

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**"MICROZONIFICACION SISMICA DE LA
CIUDAD DE AREQUIPA"**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

Zenon Aguilar Bardales

LIMA - PERU

1991

SUMARIO

El presente trabajo trata sobre la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa en base al estudio de medición de microtrepidaciones, el cual ha sido complementado con los estudios geológico, geomorfológico, geotécnico y de evaluación de daños del Sismo del 16 de Febrero de 1979.

En el Capítulo I se hace la descripción del área en estudio, y del desarrollo y expansión del área urbana de la ciudad de Arequipa. Así mismo se presenta la información histórica e instrumental de la actividad sísmica en la región Sur Oeste del Perú, la que muestra la alta frecuencia y la gran intensidad de los sismos que afectan a la ciudad de Arequipa.

En el Capítulo II se presenta la geomorfología y la geología de la ciudad de Arequipa, en el que se describe cada una de las unidades y se indica su distribución en el área urbana.

En el Capítulo III se muestra la relación de estudios geotécnicos realizados y recopilados, en base a los que se ha obtenido las características de

las diversas unidades geológicas, proponiéndose una zonificación geotécnica de la ciudad de Arequipa.

En el Capítulo IV se muestra los resultados obtenidos del estudio de medición de microtrepidaciones en la ciudad de Arequipa, presentándose el plano de curvas isoperíodos de microtrepidaciones. Así mismo, se presenta algunos análisis de amplificación dinámica, realizados como verificación de las mediciones de microtrepidaciones. Finalmente se hace la interpretación de los resultados de este capítulo y los anteriores, y se realiza una propuesta de microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa.

En el Capítulo V se presenta la evaluación y zonificación de daños del sismo del 16-02-79 y se realiza la comparación con la zonificación propuesta, encontrándose una buena correspondencia entre éstas.

Finalmente en el Capítulo VI se presenta las conclusiones a las que se llega en este estudio.

INDICE

Pág.

- INTRODUCCION.	1
- CAPITULO I GENERALIDADES.	5
1.1 Ubicación y extensión de la zona en estudio.	5
1.2 Expansión del área urbana de Arequipa.	6
1.3 Historia sísmica de la zona.	10
1.3.1 Información Histórica.	11
1.3.2 Información Instrumental.	20
- CAPITULO II GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA.	39
2.1 Antecedentes.	39
2.2 Geomorfología.	40
2.3 Clima.	45
2.4 Drenaje y Topografía.	46
2.5 Aguas subterráneas.	48
2.6 Geología.	50
2.6.1 Distribución de las unidades geológicas.	64
2.7 Conclusiones.	67
CAPITULO III CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.	76
3.1 Estudios de Mecánica de Suelos.	76
3.1.1 Estudios realizados para la investigación.	77

3.1.2	Información recopilada de estudios particulares.	78	
3.2	Zonificación geotécnica.	79	
3.3	Conclusiones.	89	
-	CAPITULO IV	CARACTERISTICAS DINAMICAS DEL SUELO.	100
4.1	Antecedentes.	100	
4.2	Generalidades sobre microtrepidaciones.	102	
4.2.1	Descripción del equipo empleado.	105	
4.2.2	Procedimiento de la medición.	107	
4.2.3	Análisis de las microtrepidaciones.	109	
4.3	Medición de microtrepidaciones en la Ciudad de Arequipa.	112	
4.4	Amplificación dinámica de suelos.	114	
4.5	Discusión de resultados.	122	
4.6	Conclusiones.	130	
-	CAPITULO V	EL SISMO DE AREQUIPA DEL 16 DE FEBRERO DE 1979.	144
5.1	Antecedentes.	144	
5.2	Características del sismo del 16-02-79.	145	
5.3	Evaluación de daños.	147	
5.3.1	Antigüedad de las edificaciones.	152	
5.4	Zonificación de daños.	154	
5.5	Conclusiones.	160	
	CAPITULO VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	167
	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	172	

- ANEXOS

- ANEXO I	ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS.	I-1
	I.1 Registros de sondajes y ensayos relizados.	I-2
	I.2 Registros de sondajes recopilados de estudios perticulares.	I-36
- ANEXO II	FICHAS DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES.	II-1
- ANEXO III	AMPLIFICACION DINAMICA.	III-1
	III.1 Listado del programa "FRF" para amplificación dinámica.	III-2
	III.2 Espectros de amplificación obtenidos en la ciudad de Arequipa.	III-11

- PLANOS

- PLANO I	Ubicación de perforaciones y medición de microtrepidaciones de la ciudad de Arequipa.
- PLANO II	Curvas isoperíodos de microtrepidaciones de la ciudad de Arequipa
- PLANO III	Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa

INTRODUCCION

El estudio de Microzonificación Sísmica tiene por objeto delimitar las zonas con diferente comportamiento sísmico dentro de una ciudad, considerando las condiciones locales de los suelos de cimentación.

Este estudio involucra varias disciplinas, tales como: Geología, Topografía, Hidrogeología, Geotécnia, Dinámica de Suelos y Sismología, las cuales nos proporcionan la información necesaria para conocer el comportamiento sísmico de una determinada zona, e inferir los efectos de un terremoto sobre las edificaciones.

Los estudios de microzonificación sísmica tienen una gran importancia en países como el nuestro, donde existe una elevada actividad sísmica y donde, debido al nivel económico de la población, generalmente se construyen viviendas sin asesoramiento técnico y por lo tanto, sin la adecuada seguridad sísmica. Estos estudios, al determinar el comportamiento de las diferentes zonas, permiten tomar las precauciones necesarias para la protección sísmica, e inclusive, establecer prohibiciones de

construcción de cierto tipo de edificaciones en algunas zonas de la ciudad.

En el presente estudio se propone la Microzonificación Sísmica de la ciudad de Arequipa, la cual ha sido delimitada utilizando la siguiente información:

- Estudios de geomorfología y geología.
- Estudios de las características geotécnicas de los suelos de fundación.
- Evaluación del comportamiento dinámico del suelo mediante el estudio de medición de microtrepidaciones.
- Evaluación y zonificación de daños del sismo de Arequipa del 16-02-79.

Una parte de esta información ha sido recopilada de investigaciones realizadas en el área de estudio y la otra parte constituye los resultados obtenidos de los trabajos de campo realizados en el desarrollo de esta investigación.

Uno de los principales aportes de este estudio a la microzonificación sísmica de Arequipa, lo constituye el estudio de medición de microtrepidaciones, mediante el cual se ha elaborado el mapa de curvas isoperíodos de esta ciudad.

La técnica de medición de microtrepidaciones permite registrar las microvibraciones del terreno,

generadas por perturbaciones naturales o artificiales, y determinar el espectro de frecuencia y el valor de su período predominante, los cuales, como ha sido demostrado por varias investigaciones realizadas en Japón, tienen una buena correlación con los producidos por eventos sísmicos fuertes. En consecuencia, esta técnica permite evaluar el comportamiento del suelo, aún sin tener una adecuada información sobre los efectos de los sismos en un determinado lugar; por lo tanto, constituye una herramienta muy importante para realizar el estudio de microzonificación sísmica.

Este estudio se ha realizado gracias al interés del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, a través de su Laboratorio Geotécnico, de realizar estudios de microzonificación sísmica en las principales ciudades del país, y al interés del Consejo Departamental de Arequipa del Colegio de Ingenieros del Perú, de contar con una microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa. Así mismo, este estudio no se hubiera podido llevar a cabo, de no contar con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) y de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), entidades de las que quedo muy agradecido por la

oportunidad y el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación.

Este estudio es uno de los frutos de un minucioso programa de investigación que viene promoviendo el Dr. Jorge E. Alva Hurtado, a quién expreso mi reconocimiento y admiración por su espíritu investigador y por la forma como viene desarrollando este trabajo.

El autor.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1.- UBICACION Y EXTENSION DE LA ZONA EN ESTUDIO

La ciudad de Arequipa está ubicada en la provincia y departamento del mismo nombre, al occidente de la región sur del Perú.

El área en estudio se encuentra comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas:

16°20' y 16°28' de Latitud Sur.

71°30' y 71°35' de Longitud Oeste.

Estas coordenadas determinan un área rectangular de 18,500 Has., dentro de la cuál se encuentra el casco urbano de la ciudad de Arequipa y los distritos, urbanizaciones y pueblos jóvenes de la zona metropolitana.

La ciudad de Arequipa, conocida también con el nombre de "Ciudad Blanca" por sus construcciones de

sillar, es la capital del Departamento de Arequipa y en la actualidad se constituye como la segunda ciudad del Perú en importancia, ya que con su población de más de 1'000,000 de habitantes, su industria y su comercio, es el centro vital de la economía del sur del país y el polo de desarrollo de esta región.

Arequipa se encuentra localizada en el valle del río Chili, a una altura de 2,300 m.s.n.m. Está rodeada por tres volcanes: el Chachani (6,075 m.s.n.m.), el Misti (5,821 m.s.n.m.) y el Pichu Pichu (5,425 m.s.n.m.).

La ciudad de Arequipa es accesible desde otras ciudades por una amplia red de transporte terrestre y aéreo.

1.2.- EXPANSION DEL AREA URBANA DE AREQUIPA

La ciudad de Arequipa, al igual que muchas otras ciudades costeras con cierto desarrollo industrial y comercial, se ha constituido en el destino de una corriente migratoria que llega desde el altiplano buscando mejores condiciones de vida, pero generando asimismo el crecimiento desmesurado de la ciudad.

A partir de 1950 se inicia la creación de las urbanizaciones populares en las áreas periféricas, posteriormente, debido a la sequía que afectó a la región del altiplano entre los años 1955 y 1960, se produce una fuerte migración hacia Arequipa.

En la década del 70 el crecimiento de los pueblos marginales está estrechamente ligado a la acción del estado. Este rápido crecimiento y la falta de planificación ocasionó una serie de problemas en los servicios públicos, obligando a los sectores de bajos recursos, que no tenían acceso al mercado de la vivienda, a habitar áreas de difícil acceso y en muchos casos, zonas que ofrecen grandes riesgos ante la ocurrencia de fenómenos naturales.

El proceso de urbanización en Arequipa puede sintetizarse en dos periodos: el primero definido por una expansión semicontrolada, con estratos sociales medios y nativos de Arequipa afectados por los terremotos, y el segundo caracterizado por el surgimiento masivo de asentamientos ilegales, de crecimiento descontrolado, formado en su mayoría por migrantes. Las áreas de expansión han sido ocupadas de la siguiente forma:

Zona Norte: En los asentamientos ubicados en esta zona el ritmo de crecimiento

disminuye notoriamente en relación a lo ocurrido entre los periodos de 1961-1970 y 1971-1980, debido fundamentalmente a la saturación del espacio habitable, por las limitaciones geográficas y topográficas.

La expansión natural sobre terrenos eriazos (Gráficos, Apurímac y Edificadores Misti) y la proximidad al centro de la ciudad (Independencia) entre otros, han sido los factores decisivos para el asentamiento de la población en esta zona. La asesoría técnica en la construcción de viviendas alcanza un 8.56%. (Kosaka,1988).

Zona Sur-Oeste: Esta zona desde sus inicios mantiene un elevado coeficiente de edificación con lento proceso de consolidación, considerando que el 66.6% de su población es migrante. Esta zona tiene el más bajo porcentaje de asesoría técnica en la construcción de viviendas, alcanzando solamente el 2.03% (Kosaka,1988); además, presenta una topografía accidentada por

ser una cadena de cerros de suelos relativamente competentes (P. J. Hunter)

Zona Nor-Oeste: Esta zona mantiene el más alto ritmo de crecimiento entre todas las zonas, puesto que posee áreas que tienen mayores posibilidades de expansión urbana por la existencia de grandes extensiones de terrenos eriazos e infraestructuras viales que facilitan su accesibilidad (P. J. Víctor A. Belaunde, Juan Santos Atahualpa, La Tomilla, etc.).

Zona Sur: A raíz de los terremotos fueron reubicados la mayoría de los pobladores que procedían de otros lugares de la ciudad, en la actualidad mantiene cierta consolidación. La reubicación debido a los sismos de los años 1958 y 1960 (13 de Enero y Ciudad Mi Trabajo) y las facilidades en la adquisición de terrenos (P. J. 4 de Octubre), fueron los principales factores que indujeron a la población a asentarse en esta zona.

Zona Este Actualmente es la zona que aloja la mayor parte de la población de Arequipa Metropolitana y está adquiriendo mejores niveles de consolidación urbana. En esta zona la asesoría técnica alcanza el 8.33% (Kosaka,1988).

Los asentamientos 15 de Enero, Manuel Prado y Francisco Mostajo han alcanzado un alto grado de consolidación de sus viviendas. Esta zona presenta una topografía muy variada, lo que condiciona tanto la forma de ocupación urbana como la de ocupación de lote, y al mismo tiempo dificulta y encarece el tendido de redes sanitarias.

1.3.- HISTORIA SISMICA DE LA ZONA

Arequipa es una ciudad altamente vulnerable a los desastres naturales, pues además de la amenaza sísmica, que es la principal, existe la amenaza volcánica y la de inundaciones, las cuales frecuentemente han originado daños materiales y pérdidas de vidas humanas.

Se tiene conocimiento de la gran actividad sísmica en la región sur oeste del Perú, y en la región Arequipa en particular, mediante la información histórica e instrumental existente. Esta última de creciente precisión desde el año 1962, cuando se inició la implementación de la Red Mundial de Estaciones Sismográficas Unificadas.

1.3.1 Información Histórica:

Según los registros históricos, en Arequipa existe una intensa actividad sísmica, teniéndose noticias de sismos ocurridos desde la época incaica a través de informaciones recogidas por cronistas e historiadores.

De la obra de Enrique Silgado F., titulada "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)" y del trabajo realizado por el Proyecto SISRA del Centro Regional de Sismología para la América del Sur, se ha tomado la siguiente relación de los terremotos más destructores ocurridos en la zona en estudio:

*** Entre los años 1471 - 1490.-** En la época del Inca Túpac Yupanqui un gran terremoto destruyó el primitivo asiento de la ciudad de

Arequipa, en que perecieron todos sus habitantes y hubo erupción del volcán Misti. Alcanzó una intensidad de VIII de la Escala de Mercali Modificada en Arequipa.

* **Entre los años 1513 - 1515.-** Grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierra. En la costa el mar sobrepasó muchas veces la línea de playa. En Arequipa, alcanzaron intensidades de VIII de la Escala de Mercali Modificada.

* **22 de Enero de 1582.-** A las 11:30 un terremoto destruyó la ciudad de Arequipa. Perecieron más de 35 personas sepultadas entre los escombros. Intensidades: Socabaya X MMI y Arequipa IX MMI.

* **19 de Enero de 1600.-** A las 05:00 se registró un sismo causado por la erupción del volcán Huaynaputina (Omate), que arrojó cenizas y arena que oscurecieron la ciudad de Arequipa por varios días. Se desplomaron casi todos los edificios, con excepción de los más pequeños. Alcanzó una intensidad de XI de la Escala de Mercali Modificada en la zona del volcán.

* **24 de Noviembre de 1604.-** A las 13:30 ocurrió un movimiento sísmico que dejó en ruinas la ciudad de Arequipa. Un tsunami destruyó la ciudad de Arica y el puerto de Pisco. Alcanzó una intensidad de VIII de la Escala de Mercali Modificada en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Arica.

* **21 de Octubre de 1687.-** Entre las 06:00 y 07:00 horas ocurrió un sismo en Arequipa que ocasionó serios daños en sus templos y viviendas. Otros estragos ocasionó en los valles de Sihuas y Majes. Alcanzó una intensidad de VIII MMI en Arequipa, Aplao y Sihuas. En la Fig. Nº 1.1 se presenta el mapa de isosistas de este sismo, realizado por el Proyecto SISRA CERESIS (Silgado, 1985).

* **22 de Agosto de 1715.-** A las 19:00 horas ocurrió un terremoto en la ciudad de Arequipa, sintiéndose hasta Arica. Pequeños pueblos fueron sepultados por derrumbes de las partes altas. Alcanzó una intensidad de VII MMI en Arequipa.

* **08 de Enero de 1725.-** A las 08:00 horas un fuerte temblor sacudió la ciudad de Arequipa, destruyendo la mayor parte de las

casas. Siguió una gran polvareda que cubrió la ciudad. Este sismo tuvo una intensidad de VII MMI en Arequipa.

* **27 de Marzo de 1725.-** Sismo que se sintió en toda la costa del sur del Perú hasta el Callao, el pueblo de Camaná sufrió grandes daños y el mar inundó ampliamente la costa.

* **13 de Mayo de 1784.-** A las 07:36 un terremoto destruyó la ciudad de Arequipa y la mayor parte de sus templos, causando la muerte a 54 personas. Igualmente se arruinaron las poblaciones situadas dentro de un radio de 100 Km. En Arequipa alcanzó una intensidad de VII MMI. En la Fig. Nº 1.2 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por el Proyecto SISRA CERESIS (Silgado, 1985).

* **10 de Julio 1821.-** A las 05:00 un terremoto destruyó los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y el valle de Majes, en los que alcanzó una intensidad de VII MMI. El movimiento principal se sintió con gran intensidad en Lima.

* **18 de Setiembre de 1833.-** A las 05:45 un fuerte movimiento redujo a escombros parte

de la ciudad de Tacna y causó daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya. Fue Sentido en La Paz y Cochabamba, Bolivia. En la Fig. Nº 1.3 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por el Proyecto SISRA CERESIS (Silgado, 1985).

*** 13 de Agosto de 1868.-** A las 16:45 ocurrió un terremoto que alcanzó una intensidad de XI MMI, seguido por un gran "Tsunami" que arrasó gran parte del litoral peruano. Toribio Polo (1904), se refiere a este terremoto como uno de los mayores ocurridos en el Perú desde su conquista. Posiblemente el epicentro estuvo en la ciudad de Arica. Se sintió hasta unos 1400 Kms. al norte y a la misma distancia hacia el Sur, causando muchos estragos a lo largo de la costa. Este evento destruyó la ciudad de Arequipa, llegando inclusive a producir fracturamientos en los cerros de la Caldera, inmediatos a los baños Yura. En la Fig. Nº 1.4 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por el Proyecto SISRA CERESIS (Silgado, 1985) Así mismo, en la Fig. Nº 1.5 se muestra otro mapa de isosistas de este sismo, realizado por Kausel (1985).

* **03 de Noviembre de 1869.-** A las 19:30 horas se produjo un fuerte temblor en Arequipa, causando deterioros a sus edificios. En esta ciudad alcanzó una intensidad de VI MMI.

* **06 de Agosto de 1913.-** A las 17:13 un terremoto destruyó la ciudad de Caravelí. En la ciudad de Arequipa ocasionó daños en algunos edificios. Este evento alcanzó una magnitud de 7.75, llegándose a sentir hasta Chimbote por el norte y hasta Iquique por el sur. Tuvo las siguientes intensidades: Caravelí y Chuquibamba VIII MMI, Arequipa Atico, Ocoña y Caylloma VI MMI. En la Fig. Nº 1.6 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por el Proyecto SISRA CERESIS (Umlauff, 1915).

* **11 de Octubre de 1922.-** A las 09:50 se produjo un sismo de magnitud 7.4, su posición geográfica fué de 16° sur y 72.5° oeste y profundidad de 50 Kms. En Caravelí cayeron muchas casas y en la ciudad de Arequipa causó daños considerables. Intensidades: Caravelí VII MMI, Arequipa y Mollendo VI MMI.

* **05 de Agosto de 1932.-** A las 22:57 horas ocurrió un fuerte temblor en la ciudad de

Arequipa. Se produjeron ligeros desperfectos en algunas casas. En Arequipa alcanzó una intensidad de VI MMI.

* **11 de Octubre de 1939.-** A las 09:51 horas se produjo un fuerte temblor en Chuquibamba, Arequipa, causando graves daños. Alcanzó intensidades de VII MMI en Chuquibamba y de VI MMI en Arequipa y Moquegua.

* **24 de Agosto de 1942.-** A las 17:51 se produjo un terremoto en la región limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, alcanzando una intensidad de grado IX de la Escala de Mercalli Modificada. Fué sentido en una área de 18,000 Kms² y causó gran destrucción. En Arequipa tuvo una intensidad de V MMI. En la Fig. Nº 1.7 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por Silgado, 1973. (Proyecto SISRA CERESIS).

* **11 de Mayo de 1948.-** A las 03:56 un fuerte sismo afectó parte de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Este evento alcanzó una intensidad de VII MMI en Moquegua y una intensidad de VI MMI en Arequipa. Su epicentro fué ubicado a 17.4° sur y 71° oeste y su profundidad focal se estimó en unos 60-70 Km.

* **15 de Enero de 1958.**- A las 14:14 un terremoto sacudió la ciudad de Arequipa causando 28 muertos y 133 heridos. Este evento alcanzó una intensidad de VIII de la Escala de Mercalli Modificada en la ciudad de Arequipa. Por efecto del sismo todas las casas antiguas construídas a base de sillar sufrieron averías de diversa magnitud, así mismo se desprendieron enormes piedras tanto del volcán Misti como de los cerros circunvecinos. El epicentro de este sismo se ubicó a 16.5° sur y 72° oeste tuvo una profundidad focal de 90 Kms. y una magnitud de 7.3. En la Fig. N^o 1.8 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por D. Huaco, A. Rodriguez y L. Rodriguez. (Proyecto SISRA CERESIS).

* **13 de Enero de 1960.**- A las 10:40 se produjo un fuerte terremoto en el departamento de Arequipa, dejando un saldo de 63 muertos y centenares de heridos. Este evento causó la destrucción de muchas viviendas afectadas por el sismo de 1958.

El movimiento tuvo una duración de aproximadamente 20 segundos, alcanzando una intensidad de IX de la Escala de Mercalli Modificada en el área epicentral. Su posición geográfica

fué de 15.76° sur y 72.25° oeste, la profundidad focal alcanzó a 82 Km. y la magnitud a 7.5. En la Fig. N^o 1.9 se presenta el mapa de isosistas de este sismo realizado por D. Huaco, A. Rodriguez y L. Rodriguez. (Proyecto SISRA CERESIS).

* **9 de Marzo de 1960.**- A las 18:54 se produjo una violenta réplica del terremoto del 13 de Enero. En la ciudad de Arequipa cayeron cornizas ya removidas por ese gran sismo. Fue sentido en Puno, en los puertos de Matarani, Mollendo y Mejía. Este sismo tuvo una intensidad de V MMI en la ciudad de Arequipa. El epicentro estuvo ubicado a 16° sur y 72° oeste y su magnitud fue de 6.0.

* **26 de Enero de 1964.**- A las 04:00 horas se produjo un sismo en el sur del Perú. En Arequipa hubo cuatro heridos y deterioros de varias casas ya resentidas por sismos anteriores. Este sismo tuvo una intensidad de VI MMI en la ciudad de Arequipa, y una intensidad de V MMI en Mollendo y Ubinas.

* **16 de Febrero de 1979.**- A las 05:09 horas ocurrió un fuerte sismo en Arequipa, causando graves daños a las casas de adobe y

sillar, y dejando un saldo de 18 muertos. Este sismo alcanzó una intensidad de VII MMI en Camaná y Corire, una intensidad de VI MMI en Arequipa, Huancarqui, Chuquibamba, Caravelí y Ocoña, y una intensidad de V MMI en Chivay, Chala y La Joya. Tuvo una magnitud de 6.9 Ms. y su epicentro se ubicó a 16.39° S y 72.65° W, con una profundidad focal de 53 Km. En el Capítulo V se describe con más detalle este sismo, así mismo se presenta los mapas de isosistas de este sismo, realizados por Ríos e Icochea, 1979 y por Orihuela, 1981.

1.3.2 Información Instrumental:

La información instrumental se divide en dos períodos: el primero desde 1913 hasta 1962, en el que la determinación de los diferentes parámetros sísmicos fue imprecisa debido a la calidad de los sismógrafos y al pequeño número de estaciones, y el segundo a partir de setiembre de 1962, en el que el ex USCGS comenzó a determinar los epicentros con una precisión de un décimo de grado para las coordenadas geográficas y de 25 Km. para las profundidades.

Para el período de 1913 a 1962, Kosaka (1976) presenta una relación de 74 sismos ocurridos en el área comprendida entre los paralelos 15° S a 18° S y los meridianos 70° W a 75° W, los cuales han sido recopilados de los trabajos de Lazo (1962), Tapia (1967) y de boletines sísmicos de la International Seismological Summary (ISS).

En la Tabla 1.1 se presenta la relación de los 74 eventos, de los cuales un gran número no poseen todos los parámetros sísmicos. Asimismo, en la Fig. N^o 1.10 se muestra la distribución epicentral de estos eventos sísmicos, (Kosaka, 1976).

Para el periodo de 1963 a 1986 se ha obtenido una relación de sismos ocurridos en el área comprendida entre las coordenadas geográficas antes mencionadas y cuya magnitud es $M_b \geq 5.0$. En este periodo los parámetros sísmicos son más precisos y de mayor confiabilidad que el anterior.

En la Tabla 1.2 se presenta la relación de estos eventos sísmicos, los que han sido obtenidos del Catálogo de Terremotos para América del Sur, publicado por el CERESIS.

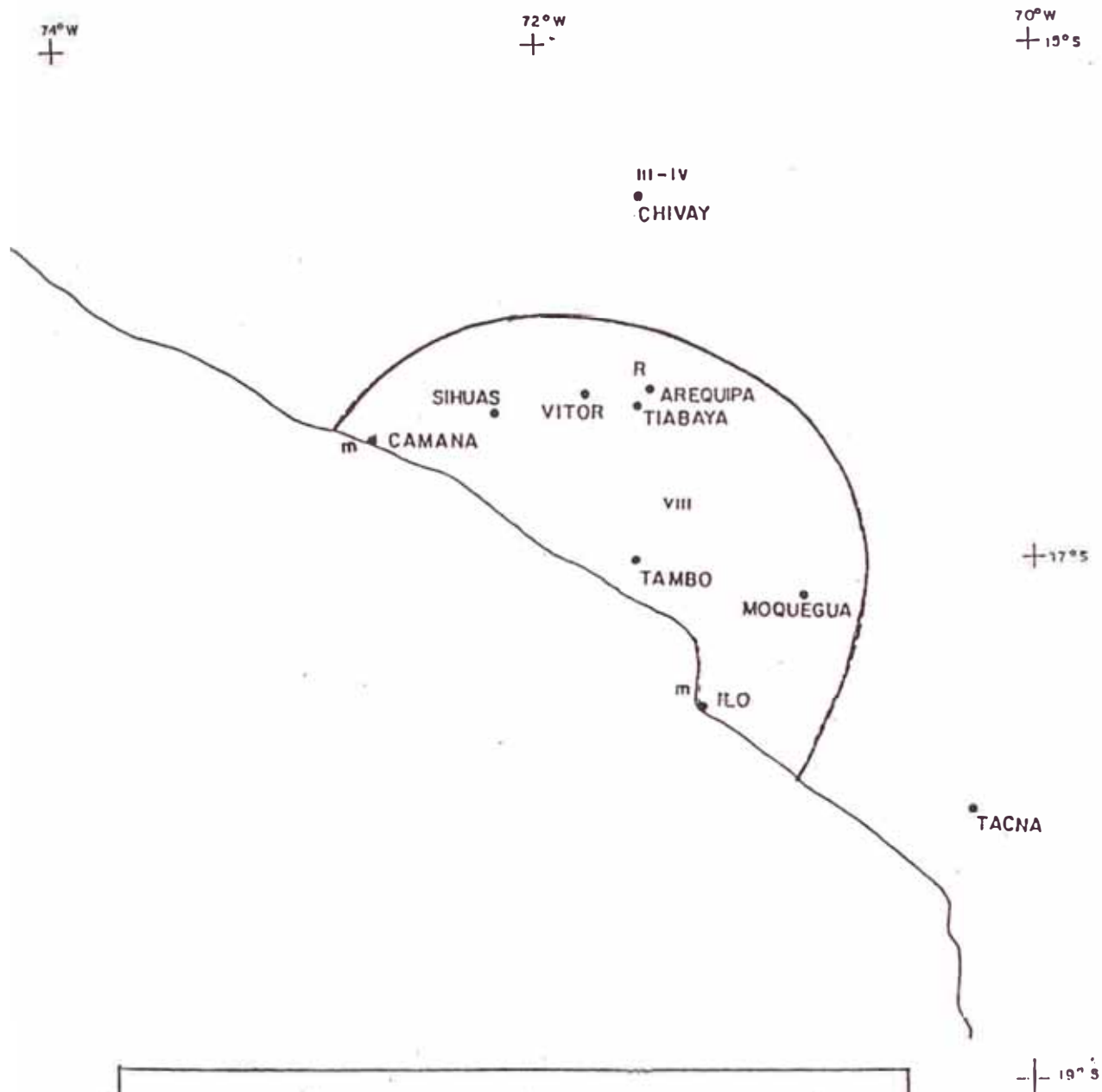
Este catálogo, que ha sido desarrollado por el Programa para la Mitigación de los Efectos de los Terremotos en la Región Andina (Proyecto SISRA), contiene información instrumental de los sismos hasta el año 1981 y ha sido actualizado hasta el año 1986 por Ramirez, 1989. El catálogo instrumental fue compilado usando datos de fuentes internacionales y datos instrumentales locales. Los datos internacionales fueron obtenidos de las compilaciones y publicaciones del U.S. Geological Survey (USGS), el U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), y el Centro Internacional de Sismología (ISC).

Estudios de la sismicidad del sur del Perú (Hasegawa and Sacks, 1981; Lazo M. y col., 1981; Rodriguez A. y col., 1984; Grange F., 1983; otros.), basados en información instrumental de la red mundial y redes locales de operación temporal, han contribuido en forma significativa al conocimiento, con relativo detalle, de la distribución espacial principalmente del área de Arequipa. Además de la forma de distribución hipocentral, ampliamente difundida, merece especial mención la identificación de dos zonas de actividad sísmica superficial entre los 16° y 17° de latitud sur, la primera

a lo largo de la costa, de probable origen inter e intraplaca, la segunda al oeste de la cadena volcánica, a unos 70 Km. de la línea de costa. (Ocola,1988).



FIG. Nº 1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MAPA: DE ISOSISTAS SISMO 13 DE MAYO DE 1784
ESCALA: DE INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA
REFERENCIA: PROYECTO SISRA CERESIS - E. SILGADO (1985)
LEYENDA : ● LOCALIDADES CON INTENSIDAD ESTIMADA
m MAREMOTO DE GRAN INTENSIDAD
R REPLICAS

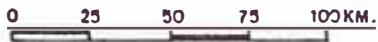
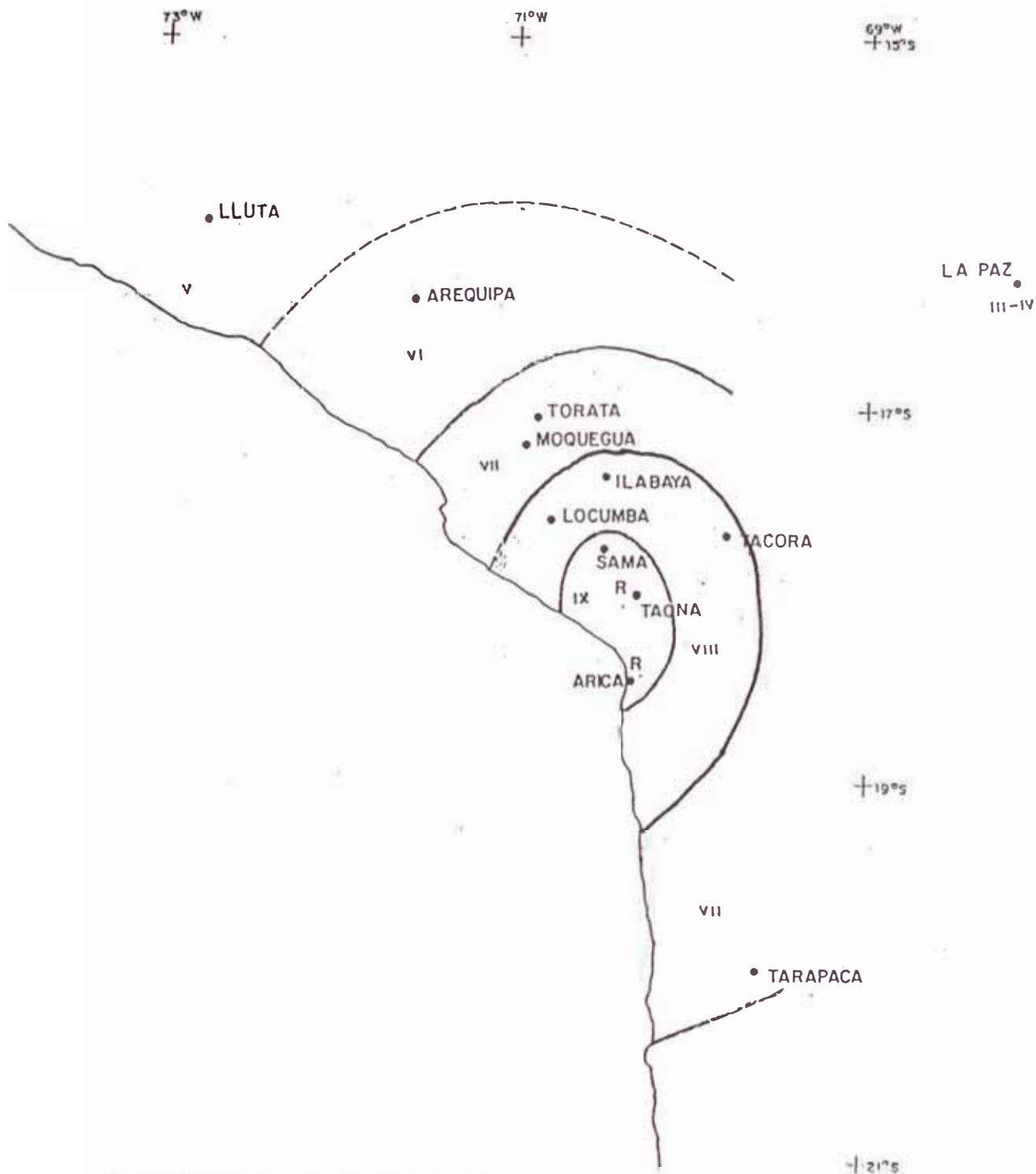


FIG. Nº 1.2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MAPA: DE ÍSOSISTAS SISMO 18 DE SETIEMBRE DE 1833
ESCALA: DE INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA
REFERENCIA: PROYECTO SISRA CERESIS-E. SILGADO (1985)
LEYENDA : ● LOCALIDADES CON INTENSIDAD ESTIMADA
R REPLICA

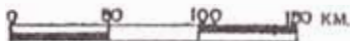
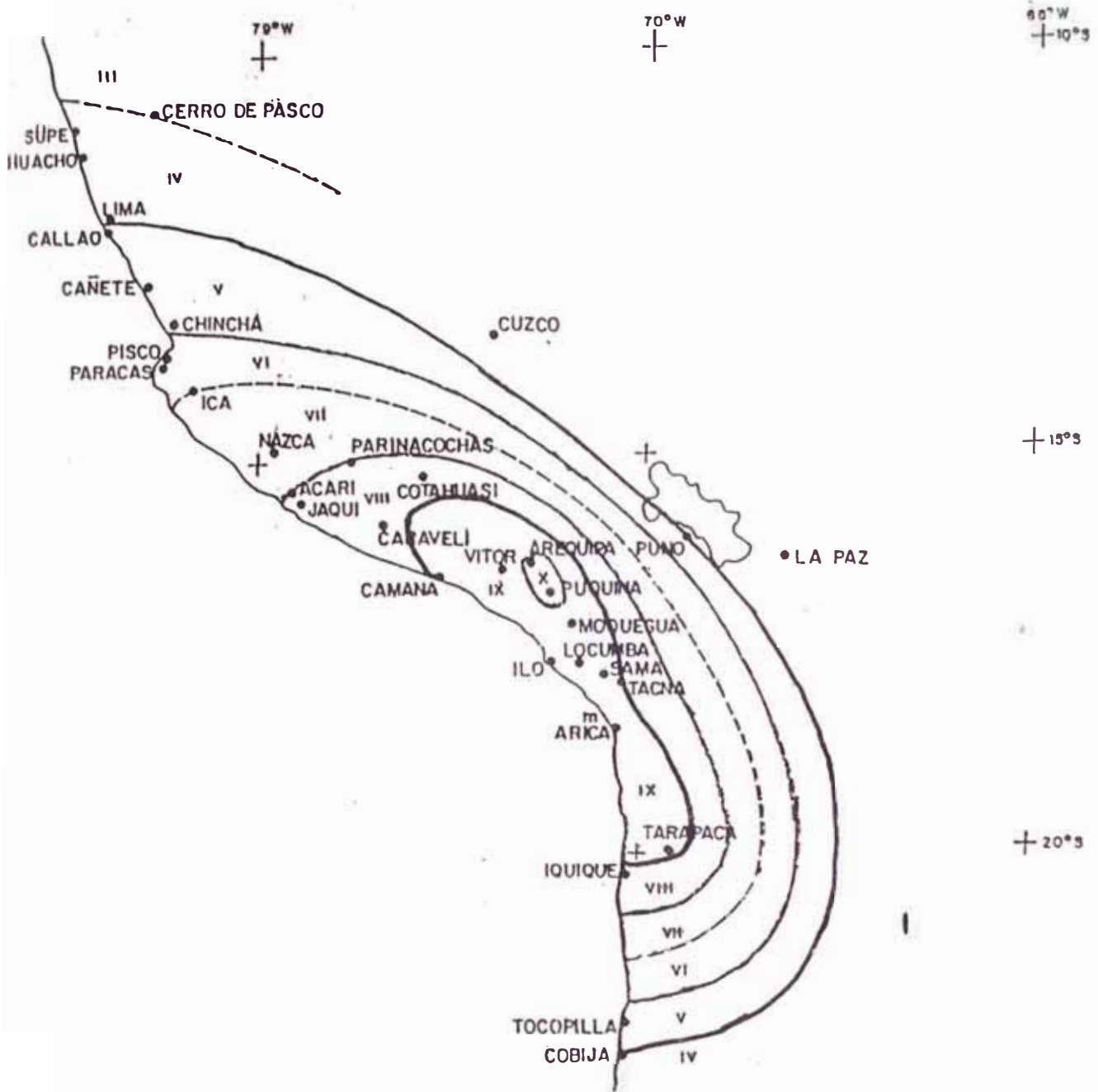


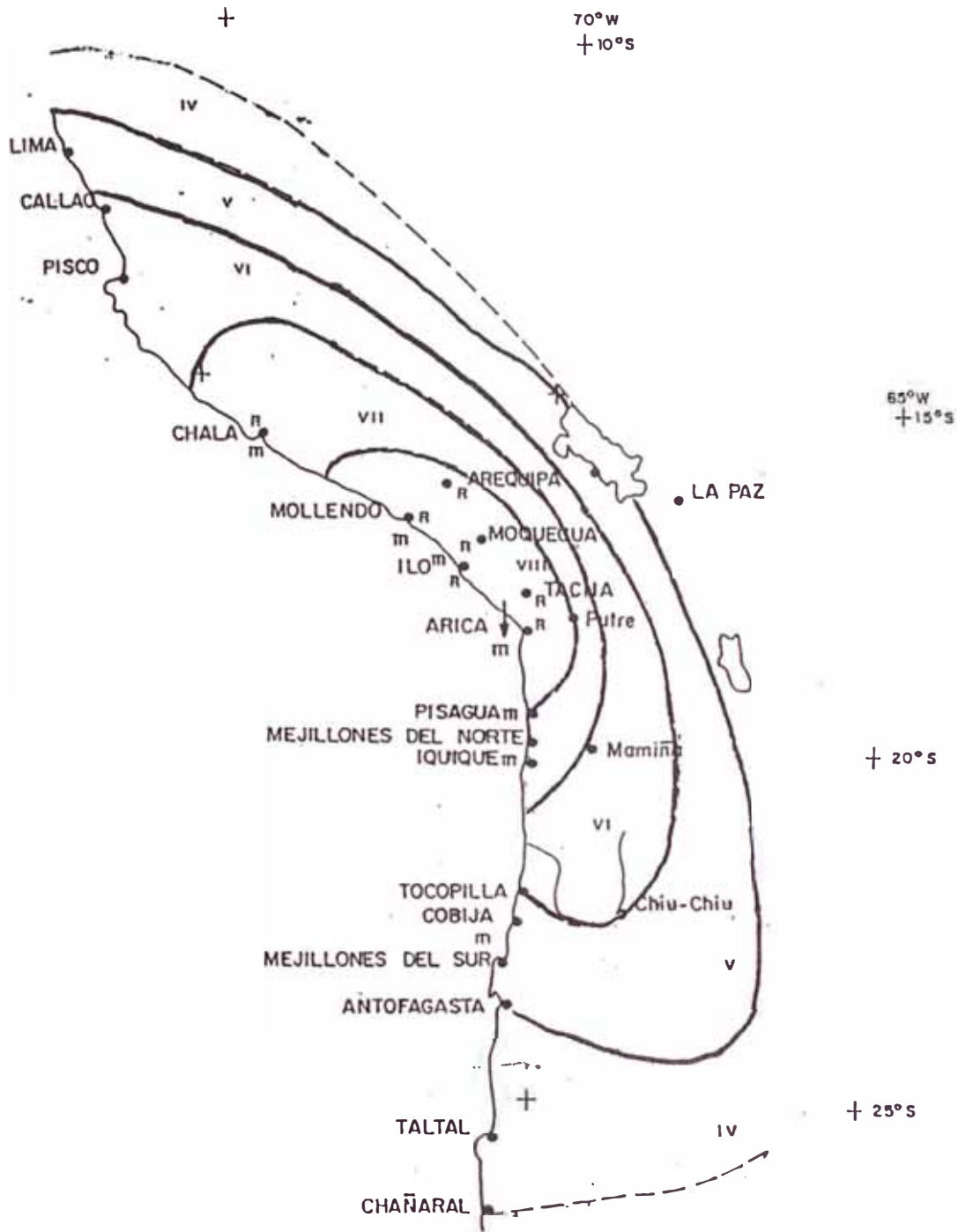
FIG. Nº 1.3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MAPA: DE ISOSISTAS SISMO 13 DE AGOSTO DE 1868
ESCALA: DE INTENSIDADES MÉRCALLI MODIFICADA
REFERENCIA: PROYECTO SISRA CERESIS-E.SILGADO (1985)
LEYENDA : ● LOCALIDADES CON INTENSIDAD ESTIMADA
m MAREMOTO DE GRAN INTENSIDAD



FIG. Nº 1.4



ESCALA 1:8.000.000.

SISMO DEL 12 DE AGOSTO DE 1868 $M=8\frac{1}{2}$; $M_l = 9$; $M_w = 9,1$. CURVAS ISOSISTAS SEGUN MERCALLI MODIFICADA. CLAVE: ● LOCALIDADES CON INTENSIDAD ESTIMADA (VER TEXTO); ↓ POSIBLE HUNDIMIENTO DE LA COSTA, R REPLICAS; m MAREMOTO DE GRAN INTENSIDAD. (Kausel, 1985)

FIG. Nº 1.5

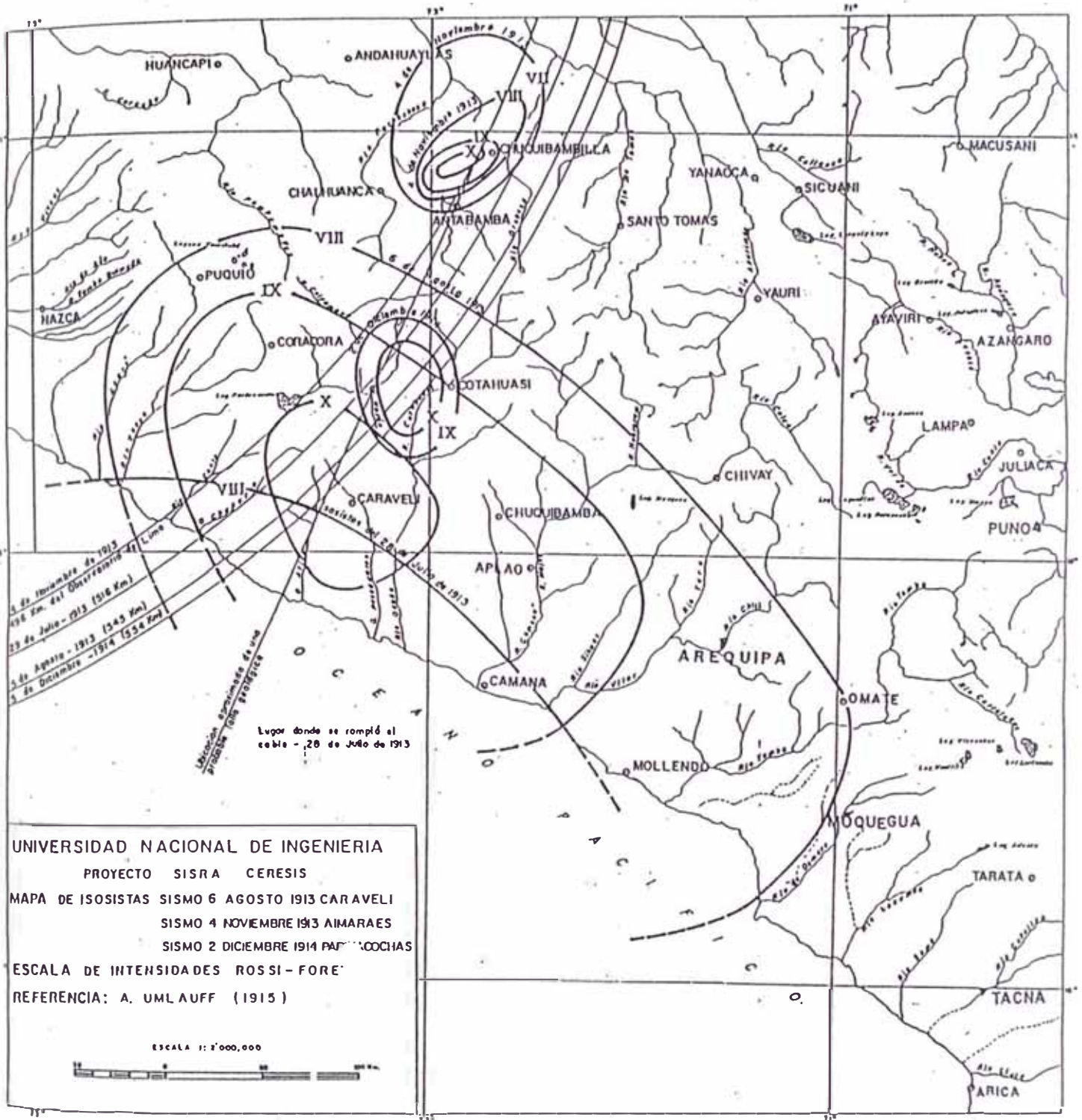


FIG. Nº 1.6

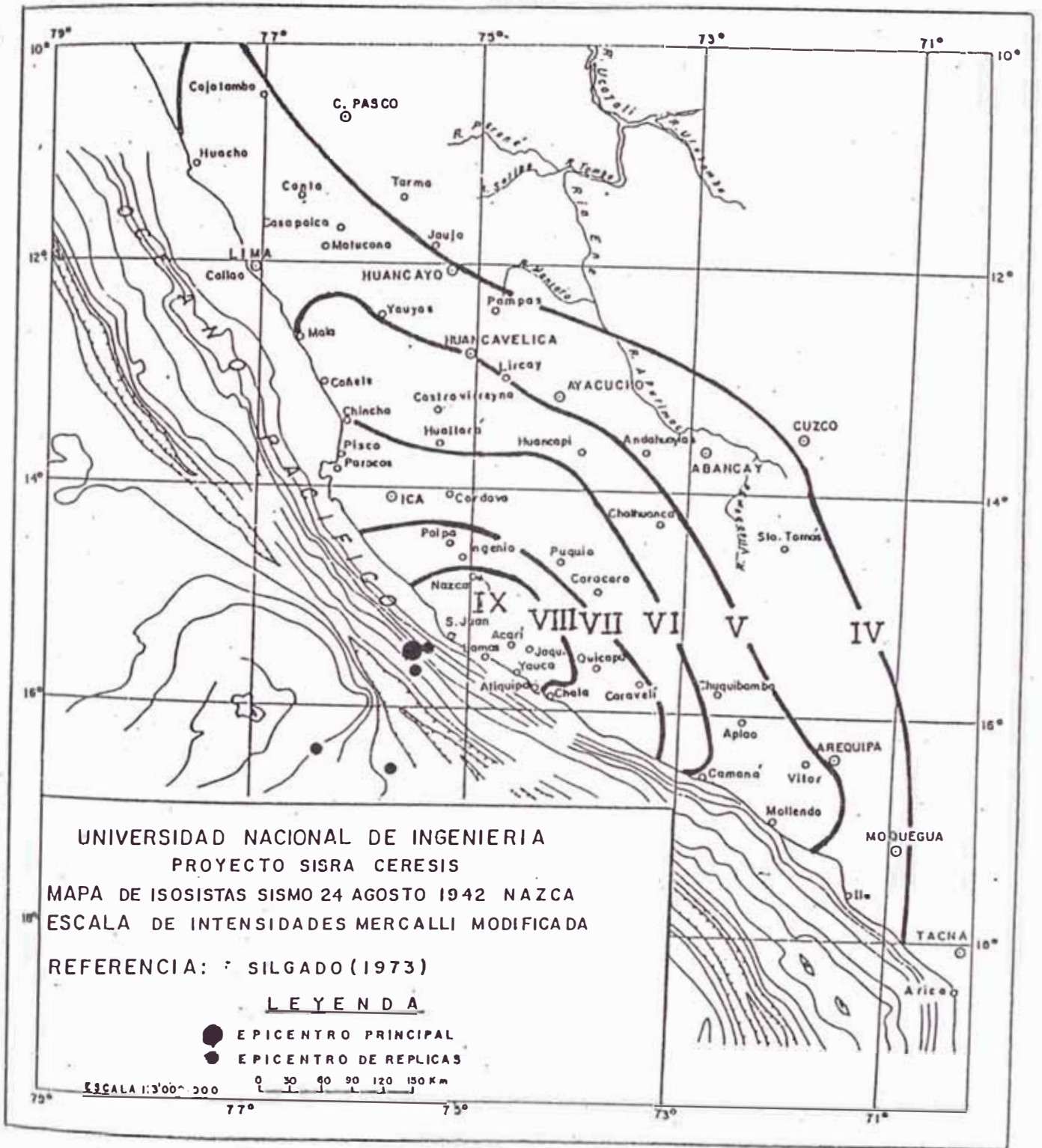


FIG. Nº 1.7

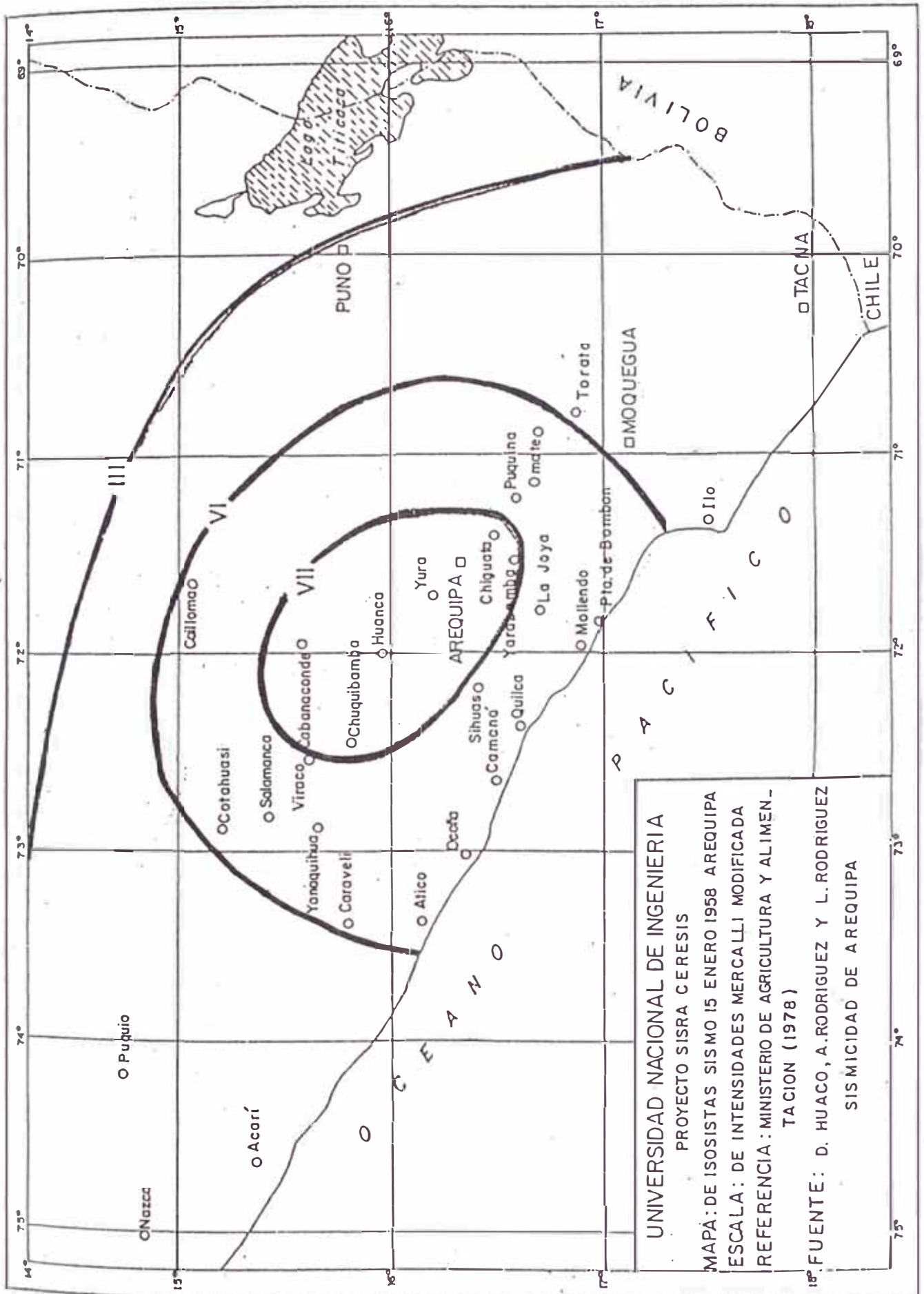


Fig. N° 1.8

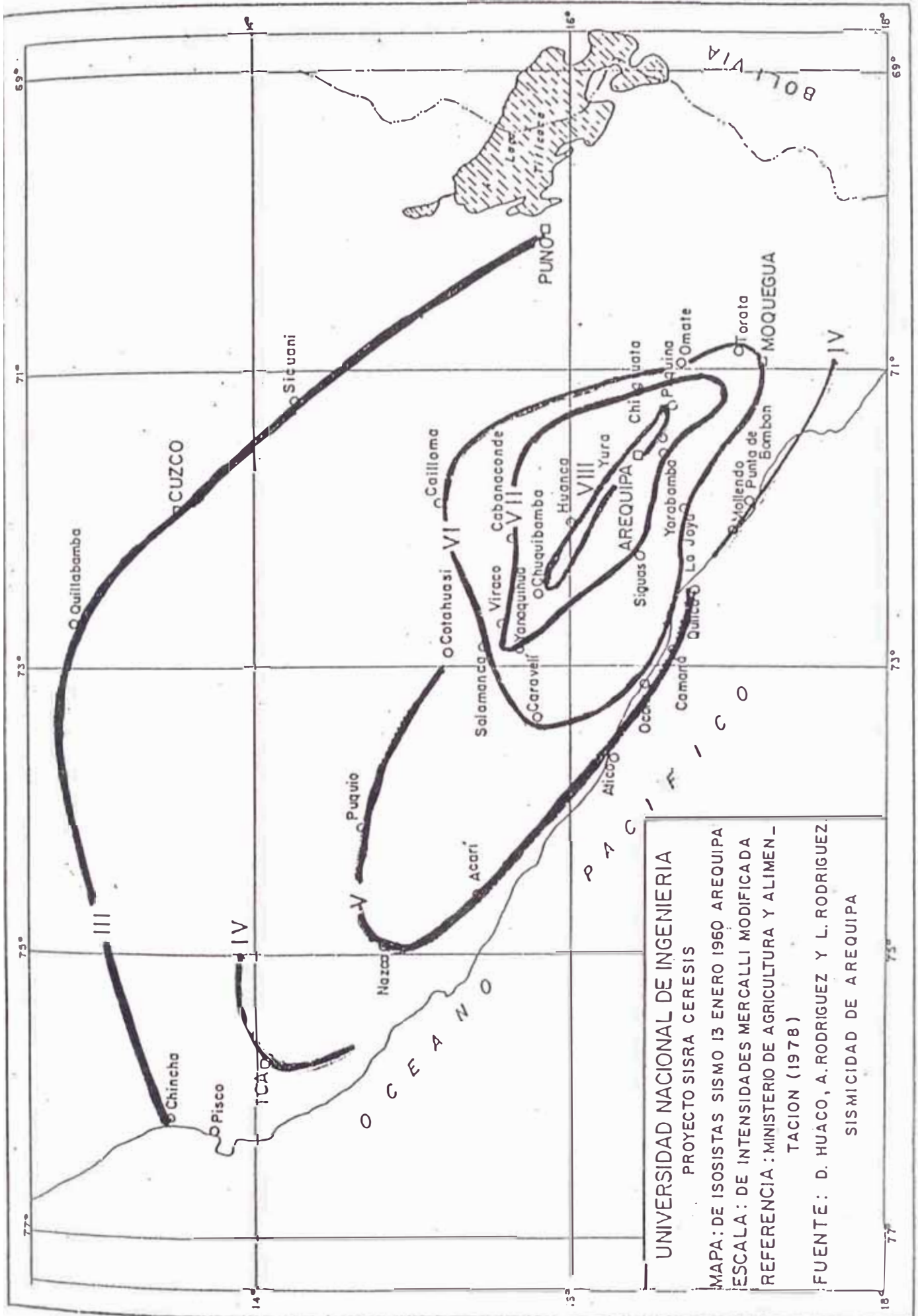


Fig. N° 1.9

TABLA Nº 1.1

RELACION DE SISMOS DEL PERIODO 1913-1962

CUADRANGULO: 13°-15° S Y 70°-75° W.

(Fuente: Kosaka, 1976).

FECHA	HORA	LAT.	LONG.	MAGN.	DIST.
28-07-13	05:39:03	17.0	74.0	7.00	N
06-08-13	22:14:04	17.0	74.0	7.75	N
06-01-22	14:11:02	16.5	73.0	7.20	N
11-10-22	14:49:50	16.0	72.5	7.40	50
21-09-28	13:27:05	15.0	70.5	6.75	250
09-12-32	08:34:55	15.0	75.0	6.50	75
26-03-35	19:54:47	15.5	73.0	6.00	120
19-09-35	09:55:47	15.5	70.0	6.50	250
04-07-36	08:52:35	18.0	70.0	6.00	140
06-09-36	17:44:13	16.0	72.5	5.75	130
29-03-37	07:49:47	15.5	71.0	6.75	120
09-07-37	17:27:40	16.0	72.0	6.00	180
13-12-39	18:45:24	17.0	74.0	5.50	100
15-10-41	09:35:15	15.5	74.0	6.00	110
16-02-43	07:28:35	15.0	72.0	7.00	190
05-07-43	21:07:54	16.0	74.0	6.75	N
06-07-43	09:40:00	17.0	70.0	5.75	160
14-03-48	21:56:42	17.0	75.0	6.75	N
11-05-48	08:55:41	17.5	70.2	7.30	70
20-07-48	11:02:17	17.0	75.0	7.10	70
03-09-48	09:39:09	18.0	72.0	--	100
21-07-49	08:01:34	16.0	74.0	6.50	100
04-03-51	11:17:33	16.0	74.0	6.75	150
28-06-51	03:37:00	16.0	72.0	--	N
19-09-51	04:14:09	17.0	71.0	--	100
27-09-51	09:08:32	17.0	72.0	--	N
03-10-51	11:07:21	17.0	71.0	--	100
20-02-52	09:10:06	16.0	74.0	--	150
21-06-52	16:31:33	18.0	72.5	--	60
17-06-53	14:08:33	15.5	75.0	--	60
02-07-53	13:31:26	15.0	75.0	--	60
20-11-53	02:28:08	17.5	70.5	--	100
12-02-54	10:08:46	17.5	70.0	--	150
29-07-54	03:23:46	16.5	70.5	--	100
03-05-56	02:11:17	16.0	74.0	--	N
17-05-56	05:59:57	16.5	72.0	--	60
10-06-56	15:19:40	18.0	74.5	--	N
25-11-56	14:15:05	17.0	71.5	--	N
01-12-56	21:24:54	17.5	72.5	--	N
15-01-58	19:14:29	16.5	71.5	7.00	100
21-02-58	03:18:25	16.0	74.5	--	N
11-03-58	21:38:56	16.0	72.0	--	N
08-06-58	15:52:23	16.0	75.0	--	N
29-06-58	03:25:42	15.5	70.5	6.50	150
19-12-58	11:14:40	16.0	72.0	--	100
13-01-59	19:06:40	16.5	71.5	--	150

FECHA	HORA	LAT.	LONG.	MAGN.	DIST.
19-07-59	15:06:10	15.0	70.5	7.00	200
19-07-59	15:36:17	15.5	71.0	---	200
31-07-59	01:51:45	16.5	71.0	---	150
13-01-60	15:40:34	16.0	72.0	7.50	200
15-01-60	09:30:24	15.0	75.0	7.00	150
13-02-60	20:40:06	17.5	70.0	---	150
09-03-60	23:54:20	16.0	72.0	---	150
16-08-60	02:47:19	16.5	71.5	---	113
26-09-60	16:58:14	15.9	72.9	---	115
28-09-60	00:05:29	16.5	73.9	---	112
11-11-60	06:53:24	16.1	72.0	---	124
13-11-60	07:10:05	15.7	71.7	---	153
29-11-60	19:17:07	15.8	73.3	---	100
17-12-60	07:38:31	15.1	73.5	---	28
22-12-60	03:47:22	16.1	72.9	---	147
30-12-60	11:03:37	16.9	70.0	---	47
08-01-61	05:21:47	15.8	73.7	---	135
01-07-61	08:10:40	15.3	74.8	---	68
28-08-61	01:28:19	15.2	70.2	---	185
28-08-61	05:40:20	17.0	70.7	---	120
05-09-61	08:37:33	16.4	72.6	---	79
24-09-61	20:22:31	15.8	73.7	---	96
28-02-62	21:12:37	15.7	74.3	---	64
19-03-62	16:04:16	16.8	73.5	---	33
04-06-62	11:53:11	16.7	73.2	---	65
25-07-62	01:55:56	16.3	75.0	---	33
08-09-62	22:21:55	15.7	73.3	---	93
22-09-62	11:45:31	15.5	73.1	---	137

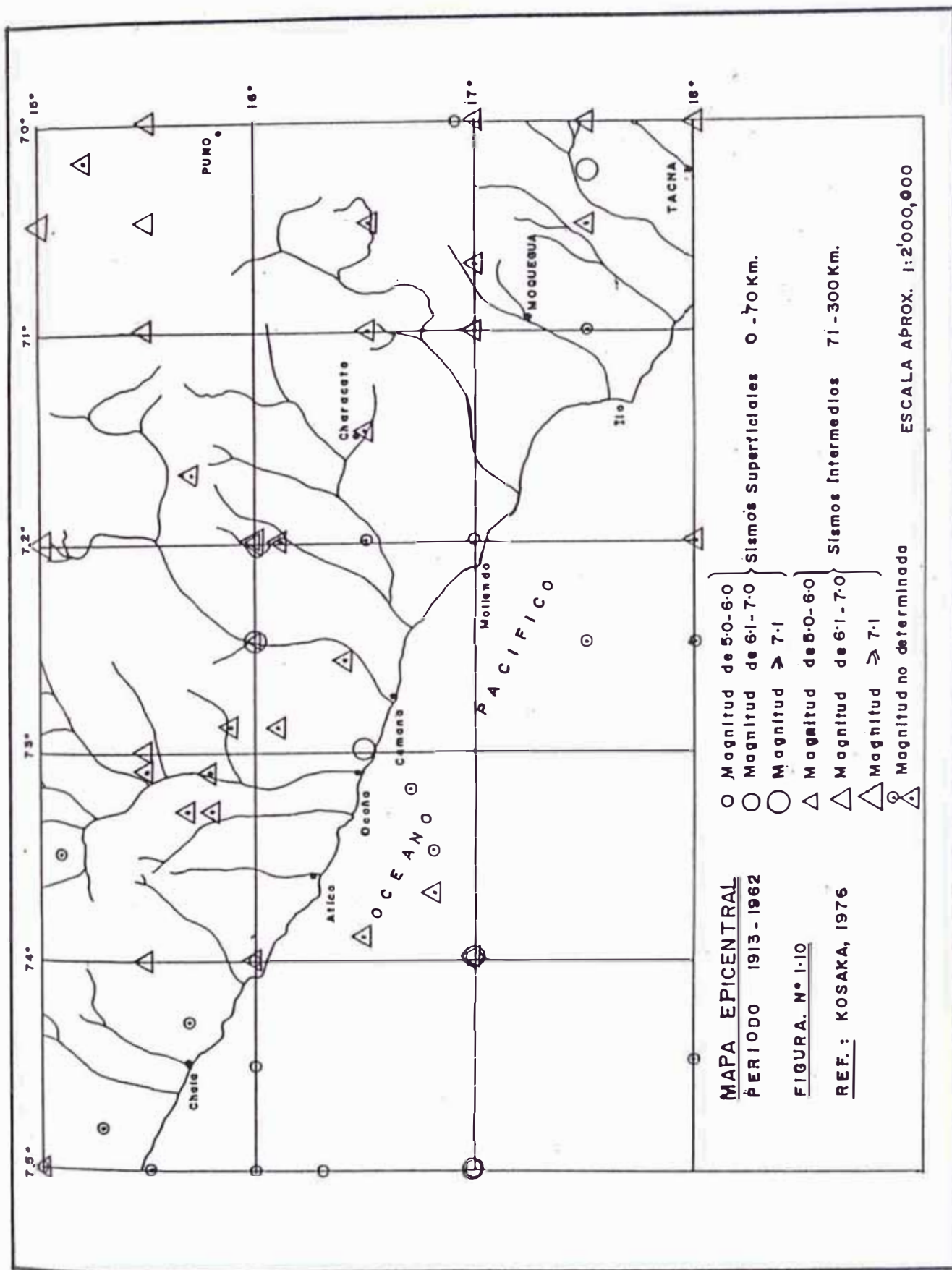


Fig. N° 1.10

TABLA Nº 1.2 RELACION DE SISMOS DEL PERIODO 1963-1986

CUADRANGULO: 13°-15° S Y 70°-75° W.

(Fuente: Catálogo SISRA, actualizado por Ramirez, 1989).

FECHA	TIEMPO G.M.T.	LOCALIZACION		PROF. FOCAL	NUM EST	MAGNITUDES						
		LAT.	LONG. Q			Mb		Ms				
A M D	H M S Q					K	Q	N	M	F	M	F
1963 02 24	05:38:19.00 X	15.100	72.500 I	97.0 I		25	5.0	C6S				
1963 02 27	11:00:42.00 X	15.100	73.600 I	105.0 I		29	5.2	C6S				
1964 01 26	09:09:34.20 X	16.310	71.660 I	119.0 I		201	6.1	C6S				
1964 06 21	06:54:46.30 X	15.130	73.390 I	89.0 I		46	5.0	C6S				
1964 07 04	12:13:45.40 X	16.350	72.360 I	89.0 I		73	5.3	C6S				
1964 08 10	07:34:52.20 X	16.720	71.020 I	105.0 I		50	5.2	C6S				
1964 09 17	07:41:12.50 X	15.640	72.930 I	100.0 I		41	5.0	C6S				
1964 10 11	14:19:13.00 X	17.950	71.690 I	47.0 I		62	5.2	C6S				
1965 03 28	10:00:00.00 X	15.820	74.080 I	69.0 I			5.3	ISC				
1965 08 08	06:32:45.50 X	17.800	70.000 I	91.0 I			5.4	C6S				
1965 12 30	06:16:04.40 X	16.560	71.100 I	114.0 I		120	5.7	C6S	6.0	BR		
1966 01 04	12:48:13.40 X	15.220	70.800 I	185.0 I			5.4	C6S				
1966 01 19	04:44:31.40 X	17.780	71.260 I	72.0 I			5.2	C6S				
1966 09 04	05:37:51.00 X	17.870	74.040 I	12.0 I			5.0	C6S				
1967 07 13	14:20:39.20 X	15.180	74.910 I	75.0 I			5.2	C6S				
1967 07 14	03:19:28.30 X	17.560	72.160 I	52.0 I		89	5.1	C6S				
1967 12 21	07:50:33.90 X	16.530	72.690 I	93.0 I			5.0	C6S				
1968 02 18	10:54:00.10 X	16.420	71.930 I	35.0 I			5.1	C6S				
1968 08 11	02:41:52.90 X	15.180	73.930 I	94.0 I			5.6	C6S				
1968 10 31	09:15:45.10 X	16.380	73.440 I	47.0 I			5.7	C6S				
1968 11 07	10:13:40.50 X	16.390	73.530 I	52.0 I			5.0	C6S				
1968 12 12	23:41:35.00 X	15.270	73.810 I	102.0 I			5.0	C6S				
1968 12 30	14:39:20.00 X	16.020	70.790 I	53.0 I			5.2	C6S				
1969 07 19	04:54:53.60 X	17.300	72.480 I	54.0 I			5.9	C6S	5.7	PA		
1969 09 02	16:35:41.90 X	17.760	71.900 I	45.0 I			5.0	C6S				
1969 12 22	00:06:05.10 X	17.000	72.830 I	61.0 I			5.2	C6S				
1970 02 13	17:26:15.90 X	16.050	71.670 I	139.0 I			5.4	C6S				
1970 02 27	14:17:25.00 X	16.150	74.900 I	32.0 I			5.1	C6S				
1970 03 03	09:15:06.20 X	15.000	72.690 I	109.0 I		77	5.0	C6S				
1970 04 01	10:50:41.90 X	15.730	75.000 I	46.0 I			5.2	C6S	4.8	CG		
1970 06 17	04:44:20.90 X	16.000	71.880 I	99.0 I			5.9	C6S				
1970 11 06	22:47:03.80 X	15.540	71.040 I	52.0 I			5.0	C6S				
1971 01 26	05:37:56.00 X	15.228	72.723 I	110.0 I			5.1	C6S				
1971 08 23	01:46:51.40 X	16.998	70.133 I	138.0 I			5.0	C6S				
1971 09 24	04:32:55.70 X	16.454	73.724 I	36.0 I			5.2	C6S	5.6	CG		
1972 02 15	21:18:19.40 X	17.616	71.265 I	60.0 I			5.7	C6S				
1972 02 21	05:31:25.10 X	16.536	71.449 I	112.0 I			5.2	C6S				
1972 04 04	23:33:39.20 X	17.165	72.453 I	79.0 I			5.0	C6S				
1972 05 21	03:50:29.60 X	15.976	73.957 I	68.0 I			5.4	C6S				
1972 08 11	10:44:28.90 X	15.486	73.311 I	104.0 I			5.1	C6S				
1972 09 06	22:49:02.60 X	16.941	71.041 I	106.0 I			5.0	C6S				
1973 03 06	14:50:22.00 X	15.368	71.350 I	155.0 I			5.2	C6S				

FECHA	TIEMPO G.M.T.	LOCALIZACION		PROF. FOCAL		NUM EST	MAGNITUDES					
		LAT.	LONG. Q	K	Q		Mb		Ms			
A	M					D	H	M	S	Q	M	F
1973 05 19	18:18:33.70 X	15.617	73.902 I	101.0 I			5.2	CGS				
1973 07 28	22:18:15.10 X	16.026	71.259 I	109.0 I			5.7	CGS				
1973 10 12	18:04:30.30 X	16.127	74.127 I	56.0 I			5.3	GS	4.6	GS		
1974 04 25	08:56:42.70 X	17.196	70.684 I	28.0 I			5.3	GS	4.8	GS		
1974 07 26	08:59:43.30 X	16.419	71.276 I	116.0 I			5.0	GS				
1974 10 31	08:58:20.80 X	15.439	71.050 I	50.0 I			5.1	GS	4.8	GS		
1974 10 31	14:34:06.00 X	15.522	71.043 I	58.0 I			5.2	GS				
1974 11 07	13:17:39.10 X	15.510	70.611 I	173.0 I			5.4	GS				
1975 01 23	11:04:14.80 X	15.406	72.937 I	105.0 I	126		5.3	ISC				
1976 10 25	22:19:06.40 X	17.907	71.512 I	47.0 I	78		5.2	ISC				
1976 10 28	09:59:29.60 X	15.025	73.732 I	84.0 I	19		5.3	GS				
1976 11 03	17:09:12.20 X	16.758	71.881 I	94.0 I			5.1	GS				
1976 12 26	13:22:57.80 X	16.472	73.506 I	67.0 I			5.0	GS				
1968 08 11	02:41:52.90 X	15.180	73.930 I	94.0 I			5.6	CGS				
1968 10 31	09:15:45.10 X	16.380	73.440 I	47.0 I			5.7	CGS				
1968 11 07	10:13:40.50 X	16.390	73.530 I	52.0 I			5.0	CGS				
1968 12 12	23:41:35.00 X	15.270	73.810 I	102.0 I			5.0	CGS				
1968 12 30	14:39:20.00 X	16.020	70.790 I	53.0 I			5.2	CGS				
1969 07 19	04:54:53.60 X	17.300	72.480 I	54.0 I			5.9	CGS	5.7	PA		
1969 09 02	16:35:41.90 X	17.760	71.900 I	45.0 I			5.0	CGS				
1969 12 21	13:03:54.60 X	16.540	72.660 I	87.0 I			5.0	CGS				
1969 12 22	00:06:05.10 X	17.000	72.830 I	61.0 I			5.2	CGS				
1979 02 16	10:08:51.90 X	16.515	72.599 I	41.0 I			6.2	GS	6.9	PA		
1979 02 16	22:18:20.30 X	16.619	72.685 I	55.0 I			5.5	GS	5.2	GS		
1979 02 17	15:41:15.40 X	16.693	72.691 I	80.0 I			5.1	GS	4.2	IS		
1979 02 20	14:02:44.40 X	16.747	72.783 I	69.0 I	76		5.0	ISC				
1979 03 07	06:21:12.00 X	16.097	72.013 I	135.0 I			5.1	GS	3.5	IS		
1979 03 11	14:40:30.80 X	16.878	72.799 I	78.0 I			5.0	GS				
1979 03 21	02:52:36.10 X	16.762	72.560 I	73.0 I			5.1	GS	4.7	IS		
1979 04 25	22:18:05.90 X	15.413	72.682 I	121.0 I			5.0	GS				
1979 05 21	22:22:22.90 X	15.444	70.047 I	209.0 I			6.0	GS	6.2	IS		
1979 06 25	20:42:04.00 X	17.941	71.463 I	65.0 I			5.0	GS	4.2	GS		
1979 07 03	03:00:51.60 X	16.729	73.121 I	83.0 I			5.1	GS				
1979 10 11	08:30:47.20 X	16.822	73.572 I	68.0 I			5.0	GS				
1979 11 15	13:36:33.30 X	16.226	74.733 I	49.0 I			5.4	GS	4.8	GS		
1980 03 07	08:25:09.30 X	16.681	72.761 I	53.0 I	191		5.4	ISC	5.9	BR		
1980 05 14	14:44:17.50 X	17.228	72.989 I	41.0 I	36		5.1	ISC	4.5	GS		
1980 06 23	18:35:22.40 X	15.877	74.193 I	59.0 I	86		5.0	ISC				
1980 11 09	14:11:08.50 X	16.939	72.759 I	55.0 I	82		5.1	ISC				
1981 02 13	19:58:52.00 X	15.648	74.528 I	63.0 I	222		5.6	ISC	5.2	BR		
1981 05 02	19:16:32.40 X	17.812	71.762 I	15.0 I			5.1	GS				
1981 05 22	03:08:14.00 X	16.239	71.563 I	125.0 I			5.0	GS				
1981 08 11	23:47:12.10 X	16.623	72.683 I	84.0 I			5.0	GS				
1981 10 08	22:25:46.40 X	17.499	70.239 I	104.0 I	126		5.1	ISC				
1981 11 15	08:43:35.20 X	17.882	73.520 I	33.0 I	17		5.0	ISC				
1982 03 11	20:13:07.90 X	17.150	71.980 I	34.0 I	51		5.1	ISC	4.3	IS		
1982 04 16	18:05:10.70 X	17.000	73.070 I	39.0 I	47		5.0	ISC	4.9	IS		
1982 07 11	02:13:36.90 X	16.720	73.210 I	34.0 I	200		5.4	ISC	5.2	IS		
1982 07 12	15:05:27.00 X	17.200	73.300 I	52.0 I	17		5.1	ISC				

FECHA	TIEMPO G.M.T.	LOCALIZACION		PROF. FOCAL	NUM EST	MAGNITUDES						
		LAT.	LONG. Q			K	Q	N	Mb		Ms	
A	M			D	H				M	S	Q	M
1982 10 16	11:12:19.20 X	16.290	73.650 I	64.0 I		54	5.0	ISC	4.6	NE		
1982 10 17	08:35:24.80 X	15.670	73.090 I	109.0 I		75	5.2	ISC				
1982 11 22	04:20:31.70 X	16.550	73.430 I	39.0 I		30	5.0	ISC	3.9	IS		
1983 04 05	23:17:44.30 X	15.940	74.480 I	71.0 I		13	5.0	ISC				
1983 04 21	03:27:58.00 X	16.500	73.300 I	63.0 I		23	5.1	NEI				
1983 04 28	05:13:06.10 X	16.240	74.220 I	72.0 I		14	5.2	NEI				
1983 05 15	14:50:00.40 X	16.120	73.310 I	88.0 I		84	5.0	ISC				
1983 11 12	13:53:34.90 X	15.800	74.080 I	94.0 I		139	5.2	ISC				
1983 12 19	06:26:03.50 X	15.420	74.580 I	71.0 I		62	5.2	ISC				
1984 02 26	08:18:16.80 X	17.320	70.530 I	88.0 I		418	5.8	ISC				
1984 04 03	05:04:33.10 X	16.090	73.140 I	99.0 I		62	5.0	ISC				
1984 04 08	22:35:09.20 X	15.750	71.980 I	133.0 I		56	5.0	ISC				
1984 04 25	11:15:12.30 X	17.880	70.690 I	103.0 I		31	5.0	ISC				
1984 06 18	11:20:15.50 X	15.660	72.450 I	95.0 I		426	5.8	ISC				
1984 09 12	19:17:51.40 X	15.750	71.860 I	134.0 I		159	5.0	ISC				
1984 09 20	09:53:46.10 X	15.050	73.450 I	108.0 I		140	5.2	ISC				
1984 12 27	08:07:29.00 X	16.600	73.900 I	33.0 I		6	5.0	ISC				
1985 03 26	19:28:34.80 X	15.280	71.790 I	131.0 I		108	5.0	ISC				
1985 07 09	21:54:29.00 X	17.400	72.880 I	47.0 I		47	5.0	ISC	4.0	IS		
1985 07 10	05:50:25.00 X	17.220	72.760 I	57.0 I		73	5.0	ISC				
1985 10 01	04:26:06.30 X	17.920	73.010 I	33.0 I		23	5.1	ISC				
1986 03 12	14:41:36.00 X	17.600	72.600 I	62.0 I		15	5.0	ISC				
1986 06 27	21:48:55.70 X	16.190	73.560 I	85.0 I		71	5.0	ISC				

CAPITULO II

GEOMORFOLOGIA Y GEOLOGIA

2.1.- ANTECEDENTES

Debido a que las informaciones existentes sobre la geomorfología y geología de Arequipa describen al área desde el punto de vista regional, considerando a la zona de interés para el presente estudio en forma muy general y, los estudios geológicos de carácter local que han sido desarrollado con otros fines no satisfacían los requerimientos de esta investigación, se solicitó la colaboración del Ing. Calixtro Yanqui para que realizara el cartografiado de las unidades geológicas de la ciudad de Arequipa, en forma detallada y con la mayor precisión posible.

Este estudio constituye en parte una recopilación de trabajos, que sobre la geología de Arequipa, han sido realizados por el Servicio de Geología y Minería y por la Facultad de Geología de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, así

como también de estudios geotécnicos efectuados por particulares, los que han sido complementados con la información obtenida de los trabajos de campo llevados a cabo para esta investigación. Sin embargo tiene carácter de preliminar en cuanto se refiere a la geología del cuaternario, pues existe una gran falta de información del subsuelo y algunas incongruencias en las relaciones geocronológicas de los sedimentos, que sólo una investigación minuciosa conseguirá descifrarlas.

2.2.- GEOMORFOLOGIA

Los terrenos que ocupa la ciudad de Arequipa presentan tres unidades geomorfológicas mayores: la Cordillera de Laderas, la Cadena del Barroso y la Penillanura de Arequipa.

- 1.- **Cordillera de Laderas (GM-CL).**- Esta unidad ocupa el límite sur de la ciudad y está bordeada por los ríos Chili, Socabaya y Yarabamba. Se caracteriza por presentar un relieve de cerros moderadamente conspicuos, con relieve marcadamente dendrítico y esporádicamente paralelo. La superficie del terreno es rocosa, en la vecindad de los ríos aparecen afloramientos desnudos, aumentando su cobertura hacia las

cumbres con bloques que llegan a tener varios metros de diámetro.

Esta unidad se caracteriza por una fracturación primaria originada por el enfriamiento del Plutón que burila el drenaje, y un sistema de fracturamiento secundario en forma de clivaje de compresión, en la unidad oscura gabrodiorítica. La meteorización es actualmente bastante eficaz y tiene las características propias de los climas desérticos.

2.- Cadena del Barroso (GM-cB).- Con este nombre se describe las estribaciones de las tres montañas altas que tutelan a la ciudad de Arequipa: los volcanes Chachani, Misti y Pichu Pichu. El relieve de esta unidad se caracteriza por mostrar una superficie inclinada, cortada por numerosas quebradas de paredes empinadas, las que conforman un sistema de drenaje paralelo a subparalelo, controlado principalmente por la topografía. En algunos casos la rápida erosión debida a la agresividad de los torrentes, llega a formar pequeños cañones de vertientes altamente inestables.

Esta unidad está asociada a las erupciones volcánicas de la Cordillera del Barroso y a los

depósitos que se originaron por la actividad postvolcánica.

3.- Penillanura de Arequipa (GM-pA).- Es una unidad ligeramente plana, inclinada hacia el oeste con una pendiente de aproximadamente 4%. Esta superficie, que está conformada por materiales tufáceos hacia el oeste y materiales detríticos hacia el este, constituye el terreno de cimentación de la ciudad de Arequipa.

Existen bastantes evidencias de que esta unidad está formada por materiales de distinta naturaleza que rellenaron una antigua depresión formada por las rocas ígneas de la Caldera. Dentro de esta unidad se pueden distinguir las siguientes subunidades:

a) Valle del Chili (GM-pA-vCh).- Actualmente el río Chili profundiza su cauce en algunos lugares y deposita materiales en otros, con una clara tendencia a la profundización, sobre todo al costado del volcán Misti, donde ha formado un cañón bastante profundo que se extiende hasta el retiro de Santa Luisa. Como testigos de la actividad geomórfica cambiante del río Chili que divide a la ciudad en dos partes, existen hasta

tres terrazas formadas por un proceso cíclico de erosión y colmatación, incluyendo la terraza actual que se halla entre uno y dos metros de altura sobre el cauce de estiaje.

- b) **Superficie del Cercado (GM-pA-sC).**- Son los terrenos donde se asentó inicialmente la ciudad de Arequipa, constituyen una parte de la peneplanicie formada por los materiales de aluvionamiento provenientes de las estribaciones del volcán Misti.

Esta superficie tiene una pendiente de 5% a 6% hacia el suroeste y es cortada por quebradas agresivas como las de Independencia, San Lázaro y Miraflores, algunas de las cuales tienen su origen en la cumbre del Misti.

- c) **Superficie de Socabaya (GM-pA-sS).**- Conformada por el área que se extiende al sureste de la Plaza de Armas. Se caracteriza por exhibir una textura suave y una tendencia casi horizontal, con abundancia de geoformas positivas suaves como cerros, montes y dorsos de pequeña altura.

Esta superficie está cortada por dos ríos y bordeada por otro: Sabandía, Mollebamba y Yarabamba, respectivamente. Estos ríos están asociados a sendos campos de cultivo, que cambian la desértica monotonía del paisaje. En algunas depresiones el nivel freático alcanza a la superficie del terreno, formado pequeños pantanos (Yanqui, 1988)

- d) **Superficie de Pachacútec (GM-pA-sP).**- Es una superficie casi plana, de topografía suave y habitualmente de color rosáceo, asociada a los tufos rosados del volcánico Sencca. Esta superficie se caracteriza por la presencia de accidentes negativos como quebradas anchas y poco profundas y depresiones que son utilizadas en la agricultura. Es interesante observar en esta zona que la agricultura se asienta en las partes bajas y fértiles y los pueblos en las partes altas y estériles.

Desde el punto de vista geomorfológico, la superficie de Pachacútec, en oposición a la superficie de Socabaya, está definida por el nivel de cumbres.

e) **Superficie del Aeropuerto (GM-pA-sA).**-

Esta superficie se extiende al nor-oeste de la ciudad de Arequipa en los terrenos del denominado "cono norte" y se caracteriza por la presencia de quebradas medianamente profundas y paredes bastante empinadas. Esta superficie es aproximadamente plana y se inclina hacia el sur-oeste en concordancia con la tendencia general de la penillanura de Arequipa.

En la Fig. Nº 2.1 se presenta el Plano Geomorfológico de la ciudad de Arequipa, (Yanqui, 1990).

2.3.- CLIMA

La ciudad de Arequipa presenta un clima predominantemente desértico, con algunos meses cálidos (noviembre y diciembre) y algunos meses fríos (junio y julio), con precipitaciones irregulares en verano. La humedad relativa es en promedio 57.1%, presentándose una elevada insolación y grandes oscilaciones diarias de temperatura.

El promedio anual de precipitación en la ciudad de Arequipa es del orden de 62 mm., siendo

mínima la precipitación en los meses de Abril a Agosto y máxima en los meses de Enero a Marzo.

El promedio mensual de temperatura arroja un máximo promedio de 24°C para los meses de Diciembre a Marzo y un mínimo promedio de 3.7°C para los meses de Junio y Julio.

2.4.- DRENAJE Y TOPOGRAFIA

El área de la "Penillanura de Arequipa" presenta una superficie suavemente ondulada, de forma triangular, comprendida entre las localidades de Arequipa, Yura y la confluencia de los ríos Chili y Yura. Está rodeada de cerros altos que forman parte de la Cordillera de Laderas y de las estribaciones del Altiplano, presentando un sistema de quebradas paralelas, con caudales temporales y secciones transversales en forma de "V", las cuales drenan hacia los ríos ya mencionados.

Las altitudes de esta superficie ascienden desde los 1,800 m.s.n.m. hasta los 2,600 m.s.n.m., estando inclinada hacia el sur-oeste con una pendiente de aproximadamente 4%.

El drenaje superficial de la ciudad de Arequipa ocurre por los ríos Chili, Socabaya, Mollebamba y Yarabamba, que son los colectores mayores y que confluyen en la base de la Cordillera de Laderas. Los colectores secundarios están constituidos por quebradas de gran recorrido que atraviesan la ciudad, como San Lázaro, Miraflores, Santa Rosa, Paucarpata y Characato en la margen izquierda, y la quebrada de Cerro Colorado en la margen derecha.

En términos generales el drenaje es paralelo, con tendencia general a los 45° SW. El control del drenaje es principalmente topográfico, gobernado por el gradiente del terreno y, en algunos pocos lugares, por la litología. Así por ejemplo, se tiene que el drenaje del cono volcánico Misti es principalmente radial, mientras que en la penillanura de Arequipa es claramente paralelo, con cambios locales de dirección, como ocurre en el distrito de Cayma, donde el drenaje sigue la dirección norte-sur. El drenaje en la Cordillera de Laderas es básicamente dendrítico y está controlado por las litoclasas y las estructuras geológicas mayores.

Las quebradas permanecen secas durante casi todo el año, llegando a convertirse en verdaderos torrentes durante las lluvias intensas del verano,

como ocurrió en febrero de 1971 y, últimamente en marzo de 1989.

2.5.- AGUAS SUBTERRANEAS

En el subsuelo de la ciudad de Arequipa existe un acuífero de manto libre, que forma parte del acuífero regional que discurre en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes y cuya principal fuente de alimentación se halla en la altiplanicie andina, comprendiendo las Pampas de Cañahuas, Sumbay y Arrieros en el noroeste, y las Pampas de Cebadillas, Yanacancha, Ancasi y Pichu Pichu en el noreste. En concordancia con la tendencia general de la topografía que prevalece en la región, el mencionado manto tiene una dirección de flujo NE-SW, exhibiendo perturbaciones locales que son originadas por los accidentes geográficos y geológicos menores. Así por ejemplo, la Cordillera de Laderas constituye un dique subterráneo natural de baja permeabilidad, que levanta el nivel freático generando manantiales y bofedales. La perturbación hidrogeológica local más importante está dada por el río Chili, que genera una microcuenca bordeada por los dorsos Huaranguillo-Challapampa en la margen derecha y Huasacache-Hayrapampa en la margen izquierda.

Según esta descripción, el nivel freático coincide o está muy cerca de la superficie del terreno en la línea limítrofe de la Cordillera de Laderas, que comprende un tramo del río Socabaya, Las Peñas, El Pasto, Bellapampa, Huasacache, Tingo, Sachaca y Huaranguillo, aumentando su profundidad hacia la Cadena del Barroso, con una pendiente promedio de 1.5%, dando lugar a la aparición de manantiales en la línea de intersección con las estribaciones del Barroso, como El Milagro, Yumina y Jesús.

Es importante observar que este manto es contaminado en algunos lugares por las aguas juveniles y los gases asociados a la actividad de los volcanes, aumentando su temperatura y contenido de sales agresivas, como ocurre con las fuentes hidrotermales de Jesús, Yura y Socosani, reconocidas por su valor medicinal.

En ambas márgenes del río Chili se ha observado que la fluctuación del nivel freático es de 0.60 m. en promedio, para un ciclo hidrológico anual (Yanqui, C. y Tupa, N, 1990).

En la Fig. Nº 2.2 se presenta el Plano Hidrogeológico de la ciudad de Arequipa realizado por Tupa Fernandez, (1990).

2.6.- GEOLOGIA

En la geología regional de Arequipa se hallan unidades litológicas de naturaleza ígnea, sedimentaria y metamórfica, cuyas edades comprenden desde el precambriano hasta el cuaternario reciente. En la Tabla Nº 2.1 se presenta la columna estratigráfica de la geología del cuadrángulo de Arequipa (Vargas, 1970).

En la ciudad de Arequipa se presentan las siguientes unidades litológicas:

- 1.- **Gneis Charcani (Pe-gn).**- Es la roca más antigua de la región y aflora cerca de la Central Hidroeléctrica de Charcani y en la vecindad del pueblo de Mollebamba. Jenks (1948) la describe como un gneis típico de inyección granítica, bastante duro, de color marrón claro, algo grisáceo y constituido por feldespato, cuarzo y biotita, con una foliación marcada y una inclinación general al nor-oeste. También aflora en la mina de Cerro Verde, donde tiene un color gris oscuro a gris claro y, en partes un color rosado pálido, con estructuras geológicas bandeadas y, en algunos casos, como lentejuelas.

Se le asigna una edad precambriana y se le correlaciona con las rocas similares del Complejo Basal de la Costa. (Vargas, 1970).

2.- Rocas Sedimentarias Mesozoicas.- Con esta denominación se describe a un grueso paquete de rocas sedimentarias de edad mesozoica que se extiende desde el Liásico hasta el Jurásico Superior, conocidas como: Volcánico Chocolate, Formación Socosani y Grupo Yura. La Formación Chocolate, que aparece en el río Yura y en el Cerro Chocolate, está compuesta por derrames y brechas volcánicas, de color rojo opaco a gris oscuro, con algunas intercalaciones sedimentarias de areniscas y calizas de color violáceo, y lutitas arenosas de color rojo y verde claro. Se le asigna una edad liásica (Jenks, 1948).

Sobre una discordancia erosional aparece la formación Socosani, conformada por calizas y lutitas con intercalaciones de arenisca y algunos volcánicos hacia la base. Benavides (1962), en base al estudio del contenido fósilífero de esta unidad, la ubicó en el intervalo que va desde el Toarciano superior hasta el Bajociano Medio.

Nuevamente sobre una discordancia erosional, sobreyace el grupo Yura, conformado por un paquete sedimentario de aproximadamente 1,500 m. de grosor y constituido por areniscas cuarcíticas gris parduzcas, interestratificadas con lutitas oscuras a negruzcas, tufáceas en algunas unidades y carbonáceas en otras, con intercalaciones menores de lutitas grises en los siguientes 600 m.; por bancos gruesos de calizas arrecifales de color marrón a gris oscuro, con gran contenido fosilífero, con intercalación de estratos menores de lutitas y limolitas amarillo verdosas, en un grosor de 95 m. más o menos, y en el tope, por cuarcitas blancas de grano fino a medio y areniscas cuarcíticas en bancos gruesos, con un grosor de 65 m. Benavides (1962) asigna a este Grupo una edad que va desde el Calloviano hasta el Neocomiano inferior.

Estas rocas aparecen en las vertientes del río Yura, cerca a la localidad del mismo nombre, y también cerca de la mina Cerro Verde.

3.- Rocas Igneas de la Caldera.- Estas rocas que intruyeron a las rocas preexistentes a fines del Cretáceo y comienzos del Terciario (Jenks, 1948; Stewart, 1968), están conformadas por el

Complejo Gabrodiorítico (KTi-gbdi) y por la Granodiorita de Tiabaya (KTi-gd). Estas rocas afloran, para el presente estudio, desde Yarabamba hasta Umacollo en forma continua y esporádicamente, formando una línea de cerros, en Huasacache, Hunter y Tingo; en la urbanización El Palacio, Sachaca y cerro La Aparecida como continuación del alineamiento anterior; asimismo, en los cerros de Alto Amado, Alata, Tío Grande y Tío Chico.

La morfología del intrusivo y la orientación de las estructuras geológicas demuestran que tanto la gabrodiorita como la diorita se formaron a partir de una fisura bastante profunda de dirección N65°W con un buzamiento vertical. La primera intrusionó a las rocas sedimentarias mesozoicas y la segunda a la gabrodiorita, formando un cuerpo cilíndrico de sección elíptica. No obstante que este proceso fue lento, las tremendas presiones de inyección y la temperatura originaron un notorio clivaje en la gabrodiorita. (Yanqui, 1983).

4.- Volcánico Sencca Compacto (Sillar) (Tp-vse1).-

Esta unidad, de naturaleza volcánica, aflora en el cauce del Cañón del río Chili, en la quebrada que separa los pueblos jóvenes Inde-

pendencia y Alto Selva Alegre y en el distrito de Yarabamba, al pié del cerro San Ignacio. Litológicamente está constituido por un tufo blanco compacto, coherente, de composición riolítica, formado por mezclas heterogéneas de material desmenuzado fino y grueso, vidrioso en parte y poroso, distinguiéndose a simple vista minerales de cuarzo, feldespatos y lamelas de biotita, conteniendo en adición, fragmentos de pómez y lavas. Se caracteriza por presentar juntas columnares que hacen fácil su explotación como material de construcción, tal como ocurre a lo largo de la quebrada de Añashuayco, en la cual las paredes son verticales. Mendivil (1982) da la categoría de miembro a esta unidad y la denomina provisionalmente como Miembro Añashuayco.

5.- Volcánico Sencca Salmón (puzolana) (Tp-vse2).-

Este material se halla en los terrenos de la margen derecha del río Chili, comprendiendo en forma esporádica las urbanizaciones de Río Seco, Pachacútec, Señor de la Caña, La Libertad y Challapampa y en forma continua, los extensos terrenos de Semirural Pachacútec, Pampa de Camarones, Huaranguillo y Tío Grande. También aflora en los flancos de las quebradas que surcan las urbanizaciones de Buenos Aires,

Acequia Alta, La Señorial, Carmen Alto y Juan Velasco Alvarado. Asimismo, puede apreciarse su potencia y su relación con las unidades vecinas en el Cañón del río Chili.

Este material está constituido por tufos estratificados en bancos subhorizontales y, en algunos lugares, con superficies que siguen la topografía preexistente. Esta unidad es poco coherente y es de color rosado a marrón rojizo, conteniendo biotita y algunos fragmentos de pómez y lavas. Mendivil (1982) denomina a esta unidad como Miembro Huayco.

En 1965 Mendivil, quien realizó un estudio exhaustivo de estos materiales, les asignó una edad Terciaria, Pliocénica media a superior.

6.- Formación Capillune.- Aflora puntualmente en la quebrada del Circulo Militar de Charcani, en la quebrada Buena Vista del Km. 19 de la carretera Arequipa-Yura y al sur del pueblo joven "Ciudad de Dios", en los flancos de algunas quebradas.

Esta unidad tiene una potencia de más de 15 m. hacia la base, constituida por una secuencia de capas subhorizontales delgadas y

medias de arena gravosa y arena volcánica, de color oscuro y baja coherencia, con intercalaciones de capas delgadas de ceniza volcánica. Además tiene una potencia de 10 m. hacia el tope, constituido por una interestratificación de arenas, arenas gravosas y lodos gravosos de color beige.

Por hallarse sobre el volcánico Sencca y debajo del volcánico Chila, se le asigna una edad correspondiente al Pleistoceno Inferior (Mendivil 1965 , Alarcón 1976).

7.- Volcánico Chila (Q-vchi).- Aflora en forma discontinua en el límite nor-este de la ciudad, en la superficie de la margen izquierda del río Chili, formando una corniza en el flanco del cañón de Chilina. Con el crecimiento poblacional algunos pueblos jóvenes se han ubicado en esta unidad, como ocurre con Leones del Misti y Porvenir en el distrito de Miraflores y Atalaya, Buena Vista y Jerusalén en Mariano Melgar. El Volcánico Chila está constituido por derrames andesíticos y basálticos de color marrón y negro. Se encuentra bastante fracturado; pero en general, forma una masa compacta altamente cohesiva.

A esta unidad se le asigna una edad Plio-Pleistocénica. (Guevara 1969, Laharie 1972).

- 8.- **Volcánico Barroso (Q-vba).**- Aflora en el Cerro Cortaderas, que tutela a la superficie del aeropuerto. Es un conglomerado volcánico de composición andesítica, con bloques escoriaáceos angulosos de hasta 3 m. de diámetro, compuesto por plagioclasa sódica, fenocristales de piroxeno y pasta afanítica.
- 9.- **Aluvial de Acequia Alta (Q-aaa):**- Con este nombre describió Mendivil (1965) a unos depósitos que aparecen en forma continua desde Yanahuara hasta Acequia Alta, comprendiendo los terrenos de los pueblos tradicionales de Cayma, Carmen Alto y las urbanizaciones residenciales nuevas de Los Ruiseñores, La Chacrita, Bello Horizonte, Los Andenes, etc. Suprayaciendo al volcánico Sencca, a través de una discordancia erosional, aflora en los flancos verticales de las quebradas que surcan los terrenos donde se ubican las urbanizaciones de Zamácola, Cerro Colorado, Juan Velasco Alvarado y Buenos Aires. En la quebrada de Ampliación Paucarpata aparece un pequeño afloramiento. El corte realizado cerca de Cerro Juli para la construcción de la avenida Alcides Carrión, ha mostrado que la

unidad de Acequia Alta se extiende hasta ese extremo.

En la quebrada de Zamácola, se ha descrito como una serie estratificada de siete metros de potencia, conformada por un conjunto inferior de capas de arena y gravilla, de color pardo oscuro, con una estratificación horizontal grosera de fragmentos redondeados a subredondeados, embebidos en una matriz arenosa cementada. Remata hacia el tope, una capa de dos metros de grosor de grava homogénea, subredondeada, de 7.0 cm. de diámetro promedio, con una matriz arenosa ligeramente cementada por limos.

En otros tramos se observa que esta serie estratificada exhibe superficies de erosión discordantes y meteorizadas, de color amarillento, algunas de las cuales se hallan cubiertas por una capa irregular de medio metro de grosor, de material piroclástico tobáceo, sobre la que descansan unas capas lodolíticas de color beige, casi horizontales y concordantes con las capas inferiores.

En el flanco derecho del río Chili aparece como una secuencia estratificada subhorizontal,

de color oscuro, con una potencia de hasta 20 m., extendiéndose desde Carmen Alto hasta Cabrerías.

10.- **Flujo de Barro (brechoso) (Q-fb1).**- Aflora en forma continua desde Hunter hasta Huasacache, en los pueblos jóvenes Los Milagros, San Juan de Dios, Augusto Freyre y Daniel Alcides Carrión, y en forma de pequeñas lomadas en los pueblos de Buena Vista, Bellavista, Cerro Juli, Campo Ferial de Juli, Chilpinilla y El Carmen. Igualmente, aflora en el área comprendida entre el Cerro Salaverry y Simón Bolívar, comprendiendo las urbanizaciones de El Porvenir, San Martín de Socabaya, 3 de Octubre y 4 de Octubre; además, en las bases de las estribaciones de la Cadena del Barroso, incluyendo la localidad de Paucarpata y las urbanizaciones populares de Campo Marte, Alto Jesús e Israel, y en las extensas pampas de Socabaya, Sabandía y Characato, donde empieza a crecer el nuevo polo de expansión urbana denominado "Cono Sur".

Litológicamente está compuesto por bloques andesíticos angulosos de diversos tamaños, cuyos intersticios están rellenos por una matriz areno-tufácea de granos angulosos y un material cementante limo-arcilloso, con modera-

das cantidades de carbonato de calcio en algunos lugares. No se han hallado vestigios de estratificación.

Esta unidad ha sido considerada por la mayoría de autores, de edad pleistocénica (García 1970, Guevara 1969, Tamayo 1971).

- 11.- **Flujo de Barro (rosáceo) (Q-fb2).**- Comprende los terrenos de Progresista, 15 de Agosto, Miguel Grau y una franja delgada de la margen derecha de la quebrada que delimita a la urbanización Generalísimo San Martín, en el extremo este de la ciudad y las urbanizaciones: Gráficos, Las Palmeras, Alto Selva Alegre, Villa Hermosa, Apurímac, Leones del Misti y parte del Porvenir, en el extremo nor-este.

Esta unidad se describe como un conjunto de materiales poco consolidados, de color rosáceo, capaces de soportar taludes verticales en bancos de hasta 10 m. de altura. Está conformada por más de dos horizontes de granulometría y cementación diferentes; así por ejemplo, en Campo Marte se pueden distinguir dos unidades: una de color rosáceo oscuro, compuesta principalmente por arena gravosa, de fragmentos mayores de 5 cm. de diámetro y ligeramente

cementada, y otra de color rosáceo claro, sobreyaciendo a la anterior, clasificable desde el punto de vista granulométrico como una grava arenosa, cuyo contenido de fragmentos mayores de 5 cm. sobrepasa el 80%, llegando a exhibir bloques de hasta 30 cm., de forma subredondeada, de composición pomácea y algunos fragmentos angulosos andesíticos en pequeña cantidad.

12.- Depósitos Piroclásticos (Qr-pi).- Estos materiales cubren los terrenos de Alto Cayma, Acequia Alta, Francisco Bolognesi y otras nuevas urbanizaciones del distrito de Cayma que tienen como eje de crecimiento la carretera que va a la Central Hidroeléctrica de Charcani V. También aparece en forma esporádica en los pueblos jóvenes Independencia y Miguel Grau.

Se describe como una toba volcánica blanco amarillenta, bastante compacta, deleznable, compuesta por fragmentos de piedra pómez. Presenta una superficie áspera y de aspecto azucarado, con partículas de forma subesférica y alta angulosidad.

13.- Aluvial de Umacollo (Qr-au).- Se extiende en los terrenos aledaños al río Chili que ocupan parte de Yanahuara, Antiquilla, Umacollo y

Tahuaycani, en la margen derecha, y parte del Cercado, Ferroviarios, San Jerónimo, Los Angeles y el Parque Industrial, en la margen izquierda.

Este material se describe como una secuencia de por lo menos tres horizontes definibles por paleo-superficies de meteorización, compuestos principalmente por gravas y arenas gravosas, de fragmentos andesíticos y pomáceos en menor cantidad, de elevada redondez. Cerca del puente Bolognesi, en la margen derecha del río Chili, existe un talud natural casi vertical de 17.5 m. de altura, donde se describe como una grava de color pardo a pardo grisáceo, de fragmentos andesíticos de mediana angulosidad y elevada redondez, embebidos en una matriz arenosa con moderada cantidad de finos y algo cementada (Yanqui, 1986). Sobre esta unidad, en el campus de la Universidad Católica Santa María, se han descrito dos horizontes de grava arenosa de color gris, constituidos por fragmentos andesíticos subangulosos y subredondeados, en una matriz arenosa completamente deleznable (Yanqui, 1988).

Este aluvial está asociado a los procesos

de divagación e inundación del río Chili en épocas pasadas.

- 14.- **Aluvial de Miraflores (Qr-am).**- Comprende el área que se extiende desde la quebrada San Lázaro hasta cerca del pueblo de Paucarpata, en una dirección, y desde la avenida Alcides Carrión hasta las primeras estribaciones del volcán Misti, en la otra; incluyendo los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y parte de Paucarpata.

Estos materiales están asociados a las inundaciones provocadas por las distintas quebradas que atraviesan estos distritos y se caracterizan por estar compuestos de fragmentos principalmente andesíticos, cuya redondez va creciendo con la distancia a los vértices de los conos de deyección (Yanqui, 1986).

- 15.- **Eluvial Reciente (Qr-e).**- Bajo esta denominación se describe el suelo residual formado por procesos naturales y antrópicos. En la margen derecha del río Chili constituye el suelo que rellena las geoformas negativas de la superficie geomórfica de Pachacútec y, los terrenos de cultivo de Huaranguillo y Sachaca. En la margen izquierda comprende los suelos de la

Pampilla, Dolores, Bellavista, Bellapampa y Lara.

En general, puede describirse como una arena limosa de color beige, de aproximadamente un metro de potencia, separada de las unidades inferiores mediante una capa de toba de 15 cm. de grosor en promedio. En el distrito de Socabaya está asociada a las zonas pantanosas de Bellapampa, Lara y al pueblo mismo de Socabaya. En la urbanización Las Magnolias, sobreyace a unos depósitos probablemente de origen palustre, de densidades relativas bajas.

16.- Aluviales Recientes (Qr-a).- Con este nombre se describen los materiales que rellenan los cauces de los ríos, riachuelos y quebradas, como el Chili, Sabandía, Socabaya, Yarabamba, Añashuayco, etc. Tales materiales exhiben diversos tamaños, formas y niveles de selección, encontrándose habitualmente sueltos.

2.6.1 Distribución de las Unidades Geológicas

Las unidades pre-terciarias, que exhiben características físicas y mecánicas distintas a las otras unidades, afloran en porciones restringidas del área de estudio. Las rocas

ígneas de la Caldera se reducen al extremo suroeste de la ciudad, y sus afloramientos demarcan el área total de su distribución (Yanqui, 1990).

El volcánico Sencca, relacionado a la primera crisis climática, cubrió en forma continua y casi uniforme todo el sur del Perú, rellenando la cuenca de Arequipa hasta el desborde.

Una segunda crisis climática provocó coladas volcánicas andesíticas y basálticas en forma puntual y alineada a los conos volcánicos, y terminó con la depositación de las areniscas tufáceas, conglomerados y tobas retrabajadas de la formación Acequia Alta, que cubrió gran parte de la cuenca de Arequipa con un manto de 30 mts. de potencia, extendiéndose en forma casi horizontal desde la pampa del Aeropuerto hasta más allá de Paucarpata.

En el lado oriental de la cuenca, colosales flujos de lodo y piedra provenientes de las laderas de los volcanes Pichu Pichu y Misti cubrieron el relieve existente, alcanzando en algunos lugares espesores de 30 a 50 mts.

Los depósitos piroclásticos corresponden a un vulcanismo ulterior, éstos cubrieron la mayor parte de la cuenca de Arequipa y fueron barridos casi totalmente, quedando como testigos el manto de Alto Cayma y algunos remanentes puntuales cerca al pueblo joven Independencia y al centro educativo Miguel Grau.

La actividad geomórfica de los principales ríos de la cuenca de Arequipa ha dejado como testigos de su carácter cambiante los materiales aluviales de Umacollo y Socabaya, depositados y erosionados en etapas consecutivas, relacionadas a la cuarta y quinta crisis climáticas. Salvo las zonas de Parque Industrial, Umacollo y Tiabaya, su extensión se reduce a la franja estrecha de sus valles.

Los materiales de inundación originados por el cambio de pendiente de las quebradas de San Lázaro, Santa Rosa y Paucarpata, entre otras de menos importancia, cubren el área de Miraflores, Mariano Melgar y Porongoche y se distinguen de los otros materiales aluviales por la mayor angulosidad de sus fragmentos.

Finalmente existe una cobertura de material areno-limoso, de un metro de espesor en

promedio, que se extiende en las suaves depresiones y que se ha formado como producto de la meteorización climática y antropomórfica, encontrándose generalmente separada de los materiales preexistentes por una capa de toba de 20 cm. de espesor.

En la Fig. Nº 2.3 se presenta el Plano Geológico de la ciudad de Arequipa. Así mismo, en la Fig. Nº 2.4 se muestra las secciones geológicas que se indican en el Plano Geológico. (Yanqui, 1990)

2.7 CONCLUSIONES

Como se puede observar, la geología de Arequipa presenta unidades litológicas de naturaleza ígnea, metamórfica y sedimentaria, cuyas edades se ubican en forma discontinua desde el Pre-cambriano hasta el cuaternario reciente.

El origen violento de la geología del cuaternario, producto de las erupciones volcánicas, primero del Chachani y luego del Misti, y los desplazamientos ocasionados por el drenaje del área, hace que la geología local de Arequipa sea bastante

errática dentro del área urbana, presentando afloramientos de rocas ígneas extrusivas e intrusivas, tufos volcánicos, flujos de barro, depósitos piroclásticos y depósitos aluviales.

Las unidades litológicas de mayor interés para este estudio, son aquellas sobre las que se encuentra cimentado el casco urbano de la ciudad. Estas se encuentran distribuidas de la siguiente forma:

- Al sur oeste de la ciudad afloran las rocas ígneas de la Caldera, conformando una cadena de cerros en las que están ubicados los pueblos de Hunter, Tingo, Sachaca y El Palacio.

- Al oeste y nor oeste de la ciudad aflora el Volcánico Sencca, constituido por un potente banco de tufos estratificados, de color rosado. Sobre esta unidad se asientan las urbanizaciones de Río Seco, Pachacútec, Señor de la Caña, La Libertad, Chalapampa y Semirural Pachacútec.

- En la parte norte y nor este de la ciudad se encuentra la unidad Aluvial Acequia Alta, comprendiendo los pueblos tradicionales de Cayma, Carmen Alto y las urbanizaciones residenciales de Los Ruiseñores, La Chacrita, Bello Horizonte, Los

Andenes, etc. Esta unidad alcanza en algunos lugares hasta 30 mts. de potencia.

- La parte sur, sur este y este de la ciudad está conformada por Flujos de Barro, los que cubren una gran extensión del área de estudio, alcanzando en algunos lugares hasta 50 mts. de potencia. Sobre esta unidad se encuentran las urbanizaciones que conforman el cono sur, tales como San Martín de Socabaya, Simón Bolívar, 3 de Octubre, 4 de Octubre, etc., y hacia el este las urbanizaciones Gráficos, Las Palmeras, Alto Selva Alegre, Apurímac, etc.

La parte central de la ciudad se encuentra ubicada sobre las unidades Aluvial de Umacollo y Aluvial de Miraflores. Estas unidades están conformadas por gravas, arenas y limos, y llegan a alcanzar espesores de hasta 25 mts.

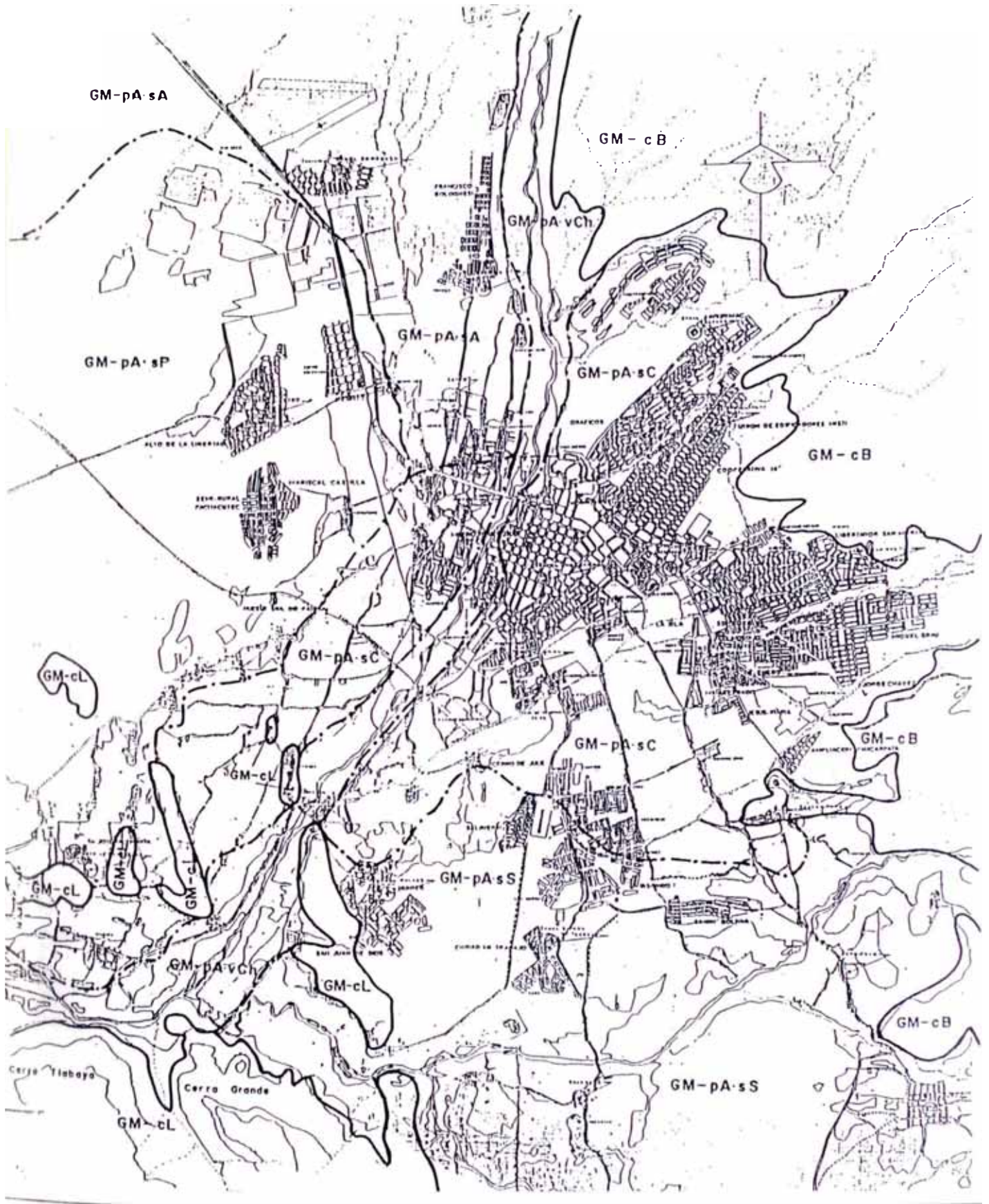
- En la parte norte existen Depósitos Piroclásticos constituidos por tobas volcánicas. Sobre esta unidad se ubican las urbanizaciones de Alto Cayma, Francisco Bolognesi y otras urbanizaciones que tienen como eje de crecimiento la carretera que va a la C. H. Charcani V.

TABLA Nº 2.1.-

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

EDAD	UNIDAD Y DESCRIPCION	GROSOR
Reciente	Depósitos eólicos y aluviales de gravas, limos, etc. Discordancia	
	Depósitos piroclásticos recientes.- Bancos de lapilli alternado con capas de arena. Discordancia	
Pleistoceno	Morrenas y Fluvioglaciares Discordancia	
	Flujos de barro.- Fragmentos y bloques angulares de origen volcánico, en matriz arenotufácea. Discordancia	
	B G A Volcánico Barrosos.- Andesitas gris oscuras porfídicas de R R grano grueso. U R Discordancia	2000 m.(?)
	P O Volcánico Chila.- Andesitas afaníticas gris oscuras, por O S intemperismo rojizas. O Discordancia	+50 m.
	Conglomerado aluvial pleistocénico.- Rodados de intrusivos, gneis, cuarcitas y otras rocas. Discordancia erosional	
Plioceno	Volcánico Sencca.- Tufos de composición dacítica o riolítica Discordancia erosional	+150 m.
	Formación Millo.- Conglomerado y areniscas tufáceas Discordancia	60 m.
Terciario medio	Grupo Tacaza.- Derames volcánicos, tufos y sedimentos en la parte inferior. Discordancia	800 m.
Terciario inferior	Formación Sotillo.- Areniscas arcóscicas y lutitas verdes que alternan con capas de yeso. Discordancia	250 m.
	Formación Huanca.- Conglomerados y areniscas marrón rojizas. Discordancia Angular	1400 m.
Senoniano inf. Turoniano	Formación Chilcane.- Yeso de color blanco con tintes rojizos y verdosos	100 m.(?)
Coniciano Alciano	Formación Arcurquina.- Calizas gris claras. Presenta concreciones y lentes de chert.	668 m.
Aptiano-Neocó- miano superior	Formación Murco.- Lutitas abigarradas y areniscas sacaroideas	300 m.

Hauteriviano-Valanginiano		Miembro Hualhuani.- Cuarzitas blancas de grano fino a medio, en capas gruesas.	65 m.
Berriasiano	S R U P O Y U R A	Miembro Gramadal.- Bancos gruesos de calizas marrón claras y gris oscuras.	95 m.
Titoniano		Miembro Labra.- Areniscas, areniscas cuarcíticas gris claro a parduscas, lutitas y limolitas verde amarillentas a marrón violáceas.	1070 m.
Kimmerigdiano Oxfordiano		Miembro Cachíos.- Lutitas gris oscuras a negruscas.	603 m.
Oxfordiano Calloviano		Miembro Puente.- Areniscas cuarcíticas gris parduscas interestratificadas con lutitas oscuras en cantidades menores	600 m.
		Discordancia erosional	
Toarciense sup. Bajociense med.		Formación Socosani.- Calizas y lutitas con intercalaciones de areniscas y de algunos volcánicos hacia la base.	270 m.
		Discordancia erosional	
Liásico		Volcánico Chocolate.- Derrames y brechas volcánicas de color rojo opaco y gris oscuro, con algunas intercalaciones sedimentarias.	1000 m.(?)
		Discordancia angular	
Paleozoico inf. Pre-cambriano.		Complejo Basal de la Costa.- Gneis y granito potásico antiguo	(?)



LEYENDA

Cordillera de Ladoras
 Cadena del Barroso
 Penillanura de Arequipa
 -Valle del Chili
 -Superficie del Cercado
 -Superficie de Socabnya

GM-cl Superficie de Pachacutoc
 GM-cB Superficie del Aeropuerto
 Límite de Unidad
 Límite de Sub-Unidad
 GM-pA.vCh
 GM-pA.sC
 GM-pA.sS

GM-pA.sP
 GM-pA.sA

PLANO GEOMORFOLOGICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA	
Esc.: 1/20,000	Fecha: Marzo. 1990
Por: C. Yanqui Murillo	

Fig. N° 2.1

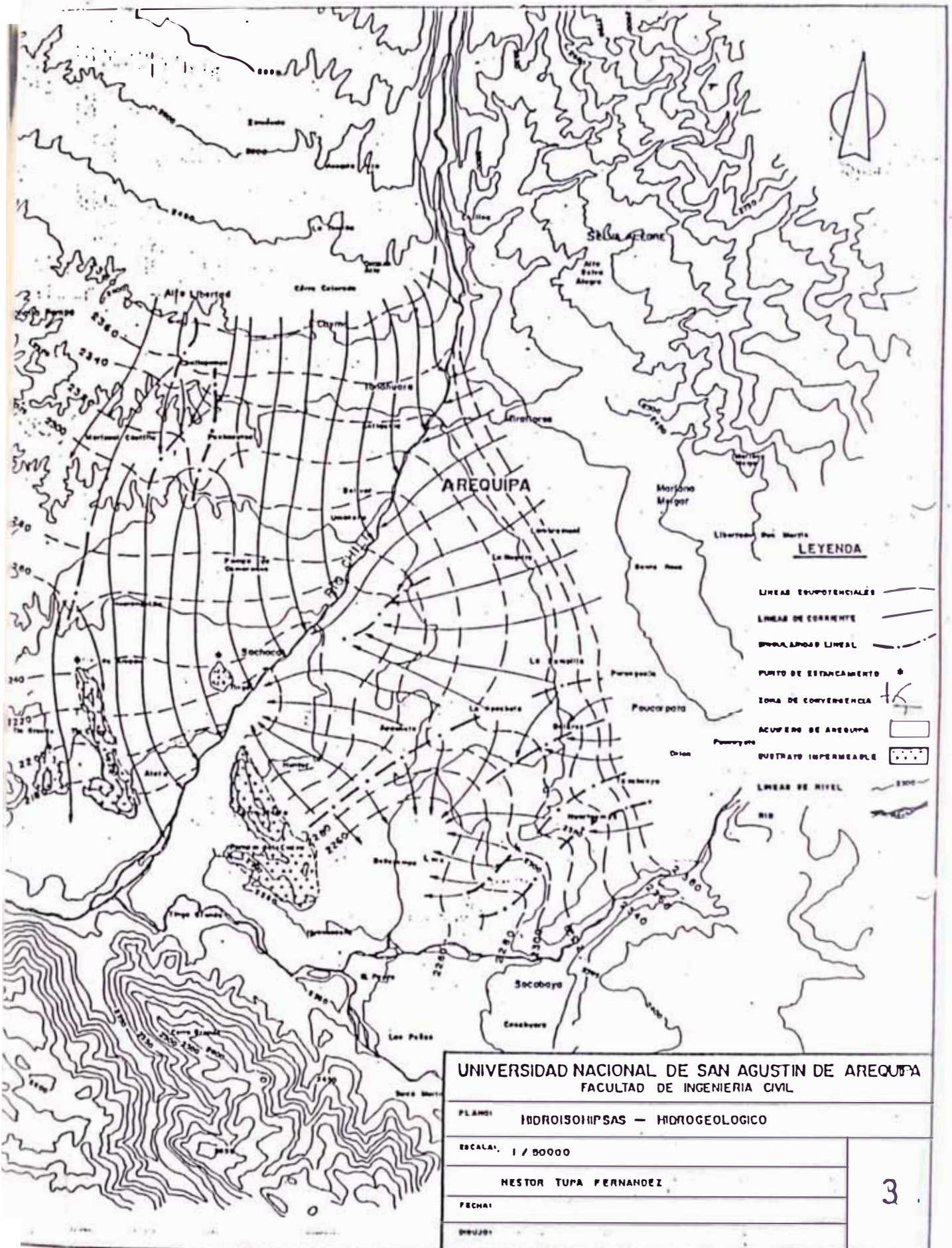
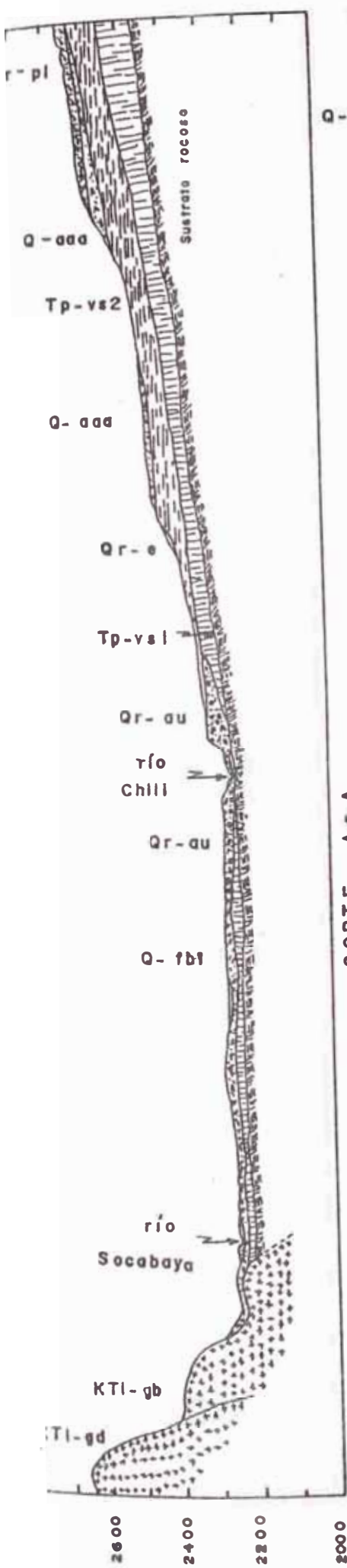
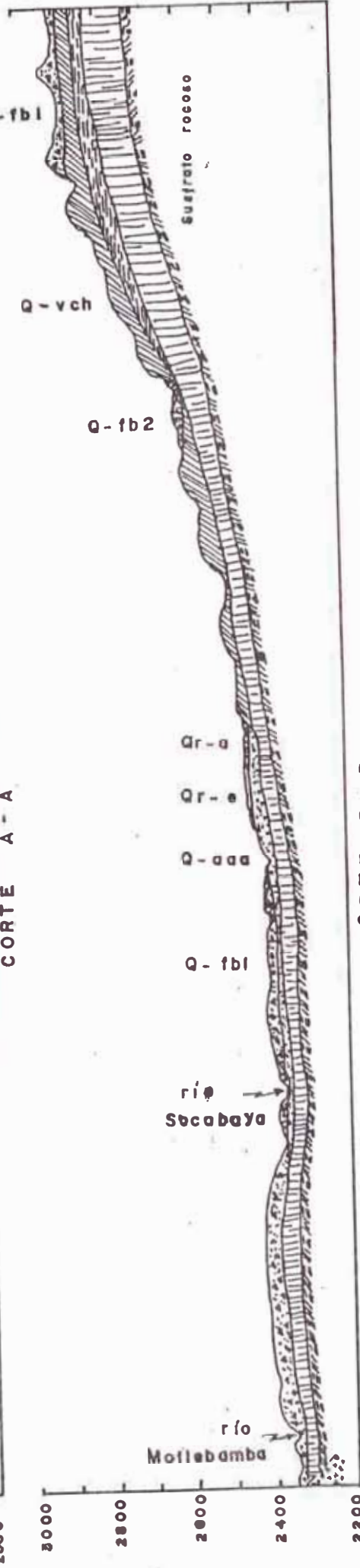


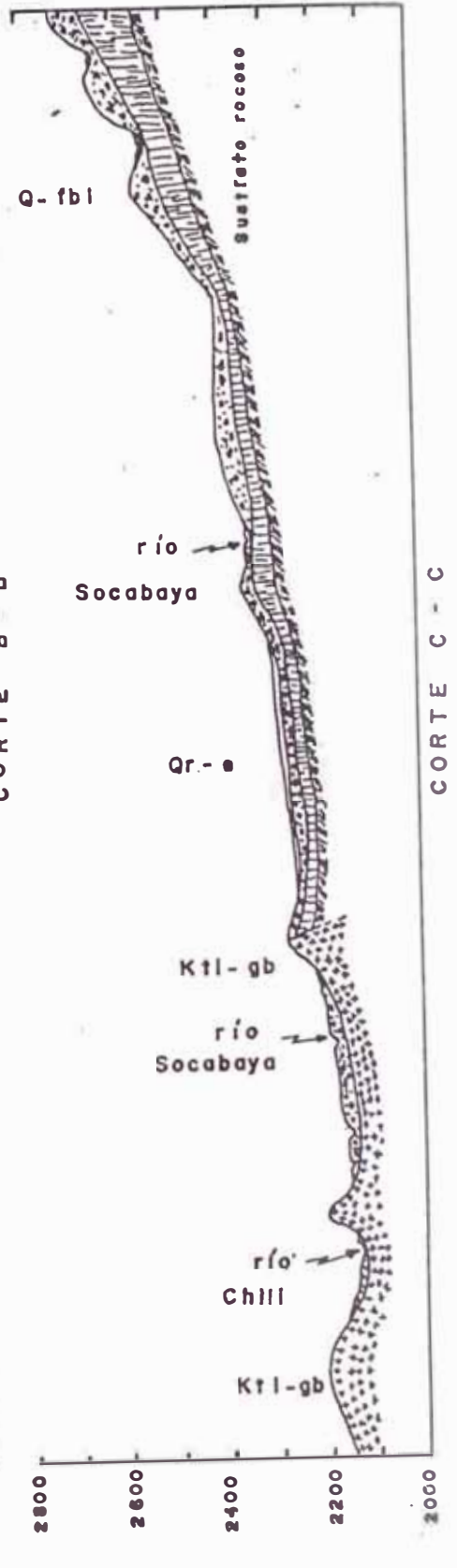
Fig. N° 2.2



CORTE A - A



CORTE B - B



CORTE C - C

FIG. Nº 2 - 4

SECCIONES
GEOLOGICAS

FECHA: Marzo, 1990
Por: C. YANQUI M.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

3.1.- ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

Dentro de la Microzonificación Sísmica de una ciudad, el estudio de las características geotécnicas de los suelos de cimentación, constituye una parte muy importante; pues conociéndose las propiedades físicas y mecánicas de los suelos se podrá delimitar zonas con comportamientos geotécnicos similares, además se podrá determinar las capacidades portantes para las cimentaciones más usuales de viviendas económicas.

Con esta finalidad se ha recopilado la mayor información posible sobre esta materia, obteniendo estudios realizados por particulares y estudios de investigación realizados anteriormente en la ciudad de Arequipa. Así mismo, se ha trazado un plan de trabajo de campo que incluía la realización de calicatas para la obtención de muestras alteradas e inalteradas, y la realización de ensayos SPT y Cono

Holandés en distintas zonas de la ciudad. Lastimosamente este programa no pudo llevarse a cabo en su totalidad debido a fuerza mayor.

3.1.1.- Estudios realizados para la investigación

Con el apoyo del Consejo Departamental de Arequipa del Colegio de Ingenieros del Perú, se lograron realizar cinco calicatas en distintos lugares de la ciudad, de las cuales se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas para su análisis en el laboratorio. Con estas muestras se realizaron ensayos estándar, como son: contenido de humedad, análisis granulométrico y límites de consistencia, y algunos ensayos especiales de corte directo.

En la Tabla Nº. 3.1 se presenta las calicatas realizadas, indicando la ubicación, profundidad y algunas características principales de las muestras obtenidas. Así mismo, en el Plano P-1 de ubicación de perforaciones y microtrepidaciones se indica la ubicación de estos sondajes.

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el Anexo I.1.

3.1.2.- Información recopilada de estudios particulares

Ultimamente, el crecimiento vertical de la ciudad y la ejecución de obras civiles de importancia han generado una mayor demanda de estudios geotécnicos, los cuales hasta hace poco tiempo generalmente no se realizaban.

Se ha recopilado una gran parte de los estudios geotécnicos existentes en la ciudad de Arequipa, de los cuales se ha obtenido una valiosa información sobre las características geotécnicas del subsuelo.

En la Tabla Nº 3.2 se presenta la relación de sondajes extraídos de estos estudios, donde se indica la fuente de donde han sido tomados, su ubicación y profundidad, así como las características principales de las muestras obtenidas. Además, en el Plano P-1 de ubicación de perforaciones y microtrepidaciones se indica la ubicación de cada uno de estos sondajes.

La relación de estos estudios se indican en la sección de Bibliografía y Referencias. Además, en el Anexo I.2 se presentan los

perfiles estratigráficos de los sondajes más importantes para este estudio.

3.2.- ZONIFICACION GEOTECNICA

En base a la información recopilada y a estudios previos sobre zonificación geotécnica realizados por Orihuela (1981) y Yanqui (1990), se presenta a continuación las características físico mecánicas de los suelos de cimentación de la ciudad de Arequipa, correlacionándolo con la geología superficial.

Para calcular la capacidad portante del suelo se ha tomado en consideración la cimentación de una vivienda de interés social típica, de tipo zapata corrida, con un ancho de 0.40 a 0.50 mts., emplazada entre 0.80 y 1.50 mts. de profundidad. Para esto se ha aplicado la teoría de Terzaghi, donde la presión máxima (q_u), que puede darse al cimiento por unidad de longitud sin provocar su falla es:

$$q_u = C.N_c + \tau.D_f.N_q + \frac{1}{2}.\tau.B.N_\gamma$$

Donde los factores de capacidad de carga dependen sólo del valor del ángulo de fricción interna (ϕ); el cual a su vez depende directamente

de la naturaleza de las partículas y de la compacidad relativa.

Para calcular la capacidad de carga admisible o de trabajo (q_a), se ha considerado un factor de seguridad de $FS = 3$, el cual divide directamente al valor de la carga última.

$$q_a = q_u/3$$

Las unidades geotécnicas que se han definido son las siguientes:

a) **Rocas Igneas de la Caldera (G1-rpt):** Conformada por la gabrodiorita de la Caldera y la granodiorita de Tiabaya. Afloran en forma de cerros en los pueblos de Hunter, Tingo, Sachaca, La Aparecida, Altos de Amado, Alata, Tío y Tiabaya. Sus características geotécnicas son (Szwilski y Samaniego, 1977):

- Angulo de fricción de pico : $41^\circ - 46^\circ$
- Angulo de fricción último : $30^\circ - 38.5^\circ$
- Cohesión efectiva : $71.3-96.8 \text{ Kg/cm}^2$
- Peso unitario en seco : $2.16-2.43 \text{ gr/cm}^3$
- Gravedad específica de sólidos: $2.28 - 2.38$

- Resistencia a la comp. simple : 314-510.7 Kg/cm²

- Resistencia a la tracción : 54.3-73.4 Kg/cm²

Estas rocas ofrecen las mejores condiciones de cimentación, pues poseen una capacidad portante mayor que 30 Kg/cm² calculado por los métodos de la mecánica de rocas (Yanqui, 1990). La profundidad de cimentación varía de 0.00 a 0.50 mts.

b) **Volcánico Chila (G2-rvch):** Está constituido por derrames andesíticos y basálticos de color marrón y negro. Aflora en forma discontinua en el límite nor-este de la ciudad, en la superficie de la margen izquierda del río Chili, en los pueblos jóvenes Leones del Misti, Porvenir, Atalaya, Buena Vista y Jerusalen. Tiene las siguientes características geotécnicas estimadas (Yanqui, 1990):

- Angulo de fricción : 32°

- Cohesión efectiva : 0.0-30.0 Kg/cm²

- Peso unitario en seco : 1.7 - 2.2 gr/cm³

- Gravedad específica de sólidos: 2.4 - 2.7

- Resistencia a la comp. simple : 90 - 230 Kg/cm²

Esta roca también ofrece excelentes condiciones de cimentación; pues posee una capacidad portante de 15.0 Kg/cm².

c) Volcánico Sencca Compacto (Sillar) (G3-si) :

Constituido por un tufo blanco compacto, coherente y de composición riolítica. Aparece en el cauce del cañon del río Chili y en proporciones menores, en el pueblo joven Independencia. Tiene las siguientes características geotécnicas (Mendivil, 1982):

- Angulo de fricción último : 30°
- Peso unitario en seco : 1.26 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.05
- Resistencia a la comp. simple : 60 - 94.5 Kg/cm²
- Módulo de Young : 56,875 Kg/cm²

Este material puede ser clasificado como roca. Posee una capacidad portante de 5 Kg/cm² a una profundidad de cimentación de 0.40 a 0.50 mts.

d) Aluvial de Acequia Alta (G4-saa): Conformada por una serie estratificada de arena y gravilla, de color pardo oscuro. Aparece en forma continua

desde Yanahuara hasta Acequia Alta, comprendiendo los terrenos de los pueblos tradicionales de Cayma, Carmen Alto y las urbanizaciones residenciales de los Ruiseñores, La Chacrita, Bello Horizonte, Los Andes, etc. En el flanco derecho del río Chili aparece como una secuencia estratificada subhorizontal de color oscuro, extendiéndose desde Carmen Alto hasta Cabrerías. Tiene las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1987):

- Angulo de fricción último : 29° - 32°
- Cohesión efectiva : 0.0-0.4 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.4 - 1.8 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.0 - 2.7
- Densidad relativa : 50 - 100%
- Conductividad hidráulica : 0.1 - 15 m/día

Esta unidad tiene una capacidad portante de 3.5 Kg/cm².

e) **Flujo de Barro (G5-fb):** Está conformado por los flujos de barro brechoso y flujos de barro rosáceo, los cuales se diferencian por su morfología.

El flujo de barro brechoso aflora en forma continua en la parte sur y sur este de la ciudad, en las urbanizaciones El Porvenir, San Martín de Socabaya, 3 de Octubre, 4 de Octubre, Paucarpata, Campo Marte, Alto Jesús e Israel.

El flujo de barro rosáceo aflora en la parte este de la ciudad, en las urbanizaciones Progresista, 15 de Agosto, Miguel Grau, Gráficos, Las Palmeras, Alto Selva Alegre, Villa Hermosa, Apurimac y Leones del Misti.

Esta unidad presenta las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1987, 1988):

- Angulo de fricción último : 30° - 36°
- Cohesión efectiva : 0.0 - 2.0 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.3 - 2.0 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 1.8 - 2.7
- Densidad relativa : 70 - 100%
- Conductividad hidráulica : 0.4 - 40 m/día

Estos suelos poseen una capacidad portante de 3.0 Kg/cm².

f) Volcánico Sencca Salmón (Puzolana) (G6-spp):

Constituido por tufos estratificados, de color rosado a marrón rojizo, contiene biotita y algunos fragmentos de pómez y lava. Aflora en forma continua en Semirural Pachacútec, Pampa de Camarones, Huaranguillo y Tío Grande. Presenta las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1987):

- Angulo de fricción último : 26° - 31°
- Cohesión efectiva : 0.0 - 0.4 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.1 - 1.6 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.05
- Densidad relativa : 0 - 90%
- Conductividad hidráulica : 0.05 - 4.3 m/día

Este suelo es clasificable como una arena limosa mal graduada, algo cohesiva, con una capacidad admisible de 2.0 Kg/cm² a 1.0 mts. de profundidad.

g) Aluvial de Umacollo (G7-sau): Constituido por

gravas y arenas gravosas, de fragmentos andesíticos y pomáceos. Se extiende en los terrenos aldaños al río Chili, ocupando parte de Yanahuara,

Umacollo y Tahuaycani en la margen derecha, y parte del Cercado, Ferroviarios, San Jerónimo, Los Angeles y Parque Industrial en la margen izquierda. Presenta las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1986, 1988):

- Angulo de fricción último : 30° - 35°
- Cohesión efectiva : 0 - 0.47 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.5 - 2.0 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.6 - 2.7
- Conductividad hidráulica : 1.2 - 17.3 m/día

Esta unidad posee una capacidad portante mínima de 1.5 Kg/cm² a 1.0 mts. de profundidad, mejorando su capacidad a medida que se incrementa la profundidad.

h) **Aluvial de Miraflores (G8-sam):** Compuesto principalmente por fragmentos andesíticos, cuya redondez va creciendo con la distancia a los conos de deyección de las distintas quebradas que atraviesan los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y parte de Paucarpata. Tiene las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1986, 1988, 1989):

- Angulo de fricción último : 32° - 36°
- Cohesión efectiva : 0 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.4 - 1.7 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.2 - 2.7
- Densidad relativa : 0 - 50%
- Conductividad hidráulica : 1.3 - 100 m/día

Esta unidad es bastante errática. Presenta una capa de relleno de 0.70 a 1.20 mts. de espesor, bajo la cual se encuentran materiales arenos gravosos de distinta consistencia. La capacidad portante mínima a 1.0 mts. de profundidad es de 1.0 Kg/cm², la cual se incrementa rápidamente con la profundidad.

i) **Depósitos Piroclásticos (G9-stc):** Constituidos por tobas volcánicas de color blanco amarillento, bastante compactas. Estos materiales cubren los terrenos de Alto Cayma, Acequia Alta, Francisco Bolognesi y otras urbanizaciones del distrito de Cayma. Tiene las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1987):

- Angulo de fricción último : 30° - 35°
- Cohesión efectiva : 0 - 0.05 Kg/cm²

- Peso unitario en seco : 0.6 - 1.2 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 1.5 - 2.0
- Densidad relativa : 0 - 100%
- Conductividad hidráulica : 0.5 - 8 m/día
- Modulo de elasticidad : 28.6 Kg/cm²

Estos depósitos poseen una capacidad portante de 0.50 Kg/cm².

j) **Eluvial Reciente (G10-ser):** Constituido por una arena limosa de color beige, de aproximadamente un metro de potencia, separada de las unidades inferiores mediante una capa de toba de 15 cm. de grosor en promedio. En el distrito de Socabaya está asociado a las zonas pantanosas de Bellapampa, Lara y al pueblo mismo de Socabaya. Tiene las siguientes características geotécnicas (Yanqui, 1988, 1989):

- Angulo de fricción último : 29° - 36°
- Cohesión efectiva : 0 Kg/cm²
- Peso unitario en seco : 1.4 - 1.7 gr/cm³
- Gravedad específica de sólidos: 2.2 - 2.7
- Densidad relativa : 0 - 50%

- Conductividad hidráulica : 1.3 - 100 m/día

Esta unidad presenta las peores condiciones de cimentación; pues además de poseer una capacidad portante $q_a = 0.50 \text{ Kg/cm}^2$, tiene presencia de nivel freático muy cerca a la superficie.

3.3.- CONCLUSIONES

En base a la información geotécnica recopilada y a los ensayos realizados, se propone una zonificación geotécnica del área en estudio. Los valores de los parámetros de los suelos de cimentación, han sido obtenidos promediando los valores que se indican en los estudios de suelos realizados en zonas con características geotécnicas similares.

Debido a que existen zonas donde los estudios de Mecánica de Suelos son escasos, y siendo el área de estudio bastante extensa, se ha visto conveniente delimitar las diferentes zonas geotécnicas tomando como base las unidades geológicas, ya que éstas presentan cierta homogeneidad en su composición, pudiéndose asumir un comportamiento similar ante sollicitaciones externas. En consecuencia, se recomienda tomar estos datos solamente como referenciales para el caso de viviendas de interés social,

debiéndose realizar necesariamente estudios de Mecánica de Suelos para estructuras de cierta envergadura.

Como puede observarse, en la ciudad de Arequipa existen diversos tipos de suelos de cimentación, tales como: rocas ígneas, con capacidades portantes mayores que 10 Kg/cm^2 , sillar, con capacidad portante mayor que 5 Kg/cm^2 , depósitos aluviales, con capacidades portantes de 3.5 a 1.0 Kg/cm^2 , depósitos de materiales piroclásticos y suelos eluviales, con capacidades portantes de 0.5 Kg/cm^2 . Estos suelos, debido a su origen volcánico, generalmente contienen fragmentos de piedra pómez, lapilli y cenizas volcánicas, por lo que presentan pesos unitarios bastante bajos; además, debido a la forma en que han sido depositados, en algunos lugares se encuentran en estado suelto.

En la Tabla 3.3 se presenta el resumen de las características geotécnicas de cada zona propuesta.

En la Figura Nº 3.1 se muestra un mapa de zonificación geotécnica de la ciudad de Arequipa, realizado en base al plano geotécnico presentado por Yanqui, 1990.

TABLA Nº 3.1: RELACION DE SONDAJES REALIZADOS

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-01	Talud Natural. Alto Cayma III - Cayma.	MI-1	0.00-1.95	1.56	SM	0.9	23.6	--	15.2	
		M-1	1.95-2.20		SM	1.9	23.4	--	36.0	
		M-2	2.20-9.20		GP	0.7	--	--	1.2	
		MI-2	9.20-11.50		SM	0.8	13.0	--	17.7	
C-02	Esq. Moquegua y Circunv. Semir.Pachac.-C.Colorado.	MI-1	1.50-6.00	1.17	SM	8.3	32.8	--	31.9	
		M-1	6.00-7.60	1.20	SM	23.6	34.2	--	35.4	
C-03	Esq. El Ejército y Cayma. Cayma - Cayma.	MI-1	1.15-3.40	1.48	ML	16.0	34.4	--	50.2	
		M-1	3.40-4.10		SM	8.8	32.1	--	18.1	
		M-2	4.10-5.00		SM	6.1	2.2	--	21.6	
C-04	FIC-UNSA. Ciud.Universit.-Arequipa.	M-1	1.00-1.70		SM	2.6	32.6	--	42.0	
		M-2	1.70-2.00		GM	2.9	26.4	--	16.4	
		M-3	2.00-2.25		SW-SM	6.7	--	--	7.8	
		M-4	2.25-2.85		SP-SM	2.4	22.2	--	10.9	
		M-5	2.85-3.15		SM	3.9	20.9	--	12.4	
		M-6	3.15-4.60		SP	3.0	--	--	2.7	
C-05	Colegio Esclavas de Jesús Umacollo - Arequipa.	M-1	0.00-1.15	1.43	SM	3.8	24.5	--	16.3	
		MI-1	1.15-1.40		ML	5.7	29.5	--	52.9	
		M-2	1.40-1.75		SP-SM	4.6	--	--	5.1	
		MI-2	1.75-2.25		SM	1.6	21.5	--	40.0	
		M-3	2.25-3.80		GW	3.1	--	--	0.8	
		M-4	3.80-4.20		GW	4.8	--	--	1.6	

TABLA Nº 3.2: RELACION DE SONDAJES RECOPIRADOS

MECANICA DE SUELOS DE LA CANALIZACION PARA LAS REDES TELEFONICAS DE ENTEL-PERU. (Yanqui, 1987)

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-01	Esq.Tumbes y Lambayeque Río Seco - C. Colorado.	M-1	0.00-1.00	1.89	SP-SM	5.0	--	--	6.5	88.2
		M-2	1.00-1.55	1.62	SM	3.1	--	--	13.5	15.0
C-02	Esq.Marañón y Aeropuer. Zamácola - C. Colorado.	M-1	0.50-1.20	1.56	SM	3.2	--	--	17.5	25.4
		M-2	1.20-1.50	1.03	SP-SM	5.0	--	--	9.0	83.5
C-03	Esq.Perú y Los Incas. M.Castilla- C.Colorado.	M-1	0.00-0.90	1.66	SM	2.6	--	--	44.0	
		M-2	0.90-2.00	1.30	ML	3.1	--	--		50.2
C-04	Esq.Melgar y 27 de Nov. La Libert.-C. Colorado.	M-1	0.00-1.00	1.65	SP-SM	2.4	--	--	8.5	23.4
C-05	Av. Aviación (Grifo) C. Colorado.	M-1	0.00-1.50	1.77	SM	5.9	--	--	16.5	3.4
C-06	Antena de Radio Azul. Alto Cayma - Cayma.	M-1	0.70-1.20	1.16	SM	0.9	--	--	13.0	100.0
C-07	Esq.Bolognesi y M.Grau. F. Bolognesi - Cayma.	M-1	0.00-0.60	1.11	SW-SM	17.2	--	--	7.0	100.0
		M-2	0.60-1.20	1.63	SM	10.6	--	--	38.5	50.4
C-08	Av. Ramón Castilla. La Tomilla - Cayma.	M-1	0.65-1.20	1.45	SM	8.8	--	--	38.5	20.6
		M-2	1.20-1.50	0.72	SW	7.1	--	--	2.5	67.6
C-09	Hospital FF. PP. Av. Bolognesi - Cayma.	M-1	0.00-1.50	1.78	SM	7.5	--	--	24.0	71.6
C-10	Av. Cayma - Cdra. 5 Cayma - Cayma.	M-1	0.00-1.50	1.45	SM	7.2	--	--	29.0	10.9
C-11	Calle Cusco - Cdra. 1 Carmen Alto - Cayma.	M-1	0.50-1.50	1.55	GP-GM	13.5	--	--	7.8	2.8
C-12	Esq.Ugarte y L.Velarde. Yanahuara - Yanahuara.	M-1	0.00-1.30	1.93	SM	10.6	--	--	18.2	100.0
C-13	Av. Quiñones. Los Cedros - Yanahuara.	M-1	0.00-1.50	1.31	SM	3.9	--	--	30.0	15.6
C-14	Calle Chulle - Cdra. 8 Entel - Umacollo.	M-1	0.00-1.60	1.32	SM	13.5	--	--	28.0	66.8
C-15	Urb. Tahuaycani. Umacollo.	M-1	0.00-0.90	1.51	SM	8.4	--	--	18.0	57.8
		M-2	0.90-1.30	1.77	SW-SM	5.9	--	--	5.8	66.8
C-16	U.Católica Sta. María. Av.Sn Gerónimo-Umacollo.	M-1	0.40-1.30	1.53	SM	14.7	--	--	27.0	75.3

SISMO AREQUIPA 16-02-79 - INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES LOCALES. (Orihuela,1981)

C-17	Jr. 1º de Mayo. Alto Selva A. - Arequipa.	M-1	0.00-2.60	1.62	SM	8.9	20.6	--	15.3	98.0
C-18	Jr. 1º de Mayo. Alto Selva A. - Arequipa.	M-1	0.00-2.90	1.47	SM	5.0	21.0	--	14.4	54.0
C-19	Esq.Ugarteche y Arequipa. Selva Alegre - Arequipa.	M-1	1.80	1.35	SP-SM	4.8	--	--	9.8	29.0
C-20	Jr. 1º de Mayo. Alto Selva A. - Arequipa.	M-1	1.65	1.82	SM	10.8	--	--	36.4	
		M-2	2.30	1.73	SP-SM	3.4	--	--	7.2	98.0
C-21	Jr. 1º de Mayo. Alto Selva A. - Arequipa.	M-1	1.00-2.10	1.55	SM	7.3	--	--	20.0	86.0
C-22	Esq. Pte. Grau y Bolívar. Cercado - Arequipa.	M-1	2.30	1.83	SP-SM	4.9	--	--	7.7	84.0

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-23	Jr. Jerusalem, Cdra. 2 Cercado - Arequipa.	M-1	2.40	1.67	SP-SM	5.7	--	--	8.1	59.0
C-24	Esq. Rivero y Ayacucho. Cercado - Arequipa.	M-1	2.00	1.97	GP	3.6	--	--	1.1	77.0
		M-2	2.90	1.92	SP	3.6	--	--	3.2	96.0
C-25	Esq. Jerusalén y Melgar. Cercado - Arequipa.	M-1	1.75	1.56	SP	4.3	--	--	4.5	38.0
		M-2	2.35	1.90	GW	4.2	--	--	3.0	94.0
		M-3	3.05	1.82	SP	3.4	--	--	1.8	88.0
C-26	Esq. Melgar y Rivero. Cercado - Arequipa.	M-1	3.90	1.86	GW	4.2	--	--	2.4	99.0
C-27	Hospital del IPSS. Cercado - Arequipa.	M-1	5.00	1.72	SP-SM	7.0	--	--	9.5	60.0
C-28	Hospital del IPSS. Cercado - Arequipa.	M-1	3.20	1.74	SP-SM	3.1	--	--	8.4	61.0
		M-2	4.00	1.75	SP	5.6	--	--	4.8	53.0
		M-3	5.10	1.93	GW	3.8	--	--	2.6	99.0
C-29	Esq. Consuelo y S.J. de Dios Cercado - Arequipa.	M-5	1.00-1.60		SP	2.5	--	--	3.9	
		M-4	1.60-2.40		SP-SM	4.5	--	--	7.8	
		M-1	2.40-3.20	1.32	SP	8.7	--	--		
		M-3	2.60	1.69	SP	7.0	--	--	2.8	57.0
		M-2	2.60	1.57	SP	4.0	--	--	2.4	56.0
		M-6	3.00	1.66	SP	4.7	--	--	5.0	65.0
C-30	Esq. Piérola y S. Camilo. Cercado - Arequipa.	M-3	1.20-1.35		SP	2.7	--	--		
		M-2	1.35-2.10		SM	6.0	--	--	14.3	
		M-1	2.10-3.00	1.81	SP	6.0	--	--	5.0	76.0
C-31		M-1	1.60-3.50	1.67	SP-SM	10.8	--	--	10.1	65.0
C-32		M-1	2.60-3.30	1.59	SM	4.3	--	--	19.2	41.0
C-33	Esq. Corbacho y Muñoz Cercado - Arequipa.	M-1	1.50	1.85	SP	5.1	--	--	0.6	51.0
		M-2	2.15	1.64	SP	3.5	--	--	2.8	70.0
		M-3	2.80	1.81	SP-SM	3.6	--	--	10.7	54.0
		M-4	3.30	1.64	SP	6.5	22.6	--	3.9	80.2
C-34	Esq. Nájjar y Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	1.00-3.00	1.60	SP-SM	5.3	--	--	9.4	74.0
C-35	Av. Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	1.50-3.50	1.72	GP	4.4	--	--	1.5	84.0
		M-2	3.00	2.31	GP	4.6	--	--	3.6	41.0
C-36		M-1	1.70	1.09	SP	2.4	--	--	1.4	63.0
C-37	Av. Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	1.40-2.90	2.08	SP	5.1	--	--	1.6	23.5
		M-2	2.80	1.81	SP	6.9	--	--	1.4	
C-38	Av. Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	0.90-3.00	2.05	GP-GM	3.7	--	--	7.7	88.0
C-39	Esq. Melgar y Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	0.70-3.00	1.90	GP	4.3	--	--	1.5	
C-40	Av. Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	1.10-1.60	1.65	SP	3.5	--	--	2.7	71.0
		M-2	1.60-3.20	1.73	GP	3.6	--	--	1.4	97.0
C-41	Av. Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	0.70-1.80	1.55	SM	12.6	--	--	3.7	80.0
		M-2	1.80-3.00	1.97	SP	4.2	--	--	3.8	32.0
C-42	Esq. Bolívar y América. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.10-2.80	1.54	SM	6.9	--	--	15.3	26.0
C-43	Esq. Perú y Canga. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.90-3.00	1.86	GP	2.8	--	--	0.9	92.0

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-44	Esq. Tristán y S.J. de Dios Cercado - Arequipa.	M-1	1.10-2.90	1.76	SM	5.1	--	--	12.7	80.0
C-45	Esq. 28 de Julio y Alvarez Cercado - Arequipa.	M-1	2.20	1.69	GP	5.2	--	--	0.8	48.0
C-46	Esq. Leticia y Carbajal. IV Centenario - Arequipa.	M-1 M-2	1.50 2.25	1.62 1.63	SP-SM SM	7.6 5.4	--	--	8.7 12.7	51.0 48.0
C-47	Esq. Perú y San Camilo. Cercado - Arequipa.	M-1	2.10-3.40	1.83	SW-SM	7.8	--	--	6.7	86.0
C-48	Esq. Pizarro y S. Camilo. Cercado - Arequipa.	M-1	2.00-3.40	1.87	SP	3.0	--	--	2.6	92.0
C-49	Esq. J. Chavez y 2 de Mayo. IV Centenario - Arequipa.	M-1 M-2	1.50 2.00	1.62 1.94	SM GP	11.1 6.1	--	--	14.6 2.4	61.0 56.0
C-50		M-1	1.60-2.50	1.60	SP	6.5	--	--	1.3	36.0
C-51	Esq. J. Chavez y Mollendo. Municipal - Arequipa.	M-1	2.00-3.00	1.59	SP	11.2	--	--	2.4	32.0
C-52	Esq. Otero y Mollendo. Municipal - Arequipa.	M-1	2.55	1.50	SP-SM	3.7	--	--	5.1	13.0
C-53	Esq. Bolívar y San Miguel M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.20-3.00	1.74	SP-SM	6.4	19.0	--	7.8	70.0
C-54	Esq. Piura y América. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.60-2.50	1.89	SM	5.1	19.9	--	14.0	80.0
C-55	Esq. Bolívar y Junín. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	0.90-2.60	1.78	GP	7.8	--	--	8.1	79.0
C-56	Esq. Canga y Huáscar. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	0.30-2.40	1.77	GW	4.2	--	--	1.6	93.0
C-57	Esq. Canga y T. Amaru. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	0.40-2.40	1.56	GW	5.4	--	--	2.9	68.0
C-58	Esq. Canga y Rosaspata. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.60-2.60	1.60	SM	5.2	20.0	--	16.5	70.0
C-59	Esq. Canaga y América. M. Melgar - M. Melgar.	M-1	1.50-2.90	1.51	SP-SM	4.5	--	--	8.0	60.0
C-60	Av. Parra. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	1.00-3.00	1.68	GP	3.2	--	--	0.1	60.0
C-61	Av. Alfonso Ugarte. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	0.90-2.80	1.26	SM	13.1	20.0	--	13.4	37.0
C-62	Av. Alfonso Ugarte. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	0.70-2.70	1.39	SM-SC	20.5	23.2	18.1	49.1	51.0
C-63	Av. Alfonso Ugarte. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	0.30-2.60	1.19	SM	20.5	24.2	20.4	15.4	47.0
C-64	Av. Alfonso Ugarte. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	1.40-2.80	1.71	SP-SM	6.8	19.2	--	12.0	58.0
C-65	Av. Alfonso Ugarte. Pque. Industrial - Arequipa.	M-1	0.00-2.40	1.27	SM	16.9	20.5	19.0	45.5	20.0
C-66	Av. Alfonso Ugarte. Tingo - Arequipa.	M-1	1.20-2.80	1.47	SM	15.3	21.2	--	17.0	42.0
C-67	Av. Alfonso Ugarte. Tingo - Arequipa.	M-1 M-2	1.80-2.70 2.70-3.50	1.21 1.92	SM GP	19.0 3.4	21.2 --	--	30.0 2.4	27.0 82.0
C-68	Av. Alfonso Ugarte. Tingo - Arequipa.	M-1	1.50-2.50	1.17	ML	33.8	28.4	25.6	20.5	30.0

MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA DE LAS CIMENTACIONES DEL NUEVO PUENTE SOBRE EL RIO CHILI. (Yanqui, 1986)

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-69	Esq. Najar y Goyeneche. Cercado - Arequipa.	M-1	1.00-1.80	1.90	SP	4.1	--	--	1.3	98.0
C-70	Pasaje Alameda Pardo. Cercado - Arequipa.	M-4	1.3-17.50	1.91	GP	5.0	--	--	0.2	
C-71	Oeste del Club Alemán. Cercado - Arequipa.	M-7	0.30-0.90	1.77	SM	21.7	--	--		91.4
		M-8	0.90-1.30	1.66	SP	10.4	--	--		42.9
		M-9	1.30-2.10	2.09	GP	5.1	--	--	1.5	12.5
C-72	Inters.Consuelo y Chili. Cercado - Arequipa.	M-3	0.00-3.50	2.30	GP	9.8	--	--	0.1	
C-73	Esq.La Marina y Consuelo Cercado - Arequipa.	M-2	0.00-1.20	1.53	SP-SM	14.4	--	--	6.5	
		M-5	1.20-3.50	1.67	PT	23.9	--	--		24.9
		M-6	3.50-5.50	2.05	GP	8.6	--	--	3.8	51.1

GEOTECNIA DE LAS CIMENTACIONES DEL CENTRO ADMINISTRATIVO Y DE LA BIBLIOTECA DE CIENCIAS DEL AREA DE SALUD - UNSA (Yanqui, 1987)

C-74	Bib. AREA DE SALUD.(3) UNSA - Arequipa.	M-3	1.20-2.30	1.47	SM	2.9	--	--	12.1	4.0
		M-2	2.30-3.10	1.48	SW-SM	5.8	--	--	6.2	10.8
		M-5	3.10-3.30	1.61	SM	11.7	--	--	29.7	48.4
C-75	Bib. AREA DE SALUD (4) UNSA - Arequipa.	M-4	3.30-4.00	1.74	SW-SM	8.8	--	--	5.5	69.2
		M-5	0.00-0.90	1.25	SM	10.6	--	--	12.1	71.2
		M-2	0.90-1.60	1.64	SW	3.4	--	--	4.5	29.3
		M-1	1.60-2.40	1.54	SM	5.1	--	--	18.0	46.0
C-76	Bib. AREA DE SALUD (5) UNSA - Arequipa.	M-4	1.60-2.40	1.28	SM	7.1	--	--	18.0	79.4
		M-3	2.40-4.50	1.65	SM	2.4	--	--	15.0	85.7
		M-2	1.20-2.30	1.60	SM	3.2	--	--	12.1	67.8
		M-1	2.30-2.60	1.91	GP-GM	1.4	--	--	5.5	82.0

GEOTECNIA DE LA CIMENTACION DE LA BIBLIOTECA DE INGENIERIAS - UNSA. (Yanqui, 1987)

C-77	Bib. DE INGENIERIA.(1) UNSA - Arequipa.	M-2	1.10-1.60	1.98	SW	40.9	--	--	4.8	
		M-3	1.80-2.30	1.51	GP	4.9	--	--	1.8	
		M-4	2.30-2.70	1.74	GP	4.0	--	--	1.5	
		M-5	2.70-3.30	1.88	SP-SM	6.2	--	--	5.5	
		M-6	3.30-4.70	2.06	GP	2.1	--	--	2.2	
		M-7	4.70-5.80	1.87	SP-SM	7.2	--	--	6.5	
		C-78	Bib. DE INGENIERIA.(2) UNSA - Arequipa.	M-1	0.00-1.40	1.34	SP-SM	9.4	--	--
M-3	1.40-1.65			0.87	SP	29.7	--	--	0.1	0.0
M-2	1.65-2.10			1.79	SM	23.8	--	--	17.0	
M-4	2.10-3.20			1.87	SP	0.7	--	--	4.2	
M-6A	4.00-4.70			1.82	SW-SM	5.6	--	--		
M-6B	4.00-4.70			1.62	SW-SM	1.7	--	--	10.0	14.2
M-9	4.70-5.20			1.61	SW	7.4	--	--	3.2	
M-5A	5.50			1.75	SW	7.5	--	--	3.0	
M-5B	5.70			1.78	SW-SM	3.0	--	--	11.8	
M-8	5.75			2.17	SM	25.6	--	--	12.4	1.0
	M-7	6.30	1.70	SM	12.6	--	--	19.5	18.5	

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-79	Bib. DE INGENIERIA (3) UNSA - Arequipa.	M-1	0.80-1.00	0.88	SP	22.4	--	--	0.1	
		M-2	1.00-1.65	1.64	GP	5.6	--	--	2.0	
		M-3	1.65-2.75	1.89	SP	3.4	--	--	2.1	
		M-4	2.40	1.89	SP	5.2	--	--	2.1	
		M-5	2.75-4.00	2.01	SW	2.1	--	--	2.0	
		M-6	4.00-4.90	1.47	SP-SM	8.5	--	--	7.0	0.0
		M-7	4.90-5.40	1.48	SM	14.4	--	--	25.0	
		M-11	5.65	2.09	SM	7.9	--	--	17.0	100.0
		M-8	5.80	1.46	SP-SM	8.0	--	--	10.5	0.0
		M-10	5.90	2.06	SM	5.2	--	--	13.2	100.0
		M-9	7.00	1.50	SM	9.1	--	--	12.5	
		M-12	7.80	1.50	SM	9.7	--	--	22.0	26.0
C-80	Bib. DE INGENIERIA (4) UNSA - Arequipa.	M-1	0.00-1.60	1.55	SM	21.1	--	--	15.2	
		M-2	1.60-2.10	1.78	SP	10.4	--	--	4.3	
		M-4	2.10-3.60	1.88	GW	6.6	--	--	3.5	
		M-3	3.60-4.15	1.76	GP	1.2	--	--	0.5	22.2
		M-5	4.15-5.10	1.91	SW	2.1	--	--	1.0	
		M-6	5.10-5.50	1.72	GP	10.2	--	--	2.5	45.4

ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACION Y DISEÑO DE PAVIMENTOS DEL PROYECTO "ALTO CAYMA" III.
(Cruzado, 1986)

C-81	(1)	M-1	1.00		SP-SM		21.3	--	12.0	
C-82	(2)	M-2	1.50		SM		27.9	--	24.0	
C-83	(5)	M-3	0.50		SW-SM		22.0	--	2.0	
C-84	(7)	M-4	0.50		SW-SM		19.3	--	5.0	
C-85	(8)	M-5	1.00		GW		--	--	1.0	
C-86	(15)	M-6	1.00		GW		--	--	1.0	
C-87	(16)	M-7	2.00		SW		--	--	2.0	
C-88	(21)	M-8	2.50		SP-SM		23.0	--	5.0	
C-89	(26)	M-9	0.50		SP-SM		23.0	--	12.0	
C-90	(28)	M-10	1.00		SM		26.0	--	15.0	
C-91	(30)	M-11	1.50		SP-SM		22.0	--	9.0	
C-92	(31)	M-12	2.00		SP-SM		25.6	--	8.0	
C-93	(41)	M-13	0.00		SM		24.6	--	13.0	
C-94	(40)	M-14	1.00		SP-SM		23.9	--	7.0	
C-95	(39)	M-15	2.00		GW-GM		23.8	--	7.0	
C-96	(38)	M-16	2.00		GW		--	--	1.0	
C-97	(58)	M-20	0.80		SP		--	--	2.0	
C-98	(52)	M-21	2.00		SP-SM		23.0	--	7.0	
C-99	(49)	M-22	1.00		SM		30.9	--	24.0	
C-100	(61)	M-23	1.50		SM		33.0	--	37.0	
C-101	(65)	M-24	1.50		GW		--	--	2.0	
C-102	(72)	M-25	1.00		SM		23.9	--	20.0	

ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACION Y DISEÑO DE PAVIMENTOS DEL PROYECTO "PAMPAS DE CONGATA".
(Cruzado, 1986)

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-103	(01)	M-1	1.00		SP		--	--	2.0	
C-104	(03)	M-2	1.50		SP		--	--	3.0	
C-105	(04)	M-3	2.00		SP		--	--	4.0	
C-106	(05)	M-4	1.50		SW		--	--	1.0	
C-107	(07)	M-5	1.50		SP		--	--	1.0	
C-108	(08)	M-6	2.00		SP		--	--	2.0	
C-109	(09)	M-7	1.50		SP		--	--	4.0	
C-110	(15)	M-8	1.50		SW		--	--	1.0	
C-111	(16)	M-9	2.00		SP		--	--	2.0	
C-112	(17)	M-10	1.50		SP-SM		24.2	--	5.0	
C-113	(11)	M-11	2.00		SP		--	--	2.0	

INFORME GEOTECNICO DE LA CIMENTACION DEL EDIFICIO DEL COMANDO ALA N°3. (Rojo,1982)

C-114	PLAZA DE ARMAS (P-1) Cercado - Arequipa.	M-1	0.00-1.60	2.01	GP	1.0	--	--	3.0	
		M-2	1.60-3.50	2.12	GP	2.0	--	--	2.0	
		M-3	3.50-6.00	2.21	GP	1.0	--	--	3.0	
C-115	PLAZA DE ARMAS (P-2) Cercado - Arequipa.	M-1	0.00-1.10	2.05	SM	2.0	--	--	18.0	
		M-2	1.10-3.00	2.09	GP	1.0	--	--	3.0	
		M-3	3.00-6.00	2.20	GP	1.0	--	--	4.0	

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS DEL PROYECTO "TORRES CUESTA DEL ANGEL". (Jauregui,1987)

C-116	Cuesta del Angel (01) Yanahuara - Yanahuara.	M-2	0.00-3.00	1.59	GM	5.0	20.5	--	16.0	68.0
		M-1	3.00-4.50	1.47	GM	7.8	23.5	--	17.0	83.0
C-117	Cuesta del Angel (02) Yanahuara - Yanahuara.	M-1	0.40-1.90	1.47	SM	8.1	22.0	--	15.0	78.0
		M-2	1.90-3.80	1.60	GM	6.0	20.5	--	16.0	--
C-118	Cuesta del Angel (03) Yanahuara - Yanahuara.	M-1	1.00-1.50	1.47	GW-GM	6.9	19.0	--	11.0	63.0
		M-2	1.50-3.50	1.48	GM	7.0	22.0	--	14.0	75.0
C-119	Cuesta del Angel (04) Yanahuara - Yanahuara.	M-2	0.00-1.50	1.51	GP-GM	6.4	19.0	--	6.0	71.0
		M-1	1.50-3.50	1.42	SP-SM	7.0	22.0	--	8.0	67.0

ESTUDIO DE SUELOS PARA CIMENTACION DEL RESERVOIRIO ELEVADO - PARQUE INDUSTRIAL.
(C.P.S. DE INGENIERIA S.A.,1978)

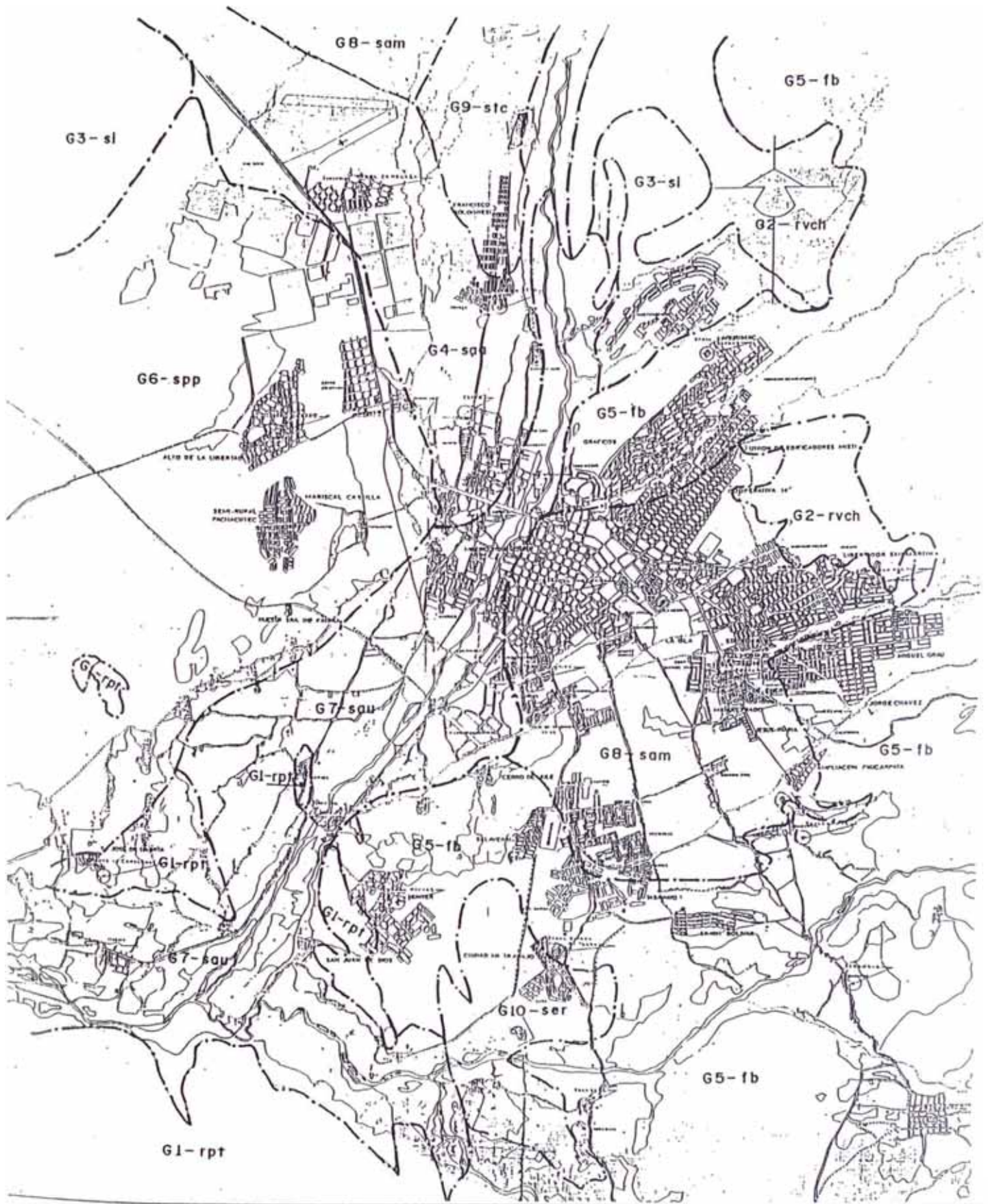
C-120	Esq.Venezuela y C.11 P. Indust. - Arequipa. (P-01)	M-1	0.00-1.80	1.76	SM	2.0	22.3	--	14.0	
		M-2	1.80-2.05	1.68	SM	2.2	26.4	--	12.1	
		M-3	2.05-2.90	1.81	SM	2.1	20.1	--	13.0	
		M-4	2.90-4.35	1.78	SP-SM	3.5	19.8	--	10.0	
		M-5	4.35-5.60	1.71	SW	3.1	17.2	--	3.0	
		M-6	5.60-5.95	1.79	SP	5.3	16.1	--	3.0	
		M-7	5.95-6.60	1.67	SP	4.4	17.3	--	3.0	
		M-9	6.60-7.30	1.68	SM	6.7	16.4	--	13.0	
		C-121	Esq.Venezuela y Calle 11 P. Indust. - Arequipa. (P-02)	M-5	4.00-4.60	1.65	SP	3.1	16.7	--
M-6	4.60-5.85			1.69	SM	6.7	19.5	--	13.0	
M-8	6.30-7.30			1.74	SP	4.0	18.3	--	2.0	

ESTUDIO DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DEL BANCO DE LA NACION. (STEIN.)

CALIC	UBICACION	MUEST.	PROF. (m.)	DENS. NAT.	CLASIF. SUCS	W NAT (%)	LL.	LP.	FINOS (%)	DR. (%)
C-122	Jr. Piérola y Mercaderes Cercado - Arequipa. (C-1)	M-1	0.50-2.00		SW		--	--	4.0	
C-123	Jr. Piérola y Mercaderes Cercado - Arequipa. (C-3)	M-1	1.00-2.20		SW-SM		--	--	9.0	
		M-2	2.20-5.60		SW-SM				12.0	
C-124	Jr. Piérola y Mercaderes Cercado - Arequipa. (C-4)	M-4	1.20-2.40		SW		--	--	3.0	
		M-3	2.40-4.40		SP-SM		-	--	7.0	
		M-2	4.80-6.00		SM		--	--	13.5	
C-125	Jr. Piérola y Mercaderes Cercado - Arequipa. (C-5)	M-2	3.00-4.80		SM		--	--	14.0	

TABLA Nº 3.3: CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LAS ZONAS PROPUESTAS.

ZONA	Df(m)	B(m)	τ (gr/cm ³)	ϕ (°)	C(Kg/cm ²)	DR(%)	qa(Kg/cm ²)
61 -rpt	0.00 - 0.50	0.40	2.2 - 2.4	30 - 39	70.0 - 90.0	> 100	30.0
62 -rvch	0.40 - 0.50	0.40	1.7 - 2.2	32	0.0 - 30.0		15.0
63 -si	0.40 - 0.50	0.40	1.3	30	---		5.0
64 -saa	0.80 - 1.00	0.40	1.4 - 1.8	29 - 32	0.0 - 0.4	50 - 100	3.5
65 -fb	0.80 - 1.00	0.40	1.3 - 2.0	30 - 36	0.0 - 2.0	70 - 100	3.0
66 -spp	0.80 - 1.00	0.40	1.1 - 1.6	26 - 31	0.0 - 0.4	0 - 90	2.0
67 -sau	1.00 - 1.50	0.40	1.5 - 2.0	30 - 35	0.0 - 0.5	40 - 90	1.5
68 -sam	1.00 - 1.50	0.40	1.4 - 1.7	32 - 36	0.0	0 - 50	1.0
69 -ste	1.00 - 1.50	0.40	0.6 - 1.2	30 - 35	0.0 - 0.1	0 - 100	0.5
610-ser	1.00 - 1.50	0.50	1.4 - 1.7	29 - 36	0.0	0 - 50	0.5



LEYENDA

Rocas Preterciarias
 Rocas Volcánicas del Chila
 Sillar
 Suelo de Acequia Alta
 Flujo de Barro

G1-rpt	Suelo Puzolánico de Pachacútec
G2-rvch	Suelo aluvial de Umacollo
G3-sl	Suelo aluvial de Miraflores
G4-saa	Suelo Tobácco Compresible
G5-fb	Suelo aluvial reciente

G6-spp
G7-sau
G8-sam
G9-stc
G10-ser

PLANO GEOTECNICO DE LA CIUDAD DE AREQUIPA	
Esc.: 1/20,000	Fecha: Febrero, 1991
Por: Z. Aguilar Bardales	
Ref.: C. Yanqui Murillo	

Fig. N° 3.1

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS DINAMICAS DEL SUELO

4.1.- ANTECEDENTES

Dentro de la Dinámica de Suelos, el estudio de medición de microtrepidaciones constituye una de las formas rápidas, efectivas y económicas para evaluar los parámetros dinámicos del terreno. Este estudio se viene realizando en varios países desde hace más de 30 años, siendo en el Japón donde Kanai et al (1954) utilizaron este método para clasificar el suelo en cuatro categorías, clasificación que fue adoptada por el Reglamento Sismoresistente del Japón. Posteriormente esta metodología también fue utilizada en Indonesia, Chile, Perú y México.

En el Perú se está utilizando esta técnica desde hace aproximadamente 15 años, siendo en las ciudades de Chimbote y Huaraz donde se realizaron los primeros estudios, en los años de 1972 y 1973.

Ultimamente el CISMID, a través de su Laboratorio Geotécnico, viene realizando una serie de estudios de medición de microtrepidaciones, con fines de microzonificación sísmica en varias ciudades del país, habiéndose realizado estos estudios desde el año 1986 hasta la fecha en las siguientes ciudades: Chimbote, Huaraz, La Molina, Lima, Tacna, Cusco, Majes, La Punta - Callao, Arequipa (Materia de esta investigación) y, ultimamente Rioja, Moyobamba y Soritor.

Otra forma de evaluar los parámetros dinámicos del suelo es mediante el estudio de amplificación dinámica, en el que es necesario hacer un modelamiento del suelo en base a sus características geotécnicas y luego hacer filtrar por éste sismos reales o artificiales a partir de la roca base. Estos estudios generalmente son usados con fines de comprobación de los resultados obtenidos por el método de medición de microtrepidaciones, debido a que necesita datos confiables de un sondaje de perforación profundo, que por lo general debe tener un registro de por lo menos 30m. de profundidad, dependiendo del nivel de la roca base. En nuestro país, y en particular en el área en estudio, son muy pocos los lugares donde se han efectuado este tipo de estudios geotécnicos, no siendo posible realizarlos con fines de investigación por su elevado costo.

4.2.- GENERALIDADES SOBRE MICROTREPIDACIONES

El estudio de medición de microtrepidaciones consiste en registrar las microvibraciones del terreno, originadas tanto por perturbaciones artificiales como por perturbaciones naturales. Dentro de las perturbaciones artificiales tenemos el tráfico vehicular, las máquinas industriales, etc., y dentro de las perturbaciones naturales tenemos el viento, las ondas marinas, la actividad volcánica, etc.

Usualmente las amplitudes de tales movimientos están entre 0.1 y 1 micrones, y el rango de sus períodos abarca de 0.05, 0.1 segundos hasta 1 y 2 segundos. Estas vibraciones del suelo son llamadas microtrepidaciones y pueden ser registradas con equipos muy sensibles que cuentan con un gran rango de amplificación.

Estudios sobre medición de microtrepidaciones se vienen realizando desde 1950. A partir de ese año se han efectuado muchas investigaciones sobre las relaciones entre las características de las microtrepidaciones y las condiciones del subsuelo. Kanai et al (1954) comenzaron las observaciones de microtrepidaciones en varios lugares del Japón, en sus estudios construyeron curvas de frecuencia-período por medio del método "Zero-Crossing" y

clasificaron al suelo en cuatro categorías. Las distribuciones de frecuencia-período de movimientos sísmicos fuertes y de microtrepidaciones en un mismo lugar mostraron una buena correlación.

La curva de distribución de períodos de microtrepidaciones muestra una forma definida para cada tipo de suelo; esto es, cuando la formación del suelo relativa a las características de vibración es simple, como por ejemplo en el caso de una capa estratificada simple, un pico relativamente agudo aparece alrededor de 0.1 a 0.6 seg. en la curva de distribución de períodos de microtrepidaciones. En cambio cuando la formación del suelo es compleja, más de dos picos aparecen en los períodos, entre más cortos que 0.2 seg. y más largos que 1.0 seg. en la curva mencionada.

En el Japón se constató que en una montaña, un pico agudo aparece en el período entre 0.1 a 0.2 seg., mientras que en un terreno diluvial firme, tal como en las afueras de Tokio, el período pico está entre 0.2 a 0.4 seg. En suelo aluvial blando, tal como el centro de Tokio, la curva es de forma irregular y un número de picos aparecen en el rango de 0.4 a 0.8 seg. En suelo blando de gran espesor la curva es plana y los períodos fluctúan entre 0.05, 0.1 seg. hasta 1.2 seg.

Registros de microtrepidaciones en varios tipos de suelos, con su correspondiente curva de distribución de períodos, se muestran en la Fig. N° 4.1

La curva de distribución de períodos está en muchos casos grandemente influenciada por las propiedades del primer estrato del suelo estratificado. En cambio, las curvas en roca fresca así como en la roca base (bedrock), son planas en un rango de períodos menores de 0.1 seg. a mayores de 1 seg.

De estos hechos se considera que las amplitudes de microtrepidaciones en la superficie son mayores en los períodos que coinciden con los períodos naturales del subsuelo, por el hecho de entrar en resonancia.

En el Perú todavía no se ha planteado ninguna propuesta de clasificación del terreno en base a las microtrepidaciones, aunque de acuerdo a los resultados que se está obteniendo en los diferentes estudios, se está observando una buena correlación entre los valores de los períodos medidos y los tipos de suelos, lo que hace suponer que en un futuro cercano se contará con este tipo de propuesta.

4.2.1.- Descripción del equipo empleado

El equipo necesario para registrar vibraciones clasificadas dentro del rango de las microtrepidaciones, debe ser altamente sensible y tener alrededor de mil veces de amplificación. En el presente estudio se ha utilizado el equipo de medición de microtrepidaciones más moderno con que cuenta el Laboratorio Geotécnico del CISMID, el cuál es descrito en forma muy detallada por Tokeshi (1990) bajo el nombre de EQUIPO MICROTREMOR Nº 3. En la Fig. Nº 4.2 se presenta un esquema de este equipo, donde se muestra todos sus componentes, (Tokeshi, 1990).

A continuación se presenta una descripción rápida de los componentes de este equipo:

- a) **Sensores.-** Dos sensores horizontales del tipo MTKH-1C y uno vertical del tipo MTKV-1C de la OGAWA SEIKEI Co. LTD. Estos sensores tienen una frecuencia natural del 1 Hz. y un rango de amplitudes de 0.005 a 3000 micras; además tienen la opción de cambiar su frecuencia

natural a 0.2 Hz., con lo cual se pueden registrar períodos de hasta 5 seg.

- b) **Amplificador.**- Es del tipo TA-406 de la OGAWA SEIKEI Co. LTD. Este permite amplificar las amplitudes de las micro-trepidaciones, para poder visualizarlas a una escala adecuada. Consta de 6 canales y puede acoplarse a una grabadora y a un oscilógrafo simultáneamente.

- c) **Grabadora.**- El data recorder es del tipo RD-110T de la TEAC. Cuenta con ocho canales de grabación y con una banda de registro de 5 KHz. Los datos son almacenados en cintas magnéticas especiales, del tipo DAT-120, en los que simultáneamente se registran la fecha y la hora de grabación.

- d) **Oscilógrafo.**- El monitor gráfico es del tipo 8K21 de la NEC San-ei Instruments Ltd. Es utilizado para visualizar la forma de la onda de microtrepidaciones y evitar la grabación y el procesamiento de segmentos con perturbaciones o interferencias.

- e) **Analizador Analógico FFT.**- Es una computadora analógica del tipo FFT Analyzing Scope TEAC F-3000, con la cuál se realiza el procesamiento de la onda grabada, mediante la Transformada Rapida de Fourier.

- f) **Fuente de energía.**- Normalmente, para los trabajos de campo, se utilizan dos baterías de corriente continua, de 12 V., con las cuales pueden trabajar directamente el amplificador y la grabadora. Para el oscilógrafo se requiere corriente alterna de 220 V., la que se consigue con un invertidor y un transformador de corriente.

4.2.2.- Procedimiento de la medición

Para realizar mediciones de microtrepidaciones con el equipo arriba mencionado, se requiere observar el siguiente procedimiento:

- a) **Calibración.**- Antes de salir al campo se debe realizar la calibración del amplificador, utilizando para este fin

el analizador analógico FFT F-3000. La calibración consiste en darle al amplificador una ganancia de un voltio pico-pico, a 46 dB. de atenuación, centrando la señal de salida con respecto al cero. Igualmente se calibra el oscilógrafo con una ganancia de un voltio por centímetro de impresión, estando el selector de ganancia en 1 V/cm.

Esta calibración no debe ser modificada en el campo, durante la medición; pudiendo sólo atenuar la señal de salida colocando la ganancia en 6 ó 14 dB.

- b) **Medición.**- Una vez seleccionado el punto de medición en un lugar despejado, se conecta el equipo y se procede a estacionar los sensores, los cuales previamente deben ser desbloqueados de su seguro interno. Al estacionar los sensores horizontales, se hace uso de una brújula, para orientarlos uno en la dirección N-S y otro en la dirección E-W. Seguidamente se nivelan los tres sensores y se coloca el amplificador en posición de medición, con la ganancia en 0 ó 6 dB de atenuación, según sea más

propicio. Se verifica la calidad de la señal en el oscilógrafo y se procede a la grabación, describiendo en ésta, la ubicación del punto, su identificación, las condiciones del registro y las interferencias que pudieran presentarse durante este lapso.

Luego de haberse registrado la grabación de la señal en un lapso de 3 a 5 minutos, sin interferencias, se procede a grabar la señal de calibración por 20 segundos, colocando para esto la ganancia del amplificador en 46 dB de atenuación y el selector de medición en modo "cal".

4.2.3.- Análisis de las microtrepidaciones

Para realizar el análisis de las microtrepidaciones, hasta hace poco tiempo se utilizaba el método de la curva de distribución de períodos, que consistía en digitalizar la onda registrada y luego realizar su procesamiento como si se tratara de un sismograma, hasta obtener el espectro de Frecuencia-Período o curva de distribución

de períodos. Este procedimiento requería de una gran cantidad de tiempo.

Actualmente el procesamiento se ha simplificado grandemente con el equipo analógico digital FFT que realiza la Transformada de Fourier con gran rapidez; justamente las siglas "FFT" se derivan de las iniciales de las palabras "Fast Fourier Transformer". Este método consiste en convertir la señal analógica a una señal digital discontinua (discreta), con la cual se va calculando la Transformada de Fourier, integrando con respecto al tiempo el producto de la señal observada por una función exponencial compleja. Todo este proceso está incorporada en la memoria del computador analógico digital FFT F-3000, y su operación ha sido descrita por Tokeshi (1990).

El procesamiento de la onda mediante el analizador digital FFT F-3000 básicamente consiste en lo siguiente:

Selección de tramos buenos: Se imprimen en el oscilógrafo las ondas grabadas, a una velocidad de papel de 5 mm/seg. En esta impresión se marca el tiempo inicial

y final de los tramos sin interferencias de las tres componentes, los cuales deben tener una duración no menor de 15 seg.

- **Obtención del período predominante:** Se hace pasar la señal de la onda grabada por el analizador FFT F-3000, componente por componente, procesando únicamente los tramos seleccionados y se obtiene el espectro de frecuencias. El analizador FFT F-3000 posee un menú de diferentes tipos de rangos de frecuencias que están vinculados a un correspondiente tiempo de cuadro fijo. Se utiliza el rango de frecuencias de 0 a 20 Hz., debido a que este rango hace factible la visualización de la frecuencia predominante de cualquier onda de medición de microtrepidaciones, que están entre 1 Hz. a 12 Hz.

El período predominante de cada punto de medición se obtiene promediando las inversas de las dos frecuencias horizontales. El período predominante de la componente vertical solamente se utiliza como dato referencial.

4.3.- MEDICION DE MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

En la ciudad de Arequipa se realizaron 227 puntos de medición de microtrepidaciones, distribuidos más o menos uniformemente en toda el área urbana. Una programación inicial del trabajo contemplaba la realización de solamente 150 puntos; pero debido a la gran variación de los períodos predominantes en zonas cercanas, fue necesario una mayor densificación de los puntos.

Los trabajos de campo fueron realizados en dos campañas de mediciones, las que fueron patrocinadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) y por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

En la primera campaña, llevada a cabo del 5 al 16 de Marzo de 1990, se realizaron 101 puntos de medición de microtrepidaciones y 5 calicatas. En la segunda campaña, del 18 al 28 de Junio, se realizaron 129 puntos de medición de microtrepidaciones, de los cuales 3 puntos fueron de verificación de la campaña anterior.

El mapa de curvas isoperíodos de la ciudad de Arequipa, que se muestra en el Plano P-2, presenta períodos predominantes que varían entre 0.15 a 0.45

seg., existiendo una gran área con valores de períodos predominantes entre 0.25 a 0.40 seg. Estos valores resultan concordantes con la geología y las características geotécnicas de las zonas que delimitan.

En la Tabla 4.1 se muestra un resumen de los puntos de medición de microtrepidaciones, en la que se indica la ubicación del punto, la fecha de medición y los períodos predominantes obtenidos para cada componente. Además en el Anexo II se presentan las fichas de medición de microtrepidaciones más representativas, ya que por el elevado número de éstas no es posible anexarlas en su totalidad; pero estas fichas quedan en el archivo del Laboratorio Geotécnico del CISMID, a disposición de los interesados. En éstas se indica la ubicación del punto, las condiciones de medición, la duración de la grabación y la duración del segmento procesado; así mismo, se muestra un croquis de ubicación y los espectros de frecuencias promedios con un segmento de onda representativo de cada componente.

4.4.- AMPLIFICACION DINAMICA DE SUELOS

El fenómeno de amplificación de ondas sísmicas es de gran importancia en el estudio de Dinámica de

Suelos, con propósitos de lograr construcciones asísmicas.

Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado mediante la Teoría de Propagación de Ondas Unidimensionales, la cual considera al suelo como un medio elástico, homogéneo, semi-infinito y trabajando en los rangos de deformaciones pequeñas y de deformaciones mayores.

En el análisis dinámico de los depósitos de suelo, existen varias razones para simplificar los problemas a un modelo unidimensional. Ohsaki (1975), al fundamentar la Teoría de Amplificación Unidimensional, menciona las siguientes razones:

- a) Frecuentemente existe gran interés en los terremotos destructivos. El centro de liberación de energía de los sismos destructivos está por lo general cerca al sitio o a la ciudad en sollicitación sísmica; por lo tanto, las ondas sísmicas viajan haciendo un ángulo más pequeño con la componente vertical que con la componente horizontal.
- b) Las rocas y los estratos de suelos tienden a ser frecuentemente blandos cerca a la superficie del suelo. La dirección de propagación de las ondas

sísmicas se acerca bastante a la dirección vertical cuando las mencionadas ondas pasan a través de los estratos blandos, de acuerdo a la ley de Snell en óptica (Teoría de Reflexión y Refracción de Ondas).

- c) Aún cuando las condiciones de los suelos pueden cambiar a lo largo de la dirección horizontal, la razón de cambio en esta dirección es mucho más pequeña que en la dirección vertical. Se ha encontrado un número grande de casos donde la horizontalidad de los estratos asumida puede ser justificada.

- d) Durante los sismos se notan ondas de superficie, tales como ondas Love o Rayleigh, las cuales viajan a lo largo de la superficie del suelo. Ellas tienen gran amplitud, y en general son de períodos largos; sin embargo no desarrollan grandes aceleraciones y su contribución a dañar estructuras potencialmente puede ser menor. Los grandes daños sobre las estructuras pueden ser probablemente debido a las ondas de corte.

Sobre la base de estas razones, los movimientos sísmicos son frecuentemente tratados por la propagación unidimensional de las ondas de corte a lo largo de la dirección vertical.

Los parámetros dinámicos del suelo necesarios para poder aplicar esta teoría, son los siguientes:

- 1) Densidad de Masa (ρ , t.seg²/m⁴).- Puede ser obtenido del peso unitario (τ). Para el análisis dinámico no se considera el peso unitario sumergido en agua ($\tau' = \tau - 1$).

$$\rho = \tau / 9.81$$

- 2) Módulo de Corte (G , t/m²) o Velocidad de ondas de corte (V_s , m/seg.).

$$G = \rho . V_s^2.$$

El módulo de corte puede ser determinado de diferentes formas, también puede ser estimado aproximadamente de la prueba de penetración standard, mediante la siguiente fórmula:

$$G = 1200 . N^{0.8} \text{ (t/m}^2\text{)}$$

Donde: N = Número de golpes de penetración standard.

La fórmula dada es independiente del tipo de suelo y de la altura con respecto a la superficie del suelo de la que ha sido sacada la muestra. (Ohsaki e Iwasaki, 1973).

El módulo de corte así estimado corresponde a deformaciones pequeñas y es aproximadamente igual a las correspondientes deformaciones del suelo obtenidas en exploración sísmica.

- 3) Amortiguamiento del suelo (β).- Para presentar el mecanismo de amortiguamiento en los suelos se usan frecuentemente los modelos de Voigt y de Maxwell, que relacionan el esfuerzo de corte (τ , t/m²) con el módulo de corte (G) y el coeficiente de viscosidad (η).

Estudios posteriores encontraron que el amortiguamiento de los suelos no es ninguno de los dos tipos nombrados, sino que es un tipo de amortiguamiento constante con respecto a las frecuencias. En consecuencia, tomando como base el modelo de Voigt, se llega a la siguiente relación:

$$\eta \cdot w/G = 2\beta$$

Donde: $\eta \cdot w/G = \text{constante}$

β = Factor de amortiguamiento.

η = Coeficiente de viscosidad.

w = Frecuencia angular del suelo

G = Módulo de corte.

Ohsaki (1975), propone que el modelo más razonable para suelos puede ser una combinación del resorte (G) y del amortiguador $\eta = 2\beta \cdot G/w$. Este modelo de amortiguamiento es denominado modelo de amortiguamiento histerético o modelo histerético constante.

Similarmente al módulo de corte (G), el factor de amortiguamiento (β) cambia considerablemente con el cambio de deformaciones, como en la arena y la arcilla. Pero para deformaciones pequeñas el factor de amortiguamiento puede ser asumido como:

$$\beta = 2\% \text{ (para arena o arcilla), (Ohsaki, 1975)}$$

Efectuando el análisis dinámico de depósitos de suelos estratificados como sistema continuo, se obtiene la relación de aceleraciones entre dos estratos consecutivos. Esta relación que es denominada "función respuesta de frecuencia aceleración a aceleración", tiene como variable a la frecuencia angular y representa la aceleración en la parte superior del m-ésimo estrato en relación a la aceleración en la parte superior del n-ésimo estrato.

El valor absoluto de la función respuesta de frecuencia aceleración a aceleración es llamada "relación de amplificación" entre el m-ésimo estrato y el n-ésimo. La gráfica de la amplificación versus la frecuencia angular (ω) o la frecuencia $f = \omega/2\pi$, es denominada Espectro de Amplificación.

El espectro de amplificación puede tener varios picos, dependiendo del número de estratos. En cada pico podemos obtener la frecuencia y, por consiguiente, el período para cada modo de vibración. El primer modo de vibración nos proporciona el período fundamental del suelo.

El fundamento teórico del análisis dinámico de depósitos de suelos como sistema continuo ha sido desarrollado por Ohsaki (1975), el cual es presentado por Chávez (1986) en el estudio de Amplificación Sísmica de Algunas Ciudades del Perú.

En el presente trabajo se utiliza el programa de cómputo FRF (Función Respuesta de Frecuencia), que ha sido desarrollado en base a la teoría de Ohsaki. Este programa toma como datos los parámetros dinámicos de cada estrato del depósito de suelo analizado (profundidad, peso unitario, velocidad de ondas de corte y factor de amortiguamiento), y obtiene el espectro de amplificación y el período

fundamental de este depósito, tomando la razón de amplificación entre la superficie y la roca base o similar. Se asume que los módulos de corte y amortiguamiento son constantes y corresponden a deformaciones pequeñas.

Debido a que en muchos casos no es posible llegar al estrato rocoso, se puede tomar como roca base un estrato en el cual la velocidad de onda de corte sea de $V_s \geq 500$ m/seg. y su peso unitario sea de $\tau = 2.00$ ton/m³, (Ohsaki, 1975).

El programa FRF está escrito en lenguaje BASIC, y ha sido adaptado para funcionar en una computadora NEC-PC mediante el editor N88BASIC. El listado de este programa se muestra en el Anexo III.1.

En la ciudad de Arequipa, al no contar con información suficiente, solamente se ha logrado realizar algunos análisis de amplificación sísmica, en lugares donde se han efectuado estudios que incluyen sondajes con ensayos SPT o donde se tiene conocimiento del perfil estratigráfico del terreno, complementando los datos de profundidad de los estratos en base a la información geológica. Para calcular el valor de la velocidad de las ondas de corte en un estrato se ha utilizado la siguiente

ecuación: $V_s = 86.N^{0.4}$, en la cual se ha tomado un peso unitario promedio de $\tau = 1.6 \text{ Kg/cm}^3$.

Los resultados de estos análisis dan valores muy similares a los obtenidos por el método de medición de microtrepidaciones, como en el caso de la Plaza de Armas, donde el período fundamental del suelo (obtenido por amplificación dinámica) es de 0.37 seg. y el período predominante del suelo (obtenido por microtrepidaciones) es de 0.38 seg. Estos valores, que si bien pudieron haber sido un poco diferentes dependiendo de la profundidad real de la roca base, nos dan una idea clara de lo que ocurre en esta zona, donde las condiciones geotécnicas del suelo son buenas a partir de los 2m. de profundidad, con valores de $N \geq 50$; pero debido a la potencia de este material (aproximadamente 50 m.) y al contraste de velocidades de las ondas S entre éste y la roca base, los períodos son relativamente altos.

Estas condiciones también se presentan en las urbanizaciones de Carmen Alto y La Tomilla, en el distrito de Cayma, donde existen suelos con buen comportamiento geotécnico, pero con valores de períodos relativamente altos.

Los resultados de los análisis efectuados y sus respectivos espectros de amplificación se presentan en el Anexo III.2.

4.5.- DISCUSION DE RESULTADOS

A continuación se hace la interpretación de los resultados obtenidos de los estudios de medición de microtrepidaciones y amplificación dinámica en la ciudad de Arequipa, correlacionándolos con los estudios geológico y geotécnico que se muestran en los capítulos anteriores, y se presenta como conclusión de ésta una propuesta de microzonificación sísmica.

Como se puede observar en el mapa de curvas isoperíodos, los valores más bajos de los períodos predominantes, entre 0.12 y 0.25 seg., se presentan al sur oeste de la ciudad, en el cerro donde se ubica el pueblo de Sachaca y en las partes altas de la urbanización Hunter, conformadas por la ladera del cerro Manto. Estos cerros forman parte de la Cordillera de Laderas y están constituidos por rocas ígneas intrusivas, con excelentes características geotécnicas. Igualmente en la parte alta del distrito de Mariano Melgar, al nor-este de la ciudad, se presentan valores de períodos predominantes de

0.20 a 0.35 seg. en la zona correspondiente al afloramiento rocoso del Volcánico Chila, constituido por rocas ígneas extrusivas con buen comportamiento geotécnico.

Además se presentan valores de 0.15 a 0.25 seg. en parte del Cercado, comprendiendo las urbanizaciones de Cerro July, Parque Industrial, Ferroviarios, IV Centenario y Municipal, y en parte del distrito de Cerro Colorado, entre las urbanizaciones de Semirural Pachacútec, Mariscal Castilla y Alto Libertad, y en la urbanización Río Seco, en la zona del aeropuerto.

Seguidamente, se observa que en la mayor parte del casco urbano se presentan valores de períodos predominantes entre 0.25 y 0.40 seg. En esta zona se presentan diferentes tipos de suelo, entre los que se encuentran gran parte de las unidades: aluvial de Acequia Alta, aluvial de Umacollo, Aluvial de Miraflores, Flujos de Barro y parte del suelo puzolánico de Pachacútec. Como se ha mencionado anteriormente, gran parte de estos suelos presentan condiciones geotécnicas favorables; pero debido a la potencia de los depósitos aluviales y al contraste de velocidades de ondas de corte con el basamento rocoso, constituido por el Volcánico Sencca Compacto (Sillar), presentan períodos predominantes relativa-

mente altos. Existen también áreas como la de Alto Cayma y Francisco Bolognesi, que se encuentran dentro de este rango de períodos, aún cuando las condiciones geotécnicas no son muy favorables, pues se encuentran cubiertos por una capa de material piroclástico delesnable, de aproximadamente 6 mts. de espesor.

Por último, se observa que se presentan valores de períodos predominantes entre 0.40 y 0.49 seg. en las urbanizaciones el Palacio, Sarancota y el balneario Tingo, así mismo en la urbanización Bellapampa. En estas zonas, los altos valores de períodos predominantes pueden estar determinados por la presencia del nivel freático muy cerca a la superficie del terreno, ya que, como se observa en el plano hidrogeológico de la Fig. Nº 2.2, en estos lugares se produce la convergencia del acuífero de la ciudad. También se presentan valores de períodos predominantes en este rango, en la urbanización San Martín de Socabaya, en la parte baja del distrito de Mariano Melgar, en la parte baja de la urbanización Zamácola y en gran parte de la urbanización Semirural Pachacútec. Estos valores, que si bien pueden ser explicados por la potencia del estrato aluvial superior, como se observa en los espectros de amplificación dinámica realizados para San Martín de Socabaya, Umacollo y La Tomilla, indican también

que los suelos de cimentación presentan condiciones poco favorable; por lo tanto es necesario realizar una mayor exploración de los suelos en estas zonas para conocer mejor sus características geotécnicas.

En base a estos resultados se propone la siguiente zonificación sísmica de la ciudad de Arequipa:

ZONA A: Esta zona está conformada por las rocas ígneas intrusivas de los pueblos de Sachaca y Hunter, ubicados en la parte sur-oeste de la ciudad, y por las rocas ígneas extrusivas del volcánico Chila, ubicados en la parte alta del distrito de Mariano Melgar. Estas unidades presentan muy buenas características geotécnicas, pudiéndoles asignar una capacidad portante superior a los 10 Kg/cm^2 , con profundidades de cimentación entre 0.0 y 0.50 mts. Los valores de los períodos predominantes obtenidos en esta zona se encuentran en el rango de 0.15 a 0.25 seg.

Por presentar similares características geotécnicas, además de pertenecer a la misma unidad geológica, se hace extensiva esta zona a las rocas ígneas

intrusivas de la Cordillera de Laderas que ocupan la parte sur-oeste de la ciudad, igualmente a las rocas ígneas del Volcánico Chila que afloran en la parte norte de la ciudad, ubicadas en la margen izquierda del río Chili.

ZONA B: Esta zona está conformada por los afloramientos de sillar en las inmediaciones del pueblo joven Independencia, al norte de la ciudad, y en la urbanización Río Seco, en la parte nor-oeste. Igualmente se encuentran conformando esta zona los suelos puzolánicos de Pachacútec comprendidos entre las urbanizaciones Semirural Pachacútec, Mariscal Castilla y Alto Libertad, del distrito de Cerro Colorado, y los flujos de barro que constituyen las laderas de la Cadena del Barroso, ubicados en las partes altas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata.

En esta zona se considera también al área del Cercado comprendida entre las urbanizaciones: Cerro July, Parque Industrial, Ferroviarios, IV Centenario y Municipal, que presenta valores de períodos predominantes de 0.15 a 0.25 seg.

Las características geotécnicas de esta zona son buenas, presentando valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm². Además en todas las áreas que conforman esta zona, el nivel freático se encuentra a más de 10 mts. de profundidad.

Los valores de los períodos predominantes obtenidos en esta zona fluctúan entre 0.15 y 0.30 seg., excepto en los flujos de barro, donde se encuentran períodos predominantes entre 0.30 y 0.35 seg.

ZONA C: Conformada por la mayor parte del casco urbano, entre las que se encuentran los distritos de Cayma, Yanahuara, el Cercado, parte de Cerro Colorado y las partes bajas de los distritos de Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata.

En esta zona se encuentran suelos con comportamientos geotécnicos bastante erráticos, existiendo áreas que presentan buen comportamiento y que son bastante homogéneas, como la conformada por el aluvial Acequia Alta, constituido por gravas y arenas compactas, pero que presentan períodos predominantes relativa-

mente altos. Existen también áreas con características geotécnicas poco favorables, tales como las conformadas por el aluvial de Miraflores, constituidos por gravas y arenas de baja densidad relativa y que en algunos lugares se presentan en estado suelto. Los suelos puzolánicos y los flujos de barro que conforman esta zona, también presentan condiciones geotécnicas favorables. Así mismo, en esta zona se encuentra el área de inestabilidad de taludes ubicada en el distrito de Miraflores, en las inmediaciones de la urbanización Chapi Chico (Orihuela, 1981).

Los valores de capacidad portante en esta zona varían entre 1.0 y 2.5 Kg/cm², y el nivel freático se encuentra a una profundidad mayor que 5 mts. de profundidad, excepto en la zona del balneario Tingo, donde se produce la convergencia del acuífero y el nivel freático se encuentra muy cerca a la superficie del terreno.

Los valores de los periodos predominantes obtenidos en esta zona se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

ZONA D: Esta zona está conformada por el material piroclástico que cubre las urbanizaciones de Alto Cayma y Francisco Bolognesi, el cual se encuentra constituido por material tobáceo muy liviano, encontrándose en partes en estado suelto y en partes cementado y en la cual podría ocurrir colapso.

Además en esta zona se incluye a los suelos eluviales de Bellapampa, en los cuales el nivel freático se encuentra muy cerca a la superficie.

Esta zona presenta condiciones geotécnicas desfavorables, dando un valor de capacidad portante de 0.50 Kg/cm^2 . Los valores de períodos predominantes obtenidos en esta zona también se encuentran en el rango de 0.30 a 0.45 seg.

En el Plano P-3 se presenta la microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa.

4.6.- CONCLUSIONES

Como se ha mencionado anteriormente los valores de períodos predominantes obtenidos en la ciudad de Arequipa, presentan una buena correlación con las características geotécnicas de las diferentes unidades geológicas. Estos valores han sido agrupados en rangos para definir la zonificación sísmica, considerando básicamente las condiciones geotécnicas de los suelos que delimitan las curvas isoperíodos; por lo tanto, no deben ser considerados como intervalos fijos para ser aplicados en otras ciudades, ya que como se sabe, aún no contamos con una propuesta de clasificación de suelos en base a los períodos predominantes.

En la zonificación sísmica propuesta, se observa que los rangos de los períodos predominantes en las zonas C y D son los mismos, y se encuentran entre 0.30 y 0.45 seg.; pero se ha creído conveniente diferenciar las áreas que conforman la zona D de las de la zona C, debido a que éstas presentan condiciones geotécnicas bastante desfavorables y por lo tanto constituyen una zona especial que requieren de mayores estudios.

Los espectros de amplificación dinámica obtenidos en las diferentes zonas de la ciudad de

Arequipa, dan valores de períodos fundamentales muy parecidos a los valores de períodos predominantes obtenidos por medición de microtrepidaciones. Estos espectros, además de verificar los resultados de la medición de microtrepidaciones, nos han permitido comprender porqué en áreas de material gravoso compacto pueden ocurrir períodos predominantes relativamente altos, lo cual se explica por el espesor de los estratos superiores y por la diferencia de velocidades de las ondas de corte entre éstos y la roca base.

En conclusión, los resultados obtenidos mediante las mediciones de microtrepidaciones, permiten determinar con bastante precisión las características dinámicas del suelo, por lo cual se constituyen en una técnica muy conveniente para realizar estudios de microzonificación sísmica, ya que permite cubrir grandes extensiones de terreno en corto tiempo, resultando mucho más económico que cualquier otro método de exploración de campo.

TABLA 4.1 MEDICION DE MICROTREPIDACIONES EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
1	Esquina Av. París y Av. Berlín. Urb. Hunter - AREQUIPA.	07/03/90	0.27	0.37	0.32	0.27
2	Parque entre las Mzs. B, C, D y E. Urb. San Juan de Dios - AREQUIPA.	07/03/90	0.27	0.26	0.26	0.26
3	Parque entre las Mzs. H e I. Urb. Andrés A. Cáceres - AREQUIPA.	07/03/90	0.27	0.27	0.27	0.38
4	Jr. Bolognesi, costado del cementerio. Urb. León del Sur - AREQUIPA.	07/03/90	0.27	0.30	0.28	0.18
5	Esquina Viña del Mar y San Salvador. Urb. Daniel A. Carrión - AREQUIPA.	07/03/90	0.42	0.43	0.42	0.27
6	Balneario Tingo. Urb. Tingo - AREQUIPA.	07/03/90	0.32	0.30	0.31	0.27
7	Parque entre las Mzs. M y N. Urb. El Palacio I etapa - SACHACA.	07/03/90	0.27	0.27	0.27	0.27
8	Terreno en la Mz. "C". Urb. El Palacio I etapa - SACHACA.	07/03/90	0.13	0.14	0.13	0.37
9	Terreno en la Mz. "F". Urb. El Palacio II etapa - SACHACA.	07/03/90	0.40	0.43	0.41	0.32
10	Al final de la Av. Caracas. Urb. Simón Bolívar - PAUCARPATA.	07/03/90	0.50	0.42	0.46	0.50
11	Esquina Condesuyos y Ballón Farfán. Urb. Simón Bolívar - PAUCARPATA.	07/03/90	0.38	0.36	0.37	0.40
12	Jr. Alcides Carrión. Urb. Simón Bolívar - PAUCARPATA.	07/03/90	0.38	0.38	0.38	0.26
13	Esquina entre las Mzs. LL, M y N. Urb. 3 de Octubre - PAUCARPATA.	08/03/90	0.28	0.29	0.28	0.27
14	Esquina entre las Mzs. C, D, L y M. Urb. Corazón de Jesús - PAUCARPATA.	08/03/90	0.30	0.27	0.28	0.19
15	Esquina de Av. Bolognesi y Sucre. Urb. Bellapampa - SOCABAYA.	08/03/90	0.43	0.40	0.41	0.45
16	Esquina Jr. Los Geranios y Olímpica. Urb. Bellapampa - SOCABAYA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.45
17	Parque entre las Mzs. B, F y L. Urb. Lara - SOCABAYA.	08/03/90	0.50	0.27	0.38	0.27
18	Parque entre Jr. Iquitos y Caravelí. Urb. San Martín - PAUCARPATA.	08/03/90	0.31	0.37	0.34	0.27
19	Esquina Jr. Chimbote y Andahuaylas. Urb. San Martín - PAUCARPATA.	08/03/90	0.38	0.43	0.40	0.27
20	Esquina entre las Mzs. B y C Urb. Dolores - PAUCARPATA.	08/03/90	0.19	0.18	0.18	0.27
21	Esquina Jr. Unión y Huancayo. Urb. San Martín - PAUCARPATA.	08/03/90	0.38	0.42	0.40	0.50
22	Cuadra 5 Av. Arequipa. Urb. Satélite Chico - PAUCARPATA.	08/03/90	0.27	0.50	0.38	0.38
23	Esquina Av. Salaverry y Miguel Grau. Urb. Salaverry - AREQUIPA.	08/03/90	0.40	0.37	0.38	0.27

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
24	Parque entre las Mzs. E, F y H. Urb. Villa Eléctrica - AREQUIPA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.27
25	Esquina Av. Guatemala y Venezuela. Urb. Satélite - PAUCARPATA.	08/03/90	0.42	0.40	0.41	0.27
26	Parque entre las Mzs. N, R y S. Urb. P. Diez Canseco - PAUCARPATA.	08/03/90	0.40	0.27	0.33	0.27
27	Entre las Mzs. E y F. Urb. Coop. Lambamani - PAUCARPATA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.27
28	Esquina entre las Mzs. F y K. Urb. ADEPA. - PAUCARPATA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.27
29	Esquina entre las Mzs. H y J. Urb. Alvares Thomas - AREQUIPA.	08/03/90	0.38	0.34	0.36	0.33
30	Terreno en la Mz. "G". Urb. Francisco Mostajo - AREQUIPA.	08/03/90	0.38	0.34	0.36	0.38
31	Parque entre las Mzs. H, M y N. Urb. Los Angeles - AREQUIPA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.37
32	Terreno en las Mzs. "O". Urb. Juventud Ferroviaria - AREQUIPA.	08/03/90	0.27	0.27	0.27	0.33
33	Final de la Av. Arturo Ibañez. Urb. Parque Industrial - AREQUIPA.	08/03/90	0.16	0.16	0.16	0.16
34	Final de la Av. Venezuela. Urb. Juan el Bueno - AREQUIPA.	08/03/90	0.10	0.12	0.11	0.43
35	Parque entre Jrs. Evans y F. Barreto. Urb. Ferroviarios - AREQUIPA.	08/03/90	0.13	0.13	0.13	0.13
36	Jr. Gutierrez de la Fuente, estadio. Urb. IV Centenario - AREQUIPA.	08/03/90	**	**	**	**
37	Esquina entre las Mzs. P y T. Urb. Ciudad Blanca III - PAUCARPATA.	09/03/90	0.37	0.40	0.38	0.42
38	Esquina entre las Mzs. G y LL. Urb. Israel - PAUCARPATA.	09/03/90	0.36	0.37	0.36	0.37
39	Esquina entre las Mzs. B, C y D. Urb. Ciudad Blanca II - PAUCARPATA.	09/03/90	0.34	0.34	0.34	0.36
40	Esquina Av. Túpac Amaru y M. Castilla. Urb. Ciudad Blanca I - PAUCARPATA.	09/03/90	0.27	0.28	0.27	0.22
41	Jr. Los Claveles, Mz. "O". Urb. Campo Marte - PAUCARPATA.	09/03/90	0.37	0.37	0.37	0.40
42	Jr. Santa Cruz, Mz. "J". Urb. La Calerita - PAUCARPATA.	09/03/90	0.45	0.48	0.46	0.43
43	Parque frente a la Mz. "G". Urb. Cesar Vallejo - PAUCARPATA.	09/03/90	0.38	0.36	0.37	0.38
44	Esquina Jr. E. Pinto y H. Patiño. Urb. Guardia Civil - PAUCARPATA.	09/03/90	0.33	0.34	0.33	0.27
45	Parque entre Jr. Victoria y La Perla. Urb. Manuel Prado - PAUCARPATA.	09/03/90	0.36	0.37	0.36	0.33
46	Esquina Jr. Progresista y Pumacahua. Urb. Progresista - PAUCARPATA.	09/03/90	0.25	0.21	0.23	0.48
47	Esquina Av. Miguel Grau y 200 Millas. Urb. Miguel Grau - PAUCARPATA.	09/03/90	0.36	0.34	0.35	0.37
48	Parque entre B de Octubre y J. Chávez. Urb. Miguel Grau - PAUCARPATA.	09/03/90	0.33	0.30	0.31	0.30

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
49	Parque entre Los Alpes y A. Ugarte. Urb. Jorge Chávez - PAUCARPATA.	09/03/90	0.40	0.36	0.38	0.21
50	Esquina Av. El Triunfo y Gonzales P. Urb. 15 de Agosto - PAUCARPATA.	09/03/90	0.18	0.18	0.18	0.19
51	Esquina entre las Mzs. C y E. Urb. La Cantuta - PAUCARPATA.	10/03/90	0.36	0.32	0.34	0.21
52	Parque entre Av. Sepulveda y Lima. Urb. Mariano Melgar - MARIANO MELGAR.	10/03/90	0.37	0.37	0.37	0.40
53	Parque entre Jr. Panamá y EE. UU. Urb. Alto San Martín - MARIANO MELGAR.	10/03/90	0.26	0.27	0.26	0.32
54	Esquina Jr. Chancay y Av. Argentina. Urb. Grmo. San Martín - M. MELGAR.	10/03/90	0.31	0.36	0.33	0.38
55	Esquina Jr. Huánuco y Raymondi. Urb. San Lorenzo - MARIANO MELGAR.	10/03/90	0.45	0.40	0.42	0.37
56	Esquina Jr. París y Londres. Urb. Santa Rosa - MARIANO MELGAR.	10/03/90	0.42	0.38	0.40	0.26
57	Final de la Av. Alfonso Ugarte. Urb. El Porvenir - MIRAFLORES.	10/03/90	0.36	0.40	0.38	0.34
58	Esquina Av. Bolívar y Prol. Goyeneche. Urb. Francisco Mostajo - MIRAFLORES.	10/03/90	0.32	0.27	0.29	0.31
59	Pqe. entre Av. Pte. Arnao y Gonzales P. Urb. Coop. Nº 14 - MIRAFLORES.	10/03/90	0.42	0.29	0.35	0.37
60	Esquina Jr. Misti y Martinelly Tizón. Urb. Leones del Misti - AREQUIPA.	10/03/90	0.40	0.36	0.38	0.40
61	Esq. Av. 12 de Octubre y Huayna Capac. Urb. Alto Selva Alegre - AREQUIPA.	10/03/90	0.33	0.32	0.32	0.36
62	Parque entre Av. España y América. Urb. Alto Selva Alegre - AREQUIPA.	10/03/90	0.37	0.36	0.36	0.38
63	Parque. entre Jr. Sánchez T. y Misti. Urb. Miraflores - MIRAFLORES.	10/03/90	0.36	0.36	0.36	0.33
64	Pque. entre Av. Alvares T. y Benavides. Urb. Selva Alegre - AREQUIPA.	10/03/90	0.32	0.32	0.32	0.32
65	Pque. entre Av. Mariategui y C. Alegría Urb. Independencia - AREQUIPA.	10/03/90	0.26	0.29	0.27	0.24
66	Esquina Av. Fco. Mostajo y S. Chocano. Urb. Independencia - AREQUIPA.	10/03/90	0.38	0.42	0.40	0.42
67	Esquina entre las Mzs. C, D y E. Urb. Villa Chachas - AREQUIPA.	10/03/90	0.34	0.37	0.35	0.33
68	Parque entre Av. San Martín y Unión. Urb. Miraflores - MIRAFLORES.	11/03/90	0.37	0.32	0.34	0.36
69	Pqe. entre Independencia y Fernandez D. Urb. La Victoria - AREQUIPA.	11/03/90	0.34	0.43	0.38	0.42
70	Parque entre Jr. Castilla y Chule. Urb. Municipal - AREQUIPA.	11/03/90	0.10	0.10	0.10	0.10
71	Esquina Av. Santa Rosa y San Pedro. Urb. Orrantia - AREQUIPA.	11/03/90	0.36	0.27	0.31	0.37
72	Parque entre Av. Lima y Jr. Belén. Urb. Vallecito - AREQUIPA.	11/03/90	0.24	0.23	0.23	0.43
73	Mz. "F-2", zona A. Urb. Alto Cayma III - CAYMA.	11/03/90	0.38	0.43	0.40	0.38

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
74	Mz. "I-7", parte superior. Urb. Alto Cayma III - CAYMA.	11/03/90	0.47	0.42	0.44	0.47
75	Calicata # 1, Corte natural. Urb. Alto Cayma III - CAYMA.	11/03/90	0.37	0.36	0.36	0.36
76	Esquina Jr. Moquegua y Circunvalación. Urb. S. Rural Pachacútec - C. COLORADO.	11/03/90	0.42	0.45	0.43	0.45
77	Esq. Jr. Cahuide y Sor A. de Angeles. Urb. S. Rural Pachacútec - C. COLORADO.	11/03/90	0.25	0.24	0.24	0.42
78	Parque entre Av. Puno Y Lima. Urb. Alto Libertad - CERRO COLORADO.	11/03/90	0.40	0.42	0.41	0.36
79	Pqe entre Av. N. de Piérola y San Martín Urb. Mariscal Castilla - C. COLORADO.	11/03/90	0.43	0.40	0.41	0.38
80	Esquina Jr. Shanushi y Pachitea. Urb. Zamácola - CERRO COLORADO.	11/03/90	0.12	0.13	0.12	0.13
81	Esquina Jr. Amazonas y Av. Aviación. Urb. Zamácola - CERRO COLORADO.	11/03/90	0.50	0.48	0.49	0.48
82	Parque entre Av. M. Melgar y M. Grau. Urb. La Libertad - CERRO COLORADO.	11/03/90	0.25	0.25	0.25	0.25
83	Parque entre las Mzs. U y V. Urb. Cerro Colorado - C. COLORADO.	11/03/90	0.40	0.40	0.40	0.40
84	Parque entre las Mzs. E y F. Urb. 12 de Octubre - C. COLORADO.	11/03/90	0.38	0.37	0.37	0.37
85	Parque frente a la Mz. "B". Urb. Juan XXIII - YANAHUARA.	11/03/90	0.38	0.34	0.36	0.36
86	Parque entre las Mzs. A, B y C. Urb. Tahuaycani - SACHACA.	11/03/90	0.40	0.37	0.38	0.34
87	Jr. Miguel Grau, Mz. "F". Urb. Juan Velasco A. - CAYMA.	12/03/90	0.33	0.36	0.34	0.37
88	Parque entre las Mzs. A y B. Urb. La Tomilla, zona C - CAYMA.	12/03/90	0.19	0.19	0.19	0.16
89	Pqe. entre Jr. Mariátegui y J.M. Polar. Urb. Acequia Alta - CAYMA	12/03/90	0.50	0.42	0.46	0.38
90	Jr. Vicente Angulo, Mz. "M". Urb. La Tomilla, zona A - CAYMA.	12/03/90	0.40	0.42	0.41	0.26
91	Esquina entre las Mzs. A y B. Urb. La Marina - CAYMA.	12/03/90	0.40	0.37	0.38	0.36
92	Esquina Jr. Arequipa y Cacique Alpaca. Urb. San Jacinto - CAYMA.	12/03/90	0.30	0.29	0.29	0.20
93	Parque entre Av. Lima Y Bolognesi. Urb. Yanahuara - YANAHUARA.	12/03/90	0.38	0.38	0.38	0.32
94	Costado del canal. Urb. Los Claveles - YANAHUARA.	12/03/90	0.36	0.31	0.33	0.53
95	Esquina Av. Ejército y Cayma. (C-3) Urb. Cayma - CAYMA.	12/03/90	0.39	0.45	0.42	0.45
96	Parque entre las Mzs. F y G. Urb. Los Portales - CAYMA.	12/03/90	0.42	0.42	0.42	0.40
97	Parque entre las Mzs. H e I. Urb. AVIDGE - CAYMA.	12/03/90	0.36	0.36	0.36	0.38
98	FIC. UNSA., Av. Independencia. Urb. La Victoria - AREQUIPA.	12/03/90	0.27	0.36	0.31	0.42

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
99	Facultad de CC.SS. UNSA. Av. Venezuela. Urb. Universitaria - AREQUIPA.	12/03/90	0.30	0.29	0.29	0.31
100	Fac. de Medicina UNSA. Av. Carrión. Urb. Francisco Mostajo - AREQUIPA.	12/03/90	0.37	0.37	0.37	0.37
101	Parque entre Jr. G. Vigil y Manzanilla. Urb. Magisterial 2 - AREQUIPA.	12/03/90	0.40	0.34	0.37	0.38
102	Esq. Jr. Loreto y Amazonas Urb. Río Seco - CERRO COLORADO.	20/06/90	0.14	0.13	0.13	0.14
103	Esq. Jrs. Ica e Iquitos. Urb. Río Seco - CERRO COLORADO.	20/06/90	0.32	0.33	0.32	0.16
104	Mz "W" Urb. Victor A. Belaunde - C. COLORADO.	20/06/90	0.43	0.32	0.37	0.43
105	Mz "H" Urb. Victor A. Belaunde - C. COLORADO.	20/06/90	0.48	0.42	0.45	0.42
106	Esq. Jrs. I. López y Mantaro. Urb. Zamácola - CERRO COLORADO.	20/06/90	0.37	0.43	0.40	0.37
107	Parque entre Mzs. J, K y N. Urb. Bs. Aires de Cayma - CAYMA.	20/06/90	0.36	0.40	0.38	0.34
108	Esquina entre las Mzs. H e I. Urb. Bs. Aires de Cayma - CAYMA.	20/06/90	0.33	0.43	0.38	0.42
109	Parque entre las Mzs. H', I' y J'. Urb. Bs. Aires de Cayma - CAYMA.	20/06/90	0.34	0.36	0.35	0.34
110	Mz. "A". Urb. Bs. Aires de Cayma - CAYMA.	20/06/90	0.40	0.43	0.41	0.48
111	Esq. Avs. Ramón Castilla y Unión. Urb. Francisco Bolognesi - CAYMA.	20/06/90	0.38	0.42	0.40	0.40
112	Esq. Avs. Aviación y Comercio. Urb. Francisco Bolognesi - CAYMA.	20/06/90	0.36	0.36	0.36	0.36
113	Esq. Avs. Arequipa y L. Medrano. Urb. Francisco Bolognesi - CAYMA.	20/06/90	0.38	0.37	0.37	0.37
114	Parque entre las Mzs. B, C y D. Urb. La Chacrita - CAYMA.	20/06/90	0.30	0.37	0.33	0.37
115	Esq. Avs. Benavides y Tronchadero. Urb. Yanahuara - YANAHUARA.	20/06/90	0.36	0.42	0.39	0.34
116	Parque entre Jrs. Leticia y Huáscar. Urb. Carmen Alto - CAYMA.	20/06/90	0.38	0.40	0.39	0.30
117	Esquina Avs. Arequipa y Arica. Urb. Camargo - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.29	0.37	0.33	0.42
118	Esquina Jrs. H. Sánchez y Sosa Ruiz. Urb. Amp. La Libertad - C. COLORADO.	21/06/90	0.37	0.37	0.37	0.38
119	Av. Puno, cuadra 12. Urb. Veracruz - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.38	0.28	0.33	0.37
120	Esquina Jrs. Lampa y Fco. Pizarro. Urb. Alto Libertad - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.33	0.37	0.35	0.37
121	Esquina Avs. Lima y 1º de Mayo. Urb. Alto Libertad - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.40	0.42	0.41	0.42
122	Esquina Avs. Los Incas y Misti. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.23	0.20	0.21	0.42
123	Esq. Avs. Santa Rosa y M. Melgar. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.36	0.37	0.36	0.37

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
124	Av. República del Perú, Mz. H-12. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.40	0.42	0.41	0.43
125	Esq. Avs. 28 de Julio y Madre de Dios. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.43	0.40	0.41	0.38
126	Esquina Jrs. Moquegua y Lambayeque. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.48	0.40	0.44	0.40
127	Esq. Jrs. Nicolás de Piérola y Junín. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.48	0.36	0.42	0.45
128	Esquina Avs. Los Incas y El Cardo. Urb. Semirural Pachacútec - C. COLORADO.	21/06/90	0.40	0.33	0.36	0.43
129	Esquina Jrs. San Pedro y Barranquilla. Urb. Pachacútec - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.43	0.45	0.44	0.33
130	Esq. Jrs. Sr. de la Caña y Calle Grande. Urb. Señor de la Caña - CAYMA.	21/06/90	0.31	0.32	0.31	0.25
131	Final de la avenida principal. Urb. Challapampa - CERRO COLORADO.	21/06/90	0.42	0.40	0.41	0.40
132	Mz. "E". Urb. Victor A. Belaunde - YANAHUARA.	21/06/90	0.32	0.32	0.32	0.37
133	Av. Tahuaycani, cuadra 1. Urb. Los Diamantes - SACHACA.	21/06/90	0.38	0.38	0.38	0.33
134	Esquina Jrs. Peralta y Cornejo. Urb. Habitacional Umacollo - AREQUIPA.	21/06/90	0.38	0.43	0.40	0.32
135	Parque Humbolt, Ciro Alegría cdra. 1. Urb. Umacollo - AREQUIPA.	22/06/90	0.32	0.32	0.32	0.33
136	Esquina Jrs. Cnel. Vizcarra y Castilla. Urb. Antiquilla - AREQUIPA.	22/06/90	0.37	0.32	0.34	0.26
137	Esq. Av. Recoleta y Pje. Recoleta. Urb. Antiquilla - AREQUIPA.	22/06/90	0.37	0.32	0.34	0.32
138	Av. Alfonso Ugarte, cdra. 6. Urb. Yanahuara - YANAHUARA.	22/06/90	0.32	0.38	0.35	0.25
139	Pque. entre Jrs. Angamos y L. Prado. Urb. Yanahuara - YANAHUARA.	22/06/90	0.36	0.33	0.34	0.38
140	Esq. Avs. Fco. Mostajo y Sánchez Cerro. Urb. Independencia - AREQUIPA.	22/06/90	0.36	0.42	0.39	0.38
141	Esq. Jrs. Los Guindos y Fco. de Zela. Urb. Independencia - AREQUIPA.	22/06/90	0.38	0.38	0.38	0.34
142	Al final de la Av. Túpac Amaru. Urb. Independencia - AREQUIPA.	22/06/90	0.37	0.34	0.35	0.36
143	Al costado del C.M. Francisco Bolognesi. Urb. Selva Alegre - AREQUIPA.	22/06/90	0.34	0.40	0.37	0.34
144	Esq. Jrs. Los Claveles y 22 de Febrero. Urb. Apurímac - AREQUIPA.	22/06/90	0.36	0.37	0.36	0.36
145	Esquina Avs. Leticia y Brasil. Urb. Apurímac - AREQUIPA.	22/06/90	0.37	0.40	0.38	0.36
146	Esquina Avs. Los Andes y Amazonas. Urb. Alto Selva Alegre - AREQUIPA.	22/06/90	0.37	0.37	0.37	0.37
147	Esquina Avs. Las Dalias y Amazonas. Urb. Gráficos - AREQUIPA.	22/06/90	0.42	0.36	0.39	0.40
148	Esquina Avs. San Martín y Pasco. Urb. El Porvenir - MIRAFLORES.	22/06/90	0.34	0.32	0.33	0.43

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
149	Esquina Avs. Alto Perú y L. Prado. Urb. Alto Misti - MIRAFLORES.	22/06/90	0.33	0.36	0.34	0.32
150	Esq. Avs. Goyeneche y Garcilazo de la V. Urb. Edificadores Misti - MIRAFLORES.	22/06/90	0.37	0.37	0.37	0.37
151	Esq. Avs. Tte. Rodriguez y R. Castilla. Urb. Miraflores - MIRAFLORES.	22/06/90	0.38	0.38	0.38	0.40
152	Av. Capitán Novoa, cdra. 1 Urb. M. Melgar - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.31	0.36	0.33	0.37
153	Esquina entre las Mzs. E y F. Urb. Bustamente - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.33	0.31	0.32	0.24
154	Esquina Avs. Sepulveda y Perú. Urb. Santo Domingo - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.37	0.42	0.39	0.37
155	Jr. Guayaquil, cuadra 2. Urb. Santo Domingo - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.24	0.25	0.24	0.36
156	Esq. Jrs. Panamá y Santo Domingo. Urb. Alto San Martín - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.42	0.42	0.42	0.42
157	Esq. Avs. Garcilazo de la V. y Rosaspata Urb. Grmo. San Martín - M. MELGAR.	22/06/90	0.27	0.27	0.27	0.40
158	Esq. Avs. Bolívar y Alfonso Ugarte. Urb. Mariano Melgar - MARIANO MELGAR.	22/06/90	0.38	0.36	0.37	0.38
159	Parque entre las Mzs. Ñ, O y P. Urb. J. C. Mariátegui - PAUCARPATA.	23/06/90	0.37	0.36	0.36	0.36
160	Esquina Avs. San Martín y Abancay. Urb. Pedro P. Díaz - PAUCARPATA.	23/06/90	0.37	0.33	0.35	0.40
161	Esquina Avs. Che Guevara y Kunuruna. Urb. California - PAUCARPATA.	23/03/90	0.40	0.37	0.38	0.42
162	Pqe. entre Avs. Revolución y Federación. Urb. Ciudad Blanca I - PAUCARPATA.	23/06/90	0.26	0.27	0.26	0.24
163	Esquina entre las Mzs. G y H. Urb. Ciudad Blanca II - PAUCARPATA.	23/06/90	0.40	0.42	0.41	0.45
164	Esquina entre las Mzs. LL y M. Urb. Ciudad Blanca I - PAUCARPATA.	23/06/90	0.27	0.37	0.32	0.38
165	Frente a las Mzs. L y M. Urb. Israel - PAUCARPATA.	23/06/90	0.34	0.42	0.38	0.40
166	Esquina Avs. Cajamarca y Huancavelica. Urb. Alto Jesús - PAUCARPATA.	23/06/90	0.38	0.42	0.40	0.38
167	Esquina entre las Mzs. F y G. Urb. Nuevo Perú - PAUCARPATA.	23/06/90	0.16	0.18	0.17	0.31
168	Esquina Avs. Las Estrellas y El Sol. Urb. Campo Marte - PAUCARPATA.	23/06/90	0.34	0.36	0.35	0.34
169	Esq. Avs. Víctor A. Belaunde y Olaya. Urb. Amp. Paucarpata - PAUCARPATA.	23/06/90	0.27	0.34	0.30	0.25
170	Parque entre Avs. 28 de Julio y Bolívar. Urb. Paucarpata - PAUCARPATA.	23/06/90	0.27	0.27	0.27	0.36
171	Jr. Humbolt, cuadra 1. Urb. 200 Millas - PAUCARPATA.	23/06/90	0.37	0.37	0.37	0.18
172	Parque entre las Mzs. G y J. Urb. Ulrich Neisser - PAUCARPATA.	23/06/90	0.27	0.24	0.25	0.18
173	Esquina Jrs. S. Barranca y M. Segura. Urb. 15 de Enero - PAUCARPATA.	23/06/90	0.42	0.38	0.40	0.40

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
174	Esq. Av. Internacional y Malec. Paucarp. Urb. Manuel Prado - PAUCARPATA.	23/06/90	0.42	0.41	0.41	0.34
175	Parque entre Mzs. C, E y F. Urb. Corazón de María - PAUCARPATA.	23/06/90	0.40	0.37	0.38	0.37
176	Esquina entre las Mzs. B y C. Urb. La Castro - PAUCARPATA.	23/06/90	0.42	0.33	0.37	0.33
177	Pqe. entre Jrs. J. Olaya y Los Geranios. Urb. Jesús María - PAUCARPATA.	23/06/90	0.37	0.38	0.37	0.34
178	Parque entre las Mzs. Q y R. Urb. Santa Catalina - PAUCARPATA.	23/06/90	0.30	0.38	0.34	0.32
179	Parque entre las Mzs. A, E y J. Urb. Monterrey - PAUCARPATA.	23/06/90	0.36	0.34	0.35	0.31
180	Esquina entre las Mzs. A y B. Urb. La Encalada - PAUCARPATA.	23/06/90	0.30	0.31	0.30	0.29
181	Av. Colón, Mz. "N". Urb. Alas del Sur - PAUCARPATA.	23/06/90	0.29	0.31	0.30	0.38
182	Mz. "L". Urb. Mi Perú - PAUCARPATA.	23/06/90	0.38	0.38	0.38	0.38
183	Esquina entre las Mzs. H2 y 62. Urb. Alto de la Luna - PAUCARPATA.	23/06/90	0.37	0.38	0.37	0.37
184	Parque entre las Mzs. B y D. Urb. Amp. La Negrita - AREQUIPA.	24/06/90	0.36	0.37	0.36	0.36
185	Esquina Avs. Espinar y Puno. Urb. Miraflores - MIRAFLORES.	24/06/90	0.34	0.36	0.35	0.38
186	Parque entre Avs. Moquegua y Puno. Urb. San Antonio - MIRAFLORES.	24/06/90	0.40	0.38	0.39	0.40
187	Esquina Avs. Golfo y Tabohada. Urb. Filtro - AREQUIPA.	24/06/90	0.37	0.37	0.37	0.34
188	Ovalo de la calle Ohiguins. Urb. Vallecito - AREQUIPA.	24/06/90	0.38	0.40	0.39	0.38
189	Esquina entre las Mzs. A y B. Urb. La Arboleda - AREQUIPA.	24/06/90	0.37	0.37	0.37	0.38
190	Esq. Avs. López de la Rumania y Hunter. Urb. Parque Industrial - AREQUIPA.	24/06/90	0.36	0.38	0.37	0.36
191	Esquina entre las Mzs. B y N. Urb. Quinta Tristán - PAUCARPATA.	24/06/90	0.26	0.26	0.26	0.24
192	Av. Dolores, Mz. "J". Urb. La Esperanza - PAUCARPATA.	24/06/90	0.36	0.34	0.35	0.38
193	Parque entre las Mzs. A y B. Urb. Lanificio - PAUCARPATA.	24/06/90	0.36	0.36	0.36	0.20
194	Parque entre las Mzs. B y E. Urb. Rodantes del Sur - PAUCARPATA.	24/06/90	0.38	0.38	0.38	0.42
195	Parque entre las Mzs. A, C y E. Urb. Bartolomé Herrera - PAUCARPATA.	24/06/90	0.33	0.32	0.32	0.36
196	Esquina entre las Mzs. G y L. Urb. Héroes del Pacífico - PAUCARPATA.	24/06/90	0.36	0.36	0.36	0.29
197	Esq. Avs. Vinatea Reynoso y Uruguay. Urb. Simón Bolívar - PAUCARPATA.	24/06/90	0.42	0.36	0.39	0.45
198	Esquina Avs. Colombia y Jorge Chávez. Urb. Simón Bolívar - PAUCARPATA.	24/06/90	0.28	0.28	0.28	0.27

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
199	Parque principal, junto a la capilla. Urb. La Unión - PAUCARPATA.	24/06/90	0.42	0.38	0.40	0.38
200	Parque frente a la Mz. "M". Urb. 4 de Octubre - PAUCARPATA.	24/06/90	0.40	0.34	0.37	0.45
201	Esquina Avs. La Marina y Palacio Viejo. Urb. Cercado - AREQUIPA.	24/06/90	0.38	0.33	0.35	0.26
202	Av. La Marina, óvalo Puente Grau. Urb. Cercado - AREQUIPA.	24/06/90	0.31	0.33	0.32	0.19
203	Plaza de Armas de Arequipa. Urb. Cercado - AREQUIPA.	24/06/90	0.38	0.38	0.38	0.36
204	Pqe. entre Jrs. Zela y San Francisco. Urb. Cercado - AREQUIPA.	24/06/90	0.26	0.26	0.26	0.26
205	Av. Alfonso Ugarte, cuadra 1. Urb. Tingo - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.33
206	Vía hacia Tiabaya. Urb. Sarancota - AREQUIPA.	25/06/90	0.42	0.43	0.42	0.45
207	Esquina entre las Mzs. B, H e I. Urb. El Palacio II - SACHACA.	25/06/90	0.48	0.50	0.49	0.34
208	Al fina del Jr. Tamayo. Urb. Sachaca - SACHACA.	25/06/90	0.36	0.36	0.36	0.43
209	Frente a la Mz. "O". Urb. El Palacio I - SACHACA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.27
210	Av. Socabaya, cuadra 2. Urb. Vista Alegre - AREQUIPA.	25/06/90	0.48	0.48	0.48	0.48
211	Esquina Avs. Los Angeles y San José. Urb. Hunter - AREQUIPA.	25/06/90	0.16	0.16	0.16	0.16
212	Esquina Avs. Viña del Mar y Panamá. Urb. Hunter - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.32
213	Jr. Lima Mz. "C". Urb. El Carmen - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.32
214	Av. Tahuantinsuyo, Mz. "D". Urb. Pampas del Cusco - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.33
215	Esq. Avs. Túpac Amaru y Atahualpa. Urb. Pampas del cusco - AREQUIPA.	25/06/90	0.43	0.42	0.42	0.43
216	Jr. Ballón Farfán, cuadra 1. Urb. Chilpinilla - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.32
217	Frente al velódromo. Urb. Coop. Riego Chili - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.27	0.29	0.27
218	Av. E. Zegarra, cuadra 2. Urb. Cerro Juli - AREQUIPA.	25/06/90	0.32	0.27	0.29	0.27
219	Jr. Sánchez Trujillo, cuadra 3. Urb. Salaverry - AREQUIPA.	25/06/90	0.27	0.27	0.27	0.27
220	Esquina Jrs. Chimbote y Caravelí. Urb. San Martín - PAUCARPATA.	25/06/90	0.40	0.32	0.36	0.33
221	Parque entre Jrs. Los Cipreces y Manú. Urb. 24 de Junio - PAUCARPATA.	25/06/90	0.27	0.32	0.29	0.32
222	Pqe. entre Jrs. República y Mariátegui. Urb. Ciudad Mi Trabajo - SOCABAYA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.27
223	Esquina Jrs. Buenavista y América. Urb. Bellapampa - SOCABAYA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.32

PM	UBICACION	FECHA	PERIODO PREDOMINANTE DEL SUELO (Seg.)			
			N-S	E-O	PROM.	VERT.
224	Esquina entre las Mzs. I y K. Urb. Lara - SOCABAYA.	25/06/90	0.32	0.32	0.32	0.33
225	Frente a la Mz. "P". Urb. Villa Golf - PAUCARPATA.	25/06/90	0.38	0.45	0.41	0.45
226	Parque entre las Mzs. A y B. Urb. 4 de Octubre - PAUCARPATA.	25/06/90	0.37	0.34	0.35	0.26
227	Esquina entre las Mzs. H e I. Urb. 4 de Octubre - PAUCARPATA.	25/06/90	0.31	0.34	0.32	0.36

** No se obtuvo valores del período predominante del suelo.

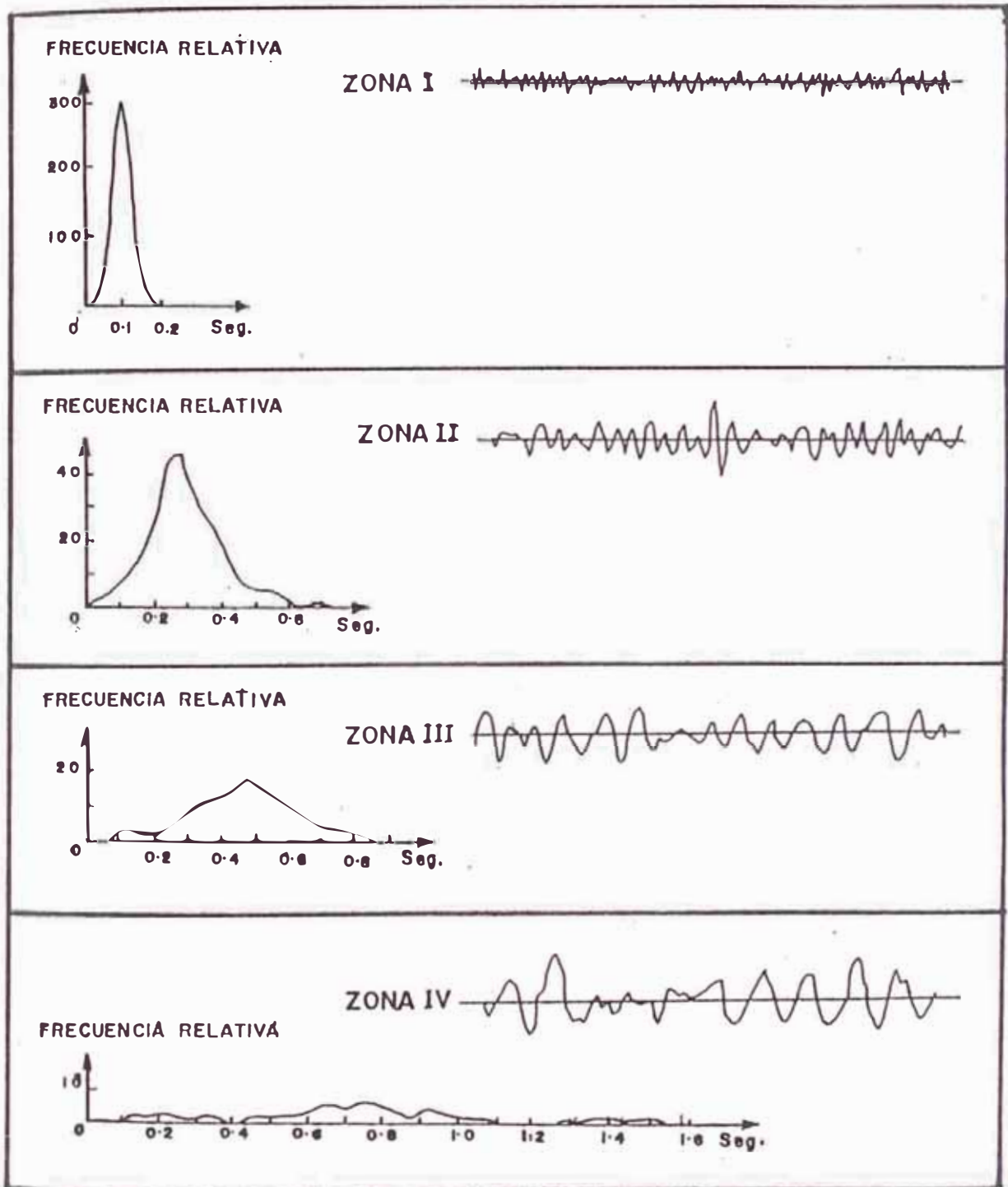


FIG. N^o 4.1: Curvas de distribución de períodos vs. frecuencia relativa y registros representativos de microtrepidaciones observados en varios tipos de terreno.

(Kanai y Tanaka, 1961)

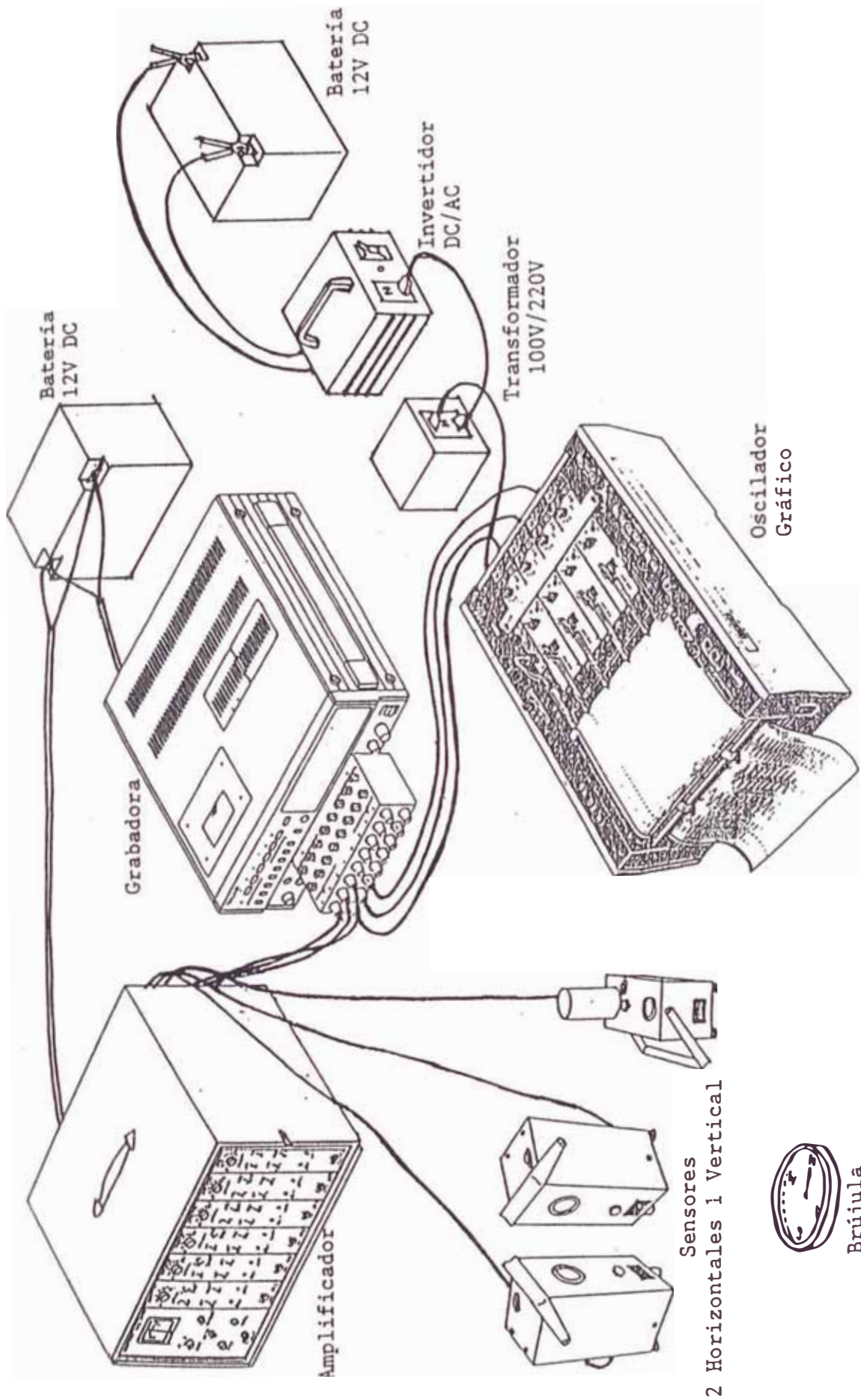


Fig. N° 4.2. Configuración en campo del "EQUIPO MICROTREMOR N° 3"

CAPITULO V

EL SISMO DE AREQUIPA DEL 16 DE FEBRERO DE 1979

5.1.- ANTECEDENTES

El 16 de Febrero de 1979 ocurrió un sismo en el sur del Perú, dejando un saldo de destrucción equivalente a cinco millones de dólares y 18 víctimas.

En la ciudad de Arequipa el evento ocasionó grandes daños a las edificaciones, sobre todo en las zonas donde el material de construcción más generalizado era el adobe y el sillar. Debido a esto se llevaron a cabo estudios preliminares de microzonificación, uno de ellos titulado "Sismo Arequipa 16-02-79. Influencia de las Condiciones Locales", realizado por Orihuela (1981), en el que presenta la evaluación de daños en las edificaciones considerando sus características estructurales y la antigüedad de las mismas; así mismo, presenta una zonificación

de suelos en base a sus características geotécnicas. Este estudio constituye un aporte importante para realizar la microzonificación sísmica de Arequipa, pues muy pocas ciudades cuentan con este tipo de información.

El estudio de Dinámica de Suelos mediante la medición de microtrepidaciones y amplificación dinámica de suelos permitirá, conjuntamente con la zonificación de daños, delimitar en forma precisa y confiable las áreas donde las condiciones locales del suelo tienen gran influencia en los daños producidos en las edificaciones. Es por eso que en este capítulo se presenta los resultados obtenidos en el estudio arriba mencionado, así como el mapa de zonificación de daños realizado por su autor.

5.2.- CARACTERISTICAS DEL SISMO DEL 16-02-79

El sismo de Arequipa del 16 de Febrero de 1979 ocurrió a las 05:08:53 (tiempo local), fue de una magnitud de 6.9 Ms, valor proporcionado por la agencia NEIS (USA). Tuvo una duración de movimiento significativo de 45 segundos y una intensidad máxima de VII en la ciudad de Camaná.

Los parámetros definitivos del sismo son:

Latitud	:	16.390° S.
Longitud	:	72.658° W.
Profundidad	:	53 Km.

Estos parámetros han sido determinados utilizando las lecturas de 328 estaciones sismológicas en todo el mundo, diferenciando en algo de la determinación inicial (15.93° S y 72.45° W) dado por el United States Geological Survey, utilizando sólo 49 estaciones. Esta posición está localizada a 25 Km. al norte de Camaná. En la Fig. Nº 5.1 se presenta el mapa del epicentro del sismo del 16-02-79 y sus réplicas, (Orihuela, 1981).

La intensidad máxima fue de alrededor de 7 MSK y el área sacudida con intensidad igual o mayor que 4 MSK fue del orden de los 140,000 Km², siendo de forma elíptica, con el eje mayor aproximadamente paralelo a la cordillera de los Andes. En la Fig. Nº 5.2 se presenta el mapa de isosistas de este sismo, realizado por Orihuela (1981).

En la Fig. Nº 5.3 se presenta el mapa de isosistas realizado por Ríos e Icochea (1979), en base a la información instrumental dado por el Instituto Geofísico del Perú, que reportó una magni-

tud $M_b = 6.6$, con epicentro en 15.96° de latitud sur, 72.5° de longitud oeste y 49 Km. de profundidad de foco. Estas isosistas fueron verificadas mediante las relaciones de atenuación deducidas por Huaco y Chávez (1975), para propagación paralela y perpendicular a la costa:

$$I = 0.012 M_b - 3.25 \log(\delta) + 2.36$$

$$I = 0.265 M_b - 3.77 \log(\delta) + 11.97$$

Donde : δ = Distancia epicentral en Km.

En el observatorio de Characato de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa se registró un acelerograma, reportándose aceleraciones máximas de 0.39g, 0.28g y 0.19g para las componentes Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical, a 120 Km. de distancia epicentral.

5.3.- EVALUACION DE DAÑOS

La evaluación de daños se realiza tomando como base la escala sísmica MSK, tanto para la clasificación de los daños, como para la clasificación del tipo de estructura.

Debido a que la clasificación de daños de la escala sísmica MSK hace una descripción muy subjetiva de los daños, Orihuela (1981) propone una

tabla cuantificada con rangos de aberturas y longitudes de las fallas, para uniformizar la percepción visual de los daños. Esta tabla, que a continuación se reproduce, es válida para el tipo de vivienda y materiales de la zona en estudio, ya que para otros tipos de viviendas con otros materiales y otras técnicas constructivas, los patrones de agrietamiento pueden ser diferentes.

TABLA CUANTIFICADA DE LA CLASIFICACION DE DAÑOS MSK PARA LAS VIVIENDAS AREQUIPEÑAS.

DAÑO CLASE	ESPESOR	LONGITUD	AFINAMIENTO		
			-	=	+
1	< 2 mm	< 0.5 m	< 0.5mm	0.5-1mm	1-2 mm
2	2 - 5 mm	> 1.5 m	2 - 3mm	3 - 4mm	4-5 mm
3	0.5 - 2cm	> 1.5 m	0.5-1cm	1-1.5cm	1.5-2cm
4*	> 2 cm	> 1.5 m	----	-----	----

* Derrumbe parcial.

Seguidamente, para estudiar los tipos constructivos desde el punto de vista sísmico, hace una adaptación de la escala sísmica MSK al tipo de viviendas arequipeñas, en función de su comportamiento sísmico. A continuación se reproduce esta clasificación:

ADAPTACION DE LA ESCALA MSK AL TIPO DE EDIFICACIONES
AREQUIPEÑAS.

TIPO DE ESTRUCTURAS: (Excluye estructuras sismo resistentes)

- TIPO A: Pircado de bloques de sillar o piedra, sin mortero o con mortero muy pobre de cal-arena. Cimentación muy superficial de piedra con mortero de barro, cal-arena o cemento-arena, sin ningún tipo de refuerzo estructural; dinteles de un trabado especial de sillares, en arco o rectos; coberturas con techo de calamina y vigas de madera sobrepuestas directamente sobre el muro.

Estas edificaciones existen en los alrededores de la ciudad, como en Sachaca, Pachacútec, partes altas de Miraflores y Mariano Melgar, etc.

- TIPO B: Construcciones de sillar con buen mortero de cal-arena o cemento-arena, muros con espesores que varían de 40 a 80 cm ó 1 mt., bien trabados y con unidades de albañilería homogéneas, cimientos con profundidades de 0.80 a 2.00 mts., compuestos por piedras con mortero de cal-arena o cemento-arena. Sin ningún tipo de refuerzo de concreto armado en los muros y, dinteles del mismo sillar.

La cobertura de estas construcciones varía con el tiempo, los más antiguos son techos en bóvedas, de bloques de sillar cortados en forma de "cuñas" que están apoyados en muros anchos (de 0.60 a 1.00 mts. de espesor). Posteriormente aparecen las coberturas planas hechas con bloques de sillar trabados entre rieles de acero, que funcionan como viguetas de un aligerado, arriostrados transversalmente por pernos largos.

Por último, con la introducción del concreto armado en la construcción, se sustituyen las bóvedas y los techos de rieles por losas de concreto armado de 8 a 12 cm. de espesor o aligerados, estas losas van apoyadas directamente sobre los muros, sin ninguna viga collar o refuerzo adicional. Este tipo de techo indujo a bajar los espesores de los muros a 40 ó 45 cm. y en algunos pocos casos, hasta 25 cm., y a reemplazar los dinteles de sillar por dinteles de concreto armado; desechando el uso del mortero cal-arena, pero sin incluir refuerzos estructurales de vigas ni columnas.

Este tipo de edificaciones abunda en todo el Cercado, en el distrito de Yanahuara, Antiquilla, partes bajas de Miraflores y Mariano Melgar.

- TIPO C: Construcciones convencionales de ladrillo, reforzados con elementos de concreto armado, como vigas y columnas de amarre, buena cimentación y techos de losa aligerada.

Estas viviendas se han construido en estas últimas décadas en las urbanizaciones nuevas, como en casi todo el distrito de Paucarpata, Cayma, sectores nuevos de Yanahuara y algunas pequeñas áreas remodeladas del cercado, pueblos jóvenes ya consolidados como Hunter, etc.

Viviendas de sillar con buen mortero y reforzadas con vigas y columnas también corresponden a esta clasificación; pero existen en bajo porcentaje, debido a la imposición del ladrillo como "material noble".

Con estas consideraciones se elaboraron dos fichas de evaluación de daños, con las cuales se lograron evaluar alrededor de 650 edificaciones distribuidas en todo el área urbana, siendo preferentemente de una planta para tener condiciones análogas de estructuración y evitar la amplificación estructural.

Luego de la evaluación se obtuvieron los

siguientes resultados, para los tres tipos de vivienda:

- En las viviendas tipo "A" predominan los fuertes agrietamientos (43%), siendo muy frecuentes las fallas en las esquinas y las fallas en el mortero.
- En las viviendas tipo "B" predominan los agrietamientos moderados (35%), siendo frecuentes las fallas en las esquinas, a través del mortero, entre muros y techo, en vanos, en techos, y en general en la albañilería, ya sea por corte o por tracción diagonal.

En las viviendas tipo "C" predomina la ausencia de daño o los fisuramientos leves en el revestimiento, alcanzando un 78%.

5.3.1.- Antigüedad de las edificaciones

Para realizar la evaluación de daños, la antigüedad de las edificaciones constituye un factor muy importante, sobre todo en la ciudad de Arequipa, donde se presenta una alta frecuencia de sismos destructores y existen viviendas de hasta 150 años.

La antigüedad de las edificaciones tiene una gran relación con las técnicas constructivas y con los tipos de viviendas descritos. Así tenemos que las viviendas tipo "A" son las más antiguas, siendo poco frecuentes las que sobreviven a más de 3 ó 4 sismos, salvo aquellas cimentadas en roca o suelos compactos. Las viviendas tipo "C" son las más recientes, y sus edades se encuentran en el rango de 0 a 25 años. Las viviendas tipo "B" presentan una gran variedad de antigüedades, existiendo viviendas desde muy antiguas (mayores de 100 años) hasta recientes (menores de 25 años).

Para considerar el factor antigüedad de las edificaciones en la evaluación de daños, Orihuela (1981) realizó la siguiente tabla:

Nº AÑOS	DENOMINACION	Nº DE SISMOS SOPORTADOS
0-25	RECIENTE	6
25-50	MEDIANAMENTE ANTIGUA	12
50-100	ANTIGUA	15
>100	MUY ANTIGUA	> 17

En base a estos rangos elaboró el mapa de antigüedades en viviendas tipo "B", ya que, como se verá más adelante, este tipo de vivienda es el más adecuado para realizar la zonifi-

cación de daños. Este mapa se presenta en la Fig. Nº 5.4, donde se puede observar que las áreas Muy Antiguas corresponden a parte del centro de Arequipa, entre la Plaza de Armas y los barrios de Antiquilla y San Lázaro, y a los poblados de Tingo, Villa Sachaca, Carmen Alto y Cayma. Las áreas Antiguas se extienden en el resto del Cercado, las de Mediana Antigüedad predominan en las partes bajas de Miraflores y Mariano Melgar, y las Recientes en los alrededores de la ciudad y los pueblos jóvenes.

5.4.- ZONIFICACION DE DAÑOS

Para realizar la zonificación de daños se presenta la distribución de daños de las viviendas tipo "B", por ser éstas las más convenientes para hacer el estudio de las influencias locales e interacción suelo-estructura, ya que la intensidad del sismo (VI VII, escala MSK), ha generado una adecuada gama de daños y además, se encuentran distribuidas en toda el área urbana.

La zonificación de daños contempla cuatro categorías:

Zonas con colapso parcial (3^a a 4): Son zonas donde las viviendas presentan grandes grietas y desplazamientos, algunas con caída parcial de muros y techos. Estas áreas coinciden con el centro de la ciudad, notándose una mayor incidencia en la zona aledaña al mercado de San Camilo entre las calles Perú y Peral, al igual que en la parte alta del distrito de Yanahuara y en el barrio de Antiquilla a lo largo de la calle Beaterio.

Los daños mayormente se deben a la antigüedad de las viviendas, que oscilan entre 70 y 100 años, con técnicas constructivas deficientes y que se encuentran cimentadas en suelos de compacidad media a baja y, en algunas áreas, con fuerte pendiente.

Si se observa la ubicación de estas zonas en los planos geológico y geotécnico, se nota que se encuentran sobre las unidades Aluvial de Umacollo y Aluvial de Miraflores, las cuales presentan capacidades portantes entre 1.0 y 1.5 Kg/cm² y valores de periodos predominantes entre 0.30 y 0.45 seg. Estas zonas están incluidas en la zona "C" de la zonificación propuesta.

Zonas con daños severos (2⁺ a 3): Son zonas donde las viviendas presentan fuertes grietas que pasan el muro, con espesores entre 1/2 cm. a 2 cm. Se presentan en parte del Cercado Este, prolongándose por la Av. Muñoz Nájar y Mariscal Castilla, al igual que en la zona aledaña al río Chili, desde la calle Villalba y el Puente Grau hacia el nor-oeste, cubriendo el distrito de Yanahuara. Estos daños severos también se presentan en la zona aledaña a la torrentera de San Lázaro, a la altura de Chapi Chico.

Los tipos de viviendas construidas en estas zonas son los mismos que en las áreas de colapso parcial y con las mismas antigüedades; pero los daños menores se explican por el mejor comportamiento del suelo de cimentación. También existen zonas donde viviendas muy antiguas, cimentadas sobre relleno, no han llegado al colapso debido a que poseen una alta densidad de muros, que les permiten seguir en pie aún con sus fuertes daños.

A lo largo de la torrentera de San Lázaro, viviendas ligeras y recientes han sufrido daños severos debido a su cercanía a

la quebrada y por encontrarse cimentadas sobre relleno.

Estas zonas también se encuentran ubicadas en las unidades Aluvial de Umacollo y Aluvial de Miraflores, cuyas características geotécnicas se indican en la zona con colapso parcial. El menor grado de daños se explica por la mayor compacidad de los suelos en estas áreas y sobre todo por la diferencia en las técnicas constructivas, evidenciándose ésto en la mayor densidad de muros de las viviendas. Estas zonas con daños severos, también están incluidas en la zona "C".

Zonas de daños moderados (1⁺ a 2): En estas zonas las viviendas presentan agrietamientos que no llegan a traspasar el muro, de espesores menores a 5 mm., existiendo por lo general sólo fisuramiento en los muros. Estos daños se pueden observar en la parte baja del distrito de Mariano Melgar, parte de Miraflores y Selva Alegre y, en la zona este del Cercado, entre la Universidad Nacional San Agustín y el estadio Melgar, presentándose en la mayoría de viviendas medianamente antiguas y recientes, con características de construc-

ción ligera y densidad de muros dentro de los rangos requeridos.

Estas zonas se presentan principalmente en las unidades Aluvial de Miraflores y Aluvial de Umacollo y, en menor proporción en los flujos de barro de las urbanizaciones California y Ciudad Blanca (Jorge Chávez), y en los suelos puzolánicos de Semirural Pachacútec. Una gran parte de estas zonas están incluídas en la zona "C" y la parte restante cubre pequeñas áreas de la zona "B".

Zonas con daños leves o sin daños (0 a 1):

En estas zonas las viviendas solamente presentan fisuras superficiales en los muros o revestimientos, de espesores menores a 2 mm., con caídas de trozos de revestimiento. Este tipo de daños se presentan en los alrededores de la ciudad como las partes altas de Miraflores y Mariano Melgar, parte alta del Tingo, Villa Sachaca y los pueblos jóvenes de Independencia, Semirural Pachacútec, parte alta de Hunter, Simón Bolívar, San Martín y otros. Se incluye en esta zona al centro de la ciudad, que rodea la Plaza de Armas y que presenta algunas viviendas sin daños, otras con daños moderados y la mayoría con daños

leves, éstas por su antigüedad (más de 100 años) deberían presentar daños severos; pero debido a la densidad de muros que presentan y por estar cimentados directamente sobre un estrato de grava muy compacta, han logrado soportar diferentes eventos sin sufrir daños.

En estas zonas existen tanto viviendas antiguas como recientes, las que a pesar de encontrarse en terrenos de fuerte pendiente y en muchos casos con deficiencias constructivas, solamente presentan daños leves, pues están cimentadas directamente sobre afloramientos de rocas sanas o suelos de tufos o sillar blanco.

En estas zonas se distingue mejor la influencia de los suelos de cimentación en los daños, pues se observa que viviendas muy antiguas cimentadas sobre las rocas ígneas preterciarias y del Volcánico Chila, que conforman la zona "A", no presentan daños a pesar de haber soportado innumerables eventos sísmicos. Igualmente, este tipo de daños se presentan en la mayor parte de la zona "B", abarcando las unidades: Flujos de Barro, Sillar y Suelo Puzolánico de Pachacútec, cuyas capacidades portantes están entre 2.0 y

3.5 Kg/cm² y sus períodos predominantes varían de 0.15 a 0.35 seg.

Se observa también, que existen áreas de la zona "C" que presentan este tipo de daños, pero que, por lo general, están conformadas por viviendas recientes, con edades de 0 a 25 años, habiendo sido muchas de ellas, sometidas por primera vez a los efectos de un sismo.

En la Fig. Nº 5.5 se presenta el Mapa de Distribución de Daños para Viviendas Tipo B. (Orihuela, 1981).

5.5.- CONCLUSIONES

El mapa de antigüedad de construcción de viviendas tipo B muestra como la ciudad de Arequipa ha ido expandiéndose en forma radial desde el cercado, existiendo grandes áreas con viviendas recientes en los alrededores de la ciudad.

La antigüedad de las viviendas es un factor muy importante a considerar en la evaluación de daños, pues si por una parte permite obtener una

valiosa información en las áreas donde éstas no han sufrido daños, aún a pesar de haber soportado múltiples eventos sísmicos, por otra, puede constituirse en una fuente de error al considerar los daños ocasionados por terremotos anteriores, que no han sido adecuadamente reparados.

Como se puede observar, la zonificación de daños mostrada en este capítulo tiene una buena correlación con la zonificación sísmica propuesta, encontrándose que la zona "C" presenta los mayores daños producidos por el sismo del 16-02-79, debido a que, además de poseer condiciones geotécnicas poco favorables, en ésta se encuentran cimentadas edificaciones muy antiguas, con diversas técnicas constructivas, las que en muchos casos, presentan serias deficiencias.

No se observa el efecto del sismo en la zona propuesta como "D", pues en ésta existían muy pocas edificaciones, constituidas por viviendas recientes. En la actualidad esta zona está alcanzando un alto índice de crecimiento, por lo que se recomienda tomar las debidas precauciones en el diseño sísmico de las edificaciones.

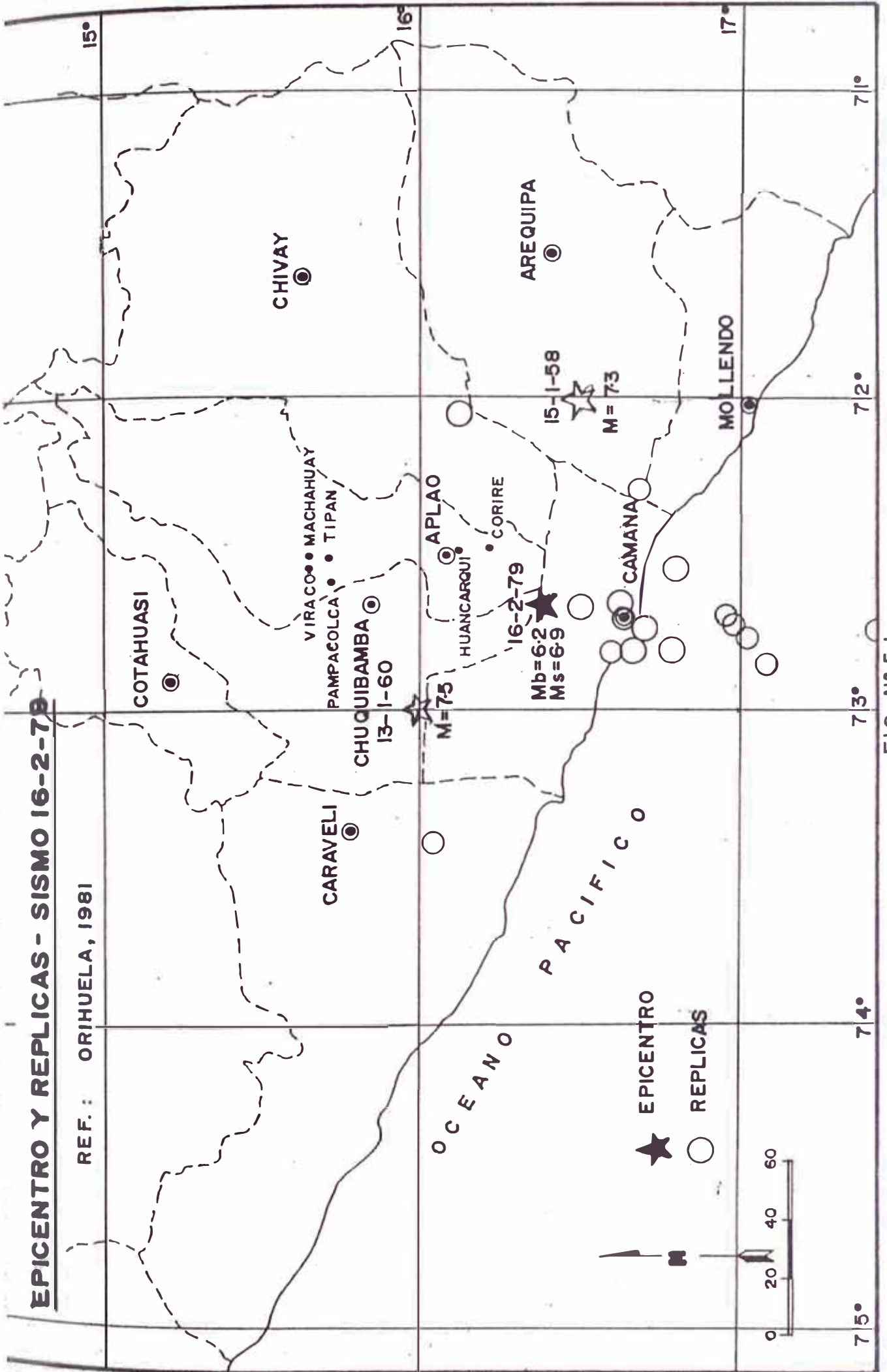


FIG. N° 5-1

ISOSISTAS DEL SISMO DEL 16-02-79

(DPTO. DE AREQUIPA)

REF.: ORIHUELA, 1981

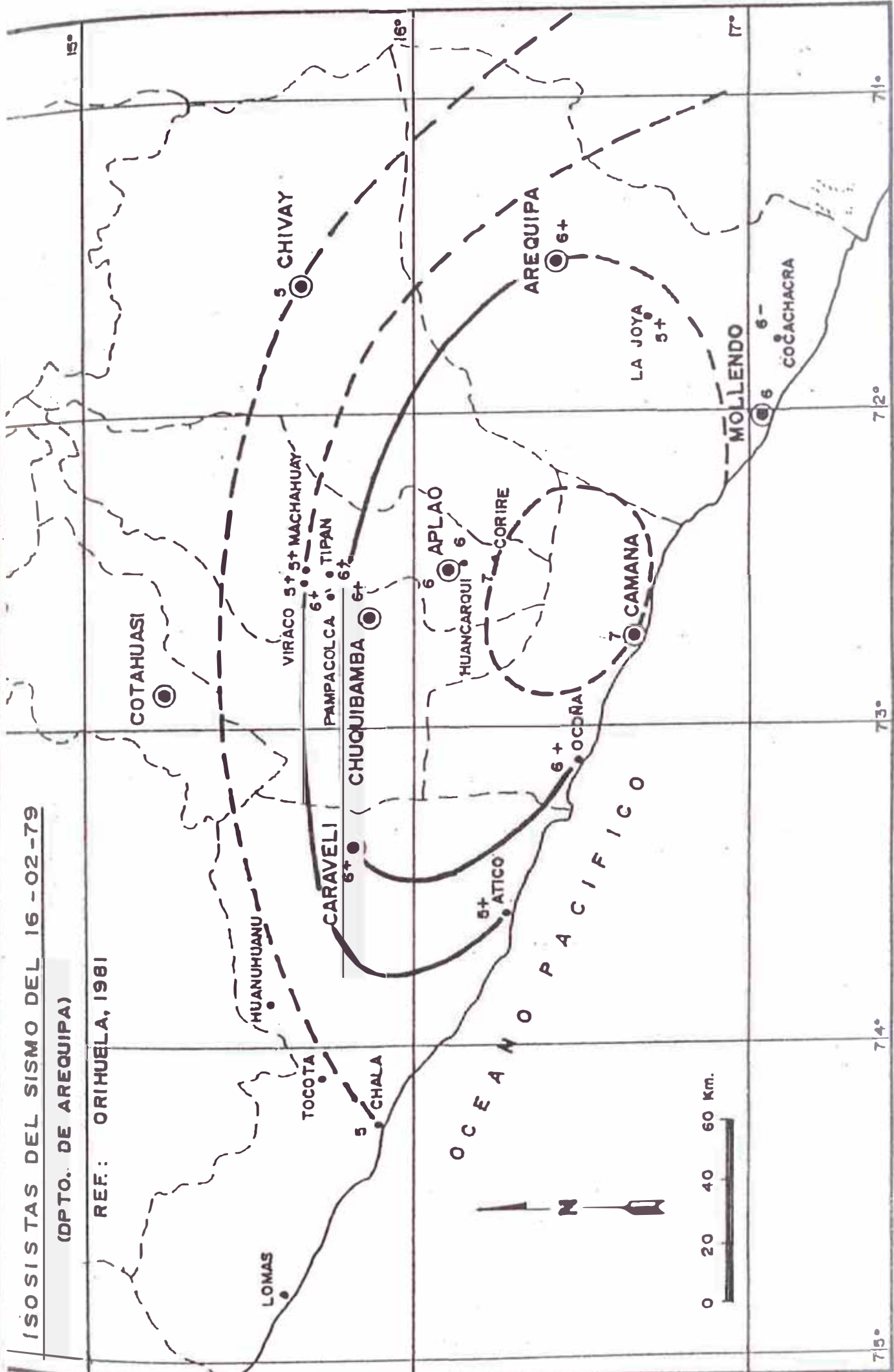
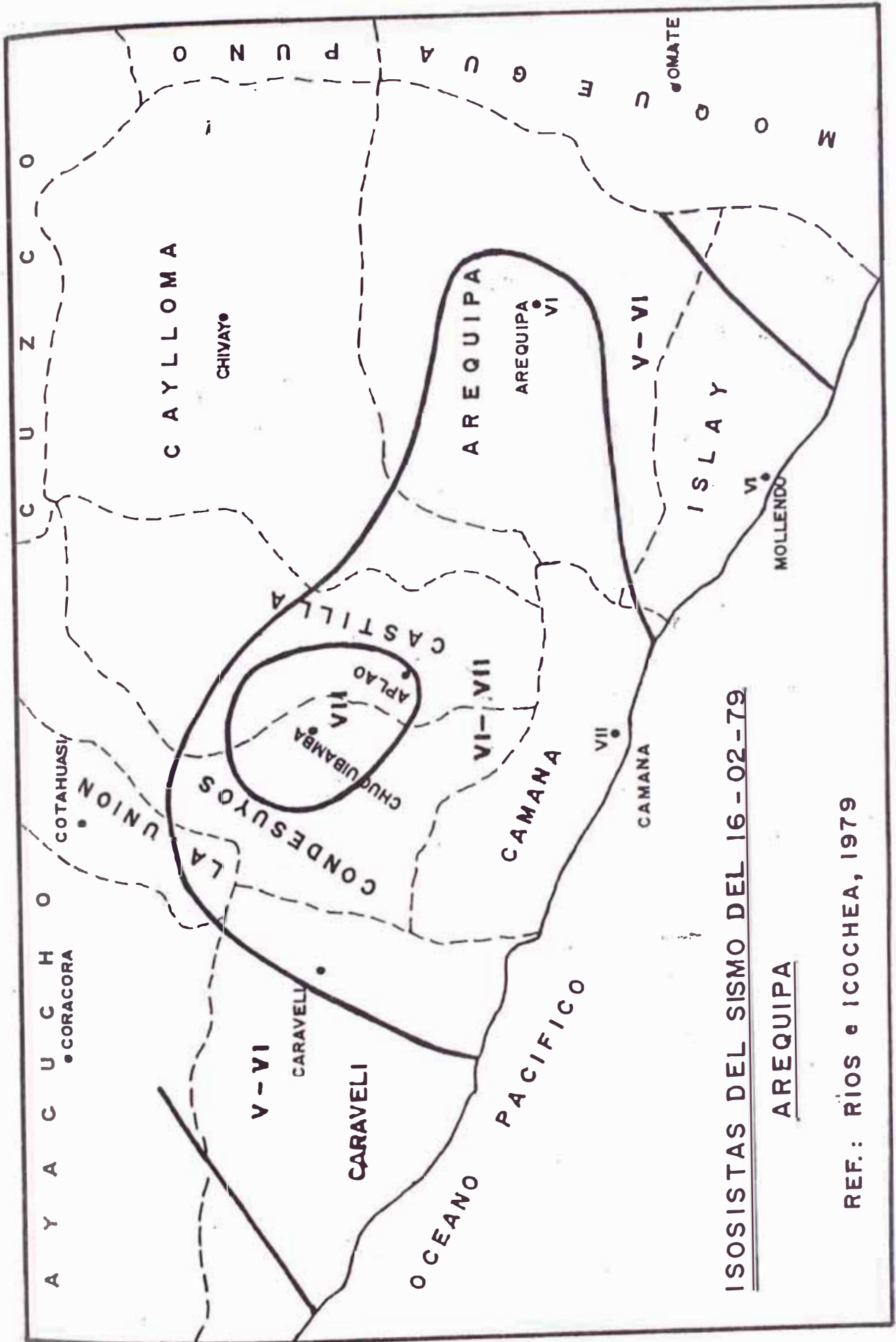


FIG. Nº 5.2

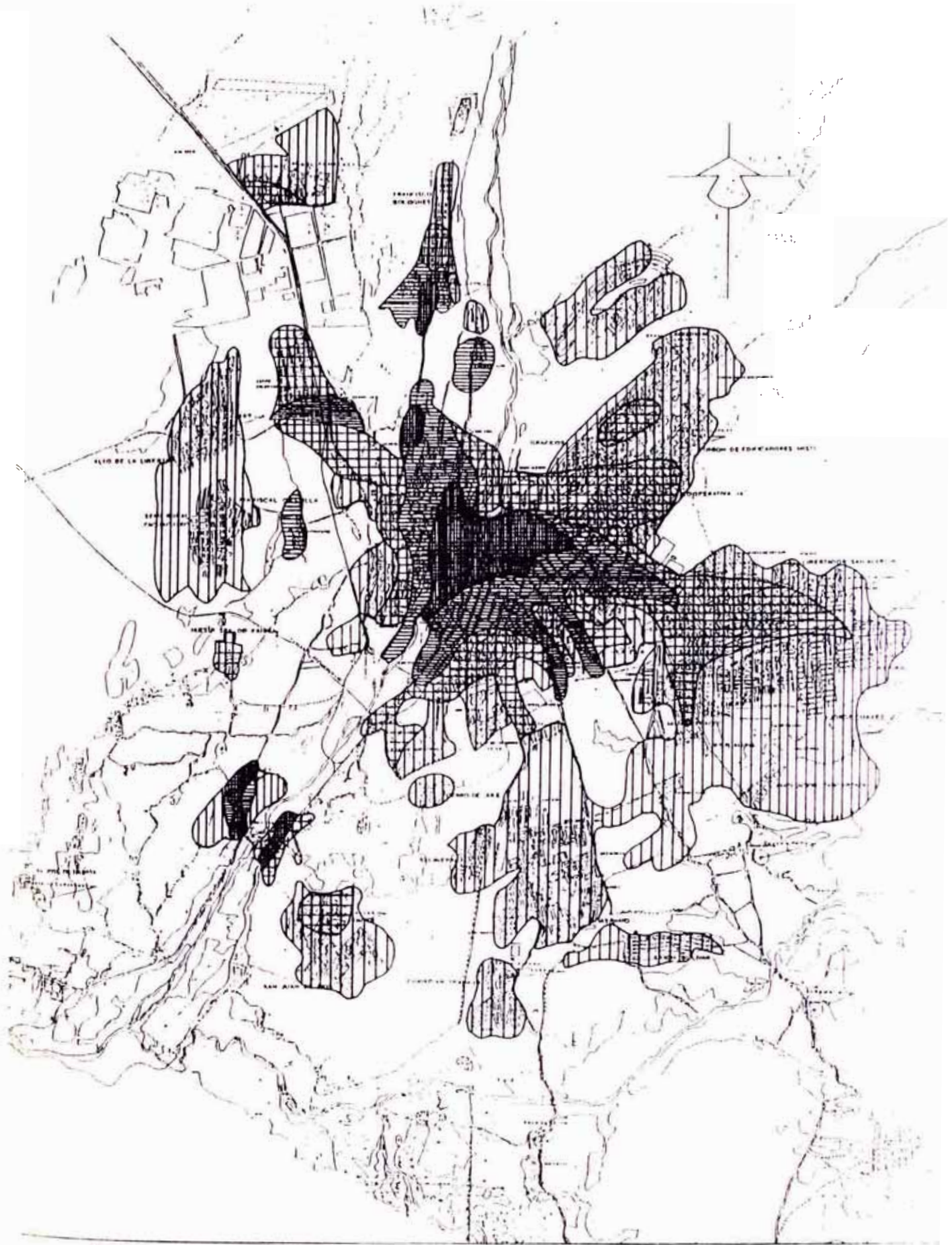


ISOSISTAS DEL SISMO DEL 16 - 02 - 79

AREQUIPA

REF.: RIOS e ICOCHEA, 1979

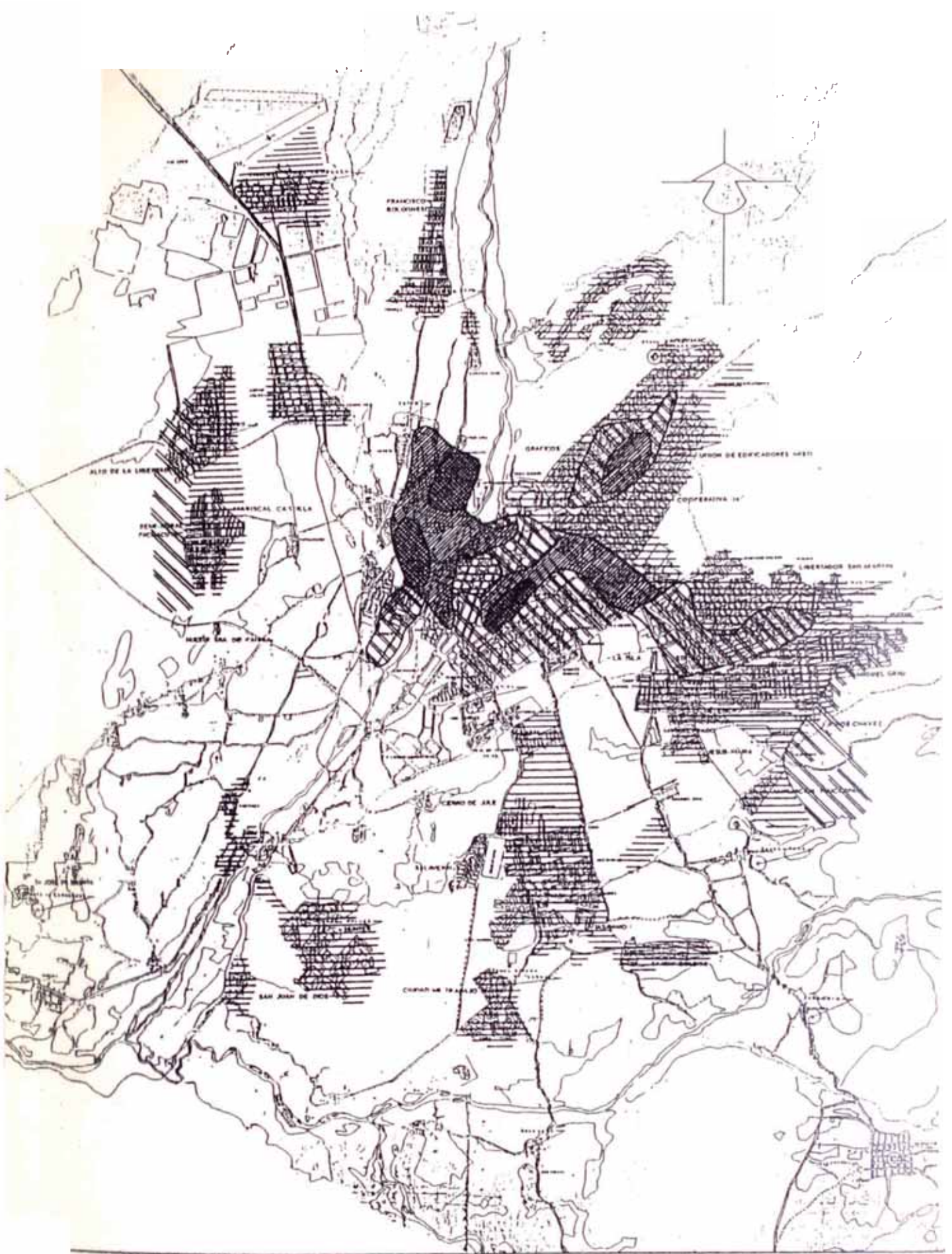
FIG. N^o 5.3



LEYENDA			
RECIENTE	MEDIANAMENTE ANTIGUA		
	0 - 25		25 - 50
ANTIGUA	MUY ANTIGUA		
	50 - 100		100 años

MAPA DE ANTIGUEDAD DE CONSTRUCCION DE VIVIENDA TIPO B	
Esc: 1/20,000	Fecha: Junio 1990
Por: Pablo Orihuela A.	

Fig. 5.4



LEYENDA			
DAÑOS (M.S.K.)			
	0 - 1		1 ⁺ - 2
	2 ⁺ - 3		3 ⁺ - 4

ZONIFICACION DE DAÑOS EN VIVIENDAS TIPO B	
SISMO AREQUIPA 16/01/79	
Esc: 1/20,000	Fecha: Junio 1981
Por: Pablo Orihuela A.	

Fig. N° 5.5

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) La información presentada en el Capítulo I muestra la gran actividad sísmica en la región sur oeste del Perú, la cual está relacionada a la interacción entre la placa Continental con la zona de subducción de la placa de Nazca, que origina sismos superficiales en la línea de costa y sismos intermedios y profundos conforme se introduce en el continente, y a una zona paralela a la cadena volcánica y al este de la línea de costa, que produce sismos superficiales, la que es conocida como "Sistema de Fallamiento San Agustín". En consecuencia la ciudad de Arequipa se encuentra constantemente sometida a la acción de eventos sísmicos con altas intensidades, que generalmente ocasionan fuertes daños.

- 2) Debido al origen volcánico de los suelos, la ciudad de Arequipa presenta una geología muy errática, principalmente en lo que respecta al Cuaternario,

encontrándose diversas unidades geológicas, constituidas por depósitos aluviales, flujos de barro, depósitos piroclásticos, etc. las que presentan características geotécnicas muy variadas

- 3) En la zonificación geotécnica propuesta se observa que la mayor parte del área urbana se ubica sobre suelos aluviales, los cuales, en algunos lugares, se encuentran muy compactos, con densidades relativas entre 80 y 100%, y en otros se encuentran muy sueltos, con densidades relativas entre 0 y 30%.

Esta zonificación ha sido delimitada en base a la información obtenida de los estudios de suelos indicados en el Capítulo III, pero debido a que ésta es escasa, dada la extensión de la ciudad, se ha apoyado en el tipo de unidad geológica para cubrir todo el área urbana. En consecuencia esta delimitación podrá ser afinada con la incorporación de nuevos estudios geotécnicos.

- 4) Mediante la técnica de medición de microtrepidaciones se obtuvo resultados concordantes con la geología de la zona, encontrándose períodos predominantes con valores bajos en los afloramientos rocosos y con valores relativamente altos en las zonas conformadas por suelos aluviales con distintos grados de compacidad.

Los valores de períodos predominantes obtenidos por medición de microtrepidaciones han sido verificados, en algunas zonas, mediante el análisis de amplificación dinámica, con el que se obtienen valores de períodos fundamentales muy similares a los anteriores.

- 5) La microzonificación sísmica que se propone corresponde básicamente a la interpretación de los resultados obtenidos del estudio de medición de microtrepidaciones y de los estudios de geología y geotécnica. Los límites de las zonas han sido determinadas en base a las curvas isoperíodos y al tipo de suelo que ellas encierran. Con tal motivo se presentan intervalos de períodos predominantes, elegidos convenientemente, con los que se pretende clasificar los tipos de suelos, ya que en la actualidad no se cuenta con propuestas de clasificación de tipos de suelo en base a los resultados de la medición de microtrepidaciones.

Para delimitar la zona D se ha tomado en cuenta las condiciones geotécnicas desfavorables que presentan estas áreas, pues el rango de períodos predominantes de esta zona es el mismo que el de la zona C. Sus límites han sido determinados por la unidad geológica que conforman. Se considera estas áreas como una zona especial por encontrarse en estado suelto, pudiendo presentarse problemas de

asentamientos por densificación, así como problemas de colapso en los suelos piroclásticos cementados.

- 6) La evaluación de los daños causados por el sismo del 16-02-79 constituye una valiosa información para la microzonificación sísmica, pues muestra el comportamiento de un determinado tipo de edificación en distintas zonas de la ciudad. El grado de daño que presentan estas edificaciones señalan la influencia de las condiciones locales del suelo.

La zonificación de daños en viviendas tipo B, ocasionados por el sismo de Arequipa del 16-02-79, tiene buena correlación con la microzonificación sísmica propuesta, así tenemos:

- En la zona A se encuentran viviendas con edades desde muy antiguas a recientes, que presentan daños leves o ningún daño.

- En gran parte de la zona B se encuentran viviendas antiguas y recientes que presentan daños leves o ningún daño, y en pequeñas áreas existen viviendas con daños moderados.

- En la zona C existen áreas con daños severos y con colapso parcial, ubicadas principalmente en el centro de la ciudad, donde las viviendas son muy antiguas. En esta zona también se presentan áreas con daños leves o daños moderados, ubicadas en

los alrededores de la ciudad, donde las viviendas son medianamente antiguas y recientes.

- En la zona D no se puede determinar los efectos del sismo, pues en la fecha en que éste ocurrió existían muy pocas edificaciones en esta zona, las cuales son de edades recientes. Dado el actual crecimiento de la ciudad, si se tiene que construir en esta zona, se recomienda tomar las debidas precauciones en el diseño sísmico de las edificaciones.

- 7) Como puede observarse de los resultados obtenidos, la técnica de medición de microtrepidaciones permite determinar con bastante precisión el comportamiento dinámico de los suelos, por lo cual es muy conveniente utilizarlo en este tipos de estudios. Esta técnica es bastante sencilla y además, por la rapidez con la que puede realizarse, permite cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo, resultando muy económico en comparación con otros tipos de ensayos de exploración de campo.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1) Bariola, J. y San Bartolomé, A. (1980) "El Sismo del 16 de Febrero de 1979 en Arequipa". III Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Cusco.
- 2) Barreda, F (1970) "Estudio de Suelos para Cimentación en la Ciudad de Arequipa". Tesis de Grado, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 3) Chávez, O. (1986) "Amplificación Sísmica en Algunas Ciudades del Perú". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 4) C.P.S. DE INGENIERIA S.A. (1978) "Estudio de Suelos para la Cimentación de un Tanque Elevado en el Parque Industrial de Arequipa". Informe presentado al Ministerio de Vivienda y Construcción. Arequipa.
- 5) Cruzado, T. (1986) "Estudio de Suelos para la Cimentación y Diseño de Pavimentos del Proyecto Pampas de Congata". Informe presentado a ENACE. Arequipa.
- 6) Cruzado, T. (1986) "Estudio de Suelos para la Cimentación y Diseño de Pavimentos del Proyecto Alto Cayma III". Informe presentado a ENACE. Arequipa.

- 7) Daza, H. (1960) "Contribución al Estudio de los Sismos en Arequipa". Tesis de Bachiller, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 8) Delgado Lira + Asociados (1982) "Estudio de Suelos para la Cimentación del Conjunto Habitacional Arequipa". Informe presentado a ENACE. Arequipa. .
- 9) Gutierrez, M.A. (1973) "Estudio Geológico de Suelos de la Ciudad de Arequipa". Tesis de Bachiller, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 10) Kanai, K. y Tanaka, T. (1961) "On Microtremors VIII" Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 39 pp. 97-114, Tokyo, Japan.
- 11) Kosaka, A. (1976) "Estudio de Sismicidad de la Región Sur-Oeste del Perú". Tesis de Grado, Facultad de Geología, UNSA, Arequipa.
- 12) Kosaka, R. y Minaya, A. (1988) "Riesgo y la Necesidad de la Microzonificación de Arequipa". Ponencia presentada en el Seminario de Microzonificación Sísmica - 1988 del CISMID, FIC. UNI. Lima.
- 13) Kuroiwa, J. (1979) "Aspectos Ingenieriles del Sismo de Majes, Arequipa, del 16 de Febrero de 1979". Boletín Nº 1 de la Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica, pp. 13-43. Lima.

- Ocola, L. (1979) "Problemática Sísmica en el Perú y el Sismo de Arequipa de Febrero de 1979", Boletín Nº 1 de la Asociación Peruana de Ingeniería Sísmica, pp. 7-12. Lima.
- 15) Orihuela, P. (1981) "Sismo Arequipa 16-02-79. Influencias de las condiciones locales". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 16) Rojo, C. (1982) "Estudio Geotécnico para Cimentación del Edificio del Comando Ala Nº 3" Informe presentado a SIGMA Consultores S.A. Arequipa.
- 17) Silgado, E. (1978) "Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)". Boletín Nº 3, Serie C. Instituto de Geología y Minería. Lima.
- 18) Stein, F. "Estudio de Suelos para la Cimentación del Banco de la Nación de Arequipa". Informe privado. Arequipa.
- 19) Tapia, E. (1967) "Historia Sísmica del Area de Arequipa". Tesis de Bachiller. Facultad de Ciencias de la Escuela Instituto de Geología, UNSA. Arequipa.
- Thomas, O., Monge, J. y Saragoni, R. (1980) "Microzonificación Sísmica de La Serena y Coquimbo". Publicación SES I 3/80(152). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

- 21) Tokeshi, J. C. (1990) "Microtrepidaciones en las ciudades de Cusco y Tacna". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.
- 22) Vargas, L. (1970) "Geología del Cuadrángulo de Arequipa". Boletín Nº 24 del Servicio de Geología y Minería, Lima.
- 23) Yanqui, C. (1986) "Mecánica de Suelos y Geotécnia de las Cimentaciones del Nuevo Puente sobre el Río Chili". Informe presentado al Concejo Provincial de Arequipa.
- 24) Yanqui, C. (1986) "Geotécnia de la Cimentación de la Biblioteca de Ingenierías de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa". Informe presentado a la UNSA. Arequipa.
- 25) Yanqui, C. (1987) "Mecánica de Suelos de la Canalización para las Redes de ENTEL-PERU". Informe presentado a ENTEL-PERU. Arequipa.
- 26) Yanqui, C. (1987) "Geotécnia de las Cimentaciones del Centro Administrativo y de la Biblioteca del Area de Salud de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa". Informe presentado a la UNSA. Arequipa.
- 27) Yanqui, C. (1988) "Características del Subsuelo y Efectos Sísmicos en Arequipa". Ponencia presentada en el Seminario de Microzonificación Sísmica - 1988 del CISMID, FIC. UNI. Lima.

- Yanqui, C. (1989) "Mecánica de Suelos de la Cimentación del Edificio FINSUR". Informe privado. Arequipa.
- 29) Yanqui, C. (1990) "Geología Preliminar de la Ciudad de Arequipa". Informe técnico presentado al CISMID, FIC. UNI. Lima.
- 30) Yanqui, C. (1990) "Microzonificación Sísmica Preliminar de Arequipa". Conferencia presentada en el Seminario Internacional de Microzonificación y Seguridad de Sistemas de Servicios Públicos Vitales. CISMID, FIC. UNI. Lima.
- 31) Yanqui, C. (1990) "Zonificación Geotécnica de Arequipa". VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, pp. 623-637. Piura.
- 32) Yanqui, C. y Tupa, F. (1990) "La Hidráulica Subterránea de Arequipa". VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, pp. 477-487. Piura.