histórica y de amenaza sísmica, utilizando las metodologías más modernas y los mejores datos de información.

## **2.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Los objetivos específicos que se plantearon en el proyecto se pueden dividir en dos categorías, a saber: a - **Estudios sobre la sismicidad histórica** y b.- **Estudio de Amenaza Sísmica**. Ambos tipos de objetivos están íntimamente ligados, considerando que los estudios de sismicidad histórica, además del aporte que proporcionan a los estudios de sismicidad y sismotectónica, son la herramienta fundamental sobre la cual descansa un buen estudio de amenaza sísmica. A continuación describimos ambos grupos de objetivos.

### **2.1.2.1 RELATIVOS A LOS ESTUDIOS DE SISMICIDAD HISTORICA**

En relación con los estudios realizados sobre sismicidad histórica de América Central, los siguientes fueron los objetivos específicos más importantes que se plantearon en el proyecto:

- 1) Elaborar una base de datos que incluyera los temblores históricos ocurridos en América Central. La información que nutriría este banco de información, consistiría de diversas publicaciones existentes y de los documentos primarios obtenidos en diversos archivos de la región o extraregionales
- 2) Investigar en documentos históricos existentes en archivos y en bibliotecas del área centroamericana y de España, para mejorar la completitud del catálogo sismológico histórico de los diversos países de América Central. Especialmente se consideró mejorarlo en países como Nicaragua, Honduras y Costa Rica (siglo XVII), en los cuales mediante un diagnóstico elaborado durante el proyecto, se había determinado una inadecuada documentación de los temblores dañinos ocurridos en los diversos siglos de la época colonial.
- 3) Continuar la investigación de diversos temblores dañinos que solo se conocían por fuentes secundarias vagas e imprecisas. De esta manera, se estudiaría en diferentes fuentes de información, sismos específicos para los cuales solo se tenían referencias circunstanciales de daños importantes. Esta investigación se realizó en varios archivos de Guatemala, Panamá, Colombia, España y Costa Rica.
- 4) Interpretación de los datos macrosísmicos recopilados en los diferentes archivos investigados y en las publicaciones existentes para la confección de mapas de intensidades, determinación de parámetros focales y su relación con elementos tectónicos del área centroamericana (esto se realizó para aquellos eventos que admitían un procesamiento más elaborado de la información) Esto permitiría determinar con mayor precisión los parámetros macrosísmicos de un buen número de sismos.

5) Interpretación de los documentos dentro del contexto histórico, social, cultural, económico, político y educacional. Esta fase de la investigación tenía carácter interdisciplinario, donde la historia se trató de involucrar de una manera más profunda en la interpretación de la sismicidad de Centro América, para así obtener un mayor aprovechamiento de la información localizada en los diferentes archivos consultados. Se trabaja con investigadores del área social, para evaluar y considerar el impacto social y económico que tuvo la actividad sísmica sobre el desarrollo de las comunidades centroamericanas

#### **2.1.2.2 RELATIVOS AL ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA DE AMERICA CENTRAL**

Con respecto a la amenaza sísmica, los siguientes fueron los principales objetivos que se plantearon:

1) Realizar una estimación de la amenaza sísmica de la región de América Central, acorde con los más modernos métodos de estimación probabilística y con base en los datos más actualizados que se tengan respecto a la sismicidad, neotectónica y atenuación de las señales sísmicas existentes en la anterior región

2) Determinar las zonas que presentan mayor amenaza en América Central para fines de prevención, mitigación y divulgación entre los organismos y personas que tienen relación con estas temáticas, como son los organismos de emergencia, la comunidad geocientífica, ingenieril, aseguradores, planificadores y todas aquellas personas que tengan interés en el fenómeno sísmico y sus consecuencias.