

# Zonificación Geotécnica Sísmica de la Ciudad de Moquegua

Bach. Leonardo Salas Cachay

## 1.0 Antecedentes

La ciudad de Moquegua se sitúa en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona de alta actividad sísmica. El 23 de junio del 2001 a horas 15:33, ocurrió un movimiento sísmico de Magnitud  $M_s = 8.2$  en la escala Richter, el cual alcanzó una Intensidad de VIII grados en la escala Mercalli Modificada en la ciudad de Moquegua.

El movimiento sísmico afectó las zonas más vulnerables y dejó miles de viviendas destruidas denotando las zonas de alto riesgo en toda esta región.

En general, las viviendas mas afectadas fueron las de Adobe que en su mayoría han colapsado, en menor escala fueron afectadas las edificaciones de albañilería, algunas se agrietaron y otras sufrieron fallas en la tabiquería en viviendas de uno o más pisos, lo mismo ocurrió en edificios de estructuras aporticadas. Luego de este desastre se vió la necesidad de reubicar las áreas que fueron devastadas por este evento y que presentan un alto peligro ante fenómenos similares. Con la finalidad de seleccionar las áreas más óptimas para la reubicación y la expansión urbana, en el presente estudio se realiza la zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua, esperando que éste sea un aporte para el desarrollo sostenible de dicha ciudad.

## 2.0 Objetivo de la Investigación

El objetivo de esta investigación es realizar un estudio geotécnico – sísmico de la ciudad de Moquegua poniendo énfasis en las áreas de expansión urbana que es la zona destinada a la reubicación de los damnificados por el sismo del 23 de junio de 2001. Debido a que se tiene conocimiento que las áreas de expansión están conformadas por suelos con características especiales, habiéndose reportado daños en las edificaciones convencionales debido principalmente a la expansión y/o colapso del suelo de cimentación, en el estudio de suelos se ha realizado trabajos de campo y laboratorio para analizar este comportamiento del terreno, con lo cual ha sido posible caracterizarlos adecuadamente y proponer alternativas constructivas en este tipo de materiales.

El plan de trabajo realizado nos permitió una exploración geotécnica extensiva en las distintas zonas de expansión y en el centro histórico de la ciudad de Moquegua, con lo cual se definió zonas con características geotécnicas similares, dándose recomendaciones para el diseño de estructuras convencionales de interés social e indicando el uso del suelo para el plan de desarrollo urbano.

En la primera etapa de este estudio, cuyos resultados se reportan en el presente informe, se ha realizado el estudio geológico superficial de todas las zonas involucradas. Así mismo, se ha realizado una campaña de exploración geotécnica mediante la excavación de calcatas de 4 m de profundidad y ensayos de colapso in situ. En la segunda etapa se ha realizado una campaña de densificación de sondajes para poder definir con mayor criterio las diferentes zonas geotécnicas identificadas.

Paralelamente se llevó a cabo la campaña de ensayos geofísicos de medición de microtrepidaciones y de refracción sísmica, los cuales permitirán conocer la potencia de los diferentes estratos superficiales encontrados y sus características dinámicas.

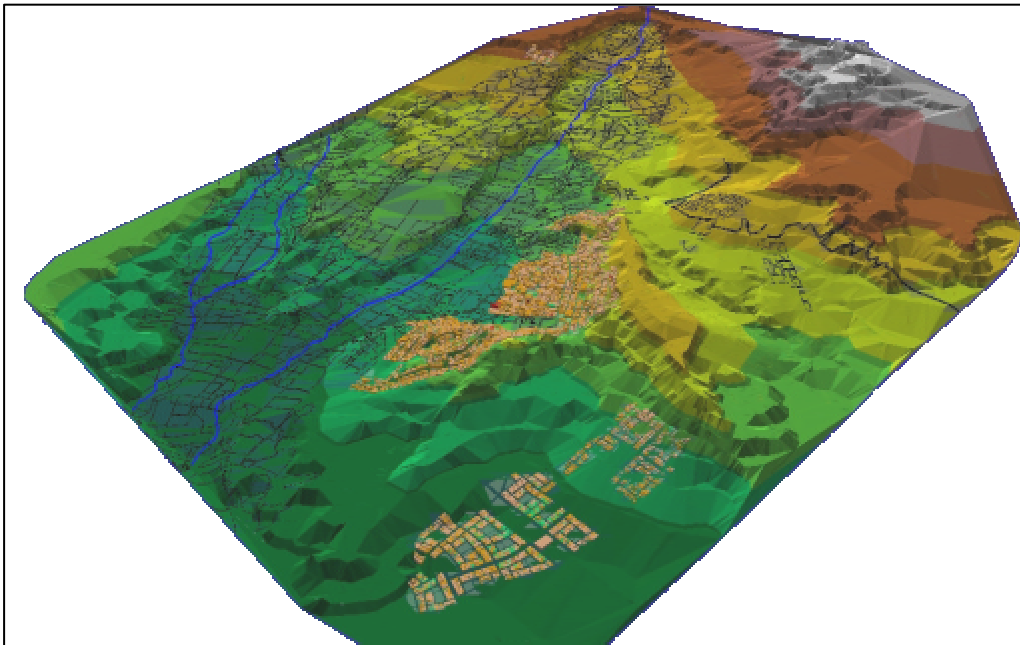
### 3.0 Ubicación del Área en Estudio

El departamento de Moquegua se localiza al Sur Oeste del país. Se extiende entre el litoral peruano y la cadena occidental de los Andes del Sur, abarcando dos regiones: la costa y la sierra. Su relieve es bastante accidentado debido a su contextura volcánica, encontrándose entre los volcanes Omate y Ubinas.

Su capital es la ciudad de Moquegua (Figuras 1), que está situada entre las coordenadas:

Longitud Oeste	71° 55 ' 54"
Latitud Sur	17° 11' 27"

Las zonas en estudio, que comprenden El Cercado, el CPM San Francisco, el CPM San Antonio, el CPM Los Ángeles y la zona de expansión urbana de Chen Chen, se encuentran situadas a una altitud promedio de 1,400 msnm, precisamente en los límites de ceja de sierra.



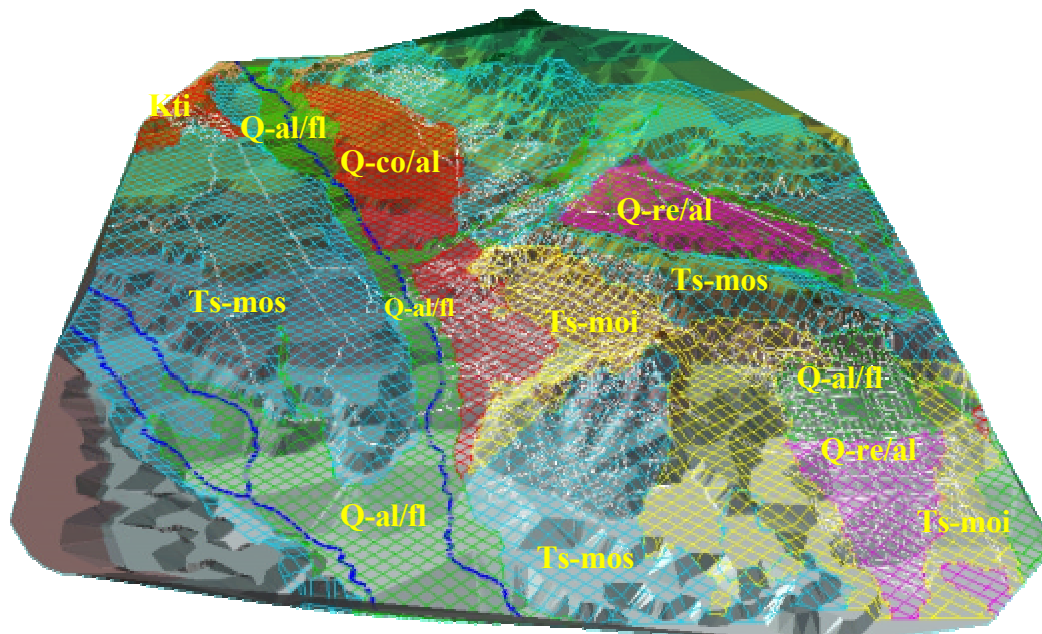
**Fig. 1** Ubicación de la Ciudad de Moquegua

#### 4.0 Geología Regional

Geológicamente la zona de estudio está ubicada en la Región Sur Occidental de los Andes y la Llanura costanera, a una altura promedio de 2,200 m.s.n.m. (Provincia de Mariscal Nieto). Específicamente esta zona se encuentra entre el flanco andino y la llanura costanera, de los cuales el primero está conformado por rocas volcánicas del cretáceo superior y del terciario inferior, siendo denominado como grupo Toquepala; y la segunda está constituida por rocas sedimentarias del terciario superior, denominada como Formación Moquegua.

El grupo Toquepala está compuesto por riolitas, andesitas, dacitas y flujos piroclásticos (Formación Toquepala), mientras que la Formación Moquegua está constituida por lutitas, areniscas arcósicas y limolitas (Moquegua Inferior); conglomerados y areniscas arcósicas y tufáceas (Moquegua Superior). La zona media de la ciudad de Moquegua está sentada sobre la formación "Moquegua Inferior" y la zona alta sobre la formación "Moquegua Superior", la parte baja está ubicada sobre depósitos cuaternarios recientes.

Estructuralmente la Formación Moquegua tiene una suave ondulación que en conjunto se presenta como un extenso plano inclinado en la dirección Sur - Oeste, con un ángulo de 0° a 12° y con rumbo NO-SE. Muy próximo a la zona de estudio existe un sistema de fallamiento regional denominado Inkapuquio con rumbo NO-SE que transcurre paralelo al flanco andino; a su vez, por ser una geoforma escarpada con dirección coincidente al fallamiento, las laderas del Sur Oeste de los cerros Los Angeles, Estuquiña y Huarancane posiblemente sean la prolongación de dicha falla. La Figura 2 muestra el mapa de geología superficial de la zona de estudio.

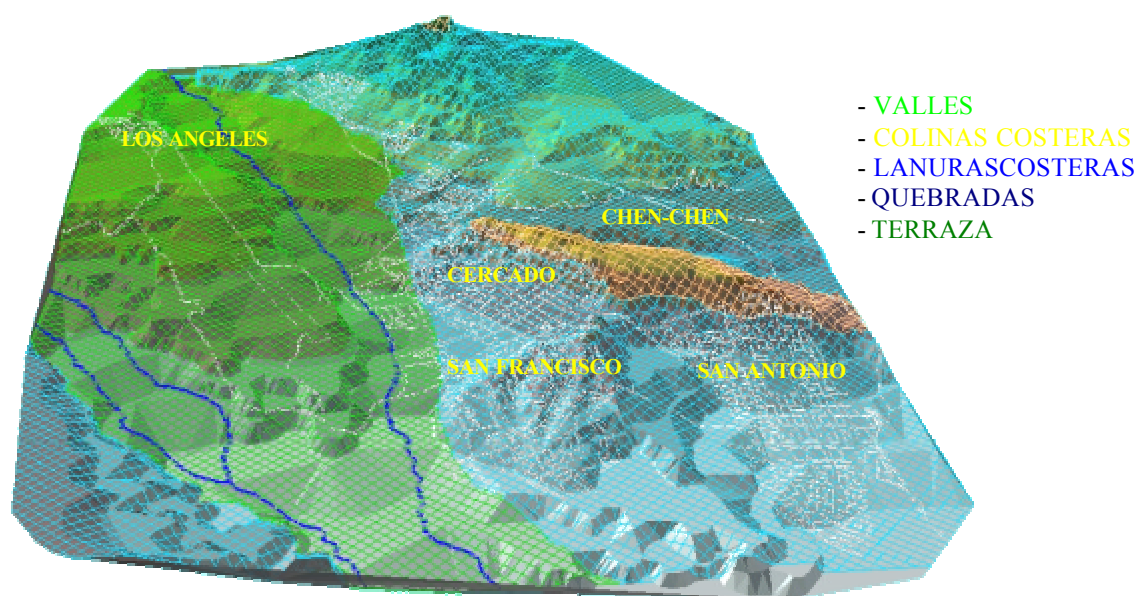


Kti	FORMACIÓN TOQUEPALA
Ts-moi	FORMACIÓN MOQUEGUA INFERIOR
Ts-mos	FORMACIÓN MOQUEGUA SUPERIOR
Q-co/al	CUATERNARIO COLUVIAL/ALUVIAL RECIENTE
Q-al/fl	CUATERNARIO ALUVIAL/FLUVIAL RECIENTE
Q-re/al	CUATERNARIO RESIDUAL/ALUVIAL

**Fig. 2:** Mapa de Geología Superficial de la Ciudad de Moquegua

## 5.0 Geomorfología

En el área de estudio se presentan cinco unidades geomorfológicas, las cuales se denominan: Llanuras Costeras, Valles, Colinas Costeras, Quebradas y Terrazas, cuya delimitación se indica en la Figura 3



**Fig. 3:** Mapa Geomorfológico de la Ciudad de Moquegua

## 6.0 Exploración Geotécnica

Para determinar las características geotécnicas del terreno de fundación de las diferentes zonas de la ciudad se realizó un programa de exploración de campo consistente en la excavación de calicatas, ejecución de ensayos de colapso in-situ y la ejecución de ensayos geofísicos de refracción sísmica y medición de microtrepidaciones.

### 6.1 Excavación de Calicatas

La exploración directa del subsuelo se realizó mediante la excavación de calicatas de hasta 4 m de profundidad, mediante la cual se logró caracterizar el terreno de fundación de las diferentes zonas de la ciudad. Durante esta etapa de exploración se ha realizado también ensayos de carga directa in situ con saturación para determinar el grado de colapsabilidad y/o expansividad de los suelos. Esta exploración se realizó en todo el área urbana y las zonas de expansión, como se muestra en la Figura 4.

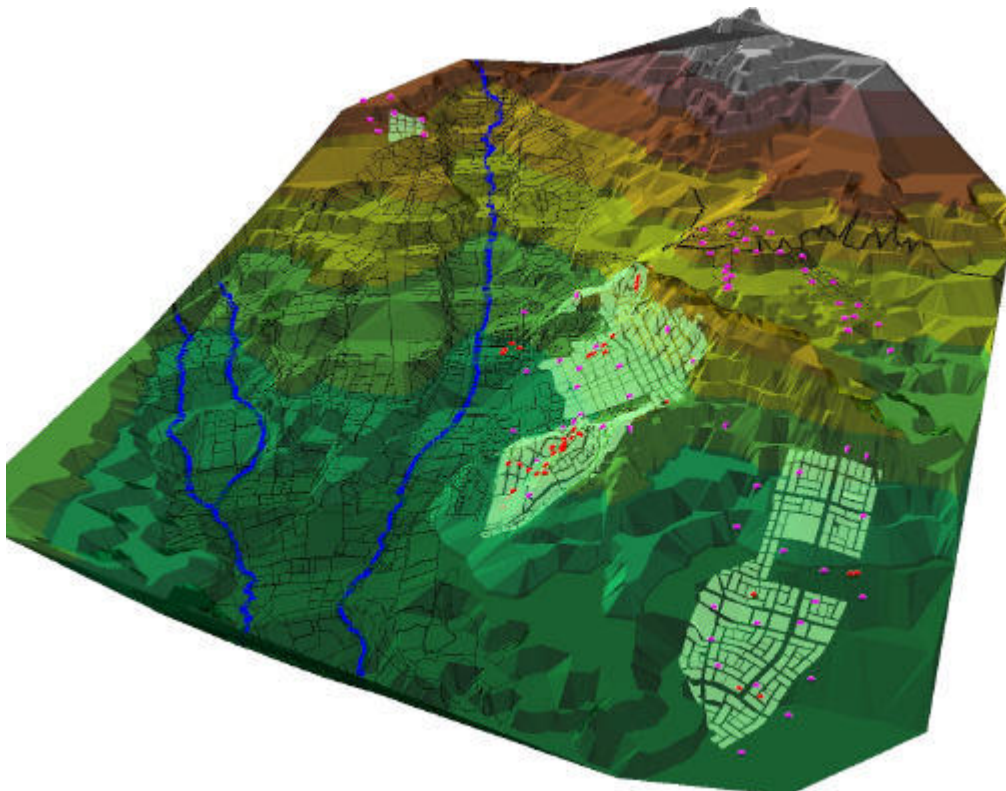


Fig. 4 Ubicación de Calicatas

## 6.2 Ensayo de Refracción Sísmica

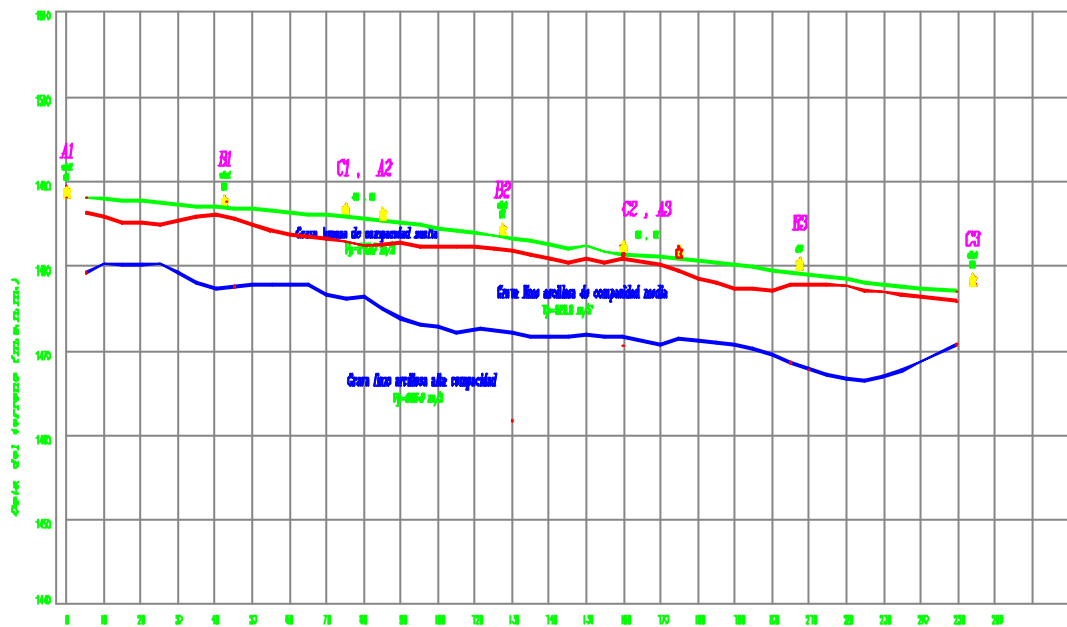
Estos ensayos fueron realizados en la Zona de Chen Chen, donde se efectuaron tres perfiles de refracción sísmica de 240.0 m de longitud. El primero de ellos en la parte superior del canal Pasto Grande, donde se determinaron tres horizontes, el primero con una velocidad de que fluctúa entre los 270.0 m/seg. con un espesor de 2.00 m, el estrato subyacente con velocidades promedio de 525.0 m/s y un espesor de 9.0 m en promedio, y el tercer estrato con velocidades que varían alrededor de los 965.0 m/s, como se puede apreciar en la Figura 5

## 6.3 Ensayos de Medición de Microtrepidaciones

En la ciudad de Moquegua se han realizado un total de 150 puntos de medición de microtrepidaciones, los cuales han sido convenientemente distribuidos en todo el área en estudio. La ubicación de estos puntos de medición de microtrepidaciones se indica en la Figura 6.

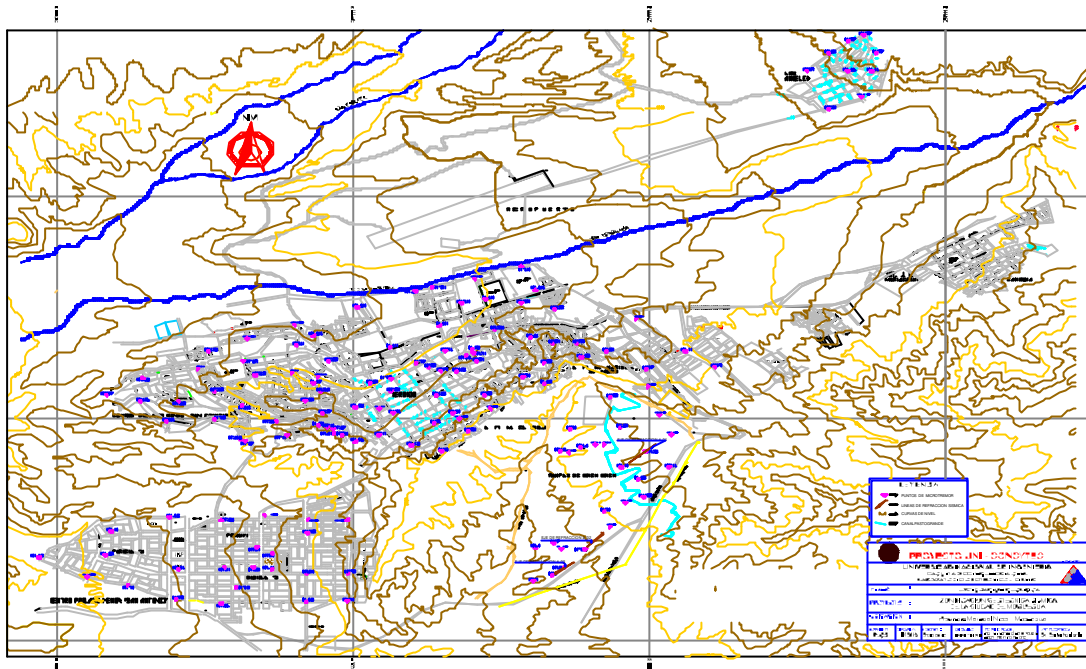
El análisis de la información ha permitido obtener periodos naturales de acuerdo a las características geotécnicas de las zonas identificadas. Para las zonas de Chen Chen y Los Angeles se registraron periodos de vibración superiores a 1.0

s; para la zona que abarca el cercado de Moquegua periodos predominantes que varían de 0.6 a 0.8 s y para la zona del CPM San Antonio periodos predominantes alrededor de 1.0 s. Estos valores son consistentes con los resultados obtenidos por investigadores japoneses y mexicanos, quienes realizaron mediciones de microtrepidaciones y observación de microsismos en algunos puntos de esta ciudad. Similar comportamiento se observa en el espectro de respuestas del registro sísmico obtenido durante el evento principal del sismo del 23 de Junio del 2001, donde se presentan amplificaciones importantes hasta periodos de 0.8 a 1 s. En consecuencia, en las diferentes zonas geotécnicas de la ciudad de Moquegua se presentan amplificaciones sísmicas importantes para periodos de vibración relativamente largos, las cuales pueden afectar en mayor medida a edificaciones con periodos de vibración en los rangos mencionados.



**Fig. 5** Perfil sísmico en la Zona de Chen Chen





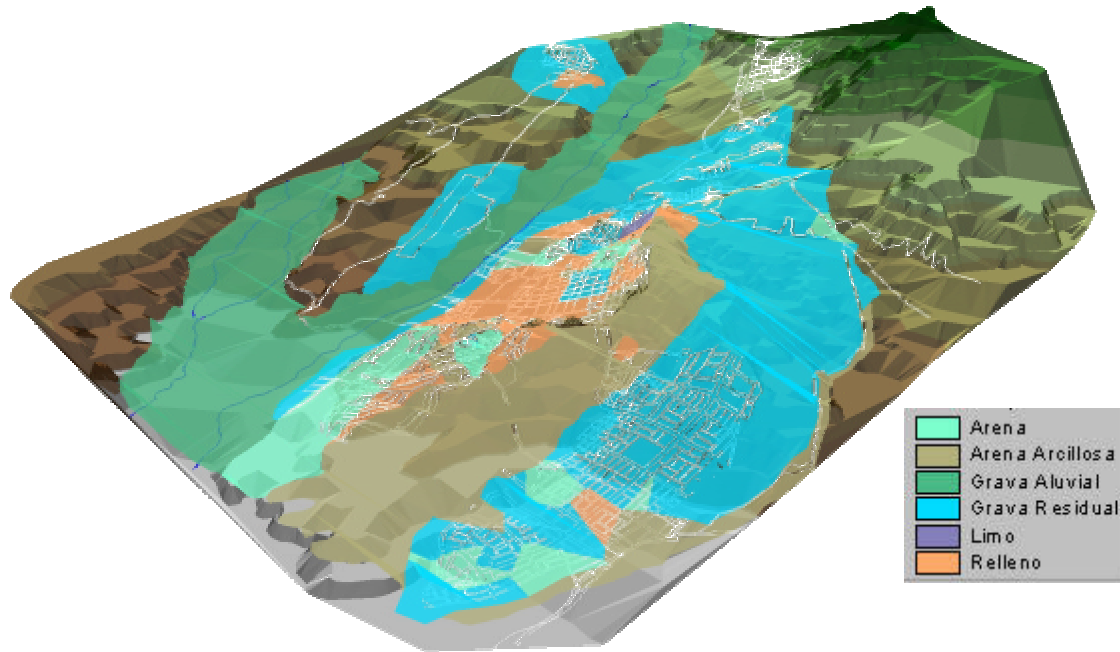
**Fig. 6:** Localización de los ensayos de medición de Microtrepidaciones

## 7.0 Zonificación Geotécnica de la Ciudad de Moquegua

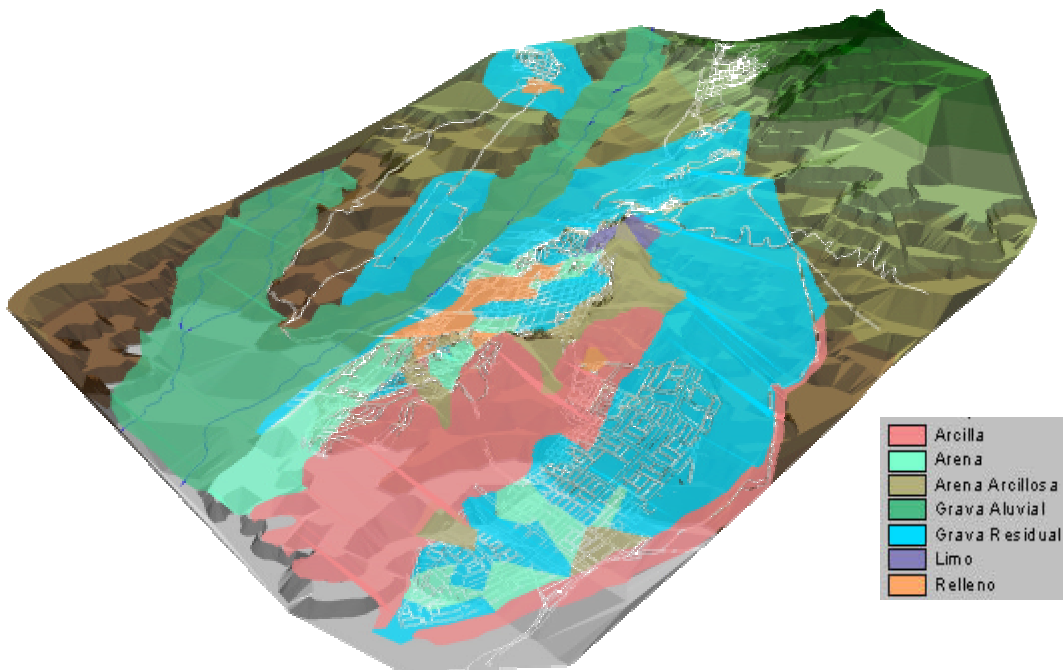
La ciudad de Moquegua se ha zonificado en cuatro zonas geotécnicas que representan adecuadamente el comportamiento de los suelos de fundación ante las solicitaciones externas. Cada una de estas zonas agrupa áreas con características geotécnicas similares, variando desde la Zona I, constituido por un terreno competente y con menores niveles de peligros ante fenómenos naturales, hasta la Zona IV conformado por terrenos menos adecuados para la cimentación de edificaciones convencionales y con mayores niveles de peligros.

La delimitación de estas zonas está basada en toda la información procesada en este estudio, para lo cual no solo se han elaborado los perfiles estratigráficos del terreno de fundación de las diferentes áreas, sino que además, con la ayuda de herramientas de información geográficas se han elaborados mapas de tipos de suelos a diferentes niveles de profundidad. Las Figuras 7 y 8 presentan dos de estos mapas de tipos de suelos observados a nivel superficial y a 1.0 m de profundidad respectivamente.

La Figura 9 presenta la zonificación geotécnica propuesta, cuyas características y extensión se describen a continuación:



**Fig. 7** Tipos de Suelos Observados a Nivel Superficial en La Ciudad de Moquegua



**Fig. 8** Tipos de Suelos a Nivel -1.0m en La Ciudad de Moquegua



## **ZONA I**

Esta zona está conformada por la parte consolidada de la ciudad. Superficialmente presenta material de relleno constituido por arenas y gravas limosas medianamente compacta que en algunas zonas llegan hasta los 2.00 m de profundidad. El terreno natural esta conformado por gravas con matriz arenosa y limosa, de compacidad media suelta a densa. La capacidad portante del terreno para cimentaciones típicas varía de 1.2 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> para profundidades de cimentación de 1.00 a 1.20 m.

## **ZONA II**

Zona de deposición en forma de plano inclinado con pendientes de 3° a 7°, conformada por estratos de grava con matriz limosa y arenosa, de compacidad suelta a media. En ciertas zonas se encuentran intercalaciones de tufos volcánicos. La capacidad portante para la cimentación superficiales a la profundidad de cimentación de 1.00 m, sobre el terreno natural varia de 1.2 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.7 Kg/cm<sup>2</sup>. Es recomendable no cimentar en el material de relleno generado durante la nivelación del terreno a menos que éste haya sido convenientemente conformado.

## **ZONA III A**

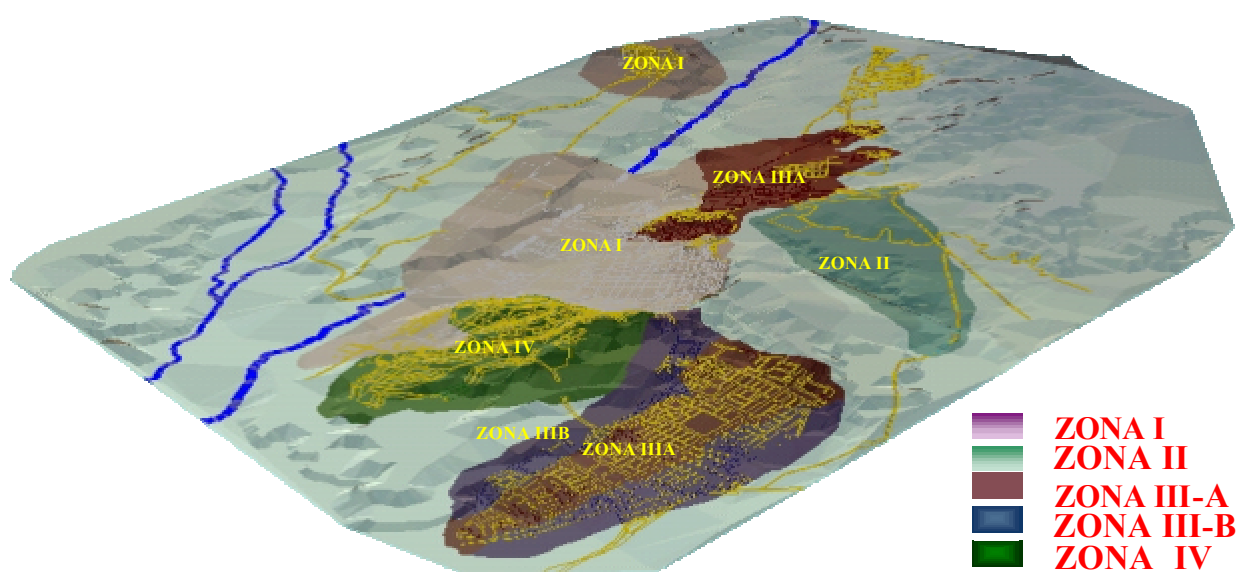
El terreno de fundación esta conformado por un material granular de compacidad media suelta, el cual en algunas zonas se encuentra cubierto por estratos de rellenos de poca potencia. Subyaciendo a este material, en algunos casos a profundidades mayores a los 4.00 m, se encuentran estratos de arcillas limosas y arenosas de baja plasticidad, que presentan un moderado potencial de expansión. La capacidad de carga admisible para estructuras de interés social varia de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de cimentación de 1.00 m. En el diseño de cimentaciones en estos tipos de suelos se debe considerar la posibilidad de asentamientos diferenciales por un ligero comportamiento colapsable del material granular cementado, así como pequeños levantamientos por expansión de las arcillas limosas.

## **ZONA III B**

El terreno de fundación esta conformada por estratos de arcillas limosa y arena arcillosa, cubiertos por un material gravoso de 1.0 m de espesor en promedio. El material arcilloso tiene una consistencia rígida, baja humedad y alto potencial de expansión (hasta 18% de expansión libre y cargas de expansión de 4.35 Kg/cm<sup>2</sup> ). La capacidad admisible para estructuras de interés social varia de 0.8 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> en condiciones saturadas. En esta zona el problema de expansión de suelos es severo, por lo que se debe considerar su efecto en las cimentaciones para evitar el agrietamiento de las edificaciones.

## ZONA IV

Esta zona está conformada por relleno superficial de material gravoso con matriz limosa, cuyo espesor varía de 0.20 m a 2.00 m, según su ubicación topográfica. El material subyacente está constituido predominantemente por gravas limpas, limosas y arcillosas, y en algunas zonas por arcillas limosas con propiedades expansivas. La topografía es bastante accidentada presentando pendientes mayores a los 70°, lo cual es un elemento desfavorable para su uso como área urbana. Esta zona es propensa a sufrir grandes amplificaciones sísmicas por efectos topográficos y posibles problemas de inestabilidad de taludes



**Fig. 9** Mapa de Zonificación Geotécnica de La Ciudad de Moquegua

## 8.0 Conclusiones y Recomendaciones

- La historia sísmica de la región sur occidental del Perú indica que la ciudad de Moquegua se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, habiéndose registrado una serie de eventos de gran intensidad que han afectado considerablemente a esta ciudad. El análisis de peligro sísmico indica que en la ciudad de Moquegua pueden ocurrir eventos con mayores niveles de sacudimiento que el último evento ocurrido el 23 de Junio del 2001; en consecuencia, es de suma importancia que en las acciones de reconstrucción se considere esta amenaza natural en el diseño de las edificaciones
- Regionalmente la ciudad de Moquegua está ubicada entre la región Sur Occidental de los Andes y la llanura costanera, sobre rocas volcánicas de la Formación Toquepala y rocas sedimentarias de la Formación Moquegua. La geología local en

el área en estudio muestra el predominio de las rocas sedimentarias de la Formación Moquegua Superior conformado por depósitos gruesos, y de la Formación Moquegua Inferior constituido por depósitos finos; así mismo se encuentran depósitos aluviales, fluviales y coluviales, y en menor extensión afloramientos volcánicos de la Formación Toquepala.

- Los trabajos de exploración geotécnica realizados han permitido caracterizar el terreno de fundación de todo el área urbana y se ha podido delimitar cuatro zonas geotécnicas, de las cuales la Zona I presenta las mejores características, estando conformado por la parte del valle y la zona consolidada de la ciudad, la Zona II está conformada por la zona de Chen Chen, donde se ha proyectado la expansión urbana, la Zona III A y B están conformado por suelos de comportamientos especiales y áreas de topografía agreste que presentan niveles de peligro moderados, y finalmente la Zona IV que es la zona más desfavorable para el desarrollo urbano,

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bellido Bravo E. (1979). Geología del Cuadrángulo de Moquegua, Hoja: 35 – u. Boletín N° 15 ,INGEMMET, Lima-Perú.
- Cabello, M. C. (2000). Zonificación Geotécnica Preliminar de la Ciudad de Moquegua. Tesis, Universidad Privada de Moquegua, Moquegua.
- Das, B. M., (2001). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición, International Thomson Editores.
- Fernandez Sixto E. (1998). Investigación del Conglomerado Colapsable de La Cano, Vitor-Arequipa. U.N.I. Ing. Civil, Post Grado.
- Rivera Mantilla H. (2001). Geología General. Lima - Perú
- Ruiz Vasquez M., Gonzales Huescas S. (2001). Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. LIMUSA, México.
- Silgado, E. (1978). Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú. Lima, Perú.
- Vizcarra, M. A. (1986) Microzonificación Sísmica de Moquegua Aplicada al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres Naturales Empleando el Método Simplificado. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Zavala Carrión B., Nuñez Juarez S. (1999). Estudio Geológico – Geotécnico de la Región Sur – Occidental del Perú. Boletín N° 22, INGEMMET, Lima-Perú.
- CISMID, Lab Geo. (1995).”Estudio de Cimentación del Reservorio de 1000 m3 en Moquegua - AA.HH Mariscal Nieto.