

### **3. ORGANIZACION Y ACTIVIDADES**

Una breve discusión de la forma en que cada región realizó la investigación y un resumen informativo de las actividades, incluyendo talleres realizados para tomar decisiones grupales.

El proyecto de Amenaza Sísmica de América Latina en su componente de la subregión de América Central, fue coordinado a través del **Centro de Prevención de Desastres de América Central (CEPREDENAC)**. Esta organización de carácter regional, es un organismo coordinador de proyectos relacionados con desastres naturales, como son los terremotos. Inicialmente el proyecto fue coordinado técnicamente por el primer Secretario Ejecutivo de esa entidad, Dr. Aristóteles Vergara. En una reunión realizada en ciudad de Panamá en mayo de 1991, el Consejo de Representantes, máximo órgano decisorio de CEPREDENAC, consideró conveniente que ese proyecto de carácter técnico, fuera ejecutado por una unidad técnica adscrita a ese organismo. Es así, como a mediados de 1991 se aprobó que la **Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica** y el sismólogo **M. Sc. Walter Montero**, coordinarán ese proyecto para América Central. De esta manera, este último inició formalmente sus actividades en setiembre de 1991, luego de reuniones de coordinación realizadas, entre las diversas partes involucradas en el proyecto, incluyendo una con el Dr. Chester Zelaya, secretario General del

I.P.G.H. y con el Dr. Jim Tanner, Coordinador Técnico General del proyecto. En estas reuniones se definieron los alcances del proyecto, metas y cronograma de actividades.

Posteriormente, a nivel de Centro América se involucró en diversas tareas del proyecto, a aquellas personas que tuvieron interés en aportar trabajo o conocimientos para tratar de alcanzar los logros y fines del mismo. En Panamá, esto se coordinó con el M. Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. En El Salvador, con el Lic. Guillermo Morán; en Guatemala, con el Ing. Mario Villagrán y Percy Mayol; en Honduras, con el Dr. Gonzalo Cruz y en Nicaragua con el M. Sc. Fabio Segura. En Costa Rica, el aporte del grupo profesional y técnico de la Escuela de Geología, involucró la participación en diferentes partes del proyecto, del Geol. Giovanni Peraldo, el Lic. Wilfredo Rojas, el Lic. Luis Obando, la Geol. Magda Taylor, el Tec. Jaime Brenes y el Téc. Mauricio Mora. También se le hicieron consultas al Dr. Javier Pacheco, del Centro de Investigaciones Geofísicas. De la Escuela de Historia de la Universidad de Costa Rica, participaron la Hist. Claudia Quirós y la Antrop. María Elena Calzada. Del avance del proyecto se presentaron diversos informes en las reuniones técnicas del CEPREDENAC, cuyo coordinador a nivel regional, el Dr. Federico Güendel y los representantes nacionales de sismología de cada país del área fueron enterados de las actividades y logros que se iban alcanzando en el proyecto y fueron invitados a participar. Asimismo, personal del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, con sede en la Universidad Nacional de Heredia y de la Sección de Sismología y Vulcanología del Instituto Costarricense de Electricidad, fueron invitados a participar en los talleres realizados, que más adelante se detallan.

Para cumplir las metas y objetivos del proyecto se decidió organizar las actividades en una serie de etapas, que se describen a continuación.

### **3.1 INVESTIGACIONES EN ARCHIVOS PARA LA DOCUMENTACION DE SISMOS**

Para realizar la investigación documental en los archivos se contó con diversos investigadores y colaboradores, los cuales recopilaban la información de interés especialmente durante la primera fase del proyecto. La Hist. Claudia Quirós y el Geol. Giovanni Peraldo visitaron el Archivo General de Indias y la Biblioteca Nacional de Madrid, ambos en España. Esta investigación se realizó durante los meses de enero y febrero de 1992.

El Archivo Nacional de Costa Rica y el Archivo Eclesiástico de la Curia Metropolitana de San José, Costa Rica, fueron visitados por el Geol. Giovanni Peraldo y por el asistente Mauricio Mora. Este trabajo se realizó especialmente durante la primera parte del proyecto y enriqueció en una forma sustancial el libro "Sismicidad Colonial de Costa Rica", que se publicó en 1994.

Diversos archivos de Panamá y Colombia fueron visitados por el M. Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. Las investigaciones en los archivos colombianos fueron ejecutadas durante un período de quince días a fines de junio y principios de julio de 1992.

El Archivo General de Centro América en Guatemala, fue consultado dos veces durante el proyecto. La primera investigación duró quince días y fue realizada por el Geol. Giovanni

Peraldo, entre el 20 de julio y el 2 de agosto de 1992. Posteriormente, la Hist. Claudia Quirós visitó este archivo entre el 14 de febrero y el 12 de marzo de 1994.

El trabajo en el Archivo General de Centro América, se organizó de tal manera que siguiera una secuencia lógica de investigación, consultando primero los ficheros, los cuales están organizados por temas y países. Se revisaron algunos de los temas que puedan sugerir la ocurrencia de un evento sísmico, no obstante, considerando que únicamente se dispuso de quince días, no fue posible consultar todos los ficheros, por lo que todavía queda gran cantidad de información por consultar

La mayoría de los documentos consultados han aportado información valiosa para aumentar, en algunos casos, el conocimiento de eventos previamente reportados y en otros casos para documentar eventos que no habían sido investigados.

### **3.2 INTERPRETACION SISMOLOGICA DE EVENTOS HISTORICOS**

La información recopilada acerca de gran cantidad de sismos en las diferentes publicaciones consultadas, junto con los documentos de los archivos investigados, se ha interpretado o reinterpretado según el estado del conocimiento del evento específico. Se han obtenido así nuevos epicentros, magnitudes macrosísmicas, mapas de intensidades, entre otros para una gran cantidad de sismos destructivos ocurridos.

Esta actividad se inició una vez que se recopiló toda la información existente en diferentes fuentes respecto a cada sismo histórico ocurrido. Esto se inició después de que se incorporó la información de cada sismo en los módulos "Datos Macrosísmicos" y "Notas" del catálogo de temblores CATASIS. Esto ocurrió a principios de 1993 y ha continuado hasta el presente en un proceso de revisión exhaustiva de cada evento dañino (intensidad mayor que VII)

Como continuación a la anterior actividad, las nuevas interpretaciones realizadas fueron a su vez incorporadas en los módulos de "Datos Hipocentrales" y "Distribución de intensidades" de CATASIS

En esta parte del proyecto trabajaron diversas personas. El M. Sc. Walter Montero en la interpretación sismológica. El Geól. Giovanni Peraldo H. en el procesamiento de información e interpretación sismológica. La Hist. Claudia Quirós V. en la interpretación histórica.

En el cuadro 1 se muestran los créditos de investigación desde la elaboración y diseño del banco de temblores hasta su posterior análisis (Peraldo, 1993b)

### **Cuadro 1: Créditos de investigación.**

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARCHIVOS CONSULTADOS</b>          | Archivo General de Indias (AGI), Sevilla, España Biblioteca Nacional de Madrid, España (BNM) Archivo General de Centro América (AGCA), Guatemala. Hemeroteca Nacional (HNG), Guatemala, Archivo Nacional de Costa Rica (AN), Archivo de la Curia Metropolitana (ACM), Costa Rica, Hemeroteca Asamblea Legislativa de Costa Rica (HAL), Hemeroteca Biblioteca Nacional Costa Rica (HBN) Archivo Nacional de Colombia (ANC). |
| <b>INVESTIGADORES</b>                | Hist. Claudia Quirós Vargas (AGI), Geól. Vilma Viquez (ANC), Fis. Eduardo Camacho (ANC); Geól. Giovanni Peraldo H. (AGI, BNM, AGCA, HNG, AN, ACM).                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>COORDINACION</b>                  | M.Sc. Walter Montero Pohly                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>PROGRAMACION</b>                  | Tec. Jaime Brenes<br>Geol. Luis Gmo Obando                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>BASE DE DATOS</b>                 | Geol. Giovanni Peraldo Huertas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>INTERPRETACION MACRO-SIS-MICA</b> | Geol. Giovanni Peraldo Huertas<br>MSc. Walter Montero Pohly                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>INTERPRETACION HISTORICA</b>      | Hist. Claudia Quirós Vargas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### **3.3 TALLERES EFECTUADOS**

Como parte de las actividades desarrolladas durante el proyecto, se realizaron dos talleres en la Escuela Centroamericana de Geología. El objetivo de dichos talleres fue el de dar a conocer el proyecto en sus alcances y objetivos, coordinar esfuerzos con los investigadores de las diversas instituciones geocientíficas del área centroamericana, para llevar adelante las diversas fases del proyecto y enriquecerlo con los aportes y conocimientos que los participantes tenían acerca de las características sísmológicas y neotectónicas de diversas partes del territorio centroamericano. Los talleres realizados fueron

#### **3.3.1 TALLER DE CATALOGOS SISMICOS.**

Fue coordinado por Walter Montero y Giovanni Peraldo y se realizó entre el 6 y 7 de agosto de 1992, en la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica. En este taller se discutió cual era la información sísmológica que se incorporaría en el catálogo. Además se discutió respecto al formato del banco de temblores. Para estudiar la información contenida en el banco de temblores, también se analizaron diversos criterios para la estimación de los parámetros focales a partir de datos macrosísmicos. En el apéndice 1 se muestra la lista de participantes y las conferencias que se impartieron en el taller.

### **3.3.2 TALLER DE REGIONALIZACION SISMICA DE AMERICA CENTRAL**

Este taller se realizó entre el 30 de setiembre y el 01 de octubre de 1993. Los coordinadores de este evento fueron Walter Montero, Wilfredo Rojas y Magda Taylor de la Escuela de Geología.

Los objetivos de este taller fueron definir las fuentes sismogénicas más relevantes de la región centroamericana para fines de su zonificación, también se discutió acerca de las magnitudes máximas esperadas en estas fuentes y sobre la ley de atenuación de aceleraciones más apropiada para ser aplicada en el estudio de amenaza sísmica. Los datos anteriores fueron utilizados posteriormente en el trabajo sobre Regionalización Sísmica de América Central, efectuado en NORSAR, Noruega, por Wilfredo Rojas.

En dicho taller participaron profesionales de cada uno de los países del área Centroamericana. Cada uno de ellos proporcionó aportes y sugerencias y los resultados más recientes de sus datos sismológicos. En el apéndice 1 se muestra la lista de participantes y las charlas que se desarrollaron en este taller.

## **4. EL CATALOGO**

Un estudio de amenaza sísmica debe partir de buena base de información, en este caso de una buena base de temblores, que cubra el mayor periodo de tiempo posible. Generalmente la información relacionada a la sismicidad histórica (anterior a 1900), es la que se encuentra más dispersa y fragmentaria, por lo que es importante hacer continuos esfuerzos por mejorar la información y documentación de esta parte de la historia sísmica de una región. En este proyecto, se realizó un trabajo consistente, continuado y metódico que permitiera elaborar de una buena base de datos de temblores históricos, que incorporara las diversas referencias sobre sismos ocurridos en América Central, además de información adicional que se rescatara de los archivos. En los siguientes apartados se discute las diferentes fases de investigación que permitieron elaborar la base de temblores de sismos históricos.

### **4.1 CATALOGO HISTORICO**

En este proyecto como ya se mencionó, se financiaron una serie de investigaciones en archivos localizados en diferentes localidades. El trabajo se inició con una investigación en el Archivo General de Indias (A.G.I) y en la Biblioteca Nacional de Madrid (B.N.M.) en España. Esto debido a que los reportes de los conquistadores y de los gobernadores durante la Conquista y la época Colonial, eran transmitidos directamente hasta la sede del reinado que se ubicaba en España. Estos documentos fueron archivados especialmente en los dos anteriores archivos.

En el apéndice 2 se muestra un cuadro con los documentos consultados en el Archivo General de Indias. Asimismo, se muestra otro cuadro con los temblores que fueron recuperados

de documentos investigados en este mismo archivo. Finalmente, también se incluye en este mismo apéndice una descripción de la organización del Archivo General de Indias, para ayuda para los futuros investigadores que lo deseen consultar.

También se realizó otra investigación en el Archivo General de Centro América (A.G.C.A.), ubicado en ciudad de Guatemala. En este lugar se archivaron gran cantidad de documentos de la época de la conquista y especialmente de la Colonia, dado que en esta fue la sede de la Capitanía General de Centro América durante este tiempo.

La investigación en el Archivo General de Centro América fue especialmente productiva, ya que se lograron ubicar 39 eventos sísmicos de América Central (ver apéndice 2 con los documentos y temblores estudiados). La gran cantidad de información que existe en este archivo se debe a que Guatemala era la sede del reino del mismo nombre, que comprendía el territorio desde Chiapas en México hasta Costa Rica; por lo tanto, el evento sísmico era reportado a la Capitanía de Guatemala según su impacto económico o social, o como menciona Acosta (1993) según el grado de vulnerabilidad de la provincia afectada. De esta manera, los terremotos más importantes que afectaban las diversas provincias eran reportados hasta ciudad de Guatemala.

Finalmente, se consideró también conveniente realizar una investigación en los archivos y bibliotecas de Colombia, dado que Panamá durante la época de la colonia perteneció al anterior país. Este trabajo fue realizado por el M.Sc. Eduardo Camacho y la Geol. Vilma Viquez. De esta manera, en Bogotá, Colombia, ellos investigaron el Archivo Nacional de Colombia, la Biblioteca del Observatorio de los Andes y la Biblioteca Nacional de Colombia. En ciudad de Panamá también ellos investigaron el Archivo Nacional de Panamá, la Biblioteca Nacional Ernesto J. Castillero, The Smithsonian Tropical Research Library, La Hemeroteca de la Biblioteca Simón Bolívar de la Universidad de Panamá y la colección Panamá de los archivos de la Comisión del Canal de Panamá.

La información recopilada en los anteriores archivos fue incorporada en un banco de temblores que se diseñó especialmente en este proyecto. En el banco de temblores también se incluyó la información disponible en diferentes fuentes de información y referencias previamente publicadas.

En relación con los trabajos previamente existentes, se han incorporado al banco de temblores la información pertinente de las publicaciones de los siguientes autores: Díaz (1933, 1981), Leeds (1974), Carr (1978), Sutch (1984), Viquez y Toral (1984), Larios (1984), Boschini (1987), Montero & Alvarado (1988), White & Cifuentes (1988), Feldman (1988a,b), Montero (1989), Incer (1990), Peraldo & Montero (1994) y Grases (1974). Muchos de los anteriores trabajos son recopilaciones de sismos históricos de carácter regional y otros tienen un alcance nacional.

## **4.2 INVESTIGACIONES DE LA SISMICIDAD HISTORICA DE AMERICA CENTRAL**

La información contenida en el catálogo de temblores históricos junto con los documentos de los archivos investigados, se ha interpretado o reinterpretado según el estado del conocimiento del evento específico. Los documentos recopilados han sido transcritos e interpretados desde el punto de vista sismológico y parcialmente desde el punto de vista histórico. Este análisis ha aportado nuevos e importantes datos para el estudio de la sismicidad y la amenaza sísmica en América Central.

Con base en la información disponible para cada evento histórico, se han asignado parámetros tales como intensidades (MM) para lugares donde se reportan daños, fuente generadora, epicentros, profundidades y magnitudes macrosísmicas a partir de intensidades máximas o áreas de máxima intensidad, entre otros parámetros focales relevantes. Esta información se ha incorporado en el catálogo de temblores CATASIS, que se describe más adelante.

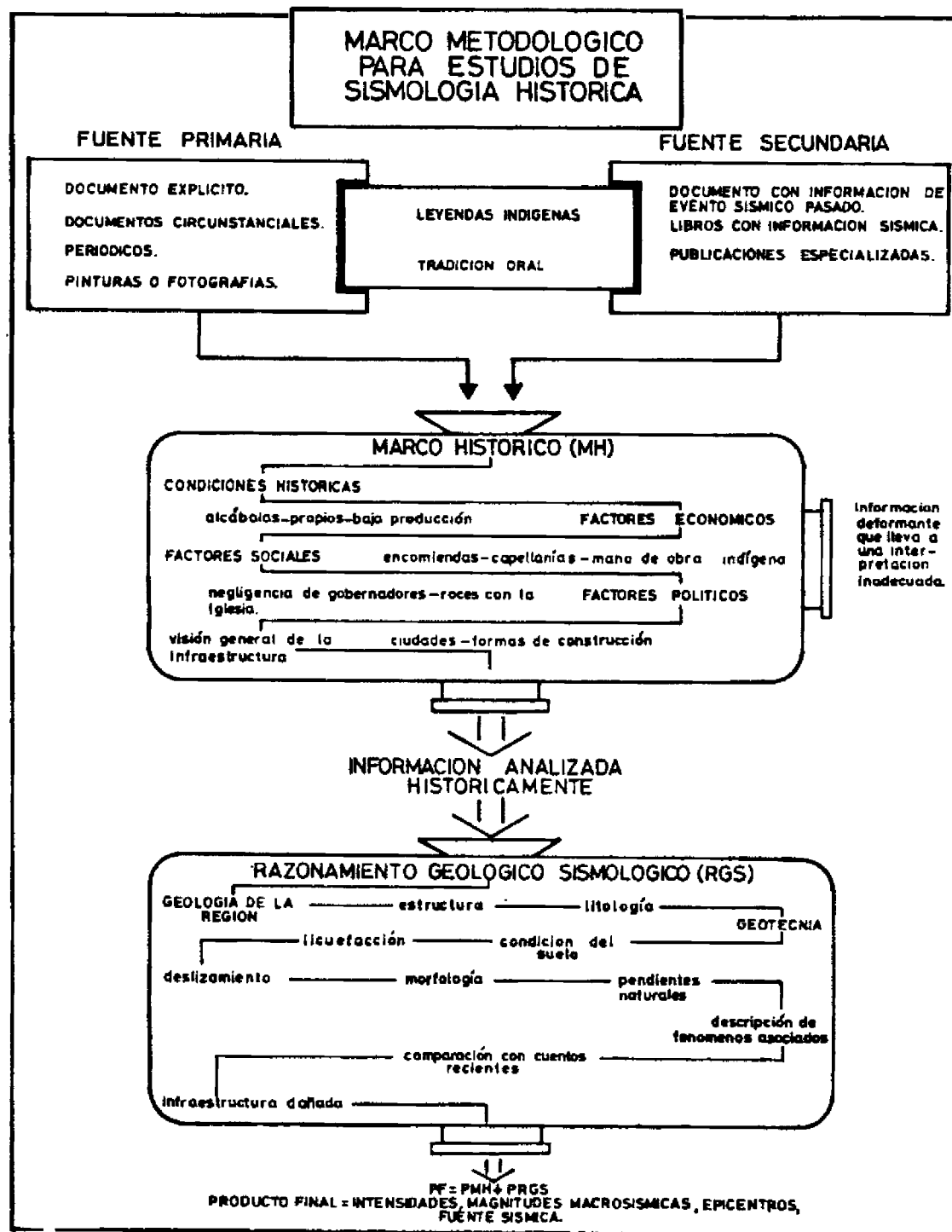
El estudio se ha realizado para toda la región de América Central, excepto Belice. Se ha cubierto el período de 1500 a 1899. Como resultado de estos análisis de la sismicidad histórica de América Central se realizará una publicación especial que está en vía de preparación.

### **4.2.1 METODOLOGIA Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACION DE SISMOS HISTORICOS**

En los estudios de sismología histórica es fundamental, en la medida de lo posible, consultar fuentes primarias (documentos) para definir sobre ubicación temporal y geográfica y para llegar a una mejor interpretación histórica y sismológica de los datos. La interpretación sismológica la realizan actualmente Walter Montero y Giovanni Peraldo.

La metodología que se empleó se muestra en la figura 1. Como se mencionó, la investigación de fuentes primarias permitió la obtención de los mejores datos sobre eventos sísmicos históricos. Es así como la investigación documental jugó un papel muy importante para obtener los más adecuados resultados respecto a la sismología histórica de la región. Peraldo (1993a y b) indica que si únicamente se investiga en fuentes bibliográficas, se corre el peligro de arrastrar errores tales como confusión de fechas o hasta confusión de fenómenos.

Fig 1: Marco metodológico para estudios de sismología histórica (Peraldo, 1993)



La visión del sismólogo y del historiador son fundamentales para interpretar adecuadamente el discurso del documento como lo mencionan Quirós (1992) y Peraldo (1993 a y b) respectivamente. Ellos indican que se debe cuestionar el documento desde el punto de vista



b) respectivamente Ellos indican que se debe cuestionar el documento desde el punto de vista histórico y, enmarcar la ocurrencia del evento geológico dentro del contexto histórico en el cual el fenómeno tuvo lugar; esto permite mejorar el criterio profesional cuando se interpreta el fenómeno geológico.

Peraldo (1993 a) indica que cuando se lee un documento, hay que tomar en cuenta los siguientes puntos: (1) Analizar críticamente el discurso del documento. (2) Verificar que el documento haya sido escrito en una época cercana al evento que interesa o por el contrario este hace una crónica de hechos pasados. (3) Analizar el documento para determinar la posible parcialización del mismo hacia algún sector social o si existen intereses económicos, políticos o personales que pueden estar distorsionando la veracidad del discurso. El análisis del documento, tomando en cuenta los anteriores puntos es imprescindible, porque nos indica si el fenómeno geológico fue manipulado para conseguir un fin específico.

Con base en la información disponible para cada evento histórico, se han asignado parámetros tales como intensidades (MM) para lugares donde se reportan daños, fuente generadora, epicentros, profundidades y magnitudes macrosísmicas a partir de intensidades máximas o áreas de máxima intensidad. En el apéndice 3 se presenta en un cuadro los eventos sísmicos evaluados o reevaluados por los autores del presente catálogo. En las figuras 2 a 7 se muestran ejemplos de temblores con interpretaciones macrosísmicas de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua.

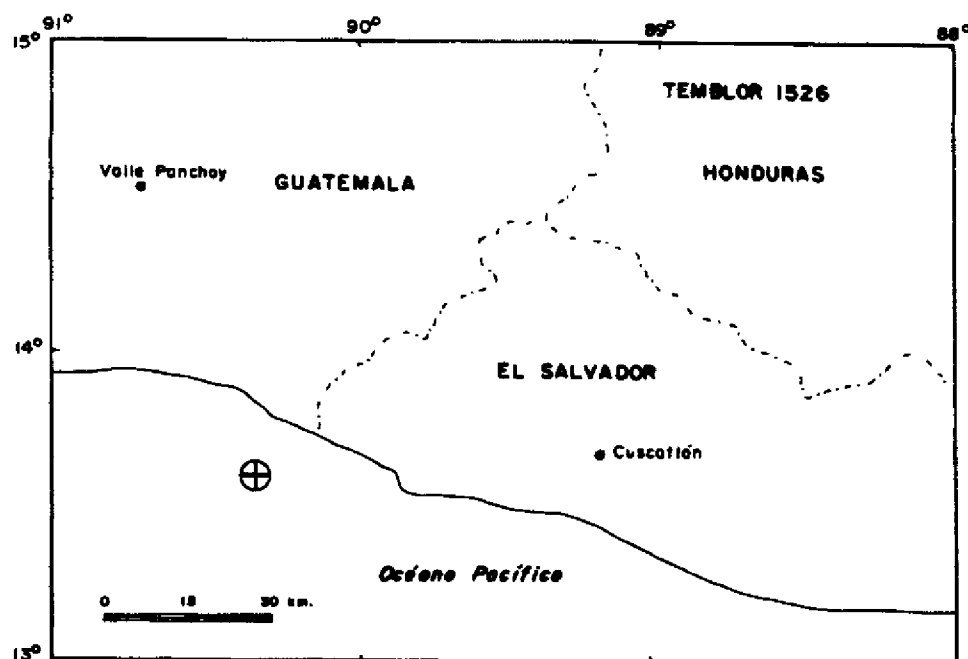


Fig 2: Temblor de 1526, Guatemala y El Salvador.

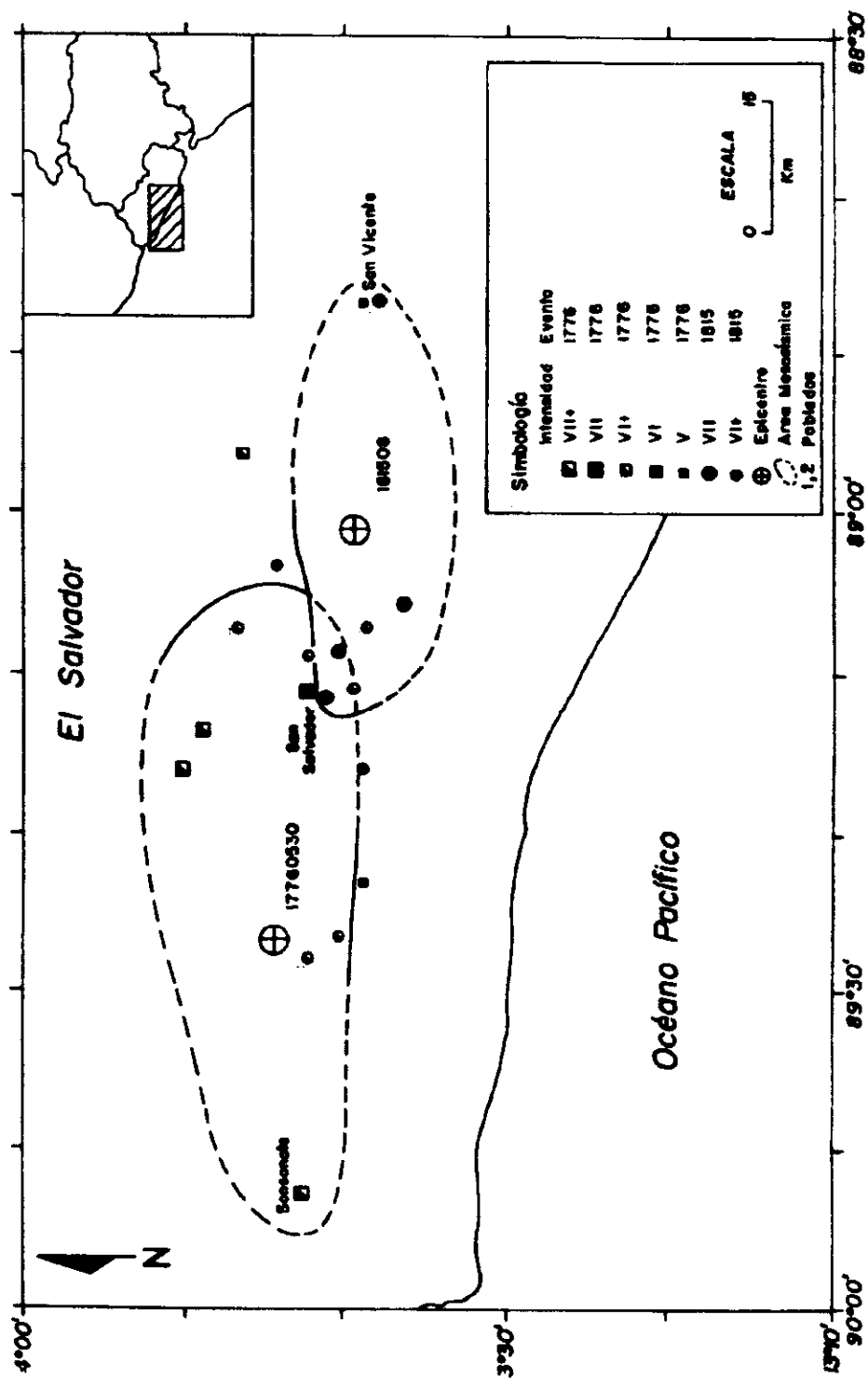


Figura 3: Mapa de intensidades para los terremotos de 1776 y 1815 de El Salvador.



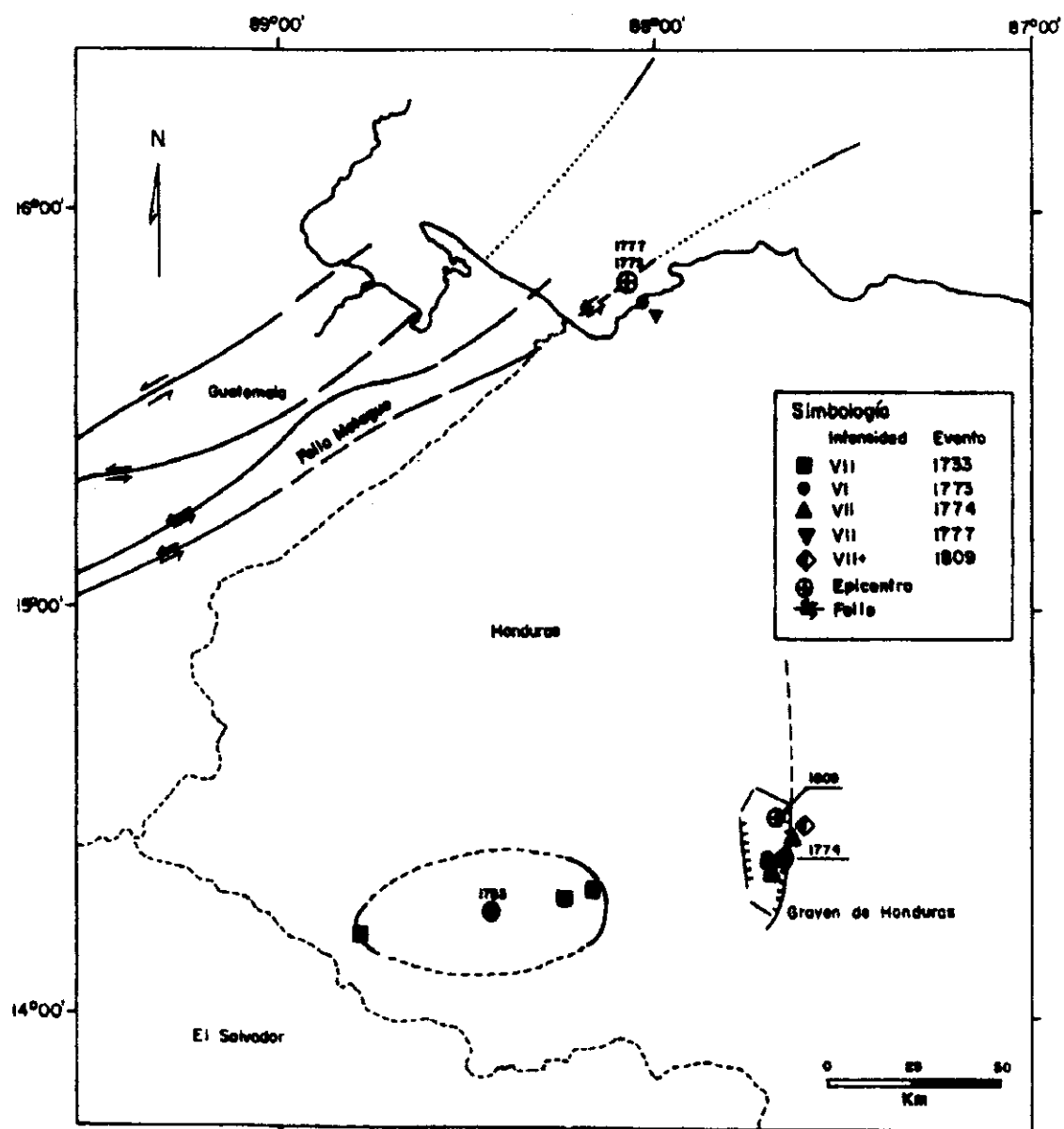


Figura 5: Mapa de sismos históricos de Honduras 1733-1809

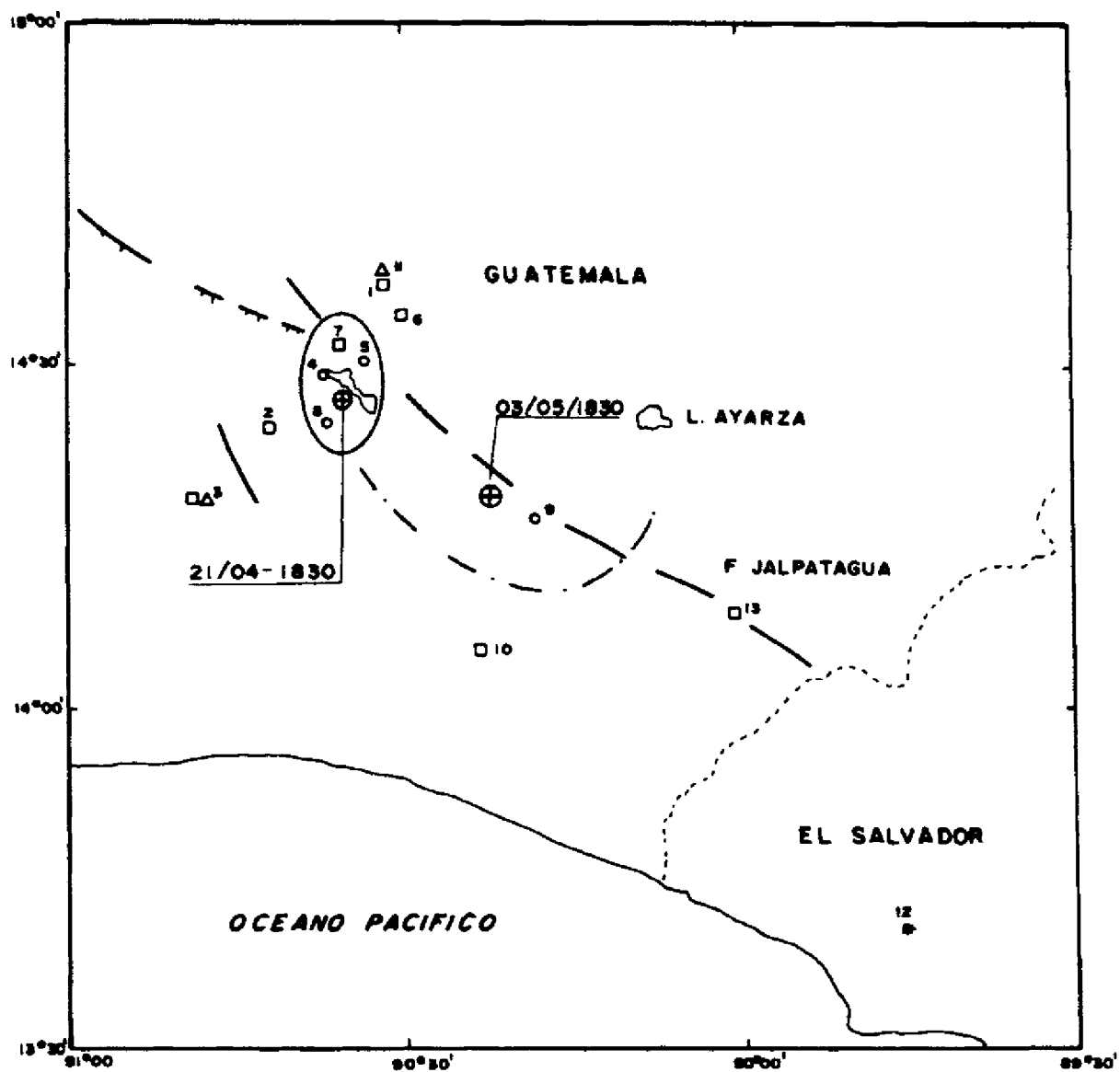


Fig 6: Mapa de intensidades para los sismos de mayo de 1830, Guatemala.

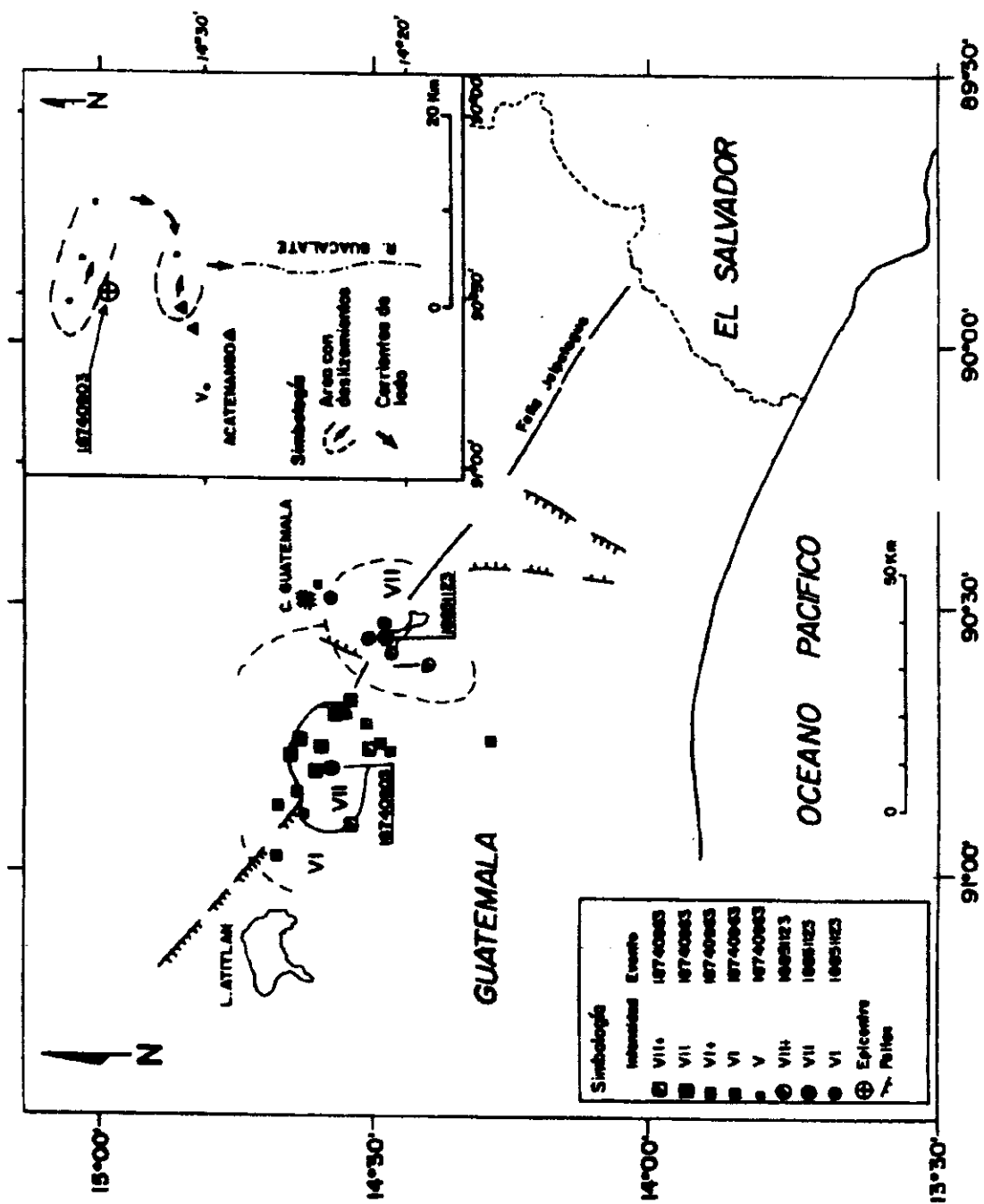


Figura 7: Mapa de intensidades para los sismos de 1874 y 1885, Guatemala

### 4.3 CATALOGO INSTRUMENTAL

El nuevo catálogo de los sismos localizados instrumentalmente, fue iniciado en 1991 en el Norwegian Seismic Array (NORSAR), Noruega, y estuvo a cargo del Geól. Wilfredo Rojas Q., de la Escuela Centroamericana de Geología. Para elaborar la base de temblores, se usaron un gran número de reportes y catálogos disponibles en diferentes agencias sismológicas. Para implementar el catálogo, se desarrolló un nuevo formato, que incluye los parámetros focales usuales, más una gran variedad de datos macrosísmicos, así como información adicional asociada a los eventos tales como descripciones de los terremotos, referencias y otros.

La información instrumental del catálogo, parte de 1902 y actualmente esta actualizado hasta el 199. En la región de Centro América, el primer evento sísmico localizado en forma instrumental, fue el terremoto de 1902 ( $M_s=7.9$ ), ocurrido en la costa pacífica de Guatemala.

Hay sismos someros, asociados al arco volcánico de América Central, que a pesar de haber ocurrido dentro del periodo instrumental, no fueron registrados en los catálogos internacionales. Sin embargo, en el catálogo elaborado se han incluido gracias a las observaciones y datos macrosísmicos recopilados de diversas fuentes

Los primeros equipos sismográficos que se instalaron en América Central, fueron los péndulos Duplex Ewing, que se ubicaron en 1888 en San José de Costa Rica. En 1896 se instaló el mismo tipo de instrumentos en El Salvador. En 1925 fueron instalados en Guatemala dos sismógrafos mecánicos tipo Wiechert. En Panamá el primer sismógrafo fue instalado por la segunda Compañía Francesa del Canal, en setiembre de 1900. En Nicaragua el primer instrumento fue instalado en 1966 y consistió de un acelerógrafo.

A principios de los setentas, los seis países centroamericanos instalaron sus propias redes sismográficas y centros de registro. Recientemente se ha establecido una estrecha cooperación regional, organizada a través del CEPREDENAC, incluyendo un abierto intercambio de información, con producción de un boletín sismológico regional integrado.

Los datos han sido integrados mediante la definición de un formato, lo bastante flexible para acomodar tanto la parte instrumental original, como los datos históricos y macrosísmicos recopilados, con la posibilidad de ampliar la información en el futuro. El resultado ha sido el denominado "Formato Nórdico". El mismo se describe en Rojas (1993).

Las anteriores características de la base de datos, permiten evaluar el potencial sísmico de la región entera, así como individualmente por país. Como resultado de este catálogo y empleando una serie de programas que admiten el anterior formato, se pueden obtener:

- Distribuciones espacio-temporales de la sismicidad.
- Análisis de completitud.
- Mapas de sismicidad.
- Perfiles de hipocentros.
- Relaciones comparativas entre diversas magnitudes y homogenización de la magnitud.

- Comparaciones entre magnitudes e información macrosísmica.
- Obtención probabilística y determinística de índices de sismicidad y otros parámetros de las fuentes sísmicas.
- Análisis de amenaza sísmica, a nivel regional o para sitios específicos.

Debe recalcar que dado que muchas veces existen varias localizaciones para un mismo evento, existe la posibilidad de seleccionar los temblores de acuerdo a un orden de prioridades previamente establecido por el investigador, de forma tal que a la hora de realizar un análisis de amenaza, el catálogo que se vaya a utilizar no incorpore entradas duplicadas para un mismo evento. De esta manera, se incorpora en el análisis los mejores datos hipocentrales de acuerdo a un criterio selectivo.

## **5. EL SOFTWARE**

En relación al software utilizado en el proyecto, describiremos los programas utilizados en las dos actividades principales del proyecto. Esto es, el software utilizado en la elaboración del banco de temblores, así como el que se usó para la estimación de la amenaza sísmica.

### **5.1 DESCRIPCION DEL SOFTWARE USADO EN LA ELABORACION DEL BANCO DE TEMBLORES**

Para elaborar el banco de temblores de América Central se usaron dos programas de cómputo compatibles entre sí. En la parte histórica se diseñó un programa nuevo, en el cual se incorporó toda la información existente sobre temblores anteriores a 1900. En relación a la parte instrumental esta se encuentra incluida en una base de temblores, cuyo programa fue elaborado por NORSAR. El trabajo correspondiente a la entrada de datos fue realizado por el Lic. Wilfredo Rojas, de la Escuela de Geología. Dado que el programa que se usó en este caso, fue elaborado y desarrollado dentro de las actividades de otro proyecto, no nos referiremos en adelante al mismo. Los interesados pueden consultar los trabajos de Rojas (1993) y Rojas et al (1993).

### **5.2 SOFTWARE DESARROLLADO PARA EL BANCO DE TEMBLORES HISTORICO**

Uno de los frentes de trabajo que se realizaron en este proyecto, consistió en la elaboración de un programa de computación, como soporte lógico para los datos sismológicos que se incluyeron dentro de la base de temblores histórica que se realizó. El programa realizado se llamó CATASIS. El programa ejecutable CATASIS.EXE incluye dos bases de datos sismológicos: CATASIS.DBF y CATASIS.DBT, que se describen adelante. Este programa puede ser manejado en cualquier PC IBM o compatible 286 en adelante. La base de datos macrosísmicos CATASIS.DBF consta de 0,9 Mbytes y la base de datos CATASIS.DBT de 3,25 Mbytes.



La base de datos CATASIS fue programada por Jaime Brenes. El Geol. Luis Obando fue el supervisor del programa elaborado por el Sr. Jaime Brenes. El diseño del programa estuvo a cargo de Walter Montero y de Giovanni Peraldo.

La base de datos contiene información macrosísmica e instrumental de la región de América Central. La base de datos está confeccionada en el lenguaje de programación **CLIPPER summer' 87**. Tiene tres módulos en cada uno de los cuales se ubica información con afinidad temática. En el primer módulo se incluyen los datos hipocentrales, en el segundo módulo se incluyen los datos macrosísmicos y en el tercer módulo se incluyen los datos de intensidades sísmicas. Además cuenta con un procesador de palabras para notas.

### 5.2.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA "CATASIS"

El programa **CATASIS**, es un sistema integrado, por lo cual no es necesario salir de un archivo o base de datos para ingresar a otro, ya que el programa se encarga automáticamente de cambiar de base de datos, con solo desplegar una leyenda que pregunta al usuario si desea incluir datos en la base siguiente.

El programa se compone de los siguientes archivos:

|              |                                                                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -CATASIS.EXE | Es el archivo ejecutable.                                                                                                              |
| -CATASIS.DBF | Es la base de datos sismológica que se subdivide en las bases: Datos Hipocentrales, Datos Macrosísmicos y Distribución de Intensidades |
| -CATASIS.DBT | Es el archivo de texto, que es información de apoyo básicamente para los temblores históricos.                                         |
| -CATASIS.NTX | Es un archivo de índices.                                                                                                              |
| -CATASIS.001 | Es el archivo en la cual se guarda la información de la palabra de paso principal.                                                     |
| -CATASIS.002 | Es un archivo para información de la palabra clave para el comando <b>INCLUIR</b> .                                                    |
| -CATASIS.003 | Es un archivo para información de la palabra clave del comando <b>MODIFICAR</b> .                                                      |
| -CATASIS.004 | Es un archivo para información de la palabra clave del comando <b>ELIMINAR</b> .                                                       |

Se despliega en pantalla tres conjuntos sucesivos de datos, ordenados por su afinidad de información, en **DATOS HIPOCENTRALES**, **DATOS MACROSISMICOS** y **DISTRIBUCION DE INTENSIDADES**; además existe un procesador de textos para incluir las respectivas notas y transcripciones de los diferentes eventos sísmicos

En el apéndice 4 se muestra la descripción de las entradas y el formato del catálogo del programa **CATASIS**, además de los comandos más importantes para el manejo del programa

## **5.2.2 ACCESO Y COSTO DE DISTRIBUCION DEL PROGRAMA CATASIS**

El programa CATASIS es de libre acceso para todos aquellos investigadores o entidades, que deseen hacer un uso no comercial de la información contenida en el software. Solamente se deberán cubrir los costos de envío.

## **5.3 SOFTWARE UTILIZADO EN LA ESTIMACION DE LA AMENAZA SISMICA**

En relación al software que se aplicó en la estimación de la amenaza sísmica de América Central, se usó una versión modificada respecto al programa que originalmente escribió por McGuire (1976) El programa se denomina NPRISK, versión 1,0 y fue adaptado por Dahle (1994).

## **6. ESTIMACION DE AMENAZA SISMICA**

### **6.1 METODOLOGIA**

Para la estimación de la amenaza sísmica se siguió uso como es usual, un enfoque probabilístico que contiene los lineamientos propuestos originalmente por Cornell (1968). En este tipo de estudios los elementos principales para la caracterización de la amenaza en un determinado sitio, son la existencia de un catálogo sísmico que este completo arriba de un cierto nivel de magnitud, la definición de las fuentes sísmicas que existen en una determinada región y una ley de atenuación de la energía sísmica

La probabilidad de excedencia arriba de un determinado nivel del movimiento del terreno, en un sitio específico y en un determinado tiempo se asume que es un proceso de Poisson. Esto es, no tiene memoria de eventos pasados o futuros ni espacial ni temporalmente, y por consiguiente los eventos son independientes entre si. Por lo tanto, la probabilidad de tener un movimiento del suelo de nivel  $Z$  que exceda  $z$  en un sitio definido por unidad de tiempo, se expresa como:

$$P(Z > z) = 1 - e^{-v(z)} \quad (1)$$

donde  $v(z)$  significa el número de sismos por unidad de tiempo en el cual  $Z$  excede  $z$ , y de acuerdo con un modelo de zonificación determinado. La recurrencia de sismos se asume que sigue la relación de Gutenberg y Richter (1954).

$$\log N(M) = a - b \cdot M \quad (2)$$

donde  $N(M)$  es el número de eventos por año con magnitud mayor o igual a  $M$ . En este estudio nosotros usamos una relación doblemente truncada. Es decir, definimos un valor de magnitud mínima  $M_{\min}$  y un valor de magnitud máxima  $M_{\max}$ , para cada una de las fuentes sísmicas.  $M_{\min}$

en este estudio se escoge es 4,5  $M_w$ , la magnitud mínima que puede causar daños en construcciones. El valor  $b$  indica la razón entre los eventos pequeños y los grandes, que varía para las diferentes fuentes escogidas y  $a$  es el número de temblores con magnitud  $M_{m.m.}$

### 6.1.1 CONSIDERACION DE INCERTIDUMBRES

El cómputo de la amenaza sísmica ha sido efectuado con base en un formalismo del "árbol de la lógica", según una metodología que fue establecido recientemente por Dahle (1994), donde todos los parámetros son dados con dos valores extremos y un valor central, con un peso de probabilidad asignado a cada uno de ellos. Los valores extremos de " $b$ " se consideraron sumando y restando un valor de 0.15 al valor central, con pesos de 20 %, 60 % y 20%. Los valores extremos para  $N$ , se obtienen dividiendo y multiplicando el valor central por 2, con pesos de 0.2, 0.6 y 0.2. A la magnitud máxima se le da una incertidumbre inferior de 0.3 y una incertidumbre superior de 0.2, con pesos de 20%, 60% y 20%. A la profundidad, generalmente se le asignó pesos probabilísticos de 0.25, 0.5 y 0.25, donde los valores extremos se deciden considerando la profundidad estimada de los bordes superior e inferior de la zona sísmica

Empleando este método, es además factible la consideración de rangos de incertidumbre para las constantes de la relación de atenuación. Para este caso se emplearon los valores centrales con un peso del 40%, con incertidumbres superiores y menores de 0.3.

### 6.1.2 COMPLETITUD

Cuando se usa un catálogo sísmico para la estimación probabilística de los movimientos fuertes del terreno, es importante el análisis de completitud de las magnitudes de los temblores, porque si se emplea un conjunto de datos incompletos, puede afectarse significativamente los resultados de la estimación final de la amenaza sísmica.

Hay diversos métodos disponibles para determinar la completitud, pero muchos de ellos son puramente estadísticos, con base en supuestos que no siempre están acordes con el comportamiento natural de la sismicidad. Se considera completa una muestra cuando la distribución de las magnitudes de los temblores es homogénea a partir de un año determinado. Para determinar lo anterior, se analizó la sismicidad del catálogo mediante gráficos de distribución de magnitudes en función del tiempo, con lo cual se concluye lo siguiente:

- a) Se presenta un marcado incremento en la sismicidad, a partir de los años 1960, debido a la instalación de la Red Sismológica de Apertura Mundial (WWSSN)
- b) Se presenta una importante contribución en los datos de eventos locales de bajas magnitudes, entre los años 1970 y 1980, esto es debido a la instalación de las nuevas redes sísmicas locales, en diversos países de América Central.

- c) A partir de 1910 el catálogo parece ser completo, para eventos de magnitud mayor de 6.2 ( $M_w$ ).
- d) A partir de 1950, el catálogo parece ser completo para magnitud mayor que 5.3 ( $M_w$ ).
- e) Desde 1963 el umbral de magnitud es de 4.2 (MW), a excepción de algunas zonas sísmicas que es de 4.6 ( $M_w$ ).

## **6.2 PRESENTACION DEL MODELO, DESCRIPCION DE LAS FUENTES SISMICAS**

La zonificación sísmica de América Central se basó inicialmente en los resultados obtenidos del Taller de Regionalización Sísmica descrito anteriormente. Luego la misma fue modificada por Rojas et al (1993b). Las fuentes sísmicas han sido definidas de acuerdo a su estilo neotectónico, sismotectónico y a su extensión geográfica (Fig. 8). Se consideraron los principales elementos estructurales de la región; a continuación se describen brevemente cada uno de estas zonas:

### **1- Zona de subducción Centroamericana**

Incluye los sismos superficiales y de profundidad intermedia, que ocurren a lo largo de la placa subducida del Coco, en la parte suroeste de México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. En esta fuente sismogénica es donde ocurren la mayoría de los grandes terremotos históricos de Centroamérica. Esta placa subducida se divide en segmentos, cada uno con una geometría diferente de la zona de Benioff. La subducción comienza desde la depresión denominada Trinchera Mesoamericana, donde el fallamiento predominante es de tipo inverso entre los 5 y 40 km de profundidad.

La zona de Benioff termina al sur de Costa Rica, donde se hace difusa a partir del momento en que el levantamiento asísmico del Coco interactúa con la parte continental de Costa Rica. Al este del levantamiento del Coco se encuentra la zona de fractura de Panamá, que es un sistema de falla transformada, que separa la placa de Coco de la de Nazca. Finalmente, el extremo norte de la placa Nazca, se subduce oblicuamente bajo el suroeste del istmo de Panamá.

La zona de deformación del arco externo, se localiza entre la Trinchera Mesoamericana y la cadena volcánica; esa área es modelada como una fuente sísmica somera de subducción (figura 9).

### **2- Arco Volcánico de Centroamérica**

Es una área geológicamente compleja y heterogénea; se caracteriza por la ocurrencia de eventos sísmicos superficiales de moderada y baja magnitud, que generan importantes daños. Las rupturas asociadas a esta zona sísmica, son generalmente de desplazamiento lateral, de dirección transversal o longitudinal al arco volcánico.

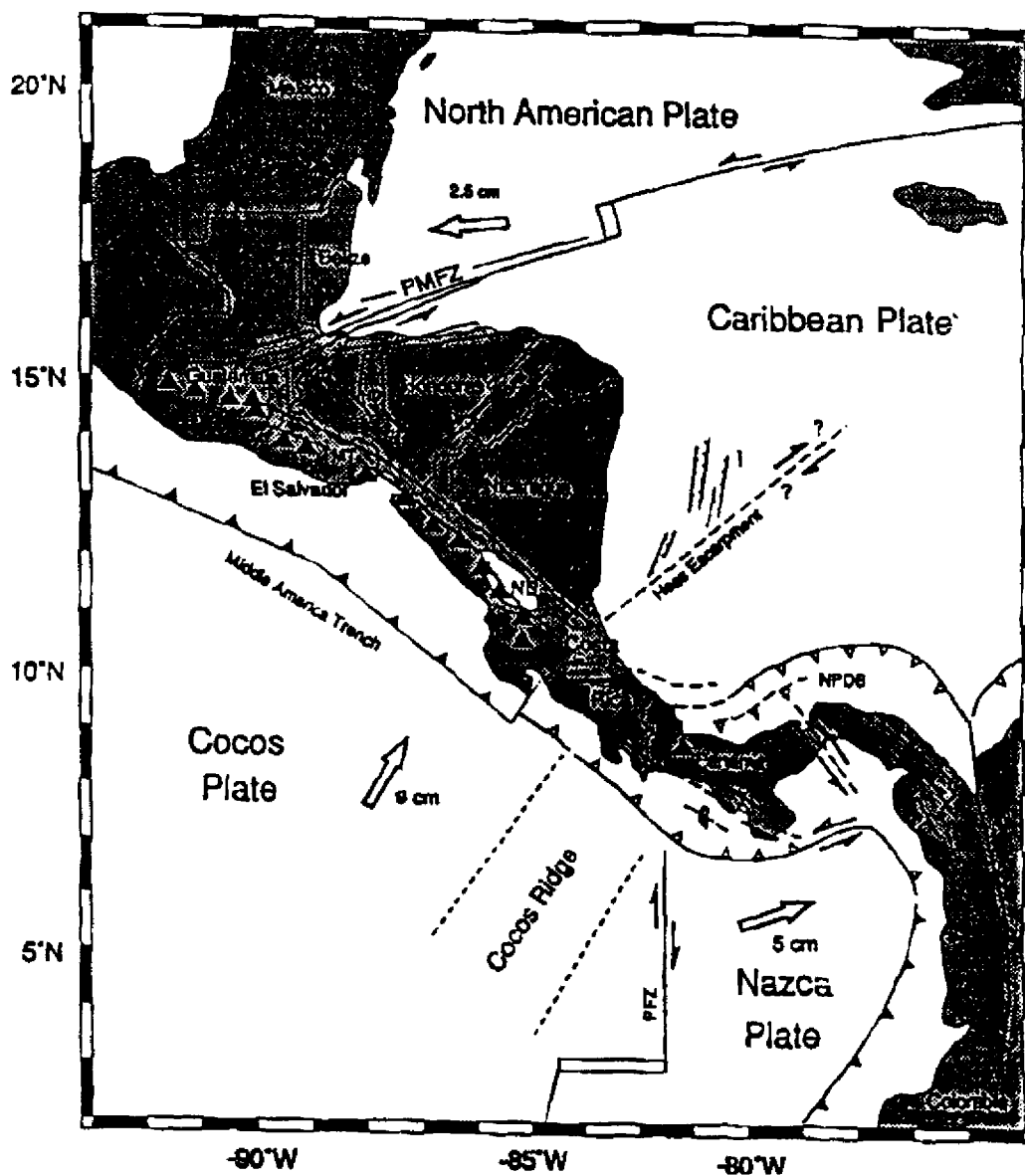


Fig 8: Marco geotectonico de America Central.

Ejemplos de terremotos asociados a esta fuente sísmica, son los de Managua, Nicaragua del 23 de diciembre 1972 ( $M_s = 6.2$ ) y el de San Salvador, del 10 de octubre de 1986 ( $M_s = 5.4$ ).

### 3- Sistema de fallamiento Polochic-Motagua

Constituye el límite transformado noroeste entre las placas Norteamericana y Caribe. El movimiento a lo largo de este borde, es lateral izquierdo (Molnar y Sykes, 1969, Kiremidjian et al., 1979).

### 4- Sistema de fallamiento Guayape

Este sistema se localiza al este de Honduras, predominan las fallas de desplazamiento lateral de dirección NE. Presenta un muy bajo grado de sismicidad, pero de acuerdo a Finch y Ritchie (1991), las fallas de Guayape muestran evidencia de desplazamientos recientes (Holoceno).

### 5- Sistema de fallas de la Depresión de Honduras

Se incluyen acá los grábenes cuaternarios, que se ubican dentro de la región intraplaca de corteza continental antigua. Estos grábenes tienen fallamiento oblicuo y normal en echelon (Manton, 1987).

El catálogo de terremotos de Honduras, indica que en el pasado, han ocurrido eventos sísmicos moderados, dentro de estas zonas deprimidas, tales como son los temblores ocurridos en setiembre y noviembre de 1851.

### 6- Graben de Nicaragua

Consiste en una zona deprimida, limitada al oeste por el arco volcánico; se extiende desde el sureste de Guatemala hasta el norte de Costa Rica. La depresión tiene unos 50 km de ancho en Nicaragua y en ella están ubicados los lagos de Managua y Nicaragua.

De acuerdo al catálogo sísmico, el evento sísmico más relevante, asociado a esta zona sísmica, fue uno ocurrido en 1928, de magnitud 6.5 ( $M_s$ ).

### 7- Zona trasarco del Caribe de Centroamérica

La estructura más prominente de esta zona es el Escarpe de Hess, el cual es un fuerte lineamiento batimétrico de dirección NE, que separa una región extensional al norte, de una con tectónica contraccional al sur (referencia, figuras 8 y 9). Esta región presenta un bajo nivel de actividad sísmica.

### 8- Cinturón deformado del Caribe de Panamá

De acuerdo a Montero et al. (1994), esta región se puede subdividir en tres diferentes zonas sismotectónicas.

8.1 Segmento Central: se caracteriza por una ausencia casi total de actividad sísmica.

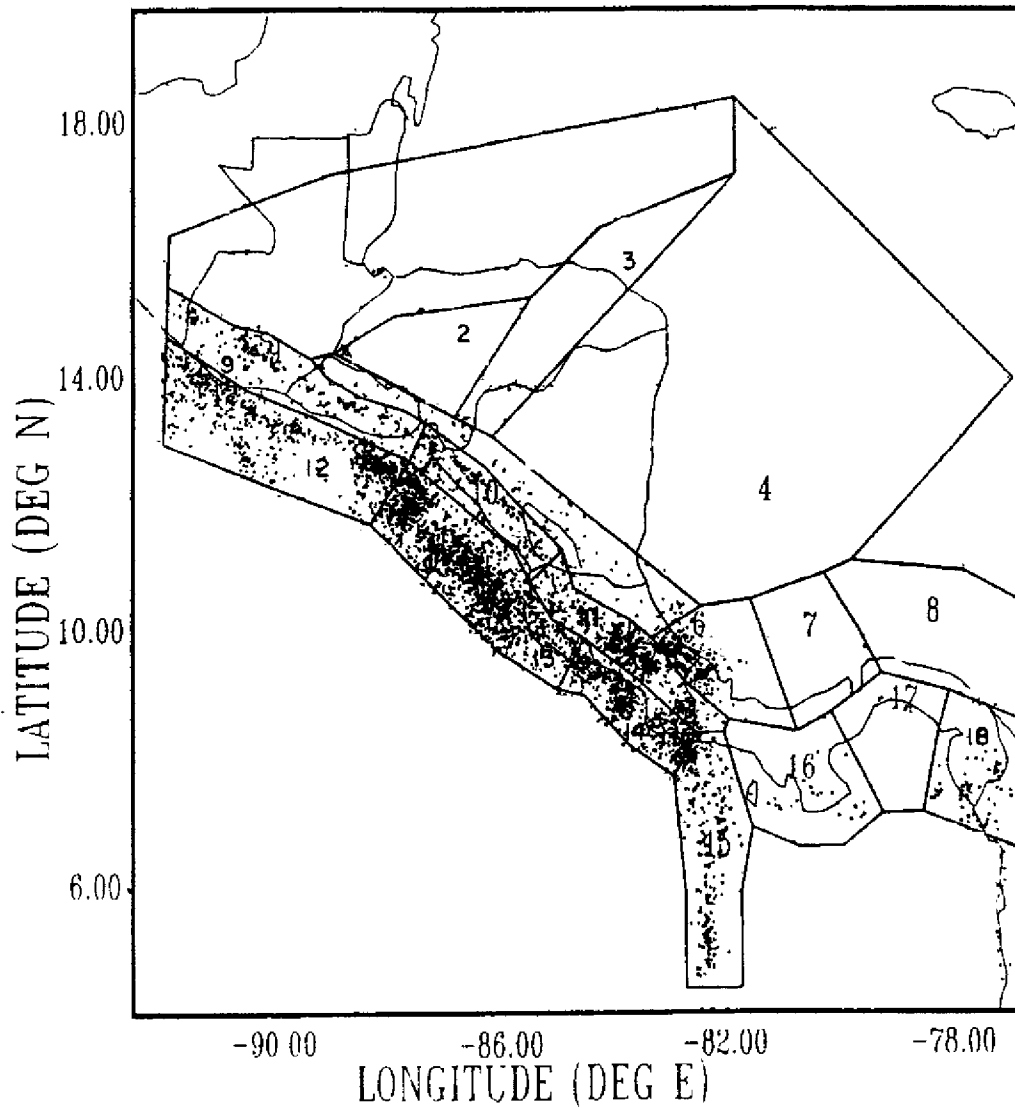


Figura 9. Areas de fuentes sismicas para profundidades entre 0 a 40 km.

**8.2 Cinturón Deformado del Noroeste de Panamá:** este es el segmento occidental del Cint. Def. de Panamá, se extiende desde la región de Bocas del Toro hasta Puerto Limón en Costa Rica.

**8.3 Cinturón Deformado del Noreste de Panamá:** Han ocurrido importantes terremotos históricos, siendo el más relevante el sismo tsunamogénico de 1882

### 9- Zona de Fractura de Panamá

Es un sistema de fallamiento transformado dextral, que se ubica al sur de Chiriquí y es el límite oeste entre las placas Coco y Nazca. Esta zona ha sido sacudida durante el presente siglo, por dos eventos con magnitudes  $M_s$  mayores a 7.0: el 10 de agosto de 1927 y el 18 de setiembre de 1962.

### 10- Zona sísmica del suroeste de Panamá

La sismotectónica del suroeste de Panamá está dominada por subducción oblicua y existe un sistema de fallamiento superficial de desplazamiento lateral izquierdo, en dirección ESE. Esta región muestra una actividad sísmica un poco mayor, comparada con la parte más quieta del centro del país

### 11- Zona central del sur de Panamá

En el registro histórico, se han reportado muy pocos sismos grandes, lo que dificulta la determinación de su periodos de retorno

### 12- Zona de sutura del Atrato

Esta es una zona colisional, que se localiza al este de Panamá, abarcando la parte fronteriza con Colombia. Se caracteriza por rupturas de deslizamiento lateral y por fallamiento inverso, pero la sismicidad es difusa. En el presente siglo han ocurrido varios terremotos, como los ocurridos en 1974 y 1976, con magnitud 7.1 y 7.0  $M_s$  (Camacho y Viquez, 1994).

### 13- Zona de subducción intermedia

Esta zona incluye la sismicidad con profundidad mayor que 40 km (figura 10). Los eventos de profundidad intermedia están relativamente concentrados en Guatemala, El Salvador y Nicaragua, donde generalmente tienden a ser más profundos que en Costa Rica.

La sismicidad de esta zona de subducción intermedia, se ha dividido en tres intervalos de profundidad:

- Fuente con eventos de profundidades entre 40 y 70 km
- Fuente con eventos de profundidades entre 70 y 110 km.
- Fuente con eventos de profundidades entre 110 y 200 km.

La sismicidad con profundidades entre 40 y 70 km se define acá como la zona de subducción frontal (ver figura 11, la zona 19).

Las zonas 20 y 22 corresponden con la subducción central. La zona 23 con sismicidad de profundidad  $> 40$  y  $< 70$  km que se localiza en la parte caribe de Centroamérica. Se definió esta zona con el fin de considerar la actividad sísmica que no es cubierta por las zonas corticales.



## PRINCIPLE OF CRUSTAL AREA ZONATION WITH DEPTH

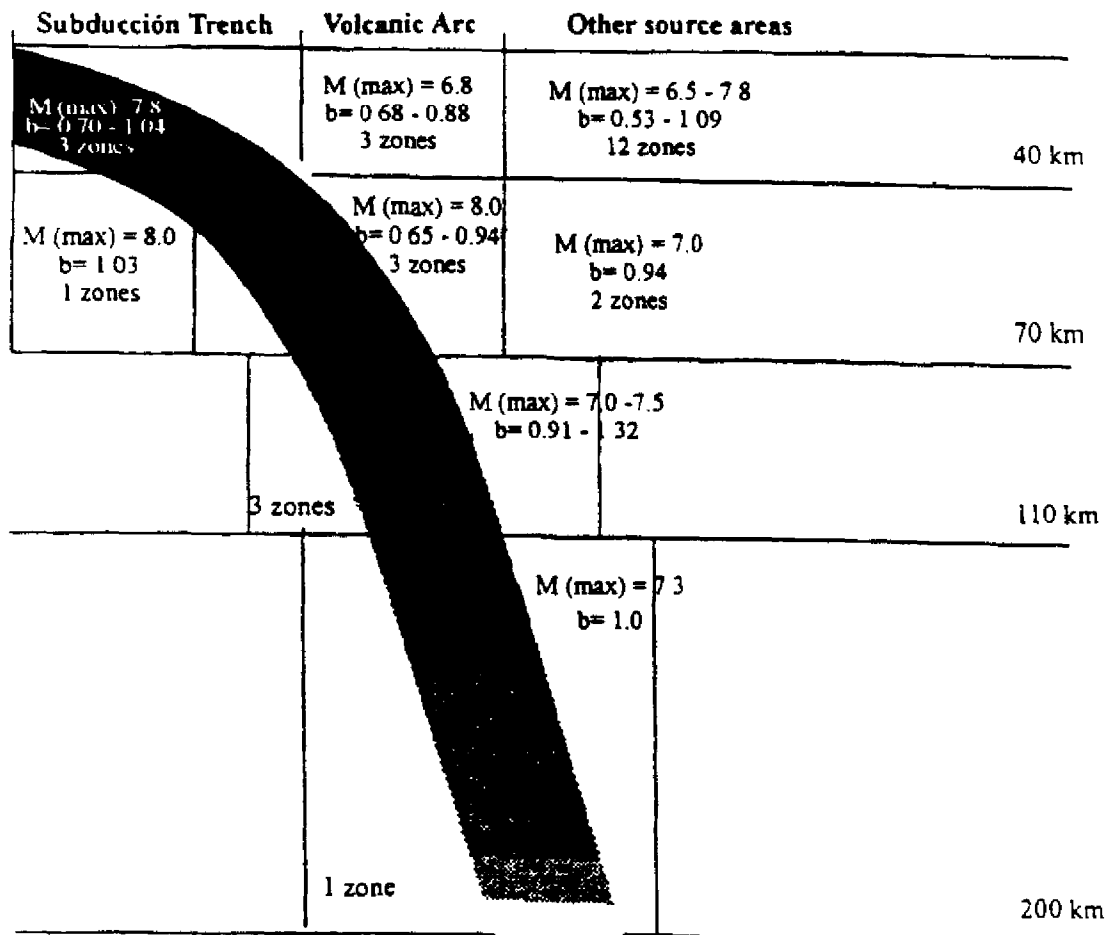


Fig. 10. Perfil de las fuentes sísmicas definidas por la actividad sísmica a lo largo de la placa subducida.

Finalmente la zona 24 que se ubica en Panamá, cubre los eventos sísmicos que están relacionados a la subducción debajo de Panamá. La sismicidad con profundidades entre 70 y 110 km incluye las zonas 25 a 26 de la zona de subducción.

Tal como se muestra en la figura 12, estas zonas cubren la parte central de la sismicidad intermedia de la placa del Coco. También incluye la zona 27 de sismicidad intermedia que se ubica debajo del istmo de Panamá.

La sismicidad con profundidades entre 110 a 200 km. Incluye la zona 28, que es la parte más profunda de la sismicidad intermedia. Como se muestra en la figura 13, esta zona todavía

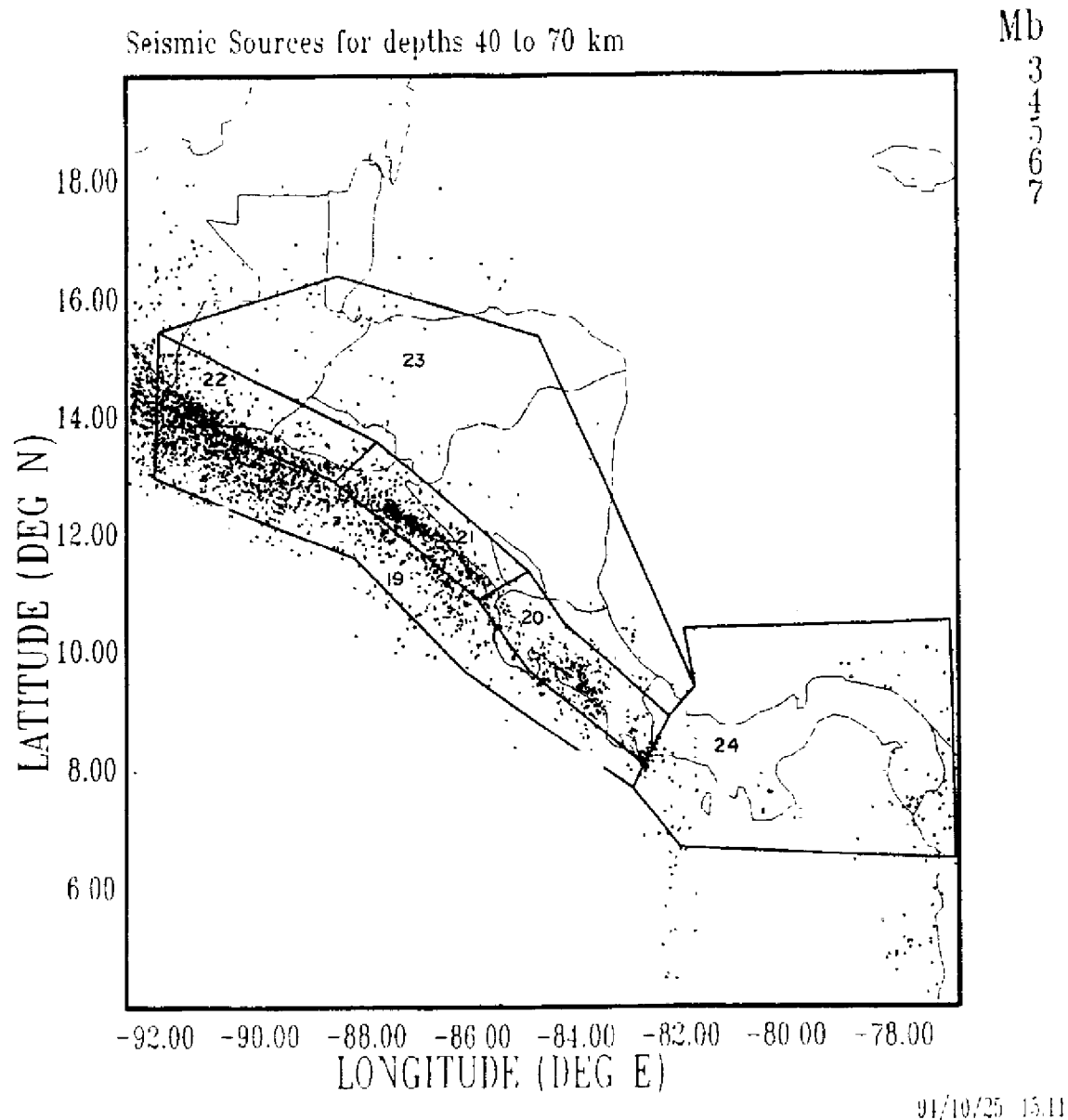


Figura 11: Areas de las fuentes sismicas para las profundidades entre 40 a 70 km

presenta actividad sismica significativa y es la última zona considerada con aporte en el cálculo de amenaza.

### 6.3 RELACION DE ATENUACION

La escogencia de una relación apropiada de atenuación del movimiento fuerte del terreno es uno de los factores más importantes en la estimación de la amenaza sismica en un determinado sitio. En el caso de este proyecto, nos hemos visto favorecidos porque paralelamente a nuestra investigación, se ha venido trabajando fuertemente con el apoyo del proyecto financiado por

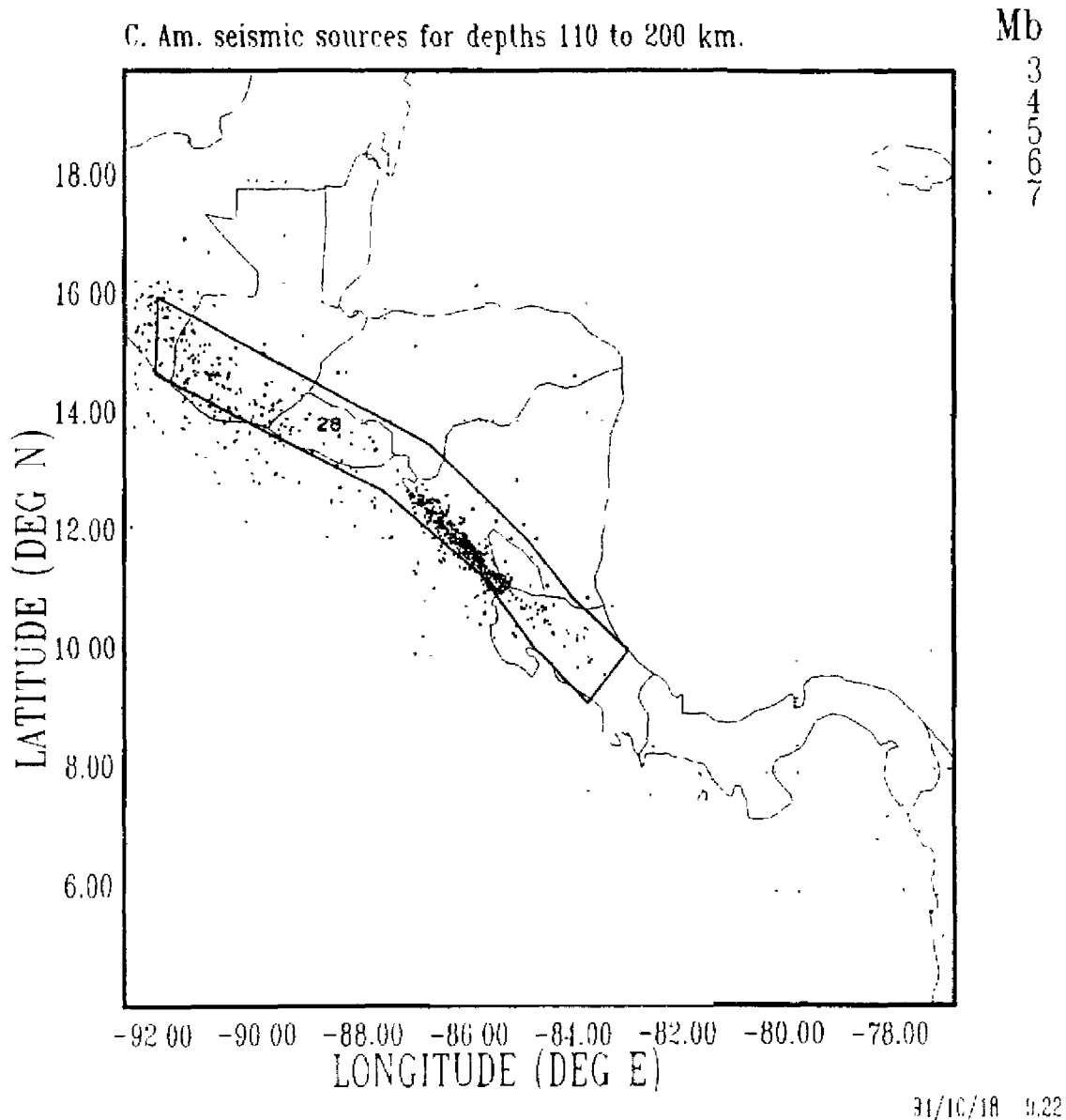


Figura 12: Arca de las fuentes sismicas para las profundidades entre 70 a 110 km

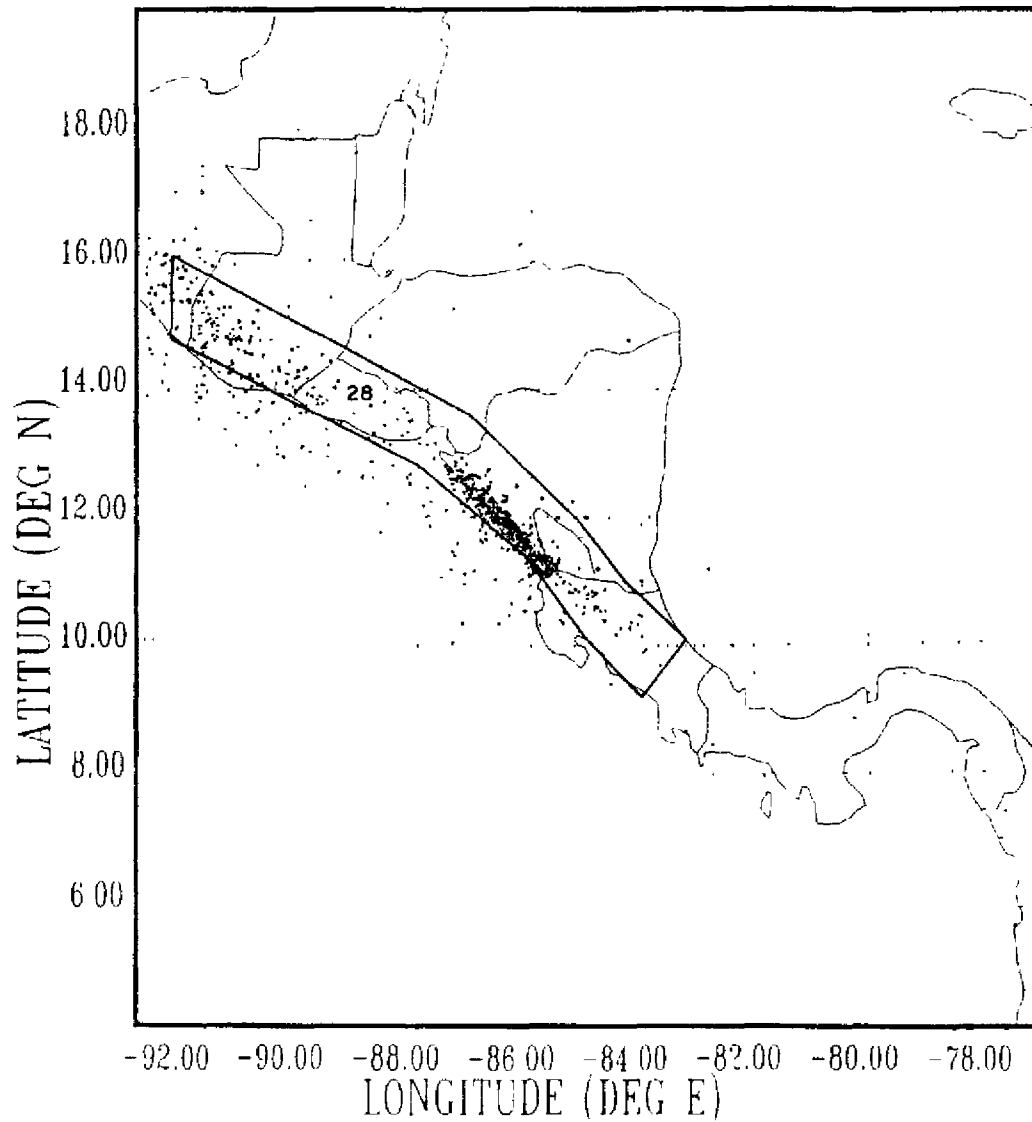
NORAD y la participación de investigadores de la región y de NORSAR, en la elaboración en primer lugar, de una buena base de registros acelerográficos de sismos fuertes ocurridos en los últimos años en América Central. De esta valiosa información, Climent et al. (1994) han podido obtener una nueva relación de atenuación de aceleraciones para la región centroamericana. El modelo de atenuación escogido tiene la expresión siguiente:

$$\ln (A) = c_1 + c_2 * M_w + c_3 \ln R + c_4 R + c_5 S + \ln E \quad (3)$$

C. Am. seismic sources for depths 110 to 200 km.

Mb

3  
4  
5  
6  
7



94/10/18 922

Figura 13: Areas de las fuentes sismicas para las profundidades entre 70 a 200 km

donde  $A$  es la aceleración pico del terreno (PGA en  $\text{m/seg}^2$ ),  $M_w$  es la magnitud momento;  $R$  es la distancia hipocentral (km);  $S$  varía de acuerdo a las condiciones del suelo, siendo cero en sitios rocosos y 1 para sitios con suelo;  $\ln E$  es un factor de error que esta normalmente distribuido que tiene un valor medio 0 y una desviación estandar sigma de 0,75, es decir  $\ln E = N(0, 0,75)$ , y  $c_1$  a  $c_5$  son constantes que se determinan empíricamente.

Una regresión bayesiana fue aplicada a 218 acelerogramas digitalizados y provenientes de Centro América, de los cuales 155 fueron obtenidos en Costa Rica y el resto son de Nicaragua y El Salvador. Además, se usaron 62 registros de Guerrero, México

Para determinar la seudovelocidad relativa en m/seg, se obtuvieron diferentes coeficientes  $c_1$  a  $c_5$ , para el valor promedio correspondiente al mayor valor del movimiento horizontal, considerando un amortiguamiento del 5%. Los valores de las constantes para la aceleración pico en  $\text{m/seg}^2$  que corresponden a la frecuencia de 40 Hz llevaron a Climent et al (1994) a encontrar la relación (incluye sólo los datos de Centro América) siguiente:

$$\ln A = -1,687 + 0,553M - 0,537 \ln R - 0,00302 R + 0,279S + \ln E$$

La distribución de magnitudes de los temblores usados muestra que los temblores con magnitudes alrededor de 5-6 y 8 están bien representados. Estos últimos si se consideran los datos de Guerrero, México. La distribución de distancias hipocentrales muestra que las distancias menores a 150 km son la mejor representadas. La mayoría de los temblores tienen profundidad superficial, aunque se usaron algunos eventos con profundidades hasta de 100 km. Los temblores tienen fuentes sísmicas correspondientes tanto a temblores de subducción como relacionados con el fallamiento cortical del cinturón montañoso (Climent et al., 1994).