



PUBLICACION TECNICA N° 19



San Juan

Argentina

Julio 1995

Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos

Secretaría de Minería

Subsecretaría de Minería

Instituto Nacional de Prevención Sísmica

INPRES

Roger Balet 47 Norte - 5400 - San Juan - Argentina

Tel.: 54 - (0)64 - 239010 / 15

Fax.: 54 - (0)64 - 234463

Director Nacional: Ing. Juan Carlos Castano

Los Artículos publicados en esta revista son propiedad de sus autores.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier método.

**Fotos de la Portada : Daños producidos en el Gran Mendoza
por el terremoto del 26 de Enero de 1985**

PUBLICACIÓN TÉCNICA N° 19

CONTENIDO

*Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza.
Resumen Ejecutivo.*

PRÓLOGO

El área correspondiente al conglomerado urbano actualmente denominado Gran Mendoza ha sido afectada por numerosos terremotos con diferentes grados de intensidad. El primero del que se tienen referencias históricas ocurrió el 22 de mayo de 1782 y el último se produjo el 26 de enero de 1985. Sin embargo, ninguno de ellos tuvo la trascendencia del terremoto del 20 de marzo de 1861, que destruyó completamente a la antigua ciudad de Mendoza y sus alrededores, constituyéndose en la mayor catástrofe natural de la historia argentina ya que las víctimas fatales ascendieron a un tercio de la población total. Además, como consecuencia directa de este desastre, la ciudad fue trasladada a su ubicación actual.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y la trascendencia socio-económica actual del Gran Mendoza, el Instituto Nacional de Prevención Sísmica -INPRES- realizó un estudio de microzonificación sísmica de este núcleo urbano.

Este trabajo se desarrolló entre los años 1987 y 1989, en cuatro etapas, donde se obtuvieron e integraron para el análisis los datos provenientes de: (a) características geológico-estructurales de la región; (b) parámetros de sismicidad; (c) condiciones locales del suelo y (d) número y tipos de construcciones existentes.

La amplia gama de disciplinas involucradas en este estudio y la profundidad del análisis de cada tema, hizo necesaria la contratación de consultoría privada, que realizó los trabajos bajo la dirección y supervisión del personal especializado del INPRES.

Todos los estudios realizados y descriptos y los resultados obtenidos fueron compilados en el Informe Técnico General, el cual fue distribuido en cantidades limitadas, estando disponible en este Instituto para ser consultado por los interesados. Además, se redactó un Resumen Ejecutivo, conteniendo los resultados más importantes y trascendentes de este estudio. Dicho resumen, es el que presentamos en esta publicación.

Nuestro objetivo fundamental es que los resultados de esta microzonificación sísmica continúe sirviendo de base al Gobierno de Mendoza para integrar los factores derivados del riesgo sísmico en el proceso de planificación física y económica de esa Provincia, y en la preparación de una posible emergencia sísmica.

Es importante hacer notar que después de 1989 el INPRES ha continuado trabajando sobre la problemática sísmica del Gran Mendoza, por lo que existen publicaciones más recientes cuyos resultados están basados en este estudio de microzonificación, e inclusive pueden haber algunas modificaciones a los datos iniciales, producto de la ampliación de los estudios, de la mayor cantidad de información y del uso de nuevas metodologías de análisis.

Sin embargo, hemos considerado necesaria esta publicación dado que, por la base de datos geológicos, sismológicos, de suelo y de construcciones que el estudio contiene, será la referencia obligada de todo trabajo referido a este tema.

Ing. Juan C. Castano
Director Nacional

ÍNDICE GENERAL

Página

A. CONTENIDO

1.0 RESUMEN Y CONCLUSIONES

1.1	Resumen	1-1
1.2	Conclusiones	1-2

2.0 INTRODUCCIÓN

2.1	Ubicación de zona bajo estudio en el Gran Mendoza	2-1
2.2	Alcance del estudio	2-2
2.3	Metodología	2-2

3.0 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

3.1	Configuración geológico-tectónica regional	3-1
-----	--	-----

4.0 CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA.

4.1	Geología Precuaternaria	4-1
4.2	Geología Cuaternaria	4-3
4.2.1	Unidades cuaternarias aflorantes	4-4
4.2.2	Unidades cuaternarias en el subsuelo	4-10
4.3	Rasgos estructurales	4-12
4.3.1	Descripción e interpretación estructural de las provincias geológicas existentes en el área	4-12
4.3.1.1	Provincias geológicas de relieve montañoso	4-13
4.3.1.2	Valles intermontanos	4-16
4.3.1.3	Llanura oriental mendocina	4-17
4.3.2	Síntesis de la evolución estructural del área	4-20
4.4	Rasgos fisiográficos y geomorfológicos del área bajo estudio	4-27

4.4.1	Grandes unidades morfoestructurales regionales.....	4-28
	A - Unidades dentro del ambiente montañoso	4-28
	B - Unidades dentro del ambiente planizado	4-29

5.0 FALLAS ACTIVAS EN LA REGIÓN BAJO ESTUDIO.

5.1	Pautas para definir las fallas activas	5-1
5.2	Método de estudio	5-2
5.3	Características principales de las fallas investigadas	5-2
5.3.1	Falla del Melocotón.	5-2
5.3.2	Fallas del Cerro de la Gloria y del Cerro del Cristo	5-3
5.3.3	Falla del Cerro de La Cal	5-3
5.3.4	Rupturas de pendiente dentro de la Ciudad de Mendoza	5-4
5.3.5	Plegamientos y fallas de Barrancas	5-5
5.3.6	Falla de Salagasta-Los Cerrillos	5-6
5.4	Otras fuentes sísmicas.....	5-6
5.5	Modelo tectónico.....	5-7

6.0 SISMICIDAD REGIONAL.

6.1	Sismicidad del Oeste Argentino.	6-1
6.2	Análisis de los terremotos más importantes que afectaron al Gran Mendoza	6-1
6.3	Interpretación de la sismicidad regional	6-2
6.4	Sismicidad de la zona de Benioff	6-4

7.0 FUENTES SÍSMICAS POTENCIALES.

7.1	Potencialidad sísmica	7-1
7.2	Caracterización de las fuentes sismogénicas	7-2
7.2.1	Falla del Cerro. de La Cal-Calle Perú	7-2
7.2.2	Falla de Salagasta-Los Cerrillos	7-3
7.2.3	Estructura plegada de Barrancas	7-3
7.2.4	Falla del Melocotón.....	7-4
7.2.5	Estructura plegada de Tupungato	7-4
7.2.6	Cordillera Frontal	7-4

7.2.7	Fallas menores del subsuelo en el NE de Mendoza.....	7-4
7.2.8	Zona de Benioff.....	7-5

8.0 CONDICIONES LOCALES Y RESPUESTA DEL SUELO.

8.1	Configuración fisiográfica del área en estudio.....	8-1
8.2	Perfiles geotécnicos.....	8-2
8.2.1	Perforaciones para extracción de agua.....	8-2
8.2.2	Estudios de suelos.....	8-2
8.2.3	Exploración geotécnica realizada.....	8-3
8.3	Distribución y características de los sedimentos aluviales.....	8-4
8.4	Exploración geofísica.....	8-6
8.4.1	Equipo y metodología utilizados.....	8-7
8.5	Espesor de los sedimentos cuaternarios.....	8-7
8.6	Perfiles estratigráficos característicos del subsuelo del área bajo estudio.....	8-8
8.7	Agua subterránea.....	8-9
8.8	Licuaación histórica.....	8-11
8.9	Descripción general de los daños provocados por el terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985.....	8-11
8.10	Categorización de los daños provocados por el terremoto del 26 de enero de 1985.....	8-12
8.10.1	Antigüedad de las construcciones.....	8-14
8.10.2	Comparación de la distribución de daños con las características del subsuelo.....	8-14

9.0 ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO.

9.1	Caracterización de las fuentes sísmicas.....	9-3
9.1.1	Fuentes de corteza superficial.....	9-3
9.1.2	Fuentes de la zona de subducción.....	9-8
9.2	Relaciones de atenuación.....	9-8
9.2.1	Relaciones de atenuación para terremotos de la corteza superficial.....	9-9
9.2.2	Relaciones de atenuación para terremotos de la zona de subducción.....	9-16

9.3	Análisis de los resultados y sensibilidad	9-17
9.3.1	Peligro sísmico calculado	9-17
9.3.2	Contribuciones a la incertidumbre	9-19
9.3.3	Análisis adicional de sensibilidad	9-20
9.3.4	Mapas de peligro de aceleraciones máximas	9-22
9.3.5	Espectros de respuesta	9-22

10.0 ZONIFICACION DEL PELIGRO SISMICO.

10.1	Movimiento del terreno	10-1
10.2	Peligro de licuación	10-1
10.3	Peligro de rotura superficial	10-4
10.3.1	Zonificación del peligro de rotura superficial	10-4
10.3.2	Propuesta para la zonificación del peligro por rotura superficial en el Gran Mendoza	10-5
10.3.3	Probabilidad de rotura superficial	10-6
10.4	Zonificación para diseño estructural	10-8

11.0 CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES EN EL GRAN MENDOZA.

11.1	Objetivo	11-1
11.2	Tipología de las construcciones existentes en el área bajo estudio	11-1
11.2.1	Construcciones ejecutadas con previsiones sismorresistentes	11-1
11.2.2	Construcciones sin previsiones sismorresistentes	11-2
11.3	Evaluación de la seguridad de las construcciones	11-3
11.4	Muestreo de las construcciones	11-4
11.4.1	Tareas previas al relevamiento	11-4
11.4.2	Tareas propias del relevamiento	11-7
11.4.3	Tareas posteriores al relevamiento	11-8
11.4.4	Análisis de los resultados	11-8
11.5	Características dinámicas de los edificios del Gran Mendoza	11-9

12.0 USO DEL SUELO Y TENDENCIAS DE DESARROLLO FUTURO.

12.1	Introducción	12-1
12.2	Evolución de los usos del suelo	12-2
12.3	Uso del suelo urbano	12-2
12.3.1	Primera estructura de uso del suelo urbano del Gran Mendoza: 1561-1861	12-3
12.3.2	Segunda estructura de uso del suelo urbano: 1861- 1950	12-5
12.3.3	Tercera estructura de uso del suelo urbano: 1950- 1987	12-9
12.4	Usos del suelo urbano en la actualidad	12-11
12.5	Población y vivienda	12-13
12.6	Tendencias de desarrollo futuro	12-14

13.0 DAÑOS PROBABLES A LAS CONSTRUCCIONES.

13.1	Objetivo	13-1
13.2	Caracterización del movimiento del terreno	13-1
13.3	Caracterización de las construcciones	13-2
13.4	Evaluación del daño potencial	13-3
13.5	Caracterización del potencial de daño	13-6
13.6	Análisis de los resultados	13-7

BIBLIOGRAFÍA

B.LISTA DE FIGURAS

Capítulo dos.

- 2-1 : República Argentina. Ubicación de la Provincia de Mendoza.
- 2-2 : Provincia de Mendoza. Ubicación del área bajo estudio.
- 2-3 : Gran Mendoza. Delimitación del área bajo estudio.

Capítulo tres.

- 3-1 : Modelo tectónico del oeste sudamericano.
- 3-2 : Líneas de distribución de profundidad de la Placa de Nazca en la región bajo estudio.
- 3-3 : Tectónica de placas. Cortes transversales en las zonas norte y central de la República Argentina.
- 3-4 : Perfil de la Placa de Nazca y distribución de hipocentros en la región bajo estudio.
- 3-5 : Perfil esquemático estructural de la zona.

Capítulo cuatro.

- 4-1 : Mapa geológico del Gran Mendoza y alrededores.
- 4-2 : Mapa de provincias geológicas de la región cuyana.
- 4-3 : Corte geológico regional a la latitud de 32° 54' Sur.

Capítulo cinco.

- 5-1 : Mapa de ubicación de perfiles topográficos.
- 5-2 : Mapa de ubicación de fallas y trincheras.
- 5-3 : Perfil topográfico tipo.
- 5-4 : Corte geológico tipo sobre trinchera.
- 5-5 : Modelo tectónico del Anticlinal de Barrancas.

Capítulo seis.

- 6-1 : Distribución de epicentros con profundidades < de 50 km.
- 6-2 : Distribución de hipocentros con profundidades < de 50 km.
- 6-3 : Distribución de epicentros con profundidades > de 50 km.

Capítulo ocho.

- 8-1 : Gran Mendoza. Grandes unidades geomórficas.
- 8-2 : Investigación geotécnica. Ubicación de perforaciones y perfiles del subsuelo.
- 8-3 : Perfil estratigráfico típico de cono aluvial.
- 8-4 : Perfil estratigráfico típico de sedimentos pedemontanos.

- 8-5 : Perfil estratigráfico típico de planicie de transición.
- 8-6 : Distribución de las condiciones del subsuelo en el Gran Mendoza.
- 8-7 : Espesor de los sedimentos cuaternarios.
- 8-8 : Perfil transversal del subsuelo (C-C).
- 8-9 : Perfil transversal del subsuelo (D-D).
- 8-10: Curvas de profundidad mínima del agua subterránea.
- 8-11: Curvas del nivel freático mínimo. Licuación histórica.
- 8-12: Gran Mendoza. Terremoto del 26-01-85. Indices de daño.

Capítulo nueve.

- 9-1 : Ejemplo de esquema de secuencias lógicas.
- 9-2 : Modelos de recurrencia exponencial y característica.
- 9-3 : Comparación de la sismicidad predicha para fuentes de corteza, con la sismicidad regional observada.
- 9-4 : Fuente de la Placa de Nazca. Distribución espacial de sismicidad con profundidad focal > 50 km.
- 9-5 : Relaciones de ocurrencia de terremotos para la fuente de la Placa de Nazca.
- 9-6 : Comparación de relaciones de atenuación de la aceleración pico para el oeste argentino.
- 9-7 : Aceleraciones pico registradas en la Argentina y en el oeste de U.S.A., para terremotos de similar magnitud.
- 9-8 : Comparación de formas espectrales medias (5% de amortig.) para terremotos de Ms 5,9 registrados en Argentina y en el oeste de U.S.A., con las formas predichas por la relaciones de Joyner and Boore y Sadigh y otros.
- 9-9 : Razones de respuesta espectral (5% de amortig.) entre el movimiento en superficie calculado para los distintos perfiles respecto al perfil 1.
- 9-10 : Relación de atenuación de Bufaliza para aceleraciones pico modificada para magnitudes Ms mayores que 7.
- 9-11 : Comparación de relaciones de atenuación de aceleración pico para terremotos de la zona de subducción.
- 9-12: Espectros de respuesta medios para terremotos de la zona de subducción, desarrollados utilizando las relaciones de atenuación seleccionadas para el análisis del peligro sísmico.
- 9-13: Curvas de peligro sísmico medio y de percentiles 5^{10} y 95^{10} para todas las fuentes y para los tres sitios seleccionados.
- 9-14: Contribuciones de las sismicidades de corteza y de subducción al peligro sísmico total.
- 9-15: Contribución de la incertidumbre sobre la distribución de la magnitud a la incertidumbre total en el peligro sísmico debido a la sismicidad de corteza.
- 9-16: Sensibilidad del peligro total respecto a la razón de atenuación, para terremotos de corteza.
- 9-17: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10 % de probabilidad de excedencia en 10 años.

- 9-18: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10 % de probabilidad de excedencia en 10 años.
- 9-19: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10 % de probabilidad de excedencia en 20 años.
- 9-20: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10 % de probabilidad de excedencia en 20 años.
- 9-21: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años.
- 9-22: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años.
- 9-23: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10 % de probabilidad de excedencia en 250 años.
- 9-24: Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10 % de probabilidad de excedencia en 250 años.
- 9-25: Comparación de las formas espectrales de igual peligrosidad (5% de amortig.), para cuatro sitios de la región estudiada.
- 9-26: Formas espectrales promedio (5% de amortiguamiento).
- 9-27: Comparación de las formas espectrales promedio (5% de amortiguamiento) con las recomendadas por el UBC para las dos condiciones de sitio.
- 9-28: Comparación de las formas espectrales promedio (5% de amortiguamiento) predichas por las relaciones de atenuación, con las del UBC.
- 9-29: Espectro de igual peligrosidad (5% de amortiguamiento) con 10 % de probabilidad excedencia en 50 años, para sitio cercano a Maipú.

Capítulo diez.

- 10-1 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 10 años, para roca y suelos firmes.
- 10-2 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 10 años, para suelos profundos.
- 10-3 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años, para roca y suelos firmes.
- 10-4 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años, para suelos profundos.
- 10-5 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para roca y suelos firmes.
- 10-6 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para suelos profundos.
- 10-7 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 250 años, para roca y suelos firmes.
- 10-8 : Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 250 años, para suelos profundos.
- 10-9 : Formas espectrales medias para las dos condiciones del subsuelo.
- 10-10 : Distribución generalizada de las dos condiciones del subsuelo.
- 10-11 : Curvas de agua freática poco profunda. Licuación histórica.

- 10-12 : Correlación entre el comportamiento de suelos granulares finos y su resistencia a la penetración.
- 10-13 : Propuesta de zonificación para diseño estructural.
- 10-14 : Espectros de respuesta recomendados para diseño estructural.

Capítulo once.

- 11-1 : Gran Mendoza. Categorización de las construcciones.

Capítulo doce.

- 12-1 : Gran Mendoza. Primera estructura de usos del suelo urbano (1561-1861).
- 12-2 : Gran Mendoza. Segunda estructura de usos del suelo urbano (1861-1950).
- 12-3 : Gran Mendoza. Tercera estructura de usos del suelo urbano. (1950-1987).

Capítulo trece.

- 13-1 : Caracterización del movimiento del terreno.
- 13-2 : Correlación entre la aceleración máxima y el índice de daños.
- 13-3 : Gran Mendoza. Daño probable a las construcciones.

C. LISTA DE TABLAS.

Capítulo siete.

7-1 : Características de las fuentes sísmicas potenciales en el área del Gran Mendoza.

Capítulo ocho.

8-1 : Resumen de los resultados de las exploraciones geofísicas.

8-2 : Terremoto del 26-01-85. Niveles de daño adoptados por cada municipio.

8-3 : Determinación de índices de daños provocados por el terremoto del 26-01-85. Gran Mendoza.

8-4 : Distribución de construcciones según su antigüedad. Gran Mendoza.

Capítulo nueve.

9-1 : Registros de sismoscopios durante el terremoto del 26-01- 85

Capítulo diez.

10-1 : Matriz propuesta.

Capítulo once.

11-1 : Categorización de las construcciones. Gran Mendoza.

11-2 : Distribución de las construcciones en función del número de pisos.

Capítulo doce.

12-1 : Variación de la población de la provincia de Mendoza.

Capítulo trece.

13-1 : Valores utilizados para correlacionar la aceleración pico y el índice de daños para construcciones no sismorresistentes.

13-2 : Relación entre el movimiento del terreno y el porcentaje de construcciones dañadas.

13-3 : Categorización de: movimiento del terreno, tipos de construcciones y daño potencial.

13-4 : Potencial de daño. Gran Mendoza.

1.0 - RESUMEN Y CONCLUSIONES.

1.1 - Resumen

La Provincia de Mendoza, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, en el borde oriental de la Cordillera de Los Andes, ha experimentado numerosos terremotos moderados e intensos, a lo largo de su historia reciente. El Gran Mendoza, conurbano constituido por la parte más poblada de los departamentos que circundan a la capital provincial, y que constituye la zona de mayor importancia tanto desde el punto de vista social como económico, ha sido afectado por varios terremotos, algunos de los cuales fueron demoledores. Entre ellos merecen citarse el del 22-05-1782; el del 20-03-1861 de Ms 7,0 ; el del 19-08-1880 ; el del 12-08-1903 de Ms 6,0 ; el del 27-07-1917 de Ms 6,5 ; el del 17-12-1920 de Ms 6,0 ; el del 14-04-1927 de Ms 7,5 y el último del 26-01-1985.

Debido al elevado nivel de peligrosidad sísmica que presenta la zona y al riesgo que ello implica para la vida y bienes de sus habitantes, el Gobierno Nacional, a través del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), decidió realizar un estudio de microzonificación sísmica de la zona más importante del Gran Mendoza, con el fin de elaborar aquellos elementos que permitan minimizar el riesgo sísmico a que está expuesta la comunidad en su conjunto. A tal fin y a través de un concurso público de méritos, títulos, antecedentes y metodología de trabajo, seleccionó a nuestra firma, **Nafá - Zamarbide, Ingenieros Consultores S.R.L.**, la que realizó el estudio correspondiente. El presente informe presenta los resultados de esa investigación.

Dicho estudio de microzonificación se basó fundamentalmente en la obtención de datos referidos a la geotectónica, sismología, geotecnia y a las construcciones existentes en la zona bajo estudio. De la interpretación y análisis de los mismos, se obtuvieron resultados que permitieron alcanzar los principales objetivos de este tipo de investigación, que se materializaron en una serie de mapas, en los que se divide la zona bajo estudio en áreas de igual peligrosidad. Los mapas finales de zonificación tienen diversos destinos: a) mapas de zonificación con propósito de diseño estructural, destinados a su inclusión en los códigos de construcciones o en todo caso a complementarlos; b) mapas de zonificación de la peligrosidad sísmica destinados a la planificación del desarrollo; c) mapas de zonificación de los daños probables a las construcciones destinados a la planificación de la emergencia.

Esta investigación se llevó a cabo a partir de marzo de 1987 y se prolongó hasta mediados de 1989.

1.2 - Conclusiones

- a) La región donde se localiza el Gran Mendoza es sísmicamente activa, estando esta actividad relacionada tectónicamente con la convergencia de las Placas Sudamericana y de Nazca. Esta última está siendo subducida por la primera, la que es activamente deformada a lo largo de su margen oeste, dando como resultado estructuras geológicas activas, algunas de las cuales, por su localización, corresponden a fuentes sísmicas en y alrededor del Gran Mendoza.
- b) El marco tectónico regional y el régimen de esfuerzos en el área están dominados por compresión este-oeste, como consecuencia de la cual resultan, generalmente, grandes plegamientos y fallas inversas con rumbo predominante norte-sur.
- c) Además de las fuentes sísmicas superficiales, la actividad sísmica en la zona de Benioff, que se produce a una profundidad de entre 100 y 120 km, constituye otra fuente sísmica que ha sido tenida en cuenta en este análisis. El área del Gran Mendoza se ubica sobre una zona de transición de la Placa de Nazca que tiene rumbo este-oeste. Hacia el norte de esta zona la placa es casi horizontal, mientras que hacia el sur de la misma, buza tanto hacia el sur como hacia el este.
- d) La actividad sísmica dentro de la Placa Sudamericana, en el área del Gran Mendoza, se extiende en profundidad desde cerca de la superficie hasta los 30 a 40 km.
- e) Las estructuras geológicas observables en superficie son el resultado de la compresión tectónica dentro de la parte superior de la corteza e incluyen pliegues asimétricos y fallas inversas. El registro detallado de las réplicas del terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985, efectuado por el INPRES, indica la presencia de fallamiento inverso activo en el subsuclo, debajo del anticlinal de Barrancas, caracterizado por levantamientos y plegamientos rápidos. Esto sugiere que podrían esperarse similares fallas inversas activas debajo de otros anticlinales de este tipo, aunque muy poco o ningún fallamiento sea observado en superficie.
- f) Basado en estudios de la geología superficial de la región del Gran Mendoza, fueron identificadas como sísmicamente activas las siguientes fallas: falla del Melocotón; fallas del Cerro del Cristo y del Cerro de La Gloria; fallas del Cerro de La Cal y de la calle Perú y falla de Barrancas-Lunlunta. A mayor distancia se ubican las fallas de Salagasta-Los Cerrillos, Mariposa, Tupungato y Cordillera Frontal.

- g) Como resultado de los estudios realizados en el sector norte y central del Gran Mendoza, que incluyeron trincheras y perfiles topográficos, se interpreta tentativamente que los quiebres de pendiente que normalmente se localizan a lo largo de la calle Perú, corresponden a la continuación hacia el sur de la falla del Cerro de La Cal. Esta falla, expuesta en el sector noroeste del área en estudio, desplaza aluvión joven a lo largo de una escarpa que mira hacia el este. Cerca del Cerro de La Cal dicho desplazamiento es similar a la discordancia topográfica que se observa en los perfiles topográficos realizados en el interior de la ciudad, sobre la calle Perú.
- h) De igual manera se observa una ruptura de pendiente continua, a lo largo de la calle Boulogne Sur Mer, en el sector centro- oeste del área bajo estudio . Sin embargo no se identificó fallamiento alguno coincidente con dicho alineamiento en base al estudio de las 4 trincheras excavadas y perfiladas a través de esos quiebres de pendiente. Es de hacer notar que los resultados no son concluyentes ya que las mencionadas trincheras fueron discontinuas debido a la presencia de calles y del canal Jarillal que corre a lo largo del alineamiento.

Los perfiles topográficos realizados sobre el mismo dan resultados inconsistentes respecto de la concordancia de las pendientes a ambos lados del quiebre.

Por lo expuesto, en base a los datos existentes en la actualidad, la ruptura de pendiente a lo largo de la calle Boulogne Sur Mer se interpreta como no controlada por fallamiento, aunque se requiere mayor información, difícil o imposible de conseguir, para hacer una interpretación con menor incertidumbre.

- i) La sismicidad superficial en la vecindad del Gran Mendoza se presenta, generalmente, asociada con áreas que exhiben pliegues y fallas activas. No se observa alineación de actividad sísmica que defina con claridad planos de falla en profundidad, incluso para la secuencia de réplicas del terremoto de 1985.
- j) Menor sismicidad se detecta en el área geológicamente no deformada ubicada al noreste y este del Gran Mendoza. Se considera que el potencial de ocurrencia de actividad sísmica para esta área corresponde a terremotos de magnitud moderada, hasta $M_s = 6.0$; teniendo en cuenta los registros históricos que caracterizan a esta fuente.
- k) Como se resume en la tabla 7-1, el terremoto potencial máximo para una de las siete fuentes sísmicas potenciales de la corteza se estima de magnitud (M_s) 6, para otra de magnitud (M_s) $6 \frac{3}{4}$, para tres de ellas de magnitud (M_s) 7, y para las dos restantes

(Ms) 7 1/2 y (Ms) 7 3/4. Los intervalos de recurrencia estimados para esos terremotos van desde 630 a 50.000 años.

- l) La mayor contribución al peligro sísmico en el Gran Mendoza, proviene de la sismicidad de las fuentes superficiales o de corteza y fundamentalmente de la falla Cerro de La Cal-Calle Perú.
- m) La contribución de la sismicidad de la Placa de Nazca es prácticamente uniforme en toda la región estudiada, teniendo relativamente escasa importancia en sitios con suelos firmes superficiales, mientras que por el contrario su contribución al peligro sísmico total adquiere mayor importancia en sitios con suelos profundos, particularmente para niveles bajos e intermedios del movimiento del terreno.
- n) Se prepararon curvas de aceleración instrumental máxima para distintas probabilidades de excedencia. Los niveles de aceleración instrumental con una probabilidad de excedencia del 10 % en 20 años, que son los que se recomiendan como aceleración máxima más probable a los fines del diseño sismorresistente de estructuras convencionales, oscilan entre 0,30 g y 0,40 g para la zona bajo estudio. Los mayores valores (0,40 g) corresponden principalmente a los departamentos de Capital, Las Heras y a una pequeña zona de Guaymallén.
- o) En el área bajo estudio se presentan dos unidades geológicas bien definidas: los depósitos de materiales más gruesos pertenecientes al cono aluvial del río Mendoza (cono de Maipú) y los depósitos de materiales más finos pertenecientes a la planicie de transición (del Tulumaya). El límite entre ambos tipos de depósitos es gradual y se produce dentro de una zona de ancho variable (zona de transición).
- p) Basado, entre otras cosas, en el análisis dinámico de la respuesta de diversos perfiles representativos del subsuelo de la zona, se propone una clasificación de las condiciones del subsuelo en dos tipos: 1) rocas y suelos firmes superficiales y 2) suelos profundos.
- q) Con base en un análisis probabilístico se determinaron formas espectrales promedio para cada nivel de probabilidad y para los dos tipos de sitio (suelos firmes superficiales y suelos profundos). Dichas formas espectrales deben ser utilizadas conjuntamente con los niveles de aceleración para la probabilidad de excedencia correspondiente, que proveen las curvas mencionadas en el punto anterior.
- r) Existe una alta probabilidad de que se produzca licuación en una pequeña zona del

área bajo estudio, situada en su parte norte-noreste, ante la ocurrencia de terremotos moderados o intensos. Esto se debe a la presencia de una napa freática alta, a la relativamente baja densidad de los suelos y a los altos valores probables del movimiento sísmico del terreno.

- s) De las aproximadamente 139.000 construcciones existentes en la zona a la fecha de la encuesta, el 63 % fueron catalogadas como sismorresistentes y el 37 % como no sismorresistentes. Godoy Cruz es el departamento que tiene mayor porcentaje de construcciones sismorresistentes, mientras que Guaymallén y Maipú son los que tiene el menor porcentaje (57%).
- t) La evaluación de los daños probables a las construcciones da como resultado que de los seis departamentos que componen el Gran Mendoza, tres de ellos tienen potencial de daños importante (DI) y los otros tres, potencial de daños moderado (DM). Si nos referimos a los distritos, vemos que 25 de ellos tienen potencial de daños importante (DI), 22 tienen potencial de daños moderado (DM) y 6 potencial de daños bajo (DB). Buena Nueva (Guaymallén) con el 50 %, Panquehua (Las Heras) con el 49 % y Cuarta Sección (Capital) con el 43 % tienen los mayores porcentajes de daños probables, mientras que La Carrodilla (Luján), las secciones 15^{ta}, 20^{ma}, 22^{da} (parte de la Quinta y Sexta Sección) con el 5 % y Pte.Sarmiento, San Francisco del Monte (Godoy Cruz) y El Challao (Las Heras) con el 6 % tienen los menores porcentajes de daños probables.
- u) Se preparó un mapa de zonificación con fines de diseño estructural que divide el área bajo estudio en cinco zonas, diferenciadas entre sí por el valor de la aceleración efectiva y/o el espectro que les corresponde.

2.0 INTRODUCCIÓN.

La microzonificación sísmica es un proceso que tiene como objetivos: identificar los factores geológicos, sismológicos, hidrológicos y geotécnicos que influyen en la distribución espacial de los peligros sísmicos potenciales en una región; evaluar su incidencia y caracterizar la zonificación de tales peligros. Generalmente esa zonificación se resume en una serie de mapas y recomendaciones destinadas a ser incorporadas en el planeamiento del desarrollo, en el diseño y construcción de edificios más seguros y en la preparación para la emergencia frente a este tipo de desastres.

Dada la importancia socio-económica que reviste la zona del Gran Mendoza y su alto nivel de exposición al riesgo sísmico, las autoridades del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), programaron la realización de este estudio que nos ocupa, por cuanto la zona ha sido escenario de numerosos terremotos devastadores en los últimos 130 años, siendo el más reciente el del 26 de enero de 1985.

2.1 Ubicación de la zona bajo estudio en el Gran Mendoza.

La provincia de Mendoza, está situada aproximadamente entre los 32° y 37,5° de latitud sur y los 66,5° y 70,5° de longitud oeste, limitando al norte con la provincia de San Juan, al este con la provincia de San Luis, al sur con las provincias de La Pampa y Neuquén y al oeste con la República de Chile (figuras 2-1 y 2-2).

Tiene una superficie de 148.827 km² (según estimación planimétrica), distribuida en 18 departamentos. Su población calculada al primero de enero de 1985 ascendía a 1.294.030 habitantes (D.E.I.E., 1986), lo que representa una media de 8,7 hab/km². El 60 % de la población provincial reside en el núcleo denominado Gran Mendoza, el que está constituido por Capital y la parte más densamente poblada de los departamentos circundantes de Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján y Maipú. El Gran Mendoza constituye un típico conglomerado urbano en el cual solamente el 15 % de la población es rural.

La zona bajo estudio (figura 2-3) forma parte del Gran Mendoza y sus límites fueron definidos originariamente por autoridades del INPRES. Abarca una superficie aproximada de 185 km², o sea poco menos del 40 % de la superficie del Gran Mendoza y comprende parte de los departamentos Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Luján y Maipú.

La zona fue definida de modo tal de abarcar los principales núcleos urbanos que conforman el Gran Mendoza y sus límites se adoptaron utilizando elementos fácilmente reconocibles. Su descripción puede consultarse en el Informe Técnico General.

2.2 Alcance del estudio.

El trabajo abarcó, entre otros, los siguientes tópicos fundamentales:

- a) Identificación y caracterización de fuentes potenciales de actividad sísmica y de áreas potenciales de rotura del suelo como resultado directo del desplazamiento de fallas.
- b) Análisis de la información referente a sismicidad histórica.
- c) Evaluación de las condiciones del subsuelo y del agua subterránea en la zona bajo estudio. Análisis de la respuesta del terreno.
- d) Evaluación de los distintos peligros sísmicos, principalmente el referido al movimiento del terreno para distintas probabilidades de excedencia.
- e) Identificación de áreas de licuación potencial.
- f) Relevamiento de las construcciones existentes, identificación de sus características principales y evaluación de su seguridad estructural.
- g) Formulación de criterios de daños; evaluación de los daños probables.
- h) Propuestas para zonificación.

2.3 Metodología:

Las principales tareas realizadas en lo referente a las distintas áreas o disciplinas básicas de investigación que abarcó este estudio, comprenden:

- a) **Area geotectónica :** Dentro de esta disciplina se realizaron, entre otras, las siguientes tareas:

- Compilación de mapas geológicos de la región para unidades precuaternarias y cuaternarias.
- Interpretación de alineamientos a partir de imágenes satelitarias.
- Compilación de mapas de estructuras y provincias geológicas.
- Compilación de mapas de espesores de unidades sedimentarias.
- Compilación de mapas de espesores de unidades cenozoicas.
- Compilación de mapas de facies y tamaños de granos en unidades cuaternarias.
- Compilación de información sobre profundidades máximas y mínimas alcanzadas por el agua subterránea.
- Confección de un perfil tectónico a través de la región.
- Realización de vuelos de reconocimiento regionales en avión y helicóptero, como asimismo reconocimientos terrestres para identificar alineamientos estructurales.
- Excavación y perfilaje de trincheras realizadas sobre fallas conocidas e inferidas.
- Trazado y relevamiento de perfiles topográficos efectuados sobre fallas conocidas e inferidas.
- Correlación de perfiles superficiales del subsuelo del Gran Mendoza, confeccionados a partir de datos de perforaciones ejecutadas durante la exploración geotécnica para este estudio.
- Datación, por distintos métodos, de muestras obtenidas en estratos descubiertos durante la ejecución de trincheras.
- Confección de mapas con la distribución de fallas activas en la región bajo estudio.

b) Área sismológica : Las principales tareas desarrolladas en esta área incluyen:

- Selección de información y datos sismológicos para su uso en el proyecto.
- Análisis detallado de los terremotos históricos que afectaron la región, para

estimar, a partir de la distribución de sus efectos, los parámetros básicos de cada uno de ellos.

- Compilación del catálogo de terremotos históricos, incorporando datos de fuentes nacionales, internacionales y propias.
- Interpretación de los datos de sismicidad histórica local y regional, usando mapas y perfiles para asociar dicha sismicidad con las estructuras geológicas predominantes y establecer el marco sismo-tectónico general.
- Estimación de los índices de sismicidad regional y local.

c) **Area geotécnica:** Entre las tareas desarrolladas dentro de esta área pueden mencionarse: Análisis y selección de perfiles correspondientes a perforaciones para riego.

- Selección y análisis de estudios de suelos existentes en la zona.
- Ejecución de algo más de 1.000 m de perforaciones, por distintos métodos, para la investigación del subsuelo.
- Trazado de perfiles geotécnicos en varias ubicaciones y con distintas orientaciones en la zona bajo estudio, para determinar la composición estratigráfica y características geotécnicas del área.
- Realización de distintos ensayos de laboratorio sobre las muestras extraídas de las perforaciones.
- Medición de velocidades de transmisión de ondas de corte y longitudinales, utilizando alternativamente los métodos de refracción sísmica superficial y down-hole en pozos a cielo abierto.
- Recopilación y análisis de los datos referentes a niveles máximos y mínimos del agua subterránea en la zona bajo estudio. Investigación in situ de los niveles de la falsa freática.
- Análisis de la información existente referente a licuación histórica. Determinación de las zonas afectadas.
- Análisis y categorización de los daños a las construcciones ocasionados por el

terremoto del 26-01-85 y comparación con las características del subsuelo.

- Análisis dinámico de la respuesta del terreno para distintos perfiles típicos del subsuelo del área, mediante el programa SHAKE.
- Categorización de las condiciones del subsuelo en el área.

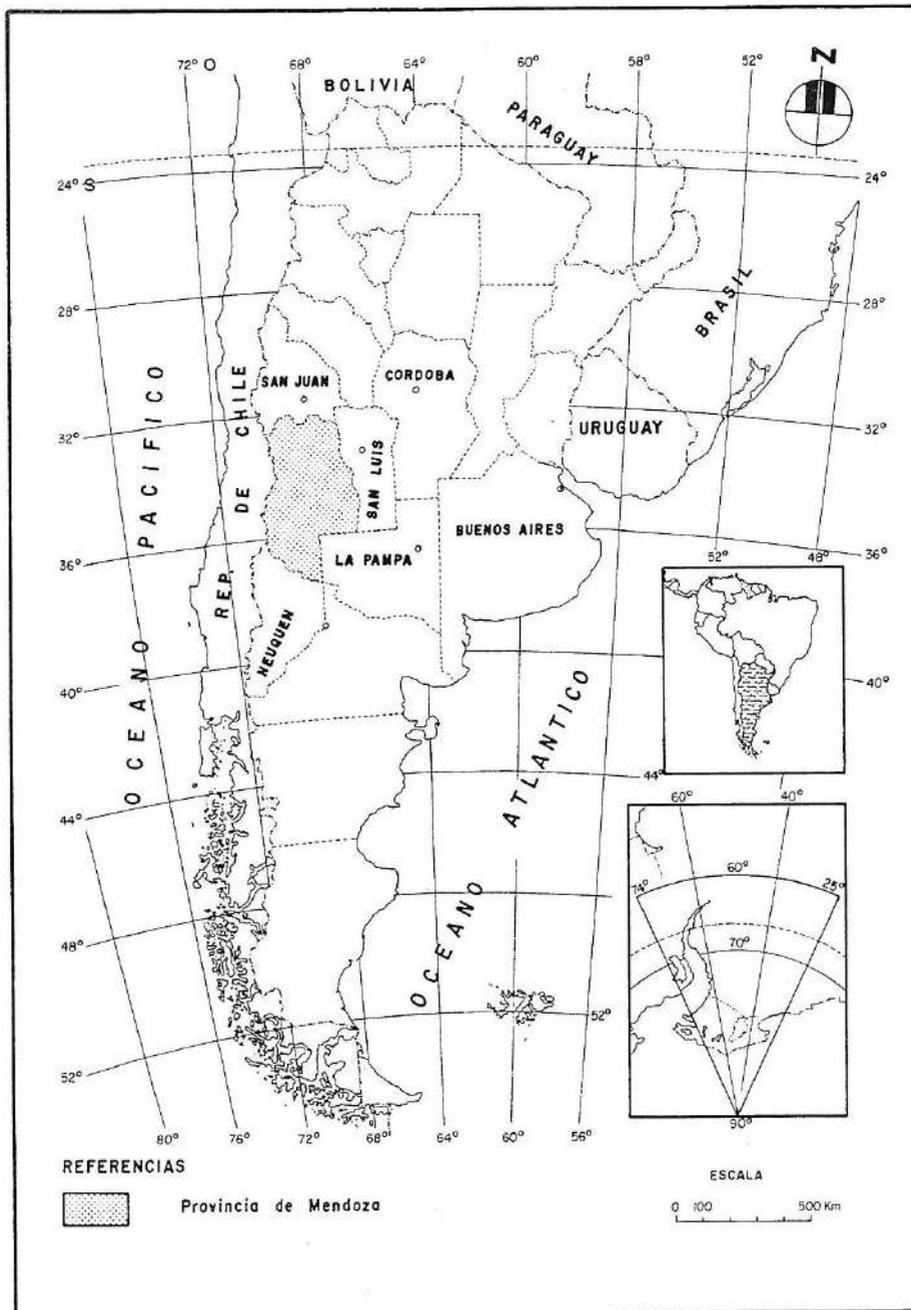
d) **Area riesgo sísmico:** Los estudios desarrollados en esta área incluyen:

- Determinación de relaciones de atenuación del movimiento del terreno, tanto para fuentes de actividad sísmica superficiales como de la zona de subducción.
- Estimación probabilística del movimiento del terreno en el ámbito de la región estudiada, que sería generado por la actividad sísmica probable de suceder en las fuentes sísmicas potenciales definidas en el área geotectónica.
- Determinación de espectros de respuesta probabilísticos de igual peligrosidad, para distintas ubicaciones en la región bajo estudio y para diferentes condiciones del subsuelo.

e) **Area estructuras:** Las tareas ejecutadas dentro de esta área pueden resumirse en:

- Análisis de la tipología de las construcciones predominantes en el área bajo estudio.
- Relevamiento o encuesta de las construcciones existentes en el área bajo estudio, incluyendo la determinación de sus características principales y la evaluación de la seguridad estructural.
- Categorización de las construcciones en cuanto a su capacidad sismorresistente.
- Análisis de la evolución del uso del suelo y de las tendencias de desarrollo en la zona bajo estudio.
- Evaluación de los daños probables a las construcciones del área bajo estudio, ante la ocurrencia de los valores del movimiento del terreno correspondientes a la probabilidad de excedencia adoptada.

- Confección de un mapa de zonificación con fines de diseño estructural y de los espectros de respuesta correspondientes.



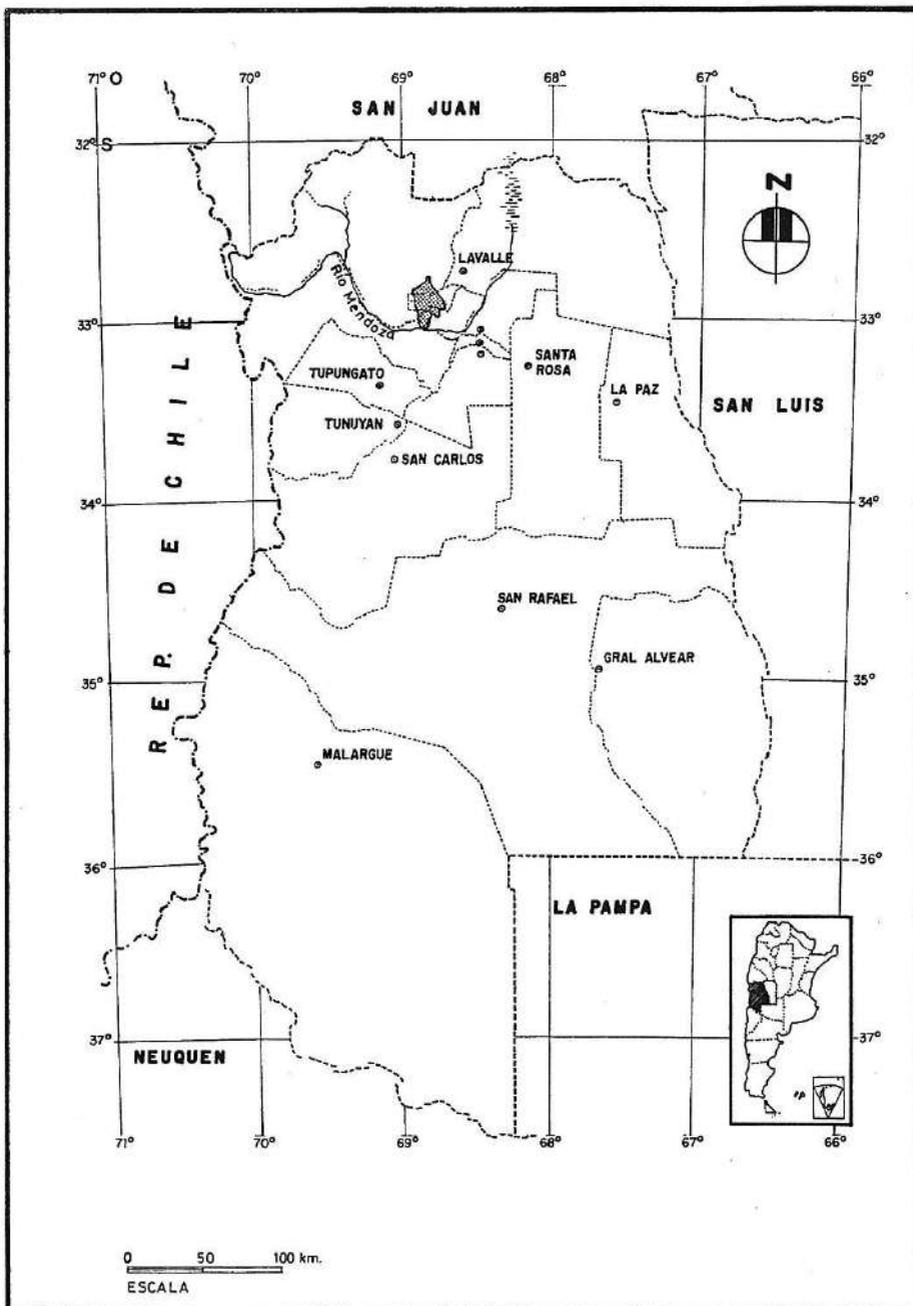
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

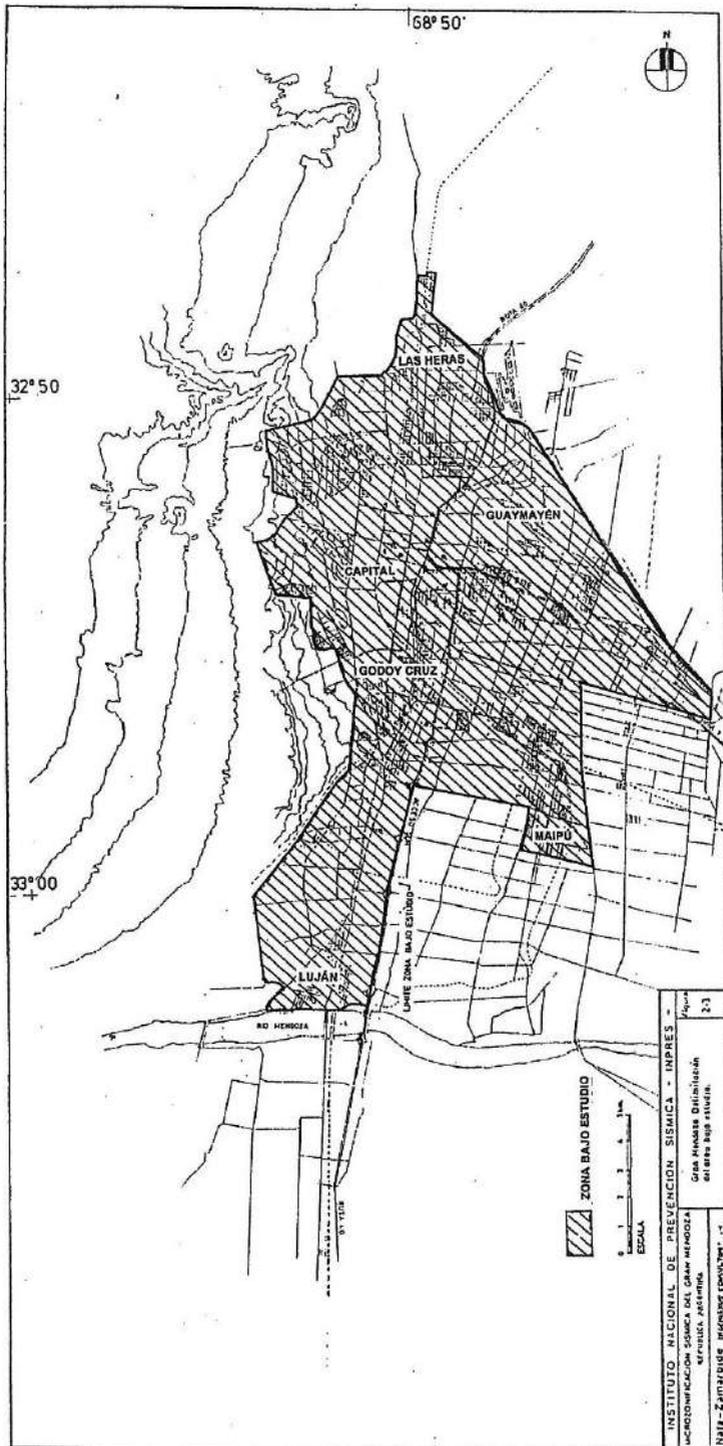
República Argentina. Ubicación
de la Provincia de Mendoza.

Figura
2-1

Nata-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Figura
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		2-2
		Provincia de Mendoza. Ubicación del área bajo estudio.




ZONA BAJO ESTUDIO
 0 1 2 3 4 5
 KM
 ESCALA

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES
 ACCIONIFICACION SISMICA DEL GRAN MEMOZA
 EFUSION ASISTIDA
 N118 - Zonificación sismica preliminar - 1971

Grta. Inedida Delineada
 en este tipo de dibujo

3.0 MARCO TECTÓNICO REGIONAL.

3.1 Configuración geológico-tectónica regional.

La región donde se inserta el Gran Mendoza se localiza dentro de un marco tectónico resultante de la subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, desde el oeste hacia el este. Este proceso, en el cual la corteza oceánica ubicada inmediatamente debajo del Océano Pacífico se desplaza debajo de las rocas continentales de Sud América, a lo largo de la fosa Chileno-Peruana, ha dado lugar a rasgos estructurales mayores como el complejo de fallamientos, plegamientos y ascensos de rocas del basamento denominado Cordillera de Los Andes y también a la zona lineal de volcanes que se localizan dentro de la mayor parte de esta cordillera.

Este modelo tectónico del oeste de Sud América ha sido el centro de atención científica desde hace varias décadas y continúa siendo refinado y extendido por varios investigadores. Las figuras 3-1, 3-2 y 3-3 de Isacks (1988) y Smalley e Isacks (1987) resumen la interpretación actual del marco tectónico regional.

En la figura 3-1 se observa que el Gran Mendoza se ubica inmediatamente al este de la Precordillera, la que a su vez se encuentra al este de la Cordillera Principal, que corresponde a la zona oscura representativa de áreas topográficamente superiores a 3 km.

Los rasgos estructurales mayores a lo largo de Los Andes varían espectacularmente de norte a sur. En Perú, Bolivia y el noroeste argentino los elevados plateau del Altiplano y La Puna tienen un ancho de 200 a 400 km. Desde la latitud 28° S hacia el sur el ancho de regiones topográficamente elevadas decrece notablemente hasta 75 km aproximadamente, mientras que los bloques elevados que forman las Sierras Pampeanas se extienden unos 500 km hacia el este de la Precordillera. Al sur de los 33° S desaparecen estas sierras en tanto continúan los altos topográficos angostos de la Cordillera Principal. La provincia de Mendoza está localizada en el límite sur de las Sierras Pampeanas.

Todas estas diferencias estructurales mayores están relacionadas cinemáticamente con el proceso de subducción que ocurre en profundidad. La figura 3-2 que cubre la misma área geográfica que la 3-1, muestra la orientación subyacente de la placa subducida. Las líneas de contorno representan la profundidad en kilómetros al techo de la Placa de Nazca. También se presentan los ejes de la fosa oceánica mar adentro, así como la distribución de los centros volcánicos neógenos y las áreas topográficamente elevadas.

Del análisis de la figura 3-2 se desprende que los grandes cambios tectónicos a lo largo del lado este de Los Andes están relacionados al cambio de orientación de la Placa de Nazca, que ocurre cuando ésta atraviesa hacia el este el eje de Los Andes. Las curvas de contorno muestran que la placa subducida cambia de buzamiento entre los 26° S y los 28° S, pasando a una posición casi horizontal. Este esquema se mantiene hasta los 33° S, donde la Placa de Nazca vuelve a tener un pronunciado buzamiento hacia el este. La región suprayacente a la porción casi horizontal de la placa subducida, también marca una ausencia en la cadena de volcanes, como puede observarse en la figura 3-1.

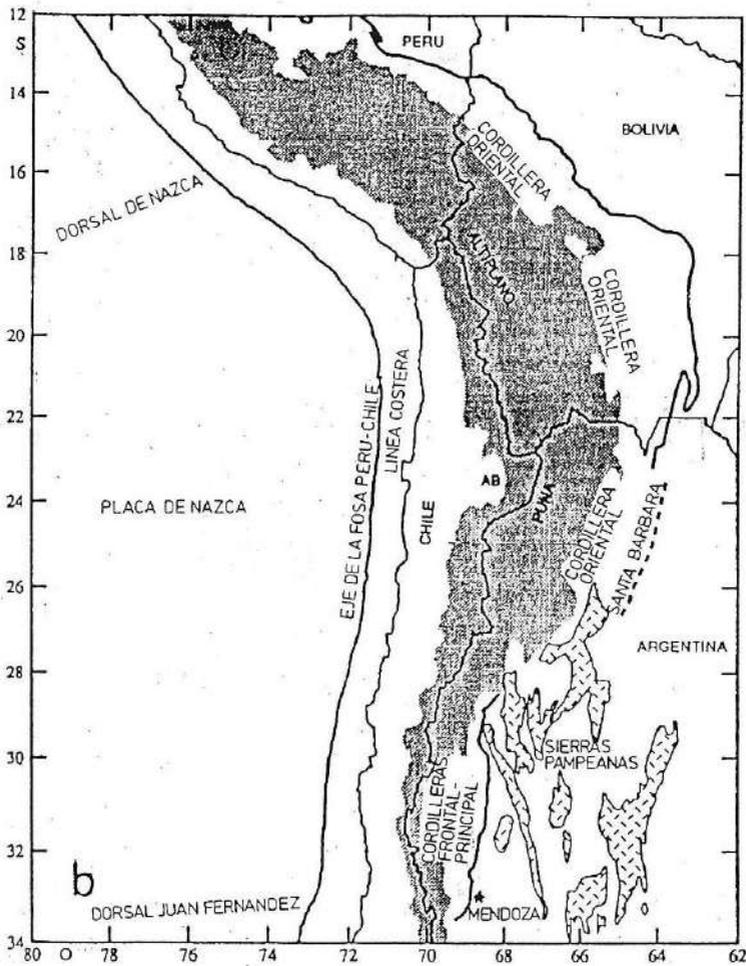
En la figura 3-3 se muestran dos perfiles transversales que ilustran el cambio de orientación de la Placa de Nazca. El corte superior se ubica alrededor de los 20° S, a través del Altiplano en Bolivia. La zona rizada de la figura indica la corteza interior dúctil y acortada, sobre la cual se encuentran extensos pliegues imbricados y fallamiento inverso asociado. En el perfil inferior de la figura 3-3, que atraviesa el oeste argentino cerca de la latitud correspondiente a la ciudad de San Juan (31° S), se observa a la Placa de Nazca orientada casi horizontalmente. El movimiento de esta placa hacia el este, a tan poca profundidad, desarrolla un acoplamiento mecánico viscoso entre ella y la corteza inferior de la Placa Sudamericana, debido a las isotermas deprimidas. Este fenómeno produce el empuje y el fallamiento inverso que esquemáticamente se muestran en el panel inferior de la figura 3-3 y que dan lugar a la formación de las Sierras Pampeanas. La ubicación de la placa subducida se determina a partir de la actividad sísmica en función de la profundidad, como se observa en la figura 3-4 (Smalley and Isacks, 1987). Existe una separación característica entre la actividad sísmica en la corteza, que se desarrolla hasta una profundidad de 40 km, y la actividad subcortical que ocurre entre los 100 y los 130 km.

El Gran Mendoza se localiza sobre tres zonas mayores de transición tectónica que son importantes en el proceso de evaluación del peligro sísmico, de acuerdo con el siguiente detalle:

- 1) Mendoza yace sobre la inflexión de la Placa de Nazca que tiene frente al sudeste, como se observa en la figura 3-2. Además, la figura 3-4 muestra que la actividad sísmica correspondiente a esta placa puede estar a distancias de hasta 100 km debajo y hacia el norte de la ciudad. Sin embargo, hacia el sur, la distancia al techo de la actividad sísmica de la placa subducida, aumenta rápidamente, ya que ésta se inclina hacia abajo. Este cambio de distancia se debe tener en cuenta en el análisis del peligro.
- 2) Mendoza se localiza justamente al este de la Precordillera (figura 3- 1) como se muestra en el perfil generalizado de la figura 3-5, según INPRES (1985). Se sitúa al este de un complejo de pliegues y fallas inversas de raíz profunda, que se originan

dentro del corazón de Los Andes y empujan hacia el este, sobre las rocas sedimentarias relativamente jóvenes. Este sistema de empuje es todavía activo y debe ser tratado como componente de una región que contiene numerosas fuentes sísmicas potenciales. Como se señala en la figura 3-5, alguno de estos sistemas de empuje pueden extenderse al este de Mendoza y aparecer en la superficie como anticlinales o corrimientos superficiales.

- 3) Al este de Mendoza comienzan los Frentes Pampeanos, que consisten en una serie de grandes bloques elevados con valles intermedios. El primero de esos frentes se ubica a unos 200 km al este de Mendoza. Tales estructuras, en las proximidades de San Juan, han sido identificadas claramente como fuentes de la secuencia de terremotos que afectaron a Caucete en 1977.



• Fuentes: Isacks (1988) y
Smalley e Isacks (1987)

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

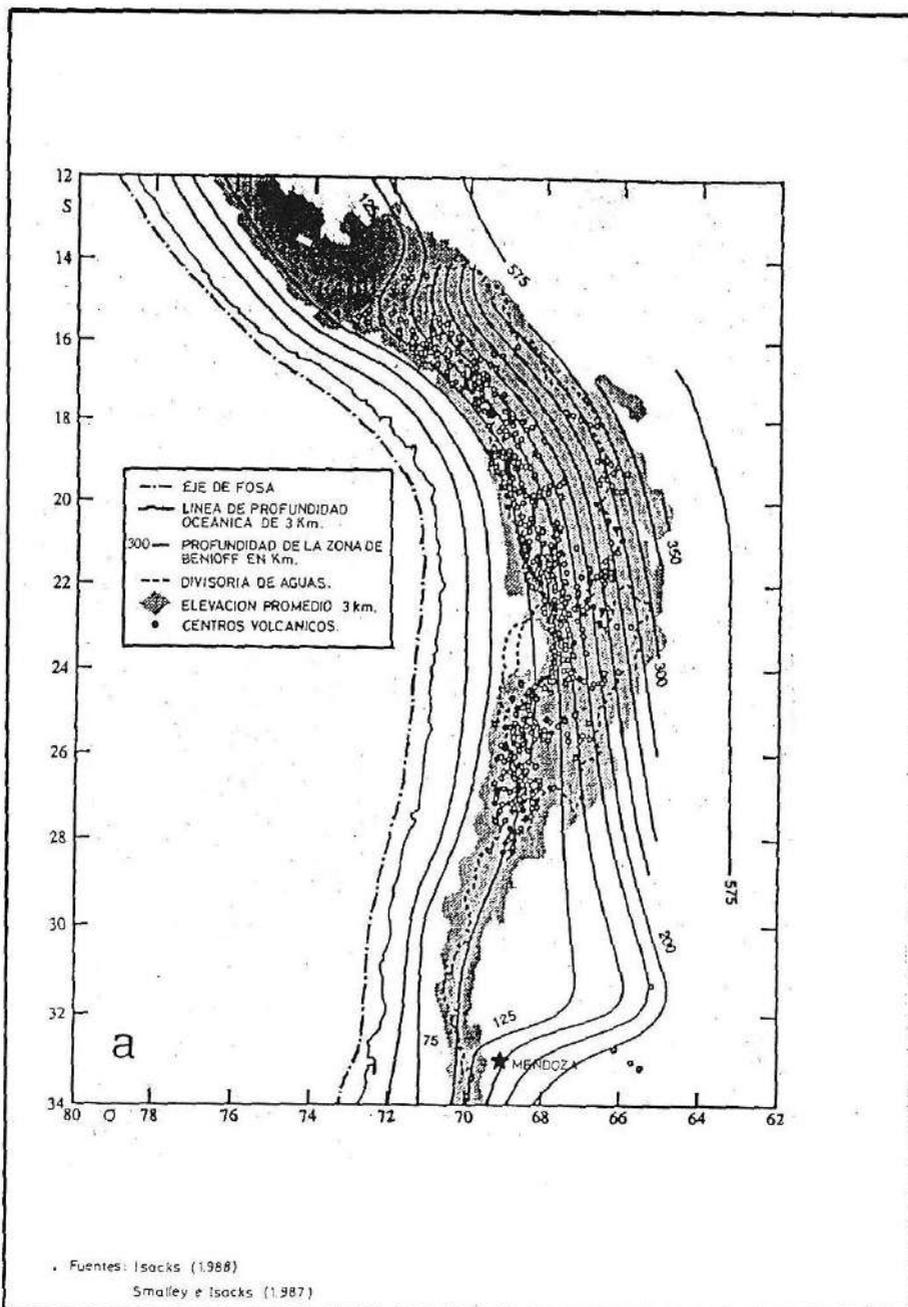
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Modelo tectónico del oeste sudamericano.

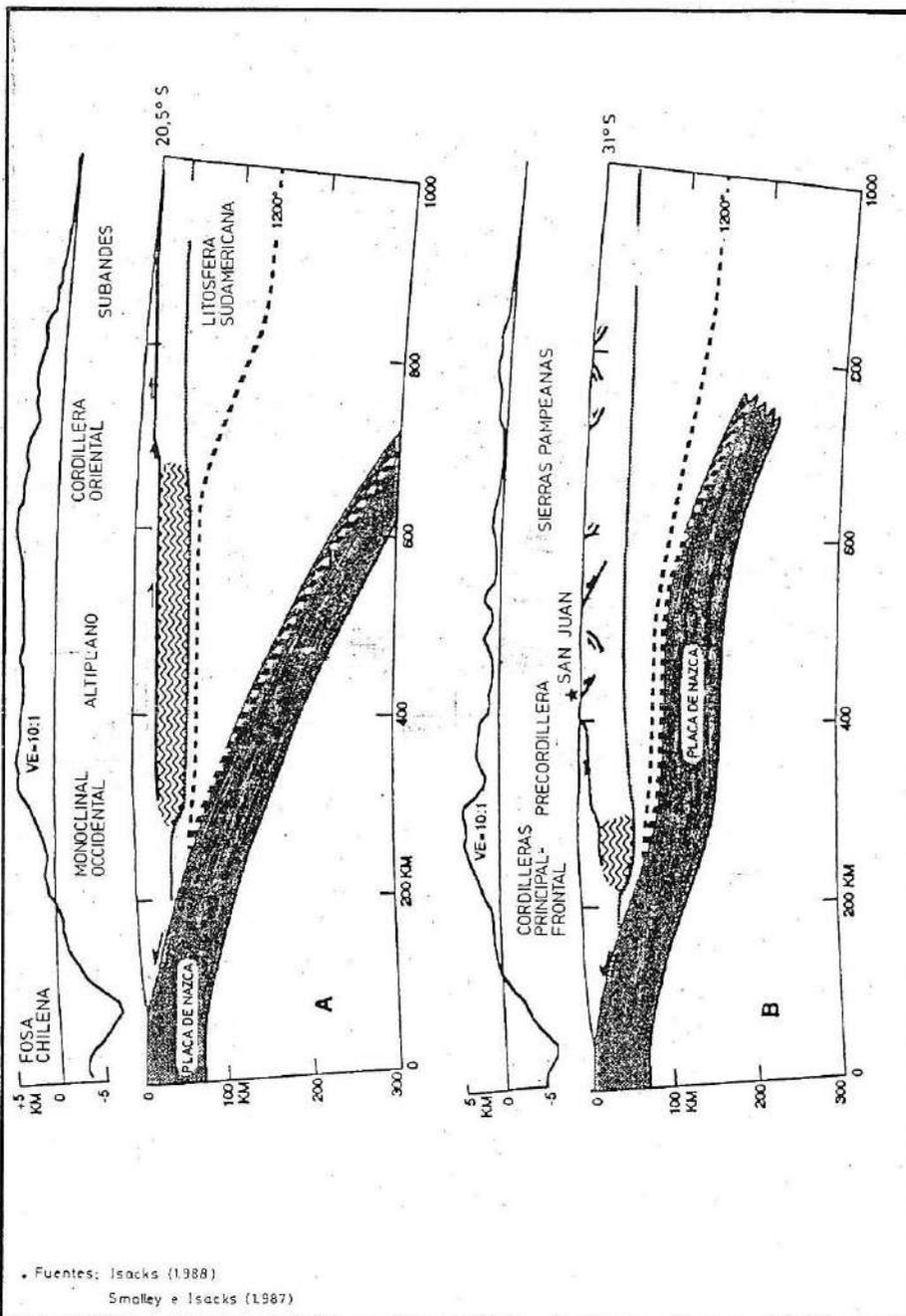
Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

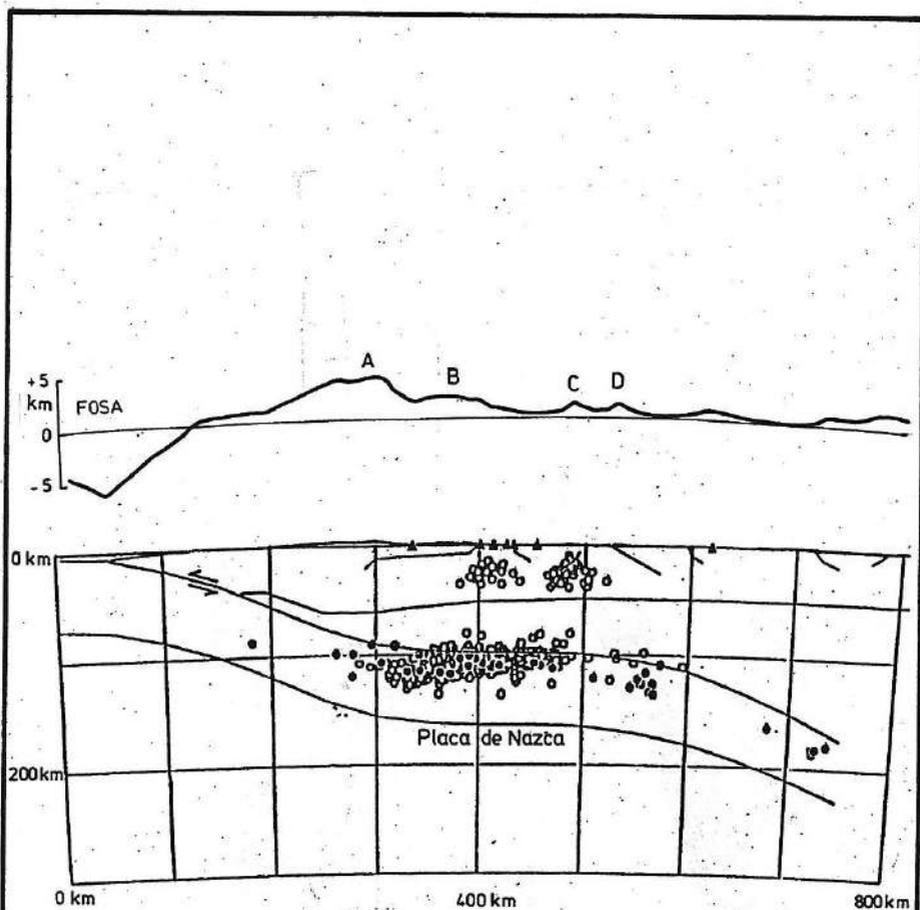
3-1



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Lineas de distribución de profundidad de la Placa de Nazca en la región bajo estudio.	Figura 3-2
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Tectónica de placas. Cortes transversales en las zonas norte y central de la República Argentina.	Figura 3-3
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



• Fuentes: Isacks (1988) y
Smalley e Isacks (1987)

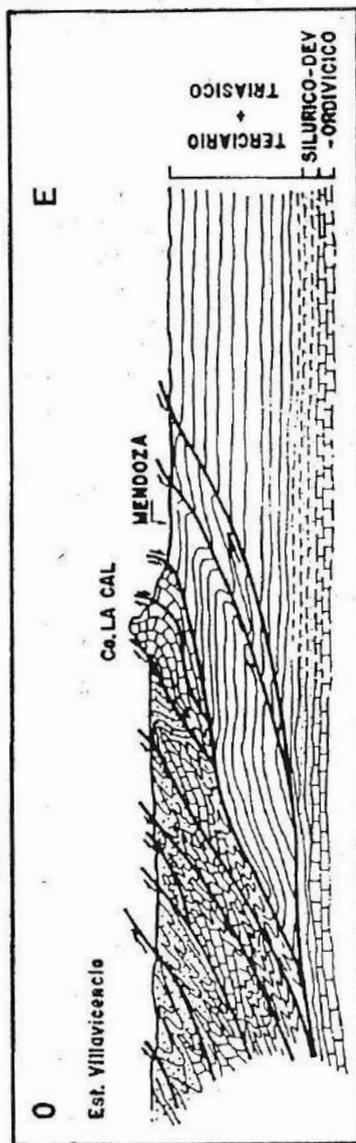
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Perfil de la Placa de Nazca y distribución
de hipocentros en la región bajo estudio.

Figura
3-4

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



• Fuente: INPRES, 1985.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Perfil esquemático estructural de la zona.	Figura
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		3-5

4.0 CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

Se han preparado dos mapas geológicos regionales, uno con las unidades estratigráficas precuaternarias y otro correspondiente al cuaternario, en virtud del gran número de unidades aflorantes, que haría difícil la lectura e interpretación de un mapa geológico que abarcara todos los terrenos que se encuentran en la superficie. Se confeccionó además un mapa geológico detallado a escala 1:50.000 de la zona próxima al Gran Mendoza, en el que se representaron tanto las unidades precuaternarias como las cuaternarias (figura 4-1).

4.1 Geología Precuaternaria.

La geología precuaternaria del área se ha representado en un mapa geológico a escala 1:250.000, que abarca el territorio mendocino situado al norte de la latitud de 35° sur y al oeste del meridiano 68° 30'. Al este de dicho meridiano, en la mitad norte de la provincia de Mendoza, afloran únicamente terrenos sedimentarios cuaternarios.

Para preparar el mapa se utilizaron hojas geológicas ejecutadas por el Plan Cordillerano, Servicio Geológico Nacional y datos de publicaciones. Se realizaron algunos reajustes utilizando imágenes Landsat falso color a escala 1:250.000.

Las unidades estratigráficas precuaternarias se extienden en las provincias geológicas Precordillera, Cordillera Frontal, Cerrillada Pedemontana y Bloque de San Rafael, es decir, en las zonas positivas montañosas. Sólo se encuentran pocos afloramientos en las llanuras pedemontanas.

La subdivisión presentada en el presente trabajo se ha realizado atendiendo a la escala del mapa geológico, a los datos existentes y a las características deformacionales, es decir, a la respuesta de los terrenos a los esfuerzos tectónicos. Si el tamaño de los afloramientos de alguna unidad estratigráfica es muy pequeño como para presentarlo claramente a la escala del mapa, se agrupó a esta unidad con otras asociadas, como ocurre con algunos terrenos jurásicos y cretácicos aflorantes en la Cordillera Principal, las sedimentitas triásicas y las del terciario medio y superior.

En cambio se han representado separadamente terrenos yesosos, como las formaciones mesozoicas Auquilco (jurásica) y Huitrín (cretácica), no sólo porque el

tamaño de los afloramientos lo permite, sino también por las complejas estructuras de plegamiento que se forman en ellas al afectarlas los esfuerzos tectónicos.

Se han diferenciado así veintidós unidades precuaternarias en el área, las que se describen a continuación:

- 1 - Basamento metamórfico
- 2 - Calizas del Cámbrico y Ordovícico
- 3 - Terrenos clásticos semimetamórficos del Paleozoico inferior y medio
- 4 - Rocas sedimentarias clásticas del Paleozoico superior
- 5 - Rocas intrusivas paleozoicas
- 6 - Rocas efusivas y piroclásticas del Paleozoico superior y Triásico inferior
- 7 - Sedimentitas triásicas
- 8 - Sedimentitas marinas y costeras del Jurásico inferior y medio
- 9 - Evaporitas del Jurásico superior: Formación Auquilco
- 10- Terrenos continentales, volcánicos y piroclásticos del Jurásico superior: Formación Tordillo
- 11- Sedimentitas marinas del Tithoniano y Cretácico inferior a medio: Grupo Mendoza
- 12- Serie salina, evaporítica y clástica del Cretácico medio: Formación Huitrín
- 13- Sedimentos aluviales del Cretácico superior: Grupo Neuquén
- 14- Vulcanitas, sedimentitas y piroclastitas del Cretácico superior
- 15- Terrenos marinos y continentales del Cretácico superior Paleoceno
- 16- Rocas andesíticas del Terciario inferior
- 17- Sedimentitas clásticas del Terciario inferior

- 18- Rocas basálticas del Mioceno
- 19- Andesitas, tobas y basaltos pliocenos
- 20- Sedimentitas continentales del Terciario medio y superior
- 21- Sedimentos conglomerádicos pliocenos
- 22- Basaltos plio-pleistocenos
- 23- Unidades precuaternarias de subsuelo

4.2 Geología Cuaternaria.

En la zona abarcada por el presente estudio, el cuaternario está representado por terrenos sedimentarios, volcánicos y piroclásticos. Además, muestra un desarrollo diferente en superficie y en subsuelo. Se tratarán brevemente las unidades cuaternarias aflorantes, cuya subdivisión se basa en el esquema de Polanski (1962). Este autor describe unidades estratigráficas sedimentarias de extensión regional y de extensión local, a las que da la categoría de formaciones.

El cuaternario volcánico y piroclástico se subdivide, en el campo, en varias unidades, de acuerdo con el esquema antes mencionado, el que, con algunas actualizaciones, equivale al de Groeber (1951). Su principal desarrollo se encuentra en la zona cordillerana, si bien también se hallan vulcanitas cuaternarias en el Bloque de San Rafael, valles intermontanos (graben de Tunuyán, en el presente trabajo incluido en la provincia geológica Valle Extenso) y localmente en la zona pedemontana.

El cuaternario del subsuelo se conoce por numerosas perforaciones efectuadas para explorar y explotar petróleo y agua subterránea, y además por trabajos geofísicos.

4.2.1 Unidades cuaternarias aflorantes.

A - Terrenos sedimentarios de extensión regional

1. Formación Los Mesones

Bajo este nombre, Polanski trata los sedimentos clásticos gruesos, depositados en bajadas pedemontanas, cuya acumulación se produjo durante el Pleistoceno inferior después de la elaboración de la rampa de erosión del primer nivel de pie de monte.

En la actualidad estos terrenos han sido elevados por los movimientos tectónicos cuaternarios subsiguientes, de manera que en la zona pedemontana de la Precordillera y Cordillera Frontal sólo se conservan restos erosionados de ellos, formando cerros mesetiformes o relictos de planta triangular, ubicados próximos a la salida de arroyos cordilleranos o precordilleranos en la zona pedemontana.

La edad cuaternaria de estos terrenos está bien comprobada puesto que en algunos lugares yacen sobre los estratos conglomerádicos pliocenos plegados (Formación Mogotes). Existe cierto grado de meteorización en la superficie de los clastos que indica un prolongado tiempo de exposición a la intemperie. Los autores del presente informe consideran que su edad es pleistocena inferior (mayor de 700.000 años y menor de 2.000.000 de años) apoyada por dataciones radimétricas en materiales piroclásticos y por su vinculación lateral con rocas volcánicas paleopleistocenas (basalto III de Groeber).

2. Formación La Invernada

Polanski (1962) dió este nombre a los sedimentos acumulados al formarse el segundo nivel de pie de monte, durante el Pleistoceno inferior tardío y el Pleistoceno medio. Se encuentra, en las zonas pedemontanas, como restos de cerros mesetiformes a menores alturas que la Formación Los Mesones. Se ha formado a expensas de los materiales del primer nivel.

Los terrenos de la Formación La Invernada se encuentran a altitudes entre 10 y 100 metros inferiores a Los Mesones. Su edad, según los autores, se asigna al Pleistoceno inferior tardío y Pleistoceno medio (más de 420.000 años). Es anterior a la acumulación de los depósitos llamados por Polanski "Asociación Piroclástica Pumícea".

3. Formación Las Tunas

Polanski da este nombre a los sedimentos aluviales, principalmente fanglomerados y gravas, que se acumularon al formarse el tercer nivel de pie de monte. La denominación proviene del abanico aluvial del arroyo Las Tunas, cuya parte proximal está integrada por fanglomerados, generalmente gruesos, con matriz arenosa o gravillosa.

En general, la Formación Las Tunas ha sido poco erosionada, razón por lo cual se ha conservado en extensiones mucho mayores que las Formaciones Los Mesones y La Invernada. Una diferencia con éstas es que en Las Tunas los clastos muestran muy poca meteorización.

4. Depósitos pleistocenos de la Cerrillada Pedemontana y Precordillera

Se han incluido en esta unidad los terrenos pedemontanos donde no es factible, en el estado actual del conocimiento, diferenciar las Formaciones Los Mesones, La Invernada o Las Tunas. Los depósitos pedemontanos pleistocenos indiferenciados se reconocen por estar elevados, debido a causas tectónicas, y fuertemente disectados por canales fluviales permanentes o temporarios. Comprenden los antiguos depósitos de la cuchilla de Lunlunta, los que rodean a la Loma Negra de Salagasta, los que se encuentran parcialmente erosionados en Jocolí, en el sur del Cerro de La Cal, los que bordean la Cerrillada Pedemontana, los situados al sureste del cerro Cacheuta, en la zona de la Pampa del Sebo, los del área de Tupungato y los de los valles de Potrerillos y Uspallata.

5. Depósitos glaciales

Estos depósitos se encuentran en el interior de las Cordilleras Frontal y Principal. Las acumulaciones más extensas se observan en la zona limítrofe con Chile.

Se diferencian aquí dos unidades, a las que se denomina Formación Río Blanco y Formación Real de las Yaretas (Polanski, 1964, 1972; hojas Volcán San José y Tupungato).

La Formación Río Blanco es considerada coetánea con la Formación Las Tunas, es decir pleistoceno medio tardío; mientras que la Formación Real de las Yaretas representa dos eventos del retroceso de los glaciares, producidos al final del pleistoceno (Wurm I y II).

6. Formación El Chillante

Aflora al sur del Cordón del Toba entre San Carlos y Pareditas, a lo largo de unos 22 kilómetros de norte a sur y desde Capiz al norte a lo largo de unos 60 km., paralelamente al río Tunuyán.

La presencia de material pumíceo en la Formación El Chillante indica que su edad es menor que la Asociación Piroclástica Pumícea, o sea que debe ubicarse en el Pleistoceno más alto o en el Holoceno.

7. Sedimentos fluviales de las depresiones y llanura oriental

En la llanura oriental mendocina, donde la cubierta medanosa está poco o nada desarrollada, afloran sedimentos fluviales aparte de los acumulados en la llanura aluvial del río Mendoza. En parte equivalen a la unidad llamada por Polanski (1962) "Sedimentos heterogéneos de la cubierta superficial" y son predominantemente arenosos. Se han separado de ellos los depósitos eólicos medanosos sobre la base de observaciones en las imágenes Landsat falso color.

8. Formación El Zampal

Tiene amplia distribución superficial en la zona pedemontana y llana, próxima a los frentes cordillerano y precordillerano. Está constituida por limos amarillentos, en parte calcáreos, que alternan con capas de ceniza volcánica, arenas fluviales y, especialmente en su parte inferior, estratos y lentes de grava y gravilla. Su espesor, en afloramientos, llega hasta 20 metros donde está expuesta la base.

En el arroyo La Estacada, esta formación yace sobre los terrenos conocidos como Formación La Estacada, cuya edad, determinada por el carbono 14, arrojó 9625 ± 200 años. Por lo tanto, la Formación El Zampal es más joven, siendo su edad, fuera de toda duda, holocena.

9. Depósitos medanosos

Tienen amplia distribución en la llanura oriental mendocina donde forman cubiertas dunarias más o menos continuas, en parte intercaladas con sedimentos fluviales, estos sedimentos son holocenos, más o menos contemporáneos con la Formación El Zampal.

10. Depósitos del abanico aluvial del río Mendoza

Forman afloramientos reducidos que en la mayor parte de su extensión están cubiertos por una capa de pocos metros de espesor de los limos de la Formación Zampal, o por suelos o gravas pedemontanas modernas.

Cabe destacar que este abanico es de origen glaci-fluvial con, por lo menos, cuatro generaciones de conos (abanicos) que configuran otras tantas unidades geomórficas de desigual jerarquía geomorfológica.

11. Depósitos de la llanura aluvial de transición del río Mendoza

Están formados por arenas finas limosas, limos en parte salinos y algunas capas de gravilla (Regairaz y Barrera, 1975). Se pueden agrupar en:

- a) Depósitos de cauces y barras fluviales
- b) Depósitos de meandros abandonados
- c) Depósitos de llanura de inundación y lagunas temporarias

12. Depósitos de la llanura aluvial distal del río Mendoza

También están integrados por depósitos de cauces y barras fluviales, meandros abandonados, llanuras de inundación y lagunas generalmente temporarias, más extensas que las existentes en la unidad anterior.

13. Depósitos pedemontanos modernos

En su mayor parte son de edad holocena (posteriores al tercer nivel de pedimentación). Su espesor es variado: entre algunas decenas a más de 100 metros. Se presentan en conos aluviales y bajadas pedemontanas.

14. Depósitos de lagunas y barreales

Aparte de los existentes en la llanura del río Mendoza, se encuentran en el valle del Desaguadero, valle inferior del Tunuyán y otros ríos permanentes, así como en algunos sistemas fluviales temporarios.

15. Depósitos de cauces fluviales antiguos y modernos

En la llanura nororiental de Mendoza se observan gravas y arenas fluviales,

con distribución radial entre los ríos Mendoza y Tunuyán, que constituyen depósitos de antiguos cauces y terrazas (Rodríguez, 1966) hoy abandonadas. Dichas gravas y arenas se encuentran hasta en zonas bastante alejadas del frente precordillerano (60 a 120 km). Forman afloramientos alargados que tienen hasta 30 km de longitud.

16. Sedimentos finos de valles fluviales en llanuras

Se trata de los depósitos acumulados en los valles fluviales inferiores de los ríos Tunuyán, San Juan y Desaguadero, así como en llanuras de inundación modernas y abanicos de explayamiento de sistemas fluviales temporarios.

Son de edad holocena y no se ha determinado a qué profundidad (probablemente una o varias decenas de metros) pasan, hacia abajo, a depósitos pleistocenos.

B - Formaciones cuaternarias aflorantes de extensión local

1. Cenoglomerado de Puesto Castro

Tiene unos 35 metros de espesor y se ha originado a partir de una corriente de barro volcánica producida en las cabeceras de la cuenca del arroyo Papagayos, cerca del pie oriental de la Cordillera. Se puede ubicar así entre el Pleistoceno inferior y el Pleistoceno medio tardío.

2. Formación Las Peñas Sur

Se trata de calizas a las que se atribuye origen hidrotermal, que cubren áreas restringidas en la parte norte del Bloque de San Rafael (Polanski, 1962). Yacen sobre una planicie de erosión levemente inclinada al norte, a menor altura que la Formación Los Mesones, pero más elevada que la Formación La Invernada, las que también afloran en el área.

3. Estratos de Los Jumes

Estos terrenos afloran en las barrancas del arroyo Papagayos, a lo largo de una distancia de 7 km. Su espesor llega a unos 25 metros. Se los puede ubicar en el pleistoceno medio o en la parte baja del pleistoceno superior (Polanski, 1962).

4. Cenoglomerado del Alumbre

Aflora en el valle del arroyo Papagayos dentro de la Cordillera Frontal, a lo

largo de unos 10 km. Se trata de un paraconglomerado depositado por una corriente de barro (Polanski, 1962).

5. Formación La Estacada

Constituye una sucesión de sedimentos eólicos, fluviales y lagunares, limosos o finamente arenosos, con bancos y lentes de material carbonoso (gyttia) cuya edad se ha determinado con el método del carbono 14. El espesor de esta unidad varía entre unos 10 y 15 metros. La edad de estos terrenos, determinada por el método antes citado, es de 9625 ± 200 años, es decir, holocena inferior.

6. Formación Agua de Loyola

Está constituida por calizas hidrotermales. Se presenta como mantos superficiales y cerritos cónicos, en el norte del Bloque de San Rafael. Son holocenos y vinculables con el vulcanismo póstumo postglacial (Polanski, 1962).

7. Formación Los Alamitos

Consiste en sedimentos fluviales acumulados en una terraza elaborada en la Formación El Zampal, por lo que su edad reciente está fuera de cualquier duda. Se localiza en la margen oriental del arroyo Yaucha sobre 3 km de longitud.

8. Depósitos turbosos

Forman pequeños afloramientos de pocos kilómetros de longitud y de 1 a 4 metros de espesor en el arroyo Papagayos, en Capiz de Abajo (entre San Carlos y Tunuyán) y en Los Alamitos (Polanski, 1962). Por sus relaciones estratigráficas se le asigna edad postglacial.

C - Terrenos volcánicos

1. Asociación Volcánica Paleopleistocena

Está constituida, principalmente, por basaltos olivínicos, con andesitas en su base. Groeber denominó a esta unidad "Basalto III" y "Andesita III". Su edad relativa se deduce considerando que es posterior a la Formación Los Mesones, mientras que en su techo yacen fanglomerados de la Formación La Invernada.

2. Asociación Volcánica Neopleistocena

Equivale a la unidad llamada por Groeber (1946,1951) "Basalto IV" o "Chapualitense superior". Está integrada principalmente por basaltos y andesitas. Los basaltos, como en la unidad anterior, son olivínicos. Es más moderna que la Formación Las Tunas, pero más antigua que la última glaciación (Polanski, 1962; Dessanti, 1956), circunstancias que confirman las ideas de Groeber (1946, 1951).

3. Asociación Piroclástica Pumícea

Se encuentran estas rocas formando un extenso manto en la depresión que separa la Cordillera Frontal de las Huayquerías de San Carlos y parte norte del Bloque de San Rafael (cuencas de los arroyos Papagayos y Yaucha) y también en el pie de monte cordillerano y en algunos valles de la Cordillera Frontal (Polanski, 1962).

Está compuesta esta Asociación por depósitos piroclásticos sueltos, pobremente seleccionados y groseramente estratificados, integrados por fragmentos de vidrio volcánico ácido o piedra pómez, con tamaños desde arena fina hasta gravilla (lapilli).

4. Asociación Volcánica Postglacial

Equivale a los basaltos V (Puentelicense), VI (Tromenlitense inferior) y VII (Tromenlitense superior) de Groeber. Son vulcanitas de composición basáltica. La edad holocena de estos basaltos surge de observaciones geomorfológicas, más bien que estratigráficas: estado de conservación del cono volcánico y su cráter, la posición en terrazas bajas y la falta de cubierta vegetal.

4.2.2 Unidades cuaternarias en el subsuelo.

1. Formación El Totoral

Según los datos de perforaciones, esta unidad consiste en bancos de arenas grises, pardoamarillentas y rojizas, en parte calcáreas, de grano fino a grueso, con intercalaciones de grava. Su edad es mayor que la Formación La Estacada, que la suprayace, pero menor que la Asociación Piroclástica Pumícea, porque las arenas poseen material derivado de esa unidad.

2. Depósitos subsuperficiales del abanico aluvial del río Mendoza

Son sedimentos conglomerádicos, generalmente de clastos pardos, amarillentos o rojizos, bien seleccionados, subredondeados o redondeados, integrados por materiales graníticos, riolíticos y andesíticos provenientes de la Cordillera Frontal, con matriz arenosa. La edad de estos depósitos, abarca todo el pleistoceno.

3. Depósitos de la llanura aluvial del río Mendoza

Sobre la base de datos de perforaciones y geoelectrónicas, en el estado actual del conocimiento, los terrenos del Cuaternario en el subsuelo de esta llanura se pueden dividir en cuatro unidades:

Unidad 1: Comprende depósitos con alternancias de estratos de gravas finas y arenas permeables, que hacia el norte pasan a arenas finas, con capas y lentes limoarcillosos. Su edad es holocena a pleistocena superior.

Unidad 2: Está constituida por arenas líticas y cuarzosas, con lentes y bancos de gravas finas y gravillas e intercalaciones limoarcillosas pardoamarillentas. Son portadores de acuíferos explotados en la zona.

Unidad 3: Comprende depósitos de arenas finas limoarcillosas con ocasionales lentes de gravilla y bancos de arena cuarzolítica mediana.

Unidad 4: Está integrada por bancos de gravas, arenas cuarzosas y líticas, arenas finas limoarcillosas y estratos limoarcillosos rosados y marrones. Contiene acuíferos explotables.

Estas tres últimas unidades, en su edad, abarcan la mayor parte del Pleistoceno. El espesor total del relleno cuaternario en la llanura aluvial del río Mendoza varía entre 600 y 800 metros.

4. Zona del piedemonte cordillerano

En la zona de Capdeville, estos depósitos cuaternarios están constituidos, de acuerdo con los perfiles geoelectrónicos, en gran parte por gravas y gravillas provenientes de la destrucción de los cordones precordilleranos. Su espesor llega a unos 100 metros y su edad comprende el Holoceno y parte del Pleistoceno superior.

5. Sector nororiental de la llanura mendocina

En pozos perforados unos 40 km al norte de La Paz, se encontraron en este lugar capas de arenas gruesas a medianas subredondeadas, con material pumíceo en los primeros 13 metros debajo de la superficie. Por debajo de los 100 metros de profundidad predominan limos y arcillas, con intercalaciones de arenas finas y medianas, en parte limosas.

6. Sector oriental de la llanura mendocina

Corresponde a la zona comprendida entre los ríos Tunuyán y Diamante. Es una unidad inferior integrada por escasas gravas y gravillas intercaladas con arenas, limos y arcillas, las que, hacia el norte, pasan a facies arcillosas.

4.3 Rasgos estructurales.

Los rasgos estructurales a escala regional de la extensa área estudiada se investigaron a partir de: 1) Análisis de los alineamientos observados en imágenes satelitarias; 2) Interpretación de mapas existentes; 3) Observaciones de campo (muchas de ellas realizadas al efectuar estudios anteriores, además de las observaciones hechas para el presente trabajo).

4.3.1. Descripción e interpretación estructural de las provincias geológicas existentes en el área

Para explicar la subdivisión del área investigada en provincias geológicas debe recordarse previamente el significado de esta expresión (figura 4.2). Aproximadamente similar al concepto de "región morfoestructural", se puede definir una provincia geológica como una región de la corteza terrestre caracterizada por: 1. Configuración estructural y rasgos estratigráficos propios, en afloramientos o en el subsuelo, que las diferencian de las existentes en áreas vecinas; 2. Un determinado tipo de relieve (provincias geológicas montañosas, llanas, mesetiformes, etc.).

En la región estudiada se diferencian dos grupos de provincias geológicas: las de relieve montañoso; Sierras Pampeanas Occidentales, Cerrillada Pedemontana, Precordillera Mendocina, Bloque de San Rafael (o Sistema de la Sierra Pintada), Cordillera Frontal y Cordillera Principal, y las de relieve llano: Cuenca Pedemontana Mendocina,

Altos Estructurales de Mendoza Nororiental, Altos Estructurales de Mendoza Centro Oriental y Cuenca del Desaguadero.

Entre las cadenas montañosas se encuentran depresiones de gran extensión que constituyen las provincias geológicas Valle de Iglesia-Uspallata (o Valle de Uspallata-Calingasta) y Valle Extenso, cuyo relieve es relativamente llano.

Las provincias geológicas de relieve montañoso deben su estructura actual a movimientos tectónicos ocurridos durante el Terciario y Cuaternario, que produjeron plegamientos, fallamientos y extrusiones magmáticas. Se trata de un estilo tectónico compresivo, similar al observado en toda la zona andina.

Las provincias geológicas de relieve llano también han sido afectadas por el tectonismo terciario y cuaternario, pero en ellas es mucho mayor la influencia de eventos tectónicos preterciarios. Además, desde tiempos paleozoicos, no han sufrido efectos importantes de plegamiento y la actividad magmática cenozoica solamente afecta a pocas y aisladas zonas y muy localmente.

4.3.1.1 Provincias geológicas de relieve montañoso

A) - Sierras Pampeanas Occidentales

En la región estudiada se extienden en un área reducida al norte de la provincia de Mendoza, adyacente al límite con San Juan. Comprenden las estribaciones meridionales del cerro Salinas y, probablemente, el Cerro Montecito, que forman colinas de poca altitud. En esta provincia geológica, como en el resto de las Sierras Pampeanas, aflora el basamento metamórfico, intensamente deformado por varias fases de plegamiento, con desarrollo de esquistosidad, fracturado, cubierto por sedimentos y sedimentitas levemente plegados y fallados.

Los rumbos estructurales observados en el cerro Salinas son NNE-SSO, similares a los del Montecito, que contrastan con los rumbos NNO-SSE observados en los cordones precordilleranos vecinos.

Las fallas que limitan el cerro Salinas por el oeste, son inversas, con plano que buza hacia el este y de alto ángulo en superficie, es decir, son estructuras similares a las observadas en los cerrillos de Valdivia y Barboza, así como en la Sierra Pie de Palo en la provincia de San Juan. Se han observado fracturas de rumbo casi este-oeste que

atravesan este cerro, con características de fallas normales; una de ellas presenta su labio hundido hacia el norte.

B) - Precordillera Mendocina

Es prolongación austral de la Precordillera Central Sanjuanina. Se caracteriza así su estilo estructural por la presencia de sistemas de fallas de rumbo NNE-SSO o NNO-SSE y en algunos casos N- S. Son fallas inversas de alto o bajo ángulo en superficie, que tienden a horizontalizarse en profundidad. Esta horizontalización, por reconstrucciones geométricas y realización de cortes balanceados, se supone que ocurre entre 6 y 8 km bajo la superficie, de manera que las fallas, a esa profundidad, pasarían a ser planos de corrimiento (figura 4.3). El buzamiento de los planos de falla es hacia el oeste, pero existen algunas antitéticas que se inclinan al este. La densidad de fallas tiende a aumentar hacia el frente precordillerano oriental.

Morfológicamente la Precordillera está constituida por cordones montañosos alargados paralelamente a los ejes estructurales (NNE- SS o N-S), cuyas altitudes tienden a incrementarse hacia el oeste, siendo generalmente superiores a los 2.000 metros.

C) - Cordillera Frontal

Se presenta como un conjunto de cadenas montañosas de altitudes entre 4.000 y más de 6.000 metros, alargadas de norte a sur o de NNO a SSE. Menos frecuentes son los cordones orientados de NNE a SSO.

Las estructuras representables en el mapa a escala 1:250.000 afectan a estas unidades magmáticas. Se han detectado pocas fallas siendo éstas inversas de alto ángulo o verticales en superficie. Su rumbo es N-S o NNO-SSE. Hacia el sur, pasando los 34° de latitud, se observan fallas de rumbo NNE-SSO y algunas cuyo rumbo aproximado es E-O. En estas últimas ha podido reconocerse desplazamiento de rumbo.

D) - Cordillera Principal

Se diferencia esta provincia geológica de la Cordillera Frontal porque presenta sedimentitas jurásicas, cretácicas y del terciario inferior predominantemente marinas.

De manera similar a la Frontal, está constituida por elevadas cadenas montañosas de rumbo próximo al N-S, pero, a partir de la latitud 33°, la altura de los cordones disminuye de casi 7.000 metros a la altura del Aconcagua a menos de 5.000 en

el límite sur del área (35° de latitud).

Presenta una estructura de pliegues, fallas y corrimientos. En la parte norte del área, hasta los 33° 30' de latitud, los rumbos de las estructuras varían entre N-S y NNO-SSE. En general predominan pliegues anticlinales con flanco moderadamente buzante al oeste (entre 15° y 30°), plano axial buzante en esta dirección y flanco oriental empinado, rebatido o suprimido por fallas inversas de variable ángulo en superficie, pero de carácter lístrico (tienden a horizontalizarse en el subsuelo). Se trata, por lo tanto, de estructuras típicamente andinas, con vergencia al este.

E) - Cerrillada Pedemontana

Se trata de una provincia geológica constituida por montañas de altitudes generalmente inferiores a los 2.000 metros, separadas por depresiones casi llanas. Hacia el este los cerros pierden altitud, alcanzando poco más de 1.000 metros al oeste de la ciudad de Mendoza, y pasan a lomadas y colinas que, gradualmente, se hundeen hacia la llanura oriental.

El rasgo estratigráfico más conspicuo de la Cerrillada Pedemontana está constituido por los afloramientos de sedimentitas y sedimentos del terciario medio y superior.

La Cerrillada Pedemontana, una de las provincias geológicas donde mejor se aprecian efectos de fenómenos neotectónicos, posee en la mayor parte de su extensión un estilo estructural de plegamiento suave, en alineaciones estructurales de varias decenas de kilómetros de longitud, rumbo NNO-SSE, que contrasta con el de las estructuras plegadas precordilleranas. Las estructuras se encuentran limitadas por fallas inversas, comprobadas por trincheras y, anteriormente, por estudios sísmicos y datos geológicos de subsuelo obtenidos de perforaciones de exploración y explotación de hidrocarburos. Tales fallas inversas, generalmente de alto ángulo en superficie, han presentado planos buzantes al ENE y labio hundido al O. Existen fallas de menor importancia antitéticas a las nombradas.

En el límite oriental de la Cerrillada Pedemontana (Lunlunta- Barrancas y otras estructuras) los datos de subsuelo indican la presencia de fallas inversas con planos buzantes al oeste o al OSO.

Las alineaciones estructurales, como puede observarse muy bien en la de Lunlunta-Barrancas-Carrizal, están atravesadas por fallas normales, de rumbo ENE-OSO,

que limitan por el norte y por el sur a las estructuras individuales. En el sector SE de la Cerrillada Pedemontana tales fallas transversales tienen rumbo casi E-O y algunas presentan indicaciones de desplazamiento de rumbo en las imágenes Landsat.

F) - Bloque de San Rafael

También se conoce a esta provincia geológica como "Sistema de la Sierra Pintada". Está constituida por montañas de poca altitud si se la compara con las provincias antes consideradas: entre 1.000 m cerca del borde oriental hasta 1.700 m en las vecindades del borde occidental. Solamente algunos pocos cerros, casi siempre volcánicos, superan los 1.800 m.

Las grandes líneas estructurales del Bloque de San Rafael son más o menos paralelas a las de la Cerrillada Pedemontana: NNO-SSE. Las principales estructuras observadas en el Bloque de San Rafael son fallas. Esto es consecuencia de los procesos de rigidificación tectónica que afectaron el área, probablemente debido a las extrusiones e intrusiones permotriásicas. Las fallas paralelas al rumbo de la sierra tienen orientación NNO-SSE.

4.3.1.2 Valles intermontanos

De los diversos valles intermontanos existentes en la zona, solamente dos tienen extensión suficiente como para ser considerados provincias geológicas: 1. El valle Uspallata-Calingasta, también conocido como de Uspallata-Iglesia, y 2. El Valle Extenso.

A) - Valle Uspallata-Calingasta

Se trata de una alineación de depresiones que, con rumbo aproximado N-S, separan la Precordillera, de la Cordillera Frontal. Se presenta desde la latitud 29° 30', en el noroeste sanjuanino, hasta el río Mendoza, a unos 32° 40' de latitud sur. Es decir, esta alineación de valles se extiende, de norte a sur, unos 350 kilómetros con ancho variable entre 10 y 25 km y altura entre 1.300 y 2.300 m sobre el nivel del mar. Presenta pendiente al este en la mayor parte de su ancho, de manera que su perfil es asimétrico.

Por la observación de los alineamientos satelitarios en el tramo que se encuentra dentro del norte mendocino, se piensa que el estilo estructural oculto bajo el manto cuaternario guarda más relaciones con la Cordillera Frontal que con la Precordillera.

Al tratarse de valles relativamente angostos, con un ancho de una a pocas decenas de kilómetros, es probable que la tectónica imperante en su subsuelo sea compresiva. La presencia de afloramientos de sedimentitas terciarias plegadas en el borde occidental del mismo, frente a Uspallata, favorece esta interpretación.

B) - Valle Extenso

Su extremo norte se encuentra aproximadamente a los 33° de latitud, donde comienza como una angosta depresión limitada por fallas que separa la Cerrillada Pedemontana de la Cordillera Frontal. Su ancho aumenta rápidamente hacia el sur alcanzando unos 25 km a los 33° 30', valor que se mantiene hasta aproximadamente el borde norte del Bloque de San Rafael. De allí al sur se incrementa, por desviarse el eje de este bloque al SSE y la Cordillera Principal al SSO, de manera que, a la latitud de 35°, alcanza unos 70 km de anchura. Se encuentra a altitudes superiores a 1.000 metros, pudiendo llegar a casi 2.000 en su borde occidental.

Este valle, en toda su extensión, está limitado por sistemas de fallas. Las que lo separan de las Cordilleras Frontal y Principal son inversas, de alto ángulo en superficie, de rumbo aproximado N-S con algunas deflexiones, con bloque hundido al este y buzamiento al oeste: típicas fallas andinas. Las que lo separan, en su sector noreste, de la Cerrillada Pedemontana también son inversas, pero con planos buzantes al este. No puede descartarse la posibilidad de que, a la latitud de San Carlos, las fallas que separan al Valle Extenso de la Cerrillada Pedemontana (meseta del Guadal) sean subverticales (Polanski, 1962) o inclusive de gravedad, asociadas a fenómenos tectónicos de distensión.

4.3.1.3 Llanura Oriental Mendocina

Desde el punto de vista geomórfico, la mayor parte de la provincia de Mendoza está ocupada por esta región de relieve llano, cuya altitud, de alrededor de 1.000 metros en las vecindades de los límites con la Precordillera, Cerrillada Pedemontana y Bloque de San Rafael, baja a menos de 500 en la zona vecina al sistema de los ríos San Juan y Desaguadero. Tiene, así, una pendiente suave al norte y al este.

Sobre la base de sus características estratigráficas y su posición estructural hundida (áreas negativas) o relativamente elevadas (áreas positivas) se ha realizado la subdivisión de esta llanura en las cuatro provincias geológicas que se presentan a continuación.

A) - Cuenca Pedemontana Mendocina

Comprende la porción oeste de la llanura oriental. Se extiende desde el frente precordillerano, de la Cerrillada Pedemontana o del Bloque de San Rafael, hasta los Altos Estructurales del este y noreste de Mendoza. Su ancho es de unos 70 km en Mendoza nororiental a casi 120 km al este del Bloque de San Rafael.

El estilo tectónico se conoce poco, por falta de información. Sin embargo, con base en datos de pruebas sísmicas de refracción y trabajos geoléctricos, se ha hecho una interpretación que indica muy altas probabilidades de existencia de fallas de rumbo N-S, paralelas al río Mendoza y de otras transversales u oblicuas a las primeras, de rumbo OSO-ENE, y pocas de rumbo NO-SE o E-O. En el valle del río Tunuyán y adyacencias son comunes fallas orientadas de ONO a ESE y otras casi paralelas a la dirección NO-SE. Al sur de este río la dirección predominante de las fallas, en esta provincia geológica, es nuevamente OSO-ENE.

Quedan pocas dudas de que las fallas orientadas transversal u oblicuamente a las cadenas montañosas andinas o a las Sierras Pampeanas tienen origen en fuerzas traccionales y, por lo tanto, son directas.

Más difícil es determinar el carácter directo o inverso de las fracturas de rumbo N-S o NNO-SSE. Por estar la zona, inclusive toda la llanura oriental mendocina, al norte del paralelo 34°, limitada al este como al oeste por provincias geológicas de relieve montañoso y estilo estructural marcadamente compresivo, podría pensarse que dichas fallas se asemejarían a las de las Sierras Pampeanas. Así se podría concluir que son inversas, de alto ángulo, tendiente a decrecer en profundidad.

Debe recordarse que las fallas de rumbo OSO-ENE se agrupan en zonas de megatrazas asociadas a cambios sedimentarios, sobre todo en el espesor de la cubierta cenozoica que registra fuertes variaciones a uno y otro lado de las megatrazas y, probablemente, a cambios en el estilo estructural (Perucca, Zambrano y otros, 1979).

Sin embargo, si la tectónica que dió lugar a la moderna configuración de esta provincia geológica hubiera sido compresiva se hubiese generado, con toda probabilidad, un cuadro similar al de las Sierras Pampeanas, ya que los esfuerzos de compresión, al acortar la corteza terrestre, tienden a aumentar su dimensión vertical. Esto significa que, de haber imperado un tectonismo de este tipo en la Cuenca Pedemontana Mendocina así como en las restantes provincias geológicas que se han diferenciado en la llanura oriental, ésta no tendría relieve llano sino montañas de bloques rotados con valles intermontanos. Por lo

tanto debe admitirse para la llanura oriental una tectónica traccional, como lo hacen Criado y otros para algunos sectores del área (1981), o una tectónica vertical.

B) - Altos Estructurales de Mendoza Nororiental

Se ha diferenciado esta provincia geológica dentro de la llanura oriental mendocina principalmente por razones estratigráficas y estructurales. Las diferencias morfológicas se restringen únicamente al diseño del drenaje.

El estilo estructural presenta un basamento fallado (tectónica de basamento) y según información verbal, las sedimentitas terciarias estarían también afectadas por fallas pero sin experimentar prácticamente ningún plegamiento (tectónica de cobertura), disponiéndose en posición subhorizontal.

C) - Altos Estructurales de Mendoza Centro Oriental

Puede considerarse como una prolongación al sureste de la provincia geológica anterior. Sin embargo se la ha diferenciado, pese a que también se caracteriza por altos estructurales del basamento fracturado, por diferencias estratigráficas y de elevación de los bloques del nombrado basamento.

Las estructuras que predominan en los Altos Estructurales de Mendoza Centro Oriental son fallas cuyos rumbos predominantes son NNO-SSE y OSO-ENE. Las primeras, por las razones indicadas al tratar la provincia geológica anterior, pueden interpretarse como verticales.

Las fallas con rumbo OSO-ENE, bien desarrolladas en la zona, son directas y pueden tener un leve desplazamiento de rumbo. Están asociadas a marcados cambios de espesor de la cubierta cenozoica.

Los altos estructurales del basamento en esta provincia tienen menor extensión que en el noreste mendocino: generalmente, a lo largo de sus ejes, no se extienden más que 20 o 30 km.

Como en el noreste de Mendoza, las fallas afectan a la cubierta sedimentaria notándose sus efectos en la superficie como cambios en la red y diseño del drenaje.

D) - Cuenca del Desaguadero

Se ha diferenciado esta provincia geológica porque presenta el basamento a mayor profundidad que en los Altos Estructurales que se encuentran al oeste.

La cubierta terciaria y cuaternaria tiene espesores algo mayores que en los Altos Estructurales. Generalmente varían entre algo menos de 1.000 m en la parte sur hasta probablemente unos 2.000 m en la parte norte, vecina al límite con San Juan. Los datos disponibles sugieren para esta provincia geológica una tectónica de bloques, originados por fallas del basamento, paralelas y oblicuas a las estructuras. Las segundas, de rumbo predominante OSO-ENE, están relacionadas con marcados cambios en los espesores sedimentarios y acuíferos de estratos mesozoicos.

Las fallas longitudinales pueden ser verticales o directas casi verticales, sobre la base de las consideraciones expuestas al tratar las restantes provincias geológicas de la llanura oriental mendocina.

4.3.2 Síntesis de la evolución estructural del área

En el estado actual del conocimiento, es posible esquematizar la sucesión cronológica de los principales eventos tectónicos que afectaron a la región, de la siguiente manera:

1. Observaciones realizadas en distintos afloramientos del basamento de las Sierras Pampeanas Occidentales, indican que éstas han experimentado varias fases tectónicas, de las cuales, por lo menos una, que generó estructuras intensamente plegadas de rumbo E-O, se produjo en tiempos precámbricos, seguida por intrusiones que afectaron el basamento probablemente a fines del precámbrico.

2. Durante el cámbrico comenzó un prolongado período de estabilidad tectónica, con formación de una plataforma calcárea, que perduró hasta el ordovícico medio. La costa estaba probablemente donde hoy se encuentran las Sierras Pampeanas, que casi con seguridad formaban una extensa llanura o área de poco relieve, puesto que, solamente áreas casi llanas o con escaso relieve, que aportan poco volumen de sedimentos clásticos a las cuencas sedimentarias, pueden dar origen a plataformas calcáreas.

3. Durante el ordovícico medio, aproximadamente unos 470 millones de

años atrás, comenzó en las Sierras Pampeanas un período de inestabilidad tectónica, documentado por la intrusión de plutones, junto con un hundimiento de la cuenca situada en el área de la actual Precordillera. Se originó así una zona de tectonismo inestable, con formación de montañas en el área ocupada por las mencionadas sierras y probablemente en la llanura oriental, y formación de mares profundos donde se acumularon sedimentos clásticos, en parte turbidíticos en la actual zona precordillerana, situación que perduró hasta el devónico medio.

4. Durante el devónico superior se produjo la fase tectónica conocida como Precordilleránica, hace 370 millones de años, que deformó los terrenos paleozoicos, incluidos los turbidíticos del devónico medio. Produjo estructuras de rumbo más o menos paralelo a las estructuras terciarias y plegó fuertemente los terrenos entonces existentes (pliegues isoclinales y volcados que afectan a estas unidades estratigráficas se atribuyen a la acción de estos movimientos). Por esta razón, además de la fuerte discordancia angular al techo de los terrenos devónicos y marcada diferencia en la intensidad de plegamiento con los terrenos posteriores a esta fase, se le asigna carácter compresivo.

5. Entre fines del devónico y comienzos del carbonífero se produjo una nueva fase tectónica que dió lugar a la formación de centros deposicionales, tanto en las Sierras Pampeanas como en la Precordillera, en los que comenzaron a acumularse los primeros depósitos del ciclo carbonífero. Hubo formación de cadenas montañosas costeras, probablemente afectadas por glaciaciones que dejaron testimonios en el registro sedimentario.

Este proceso estuvo asociado con emplazamientos de granitos en las Sierras Pampeanas. Se asignan los movimientos que causaron estos fenómenos, a la fase Chánica, ocurrida aproximadamente a fines del devónico, y casi contemporánea con los movimientos Bretónicos (nomenclatura internacional). Las evidencias disponibles sugieren que fueron movimientos de carácter predominantemente vertical o distensivo.

6. Los terrenos carboníferos antes nombrados, en la zona actualmente ocupada por la Precordillera, presentan a su techo una discordancia suave sobre la que yacen terrenos cuya edad llega al pérmico inferior. Se ubica a esta fase en el carbonífero tardío: fase Sierra de Barreal o Barreálica. Produjo basculamientos suaves en las áreas donde se la reconoce, es decir, tuvo carácter predominantemente vertical pero de poca intensidad.

7. Con posterioridad a la acumulación de los terrenos carboníferos superiores a pérmicos inferiores se produjo una nueva fase tectónica. En la Cordillera Frontal tuvo carácter compresivo. Fue allí muy intensa ya que plegó y falló a estos terrenos hasta el punto de dar origen, según Polanski (op. cit.), a estructuras imbricadas.

Los picos de actividad magmática y relaciones de discordancias erosivas o levemente angulares entre los distintos terrenos acumulados durante el pérmico y triásico permiten reconocer varias fases tectónicas durante estos períodos las que pueden asociarse a basculaciones, fracturación, plegamiento suave o actividad magmática (Eopérmica, Cacheuta, Saalica, Apaláchica, Huárpica, Tunuyán, La Rioja y Río de Los Patos).

8. Con el jurásico comenzaron las ingresiones marinas en el área actualmente ocupada por la Cordillera Principal y cuenca Neuquina. La subsidencia que originó estas ingresiones se atribuye a la fase denominada Río Atuel. Durante la acumulación de estos terrenos marinos y continentales jurásicos se produjeron transgresiones y regresiones, indicativas de oscilaciones suaves, es decir, que testimonian movimientos verticales probablemente basculantes. El jurásico fue un período de escasa actividad magmática en el área.

9. El ciclo sedimentario jurásico en la Cordillera Principal se cierra con los movimientos araucanos (142-144 millones de años), con los que comienza, durante el jurásico más alto, la acumulación de depósitos continentales asociados a actividad magmática (volcánica y piroclástica) en Chile. Posteriormente, y en parte relacionada con un proceso de subsidencia, comenzó la sedimentación de los terrenos marinos ándicos, tiempo durante el cual se produjeron varias fases tectónicas, evidenciadas por cambios sedimentarios, transgresiones y regresiones, cambios en la profundidad del fondo marino y, localmente, actividad volcánica.

La ausencia de discordancias fuertes entre los terrenos ándicos así como el magmatismo, indican que estas fases fueron tensionales o suavemente verticales, incluso en el área cordillerana, provocando quizás formación o reactivación de fallas.

10. El período entre los 100 y los 80 millones de años parece haber sido de estabilidad tectónica en el área, puesto que no se conocen en ella terrenos sedimentarios ni magmáticos de ese período.

11. Hace aproximadamente 80 millones de años, en la Cordillera Principal,

comenzaron a producirse movimientos subsidentes que dieron lugar a la formación de una cuenca sedimentaria donde se acumularon terrenos continentales con variable contenido de material piroclástico, probablemente vinculado al importante magmatismo de esa edad en la Cordillera Principal. La fase tectónica subsidente se denominó Subhercínica o Peruana.

En gran parte del área estudiada no se nota que esta fase tuviera carácter compresivo, salvo en el sector de la Cordillera Principal donde aflora la Formación Abanico, y se han observado discordancias angulares de casi 90 grados.

12. Al comenzar el cretácico más joven (Maastrichtiano) se produjo una subsidencia regional causante de que el Grupo Neuquén quedara cubierto por sedimentitas marinas y costeras. Esto se vincula a una fase tectónica subsidente (primera fase Larámica) ocurrida aproximadamente 70 millones de años atrás.

Al finalizar el cretácico se produjo una nueva fase tectónica, evidenciada por cambios sedimentarios en la cuenca Neuquina (segunda fase Larámica). En la Cordillera Principal dieron lugar al plegamiento y ascenso de los terrenos volcanosedimentarios, por lo que también aquí se produjeron fenómenos de tectonismo compresivo como consecuencia de estas fases.

Fuera de este sector, en el resto del área, los movimientos larámicos se manifiestan como subsidencias y ascensos suaves, es decir, que cabe interpretarlos como verticales.

13. A partir del comienzo del terciario se inicia un nuevo período tectónico denominado Incaico. Durante el paleoceno tardío se produjo una regresión marina en la actual Cordillera Principal que dió lugar a la acumulación de depósitos continentales, (Formaciones Pircala, Saldeño y Coihueco). El movimiento de ascenso causante del retiro del mar se considera una prefase de los movimientos Incaicos, que se produjeron en el paleoceno superior o quizás, en el límite paleoceno-eoceno, hace 54 millones de años.

14. Al final del eoceno se produjo una importante fase tectónica que en el área dió lugar a un intenso fallamiento, en parte con reactivación de fallas preexistentes, seguido por la extrusión e intrusión de magma predominantemente andesítico en la actual zona cordillerana (Formación Molle). Esta fase, más o menos contemporánea con los movimientos pirenaicos del oeste europeo, recibe el nombre de Incaica (Yrigoyen, 1979), prácticamente correlacionada con la segunda fase del

Primer Movimiento Andino (Groeber, 1946, 1951; Yrigoyen, 1972). Produjo la elevación de áreas en la actual Cordillera Principal, las que adquirieron nuevamente carácter montañoso. Los movimientos parecen haber sido predominantemente verticales, probablemente con carácter compresivo en la Cordillera Principal especialmente en su parte occidental ubicada en Chile. El comienzo de esta fase puede ubicarse alrededor de los 45 millones de años atrás (eoceno superior), mientras que la máxima intensidad del vulcanismo andesítico ocurrió hace entre 40 y 35 millones de años, es decir durante el oligoceno inferior.

15. A fines del oligoceno se produjo una nueva fase tectónica, llamada Pehuenche. También dió lugar a la formación de montañas (fase orogénica) y estuvo asociada a fallamiento (en gran parte reactivación de fracturas), al plegamiento de la Formación Agua de La Piedra y al comienzo de la actividad magmática caracterizada por la extrusión de las andesitas y basaltos, hoy plegados, de la Formación Palauco que yacen en discordancia sobre su base. Sus mayores efectos se observan en la Cordillera Principal. Groeber denominó a este acontecimiento tectónico "Primera Fase del Segundo Movimiento Andino", que dataría de unos 25 millones de años atrás.

16. Con posterioridad a la acumulación de la Formación Palauco se produjo un nuevo movimiento, de carácter compresivo, que reactivó fallas y plegó los nombrados terrenos volcánicos. Sus efectos en la zona precordillerana mendocina produjeron algunos cambios sedimentarios. No ocurrió así en la Precordillera Sanjuanina donde se registra actividad intrusiva y efusiva andesítica en algunas localidades, datada en alrededor de 10 millones de años. Esta fase tectónica es, según Groeber, la Tercera Fase del Segundo Movimiento Andino.

17. Aproximadamente al final del mioceno, unos 5 millones de años atrás, se produjo un nuevo movimiento tectónico: la fase Quechua (Yrigoyen, 1979) más o menos equivalente al Tercer Movimiento Andino (Groeber, 1946; Yrigoyen, 1972).

En la Cordillera Frontal, según Caminos (1979), esta fase produjo corrimientos en el alto río Tunuyán que originaron estructuras imbricadas.

18. Durante el plioceno medio se produce el segundo episodio: la fase denominada por Groeber "Fase Principal del Tercer Movimiento Andino". Tanto esta fase como la prefase son de gran importancia orográfica puesto que causaron una considerable elevación de la Cordillera (Yrigoyen, 1979). La Fase Principal tuvo carácter compresivo causando el plegamiento y fracturación de las andesitas Huincán

y de los sedimentos terciarios cordilleranos. Sus efectos llegaron también a la Cerrillada Pedemontana y parte de la Precordillera, donde se observa, en algunas localidades, un contacto discordante a la base de los conglomerados de Mogotes.

19. Alrededor de 2 millones de años atrás, con el comienzo del cuaternario, una importante fase compresiva hizo plegar los terrenos terciarios precordilleranos y los de la Cerrillada Pedemontana, no alcanzados por los efectos de los eventos tectónicos anteriores. Ambas provincias geológicas adquirieron su carácter orográfico y los movimientos compresivos se fueron extendiendo progresivamente al este.

20. A partir del inicio del cuaternario comienzan a producirse en la zona andina y pedemontana, las fases neotectónicas. Estos eventos tuvieron carácter compresivo y sus efectos se extendieron cada vez más hacia el este, ya sea por el avance del frente precordillerano, evidenciado porque las fases neotectónicas sobrepusieron terrenos terciarios a cuaternarios en la falla de corrimiento que limita por el este a la Sierra de Las Peñas o por plegamiento de la Cerrillada Pedemontana (Regairaz, 1968-1974). Se corroboraría así el fenómeno continental de desplazamiento de la onda tectónica del oeste hacia el este.

La primera fase neotectónica registrable produjo la elevación de las zonas montañosas (Cordillera/Precordillera) y la generación del primer nivel de pie de monte (Formación Los Mesones), formado con posterioridad a la fase Quechua. Además dió lugar a la extrusión de los basaltos y andesitas englobados por Polanski en la "Asociación Volcánica Paleopleistocena". Estos movimientos se produjeron alrededor de 700.000 años atrás. Con posterioridad a ellos se formó la segunda superficie de pedimentación asociada a la Formación La Invernada.

La siguiente fase neotectónica provocó la elevación de los depósitos de la Formación La Invernada, seguida por la extrusión de la Asociación Volcánica Neopleistocena y de la Asociación Piroclástica Pumícea. En la Cerrillada Pedemontana provocó el plegamiento suave (abovedamiento) de los estratos cuaternarios más antiguos. Esta fase ocurrió en el pleistoceno superior, antes de la formación del tercer nivel de pie de monte y, en consecuencia, es mayor de 130.000 años (Regairaz, 1968-1974).

Esta fase pleistocena, al igual que la anterior, tuvo carácter compresivo por lo menos en el frente oriental precordillerano, en la Cerrillada Pedemontana y en los bordes del Bloque de San Rafael.

Las fases pleistocenas reactivaron las fallas de la Cordillera Frontal y elevaron los cordones montañosos de esta provincia geológica así como los precordilleranos y de la Cerrillada Pedemontana.

Posteriormente a esta fase se formó el tercer nivel de pie de monte. Las siguientes fases tectónicas, prácticamente actuales, causaron la elevación e incipiente disección de los sedimentos pertenecientes al tercer nivel (Formación Las Tunas) y a consecuencia de ello se formaron sistemas de terrazas en la zona pedemontana: Nivel más alto (T3), Segundo Nivel (T2), Primer Nivel (T1), todas ellas asociadas al final del pleistoceno medio tardío y pleistoceno superior, y niveles más jóvenes (T0), asociados al holoceno y actual.

Este tectonismo moderno probablemente tiene también carácter compresivo, por ser continuación de las fases compresivas andinas asociadas al fenómeno geodinámico de la Tectónica Global o Tectónica de Placas. El vulcanismo postglacial, principalmente basáltico, puede haberse producido durante los períodos distensivos ocurridos entre los episodios compresionales.

21. Quedan por considerar algunos aspectos estructurales de la Cerrillada Pedemontana. Llama la atención la presencia de fallas inversas buzantes al este y de estructuras cuyos planos presentan vergencia al oeste, pero son casi verticales. Además, existen pruebas de tectonismo compresivo, al menos en parte de esta provincia geológica.

Resulta difícil de explicar estas fallas buzantes al este como un resultado de los empujes andinos en esa dirección, salvo que se admita que sean antitéticas de otras fracturas más importantes buzantes al oeste. Tales fracturas, según Y.P.F., se encontrarían en el flanco occidental del alineamiento Lunlunta-Barrancas- Carrizal-La Ventana.

Por esta razón, se piensa que la Cerrillada Pedemontana ofrece ciertas analogías estructurales con la Precordillera Oriental (Ortiz y Zambrano, 1981).

Baldís y otros (1979) atribuyen la formación de las estructuras de la Precordillera Oriental, que ofrecen algunas analogías con las Sierras Pampeanas Occidentales, a esfuerzos tectónicos provenientes del este, denominados esfuerzos pampeanos, según estos autores. Contraponen estos esfuerzos pampeanos a los esfuerzos andinos, provenientes del oeste.

Si se extrapola esto a la Cerrillada Pedemontana puede suponerse que su

configuración estructural se originó a raíz de esfuerzos pampeanos y posteriormente se modificó (verticalizó y quizás rebatió) a consecuencia de los esfuerzos andinos.

Esta hipótesis exige la existencia de esfuerzos pampeanos terciarios que, con el avance de la tectónica andina hacia el este, posteriormente fueron reemplazados por esfuerzos andinos, proceso que continuaría en la actualidad. Este cuadro puede ser válido para la parte superior de la corteza, incluido el basamento metamórfico, es decir, para una zona de varios kilómetros de profundidad.

4.4 Rasgos fisiográficos y geomorfológicos del área bajo estudio.

En el Gran Mendoza se ha utilizado el "Método Geomorfológico" para dataciones relativas. Pero estas dataciones relativas no se refieren exclusivamente a unidades litoestratigráficas sino también a dataciones relativas de las diversas formas del relieve ("Método Geomorfológico del Encajamiento de las Formas del Relieve"). En una forma generalizada -para fechar los fenómenos de neotectónica- se han reemplazado los niveles geológico-estratigráficos por los niveles planizados de las geoformas importantes en la zona semiárida del Gran Mendoza.

Para la elaboración de este "Cuadro Estratigráfico de las Formas del Relieve" se ha recurrido a la presencia de las siguientes "geoformas" regionales: **Penillanuras** (del Terciario), **Pedimentos y/o Glacis** de erosión, **Sistema de Terrazas, Playas, Conos y Abanicos, Llanuras fluviales y fluvio-eólicas y cauces actuales** de los ríos, todas ellas incluidas dentro del Cuaternario.

En el siguiente Cuadro se señala, dentro de una ubicación altitudinal más elevada a más baja, la disposición de los sistemas de formas del relieve referidas a unidades del Cuaternario (y su "techo Precuaternario"). Estos son sistemas o niveles de:

1) Penillanuras: formas más antiguas	Precuaternario
2) Pedimentos: más jóvenes que 1)	Cuaternario
3) Terrazas: más jóvenes que 2)	Cuaternario
4) Conos o Abanicos: más jóvenes que 2)	Cuaternario
5) Playas: más joven que 4)	Cuaternario
6) Llanuras aluviales: más joven que 4)	Cuaternario

Si por circunstancias especiales ambientales se logra en cualquiera de las unidades geomórficas arriba citadas (1, 2, 3, 4, 5, 6) detectar la existencia de **restos fósiles** para datación radioactiva, como puede ser la presencia de **restos de carbón** o de **paleosuelos, cenizas volcánicas** o bien **materiales calcáreos** (travertino, etc.) la asignación de las edades relativas puede ser ajustada con mejores resultados para la ubicación de esa forma del relieve dentro del cuadro de edades absolutas. A partir de este hecho se logrará, indudablemente, una mayor seguridad en cuanto a la certeza de los estudios que se están realizando.

Lo antes expresado pone en evidencia la importancia que, en la región de Mendoza se ha asignado a la Geomorfología desde el punto de vista de: 1) descubrir evidencias geomórficas vinculadas a la presencia de fallas seguras, probables o posibles; 2) la posibilidad de datar las formas del relieve y en consecuencia fechar los acontecimientos tectónicos asociados a la creación de probables fuentes sismogénicas, dentro del subsuelo y que mediante fallamiento afecten a las unidades geomorfológicas esculpidas en diferentes áreas del ámbito pedemontano del Gran Mendoza.

4.4.1 Grandes unidades morfoestructurales regionales.

Mediante el estudio, análisis e interpretación de cartas topográficas, mapas geológicos, fotos a nivel del suelo, fotos aéreas e imágenes satelitarias, complementado con posteriores controles de campo, se logró establecer, para la región de Cuyo, la presencia de dos grandes ambientes morfoestructurales:

- Unidades ubicadas en un "ambiente montañoso"
- Unidades ubicadas en un "ambiente planizado"

Tanto en el ámbito de la montaña como en el de las zonas planas se presentan "geoformas" que, en el caso particular de la Provincia de Mendoza y resto de Cuyo, se disponen regionalmente dentro de un cuadro de relieves extremadamente contrastados entre sí (no sólo por sus volúmenes rocosos sino también por sus marcadas diferencias altitudinales).

A - Unidades dentro del ambiente montañoso: se reconocen aquí, dentro de un cierto criterio o grado de jerarquización geomorfológica, las siguientes unidades morfoestructurales:

1)- **Cordillera Andina** (Cordillera Joven): con alturas cercanas a los 7.000 metros sobre el nivel del mar (Cerro Aconcagua).

2)- **Precordillera** (Cordillera Antigua): con alturas que alcanzan los 4.000 metros sobre el nivel del mar (Sierra del Tontal en San Juan).

3)- **Basamento** (raíces de Cordilleras muy antiguas): alcanzan alturas de 3.000 metros sobre el nivel del mar.

4)- **Cerrilladas Pedemontanas** (representadas por unidades geológicas de muy distinta edad, desde fragmentos pertenecientes al basamento, hasta rocas del Terciario-Cuaternario inclusive). Son unidades que se disponen principalmente en las zonas aledañas o próximas a la Cordillera, a la Precordillera o bien al basamento. A veces se disponen como "largos trenes de estructuras anticlinales" constituyendo "alineamientos estructurales positivos" que se destacan, en ocasiones, asociados a las zonas petrolíferas de Mendoza.

5)- **Area de lomadas y colinas.** En las áreas de ambiente montañoso se pueden incluir lomadas y colinas situadas a altitudes entre 680 y 1.200 metros. Son elevaciones donde afloran sedimentitas terciarias y, en pocos casos triásicas. Podemos aquí diferenciar:

- Lomadas y colinas situadas al pie de la Precordillera
- Lomadas y serranías de la Cerrillada Pedemontana.
- Lomadas y colinas del piedemonte precordillerano.

6)- **Bajadas pedemontanas.** Fuera de las existentes en los valles intermontanos, en el área se encuentran las siguientes:

- Bajada situada entre la Precordillera y el abanico aluvial del río Mendoza.
- Bajada pedemontana comprendida entre el cordón de Las Lajas y las Lomas de Jocolí.
- Bajada pedemontana de la sierra de Las Peñas.

B - Unidades dentro del "ambiente planizado": Las unidades caracterizadas como planizadas se disponen dentro de un dispositivo múltiple, asociadas sobre los bordes de las unidades montañosas ya sea interpuestas en el interior de dichas unidades o bien desarrolladas a partir de las fajas distales de las zonas pedemontanas. Contrariamente con lo que ocurre en el caso de las unidades del ambiente montañoso, donde las desnivelaciones

son de gran magnitud, en el caso de las unidades del ambiente planizado las diferencias altitudinales, dentro de cada unidad a considerar, tomadas por separado, son de muy pequeña magnitud (decenas a centenares de metros).

1)- **Llanuras:** Gran parte del área estudiada presenta relieve llano o casi llano. Comprende el cono aluvial del río Mendoza y las extensas llanuras fluvio-eólicas de la parte oriental de la provincia de este nombre.

El cono aluvial del río Mendoza abarca unos 500 km² de superficie. Su zona apical, a la salida de la garganta de este río en Cacheuta, se encuentra a unos 1.120 metros de altitud. De allí se extiende hacia el norte, noreste y este-sudeste y su borde se encuentra a altitudes entre 600 y 700 metros.

En el resto de la zona llana se pueden distinguir varias unidades geomorfológicas:

- La llanura aluvial de transición del río Mendoza.
- La llanura aluvial distal del río Mendoza.
- Llanura aluvial pleistocena elaborada por los ríos Mendoza y Tunuyán.

Las unidades que en un enfoque general y regional se han podido determinar en la región norte de Mendoza, son las siguientes:

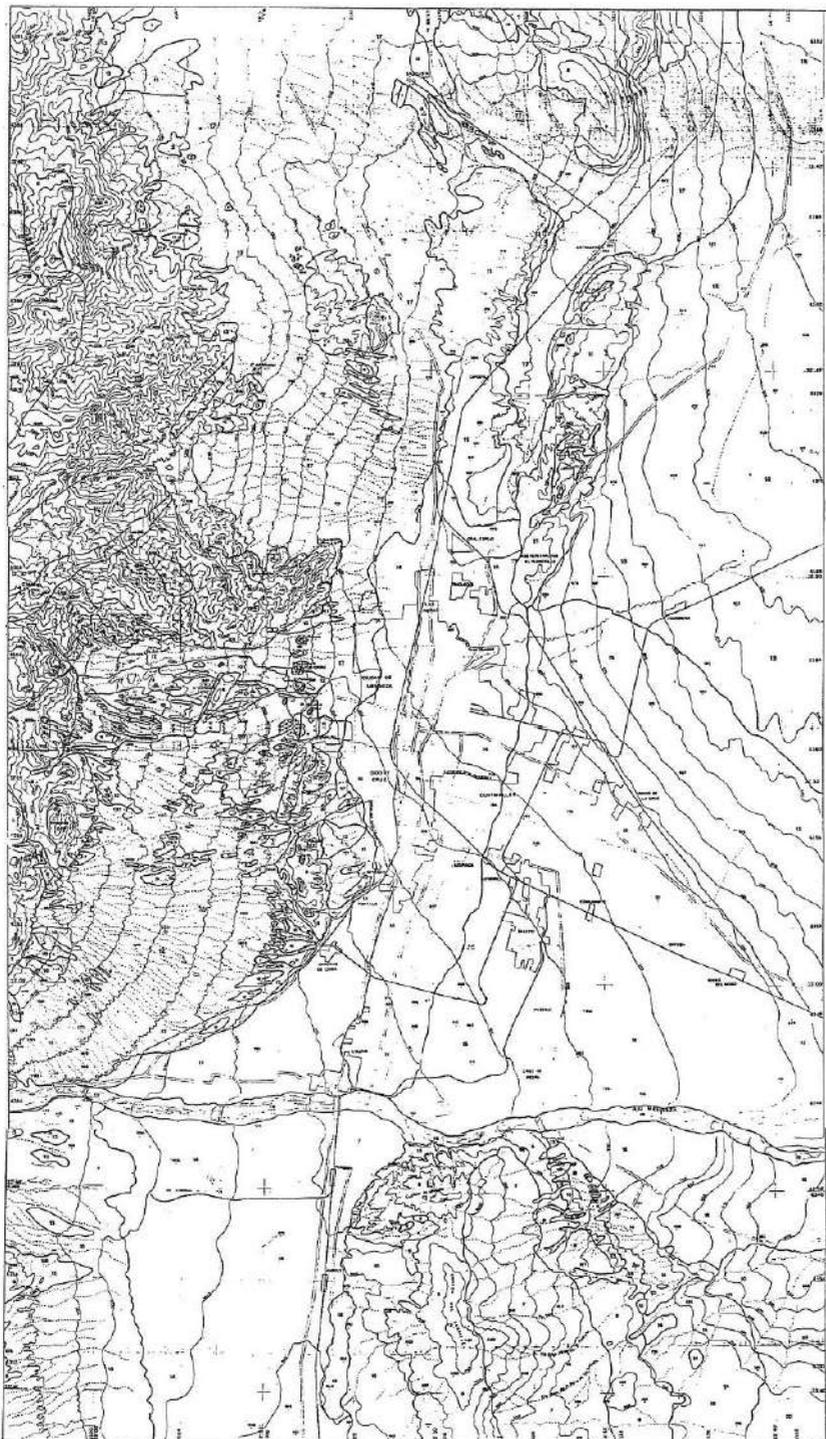
- 1) Niveles de Pedimentos o "Glacis"
- 2) Niveles de "Playas" (o depresiones sin desagüe)
- 3) Niveles de Terrazas fluviales
- 4) Niveles de Terrazas fluvio-glaciales
- 5) Sistemas de Conos y abanicos fluviales
- 6) Sistemas de Conos fluvio-glaciales
- 7) Sistemas de Llanuras aluviales (fluvio-eólicas)
- 8) Campos de Dunas fósiles

9) Niveles de Penillanuras: Llanuras antiguas, elaboradas durante el Terciario (Mioce-
no/Plioceno). Ellas fueron ascendidas a gran altura por acción de fases tectónicas del
"ciclo orogénico andino" y que actualmente constituyen las partes más altas de la
Cordillera/Precordillera y ambiente del "Basamento Cristalino".

9-bis) Sistemas de terrazas fluviales y restos de pedimentos antiguos, suspendidos a
diferentes alturas sobre los cuerpos montañosos de Cordillera, Precordillera y/o
Basamento.

Las formas identificadas como unidades geomórficas nº1 a 8 inclusive, se consi-
deran como unidades geomorfológicas del Cuaternario y las formas citadas en 9 y 9
bis pertenecen a geoformas esculpidas o creadas durante el Precuaternario (Terciario
y más antiguo).

2)- **Valles intermontanos:** Se caracterizan, como unidades fisiográficas, por tener
pendientes asimétricas al este o sureste. Dentro del área abarcada por los mapas geomor-
fológicos se disponen, con cierta jerarquía dentro del relieve regional, dos depresiones
intermontanas destacables: al norte, la Pampa de Canota y, al sur del río Mendoza, el valle
conocido como de Tunuyán-Carrizal. Se encuentran a altitudes entre 900 y unos 2.500
metros.



MAPA GEOLOGICO

REFERENCIAS SIMBOLICAS

- Cursos de agua permanentes
- Cursos de agua temporales
- Llano
- Fallamiento
- Zona anticlinal
- Contorno de elevación (en metros sobre el nivel del mar)

Para cotes inferiores a 700 m s. n. m.: Intervalo
 Para cotes entre 700 y 900 m s. n. m.: 20 metros
 Para cotes superiores a 900 m s. n. m.: 100 metros
 - 018 Puerto Maldonado (en m. s. n. m.)

ESCALA 1:50,000



UNIDADES GEOMORFOLOGICAS CUATERNARIAS

- 20** Depósitos de llanura de inundación y bancos de sedimentos (10)
- 19** Depósitos de lavas de inundación y conos del río Mendocino (10 en parte)
- 18** Depósitos del glacio-morrenario de la Cordillera Peruviana (10 en parte)
- 17** Depósitos pedregosos incrustados de la Páramo (10 y 12 en parte)
- 16** Depósitos de lavas blancas de inundación del río Mucuna (20)
- 15** Depósitos del aluvión aluvial del río Mendocino (10)
- 14** Formación El Sagrado: lavas y cenizas (6)
- 13** Depósitos pedregosos que son de montañas de la Cordillera Peruviana (4 en parte)
- 12** Formación Las Yucas (20)
- 11** Formación La Bombarda: lavas aluvial (20 en parte)
- 10** Formación La Interoceánica: lavas pedregosa y cenizas (4 en parte)
- 9** Formación Los Mismos (11)

Los números entre paréntesis indican el número de las unidades cartográficas que pertenecen a esta categoría y están distribuidas en las unidades cartográficas.

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS PRECUATERNARIAS

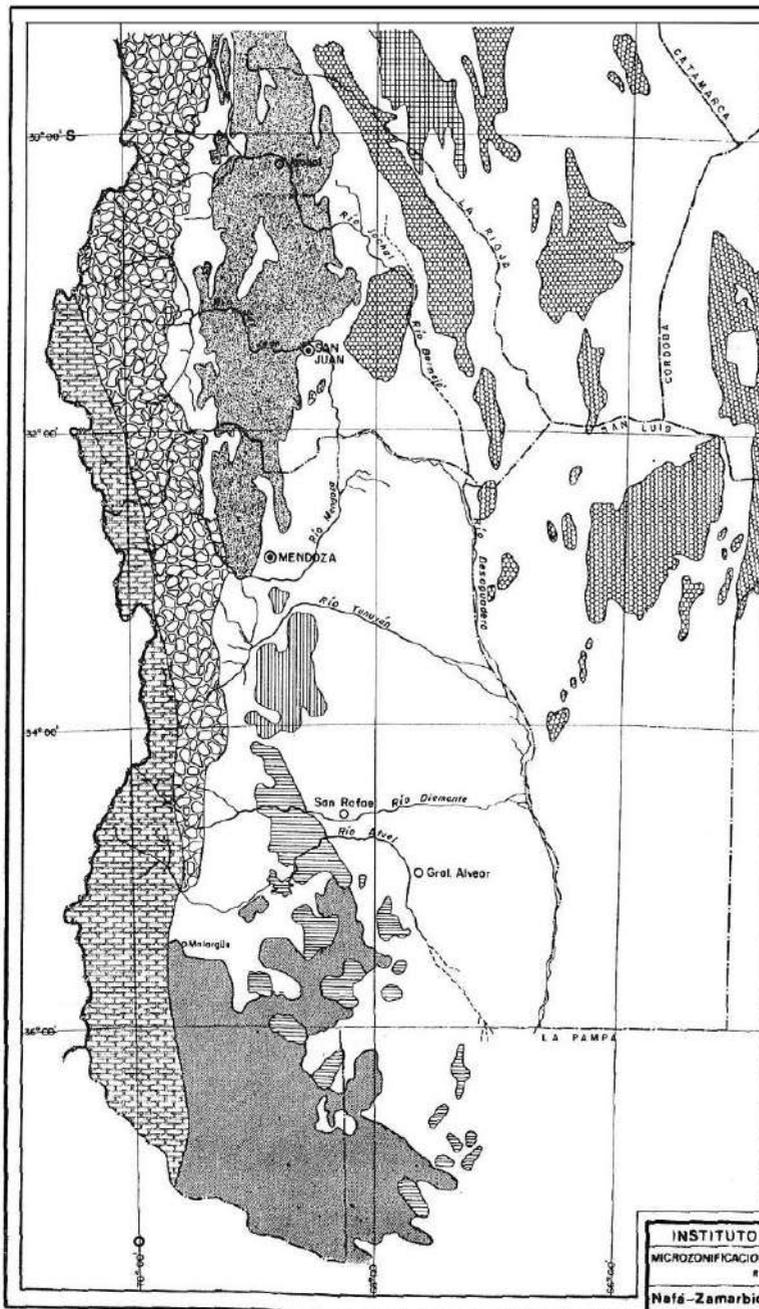
- 8** Sedimentitas conglomerativas plomizas-Peruvia. Mergues (21)
- 7** Sedimentitas carboníferas del Cuicuzco medio y superior (20)
- 6** Sedimentitas terciarias (20)
- 5** Sedimentitas aluviales del Terciario inferior (21)
- 4** Sedimentitas silíceas (21)
- 3** Rocas estratiles y plutónicas del Pérmico superior y Triásico inferior (21)
- 2** Suroeste aluvial del Pérmico inferior a medio (21)
- 1** Difusa del Cámbrico y Ordovícico (21)

Los números entre paréntesis indican la extensión de las unidades cartográficas que pertenecen a esta categoría y están distribuidas en las unidades cartográficas.

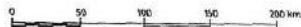
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERARIAS
 DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERARIAS
 DIVISION DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERARIAS
 MAPA GEOLOGICO DE LA ZONA DE PUERTO MALDONADO Y SU ALREDEDOR
 ESCALA 1:50,000
 1971

REFERENCIAS

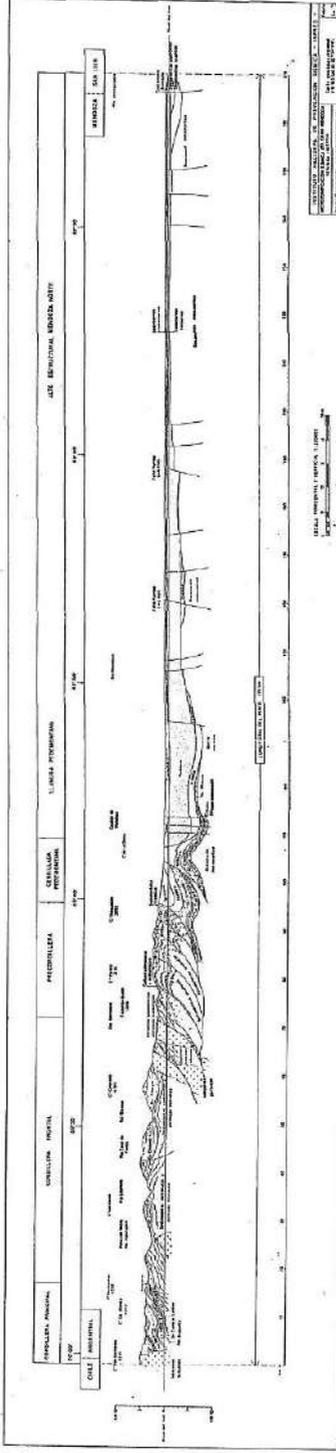
-  Sierras Pampeanas
-  Sistema del Famotino
-  Precordillera
-  Cerrillada Pedemontana
-  Cordillera Frontal
-  Cordillera Principal
-  Payenia
-  Sistema de la Sierra Pintada



ESCALA 1:2500000



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES		Mapa de provincias geológicas de la región cuyana.	Figura 4-2
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA			
Nafé-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL.			



СКОРОСТЬ РАСТУЩАЯ ОТ ПЕРЕКЛОНА ВЕРХНИЙ ЧАСТИ
 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОТ НИЖИ

ВЕЩА РАСТУЩАЯ ВЕРХНИЙ ЧАСТИ
 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОТ НИЖИ

5.0 FALLAS ACTIVAS EN LA REGION BAJO ESTUDIO.

5.1 Pautas para definir las fallas activas.

El término "falla activa" se emplea en este estudio para designar fallas, segmentos de fallas o sistemas de fallas a lo largo de los cuales se han producido desplazamientos relativos o ruptura de superficie, acompañados de terremotos moderados o intensos, durante el período Holoceno, es decir durante los últimos 10.000 años aproximadamente.

Las fallas activas son importantes para esta investigación por dos razones fundamentales: (1) son fuentes potenciales de terremotos destructivos; y (2) son fuentes potenciales de ruptura superficial. Dichas fallas incluyen aquellas con:

- 1) **Ruptura histórica**, basado en una correlación directa con un terremoto histórico, combinado con una cara o frente libre (en la escarpa) o una ladera detritica de superficie áspera; y
- 2) **Ruptura holocénica**, basado generalmente en escarpas que cortan todos los depósitos aluviales, excepto el aluvión moderno, con corte de la escarpa causado solamente por drenajes importantes.

En dichas fallas el intervalo de recurrencia entre los terremotos máximos ha sido calculado utilizando las técnicas que se describen más adelante.

La estimación de la magnitud del terremoto potencial máximo, para cada una de estas fuentes sísmicas, se realiza utilizando diversos indicadores tales como: cantidad y sentido del desplazamiento experimentado por cada falla, observable en las trincheras excavadas durante esta investigación; altura y longitud de la escarpa; número y altura de las terrazas fluviales y longitud de falla.

Existen anomalías en los registros geológicos y sismológicos recientes que es necesario considerar al evaluar el terremoto potencial máximo y el intervalo de recurrencia de este terremoto, para cada falla. Una de esas anomalías se debe a que han sido observadas muy pocas rupturas en superficie después de los mayores terremotos superficiales que ocurrieron en la región en los últimos años. Otra está constituida por la preservación de la morfología de la escarpa y la proporción de degradación de la misma, en la región bajo estudio. La tercera anomalía es la aparente periodicidad en los registros de sismicidad histórica. De acuerdo con los datos disponibles, la actividad sísmica ha sido más elevada en los últimos 130 años que en los anteriores 300 años.

5.2 Método de estudio.

La metodología usada para el estudio de las fallas activas incluye cinco pasos: revisión de la literatura disponible, interpretación de información obtenida por sensores remotos, reconocimiento aéreo, comprobaciones de campo y excavación de trincheras. La literatura disponible referente al marco geológico-tectónico de esta región se detalla en el índice bibliográfico.

La interpretación de la información obtenida por sensores remotos comprendió el análisis de mosaicos formados por imágenes satelitarias LANDSAT de falso color (bandas MSS 4, 5 y 7) en escalas 1:1.000.000 y 1:250.000 y el estereoenálisis de pares de fotografías aéreas convencionales seleccionadas, en color y en blanco y negro, en escalas variables desde 1:5.000 hasta 1:30.000.

Se realizaron vuelos de reconocimiento utilizando aviones y helicópteros, con tres objetivos principales: a) establecer la continuidad y dimensiones de las estructuras de interés, b) tomar fotografías de bajo ángulo de iluminación solar y c) llegar a zonas sin acceso por vía carretera.

Se llevaron a cabo numerosos estudios en el terreno, en localidades seleccionadas a lo largo de todas las fuentes sísmicas potenciales. Estos estudios estuvieron orientados a lograr estimaciones de los parámetros de las fallas, en base a la morfología de las escarpas y al mismo tiempo a elegir los lugares más apropiados para la excavación de las trincheras. Como parte de estos estudios se realizaron 26 perfiles topográficos y se excavaron 22 trincheras. En la figura 5-1 se muestra la ubicación de los perfiles topográficos, mientras que en la figura 5-2 se presentan las fallas que se localizan en los alrededores del Gran Mendoza y la ubicación de las trincheras excavadas. Asimismo, en las figuras 5-3 y 5-4 se muestran ejemplos de un perfil topográfico y una trinchera, respectivamente.

5.3 Características principales de las fallas activas investigadas

5.3.1 Falla del Melocotón.

La falla del Melocotón se ubica cerca de la base de la Precordillera, a unos 15 km al suroeste de la ciudad de Mendoza, y a unos 8 km al este del cerro Melocotón. Tiene rumbo norte-sur con una leve desviación al SSO, observándose esta falla a lo largo de 9 km en el campo y en fotos aéreas. Es del tipo inversa, de bajo ángulo con buzamiento

al oeste. Se caracteriza por una larga escarpa con frente al este, en materiales aluviales interpretados como del cuaternario tardío, probablemente holoceno.

Una trinchera excavada a través de esta falla puso en evidencia rupturas con buzamiento al este que desplazan tobas y lavaduras de talud sobre un limo gris no consolidado. La cantidad total de fallamiento en el interior de la trinchera resultó ser de 3 a 4 metros. Esta falla se interpreta como de edad holocena, teniendo en cuenta la falta de cementación y la naturaleza suelta del limo acumulado debajo de la falla.

5.3.2 Fallas del Cerro de La Gloria y del Cerro del Cristo.

Este sistema de fallamiento ubicado en el límite oeste de la ciudad de Mendoza, fue identificado a lo largo de los flancos oeste de los cerros de La Gloria y del Cristo. Está formado por pares de fallas de rumbo entre N-S y NNE-SSO, separados entre 500 m y 1 km, extendiéndose a lo largo de unos 15 km. Son fallas paralelas a la Cerrillada Pedemontada, inversas, algunas de alto y otras de bajo ángulo en superficie. Presentan sus planos buzando al este, con labio hundido al oeste, desplazando estratos del cuaternario superior.

Una trinchera expuesta a lo largo de un corte o desmonte por donde va la ruta, en el flanco sudoeste del Cerro de La Gloria, reveló la presencia de la Formación Mogotes, inclinada y fallada respecto a los limos horizontales del cuaternario superior. El ángulo es casi vertical, ya que se determinó un valor de 76°. En esta zona la altura de escarpa comprobada, es de aproximadamente 2 metros, mientras que el desplazamiento medido en la trinchera varía entre 0,50 y 0,70 m.

Otra trinchera expuesta a lo largo de la base de un arroyo seco, en el flanco sur del Cerro del Cristo, mostró una relación geológica similar a la anterior, al igual que ocurrió en otras dos trincheras excavadas sobre un camino al sur del Cerro de La Gloria.

5.3.3 Falla del Cerro de La Cal.

Esta falla tiene rumbo N-S, extendiéndose hacia el norte a partir del límite del Departamento Las Heras con Capital, por unos 9 km, para luego deflexionar al NNO hasta pasar el Cerro de la Cal. La longitud total comprobada es de unos 30 km. La falla se presenta en superficie mostrando una escarpa con frente hacia el este y buzamiento 40° a 50° oeste, en aluvión casi moderno. La altura de la escarpa tiene un promedio de 2 a 3 m.

Las cuatro trincheras excavadas sobre esta falla revelaron fallamiento joven, encontrándose desplazamientos variables entre 0,30 y 0,60 m, corroborado con los perfiles

topográficos medidos a través de su escarpa.

Los quiebres de pendiente dentro de la ciudad, coincidentes con el trazado de la calle Perú, que se analizan en la sección siguiente, hacen suponer una continuación de esta falla en el interior de la propia ciudad capital.

5.3.4 Rupturas de pendiente dentro de la Ciudad de Mendoza.

Se han identificado varios quiebres de pendiente, lineales y continuos, dentro de la zona central y norte del Gran Mendoza, los que a su vez coinciden, generalmente, con el trazado de obras de ingeniería tales como canales de irrigación y vías del ferrocarril. Dos de estos quiebres fueron estudiados detalladamente para este proyecto: el que corre a lo largo de la calle Perú y el que tiene traza coincidente con la calle Boulogne Sur Mer.

a) Calle Perú.

La ruptura lineal de pendiente a lo largo de la calle Perú sigue el alineamiento general de las vías de ferrocarril, a través de los sectores central y norte del Gran Mendoza. Tanto los perfiles topográficos ejecutados sobre este alineamiento, como el perfil del subsuelo realizado como parte de las tareas descritas en el Capítulo 8, muestran consistencia, lo que permite interpretarlo, en una primera aproximación, como una escarpa de falla con frente al este que ha sido modificada principalmente por las labores de desarrollo de la ciudad. No fue posible excavar trincheras en esta zona por la infraestructura ferroviaria y vial existente. Sin embargo, es importante señalar nuevamente que la traza del quiebre de pendiente se alinea, hacia el norte, con la falla del Cerro de La Cal.

Con base en la información disponible se ha interpretado a la línea de ruptura de pendiente coincidente con la calle Perú, como la continuación hacia el sur de la falla del Cerro de La Cal y, en consecuencia, se la considera como una fuente sísmica localizada en el interior del Gran Mendoza.

b) Calle Boulogne Sur Mer.

Un pronunciado quiebre de pendiente se extiende en el sector oeste de la ciudad de Mendoza, a lo largo de la calle Boulogne Sur Mer. Este quiebre tiene, en muchos aspectos, similitud con el de la calle Perú. Por su importancia se excavaron trincheras en su parte norte y central, con el objeto de investigar si el mismo está relacionado con una falla activa. Sin embargo, la presencia de calles pavimentadas, casas, bocas de tormenta y un importante canal (Jarillal) limitaron considerablemente la ubicación y longitud de

dichas trincheras, con el resultado que ninguna de ellas consiguió atravesar en forma continua este rasgo lineal. Además, los perfiles topográficos realizados se midieron sobre líneas coincidentes con las calles de la ciudad, las que pudieron haber sufrido alteraciones durante su construcción. Ninguna de las trincheras reveló evidencias de fallamiento.

Por otra parte, los perfiles topográficos realizados sobre este alineamiento muestran resultados inconsistentes comparados con los efectuados sobre la calle Perú y sobre las escarpas de fallas conocidas en los alrededores del Gran Mendoza.

En consecuencia, haciendo la salvedad que los datos obtenidos no son concluyentes por la imposibilidad de excavar trincheras continuas a través de este alineamiento, el peso de las evidencias actualmente disponibles sugiere que el quiebre de pendiente a lo largo de la calle Boulogne Sur Mer no se origina en fallamiento activo.

5.3.5 Plegamientos y fallas de Barrancas

Al sudeste del Gran Mendoza se alinean una serie de anticlinales con rumbo prácticamente N-S. Uno de ellos, llamado Anticlinal de Barrancas, se localiza inmediatamente al sur del río Mendoza y aparece asociado a fallamiento activo.

Estos anticlinales muestran rasgos modernos (probablemente estén todavía en desarrollo), como limos no consolidados que lucen combados y deformados a lo largo del flanco este del pliegue. Los pliegues son asimétricos, con el lado este buzando en forma más pronunciada que el oeste.

a) Falla de Barrancas Este

Una falla ubicada en el flanco este del Anticlinal de Barrancas, a unos 5 km al sur del río Mendoza, aparece como de activación reciente, representando probablemente la expresión superficial del fallamiento que ocurrió durante el terremoto del 20 de marzo de 1861, que destruyó casi la totalidad de lo que hoy es el Gran Mendoza. Se extiende a lo largo de unos 4 km visibles en el campo y en fotos aéreas, con rumbo NO-SE y trazo curvo. Es una falla inversa, de alto ángulo, buzante al NE, con altura de escarpa de alrededor de 1,20 m. La trinchera excavada a través de su escarpa reveló la presencia de tres fallas individuales, cada una de las cuales corta estratos de diferentes edades, sugiriendo que las fallas han sido recurrentemente activas, por lo menos para tres eventos de fallamiento superficial, durante el intervalo de tiempo de depositación de los limos allí presentes. El desplazamiento medio comprobado es de 0,60 m.

Una muestra de carbón obtenida en la trinchera y otra recolectada en un

afloramiento cercano fueron datadas con los resultados que se presentan en otra sección.

b) Falla de Barrancas Oeste

Un reconocimiento terrestre realizado en el flanco oeste del Anticlinal de Barrancas reveló la presencia de una escarpa en aluvión, que se extiende alrededor de 9 km con rumbo N-S, según observaciones de campo, fotos aéreas e imágenes satelitarias. En base a los resultados de los perfiles topográficos y la trinchera realizados sobre dicha escarpa, e información sísmica, se infiere la presencia de una falla inversa de ángulo decreciente en profundidad, con plano buzante al este y labio hundido al oeste.

Por todo ello se llega a la conclusión que la estructura total del anticlinal debe considerarse como una fuente sísmica única, a efectos de la evaluación del riesgo sísmico.

5.3.6 Falla de Salagasta-Los Cerrillos

Está localizada al norte del Gran Mendoza, comenzando en las proximidades del extremo norte de la falla del Cerro de La Cal, presentando rumbo noreste. Es un sistema de fallas buzante al oeste, con un muy alto ángulo de buzamiento en superficie. Su expresión longitudinal en el cuaternario es visible en un tramo de alrededor de 400 km y no se descarta su relación con el sistema de deformación Borbollón-Capdevila o, eventualmente, con el del Cerro de La Cal. Fue analizada mediante trincheras que se excavaron a través de la escarpa en aluvión moderno, donde se comprobaron desplazamientos medios de 0,30 m.

5.4 Otras fuentes sísmicas

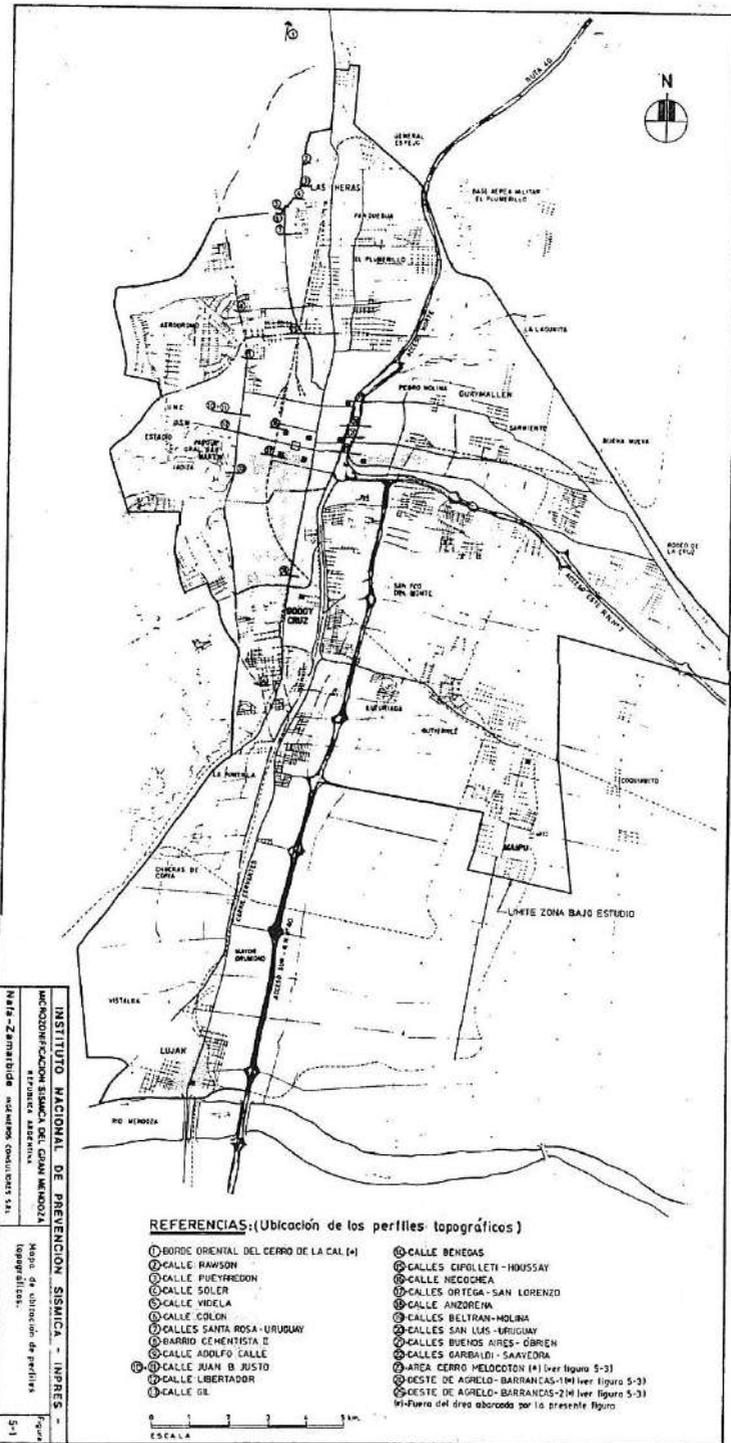
Dentro de la región bajo estudio, pero a mayores distancias del Gran Mendoza, se identificaron otras estructuras que no tienen la misma importancia que las anteriores, teniendo en cuenta los objetivos de este estudio. Aquí se incluyen la falla de La Mariposa, ubicada al noroeste del Gran Mendoza; los pliegues y fallas asociadas que se localizan en el área de Tupungato, consideradas fuentes sísmicas similares a las del Anticlinal de Barrancas y, finalmente, la Zona de Benioff, a considerable profundidad debajo del Gran Mendoza.

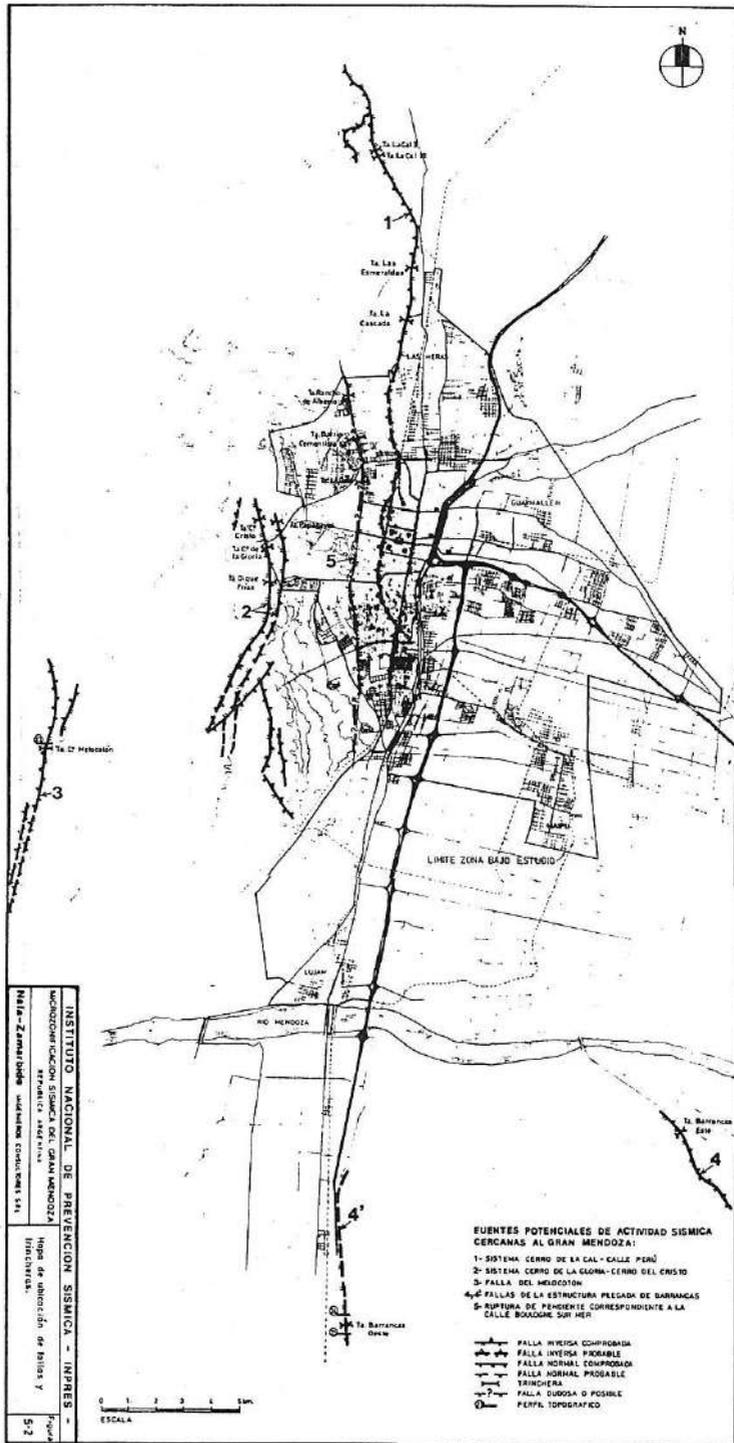
5.5 Modelo tectónico

Con los resultados obtenidos en las trincheras excavadas en las zonas de Barrancas este y Agrelo, se ha preparado la figura 5- 5, donde se muestra cómo las fallas investigadas en tales trincheras modifican la interpretación estructural de la zona de Barrancas dada a conocer por Yacimientos Petrolíferos Fiscales, en una publicación sobre las cuencas sedimentarias productoras de petróleo en la Argentina.

En la parte superior de dicha figura se presenta la interpretación estructural realizada por geólogos de dicha empresa. En la parte inferior se indican las modificaciones introducidas por la falla de Agrelo y la prolongación al sur de la de Barrancas este. La primera de dichas fracturas se interpretó como vertical, de acuerdo con las ideas de Polanski (1963). Pero no puede descartarse que sea una falla inversa de tipo lístrico, antitética de la que limita por el este a la estructura de Barrancas.

De acuerdo con las ideas actualmente vigentes sobre la estructura de la Precordillera y de la Cerrillada Pedemontana, tal falla debe tender a horizontalizar su plano en profundidad, como resultado del tectonismo compresivo andino.

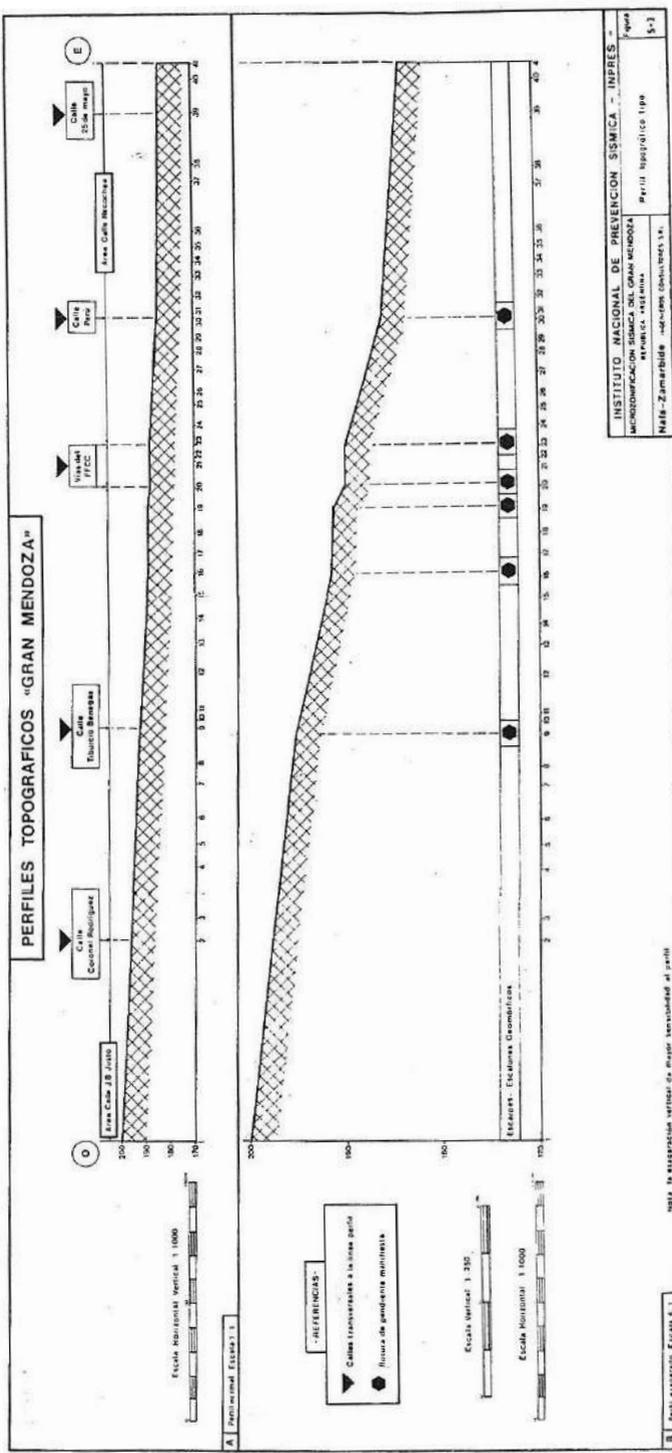




INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES
 COMISIÓN NACIONAL SISMICA DE AMBATO
 Calle - Zamañón - 140 metros construcciones
 Mapa de ubicación de fallas y trincheras.
 5/2

- FUENTES POTENCIALES DE ACTIVIDAD SISMICA CERCANAS AL CIUDAD DE MÉXICO:**
- 1- SISTEMA CERRO DE LA CAL - CALLE PEÓN
 - 2- SISTEMA CERRO DE LA GLORIA - CERRO DEL CRISTO
 - 3- FALLA DEL MEDCOTON
 - 4- FALLAS DE LA ESTRUCTURA PREGADA DE BARRANCAS
 - 5- SISTEMA DE FALLEMIENTO CORRESPONDIENTE A LA CALLE BOULOGNE SUR MER
- PALLA INVERTIDA CONJUGADA
 PALLA INVERTIDA POSIBLE
 PALLA NORMAL COMPROMISO
 PALLA NORMAL PROBABLE
 TRINCHERA
 PALLA DUDOSA O POSIBLE
 PERFA TOPOGRAFICO

0 1 2 3 4 5 KM
 ESCALA



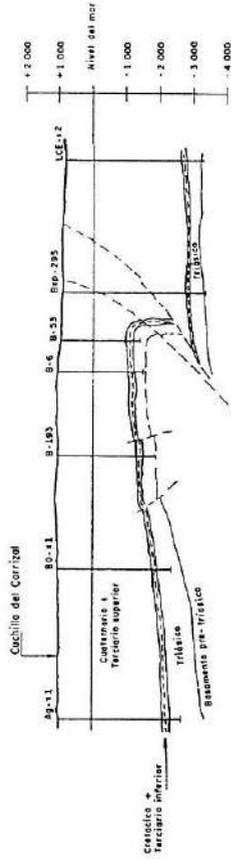
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA - INPRES -
 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL GRAN MENDOZA
 en Población Urbana
 N° 18 - Zamaribia - de los Andes S.A. S.R.L.

Perfil topográfico tipo
 1-3

W

Anticlinal de Barrancas

E



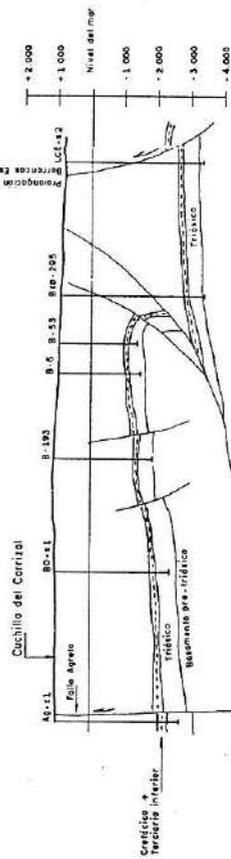
Ubicación del corte:
10 km. al sur del rio Mendoza entre longitudes: 68° 43' W y 68° 54' W.

1. Interpretación dada o conocer por YPF en publicaciones.

W

Anticlinal de Barrancas

E



2. Interpretación modificada por los resultados de las trincheras Barrancas Este y Agrelo.



Escala horizontal y vertical: 1: 100.000
Escala gráfica:

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Figura 5-5
Nafe-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.A.		Reinterpretación estructural del Anticlinal de Barrancas

6.0 SISMICIDAD REGIONAL

La historia sísmica en la región del Gran Mendoza, aunque sólo tiene unos pocos siglos de extensión, provee importante información que puede usarse para completar la obtenida de los estudios geológicos de terremotos más antiguos y mejorar la caracterización de las fuentes sísmicas potenciales.

6.1 Sismicidad del Oeste Argentino

El catálogo histórico de actividad sísmica preparado para este proyecto se integró con datos de dos fuentes. La primera y más importante es el catálogo SISRA para la República Argentina, que contiene toda la información histórica e instrumental disponible a nivel mundial. Este catálogo constituye una gran contribución a los esfuerzos internacionales para la compilación de la actividad sísmica histórica en toda Sud América y contó para su elaboración con la participación de los países miembros de CERESIS. Este catálogo condensa los datos de todos los grandes centros internacionales.

La otra fuente es el conjunto de los resultados de dos estudios especiales realizados por el INPRES. En el primero de ellos se localizaron las réplicas más importantes del terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985 mediante el uso de instrumental portátil ubicado en las cercanías del epicentro. El segundo estudio se llevó a cabo entre enero y agosto de 1987 y consistió en el monitoreo de la microsismicidad regional, con instrumental portátil emplazado en los alrededores del Gran Mendoza.

Como ejemplo, de la información disponible en el catálogo, se presenta en las figuras 6-1 y 6-2, la actividad sísmica para profundidades menores de 50 km, expresada en forma de mapa y perfil respectivamente.

6.2 Análisis de los terremotos más importantes que afectaron al Gran Mendoza.

Con el objeto de analizar los efectos producidos por los principales terremotos que afectaron al Gran Mendoza, se investigaron varios documentos históricos, especialmente los existentes en la biblioteca de la Junta de Estudios Históricos de Mendoza. A tal fin se estudiaron detalladamente los terremotos cuyos parámetros principales se presentan en la tabla 6-1.

Tabla 6-1

Parámetros principales de los terremotos más importantes que afectaron al Gran Mendoza.

Fecha			Coordenadas hipocentrales			Magnitud Ms	Imax. M.M.
Día	Mes	Año	Lat.(S)	Long.(W)	H (km)		
22	05	1782	33,0	69,2	30	7,0	VIII
20	03	1861	32,9	68,9	30	7,0	IX
19	08	1880	---	---	---	---	VII
12	08	1903	32,1	69,1	70	6,0	VIII
27	07	1917	32,3	68,9	50	6,5	VII
17	12	1920	32,7	68,4	40	6,0	VIII
14	04	1927	32,5	69,5	110	7,5	VIII
26	01	1985	33,1	68,8	12	5,4	VIII

6.3 Interpretación de la sismicidad regional

Se ha encontrado que el fallamiento activo regional dentro de la zona bajo estudio tiene, generalmente, rumbo norte-sur y se presenta desde la longitud de la ciudad de Mendoza hacia el oeste, en el interior de la cordillera. El esquema de la actividad sísmica superficial corresponde a este esquema regional. No se observan alineamientos claros tanto en el mapa como en el perfil transversal, lo que, teniendo en cuenta los ejemplos de otros terremotos ocurridos en zonas de similares características sismotectónicas, se puede explicar en los siguientes términos:

- 1 - El fallamiento de la región es de tipo inverso, con buzamiento moderado al oeste. La actividad sísmica asociada a tales fallas debería exhibir un esquema altamente disperso en su proyección horizontal, no esperándose lineamientos nítidos en las áreas caracterizadas por esta clase de fallamiento.

- 2 - Las distribuciones focales para fallas inversas no forman, generalmente, distribuciones planas en profundidad. Más bien los eventos sísmicos aparecen ocurriendo sobre varias fallas secundarias que rodean al epicentro del terremoto principal, por lo que no debería esperarse detectar distribuciones planas de eventos bien definidas en los perfiles transversales.
- 3 - La precisión en los cálculos para la determinación de la profundidad focal en la región del Gran Mendoza no es lo suficientemente grande como para definir alineamientos planos, aunque estos existieran. Sin embargo, las determinaciones realizadas con la red transitoria del INPRES en los estudios de microsismicidad, constituyen, por su precisión, una excepción a esta regla.

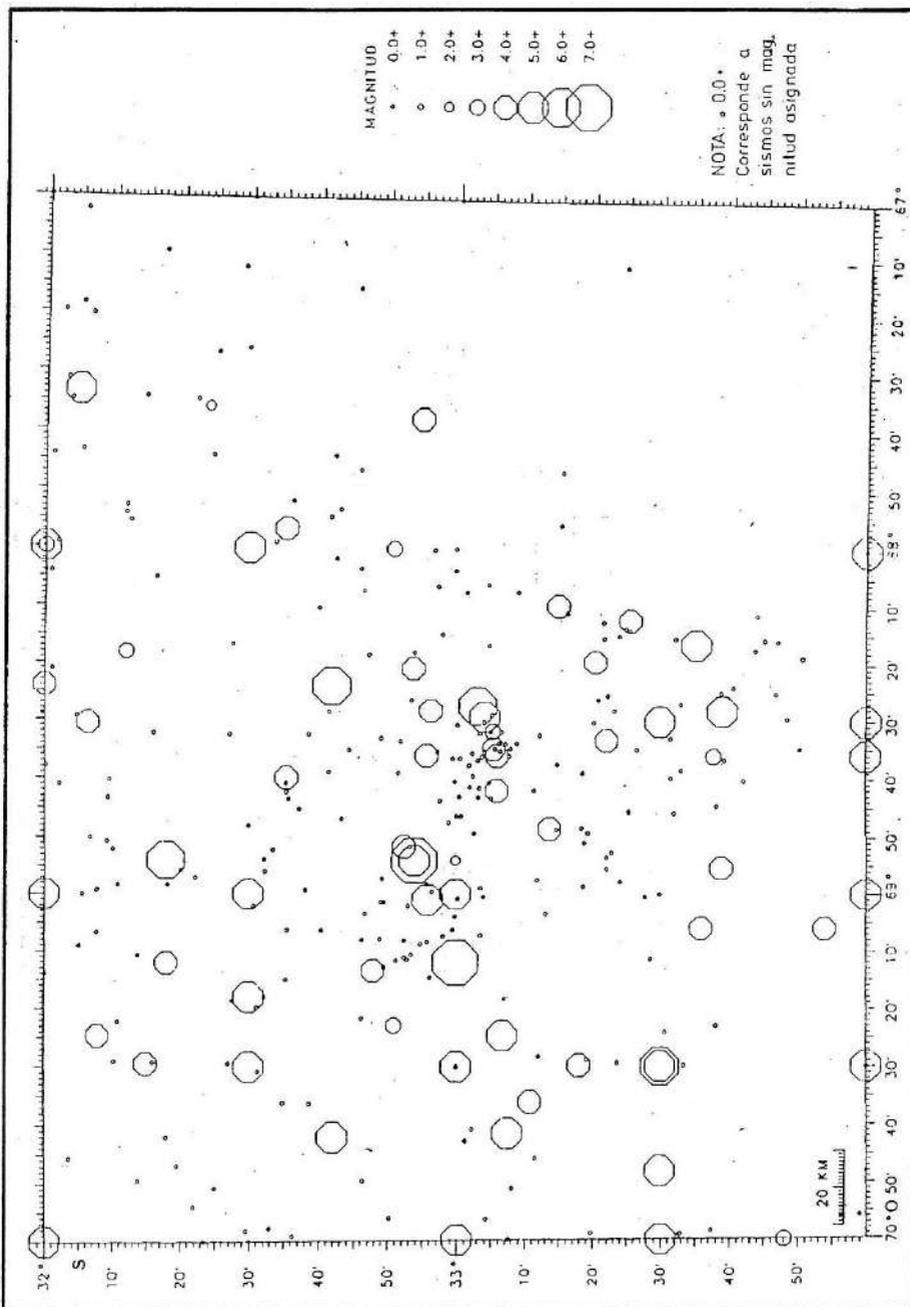
El sector oeste de la región estudiada es más activo que el este. El perfil transversal también ofrece buena evidencia de que la profundidad de transición, dentro de la región del Gran Mendoza, entre la deformación frágil y el comportamiento dúctil se localiza entre los 30 y 40 kilómetros, con preferencia por los 30 kilómetros. Estudios realizados en otras zonas sugieren que la mayor profundidad de ruptura sísmica en grandes terremotos, no llega a las profundidades que alcanzan algunos microsismos aislados.

El terremoto de Mendoza de 1985 tuvo un mecanismo focal puramente compresional, encontrándose su epicentro en las proximidades del anticlinal de Barrancas (INPRES, 1985), en el mismo sector donde se habría ubicado el gran terremoto de 1861. El esquema de distribución epicentral de las réplicas no muestra planos claramente definidos sino más bien una especie de nube de hipocentros, lo que se asemeja a las secuencias de réplicas de los terremotos de Whittier y de Coalinga (California). La réplica más superficial se encuentra a 5 km de profundidad, mientras que la más profunda está a 30 km. Esto sugiere que el fallamiento asociado al Anticlinal de Barrancas no es sismogénico arriba de los 5 km, debido posiblemente a la rigidez relativamente baja de las rocas y al régimen tensional de esfuerzos producido por el pliegue del anticlinal.

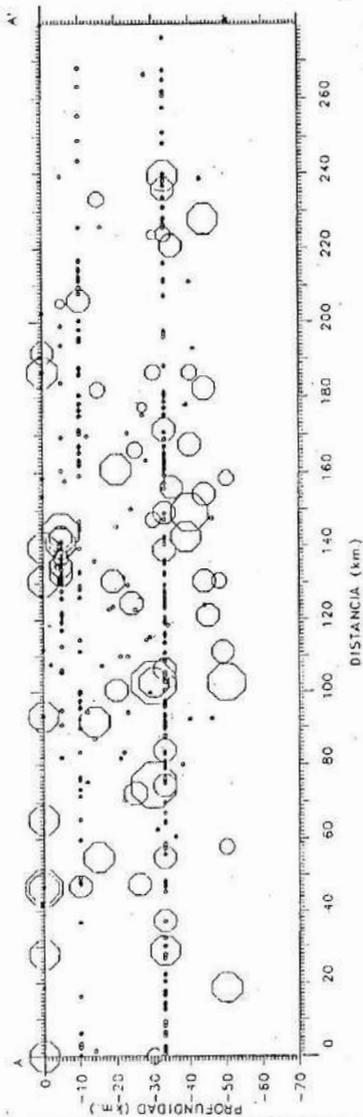
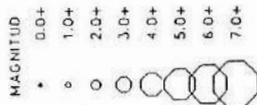
La zona de transición frágil-dúctil, a 30 km de profundidad, es consistente con los datos de microsismicidad regional. La interpretación que surge del análisis de todos estos datos y que será usada en el análisis del peligro sísmico, es que la fuente del terremoto de Mendoza es un corrimiento en profundidad, localizado debajo del Anticlinal de Barrancas.

6.4 Sismicidad de la zona de Benioff

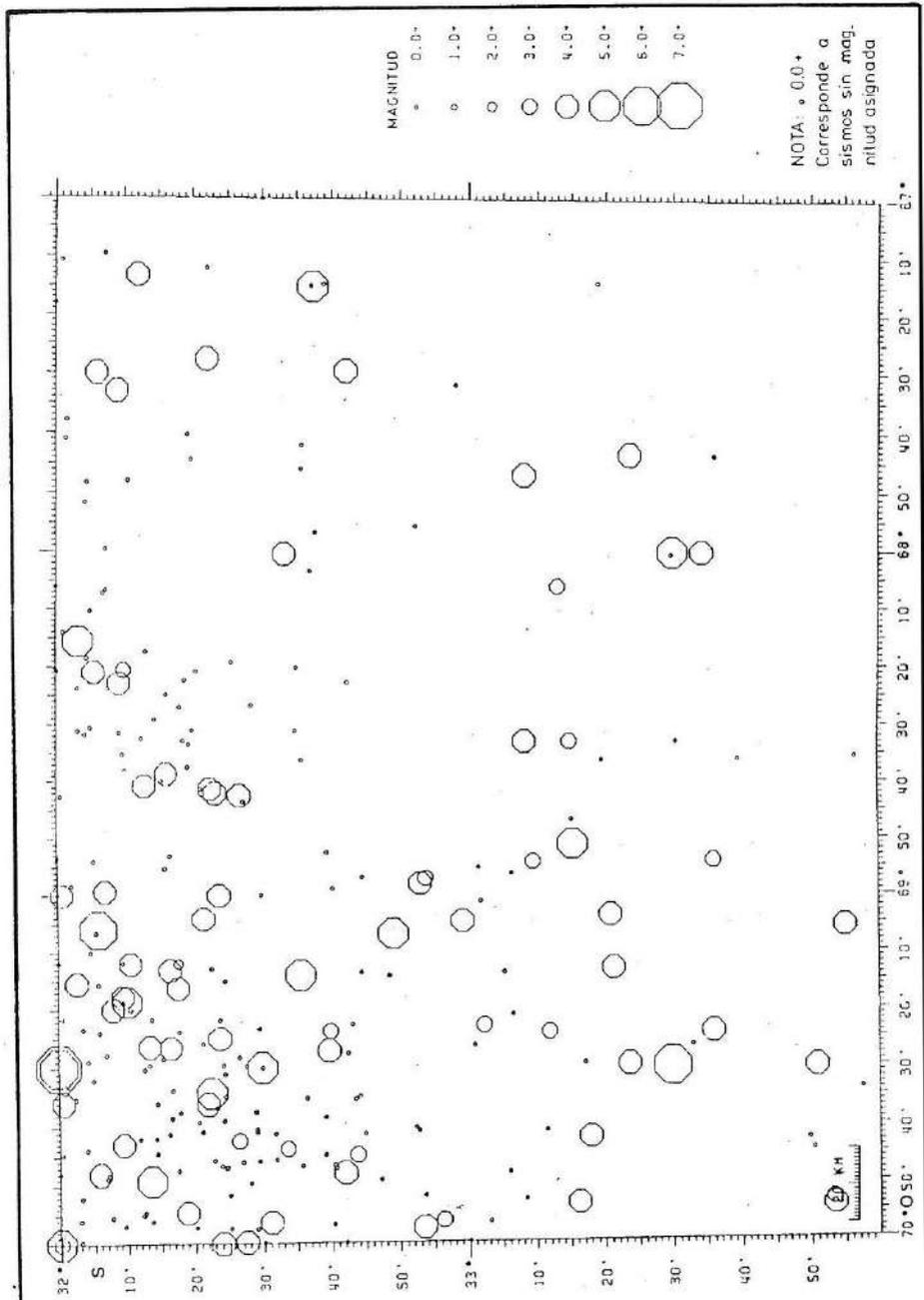
En la figura 6-3 se presentan mapeados los hipocentros de los sismos más profundos. Estos eventos, de acuerdo con lo expresado anteriormente, están asociados con deformaciones que se producen tanto en el interior como en la parte superior de la Placa de Nazca, en su movimiento de subducción hacia el este. La zona de actividad sísmica más cercana al Gran Mendoza se localiza a unos 100 km de profundidad.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Distribución de epicentros con profundidades < de 50 km.
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		Figura 6-1



NOTA: • 0.0+
Corresponde a sismos
sin magnitud asignada



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Distribución de epicentros con profundidades > de 50 km.	Figura 6-3
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

7.0 FUENTES SÍSMICAS POTENCIALES.

7.1 Potencialidad sísmica.

Del análisis de la información geológica y sismológica obtenida en este estudio, se han identificado ocho fuentes sísmicas potenciales que pueden afectar al Gran Mendoza, las que se presentan en la Tabla 7-1, junto con los valores de las correspondientes magnitudes máximas estimadas y sus respectivos intervalos de recurrencia.

Tabla 7-1

Características de las Fuentes Sísmicas Potenciales en el Área del Gran Mendoza

Nombre de la Fuente	Magnitud Máxima (Ms)	Recurrencia (años)
1 - Cerro de La Cal - Calle Perú	6 3/4	1.300
(Cerro de La Gloria)	6 1/2	12.500
(Cerro El Cristo)	6 1/2	12.500
2 - Salagasta - Los Cerrillos	7 1/2	5.000
(Mariposa)		50.000
3 - Barrancas	7	630
4 - Melocotón	7	19.000
5 - Tupungato	7 1/4	1.000
6 - Cordillera Frontal	7 3/4	5.000
7 - Noreste de Mendoza (Fallas menores sin expresión superficial)	6	210 años / 1000 km ²
8 - Zona de Benioff	7 1/2	15.000 años / 1000 km ²

Para estimar las magnitudes máximas se utilizaron las siguientes relaciones paramétricas sobre fallas existentes:

- 1 - Slemmons, 1982 (SL82): longitud de ruptura de falla versus magnitud, para fallas inversas

$$M_s = 2,021 + 1,142 \log L \text{ (en metros)}$$

- 2 - Slemmons, 1988 (SL88): longitud de ruptura de falla versus magnitud, para fallas directas en ambiente contraccional.

$$M_s = 5,1 + 1,29 \log L \text{ (en km)}$$

- 3 - Bonilla, 1984 (BO84): longitud de ruptura de falla versus magnitud, para fallas inversas

$$M_s = 5,71 + 0,916 \log L \text{ (en km)}$$

- 4 - Wyss, 1979 (WY79): área de falla versus magnitud

$$M_s = 4,15 + \log A \text{ (en km}^2\text{)}$$

Para el método de la superficie de falla (WY79) se asumió una corteza sismogénica de 30 km de profundidad, tomando como base la distribución de réplicas del terremoto de Mendoza de 1985 y del de Caucete de 1977. Se adoptó un buzamiento de los planos de falla de 60 grados.

7.2 Caracterización de las fuentes sismogénicas.

7.2.1 Falla del Cerro de La Cal-Calle Perú.

La longitud total de la expresión superficial de esta falla es de 30 km, mostrando una escarpa de edad holocena en su mayor parte. En base a la expresión geomórfica y al número de desplazamientos identificados en las trincheras excavadas a través de la escarpa, se clasifica a esta falla como de edad holocena media (aproximadamente 4.000 años), asociándose, por lo menos, con tres desplazamientos en superficie durante ese lapso.

Teniendo en cuenta su expresión geomórfica se subdividió esta falla en dos

segmentos: uno norte de 20 km de longitud y otro sur de 10 km, seleccionándose como magnitud máxima $M_s = 6 \frac{3}{4}$.

Las fallas localizadas en el sector oeste del Gran Mendoza, en las proximidades del Cerro de La Gloria y del Cerro del Cristo, han sido interpretadas como fallas separadas en superficie, posiblemente unidas con otras fallas en profundidad. Estas fallas tienen longitudes máximas del orden de 15 a 20 km cada una. Se asumió, a falta de mayor información, que la mitad de sus longitudes totales pueden fracturarse durante un solo evento sísmico, seleccionándose como magnitud máxima $M_s = 6 \frac{1}{2}$.

7.2.2 Falla de Salagasta - Los Cerrillos.

Este sistema de fallas, ubicado en la parte norte del área bajo estudio, tiene una longitud total de 85 km. Se identificaron, como mínimo, dos eventos de fallamiento superficial durante los últimos 10.000 años, dando como resultado recurrencias estimadas de 5.000 años.

Para la Falla Mariposa se estimó un intervalo de recurrencia de 50.000 años entre eventos sísmicos con fallamiento superficial, en base a su expresión prominente y a la falta de escarpas del cuaternario superior en aluvión. Teniendo en cuenta el propósito de este informe se considera a la Falla Mariposa estructuralmente relacionada con la Falla de Salagasta y se interpreta como parte de la misma fuente sísmica que esta última. Se seleccionó un valor de magnitud máxima $M_s = 7 \frac{1}{2}$. El segmento sur tiene 45 km de longitud, resultando valores de magnitud máxima muy similares a los anteriores y el mismo valor final.

7.2.3 Estructura plegada de Barrancas.

El sistema de anticlinales que se inicia en Barrancas se extiende al sur a lo largo de 120 km. El sector de Barrancas-Lunlunta tiene alrededor de 30 km y representa el segmento norte de todo el conjunto.

La datación realizada sobre una muestra de carbón obtenida en la trinchera excavada, próxima a los limos fallados, arrojó una edad de 1.890 años. Además, la trinchera permitió comprobar que tales limos habían sido fallados por lo menos tres veces a lo largo de la falla de Barrancas Este. Con base en la información precedente, se estima para esta falla en 630 años el intervalo de recurrencia entre eventos sísmicos con fallamiento superficial, con magnitud máxima $M_s = 7.0$.

7.2.4 Falla del Melocotón.

Esta falla tiene 40 km de longitud, pero la parte joven de la escarpa está limitada a aproximadamente 15 km del total. La trinchera que se excavó a través de la escarpa, reveló la existencia de una importante falla inversa que desplazó una unidad del basamento alrededor de 2,60 metros sobre una acumulación de limos eólicos no consolidados. En estos limos se descubrieron restos de gasterópodos que se recolectaron para su datación, resultando una edad de 38.000 años.

De acuerdo con lo expuesto en 5.3.1, la falta de cementación y la naturaleza del limo acumulado en el labio hundido de la falla, llevó a los expertos a cargo de esta tarea, a estimar una posible antigüedad alternativa de 4.000 años para los dos movimientos observados. Esta última alternativa se considerará en un análisis adicional de sensibilidad.

Se seleccionó para el análisis un valor de magnitud máxima $M_s = 7.0$.

7.2.5 Estructura plegada de Tupungato.

El sistema de plegamientos que se extiende a través del área de Tupungato es similar, en lo concerniente a rumbo y estilo estructural, a la estructura plegada de Barrancas, estimándose en 1.000 años el período de recurrencia entre eventos sísmicos con fallamiento superficial.

La longitud total de esta estructura es de alrededor de 80 km y, en base a la geometría del sistema, se la divide en dos segmentos: uno norte de 45 km y otro sur de 35 km. Para cada segmento se adoptó un valor de magnitud máxima $M_s = 7 \frac{1}{4}$.

7.2.6 Cordillera Frontal.

Tiene una longitud total de 250 km. Aunque no se realizó un estudio detallado de segmentación de la falla a lo largo del frente montañoso, se juzgó razonable adoptar 100 km para cada segmento, resultando una magnitud máxima $M_s = 7 \frac{3}{4}$.

Debido a la naturaleza errática del fallamiento aparentemente joven de la Cordillera Frontal se consideró a esta falla como de edad holocena, con un intervalo de recurrencia promedio de 5.000 años entre eventos con ruptura superficial.

7.2.7 Fallas menores del subsuelo en el noreste de Mendoza.

A pesar de haberse registrado actividad sísmica menor en la región este-no-

reste de Mendoza, no se conoce de la ocurrencia de terremotos de magnitud $M_s = 6,5$ o mayor ni tampoco se ha observado deformación cuaternaria significativa. En ausencia de tales indicadores de fuentes sísmicas potenciales se decidió asumir una fuente sísmica aleatoria de máxima magnitud $M_s = 5,5$ a $6,0$.

7.2.8 Zona de Benioff.

Se localiza a 100 km de profundidad respecto del Gran Mendoza. Los registros de actividad sísmica histórica para esta zona exhiben eventos de magnitud $M_s = 7$ a $7 \frac{1}{2}$. Por lo tanto se adoptó un terremoto potencial máximo de $M_s = 7 \frac{1}{2}$ ubicado a 100 km debajo del Gran Mendoza.

8.0 CONDICIONES LOCALES Y RESPUESTA DEL SUELO.

8.1 Configuración fisiográfica del área bajo estudio.

Como se aprecia en la figura 8-1, el área bajo estudio, se extiende sobre tres unidades geológicas diferentes: el cono aluvial de Maipú, la planicie aluvial de transición y el piedemonte mendocino.

El cono aluvial ha sido formado por el río Mendoza y se presenta muy interaccionado por sedimentos del piedemonte, los que con sus bajadas aluvionales, producto de las torrenciales lluvias veraniegas, lo penetran de oeste a este, mediante numerosos ríos secos.

El Zanjón Guaymallén ha sido y es, el colector de las aguas de los ríos secos Sosa, Maure, Frías y Papagayos, además de un gran número de cursos menores que bajan del piedemonte. Este zanjón fué en la antigüedad, según el Dr. Pablo A. Loos, un brazo (o curso?) del río Mendoza. Dicho río presentó varios cursos en dirección noreste, comprendidos entre el Zanjón Guaymallén y el arroyo Leyes (G. Vitali, 1940), lo que se debió a que la actual cerrillada de Lunlunta se prolongaba en esa época muy al noreste, constituyendo un verdadero dique que desviaba las aguas del río Mendoza al norte, siguiendo cursos como los de los actuales arroyos El Sauce y Leyes, que pueden verse en la figura 8-1.

Por otra parte, esta cerrillada desviaba también hacia el sudeste las aguas del río Mendoza, haciéndolas tomar por la Cañada Grande y luego por el curso del arroyo El Carrizal, para desaguar en el río Tunuyán, que por esa época no se desviaba al este en Medrano, siguiendo al norte hasta Palmira, donde continuaba por el actual curso del río Mendoza. Es en esa época en la que se origina la gran llanura aluvial, denominada del Rosario por los citados autores, que se extiende al noreste de Mendoza, hasta confundirse con la llanura aluvial sureste del río San Juan. En resumen, el río Mendoza presentó, al salir al piedemonte luego de la quebrada de Cacheuta, dos brazos principales: uno que se dirigía al sureste según el actual curso del arroyo El Carrizal y que dió origen al cono de Agrelo; y otro, que en Luján se desviaba al noreste, siguiendo cursos comprendidos entre el Zanjón Guaymallén y el arroyo Leyes, que dió origen al cono aluvial de Maipú.

Posteriormente, siempre de acuerdo con el Ing. Vitali (1940), se produjo un hundimiento del sector noreste de la cerrillada de Lunlunta, que originó una mayor pendiente hacia el este, desviándose el río Mendoza hacia Palmira por su actual curso, dando origen al cono aluvial homónimo.

Por otra parte, este desvío del Mendoza hacia el este, represó las aguas del río Tunuyán en la zona de Palmira y Barriales, permitiendo que ellas desbordaran hacia el este por la Cañada de Moyano, originando así, el actual curso del Tunuyán.

Volviendo a las unidades morfológicas que quedan comprendidas en el área bajo estudio, se observa que todo su sector occidental se emplaza en el piedemonte mendocino, mientras que el cono aluvial de Maipú ocupa el sector sur y sureste del área bajo estudio, abarcando las zonas de Luján, Maipú, el sector este de Godoy Cruz y Guaymallén. Por último, la planicie aluvial de transición se desarrolla en el norte y noreste, comprendiendo a las zonas norte y noreste de Las Heras y norte de Guaymallén.

Esta zonificación geológica ha sido corroborada por inspecciones visuales de la zona, y además, por los perfiles estratigráficos obtenidos de los estudios de suelos y de las perforaciones para extracción de agua que han sido consultados y por las perforaciones y calicatas realizadas durante este estudio.

8.2 Perfiles Geotécnicos.

Para la determinación de la composición estratigráfica y características geotécnicas del área bajo estudio, se ha recurrido a la recopilación de antecedentes aportados por:

8.2.1 Perforaciones para extracción de agua.

Se investigaron y analizaron los datos existentes en el Departamento General de Irrigación, organismo oficial que controla y lleva el registro de todas las perforaciones realizadas en la provincia de Mendoza, tanto para la extracción de agua para regadío como para el abastecimiento de agua potable. Sobre unas 300 perforaciones consultadas, correspondientes a la zona en cuestión, se seleccionaron 164.

8.2.2 - Estudios de Suelos.

Se recopilaron antecedentes de estudios de suelos para obras públicas y privadas, que por la profundidad alcanzada, la adecuada técnica exploratoria utilizada y la ejecución de ensayos de penetración normal (SPT), brindaron información acorde a la finalidad de este trabajo.

8.2.3 Exploración geotécnica realizada.

Para completar la información anterior y precisar las características geotécnicas del área bajo estudio, se han investigado 1.020 m. de subsuelo, distribuidos de la siguiente manera:

- 517,00 m de exploración en pozos a cielo abierto, desarrollados entre 10 a 20 m de profundidad, en las zonas del piedemonte mendocino y del cono aluvial, donde el nivel del agua freática lo permitió.
- 411,00 m de exploración por sondeos manuales, por medio de inyección de lodo bentonítico, en 70 mm de diámetro, desarrolladas entre 10 y 20 m de profundidad, en la zona de la planicie de transición.
- 92,00 m de exploración por perforaciones mecánicas por rotación e inyección de lodo bentonítico, o por cuchareo, encamisadas en 150 mm de diámetro, desarrolladas entre 10 a 50 m de profundidad, en la zona de la planicie de transición (donde el grosor de los suelos no permitió el empleo de sondeos manuales e inyección de lodo bentonítico, o la cercana presencia del agua freática no permitió el desarrollo de pozos a cielo abierto).

En la figura 8-2, se indica en forma general la localización de cada uno de los pozos, sondeos y perforaciones, realizadas para la investigación geotécnica del subsuelo.

a) - Determinaciones de campo realizadas.

La ejecución de los pozos a cielo abierto, de los sondeos manuales por inyección de lodo bentonítico y de las perforaciones mecánicas encamisadas, permitieron:

- La determinación del perfil estratigráfico del subsuelo y la ubicación del nivel de las aguas freáticas, en los casos en que se lo alcanzó.
- La recuperación de muestras de los diferentes estratos de suelo encontrados, para la posterior ejecución sobre ellas, de los ensayos de laboratorio requeridos para su identificación y clasificación.
- La realización de ensayos de penetración normal (SPT) cada metro de avance en la exploración. Se empleó la sonda SPT en suelos finos (arenas, limos y arcillas), con camisa enteriza y tubos interiores de PVC para la recuperación de muestras;

en tanto se usó una sonda ciega de 60 e igual diámetro en la base en los suelos gruesos (gravas), donde se realizó la recuperación de muestras directamente del producto de la excavación en los pozos a cielo abierto y por cuchareo, en las perforaciones entubadas.

En los perfiles estratigráficos elaborados a partir de cada pozo, sondeo o perforación realizada, se grafica también la variación del valor N del ensayo de penetración normal con la profundidad, lo que puede observarse en las figuras 8-3, 8-4 y 8-5 para perfiles típicos de cono aluvial, sedimento pedemontano y planicie de transición.

b) Ensayos de Laboratorio.

Sobre las muestras recuperadas de pozos a cielo abierto, sondeos manuales y perforaciones entubadas, se han realizado los siguientes ensayos:

- Determinación de los límites de consistencia: límite líquido(LL), límite plástico (LP) y del índice plástico (IP).
- Determinación de la composición granulométrica por tamizado vía húmeda, sobre los tamices 3", 2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N4, N10, N40, N100 y N200, de la serie ASTM.
- Clasificación de Suelos por los Sistemas Unificado y HRB.
- Determinación del contenido de humedad natural (W_n) de las muestras.
- Determinación del peso volumétrico húmedo de algunas muestras típicas, recuperadas en los tubos de PVC que se dispuso interiormente en la sonda SPT, para a partir de él, descontando la humedad natural, determinar el peso volumétrico seco (γ_d) de las muestras.

8.3 Distribución y características de los sedimentos aluviales.

Como resulta típico en los conos aluviales, el material transportado por el río o por los cauces eventuales, resulta ser menos grueso a medida que nos alejamos de sus vértices. De forma tal que encontramos gravas gruesas, bochas y bloques de gran tamaño a la salida del río Mendoza por la quebrada de Cacheuta y en Luján, es decir, en la zona sudoeste del área bajo estudio. Esta misma situación también se presenta en las bajadas aluvionales del piedemonte occidental mendocino.

A medida que avanzamos, alejándonos del vértice del cono del río Mendoza, o de los conos pedemontanos, los sedimentos se vuelven más finos y consisten en grava, gravilla y arena, con una cubierta superficial de limos, arcillas y arenas finas, en espesores variables.

Al pie del cono aluvial del río Mendoza, en la zona noreste del área en estudio, aparece la planicie de transición hacia la llanura aluvial, donde comienzan a predominar los sedimentos finos, limos, arcillas y arenas finas, sobre las gravas y gravillas. Esta zona de transición, como es lógico, no está bien definida y se ubica, aproximadamente como se indica en la figura 8-6, de acuerdo con las evidencias topográficas y geológicas de superficie, el análisis de imágenes satelitales, las perforaciones para extracción de agua consultadas y las perforaciones realizadas durante el presente estudio.

Se ha preferido indicar este límite como una zona y no como una línea, por el erratismo en la aparición de lentes de arcillas y limos en profundidad, que indicarían el comienzo de la planicie, lo que a menudo no coincide con un cambio de pendiente en superficie, que también es un rasgo característico de ello.

La zona noroeste de Luján, oeste de Godoy Cruz, Capital y Las Heras, correspondientes al área estudiada, presentan las interacciones de los sedimentos aluviales pedemontanos del oeste, con los sedimentos del río Mendoza. Se distinguen netamente unos de otros, tanto por la forma de sus partículas como por su litología. Las partículas de las bochas, gravas y arenas del río Mendoza son subredondas a redondas, denotando mucho transporte, en tanto que los sedimentos pedemontanos son de partículas subangulosas.

En general, los resultados de los ensayos de penetración normal (SPT), muestran que la compacidad de los sedimentos aluviales existentes en la zona, varía de suelta a densa, como se describe a continuación:

- Los sedimentos granulares gruesos del cono del río Mendoza, que aparecen superficialmente en Luján, Godoy Cruz, Maipú y Guaymallén, presentan compacidades medias en los primeros 2 a 3 metros de profundidad, a partir de donde se presentan densas a muy densas. Igual característica se ha detectado en los sedimentos granulares gruesos, que provienen del pedemonte occidental mendocino.

En los sedimentos aluviales de cono, en la zona del Dpto. Godoy Cruz, se ha detectado una cementación calcárea o arcillosa, probablemente proveniente de la Cerrillada Pedemontana occidental, que se presenta con una distribución lenticular errática y a variadas profundidades.

- Los sedimentos finos, limos, limos arenosos y limos arcillosos, que aparecen cubriendo a las bochas, gravas y arenas del sedimento pedemontano o del cono del río Mendoza, en la zona del Dpto. Capital, con espesores que alcanzan como máximo los 20 m de profundidad, se presentan con consistencias variables, desde muy blandas a medias. El sedimento granular grueso que la subyace posee un estado de compacidad medio a denso, pero nuevamente penetrando algunos metros en él ya se presenta denso a muy denso.
- Los sedimentos finos, limos, limos arenosos, limos arcillosos y arenas limosas que aparecen en la planicie de transición, zonas norte y noreste de Las Heras y noroeste de Guaymallén, correspondientes al área estudiada, se presentan con compacidades sueltas a medias o consistencias blandas a medias. Resulta muy frecuente que bajo los 5 m de profundidad, en promedio, las compacidades asciendan a densas y las consistencias de firmes a muy firmes, estando esto asociado a una cementación calcárea proveniente de la Cerrillada Pedemontana.
- Como el comportamiento de las gravas, arenas y limos, ante las sollicitaciones dinámicas producidas por sismos fuertes, depende en gran medida del estado de compacidad relativa que presentan in situ, surge la importancia de su determinación, que en lo descripto hasta ahora ha sido inferida a partir de los ensayos de penetración normal. Como es bien conocido, en los suelos granulares gruesos, la presencia de bochas y gravas gruesas inhabilita a este ensayo, por lo que se recurrió a ensayos geofísicos para la estimación de su densidad relativa, como así también para confirmar en los otros suelos, esta inferencia realizada a través del ensayo de penetración normal.

8.4 Exploración Geofísica.

Para la determinación de las velocidades de propagación de ondas elásticas longitudinales y transversales en el subsuelo, se programó la siguiente exploración geosísmica, de manera de abarcar zonas del área bajo estudio que presentaran diferentes condiciones fisiográficas:

- Municipalidad de Las Heras: zona de planicie aluvial de transición
- Método utilizado: refracción sísmica superficial.
- Hospital Del Carmen - Godoy Cruz: zona de sedimento pedemontano
- Método utilizado: refracción sísmica superficial.

- Municipalidad de Maipú: zona del cono aluvial del río Mendoza
- Método utilizado: refracción sísmica superficial.
- Escuela Edmundo D'Amicis - Capital: zona de sedimento pedemontano
- Método utilizado: down-hole en pozo a cielo abierto.
- Municipalidad de Godoy Cruz: zona de interacción del cono aluvial con el sedimento pedemontano
- Método utilizado: down-hole en pozo a cielo abierto.
- Edificio A y E.E. - Avda. San Martín y Calle Peltier - Capital: zona de interacción del cono aluvial con el sedimento pedemontano
- Método utilizado: down-hole en pozo a cielo abierto.
- Villa Hipódromo - Calles Della Santa y Laprida - Godoy Cruz: zona de interacción del cono aluvial con el sedimento pedemontano
- Método utilizado: down-hole en pozo a cielo abierto.

8.4.1 Equipo y metodología utilizados

Los registros se realizaron con un sismógrafo digital marca "Nimbus", de doce canales y como transductores se usaron geófonos para la detección de ondas longitudinales o transversales, según el caso.

Se emplearon dos metodologías para la determinación de las velocidades de ondas:

- a) Método de Refracción Sísmica Superficial.
- b) Método down-hole en pozos a cielo abierto.

Los resultados de esta exploración geosísmica se ha resumido en la tabla 8-1. En el capítulo 9 se analizan los resultados de estos ensayos geofísicos.

8.5 Espesor de los sedimentos cuaternarios.

En las áreas llanas y valles intermontanos de la zona estudiada, el relleno sedimentario cuaternario alcanza espesores a veces considerables (más de 1.000 metros),

cuya determinación sólo puede hacerse con datos de subsuelo, puesto que en contados casos puede observarse la base de estos terrenos en el campo. Los datos de subsuelo provienen de perforaciones y de trabajos geofísicos. La principal fuente de datos para determinar el espesor del relleno sedimentario cuaternario, es la geoelectrónica.

La distribución de espesores obtenida, es la que puede esperarse en un sistema de cono aluvial y llanuras aluviales desarrollado al pie de un sistema montañoso de la magnitud morfoestructural precordillerana y cordillerana, que ha suministrado un gran volumen de sedimentos durante el cuaternario. A este gran volumen seguramente han contribuido los períodos postglaciales, cuando se dispuso regionalmente de grandes caudales de agua generados por el derretimiento de los hielos, que erosionaron un sistema montañoso casi desprovisto de cubierta vegetal asociado a un período de "rhexistasia". En la figura 8-7 se han representado las curvas de igual espesor de los sedimentos cuaternarios.

8.6 Perfiles estratigráficos característicos del subsuelo del área bajo estudio.

Sobre la base de la información obtenida, tanto de los antecedentes recopilados como de la exploración geotécnica realizada para este estudio, se han preparado diez (10) perfiles, cuya ubicación se muestra en la figura 8-2.

Los Perfiles A, B, C, G y H son aproximadamente secciones oeste-este, en tanto los Perfiles D, E, I y J son secciones norte-sur. El Perfil F tiene dirección noroeste-sureste y se ubica en la planicie de transición con una sección paralela al límite noreste del área en estudio.

Se describen a continuación dos perfiles típicos. El Perfil C, que se muestra en la figura 8-8, se inicia al oeste, en la zona de El Challao, cruzando en su trayectoria hacia el este el aeropuerto Mendoza, la plaza Yrigoyen, Pedro Molina, Sarmiento, Buena Nueva y culminando en Los Corralitos.

Entre El Challao y el aeropuerto Mendoza el perfil está constituido por bochas, gravas y arenas, que se presentan desde la superficie y provienen de las bajadas aluvionales del piedemonte mendocino. A partir del aeropuerto Mendoza aparece sobre estas gravas, una cubierta superficial de suelos limosos, con espesor creciente hacia el este, desde algunos decímetros hasta alcanzar 11 m en la Escuela D'Amicis, donde se encuentra instalado un acelerógrafo del INPRES.

Un poco más hacia el este, en las vías del F.C.G.S.M., comienzan a detectarse

en profundidad capas de suelos arcillosos, intercaladas con las gravas arenosas, indicando esto el inicio de la planicie de transición. Paralelamente a ello hay un sensible incremento de la capa superficial de suelos limosos, que en la plaza Yrigoyen alcanza los 20 m de profundidad.

Siguiendo hacia el este, el perfil presenta la misma configuración, con una cubierta superficial de suelos limosos de 4 a 10 m de espesor, seguida por una interestratificación de capas de gravas, gravillas y arenas, con capas de arcilla.

El Perfil D, que se muestra en la figura 8-9, se inicia en el sur, en la ciudad de Maipú, cruzando en su trayectoria hacia el norte a San Francisco del Monte, Villa Nueva, Pedro Molina, El Plumerillo y culminando en Gral. Espejo.

Desde la ciudad de Maipú hasta el Acceso Este, el perfil presenta una cubierta de 1 a 3 m de espesor de suelos limosos, seguidos en profundidad por bochas, gravas y arenas provenientes del cono aluvial del río Mendoza.

A partir del Acceso Este el espesor de la cubierta limosa superficial aumenta un poco y comienzan a aparecer en profundidad capas de arcillas, que intercalan a las gravas arenosas, denotando el inicio de la planicie de transición. Desde el Zanjón Guaymallén hacia el norte, predominan las capas de arcillas sobre los estratos de gravas arenosas.

8.7 Agua Subterránea.

Como base para determinar y delimitar las áreas del Gran Mendoza y aldeañas, donde pueden producirse fenómenos de licuación, se prepararon mapas de profundidades máximas y mínimas, utilizando datos provistos por el Centro Regional de Agua Subterránea (que posee registros desde 1967 a la fecha) y por el Departamento General de Irrigación. Dichos mapas, no representan la forma y posición de la superficie freática en un momento determinado. Los valores obtenidos permiten determinar y delimitar la zona de surgencia, y la extensión máxima y mínima que puede tener.

Con la información que contienen los mencionados mapas, se preparó la figura 8-10, que resume parte de esa información que es de interés para el estudio del potencial de licuación en el área bajo estudio.

El origen del agua subterránea presente en la zona, se encuentra en la infiltración del agua del río Mendoza en su álveo, especialmente en el trayecto oeste-este,

en el Dpto. Luján y límite departamental Luján-Maipú.

En la zona estudiada existen acuíferos libres y confinados. El acuífero libre se desarrolla en las zonas del cono aluvial del río Mendoza y del sedimento pedemontano, en tanto en la planicie aluvial de transición comienzan a aparecer acuíferos confinados y falsas freáticas cerca de la superficie (aguas colgadas). El inicio del acuífero confinado se produce en una banda, de algunos kilómetros de ancho y no en una línea, banda localizada ligeramente al sudoeste del límite del área bajo estudio, entre El Plumerillo y Rodeo de la Cruz.

Los mapas existentes no indican, en general, el nivel de la falsa freática, cuyo conocimiento es imprescindible para el análisis del potencial de licuación de suelos granulares finos durante sismos. Por ello se programó y realizó una densificación de las perforaciones en la zona de la planicie de transición, a los efectos de determinar, además de las características del subsuelo, las curvas de niveles freáticos, cuya distribución se puede observar en la figura 8-11, correspondiente a lecturas efectuadas en diciembre de 1987.

En general puede decirse que existe un acuífero libre profundo en la zona de cono aluvial y sedimentos pedemontanos, que ubica el agua subterránea a las siguientes profundidades medias según la zona:

	Zona	Profundidad (m)
◆	Maipú	95
◆	Godoy Cruz	90
◆	Parque Gral. San Martín	110
◆	Capital	80
◆	San José (Guaymallén)	50
◆	Las Heras	35

En la planicie de transición aparece la falsa freática (aguas colgadas) con niveles variables entre 1 y 10 m de profundidad. Se destaca que la isopieza de 0 metros del CRAS, para épocas de niveles altos, coincide aproximadamente con el límite noreste del área en estudio, es decir, las vías del F.C.G.S.M., entre El Plumerillo y Rodeo de la Cruz.

8.8 Licuación Histórica.

Existen varias referencias históricas sobre la ocurrencia de licuación de suelos, durante terremotos pasados en la provincia de Mendoza.

En el libro de Francisco Morey, "Los Temblores de Tierra, Mendoza Sísmica", hay un pormenorizado resumen de los daños ocasionados por los sismos fuertes en Mendoza. De él rescatamos los correspondientes a los terremotos durante los que se produjo licuación de suelos: terremoto del 20 de marzo de 1861; terremoto del 12 de agosto de 1903; terremoto del 26 de julio de 1917; terremoto del 17 de diciembre de 1920; terremoto del 14 de abril de 1927 y terremoto del 23 de mayo de 1929.

En ocasión del terremoto de Caucete (San Juan), del 23 de noviembre de 1977, se produjo licuación pero en una zona algo distante del área bajo estudio. Durante el terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985 no se registró la ocurrencia de licuación de suelos.

Esto muestra que han sido abundantes las manifestaciones del fenómeno de licuación de suelos en la provincia de Mendoza, en la zona de la planicie de transición y llanura aluvial, donde lógicamente se presentan los suelos granulares finos más susceptibles de licuar y las posiciones de agua freática, cercanas a la superficie. En el área bajo estudio este fenómeno se ha producido en las localidades de El Resguardo, Panquehua, Capital y El Plumerillo en el Dpto. Las Heras; y Bermejo del Dpto. Guaymallén, como puede observarse en la figura 8-11.

8.9 Descripción general de los daños provocados por el terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985.

Con el objeto de delimitar la posible correlación entre los daños provocados por este terremoto y las características del subsuelo en las distintas zonas afectadas, se investigó la distribución de aquellos y se la comparó con las condiciones del subsuelo determinadas durante este estudio.

El terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985, de relativamente baja magnitud (ML 5,7), tuvo efectos y consecuencias socioeconómicas muy importantes. Su epicentro se ubicó unos 25 km. hacia el sur de la ciudad de Mendoza. Los daños se manifestaron principalmente en las construcciones edilicias, no habiéndose detectado ni

informado daños en obras de infraestructura (puentes y otras obras de arte, rutas, redes de agua potable, etc.). En promedio, el Gran Mendoza fue sometido a una intensidad VII MM (INPRES, 1985). En algunas localidades pertenecientes al área bajo estudio, tales como Maipú, Rodeo de La Cruz, Villanueva, etc., los daños tuvieron menor nivel, estimándose una intensidad VI MM.

La distribución de daños no fue uniforme sino que se produjeron concentraciones en zonas relativamente pequeñas (INPRES, 1985).

Las áreas más afectadas se localizan en el departamento de Godoy Cruz, especialmente en dos zonas. Dentro de esas zonas a las que se asignó una intensidad VII MM, el área más afectada la constituye Villa Marini, con intensidad VIII MM (INPRES, 1985; I.T.I.E.M., 1985).

8.10 Categorización de los daños provocados por el terremoto del 26 de enero de 1985.

Se realizó una detallada investigación de campo, bibliográfica (diferentes informes referentes al mencionado sismo) y de archivo. Esta última consistió en la revisión y análisis pormenorizado, de todas las fichas o boletas de inspección de construcciones dañadas, obrantes en cada municipio departamental, lo que obligó a investigar más de 36.000 boletas de inspección. Estas boletas se clasificaron por distrito para cada departamento, y luego por grado o tipo de daño, a fin de determinar índices de daño para cada zona.

Como cada municipio trabajó, aparentemente, en forma independiente y desconectado de los otros, se trató de compatibilizar las distintas escalas de daño, a fin de uniformar la información disponible. Aún así, no pudo lograrse una total concordancia de criterios y por ello, las conclusiones deben mirarse con cautela.

Debido a los tipos de construcciones existentes en la zona en estudio, y a que los mayores daños ocurrieron en construcciones de adobe, en antiguas construcciones de ladrillos no reglamentarias y en construcciones mixtas de adobe y ladrillo, se decidió calcular el índice de daños, sufridos por las construcciones de adobe. Se incluyó dentro de esta categoría a las construcciones mixtas (de adobe y ladrillo).

Como el índice de daños debe ser relativo a la cantidad total de construcciones de adobe y mixtas, era necesario conocer su número a la fecha del sismo. No pudieron

utilizarse los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda de 1980 ni los del Banco de Información Catastral, debido principalmente a la desactualización de la información.

Se decidió adoptar los datos proporcionados por el interesante trabajo de investigación titulado "Propuestas de desarrollo urbano para el Gran Mendoza", llevado a cabo antes del 26-01-85 por N.A. Gray de Cerdán, A. Alvarez y G.R.de Lima. Durante esa investigación se realizó un relevamiento minucioso que contemplaba el estado de la construcción (catalogado como bueno, regular o malo) y el tipo de material utilizado para la construcción de los muros (ladrillo, adobe y mixto).

Análisis de las escalas de daño adoptadas por los distintos municipios.

Las municipalidades de Guaymallén y Maipú establecieron cuatro niveles o grados de daño, mientras que Capital, Las Heras, Godoy Cruz y Luján tres (ver tabla 8-2).

Se adoptaron las siguientes tres categorías de daños:

- a) **Daños totales** (o demolición total)
- b) **Daños graves** (incluye demolición parcial)
- c) **Daños menores** (no afectan la estructura y no ponen en peligro la estabilidad)

El índice de daños, ID, se definió como sigue:

$$ID = \frac{N^{\circ} \text{ de construcciones de adobe con daños totales y graves}}{N^{\circ} \text{ total de construcciones de adobe}}$$

Corresponde hacer notar que dentro de las construcciones de adobe se incluyen las mixtas.

Se confeccionaron siete tablas que resumen los resultados de este estudio. Las seis primeras tablas contienen el índice de daños por distrito para cada departamento (para Capital por sección), y pueden ser consultadas en el Informe Técnico General, mientras que la última (tabla 8-3) se refiere al total del Gran Mendoza. Esos valores se volcaron en mapas; uno para el Gran Mendoza (figura 8- 12) y los restantes para cada uno de los 6 departamentos (pueden consultarse en el Informe Técnico General).

8.10.1 Antigüedad de las construcciones.

Para tener en cuenta otros factores que pudieran haber influenciado las particularidades de la distribución de daños, se decidió investigar la distribución de las construcciones de acuerdo con su antigüedad, teniendo en cuenta que una mayor antigüedad de edificación implica, por lo general, una disminución de la seguridad estructural, debido por una parte al deterioro lógico que genera el paso del tiempo y los agentes ambientales y por otra, al empleo de materiales y técnicas de diseño y constructivas poco aptas para resistir solicitaciones como las originadas por los sismos. Para ello procesamos convenientemente la información contenida en el B.I.C., de modo de ordenar los resultados por departamento y distrito, clasificando a las construcciones en cuatro grupos: aquellas que tienen de 0 a 15 años de antigüedad; de 16 a 30; de 31 a 50 y más de 50 años. Se adoptó el rango de 0 a 15 años para abarcar las construcciones ejecutadas durante la vigencia del Código de Construcciones Antisísmicas de Mendoza (posteriores a 1970). El rango que va de 16 a 30 años pretende representar las construcciones realizadas durante el período posterior al terremoto de San Juan de 1944, a consecuencia del cual en Mendoza se dictaron ordenanzas municipales que reglamentaban ciertas particularidades constructivas, a la luz de los conocimientos de la época e influenciadas, en cierto modo, por disposiciones adoptadas en la vecina provincia de San Juan, tan gravemente afectada por ese sismo.

Se confeccionaron siete tablas en total; las seis primeras para cada uno de los departamentos (que pueden consultarse en el Informe Técnico General) y la séptima tabla (8-4) para el conjunto del Gran Mendoza. Cada tabla contiene la cantidad y porcentaje de construcciones de cada rango. Se determinó también la antigüedad promedio (Apr) de las construcciones para cada distrito y para cada departamento.

Si bien no se trata de un hecho determinante, del análisis de las tablas correspondientes a cada departamento en particular, surge que existe una concordancia aceptable entre la antigüedad de las construcciones y el nivel de daño. Como ya se dijo, a mayor edad de la construcción mayor será el deterioro de la misma, consecuencia del uso y de la acción de los agentes ambientales (lluvias, heladas, inundaciones, aluviones).

8.10.2 Comparación de la distribución de daños con las características del subsuelo.

Del análisis de la distribución de daños y su comparación con las características del subsuelo, no surge claramente una relación entre ambos, por lo que no es de explicar a través de la simple estratigrafía superficial, la concentración de daños en algunas zonas,

como es el caso de Godoy Cruz. Como se demuestra en el capítulo 9, no existe una correlación significativa entre los movimientos del terreno de período corto y las condiciones del subsuelo y es de esperar una considerable dispersión, del orden de $\pm 20\%$, en los valores de las aceleraciones máximas registradas a distancias similares entre fuente y sitio, para condiciones similares del sitio. En la misma sección se presenta una tabla que indica las intensidades MM registradas en ocasión de 6 terremotos destructivos que afectaron al área bajo estudio. En ella se puede observar la distribución casual de las mayores y menores intensidades, sin una tendencia clara de que un sitio exhiba en forma consistente los más altos o los más bajos niveles de intensidades, a excepción quizás de Las Heras, que en general tiende a presentar los mayores valores. Por lo tanto, a la luz de los resultados de las investigaciones realizadas durante este proyecto, no puede afirmarse que exista una correlación entre la distribución de daños y las características del subsuelo en el área bajo estudio.

Tabla 8-1
Resumen de los resultados de las exploraciones geofísicas

Ubicación	Profundidad (m)	Velocidades (m/seg)		Carac. del estrato			Método	Características geotécnicas del sitio
		Vp	Vs	v	E/γ	G/γ		
Las Heras (Municip.)	0,00- 5,20	360	165	0,37	759	277	Refracción sísmica superficial	Zona de planicie aluvial de transición
	5,20-14,80	460	240	0,27	1745	689		
	14,8 y +	705	360	0,32	3500	1322		
Godoy Cruz (Hospital El Carmen)	0,00- 3,17	230	130	0,26	436	172	Refracción sísmica superficial	Zona de sedimentos pedemontanos
	3,17- 6,64	540	280	0,32	2105	800		
	6,64-15,64	910	460	0,33	5736	2160		
	15,64 y +	1600	(1)800	0,33(2)				
Maipú (Municip.)	0,00- 1,35	450	260	0,25	1720	690	Refracción sísmica superficial	Zona del cono aluvial del río Mendoza
	1,35- 6,35	620	340	0,28	3030	1180		
	6,35-15,85	990	470	0,35	6106	2254		
	15,85 y +	1300	(1)620	0,35(2)				
Capital (Escuela V. Mercante)	0,00-12,50	450	265	0,24	1770	717	Down-Hole en pozo a cielo abierto	Zona de sedimentos pedemontanos
	12,50-17,20	1070	540	0,33	7910	2976		
Godoy Cruz (Municip.)	1,70- 8,35	850	470	0,28	5770	2254	Down-Hole en pozo a cielo abierto	Zona de interacción del cono aluvial con sedimentos pedemontanos
	8,35-12,70	1330	690	0,32	2785	4860		
Capital (A.y E.E.)	0,00- 2,50	280	105	0,42	319	112	Down-Hole en pozo a cielo abierto	Zona de interacción del cono aluvial con sedimentos pedemontanos
	2,50- 7,50	545	215	0,41	1328	471		
	7,50-19,50	1125	500	0,37	7025	2551		
Godoy Cruz (Villa Hipódromo)	0,00- 1,15	150	85	0,26	186	73	Down-Hole en pozo a cielo abierto	Zona de interacción del cono aluvial con sedimentos pedemontanos
	1,15- 4,80	565	330	0,24	2758	1111		
	4,80-17,65	940	510	0,29	6855	2654		

Vp = Velocidad de propagación sísmica ondas compresionales

Vs = Velocidad de propagación sísmica ondas de corte

E = Módulo de elasticidad dinámico (Kg/cm²)

v = Coeficiente de Poisson

G = Módulo de corte dinámico (Kg/cm²)

γ = Peso específico del suelo

(1) Valor calculado

(2) Valor adoptado

Tabla 8-2

Terremoto del 26-01-85. Niveles de daño adoptados por cada municipio

Departamento	Nivel o grado de daño				Observaciones
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	
01 - Capital	Demolición total	Demolición parcial	Daños Leves (1)	---	
03 - Las Heras	Construcciones dañadas del 61% al 100%	Construcciones dañadas del 31% al 60%	Construcciones dañadas del 0% al 30%	---	
04 - Guaymallén	Demolición total	Demolición parcial	Daños regulares (2)	Poco daño	
05 - Godoy Cruz	Construcciones dañadas del 71% al 100%	Construcciones dañadas del 41% al 70%	Construcciones dañadas del 0% al 40%	---	
06 - Luján	Construcciones no habitables (3)	Construcciones parcialmente habitables (4)	Construcciones habitables (5)	---	
07 - Maipú	Demolición total	Demolición parcial	Sin condiciones de seguridad (6)	Habitables	

Notas:

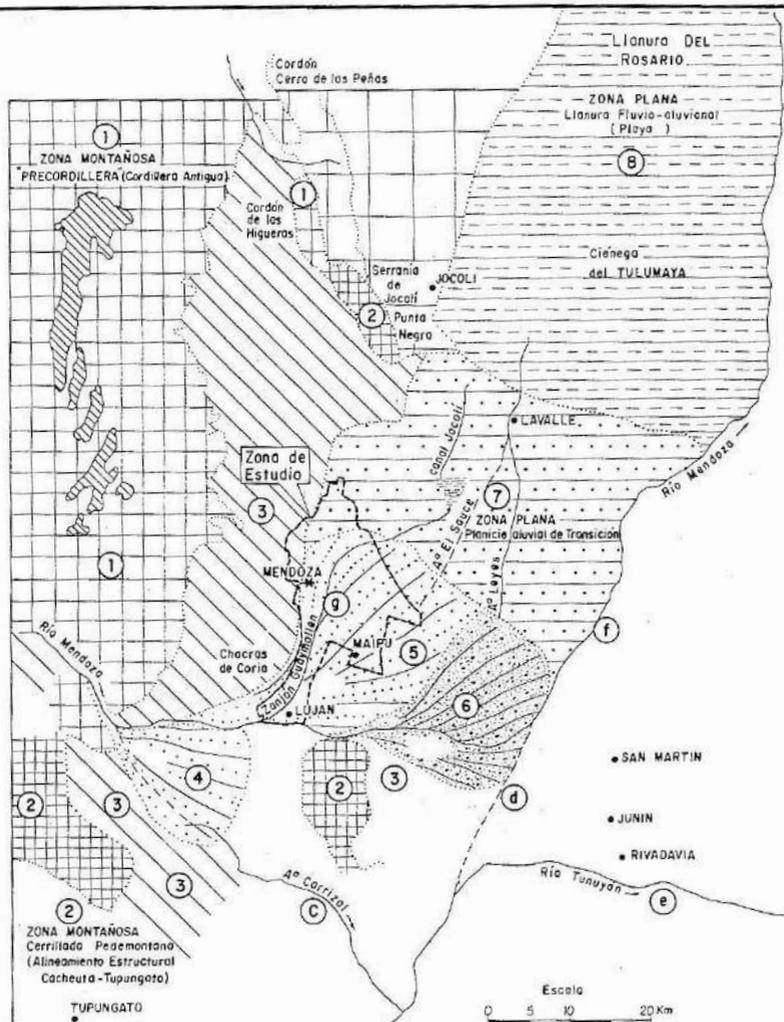
- (1) No afectan a la estructura y no ponen en peligro la estabilidad
- (2) Moderados a importantes
- (3) Implica demolición total
- (4) Implica demolición parcial
- (5) Significa que puede habitarse pues los daños que existen son menores
- (6) Incluyen a construcciones con daños moderados a graves

Tabla 8-3
Determinación del índice de daños provocados por el sismo del 26/01/85
GRAN MENDOZA

DEPARTAMENTO	CANTIDAD DE CONSTRUCCIONES			CONSTRUCCIONES DAÑADAS			ÍNDICE DE DAÑOS ID = $\frac{(4)+(5)}{2}$	Observaciones
	(1) CONST. DE LADRILLO	(2) CONST. DE ADOBE + MIXTAS	(3) CONST. TOTALES	(4) DAÑOS TOTALES	(5) DAÑOS GRAVES	(6) DAÑOS MENORES		
01-Capital	15477	9807	25284	945	1351	3118	0,23	
03-Las Heras	12773	7937	20710	3643	1870	623	0,70	
04-Guaymallén	21386	13564	34950	659	2208	928	0,21	
05-Godoy Cruz	23404	11164	34568	4766	3219	1756	0,72	
06-Luján	5682	2672	8354	555	334	443	0,33	
07-Maipú	8204	6146	14350	507	1803	42	0,38	
T O T A L E S	86926	51290	138216	11075	10785	6910	0,43	

Tabla 8-4
Distribución de construcciones según su antigüedad
GRAN MENDOZA

DEPARTAMENTO	ANTIGÜEDAD (años)								Total de construcc.	Apr (años)	Observaciones
	De 0 a 15		De 16 a 30		De 31 a 50		Más de 50				
	Cantid.	Porc.	Cantid.	Porc.	Cantid.	Porc.	Cantid.	Porc.			
01-Capital	2.356	10%	9.070	39%	11.162	47%	1.004	4%	23.592	30,6	
03-Las Heras	6.005	31%	8.347	42%	5.055	26%	242	1%	19.649	19,9	
04-Guaymallén	8.348	23%	14.950	41%	12.087	34%	751	2%	36.136	23,9	
05-Godoy Cruz	8.222	26%	11.668	37%	10.551	34%	806	3%	31.247	23,8	
06-Luján	3.043	40%	2.234	29%	2.033	26%	367	5%	7.677	21,6	
07-Maipú	3.145	28%	4.358	39%	3.488	31%	291	2%	11.282	23,5	
T O T A L E S	31.119	24%	50.627	39%	44.376	34%	3.461	3%	129.583	24,3	

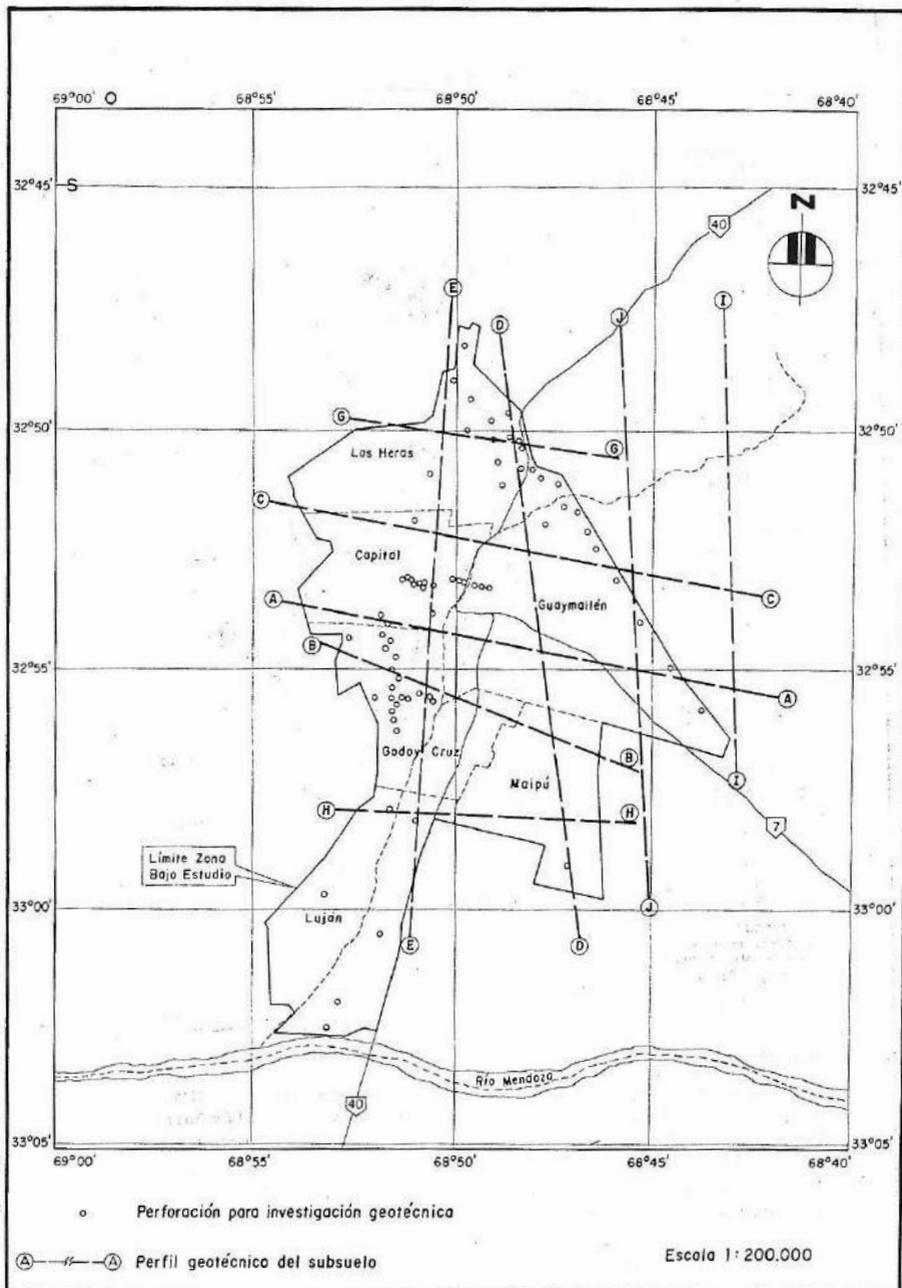


REFERENCIAS

- ③ Pedemonte mendocino.
- ④ Cono aluvional de Agrelo.
- ⑤ Cono aluvional de Maipú.
- ⑥ Cono aluvional de Palmira.
- ⑦ Planicie de Transición (del Tulumaya)
- ⑧ Llanura aluvial (del Rosario)
- ① Antiguo brazo del Río Mendoza.
- ② Antiguo curso del Río Tunuyán.
- ③ Actual curso del Río Tunuyán.
- ④ Actual curso del Río Mendoza.
- ⑤ Antiguo brazo del Río Mendoza.

Fuente: A. Regaloz y O. Borrera (1975)

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza Grandes unidades geomórficas.	Figura 8-1
Nafa-Zamabide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



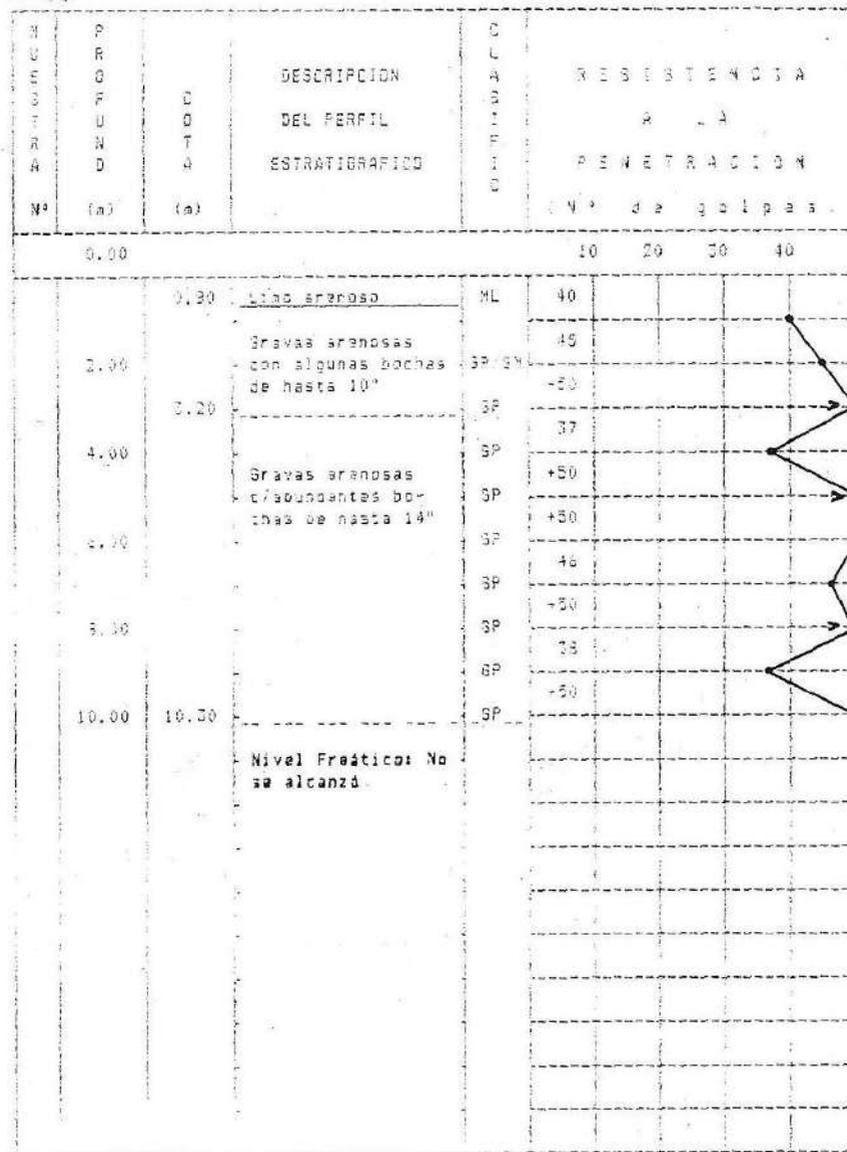
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Investigación geotécnica. Ubicación de perforaciones y perfiles del subsuelo.	Figura 8-2
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

PERFORACIONES PARA INVESTIGACION GEOTECNICA

PERFORACION: P.1

UBICACION: MUNICIPALIDAD DE MAIPU (Acelerografo INPRES)

FECHA: 21/08/07



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Perfil estratigráfico típico de
cono aluvial

Figura

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

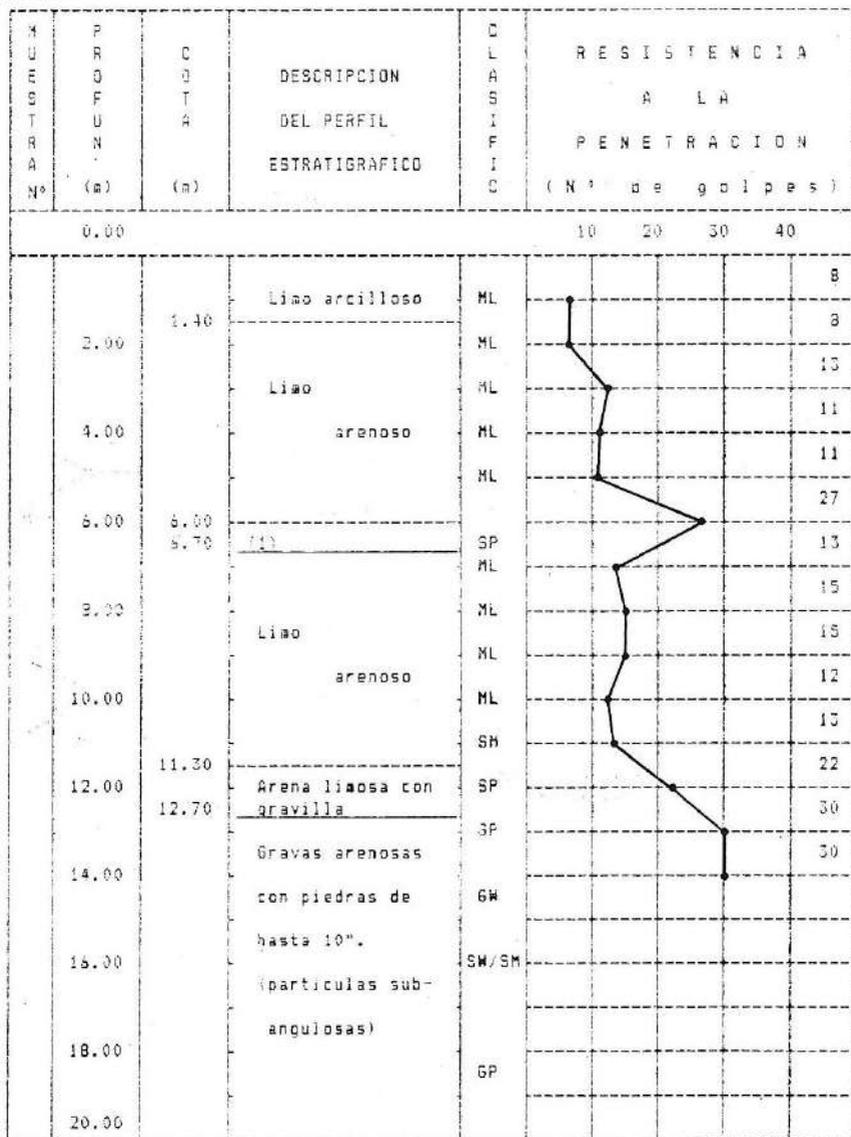
8-3

PERFORACIONES PARA INVESTIGACION GEOTECNICA

PERFORACION: P.2

UBICACION: ESCUELA E. D'AMICIS (Acelerógrafo INPRES)

FECHA: 18/08/87



Nivel Freático: No se alcanzó

(1) Arena con gravillas

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Perfil estratigráfico típico de
sedimentos pedemontanos

Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

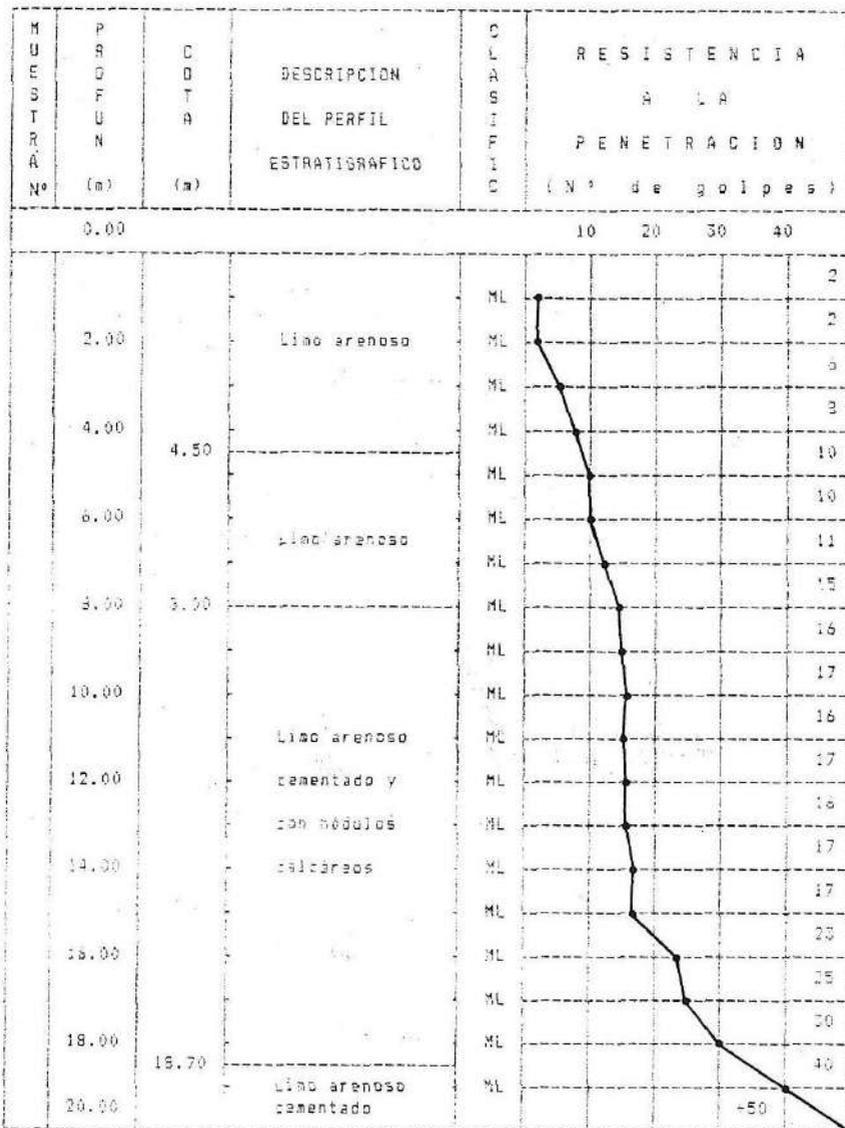
8-4

PERFORACIONES PARA INVESTIGACION GEOTECNICA

PERFORACION: P.13

UBICACION: Calle Matheu - Las Heras

FECHA: 12/11/87



Nivel Freático: 3,90 m

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

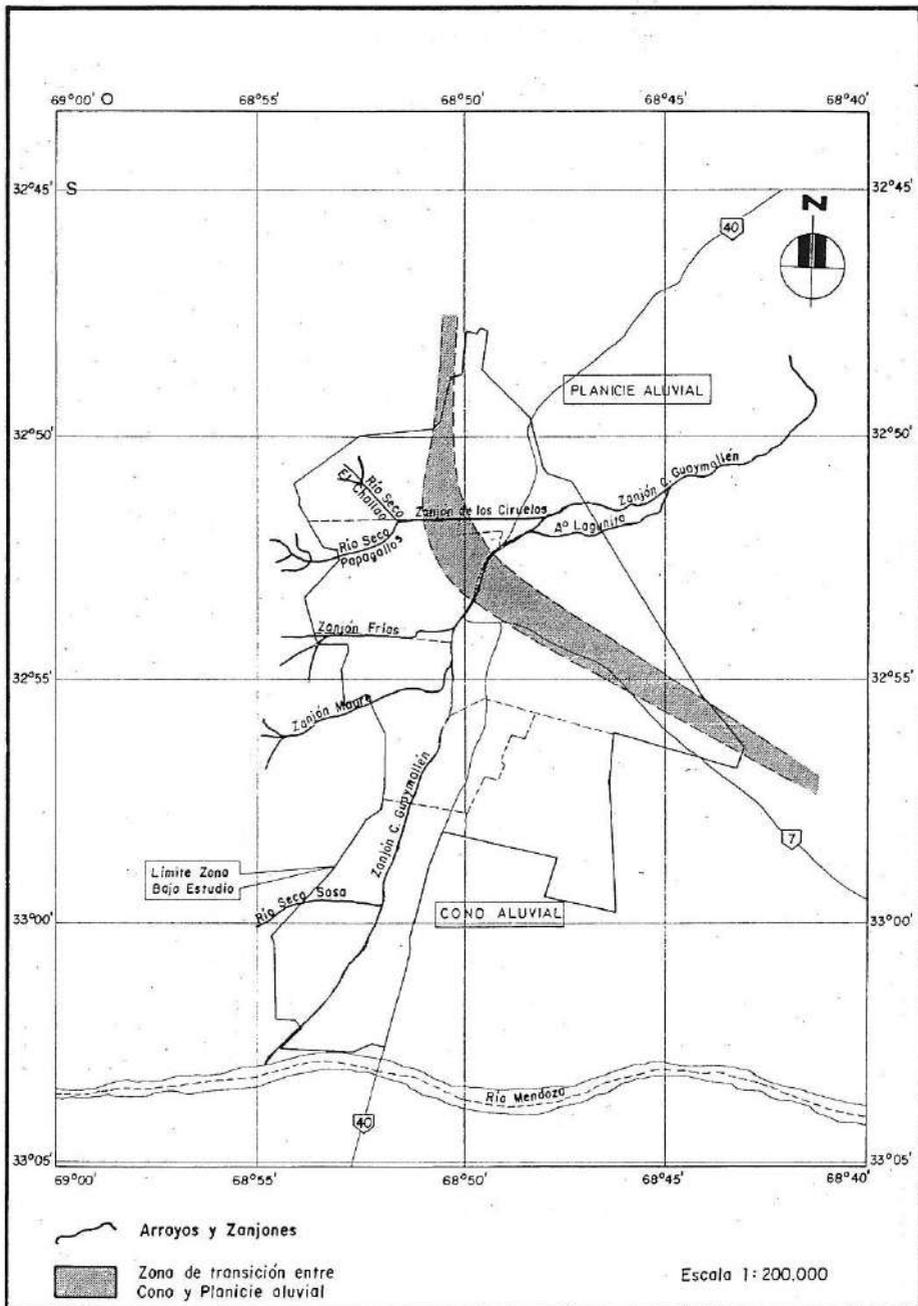
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA.

Perfil estratigráfico típico de
planicie de transición.

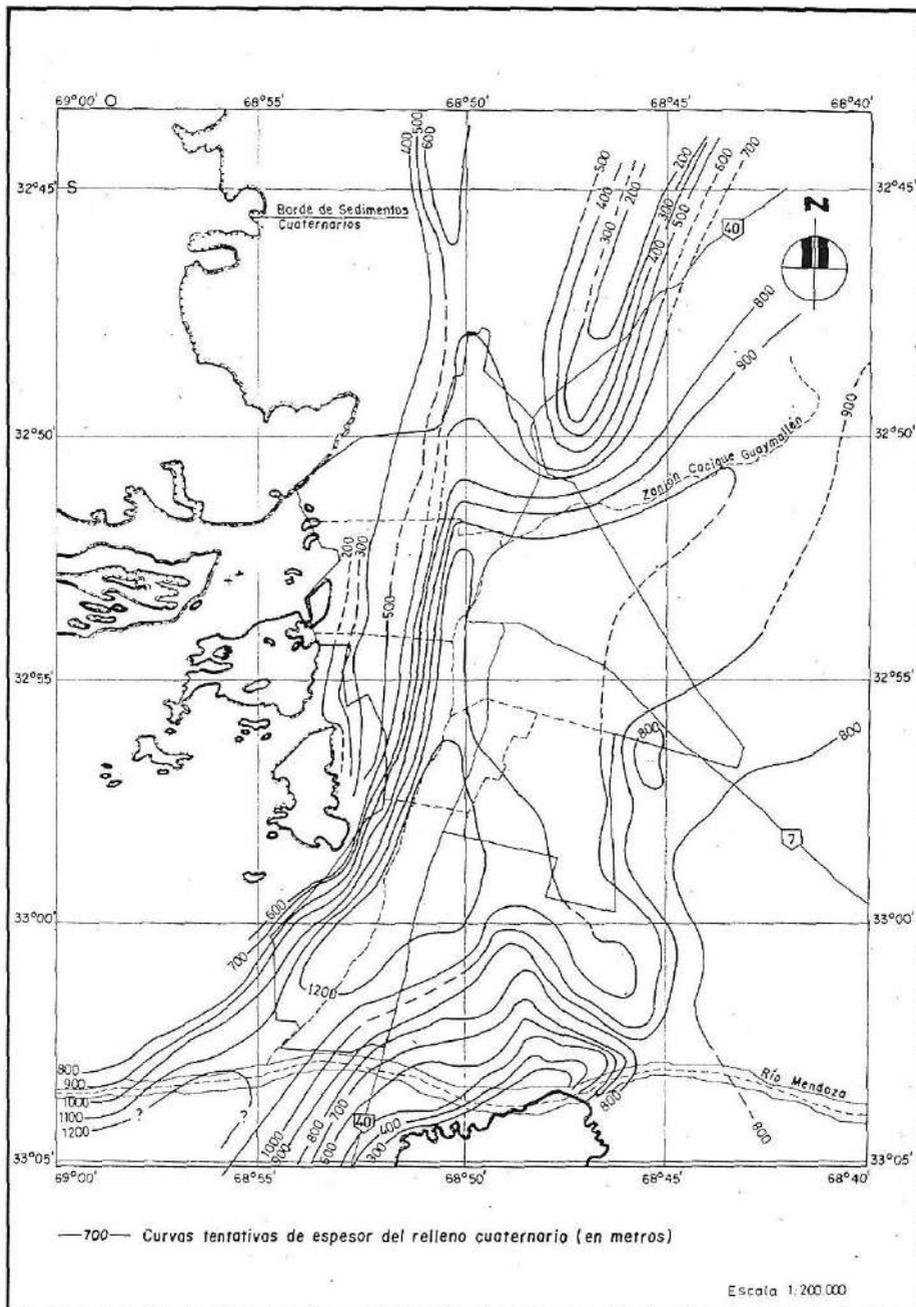
Figura

8-5

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Distribución de las condiciones del subsuelo en el Gran Mendoza	Figura
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		8-6



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

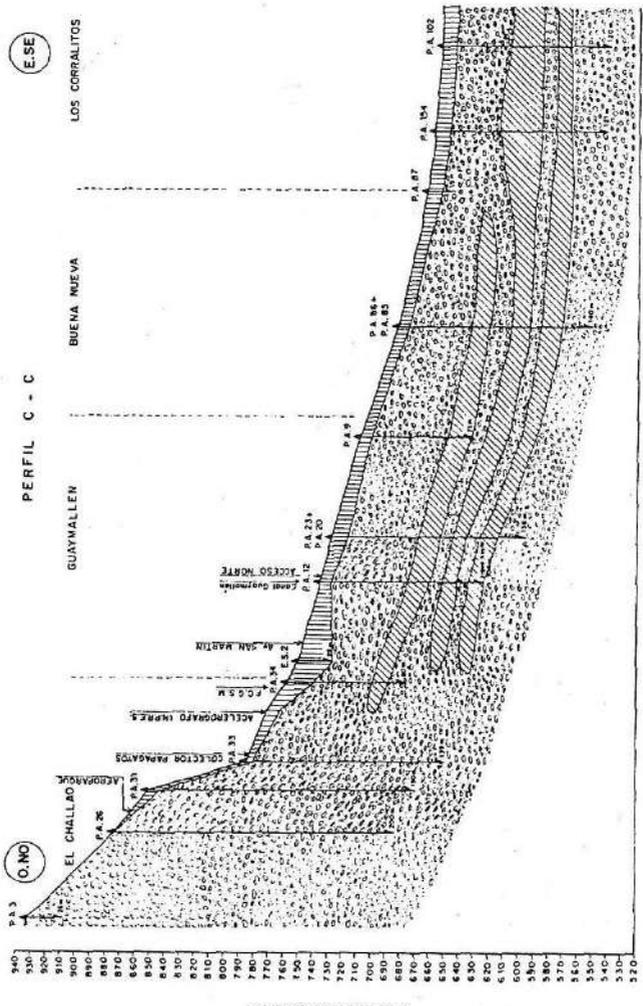
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Espesor de los sedimentos
cuaternarios

Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

8-7

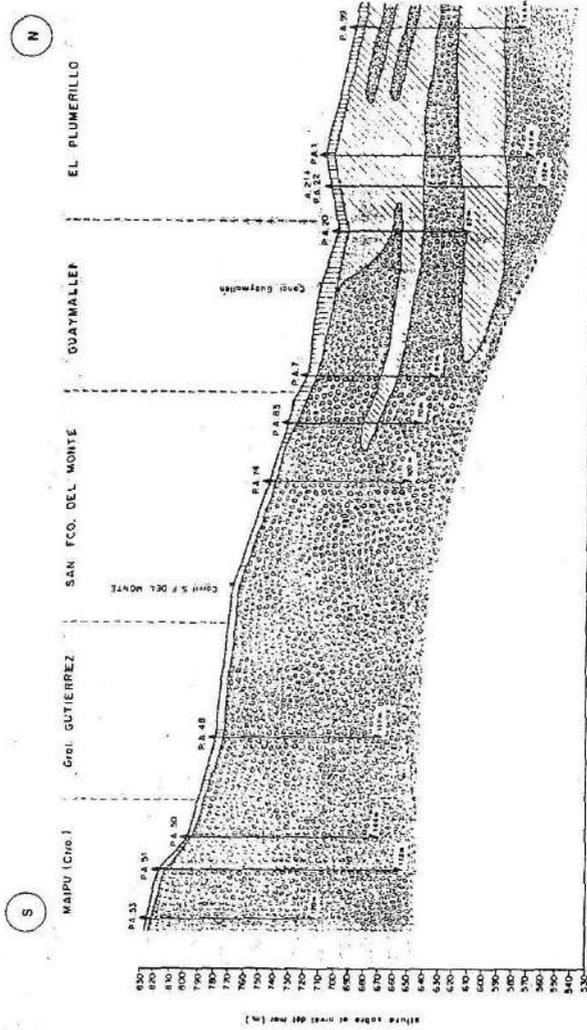


PERFIL C - C

(O. No)

(E. Se)

PERFIL D - D



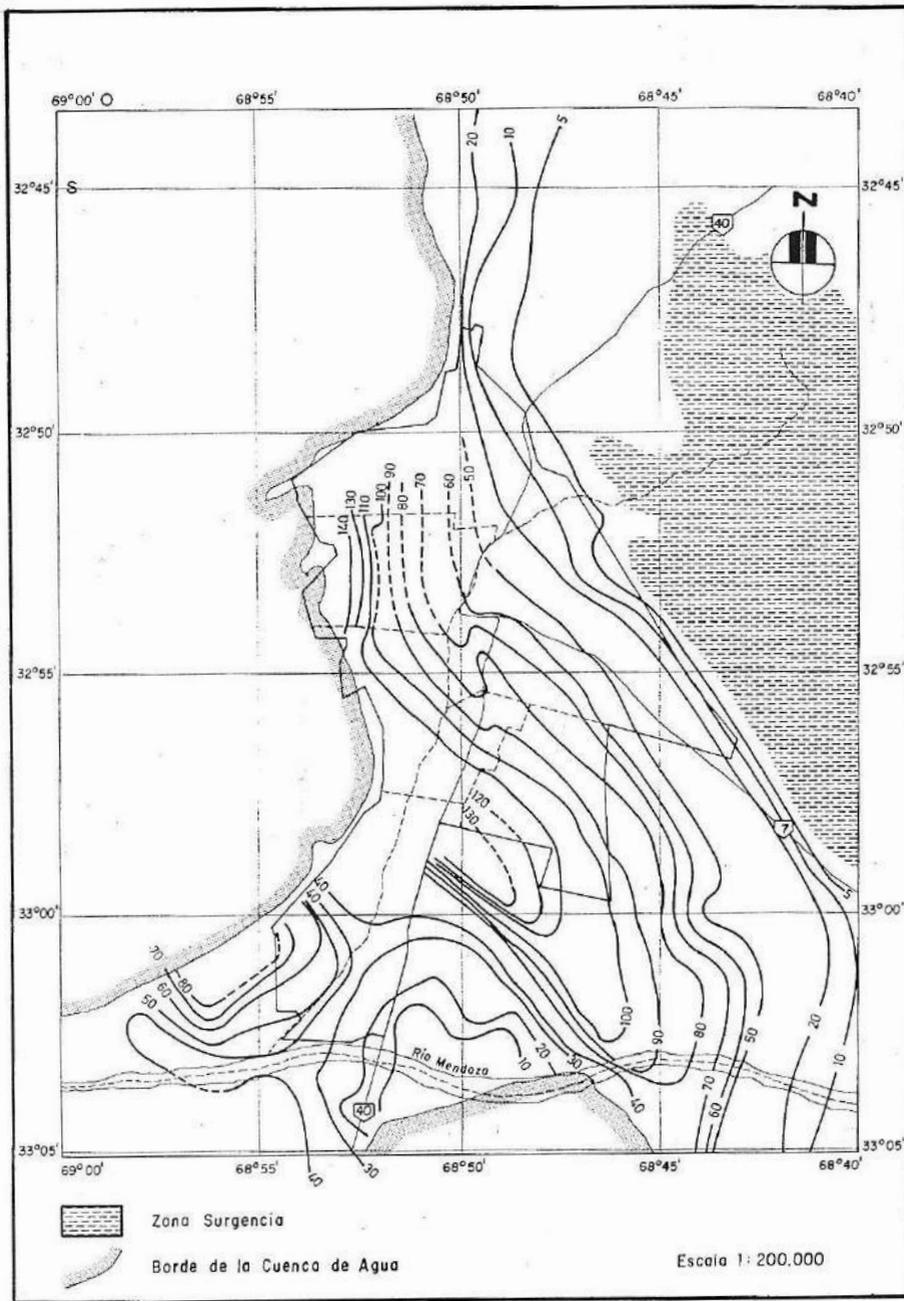
REFERENCIAS:

- Grava
- Limo
- Arena
- Arcillas

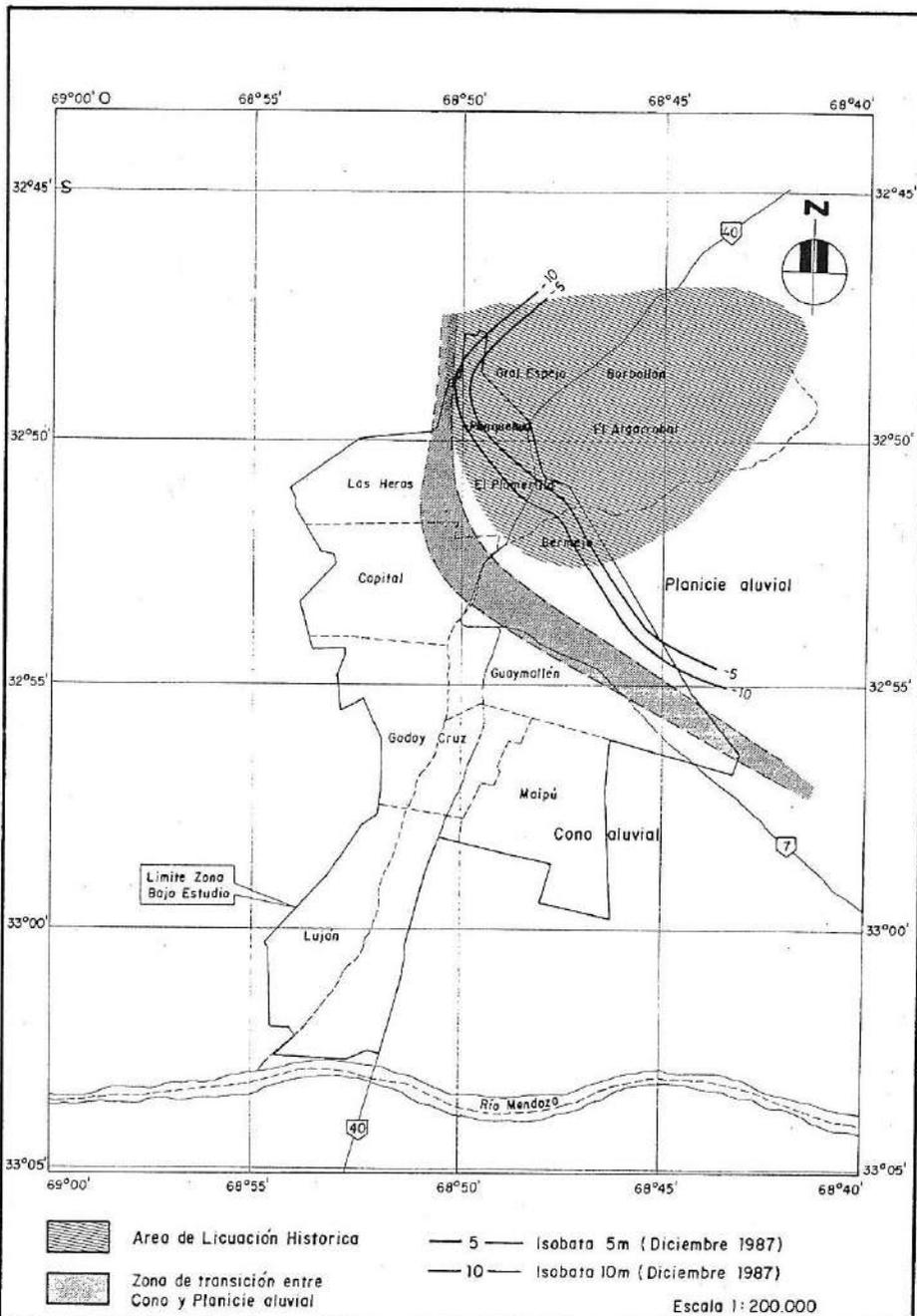
P.A. 25 Paso para extracción de agua
 P.A. 22 P.A. 21 P.A. 20 P.A. 19 P.A. 18 P.A. 17 P.A. 16 P.A. 15 P.A. 14 P.A. 13 P.A. 12 P.A. 11 P.A. 10 P.A. 9 P.A. 8 P.A. 7 P.A. 6 P.A. 5 P.A. 4 P.A. 3 P.A. 2 P.A. 1

Escala:
 Horizontal 1: 75.000
 Vertical 1: 7.500

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES	
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Figura 8-9
Nata-Zamarrida Ingenieros Consultores S.A.	
Perfil transversal de subsuelo (D-D)	

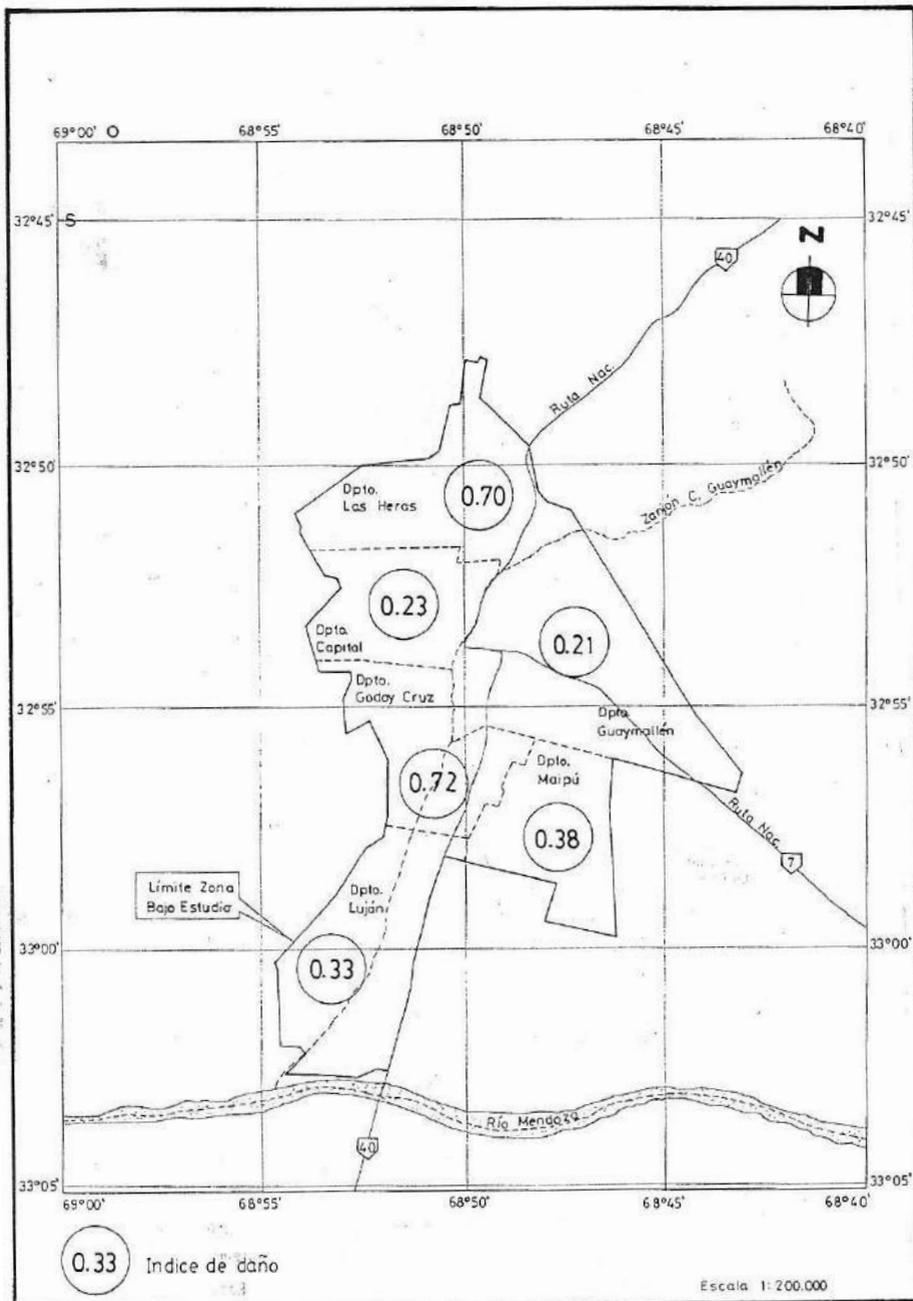


INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Figura
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		8-10
		Curvas de profundidad mínima del agua subterránea



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Curvas del nivel freático mínimo. Licuación histórica.	Figura 8-11
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 8-12
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		Gran Mendoza, Terremoto del 26-01-85. Indices de daño.

9.0 ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO

El peligro sísmico se define como la probabilidad de que diferentes niveles de movimiento del terreno sean excedidos en un sitio, durante un especificado intervalo de tiempo, debido a la ocurrencia de terremotos fuertes. Se asume que dicha ocurrencia en una fuente puede ser representada por un proceso del tipo de Poisson. Siguiendo el enfoque desarrollado por Cornell (1968), se considera que la probabilidad de que la amplitud, Z , de movimiento del terreno en un sitio exceda un nivel especificado, z , durante un determinado intervalo de tiempo, t , está dada por la expresión:

$$P(Z > z | t) = 1 - e^{-v(z) \cdot t} \leq v(z) \cdot t \quad (9-1)$$

donde $v(z)$ es la frecuencia promedio durante el intervalo de tiempo, t , en el cual el nivel de amplitud del movimiento del suelo, Z , excede el nivel z en el sitio, como resultado de la ocurrencia de terremotos en todas las fuentes sísmicas de la región. La desigualdad a la derecha de la ecuación 9-1, es válida cualquiera sea el modelo probabilístico adoptado para representar la ocurrencia de terremotos y $v(z) \cdot t$ provee una estimación precisa, aunque ligeramente conservativa del peligro sísmico, para probabilidades de 0,10 o menores, siempre y cuando $v(z)$ sea el valor apropiado para el intervalo de tiempo de interés.

La frecuencia de excedencia, $v(z)$, es una función de la incertidumbre en el tiempo, tamaño y ubicación de los terremotos futuros y de la incertidumbre en los niveles de movimiento del terreno que ellos pueden producir en el sitio. Se calcula mediante la expresión:

$$v(z) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m^u} \int_{r=0}^{r=\phi} f(m) \cdot f(r) \cdot P(Z > z | m, r) \, dr \, dm \quad (9-2)$$

donde $\alpha_n(m^0)$ es la frecuencia de ocurrencia de terremotos en la fuente n , que superan una magnitud mínima de importancia en ingeniería, m^0 ; $f(m)$ es la función de densidad de probabilidad para eventos con magnitudes entre m^0 y m^u , siendo m^u la magnitud máxima en la fuente; $f(r)$ es la función de densidad de probabilidad para la distancia a la ruptura asociada al terremoto; y $P(Z > z | m, r)$ es la probabilidad que, dado un terremoto de magnitud m a una distancia r del sitio, la amplitud de movimiento del suelo exceda el nivel z .

Las funciones de probabilidad contenidas en las ecuaciones 9-1 y 9-2,

representan las incertidumbres inherentes en el fenómeno natural de generación de terremotos y de propagación de ondas sísmicas. En el caso de la zona bajo estudio, como sucede en cualquier región, uno se enfrenta con incertidumbres considerables en la selección de los modelos apropiados y de los parámetros requeridos para aplicar en la ecuación 9-2, resultantes de la limitada información disponible y/o de las interpretaciones alternativas de dicha información. El enfoque empleado en este estudio incorpora en forma explícita, estas incertidumbres adicionales dentro del análisis, para evaluar su impacto en la estimación de los niveles de peligro sísmico esperado, así como la incertidumbre en su estimación.

La incertidumbre en el modelado del fenómeno natural se incorpora en el análisis del peligro a través del uso de secuencias lógicas. La formulación de las mismas para el análisis del peligro sísmico (Kulkarni y otros, 1984; Youngs y otros, 1985; Coppersmith y Youngs, 1986; EPRI, 1987) requiere especificar alternativas discretas para condiciones naturales o valores paramétricos, así como especificar la probabilidad relativa de que cada alternativa discreta sea el valor correcto o condición del parámetro de entrada. Las probabilidades relativas de los diferentes valores paramétricos están basadas generalmente, en juicios subjetivos, debido a que la información disponible es demasiado limitada para permitir un análisis estadístico objetivo.

En la figura 9-1 se muestra la estructura de secuencias lógicas, la que se compone de nodos y ramas. Cada nodo representa un punto en el cual es posible elegir entre condiciones alternativas o valores de un parámetro de entrada. Cada rama representa un posible valor paramétrico discreto (si la variable tratada es continua, la misma puede ser discretizada dándole un incremento apropiado). Se le asignan las correspondientes probabilidades a cada rama, las cuales constituyen niveles de confiabilidad relativa respecto a que una rama determinada represente el valor correcto o la condición del parámetro de entrada. Los nodos constituyen arreglos que toman en cuenta los aspectos condicionales o estados dependientes entre los parámetros y también consideran una progresión lógica de valores asumidos respecto a la definición de los parámetros.

El ejemplo de secuencia lógica mostrado en la figura 9-1a debe ser usado para representar el grado de incertidumbre en la evaluación de la magnitud máxima para una falla, en base a una relación entre desplazamiento máximo por evento y magnitud del terremoto (Slemmons, 1982). Para valorizar la magnitud máxima se requieren dos datos: el sentido del movimiento (S) de la falla y el desplazamiento máximo (DE) durante un evento cualquiera. Por lo tanto, el árbol secuencial lógico contiene dos niveles de nodos, uno para cada parámetro.

El esquema de secuencias lógicas presentado en la figura 9-1a, define una

distribución discreta de la magnitud máxima calculada mediante el uso de la relación desarrollada por Slemmons (1982), mientras que la figura 9-1b muestra la distribución resultante.

9.1 Caracterización de las fuentes sísmicas.

De acuerdo con lo expuesto previamente, existen dos grupos de fuentes sísmicas que dan lugar a un nivel de peligro sísmico significativo dentro de la región estudiada. Ellos son: el grupo que incluye a las fallas de la corteza, localizadas dentro de la Placa Sudamericana (denominadas fuentes de "corteza superficial") y el grupo que engloba a la sismicidad más profunda, con hipocentros ubicados dentro de la subducida Placa de Nazca (denominada fuente de "subducción"). En los dos apartados siguientes se describe la forma en que se modeló cada una de estas fuentes para el análisis del peligro sísmico.

9.1.1 Fuentes de Corteza Superficial.

Este grupo incluye a las nueve fallas activas identificadas en la región, así como una fuente de sismicidad regional que toma en cuenta los sismos de pequeña y moderada magnitud.

Se ha considerado a este grupo de fallas como de tipo inverso de alto ángulo, buzando hacia el oeste en un ángulo variable entre 45° y 60°, asumiéndose que todas tienen el mismo buzamiento. Las correspondientes magnitudes máximas e intervalos de recurrencia fueron estimados anteriormente, considerándose a dichos valores como las "estimaciones más correctas" de los parámetros de cada fuente. Sin embargo, a efectos de reconocer las incertidumbres resultantes de la metodología utilizada, se evaluaron las distribuciones de probabilidad para magnitudes máximas e intervalos de recurrencia en cada una de las fallas, tomando como referencia el nivel de calidad de los datos disponibles.

Se asume que la incertidumbre en la magnitud máxima para fallas individuales, se modela por medio de una distribución triangular, centrada en la mejor estimación, con rango de $\pm 0,5$ unidades de magnitud. Esta distribución concuerda razonablemente con los resultados de análisis detallados de incertidumbre sobre magnitud máxima, obtenidos en otras regiones del mundo para este tipo de fallas (Bernreuter y otros, 1984; Youngs y otros, 1987). La misma produce un error estandar de 0,22 unidades de magnitud respecto al valor mejor estimado.

Para cada falla se calculó el período de retorno sobre la base de la información de campo, la cual define el número mínimo de eventos sísmicos con fallamiento superficial. Se estimó la edad de los depósitos a partir del mapeo y correlación de superficies geomórficas y también, mediante dataciones por radiocarbono. La estimación de la incertidumbre en el período de retorno, toma en cuenta las incertidumbres asociadas con cada uno de los tipos de datos utilizados para definir la recurrencia sísmica. La información obtenida en las trincheras debe considerarse como el número mínimo de eventos sísmicos sobre la superficie de fallamiento, en el intervalo de tiempo representado por los depósitos expuestos. Esto significa que, dentro de dicho intervalo, pueden haber ocurrido otros eventos sísmicos que no han quedado expuestos en las trincheras o que, por ser eventos más antiguos, no se observaron evidencias de los mismos a la profundidad de excavación.

Fallas del Cerro de La Cal y de la calle Perú.

Se considera a estas fallas como segmentos separados pertenecientes a una única zona de falla. La mejor estimación del intervalo de recurrencia del evento máximo está basada en la ocurrencia de 3 (tres) terremotos en 4.000 años. La interpretación de la información obtenida en las trincheras, permite estimar un rango posible en años y número de eventos, que va desde 2 (dos) eventos en 8.000 años, hasta 4 (cuatro) eventos en 2.000 años. La distribución resultante para el intervalo de recurrencia, varía entre 500 y 4.000 años para el terremoto potencial máximo en cada una de las fallas.

Fallas de Salagasta y Los Cerrillos.

Al igual que en el caso anterior, se considera a estas dos fallas como segmentos separados de una única zona de falla. De los datos proporcionados por las trincheras realizadas, se obtiene la mejor estimación del intervalo de recurrencia del evento máximo, resultante de la ocurrencia de 2 (dos) terremotos en 10.000 años. Sin embargo, las incertidumbres en la interpretación de esta información llevan a considerar un rango relativo a edad y número de eventos, que va desde 1 (un) evento en 20.000 años hasta 4 (cuatro) eventos en 5.000 años. La distribución resultante para el intervalo de recurrencia, varía entre 1.250 y 20.000 años, en cada una de las fallas.

Anticlinal de Barrancas.

Se considera que el Anticlinal de Barrancas, estructuralmente está constituido por tres segmentos de fallas independientes. Para estimar el intervalo de recurrencia del evento máximo se utilizaron los datos obtenidos para el segmento norte, asumiendo que

los dos segmentos restantes tienen los mismos parámetros. La mejor estimación se basa en la ocurrencia de 3 (tres) eventos en 1.890 años. Se ha considerado improbable que hayan ocurrido menos de 3 (tres) terremotos durante ese tiempo, que es el resultante de la datación del horizonte de referencia. La distribución resultante, para el intervalo de recurrencia, varía entre 315 y 630 años.

Plegamiento de Tupungato.

Esta estructura se considera integrada por dos segmentos independientes. Además, se asume que el intervalo de recurrencia del terremoto máximo para cada segmento, es similar al estimado para el segmento norte del Anticlinal de Barrancas. En consecuencia, la distribución obtenida tiene como mejor estimación, un intervalo de recurrencia de 1.000 años, con un mínimo probable de 500 años.

Falla del Melocotón.

La falla del Melocotón está integrada por dos segmentos. La mejor estimación del período de recurrencia se basa en la ocurrencia de 2 (dos) desplazamientos sobre un horizonte de 38.000 años de antigüedad. El número máximo de eventos que podrían haber ocurrido es de 6 (seis), lo cual da un rango de intervalos de recurrencia que va desde 6.333 a 19.000 años. Como se discutió en el Capítulo 7, es posible considerar un intervalo alternativo de 4.000 años para el horizonte desplazado, discutiéndose posteriormente el impacto de esta interpretación sobre los valores del peligro sísmico resultante en el área bajo estudio.

Fallas del Cerro del Cristo y del Cerro de la Gloria.

Se considera a estas fallas como las evidencias principales de una zona de falla que se extiende sobre el borde oeste del Gran Mendoza. Se estima que cada una de ellas ha producido un evento sísmico con ruptura superficial dentro de los últimos 10.000 a 40.000 años, dándosele igual peso a estos dos valores de período de retorno.

Sistema de fallamiento de la Cordillera Frontal.

Este sistema está constituido, dentro de la región estudiada, por tres segmentos separados, estimándose un intervalo de recurrencia del terremoto máximo que va desde 2.500 a 10.000 años, para cada segmento.

Fuente de Sismicidad Regional.

Fuera del área de estas fallas han ocurrido numerosos sismos de menor magnitud, en zonas donde no se han identificado fallas activas, quizás por no tener expresión superficial. Para tener en cuenta esta actividad, se ha incluido en el análisis una fuente de sismicidad regional que abarca la zona ubicada al noreste del Gran Mendoza, con eventos sísmicos cuya magnitud máxima va de 5,5 a 6 grados. Dicha zona está comprendida por los paralelos 32° y 33,5° Sur y por los meridianos 68° y 68,7° Oeste, excluyendo el anticlinal de Barrancas, resultando un área de aproximadamente 10.000 km².

Debido a que el registro histórico es incompleto para magnitudes $M_s = 4$, se han estimado los intervalos de recurrencia tomando en cuenta la ocurrencia de los eventos más importantes dentro de la zona. Los terremotos de mayor magnitud registrados en esta región, son los ocurridos el 17 de diciembre de 1920, con magnitud $M_s = 6,0$ y un evento con magnitud variable entre 5,0 y 5,5 ocurrido en 1931. Se ha estimado que el período de retorno en esta zona, para eventos de magnitud $M_s > 5$, es de dos eventos sísmicos en 60 años para 10.000 km².

Para aplicar este modelo de recurrencia a toda la región bajo estudio, se tuvo en cuenta la posibilidad de variaciones considerables respecto a los valores obtenidos. Con base en ello se estimó que la incertidumbre en el período de retorno hace que éste varíe entre 13 y 120 años. Dentro de toda la región (alrededor de 39.000 km²), la distribución resultante para el período de recurrencia de sismos con magnitudes $M_s > 5$, varía entre 3,4 y 30 años.

Otras Fuentes de Corteza.

Teniendo en cuenta que el área bajo estudio en lo que respecta al trazado de mapas de peligro sísmico, se extiende más al norte de las fuentes superficiales identificadas, es necesario considerar que existen otras fuentes sísmicas que deben ser consideradas, ya que podrían contribuir significativamente a dicho peligro. Las más importantes son las fallas del Tigre y de la Precordillera, ubicadas en la provincia de San Juan. Ambas fueron incorporadas como fuentes sísmicas potenciales para la evaluación del peligro sísmico, utilizándose para su caracterización, los parámetros resultantes del Estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Tulum, en la provincia de San Juan (Gil-Nafá-Zamarbide, 1982).

No se consideraron fuentes sísmicas adicionales hacia el sur de la región estudiada, porque las fallas identificadas se extienden más allá del límite sur del área seleccionada para evaluar y mapear el peligro sísmico (34° de latitud sur).

Estimación del Intervalo de Recurrencia.

Estudios recientes sugieren que la distribución de magnitudes sísmicas para fallas individuales y segmentos de fallas, pueden ser representadas mejor por un modelo característico, el cual implica mayor frecuencia relativa de grandes terremotos respecto a los de magnitud intermedia (Coppersmith y Schwartz, 1984). En consecuencia, por ser este modelo característico más específico para la actividad sísmica propia de fallas, se le da mayor peso en el esquema de secuencias lógicas utilizado para la evaluación del peligro sísmico. En cambio, para fuentes regionales, tal como la Fuente de Sismicidad Regional, se trabaja solamente con la distribución exponencial, por ser la única aplicable.

En la figura 9-2 se comparan las formas resultantes para las distribuciones de magnitud sísmica exponencial, exponencial modificada y característica. Allí se presentan las tres distribuciones desarrolladas para una magnitud máxima, $M = 7 \frac{1}{4}$, estimada para una falla, manteniendo constante para los tres casos la frecuencia de eventos mayores que $M = 7$. Como puede verse, las distribuciones exponencial y exponencial modificada, son esencialmente iguales, excepto en el límite superior. En cambio, la distribución característica resulta reducida en un factor de aproximadamente 10 en la frecuencia de sismos de pequeña magnitud, comparada con las dos distribuciones anteriores.

La aplicación de ambos modelos requiere especificar el valor b correspondiente a la falla, a efectos de definir la frecuencia de eventos de magnitudes más pequeñas. Del análisis de la sismicidad de corteza superficial, se desprende que el valor regional más apropiado es $b = 0,7$, en términos de magnitud de ondas superficiales. Sin embargo, si se usa este valor regional para modelar la recurrencia de fallas individuales con diferentes magnitudes máximas, se obtiene como resultado una estimación de la sismicidad regional con el parámetro b algo diferente. En el modelo exponencial se requiere un valor de b igual a 0,5 para fuentes individuales, a fin de recuperar el valor regional de b igual a 0,7 con las recurrencias establecidas. En el caso del modelo característico se usó un valor de b igual a 0,65 para obtener el valor regional igual a 0,7.

Comparación entre la Sismicidad Superficial Predicha y Observada.

En la figura 9-3 se compara la frecuencia de ocurrencia de terremotos de corteza superficial, obtenida a partir de la caracterización de las fuentes sísmicas desarrollada en este estudio, con la sismicidad regional observada, para eventos de profundidad focal menor de 50 km. El gráfico de la izquierda muestra las curvas de recurrencia media predicha para las fuentes individuales y el valor medio total de sismicidad predicho para el modelo de fuente sísmica regional. En el gráfico de la derecha se presenta la incertidumbre estimada para la recurrencia predicha, basada en la incertidumbre calculada sobre los

parámetros que caracterizan a las fuentes. La curva continua representa la razón media de recurrencia predicha para la región, mientras que las curvas de trazo corresponden a los valores percentiles 5, 15, 50, 85 y 95 % de la distribución computada. Los valores adoptados para los parámetros que caracterizan a las fuentes, producen una estimación conservativa de la frecuencia de actividad sísmica en la corteza superficial dentro de la región en estudio.

9.1.2 Fuente de la Zona de Subducción.

Esta fuente comprende a los terremotos que se producen dentro de la placa subducida de Nazca, que yace a una profundidad de aproximadamente 100 km bajo la superficie, en correspondencia con la provincia de Mendoza. La figura 9-4 muestra la distribución espacial de sismicidad con profundidad focal mayor a 50 km, así como los límites de la fuente usada en el análisis del peligro sísmico. Allí se observa un cambio, tanto en densidad como en profundidad focal, atravesando la zona de noroeste a sureste, por lo que la zona fuente fue dividida en dos subzonas: una subzona noroeste consistente en una placa horizontal de 20 km de espesor y una subzona sudeste consistente en una placa buzante 25° hacia el sudeste.

En la figura 9-5 se presenta el gráfico de la frecuencia acumulada para la fuente que corresponde a la zona de la Placa de Nazca. La curva continua representa la relación de recurrencia obtenida utilizando la técnica de máxima verosimilitud de Weichert(1980), la cual da un valor de $b = 0,75$ con una frecuencia media anual de 4,5 eventos de magnitud $M \geq 4,0$. La incertidumbre en la estimación de la recurrencia se modeló construyendo una distribución compartida que toma en cuenta tanto la frecuencia acumulada como el valor de b , para lo cual se usaron los índices de verosimilitud relativa de varias combinaciones de los parámetros dados por los datos observacionales (Bender, 1983). En la figura 9-5 se muestran con líneas de trazo, las relaciones alternativas de recurrencia que se emplearon en el análisis. A cada una de estas curvas se le dio un peso relativo de alrededor del 12,5 %, mientras que a la estimación de máxima probabilidad (curva continua), se le otorgó un 50 %.

9.2 Relaciones de Atenuación.

Las relaciones de atenuación definen los valores de un parámetro del movimiento del terreno como función de la magnitud y la distancia. En este estudio se consideran relaciones de atenuación para la aceleración pico y la respuesta espectral de aceleraciones, por ser los parámetros requeridos para el análisis probabilístico del movimiento del terreno.

9.2.1 Relaciones de Atenuación para Terremotos de la Corteza Superficial.

Características Regionales de Atenuación:

Se han desarrollado varias relaciones de atenuación para el oeste de nuestro país, las que describen la variación de la aceleración pico del terreno con la distancia. Castano (1977) desarrolló una de estas relaciones, tomando como base la variación de la intensidad sísmica con la magnitud y distancia y una relación empírica entre intensidad y aceleración pico. Nuestra firma (Gil- Nafá-Zamarbide, 1982) desarrolló una relación de atenuación para aceleración máxima utilizando relaciones empíricas obtenidas para el oeste de los EE.UU., combinadas con la diferencia entre la razón de atenuación de la intensidad en el oeste de dicho país y en el oeste de la Argentina. Bufaliza (1987), desarrolló una relación de atenuación usando datos registrados en el oeste de Argentina, obteniendo:

$$\log(a_{\max}) = -0,7837 + 0,353.M - 1,5981.\log R - 0,00099.R \quad (9-3)$$

donde M es la magnitud correspondiente a las ondas superficiales para $M \geq 6$ y a las ondas de cuerpo para $M < 6$; R es la distancia hipocentral en km y a_{\max} es la mayor de las aceleraciones pico de las dos componentes horizontales, expresada en fracciones de g. El autor indica que la ecuación (9-3) debería ser modificada para tener en cuenta la saturación del movimiento del terreno cuando el sitio se aproxima al plano de falla, presentando en forma gráfica una relación modificada. Para este estudio hemos aproximado dicha gráfica, por la relación siguiente:

$$\log(a_{\max}) = -0,7837 + 0,353.M - 1,5981.\log(D) - 0,00099.D \quad (9-4)$$

donde D está dado por la expresión:

$$D = [R^2 + (4,32 \cdot 10^{0,073.M})^2]^{1/2} \quad (9-5)$$

En la figura 9-6 se presentan las tres relaciones de atenuación para magnitudes de 5, 6 y 7. Allí se observa que la relación desarrollada por Bufaliza, muestra una razón de atenuación con la distancia, mucho mayor que la obtenida con las otras dos relaciones, siendo muy similar a la observada en el oeste de los Estados Unidos.

No debe sorprender las diferencias halladas entre las relaciones de atenua-

ción desarrolladas a partir de datos instrumentales y a partir de la distribución de intensidades, teniendo en cuenta estudios recientes realizados en otras regiones del mundo.

Para el caso del Gran Mendoza se juzgó acertado considerar que la relación de atenuación desarrollada por Bufaliza (1987), con las modificaciones introducidas en este estudio, resulta apropiada para predecir los movimientos del terreno, por estar basada en el análisis de registros de movimientos fuertes ocurridos en la región. Se investigó también el efecto que tiene sobre el peligro sísmico, la razón de atenuación más baja, inferida a partir de las relaciones de atenuación basadas en intensidades sísmicas.

Efectos Locales.

Estudios recientes han comprobado que la aceleración máxima del terreno es relativamente insensible a las condiciones del subsuelo, con la excepción de los suelos blandos. Joyner y Boore (1981) no encontraron, en el conjunto de datos que utilizaron, diferencias estadísticas significativas entre las aceleraciones pico registradas en suelo y en roca y por ello los combinaron en el análisis que realizaron.

La figura 9-7 ilustra acerca de la falta de una correlación significativa entre la aceleración pico del terreno y las condiciones locales del suelo. En el sector superior izquierdo de dicha figura, se muestran las aceleraciones pico registradas durante el terremoto de Mendoza de 1985, separadas en tres categorías generalizadas de condiciones locales del suelo: roca, suelo superficial (profundidad a roca o material similar ≤ 20 metros) y suelo profundo. También se muestran las aceleraciones pico inferidas a partir de las amplitudes máximas registradas en varios sismoscopios, utilizando la relación a_{max} igual a 1,36 veces el coeficiente máximo del sismoscopio. En el sector superior derecho de la misma figura, se presenta un gráfico similar para los registros del terremoto de Whittier Narrows, California, ocurrido en 1987, evento que por su tamaño y estilo de fallamiento es comparable al de Mendoza. Los datos para los tres tipos de terreno muestran una superposición considerable, indicando que la dependencia de la aceleración pico respecto a la clasificación de las condiciones del sitio es muy débil.

En los dos gráficos de la parte inferior de la figura 9-7 se comparan las aceleraciones máximas registradas durante los terremotos de Mendoza (1985) y de Whittier Narrows (1987), para sitios con roca y con suelo superficial (sector inferior izquierdo) y para sitios con suelo profundo (sector inferior derecho). Como se indicó anteriormente, ambos terremotos produjeron niveles similares de aceleraciones pico.

Los registros de sismoscopios obtenidos durante el terremoto de Mendoza (1985) constituyen otro elemento ilustrativo respecto a la variabilidad en la amplitud del

movimiento del suelo que puede ocurrir a distancias cortas. A continuación se presentan los coeficientes máximos de los sismoscopios obtenidos de cinco instrumentos ubicados en el centro de Mendoza, separados entre sí aproximadamente un kilómetro.

Tabla 9-1

Registros de sismoscopios durante el terremoto del 26-01-85

<u>Ubicación del sismoscopio</u>	<u>Coefficiente máximo</u>
Edificio del Correo Central	0,10
D.N.V.	0,18
Universidad Tecnológica Nacional	0,18
Edificio Galería Tonsa	0,16
Municipalidad de la Capital	0,11

Estos registros se obtuvieron en sitios con condiciones del terreno muy similares, constituido por unos pocos metros de suelo limoso que cubren a depósitos de gravas densas. El factor de aproximadamente dos de diferencia existente entre algunas amplitudes máximas, podría atribuirse en parte, a la respuesta de cada edificio, pero a su vez demuestra que pueden existir amplias diferencias en la respuesta del terreno a distancias cortas, para sitios con condiciones similares del subsuelo. Esta aleatoriedad en el movimiento del terreno fue investigada con mayor detalle por Abrahamson (1988) en un análisis de la información proveniente del arreglo SMART 1, ubicado en Taiwan, consistente en una densa red de acelerógrafos localizados a nivel de una planicie aluvial con estratigrafía uniforme. Analizando la variación de las aceleraciones pico registradas para cada terremoto, Abrahamson (1988) llegó a la conclusión que se pueden esperar variaciones en los valores de las aceleraciones máximas de $\pm 20\%$ sobre distancias de unos pocos kilómetros, para idénticas condiciones del terreno.

Si se examina la distribución espacial de las intensidades registradas durante 6 terremotos ocurridos en el Gran Mendoza, se dispone de otra fuente que puede proveer evidencias de los efectos de las condiciones locales sobre el movimiento del terreno.

Esta información muestra también, una distribución casual de las mayores y menores intensidades, sin una tendencia clara de un sitio a exhibir en forma consistente, los más altos o los más bajos niveles de intensidades. Estos resultados indican que las

condiciones locales del terreno, dentro del área bajo estudio, deberían tener sólo un efecto menor sobre los movimientos del terreno de período corto, pudiendo ocurrir variaciones significativas durante cada evento sísmico.

Mientras que las condiciones del sitio tienen solamente un pequeño efecto sobre las aceleraciones pico, ejercen en cambio una fuerte influencia sobre el contenido de frecuencias del movimiento del terreno. A este respecto, las relaciones de atenuación para ordenadas de respuesta espectral desarrolladas por Joyner y Boore (1982) y por Sadigh y otros (1986), distinguen claramente los niveles de movimiento del terreno para sitios tipo roca y para sitios tipo suelo, con estos últimos produciendo amplitudes similares o levemente menores que los primeros para frecuencias altas y mayores amplitudes para frecuencias bajas.

Comparando los espectros de respuesta de velocidad normalizados respecto a la aceleración máxima del terreno, predichos por las relaciones de atenuación de Joyner y Boore (1982), modificadas por Joyner y Fumal (1985) para la componente aleatoria del movimiento y por Sadigh y otros (1986), con los obtenidos a partir de los acelerogramas registrados durante los terremotos de Cauçete (1977) y de Mendoza (1985), se ha comprobado que estas muestran una importante dispersión respecto a las formas predichas, las que representan el promedio de numerosos registros. Para realizar una comparación significativa se promediaron las formas espectrales de los 11 registros del terremoto de Mendoza de 1985, $M_s = 5,9$ y la réplica del terremoto de Cauçete de 1977, para obtener las formas espectrales medias, tanto para sitios de suelo profundo como de suelo firme superficial. En la parte superior de la figura 9-8 se comparan las formas resultantes con las predichas por las dos relaciones de atenuación mencionadas. Las formas espectrales medias para los movimientos registrados caen generalmente, en el rango de las formas predichas para períodos menores de dos segundos, aunque existen diferencias substanciales para algunos períodos. Estas diferencias pueden deberse, en parte, al número limitado de registros disponibles para calcular el promedio de las formas espectrales. Como ejemplo se comparan en los gráficos inferiores de la figura 9-8, las formas espectrales medias para un conjunto de 12 registros obtenidos durante el terremoto de Whittier Narrows de 1987, $M_s = 5,9$, con las dos formas predichas. Estos resultados muestran que las formas espectrales definidas usando un número limitado de datos provenientes de un conjunto de regiones, pueden tener diferencias significativas respecto a las formas espectrales medias definidas sobre la base de muchos registros de una misma región.

Las comparaciones mostradas en la figura 9-8 son indicativas de que las dos relaciones de atenuación proveen bases razonables para predecir las ordenadas de respuesta espectral, para terremotos superficiales de corteza en el oeste argentino. El número limitado

de registros de fuertes movimientos no es causa para pensar en usar formas espectrales alternativas.

Resumen de las Condiciones del Subsuelo en el Área Bajo Estudio.

En el área bajo estudio se presentan dos unidades geológicas bien definidas: los depósitos de material más grueso pertenecientes al cono aluvial del río Mendoza o Cono de Maipú como se acostumbra a denominar y la denominada planicie de transición (del Tulumaya) consistente en sedimentos más finos y que se ubica hacia el norte y noreste de la zona de estudio.

El cono aluvial del río Mendoza está limitado, hacia el oeste, por los depósitos de material pedemontano que es de características más angulosas. La demarcación entre los depósitos de material grueso y los de material más fino, no se produce a lo largo de una línea bien definida, sino que es más bien gradual dentro de una zona de ancho variable y a la cual hemos denominado zona de transición.

Como se describió anteriormente, el tamaño de los sedimentos dejados por el río resulta más fino hacia el norte. De tal modo que es común encontrar, p.e., material con tamaño de bloques, bochas y gravas gruesas cerca de Cacheuta y Luján, en la parte sudoeste del área en estudio. Estos sedimentos van reduciendo su tamaño pasando a gravas, gravillas y arenas en la parte central del área bajo estudio. Hacia el norte y noreste, los sedimentos encontrados consisten en limos y arcillas que cubren materiales más gruesos en profundidad.

El espesor de la capa de sedimentos limosos que cubren el material aluvial del río Mendoza es relativamente pequeño, siendo generalmente del orden de 1 a 3 metros en la parte sur del área estudiada. Dicho espesor aumenta hacia la parte central y especialmente hacia el norte como se dijo anteriormente, habiéndose alcanzado 20 metros en algunos de las perforaciones exploratorias ejecutadas. Hacia el norte de Las Heras y de Guaymallén predominan los depósitos de limos y arcillas con espesores superiores a los 20 metros. El espesor más común de los depósitos de sedimentos finos dentro de la zona de transición varía entre aproximadamente 5 y 20 metros.

El nivel del agua freática libre es bastante profundo en la mayoría del área bajo estudio, variando entre 35 y más de 100 metros. Por ello, puede ignorarse la influencia del agua subterránea en la zonificación para sitios como Capital, Godoy Cruz, Maipú, Luján y gran parte de Guaymallén y Las Heras, donde la profundidad de la napa freática oscila entre los valores antes mencionados.

En cambio hacia el este y noreste del área bajo estudio, se ha encontrado que el nivel de la falsa freática varía entre 1 y 10 metros. Para esas zonas, el agua subterránea adquiere importancia en la evaluación del peligro sísmico, ya que como los sedimentos superficiales finos poco densos que prevalecen en la zona están saturados, pueden licuar debido a movimientos sísmicos, lo que está avalado por lo ocurrido durante terremotos pasados que afectaron la zona.

Con el objeto de investigar la confiabilidad de utilización del sistema de clasificación de dos condiciones de sitio, para la microzonificación sísmica del Gran Mendoza, se llevó a cabo una serie de análisis unidimensionales de la respuesta del terreno, utilizando un conjunto de 17 perfiles representativos de las condiciones del subsuelo encontradas en el Gran Mendoza. Las propiedades dinámicas de los suelos se definieron a partir de los resultados de relevamientos geofísicos realizados mediante refracción sísmica superficial y el método down-hole. El cálculo se realizó mediante el programa SHAKE (Schnabel y otros, 1972), utilizando los acelerogramas registrados en el INPRES durante el terremoto de 1977, $M = 7,4$, y en Potrerillos, durante el terremoto de 1985, $M_s = 5,9$, como señales de entrada, los que se escalaron a aceleraciones pico de 0,2 g y 0,4 g.

En la figura 9-9 se resumen los resultados del análisis. Allí se muestran las razones de las respuestas espectrales calculadas para los perfiles N° 2 a N° 17, con respecto a la correspondiente al perfil N° 1, el cual consiste en 2 metros de suelo que yacen sobre gravas densas y que sería considerado como tipo roca en el oeste de los EE.UU. Cada perfil ha sido clasificado como correspondiendo a uno de los dos tipos de sitios de la clasificación propuesta. Los perfiles que corresponden a las dos columnas de la izquierda, se clasificaron como sitios con suelos firmes superficiales (menos de 20 metros hasta llegar al material de alta velocidad de ondas de corte), para los cuales los movimientos superficiales calculados son generalmente similares a los obtenidos para el perfil N° 1. Los perfiles de las dos columnas de la derecha se clasificaron como sitios con suelos profundos (más de 20 metros hasta llegar al material de alta velocidad de ondas de corte), para los cuales los movimientos computados son significativamente diferentes de aquéllos obtenidos para el perfil N° 1 y para otros perfiles correspondientes a suelo firme superficial. Los movimientos calculados para los perfiles de suelo más profundo, tienden también a ser similares en carácter. Los resultados presentados en la figura 9-9 indican que el sistema de clasificación propuesto (sitios con suelos firmes superficiales y sitios con suelos profundos), provee una base razonable para el agrupamiento de depósitos de suelo con similares características de respuesta, con la finalidad de evaluar el peligro sísmico con alcance regional. En consecuencia, la clasificación propuesta es:

***Roca y suelo firme:** Las condiciones del subsuelo consisten en depósitos superficiales de limos y arenas finas, con espesores que van desde 0 hasta 20 metros, yacentes sobre roca o sobre los depósitos densos a muy densos de sedimentos granulares gruesos del piedemonte o del río Mendoza. Las áreas sobre las que debe aplicarse este modelo incluyen, por ejemplo, a Maipú, Godoy Cruz, la mayor parte de Capital y las zonas de transición entre los depósitos densos correspondientes al piedemonte y al río Mendoza y los sedimentos más finos situados hacia el norte y noreste.*

***Suelo profundo:** Las condiciones del subsuelo consisten en depósitos de arenas finas, limos y arcillas densas, que se extienden más de 20 metros debajo de la superficie y que yacen sobre los depósitos muy densos de suelos granulares gruesos del río Mendoza o sobre roca. Las zonas donde se aplica este modelo incluyen a parte de Guaymallén y de Las Heras (zona noreste del área bajo estudio)*

Relaciones de atenuación seleccionadas.

Las relaciones de atenuación seleccionadas para el cálculo del riesgo sísmico, son la desarrollada por Bufaliza (1987) y las definidas por otros autores para el oeste de Estados Unidos. La primera de ellas fue seleccionada por haberse realizado el análisis con datos de movimientos fuertes del oeste de Argentina. Las relaciones desarrolladas por Sadigh y otros (1986), reflejan diferencias acerca de la forma de la relación y el efecto de las condiciones del terreno sobre la aceleración máxima. Otra diferencia importante, es que esta última propone que la dispersión en los valores del movimiento del suelo varíe en función de la magnitud, decreciendo a medida que la magnitud aumenta. A ambas relaciones de atenuación se les ha dado igual probabilidad de ser la relación correcta para predecir la amplitud del movimiento del terreno en el oeste de la Argentina. Se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto de usar relaciones de atenuación basadas en intensidades sísmicas (Castano, 1977; Gil-Nafá-Zamarbide, 1982) en el cálculo del peligro sísmico.

La relación de Bufaliza (1987) puede sobrestimar el movimiento del terreno para eventos de magnitud $M \geq 7$, en el campo cercano.

Varios investigadores han propuesto una saturación parcial o total del movimiento para magnitudes grandes; algunos (Schnabel y Seed, 1972; Campbell, 1981; Sadigh, 1983) basándose en datos empíricos limitados, y otros (Joyner, 1984) en base a la diferencia del espectro de la fuente sísmica con la magnitud.

En la figura 9-10 se muestra la variación de la aceleración pico del terreno con la magnitud, para los dos modelos de fuente, a una distancia de 10 km desde la fuente. En la figura superior se presentan las curvas de aceleraciones pico vs. M_s calculadas mediante las relaciones de atenuación de Bufaliza (1987) y de Boore (1986), utilizando en este último caso los modelos de fuente de Brune y de Joyner. Se fijó en $M_s = 7$, la magnitud crítica para el modelo de Joyner, considerando que ésta es la magnitud para la cual una corteza de 30 km de espesor se rompería en un modelo de ruptura cuadrada. También se muestra en el mismo gráfico y a la misma escala, la relación empírica obtenida por Bufaliza (ecuaciones 9-4 y 9-5). Allí puede observarse que las relaciones teóricas y empíricas son muy similares hasta magnitud $M = 7$. Por tal motivo y con el objeto de reflejar los resultados predichos por el modelo de fuente de Joyner (1984), se modificó la relación de atenuación de Bufaliza para terremotos de magnitud $M \geq 7$, alterando la expresión dada por el término D en la ecuación 9-4, resultando:

$$D = [R^2 + (1,1 \cdot 10^{0,158})^2]^{1/2} \quad \text{para } M > 7 \quad (9-6)$$

La relación modificada se graficó en la parte inferior de la figura 9-10, para magnitudes $M = 6,5; 7,0; 7,5$ y 8 , donde también se muestran las curvas correspondientes a la relación de atenuación dada por Sadigh y otros (1986), para el mismo rango de magnitudes. La forma modificada de la relación de Bufaliza, exhibe menor saturación de amplitud en el campo cercano que la predicha por la relación de Sadigh y otros.

Se utilizaron las amplificaciones espectrales para varios períodos obtenidas mediante las relaciones de Joyner y Boore (1982), modificadas por Joyner y Fumal (1985), para construir un conjunto de relaciones de atenuación de la ordenada espectral, basado en las relaciones de atenuación de la aceleración pico definidas por las ecuaciones 9-4, 9-5 y 9-6.

9.2.2 Relaciones de Atenuación para Terremotos de la Zona de Subducción.

Las investigaciones referidas a las características del movimiento del terreno producido por terremotos originados en la zona de subducción, han demostrado que estos presentan una razón de atenuación significativamente diferente a los terremotos de corteza superficial. Gil-Nafá-Zamarbide (1982) en el Estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Tulum (San Juan), desarrollaron relaciones de atenuación para predecir el movimiento del terreno debido a los terremotos que ocurrieran en la Placa de Nazca. Crouse y otros (1988), Youngs y otros (1988), desarrollaron relaciones de atenuación de la aceleración pico, y relaciones de atenuación de las ordenadas espectrales, para terremotos

de la zona de subducción, para condiciones de sitio tipo roca y suelo firme y tipo suelo profundo.

En la figura 9-11 se comparan las relaciones de aceleraciones pico mencionadas precedentemente, para terremotos de la zona de subducción. Las curvas correspondientes al trabajo de Youngs y otros (1988) se refieren a eventos intraplaca. Las curvas obtenidas por Crouse y otros (1988) fueron desarrolladas asumiendo una profundidad focal de 100 km y se obtuvieron dividiendo las ordenadas espectrales predichas para un período de 0,10 seg por un factor 2, que es el valor típico de amplificación espectral para este período. Las relaciones dan estimaciones similares para sitios con condiciones tipo suelo profundo, comprobándose que las dos relaciones que reflejan el efecto de los terremotos más profundos dan como resultado las más altas estimaciones.

Para calcular las contribuciones de la sismicidad de la Placa de Nazca al peligro sísmico de la región, se utilizaron las relaciones desarrolladas por Youngs y otros (1988). Se evaluaron las ordenadas espectrales para sitios tipo roca por medio de las relaciones desarrolladas por Youngs y otros (1988) y las ordenadas espectrales para sitios con suelo profundo, utilizando las relaciones obtenidas por Crouse y otros (1988). En la figura 9-12 se muestra la respuesta espectral media predicha por las dos relaciones.

9.3 Análisis de los Resultados y Sensibilidad.

9.3.1 Peligro Sísmico Calculado.

Se confeccionaron mapas de peligro sísmico, mediante la integración de los valores puntuales obtenidos en 80 puntos ubicados sobre una grilla irregular que comprendió a toda la región del estudio. Las fallas individuales se modelaron como superficies planas segmentadas. Se usó un modelo más complicado para representar la distribución espacial de los terremotos asociados a las estructuras de Barrancas y Tupungato.

Se calculó la función de densidad de probabilidad correspondiente a la distancia desde la traza de ruptura para cada fuente, asumiendo que las rupturas superficiales están uniformemente distribuidas horizontalmente a lo largo de la falla y que las profundidades focales están uniformemente distribuidas en relación a la profundidad. En todos los casos se computaron estas funciones en un todo de acuerdo con el tipo de distancia usada en cada una de las relaciones de atenuación.

La longitud de ruptura de un evento se especifica por medio de la relación

$\ln(\text{área de ruptura}) = 2 M_s - 7,119$, la cual fue desarrollada a partir de los datos de terremotos de corteza superficial, presentados por Wyss (1979). Esta relación da, para una magnitud específica, el valor medio del área de ruptura en lugar de la mediana de la misma. Estudios efectuados por Bender (1984) muestran que el uso del valor medio estimado del tamaño de ruptura, en el cálculo del peligro sísmico, da resultados muy similares a los obtenidos cuando se incorpora en el análisis la incertidumbre estadística proveniente de la estimación del tamaño de las rupturas individuales.

Se calculó el peligro sísmico considerando las contribuciones de terremotos con magnitudes $M_s = 5$ o mayores. La experiencia obtenida en lo concerniente al efecto de los terremotos sobre las estructuras, muestra que generalmente eventos sísmicos de menor magnitud, no han causado daños estructurales a las construcciones, aunque a veces hayan generado elevadas aceleraciones pico. Sin embargo, teniendo en cuenta que ciertas construcciones pueden ser sensibles al efecto de los movimientos de alta frecuencia producidos por sismos de magnitudes más pequeñas, se efectuó un análisis de sensibilidad en el cual se incluyeron las contribuciones al peligro sísmico de los terremotos con magnitudes en el rango de 4 a 5.

En cada punto de la región bajo estudio se desarrollaron las distribuciones de frecuencia anual de excedencia de varios niveles de amplitud pico de movimiento del terreno. Se seleccionó un camino particular a través del modelo de secuencias lógicas (tal como la relación de atenuación de Sadigh y otros, 1986; 60° de buzamiento de la falla, y, por cada fuente sísmica, una posible magnitud máxima, una posible razón de recurrencia y uno de los dos modelos de recurrencia) y se calculó la frecuencia anual de excedencia para varios niveles de amplitud máxima de movimiento del terreno. A los valores resultantes se les asignó un peso igual a la probabilidad de que el camino particular a través del árbol secuencial sea el conjunto correcto de los parámetros modelados. Posteriormente se repitió el proceso para todo otro camino posible a través del árbol secuencial, asignándosele un peso apropiado a cada resultado. El conjunto completo de resultados calculados forman, para cada nivel de movimiento del terreno, una distribución discreta para frecuencia de excedencia, de la misma manera que la distribución discreta para magnitud máxima mostrada en la figura 9-1b.

La figura 9-13 muestra las curvas de peligro sísmico resultantes para sitios localizados en Capital, al oeste de la Capital y al este de la misma, expresadas como aceleraciones máximas en sitios con condiciones del terreno tipo roca y suelo firme y en sitios con suelo profundo. Allí pueden observarse las curvas que expresan tanto el peligro sísmico medio (curva continua), como los percentiles 5, 15, 50, 85 y 95 de las distribuciones calculadas para frecuencia de excedencia.

Estos resultados indican que existe una amplia variación del peligro sísmico calculado a través de la región bajo estudio. Esto es como consecuencia de los cambios en las contribuciones relativas al peligro sísmico, de las diferentes fuentes sísmicas, de un sitio a otro.

En la figura 9-14 se muestran las contribuciones individuales de las sismicidades de corteza y de subducción al peligro sísmico total. Estos gráficos indican que la porción de peligro debido a la sismicidad de la placa de Nazca es muy similar en los tres sitios mostrados, lo que es una consecuencia del hecho que esta fuente está subyaciendo debajo de toda la región considerada. La diferencia mayor en estos casos, se debe principalmente a las condiciones locales del suelo, lo que era de esperar teniendo en cuenta las grandes diferencias en las amplitudes del movimiento del terreno predichas por las relaciones de atenuación para las dos condiciones de sitio.

9.3.2 Contribuciones a la Incertidumbre.

Las distribuciones en el peligro sísmico calculado, representan el efecto acumulado de todos los niveles de incertidumbre, de los parámetros incluidos en el modelo de secuencias lógicas utilizado para la evaluación del peligro sísmico. Las contribuciones relativas de los diferentes componentes del modelo a la incertidumbre total, pueden identificarse rápidamente a partir de la formulación del esquema de secuencias lógicas, mediante el cálculo del peligro sísmico manteniendo fijos los parámetros individuales a valores específicos. Por ejemplo, se puede obtener la contribución de la incertidumbre en la relación de atenuación, calculando el valor medio del peligro, asumiendo para ello que cada relación de atenuación es, a su turno, la correcta, y asignándole un peso igual a 1, mientras que a las otras se les da peso igual a 0. Las contribuciones a la incertidumbre de las componentes del modelo, serán examinadas en forma separada para las fuentes de corteza superficial y de la Placa de Nazca, debido a que los diferentes parámetros fueron considerados separadamente para las dos fuentes.

Los resultados obtenidos indican que la incertidumbre en el peligro debida a la incertidumbre en seleccionar la relación de atenuación apropiada, aumenta a medida que se incrementa el nivel de aceleración. Las diferencias que se observan para niveles altos de aceleración se deben, en gran medida, a diferencias surgidas de la variación del movimiento del terreno asociadas con los dos modelos.

Las variaciones en el buzamiento de las fallas producen los máximos cambios relativos en la distribución correspondiente a la distancia a la rotura superficial. Sin embargo, aun en estos lugares resulta pequeño el efecto de la incertidumbre sobre el buzamiento.

Para los siguientes dos parámetros en el modelo de peligro sísmico, que son la magnitud máxima y la razón de recurrencia, se evaluaron las contribuciones a la incertidumbre total computando las curvas de peligro sísmico correspondientes a los percentiles 5 y 95, considerando solamente la incertidumbre en el parámetro individual. La variación del peligro sísmico calculado, debida a la incertidumbre en estos dos parámetros, es generalmente similar en toda la región bajo estudio, con la tendencia a ser menor en los lugares donde la fuente sísmica regional contribuye fuertemente al peligro sísmico total.

En la figura 9-15 se muestra el impacto de la incertidumbre en el modelo de recurrencia sobre la incertidumbre total en la frecuencia de excedencia. El efecto es máximo en los lugares donde el peligro sísmico es dominado por las contribuciones provenientes de las fallas de la corteza. En esos sitios se nota una gran contribución debida a eventos con magnitudes entre 5 y 6, especialmente para niveles bajos de aceleración. La elección del modelo apropiado de recurrencia, afecta considerablemente la frecuencia predicha de los eventos de magnitudes más bajas.

En resumen, para sitios cercanos a las fallas superficiales, la incertidumbre en la selección del modelo apropiado de recurrencia aporta la mayor contribución a la incertidumbre en el peligro sísmico, seguida por la incertidumbre en la selección de la relación de atenuación. Para sitios localizados en áreas de menor peligro, la mayor contribución al mismo proviene de la selección apropiada de la relación de atenuación.

Para la fuente Placa de Nazca, los resultados indican que la incertidumbre se debe en gran medida a la incertidumbre en la selección de la relación de atenuación, mientras que la incertidumbre en la recurrencia sísmica tiene poca influencia en la incertidumbre total.

9.3.3 Análisis Adicional de Sensibilidad.

Se realizaron análisis adicionales para evaluar la sensibilidad de los resultados a: la razón de recurrencia estimada para la falla del Melocotón, la inclusión de otras fallas en el estudio, el uso de posibles relaciones de atenuación con razones de atenuación más bajas y un corte de magnitud inferior al utilizado.

Razón de recurrencia para la falla del Melocotón:

La estimación de recurrencia para la falla del Melocotón está basada en una datación de edad de 38.000 años, para un horizonte de suelo fallado. Una posible interpretación alternativa, como se discutió en 9.1.1 es que el horizonte fallado tiene solamente

4.000 años, lo que da como resultado una frecuencia de ocurrencia de terremotos para esa falla diez veces superior. Se recalculó el peligro sísmico originado en las fuentes de corteza superficial para Capital y para un sitio que está situado cerca de la falla del Melocotón. Para Capital el efecto es mínimo, debido a la distancia hasta la falla del Melocotón y a la presencia de otras fallas más activas y más próximas a la ciudad. Sin embargo, cerca de la falla del Melocotón, la recurrencia alternativa produce un incremento sustancial en el peligro sísmico, transformándose la falla del Melocotón en la fuente sísmica dominante.

Efecto de posibles fallas adicionales:

La falla Mariposa y la falla potencial situada a lo largo de la calle Boulogne Sur Mer, se consideraron como fallas activas independientes en este nuevo análisis del peligro sísmico.

Los resultados de este análisis de sensibilidad indican que la existencia de una falla coincidente con la calle Boulogne Sur Mer tendría efectos mínimos sobre el peligro sísmico en Mendoza. Respecto a la falla Mariposa, se comprueba que en un sitio ubicado cerca de ella, el efecto es también mínimo cuando se incluye esa falla como una fuente sísmica independiente.

Efecto de una menor razón de atenuación del movimiento del terreno:

También se efectuó un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto de una menor razón de atenuación del movimiento del terreno, resultante de considerar las atenuaciones basadas en intensidades sísmicas, desarrolladas por Castano, 1977 y Gil-Nafá-Zamarbide, 1982 y que han sido previamente utilizadas en estudios de peligro sísmico en el oeste argentino. Las dos relaciones de atenuación para terremotos superficiales utilizadas en el análisis básico, fueron reemplazadas por las relaciones basadas en la intensidad del movimiento y luego se recalculó el peligro para los dos sitios. En la figura 9-16 se comparan las curvas de valor medio del peligro sísmico, obtenidas mediante la utilización de las relaciones basadas en la intensidad, con las del peligro sísmico total de todas las fuentes, obtenidas con el análisis básico. Como puede observarse, una razón de atenuación más baja resulta en un pequeño incremento en la amplitud de movimiento del terreno para un determinado periodo de retorno, en sitios donde las fuentes sísmicas cercanas (como ocurre en Capital) o la de la Placa de Nazca (como ocurre en sitios con condiciones de suelo profundo como los localizados al este y noreste de la zona bajo estudio) dominan el peligro sísmico total. El efecto es más pronunciado para sitios con condiciones superficiales tipo roca o suelo firme, dominados por fuentes de corteza más distantes.

Contribución de los eventos con magnitud menor de 5 :

Se calculó el efecto sobre el peligro sísmico total que resulta de incluir las contribuciones de sismos superficiales en el rango de magnitudes que va de 4 a 5, observándose que esta innovación produce un incremento de alrededor de 0,05g en la aceleración pico para una frecuencia dada de excedencia. El efecto es más significativo para aquellos niveles de movimiento del terreno donde los eventos de magnitudes más pequeñas producen una contribución mayor al peligro sísmico total.

9.3.4 Mapas de Peligro de Aceleraciones Máximas.

La variación del peligro sísmico en toda la zona bajo estudio se presenta en términos de curvas de niveles medios de aceleración máxima del terreno, correspondientes a 10 por ciento de probabilidad de excedencia en períodos de 10, 20, 50 y 250 años.

Asumiendo que la ocurrencia de terremotos es un proceso de Poisson, los cuatro niveles de probabilidad (es decir, 10% de probabilidad de excedencia en períodos de 10, 20, 50 y 250 años), corresponden a períodos de retorno de alrededor de 100, 200, 500 y 2.500 años respectivamente.

La determinación de los valores del peligro se hizo para los 80 puntos de una grilla irregular trazada sobre la región en estudio. Las aceleraciones máximas correspondientes a las cuatro frecuencias de ocurrencia definidas anteriormente, se interpolaron entre los valores calculados para cada punto, y con los valores resultantes se trazaron las curvas de los mapas de peligro que se muestran en las figuras 9-17 a 9-24.

La variación espacial en el peligro se incrementa con la disminución de la probabilidad de excedencia (período de retorno creciente), reflejando el dominio incrementado sobre el nivel del peligro por las contribuciones provenientes de las fallas de corteza poco profundas en los sectores central y oeste de la región bajo estudio. Los niveles más altos de peligro ocurren en la vecindad del Gran Mendoza y a lo largo del plegamiento de Barrancas, que hemos caracterizado como la fuente sísmica más activa en la región.

9.3.5 Espectros de Respuesta.

Se evaluaron aceleraciones espectrales apropiadas para ser usadas junto con los curvas de niveles de aceleraciones máximas ya descritas. Para ello se desarrollaron espectros de respuesta de igual peligrosidad para distintas localidades de la región, para períodos de vibración comprendidos entre 0,04 y 4 segundos, realizando análisis de exposición para los que se utilizaron las relaciones de atenuación de las ordenadas

espectrales de respuesta, descriptas previamente. Los valores de aceleración espectral correspondientes a los cuatro niveles de probabilidad utilizados para trazar los mapas de peligrosidad sísmica (10% de probabilidad de excedencia en 10, 20, 50 y 250 años), se interpolaron a partir de las curvas de peligrosidad para cada período de vibración y con esos valores calculados, se trazaron espectros suavizados para confeccionar los espectros de igual peligrosidad.

Para comparar directamente el contenido de frecuencia relativa de los distintos espectros de igual peligrosidad, se normalizaron los espectros absolutos a sus niveles de aceleración máxima del terreno. Las formas espectrales resultantes se comparan en la figura 9-25. En general, la forma espectral calculada para una clasificación particular del sitio (en cuanto al tipo de suelo), nivel de probabilidad y relación de atenuación, es similar en las cuatro localidades. Las relaciones correspondientes a un sitio con suelo profundo muestran las mayores variaciones, debido a que están más influenciadas por las contribuciones de la sismicidad correspondiente a la Placa de Nazca. Los movimientos del terreno debidos a terremotos profundos de la zona de subducción, tienen tendencia a exhibir contenidos de frecuencia en cierto modo diferentes que aquellos debidos a terremotos superficiales de corteza.

Promediando las formas espectrales calculadas para las cuatro localidades antes mencionadas, se obtuvieron formas espectrales promedio para cada nivel de probabilidad y clasificación de sitio. Estas formas espectrales se presentan en la figura 9-26. Dichas formas difieren a lo sumo en un 20 % de las formas espectrales obtenidas en cada localidad. Consecuentemente, se propone que las formas espectrales de la figura 9-26 sean utilizadas para el correspondiente nivel de probabilidad y clasificación de sitio, independientemente de la ubicación, dentro del área bajo estudio.

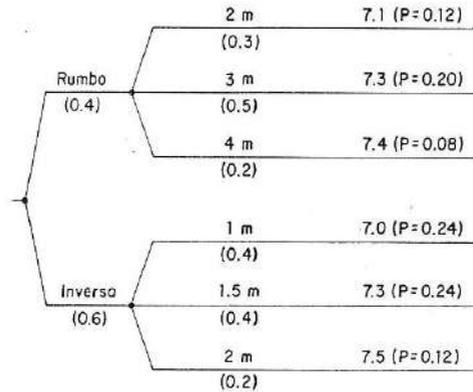
En la figura 9-27 se comparan las formas espectrales promedio, desarrolladas a partir del análisis probabilístico, con las formas espectrales desarrolladas para ser usadas con el Uniform Building Code (UBC) de los Estados Unidos de 1988. Las dos formas presentadas son: S₁ para uso en sitios con roca o suelo firme y S₂ para uso en sitios con suelos firmes profundos. Las formas espectrales del UBC son las mismas que las desarrolladas por el Applied Technology Council (ATC, 1978) y representan las formas espectrales promedio para terremotos en el rango de magnitud de 6,5 a 7,5. Como puede observarse, las formas espectrales probabilísticas son menores, para períodos mayores de aproximadamente 0,2 segundos, que las formas espectrales del UBC para las correspondientes condiciones del sitio. La razón de que así suceda se ilustra en la figura 9-28, donde se comparan las formas espectrales predichas para eventos de $M_s = 5,5$ y $M_s = 7,0$, utilizando las diferentes relaciones de atenuación aceptadas en el análisis del peligro, con las formas

espectrales correspondientes al UBC. Las formas predichas para eventos sísmicos superficiales de magnitud $M_s = 7$ (Joyner and Boore, 1982; Sadigh y otros, 1986) son similares a las formas espectrales del UBC, mientras que aquéllas para terremotos superficiales de magnitud $M_s = 5,5$ y para terremotos de la zona de subducción, tanto de magnitud $M_s = 5,5$ como $M_s = 7,0$ (Crouse y otros, 1988; Young y otros, 1988), muestran amplitudes más bajas a período largo que las formas espectrales del UBC, para el mismo nivel de aceleración pico. Los eventos sísmicos de magnitud $M_s = 5,5$, tanto superficiales como de la zona de subducción, tienen una contribución significativa al peligro de aceleraciones máximas. A medida que el nivel de probabilidad disminuye (aumento de la amplitud del movimiento del suelo), los eventos sísmicos superficiales de mayor magnitud van dominando en forma cada vez más marcada el peligro total y las formas espectrales probabilísticas más se aproximan a las formas espectrales del UBC.

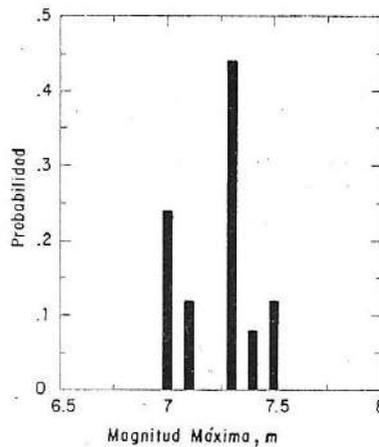
Los espectros de igual peligrosidad de aceleración absoluta para sitios con suelos profundos, se pueden obtener multiplicando las formas espectrales correspondientes a ese tipo de suelos, que se presentan en la figura 9-26 ó 9-27, por la aceleración pico apropiada obtenida de los mapas de peligro sísmico para el nivel de probabilidad que se trate. Como ejemplo de aplicación, la figura 9-29 presenta el espectro de respuesta de igual peligrosidad para sitios con roca y/o suelos firmes y para sitios con suelos profundos, para la zona de Maipú, correspondiente a un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años. Los mapas de peligrosidad de las figura 9-21 y 9-22 indican que las aceleraciones pico del terreno son 0,47g para roca y suelos firmes y 0,50g para suelos profundos. Los espectros de aceleración absoluta que se muestran en la figura 9-29, se obtuvieron multiplicando las formas espectrales apropiadas de la figura 9-27 por estos dos niveles de aceleración.

En la figura 9-29 también se muestran los espectros de respuesta que se obtendrían usando las formas espectrales del UBC (1988) ancladas a una aceleración pico de 0,4g, que corresponde a la usada en el UBC para la Zona 4 (California) de Estados Unidos. El espectro de respuesta probabilístico indica más movimiento de alta frecuencia y menor movimiento de período largo, que el espectro basado en el UBC, para una región de peligro sísmico similar.

Sentido del Desplazamiento	Desplazamiento Máximo por Evento	Magnitud Máxima Computada
----------------------------	----------------------------------	---------------------------



a) Esquema de Secuencias Lógicas para evaluar la magnitud máxima



b) Distribución discreta para magnitud máxima

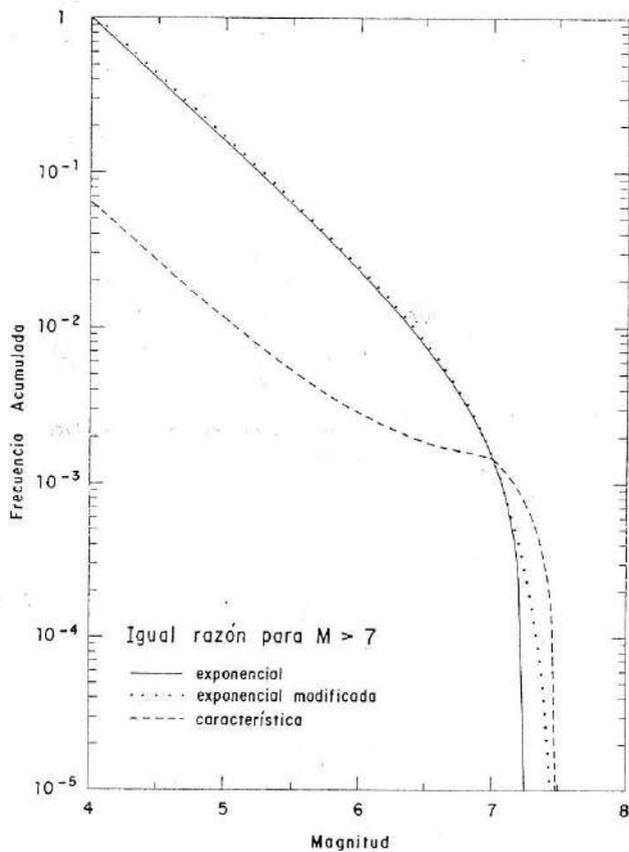
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

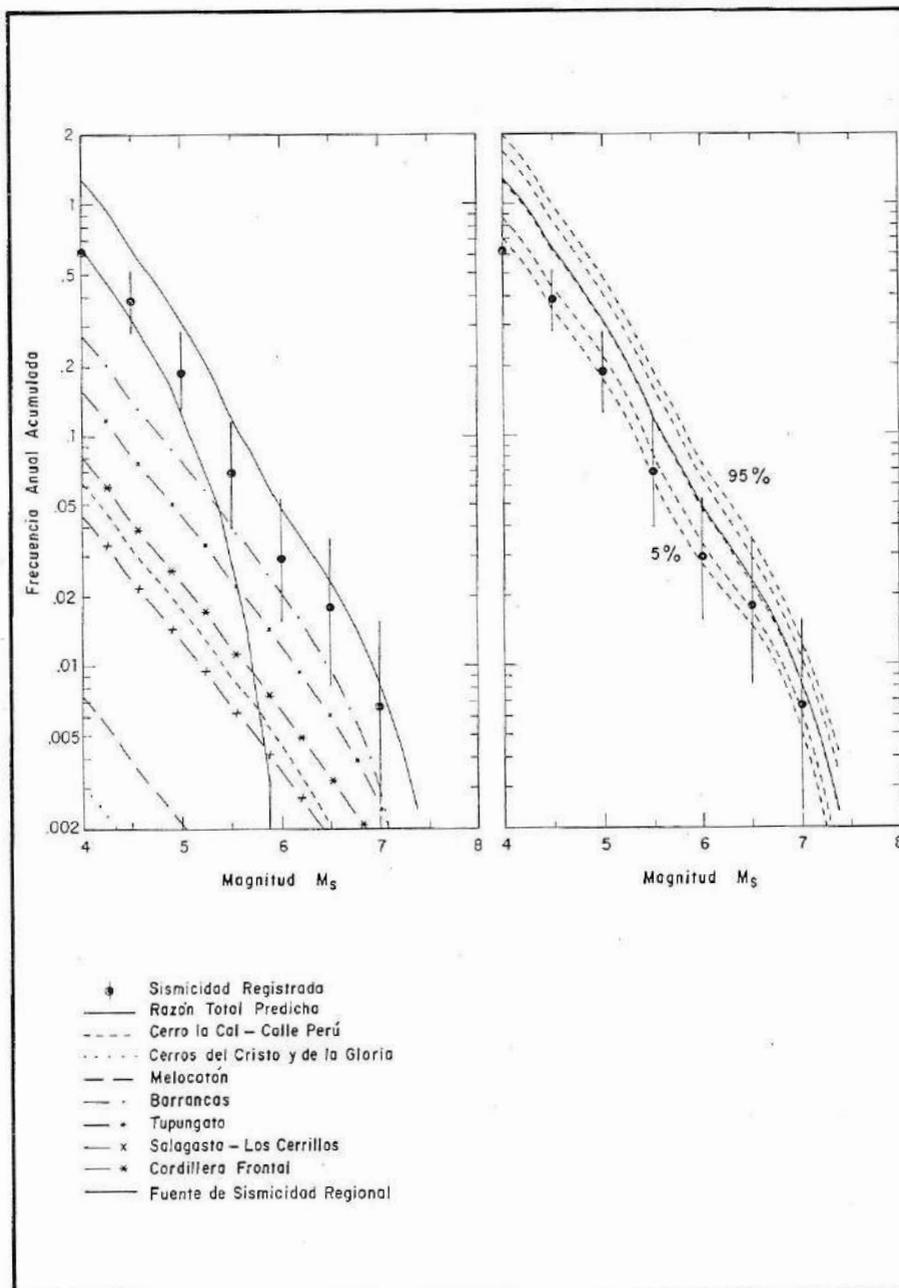
Ejemplo de esquema de secuencias
lógicas

Figura
9-1

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Modelos de recurrencia exponencial y característica.	Figura 9-2
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

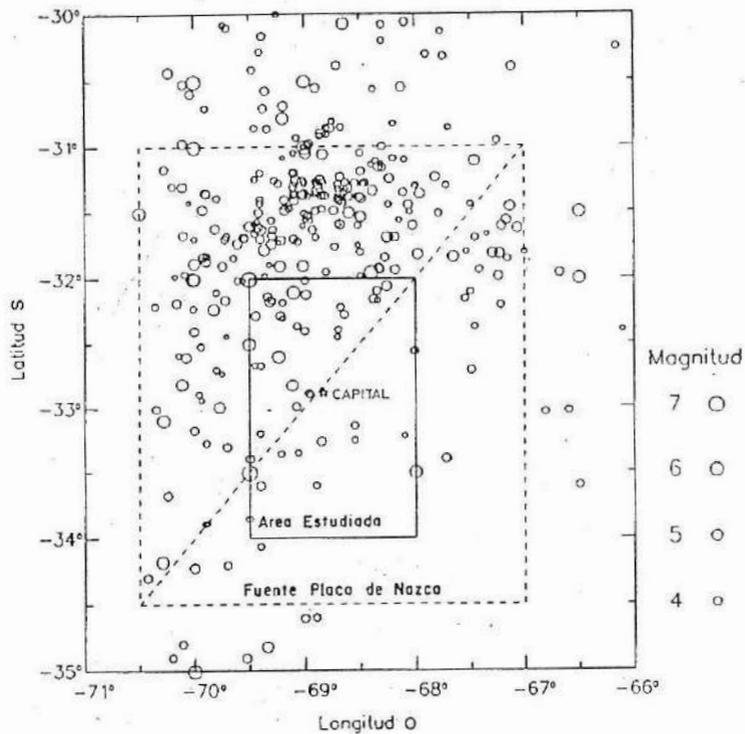
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
 REPUBLICA ARGENTINA

Comparación de la sismicidad predicha para fuentes de corteza, con la sismicidad regional observada.

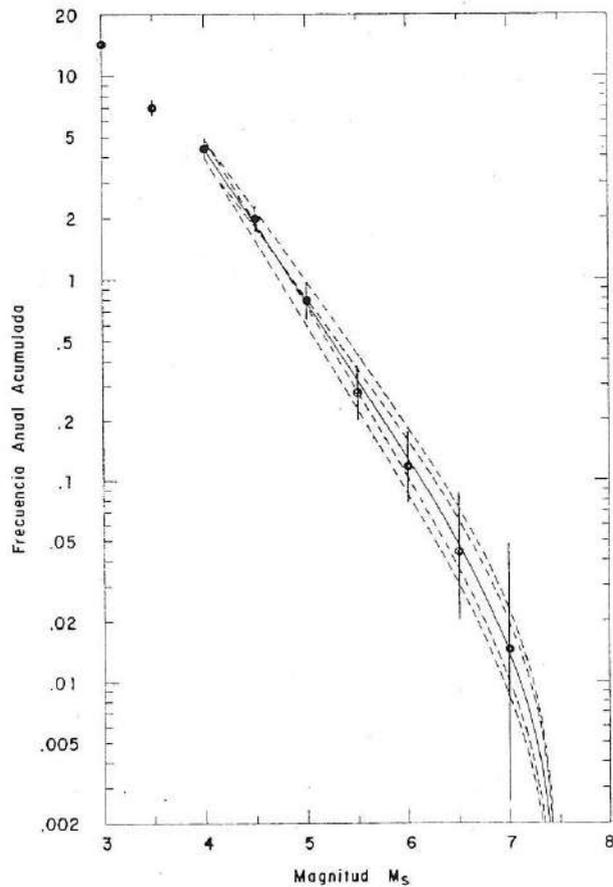
Figura

9-3

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Fuente de la Placa de Nazca. Distribución espacial de sismicidad con profundidad focal > 50 km.	Figura 9-4
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



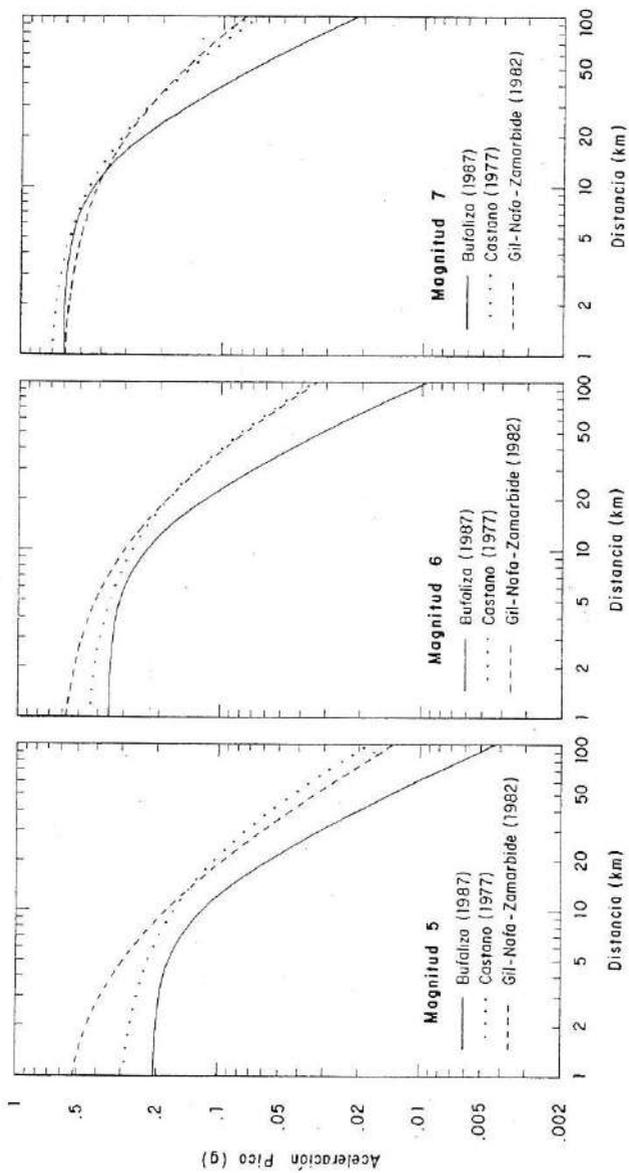
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Relaciones de ocurrencia de
terremotos para la fuente de
la Placa de Nazca.

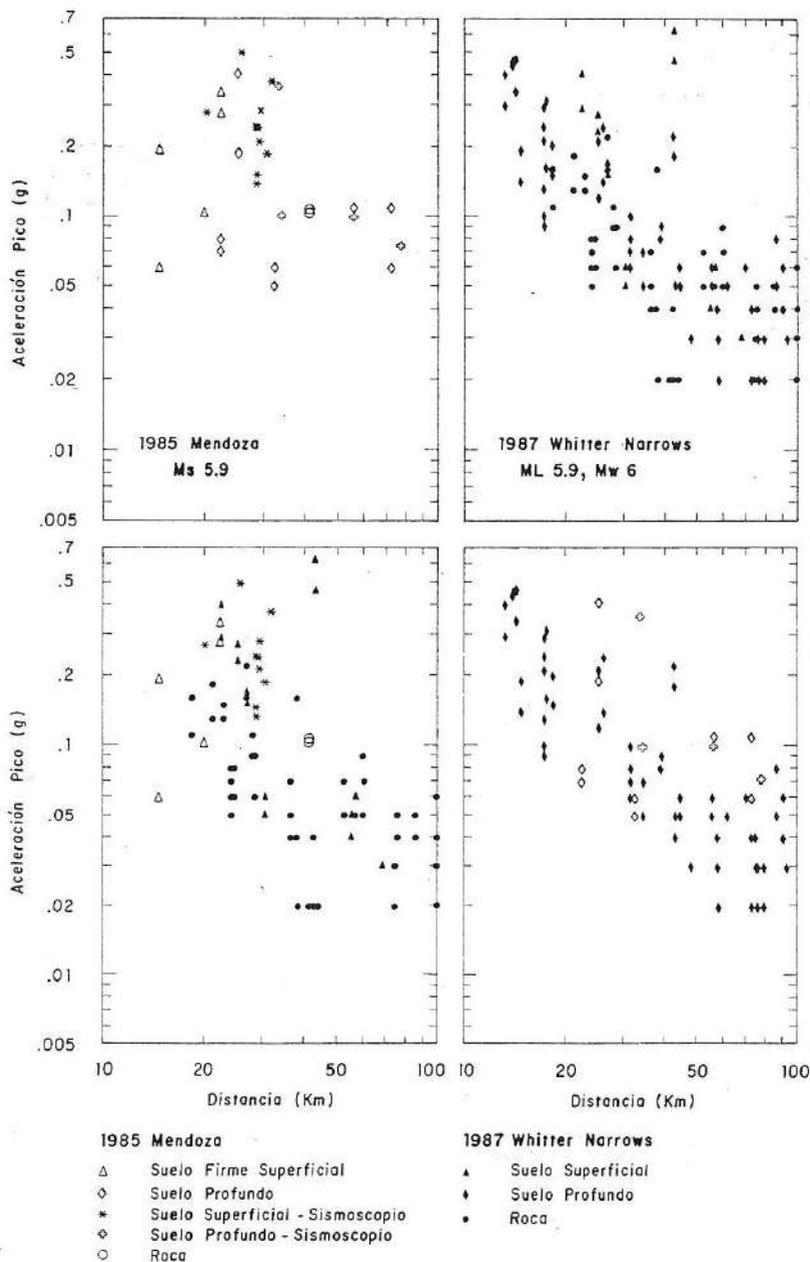
Figura
9-5

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

<p>MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA</p>	<p>Comparación de relaciones de atenuación de la aceleración pico para el oeste argentino.</p>	<p>Figura 9-6</p>
<p>Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.</p>		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -

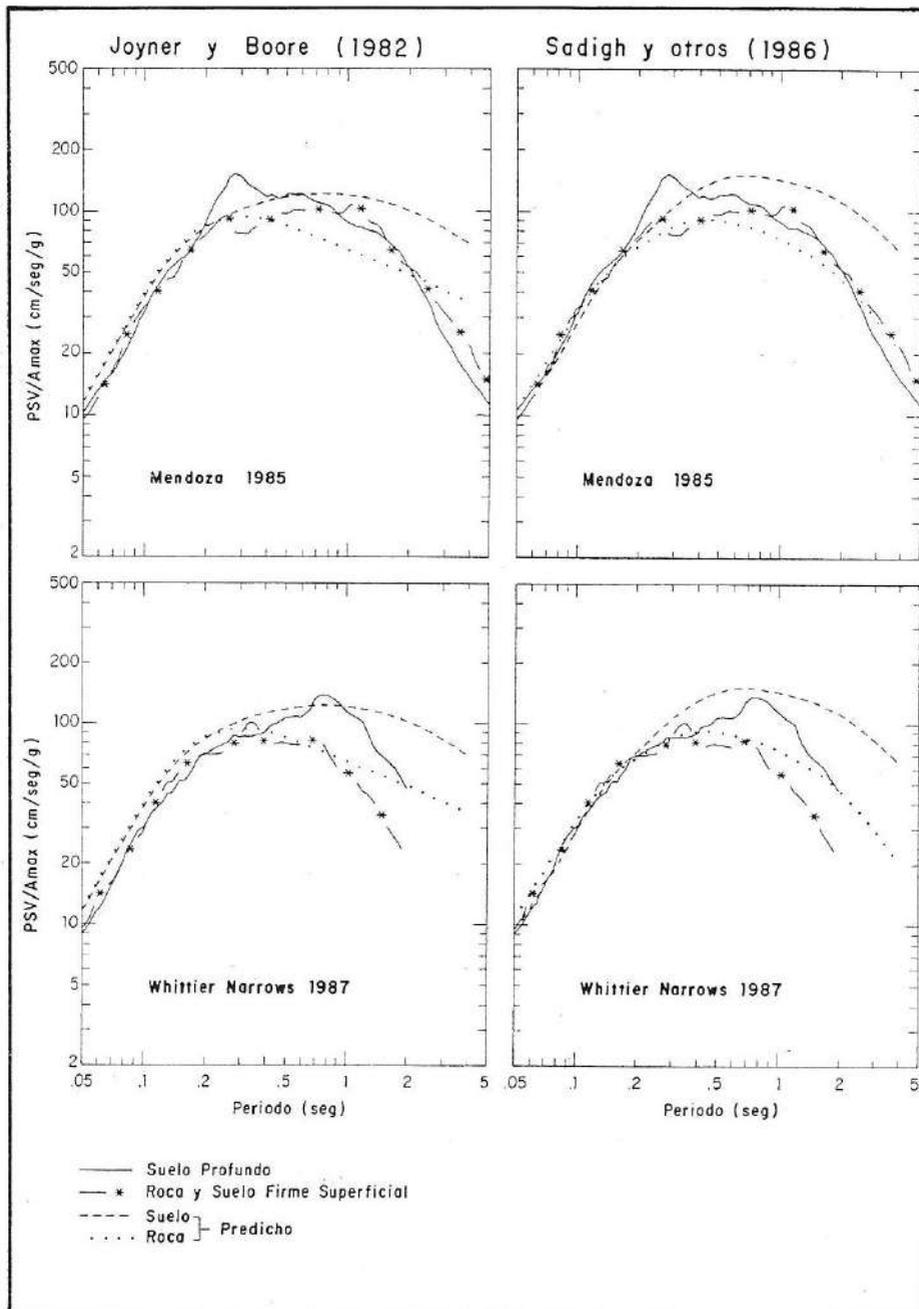
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Aceleraciones pico registradas en la
Argentina y en el oeste de U.S.A., para
terremotos de similar magnitud.

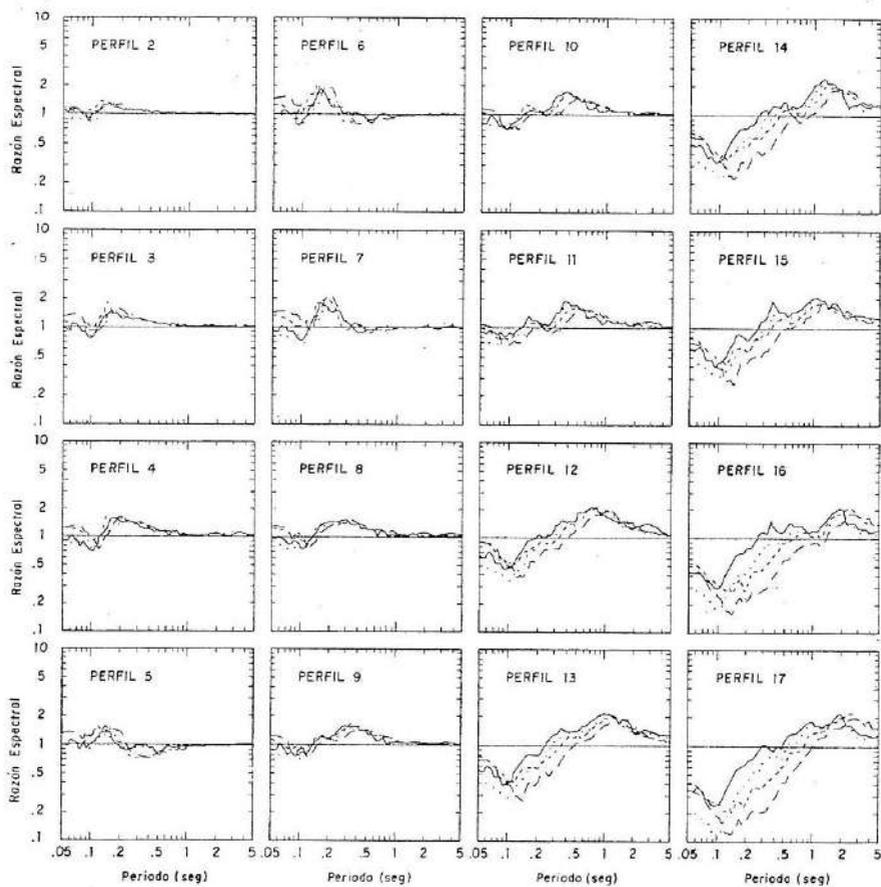
Figura

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

9-7



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Comparación de formas espectrales medias (5% de amortig.) para terremotos de Ms 5,9 registrados en Argentina y en el oeste de U.S.A con las formas predichas por las relaciones de Joyner and Boore y Sadigh y otros.	Figura 9-8
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



Perfiles 1 a 9 : Suelo Firme
 Perfiles 10 a 17 : Suelo Profundo
 ——— Mendoza 1985 $a_{max} = 0,20g$
 Mendoza 1985 $a_{max} = 0,40g$
 - - - - San Juan 1977 $a_{max} = 0,20g$
 - - - - San Juan 1977 $a_{max} = 0,40g$

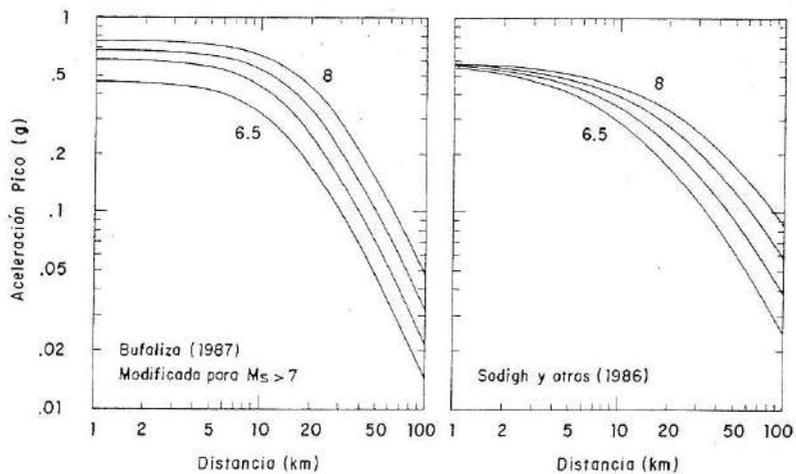
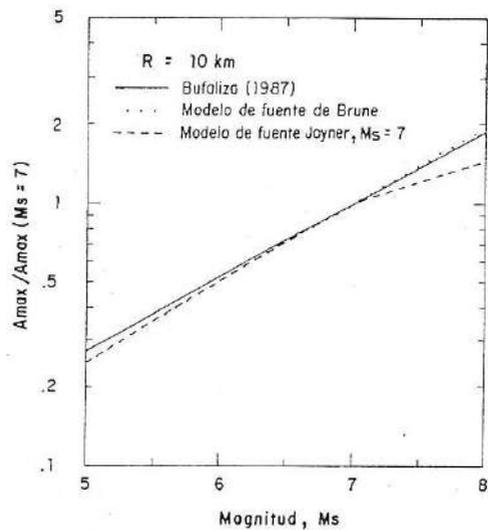
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
 REPUBLICA ARGENTINA

Razones de respuesta espectral
 (5% de amortig.) entre el movi-
 miento en superficie calculado
 para los distintos perfiles res-
 pecto al perfil 1.

Figura
 9-9

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

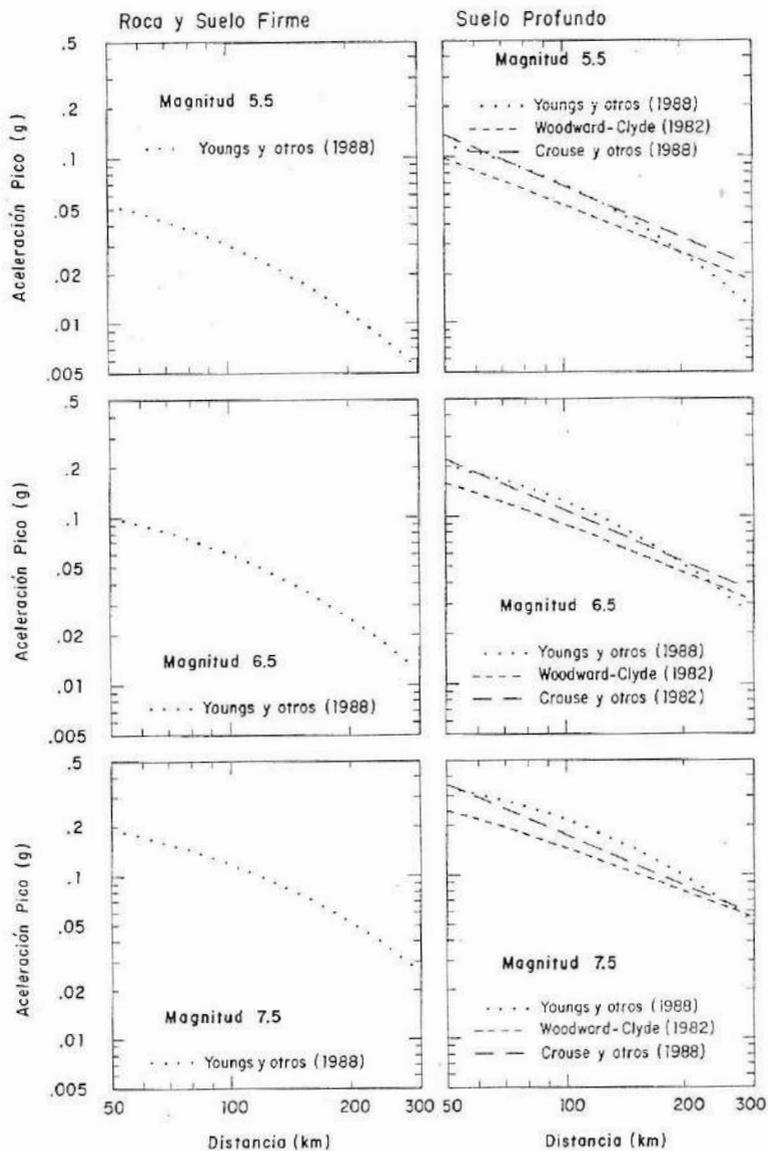
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Relación de atenuación de Bufaliza
para aceleraciones pico modificada
para magnitudes M_S mayores que 7.

Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

9-10



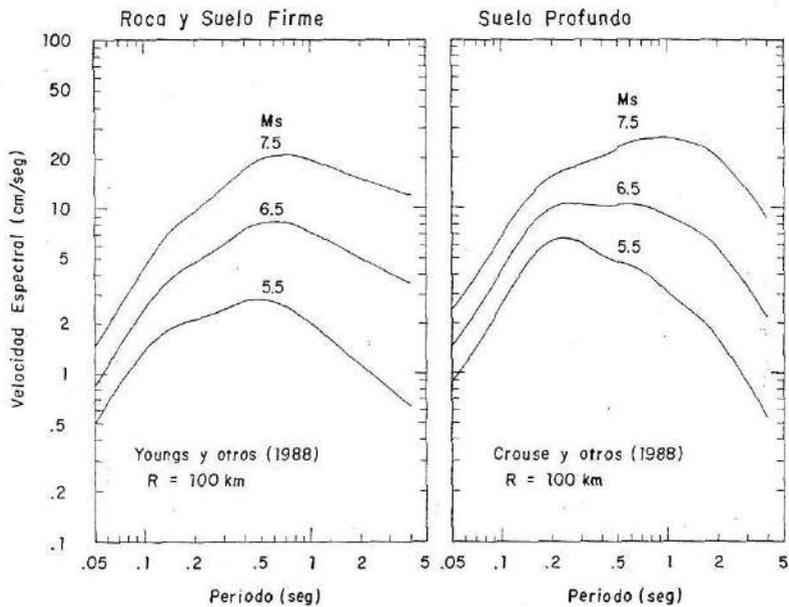
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
 REPUBLICA ARGENTINA

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

Comparación de relaciones de atenuación de aceleración pico para terremotos de la zona de subducción.

Figura
 9-11



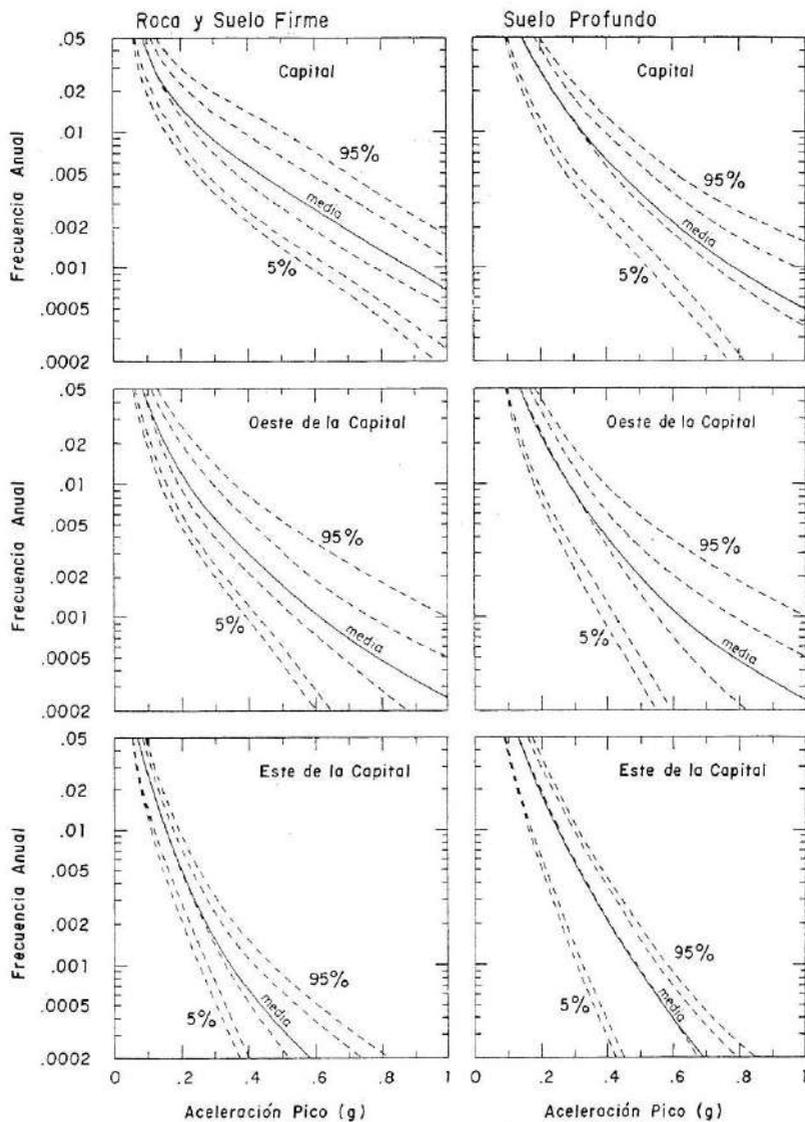
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
 REPUBLICA ARGENTINA

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

Espectros de respuesta medios para terremotos de la zona de subducción, desarrollados utilizando las relaciones de atenuación seleccionados para el análisis del peligro sísmico.

Figura
 9-12



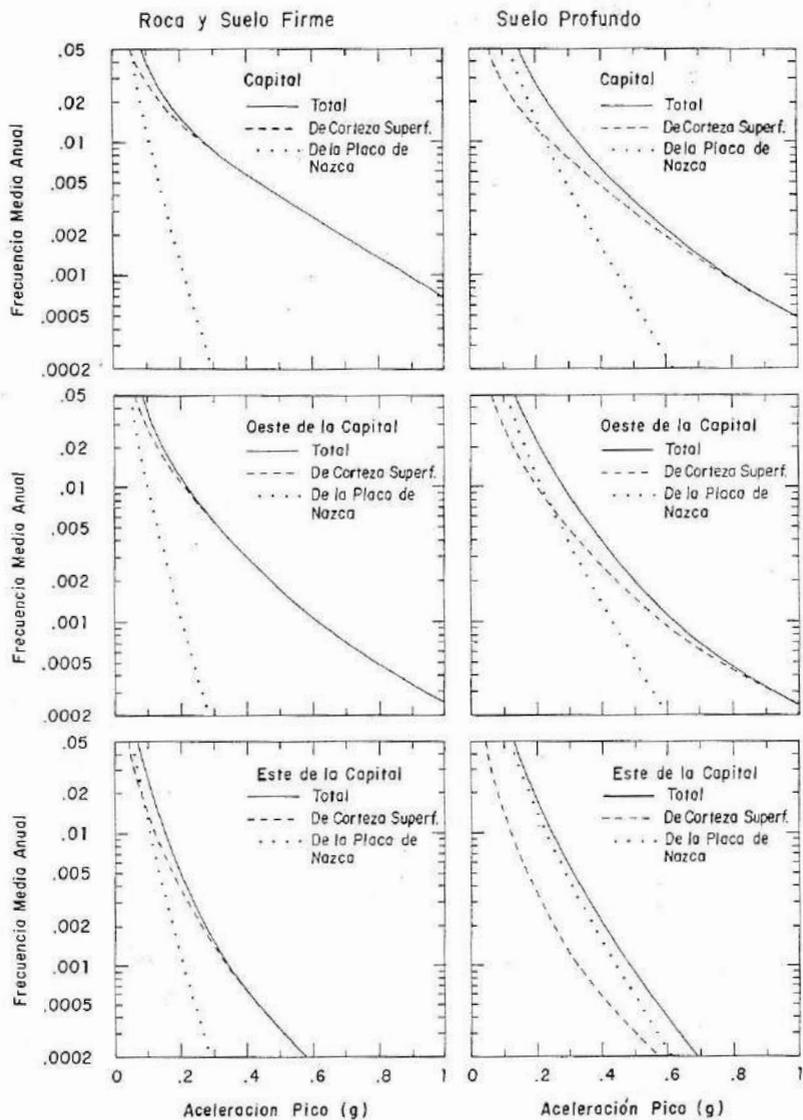
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

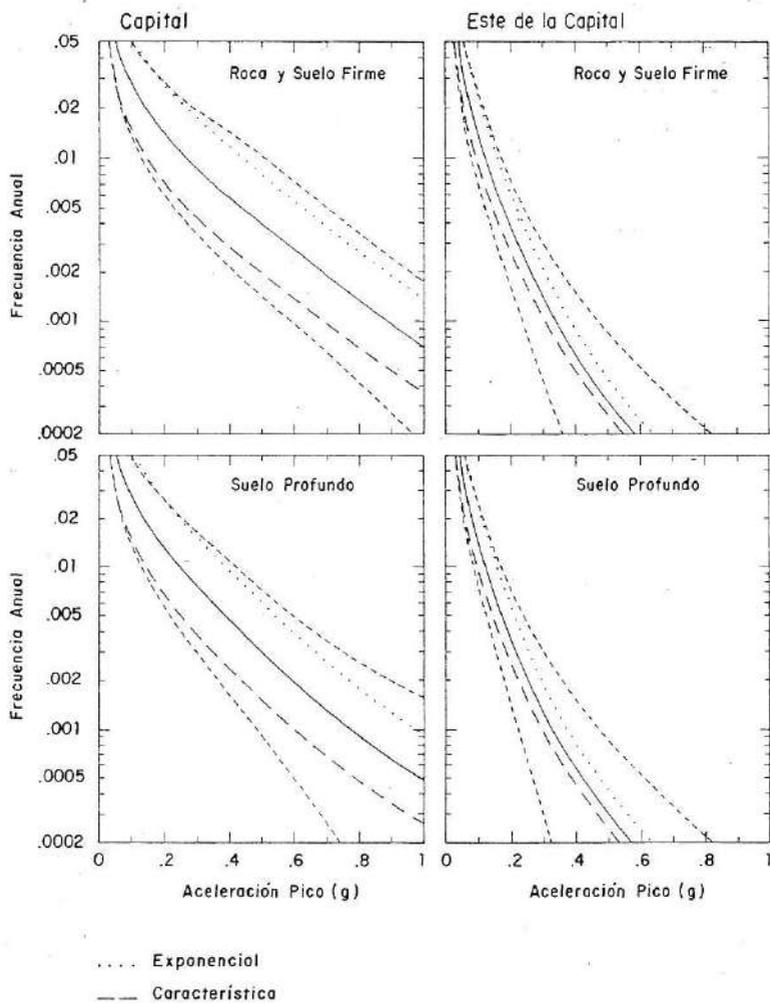
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Curvas de peligro sísmico medio y de percentiles 5^{to} y 95^{to} para todas las fuentes y para los tres sitios seleccionados.

Figura
9-13

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



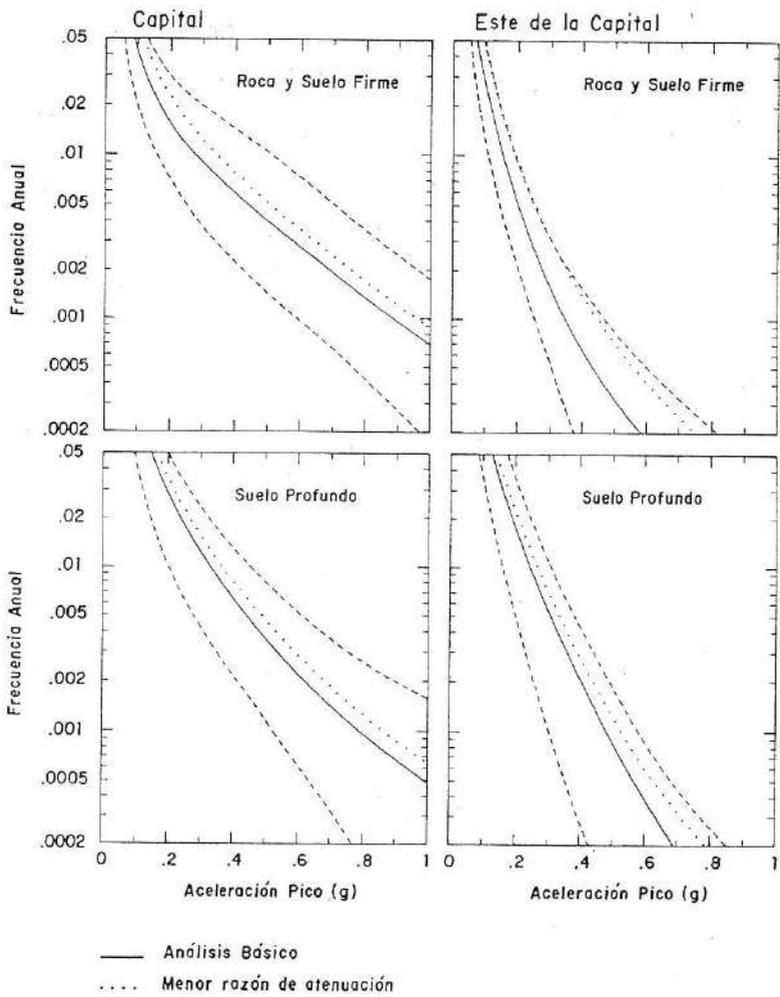


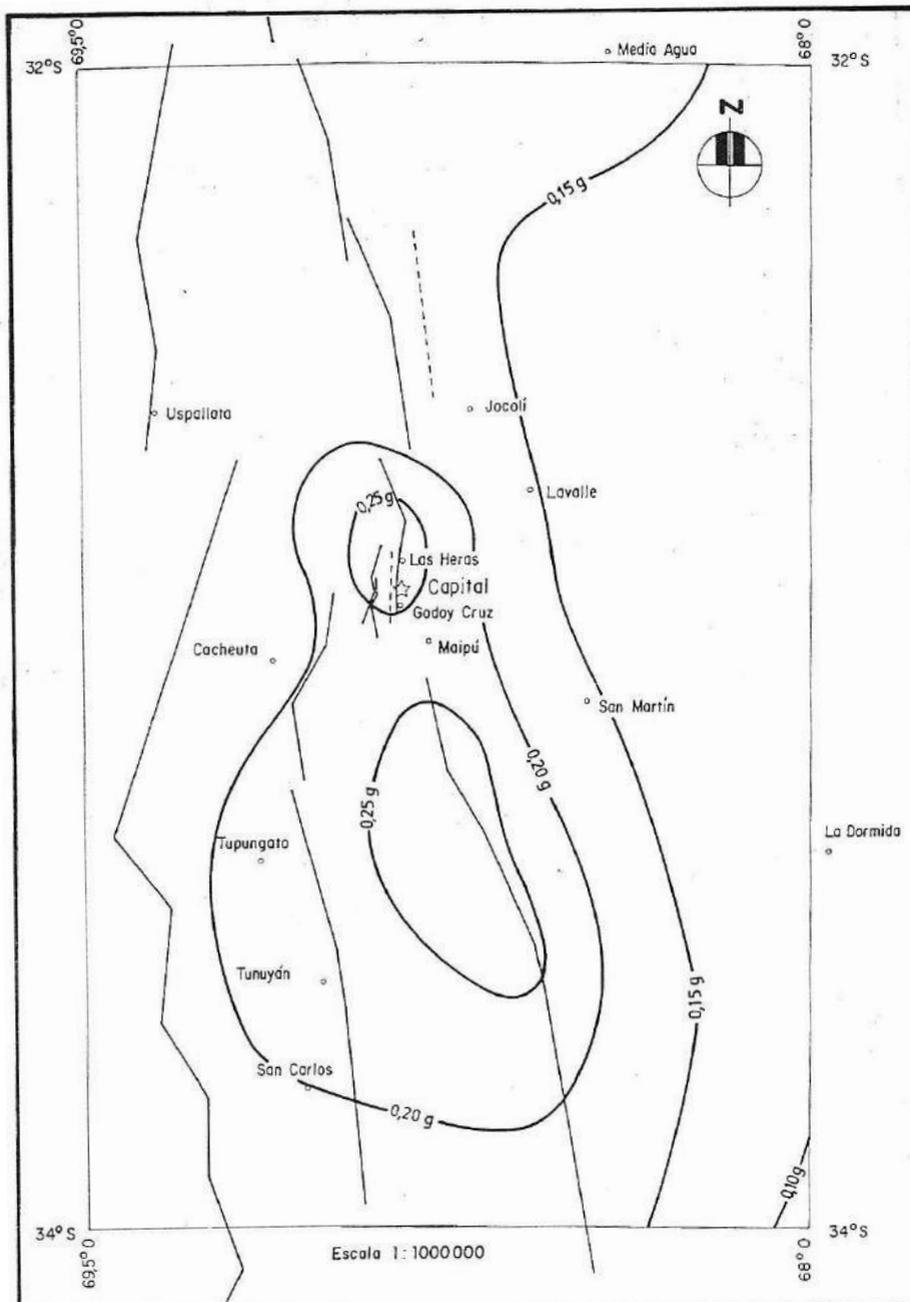
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

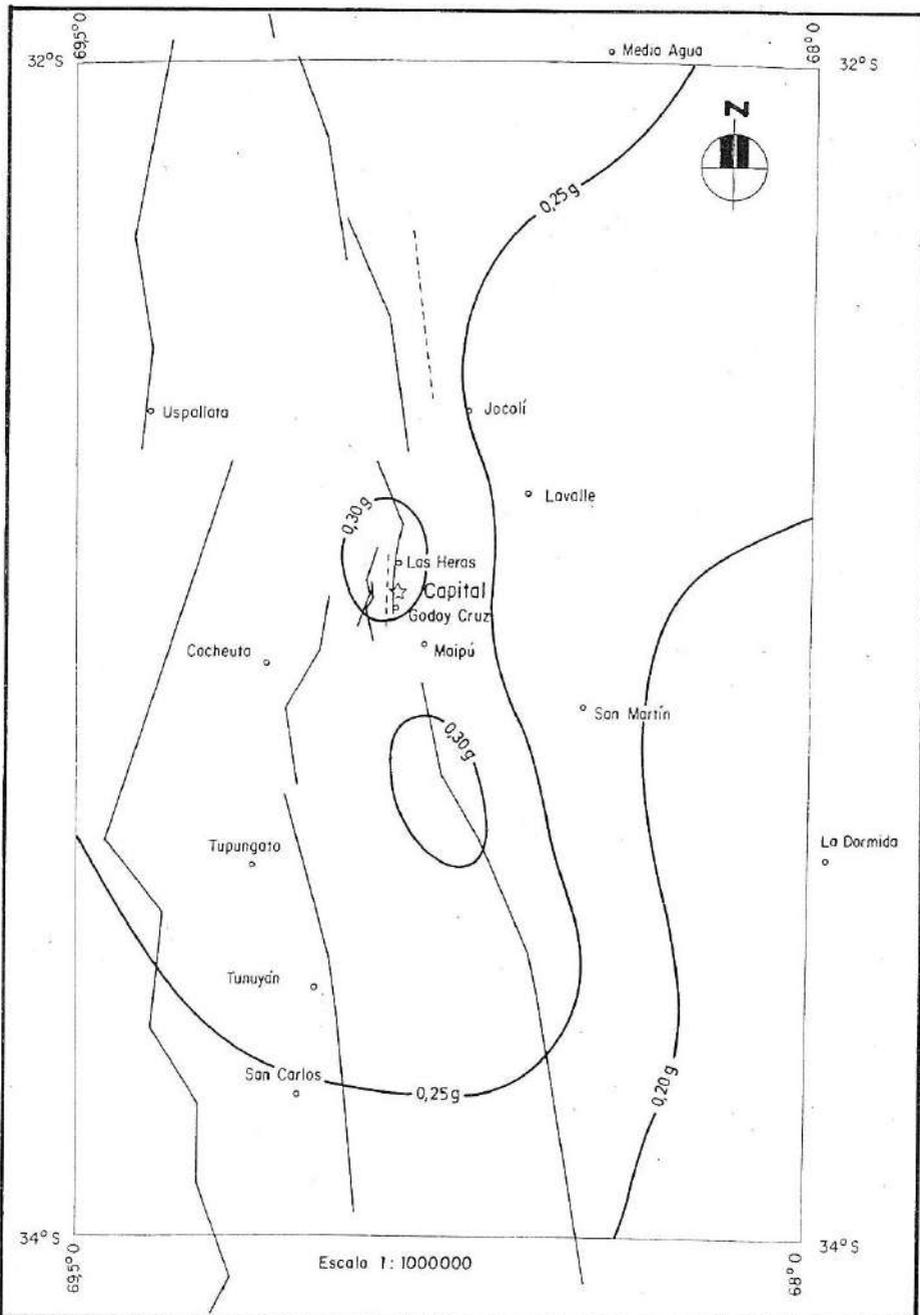
Contribución de la incertidumbre sobre la distribución de la magnitud a la incertidumbre total en el peligro sísmico, debido a la sismicidad de corteza.

Figura
9-15



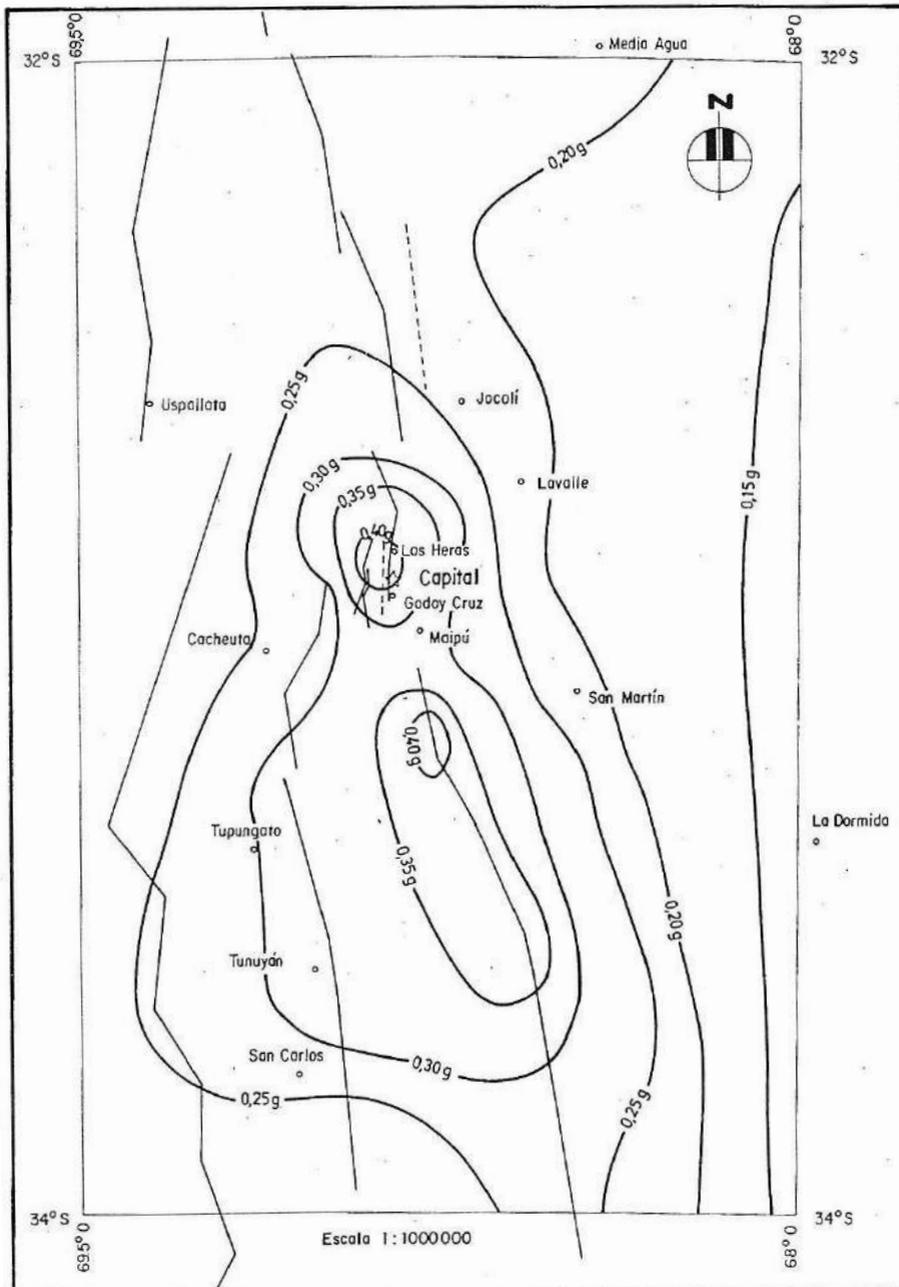


INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10 % de probabilidad de excedencia en 10 años.	Figura 9-17
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

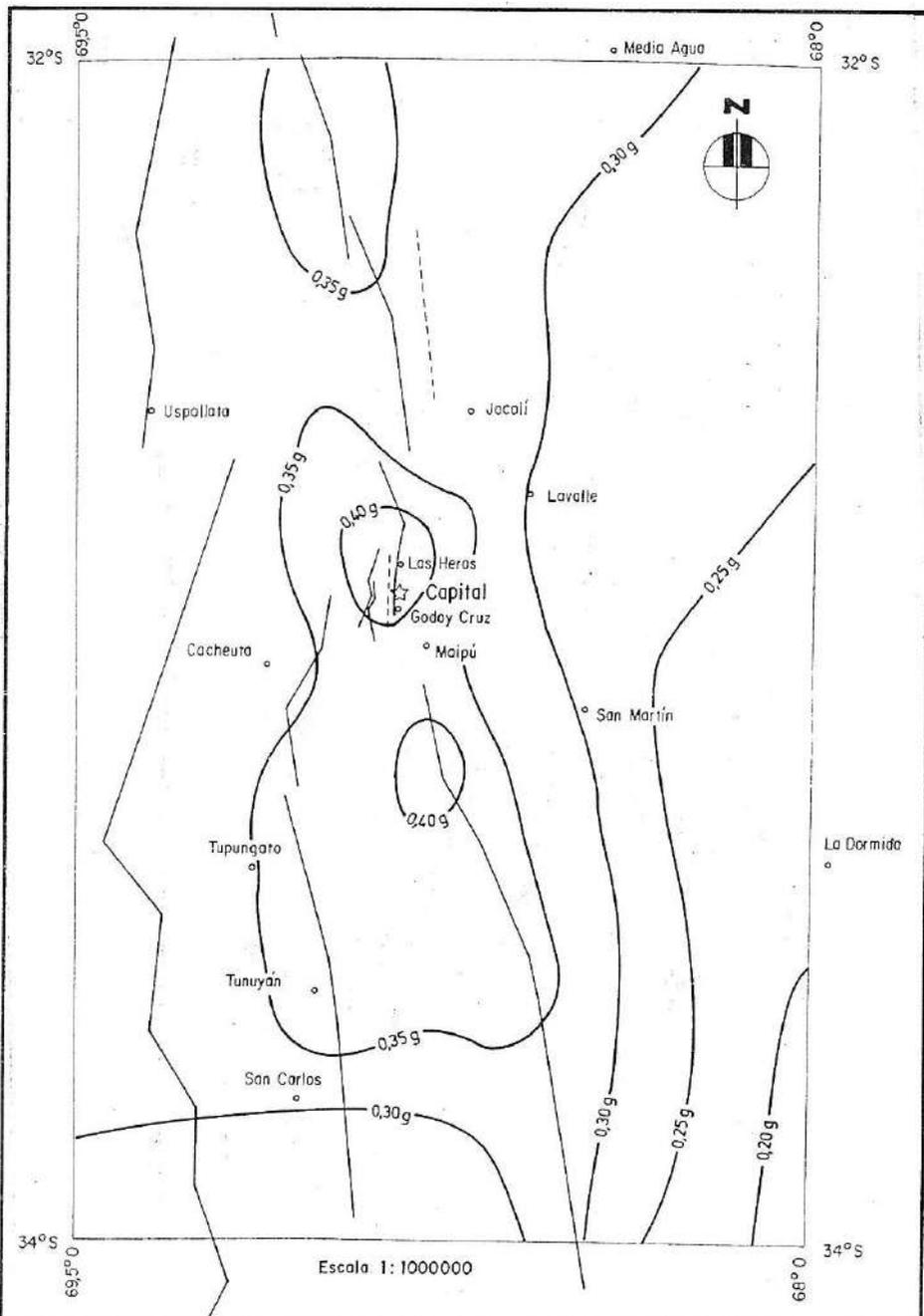


Escala 1: 1000000

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10 % de probabilidad de excedencia en 10 años.	Figura 9-18
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 20 años.	Figura 9-19
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



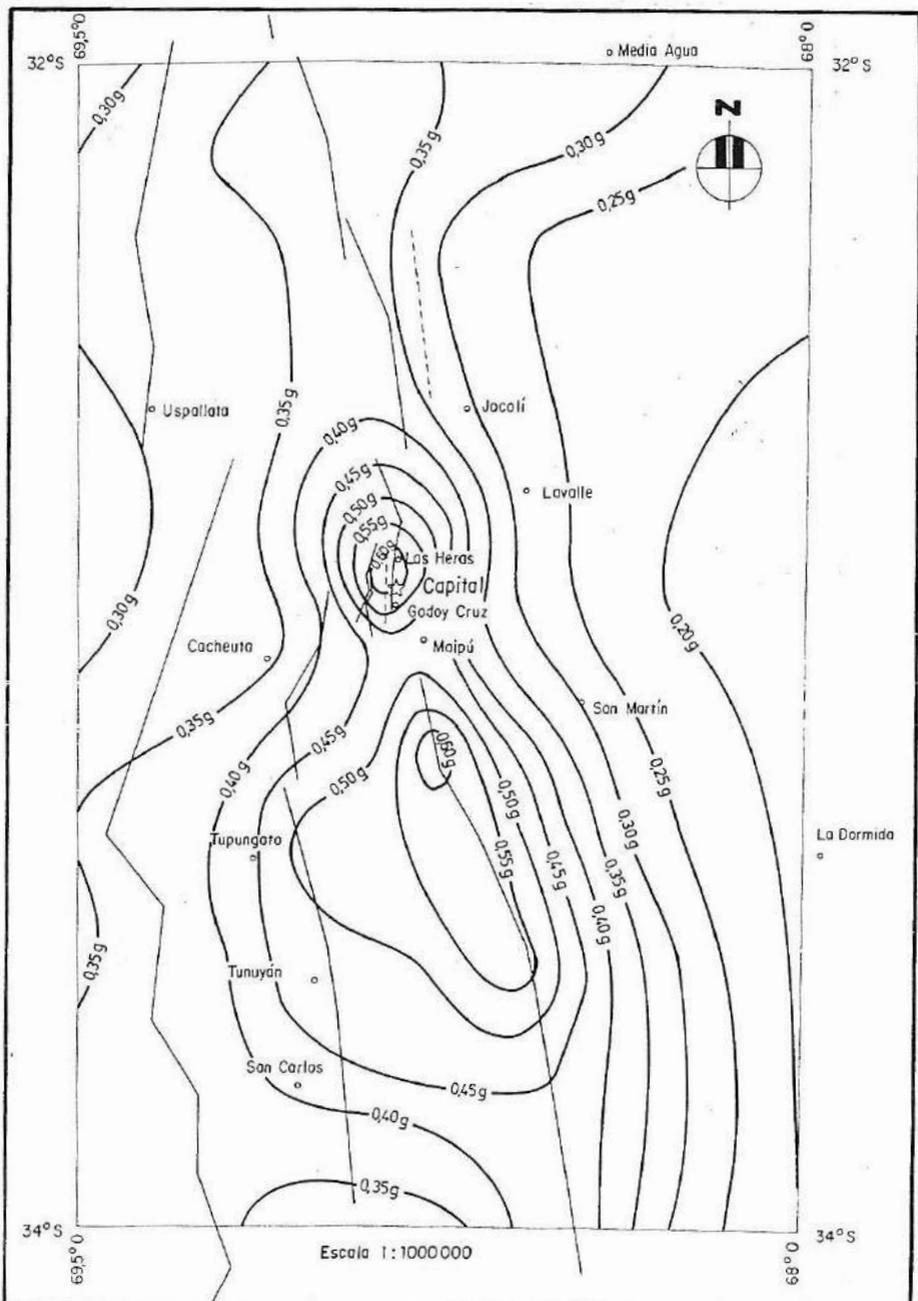
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

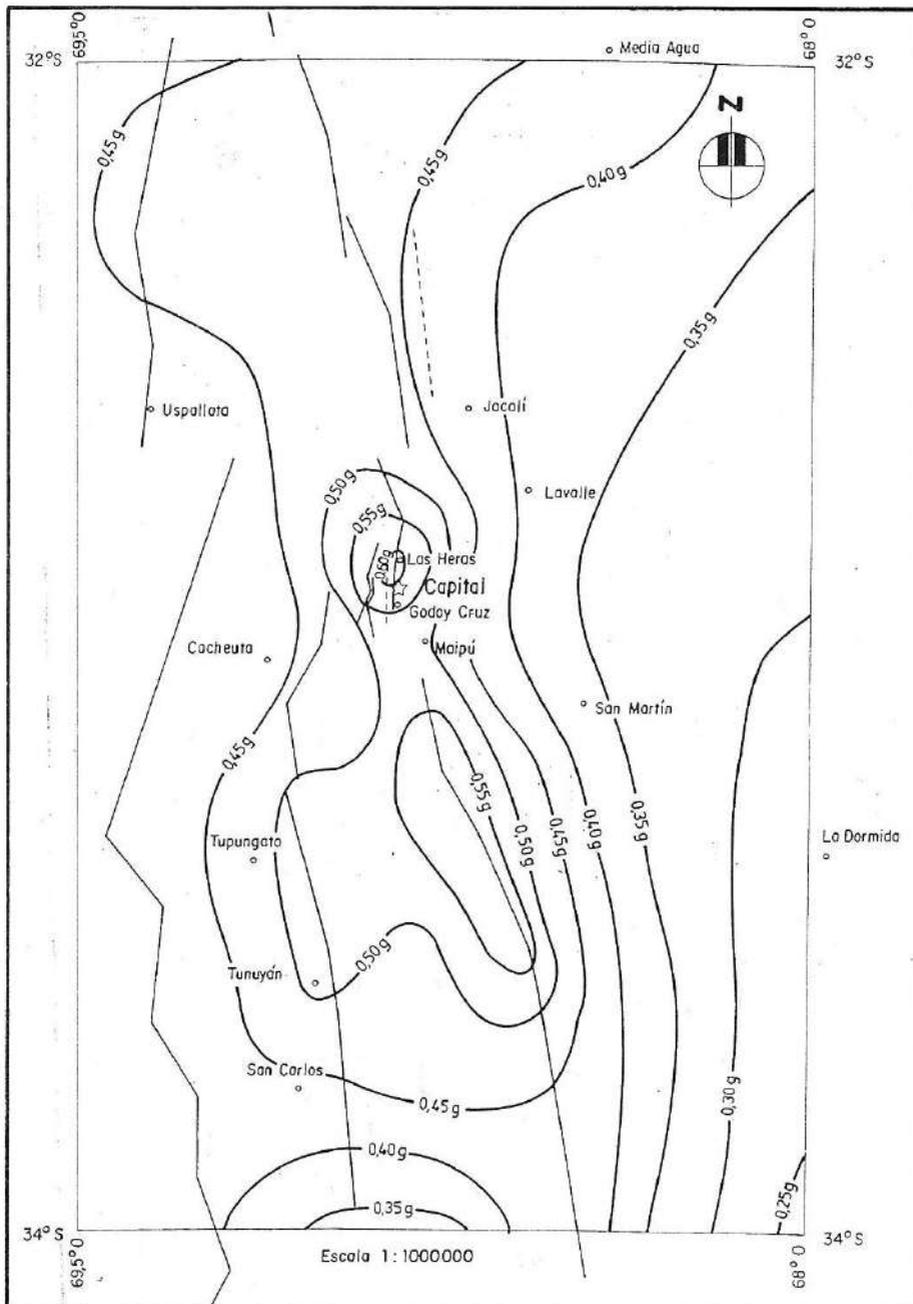
Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo con 10 % de probabilidad de excedencia en 20 años.

Figura
9-20

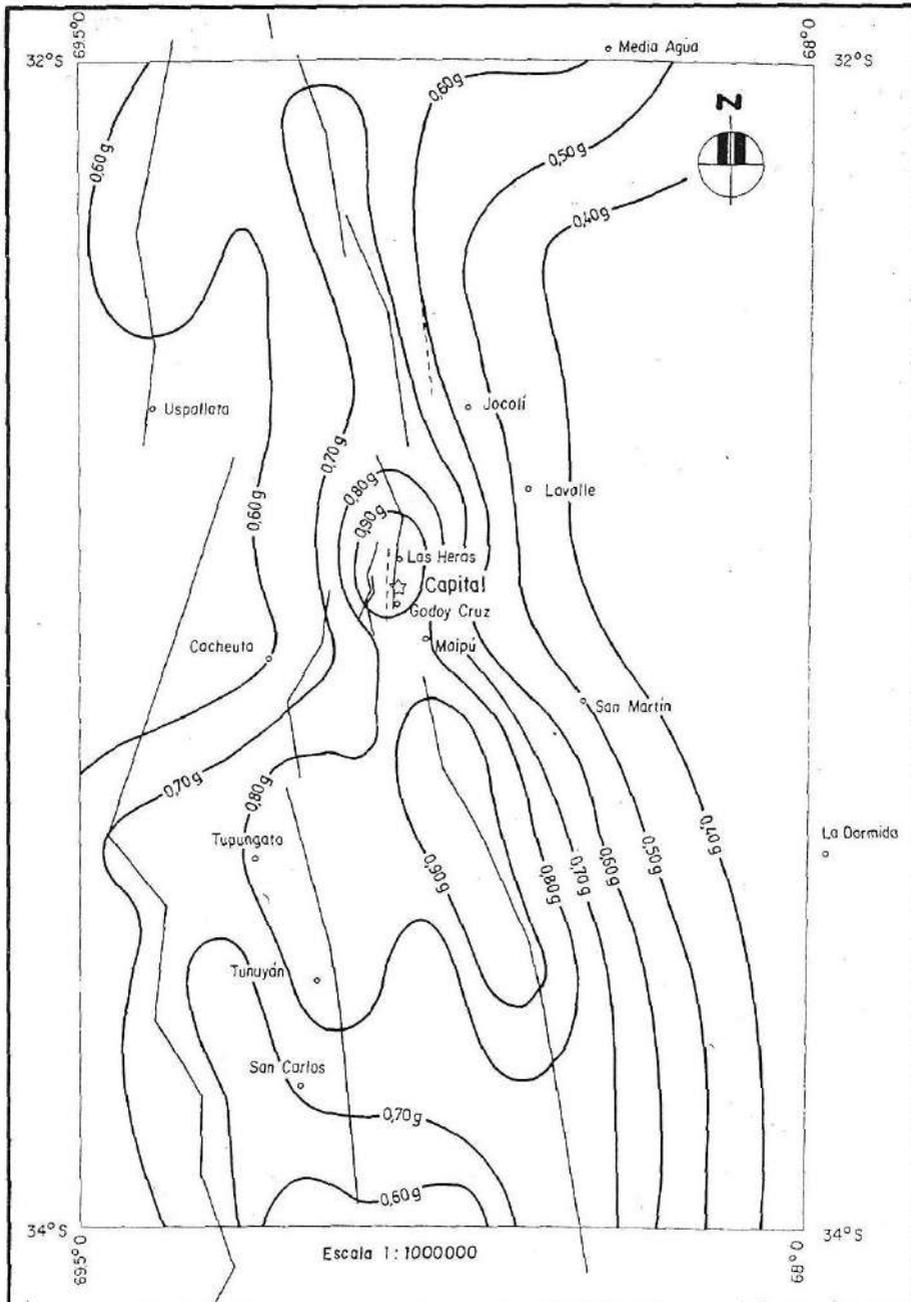
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



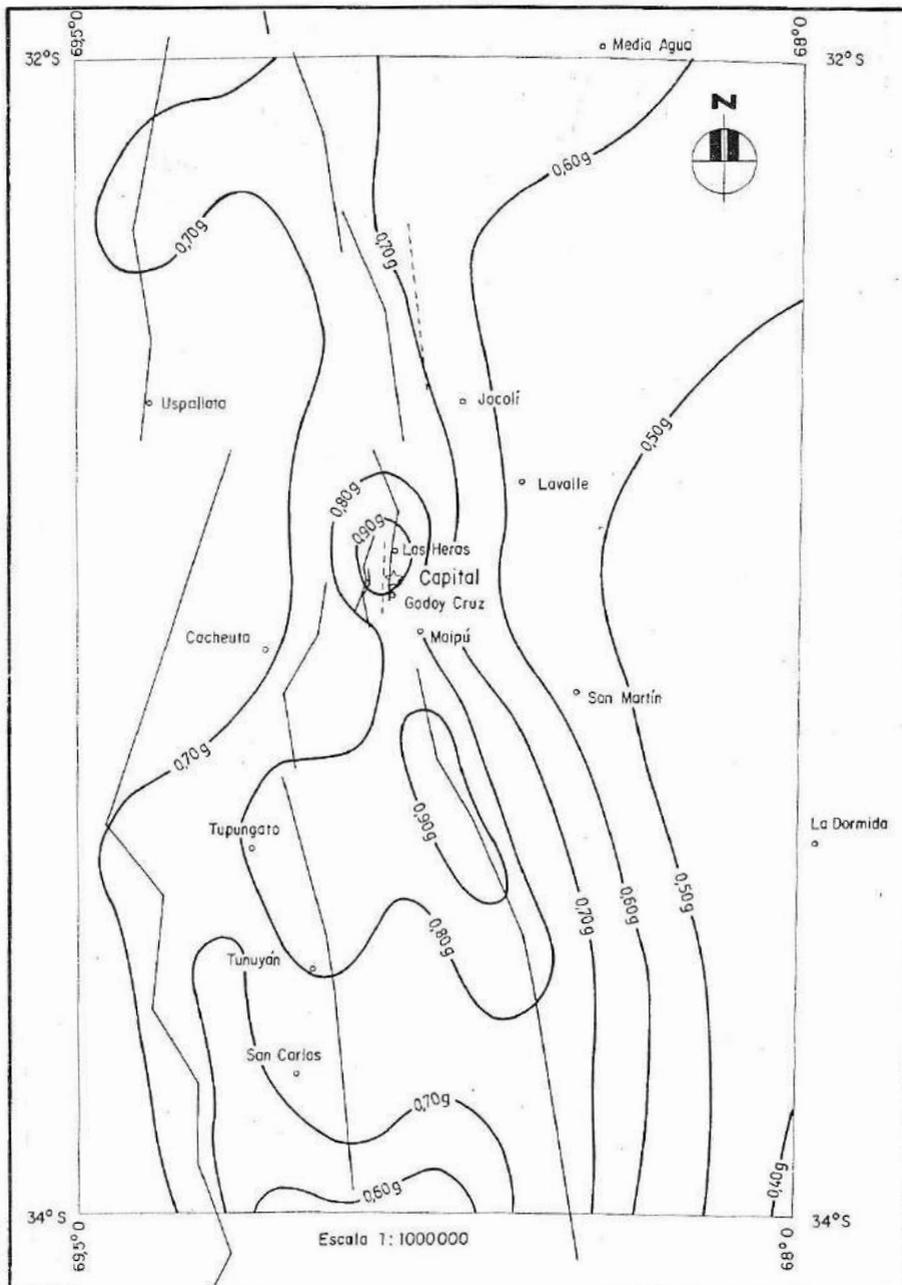
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		Figura 9-21



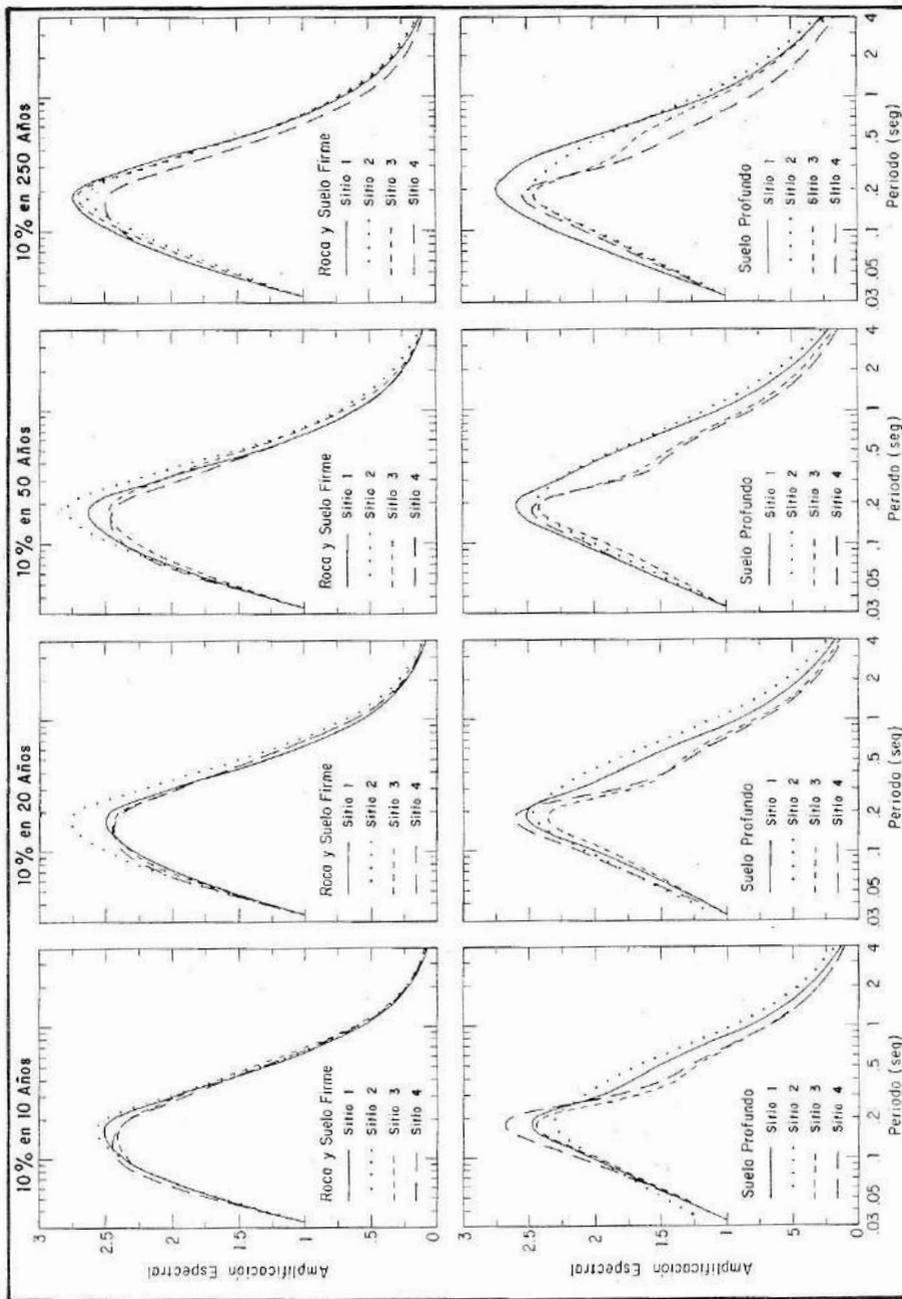
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profundo, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.	Figura 9-22
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tiporoca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 250 años.	Figura 9-23
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Valores medios de aceleración horizontal pico en sitios tipo suelo profunda, con 10% de probabilidad de excedencia en 250 años.	Figura 9-24
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



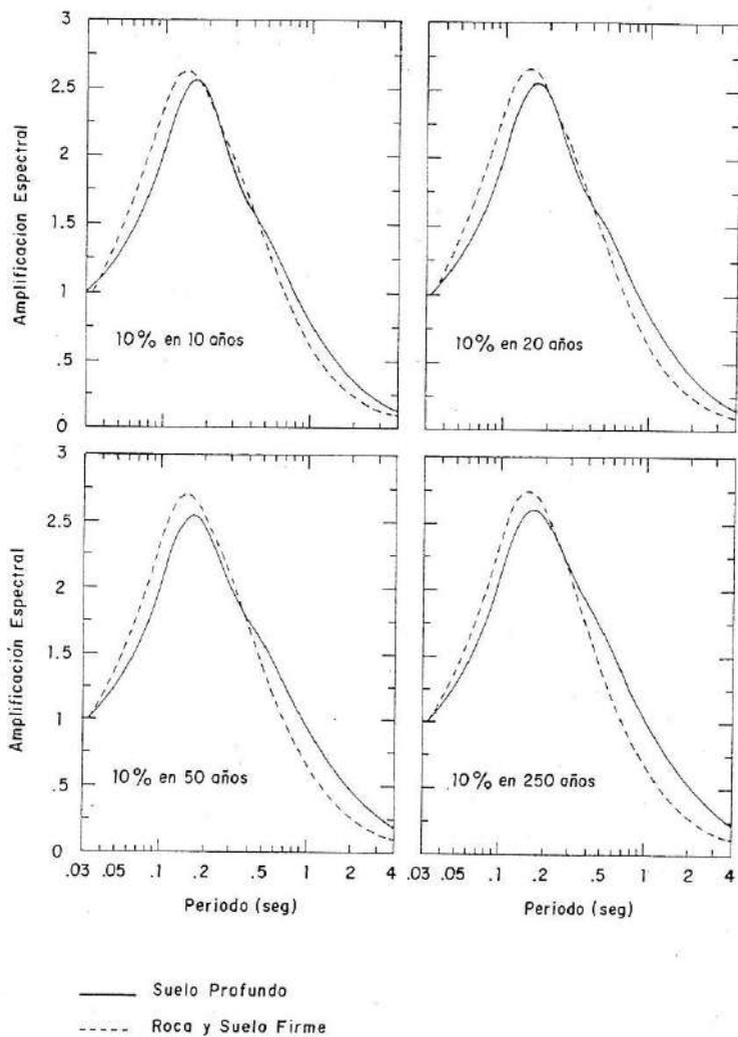
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

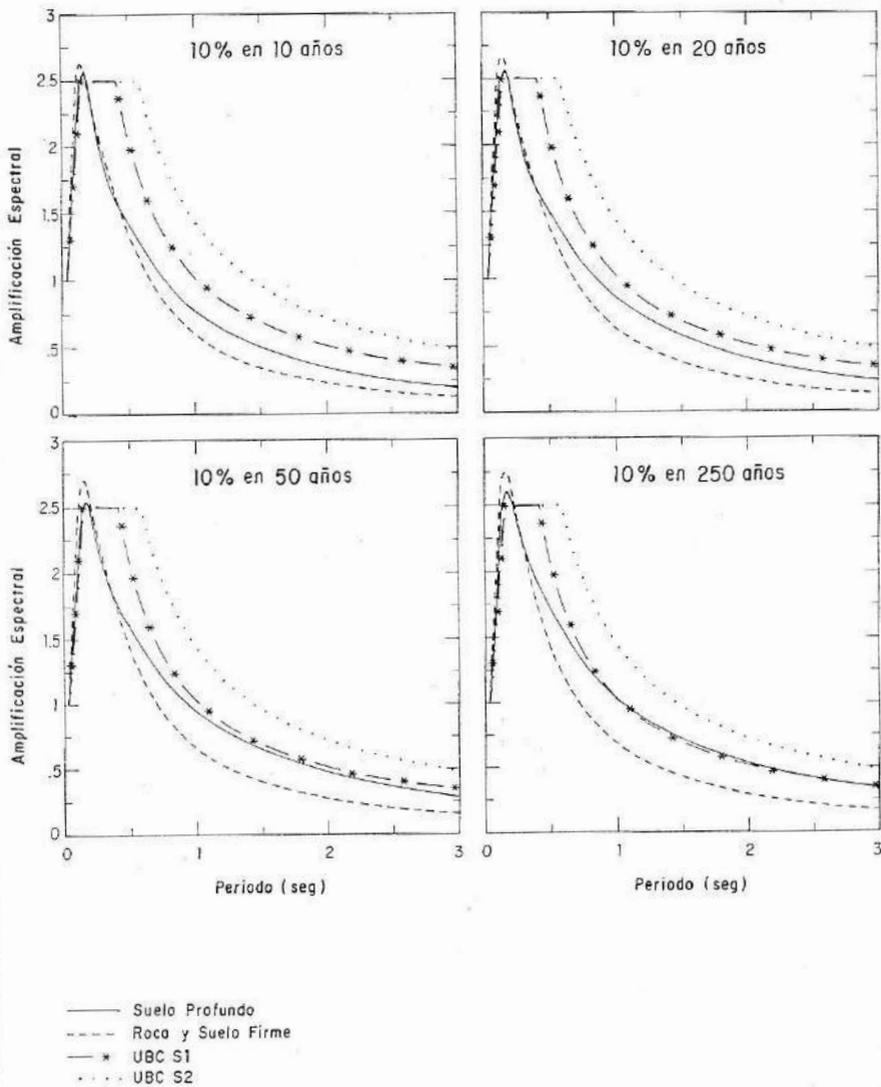
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
 REPUBLICA ARGENTINA

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

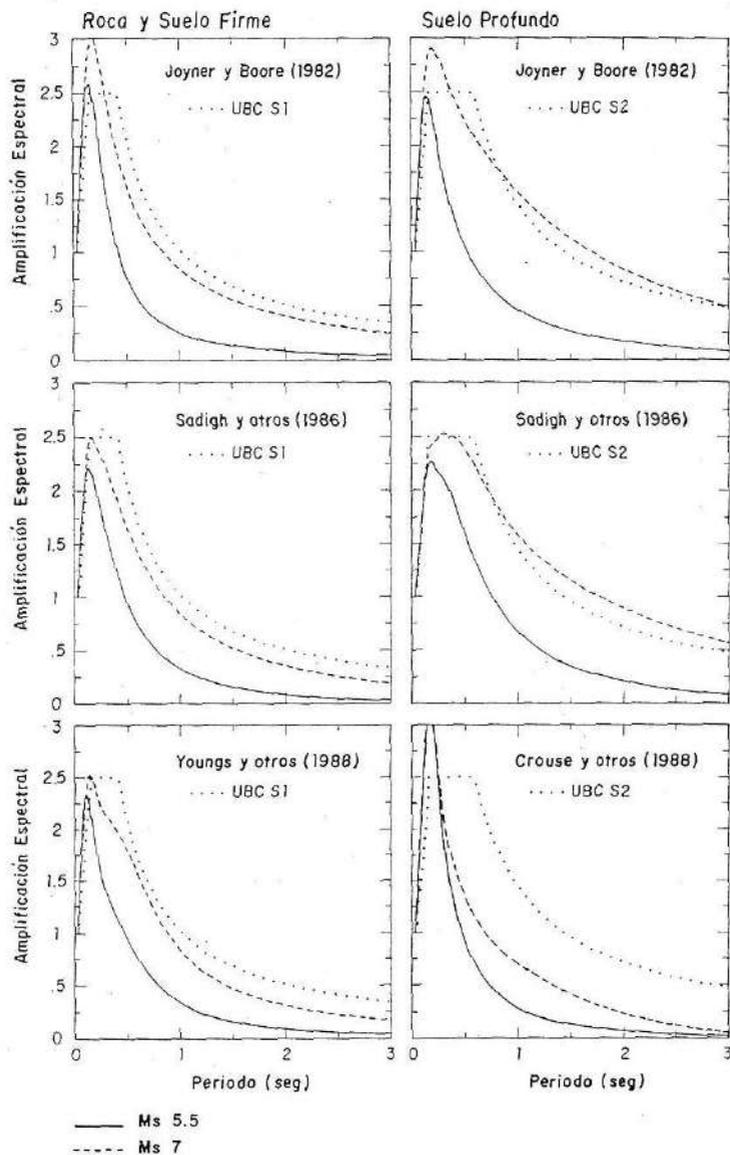
Comparación de las formas espectrales de igual peligrosidad (5% de amortig.), para cuatro sitios de la región estudiada.

Figura
9-25

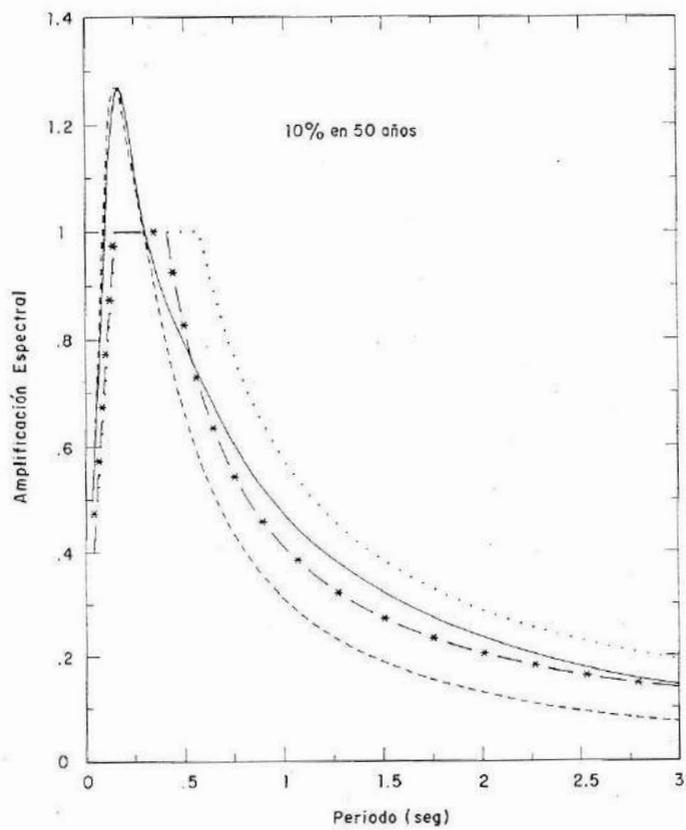




INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Comparación de las formas espectra- les promedio (5% de amortiguamiento) con las recomendadas por el UBC para las dos condiciones de sitio.	Figura 9-27
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Comparación de las formas espectrales promedio (5% de amortiguamiento) predichas por las relaciones de atenuación, con las del UBC.	Figura 9-28
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



- Suelo Profundo, 0.50 g
- - - Roca y Suelo Profundo, 0.47 g
- * UBC S1, 0.4 g
- UBC S2, 0.4 g

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Espectro de igual peligrosidad (5% de amortiguamiento) con 10% de probabilidad excedencia en 50 años, para sitio cercano a Maipú.	Figura 9-29
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

10.0 ZONIFICACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO.

En este capítulo se presentan recomendaciones para la zonificación de los distintos peligros sísmicos en el Gran Mendoza. Los referidos peligros son: movimiento del terreno, licuación y rotura superficial del terreno debido al movimiento de fallas. También se presentan recomendaciones para la zonificación para el diseño de estructuras, consistentes en un mapa de zonificación y los correspondientes espectros de diseño.

10.1 Movimiento del Terreno.

En las figuras 10-1 a 10-8 se presentan mapas de peligro de aceleraciones máximas circunscriptos al Gran Mendoza. En la figura 10-9 se presentan formas espectrales correspondientes a la zona bajo estudio, las que multiplicadas por la aceleración pico del terreno obtenida de los mapas de peligro para un nivel de probabilidad seleccionado, dan los espectros de aceleración absoluta (5 % de amortiguamiento) para sitios específicos. La figura 10-10 muestra la distribución areal de las dos condiciones generalizadas del subsuelo antes definidas, para el Gran Mendoza. La zonificación de las condiciones del sitio (subsuelo) se desarrolló en base a los resultados de las investigaciones geotécnicas descriptas en el Capítulo 8.

10.2 Peligro de Licuación.

El potencial para la ocurrencia de licuación en un cierto lugar, es función de la susceptibilidad y de la oportunidad de licuación del área. La primera es una medida de la capacidad del movimiento sísmico del terreno para originar presiones de poro elevadas, y consecuentemente, fallas del terreno en los depósitos de suelos existentes en la zona. Es función de la edad, composición y densidad de los depósitos de suelos y de las condiciones del agua subterránea. La segunda es una medida de la frecuencia de ocurrencia de los movimientos sísmicos capaces de originar licuación en suelos susceptibles.

En otro estudio anterior (Microzonificación Sísmica del Valle del Tulum, 1982), desarrollamos un esquema probabilístico para la determinación del potencial de licuación, basado en los procedimientos simplificados desarrollados por Seed e Idriss (1971, 1982). Los resultados de tales análisis indicaron que el peligro de licuación en el

Valle de Tulúm, está fuertemente controlado por la susceptibilidad de los suelos y se dividió el área bajo estudio en dos zonas principales, determinándose que la mayor parte del valle tiene un alto potencial de licuación, debido a la existencia de suelos arenosos finos, poco compactos, y a la presencia de una napa freática alta. Fuera de esta zona de alto potencial de licuación, la probabilidad de que ocurra dicho fenómeno resulta muy baja, debido a la profundidad de la napa freática y a la existencia de depósitos de suelos granulares más gruesos.

El análisis de los datos obtenidos durante la exploración geotécnica realizada para este estudio (ver Capítulo 8), indica que en el Gran Mendoza existen condiciones similares del subsuelo. La mayor parte de la zona urbanizada descansa sobre depósitos de espesor variable de suelos limosos, que a su vez cubren a los suelos granulares gruesos pertenecientes al cono aluvial del río Mendoza (el así llamado Cono de Maipú) y a los depósitos granulares más angulosos originarios del piedemonte mendocino. Los depósitos superficiales de suelos finos, adquieren mayor espesor hacia el norte y noreste de Las Heras y noroeste de Guaymallén, hacia Lavalle. La figura 10-11 indica los límites generales de la zona de depósitos de gran espesor de suelos finos.

El nivel del agua subterránea libre es bastante profundo en la mayor parte de la zona estudiada, oscilando entre 35 y 100 metros. De tal modo, la gran profundidad del nivel freático, da como resultado un muy bajo potencial de peligro de licuación para localidades como Maipú, Godoy Cruz, Capital y gran parte de Las Heras y Guaymallén. Sin embargo, en la parte norte y noreste de la zona bajo estudio, se puede encontrar la napa denominada falsa freática o también freática colgada, a profundidades que varían entre 1 y 10 metros. En la figura 10-11 se puede observar la zona con agua freática poco profunda. En esta zona es necesario considerar el potencial de licuación inducido por terremotos, debido a la presencia de sedimentos finos sueltos y saturados.

Además, gran parte de esta zona norte y noreste, experimentó licuación durante terremotos pasados. En la misma figura 10-11 se indica el área donde se ha informado acerca de este fenómeno durante los terremotos del 20 de marzo de 1861 ($M = 7$); 12 de agosto de 1903 ($M = 6$); 26 de julio de 1917 ($M = 6,5$); 17 de diciembre de 1920 ($M = 6$); 14 de abril de 1927 ($M = 7,1$); 23 de mayo de 1929 ($M = 6$) y 23 de noviembre de 1977 ($M = 7,4$). Durante el terremoto del 26 de enero de 1985 ($M_L = 5,7$) que fue de corta duración, no se observó evidencia superficial de licuación. Es por ello que sobre la base de la evidencia histórica, el peligro de licuación en esta zona es muy alto.

Como consecuencia de lo limitado del área con suelos susceptibles y de su obviamente alto potencial de licuación, basado en el comportamiento pasado, no se realizó

un análisis formal sobre la probabilidad de licuación. Sin embargo, esta probabilidad puede estimarse usando el mismo procedimiento que desarrollamos para el Estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Tulum (1982) y los resultados del análisis de peligro del movimiento sísmico que se presenta en el capítulo 9.

La susceptibilidad de licuación de los suelos se mide en términos de las tensiones cíclicas requeridas para originar licuación. La figura 10-12 presenta las relaciones empíricas corrientes entre la resistencia a la penetración del terreno y nivel de la relación de tensiones cíclicas requerido para originar licuación (Seed y otros, 1985). Esta correlación es algo diferente que la utilizada en nuestro estudio anterior (1982). La curva para las arenas limpias, fue ajustada ligeramente y se agregó el criterio correspondiente a suelos limosos. Como se expresó en el Capítulo 8, la resistencia a la penetración normal de los suelos superficiales, es en promedio de 4 golpes en los suelos limosos y de 10 golpes en las arenas. Basándonos en la figura 10-12, se espera que una relación de tensiones de 0,11 produzca licuación en estos suelos.

La relación de tensiones cíclicas inducidas, CSR_e , se puede relacionar con la aceleración pico, a_{max} , mediante la relación (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR_e = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d \quad (10-1)$$

donde σ_v es la tensión total debida al peso del estrato de suelo a la profundidad d , σ'_v es la tensión vertical efectiva, g es la aceleración de la gravedad y r_d es un factor de reducción de esfuerzos, que varía desde el valor 1 en la superficie del terreno a un valor 0,9 a una profundidad de 10 metros.

Con profundidades de la napa freática de 1 a 3 metros, se necesitan aceleraciones máximas de 0,1g a 0,15g para inducir una relación de tensiones cíclicas de 0,11 a una profundidad de 5 metros, y aceleraciones máximas de 0,09g a 0,16g para producir la misma relación de tensiones a una profundidad de 10 metros.

Los resultados de los análisis de peligro presentados en el capítulo 9, indican que esas aceleraciones son excedidas con una frecuencia de una vez cada 10 a 20 años. Sin embargo, gran parte de la contribución al peligro sísmico para esos bajos niveles de aceleración, se debe a sismos cuya magnitud oscila en el rango que va de 5 a 6. Las

correlaciones presentadas en la figura 10-12 son para terremotos de magnitud $7\frac{1}{2}$ y los sismos comprendidos en el rango de magnitud de 5 a 6 requieren relaciones de tensiones cíclicas entre un 30 y un 50% mayores para inducir licuación, debido a su duración más corta (Seed y otros, 1985). Teniendo esto en cuenta, la frecuencia a la cual el movimiento del terreno excede los niveles requeridos para originar licuación, se estima en una vez cada 30 a 50 años. A esta frecuencia, la probabilidad de licuación en un período de 50 años, en cualquier punto de la zona antes mencionada, excede el 50 por ciento, es decir similar al resultado obtenido para el área irrigada del Valle de Tulum. La frecuencia de licuación observada en algunas partes de la zona es de aproximadamente una vez cada 20 años desde 1861.

Por lo tanto las áreas con nivel freático poco profundo y con depósitos de suelos aluviales finos, que se muestran en la figura 10-11, deben considerarse como zonas con **alto potencial de licuación**. Las otras áreas donde la napa es profunda y/o descansan directamente sobre los suelos granulares gruesos y densos, pueden ser consideradas como zonas de **muy bajo potencial de licuación**.

10.3 Peligro de Rotura Superficial.

Para evaluar el peligro de rotura superficial durante terremotos se consideró: la identificación de zonas donde la ruptura superficial es potencialmente posible y la probabilidad de que ocurra ruptura superficial dentro del Gran Mendoza.

10.3.1 Zonificación del Peligro de Rotura Superficial.

Los peligros sísmicos pueden dividirse en dos categorías generales: 1) aquellos que están asociados con el movimiento del terreno; y 2) aquellos que están asociados con la ruptura de la superficie del mismo a lo largo de fallas superficiales. A pesar que entre los daños provocados por los terremotos predominan los debidos a la vibración del terreno, la ruptura superficial puede ser devastadora especialmente para construcciones críticas, tales como hospitales, escuelas y grandes edificios públicos, que estén edificados sobre una falla. Debido a que no es económicamente redituable diseñar edificios para resistir roturas superficiales del terreno, lo más prudente es evitar construir sobre fallas geológicas superficiales. Esto se logra, generalmente, identificando las trazas de las fallas y definiendo zonas a lo largo de las mismas donde se reglamenta el uso del suelo.

Debido a que las fallas presentan en general diferente grado de peligro

potencial y a que los distintos tipos de construcciones presentan diferentes niveles de riesgo, muchos organismos oficiales de control, han adoptado una matriz de planeamiento para regular el uso del suelo. Una matriz de planeamiento es tal que permite ciertos tipos de usos del suelo dentro de zonas con fallas conocidas o posibles, mientras excluye o requiere investigaciones detalladas para otros tipos de usos.

Los antecedentes disponibles que pueden servir como una posible guía para la zonificación de este peligro en el Gran Mendoza, se refieren a dos casos en los cuales se incluyen áreas de rotura por fallas en el planeamiento general del uso del suelo para zonas urbanas. Estos casos son los de: Managua, Nicaragua y el estado de California en los Estados Unidos. El enfoque seguido para la zonificación es diferente en ambos casos. Managua presenta zonas relativamente angostas y bien definidas, para las que se imponen restricciones respecto a qué se puede y qué no se puede construir dentro de cada una de ellas. En California las zonas son mucho más amplias y no tan restrictivas, por lo que se requiere que los propietarios demuestren, por medio de investigaciones detalladas, que la obra a ejecutar no está ubicada directamente sobre la falla. En ambos casos, el propósito de este tipo de zonificación es prevenir pérdidas de vida y daños mayores a la propiedad, provenientes del peligro de rotura superficial. Esta zonificación no considera el peligro representado por las vibraciones del terreno.

10.3.2 Propuesta para la Zonificación del Peligro por Rotura Superficial en el Gran Mendoza.

Los ejemplos presentados de Managua y California se refieren a dos casos que, si bien difieren por la causa de origen, tienen algo en común. En el primero, la matriz de planeamiento para la zonificación de fallas activas, fue desarrollada después de un terremoto que destruyó casi totalmente esa ciudad. Dicha matriz estaba destinada a formar parte del plan de reconstrucción. O sea que se partió prácticamente de una zona a urbanizar y por lo tanto no se estaba sujeto a ningún tipo de condicionamiento. En el caso de California, las zonas de estudios especiales se refieren a nuevos desarrollos en áreas de fallas conocidas, por lo que al igual que en Managua, no existen condicionamientos de construcciones previamente establecidas.

Para el caso del Gran Mendoza, la mayor parte de áreas de fallas activas, presentan similitud con los casos previamente estudiados, ya que aquéllas se ubican en zonas despobladas y sin ningún tipo de desarrollo urbano, como es el caso de las fallas del Melocotón, Barrancas, Cerro del Cristo y de la Gloria. Sin embargo, para la falla Cerro

de la Cal-Calle Perú la situación es completamente diferente, ya que parte de la misma se ubica en la zona densamente urbanizada del Gran Mendoza.

Para zonificar el peligro de fallamiento superficial, se propone la matriz de planeamiento que se presenta en la tabla 10-1. En el caso de las áreas sin desarrollo, teniendo en cuenta el tipo de fallamiento de la zona, que se caracteriza por fallas de tipo lístrico, que dan lugar a trazas de fallas ramificadas en superficie, se recomienda realizar estudios geológicos detallados para aquellas construcciones que se indican en la tabla 10-1. Estos estudios consistirán como mínimo, en la realización de un análisis geomorfológico del lugar para individualizar la posible presencia de este tipo de ramificaciones.

En lo referente a la falla del Cerro de La Cal-Calle Perú, es conveniente reiterar lo ya expresado en capítulos anteriores, que, como consecuencia de la imposibilidad de ejecutar trincheras, no ha sido factible definir con exactitud, tanto la ubicación como la longitud total de esta falla en la zona urbanizada del Gran Mendoza, por lo que su traza está inferida a partir de los puntos de inflexión de los perfiles topográficos descriptos en el capítulo 5. En consecuencia, se recomienda la realización de estudios especiales (geofísicos) para la ubicación definitiva de la traza de la falla. Debido a la complejidad y costo de este tipo de estudios, se sugiere que sea el Gobierno de la Provincia de Mendoza, quien tome a cargo su ejecución. Una vez cumplida esta tarea, será necesario adecuar en forma definitiva la matriz de planeamiento de la tabla 10-1. Los requerimientos propuestos en los mapas y matrices de planeamiento deberán ser actualizados periódicamente, a medida que se disponga de nueva información respecto a fallas, códigos de edificación y usos del suelo.

10.3.3 Probabilidad de Rotura Superficial.

Se evaluó la potencialidad de rotura superficial en las Zonas 1 y 2, definidas anteriormente, utilizando la metodología desarrollada por Gil-Nafá-Zamarbide (1982). El método consiste en extender el procedimiento empleado para el análisis del peligro, esbozado en la Sección 9.1, a efectos de calcular la razón de excedencia para varios niveles de desplazamiento superficial de una falla, en un punto a lo largo de la misma. La forma modificada de la Ecuación 9-2 es:

$$V(d) = \alpha_n (m^0) \int_{m^0}^{m^u} f(m).P(SR_p | m). P(D > d | m) .dm \quad (10-2)$$

donde $U(d)$ representa la frecuencia anual de excedencia del nivel d del desplazamiento de la falla; $P(SR_p | m)$ expresa la probabilidad de rotura superficial en un punto de la falla, dada la ocurrencia de un terremoto de magnitud m ; y $P(D > d | m)$ es la probabilidad que el desplazamiento superficial exceda la longitud especificada d . Los demás términos se definen igual que en la ecuación 9-2.

La probabilidad de que ocurra rotura superficial en un punto está dada por:

$$P(SR_p | m) = P(SR | m) \cdot P(SR_p | SR, m) \quad (10-3)$$

donde $P(SR | m)$ es la probabilidad de que la rotura de falla alcance la superficie, dada la ocurrencia de un terremoto de magnitud m sobre la falla. Se asume que los terremotos de magnitud menor de $M_s = 5,5$ no causarán rotura superficial significativa. Es de hacer notar que no se ha encontrado rotura superficial para muchos terremotos en la Argentina, como por ejemplo para el terremoto de Mendoza ($M_s = 5,9$) de 1985. Por tal razón se estableció el siguiente criterio para calcular la probabilidad de rotura superficial:

$$\begin{aligned} P(SR | m) &= 0 && \text{para } M_s < 5 \frac{1}{2} \\ &= 0,8 && \text{para } M_s \geq 5 \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (10-4)$$

El término $P(SR_p | m)$ expresa la probabilidad de rotura superficial en un punto, dado que un terremoto de magnitud m haya roto la superficie. Debido a que se asume que la ocurrencia de terremotos está uniformemente distribuida a lo largo de la longitud de la falla, la probabilidad de rotura superficial en un punto estará dada por la razón entre la longitud media de rotura superficial para un evento sísmico de magnitud m , $L_{sr}(m)$, y la longitud total de la falla, LF . La longitud media de rotura para un terremoto de magnitud dada, fue estimada utilizando relaciones empíricas entre magnitud sísmica y longitud de rotura superficial. Wells y otros (1989) presentaron una compilación de datos sobre magnitud, longitud de rotura superficial y longitud de desplazamiento de falla, para fallamiento inverso e inverso oblicuo, actualizando la información presentada anteriormente por Slemmons (1982) y Bonilla y otros (1984). Usando estos datos se obtuvo la siguiente expresión para estimar la longitud media de rotura superficial:

$$L_{sr}(m) = 0,071 \exp(0,9 M_s) \quad (\text{en km}) \quad (10-5)$$

La probabilidad condicional de excedencia de un nivel especificado de desplazamiento en superficie, $P(D > d | m)$, fue estimada utilizando la información disponible del máximo desplazamiento superficial ocurrido en casos de rotura superficial. La relación apropiada es:

$$\ln(D(\text{en } m)) = 0,99 M_s - 5,98 \quad (10-6)$$

Se ha asumido que los desplazamientos máximos superficiales actuales tienen una distribución log-normal respecto a los valores dados por la Ecuación 10-6, con un error estándar en $\ln(D)$ de 0,50. Por lo tanto, el término $P(D > d | m)$ se calcula como la distribución normal complementaria acumulada.

Con el objeto de calcular la probabilidad de rotura superficial en un punto del Gran Mendoza, se combinó el enfoque del análisis descrito anteriormente con las estimaciones de recurrencia discutidas en el Capítulo 9. Las probabilidades anuales de rotura superficial y los intervalos de confianza para el percentil 90, basados en la incertidumbre en recurrencia y magnitud máxima para las fallas, son:

Falla	Probabilidad anual (e intervalo de confianza del 90 % de excedencia de rotura superficial)	
	0,1 m	1,0 m
Calle Perú	0,0036 (0,00072-0,010)	0,0016 (0,00042-0,0045)
Cerro La Cal	0,0037 (0,00075-0,011)	0,0020 (0,00050-0,0057)
Cerro del Cristo y Cerro de la Gloria	0,00024 (0,00004-0,00069)	0,00012 (0,00002-0,00029)

10.4 Zonificación para Diseño Estructural.

En base a lo expresado en secciones anteriores se recomienda adoptar, con fines de diseño estructural dentro del Gran Mendoza, las aceleraciones máximas correspondientes a una probabilidad de excedencia del 10 % en 20 años, lo que arroja tres niveles

de aceleración pico: $a_{\max} = 0,4 \text{ g}$; $a_{\max} = 0,35 \text{ g}$ y $a_{\max} = 0,30 \text{ g}$.

Es conveniente reiterar que estas son aceleraciones instrumentales máximas, y que no son necesariamente los valores más adecuados para representar el efecto de los movimientos sísmicos sobre las construcciones. En su lugar se utiliza la **aceleración efectiva**, que consiste en una reducción del valor de la aceleración máxima, que es de carácter instantáneo y que está asociada a un solo nivel de frecuencia.

La aceleración efectiva puede obtenerse calculando el valor medio de las ordenadas espectrales de aceleración, para $0,1 \text{ seg} \leq T \leq 0,5 \text{ seg}$ y dividiéndolo por el valor de la amplificación espectral asumida para el espectro de diseño. Procediendo de ese modo con los espectros del terremoto del 26-01-85 correspondientes a los acelerogramas registrados en Maipú, Capital (A.y E.E.), D'Amicis y Las Heras, y adoptando 2,5 como valor de la amplificación espectral, se tiene:

Estación de registro	Aceleración efectiva
1 - Maipú	$0,71 * a_{\max}$ (2)
2 - D'Amicis (Capital)	$0,87 * a_{\max}$ (2)
3 - Las Heras	$0,91 * a_{\max}$ (2)
4 - A.yE.E. (Capital)	$0,91 * a_{\max}$ (1)
Promedio	$0,85 * a_{\max}$

(1) Corresponde a una sola componente registrada

(2) Corresponde al promedio de las dos componentes registradas.

Por lo tanto, adoptando que la aceleración efectiva es igual a $0,85 * a_{\max}$, resulta:

Nivel	Aceleración máxima	Aceleración efectiva
1	0,40	0,35
2	0,35	0,30
3	0,30	0,25

Con base en lo expuesto en esta sección y en los capítulos 8 y 9, se confeccionó el mapa de zonificación de la figura 10-13, resultante de la combinación de los mapas contenidos en las figuras 10-3, 10-4 y 10-10. Dado que este mapa está realizado con fines de diseño estructural, se recomienda su inclusión en el código de edificación.

Como se observa en la figura 10-13, se divide el área bajo estudio en cinco zonas. La delimitación de esas zonas se ha realizado tomando como referencia elementos perfectamente identificables, tales como rutas, calles, canales, vías del ferrocarril, etc., a los fines de su aplicación práctica y para evitar dudas acerca de la ubicación de la posible obra con respecto a la línea límite. La descripción del trazado de los límites de las distintas zonas se presenta en el Anexo VI del Informe Técnico General.

Como **espectros normalizados de diseño** se recomienda utilizar los de la figura 10-14. El **espectro normalizado A** corresponde a sitios con condiciones tipo roca y suelos firmes superficiales y el **espectro normalizado B** a sitios con suelos profundos.

Esos espectros normalizados se determinaron con base en los espectros probabilísticos de igual peligrosidad, correspondientes al 10 % de excedencia en 20 años (figura 10-9), convenientemente modificados para tener en cuenta los efectos de terremotos con epicentro alejado, como pueden ser los de San Juan y las incertidumbres que se presentan en la combinación de respuestas modales y otros factores.

Finalmente cabe acotar que a las **zonas 1 y 3** les corresponde el **espectro normalizado B** y a las **zonas 2, 4 y 5** el **espectro normalizado A**, tal como se indica en la figura 10-13.

Con respecto a la falla del terreno debida a **licuación**, según se discutió en la sección 10.2, la zona con alta probabilidad de sufrir licuación se ubica al noreste del área bajo estudio. Al respecto se recomienda tomar precauciones especiales tales como realizar un conveniente diseño de las fundaciones y/o el mejoramiento de las condiciones del subsuelo mediante procedimientos adecuados. En tal sentido resulta necesario realizar estudios en detalle del subsuelo en el sitio de implantación de la futura obra.

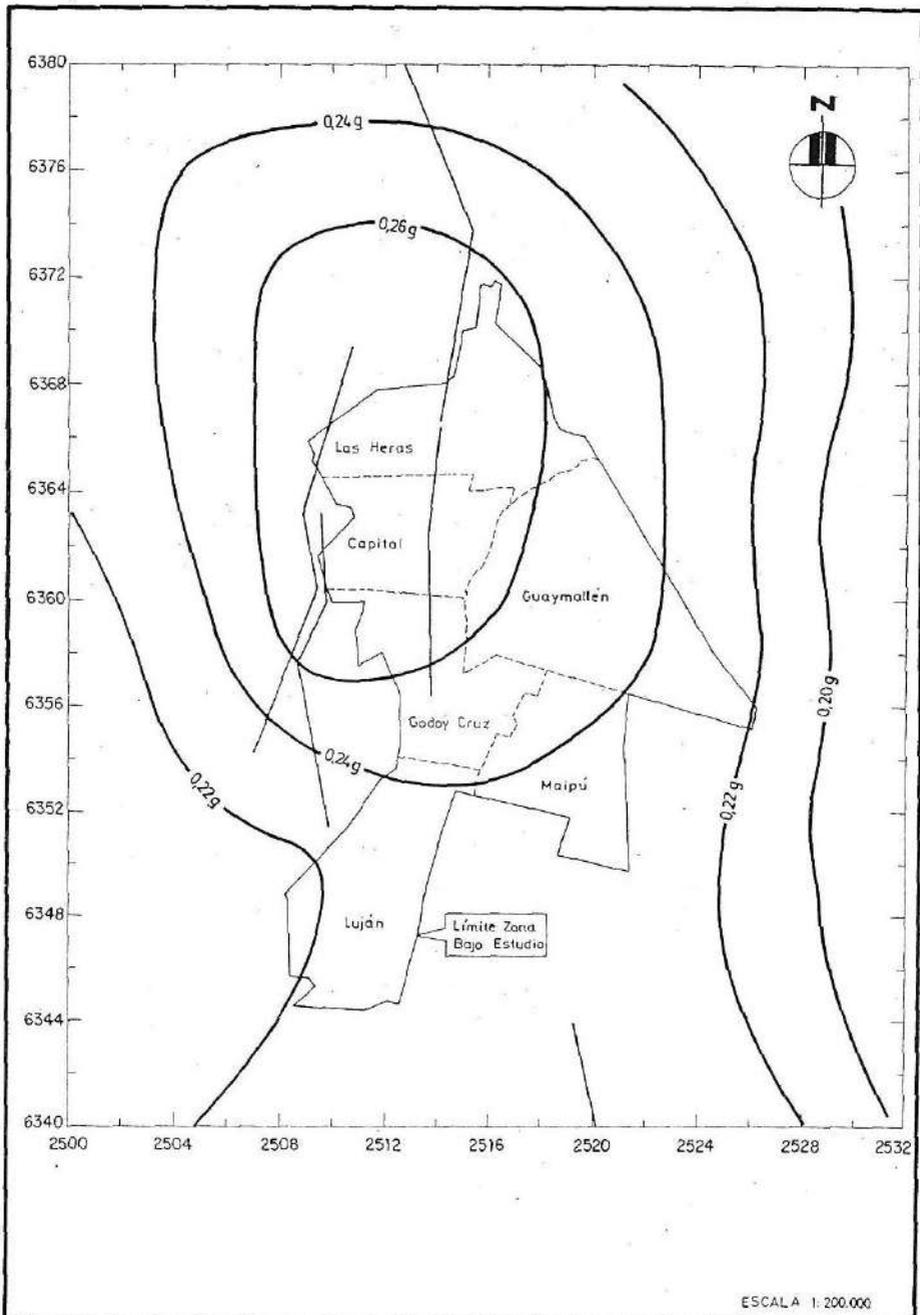
Tabla 10-1
**PROPUESTA DE ZONIFICACION DEL PELIGRO DE
 ROTURA SUPERFICIAL POR FALLAMIENTO**
 Matriz de Planeamiento

U S O S	Fallas Activas Conocidas		Fallas Activas Dudosas; posibles zonas de fallamiento tipo lístrico.
	Ubicadas en zonas no desarrolladas (1)	Ubicadas en zonas urbanizadas (2)	
1. Hospitales; plantas de energía eléctrica, de agua potable y de bombeo; cuarteles de bomberos; droguerías; puentes elevados y edificios con más de ocho pisos cuya altura es, por lo menos 1,5 veces mayor que la dimensión de la planta mínima.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla (para ubicar definitivamente su traza)	Necesita estudio de falla local
1.A Servicios públicos subterráneos; principales líneas cloacales; conductos eléctricos; cañerías de agua potable y para incendio.	Diseño Especial	Diseño Especial	Necesita estudio de falla local
2. Escuelas; grandes hoteles; Iglesias; centros gubernamentales; museos; teatros; auditorios; depósitos de municiones.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla.	Necesita estudio de falla local
3. Barrios; pequeños departamentos multifamiliares; pequeños hoteles; edificios de oficinas; edificios comerciales (estructuras menores de tres pisos).	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla.	Necesita Estudio de falla local
4. Mercados abiertos; casas familiares; edificios industriales; edificios para estacionamiento; negocios de reparaciones; depósitos habitados.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla.	Diseño de acuerdo con el código de construcciones
5. Depósitos no habitados; establos; garages; estacionamientos abiertos; casas de madera; construcciones especiales de techo liviano, no permanentes; estructuras livianas para terminales de ómnibus.	Diseño de acuerdo con el código de construcciones	Diseño de acuerdo con el código de construcciones	Diseño de acuerdo con el código de construcciones

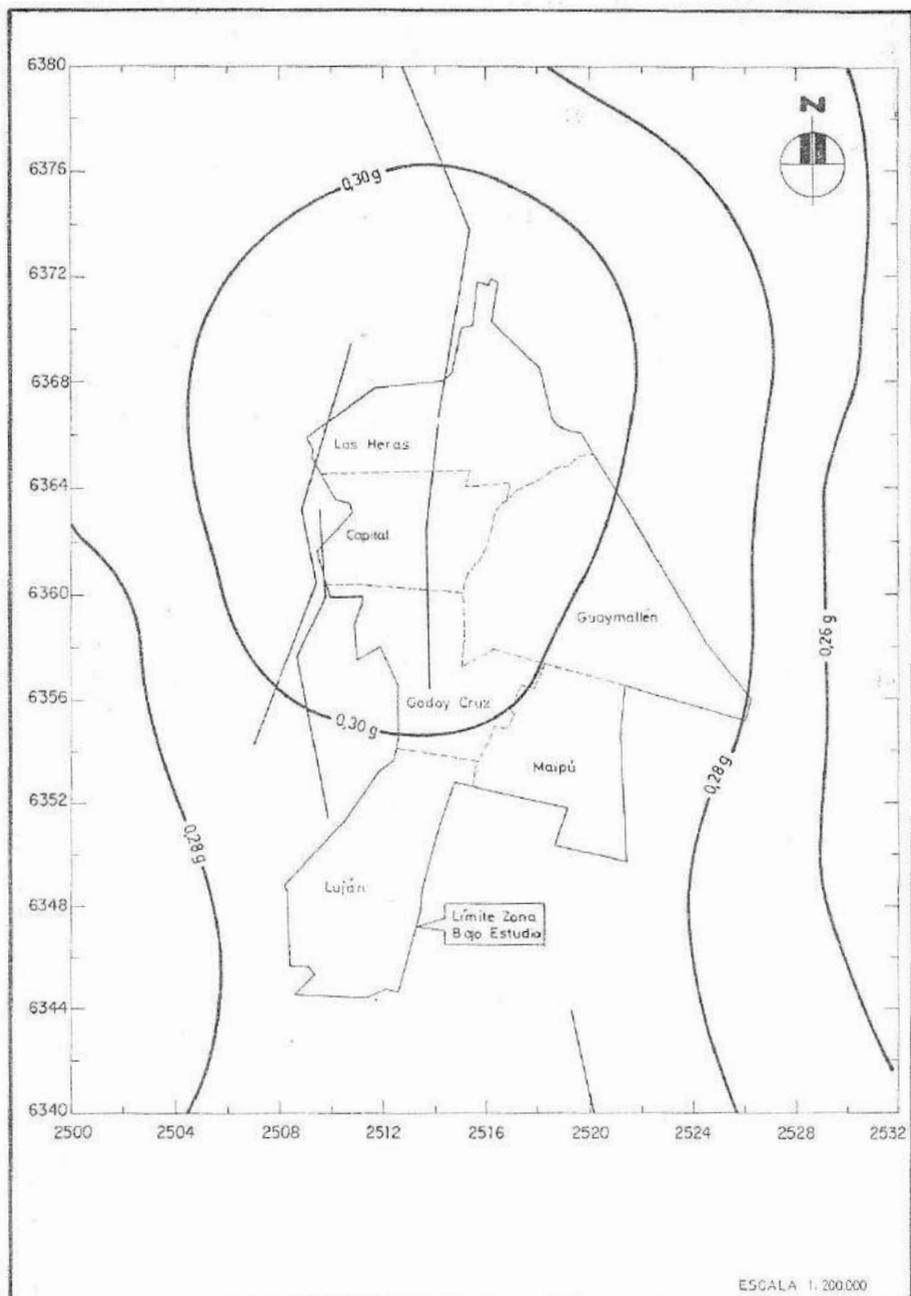
(1) Fallas tales como: Barrancas, Melocotón, Cerro de La Cal, Cerro del Cristo y Cerro de la Gloria.

(2) Falla de la Calle Perú.

(3) Implica no construir en un área de por lo menos 100 m a cada lado de la traza de la falla.

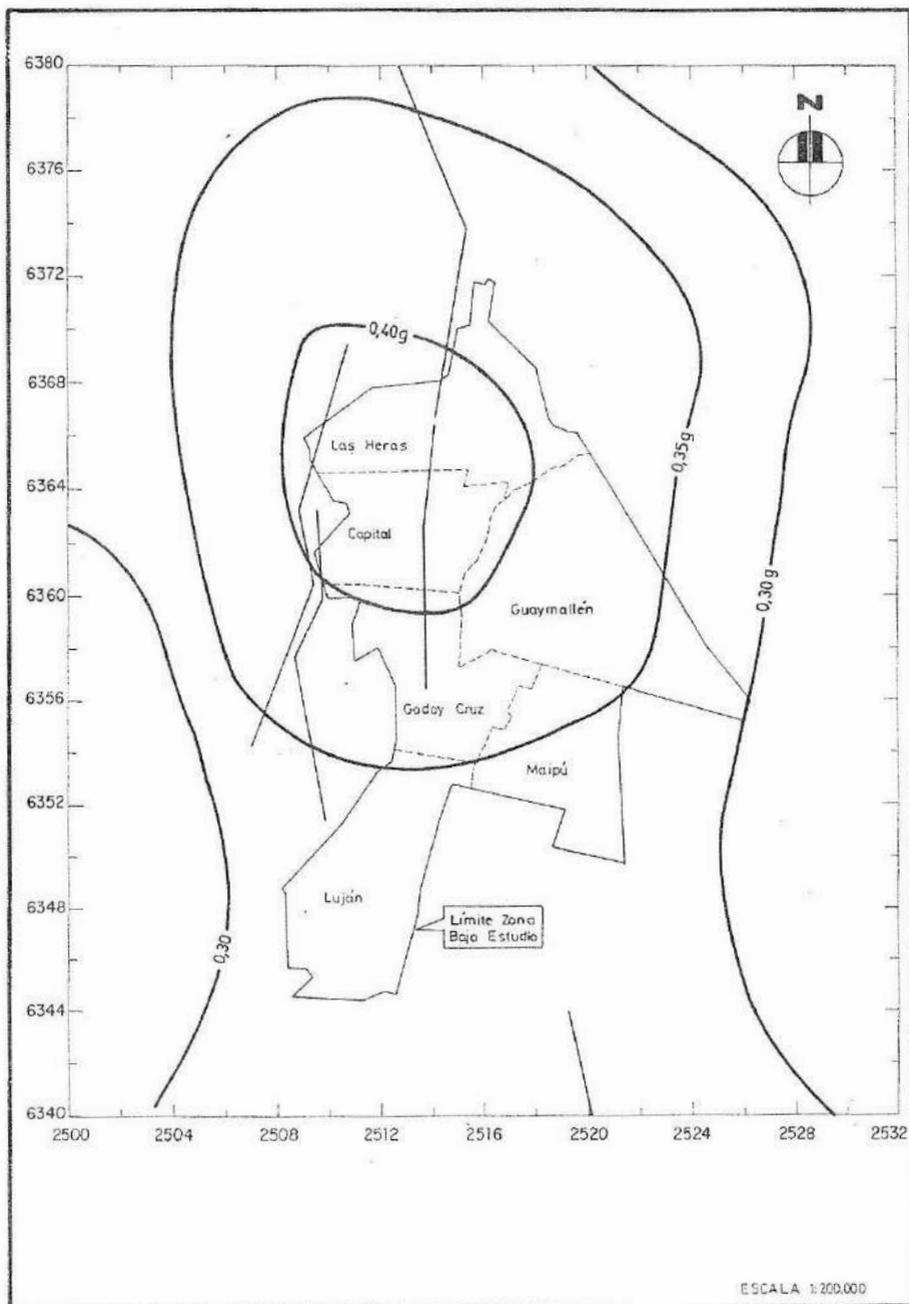


INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 10 años, para roca y suelos firmes.	Figura 10-1
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



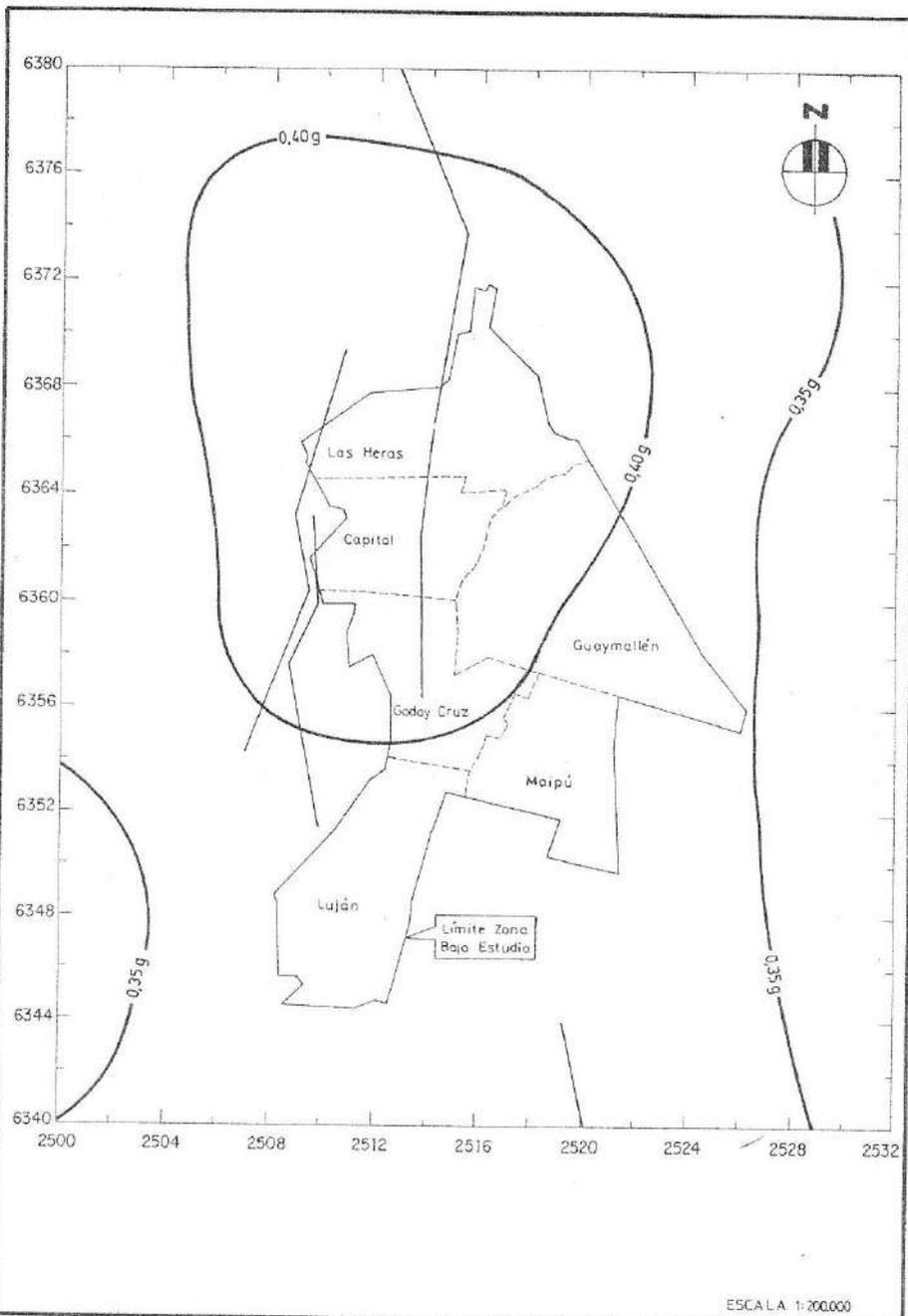
ESCALA 1:200.000

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 10 años, para suelos profundos.
Nafa-Zamarbide	INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.	Figura 10-2

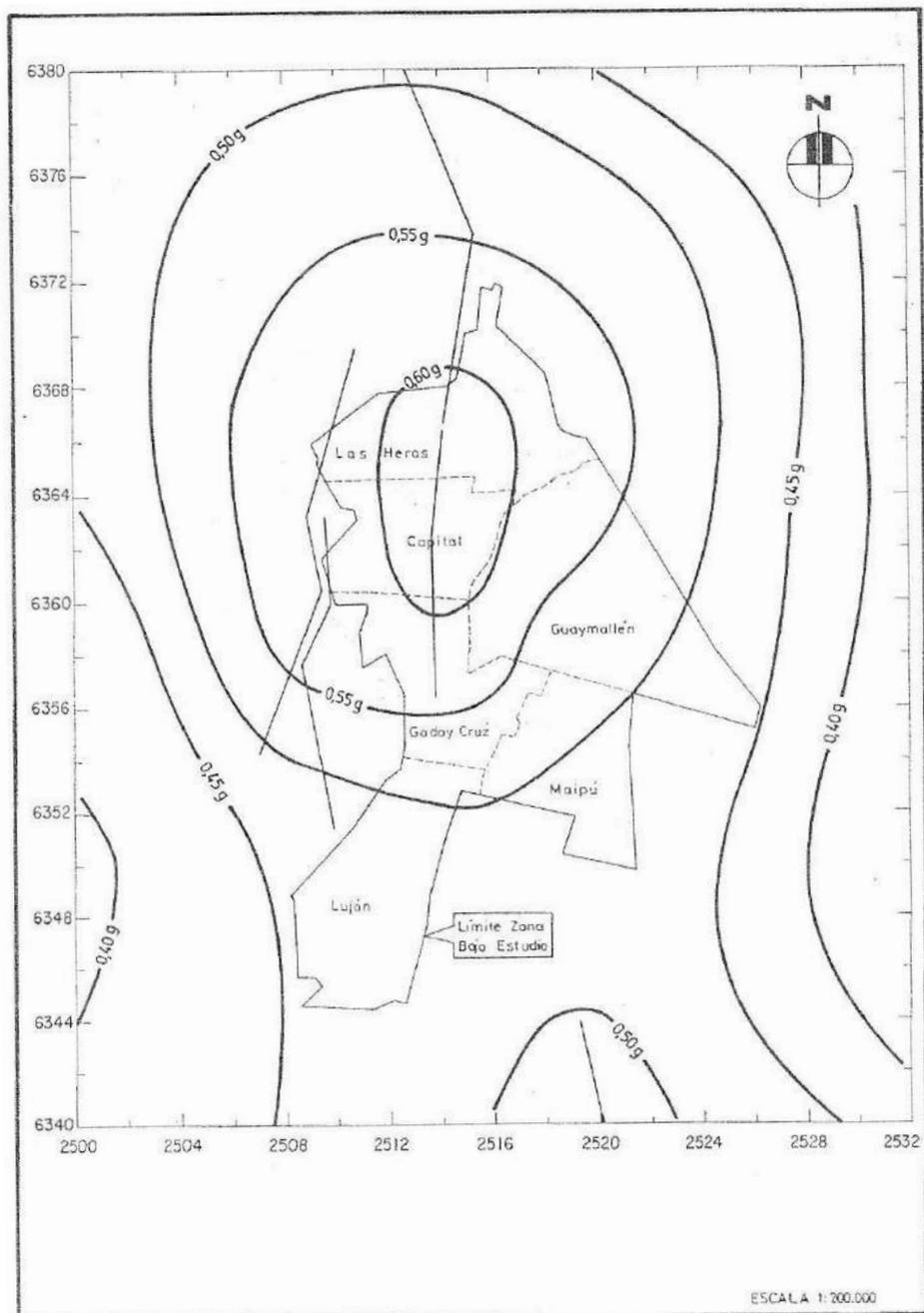


ESCALA 1:200.000

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia de: 10% en 20 años, para roca y suelos firmes.	Figura 10-3
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza, Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años, para suelos profundos.	Figura 10-4
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



ESCALA 1:200.000

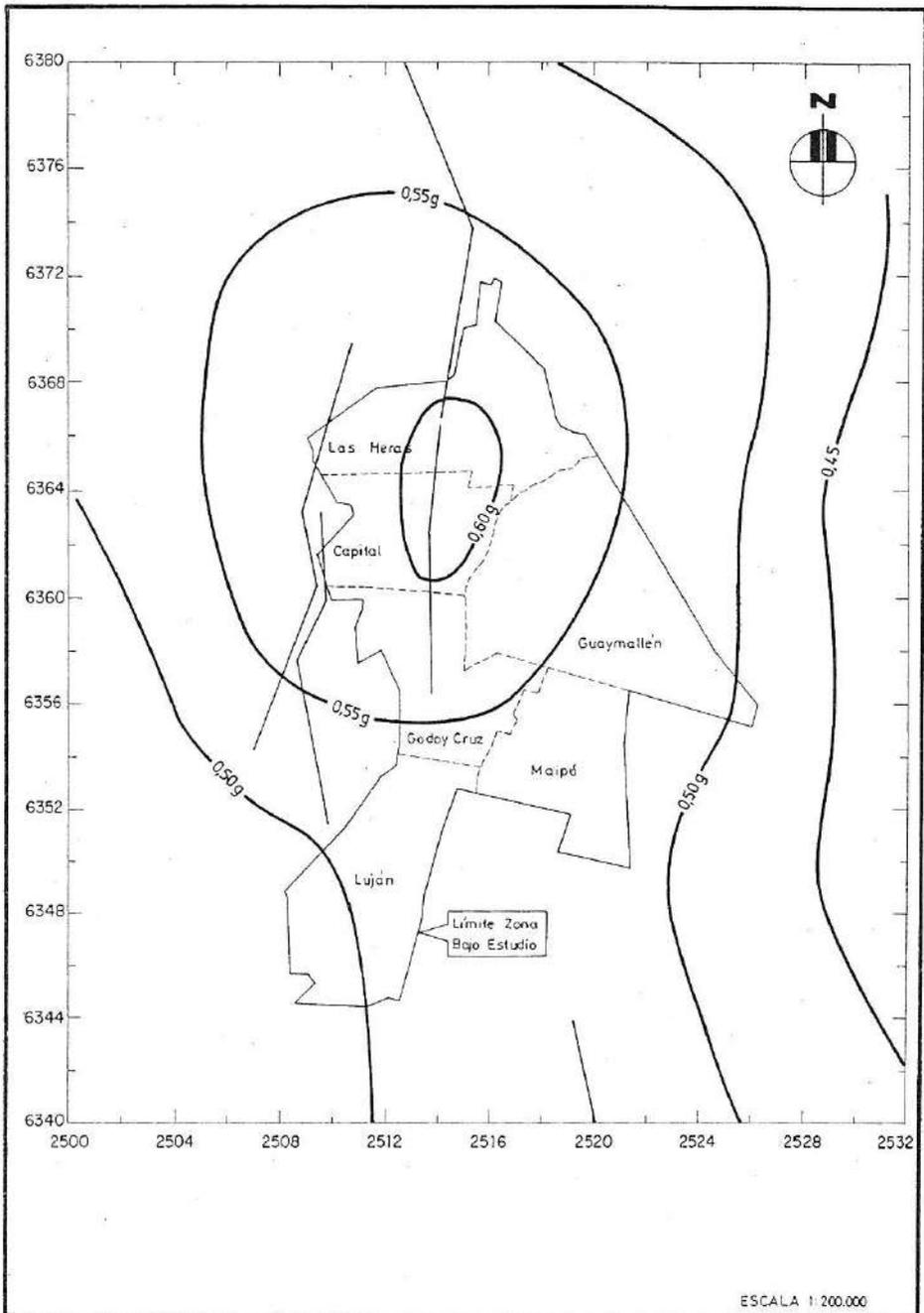
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para roca y suelos firmes.

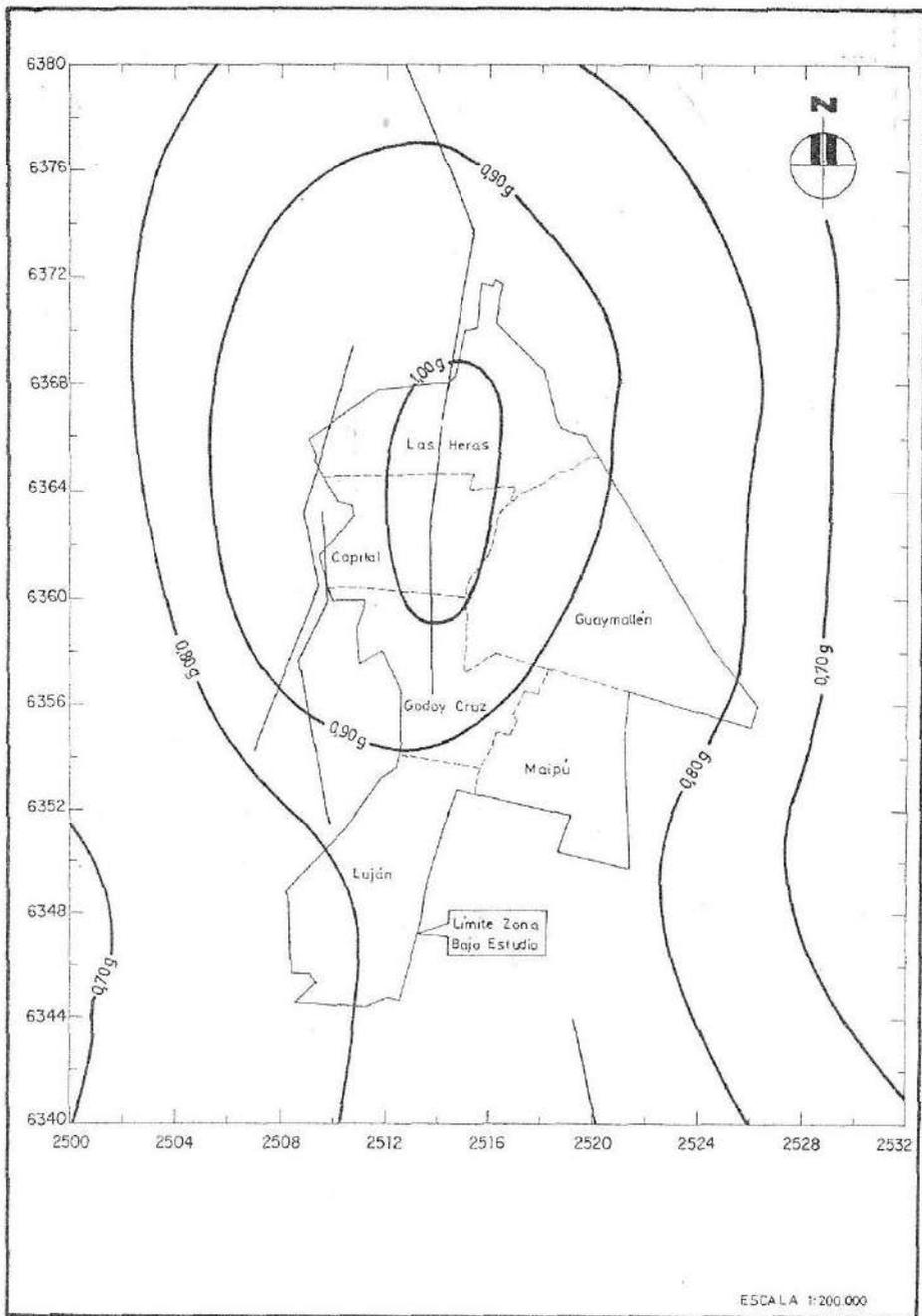
Figura
10-5

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

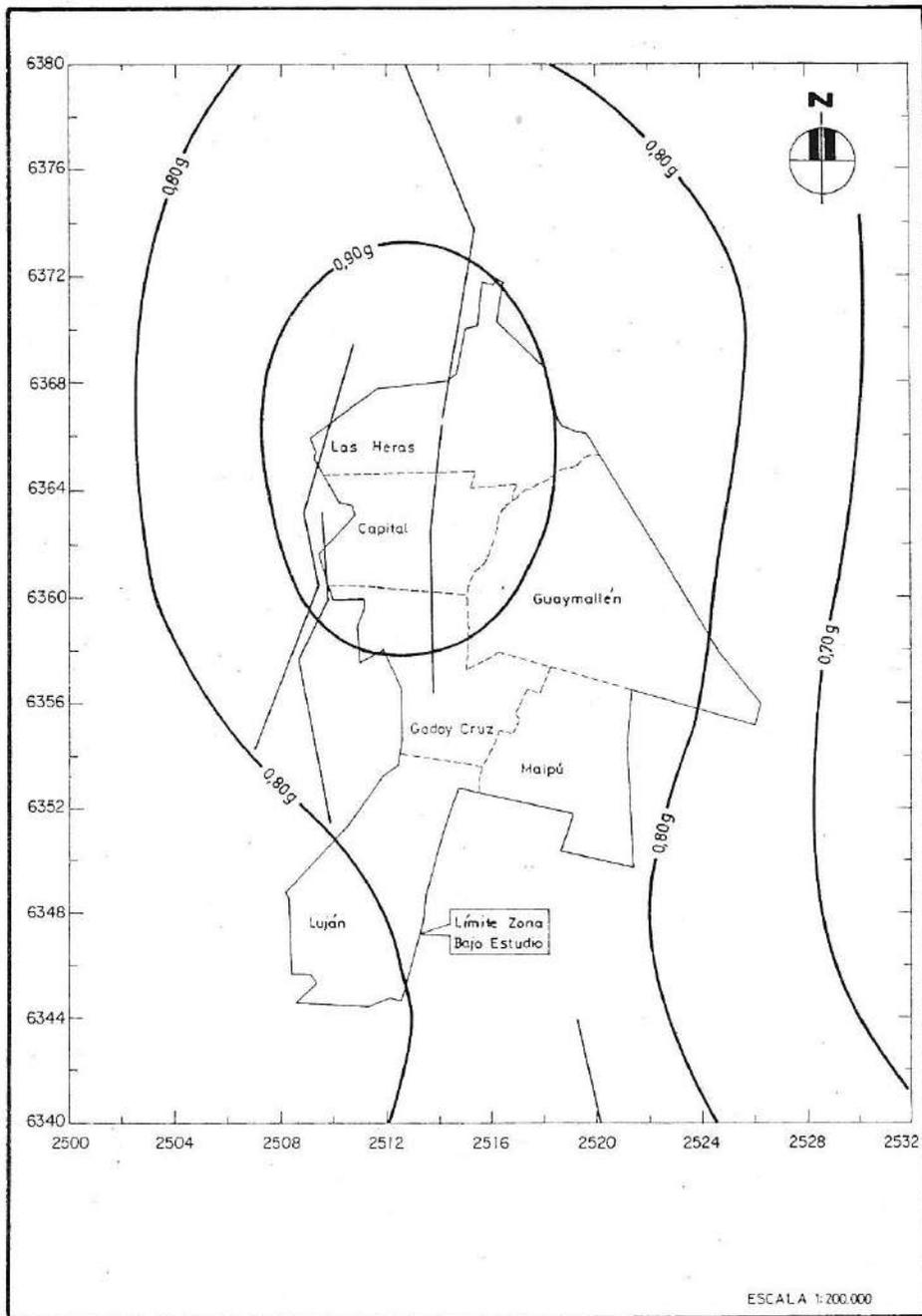


ESCALA 1:200.000

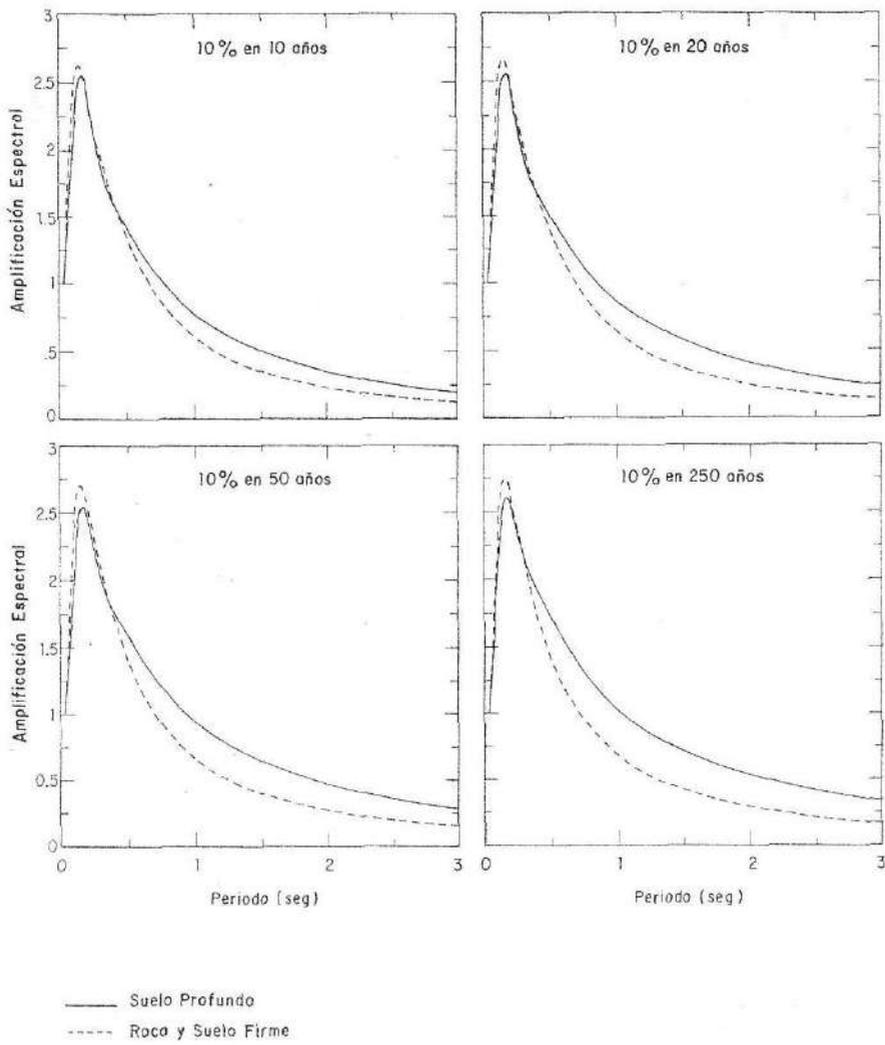
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, para suelos profundos.	Figura 10-6
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

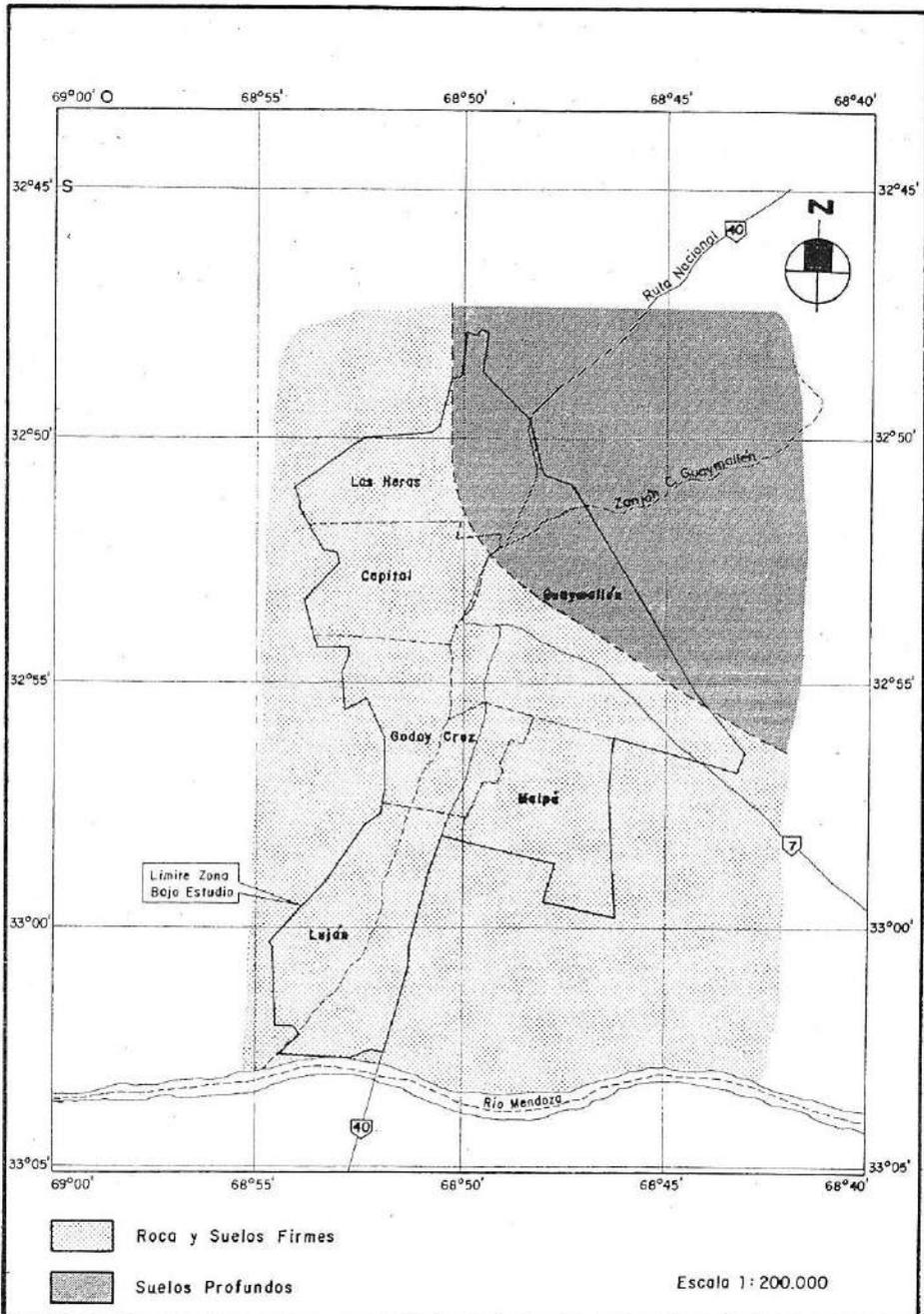


INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza. Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10 % en 250 años, para roca y suelos firmes.	Figura 10-7
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA	Gran Mendoza Aceleraciones instrumentales pico con una probabilidad de excedencia del 10% en 250 años, para suelos profundos.	Figura 10-8
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		





INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

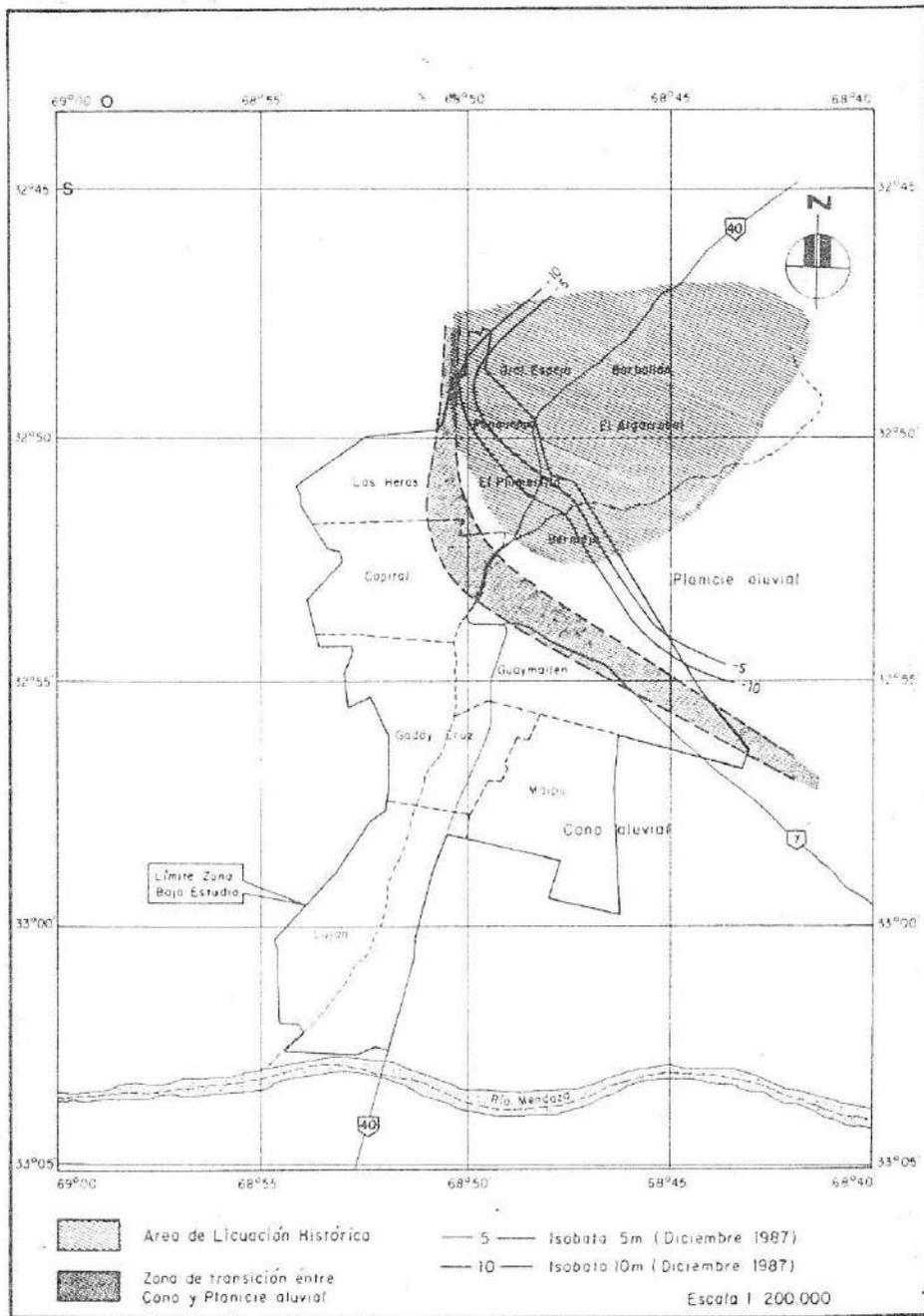
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Distribución generalizada de las dos
condiciones del subsuelo.

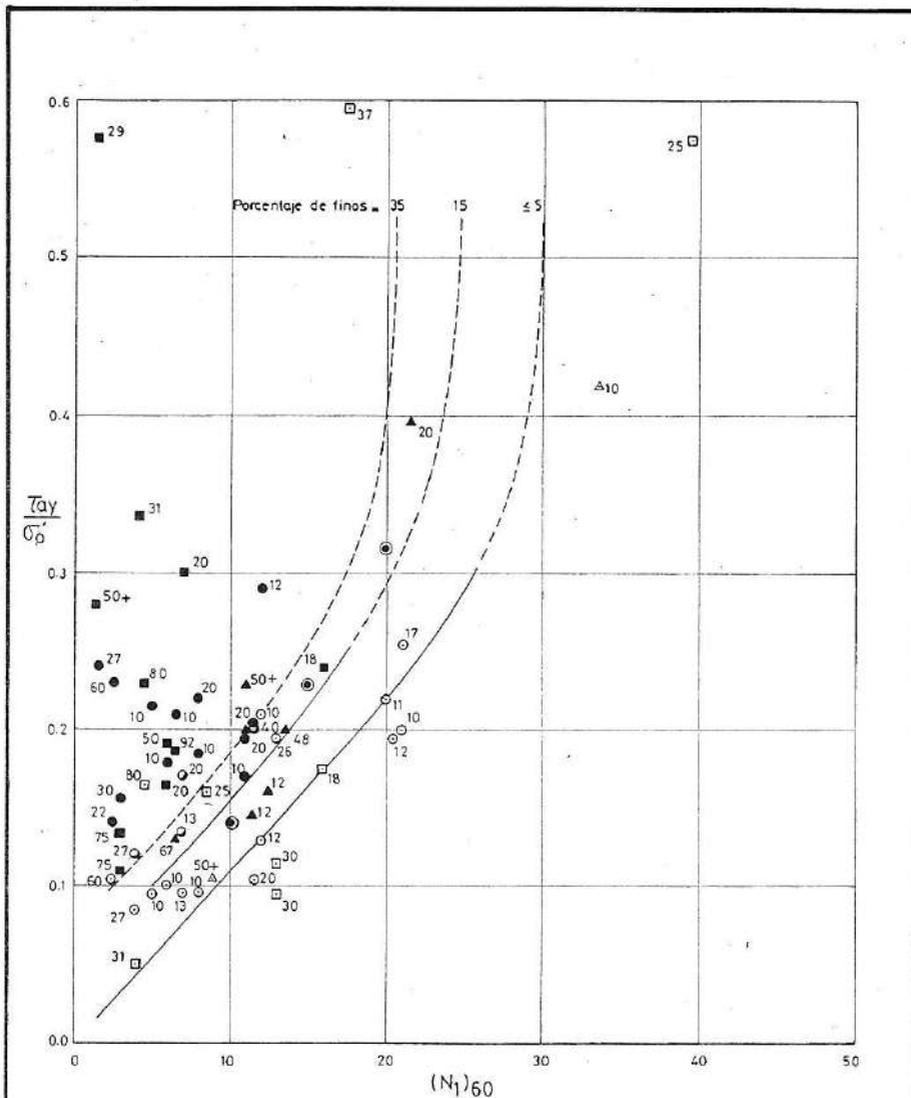
Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

10-10



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Curvas de agua freática poco profunda Licuación histórica.
Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		Figura 10-11



RELACION ENTRE LA RAZON DE TENSIONES QUE CAUSA LICUACION Y LOS VALORES DE N_1 PARA ARENAS LIMOSAS Y TERREMOTOS DE $M_w = 7 \frac{1}{2}$

CONTENIDO DE FINOS $\geq 5\%$

Propuesta del Código Chino Modificado (contenido de arcilla $5 \frac{1}{2}\%$)

	Liquación	Liquación Marginal	No Liquación
Datos Panamericanos	■		□
Datos Japoneses	●	○	○
Datos Chinos	▲		△

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

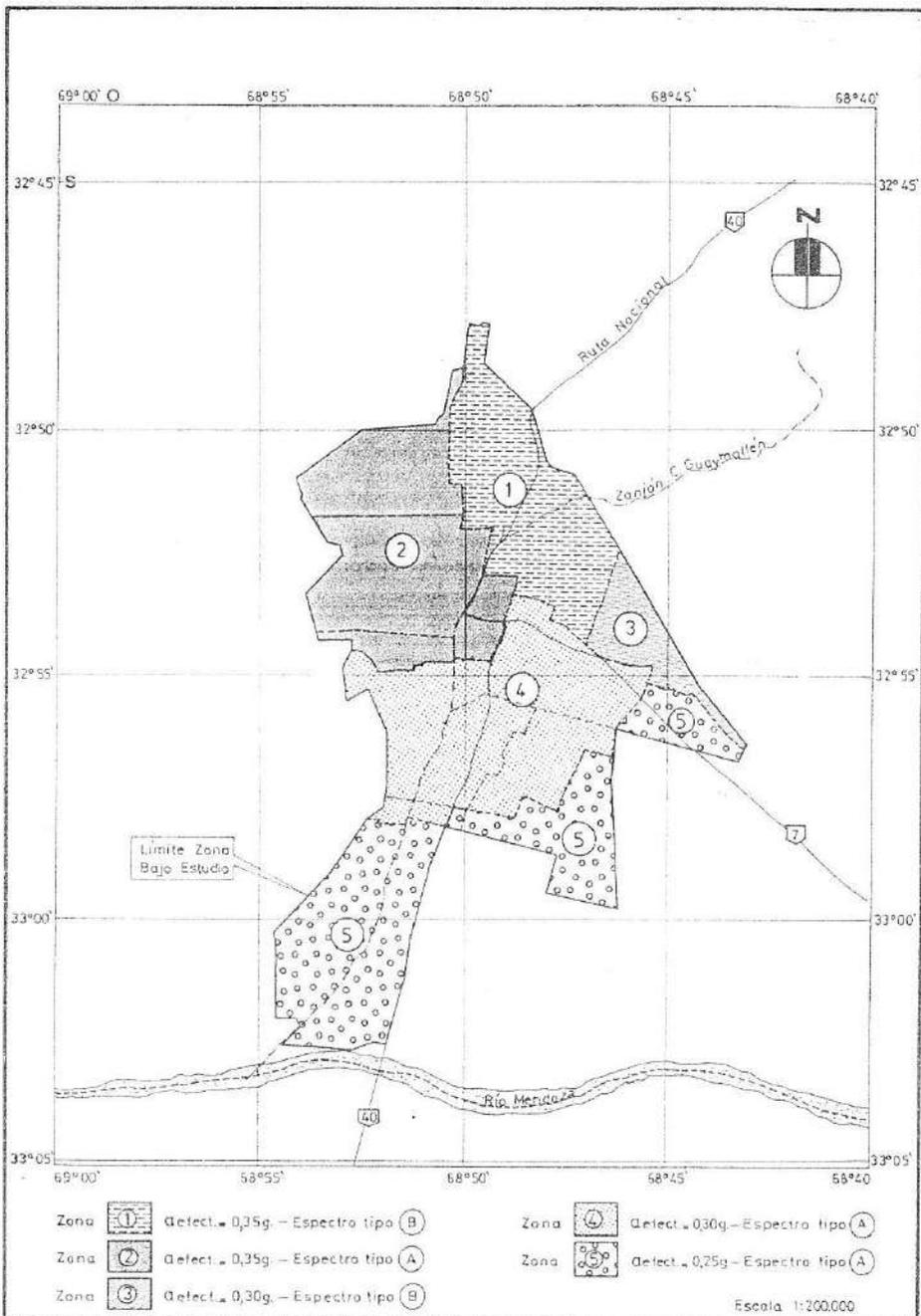
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Correlación entre el comportamiento de suelos granulares finos y su resistencia a la penetración.

Figura

Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L

10-12



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

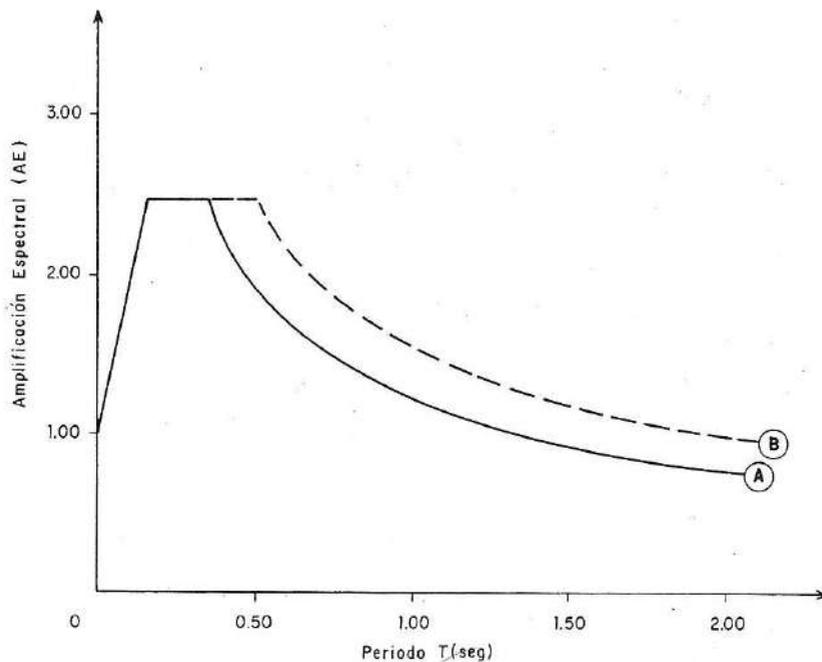
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Propuesta de zonificación para
diseño estructural

Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

10-13



para $T < T_1 \implies AE = 1 + (2.5 - 1) \frac{T}{T_1}$

para $T_1 \leq T \leq T_2 \implies AE = 2.5$

para $T > T_2 \implies AE = 2.5 \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3}$

Espectro	T_1 (seg)	T_2 (seg)	Condiciones del sitio
A	0.15	0.35	Roca y suelos firmes superficiales...
B	0.15	0.50	Suelos profundos...

T_1 = periodo correspondiente al comienzo del plafón

T_2 = periodo correspondiente al fin del plafón

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Espectros de respuesta normalizados
recomendados para diseño estructural

Figura
10-14

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

11.0 CARACTERÍSTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES EN EL GRAN MENDOZA.

11.1 Objetivo

Esta etapa del proyecto tiene como objetivo determinar las características sismorresistentes de las construcciones existentes en el Gran Mendoza, de modo tal de evaluar su **vulnerabilidad**, lo que nos permitirá posteriormente estimar el **riesgo sísmico**, es decir el nivel o grado probable de pérdidas que experimentarán al estar expuestas al **peligro sísmico** determinado en el Capítulo 9.

De acuerdo con lo establecido en el Pliego de Especificaciones Técnicas y a la metodología propuesta por nuestra firma, se consideró como información básica la contenida en los archivos del Banco de Información Catastral (B.I.C.) de la Dirección Provincial de Catastro, y como información adicional la del Censo Nacional de Población y Vivienda-80 (C.N. P.V.-80). De este modo se pretendió contar con la máxima información proveniente de fuentes oficiales referente al tipo de construcción existente en el área bajo estudio, la que sería luego cotejada, completada y depurada, con los resultados de nuestra encuesta.

11.2 Tipología de las Construcciones Existentes en el Área Bajo Estudio.

11.2.1 Construcciones Ejecutadas con Previsiones Sismorresistentes.

Estas construcciones son aquellas que fueron ejecutadas siguiendo reglamentaciones específicas tendientes a dotarlas de resistencia frente a solicitaciones de origen sísmico. En el pasado, esas reglamentaciones fueron establecidas generalmente mediante ordenanzas municipales (Ordenanza 1101 del 26-08-1927, actualizada y ampliada por la Ordenanza 3824 del 25-08-1944). El Código de Construcciones Antisísmicas (C.C.A), que se puso en vigencia en 1970 puede considerarse como el primer conjunto integral de prescripciones sismorresistentes en la provincia. Como es lógico suponer, la capacidad sismorresistente de las distintas construcciones existentes en el Gran Mendoza no es uniforme, si se tiene en cuenta la época en que fueron ejecutadas y las normas que regían en ese entonces.

Las construcciones de una planta y la mayoría de las de dos plantas, se

ejecutan disponiendo los muros portantes de mampostería como planos resistentes de las solicitaciones horizontales. En las construcciones más recientes, realizadas de acuerdo con los lineamientos del C.C.A., dichos muros se han ejecutado formando paneles de mampostería, ya sea de ladrillos cerámicos macizos o huecos y en algunos casos de bloques huecos de hormigón, convenientemente encadenados con columnas y vigas de hormigón armado y fundados generalmente, mediante cimientos de hormigón ciclópeo de 60 a 70 cm de profundidad, o cuando la calidad del terreno de fundación así lo exige, sobre zapatas continuas o sobre plateas de hormigón. Los techos y/o entrepisos están constituidos por losas macizas de hormigón armado, o bien por elementos yuxtapuestos (ladrillos cerámicos armados o viguetas de hormigón pretensado), asegurando una adecuada rigidez y resistencia en su plano, a fin de distribuir las fuerzas horizontales entre los elementos resistentes. Este tipo de construcciones está destinado principalmente a viviendas unifamiliares, grupos habitacionales y en menor grado a oficinas y negocios.

En las construcciones bajas ejecutadas con anterioridad a 1970, es frecuente la falta de algunos elementos de encadenado, necesarios para asegurar el buen comportamiento de los paneles de mampostería ante solicitaciones horizontales.

En cuanto a la solución estructural adoptada para los edificios altos construidos en el Gran Mendoza, consiste en general, en pórticos de hormigón armado dispuestos, en la mayoría de los casos, según direcciones ortogonales. También es frecuente encontrar edificios estructurados en base a tabiques de hormigón armado o en base a una combinación de tabiques y pórticos de hormigón.

11.2.2 Construcciones sin Previsiones Sismorresistentes.

Las construcciones de adobe son las que representan el mayor porcentaje entre las de este tipo. Muchas de las viviendas de adobe del Gran Mendoza presentan un nivel de terminación bastante superior al observado en viviendas similares de otras localidades y de otras provincias (como en el caso de la provincia de San Juan).

El comportamiento de este tipo de construcciones durante el sismo de 1985 fue en general, y como es lógico suponer, malo, y demuestra una vez más la ineptitud de este material para ser usado en construcciones ubicadas en zonas sísmicamente activas.

En el Gran Mendoza existe también un número significativo de construcciones mixtas, construidas en parte con muros de adobe y en parte con muros de ladrillos macizos. Son construcciones de una planta, en las que, por lo general, los muros de fachada son de ladrillo y el resto de adobe, aunque en muchos casos existen también sectores

completos de ladrillo (baños, cocinas, algunos dormitorios, etc.). Su comportamiento resultó casi tan malo como el de las construcciones de adobe.

Dentro de esta categoría de construcciones no sismorresistentes, encontramos también a las ejecutadas con mampostería de ladrillo macizo sin vinculaciones de hormigón armado (encadenados), de las que existe un buen número en la zona en estudio. En general resultaron dañadas, si bien con un nivel inferior a las de adobe y mixtas. El caso más notable de construcciones de este tipo afectadas, tanto por la envergadura del edificio cuanto por su destino, lo constituye el Hospital El Carmen, el cual sufrió daños importantes en todos los sectores de mampostería no encadenada, como así también colapsos parciales.

11.3 Evaluación de la Seguridad de las Construcciones

Para determinar el comportamiento probable de las construcciones ante la acción sísmica, pueden seguirse distintos procedimientos. Una alternativa consiste en agrupar aquéllas en conjuntos de características similares en cuanto a materiales de construcción utilizados, tipo estructural predominante, dimensiones, etc., reuniendo toda la información posible referida al proyecto de dichas construcciones, para así evaluar el grado de seguridad con el que fueron diseñadas y construidas. De ese modo, analizando una o algunas pocas construcciones de cada grupo, se obtienen resultados y conclusiones que se pueden considerar como representativos de las componentes del mismo. Durante esta investigación se adoptó ese enfoque, viéndose facilitada la labor por cuanto las construcciones existentes se pueden catalogar en pocos grupos, tal como vimos en el punto 11.2.

En la determinación de la seguridad estructural se ha considerado también el hecho que las construcciones se hayan ejecutado con planos aprobados e inspecciones de las municipalidades respectivas, a las que podríamos denominar autorizadas.

Para categorizar cada construcción se utilizó un formulario especialmente diseñado al efecto, que brinda la información mínima necesaria al profesional encargado de definir la categoría de cada unidad.

Se agrupó a las construcciones en sismorresistentes y no sismorresistentes. Tanto a las construcciones de adobe como a las mixtas se las catalogó como no sismorresistentes, independientemente de cualquier otra consideración. En cuanto al resto, la mayoría de las cuales son de mampostería, se catalogaron teniendo en cuenta lo mencio-

nado anteriormente; es decir, si eran construcciones autorizadas, se las incluyó dentro del primer grupo, en caso contrario, se las evaluó individualmente, catalogándola en base a los datos aportados en el formulario de encuesta según el criterio de los profesionales encargados de esta tarea.

11.4 Muestreo de las Construcciones

La labor desarrollada puede resumirse en:

- Tareas previas al relevamiento.
- Tareas propias del relevamiento.
- Tareas posteriores al relevamiento.

11.4.1 Tareas Previas al Relevamiento

a) Diseño del formulario a utilizar en la encuesta

Para el diseño del formulario, se tuvo en cuenta el objetivo fundamental de esta tarea del proyecto, o sea la determinación de las características sismorresistentes de las construcciones, lo que está estrechamente vinculado a la evaluación de la seguridad estructural, como así también otros atributos o características secundarias.

El formulario que contempla diversos aspectos que permiten categorizar la construcción y procesar luego toda la información recolectada, puede ser consultado en el Informe Técnico General.

b) Determinación del tamaño de la muestra a encuestar

Para dimensionar la muestra, es necesario conocer el tamaño del universo, o sea, el número total de construcciones existentes en la zona en estudio. Para ello se recurrió al B.I.C., que tiene compilada la información por departamento, distrito y sección catastral. Procesando adecuadamente la información allí contenida, se realizó un ordenamiento agrupando a las construcciones en sismorresistentes y no sismorresistentes por departamento y distrito, adoptando provisoriamente como válida la categorización que utiliza la Dirección de Catastro. Esa clasificación está realizada teniendo en cuenta el tipo de techo, muros, estructura resistente, etc.

De esa primera tabulación se obtuvo el número total de construcciones, es decir el tamaño del universo, que ascendió a 138.803 unidades. A continuación se estudiaron distintas alternativas para decidir acerca de la dimensión de la muestra. Se seleccionaron tres errores de muestreo posibles: 1%; 2% y 5% con probabilidades de ocurrencia de 99%; 98% y 95%, lo que arroja nueve alternativas que se detallan a continuación:

Tamaño del Universo = 138.803

Alter. N°	Error de muestreo	Probab. %	Tamaño muestra	Porcentaje s/el total	Selección una cada
1	1	99	13.885	10.00	10
2	1	98	11.537	8.31	12
3	1	95	8.367	6.03	17
4	2	99	3.753	2.70	37
5	2	98	3.076	2.22	45
6	2	95	2.191	1.58	63
7	5	99	614	0.44	226
8	5	98	501	0.36	277
9	5	95	355	0.26	391

De acuerdo con un análisis realizado conjuntamente con las autoridades del INPRES a cargo de la inspección de este estudio, se optó por la alternativa N° 3 que implica seleccionar una muestra al azar equivalente al 6,03 % de la población total. Esto significa encuestar 8.367 construcciones del total de 138.803, lo que asegura un nivel de significación del 95 % para un margen de error del 1 %. En otras palabras, con esa encuesta de 8.367 construcciones, elegidas al seleccionar al azar una de cada diecisiete propiedades de las contenidas en los archivos del B.I.C., existe una probabilidad del 95% de que el desvío sea menor o igual al 1% para el total del universo.

c) Encuesta piloto

Esta encuesta piloto se realizó teniendo como meta dos objetivos: primeramente probar el formulario diseñado, tanto en lo que hace a su utilización y llenado por los encuestadores, como en lo referente a la consistencia de la información que provee, y en segundo lugar, realizar un control de calidad de la información contenida en el B.I.C., como se verá posteriormente. En el caso que se determinara que la categorización

estructural que realiza el B.I.C. fuera correcta, existía la posibilidad de reducir el tamaño de la muestra a encuestar.

d) Evaluación de la seguridad estructural para la encuesta piloto

Toda la información resultante de la encuesta se procesó en nuestro sistema de cómputos, archivándose para su posterior análisis y comparación con la proporcionada por el B.I.C., utilizando un programa confeccionado a tal efecto. Los resultados de tal comparación indican una discrepancia entre la categoría asignada por el B.I.C. y la que surge de nuestra encuesta, en 395 de las 2.072 construcciones censadas en el Departamento de Godoy Cruz, lo que significa el 19%.

e) Relevamiento adicional

Para analizar las posibles causas de estas diferencias se decidió realizar una inspección o relevamiento adicional de un cierto número de esas 395 construcciones no concordantes. Los profesionales supervisores inspeccionaron 137 construcciones, elegidas al azar entre las 395 ya mencionadas, obteniéndose los siguientes resultados:

- 1) 56 construcciones (41%) estaban realmente mal categorizadas por el B.I.C. por diversas causas.
- 2) 55 construcciones (40%) que en el B.I.C. figuraban con categorías correspondientes a no sismorresistentes, generalmente viviendas de adobe, habían sido demolidas debido a los daños experimentados durante el terremoto de 1985 y reconstruidas de acuerdo con normas sismorresistentes.
- 3) 26 construcciones (19%) habían sido mal ubicadas, como consecuencia, ya sea de error en la dirección que figura en el B.I.C., o por una incorrecta localización realizada por los encuestadores, al no figurar el número en la construcción. Una vez localizadas correctamente esas construcciones, se constató que 22 de ellas (85% de las 26) estaban bien categorizadas por el B.I.C., subsistiendo 4 como mal categorizadas.

Una vez depurados los resultados en base a la inspección realizada, resulta que la discordancia entre los resultados de nuestra encuesta y los datos del B.I.C. es de aproximadamente el 22%. El 53% de esa discordancia se debe a una incorrecta categorización realizada por el B.I.C. y el 47% restante a la desactualización de sus registros, especialmente en el caso de las construcciones demolidas como consecuencia del sismo del 26- 01-85 y posteriormente reconstruidas.

f) Prueba de hipótesis

En base a los resultados obtenidos, podríamos rechazar directamente la categorización de las construcciones dada por el B.I.C.. Sin embargo, como nuestros resultados surgen de un relevamiento estadístico, se decidió realizar una prueba de hipótesis para justificar tal decisión.

Para ello se formuló la hipótesis: "No existe diferencia entre la categorización de las construcciones resultante de esta investigación, cuyos resultados se obtuvieron mediante el muestreo y la categorización realizada por el B.I.C., cuyos resultados se conocen de antemano para toda la población (o que cualquier diferencia observada se debe a fluctuaciones de muestreo de la misma población y por lo tanto es aceptable). Por lo tanto la información del B.I.C. se define como confiable y por lo tanto, válida."

Realizada la prueba de hipótesis, resultó que para aceptar como válida la información del B.I.C., en lo referente a seguridad estructural, la muestra debió dar entre 1.304 y 1.392 viviendas sismorresistentes, y no 1522 como resultó en realidad.

g) Conclusiones

De los resultados obtenidos de la "encuesta piloto" realizada en el Departamento de Godoy Cruz, se concluyó que **no es posible adoptar los datos del Banco de Información Catastral, en lo referente a la categorización estructural de las construcciones**. Ante esta alternativa, fue necesario continuar con el muestreo en la forma propuesta en 11.4.1 b), y por lo tanto no fue posible reducir el tamaño de la muestra a encuestar.

11.4.2 Tareas Propias del Relevamiento

De acuerdo con lo expresado en 11.4.1 g), seleccionamos para los restantes Departamentos del Gran Mendoza, una muestra según la alternativa 3. Para llevar a cabo la encuesta se organizaron dos comisiones de 12 (doce) encuestadores, supervisadas por un ingeniero civil cada una.

En la faz operativa se procedió en la misma forma que para la encuesta piloto realizada en Godoy Cruz. El relevamiento total finalizó a principios del mes de noviembre de 1987, encuestándose por razones operativas, un total de 9306 construcciones, en lugar de las 8367 previstas, lo que significa un 6,7 % del universo.

11.4.3 Tareas Posteriores al Relevamiento

El objetivo de estas tareas es obtener las tabulaciones definitivas relativas al fin principal, es decir determinar la proporción de construcciones sismorresistentes y no sismorresistentes existentes en cada localidad a la fecha de la encuesta.

La salida de los resultados de un primer procesamiento se ordenó por Departamento, desagregados por sección y totalizados por Distrito, indicando la cantidad de encuestas realizadas, las analizadas y las no analizadas.

Todos esos resultados se han resumido en siete tablas, una para cada Departamento (que pueden ser consultadas en el Informe Técnico General) y una resumen para el Gran Mendoza (tabla 11-1). En ellas se indica, por Distrito, las cantidades y porcentajes de construcciones de uno y otro tipo. Además, figura un detalle de las construcciones no analizadas, discriminando las causas por las que no se analizaron.

11.4.4 Análisis de los Resultados

Del análisis de los resultados contenidos en las tablas antes mencionadas, surge lo siguiente:

- a) En lo referente a las características sismorresistentes de las construcciones existentes a octubre de 1987, en el Gran Mendoza, podemos decir que un 63% del total son sismorresistentes, mientras que las no sismorresistentes alcanzan al 37%.
- b) Godoy Cruz es el departamento que tiene mayor proporción de construcciones sismorresistentes (71%), mientras que Guaymallén y Maipú son los que tienen menor porcentaje (57%).
- c) En la figura 11-1, se han volcado los resultados de la tabla 11- 1, indicando las proporciones de construcciones de uno y otro tipo por Departamento. En el Informe Técnico General se presentan figuras para cada Departamento, indicando los resultados por Distrito.
- d) Con respecto a las construcciones que no se pudieron analizar, que suman un total de 461 (4,95% del total de las encuestadas), puede decirse que un 33% de ellas estaban demolidas como consecuencia del terremoto del 26-01-1985 y el resto no se pudo analizar por otras causas (ausencia de moradores, negativa a responder, etc.).

11.5 Características Dinámicas de los Edificios del Gran Mendoza

Otro de los objetivos de este estudio es estimar el probable comportamiento futuro de las construcciones ante la ocurrencia de sismos de determinadas características.

La respuesta de cada edificio a un determinado movimiento sísmico, dependerá tanto de las características cinemáticas de este último como de las particularidades dinámicas de aquél, las que en primera aproximación pueden representarse por el período fundamental de vibración y por la cantidad de amortiguamiento.

Como el período de vibración es función, entre otras variables, de la altura (o lo que es lo mismo, de la cantidad de pisos) del edificio, decidimos investigar la proporción de edificios de distintas alturas. Dado que el Departamento Capital es el que tiene la mayor concentración de edificios en altura en el Gran Mendoza, los resultados que obtengamos para este Departamento serán válidos para los restantes. Como puede observarse en la tabla 11-2, que resume los resultados de un relevamiento previo (G.E. Ruiz de Lima), las construcciones de un piso representan algo más del 96%, mientras las construcciones hasta tres pisos alcanzan casi al 99% del total. Esto es también válido para los otros Departamentos del Gran Mendoza en donde, como se dijo, la cantidad de edificios altos es menor.

Según J. Carmona y J. Herrera C. (1969) una fórmula que relaciona el período T en segundos, con la altura H en metros, para edificios de Mendoza, es: $T = 0,012 H + 0,09$ y teniendo en cuenta que la altura promedio de un piso es $h = 3$ metros, o sea $H = 3 \times n$, siendo n el número de pisos del edificio, resulta:

$$T = 0,036 n + 0,09$$

Esta fórmula se aproxima bastante a la determinada para edificios de San Juan, (Gil-Nafá-Zamarbide, 1982), que vale: $T = 0,030 n + 0,13$, lo que es lógico dado que los tipos constructivos usados en San Juan y en Mendoza son similares.

Utilizando esas fórmulas para $n = 3$ y para $n = 5$ se obtiene:

$$n = 3 \quad T = 0,20 \text{ seg}$$

$$n = 5 \quad T = 0,28 \text{ seg}$$

Tabla 11-1
Categorización de las construcciones
GRAN MENDOZA

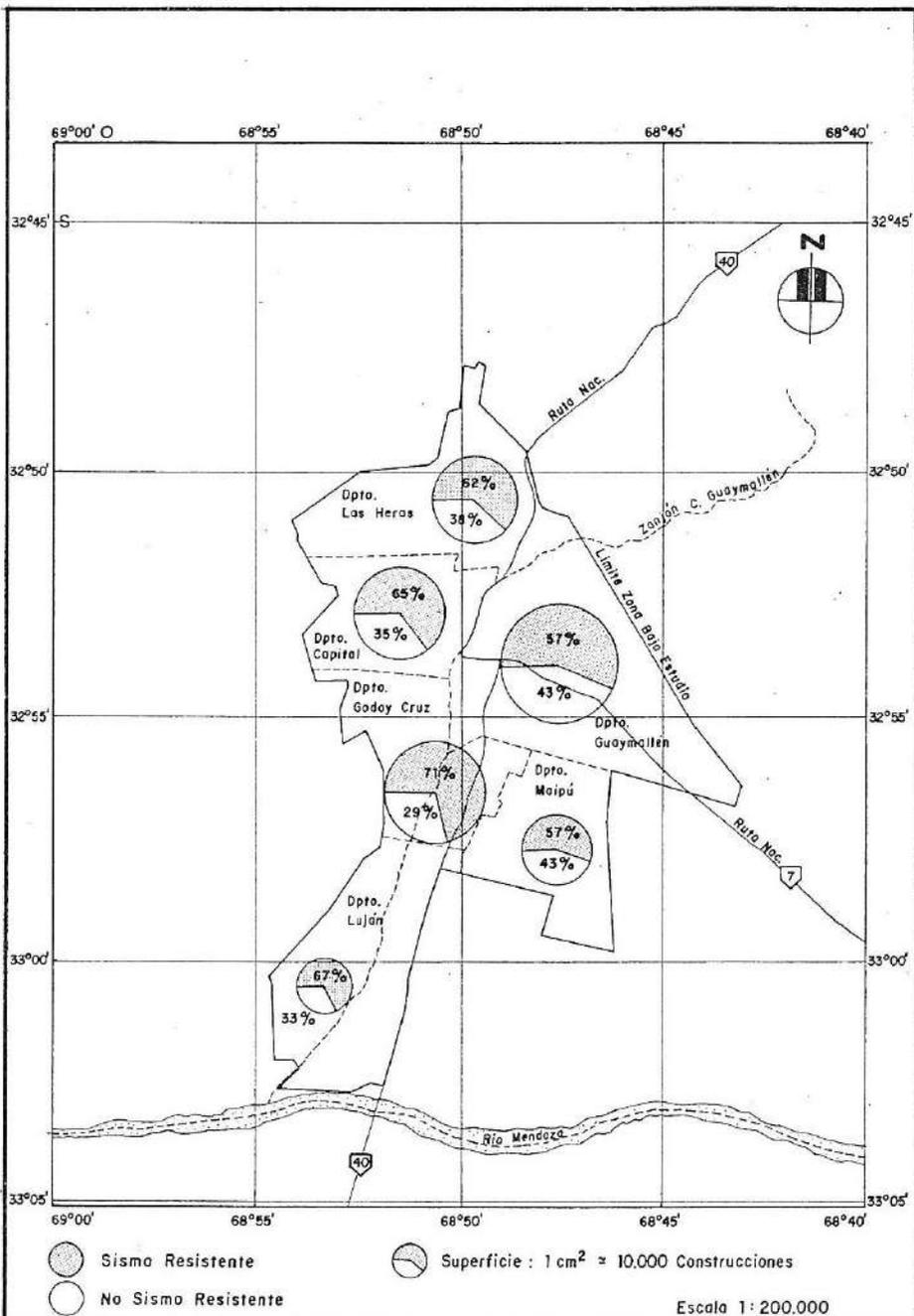
DEPARTAMENTO	CONSTRUCCIONES ANALIZADAS					CONSTRUCCIONES NO ANALIZADAS			Total de construcciones encuestadas
	Sismorresis.		No sismorresis.		Total	Demolidas	Otras causas	Total	
	Cantid.	Porc.	Cantid.	Porc.					
01-Capital	1015	65%	545	35%	1560	49	19	68	1628
03-Las Heras	838	62%	516	38%	1354	27	82	109	1463
04-Guaymallén	1399	57%	1036	43%	2435	39	114	153	2588
05-Godoy Cruz	1522	71%	618	29%	2140	28	41	69	2209
06-Luján	389	67%	191	33%	580	4	37	41	621
07-Maipú	444	57%	332	43%	776	5	16	21	797
T O T A L E S	5607	63%	3238	37%	8845	152	309	461	9306

Por lo tanto, puede afirmarse que el período natural de vibración de la mayoría de los edificios del Gran Mendoza no supera los 0,2 a 0,3 seg.-

Tabla 11-2

Distribución de edificios en función de la cantidad de pisos en el departamento
Capital

SECCION	Cantidad de pisos (n)											TOTALES	
	1 (P.B)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ó más		
PRIMERA	1.862	60	65	21	8	9	14	8	4	1	2	2.054	
SEGUNDA	3.261	90	54	22	26	21	35	45	33	11	9	3.607	
TERCERA	2.508	67	35	13	6	9	5	13	7	3	5	2.671	
CUARTA	5.876	41	3	1	-	-	-	-	-	-	-	5.921	
QUINTA	4.693	55	10	2	4	1	-	3	2	2	1	4.773	
SEXTA	5.295	35	4	-	-	-	-	-	-	-	-	5.334	
Barrios: Sanidad Champagnat, Cano Integral, etc.	1.521	-	109	-	-	-	-	-	-	-	-	1.630	
TOTALES	Cant.	25.016	348	280	59	44	40	54	69	46	17	17	25.990
	Porc.	96,3%	1,3%	1,1%	1,3%							100%	



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Gran Mendoza. Categorización
de las construcciones.

Figura
11-1

12.0 USO DEL SUELO Y TENDENCIAS DE DESARROLLO FUTURO

12.1 Introducción.

El objetivo de este capítulo es describir las actividades que se asientan en el área bajo estudio, su localización, sus interrelaciones y su importancia.

El primer aspecto a considerar deriva de la observación de las características generales del territorio al que debe circunscribirse, el que está ocupado aproximadamente en un 40 % por uso urbano, quedando el resto destinado para uso agrícola y otros usos menores (industrial, minero, etc.).

Este sector forma parte de un espacio geográfico mayor, caracterizado morfológicamente por los siguientes elementos:

- Formaciones montañosas en su margen oeste, que son las primeras estribaciones cordilleranas.
- Una dilatada planicie aluvial, de suave pendiente homogénea con dirección predominante hacia el noreste.
- El Río Mendoza, al sur del área en estudio, que recorre en esa zona su cuenca media, dirigiéndose aproximadamente unos 20 km hacia el este, luego de lo cual describe una amplia curva hacia el noreste, para desaguar en una planicie. Al comienzo de esta cuenca media, se abre un brazo del río al que la erosión hídrica convirtió en un verdadero canal aluvial. Este es el denominado Canal Zanjón o Zanjón Cacique Guaymallén. Este río, principal fuente hídrica del territorio que nos ocupa, es de origen nívico y su ciclo está regido por los deshielos en la montaña.

A pesar de las condiciones desérticas de la zona, el hecho de disponer de un abundante recurso hídrico, y la feracidad del suelo, posibilitaron el desarrollo de un asentamiento humano que tomó la forma de un **oasis de riego**, el que alberga hoy dos usos básicos: **urbano y rural**.

Toda expansión de la ciudad implicó una conversión de la tierra de un uso agrícola a un uso urbano, y esta competencia entre ambos usos constituye una relación que rige el desarrollo de dicho oasis.

El Gran Mendoza tiene una superficie urbanizada de 16.692 ha, con una población de 778.736 habitantes, según el C.N.P.y V.- 80 ajustado a enero de 1985.

12.2 Evolución de los Usos del Suelo.

El territorio en estudio abarca fundamentalmente el oasis del Zanjón, el que se ha integrado en sucesivas etapas que pueden dividirse como sigue:

» Primer período: Prehispánico y colonial.

En este período se produce el gran desarrollo del oasis del Zanjón, sobre el que se implanta la ciudad fundacional española y los pequeños núcleos que darán origen al Gran Mendoza. El mayor auge se ubica a fines del siglo XVIII y comienzos del XIX.

» Segundo Período: Siglo XIX, desde la época Sanmartiniana hasta 1884

Durante este período aumentó considerablemente el área irrigada por el río Mendoza, merced al mejoramiento de las obras de riego existentes y a la construcción de otras nuevas.

» Tercer Período: Desde 1884 hasta mediados del siglo XX.

Este período constituye una verdadera revolución agrícola, originada por una serie de factores tales como: ley de aguas de la provincia de Mendoza, ejecución de grandes obras hidráulicas, llegada del ferrocarril, inmigración, etc..

» Cuarto período: Segunda mitad del siglo XX hasta el presente.

Si bien las obras de implantación agrícola han continuado en las últimas décadas, este período se caracteriza por una crisis de la agricultura.

El sector en estudio está definido fundamentalmente por el oasis del Canal Zanjón, el que está ocupado desde mediados del siglo pasado casi totalmente por los usos rural y urbano. El uso agrícola ocupa aproximadamente un 60 % de dicho oasis y el urbano, que cubre el 40 % restante, se halla en franca expansión sobre el anterior.

12.3 Uso del Suelo Urbano.

Se optó por un método de análisis diacrónico, que estudia sucesivamente distintos períodos a fin de comprender la estructuración de las actividades en el territorio.

Se ha estudiado la evolución de las estructuras de uso del suelo en el Gran Mendoza entre 1561 y 1987 y se han podido detectar tres períodos diferentes, representativos de tres estructuras sucesivas, las que se desarrollan a continuación.

12.3.1 Primera Estructura de Uso del Suelo Urbano del Gran Mendoza:

1561-1861. (figura 12-1)

El área en estudio fue colonizada por los españoles en el siglo XVI. En el período prehispánico, la región, denominada valle de Huentota, había sido poblada por los indios huarpes, que tenían un asentamiento de considerable importancia junto al actual Zanjón Guaymallén.

A continuación se detallará por separado, la evolución del uso del suelo para cada localidad, para luego proceder a su integración en el período final, correspondiente a la época actual.

» Capital:

La primera estructura de uso del suelo urbano correspondiente al período 1561-1861, queda caracterizada por una localización espacial, dispersa en varios puntos de distinta jerarquía, todos subordinados a la ciudad oficialmente fundada, Mendoza. Este foco fundacional estuvo ligado mediante caminos con otros centros importantes. Hacia el norte el camino a Uspallata y de allí a Chile y la conexión con San Juan. Hacia el este, la calle Larga, que partiendo de la plaza se dirigía a Buenos Aires y por último, hacia el sur siguiendo el camino del Zanjón o de lo contrario el camino de las Barrancas, se llegaba a los valles de Uco y de Jaurúa. Los caminos y los canales resultaron ordenadores de la forma de crecimiento de la ciudad.

Durante este período (1561-1861), Mendoza experimentó un crecimiento norte-sur, que era el sentido de las comunicaciones hacia Chile, San Juan y los valles del sur.

» Las Heras:

El poblamiento de Las Heras sigue en general, pautas semejantes a las de otros sectores del Gran Mendoza, diferenciándose de aquéllos por experimentar, a través del tiempo, un mayor retraso en su evolución.

La primera estructura de usos del suelo comienza con focos de asentamiento

poblacional, ubicados en distintos fundos coloniales, tales como la capilla de San Miguel y Panquehua. El barrio de la Chimba, originado en una población indígena asentada a orillas del Zanjón, constituyó un importante arrabal de la ciudad de Mendoza, localizándose más tarde en una bifurcación del canal Tajamar.

El proceso de poblamiento fue muy lento durante los tres primeros siglos, afectado por los aluviones que provenientes de las montañas atravesaban la zona en dirección a la Ciénaga. Otro motivo pudo haber sido quizás, la escasez de agua para riego.

A principios del siglo XIX se originan nuevos asentamientos como consecuencia de la localización, en 1816, de los cuarteles del ejército en los campos del Plumerillo y de la creación del cementerio de la ciudad en 1846, al norte de la Chimba.

Los elementos estructurales de esta zona de incipiente uso urbano eran entonces: el canal Tajamar (dividido en dos cursos) y los focos de Panquehua, San Miguel, El Plumerillo y la Chimba. La presencia natural dominante estaba representada por la Ciénaga y el Zanjón hacia el este.

» **Guaymallén:**

El poblamiento de Guaymallén es el más antiguo entre los sectores que hoy componen el Gran Mendoza. Aquél se organizó sobre la estructura representada por los caminos agrícolas y por el sistema de canales de agua para regadío, tal cual se describió anteriormente. Las capillas de las estancias resultaron polos poblacionales dispersos en el territorio, destacándose entre otras: San José, La Purísima, la Capilla de Nieva y San Francisco del Monte.

» **Godoy Cruz:**

Este sector del Gran Mendoza tuvo una evolución histórica caracterizada por una singular prosperidad, en parte debido a que sus tierras contaron con riego adecuado desde muy antiguo, posibilitando la existencia de importantes cultivos y bodegas, y también por la relación de su emplazamiento con respecto a Mendoza.

La primera etapa de poblamiento sigue, como en los otros Departamentos, el mismo modelo de focalización en propiedades agrícolas y sobre todo, junto a calles importantes. El territorio está surcado en dirección norte-sur por el canal Zanjón, que impone una morfología lineal al conjunto.

En esta primera etapa la estructura de uso del suelo está definida por los canales de riego, los cuales conforman franjas paralelas que confluyen hacia el sur,

determinando un área triangular con un borde hacia el este representado por el canal Zanjón. La franja más poblada es la limitada por el Zanjón y la Acequia de Allayme.

» **Maipú:**

El área urbana de este Departamento tiene un origen menos antiguo que el de los restantes del Gran Mendoza. Los primeros asentamientos poblacionales de Maipú correspondieron a propiedades agrícolas establecidas en Lunlunta y Barrancas, en donde se establecieron centros de evangelización. El territorio estaba atravesado por la senda de los doctrineros, quienes también se establecieron en Cruz de Piedra, trazando un incipiente sistema de riego con aguas del río Mendoza, que permitió el cultivo de la vid, olivos y frutales diversos.

» **Luján de Cuyo:**

Este asentamiento se caracteriza por ser uno de los más antiguos de los del Gran Mendoza y por ser el más condicionado por los rasgos físicos de su territorio (el río Mendoza, que limitó y condicionó hacia el sur los asentamientos que se produjeron y el canal Zanjón). Su localización estratégica como punto obligado de paso hacia los valles del sur o hacia Chile, favoreció su temprano desarrollo.

La primera estructura de uso del suelo tuvo la misma modalidad del resto de los Departamentos del Gran Mendoza, es decir focos poblacionales que se desarrollaron a partir de algunas capillas significativas, tales como la capilla de la Virgen de Luján, la Chacarilla de la Merced, en la Puntilla, el Oratorio de los Solanilla en la Carrodilla, las Chacras de Coria, donde también se encontraba otra de las capillas focalizadoras importantes de esta época.

Hacia el final de este período, la Villa de Luján había desarrollado una modalidad un poco más urbana y compacta, alrededor de la capilla.

12.3.2 Segunda Estructura de Uso del Suelo Urbano: 1861-1950. (figura 12-2)

» **Capital:**

El terremoto de 1861 constituyó un hecho catastrófico en la vida de la ciudad, ya que provocó su destrucción total y con ella la conmoción de la existencia del organismo urbano y la ruptura de su primera estructura de usos del suelo. Sin embargo, es probable que este cambio de estructura podría haber sido provocado, de no mediar dicho terremoto, por las importantes transformaciones que en materia económica, política,

social, cultural, científica y tecnológica, se produjeron en la segunda mitad del siglo XIX (llegada del ferrocarril, sistematización del riego, inmigración europea, revolución agrícola, nacimiento de la gran industria vitivinícola, integración entre los distintos centros originalmente aislados). En este período, el uso del suelo urbano cambió su forma, su estructura y su dinámica.

Como consecuencia del terremoto se trazó una nueva ciudad, adyacente a la destruida, sobre terrenos de la hacienda de San Nicolás ubicada al suroeste del canal Tamarar. En esta época se incorporaron las infraestructuras de servicio tales como agua potable, electricidad, cloacas, gas y teléfono, como partes importantes del nuevo artefacto urbano, que ya detentaba las características de una nueva ciudad moderna.

» **Las Heras:**

Este período se caracteriza por un mayor poblamiento y un cambio de estructura, debido por un lado al impacto del terremoto de 1861, el que destruyó totalmente las construcciones de este sector del Gran Mendoza y por otro a la llegada del ferrocarril (instalación de la estación Tamarindos en la villa de San Miguel y otra en Panquehua) y a la afluencia de inmigrantes.

La inmigración europea por su parte, determinó un gran incremento en las tierras cultivadas y una diversificación en las actividades de la población.

La estructura del suelo urbano en este período se configura con el eje en la calle San Martín, a lo largo del cual se consolida de manera decisiva el poblamiento, lo mismo que alrededor de la plaza de la villa cabecera, extendiéndose hasta Panquehua al norte. Similares asentamientos se producen en las márgenes de la calle Independencia, que era transitada por los viajeros a San Juan, y en El Plumerillo, sitio donde se localiza el aeropuerto desde 1930.

» **Guaymallén:**

A los factores que caracterizaron este período, ya considerados anteriormente (terremoto de 1861, llegada del ferrocarril, inmigración europea), se agrega en el caso de este Departamento, las nuevas disposiciones administrativas que definieron los límites departamentales y trasladaron, en 1897, la nueva Municipalidad a la Villa Nueva, antigua localidad de La Purísima.

El sismo provocó una destrucción total y un vaciamiento poblacional de las zonas más densamente construidas. El sector contiguo a la vieja ciudad de Mendoza se reconstruyó con predominio de uso residencial y más o menos en consonancia con la

ciudad vecina.

La llegada del ferrocarril, que instaló sus estaciones en Buena Nueva, Bermejo y Rodeo de la Cruz, estableció nuevos focos poblacionales, a la vez que condicionó los usos de la tierra.

La estructura de los usos del suelo durante este período, queda por lo tanto configurada con una franja principal que se extiende en dirección este-oeste, desde Rodeo de la Cruz hacia la Capital, cuya vinculación justifica las vías de comunicación más importantes. En esta franja se combinan distintos usos del suelo: residencial, administrativo, comercial, de depósito, persistiendo entre ellos, sectores de uso agrícola más antiguos. Fuera de esta franja predomina el uso agrícola.

» **Godoy Cruz:**

La destrucción de la villa de San Vicente por el terremoto de 1861 fue total. En 1862 se comenzaron a delinear calles y manzanas alrededor de la plaza, iniciándose con ello un período de clara estructuración del suelo urbano.

A partir de 1883 se inicia un período de gran desarrollo de la vitivinicultura y como consecuencia, un gran auge en la construcción de bodegas. Muchos de tales establecimientos industriales se emplazaron en las inmediaciones del Zanjón Guaymallén y junto al camino que conducía desde Mendoza hacia el sur, constituyendo importantes focos de radicación de población. En esta época se construyeron numerosas obras públicas que contribuyeron al desarrollo de la zona.

La estructura del uso del suelo urbano, durante el período 1861- 1950, se caracteriza pues, por una expansión del uso residencial en el área comprendida entre los canales de riego, desde el Zanjón Guaymallén al este, hasta el canal Civit al oeste. La mayor concentración poblacional se produce próxima a la Capital, llegando a ser tal la integración entre Godoy Cruz y Mendoza que, a fines de este período conforman una aglomeración unitaria.

Al igual que lo que sucedía en Capital y Guaymallén, los canales siguen siendo elementos estructurantes notables, actuando como divisorios de franjas con distintas características.

» **Maipú:**

El nacimiento del área urbana de Maipú se produce inmediatamente después del terremoto de 1861, cuando se decide formar una nueva villa en la localidad, con el

nombre de Villa de Las Mercedes. Debido a que el terremoto causó menor destrucción en esta zona que en el resto del área en estudio, los geólogos que asesoraban al gobierno sobre la nueva localización de la ciudad de Mendoza, recomendaron a localidades del departamento, tales como las Tortugas, San Francisco del Monte o Cruz de Piedra, como sitios propicios para volver a erigir la ciudad. Ello no se llevó a cabo, ordenándose levantar la nueva ciudad en la hacienda de San Nicolás, tal cual se expresara anteriormente.

El núcleo urbano de la villa de Maipú, tuvo prontamente el impacto progresista propio de la inmigración y del ferrocarril. Su emplazamiento estratégico en medio de una vasta área agrícola y equidistante de los otros centros vecinos, no definió sin embargo una estructura que los vinculara y de ese modo Maipú mantuvo una relativa independencia.

En resumen, la pequeña estructura urbana de Maipú, queda definida por una franja ubicada entre las vías férreas, con un eje de circulación a modo de columna vertebral de la misma (carril Ozamis), que une la villa cabecera con la estación Gutiérrez, extendiéndose hacia el sur hasta Cruz de Piedra.

» **Luján de Cuyo:**

Al igual que en los otros Departamentos, la estructura de la incipiente urbanización de Luján experimentó el impacto del terremoto de 1861. El ferrocarril y la inmigración europea determinaron también cambios significativos en la estructura de usos del suelo.

La reconstrucción de este núcleo se llevó a cabo en el mismo lugar estratégico: el camino que llevaba desde Mendoza a los valles del sur, por lo que su estructura principal de vinculación no cambió. El nuevo núcleo urbano se conformó alrededor de la plaza, instalándose allí el municipio (1872) y otros edificios públicos.

Estos focos de urbanización incipiente, ocupan junto con la villa cabecera de Luján, un estrecho espacio estructurado a lo largo del Zanjón y la ruta 40 (carril Cervantes), determinando una estructura de poblamiento con un foco principal a orillas del río Mendoza, con una tendencia de crecimiento hacia el norte (hacia el área capitalina) y con muchos focos dispersos hacia el oeste, entre los cuales el más importante es Chacras de Coria.

El ferrocarril acentuó esta estructura, dando lugar a focos atractivos para el poblamiento, con sus estaciones en la villa cabecera, M. Drumond y Chacras de Coria.

12.3.3 Tercera Estructura de Uso del Suelo Urbano: 1950- 1987.(figura 12-3)

» **Capital:**

La conurbación que había comenzado a establecerse entre la ciudad que se expandía y los centros urbanos vecinos: Las Heras, Godoy Cruz y San José de Guaymallén, alcanzará en este tercer período una consolidación total que redundará, en la desaparición de la estructura de usos del suelo explicada anteriormente y su reemplazo por una nueva.

Esta vez no fue un terremoto lo que originó esta transformación radical, sino otros factores de gran impacto, tales como: la construcción de autopistas (Avenida de Acceso Este, el Acceso Norte o Costanera y el Acceso Sur), la construcción masiva de viviendas agrupadas en barrios, la ley de loteos, los códigos de edificación, etc.. El nuevo mecanismo de poblamiento del suelo para uso urbano, se basa en la adquisición de tierras baratas, originalmente dedicadas a la agricultura, que son transformadas en barrios construidos con financiación oficial. La repetición de este fenómeno en todo el perímetro del Gran Mendoza, conforma una verdadera explosión de sus bordes, a la vez que una vertiginosa competencia entre el uso urbano y el rural del suelo, de la cual resulta este último desplazado y degradado.

Paralelamente aparece una notable multiplicación de villas inestables, localizadas en el piedemonte, como consecuencia del desplazamiento de pobladores de la zona rural, motivado por la aguda crisis socioeconómica de la última década.

Debido a la falta de equipamiento de los nuevos barrios, a la demanda de los habitantes marginales, a la facilidad de acceso a la ciudad mediante las nuevas autopistas, se produce en la Capital el fenómeno de la sobrecarga de demanda sobre las funciones y el equipamiento allí centralizado, a saber: comercial, educativo, recreativo, sanitario, etc., provocando además, permanentes movimientos pendulares de tránsito y una gran densidad de concentración humana en las horas claves.

» **Las Heras:**

La transformación de la estructura de usos del suelo en el período actual en el área de Las Heras, no reviste la misma magnitud que en otros Departamentos (Godoy Cruz y Guaymallén), manteniéndose con bastante vigencia el esquema del período anterior. Los factores que han producido los cambios urbanos presentes, pueden resumirse en: la explosiva expansión del uso residencial, el trazado de una vía primaria de circulación vehicular y el incremento de las redes de servicios.

La dispersión de los barrios, ha llevado a una expansión de los límites del

suelo con uso urbano y ha desvirtuado la linealidad norte-sur de la estructura, convirtiéndola en una vasta superficie urbana que se desarrolla principalmente en dirección este-oeste, sentido en el que se presentan serios problemas para una comunicación fluida.

» **Guaymallén:**

Como ya se manifestó, la ejecución de una red primaria de circulación vehicular a partir de 1950, que permitió la comunicación rápida y directa entre puntos distantes, conformó el "esqueleto" de una nueva escala de la ciudad, que todavía en 1987 no se ha consolidado, sino que se encuentra en rápida formación.

Entre las circulaciones primarias, el Acceso Este, constituye una nueva "columna vertebral" que permite el soldado de la urbanización de Guaymallén con Capital y Godoy Cruz. Sin embargo esta vía ha provocado un gran impacto en la presente estructura de uso del suelo del sector, ya que representa un enorme borde que fractura la zona de Guaymallén en dos mitades, la norte y la sur.

La explosión del uso residencial en la periferia urbana, es un fenómeno que se produce con distinta intensidad y características alrededor del Gran Mendoza. En el caso de Guaymallén, se observa la localización de barrios en tierras de la antigua Ciénaga, aunque en menor grado que en San Francisco del Monte.

» **Godoy Cruz:**

Al igual que en los Departamentos anteriores, la construcción masiva de viviendas, la nueva red de circulación primaria y el tendido de numerosas redes de infraestructura, constituyen los principales elementos que, además de incorporarse a la urbanización, han determinado una profunda conmoción en la misma. A los factores mencionados debe sumársele el deterioro que el sismo de 1985 causó en los tejidos consolidados de vastas áreas pobladas.

Con respecto a la expansión del uso residencial, podemos observar dos aspectos:

- a) Por un lado, se ha "rellenado" con tejido residencial, prácticamente la totalidad de los terrenos disponibles dentro de la zona urbanizada en el período anterior.
- b) Por otra parte, fuera de este sector urbanizado se está produciendo una verdadera "explosión" del uso residencial. La nueva urbanización se verifica de dos maneras: una, mediante barrios construidos a través de planes oficiales, y otra mediante el crecimiento de villas marginales, emplazadas principalmente en el piedemonte y en

algunos puntos de los nuevos accesos.

» **Maipú:**

En este período, las estaciones ferroviarias pierden su primacía como focos de poblamiento y de actividad. La villa de Maipú experimenta una expansión de uso residencial, concretada principalmente por la construcción de barrios financiados por el estado.

Las importantes conexiones viales que se han ejecutado durante este último período, facilitando la vinculación de Maipú con otros centros del Gran Mendoza, constituyen por sí mismas, una estructura que puede alterar profunda y peligrosamente las características del uso del suelo en los alrededores de la ciudad de Maipú.

» **Luján:**

La ciudad de Luján y su territorio circundante experimenta en la década del 50, el impacto de los mismos fenómenos ya mencionados en los otros Departamentos: el incremento y la complejidad de las redes de infraestructura, la gran expansión del uso residencial, las nuevas vías de comunicación primarias y el control de los usos del suelo según criterios establecidos por el municipio.

La expansión residencial se verifica en la misma villa, tendiendo a ocupar el espacio que, a modo de cuña, se inserta entre el río Mendoza y las nacientes del Zanjón, prolongando el damero que tiene como ejes principales la ruta nacional N° 40 y la conexión Balcarce-Saenz Peña. El uso residencial también alcanza gran incremento en los puntos de contacto con Godoy Cruz, focalizados en torno a la Carrodilla.

12.4 Usos del Suelo Urbano en la Actualidad

El análisis anterior, ha sido realizado estudiando separadamente cada uno de los Departamentos que componen el Gran Mendoza. Esta evolución urbana que parte de distintos orígenes, ha desembocado actualmente en la conformación de una ciudad única, particular, donde los distintos núcleos en expansión, han terminado soldándose hasta constituir un conglomerado total.

En primer término puede decirse que en el proceso de integración urbana, el rol y las potencialidades de cada sector resultan conmocionados por las nuevas relaciones que se establecen con sectores de otros Departamentos. Sin embargo, la

presencia de los canales, elementos que han estructurado la urbanización de los diversos sectores de Mendoza y que en muchos casos constituyen los límites interdepartamentales, minimizan los conflictos en las zonas de contacto. Tal es el caso de Capital en sus límites con Guaymallén, Las Heras y Godoy Cruz, a través de los zanjones Caci que Guaymallén, de los Ciruelos y Frías, respectivamente.

La zona norte (contacto entre Capital y Las Heras), se caracteriza por un uso residencial donde predominan los barrios de construcción masiva, erigidos durante las últimas cuatro décadas. En la zona este (contacto entre Capital y Guaymallén), donde el límite está representado por la Avda. Costanera o de Acceso Norte, se verifica el fenómeno de migración de usos de un Departamento al vecino en contacto, debido a la disparidad de las reglamentaciones sobre zonificación entre uno y otro municipio.

La zona de contacto entre Guaymallén y Godoy Cruz, carece de las posibilidades de conexión entre ambos márgenes del Zanjón, que en cambio sí se dan entre Guaymallén y la Cuarta Sección de la Capital. El límite entre Guaymallén, Godoy Cruz y Maipú constituido por la calle San Francisco del Monte (que originalmente dividía zonas agrícolas de estos Departamentos), hoy tiende a consolidarse como un fuerte eje industrial. Del mismo modo, a lo largo de la ruta 40 (Acceso Sur), se dan simultáneamente los usos residencial, industrial y el agrícola que aún persisten, con tendencia al predominio por parte del uso residencial.

Hacia el oeste, la expansión residencial tiende a conformar un cinturón desde Godoy Cruz hasta Las Heras, pasando por Capital. Este sector occidental es, probablemente, el más caótico del Gran Mendoza, resultando muy difícil su integración al resto del organismo urbano.

Finalmente, el contacto entre Capital y Godoy Cruz participa de dos fenómenos distintos. Por un lado el límite en el sector comprendido entre Boulogne Sur Mer y Beltrán está materializado por el Zanjón Frías, verdadero borde entre urbanizaciones de muy diferentes características; en cambio entre Beltrán (donde el Frías dobla hacia el norte) y el Zanjón Guaymallén, se produce una suerte de integración, merced a un uso predominantemente residencial.

Otro rasgo destacable del Gran Mendoza, en cuanto a las relaciones interdepartamentales, es la dependencia histórica de todos ellos con respecto a la Capital, situación que ha ido en aumento en los últimos tiempos, como consecuencia del crecimiento desequilibrado del uso residencial dentro de cada Departamento. Al no contar éstos con el equipamiento adecuado, sus habitantes deben recurrir al de la Capital, con las

consiguientes consecuencias: saturación de demanda, densificación de la ciudad, alta concentración de tránsito vehicular y de transporte público, etc., factores todos ellos que frenan el desarrollo de los núcleos departamentales. Cuanto más crece la periferia urbana en condiciones de subequipamiento, más se agudiza este problema.

12.5 Población y Vivienda.

Como puede observarse en la tabla N° 12.1, la mayor tasa de crecimiento anual medio se produce en el período que va de 1895 a 1914, favorecida por los factores ya mencionados (construcción del ferrocarril, inmigración, desarrollo industrial, etc.).

Desde fines del siglo pasado, la provincia ha ido aumentando permanentemente su porcentaje relativo de población con respecto al total del país, ya que de un 2,9% en 1895 se llega a un 4,3 % en 1980. En lo relativo a la distribución, la población urbana ha aumentado continuamente a expensas de la rural, pasando del 26 % sobre el total provincial en 1895, al 71 % en el año 1985.

El Gran Mendoza tenía 778.736 habitantes al 1 de enero de 1985 (60 % de la población total de la provincia), porcentaje que no ha variado sustancialmente en el tiempo, como puede verse en la mencionada tabla. A su vez alberga el 72 % de la población urbana provincial. Capital, con 7.776 hab/km², es el departamento con mayor densidad poblacional de los que componen el Gran Mendoza, siguiéndole Godoy Cruz con 5.616, Guaymallén con 1.646, Las Heras con 1.249, Maipú con 304 y Luján con 220 hab/km².

Con respecto a viviendas, los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda 1980, indican que a esa fecha existían en la provincia 301.783 viviendas particulares, de las cuales el 91 % se hallaba habitada al momento del relevamiento por una población de 1.177.059 personas, lo que arroja una media de 4,3 habitantes por vivienda particular ocupada. El 71 % de las viviendas se ubica en zonas urbanas y el resto (29 %) en zonas rurales. El 60 % del total de viviendas particulares se concentra en el Gran Mendoza.

Si se comparan estos resultados con los del Censo 1960, se observa que el parque de viviendas creció un 75 % durante esas dos décadas, mientras que la población aumentó un 45 %, motivo por el cual se produjo una disminución del número de personas por vivienda ocupada, que pasó del 4,9 al 4,3 %. Si nos referimos al Gran Mendoza, el Departamento Capital tenía en 1980 un promedio de 3,74 habitantes por vivienda ocupada, mientras que Godoy Cruz 4,22, Guaymallén 4,35, Las Heras 4,61, Maipú 4,62 y Luján 4,55.

12.6 Tendencias de Desarrollo Futuro.

De acuerdo con la tendencia actual, puede pensarse que la urbanización seguirá invadiendo el espacio agrícola de una manera no planificada y agresiva, lo que implica: crecimiento caótico de la periferia marginada e ilegal; avance del uso residencial mediante barrios subequipados y sin infraestructura; vaciamiento de áreas urbanas ya consolidadas con concentración de infraestructura y equipamiento; contaminación ambiental por coexistencia de usos incompatibles, falta de recaudos en los elementos que la generan.

Este proceso de transformación que surge de la competencia entre uso urbano y rural, tiene **tendencia** predominante a manifestarse a lo largo de las vías primarias de comunicación, hacia el sur y el sureste del Gran Mendoza (como consecuencia de la construcción de los Accesos Sur y Este). También existe una tendencia de crecimiento hacia el norte de la ciudad, debido al Acceso Norte y hacia el oeste, sobre un medio de escasos recursos y con escasas posibilidades de contar con infraestructura adecuada, como es el piedemonte.

En esta radicación periférica de usos urbanos, resulta evidente la asignación de vastos sectores para parques industriales, y aún cuando en la actualidad no se verifica una concreción real de este uso en gran escala, constituye una tendencia de desarrollo programada. Tal es el caso que se produce a lo largo del carril Rodríguez Peña y de los accesos Sur y Norte.

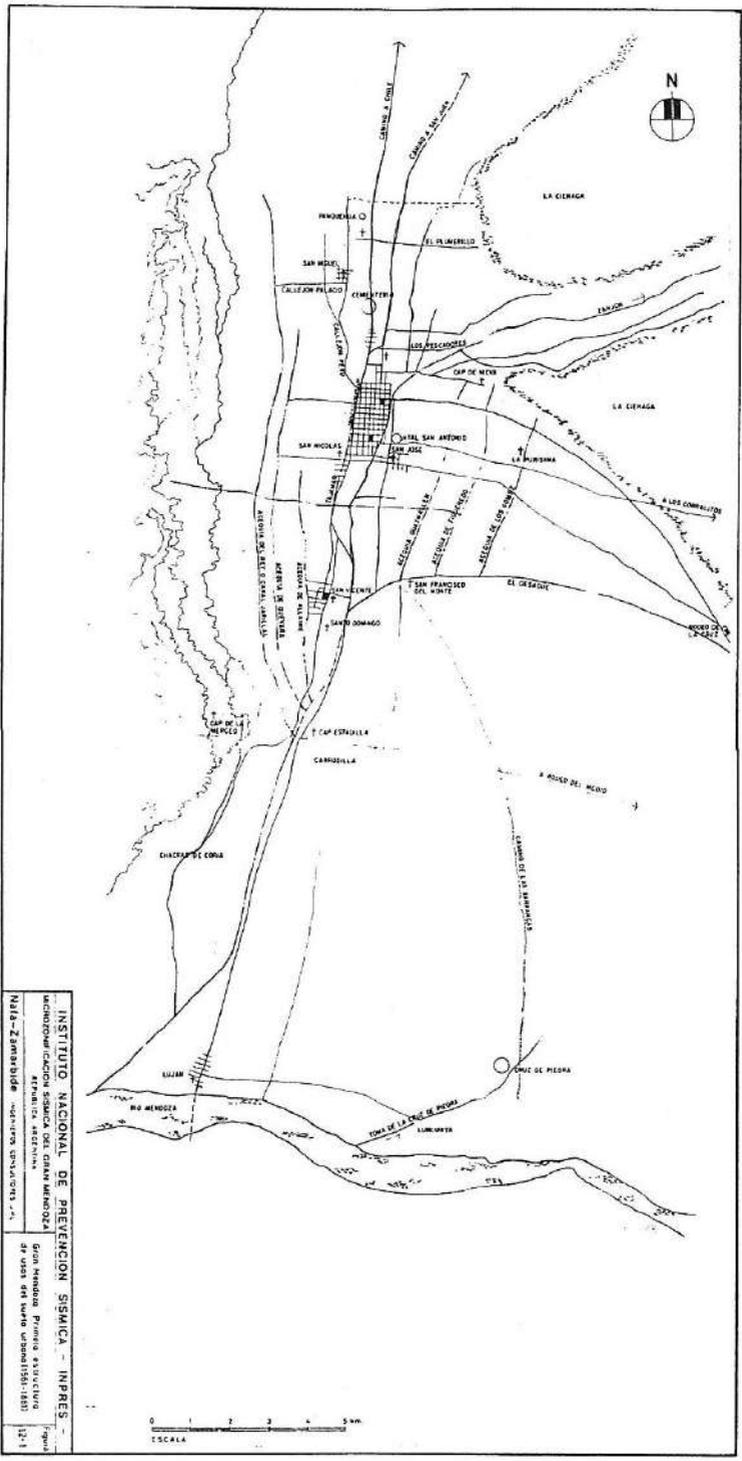
En lo relativo al uso agrícola del suelo, la posibilidad de crecimiento está estrictamente limitada por la disponibilidad de agua para regadío, siendo posible considerar en estado de equilibrio el actual uso del suelo en función agrícola.

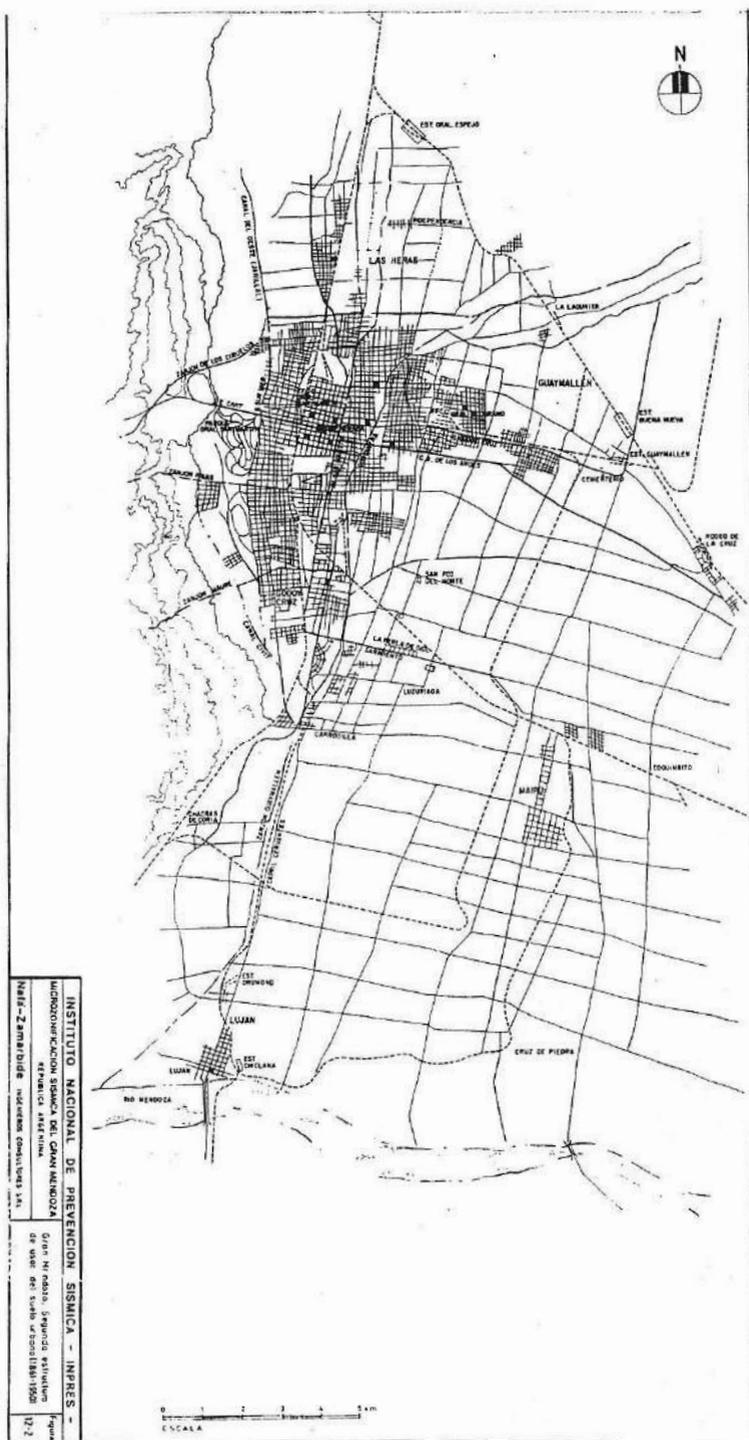
Tabla 12-1
Variación de la población de la provincia de Mendoza

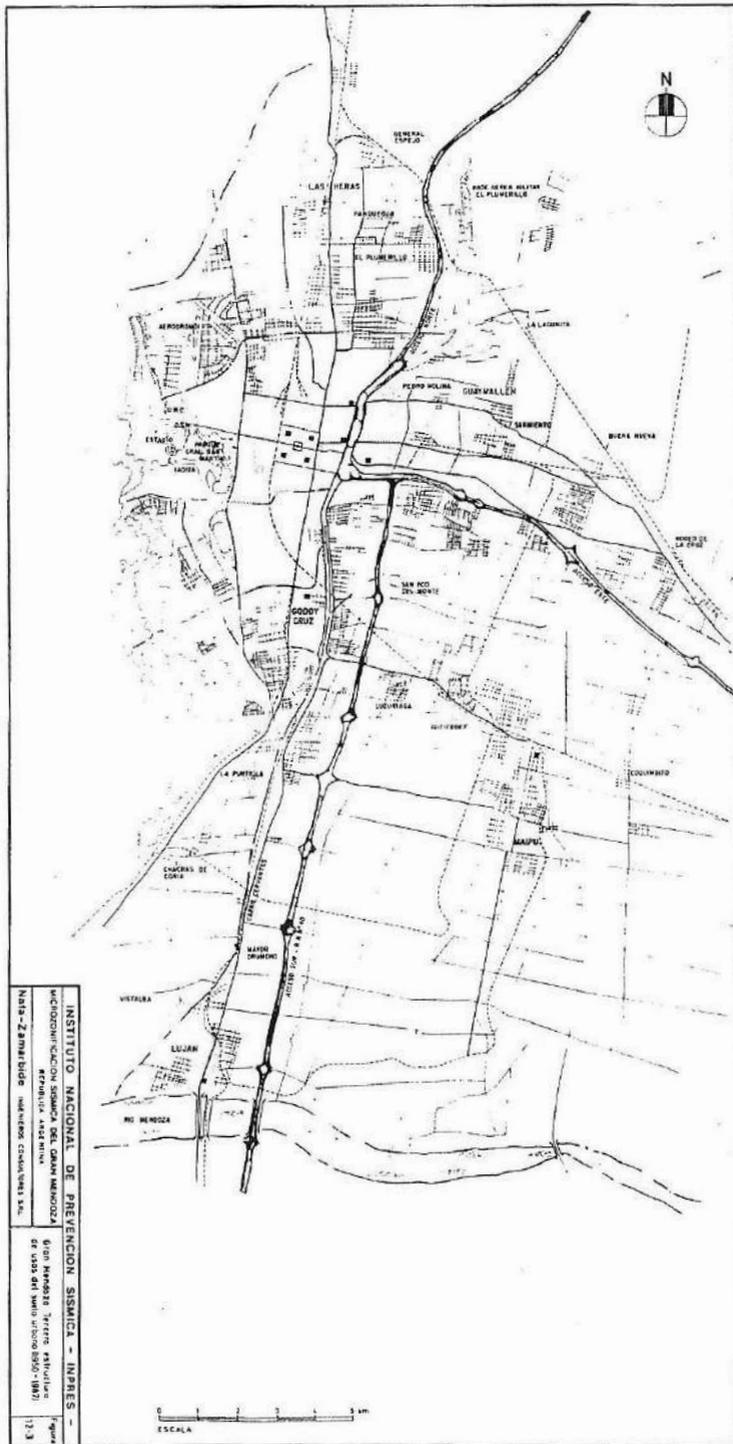
AÑO	POBLACIÓN PROVINCIAL (hab.)	PORCENTAJE RELATIVO AL PAÍS (‰)	TASA CRECIMIENTO ANUAL MEDIO/1000hab	DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN		INCIDENCIA DE LA POBLACIÓN DEL GRAN MENUDOZA EN EL TOTAL PROVINCIAL	OBSERVACIONES
				URBANA	RURAL		
1778	8.765	---	20	---	---	---	Censo Carlos III
1785	10.098	---	10	---	---	---	Informe Sobremonte
1812	13.318	---	29	---	---	---	Censo Primer Triunvirato
1857	47.478	---	28	---	---	---	Censo Confederal
1864	57.426	---	26	---	---	---	Censo Provincial
1869	65.413	3,8	22	9.902 (15%)	55.511 (85%)	56 %	Censo Nacional
1895	116.136	2,9	47	30.369 (26%)	85.767 (74%)	58 %	Censo Nacional
1914	277.535	3,5	23	137.237 (49)	140.298 (51%)	57 %	Censo Nacional
1947	588.231	3,7	26	296.575 (51%)	291.810 (49%)	55 %	Censo Nacional
1960	824.036	4,1	17	527.421 (64%)	296.615 (36%)	57 %	Censo Nacional
1970	973.075	4,2	21	640.921 (66%)	332.154 (34%)	59 %	Censo Nacional
1980	1.196.228	4,3	19	813.970 (68%)	382.258 (32%)	60 %	Censo Nacional
1985	1.294.030	---		920.284 (71%)	373.745 (29%)	60 %	Valor calculado al 01/01/85 (DEIE)

Fuentes: C.N.P. y V-80; Anuario Estadístico Mendoza 1985-1986 (DEIE)

Diario Los Andes







INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN SISMICA DEL GRAN BUENOS AIRES
 REPUBLICA ARGENTINA
 NINA - ZEMBA BIRD - INVESTIGACION SISMICA 1983

6207 NINOS DE TARTES ESTADIALES
 DE 5000 501 5020 5030 5040 5050 5060 5070 5080 5090 5100

1:2.5

13.0 DAÑOS PROBABLES A LAS CONSTRUCCIONES.

13.1 Objetivo.

Este capítulo tiene como objetivo desarrollar una técnica que permita estimar cualitativamente el potencial de daños en el área, teniendo en cuenta en forma combinada, el nivel máximo más probable del movimiento del terreno para un intervalo de tiempo dado, las condiciones del subsuelo y el tipo de construcción.

Para ello se deben considerar los siguientes tópicos fundamentales: la caracterización del movimiento del terreno teniendo en cuenta las condiciones de sitio, la determinación de las características de las construcciones y la evaluación del daño potencial.

13.2 Caracterización del Movimiento del Terreno.

Mediante el análisis de exposición sísmica que se describe en el capítulo 9, se estimaron las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles de movimiento del terreno en cualquier sitio ubicado dentro de la zona bajo estudio. Para evaluar los daños probables en las construcciones, se adoptaron las aceleraciones pico que tienen una probabilidad de excedencia del 10 % en 20 años (correspondientes al terremoto que tiene un período de retorno de aproximadamente 190 años), teniendo en cuenta que: (1) durante esta investigación se han analizado todos los posibles peligros sísmicos que pueden afectarlas, disminuyendo de ese modo la incertidumbre debida a variables no consideradas; (2) la evaluación de cada peligro sísmico lleva implícito un cierto grado de conservatismo, que aunque individualmente sea pequeño, al considerarlos en conjunto provee un grado aceptable de seguridad; (3) actualmente la tendencia es adoptar riesgos anuales del orden de $0,5 \times 10^{-2}$ a $0,3 \times 10^{-2}$ para el diseño de construcciones normales en zonas sísmicas, lo que implica un terremoto con período de retorno de 200 a 330 años.

Basándonos en los resultados de las investigaciones geológicas, de la sismicidad histórica, del análisis del peligro sísmico para la probabilidad de excedencia adoptada, en el comportamiento estimado, y en algunos casos comprobados, de las construcciones existentes en la zona, se seleccionaron los siguientes rangos de amplitudes (en términos de aceleración máxima) como los más apropiados para representar la severidad del movimiento del terreno:

Rango 1: < de 30 % g

Rango 2: de 30 a 35 % g

Rango 3: de 35 a 40 % g

Rango 4: > de 40 % g

Como se indicó en el capítulo 9, el peligro sísmico para el área bajo estudio está fuertemente influenciado por la falla Cerro de La Cal-Calle Perú, que atraviesa parte de la zona estudiada.

La contribución al peligro sísmico por parte de la sismicidad de la Placa de Nazca es prácticamente uniforme en todo el Gran Mendoza, como consecuencia de que esta fuente subyace debajo de toda la región considerada.

La figura 13-1 es el resultado de la compatibilización de las figuras 10-3 y 10-4 considerando la distribución de las condiciones del subsuelo en el área bajo estudio. La forma de las curvas que delimitan las zonas con aceleraciones pico de 0,40g y 0,35g, es tal que se produce un desplazamiento de aquéllas en coincidencia con el límite entre suelos firmes y suelos profundos, lo que obedece a la influencia de la Placa de Nazca.

13.3 Caracterización de las Construcciones.

La caracterización de las construcciones se realizó en el capítulo 11, de donde surge que de las construcciones existentes en el área bajo estudio a la fecha de la finalización de la encuesta (noviembre de 1987), el 63 % pueden catalogarse como sismorresistentes y el resto, es decir el 37 %, como no sismorresistentes. La mayor parte de las primeras, posee muros portantes de mampostería como planos resistentes a las sollicitaciones horizontales. Entre las segundas, el mayor porcentaje está representado por las construcciones de adobe, existiendo también un número significativo de construcciones mixtas. La mayoría de las construcciones del Gran Mendoza son bajas; las de una planta superan ligeramente el 96 % del total, mientras que las de más de tres pisos representan poco más del 1 %.

En resumen, con el objeto de agrupar las construcciones existentes en el

Gran Mendoza, teniendo en cuenta su comportamiento ante las solicitaciones sísmicas y el potencial de daños a que pueden estar sujetas, consideramos las siguientes categorías:

Tipo I: Construcciones no sismorresistentes

Tipo II: Construcciones sismorresistentes

La distribución de ambos tipos en el Gran Mendoza puede observarse en las tablas 11-1 a 11-7 del Informe Técnico General, en las que se presenta la caracterización por departamento y por distrito y también en las figuras 11-1 a 11-7 del mismo informe.

13.4 Evaluación del Daño Potencial.

Como primera medida es necesario establecer qué se entiende por daño. Al hacer una evaluación de daños probables, ésta puede hacerse con fines exclusivamente económicos, es decir orientados a cuantificar las probables pérdidas monetarias, destinadas por ejemplo, a integrar estudios para compañías aseguradoras, o puede hacerse con fines de preparación para la emergencia en caso de desastres (defensa civil), en cuyo caso más que la cuantificación económica de las pérdidas, interesan los posibles colapsos que puedan originar víctimas y/o dejar a las personas sin albergue.

En el primer caso se define al daño como la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición (Zamarbide, J.L. y otros, 1983), mientras que en el segundo el daño se asocia con el colapso total o parcial de la construcción y una forma de cuantificarlo es a través del índice de daños definido en el capítulo 8.

Considerando los objetivos generales de este proyecto, en la metodología propuesta originalmente se aconsejó adoptar la segunda alternativa. Por tal motivo, de aquí en más cuando en este estudio se hable de daño, debe asociárselo con el colapso total y/o colapso parcial de elementos estructurales tales como muros u otros elementos portantes, techos, etc., cuya falla afecta severamente a la estructura, poniendo en peligro la integridad de los ocupantes de la construcción.

Para poder estimar el daño potencial asociado a cada tipo de construcción, para un conjunto dado de movimiento del terreno y condiciones del subsuelo, es necesario contar con una relación que vincule directamente la intensidad del movimiento sísmico y el daño provocado. La aceleración pico del terreno ha sido el valor más ampliamente

utilizado para medir la severidad de los movimientos sísmicos, aunque actualmente se sabe que este valor por sí solo no es el más adecuado para interpretar los daños observados. A pesar de que se han propuesto diferentes alternativas para representar el poder destructivo de los terremotos, aún hoy no existe unanimidad acerca del parámetro más apto para ello. En este trabajo adoptaremos la aceleración máxima del terreno para representar la severidad del movimiento, sin entrar a analizar si es o no un buen parámetro para ser correlacionado con el daño.

Aprovechando la determinación de los **índices de daños** provocados por el terremoto del 26-01-85, descripta en el capítulo 8, se investigó una función que relacionara la aceleración máxima del terreno con los mencionados índices de daños, que como se recordará, se refieren a construcciones de adobe y mixtas. La información básica para obtener esta relación, puede verse en la tabla N° 13-1. Los valores de a_{max} se obtuvieron de los registros de los acelerógrafos que el INPRES posee instalados en esos sitios. Los valores de a^*_{max} se obtuvieron a partir de los registros de sismoscopios instalados en esas localidades, utilizando la relación $a^*_{max} = 1,36 C_s$, donde C_s es el coeficiente sísmico del sismoscopio (ver capítulo 9).

La correlación que vincula al índice de daños (para construcciones de adobe y mixtas, es decir **no sismorresistentes**) con la aceleración pico es:

$$ID = -0,08 + 1,81 a_{max}/g \quad (13-1)$$

En la figura 13-2 se han representado los valores contenidos en la tabla 13-1, además de valores correspondientes al terremoto de Concepción (Chile) de mayo de 1960, de Skopje (Yugoeslavia) del 26-07-63 (Poliakov, S.,1973) y de Cauçete (San Juan, Argentina) del 23-11-77 (Gil-Nafá-Zamarbide, 1982).

En lo que respecta a las construcciones sismorresistentes, de acuerdo con la filosofía del diseño explicitada en los respectivos códigos, no deberían producirse colapsos para cualquiera de los rangos de movimiento del terreno seleccionados. Sin embargo, para tener en cuenta la incertidumbre dependiente de diversos factores que pueden afectar a la seguridad de la construcción (de proyecto, constructivos, de materiales utilizados, etc.), asumimos que una pequeña cantidad de construcciones de este tipo (estimada en un 2 % para el rango 3 y en un 5 % para el rango 4 de movimiento del terreno) sufrirán colapso.

Tabla 13-1

VALORES UTILIZADOS PARA OBTENER LA CORRELACIÓN ENTRE LA ACELERACIÓN PICO Y EL ÍNDICE DE DAÑOS PARA CONSTRUCCIONES NO SISMORRESISTENTES.

Localidad	a _{max}		ID (Índice de daños)		
	C _s	a _{max}	ID _{min}	ID _{max}	ID _{prom}
Maipú	-	0,19	-	-	0,38
Esc.D'Amicis	-	0,33	0,26	0,73	0,50
B° San Martín B° Cano	0,18	0,25*	-	-	0,25
Capital	0,12	0,17*	-	-	0,20
Las Heras	-	0,41	-	-	0,73
Godoy Cruz	0,37	0,50*	0,70	0,91	0,80

* Valores de a_{max} calculados a partir de: a_{max} = 1,36 C_s

La tabla 13-2, que en realidad no es más que una matriz de daño (Poliakov, S., 1973; Whitman y otros, 1973, 1975; Gil-Nafá- Zamarbide, 1982; Grases, J., 1983), resume todo lo anteriormente expresado respecto a daños a los dos tipos de construcciones definidas en 13.3.

Tabla 13-2

RELACIÓN ENTRE EL RANGO DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO Y
EL PORCENTAJE DE CONSTRUCCIONES DAÑADAS.

Tipo de construcción	Rango de movimiento del terreno			
	Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4
Tipo I: No sismorr.	30 %	45 %	55 %	70 %
Tipo II: Sismorres.	0	0	2 %	5 %

13.5 Caracterización del Potencial de Daños.

Para simplificar la interpretación de los resultados, se adoptó la siguiente clasificación en lo referente a la caracterización del daño potencial:

Potencial de daños

- DB** = **Daños Bajos:**
del 0 al 5 % de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.
- DM** = **Daños Moderados:**
del 5 al 25 % de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.
- DI** = **Daños Importantes:**
del 25 al 50 % de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.
- DA** = **Daños Altos:**
del 50 al 75 % de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.
- DMA** = **Daños Muy Altos:**
del 75 al 100 % de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.

La tabla 13-3 resume la categorización y clasificación del movimiento del terreno esperado para la probabilidad de excedencia adoptada del 10 % en 20 años, los tipos de construcciones y el potencial de daño.

Tabla 13-3

CATEGORIZACIÓN DE: MOVIMIENTO DEL TERRENO,
TIPOS DE CONSTRUCCIONES Y DAÑO POTENCIAL.

Movimiento del terreno (a_{max})	Tipo de construcciones	Daño potencial
Rango 1: < de 0,30g	Tipo I: Construcciones no sismorresistentes	DB: Bajo
Rango 2: 0,30 a 0,35g		DM: Moderado
Rango 3: 0,35 a 0,40g	Tipo II: Construcciones sismorresistentes	DI: Importante
Rango 4: > de 0,40g		DA: Alto DMA: Muy Alto

13.6 Análisis de los Resultados.

Se determinó el potencial de daño adoptando como unidad catastral el Distrito (en el caso de Capital la sección catastral). Se analizó cada Distrito de cada Departamento, considerando el (o los) rango(s) probable(s) del movimiento del terreno a que estaría sujeto, la caracterización de las construcciones construidas dentro de sus límites y la matriz de daño que da, para cada tipo de construcción y para los diferentes rangos de movimiento del terreno, los porcentajes probables de construcciones dañadas. Los resultados se presentan en la tabla 13-4 y se grafican en la figura 13-3, por Departamento para todo el Gran Mendoza. En el Informe Técnico General se pueden consultar los resultados desagregados por distrito.

De su análisis surge que el Departamento con mayor potencial de daño es Las Heras, que tiene un porcentaje probable de construcciones que resultarían dañadas del 30 % (DI), siguiéndole a continuación Capital y Guaymallén con 28 % (DI). Los restantes tres departamentos que abarca la zona estudiada, tienen potencial de daño moderado (DM) (Maipú 20 %, Godoy Cruz 19 % y Luján 15 %).

En el Departamento Capital, el mayor potencial de daños lo tienen las secciones catastrales tercera, cuarta, quinta y décimo primera, que se corresponden aproximadamente con las secciones 3^{ra} y 4^{ta} de la división política, las que, como se dijo anteriormente, tienen los mayores porcentajes de construcciones no sismorresistentes y las mayores antigüedades promedio de las construcciones del Departamento. Como en este caso el rango de movimiento del terreno es uniforme en todo el Departamento, es lógico que se produzca esa correspondencia.

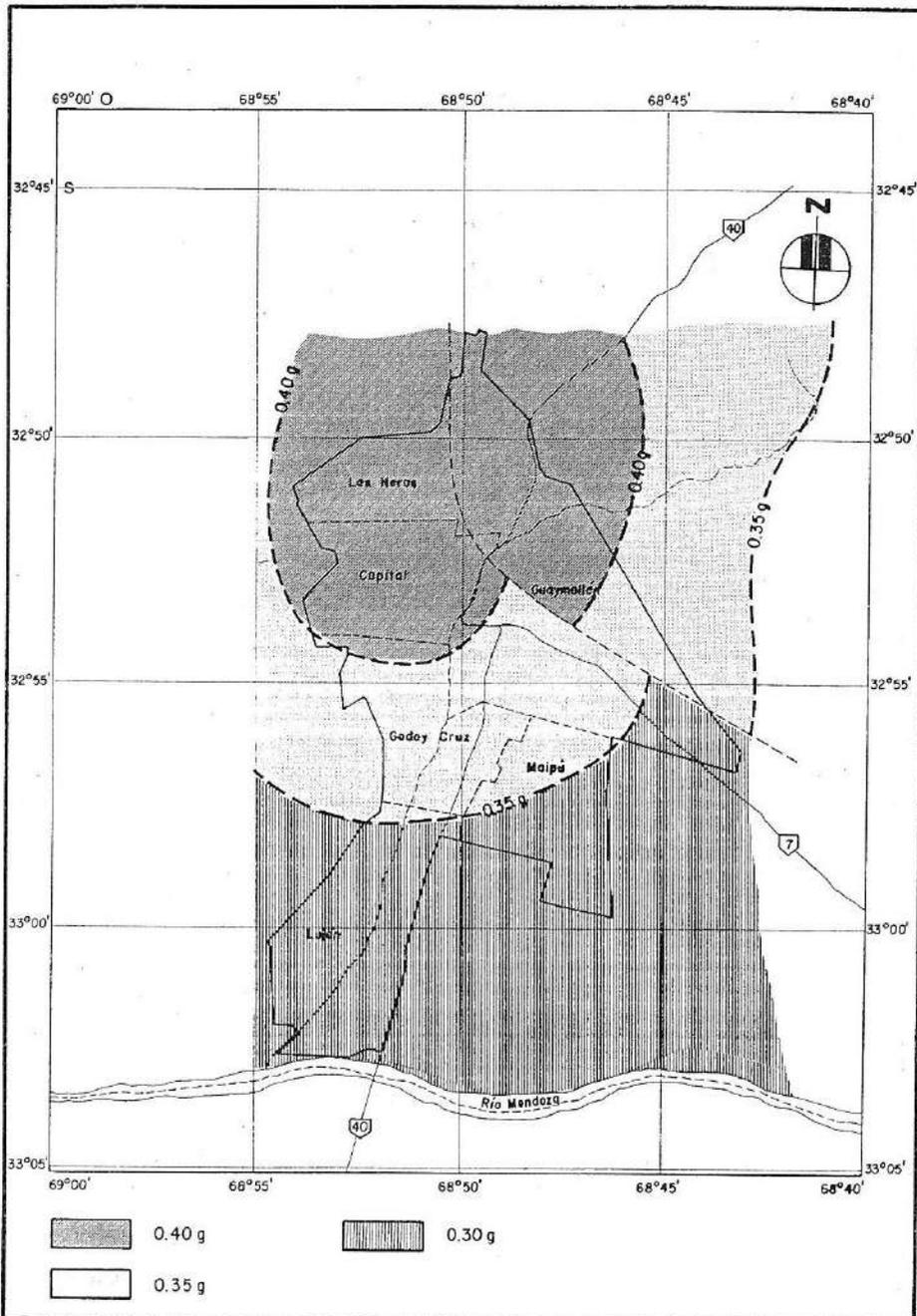
En Las Heras, donde el rango de movimiento de terreno también es uniforme en todo el departamento, los distritos de Panquehua, El Algarrobal, Ciudad y El Resguardo, tienen los mayores valores de potencial de daños en correspondencia con los mayores porcentajes de construcciones no sismorresistentes y de antigüedad promedio. En el otro extremo se encuentra El Challao, que tiene un potencial de daño moderado (DM), casi en el límite con daños bajos (DB), consecuencia de tener la mayor proporción de construcciones sismorresistentes del Departamento.

En los Departamentos de Godoy Cruz y Luján, otros de los que tienen un rango prácticamente uniforme de movimiento de terreno, también se produce la correspondencia lógica entre los Distritos que tienen la mayor cantidad de construcciones no sismorresistentes y el mayor potencial de daño. No ocurre lo mismo con Guaymallén y Maipú, los cuales están afectados por más de un rango de movimiento del terreno. Guaymallén está sometido a los rangos 4, 3 y 2, por lo que se dan casos como el distrito Pedro Molina que por estar afectado por el rango 4 y con un 61 % de construcciones no sismorresistentes, tiene un porcentaje probable de construcciones dañadas mayor (45 %) que San Francisco del Monte que tiene 71 % de construcciones no sismorresistentes, pero está comprendido dentro del rango 3. Lo mismo ocurre con San José que con 55 % de construcciones no sismorresistentes y por estar comprendido en el rango 4, tiene mayor daño probable (41 %) que Jesús Nazareno que tiene 59 % de ese tipo de construcciones pero está comprendido por el rango 3, por lo que tiene un daño potencial de 33 %.

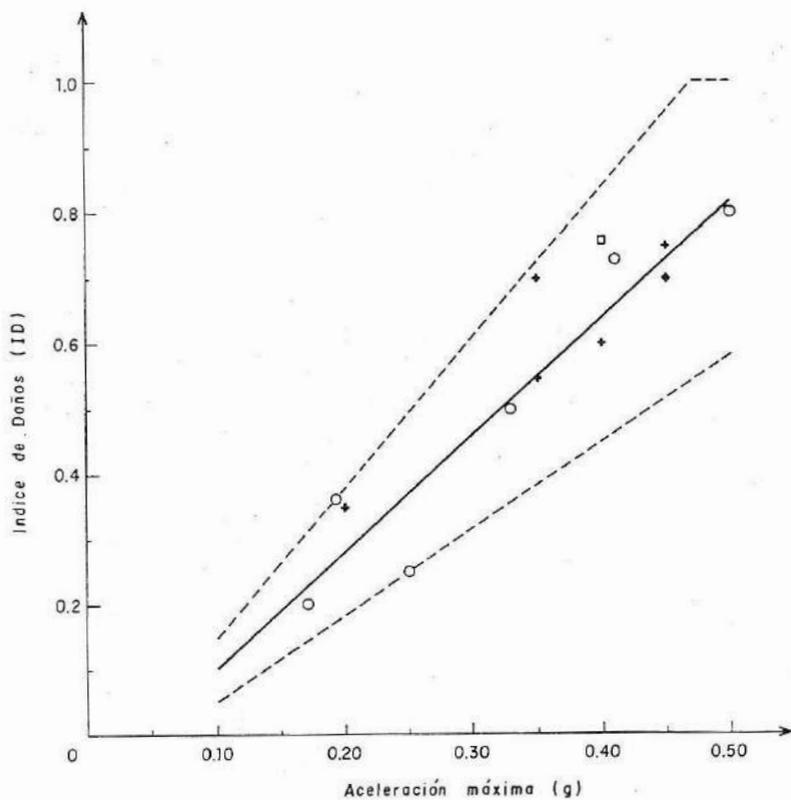
Si se realiza un análisis ponderado de los daños probables a las construcciones para toda la zona bajo estudio, se concluye que para las condiciones existentes en el área, el porcentaje probable de construcciones dañadas para la probabilidad de excedencia adoptada, es del 25 %, es decir un potencial de daño en el límite entre daños moderados (DM) y daños importantes (DI).

Tabla 13-4
 POTENCIAL DE DAÑO - GRAN MENDOZA

DEPARTAMENTO	CONSTRUCCIONES		Porcentaje probable de construcciones dañadas	Potencial de Daño
	Sismorresistentes	No Sismorresistentes		
	%	%		
01 - CAPITAL	65 %	35 %	28 %	DI
03 - LAS HERAS	62 %	38 %	30 %	DI
04 - GUAYMALLEN	57 %	43 %	28 %	DI
05 - GODOY CRUZ	71 %	29 %	19 %	DM
06 - LUJAN	67 %	33 %	15 %	DM
07 - MAIPU	57 %	43 %	20 %	DM



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA		Figura
Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		13-1
Caracterización del movimiento del terreno.		



- Mendoza 26-01-85
- Concepción (Chile) 05-1960
- + Caucete 23-11-1977
- ◆ Skopje 26-07-63

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

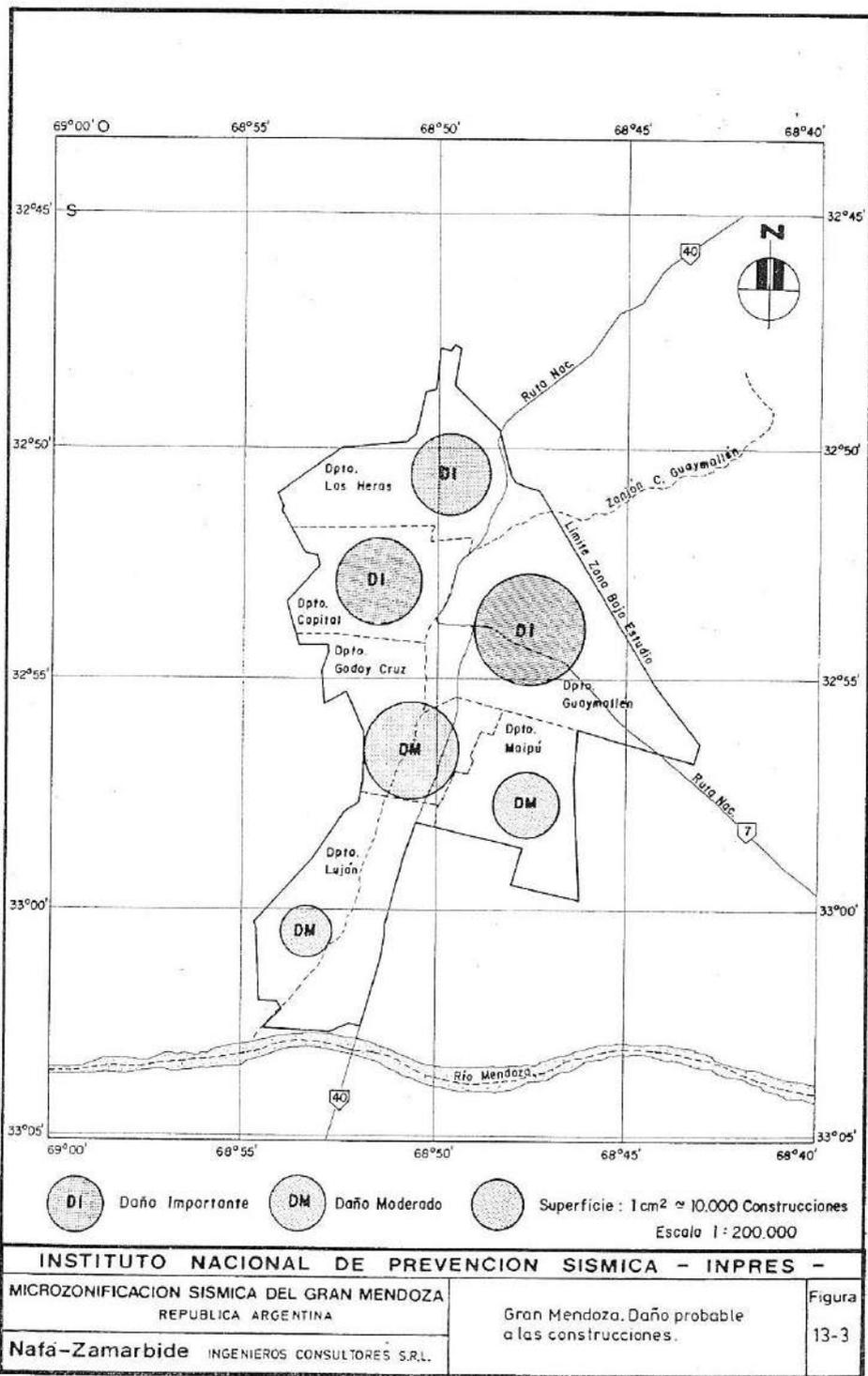
MICROZONIFICACION SISMICA DEL GRAN MENDOZA
REPUBLICA ARGENTINA

Correlación entre la aceleración máxima y en el índice de daños.

Figura

Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

13-2



BIBLIOGRAFIA

- Abrahamson, N.A., 1988. Statistical properties of peak ground accelerations recorded by the SMART 1 array: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 78, n. 1, pp. 26-41.
- Algermissen S.T., D.M. Perkins, P.C. Thenhaus, S.L. Hanson and B.L. Bender, 1982. Probabilistic estimates of maximum acceleration and velocity in rock in the contiguous United States: U.S. Geological Survey Open File Report OFR 82-1033, 99 pp.
- Álvarez, A., M. Cerquetti, J. Hernández y N. Martinis, 1982. Estudio hidrogeológico de la zona Cerro de La Gloria-El Challao. Centro Regional de Agua Subterránea. Public. P-254. San Juan.
- Amos, A.J. y E.O. Roller, 1964. El Carbónico marino en el valle Calingasta-Uspallata (San Juan-Mendoza). Boletín de Informaciones Petroleras N 368, 1-21. Buenos Aires.
- Arango, I. (ASCE), Moriwaki (ASCE) and F. Brown. In Situ and Laboratory Shear Velocity and Modulus.
- ATC, 1978. Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings: Applied Technology Council Publication ATC 3-06, National Bureau of Standards Special Publication 510, 50p.
- Baldis, B.A.J., E. Uliarte y A. Vaca, 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXIV (4), 294-310. Buenos Aires.
- Baldis, B.A.J., M.S. Beresi, O.L. Bordonaro y A. Vaca, 1982. Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. Actas V Congreso Geol. Latinoamericano de Geología (Bs. As., 1982). Vol. IV, 399-445. Buenos Aires.
- Baldis, B.A.J. y A. Vaca, 1986. Megafracturas relacionadas con el sistema precordillerano. Actas I Jornadas sobre Geología de la Precordillera (San Juan, octubre 1985). 204-208. Buenos Aires.
- Banco de Información Catastral (B.I.C.), Dirección Provincial de Catastro, 1987.

- Bender, B., 1983. Maximum likelihood estimation of b values for magnitude grouped data: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 73, no. 3, pp. 831-851.
- Bender, B., 1984. Seismic hazard estimation using a finite fault rupture model: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 74, no. 5, pp. 1899-1923.
- Bernreuter, D.L., J.B. Savy, R.W. Mensing, and D.H. Chung, 1984. Seismic hazard characterization of the eastern United States - methodology and interim results for ten sites: U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR3756.
- Bodenbender, G., 1902. Contribución al conocimiento de la Precordillera y de las Sierras Centrales de la República Argentina. *Bol. Acad. Nac. de Ciencias*. XVIII, 203-264. Córdoba.
- Bonilla, M.G., R.K. Mark, and J.J. Lienkaemper, 1984. Statistical relations among earthquake magnitude, surface length, and surface fault displacement: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 74, pp. 2379-2411.
- Boore, D.M., 1983. Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 73, n. 6A, pp. 1865-1894.
- Boore, D.M., 1986. Short period P- and S-wave radiation from large earthquakes: Implications for spectral scaling relations: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 76, n. 1, pp. 43-64.
- Boore, D.M., and G.M. Atkinson, 1987. Stochastic prediction of ground motion and spectral response parameters at hard-rock sites in eastern North America: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 77, n. 2, pp. 440-467.
- Borello, A.V., 1962. Fanglomerado del Río Mendoza (Triásico, provincia de Mendoza). *Comisión de Inv. Cient. de la Prov. de Buenos Aires*. I (3). La Plata.
- Bormida, E., 1986. "Mendoza, una ciudad oasis" - *Revista de la Universidad de Mendoza*, N 4-5, pags. 121-137.

- Bracaccini, O.I., 1946. Contribución al conocimiento geológico de la Precordillera sanjuanino-mendocina. Bol. Inf. Petroleras. N 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264. Buenos Aires.
- Bracaccini, O.I., 1960. Lineamientos principales de la evolución estructural de la Argentina. Petrotecnia, Rev. Inst. Arg. del Petróleo. X (6). Buenos Aires.
- Brune, J.N., 1971. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes: Journal of Geophysical Research, v. 75, pp. 4997-5002.
- Bufaliza, M.A., 1984. Atenuación de intensidades sísmicas con la distancia en sismos mexicanos: Tesis, Maestro en Ingeniería (Estructuras), UNAM, Facultad de Ingeniería, 94 p.
- Bufaliza, M.A., 1987. Atenuación de la aceleración horizontal máxima con la distancia: INPRES, en prensa, 13 pags.
- Caminos, R., 1979. Sierras Pampeanas noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. II Simp. de Geol. Reg. Arg. (Córdoba, sept. 1976). Vol. I, 225-291. Córdoba.
- Caminos, R., 1979. Cordillera Frontal. II Simposio de Geol. Reg. Arg. (Córdoba, sept. 1976). Vol. I, 397-453. Córdoba.
- Campbell, K.W., 1981. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 71, n. 6, pp. 2039-2070.
- Capitanelli, R.G., 1967. "Climatología de Mendoza" - Boletín de Estudios Geográficos XIV, N 54-57. Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, U.N.C.
- Capitanelli, R.G., 1981. "Carta dinámica del ambiente". Boletín de Estudios Geográficos XX, N 78, Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, U.N.C.
- Carmona, J.S. y Otros, 1969. "Periods of Buildings of Mendoza City (Argentina)" - IV WCEE, Santiago, Chile 1969.
- Carmona, J.S., 1985. "Terremoto del 26 de Enero - Sus requerimientos a los

- edificios de Mendoza" - Revista Centro N° 67 - pag. 39 a 53.
- Castano, J.C., 1977. Zonificación sísmica de la República Argentina: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Publicación Técnica N° 5, 38 p.
- Castano, J.C., 1986. Características principales del terremoto de Mendoza del 26 de Enero de 1985: Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Publicación Técnica N° 11, 43 pag.
- Cazau, M.B. y M.A. Uliana, 1973. El Cretácico superior continental en la cuenca neuquina. Actas V Congr. Geol. Arg. (Carlos Paz, octubre 1972). T. III, 131-163. Buenos Aires.
- Censo Nacional de Población y Vivienda 1980, Mendoza - Resultados Provisorios Corregidos.
- Comisión de Código de Construcciones Antisísmicas, 1985. "Sismo del 26 de Enero de 1985: Informe al Señor Ministro de Obras y Servicios Públicos" - Revista Centro - N° 67 - pags. 11 a 21.
- Coppersmith, K.C. and R.R. Youngs, 1986. Capturing uncertainty in probabilistic seismic hazard assessments within intraplate environments: in Proceedings of the 3rd National Conference on Earthquake Engineering, Charleston, South Carolina, August 24- 28, v. I, pp. 301-312.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 58, no. 5, pp. 1583- 1606.
- Cornell, C.A. and E.H. Van Marke, 1969. The major influences on seismic risk: in Proceedings of the Third World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, v. A-1, pp. 69-93.
- Criado Roqué, P., 1979. Subcuenca de Alvear, provincia de Mendoza. 2do. Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, sept. 1976). Vol. I, pags. 811-836. Córdoba
- Criado Roqué, P. y G. Ibañez, 1979. Provincia geológica sanrafaelino- pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, sept. 1976). Vol. I, 837-869. Córdoba.

- Criado Roqué, P., C. Mombru y V.A. Ramos, 1981. Estructura e interpretación tectónica. En Relatorio Geología de la provincia de San Luis. VIII Congr. Geol. Arg. (San Luis, sept. 1981). 155- 192. Buenos Aires.
- Crice, Douglas. Shear Waves: Techniques and Systems. Nimbus Instruments Geometric.
- Crouse, C.B., Y.K. Vyas, and B.A. Schell, 1988. Ground motions from subduction-zone earthquakes: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 78, n. 1, pp. 1-25.
- De Marchi, M.R., 1982. La estructura del riego en Mendoza. Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, U.N.C., Mendoza.
- Dessanti, R., 1956. Descripción geológica de la Hoja 27 c. Cerro Diamante, provincia de Mendoza. Bol. N° 95. Dirección Nacional de Minería. Buenos Aires.
- Dessanti, R. y R. Caminos, 1967. Edades Potasio-argón y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras de San Rafael, provincia de Mendoza. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXII (2), 135-162. Buenos Aires.
- Diario "Los Andes", diversos números correspondientes a octubre- noviembre 1984; agosto 1903; julio-agosto 1917; diciembre 1920; abril 1927; mayo 1929; enero-febrero 1944; abril 1967 y noviembre 1977. Mendoza.
- Díaz, H.D. y A.C. Massabié, 1974. Estratigrafía y tectónica de las sedimentitas triásicas, Potrerillos, provincia de Mendoza. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXIX (2), 185-204. Buenos Aires.
- Draghi Lucero, J., 1951. "Integración de la ciudad de Mendoza a través de su evolución histórica (1561-1951)", Actas de la XV Semana de Geografía, U.N.C., Mendoza.
- Eaton, J., R. Cockerman and F. Lester, 1983. Study of the May 2, 1983 Coalinga earthquake and its aftershocks, based on the USGS seismic network in northern California: in Bennett, J.H., and Sherburne, R.W., eds, The 1983

- Coalinga, California earthquakes, Special Publication 66, California Division of Mines and Geology, Sacramento, California, pp. 261-273.
- EPRI, 1987. Seismic hazard methodology for the central and eastern United States - Volume 1: Methodology: Report NP-4726, Volume 1, prepared for Seismicity Owners Group and Electric Power Research Institute under research projects P101-38, -45, -46, 2256-14, Revised, February, 1987.
- Fernández P.J., 1961. "Historia de Maipú" - El Segundo Congreso de Historia de Cuyo, Mendoza.
- Frenguelli, J., 1944. Apuntes sobre el Paleozoico superior del Noroeste argentino. Rev. Museo de la Plata (Nueva Serie). Sección Geología. Tomo II, 215-265. La Plata.
- Furque, G. y A.J. Cuerda, 1979. Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, sept. 1976). Vol. I, 455- 522.
- Gil-Nafá-Zamarbide. Ing. Consultores, 1982. "Microzonificación Sísmica del Valle de Tulum - Provincia de San Juan" - Informe Técnico General, Vol.I, II y III.
- Giuliano, A., M. Bufaliza, J.C. Rosas y L.D. Decanini, 1985."Potencial de Daños de Recientes Terremotos Argentinos. Análisis de Acelerogramas". Memorias Colloquia 85 - Tomo VI.
- Gobierno de Mendoza, Ministerio de Economía, Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas, "Anuario Estadístico 1984- 1986", Tomos I y II.
- Gobierno de Mendoza, Consejo de Ordenamiento Urbano del Gran Mendoza.
- González Bonorino, F., 1950. Geological Cross Section of the Cordillera de Los Andes about the parallel 33° S. Lat. Geol. Soc. of America Bull. 61 (1), 17-25. New York.
- González Díaz, E., 1972. Descripción geológica de la Hoja 27 d San Rafael (provincia de Mendoza). Direc. Nac. de Minería. Bol. 132. Buenos Aires.

- Goycochea, M.del C., 1974. "Distribución del agua para riego en el río Mendoza"
Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, U.N.C., Mendoza.
- Grases, J., 1983. "Evaluación de pérdidas". Proyecto ECOSIS, Ceresis. Lima, Perú.-
- Gray de Cerdán, N. y Otras, 1985. "La Estructura Urbana frente al riesgo sísmico - Mendoza en el terremoto del 26-01-85" - Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. U. N. de Cuyo, Mendoza 1985.
- Gray de Cerdán, N. y Otras, 1986. "Propuesta de Desarrollo Urbano para el Gran Mendoza" - Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. U. N. de Cuyo, Mendoza.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. Rev. Asoc. Geol. Arg. I(3), 177-208; II(4), 141- 176. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1951. La alta cordillera entre las latitudes 34° y 29° 30' sur. Museo Arg. Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia". Rev. Ciencias Geológicas 1 (5), 235-352. Buenos Aires.
- Groeber, P. y P.N. Stipanovic, 1952. a. Triásico. En Groeber, P. y otros. Mesozoico. Geografía de la República Argentina. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA. Vol. II, 13.141. Buenos Aires.
- Groeber, P., P.N. Stipanovic y A.R. Mingramm, 1952. b. Jurásico. En Groeber, P. y otros. Mesozoico. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA. Vol. II, 143-347. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1963. La Cordillera entre las latitudes 22° 20' y 40° sur. Boletín Academia Nacional de Ciencias. 43 (2-3-4), 111- 176. Córdoba.
- Gutenberg B. and C.F. Richter, 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, 2nd ed., Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 310 pp.
- Hanks, T.C., and R.K. McGuire, 1981. The character of high frequency strong ground motion: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 71, n. 6, pp. 2071-2095.

- Harrington, H.J., 1941. Investigaciones geológicas en las sierras de Villavicencio y Mal País. Min. de Agric. Dir. Min. y Geol. Bol. 49. Buenos Aires.
- Harrington, H.J., 1971. Descripción geológica de la Hoja 22 c Ramblón, provincias de Mendoza y San Juan. Servicio Geológico Nacional. Bol. 114. Buenos Aires.
- Hart, E.W., 1985. Fault hazard zones in California, Special Publication 42, California Division of Mines and Geology, 25 pages.
- Idriss, I.M., 1978. Characteristics of earthquake ground motions - State-of-the-art paper: Proceedings of ASCE Specialty Conference - Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Pasadena, California, June 19-21, v. 3, pp. 1151-1263.
- Imai, T. P y S. Wave Velocities of the Ground in Japan. Earthquake Engineering Div., Urawa Research Institute, Oyo Corporation, Japan.
- INPRES, 1985. El terremoto de Mendoza, Argentina del 26 de Enero de 1985. Informe General. Instituto Nacional de Prevención Sísmica, República Argentina, 137 páginas.
- INPRES, 1986. "Publicación Técnica N° 10". San Juan.
- INPRES, 1986. "Publicación Técnica N° 11". San Juan.
- International Conference of Building Officials, 1988. Uniform Building Code: 1988 Edition, 926 p.
- I.P.V., Mendoza. "Estudios y propuestas para el ordenamiento urbano del Gran Mendoza"- Infraestructura de servicios para el crecimiento del Gran Mendoza, vol. N° 23, anexo II.
- Isacks, B.L., 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline: Journal of Geophysical Research, v. 93, pp. 3211-3231.
- ITITEM - División Ingeniería Antisísmica, 1985. "Informe Preliminar sobre el Terremoto del 26 de Enero" - Revista Centro N° 67; pags. 25 a 35.
- Jones, L., and E. Hauksson, 1988. The Whittier Narrows, California earthquake of

October 1, 1987 - Seismology: Earthquake Spectra, v. 4, p. 43-53.

- Joyner, W.B., 1984. A scaling law for the spectra of large earthquakes: Bulletin of the Seismological Society of America v. 74, n. 4, pp. 1167-1188.
- Joyner, W.B., and D.M. Boore, 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California earthquake: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 71, no. 6, pp. 2011- 2038.
- Joyner, W.B., and D.M. Boore, 1982. Prediction of earthquake response spectra: US. Geological Survey Open File Report 82-977.
- Joyner, W.B., and T.E. Fumal, 1985. Predictive mapping of earthquake ground motion, in evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region: U.S. Geological Survey Professional Paper 1360.
- Junta de Estudios Históricos de Mendoza. Recopilación de informes del terremoto del 20-03-1861.
- Keidel, J., 1939. Las estructuras de corrimientos paleozoicos de la Sierra de Uspallata (provincia de Mendoza). Physics, 14 (46), 3-96. Buenos Aires.
- Kenneth, Koussai, Abdel-razzak - ASCE. Shear Moduli of Two Compacts Fills - In Situ Measurement of Soil Properties. Volume I.
- Kulkarni, R.B., R.R.Youngs, and K.J. Coppersmith, 1984. Assessment of confidence intervals for results of seismic hazard analysis: in Proceedings of the Eight World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, v. 1, pp. 263- 270.
- Lavandaio, E., 1986. Hallazgo de fósiles del Ordovícico en el Grupo Villavicencio, en la precordillera de Mendoza. Rev. Asoc. Geol. Arg. XLI (3-4), 402-404. Buenos Aires.
- Linares, E.,1977. Catálogo de edades radimétricas determinadas para la República Argentina. II. Años 1974-1977. Realizados por INGEIS sin publicar. I. Años 1972-1974. Asoc. Geol. Argentina. Publicaciones Especiales. Serie "B" (Didáctica y Complementaria). Nº 4. Buenos Aires.

- Linares, E., 1979. Catálogo de edades radimétricas determinadas para la República Argentina. III. Años 1977-1978. Catálogo de edades radimétricas realizadas por INGEIS y sin publicar. II. Años 1975-1976. Asoc. Geol. Argentina. Publicaciones Especiales. Serie "B" (Didáctica y Complementaria). Nº 6. Bs.As.
- Martinis, N., A. Álvarez, M. Coqueetti y J. Hernández, 1982. Estudio hidrogeológico de la zona del Cerro de La Gloria. El Challao. Centro Regional de Agua Subterránea. Public. P-254. San Juan.
- Marzo e Inchauspe, 1987. "Geografía de Mendoza". Edit. Spadoni, Mendoza.
- Mattauer, M., 1976. Deformaciones de los materiales de la corteza terrestre. Ed. Omega. Barcelona. España.
- Maza, I., "Antecedentes históricos sobre el territorio que pertenece al departamento de Guaymallén" - Inédito.
- Maza, I., 1978. "Toponimia, tradiciones y leyendas mendocinas.", Publicación del Rotary Club Mendoza Sur., Mendoza.
- Mazzoni, V.I., 1982. "El medio natural y el uso del agua en el oasis del río Mendoza, Inst. de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, U.N.C., Mendoza.
- Morey, F., 1938. "Los temblores de tierra. Mendoza sísmica". Imp. D'Accurzio. Mendoza.
- Ortiz, A. y J.J. Zambrano, 1975. Investigaciones geológicas e hidrogeológicas de la Zona Norte de la Provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterránea. Public. P-094. San Juan.
- Ortiz A. y J.J. Zambrano, 1981. La provincia geológica Precordillerana Oriental. Actas VIII Congr. Geol. Arg. (San Luis, sept. 1981). T. III, 59-74. Buenos Aires.
- Ostuni, J.P., M.E.F. de Civit, M.J.G. Manchón, 1983. "Técnicas de Geografía", Inca Editorial, Mendoza.
- Pascual, R. y O.E. Odreman Rivas, 1973. Las unidades estratigráficas del Terciario portadoras de mamíferos. Su distribución y sus relaciones con

- movimientos diastróficos. Actas V Congreso Geológico Argentino. (Carlos Paz, octubre 1972). Tomo III, pags. 293-338. Buenos Aires.
- Pereyra, M.A., M. Cerquetti y R.N. Gianni, 1981. Estudio geológico preliminar del subsuelo de la zona nororiental de la provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterránea. Publicación P-240. San Juan.
- Pereyra, M.A. y J.O. Robles. Avance en el conocimiento de la hidrogeología de la Pampa de Canota. Centro Regional de Agua Subterránea. Publicación D-128.
- Perucca, J.C., M.C. Puertas, E.R. Uliarte y J.J. Zambrano, 1979. Carta Geotectónica de Cuyo. Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Polanski, J., 1958. El bloque variscico de la Cordillera Frontal de Mendoza. Rev. Asociación Geológica Argentina. XIII (3), 165- 196. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1963. Estratigrafía, Neotectónica y Geomorfología del Pleistoceno pedemontano entre los ríos Diamante y Mendoza (provincia de Mendoza). Rev. Asoc. Geol. Arg. XVII (3-4), 127- 349. Buenos Aires.
- Polanski, J. Descripción geológica de la Hoja 25 a Volcán San José. Dirección Nacional Geol. y Min. Boletín 98. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1966. a. Edades eruptivas suprapaleozoicas asociadas al diastrafismo variscico. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXI (1), 5- 19. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1966. b. Descripción geológica de la Hoja 26 c La Tosca (provincia de Mendoza). Dirección Nacional de Minería. Boletín 101. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1970. Carbónico y Pérmico en la Argentina. Ed. Eudeba. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1972. Descripción geológica de la Hoja 24 a b Cerro Tupungato (provincia de Mendoza). Dirección Nacional Geol. y Min. Bol. 128. Buenos Aires.

- Power, M.S., K.J. Coppersmith, R.R. Youngs, D.P. Schwartz, and F.H. Swan, 1981. Seismic exposure analysis for the WNP-2 and WNP- 1/4 site: Appendix 2.5K to Amendment No. 18 Final Safety Analysis Report WNP-2, for Washington Public Power Supply System, Richland Washington, September.
- Polyakov, S., 1974. "Design of Earthquake Resistant Structures". MIR Publishers. Moscú.
- Ponte, J.R., 1987. "Mendoza, aquella ciudad de barro."- Municipalidad de la ciudad de Mendoza.
- Regairaz, A.C., 1962. Importancia de algunos rasgos geomorfológicos en Mendoza y su vinculación con los recursos naturales energéticos. Bol. de Est. Geográficos N 37. Vol. IX, 151-169. Univ. Nac. de Cuyo. Mendoza.
- Regairaz, A.C., 1968. Fenómenos de neotectónica y su influencia sobre la morfología actual del piedemonte mendocino. Actas III Jorn. Geol. Arg. (Comodoro Rivadavia, nov. 1966). II, 21-34. Buenos Aires.
- Regairaz, A.C., 1969. Contribución al conocimiento de las discordancias en el área de las Huayquerías (Mendoza, Argentina). Actas IV Jorn. Geol. Arg. (Mendoza, abril 1969). Vol. II, 243- 254. Buenos Aires.
- Regairaz, A.C., 1974. Rasgos geomorfológicos y evidencias de fenómenos de neotectónica en la Huayquería del Este (Mendoza). Boletín de Estudios Geográficos. Vol. XVII, Nº 68, pags. 169-210. Mendoza.
- Regairaz, A.C. y O.R. Barrera, 1975. Formaciones del Cuaternario. Unidades geomorfológicas y su relación con el escurrimiento de las aguas en el pedemonte de la Precordillera. Anais Acad. Brasileira de Ciencias. Supl. 47, 5-25. Río de Janeiro.
- Regairaz, A.C., 1984. "Rasgos neotectónicos del Piedemonte Cuyano (San Juan, Mendoza y San Luis) Argentina" - Zbl. Geol. Paläont. Teil I, II, 11-12-1541-1554. Stuttgart.
- Regairaz, A.C., 1988. Sismo: Geomorfología y Urbanismo. Serie Científica, 36,

Enero/Febrero 1988. Mendoza.

- Robles, J.O., 1983. Prospección geoelectrica en la subcuenca Carrizal. Zona Norte, provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterranea. Serie Técnica. Publicación D-69.
- Robles, J.O., 1984. Avance en el conocimiento del subsuelo en la Zona Norte (zona de Panquehua). Provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterranea. Serie Técnica. Publicación D-111.
- Rodríguez, E.J., 1966. Estudio hidrogeológico del sector nordeste de la provincia de Mendoza. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXI (1), 39-60. Buenos Aires.
- Roeder, D., 1988. Andean-age structure of eastern Cordillera (Province of La Paz, Bolivia): Tectonics, v. 7, pp. 23-39.
- Rolleri, E.O. y P. Criado Roqué, 1968. La cuenca triásica del nordeste de Mendoza. Actas III Jorn. Geol. Arg. (Comodoro Rivadavia, nov. 1966). Vol. I, 1-76. Buenos Aires.
- Rolleri, E.O. y P. Criado Roqué, 1969. Geología de la provincia de Mendoza. Actas IV Jorn. Geol. Arg. (Mendoza, abril 1969). Vol. II, 1-60. Buenos Aires.
- Rolleri, E.O. y C. Fernández Garrasino, 1979. Comarca septentrional de Mendoza. II Simp. de Geología Regional Argentina (Córdoba, sep. 1976). Ac. Nac. de Ciencias. Vol. I, 771-809. Córdoba.
- Rosenfeld, U. y W. Volkheimer, 1980. Turbidite und andere Rhythmite im Tieferen Jura des Neuquén Beckens (Argentinien). N. Jahrbuch Geologie und Paläont. Abhandlungen. 159 (3), 379-421. Stuttgart.
- Sadigh, K., 1983. Considerations in the development of sitespecific spectra, in Proceedings of Conference XXII, sitespecific effects of soil and rock on ground motion and the implications for earthquake resistant design: U.S. Geological Survey Open File Report 83-845.
- Sadigh, K., J.A. Egan and R.R. Youngs, 1986. Specification of ground motion for seismic design of long period structures: Earthquake Notes, v. 57, no. 1, p. 13., relationships are tabulated in Youngs et al. (1987)

- Salassa, Robert, Vacirca, González, 1983. Técnicas para la medición de la onda de corte. Congreso de la Asociación Argentina de Geofísicos Geodestas.
- Salfity, J.A. y S. Gorustovich, 1983. Paleogeografía de la cuenca del Grupo Paganzo. Rev. Asoc. Geol. Arg. XXXVIII. (3-4), 437-453. Buenos Aires.
- Scarascia, Colomi, Cassinis. Experiments on Transverse Waves. Geophysical Prospecting 24.
- Schilan de Becette, R.C., 1881. "El Gran Mendoza, veinticinco años de acelerado crecimiento espacial."- Bol.de Estudios Geográficos, vol.XX, N° 79,pags. 173-214. Mendoza.
- Schiller, W.,1912. La alta cordillera de San Juan y Mendoza (y parte de la provincia de San Juan). Anales Min. Agric. Secc. Geol. Mineralogía y Minería. 7 (5). Buenos Aires.
- Schnabel, P.B., J. Lysmer, and H.B. Seed, 1972. SHAKE - a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites: University of California Earthquake Engineering Research Center Report No. EERC 72-12.
- Schwartz, D.P., and K.J. Coppersmith, 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes from the Wasatch and San Andreas faults: Journal of Geophysical Research, v. 89, no. B7, pp. 5681-5698.
- Schwartz, D.P. and K.J. Coppersmith, 1986. Seismic hazards: new trends in analysis using geologic data: in Active Tectonics, Academic Press, Washington D.C., pp. 215-230.
- Seed, H.B. and I.M. Idriss, 1971. Simplified procedures for evaluating soil liquefaction potential: ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, v. 97, n. SM9, pp. 1249-1273.
- Seed, H.B. e Idriss, I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, V. 5 of a series entitled Engineering monographs on earthquake criteria, structural design, and strong motion records, Earthquake Engineering Research Inst.

- Seed, H.B., R. Murarka, J. Lysmer and Idriss, I.M., 1976. Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from a source and local site conditions for moderately strong earthquakes; Bulletin of the Seismological Society of America, v. 66, no. 4, August.
- Seed, H.B., K. Tokimatsu, L.F. Harder, and R.M. Chung, 1985, Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations: ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, v. 111, n. 12, pp. 1425-1445.
- Serres, Y. y O. Demartini, 1970. Prospección geofísica en la zona Río Mendoza. Plan de Agua Subterránea. Publicación P-020.
- Shagam, R., 1971. Evolución tectónica de los Andes venezolanos. Memoria IV Congr. Geol. Venezolano. Vol. I, 433-476. Caracas.
- Slemmons, D.B., 1982. Determination of design earthquake magnitudes for microzonation: Proceedings of the Third International Microzonation Conference, v. 1, pp. 119-130.
- Slemmons, D.B., P. Bodin, and X. Zhang, 1988. Determination of earthquake size from surface faulting events: Proceedings of the International Seminar on Seismic Zonation, Guangzhou, China, in press, 13 pages.
- Smalley, R.F., and B.L. Isacks, 1987. A high-resolution local network study of the Nazca plate Wadati-Benioff zone under western Argentina: Journal of Geophysical Research, v. 92, p. 13.903-13.912.
- Stappenbeck, R., 1917. Geología de la falda oriental de la Cordillera del Plata. Anales Min. Agric. Sección Geol. Mineralog. y Minería. 10 (1). Buenos Aires.
- Stipanovic, P.N. y E. Linares, 1969. Edades radimétricas determinadas para la República Argentina y su significado geológico. Bol. Acad. Nac. de Ciencias. 47, 51-96. Córdoba.
- Stipanovic, P.N. y F. Rodrigo, 1969. El diastrofismo Eo y Mesocretácico en Argentina y Chile, con referencia a los movimientos jurásicos en la Patagonia. Actas IV Jorn. Geol. Arg. (Mendoza, abril, 1969). Vol. II,

337-352. Buenos Aires.

- Stipanovic, P.N. y J.F. Bonaparte, 1979. Cuenca triásica de Ischigualasto- Villa Unión (Prov. de La Rioja y San Juan). Segundo Simposio de Geología Regional Argentina (Córdoba, sept. 1976). Academia Nacional de Ciencias. Vol. I, 525-575. Córdoba.
- Stipanovic, P.N. y E. Linares, 1975. Catálogo de edades radimétricas determinadas para la República Argentina. I. Años 1060- 1974. Asoc. Geol. Arg. Publicación Especial. Serie "B" (Didáctica y complementaria). Nº 3. Buenos Aires.
- Stokoe, K.H., II and R.D. Woods, 1972. In Situ Shear Wave Velocity by Cross-Hole Method, ASCE, Vol.98, N SM5, May, p.p. 443-460.
- Toro, G.R., and R.K. McGuire, An investigation into earthquake ground motion characteristics in eastern North America: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 77, no. 2, pp. 468- 489.
- Uliana, M.A., D.A. Dellape y G.A. Pando, 1975. Estratigrafía, distribución y génesis de las sedimentitas rayosianas (Cretácico inferior de las provincias de Neuquén y Mendoza). Anales II C. Iberoamericano de Geología Económica. Vol.I, 151-196. Buenos Aires.
- Vaca, A., V.H. Sánchez, R.N. Gianni, J.A. Victoria, J. Ferre y P. Lohn, 1982. Exploración hidrogeológica en el sector oriental de la planicie sanrafaelina. Convenio CFI-CRAS. Provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterránea. Serie Técnica. Publicación D-56.
- Verdaguer, J., 1920. Lecciones de historia de Mendoza. Epoca Colonial. Edit. Verdaguer. Mendoza.
- Vicente, J.C., 1972. Aperçu sur l'organisation et l'évolution des Andes argentino-chiliennes centrales au parallele de l'Aconcagua. XXIV Congr. Geol. Int. 3 (Tectónica). 423-446. Montreal.
- Viers, G., 1983. Geomorfología. Tercera Edición en lengua castellana. Ediciones Oikós-Tau S.A. Barcelona.
- Vitali, G., 1940. "Hidrología Mendocina". (no se indica editorial). Mendoza.

- Volkheimer, V., 1978. Descripción geológica de la Hoja 27b Cerro Sosneado. Prov. de Mendoza. Serv. Geol. Nac. Bol. 151. Buenos Aires.
- Weichert, D.H., 1980. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 70, no. 4, pp. 1337-1346.
- Wells, D., K.J. Coppersmith, X. Zhang, and D.B. Slemmons, (in press). New earthquake magnitude and fault rupture parameters: Seismological Research Letters.
- Wentworth, C.M., A.W. Walter, J.A. Bartow and M.D. Zoback, 1983. Evidence on the tectonic setting of the 1983 Coalinga earthquakes from deep reflection and refraction profiles across the southeastern end of Kettleman Hills: in Bennett, J.H., and Sherburne, R.W., eds, The 1983 Coalinga, California earthquakes, Special Publication 66, California Division of Mines and Geology, Sacramento, California, pp. 113-126.
- Whitman, R.V. et al., 1973. "Earthquake damage probability matrices". VWCEE, Rome, 1973.
- Whitman, R.V. et al., 1975. "Seismic design decision analysis." ASCE, Proceedings, Journal of the Struct. Division, Vol. 101 ST5, May 1975, pp 1067-1084. ces". VWCEE, Rome, 1973.
- Whitman, R.V. and C.A. Cornell, 1976. "Design". Chapter 9 of "Seismic Risk and Engineering Decisions", Lomnitz C. and Rosenblueth, E., Elsevier, Amsterdam.
- Woodward-Clyde Consultants, 1975. Report of Investigations of Active Faulting in Managua, Nicaragua, and Vicinity, prepared for Vice Ministry of Urban Planning, unpublished consulting report.
- Wyss, M., 1979. Estimating maximum expectable magnitude of earthquakes from fault dimensions: Geology, v. 7, N° 7, pp. 336-340.
- Yerkes, R.F., 1983. Shallow stress changes due to withdrawal of liquid from oil fields in the Coalinga area, California: in Bennett, J.H., and Sherburne, R.W., eds, The 1983 Coalinga area, California earthquakes, Special

- Publication 66, California Div. of Mines and Geology, Sacramento, Cal., pp. 195-199.
- Youngs, R.R. and K.J. Coppersmith, 1985a. Development of a fault- specific recurrence model: Earthquake Notes (abs.), vol 56, no. 1, p. 16.
- Youngs, R.R. and K.J. Coppersmith, 1985b. Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 75, no. 4, pp. 939-964.
- Youngs, R.R., K.J. Coppersmith, M.S. Power and F.H. Swan III, 1985. Seismic hazard assessment of the Hanford region, eastern Washington State: in Proceedings of the DOE Natural Phenomena Hazards Mitigation Conference, Las Vegas, Nevada, October 7- 11, pp. 169-176.
- Youngs, R.R., F.H. Swan, M.S. Power, D.P. Schwartz, and R.K. Green, 1987. Probabilistic analysis of earthquake ground shaking hazard along the Wasatch Front, Utah: Assessment of Regional Earthquake Hazards and Risk Along the Wasatch Front, Utah, U.S. Geological Survey Open File Report 87-585, v. II, pp. M- 1-110.
- Youngs, R.R., S.M. Day, and J.P. Stevens, 1988, Near field motions on rock for large subduction zone earthquakes: Proceedings of ASCE Specialty Conference - Earthquake Engineering and Soil Dynamics II, Park City, Utah, June 27-30, pp. 445-462.
- Yrigoyen, M.R., 1969. a. El Terciario en la Argentina. Petrotecnia. Revista del Instituto Argentino del Petróleo. Agosto 1969. 30- 40. Buenos Aires.
- Yrigoyen, M.R., 1969. b. Problemas estratigráficos del Terciario en la Argentina. Ameghiniana. Rev. Asoc. Paleont. Arg. T. VI. N 4, 313-329. Buenos Aires.
- Yrigoyen, M.R. y L.E. Stover, 1969. La palinología como elemento de correlación del Triásico de la cuenca Cuyana. IV Jorn. Geol. Arg. (Mendoza, abril 1969). Vol. II, 427-447. Buenos Aires.
- Yrigoyen, M.R., 1972. Cordillera Principal. Primer Simposio de Geología Regional

- Argentina (Córdoba, 1969). Academia Nacional de Ciencias. 345-364. Córdoba.
- Yrigoyen, M.R., 1979. Cordillera Principal. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina (Córdoba, sept. 1976). Academia Nacional de Ciencias. Vol I, 651-694. Córdoba.
- Zamarbide, J.L., J.C. Castano y A. Giuliano, 1984. "Potential damageability due to earthquakes in the Tulum Valley, San Juan, Argentina." 8th WCEE, San Francisco, U.S.A.
- Zambrano, J.J., 1978. Interpretación geológica preliminar del subsuelo de la zona norte, sector occidental, provincia de Mendoza. Centro Regional de Agua Subterránea. Publicación P-203.
- Zambrano, J.J., 1987. Las cuencas sedimentarias de América del Sur durante el Jurásico y Cretácico; su relación con la actividad magmática y tectónica. En Bioestratigrafía de los sistemas Jurásico y Cretácico de América del Sur. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico. Ed. W. Volkheimer. 1-48. Mendoza.
- Zamorano, M., 1959. "El viñedo en Mendoza" - Bol. de Estudios Geográficos, Inst. de Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, U.N. Cuyo., Mendoza.

Se terminó de imprimir en el mes de setiembre de 1995
en el Instituto Nacional de Prevención Sísmica - San Juan - Argentina