

## CAPITULO 2

### REGIONALIZACION SISMOTECTONICA DE LA PARTE NOROESTE Y CENTRO-OESTE DE ARGENTINA Y RECONOCIMIENTO DE AREAS PROPENSAS A SISMOS DE MAGNITUD $M \geq 7.0$

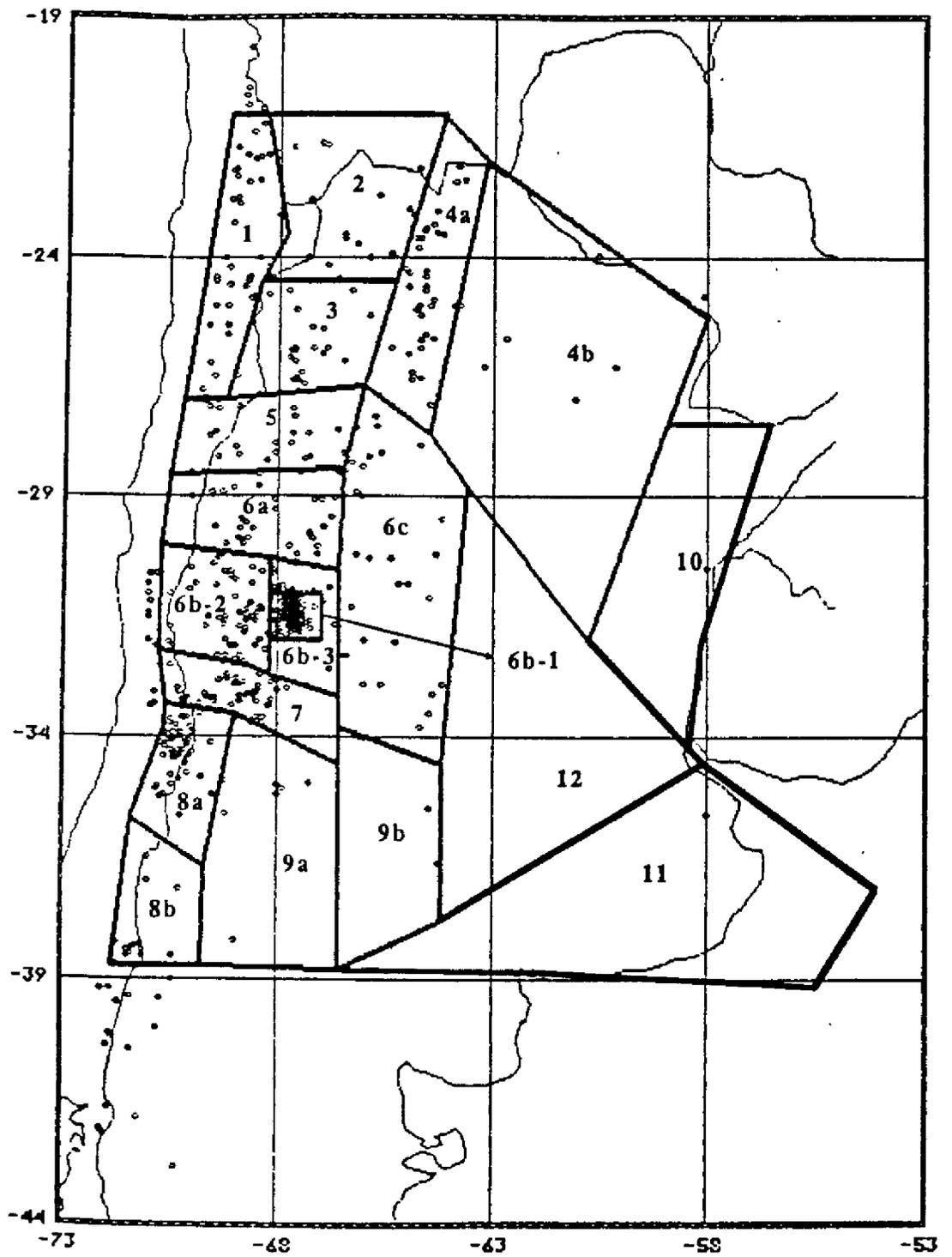
En este estudio se considera, la parte noroeste y centro-oeste de Argentina comprendida entre los paralelos  $21^{\circ}\text{S}$  y  $39^{\circ}\text{S}$  (Figura 2.1).

Para la evaluación del riesgo sísmico en un gran territorio, es necesario dividir a este, en un sistema de regiones geológicas y sísmicamente homogéneas, tal subdivisión es llamada regionalización sismotectónica. Además es preciso contar previamente con información sobre la máxima magnitud posible de sismos que puedan ocurrir en dichas regiones. En este capítulo se describe la regionalización sismotectónica y los resultados de identificación de sitios, donde pueden ocurrir sismos con  $M \geq 7.0$

#### 2.1. PRINCIPIOS DE REGIONALIZACION.

El fin de la regionalización es determinar unidades territoriales homogéneas. Para este propósito, se usó el Método de Zonificación Morfoestructural (MSZ), [10].

En este capítulo entenderemos por morfoestructura al grupo de manifestaciones en el relieve de la corteza terrestre producido por movimientos tectónicos. "Zonificación Morfoestructural", significa la división de un territorio en un sistema de áreas ordenadas jerárquicamente por el grado de uniformidad de la morfoestructura. Sobre la base (MSZ) están establecidas 3 catego-



**Figura 2-1: Regionalización sismotectónica preliminar.**

Sismos  $h \leq 70$  km

rías de objetivos, a saber: bloques (regiones montañosas que comprenden: cordones montañosos, valles longitudinales, mesetas, etc), lineamientos (zonas lineales de 10 a 40 Km de ancho y 100 a 1000 Km de largo donde se producen desplazamientos relativos de bloques adyacentes y donde se concentran deformaciones tectónicas, de hecho los lineamientos son huellas o trazas de fallas ocultas pero activas, sobre la superficie terrestre) y nudos (lugar donde se interceptan fallas tectónicas).

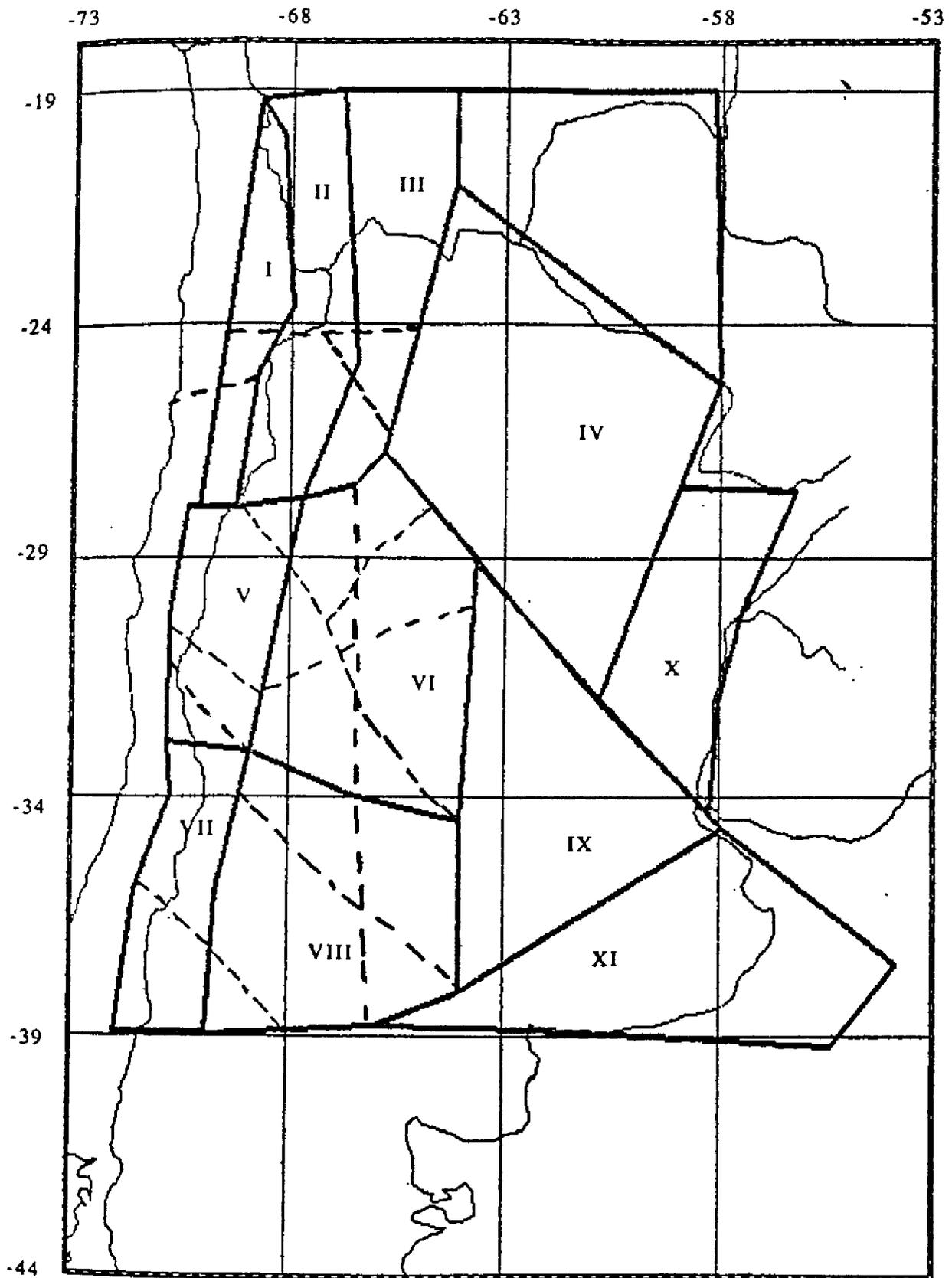
A los bloques se les asigna rangos de primero a tercero. Bloque de primer rango: regiones montañosas, que a su vez pueden ser divididos en bloques de segundo rango denominados megabloques. Estos pueden ser subdivididos a su vez en bloques de tercer rango.

Dado la extensión del territorio investigado se tendrá en cuenta los bloques de mayor rango: regiones montañosas y megabloques.

## **2.2. ZONIFICACION MORFOESTRUCTURAL DE LA PARTE NOROESTE Y CENTRO-OESTE DE ARGENTINA.**

El esquema morfoestructural representado en Figura 2-2, fue construido de acuerdo con los principios arriba enumerados, sobre la base de un análisis conjunto de mapas topográficos, tectónicos y geológicos, como así también fotos satelitales. Fueron perfiladas once regiones entre las dos mayores unidades morfoestructurales, a saber: el cinturón montañoso de los Andes y la parte plana de la placa Sudamericana.

Las regiones I, II, III, V y VII pertenecen a los Andes. Sus



I - XI Número asignado a cada región.

— Lineamientos de 1º y 2º rango (Límites de regiones).

- - - Lineamientos de 3º rango.

**Figura 2-2: Regionalización Morfoestructural preliminar de Argentina.**

límites fueron establecidos por M. Zhidkov. La descripción morfoestructural de estas regiones está publicada en [11].

Las regiones IV, VI, VIII, IX, X y XI están localizadas en la plataforma continental Argentina. A continuación se presenta una breve descripción de las distintas regiones:

I-Cordillera Costera Central: la geomorfología de este territorio es de tipo epigeosinclinal. Contiene la cordillera costera, el valle longitudinal y los flancos escalonados de la cordillera occidental. El relieve se caracteriza por una combinación de lomas, valles longitudinales y depresiones intermontañas.

II-Andes Volcánico Central: este es un territorio con un tipo de orogenia volcánica. Consiste en una región dentro de la cual el factor dominante del relieve y la estructura ha sido el Neógeno-Cuaternario y el reciente vulcanismo. El relieve de este territorio está representado por altos cordones montañosos de alrededor de 5000 a 6000 m. Al oeste y al este, la región se une a las regiones I y II, pero difiere de ellas en el tipo de orogenia.

III-Andes Bolivianos: este es un territorio de orogenia tipo epiplataforma. En él encontramos altos picos montañosos que superan los 6700 m, separados por valles longitudinales.

El límite norte de las regiones II y III, está localizado fuera del límite político argentino, pero para los fines de este estudio es necesario considerar su influencia.

IV-Chaco Paranaense: es un territorio plano donde la orientación predominante de los cursos de los ríos es NO-SE. La región corresponde a la cuenca chaqueña con una cobertura sedimentaria de

3 a 4 Km de espesor. Los límites de la región quedan enmarcados por los cursos de los ríos: Pilcomayo al norte, Dulce al sur y a lo largo del Paraná en el norte.

V-Andes Chilenos Medios: este es un territorio de orogenia tipo epigeosinclinal. Incluye el segmento de los Andes entre 28°S y 33°S. No hay Neógeno-Cuaternario ni vulcanismo reciente en los Andes Chilenos Medios. La ausencia de vulcanismo reciente diferencia estas regiones montañosas de las regiones I, III y VI. El relieve está caracterizado por la alternancia de valles longitudinales con altas cumbres (sobre los 6960 m).

VI-Sierras Pampeanas: es un territorio con orogenia del tipo epiplataforma que incluye la presencia de bloques de sierras que varían entre 2.5 y 6.2 Km, de extensión. Este territorio se caracterizó por un régimen de plataforma tectónica y solamente en el período Neógeno-Cuaternario se involucró en orogenia.

VII-Vulcanismo Sur de Los Andes: este es un territorio con un tipo de orogenia volcánica. En este segmento, las montañas bajan gradualmente de una altura de 6.9 Km en el norte a 3 Km en el sur. Casi no hay valles longitudinales, depresiones intermontañas, pero se observan potentes mantos de sedimentos del Neógeno-Cuaternario y vulcanismo reciente: conos volcánicos, mesetas y sierras.

VIII-San Rafael - La Pampa: en esta región se observa una combinación de sierras aisladas (Sierra del Nevado, Sierra de Charchahuen) y planicies. Las orientaciones predominantes de los cursos de los ríos son N-S y NO-SE. El espesor de la cobertura sedimen-

taria alcanza alrededor de 3 Km.

IX-Llanuras Pampeanas: esta región incluye la parte baja de la plataforma continental argentina. El nivel de altitud es cercano a los 100 m. Los cursos de los ríos están orientados principalmente en dirección O-E. El grosor de la cobertura sedimentaria no excede 1 Km.

X-Mesopotamia: esta región es la parte más baja de la plataforma. El nivel de altitud es menor que 100 m. El grosor de la cobertura sedimentaria varía de 0 hasta 2 Km. Además hay afloramientos de rocas precámbricas. La región está densamente disectada por una red de ríos. La orientación predominante de los cursos de los ríos es submeridional. La región está limitada por las trazas de los ríos Paraná y Uruguay.

XI-Buenos Aires: esta región combina pequeñas sierras con planicies. Dentro de la región hay varias depresiones aisladas con un espesor de cobertura sedimentaria que alcanza los 4 Km. La orientación predominante de los cursos de los ríos es submeridional y NE-SO.

El mapa morfoestructural representado no puede ser usado directamente como un mapa de regionalización sismotectónica porque los sismos normales están íntimamente relacionados con los lineamientos que limitan las diferentes unidades morfoestructurales. Esta es la razón por la cual fue necesario hacer, sobre la base del mapa de zonificación morfoestructural, otra regionalización teniendo en cuenta la distribución espacial de la sismicidad

### 2.3. REGIONALIZACION SISMOTECTONICA DEL NOROESTE Y CENTRO-OESTE ARGENTINO.

El fin de esta regionalización es delimitar tectónicamente regiones homogéneas con distribución uniforme de sismicidad dentro de cada una de ellas. La principal dificultad para hacer una adecuada regionalización consiste en obtener una justa correlación de la sismicidad con las fallas. Si nosotros usamos una traza de falla como límite para diferenciar regiones morfoestructurales, en muchos casos, sismos pertenecientes a una zona sismogénica común, serán considerados en diferentes regiones. Para superar este problema, en esta regionalización consideramos algunas veces, como un límite de región a una línea convencional que corre paralela a una falla tectónica existente.

Por lo general, las regiones delineadas corresponden a grandes unidades tectónicas. A continuación se da una breve descripción de cada región.

### 2.4. REGIONES SISMOTECTONICAS.

Finalmente, se han definido 12 regiones sismotectónicas (numeradas del 1 al 12). Parte de ellas han sido subdivididas en pequeñas subregiones (numeradas 4a, 6a, 6b, etc) de acuerdo a la distribución de la sismicidad y características de las estructuras geológicas presentes.

Se distinguen tres grandes grupos de regiones. La primera incluye regiones 1, 2, 3, 8 que pertenecen a los Andes. Ellas difieren unas de otras principalmente por el tipo de orogenia y aspectos morfológicos. La segunda contiene regiones 5, 7 y las

subregiones 6a, 6b, las cuales corresponden al territorio de los Andes Centrales y parte de las Sierras Pampeanas. Las regiones 5 y 7 están caracterizadas por la presencia de fallas transversales orientadas aproximadamente en dirección E-O. El tercer grupo incluye regiones 4, 9, 10, 11, 12 y subregión 6c las cuales están localizadas dentro del área cratónica de la plataforma continental argentina. Ellas difieren mayormente por los diferentes aspectos: morfológicos, orientación predominante de los ríos, patrón de drenaje y por la potencia de espesor de las cubiertas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico. (Ver Figura 2-1).

-Región 1: corresponde a la cordillera costera central de orogenia epigeosinclinal. Los sismos normales están distribuidos uniformemente sobre todo el territorio de la región.

-Región 2: incluye una parte de los Andes volcánicos centrales (Puna) y una parte de la cordillera este de los Andes Bolivianos. Los Andes volcánicos Centrales es un territorio con un tipo de orogenia volcánica, mientras que los Andes Bolivianos es un territorio de orogenia tipo epiplataforma. Aunque estos segmentos de los Andes difieren en cuanto al tipo de orogenia, en sus manifestaciones topográficas no ocurre lo mismo, puesto que ambos están representados por cordones montañosos muy altos con picos que alcanzan una altura de los 5000 a 6700 m, orientados en dirección NNO - SSE. Además la distribución de sismicidad es uniforme en toda la región.

-Región 3: es la extensión sur de las unidades tectónicas arriba mencionadas. La orientación predominante de las morfoestructuras

longitudinales en esta región es NNE-SSO. Esta es la razón por la que la región fue separada de la región 2 por un lineamiento transversal trazado aproximadamente a lo largo del paralelo 24°S. A diferencia de la región 2 la densidad de epicentros en la región 3 es mayor.

-Región 4: corresponde al macrobloque IV. Gran parte de la región está representada por una gruesa capa cuaternaria cubriendo el borde sur del cratón de Sudamérica. La parte occidental de la región está ocupado por una fosa, rellena por depósitos molásicos deformados. La región está subdividida en dos subregiones 4a y 4b, debido a distintas características (sismicidad, distribución y modelo tectónico). Los sismos normales están concentrados principalmente en subregión 4a.

-Región 5: es una amplia zona de transición, caracterizada por lineamientos transversales. Esta separa el segmento volcánico de los Andes (Reg. 3), de otra región de los Andes con orogenia del tipo epigeosinclinal ubicada entre los paralelos 28°S y 33°S. No existe Neógeno-Cuaternario ni vulcanismo reciente al sur de este lineamiento.

-Región 6: es más activa sísmicamente que las otras y caracterizada por estructuras tectónicas heterogéneas. Esta región contiene Los Andes Chilenos Medios con orogenia del tipo epigeosinclinal y el macizo precámbrico Sierras Pampeanas, cuya orogenia es del Neógeno-Cuaternario. La altura de las sierras en el macizo antes mencionado y en los segmentos adyacentes de los Andes es similar, lo que indica indirectamente la misma proporción de

movimiento vertical neotectónico. No obstante la significativa diferencia en el origen de estas unidades, las consideraremos como una región sismotectónica común, porque la actividad sísmica reciente es muy alta dentro de ambas. Pero dado las distintas particularidades tectónicas y de distribución de sismos, la región fue subdividida en un número de pequeñas subregiones (6a, 6b, 6c) y sub-subregiones (6b-1, 6b-2, 6b-3).

La subregión 6a incluye una parte de los Andes Chilenos Medios y dos altas sierras (cordillera de Famatina y Sierra Velasco), pertenecientes a las Sierras Pampeanas.

Dentro de la subregión 6b se encuentra la parte sur de los Andes Chilenos Medios y un segmento del macizo de Las Sierras Pampeanas alrededor de San Juan.

Dada la alta concentración de sismos alrededor de San Juan es posible delimitar en la subregión 6b una sub-subregión 6b-1. La alta sismicidad de esta zona puede ser explicada por la intersección de lineamientos diferentemente orientados ( Figura 2-2 ). Otra concentración en la actividad sísmica es observada en el territorio de los Andes, delimitando de esta manera a la sub-subregión 6b-2 de la 6b-1, que fue separada por una falla longitudinal, marcando un límite tectónico entre los Andes y las Sierras Pampeanas. La parte restante de la subregión 6b forma la sub-subregión 6b-3 con un pequeño número de sismos normales.

La subregión 6c incluye la parte oriental más baja de las Sierras Pampeanas, separada de la elevada parte occidental por una depresión longitudinal a lo largo de la cual se trazó el límite. Los sismos normales están uniformemente distribuidos sobre el territorio de la subregión 6c.

-Región 7: es una amplia zona transversal entre los Andes Volcánicos del sur y los epigeosinclinales Andes Chilenos Medios al Norte. Esta zona incluye un sistema de fallas transversales en la cercanía de Mendoza. Los sismos normales se distribuyen uniformemente sobre la parte central y occidental, pero se observa una falta de actividad sísmica en el borde oriental de la región. Quizás, la parte oriental de la región debería ser considerada como una subregión individual o como una parte adyacente de la subregión 6c, pero se requiere de datos adicionales para aclarar esta situación.

-Región 8: es un segmento de los Andes, caracterizado por un tipo de orogenia volcánica. En este segmento, las alturas de las montañas caen gradualmente de 6.9 Km en el norte, a 3 Km en el sur. De acuerdo con esta diferencia morfológica, la región fue dividida en dos subregiones 8a y 8b las cuales están separadas por lineamientos transversales trazados a lo largo de los ríos Maule y Barrancas. La distribución de sismicidad corresponde a esta subdivisión. La mayor parte de los sismos normales se producen en subregión 8a.

-Región 9: incluye una parte de la placa patagónica y el borde sur del cratón sudamericano. La parte occidental de la región está representada por un sistema de sierras aisladas (Sierra del Nevado, Sierra de Chacheuan y otros) con una altura de 2000 a 3000 m, mientras que la parte oriental de la región está representada por una planicie con una altitud que no excede los 500 m. En general la región contiene solamente 12 sismos normales pero 11 de ellos localizados en la parte occidental de la región. Esta

es la razón por la que la región fue dividida en dos subregiones 9a y 9b, las cuales están separadas por un límite longitudinal trazado a lo largo del Río Salado.

Las regiones 10, 11 y 12 son prácticamente asísmicas. Corresponden concretamente a los macrobloques morfoestructurales IX, X, XI respectivamente, los cuales se describen en sección 2.2. de este capítulo.

No se considera como final la regionalización obtenida y especialmente la localización de límites entre regiones y subregiones, porque, se usaron para este estudio principalmente mapas de gran escala. Se necesitan datos tectónicos, geológicos y topográficos más detallados para mejorar esta regionalización.

## 2.5. EVALUACION DE LA MAXIMA MAGNITUD POSIBLE DE UNA REGION, SOBRE LA BASE DE RECONOCIMIENTO DE AREAS PROPENSAS A SISMOS.

En esta sección se presentan los resultados de identificación de sitios donde pueden ocurrir sismos con  $M \geq 7.0$ . Este estudio fue realizado para todo el cinturón montañoso de Los Andes y se describe en detalle en [12].

Generalmente, el estudio consiste de dos pasos. En primer lugar se realizó un mapa morfoestructural del área investigada con el fin de determinar nudos (lugar de intercepción de fallas), los cuales pueden ser causantes de actividad sísmica importante. Todos los nudos obtenidos del análisis morfoestructural están clasificados por un patrón de reconocimiento sobre la base de parámetros de relevancia geológica y geomórfica, en dos grupos, a saber: un grupo donde pueden ocurrir grandes sismos y otro donde

es menos factible que esto suceda.

La comparación del mapa morfoestructural con la distribución de sismos normales  $M \geq 7.0$ , ha demostrado que los epicentros de todos estos sismos están localizados en nudos morfoestructurales detectados (ver Figura 2-3).

#### 2.5.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.

Se consideraron 146 intersecciones de fallas (nudos) y se los dividió en dos grupos B y N, donde la clase B es un grupo de puntos potencialmente peligrosos desde el punto de vista de la ocurrencia de sismos con  $M \geq 7.0$  y la clase N es un grupo de puntos potencialmente no peligrosos (la magnitud de los posibles sismos es menor que 7.0).

Los siguientes 24 objetivos fueron puestos en clase B (ver Figura 2-3): ck1, c12, ch4, cd3, e11, e17, k12, k14, k15, 102, np1, np3, np8, n04, pq2, p02, p03, p04, pur, ru1, ru2, ru3, ru4, ru5.

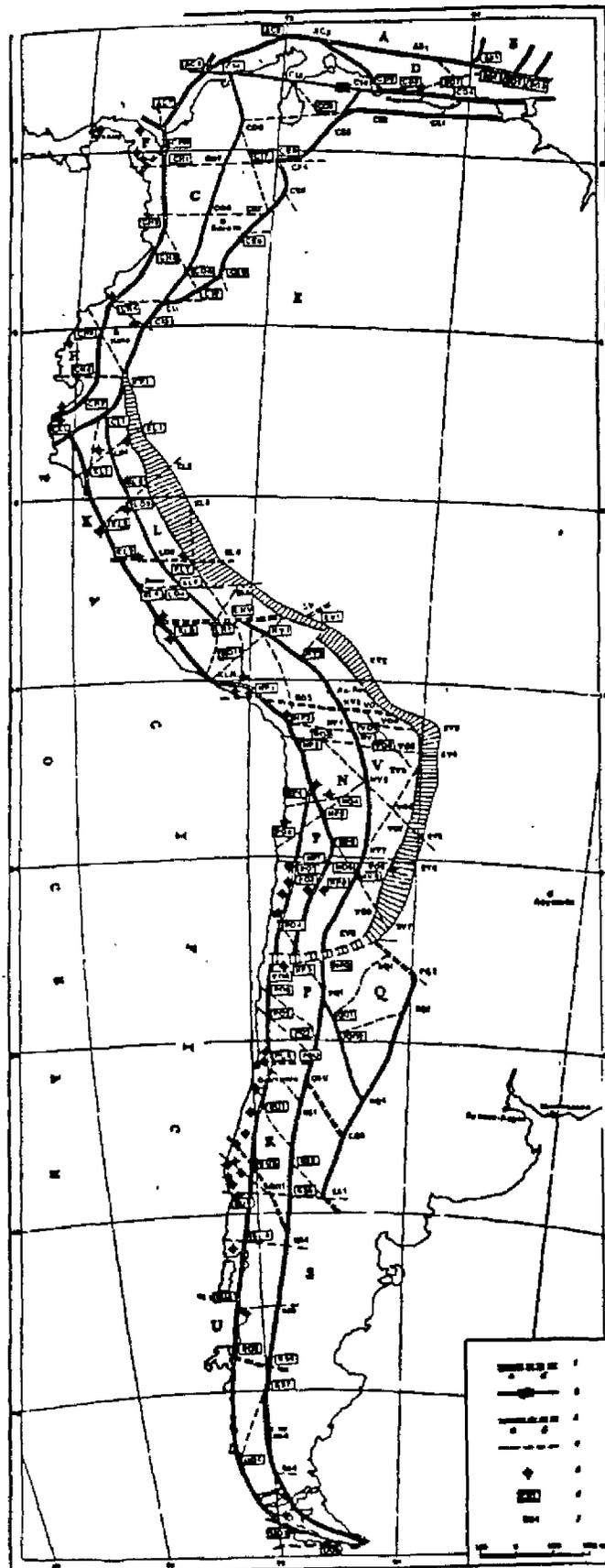
#### 2.5.2. CARACTERISTICAS DE LOS OBJETIVOS DEL RECONOCIMIENTO.

Los puntos fueron definidos como un territorio cubierto por un círculo de 75 Km de radio con centro en el punto de intersección de los ejes de las fallas. En el caso que dos intersecciones estuviesen más cerca de 75 Km una de la otra, se consideraron como un objetivo común. En este caso, la intersección es un territorio dentro del contorno de dos círculos de 75 Km de radio.

Para la clasificación de los nudos se usaron características geomórficas y geológicas.

De 146 objetivos del reconocimiento, 89 fueron clasificados como peligrosos. La confiabilidad de esta clasificación fue confirmada por una serie de experimentos de control [12].

En Figura 2-3, se puede ver que todas las regiones y subregiones, excepto las subregiones 4a, 4b, 6c, 9a y 9b, las cuales no fueron consideradas en el estudio precedente, hay nudos donde es posible el origen de sismos con  $M \geq 7.0$ . Este, es un hecho importante que debe ser tenido en cuenta para el cálculo de riesgo sísmico dentro de las regiones sismotectónicas.



- REFERENCIAS:**
- 1-4 Lineamientos de 1º, 2º y 3º rango respectivamente:  
a- longitudinales  
b- trasversles
  - 5 Epicentros  $M \geq 7.0$  (1900 - 1983)
  - 6 Nudos reconocidos como peligrosos,  $M \geq 7.0$ .
  - 7 Nudos donde sismos con  $M \geq 7.0$  , no son factibles.

Figura 2-3: Mapa morfoestructural de Los Andes y resultados del reconocimientos de áreas propensas a sismos

## CAPITULO 3

### ANALISIS DE LOS DATOS

Se ha reconocido, desde hace algún tiempo, que contar con un catálogo unificado de parámetros sísmicos, libre de errores, sísmos repetidos y razonablemente completo, es esencial para encarar estudios en muchas áreas de la investigación sísmológica. Teniendo en cuenta esta premisa, se procedió a preparar un catálogo de la zona de estudio, tomando como base un catálogo local y otro mundial.

Para la preparación del catálogo, se utilizó el software del IITEP.

#### 3.1. ORIGEN DE LOS DATOS.

##### 3.1.1. ORIGEN DEL CATALOGO LOCAL.

El catálogo Local esta compuesto con datos del catálogo Ceresis hasta 1981 y actualizado hasta 1990 con datos de fuentes internacionales y nacionales. El catálogo Ceresis, fue confeccionado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y publicado en 1985, cuenta con información desde 1962 hasta 1981. Este catálogo nace por la necesidad de unificar los catálogos de América del Sur bajo el auspicio del "Programa para la Mitigación de los efectos de los terremotos en la Región Andina" (conocido como el Proyecto SISRA), y comprende eventos para toda América del Sur, organizado por país. Este fue realizado en dos partes, primera: la instrumental, que comienza poco después de 1900 y segunda: la histórica que comienza con

el evento más antiguo conocido para el país y cuya compilación se hizo en base a documentos históricos incluyendo diarios, periódicos, revistas, archivos locales y también la inclusión de investigaciones recientes sobre eventos históricos. La parte instrumental del catálogo fue compilada con datos de fuentes internacionales ( U.S. Geological Survey, U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, International Center of Seismologie) y locales. (CERESIS, 1985).

Una descripción del formato del catálogo de hipocentros Ceresis, aparece en el Apéndice 3-1.

Dado que el catálogo Ceresis solo contiene información hasta 1981, el catálogo Local fue completado hasta 1990 con información proveniente de la agencia internacional U.S. Geological Survey y datos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES).

En Tabla 3-1, se describen las fuentes primarias y las fechas incluidas en la compilación de la parte instrumental del catálogo local, la descripción hasta 1981 ha sido tomada de [13].

**Tabla 3-1**

Año	Agencia
1) 1906 - 1917	G-R
2) 1918 - 1932	G-R + ISS
3) 1933 - 1950	G-R + ISS + USCGS
4) 1951 - 1960	ISC + USCGS + BCI
5) 1961 - 1963	ISC + USCGS
6) 1964 - 1973	USCGS + ISC + USGS
7) 1974 - 1981	ISC + USGS
8) 1982 - 1990	USGS + INPRES

donde:

G-R	Gutenberg y Richter (1954)
ISS	International Seismological Summary
USCGS	U.S. Coast and Geodetic Survey
BCI	Bureau Central International de Seismologie
ISC	International Seismological Center
USGS	U.S. Geological Survey
INPRES	Instituto Nacional de Prevención Sísmica

### 3.1.2. CATALOGO MUNDIAL NOAA - VERSION IITEP -

Se utilizó el catálogo NEIC (nombre completo USCGS, NOAA) creado por la National Earthquake Information Center (U.S. Department of the Interior, Geological Survey). El catálogo contiene 277.000 eventos desde 1901 hasta agosto de 1990, para todo el mundo. Este fue chequeado y reorganizado en tiempo por IITEP (International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, USSR) y existe en PC en formato IITEP ( formato ASCII, 41 símbolos por evento o en formato binario 20 bytes por evento ). Estos formatos se presentan en Apéndice 3-2 y 3-3, respectivamente

### 3.2. PREPARACION DEL CATALOGO DE PARAMETROS SISMICOS PARA LA ZONA DE ESTUDIO.

#### 3.2.1. ANALISIS DEL CATALOGO LOCAL.

Por intermedio de programas de computación se analizó la existencia de algún tipo de error en el catálogo Local entre el año 1981 y 1990, como pueden ser: valores irrazonables de (tiempo, latitud, longitud, profundidad), sismos repetidos o mal ordenados en tiempo. Cabe aclarar que hasta 1981 el análisis del

catálogo fue realizado por personal de Ceresis, por esta razón en este trabajo se comienza el análisis a estudio de esta fecha en adelante.

De la verificación de errores se obtuvo el siguiente resultado: sismos duplicados 5, valores irrazonables 3, sismos mal ordenados en tiempo 85, procediéndose luego a la corrección de los mismos. De este trabajo resultó un catálogo local, libre de errores que cuenta con 7782 eventos que cubren un periodo de tiempo que comienza con el sismo histórico más antiguo 13-9-1692 y termina el 30-1-1991. En Tabla 3-2, se resumen las principales características del catálogo.

**Tabla 3-2**

INTERVALO			
TIEMPO	13-09-1692 - 30-01-1991		
LATITUD	21.18°S - 63.60°S		
LONGITUD	73.00°W - 33.49°W		
PROFUNDIDAD	0 Km - 660 Km		
MAGNITUD REPORTADA	N <sub>o</sub> de eventos	%(*)	INTERVALO
Eventos sin magnitud	4962	63.7	-- -- --
Eventos con magnitud	2820	36.2	2.9 -- 8.3
mb	2445	31.4	2.9 -- 6.6
Ms	209	2.68	3.4 -- 8.3
Otras magnitudes	403	5.26	2.2 -- 8.3

(\*)El porcentaje se obtuvo en base al total de los eventos 7782

### 3.2.2. TRANSFORMACION DEL CATALOGO MUNDIAL.

Con el objeto de completar con datos adicionales el catálogo Local, se preparó un subcatálogo de la zona de trabajo a partir del catálogo Mundial (NOAA). Este se obtuvo determinando las coordenadas del polígono de la zona de trabajo (Tabla 3-3), en el

cual no se tuvo en cuenta la parte sur de Argentina, a partir de los 44° de latitud sur, por considerar que la sismicidad de esta zona no es significativa para los fines de este trabajo. Ver Figura 3-1.

**Tabla 3-3**

LATITUD	LONGITUD
-21.50	-67.70
-23.00	-67.70
-23.00	-68.00
-24.00	-68.00
-24.00	-69.00
-28.00	-69.00
-28.00	-70.00
-30.00	-70.00
-30.00	-71.00
-36.00	-71.00
-38.00	-72.00
-44.00	-72.00
-44.00	-56.00
-21.50	-56.00

El subcatálogo obtenido, contiene 7120 eventos desde 07\12\1912 al 21\02\1991. Este fue analizado y las principales características son presentadas en Tabla 3.4.

**Tabla 3-4**

INTERVALO			
TIEMPO	07\12\1912 - 21\02\1991		
LATITUD	44.00°S	-	21.50°S
LONGITUD	72.00°W	-	58.09°W
PROFUNDIDAD	0 Km	-	660 Km
MAGNITUD REPORTADA	Nº de eventos	%(*)	INTERVALO
Eventos sin magnitud	4725	66.5	-- -- --
Eventos con magnitud	2395	33.6	2.2 -- 8.4
mb	2277	32.0	2.9 -- 6.3
Ms	51	0.71	3.4 -- 7.4
Mp	153	2.14	4.5 -- 8.4
Ml	2	0.02	2.2 -- 5.8

(\*)El porcentaje se obtuvo en base al total de los eventos 7120.

### 3.2.3. OBTENCION DEL CATALOGO DE TRABAJO (ARSUM).

Para la obtención del catálogo ARSUM, se unió al catálogo Local los sismos del subcatálogo obtenido para Argentina a partir del catalogo Mundial que no se encontraban en el primero.

Una de las tareas principales en esta etapa, fue eliminar el listado de sismos duplicado de un mismo evento. Como el catálogo Local fue compilado con información proveniente de muchas fuentes, al unirlo con el subcatálogo obtenido para Argentina, se encontró frecuentemente en la colección inicial, el mismo evento en repetidas oportunidades. Aparecieron dos problemas principales para eliminar eventos duplicados. El primero es poder reconocer entre dos o más eventos que son el mismo evento no obstante que la fecha, el tiempo, la ubicación y magnitud reportada por dos fuentes diferentes, pueden diferir significativamente. El segundo es decidir cual dato retener y cual eliminar.

Como primer paso para identificar los sismos repetidos se utilizó un programa de computación, el cual debía decidir mediante el ingreso de parámetros si se trataba del mismo sismo o de uno diferente. Se consideró que era el mismo sismo si la diferencia en fecha, tiempo, ubicación y magnitud eran menor que los siguientes valores:

-Tiempo	< 1	minuto
-Profundidad	< 1	kilómetro
-Latitud	< 0.01	grado
-Longitud	< 0.01	grado
-Mb	< 0.01	
-Me	< 0.01	
-Ml	< 0.01	
-Mp	< 0.01	

Los programas de cómputos son de alguna utilidad para reconocer eventos potencialmente duplicados, pero se requiere de

juicio personal para tomar una decisión final acerca de cuales eventos son duplicados. Esto implica considerar la precisión de los datos para un periodo de tiempo dato y una fuente dada, y evaluar las diferencias de tiempo, localización, profundidad y magnitud.

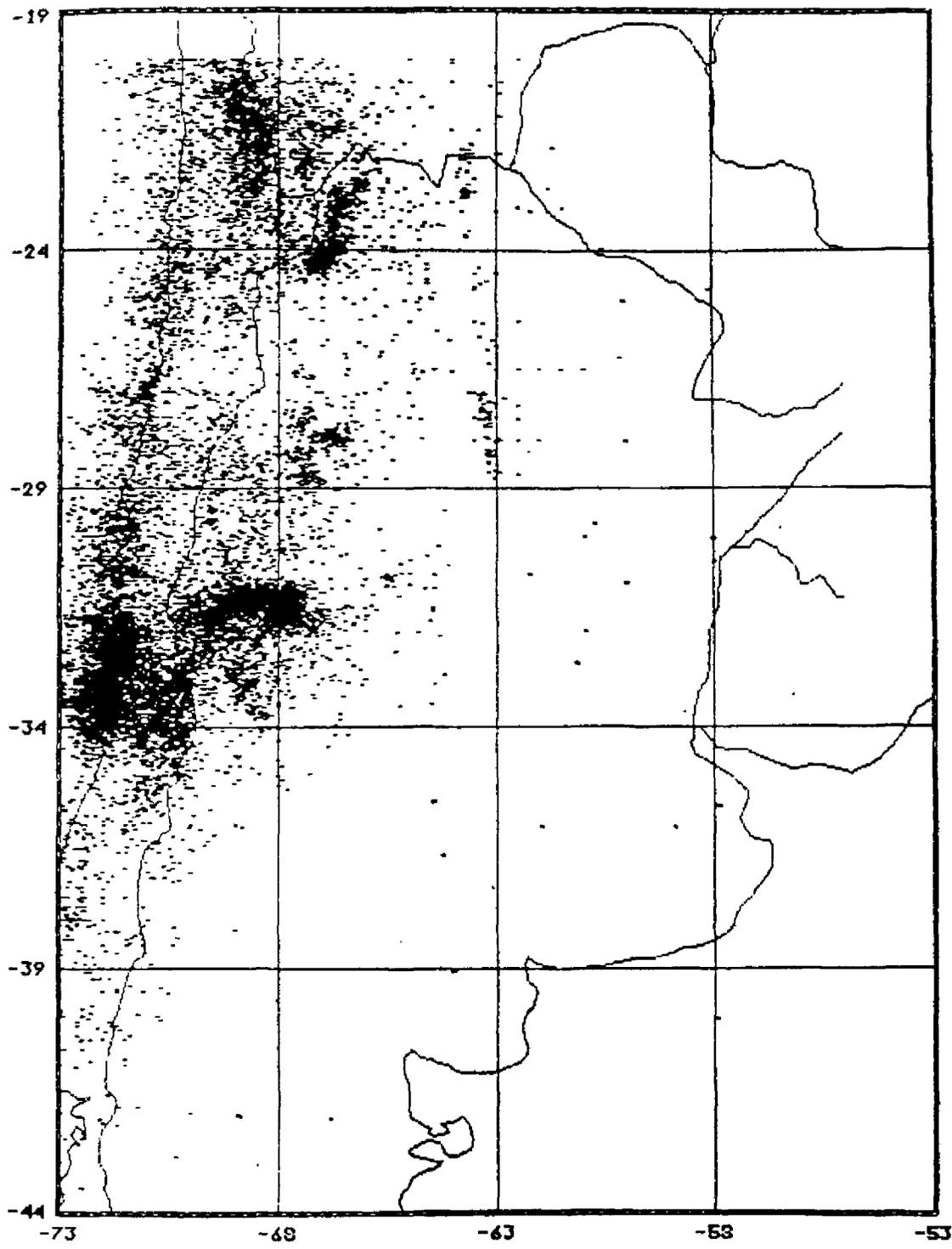
En general, se hizo un ordenamiento de las fuentes de acuerdo a su grado de confiabilidad para determinar la información que debería ser retenida para un determinado evento. Se tomó la decisión de dar preferencia a los datos del catálogo Local, por considerar que las fuentes empleadas en la compilación de este catálogo, para los distintos periodos de tiempo, es la más adecuada dado el grado de confiabilidad.

El catálogo obtenido, contiene 8208 eventos desde 13\09\1692 al 21\02\1991. En Figura 3-1, se presenta el mapa de distribución de epicentros para Argentina obtenido a partir del catálogo APSUM. Las características principales de este son presentadas en Tabla 3-5.

**Tabla 3-5**

INTERVALO				
TIEMPO	13\09\1692 - 21\02\1991			
LATITUD	63.60°S - 21.18°S			
LONGITUD	73.00°W - 23.71°W			
PROFUNDIDAD	0 Km - 660 Km			
MAGNITUD	REPORTADA	Nº de eventos	%(*)	INTERVALO
Eventos sin magnitud		5176	62.9	-- -- --
Eventos con magnitud		3032	36.9	2.2 -- 8.4
mb		2647	32.2	2.9 -- 6.6
Me		204	02.5	3.4 -- 8.3
Mp		435	5.30	4.5 -- 8.4
Ml		2	0.02	2.2 -- 5.8

(\*)El porcentaje se obtuvo en base al total de los eventos 8208.



**Figura 3-1: Sismicidad de la República Argentina**

**Tabla 3-6**

Número de valores de h en diferentes intervalos de tiempo.

Prof:	0	1-4	5	6-9	10	11-32	33	34-99	100	101-200	Total
Años											
1900-1917	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	3
1918-1932	125	.	.	.	.	3	.	4	.	14	146
1933-1950	65	.	.	.	.	6	1	14	11	38	135
1951-1960	87	.	.	.	.	3	1	16	20	52	179
1961-1963	4	.	.	.	.	7	15	28	3	59	116
1964-1973	74	1	1	3	.	41	117	168	8	478	891
1974-1981	.	5	6	9	173	88	248	164	16	673	1382
1982-1990	.	.	64	13	464	205	955	422	58	1659	3840
Total:	355	6	71	7	637	353	1337	818	117	2973	

**Tabla 3-7**

Distribución en el tiempo de valores convencionales de h.

Años	N tot	P r o f u n d i d a d - K m -				
		0	5	10	33	100
1900-1917	3		.	.	.	1
1918-1932	146	86	.	.	.	.
1933-1950	135	48	.	.	1	8
1951-1960	179	49	.	.	1	11
1961-1963	116	3	.	.	13	2
1964-1973	891	8	0.1	.	13	11
1974-1981	1382	-	0.4	12	18	1.1
1982-1990	3840	-	2	12	25	1.5

Frente a estas tablas, se puede concluir que la distribución de sismos en las distintas profundidades, es probablemente correcta a partir de 1974.

En sismos normales es razonable excluir el valor de Profundidad de foco 33 Km. Si bien este valor convencional nos indica la pertenencia del sismo al tipo normal, muchas veces éste puede ser obtenido como resultado de la determinación automática

### 3.3. DETERMINACION DE PROFUNDIDADES EN EL CATALOGO.

Para determinar la profundidades de foco (h) de los sismos que se tendrán en cuenta en el estudio, se realizó un análisis de estas, tomando los sismos con  $h \leq 200$  Km. En todo el catálogo solamente 355 sismos no tienen valor de profundidad de foco, pero muchos tienen valores convencionales:

Profundidades convencionales	Número de sismos
10 Km	637
33 Km	1337
100 Km	117

Como primer paso, se analizó la calidad en la determinación de la profundidad de foco (h) con el tiempo, como una manera de obtener la representatividad de los datos de profundidad en los distintos periodos de observación.

Basados en la publicación de descripción del catálogo Ceresis [13], se dividió todo el periodo de observación en diferentes intervalos de tiempo, teniendo en cuenta las fuentes usadas en la compilación del catálogo. (Ver Tabla 3-1). Estos intervalos incluyen 6692 eventos con profundidad menor de 201 Km, histograma  $N(\text{años}, \text{profundidad})$  es presentado en Tabla 3-6. En Tabla 3-7 se muestra el número de eventos con valores de profundidad convencional (en % al número total de sismos), que junto a Tabla 3-6 nos dan información sobre la calidad de determinación de la profundidad de foco durante los distintos intervalos de observación.

del hipocentro En Tabla 3-8. se muestra la distribución de este valor convencional de profundidad ( $h = 33$  Km) para diferentes intervalos de tiempo y para diferentes valores de magnitud.

**Tabla 3-8**

**Distribución del valor convencional  $h = 33$  Km.**

Años	M a g n i t u d e									N Tot
	4 0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	
1974-1975	2	7	9	3	.	.	.	.	.	21
1976-1977	8	26	36	6	2	1	.	.	.	79
1978-1979	.	7	4	1	.	.	.	.	.	12
1980-1981	1	1	3	1	.	.	.	.	.	6
1982-1983	1	3	6	2	.	.	.	.	.	12
1984-1985	1	6	2	.	.	.	.	.	.	9
1986-1987	2	3	1	.	.	.	.	.	.	6
1988-1989	2	9	2	.	.	.	.	.	.	13
1990-1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0

De la tabla se deduce que el valor de 33 Km no trae errores fundamentales en la consideración de profundidades normales si tomamos sismos con magnitud  $M \geq 4$  para el periodo comprendido entre 1978 a 1990.

La distribución de profundidades en los diferentes intervalos de magnitud para el periodo 1978 - 1989 es presentada en Tabla 3-9.

Como paso siguiente se verificó la aproximación de los valores de profundidad en el catálogo para diferentes intervalos de magnitud. En Tablas 3-10 se muestra sobre el eje vertical las profundidades en intervalos de 10 Km y en el eje horizontal la unidad de Km para cada profundidad y para diferentes intervalos de magnitud. Los valores convencionales de 10 Km y 33 Km se



muestran separadamente.

**Tablas 3-10**

Magnitudes bajas (M = 4.0 - 4.9)

Prof	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Total
1 -10	-	-	-	-	3	1	-	1	-	32	5 +32 (h=10)
11 -20	1	2	-	1	1	-	1	-	-	1	7
21 -30	-	1	2	-	-	4	-	-	1	2	10
31 -40	-	-	36	1	2	-	-	-	-	-	3 +36 (h=33)
41 -50	1	-	1	1	4	1	-	1	1	2	12
51 -60	1	2	-	2	-	1	1	2	1	4	14
61 -70	-	3	-	1	-	-	-	-	-	1	5
71 -80	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	3
81 - 90	-	-	1	-	-	2	-	1	3	3	10
91-100	1	2	2	3	-	1	1	2	1	3	16
	4	10	7 +36	9	11	11	3	7	7	16 +32	153

Magnitudes moderadas (5.0 - 5.9)

Prof.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Total
1 -10	-	-	-	-	3	1	-	-	-	21	4 +21 (h=10)
11 -20	-	-	1	1	-	-	-	2	1	-	5
21 -30	2	-	1	1	1	1	1	-	1	1	9
31 -40	-	2	22	-	1	1	-	1	1	2	8 +22 (h=33)
41 -50	-	-	-	-	-	1	1	1	1	2	6
51 -60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61 -70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71 -80	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
81 - 90	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	4
91-100	-	1	1	1	1	2	1	1	-	-	8
	2	3	3 +22	3	6	6	3	7	5	7 +21	88

De la última tabla podemos concluir:

- 1-no hay hipocentros a una profundidad de 0 - 5 Km que pueda ser explicados por la presencia de una delgada capa sedimentario
- 2-la mayor parte de los sismos normales están situados Profundidades de 10Km a 30Km.

3-aproximadamente la mitad de los sismos tienen valores convencionales de profundidad (46%) a saber: 53 sismos con  $h=10\text{Km}$  y 58 sismos con  $h=33\text{Km}$ .

4-si se excluye estos valores convencionales, se observa en la última Tabla que el valor de una profundidad dada en el catálogo puede ser considerada como uniforme.

### 3.3.1. DECISION FINAL SOBRE PROFUNDIDADES.

De los resultados obtenidos se ve que a profundidades entre 60Km y 80Km no hay prácticamente hipocentros. Los sismos con magnitud  $M \geq 5.0$  se concentran a profundidades menores de 50Km, siendo estos los de mayor interés, puesto que son los que pueden traer consecuencias negativas para las capitales y sus pobladores. Por esta razón y dado los objetivos de este estudio se considerarán solamente los sismos normales con una profundidad  $h \leq 70\text{Km}$ .

### 3.4. REPRESENTACION GRAFICA DEL CATALOGO DE TRABAJO.

En esta etapa se analizó la parte útil del catálogo para ser utilizada en la preparación del modelo de ocurrencia de sismos. Como primer paso en esta dirección, se estableció cual es el valor mínimo de magnitud confiable en el tiempo. Para ello se dividió todo el período instrumental en 5 intervalos de tiempo (Tabla 3-11), utilizando para este fin, información de catálogos mundiales e histograma  $N(M, T)$  para el catálogo de trabajo ARSUM.

**Tabla 3-11**

<u>N<sub>2</sub> INTERVALOS</u>	<u>AÑOS</u>
1)	1903 a 1922
2)	1923 a 1935
3)	1936 a 1962
4)	1963 a 1974
5)	1975 a 1990

Se calculó la función  $Lg N(M)$  para cada intervalo de tiempo y diferentes intervalos de magnitud, de esta forma se trabajó hasta conseguir que el valor de la pendiente de la función no dependiera del valor mínimo de magnitud utilizado en el intervalo. tomando a este como el valor mínimo de magnitud confiable para ese intervalo de tiempo. De igual forma se procedió con los demás intervalos de tiempo, excepto en el intervalo 1 y 2 que por falta de datos no se pudo lograr una independencia entre la pendiente de la función y el valor mínimo de magnitud. En estos casos se utilizó información de catálogos mundiales

En Figura 3-2 se muestra una representación gráfica de la parte del catálogo a utilizar en el estudio.

### **3.5. ELIMINACION DE SISMOS SECUNDARIOS (REPLICAS).**

La eliminación de los sismos secundarios no es única y a veces actúa como una fuente de sobreestimación o subestimación del peligro sísmico

Mediante un programa de computación se reconoció y se eliminó los sismos secundarios. Este permitió dividir los sismos en principales y secundarios.

En este ítem, M debe entenderse como la magnitud del sismo principal.

Un sismo será identificado como secundario, de un sismo principal, si las siguientes condiciones son satisfechas:

- 1 - su magnitud no excede el valor M;
- 2 - la distancia entre los epicentros no excede el valor R(M);
- 3 - la diferencia en tiempo entre el principal y el secundario es menor que T(M);
- 4 - la diferencia en profundidad no excede el valor H(M).

Donde T(M), R(M) y H(M) son funciones empíricas.

La magnitud de los sismos principales fue considerada en intervalos  $M_1 < M < M_2$  y este intervalo dividido en subintervalos  $M_1 < c(1) < \dots < c(6) < M_2$ , como se muestra en Tabla 3-12.

Las limitaciones en magnitud de los sismos secundarios son del tipo absoluta  $M_{a1} < M_a < M_{a2}$ . Donde,  $M_{a1}=0$  y  $M_{a2}=9$  son constantes

Las limitaciones en distancia entre el epicentro del sismo principal y el secundario  $R_a$  son de tipo absoluta para los diferentes intervalos de M:  $R_a < R_a(i)$ . Para obtener  $R_a(i)$ , se utilizaron los reportes existentes del terremoto de Caucete - San Juan - Argentina, del 23 de noviembre de 1977, magnitud  $M_s=7.3$  [14] y el de Mendoza - Argentina, del 26 de enero de 1985, magnitud  $M_s=5.4$  [15], Figuras 3-3 y 3-4 respectivamente. En ellos se pudo calcular la distancia entre el epicentro del sismo principal y el epicentro del sismo secundario más alejado, obteniéndose  $R_a=80\text{Km}$  en el primer caso y  $R_a=30\text{Km}$  en el segundo. Estas distancias fueron utilizadas como limitación

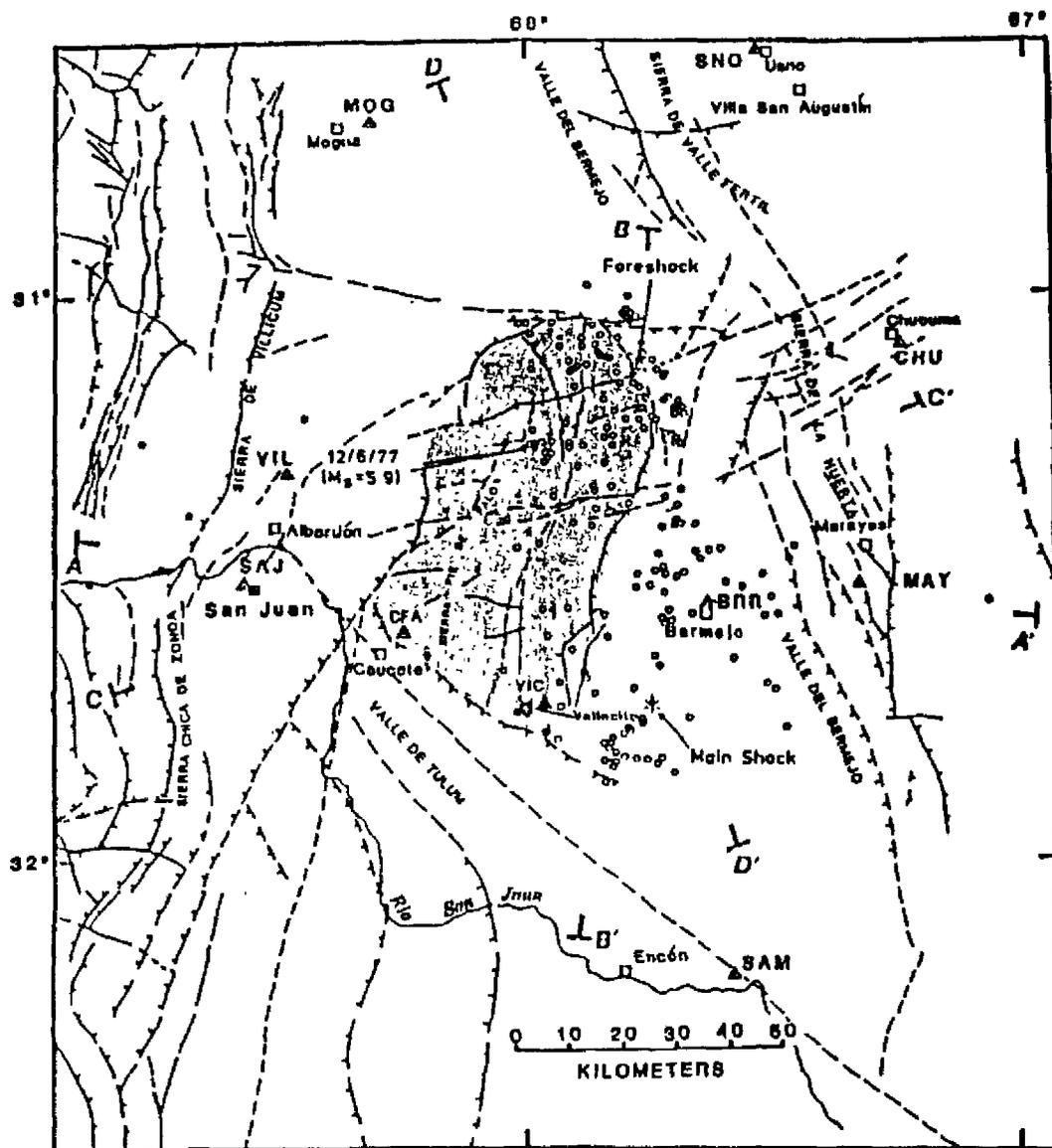


Figura 3-3: Sismo de Cauçete - San Juan -  
23 de noviembre de 1977



para el correspondiente intervalo de magnitud del sismo principal. Por ejemplo,  $R_a=80\text{Km}$  se utilizó en el intervalo  $M \geq 6.5$  y  $R_a=30\text{Km}$  en el comprendido entre los valores de magnitud  $5.5 \leq M < 6.5$ . Para los restantes intervalos el valor de  $R_a(i)$  fue obtenido de acuerdo a las experiencias de los sismólogos locales. Estos resultados se resumen en Tabla 3-12.

Las limitaciones en profundidad son del tipo relativas:  $H - dH_1 < H_a < H + dH_2$ . Donde,  $H$  es la profundidad de foco del sismo principal y  $dH_1=30\text{Km}$ ,  $dH_2=30\text{Km}$ , son constantes.

Las limitaciones en tiempo  $T_a$  entre el sismo principal y el sismo secundario son del tipo absolutas:  $T_a < T_a(i)$ . Donde,  $T_a(i)$  se define para cada intervalo de magnitud ( ver Tabla 3-12).

**Tabla 3-12**

Magnitud	Distancia Km	Tiempo Días
< 3.5	10	7
3.5 - < 4.0	10	7
4.0 - < 4.5	10	7
4.5 - < 5.5	20	7
5.5 - < 6.5	30	30
$\geq 6.5$	80	60

Con estas limitaciones introducidas en el programa, se preparó un catálogo de sismos principales en formato 20 bytes por sismo, conteniendo 2590 eventos. Fueron eliminados del catálogo de entrada 169 sismos secundarios. Este proceder permitió eliminar gran parte de los sismos secundarios. Una mayor identificación de estos no es necesaria para el propósito de este trabajo.

### Apéndice 3-1.

<u>Columnas</u>	<u>Descripción</u>
1-4	- Código único usado como referencia para el evento.
5-1	- Código de dos letras que identifica al país en el cual está localizado el evento.
6-9	- Número de identificación, de cinco dígitos.
11-13	- Número de la región sísmica, definida por Flinn y Engdahl (1974).
15-24	- Fecha (Tiempo Coordinado Universal).
15-18	Año.
10-11	Mes.
23-24	Día.
26-27	- Hora (Tiempo Coordinado Universal). El tiempo está dado en centésimas de segundo, pero no indica la exactitud al cual es conocido.
26-27	Hora.
29-30	Minutos.
32-36	Segundos.
37	- Código utilizado para indicar la calidad del tiempo reportado.
39-56	- Coordenadas geográficas del epicentro.
39-45	Latitud (en centésimas de grado).
47-54	Longitud (en centésimas de grado).
55	- Código usado para indicar la calidad del epicentro
58-62	- Profundidad.
58-62	Profundidad focal en kilómetros.
63	- Código para indicar la exactitud de la profundidad.
64-67	- Número de estaciones usadas en el cálculo del hipocentro.
69-71	- Fuente de datos Hipocentrales.
71-79	- Mb (Magnitud de ondas internas).
71-75	Valor de magnitud.
77-79	Fuente.
81-88	- Ms (Magnitud de ondas superficiales).
81-83	Valor de magnitud.
84	- Componente de sismograma usado para determinar la Magnitud. H indica el componente horizontal y Z indica el componente vertical.
86-88	- Código de tres letras indicando la fuente de la magnitud.
90-106	- Esta sección permite un espacio para listar dos magnitudes adicionales, si las hubiera. Estas pueden ser estimados adicionales de las magnitudes Mb o Ms; pueden ser magnitudes de una escala diferente, tal como magnitudes de momento, o pueden ser magnitudes basadas en una conversión de datos de intensidad o de una escala de magnitud a otra.
90-92	Valor de magnitud.
93	- Código de una letra indicando la escala de magnitud o relación de conversión.
95-97	- Código de tres letras indicando la fuente de la magnitud.
99-101	Valor de magnitud.
102	- Código de una letra indicando la escala de magnitud o relación de conversión.
104-106	- Código de tres letras indicando la fuente de la magnitud.
108-110	- Fuente del mecanismo focal.
112-120	- Intensidad.
112	Datos.
114-115	Máxima intensidad.
116	- Código de una letra indicando la escala de intensidad usada para la intensidad máxima estimada. Una M indica la escala Mercalli-Modificada, y una K indica la escala MSI.
118-120	Fuente.
122-124	- ISO MAF.
126-131	- Esta sección tabula seis categorías de fenómenos asociados para el evento. Cada columna contiene un código de un letra describiendo el fenómeno; X es listada si no hay información disponible.

Apéndice 3-2.

Formato de catálogo 41 bytes (ASCII).

---

Posición	Contenido	Formato
1-4	año	i4
5-6	mes	i2
7-8	día	i2
9-10	hora	i2
11-12	minutos	i2
13-14	segundos	i2
15-19	latitud*100	i5
20-25	longitud*100	i6
26-28	profundidad	i3
29-31	magnitud mb*100	i3
32-34	Ms*100	i3
35-37	Ml*100	i3
38-40	Mp*100	i3
41	intensidad macrosísmica(0-9,A,B,C correspondiente a (I-XII)).	a1

---

Apéndice 3-3.

Formato de catálogo 20 bytes (Binario).

---

Posición	Contenido
1-4	fecha del sismo, hasta minutos.
5-6	latitud*100
7-8	longitud*100
9-10	profundidad
11-12	magnitud mb*100
13-14	Ms*100
15-16	Ml*100
17-18	Mp*100
19-20	intensidad macrosísmica

---