

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

C I S M I D

RIESGO SISMICO DE TACNA

INFORME PRESENTADO A CONCYTEC

FEBRERO 1988

RIESGO SISMICO DE TACNA

POR:

JORGE E. ALVA HURTADO, PhD

PROFESOR PRINCIPAL
SUB-DIRECTOR DE INVESTIGACION CISMID
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INFORME PRESENTADO AL:

CONCYTEC

Lima, Febrero de 1988

1.0 INTRODUCCION

El presente informe documenta los resultados de la revisión y el análisis de la sismicidad histórica, sismicidad instrumental y neotectónica existentes en el departamento de Tacna, al sur del Perú.

En la evaluación del riesgo sísmico de Tacna se han efectuado los siguientes pasos: a) Determinar la sismicidad regional, b) Identificar las características sismotectónicas, c) Estimar la atenuación de los efectos sísmicos regionales y d) Estimar la distribución de aceleraciones, velocidades y desplazamientos del suelo.

La evaluación del riesgo sísmico se ha efectuado por medio de métodos probabilísticos, para finalmente proponer niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el Departamento de Tacna. Debe dejarse bien establecido que el nivel del estudio es preliminar, por lo que en un futuro deberán ahondarse los estudios de geología sísmica, especialmente los relativos a las fallas activas existentes.

2.0 HISTORIA SISMICA DEL AREA DE INFLUENCIA

La fuente básica de datos de intensidades sísmicas es el trabajo de Silgado (1978), que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú. Un mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú ha sido presentado por Alva Hurtado et. al. (1984) ilustrándose en el Mapa No. 1 la parte de aquél relevante al departamento de Tacna y zonas aledañas. La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes.

En el Anexo I se presenta una descripción resumida de los sismos que han ocurrido en el area de influencia del Proyecto. Este anexo está basado fundamentalmente en el trabajo de Silgado (1946-1983) y en el Proyecto SISRA (Sismicidad de la Región Andina), patrocinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur. Del análisis de

la información existente se deduce que para el área de influencia existe poca información histórica. En los siglos XVI a XIX se reportan los sismos sentidos en las principales ciudades existentes, indicando que dicha actividad sísmica no es totalmente representativa, ya que pueden haber ocurrido sismos importantes en regiones remotas, que no fueron reportados.

Los sismos que afectaron la región y cuya historia se conoce son: el sismo del 22 de enero de 1582 con intensidades de X MM en Socabaya y IX en Arequipa; el sismo del 19 de febrero de 1600 con intensidad de XI en el area del volcán Huaynaputina y el del 28 de febrero del mismo año con intensidad de X en Omate; el sismo del 24 de noviembre de 1604 con intensidad de VIII en Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua; el sismo del 18 de setiembre de 1833 con intensidad VII en Tacna; el sismo del 13 de Agosto de 1868 con intensidad XI en La Caldera, X en Arica y IX en Arequipa, Tacna e Ilo; el sismo del 9 de Mayo de 1877 con intensidad VII en Arica, Mollendo e Ilo; el sismo del 23 de enero de 1878 con intensidad de VII en Tarapacá; el sismo del 4 de mayo de 1906 con intensidad de VII en Tacna y VI en Arica; el sismo del 16 de junio de 1908 con intensidad VII en Tacna y Arica; el sismo del 4 de diciembre de 1934 con intensidad VI en Tacna y Arica; el sismo del 11 de mayo de 1948 con intensidad de VI en Arequipa y Tacna; el sismo del 3 de Octubre de 1951 con intensidad VII en Tacna; el sismo del 15 de enero de 1958 con intensidad VIII en Arequipa; el sismo del 13 de enero de 1960 con VIII en Arequipa; el sismo del 16 de febrero de 1979 con VII en Camaná y Corire, y el sismo del 8 de agosto de 1987 con intensidad VII en Arica.

De los sismos ocurridos en el area en estudio tienen mapa de isosistas los siguientes sismos: 12 de agosto de 1868, 9 de mayo de 1877, 15 de enero de 1958, 13 de enero de 1960 y 16 de febrero de 1979. Los mapas de isosistas disponibles se presentan en el Anexo II.

Se concluye que de acuerdo a la historia sísmica del departamento de Tacna, han ocurrido en los últimos 400 años intensidades de hasta IX en la escala Mercalli Modificada. Sin embargo, en areas vecinas, tal como Arica y Arequipa han ocurrido intensidades de hasta X.

3.0 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS SISMOS

La ubicación de epicentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que puede considerarse los siguientes períodos en la obtención de datos sismológicos:

- 1) Antes de 1900 : Datos históricos descriptivos de sismos destructores.
- 2) 1900-1963 : Datos instrumentales aproximados
- 3) 1963-1986 : Datos instrumentales precisos

El Mapa No. 2 presenta la distribución de epicentros en el área de influencia del departamento de Tacna, elaborado en base al catálogo sísmico de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos. Dicho mapa presenta los sismos ocurridos entre 1963 y 1984 con magnitudes en función de las ondas de cuerpo mb. Además, se ha dibujado las diferentes profundidades focales de sismos superficiales (0-70 km), sismos intermedios (71-300 km) y sismos profundos (301-700 km). El Mapa No. 3 presenta un perfil transversal perpendicular a la costa con un ancho de 100 km pasando por la ciudad de Tacna.

Los sismos en el área de influencia presentan el mismo patrón general de distribución espacial que el resto del territorio peruano, es decir, la mayor actividad sísmica se concentra en el mar, paralelo a la costa. Se aprecia la subducción de la Placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta. También se producen sismos en el continente que son superficiales e intermedios, y que estarían relacionados a posibles fallas existentes.

Los sismos de la zona de Benioff, tienen profundidades focales superiores a los 100 kms en el departamento de Tacna, mientras que los continentales tienen profundidades focales menores a 50 km y se ubican en la frontera con el departamento de Puno.

4.0 TECTONICA Y SISMOTECTONICA

4.1 TECTONISMO DE LOS ANDES PERUANOS

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en la tierra, formando parte del Cinturón Circumpacífico.

Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más saltante precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes. La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et. al. 1968). La idea básica de la Teoría de Tectónica de Placas es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 kms), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenósfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et. al. 1975).

El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas no se conoce, pero se dice que es debido a corrientes de convección o movimientos del manto plástico y caliente de la tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación de la tierra.

Los límites o bordes de las placas raramente coinciden con los márgenes continentales, pudiendo ser de tres tipos:

- 1) Según cordilleras axiales, donde las placas divergen una de la otra y en donde se genera un nuevo suelo oceánico.

- 2) Según fallas de transformación a lo largo de las cuales las placas se deslizan una respecto a la otra.
- 3) Según zonas de subducción, en donde las placas convergen y una de ellas se sumerge bajo el borde delantero de la suprayacente.

Se ha observado que la mayor parte de la actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de estas placas. El frotamiento mutuo de estas placas es lo que produce los terremotos, por lo que la localización de éstos delimitará los bordes de las mismas.

El margén continental de Sudamérica, donde la Placa Oceánica de Nazca está siendo subducida por debajo de la Placa Continental Sudamericana, es uno de los bordes de placa mayores en la tierra.

La Placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cms. por año y se encuentra con la Placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa Sudamericana del Pacífico. Por otro lado, la Placa de Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el este con una velocidad de aproximadamente 5 a 10 cms por año, subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 a 12 cms por año (Berrocal et. al., 1975).

Como resultado del encuentro de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la fosa Perú-Chile en diferentes etapas evolutivas. El continuo interaccionar de estas dos placas da origen a la mayor proporción de actividad sísmica de la región occidental de nuestro continente. La Placa Nazca se sumerge por debajo de la frontera Perú-Brasil y noroeste de Argentina. La distribución espacial de los hipocentros confirma la subducción de la Placa de Nazca, aún cuando existe controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 y 500 kms. de profundidad (Berrocal et. al., 1975).

Algunos trabajos de sismotectónica en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por "zonas de transición" sismotectónicas (Deza y Carbonell 1978), todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con ésta. Estas provincias tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son: (Berrocal et. al., 1975).

- La Fosa Oceánica Perú - Chile
- La Dorsal de Nazca
- La porción hundida de la costa al norte de la Península de Paracas, asociada con un zócalo continental más ancho.
- La cadena de los Andes
- Las unidades de deformación y sus intrusiones magmáticas asociadas.
- Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobrescurrimientos.

La Dorsal de Nazca tiene una influencia decisiva en la constitución tectónica de la parte occidental, donde se nota un marcado cambio en la continuidad de los otros rasgos tectónicos. En la parte oceánica, la Dorsal de Nazca divide la Fosa Oceánica en la Fosa de Lima y la Fosa de Arica.

La Cadena Andina es el rasgo tectónico más evidente. Su orogénesis es un producto de la interacción de las placas litosféricas, cuyo desarrollo está todavía vigente.

La convergencia de la Placa de Nazca y la Sudamericana da como resultado una deformación dentro de la Litósfera continental.

El régimen de esfuerzo regional tectónico parece ser predominantemente compresional, normal a las líneas de la Costa y a la dirección de las Cordilleras. La parte occidental del área de estudio está constituida por varias unidades tectónicas de diferentes grados de deformabilidad, debido a su diferente litología y época de formación. La unidad de deformación Precambriana no presenta actividad sísmica, mientras que la unidad de deformación Paleozóica presenta actividad sísmica de profundidad superficial a intermedia, tal como en la zona de Huaytapallana cerca de Huancayo, en Cusco y en Abancay.

La deformación en la corteza se caracteriza por fallas inversas, de rumbo predominantemente Norte a Nor-Noroeste en los Andes, que buzan con bajo ángulo sea al Sur-Oeste o al Nor-Este.

El sistema de fallas subandino, localizado a lo largo del flanco Oriental de los Andes, representa la parte más oriental de esta deformación de la Corteza. El contacto de la unidad de deformación Supra-Terciaria con las unidades más antiguas está asociado con este sistema de fallas normales e inversas.

Otro rasgo importante en la unidad Andina lo constituye las deposiciones volcánicas que son antiguas hacia el norte de la zona de transición; y modernas y antiguas hacia el Sur (Deza y Carbonell, 1978).

4.2 SISMO TECTONICA REGIONAL

El Mapa No. 4 presenta el mapa Neotectónico de la Región. En este mapa se presentan los rasgos neotectónicos indicados por Sebrier et. al. (1982) para el Perú, así como los rasgos presentados para los países vecinos en el Proyecto SISRA.

En el departamento de Tacna existe la falla activa de Chulibaya. Esta falla se localiza entre Locumba y Curibaya, al límite del Piedemonte Pacífico y la Cordillera Occidental. La falla se sigue en una quebrada afluente de la margen izquierda del río Curibaya. Esta falla es normal, tiene una longitud de 5 kilómetros y un salto de 2

mts. en promedio, y muestra evidencias de una actividad sumamente reciente. Desafortunadamente esta falla todavía no está lo suficientemente estudiada como para poder modelarla en la evaluación del riesgo sísmico de Tacna.

En Calientes, al NE de Tacna existe la Flexura de Calientes, que tiene un rumbo de N125°E y una longitud de 15 kms. También existe al noreste de la falla activa de Chulibaya la falla de Incapuquio.

En el mapa de epicentros se aprecia que en la parte oceánica la actividad sísmica está constituida por sismos superficiales (< 70 km de profundidad) concentrados entre la fosa marina y la línea de la costa. Frente a la región de Tacna y Arica existe un vacío de sismos para el período en estudio. También existen sismos superficiales en la zona continental, aunque no son numerosos.

En la zona continental se presentan mayormente sismos de profundidad intermedia correspondientes a la zona de Benioff, aunque también existen sismos superficiales. Lamentablemente los sismos superficiales continentales todavía no han sido asociados a fallas activas. Se necesita una mayor instrumentación en esta región del Perú. Como consecuencia de lo anterior, todavía no puedan modelarse los sismos superficiales continentales.

5.0 ESTUDIO SISMICO PROBABILISTICO

5.1 INTRODUCCION

El riesgo sísmico puede evaluarse probabilísticamente con el método desarrollado por Cornell (1968). La primera parte consiste en una revisión de la actividad sísmica del pasado para determinar las fuentes sismogénicas considerando las características tectónicas de la región. Luego se determina la recurrencia de las zonas sismogénicas y con la atenuación sísmica se determinan los valores probables de intensidades sísmicas.

5.2 FUNDAMENTOS DEL ANALISIS DEL RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico se define por la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un cierto valor fijado. En general, se hace extensivo el término intensidad a cualquier otra característica de un sismo tal como su magnitud, la aceleración máxima, el valor espectral de la velocidad, el valor espectral del desplazamiento del suelo, el valor medio de la intensidad Mercalli Modificada u otro parámetro.

La ocurrencia de un evento sísmico es de carácter aleatorio y la Teoría de las Probabilidades es aplicable en el análisis del riesgo de su ocurrencia. Aplicando esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento A depende de la ocurrencia de otros eventos: $E_1, E_2, \dots, E_n$, mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustiva; entonces, de acuerdo al teorema de la "probabilidad total" se tiene para la probabilidad de ocurrencia de A:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A/E_i) \cdot P(E_i)$$

donde $P(A/E_i)$ es la probabilidad condicional que A ocurra, dado que E_i ocurra.

La intensidad generalizada (I) de un sismo en el lugar fijado puede considerarse dependiente del tamaño del sismo (la magnitud o intensidad epicentral) y de la distancia al lugar de interés. Si el tamaño del sismo (S) y su localización (R) son considerados como variables aleatorias continuas y definidas por sus funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$ respectivamente; entonces el peligro sísmico definido por la probabilidad que la intensidad I sea igual o mayor que una intensidad dada, será: $P(I \geq i)$ y está dada por:

$$P(I \geq i) = \iint P[I/(s,r)] f_S(s) f_R(r) ds dr$$

Esta es la expresión que resume la teoría desarrollada por Cornell en 1968, para analizar el peligro sísmico.

La evaluación de esta integral es efectuada por el program de Cómputo RISK desarrollado por R. McGuire (1976) en el cálculo del peligro sísmico.

5.3 EVALUACION DE FUENTES SISMOGENICAS

Se han utilizado las fuentes sismogénicas establecidas en el trabajo de Zonificación Sísmica del Perú de Casaverde y Vargas (1980).

La Figura No. 1 presenta las fuentes sismogénicas aplicables al Proyecto, según Casaverde y Vargas. Se ha mantenido la misma nomenclatura de las zonas sismogénicas, utilizando sólo aquellas que tienen influencia en el área del Proyecto. El área de influencia está limitada por latitud 14.00° S y 22.00° S, longitud 67.00° O y 79.00° O.

La determinación de las fuentes sismogénicas se ha basado en el mapa de distribución de epicentros, así como las características tectónicas del área de influencia. Se han presentado las fuentes como áreas, ya que no existen suficientes datos como para modelar fallas como fuentes lineales.

La mayor parte de los sismos ocurridos en el área considerada es producto de la interacción de las Placas de Nazca y Sudamericana. La placa Nazca penetra debajo de la Sudamericana a ángulos variables.

La Placa Nazca se profundiza a medida que avanza hacia el Continente, por lo que pueden distinguirse fuentes del litoral (F3, F4 y F26) y fuentes continentales (F5 y F27).

Las fuentes del litoral tienen profundidades focales superficiales, menores de 70 kms. Las fuentes continentales de la zona de subducción se caracterizan por tener profundidades focales medianas, mayores de 70 kms.

Las fuentes F6, F8 y F23 están asociadas a la sismicidad regional andina con profundidades focales superficiales, sin estar asociadas a fallas activas. La fuente F25 representa los sismos profundos en la zona de Benioff, la fuente F24 los sismos intermedios. La Tabla No. 1 presenta las coordenadas de las fuentes sismogénicas utilizadas.

5.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RECURRENCIA

El catálogo instrumental de sismos comienza a principios de siglo para la zona en referencia. La información existente hasta el año 1963 es incompleta, ya que no se cuenta con valores de magnitud de ondas de cuerpo mb y profundidad focal. Se decidió utilizar la información a partir de 1963 para la realización del análisis estadístico de recurrencia.

La recurrencia de terremotos se determina de acuerdo a la expresión de Richter (1958).

$$\text{Log } N = a - bM$$

donde:

N = número de sismos de magnitud M o mayor por unidad de tiempo.

a, b = parámetros que dependen de la región.

La expresión anterior también se puede escribir como:

$$N = \gamma_0 e^{-\beta M}$$

donde:

$\gamma_0 = 10^a$ es el número de sismos por unidad de tiempo con $M > 0$.

$$\beta = b \times \ln 10$$

En el caso de tener un nivel inferior de magnitud M_0 en lugar de magnitud igual a cero, las expresiones de recurrencia se convierten en:

$$\text{Log } N_{M_0} = a_{M_0} - b (M - M_0)$$

o

$$N_{M_0} = \gamma_{M_0} e^{-\beta (M - M_0)} \text{ para } M \geq M_0$$

Los parámetros estadísticos de recurrencia para cada una de las fuentes sismogénicas se han calculado utilizando los valores de magnitudes de ondas de cuerpo para luego convertirlos a valores de magnitud de ondas de superficie, mediante la expresión de Richter (1958).

$$m_b = 2.50 + 0.63 M_s$$

El valor de a_{M_0} es la tasa de actividad sísmica para el límite inferior de magnitud determinado a partir del catálogo y $b_{M_s} = 0.63 b_{m_b}$.

El análisis estadístico de los parámetros de recurrencia se realizó considerando los datos de 1963-1981. La Tabla No. 2 presenta los parámetros de recurrencia utilizados para el caso de considerar las fuentes sismogénicas de la Figura No. 1 (Arévalo, 1984).

5.5 LEYES DE ATENUACION

Se ha utilizado la ley de atenuación de aceleraciones propuesta por Casaverde y Vargas (1980). Esta ley está basada en los registros de acelerógrafos de las componentes horizontales de diez sismos peruanos registrados en Lima y alrededores.

Es notoria la menor atenuación de los sismos peruanos en comparación con atenuaciones de sismos en otras partes del mundo. Los sismos fueron registrados en acelerógrafos instalados en el local del Instituto Geológico en la Plaza Habich, el Instituto Geofísico en la Avenida Arequipa, en Zárate, en la casa del Dr. Huaco, en las Gardenias y en la Molina, la Ley es:

Atenuación de Aceleraciones:

$$a = 68.7 e^{0.8M_s} (R + 25)^{-1.0}$$

donde:

a = es la aceleración en cm/seg^2

M_s = es la magnitud de las ondas superficiales

R = es la distancia hipocentral en kms.

Es evidente que existe escasez de datos de registros de aceleraciones en el Perú. Los datos que se tienen son de la ciudad de Lima.

También se utilizaron las leyes de atenuación de velocidades y desplazamientos que son:

Atenuación de Velocidades:

$$v = 13 e^{1.0M_s} (R + 25)^{-1.5}$$

Atenuación de Desplazamientos:

$$d = 0.41 e^{1.2M_s} (R + 25)^{-1.3}$$

donde:

v = es la velocidad en cm/seg .

d = es el desplazamiento en cm .

Debe advertirse que estudios anteriores (Alva Hurtado et. al. 1984) han demostrado que existe una notoria dispersión en los valores de desplazamiento en los sismos peruanos, producto del procesamiento utilizado en norteamérica para corregir los registros.

5.6 EVALUACION DEL RIESGO SISMICO

Se ha determinado el riesgo sísmico del Departamento de Tacna mediante la utilización de metodologías e información pertinentes, disponi

bles en la literatura. Se ha utilizado el Programa de Cómputo RISK, desarrollado por McGuire (1976) con fuentes sismogénicas y leyes de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) y recurrencia sísmica de Arévalo (1984).

Las coordenadas geográficas investigadas fueron de 69.5° a 71.0° longitud Oeste y de 16.5° a 18.5° latitud Sur con intervalos de 0.25° , para cada punto en estudio se obtienen riesgos anuales de aceleración, velocidad y desplazamientos sísmicos, con tres corridas distintas, considerando las distintas leyes de atenuación sísmica.

Con el objeto de poder simplificar la información de salida, se han preparado mapas de distribución de aceleraciones, velocidades y desplazamientos para períodos de retorno de 50 y 100 años en el departamento de Tacna.

Los valores presentados en los mapas son valores máximos en roca, por lo que debe considerarse la amplificación local de dichos valores en terreno blando. Con los valores presentados, y para un cierto período de retorno, pueden confeccionarse espectros de diseño para distintos emplazamientos de obras de ingeniería en el departamento de Tacna.

En los mapas presentados se aprecia que los mayores valores de intensidad sísmica se alcanzarían en la zona Sur del departamento, disminuyendo ligeramente hacia el Norte. Casi no existe diferencia en los valores de aceleración, velocidad y desplazamiento sísmicos entre la costa y la sierra del departamento.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) El estudio de la sismicidad histórica en el departamento de Tacna indica que se han producido intensidades de hasta grado IX Mercalli Modificada. En Arica y Arequipa han ocurrido intensidades de hasta grado X.

- 2) La distribución espacial de los sismos instrumentales indica una mayor actividad sísmica de la zona de subducción en la costa. Hacia el continente, las profundidades focales de los sismos de la zona de Benjoff aumentan, llegando a ser superiores a 100 km en el departamento de Tacna. También existen sismos continentales superficiales, que se ubican en la frontera con el departamento de Puno.
- 3) La sismotectónica regional indica la existencia de la falla activa de Chulibaya y la flexura de Calientes. Lamentablemente con la información existente no se puede establecer una relación entre los sismos continentales superficiales y la falla activa, para modelar ésta con parámetros de recurrencia sísmica.
- 4) El riesgo sísmico del departamento de Tacna se ha calculado mediante una técnica probabilística de modelar las fuentes sismogénicas como áreas, sin poder modelar por carencia de datos las fallas activas de la región.
- 5) El estudio probabilístico proporciona valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento para un período de retorno dado, que pueden ser usados en la determinación del espectro sísmico de diseño de un sitio específico. Se ha presentado distribuciones de dichos valores para todo el departamento de Tacna.
- 6) Los valores máximos propuestos son para el afloramiento de roca, el coeficiente sísmico para el diseño deberá estar expresado en términos del período de la estructura, del suelo y del período de retorno a utilizarse también deberá considerarse la posibilidad de amplificación local en terreno blando.
- 7) Se recomienda llevar a cabo en el futuro estudios detallados de la falla activa existente en Tacna, en referencia a su posible generación de sismos y los demás rasgos neotectónicos de la región, para poder ser incorporados en la determinación del riesgo sísmico de Tacna.

- 8) Se recomienda aumentar el número de estaciones sísmicas en Tacna y dotarlas de instrumentación adecuada, para poder localizar con precisión los hipocentros de sismos futuros.
- 9) Se recomienda instalar por lo menos un acelerógrafo en el departamento de Tacna, con el objeto de determinar las características de la onda sísmica y su atenuación en la región.

TABLA No. 1

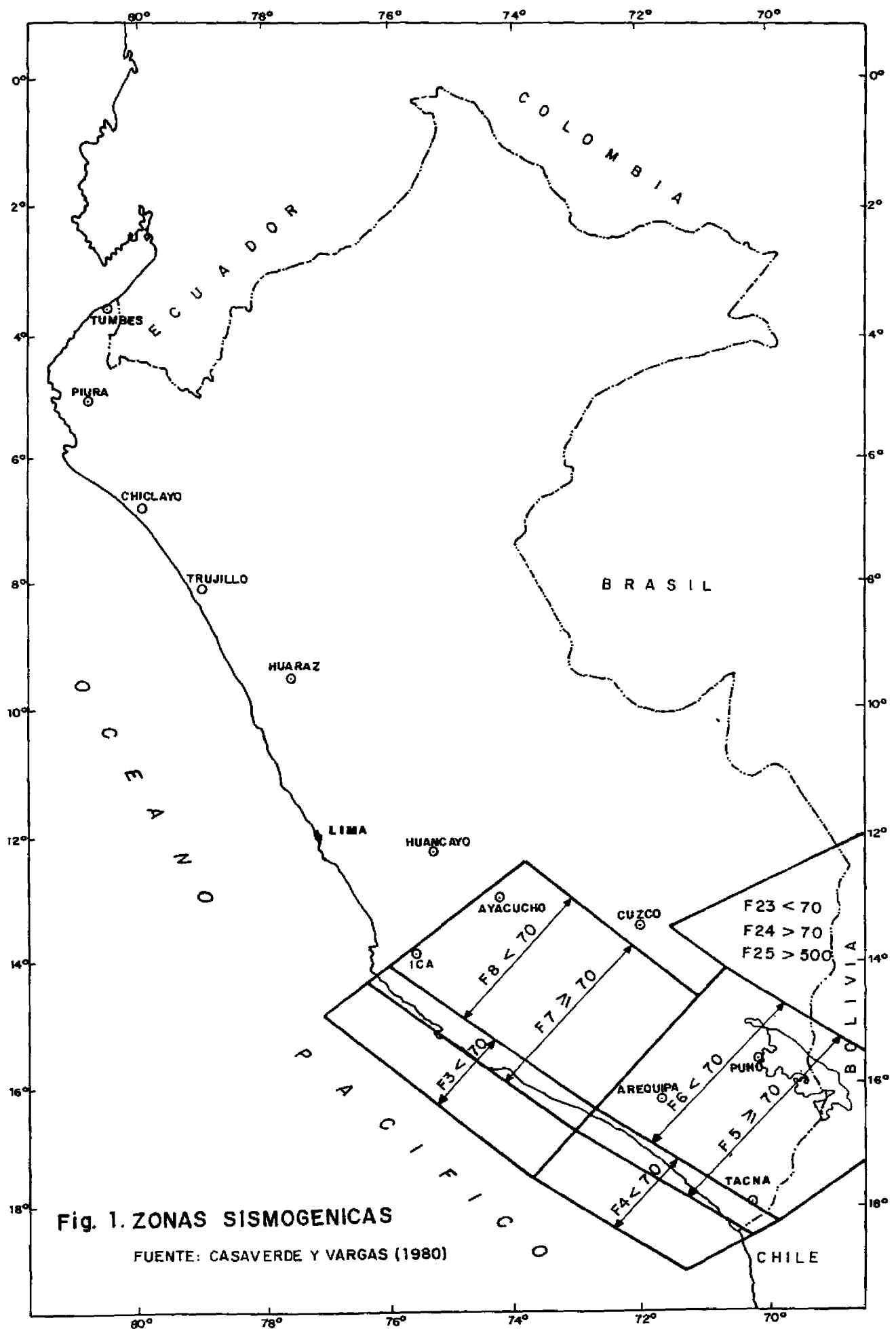
COORDENADAS DE LAS FUENTES SISMOGENICAS UTILIZADAS

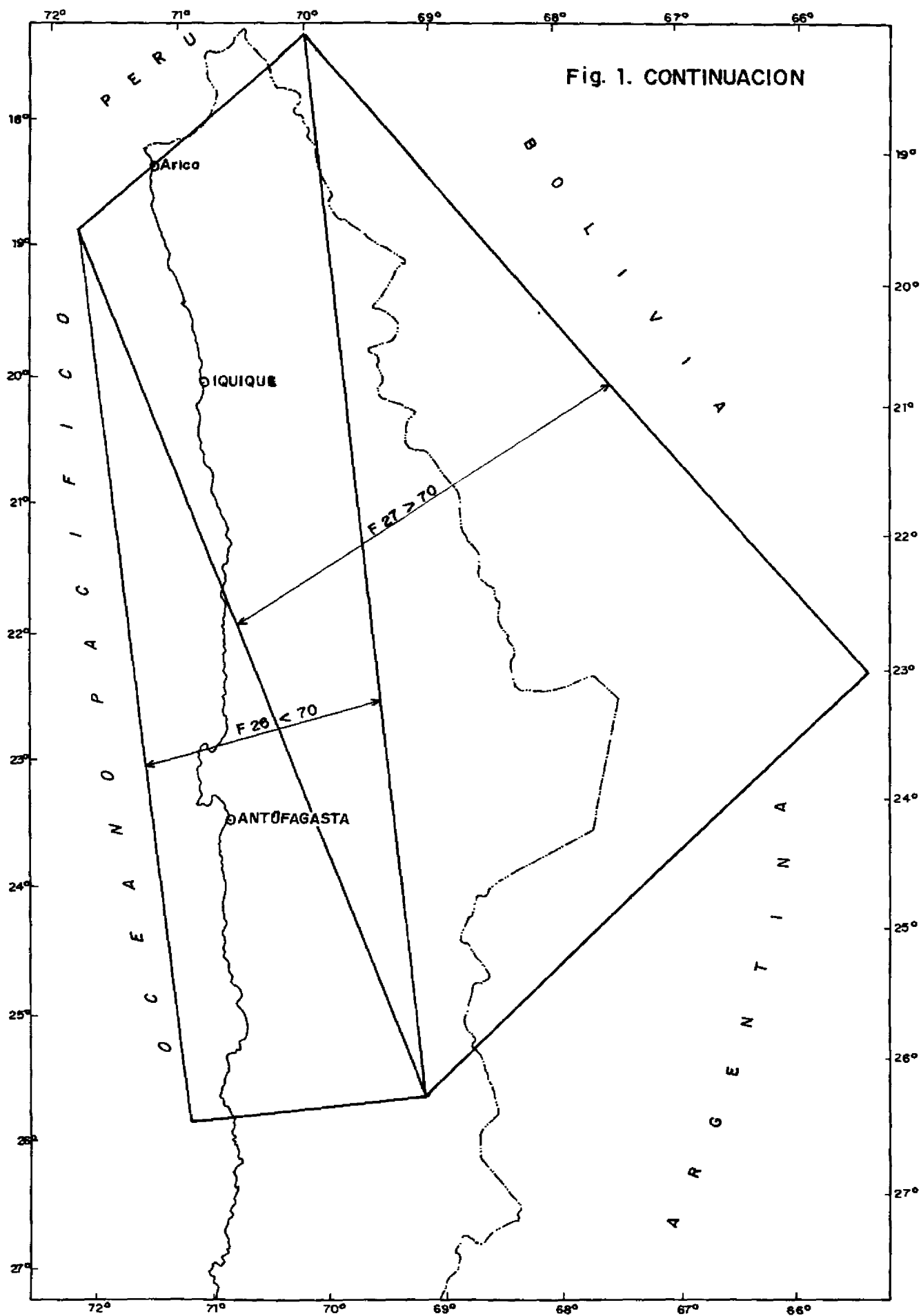
FUENTE	1		2		3		4	
	LONG.W°	LAT.S°	LONG.W	LAT.S	LONG.W	LAT.S	LONG.W	LAT.S
F3	77.10	14.90	76.00	14.08	73.70	17.50	72.70	16.40
F4	73.70	17.50	72.70	16.40	71.30	19.10	69.90	18.20
F5	73.00	16.75	70.60	14.10	70.25	18.45	67.20	16.35
F6	72.70	16.40	70.60	14.10	69.90	18.20	67.20	16.35
F7	76.30	14.30	73.80	12.45	73.00	16.75	71.00	14.60
F8	76.00	14.08	73.80	12.45	72.70	16.40	71.00	14.60
F23	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F24	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F25	71.60	13.50	68.50	12.00	67.20	16.35	67.00	16.00
F26	71.00	18.92	69.00	17.60	71.00	26.00	69.00	26.00
F27	71.00	18.92	69.00	17.60	69.00	26.00	65.00	23.00

TABLA NO. 2

PARAMETROS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA RISK RIESGO SISMICO DE TACNA

FUENTE	MAGNITUD MINIMA M°	MAGNITUD MAXIMA MI	BETA	TASA	PROFUNDIDAD (km)
F3	5.0	8.10	2.4905	0.8073	35
F4	5.0	5.90	2.5479	0.3344	35,45
F5	5.0	7.50	1.9629	1.0079	130-190
F6	5.0	7.30	1.5341	0.1999	35,50
F7	5.0	7.00	2.2193	1.0574	90
F8	5.0	7.40	1.7654	0.1630	35
F23	5.0	7.10	1.1156	0.0654	35
F24	5.0	7.00	1.1156	0.0654	120
F25	5.0	7.50	1.1156	0.0654	540
F26	5.0	7.75	1.9187	2.5143	25-45
F27	5.0	8.30	2.2149	6.4584	100,180





REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- Arévalo E., (1984), "Riesgo Sísmico del Departamento de Ancash" Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS Data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- Berrocal J., Deza E. y Shikiya J. (1975), "Estudio de Sismicidad para el Proyecto de Derivación del Río Mantaro a Lima", Informe del Instituto Geofísico del Perú a ELECTROPERU S.A.
- Casaverde L. y Vargas J. (1980), "Zonificación Sísmica del Perú", II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Organización de Estados Americanos y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58 No. 5 págs. 1538-1606.
- Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R. (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, No. 18, págs. 5855-5899.
- Kausel E. (1985) "Los terremotos de Agosto 1868 y Marzo 1877 que afectaron el Sur del Perú y Norte de Chile, Boletín Academia Chilena de Ciencias.

- McGuire R. (1976), "Fortran Computer Program for Seismic Risk Analysis", Open-File Report 76-67, U.S. Geological Survey.
- Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- Sebrier M., Huamán D., Blanc J.L. Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín No. 3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú

ANEXO I

RELACION DE SISMOS HISTORICOS
DEL AREA EN ESTUDIO

ANEXO I

RELACION DE SISMOS HISTORICOS DEL AREA EN ESTUDIO

(Ref. Silgado, 1978)

- Sismo 1471 - 1493. 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. Intensidad de VIII en Arequipa.
- Sismo 1513 - 1515. Grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierras. En la costa el mar sobrepasó muchas veces la línea de playa. Intensidad VIII en Arequipa.
- Sismo de 1581. Terremoto que hizo hundir el pueblo de Yanaoca, Cusco con todos sus habitantes. Intensidad IX MM en Yanaoca, Cusco.
- Sismo del 22 de Enero de 1582. A las 11.30 horas terremoto que dejó en ruinas a la ciudad de Arequipa. Se derrumbaron 300 casas y perecieron más de 35 personas. Intensidades: Socabaya X MMI y Arequipa IX MMI.
- Sismo de 1590. Fuerte temblor que estremeció violentamente el pueblo de Camaná y Torata. Intensidades V-VI en Camaná y Torata.
- Sismo del 19 y 28 de Febrero de 1600. El 19 a las 5.00 terremoto en Arequipa causado por el volcán Huaynaputina. Intensidad XI en la zona del volcán. El 28 de Febrero fuerte réplica. Intensidad X en Omate y VIII En Arequipa.
- Sismo del 24 de Noviembre de 1604. A las 13.30 horas terremoto asociado con tsunami en la Costa Sur. Afectó las ciudades de Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua. Tsunami en Arica. Intensidades VIII en Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua. Intensidades de VI en cusco e Ica.

- Sismo del 16 de Setiembre de 1615. Fuerte temblor en la ciudad de Arica. Tacna sufrió daños mayores. Intensidades Arica y Tacna VII-VIII.
- Sismo del 31 de Marzo de 1650. A las 14.00 horas terremoto en la ciudad del Cusco. Causó fuertes daños en las edificaciones. Se produjeron grandes deslizamientos en Pisac y Paucartambo. Intensidades: Yaurisque, Oropesa y Paucartambo IX MMI, Cusco VIII MMI.
- Sismo del 12 de Mayo de 1664. A las 04.15 horas. Terremoto en la ciudad de Ica. La ciudad quedó destruída y murieron más de 300 personas. En Lima se sintió con gran intensidad. Siguieron 60 temblores. Intensidades: Ica X, Pisco VIII y Lima IV MMI.
- Sismo del 28 de Enero de 1687. Terremoto en la ciudad de Huancavelica. Intensidad VII MMI en Huancavelica, Huanta y Lircay.
- Sismo del 21 de Octubre de 1687. Entre las 06.00 y 07.00 horas. Fuerte temblor en Arequipa que causó daños en las viviendas. Intensidades VII MMI en Arequipa y VI en Aplao y Sihuas.
- Sismo del 17 de Setiembre de 1707 a las 24.00 horas. Terremoto en el Pueblo de Capi, Paruro, Cusco. Se derrumbaron 90 casas y murieron 50 personas. En la ciudad del Cusco hubo alarma. Se contaron más de 28 réplicas. Intensidades: Capi VII y Cusco V MMI.
- Sismo del 22 de Agosto de 1715 a las 19.00 horas. Terremoto en la ciudad de Arequipa, sintiéndose hasta Arica. Pequeños pueblos fueron sepultados por derrumbes de las partes altas. Intensidad VII MMI en Arequipa.
- Sismo del 06 de Febrero de 1716. Terremoto en Torata, Moquegua. Causó muchas víctimas. Intensidad en Torata VIII MMI.
- Sismo del 10 de Febrero de 1716. A las 20.00 horas. Terremoto en la ciudad de Pisco, Ica. Se derrumbaron todas las casas causando

pánico general. La tierra se agrietó en algunos lugares expeliendo chorros de polvo y agua con ruido pavoroso. Intensidades en Pisco IX y en Lima V MMI.

- Sismo del 17 de Junio de 1719. Fuerte temblor en la ciudad de Huamanga. Hubieron daños aislados. Intensidad VI en Ayacucho.
- Sismo del 08 de Enero de 1725 a las 08.00 horas. Fuerte temblor en la ciudad de Arequipa. Hubo destrucción en la mayor parte de las casas. siguió una gran polvareda que cubrió la ciudad. Intensidad VII en Arequipa.
- Sismo del 27 de Marzo de 1725. Fuerte temblor en toda la Costa Sur del Perú. Camaná sufrió daños de consideración, saliéndose el mar. Intensidad de VI en Camaná.
- Sismo del 24 de Marzo de 1739. Fuerte temblor en Santa Catalina, Ayumaraes, Apurímac. Perekieron muchos habitantes. Intensidad de VI.
- Sismo del 19 de Noviembre de 1744 a las 06.30 horas. Fuerte temblor en el Cusco. Intensidad VI MMI en Cusco.
- Sismo del 11 de Febrero de 1746. Fuertes temblores en el Pueblo de Urcos, Cusco. Se derrumbaron muchas casas. Se contaron 90 réplicas. Intensidad VII en Acomayo y VI en Urcos.
- Sismo en 1747. Fuerte temblor sentido en Ayapata, Carabaya, Puno. Ocasionó grandes destrozos y pereció mucha gente. Agua cenagosa brotó de la tierra. Intensidad VIII en Ayapata.
- Sismo del 13 de Mayo de 1784 a las 07.36 horas. Terremoto en la ciudad de Arequipa. Perekieron 54 personas. La ciudad sufrió ruinas de edificios y viviendas, igualmente quedaron arruinadas las poblaciones situadas en un radio de 100 km. Fueron numerosas las réplicas. Intensidad en Arequipa VIII.

- Sismo del 03 de Enero de 1812 a las 11.00 horas. Fuerte temblor en Arequipa. Intensidad V.
- Sismo del 30 de Marzo de 1813 a las 04.30 horas. Terremoto en Ica, destruyó casas y perecieron 32 personas. Grandes grietas se formaron en el cauce del río, emergiendo gran cantidad de lodo. Intensidad VII en Ica.
- Sismo del 10 de Julio de 1821 a las 08.00 horas. Fuerte temblor en Arequipa causando grandes daños en los pueblos de Camaná, Ocoña, Caravelí, Chuquibamba y Valle de Majes. Se contaron 162 muertos.

El movimiento principal se sintió en Lima. Intensidades: Camaná VII, Caravelí VII, Valle de Majes VII, Ocoña VII, Chuquibamba VII y Lima III.

- Sismo del 08 de Octubre de 1831 a las 21.15 horas. Fuerte temblor en el Sur del País. En Arica resultaron varios muertos. Fue sentido en algunas ciudades de Bolivia y en Arequipa. Intensidades: Arica VII, Moquegua y Tacna VI, Sucre y Oruro (Bolivia) III MMI.
- Sismo del 18 de Setiembre de 1833 a las 05.45 horas. Fuerte temblor en la ciudad de Tacna que redujo a escombros parte de la ciudad y causó daños a Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya. Fue sentido en La Paz y Cochabamba (Bolivia). Hubieron 18 muertos. Intensidades: Arequipa, Arica, Ilabaya, Locumba, Moquegua y Sama VI, Tacna VII, Cochabamba, La Paz III MMI.
- Sismo de Mayo de 1845. Fuerte temblor en Arequipa que causó daños. Intensidad VI MMI en Arequipa.
- Sismo del 03 de Junio de 1845. Fuerte temblor en Arequipa seguido de 40 réplicas. Intensidad V MMI.
- Sismo de 1847. Fuerte temblor en Huancarama, Apurímac. El pueblo quedó asolado. Intensidad VII - VIII en Huancarama.

- Sismo del 13 de Abril de 1861 a las 17.30 horas. Fuerte temblor en Apurímac. Fue destructor en algunos pueblos aledaños del Departamento de Ayacucho. Intensidades en Andahuaylas, San Jerónimo y Talavera VI.
- Sismo del 13 de Agosto de 1868 a las 16.45 horas. Terremoto en Arica El movimiento se percibió desde Samanco hasta Valdivia (Chile) en una longitud de 2,800 Km. y hasta Cochabamba (Bolivia). Sufrieron graves ruinas las ciudades de Moquegua, Torata, Tacna y Arica. Murieron 180 personas. En Lima se sintió fuerte. A este terremoto siguió un gran tsunami. Las salidas del mar arrasaron gran parte del litoral peruano, muriendo 330 personas. Intensidades: Cerro La Caldera XI, Arica X, Arequipa IX, Ilo IX, Torata IX, Lima V.
- Sismo del 24 de Agosto de 1869 a las 13.45 horas. Fuerte temblor en Arequipa y Tacna. Intensidad V.
- Sismo del 03 de Noviembre de 1869 a las 19.30 horas. Fuerte temblor en Arequipa, causó deterioros en sus edificios. Intensidad VI MMI.
- Sismo del 05 de Diciembre de 1875 a las 21.30 horas. Fuerte temblor en Abancay. Hubieron 27 réplicas, se produjeron daños en edificaciones. Intensidad VI MMI.
- Sismo del 09 de Mayo de 1877 a las 20.28 horas. Terremoto sentido en Mollendo, Ilo y Arica. Se produjo un tsunami asociado al sismo en Ilo y Arica. Siguieron 100 réplicas. Intensidad VII MMI en Arica, Mollendo e Ilo.
- Sismo del 23 de Enero de 1878. Terremoto sentido en Arequipa y Tacna. Se produjeron daños en Tarapacá. Se produjo tsunami. Intensidades: Tarapacá VII, Tacna y Arequipa V.
- Sismo del 21 de Noviembre de 1901 a las 14.19 horas. Fuerte temblor en Ica. Fue sentido desde Huacho hasta Chala. Intensidad: Ica VI, Lima IV y Tarma III.

- Sismo del 23 de Enero de 1905 a las 06.15 horas. Fuerte temblor en Cusco. Intensidad VI en Andahuaylillas.
- Sismo del 04 de Mayo de 1906. En Tacna ocasionó derrumbes de casas y cuarteamientos de paredes. Intensidades: Tacna VII, Arica VI y Mollendo IV.
- Sismo del 16 de Junio de 1908 a las 12.50 horas. Fuerte temblor que ocasionó desplomo de casas en Tacna y Arica, con intensidades en dichas localidades de VII MMI.
- Sismo del 28 de Julio de 1913 a las 01.40 horas. Fuerte temblor en Chala y Mollendo. Intensidad V MMI.
- Sismo del 06 de Agosto de 1913 a las 17.13 horas. Terremoto en Caravelí, Arequipa. La ciudad quedó destruída ocasionando varios muertos. En la ciudad de Arequipa hubo averías en algunos edificios. Intensidades: Caravelí VIII, Arequipa, Ocoña, Atico y Cailloma VI y Chuquibamba VIII.
- Sismo del 04 de Noviembre de 1913 a las 16.33 horas. Fuerte temblor en Aymaraes, Apurímac. Se sintió en Abancay, Andahuaylas, Ayacucho. Intensidades VIII en Cosaya, Sañaica y Soraya, VI en Abancay, Amoray y Huaquipa, en Apurímac y Ayacucho III.
- Sismo del 11 de Setiembre de 1914 a las 06.48. Terremoto en Caravelí, Arequipa, dejó en escombros la ciudad de Caravelí. En Nazca hubo víctimas y daños menores. En Ica y Atico se sintió fuerte. Intensidades: Caravelí VII, Nazca VI, Atico V e Ica IV.
- Sismo del 02 de Diciembre de 1914 a las 18.55 horas. Fuerte temblor en la provincia de Parinacochas, Ayacucho. Hubieron 34 muertos y daños mayores en pueblos situados en la divisoria de la Cordillera Occídental entre Ayacucho y Arequipa. Intensidades: VIII en Colta, Corculla, Marcabamba, Oyolo, Pararca y Pauza.

- Sismo del 20 de Setiembre de 1915 a las 17.28 horas. Fuerte temblor en Ica. Intensidad V.
- Sismo del 28 de Diciembre de 1915 a las 18.40 horas. Fuerte temblor en Caravelí. Se produjeron daños en las viviendas. En Acarí causó desplome de casas. Intensidades: Caravelí y Acarí VI, Chala V MMI.
- Sismo del 08 de Febrero de 1916 a las 10.35 horas. Fuerte temblor en Huancavelica. Intensidad VI en Huancaray, Julcamarca y Ocros.
- Sismo del 21 de Mayo de 1917 a las 03.56 horas. Fuerte temblor en Cailloma, Arequipa. El pueblo quedó en ruinas y hubieron 22 muertos. Intensidad VII en Cailloma.
- Sismo del 07 de Octubre de 1920 a las 15.54 horas. Terremoto en las zonas limítrofes de Ayacucho y Arequipa. Hubieron daños en Santa Lucía, Jaquí, Acarí y Chala. Intensidades: Acarí, Jaquí y Santa Lucía VII, Chala VI, Arequipa, Chíncha Alta e Ica V.
- Sismo del 11 de Octubre de 1922 a las 09.50 horas. Fuerte temblor en Caravelí, Arequipa. Hubieron daños importantes en Arequipa y Mollendo. Intensidades: Caravelí VII, Arequipa y Mollendo VI, Chala, Acarí V, e Ica IV.
- Sismo del 09 de Abril de 1928 a las 12.30 horas. Terremoto en Ayapata, Puno. Fueron destruidas poblaciones de la Provincia de Carabaya. El movimiento se sintió intensamente en las ciudades de Puno, Cusco y Huancané. Intensidades: Ayapata VIII, Ituata, Macusani y Ollachea VII, Puno V y La Paz III.
- Sismo del 18 de Junio de 1931 a las 09.35 horas. Fuerte temblor en el Pueblo de Tinta, Cusco. El suelo se agrietó y se desplomaron muchas viviendas. Intensidad VII en Tinta; V en Checacupe, Sicuani y Yanaoca.

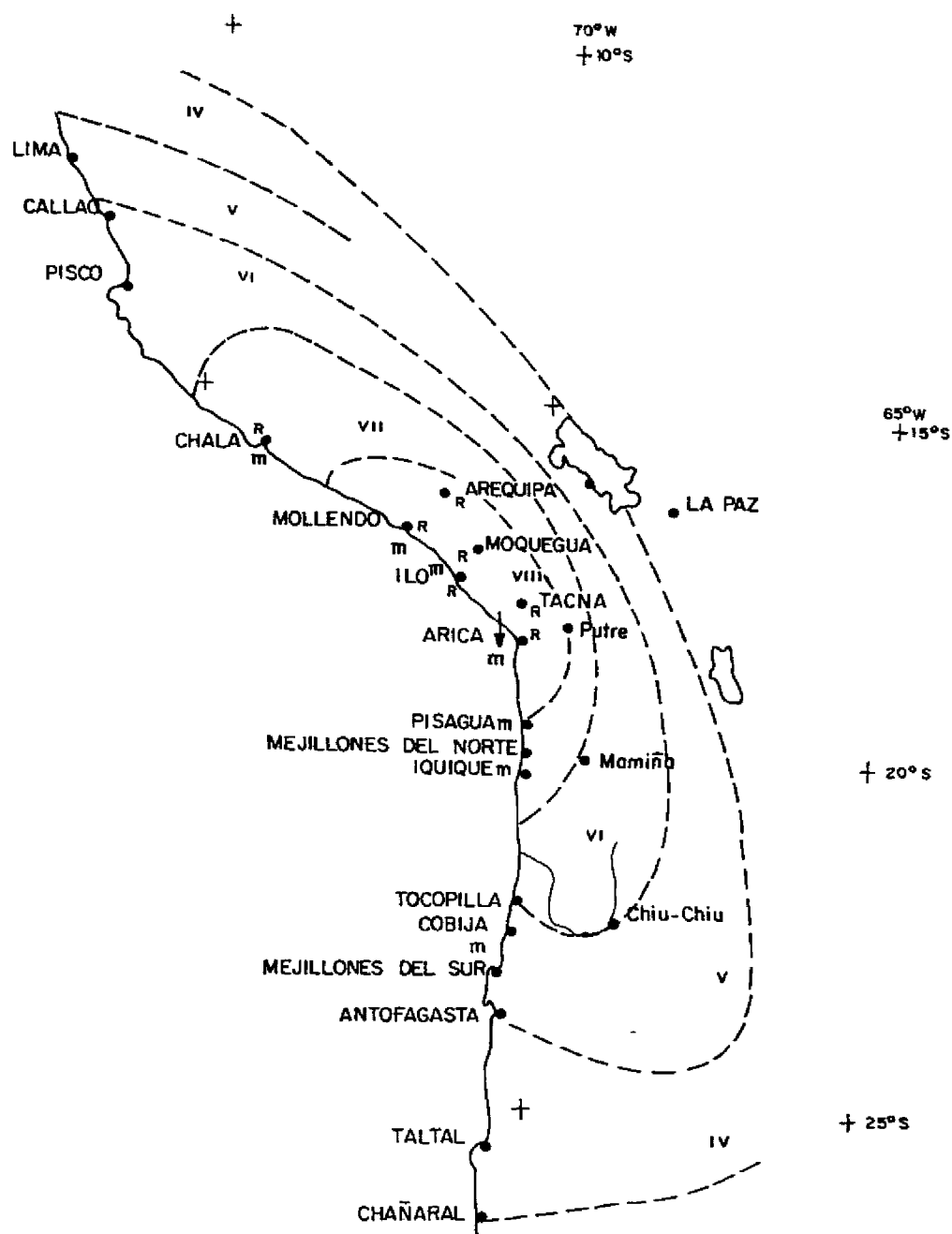
- Sismo del 05 de Agosto de 1932 a las 22.57 horas. Fuerte temblor en la ciudad de Arequipa. Se produjeron ligeros desperfectos en algunas casas. Intensidad VI en Arequipa y V en Mollendo.
- Sismo del 04 de Diciembre de 1934 a las 12.45 horas. Fuerte temblor en la frontera de Perú y Chile. Intensidad VI en Tacna y Arica.
- Sismo del 05 de Marzo de 1938 a las 07.00 horas. Fuerte temblor en Acopia, Acomayo, Cuzco. Intensidad VI en Acopia.
- Sismo del 23 de Junio de 1939 a las 23.00 horas. Fuerte temblor en las provincias de Acomayo y Canas. Se produjeron daños mayores en las edificaciones de adobe. Intensidad: Pomacanchi VI.
- Sismo del 11 de Octubre de 1939 a las 09.51 horas. Fuerte temblor en Chuquibamba, Arequipa. El sismo causó graves daños en la ciudad. In tensidades: Chuquibamba VII, Arequipa y Moquegua VI.
- Sismo del 18 de Setiembre de 1941 a las 08.15 horas. Fuerte temblor en el Cusco. Hubieron daños en edificios y viviendas. El movimiento se sintió en Abancay y en los pueblos situados en las estribaciones de la Cordillera Occidental. Intensidades: Cusco VII, Abancay VI y Ca ravelí IV.
- Sismo del 24 de Agosto de 1942 a las 17.51 horas. Terremoto ubicado entre los límites de los departamentos de Ica y Arequipa. Murieron 30 personas y se desplomaron muchas casas. Intensidades: Jaquí, Quinca-cha, Nazca y Acari IX, Chala, Atiquipa y Caravelí VIII, Ica y Co raco ra VII, Arequipa y Ayacucho V MMI.
- Sismo del 30 de Enero de 1943 a las 24.00 horas. Fuerte temblor en Yanaoca y Pampamarca, Provincia de Canchis, Cusco. El fenómeno tuvo caracter local y causó 75 muertos. Intensidad VII en Yanaoca y Pa mpa marca.

- Sismo del 24 de Febrero de 1947. Terremoto en Bolivia. Intensidades de VIII en Consata, Bolivia, VII en Copacabana, Mocomoco, Sorata y Quiabaya, Bolivia y IV en Yunguyo, Puno.
- Sismo del 11 de mayo de 1948 a las 03.56 horas. Fuerte temblor en Arequipa, Moquegua y Tacna. Los daños fueron de consideración en las construcciones antiguas de adobe y sillar en la ciudad de Moquegua. En Arequipa hubo daños leves. Intensidades: Moquegua, Samegua VII, Arequipa VI y Tacna VI.
- Sismo del 20 de Julio de 1948 a las 06.30 horas. Sismo ligeramente destructor en las poblaciones de Caravelí y Chuquibamba, Arequipa. Intensidades: Caravelí y Chuquibamba VII, Lima, Arequipa y Moquegua III.
- Sismo del 21 de Mayo de 1950 a las 13.38 horas. Terremoto en la ciudad del Cusco, que daño en más de un 50% sus edificios y viviendas. Perecieron alrededor de 120 personas. Después del terremoto en el la Sur del valle al SE del pueblo de San Sebastián se observó en una longitud de 5 Km. una zona de extensa fisuración. Las grietas eran de forma irregular y variaron de abertura de algunos centímetros hasta 2m. de profundidad. Los deslizamientos fueron de magnitud reducida. Intensidades: Cusco VIII, San Sebastián VII, Paruro V.
- Sismo del 10 de Diciembre de 1950 a las 21.50 horas. Fuerte temblor que ocasionó en la ciudad de Ica la muerte de 4 personas y averías de consideración en algunas edificaciones de adobe. Sobre el terreno provocó la apertura de grietas en algunos terrenos de sembrío, de los cuales surgió agua hasta una hora después del sismo. Intensidades: Ica VII, Pisco V, Nazca V, Lima IV.
- Sismo del 04 de Marzo de 1951 a las 06.18 horas. Sismo originado en las cercanías de Chala y ligeramente destructor en Caravelí. Intensidades: Chala VII, Caravelí VI, Pisco V e Ica IV.
- Sismo del 03 de Octubre de 1951 a las 06.08 horas. Fuerte temblor en el Sur. En Tacna se cuartearon los muros de una construcción moderna. Sentido en Moquegua. Intensidades: Tacna VII, Moquegua V.

- Sismo del 20 de Febrero de 1952 a las 04.10 horas. Sismo ligeramente destructor en el pueblo de Huánuco, provincia de la Unión, Arequipa, donde resultaron varias viviendas dañadas. Intensidad V en Lomas, Arequipa.
- Sismo del 26 de Febrero de 1952 a las 06.31 horas. Prolongado y suave movimiento ondulatorio en el Cusco, donde provocó fuertes desprendimientos del estuco de varias casas. Intensidades: Cusco V, Arequipa IV y Moquegua III.
- Sismo del 21 de Julio de 1955. Movimiento sísmico sentido a lo largo de la Costa entre los paralelos 11° y 18° Sur. Intensidades: Caravelí VI, Arequipa V e Ica IV.
- Sismo del 09 de Octubre de 1955 a las 16.03 horas. Movimiento sísmico que causó destrucciones y averías de viviendas en el caserío de Mungui, provincia de la Unión, Arequipa. Intensidades: VI en Cotahuasi, Mungui y Toro.
- Sismo del 15 de Enero de 1958 a las 14.14 horas. Terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Todas las casas antiguas de esa ciudad sufrieron averías de diversa magnitud, resistiendo solo los inmuebles y edificios modernos. Intensidades: Arequipa VIII, Moquegua VI, Ica, Tacna y Puno III.
- Sismo del 26 de Julio de 1958 a las 12.38 horas. Fuerte temblor en Arequipa, ligeros daños en la ciudad. Epicentro en la frontera Perú-Bolivia.
- Sismo del 19 de Julio de 1959 a las 10.07 horas intenso y prolongado movimiento sísmico en Arequipa, Moquegua, Cusco y Tacna. Intensidades: Moquegua, Arequipa VII, Cusco y Tacna V.
- Sismo del 24 de Diciembre de 1959 a las 07.50 horas. Sismo destructor en las sierras de Ayacucho. Causó 7 muertos y la destrucción de 250 viviendas en los poblados de Pomabamba, Moyobamba y Huahuapuquio. Sismo sentido en la ciudad de Ayacucho y pueblos vecinos. Intensidades: Cangallo, Moyobamba y Pomabamba VII y Ayacucho IV.

ANEXO II

MAPAS DE ISOSISTAS
DISPONIBLES



ESCALA 1:8.000.000.

FIG.1 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)

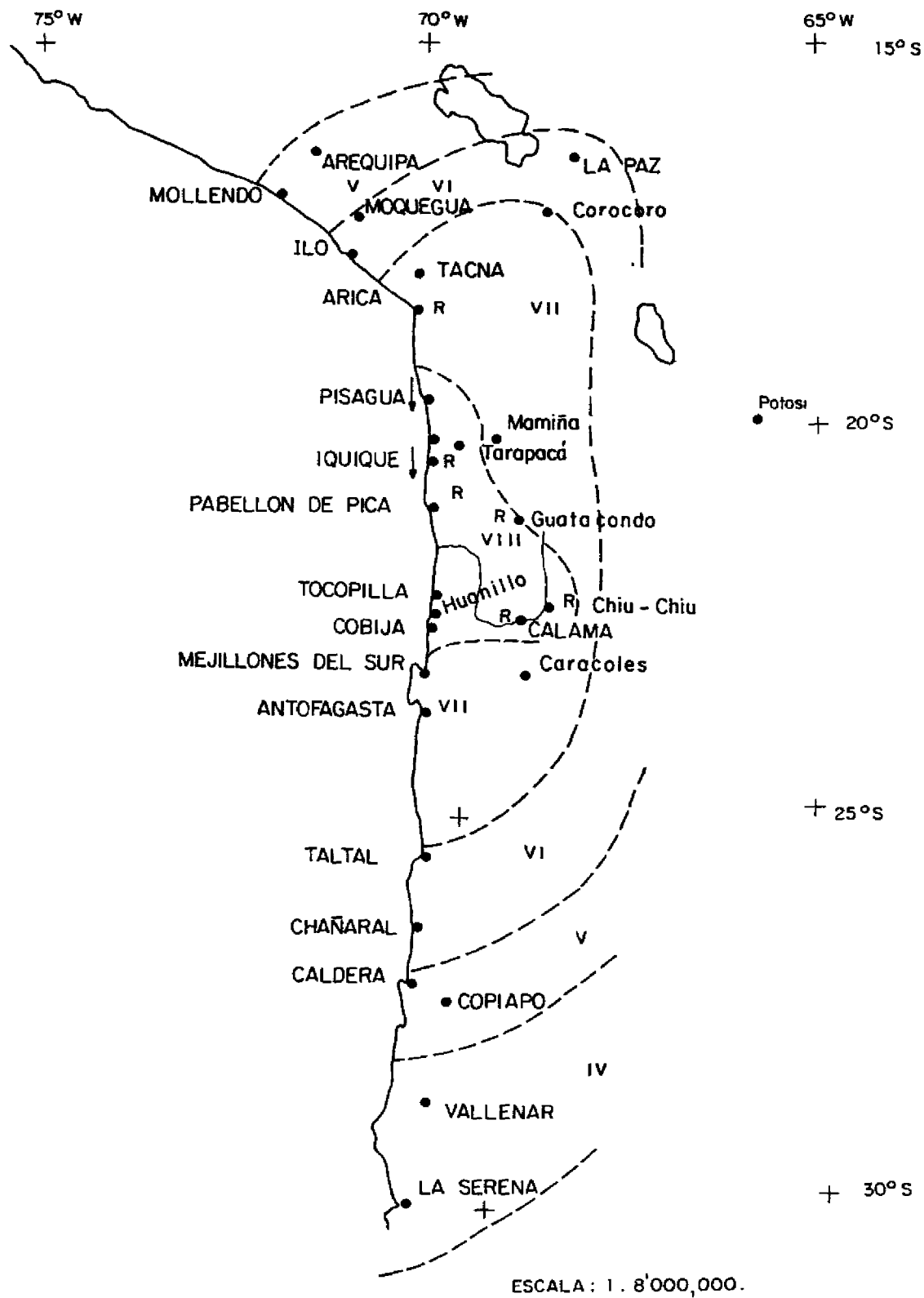
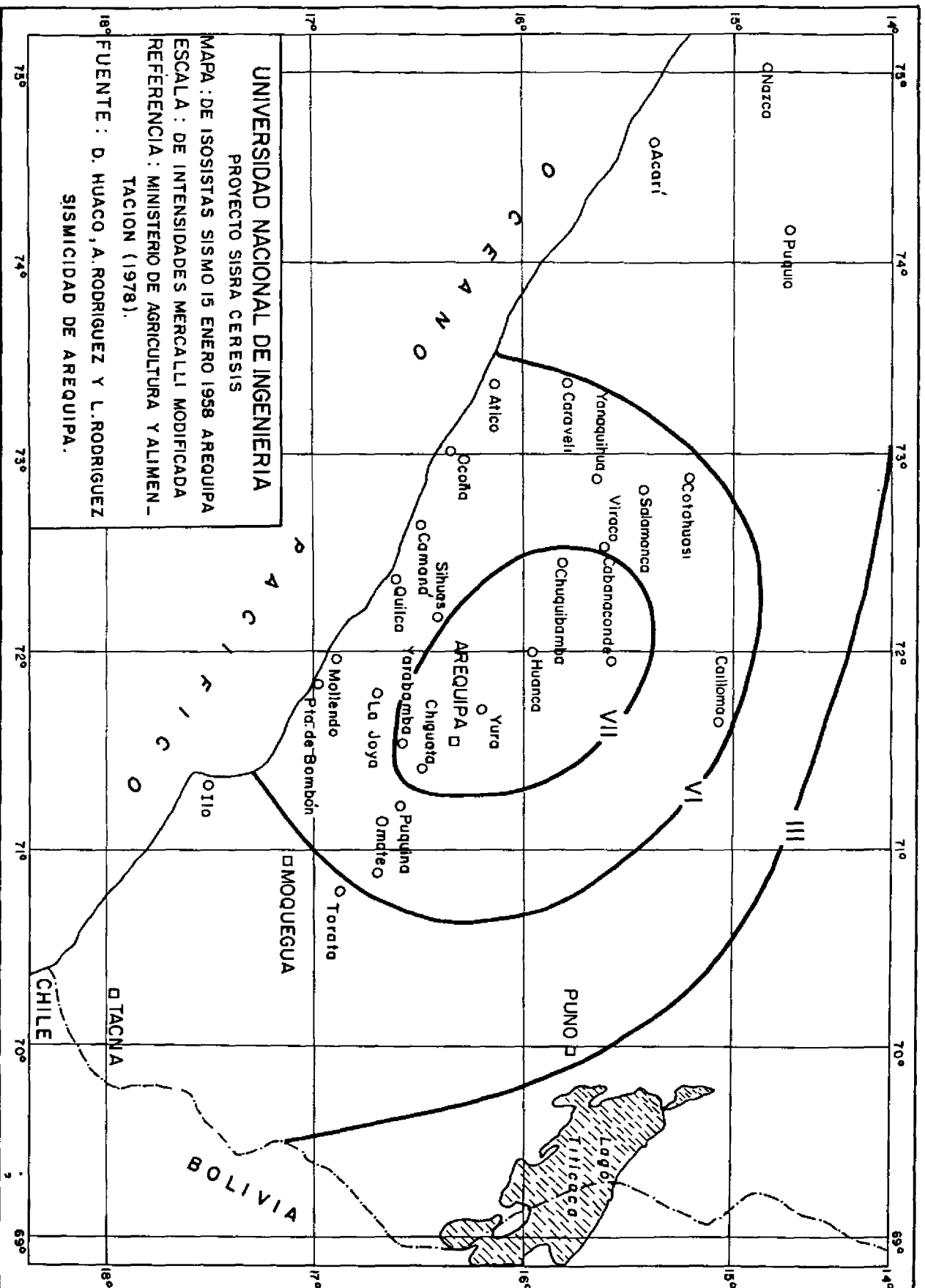


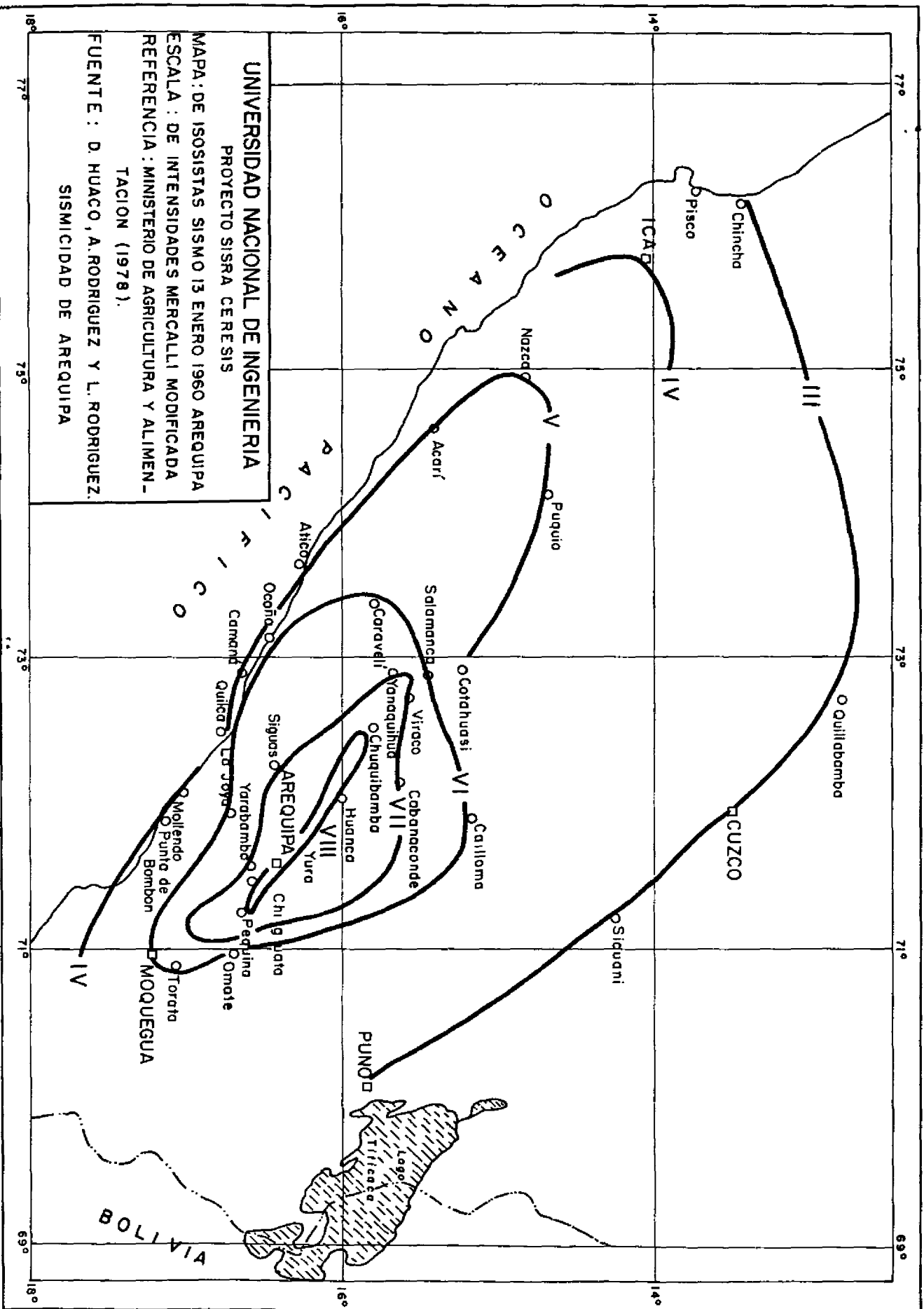
FIG. 2. SISMO DEL 9 DE MAYO DE 1877. $M = 8 \frac{1}{4}$; $M_1 = 9$; $M_w = 8,9$. CLAVE IGUAL A FIG 1. (Kausel, 1985)

- Sismo del 13 de Enero de 1960 a las 10.40 horas. Terremoto en Arequipa. Perecieron 63 personas y quedaron centenares de heridos. La población de Chuquibamba quedó casi en escombros. Igualmente destructor fue en Caravelí, Cotahuasi, Omate, Puquina, Moquegua y en Arequipa. Las carreteras de penetración a Puno y a las localidades del departamento quedaron intransitables por los derrumbes. Intensidades: Chuquibamba, Caravelí, Cotahuasi y Arequipa VIII, Moquegua VII, Ica V, Puno y Cusco IV.
- Sismo del 15 de Enero de 1960 a las 4.30 horas. Fuerte temblor en Lima y en el Sur. Provocó el derrumbe de casas en Nazca, Ica y Huancavelica. Intensidades: Palpa, Nazca VII, VI en Ica, Huancavelica y Huaytará, IV en Lima.
- Sismo del 09 de Marzo de 1960 a las 18.54 horas. Violenta réplica del terremoto del 13 de Enero. Sacudió la ciudad de Arequipa y otras poblaciones vecinas. Intensidad: Arequipa V.
- Sismo del 08 de Noviembre de 1961. A las 14.30 horas. Fuerte temblor en el distrito de Acos, provincia de Acomayo, Cusco. Intensidad VI.
- Sismo del 26 de Enero de 1964 a las 04.00 horas. Temblor en el Sur. En Arequipa hubo cuatro heridos y deterioros en varias casas ya resentidas por sismos anteriores. Intensidades: Arequipa VI, Mollendo, Ubinas V.
- Sismo del 08 de Mayo de 1965 a las 17.23 horas. Sismo destructor localizado en el pueblo de Urcos. Desprendimientos de las laderas de los cerros. Intensidad: Urcos VI y Cusco III MMI.
- Sismo del 15 de Octubre de 1971 a las 05.34 horas. Sismo destructor localizado en la provincia de Aymaraes, Apurímac. Ocasionó 4 muertos y 15 heridos. Se estimó que el 10% de las viviendas quedaron destruídas y un 40% bastante dañadas. Los pueblos más afectados fueron: Copaya, Mosecca, Sañaica y Toraya ubicados en la parte de la margen izquierda del río Pachachaca. Se produjeron derrumbes a lo largo del

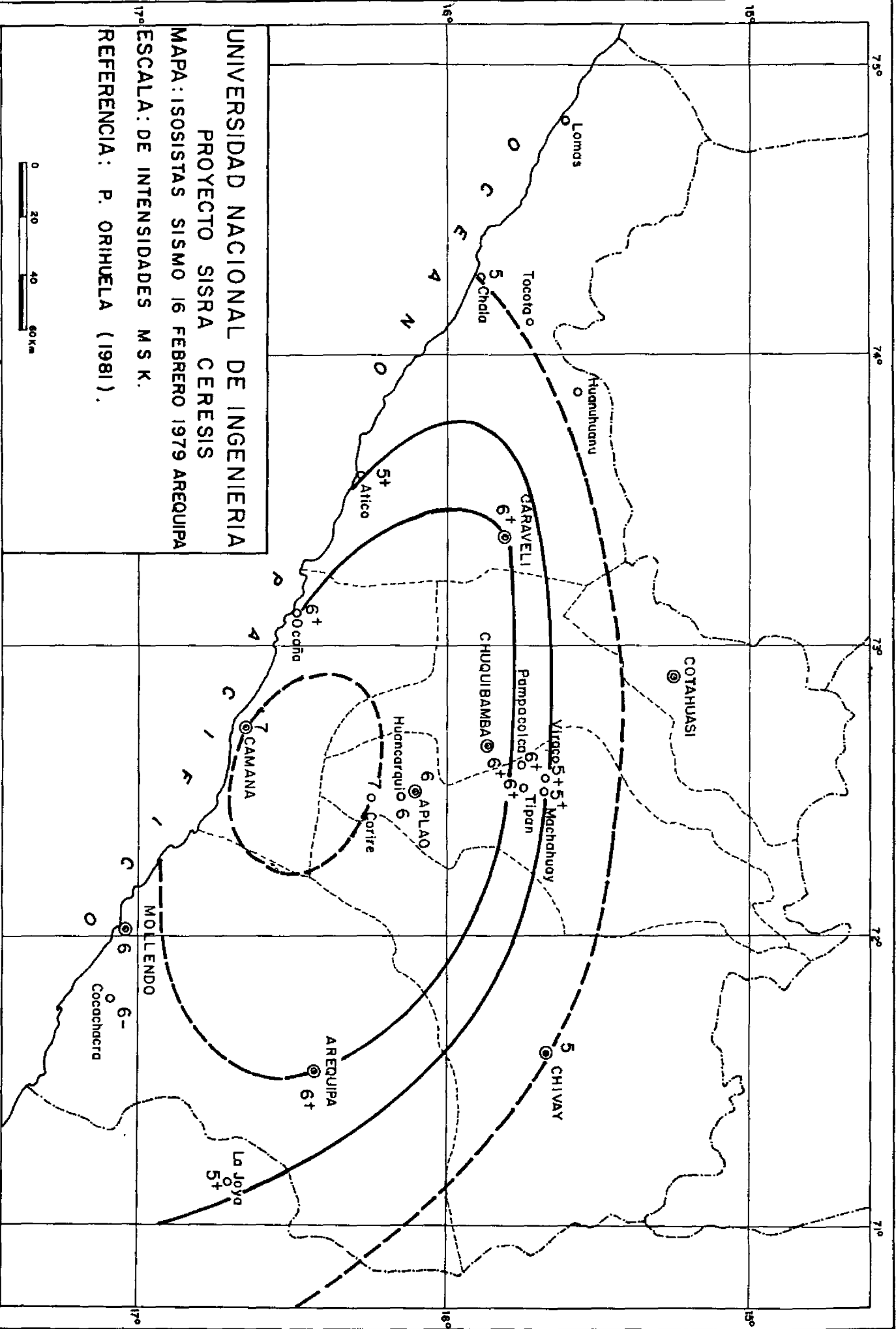
valle de Pachachaca y quebradas subsidiarias. Intensidades: Copaya, Sañaica y Toraya VII - VIII.

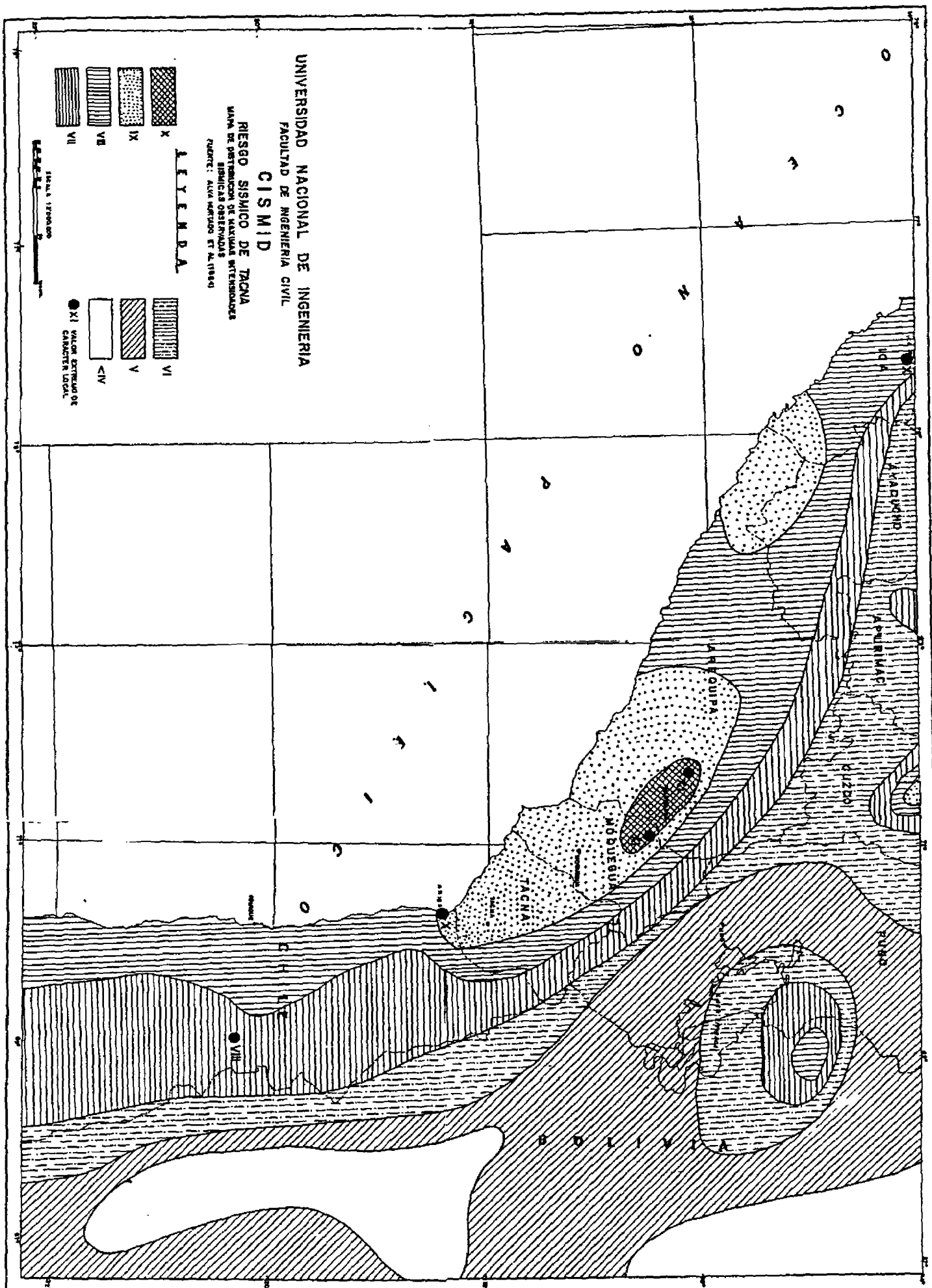
- Sismo del 18 de Agosto de 1972 a las 09.15 horas. Fuerte temblor es tremeció la ciudad de Sachamarca, anexo de Huancasancos en la provincia Víctor Fajardo, Ayacucho. Causó dos muertos y daños en 60 viviendas rurales. El movimiento fue intenso en los pueblos aledaños de Huamanquiquia, Cannapo y Saccsahuanca. Intensidades: Canapo y Hua-manquiquia VI-VII y Huancasancos VII MMI.
- Sismo del 16 de Febrero de 1979. Fuerte temblor en Arequipa. Causó daños en casas de adobe y sillar en Camaná, Corire y Huancarqui. In-tensidad de VII en Camaná, Corire, VI en Huancarqui, Arequipa, Chuqui-bamba, Caravelí y Ocoña; en Chivay, Chala y La Joya V MMI.
- Sismo del 03 de Junio de 1980. Fuerte temblor en el Cusco. Intensi-dad V - VI en Limatambo, en Urubamba, Pisac y Cusco IV.
- Sismo del 10 de Noviembre de 1980. Fuerte sismo en Ayacucho. Intensi-dad de VII en Antaparco y Buena Vista, VI en Ticllas, en Vinchos, Jul-camarca, Quinua, Cangallo y Anobamba V y IV en Ayacucho y Huanta.
- Sismo del 18 de Abril de 1981. Fuerte temblor en Ayacucho. Intensi-dades: VII en Huayay, Paccha y Upancca, VI en Ticllas, San Pedro de Cachi y Vinchos; en Mayoc, Ayacucho, Cangallo, Huanta y Lircay V y IV MMI en Huancapi, Colcabamba, Ocros y San Miguel.
- Sismo del 05 de Abril de 1986. Fuerte temblor en el Cusco. Intensi-dad de VIII en laguna Qoricocha, Quenco y Patabamba, VII en Pisac, VI en Cusco.
- Sismo del 8 de Agosto de 1987. Fuerte temblor en Arica. Intensidad de VII en Arica y VI en Tacna.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 PROYECTO SISRA CERESIS
 MAPA: ISOSISTAS SISMO 16 FEBRERO 1979 AREQUIPA
 ESCALA: DE INTENSIDADES M S K.
 REFERENCIA: P. ORIHUELA (1981).





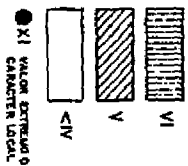
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID

RIESGO SISMICO DE TACNA
MAPA DE DISTRIBUCION DE MAXIMAS INTENSIDADES
SISMICAS OBSERVADAS

FUENTE: ALVA MONTANO ET AL. (1984)

LEYENDA



ESCALA 1:200,000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID

RIESGO SISMICO DE TACNA

MAPA DE DISTRIBUCION DE EPICENTROS

1953-1984

LEYENDA



PROFUNDIDAD

De 0 a 35 Km SUPERFICIALES

De 35 a 70 Km PROFUNDOS

De 71 a 300 Km INTERMEDIOS

De 301 a 700 Km PROFUNDOS

De 701 a 1000 Km PROFUNDOS

De 1001 a 1500 Km PROFUNDOS

De 1501 a 2000 Km PROFUNDOS

De 2001 a 2500 Km PROFUNDOS

De 2501 a 3000 Km PROFUNDOS

De 3001 a 3500 Km PROFUNDOS

De 3501 a 4000 Km PROFUNDOS

De 4001 a 4500 Km PROFUNDOS

De 4501 a 5000 Km PROFUNDOS

De 5001 a 5500 Km PROFUNDOS

De 5501 a 6000 Km PROFUNDOS

De 6001 a 6500 Km PROFUNDOS

De 6501 a 7000 Km PROFUNDOS

De 7001 a 7500 Km PROFUNDOS

De 7501 a 8000 Km PROFUNDOS

De 8001 a 8500 Km PROFUNDOS

De 8501 a 9000 Km PROFUNDOS

De 9001 a 9500 Km PROFUNDOS

De 9501 a 10000 Km PROFUNDOS

De 10001 a 10500 Km PROFUNDOS

De 10501 a 11000 Km PROFUNDOS

De 11001 a 11500 Km PROFUNDOS

De 11501 a 12000 Km PROFUNDOS

De 12001 a 12500 Km PROFUNDOS

De 12501 a 13000 Km PROFUNDOS

De 13001 a 13500 Km PROFUNDOS

De 13501 a 14000 Km PROFUNDOS

De 14001 a 14500 Km PROFUNDOS

De 14501 a 15000 Km PROFUNDOS

De 15001 a 15500 Km PROFUNDOS

De 15501 a 16000 Km PROFUNDOS

De 16001 a 16500 Km PROFUNDOS

De 16501 a 17000 Km PROFUNDOS

De 17001 a 17500 Km PROFUNDOS

De 17501 a 18000 Km PROFUNDOS

De 18001 a 18500 Km PROFUNDOS

De 18501 a 19000 Km PROFUNDOS

De 19001 a 19500 Km PROFUNDOS

De 19501 a 20000 Km PROFUNDOS

De 20001 a 20500 Km PROFUNDOS

De 20501 a 21000 Km PROFUNDOS

De 21001 a 21500 Km PROFUNDOS

De 21501 a 22000 Km PROFUNDOS

De 22001 a 22500 Km PROFUNDOS

De 22501 a 23000 Km PROFUNDOS

De 23001 a 23500 Km PROFUNDOS

De 23501 a 24000 Km PROFUNDOS

De 24001 a 24500 Km PROFUNDOS

De 24501 a 25000 Km PROFUNDOS

De 25001 a 25500 Km PROFUNDOS

De 25501 a 26000 Km PROFUNDOS

De 26001 a 26500 Km PROFUNDOS

De 26501 a 27000 Km PROFUNDOS

De 27001 a 27500 Km PROFUNDOS

De 27501 a 28000 Km PROFUNDOS

De 28001 a 28500 Km PROFUNDOS

De 28501 a 29000 Km PROFUNDOS

De 29001 a 29500 Km PROFUNDOS

De 29501 a 30000 Km PROFUNDOS

De 30001 a 30500 Km PROFUNDOS

De 30501 a 31000 Km PROFUNDOS

De 31001 a 31500 Km PROFUNDOS

De 31501 a 32000 Km PROFUNDOS

De 32001 a 32500 Km PROFUNDOS

De 32501 a 33000 Km PROFUNDOS

De 33001 a 33500 Km PROFUNDOS

De 33501 a 34000 Km PROFUNDOS

De 34001 a 34500 Km PROFUNDOS

De 34501 a 35000 Km PROFUNDOS

De 35001 a 35500 Km PROFUNDOS

De 35501 a 36000 Km PROFUNDOS

De 36001 a 36500 Km PROFUNDOS

De 36501 a 37000 Km PROFUNDOS

De 37001 a 37500 Km PROFUNDOS

De 37501 a 38000 Km PROFUNDOS

De 38001 a 38500 Km PROFUNDOS

De 38501 a 39000 Km PROFUNDOS

De 39001 a 39500 Km PROFUNDOS

De 39501 a 40000 Km PROFUNDOS

De 40001 a 40500 Km PROFUNDOS

De 40501 a 41000 Km PROFUNDOS

De 41001 a 41500 Km PROFUNDOS

De 41501 a 42000 Km PROFUNDOS

De 42001 a 42500 Km PROFUNDOS

De 42501 a 43000 Km PROFUNDOS

De 43001 a 43500 Km PROFUNDOS

De 43501 a 44000 Km PROFUNDOS

De 44001 a 44500 Km PROFUNDOS

De 44501 a 45000 Km PROFUNDOS

De 45001 a 45500 Km PROFUNDOS

De 45501 a 46000 Km PROFUNDOS

De 46001 a 46500 Km PROFUNDOS

De 46501 a 47000 Km PROFUNDOS

De 47001 a 47500 Km PROFUNDOS

De 47501 a 48000 Km PROFUNDOS

De 48001 a 48500 Km PROFUNDOS

De 48501 a 49000 Km PROFUNDOS

De 49001 a 49500 Km PROFUNDOS

De 49501 a 50000 Km PROFUNDOS

De 50001 a 50500 Km PROFUNDOS

De 50501 a 51000 Km PROFUNDOS

De 51001 a 51500 Km PROFUNDOS

De 51501 a 52000 Km PROFUNDOS

De 52001 a 52500 Km PROFUNDOS

De 52501 a 53000 Km PROFUNDOS

De 53001 a 53500 Km PROFUNDOS

De 53501 a 54000 Km PROFUNDOS

De 54001 a 54500 Km PROFUNDOS

De 54501 a 55000 Km PROFUNDOS

De 55001 a 55500 Km PROFUNDOS

De 55501 a 56000 Km PROFUNDOS

De 56001 a 56500 Km PROFUNDOS

De 56501 a 57000 Km PROFUNDOS

De 57001 a 57500 Km PROFUNDOS

De 57501 a 58000 Km PROFUNDOS

De 58001 a 58500 Km PROFUNDOS

De 58501 a 59000 Km PROFUNDOS

De 59001 a 59500 Km PROFUNDOS

De 59501 a 60000 Km PROFUNDOS

De 60001 a 60500 Km PROFUNDOS

De 60501 a 61000 Km PROFUNDOS

De 61001 a 61500 Km PROFUNDOS

De 61501 a 62000 Km PROFUNDOS

De 62001 a 62500 Km PROFUNDOS

De 62501 a 63000 Km PROFUNDOS

De 63001 a 63500 Km PROFUNDOS

De 63501 a 64000 Km PROFUNDOS

De 64001 a 64500 Km PROFUNDOS

De 64501 a 65000 Km PROFUNDOS

De 65001 a 65500 Km PROFUNDOS

De 65501 a 66000 Km PROFUNDOS

De 66001 a 66500 Km PROFUNDOS

De 66501 a 67000 Km PROFUNDOS

De 67001 a 67500 Km PROFUNDOS

De 67501 a 68000 Km PROFUNDOS

De 68001 a 68500 Km PROFUNDOS

De 68501 a 69000 Km PROFUNDOS

De 69001 a 69500 Km PROFUNDOS

De 69501 a 70000 Km PROFUNDOS

De 70001 a 70500 Km PROFUNDOS

De 70501 a 71000 Km PROFUNDOS

De 71001 a 71500 Km PROFUNDOS

De 71501 a 72000 Km PROFUNDOS

De 72001 a 72500 Km PROFUNDOS

De 72501 a 73000 Km PROFUNDOS

De 73001 a 73500 Km PROFUNDOS

De 73501 a 74000 Km PROFUNDOS

De 74001 a 74500 Km PROFUNDOS

De 74501 a 75000 Km PROFUNDOS

De 75001 a 75500 Km PROFUNDOS

De 75501 a 76000 Km PROFUNDOS

De 76001 a 76500 Km PROFUNDOS

De 76501 a 77000 Km PROFUNDOS

De 77001 a 77500 Km PROFUNDOS

De 77501 a 78000 Km PROFUNDOS

De 78001 a 78500 Km PROFUNDOS

De 78501 a 79000 Km PROFUNDOS

De 79001 a 79500 Km PROFUNDOS

De 79501 a 80000 Km PROFUNDOS

De 80001 a 80500 Km PROFUNDOS

De 80501 a 81000 Km PROFUNDOS

De 81001 a 81500 Km PROFUNDOS

De 81501 a 82000 Km PROFUNDOS

De 82001 a 82500 Km PROFUNDOS

De 82501 a 83000 Km PROFUNDOS

De 83001 a 83500 Km PROFUNDOS

De 83501 a 84000 Km PROFUNDOS

De 84001 a 84500 Km PROFUNDOS

De 84501 a 85000 Km PROFUNDOS

De 85001 a 85500 Km PROFUNDOS

De 85501 a 86000 Km PROFUNDOS

De 86001 a 86500 Km PROFUNDOS

De 86501 a 87000 Km PROFUNDOS

De 87001 a 87500 Km PROFUNDOS

De 87501 a 88000 Km PROFUNDOS

De 88001 a 88500 Km PROFUNDOS

De 88501 a 89000 Km PROFUNDOS

De 89001 a 89500 Km PROFUNDOS

De 89501 a 90000 Km PROFUNDOS

De 90001 a 90500 Km PROFUNDOS

De 90501 a 91000 Km PROFUNDOS

De 91001 a 91500 Km PROFUNDOS

De 91501 a 92000 Km PROFUNDOS

De 92001 a 92500 Km PROFUNDOS

De 92501 a 93000 Km PROFUNDOS

De 93001 a 93500 Km PROFUNDOS

De 93501 a 94000 Km PROFUNDOS

De 94001 a 94500 Km PROFUNDOS

De 94501 a 95000 Km PROFUNDOS

De 95001 a 95500 Km PROFUNDOS

De 95501 a 96000 Km PROFUNDOS

De 96001 a 96500 Km PROFUNDOS

De 96501 a 97000 Km PROFUNDOS

De 97001 a 97500 Km PROFUNDOS

De 97501 a 98000 Km PROFUNDOS

De 98001 a 98500 Km PROFUNDOS

De 98501 a 99000 Km PROFUNDOS

De 99001 a 99500 Km PROFUNDOS

De 99501 a 100000 Km PROFUNDOS

De 100001 a 100500 Km PROFUNDOS

De 100501 a 101000 Km PROFUNDOS

De 101001 a 101500 Km PROFUNDOS

De 101501 a 102000 Km PROFUNDOS

De 102001 a 102500 Km PROFUNDOS

De 102501 a 103000 Km PROFUNDOS

De 103001 a 103500 Km PROFUNDOS

De 103501 a 104000 Km PROFUNDOS

De 104001 a 104500 Km PROFUNDOS

De 104501 a 105000 Km PROFUNDOS

De 105001 a 105500 Km PROFUNDOS

De 105501 a 106000 Km PROFUNDOS

De 106001 a 106500 Km PROFUNDOS

De 106501 a 107000 Km PROFUNDOS

De 107001 a 107500 Km PROFUNDOS

De 107501 a 108000 Km PROFUNDOS

De 108001 a 108500 Km PROFUNDOS

De 108501 a 109000 Km PROFUNDOS

De 109001 a 109500 Km PROFUNDOS

De 109501 a 110000 Km PROFUNDOS

De 110001 a 110500 Km PROFUNDOS

De 110501 a 111000 Km PROFUNDOS

De 111001 a 111500 Km PROFUNDOS

De 111501 a 112000 Km PROFUNDOS

De 112001 a 112500 Km PROFUNDOS

De 112501 a 113000 Km PROFUNDOS

De 113001 a 113500 Km PROFUNDOS

De 113501 a 114000 Km PROFUNDOS

De 114001 a 114500 Km PROFUNDOS

De 114501 a 115000 Km PROFUNDOS

De 115001 a 115500 Km PROFUNDOS

De 115501 a 116000 Km PROFUNDOS

De 116001 a 116500 Km PROFUNDOS

De 116501 a 117000 Km PROFUNDOS

De 117001 a 117500 Km PROFUNDOS

De 117501 a 118000 Km PROFUNDOS

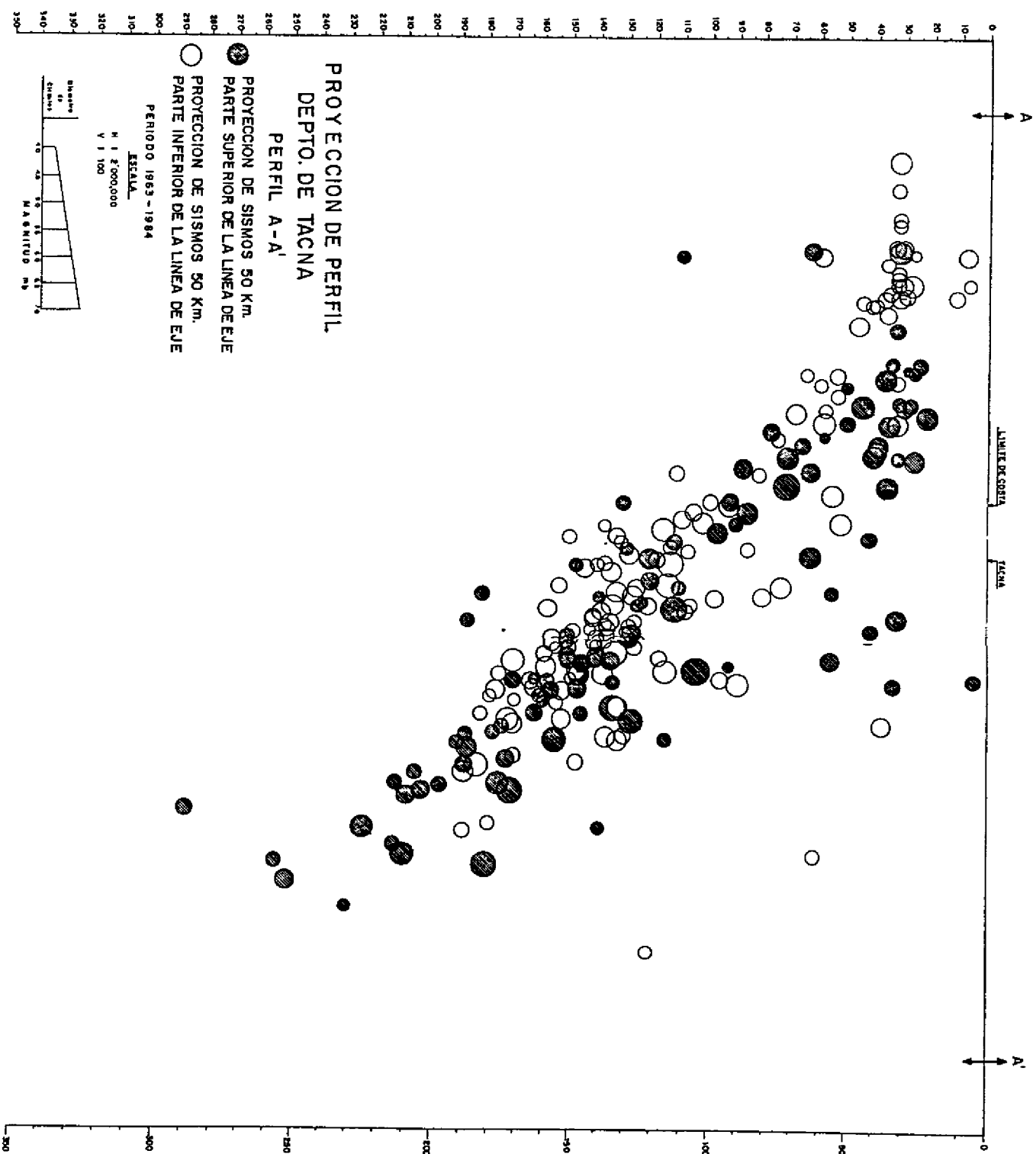
De 118001 a 118500 Km PROFUNDOS

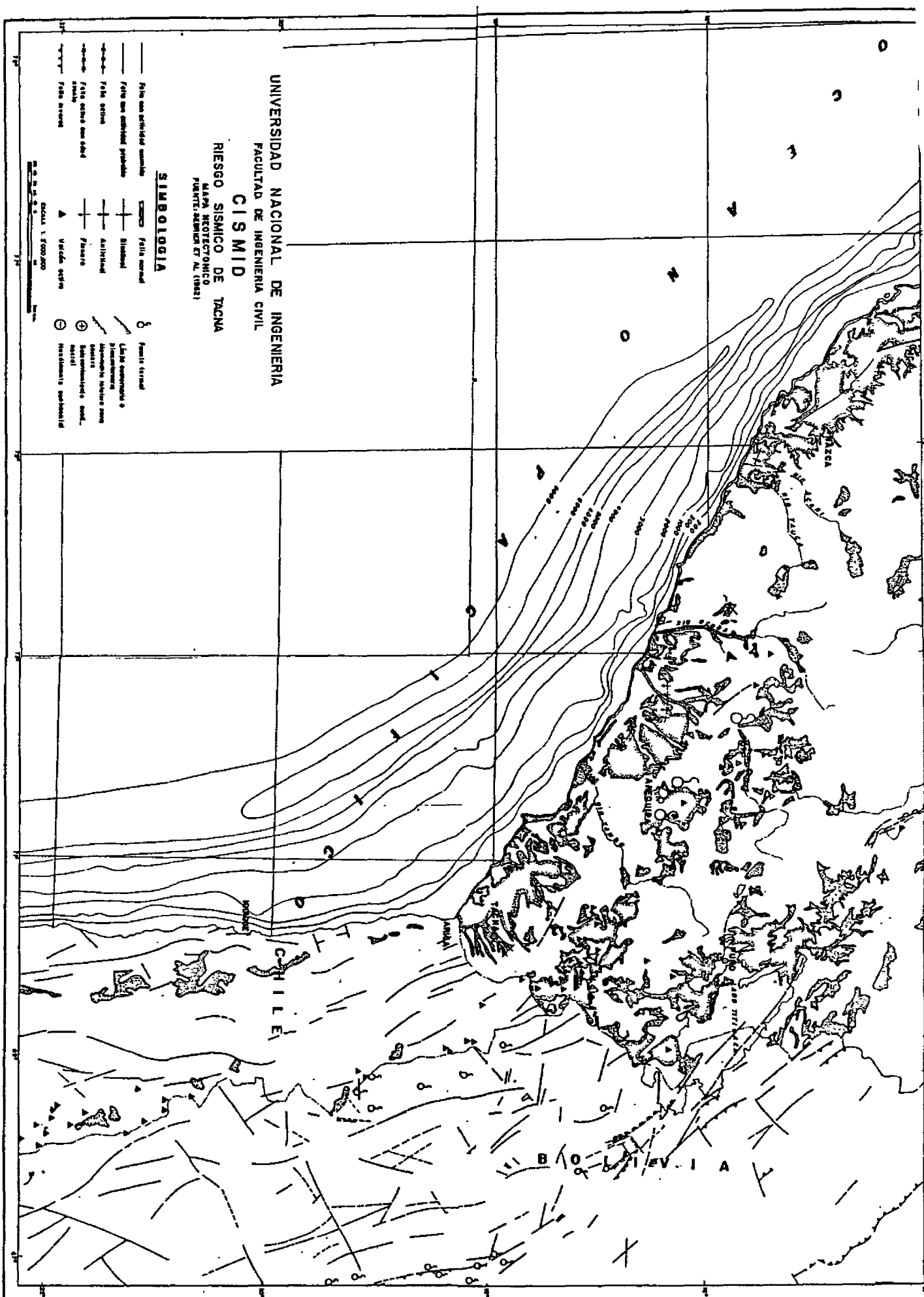
De 118501 a 119000 Km PROFUNDOS

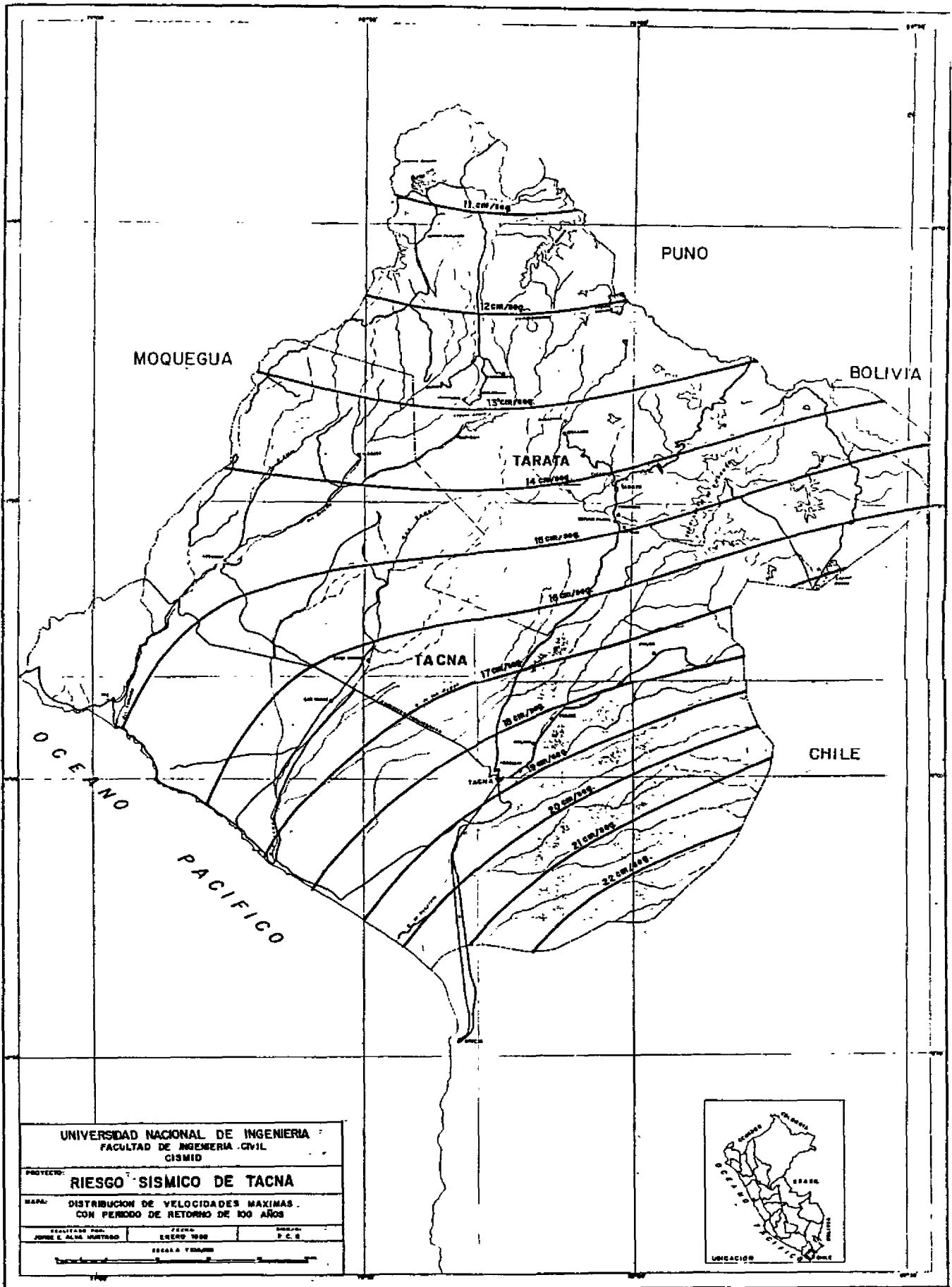
De 119001 a 119500 Km PROFUNDOS

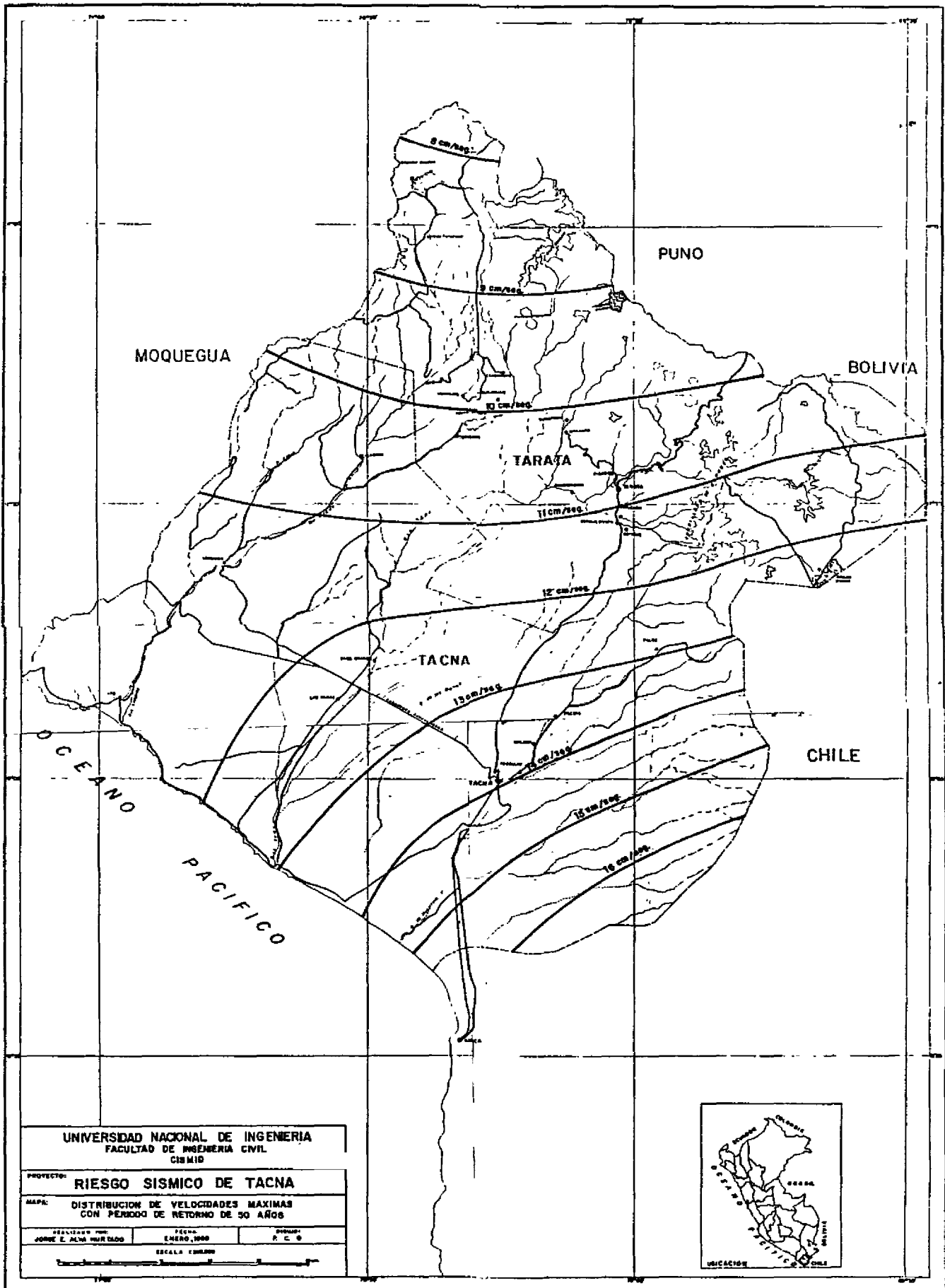
De 119501 a 120000 Km PROFUNDOS

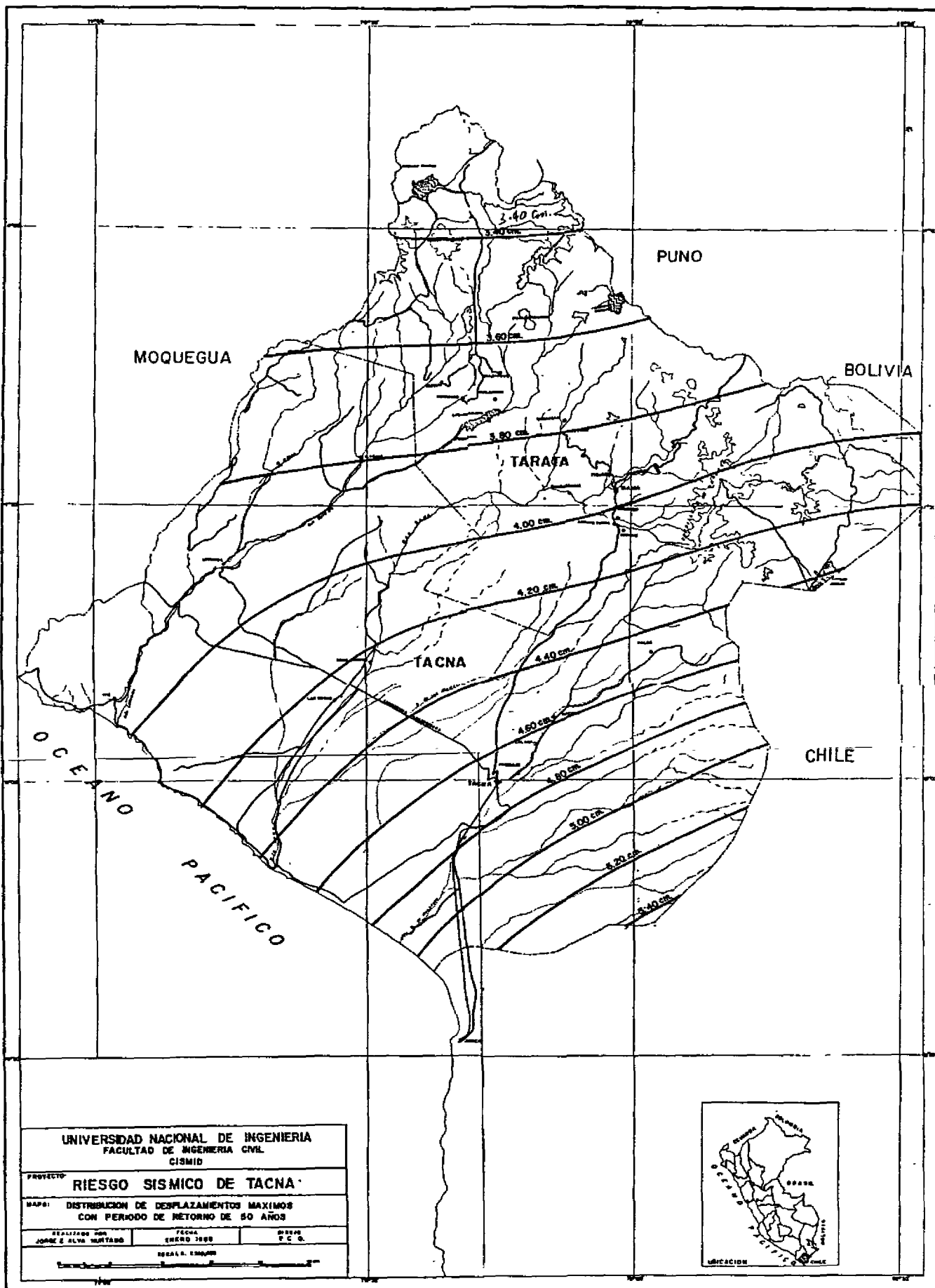
De 120001

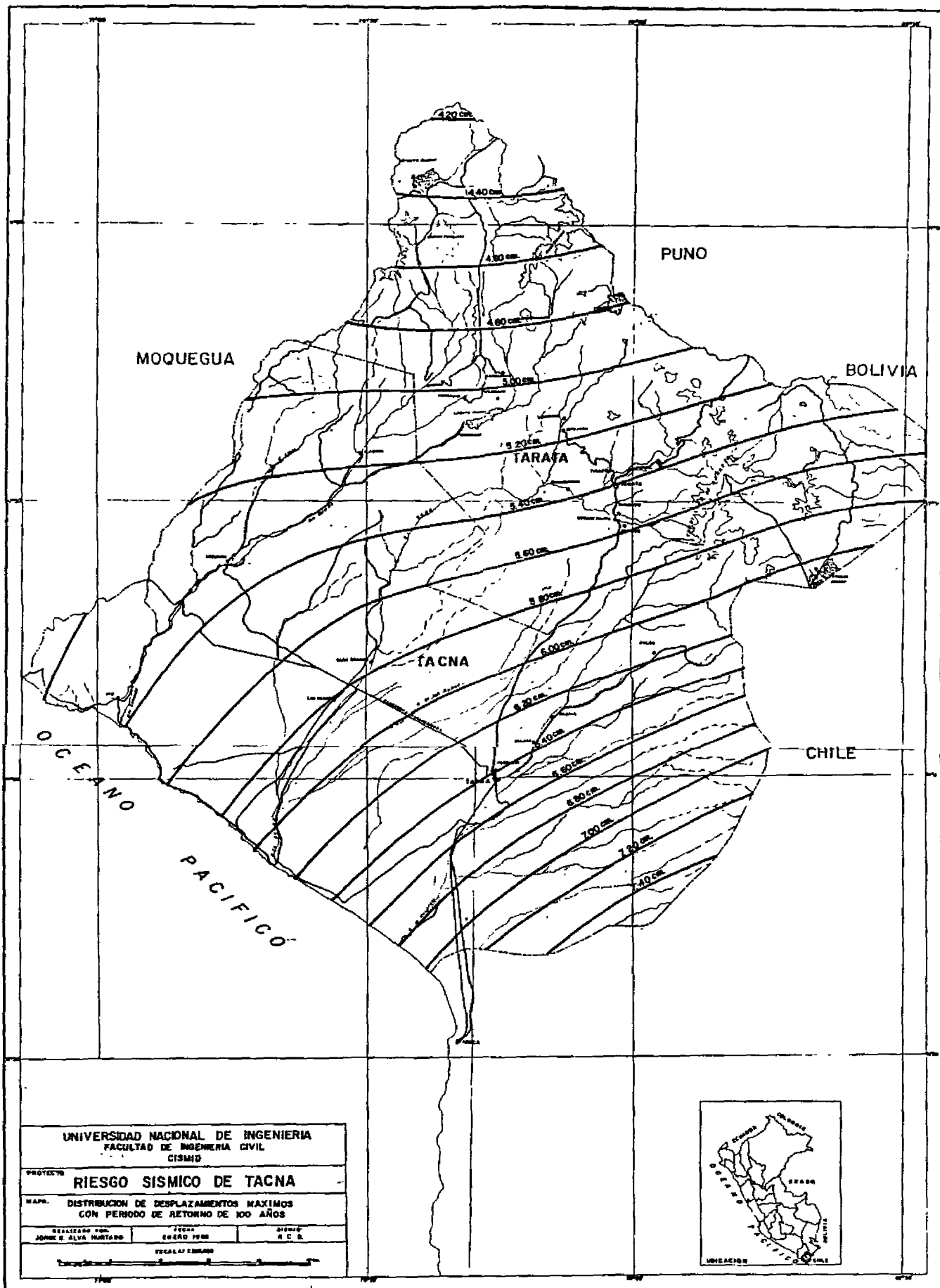


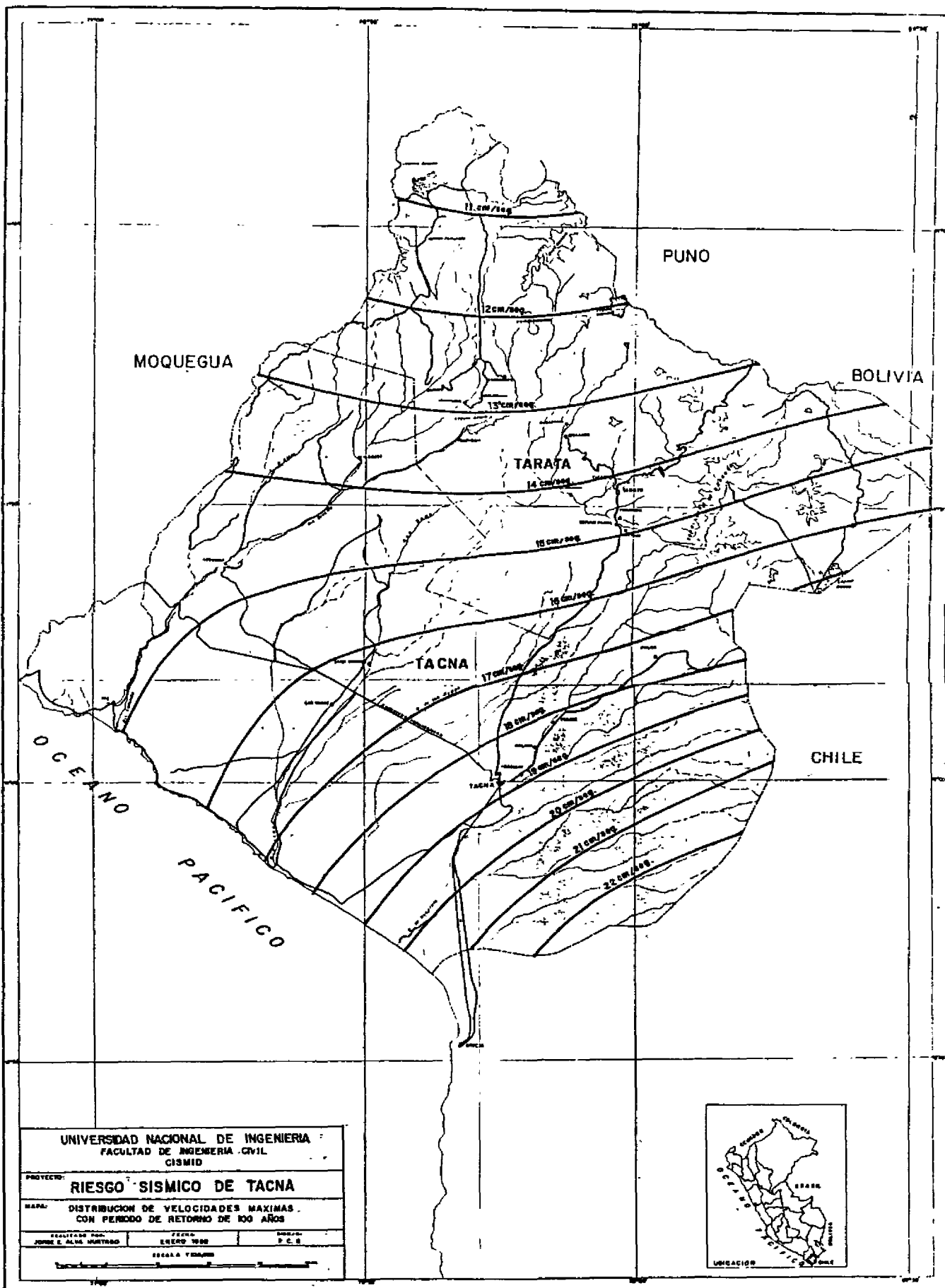












UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL		
CISMID		
PROYECTO: RIESGO SISMICO DE TACNA		
MAPA: DISTRIBUCION DE VELOCIDADES MAXIMAS CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS		
ELABORADO POR: JOSÉ E. ALBA MARTÍNEZ	FECHA: ENERO 1999	ESCALA: 1:50,000
ESCALA 1:50,000		

