

# MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE TACNA\*

Luis Vera Abarca<sup>1</sup>

## RESUMEN

*El presente estudio se ha limitado a la zonificación de suelos y características geotécnicas de la ciudad de Tacna, como un aporte al desarrollo de planes de emergencia.*

*Como consecuencia de los daños ocurridos en el terremoto de mayo de 1970 (HUARAZ) y la experiencia de otros eventos sísmicos en nuestro país, nace la necesidad de darle mayor importancia y decisión a la elaboración de estudios de prevención sísmica. Esta inquietud se origina en 1979 por recomendación de la UNESCO que declaró el Sur del Perú y Norte de Chile como zona de alto riesgo por efecto del silencio sísmico identificado en 1868.*

## HEMEROTECA CENTRAL UNIBG

### 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tacna es capital de la provincia y departamento del mismo nombre, ubicada al extremo sur del Perú. El departamento tiene una superficie de 14 766 Km<sup>2</sup>, y está sobre los 560 m.s.n.m. En sus coordenadas geográficas el casco urbano de la ciudad incluye al Cono Sur, HABITAT, ZOTAC, urbanizaciones y pueblos jóvenes de la zona metropolitana, y a los distritos considerados en este estudio. Su población alcanza los 117,168 habitantes.

La microzonificación sísmica, motivo del presente estudio, ha sido desarrollada a partir de la ocurrencia de eventos sísmicos, que han evidenciado la influencia de las condiciones locales del suelo en el comportamiento del terreno durante la vibración sísmica, y en la distribución de daños en un área determinada que plantea la necesidad de identificar zonas de mayor o menor peligro ante la ocurrencia de terremotos.

### 2. HISTORIA SÍSMICA EN LA REGIÓN

Una revisión de la sismicidad histórica que ha afectado la zona de Tacna, nos permite documentar los antecedentes de años sísmicos severos.

- Sismo del 22 de enero 1582, con intensidades de X MM en Socabaya y IX en Arequipa.

- Sismo del 19 de febrero 1600, en el área del volcán Huaynaputina. Intensidad de XI MM.

- Sismo del 24 de noviembre 1604, con intensidad de VIII en Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua.

- Sismo del 18 de setiembre de 1833, con intensidad de VII en Tacna.

- Sismo del 13 de agosto de 1868, con intensidad XI en la Cadera, I en Arica y IX en Arequipa, Tacna y Moquegua.

- Sismo del 9 de mayo 1877, con intensidad VII en Arica, Mollendo e Ilo.

- Sismo del 4 de mayo de 1906, intensidad VII en Tacna y VI en Arica.

- Sismo del 16 de junio 1908. Intensidad VII en Tacna y Arica

- Sismo del 4 de diciembre 1934. Intensidad VI en Tacna y Arica.

- Sismo del 11 de mayo 1948. Intensidad VII en Tacna.

- Sismo del 3 de octubre 1951. Intensidad VII en Tacna.

- Sismo del 15 de enero 1958. Intensidad VIII en Arequipa.

- Sismo del 16 de febrero 1979. Intensidad VII en Camaná y Corire.

- Sismo del 8 de agosto de 1987. Intensidad VI en Tacna, VII en Arica.

\* El autor expresa su agradecimiento al Ing. Julio Kuroiwa por su apoyo científico; a los bachilleres Cotrado y Y. Siña que participaron en el trabajo; a Defensa Civil, UNJBG y Universidad privada de Tacna, que ofrecieron una desinteresada cobertura institucional

Como se verá el sur del Perú y el norte de Chile, específicamente la frontera Tacna-Arica, se encuentran en una zona de alto riesgo sísmico como consecuencia del fenómeno de subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Recurriendo a la estadística histórica vemos que los movimientos sísmicos de importancia han sido de los años 1868, el que mayores consecuencias ha ocasionado en la frontera Perú-Chile (Intensidad IX M.M.) -abarcó unos 450 kms de extensión Norte-sur incluyendo al puerto de Arica- y el terremoto de 1877 que tubo su epicentro más al sur de Arica, produciendo gran daño en Iquique y abarcando una extensión aproximadamente de 400 kms. Los maremotos generados por estos sismos fueron de gran magnitud, produciendo en ambos casos estragos en Arica, Iquique y Puertos de Perú.

Desde 1868 y 1877, la zona no ha experimentado sismos comparables; este período de más de 100 años es considerado como SILENCIO SISMICO O BRECHA SISMICA, cuya recurrencia o probabilidad de retorno podría ser similar al del año 1868. En la actualidad, el peligro sísmico en esta zona es mayor al de aquella época, por la sencilla razón que estas ciudades tienen mayor población y obras civiles de gran importancia. De allí la necesidad de realizar estudios de Microzonificación y de la vulnerabilidad sísmica para determinar el tipo de suelo y estado de sus edificaciones, así como evaluar posibles daños.

### 3. GEOMORFOLOGÍA

En el presente estudio se distinguen claramente seis unidades fisiográficas cuyas características son las siguientes;

#### a) *Cordón Litoral de la Costa.*

Es la superficie plana de terreno que forma una angosta faja a lo largo del borde occidental de la cordillera de la costa, delimitando con la línea de playa. Se encuentra representada por terrazas marinas de ancho variable.

#### b) *Cordillera de la Costa.*

Se extiende desde la península de Paracas hasta la república de Chile, siguiendo un alineamiento paralelo a la línea de playa. Regionalmente está constituido por Gneis y Esquistos, así como por otras rocas pertenecientes al Paleozoico Superior.

#### c) *Las Pampas costaneras.*

Estas pampas se desarrollaron en depósitos

volcánicos de la formación Huaylillas del Terciario Superior, las que posteriormente y debido a una actividad fluvial fueron bisectados en diferentes lugares originando un conjunto de quebradas que le dan a esta unidad una topografía característica.

#### d) *Cono deyectivo del Río Caplina.*

Constituye una unidad fisiográfica que se inicia en la garganta de Magollo y se ensancha progresivamente hacia abajo, en forma de delta, hasta alcanzar el Océano Pacífico.

El material que se observa son bloques, guijarros y guijas en el sector superior del abanico y areno-limoso y cobertera eólica en la parte media inferior delta.

#### e) *Valle del Río Caplina.*

El valle del Río Caplina constituye la geofoma más importante de la zona.

La zona de Calientes, aguas abajo del Valle, se encuentra afectado por fallas transversales del rumbo NW-SW, que han originado un hundimiento consecutivo y progresivo hasta el litoral, conformando la fosa de Tacna.

La falla existente colapsa la formación Moquegua y los depósitos cuaternarios recientes como las terrazas, por el cambio brusco de la pendiente y el alineamiento casi paralelo de geoestructuras que dan aspectos de movimientos de bloques en escalera.

#### f) *Superficie Huaylillas.*

Con el nombre de superficie Huaylillas (Wilson 192), se describe una superficie de erosión asociada con la formación Huaylillas de carácter volcánico, conformado por tubos compactos y macizos producto de la erosión del miembro superior de la citada formación y de suave inclinación al SW.

### 4. HIDROLOGÍA, DRENAJE Y TOPOGRAFÍA

La cuenca de los ríos Caplina y las quebradas que convergen en el valle se inicia desde los 00 a 900 m.s.n.m. en la cuenca baja con precipitación anual de 10 mm aproximadamente.

La cuenca intermedia abarca desde los 900 a 2000 m.s.n.m. con precipitación pluvial promedio anual de 10 a 50 mm aprox. La cuenca alta a partir de los 2000 m.s.n.m. a más, denominada también cuenca húmeda, presenta precipitación promedio anual de 350 mm aprox., donde se da una mayor

alimentación del acuífero.

No existe problemas de drenaje superficial en la ciudad de Tacna, pues, como se pueden ver en los estudios de hidrología, la precipitación no es considerable. Los principales ríos que discurren a través del valle son los ríos Caplina y Uchusuma, cuyos caudales, no representan ningún problema. En épocas de avenidas, las precipitaciones que exceden el sistema de represamientos y zonas bajas de la cuenca son ordenadas por la quebrada ubicada en el margen izquierdo del Cerro Arunta. Por lo tanto, toda la zona del cauce debe ser considerada como una zona inadecuada para el uso urbano.

## 5. AGUAS SUBTERRÁNEAS

Lo más importante, para los fines geotécnicos, es la profundidad a que se encuentra el nivel freático. En el sector de Magollo se encuentra a 50 metros de profundidad; en Leguía, Para Chico y Cono Sur, a más de 70 metros; en la zona urbana, a 80 metros; en Pocollay, a 90 metros, y así, costa arriba, se profundiza aún más.

## 6. GEOLOGÍA

El valle de Tacna está enmarcado dentro de una fosa tectónica, relleno con depósitos sedimentarios correspondientes fundamentalmente a sedimentos fluvio-aluviales del cuaternario reciente y depósitos continentales de la formación Moquegua.

Las siguientes son las formaciones que afloran en el área de estudio, desde las más antiguas a las más recientes:

### **FORMACIÓN MOQUEGUA**

Corresponde a depósitos continentales de vasta superficie, se le observa desde Atico hasta la frontera con Chile, teniendo su mejor exposición en el valle de Moquegua. Consiste en una secuencia de areniscas tufáceas lutitas, arenisca, arólicas y conglomerados, irregularmente estratificados, corresponde al terciario (Adams 1908).

### **FORMACIÓN HUAYLILLAS**

Prácticamente toda la superficie del valle de Tacna se encuentra cubierta por un material de naturaleza volcánica, de color blanco-rosado, al que se ha denominado "*Formación Huaylillas*". Estos depósitos están constituidos por tobos volcánicas de naturaleza ácida, de composición riolítica, dacítica y riocacita.

Es muy susceptible al intemperismo, por ello

forma gruesas costras de material en desintegración, acompañado por una superficie de arena cuarzosa. En las cavidades libres de esta roca se encuentran sales de CINA (Cloruro de sodio).

Por su débil resistencia al intemperismo no es recomendable su empleo en construcciones que exijan alta resistencia por unidad de superficie.

### **CUATERNARIO**

La acción dinámica del río Caplina a lo largo de su existencia (transporte y acumulación de materiales) ha dado origen a más de una terraza fluvial en el valle de Tacna.

#### **a) Depósitos aluviales.**

Estos depósitos están constituidos por aglomerados, arenosos y arcillas inconsolidados que se intercalan irregularmente.

Los depósitos aluviales constituyen en forma general el suelo de la zona urbana de la ciudad de Tacna, considerado como un buen suelo para construcciones, a excepción de capas variables de suelo arcilloso y arenoso que compromete al diseño de cimentación para la construcción de viviendas y edificios.

#### **b) Depósitos de ceniza volcánica**

Puede considerarse como la manifestación de la última volcánica en el cuaternario reciente.

Se trata de un polvo fino, suelto, que incluye algunas veces fragmentos de pómez, con abundantes brechas delgadas y cristales de cuarzo.

Estos depósitos de ceniza, en profundidad, se compactan y se vuelven impermeables. De allí el peligro de su presencia en las perforaciones por agua.

La profundidad a la que probablemente se encuentra el substrato rocoso de la ciudad varía desde 250 a 500 mts.

## 7. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE TACNA

La Microzonificación Sísmica en su concepto integral es bastante amplio y se ha experimentado varias metodologías considerando los diferentes fenómenos naturales que amenazan un área de estudio.

En el caso que nos ocupa, se tuvo en cuenta los SISMOS, por ser fenómeno natural más importante que ha causado pérdidas de vidas humanas y materiales.

El método desarrollado consiste principalmente en la delimitación del área de estudio alrededor del centro urbano, división del área en sectores de similares características en fenómenos naturales violentos, calificación de cada área utilizando criterios simples de determinación: características del suelo, capacidad portante, etc., siendo preferentes los terrenos planos a los terrenos con pendiente, y los del tipo rocoso y denso a los suelos blandos y húmedos. Los sectores de mayor peligro sirven para delimitar las zonas más seguras y exonómicas para el crecimiento urbano.

El resultado del proyecto se concretiza en la elaboración de dos planos: Plano de zonificación de suelos y plano de zonificación geotécnica.

La información básica que se utilizó para este resultado proviene de estudios anteriores y del trabajo de campo realizado por los integrantes del proyecto.

El primer resultado tiene la finalidad de definir tres zonas, o tipos de suelo, con las características siguientes:

#### **ZONA I :**

Presenta un suelo firme y rígido identificado por una grava consolidada a medida que aumenta su potencia. Constituye el suelo base de la ciudad de Tacna, su mejor exposición se encuentra en Cono Sur, con una potencia mayor de 50 m en la zona de estudio.

#### **ZONA II :**

Identificado como suelo de cultivo (arcilloso), ubicado generalmente en el centro de la ciudad, con una potencia que varía de 0.50 a 3.00 m de norte a sur. Por debajo de este suelo se encuentra la base firme de grava.

#### **ZONA III :**

Suelo con características no favorables para la construcción de viviendas, salvo diseño de cimentación especial. Se encuentran capas variables de arena, con base de roca volcánica inestable por la presencia de lentes de sal, su mayor exposición se encuentra en Cono Norte.

### **CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS**

El segundo resultado se refiere a las unidades geotécnicas que se han definido, de acuerdo al tipo de suelo (Clasificación del Sistema Unificado de Suelos SUCS). Sus perfiles estratigráficos típicos y las características de resistencia bajo condiciones estáticas son las siguientes:

#### **TIPO I**

Esta zona incluye el Cono Sur, parte del Pueblo Joven Augusto B. Leguía, Para Grande, Para Chico y el C.P.M. La Natividad, algunas zonas circundantes al C.E. Federico Barreto y zonas aledañas a la ciudad (ZOTAC, HABITAT). El perfil estratigráfico que caracteriza a ésta zona está formado por un relleno de tierra de cultivo, arenas (SP, SW, SC, SM); arcillas (CL); limos orgánicos (OL) pudiendo conformar con ellas una potencia no mayor de 0.50 m., debajo de la cual se encuentra un estrato de suelo granular con un espesor indeterminado.

Este tipo ofrece las mejores condiciones de cimentación, pues posee una capacidad portante mayor de 3 kg/cm<sup>2</sup>. La profundidad de cimentación varía de 0.8 a 1.2 mts.

#### **TIPO II :**

Esta zona comprende los terrenos al margen izquierdo de la Av. Ejército, y casi toda la zona urbana, hasta las inmediaciones de las chacras ubicadas en Pocollay. La estratigrafía generalizada está conformada por uno o varios estratos de relleno de tierra de cultivo, arenas (SP, SW, SC, SM); arcillas (CL), limos orgánicos (OL) pudiendo conformar cualquiera de ellas un segundo estrato constituido por un suelo granular de potencia indeterminada.

Este tipo ofrece buenas condiciones para fines de cimentación, pues posee una capacidad portante de 2.0 a 3.0 kg/cm<sup>2</sup>. La profundidad de cimentación varía de 0.8 a 1.5 mts.

#### **TIPO III :**

Esta zona comprende gran parte del Parque Industrial, el Pueblo Joven Leoncio Prado, Pueblo Joven Eloy G. Ureta y el Centro mismo de la ciudad. La estratigrafía generalizada está conformada por uno o varios estratos con características de relleno artificial, arcilla limosa, arenas con lentes de limo y/o arcilla, pudiendo tener cualquiera de las formaciones anteriormente descritas un espesor total comprendido entre 1.50 mts a 3.0 mts. A continuación se encuentra un estrato de suelo granular.

Este tipo ofrece condiciones antieconómicas para fines de cimentación, pues posee una capacidad portante de 1.5 a 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. La profundidad de cimentación varía de 1.0 a 2.0 mts. Es recomendable mayores profundidades de cimentación para mejorar la capacidad portante de este tipo definido.

#### **TIPO IV :**

Esta zona comprende parte del distrito de Alto

de la Alianza, el Pueblo Joven San Martín, La Esperanza y parte de Pocollay. El perfil estratigráfico que caracteriza a esta zona es arcillosa o grava pobremente graduada, pudiendo tener cualquiera de ellos una potencia hasta de 0.50 m. A continuación se encuentra la Toba Volcánica con una potencia indeterminada.

Este tipo ofrece condiciones de cimentación de regular a malo, pues posee una capacidad portante entre 1.0 a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>. La profundidad de cimentación mínima es de 1.5 mts, mientras se conserve el estado seco de los estratos.

**TIPO V :**

Esta zona comprende el distrito Alto de la Alianza, Ciudad Nueva, Pueblo Joven San Martín y todas las Asociaciones de vivienda ubicadas en las faldas del cerro Intiorko. El perfil estratigráfico que caracteriza a esta zona está constituido por uno o varios estratos conformados por rellenos, arena arcillosa con alto contenido de sales y grava pobremente graduada, pudiendo presentarse en un intervalo de potencia de 0.50 m a 3.00 m. A continuación se encuentra la presencia de la Toba Volcánica.

Este tipo ofrece condiciones malas de cimentación, pues posee una capacidad portante entre 0.5 - 1.5 kg/cm<sup>2</sup>. La profundidad de cimentación considerada varía de 1.0 a 2.0 mts.

## 8. DISTRIBUCIÓN DE MÁXIMAS INTENSIDADES OBSERVADAS EN EL PERÚ

El mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú (Alva H. 1981) presenta líneas de extremos de carácter local o valores máximos de intensidades, cuyas isosistas no se conocen. Su interpretación es resultado de sismos anteriores importantes, como en el Sur del Perú en que sucedieron eventos sísmicos de IX - X y X - XI M.M. que podrían indicarnos la posibilidad de ocurrencia de sismos mayores VIII M.M.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASAVARDE M. Riesgo Sísmico del Departamento de Lima.

ALVA H., CISMID 1988. Riesgo Sísmico de Tacna.

MENESES L., Jorge y Juan C. TOKESHI, CISMID 1989. Estudio de Microtrepidaciones en Tacna.

CISMID 1992. Estudio geotécnico de la Central Térmica Calana-Tacna.

## 9. INTENSIDADES MÁXIMAS ESPERADAS SEGÚN TIPO DE SUELO EN TACNA

Correlacionando el tipo de suelo con las intensidades máximas esperadas se ha confeccionado el plano, en el cual se aprecia que el rango de intensidades esperada es del orden de VII a IX (M.M.).

La máxima intensidad se presenta en la zona de suelos colapsables (Cerro Intiorko) y la menor intensidad en suelos granulares.

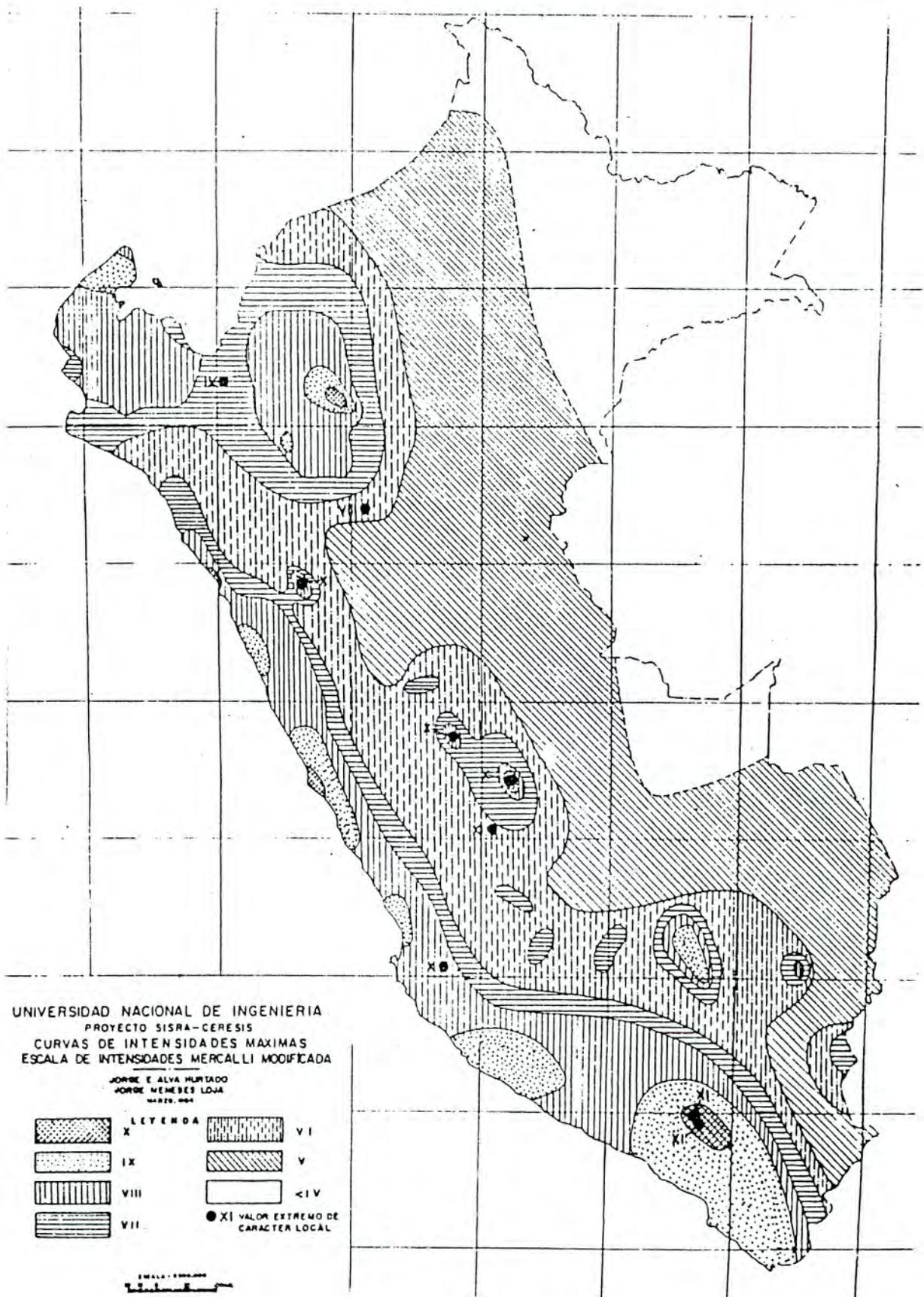
## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) Los suelos de la ciudad de Tacna, en su mayor parte, corresponden a depósitos fluvio-aluviales del Río Caplina, y algunas zonas del Cono Norte y distrito de Pocollay están en formaciones geológicas de características diferentes, existiendo tobas volcánicas y arenas, producto del intemperismo de los depósitos subyacentes.
- b) Como resultado de las características geotécnicas se desprende que las zonas más vulnerables son las correspondientes al tipo III, IV y V.
- c) Las zonas de condiciones geotécnicas más favorables son las que corresponden al tipo I y II.
- d) El presente estudio debe ser reforzado con información constante, que puede obtenerse de obras en construcción.
- d) Considerando las características del suelo de Tacna, se recomienda el crecimiento urbano hacia el cono Sur. En el Cono Norte evitar su crecimiento en las faldas del cerro Intiorko.
- e) En las zonas IV y V debe limitarse la construcción a dos pisos como máximo, salvo diseños especiales sismo-resistente.
- f) Es indispensable continuar con el estudio de vulnerabilidad sísmica de Tacna para complementar con la Microzonificación, y determinar los riesgos en función de la vulnerabilidad de sus construcciones.
- g) Se elaborará las recomendaciones pertinentes por intermedio de Defensa Civil a los niveles que deben asumir la seguridad de la población.

ALVA H., CISMID 1981. Distribución de Máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú.

DIRDN. Comité Nacional de la Década Internacional para la reducción de los desastres naturales.

OCOLA-I, Leonidas G.P. Metodología integral para la Microzonificación sísmica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 PROYECTO SISRA-CERESIS  
 CURVAS DE INTENSIDADES MAXIMAS  
 ESCALA DE INTENSIDADES MERCALLI MODIFICADA

JORGE E ALVA MURTADO  
 JORGE MENESES LOJA  
 MARZO, 1964

LEYENDA

	X		VI
	IX		V
	VIII		<IV
	VII		● X  VALOR EXTREMO DE CARACTER LOCAL

