EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE SUELOS EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA

Denys Parra M. (1)
Zenón Aguilar B. (1)
Carmen Ayquipa H. (1)
Jorge E. Alva H. (1)

RESUMEN

El presente estudio tiene el objetivo de analizar e identificar las zonas susceptibles a sufrir licuación en la ciudad de Moyobamba y comparar los resultados con el fenómeno ocurrido durante los sismos de 1990 y 1991. Se describe la metodología simplificada para evaluar el potencial de licuación de suelos, para lo cual son necesarias las propiedades del suelo, las que han sido determinadas a través de calicatas y sondajes de exploración de suelos como Ensayos de Penetración Estándar y Cono Holandés, ejecutados por el Laboratorio Geotécnico del CISMID. Con el sismo de diseño y la aceleración máxima en el sitio se evalúa el potencial de licuación en distintas zonas de Moyobamba. Se aprecia coincidencia de ocurrencia del fenómeno de licuación en los lugares susceptibles a éste.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Moyobamba, ubicada en la parte norte del departamento de San Martín, es una planicie elevada. Durante su historia sísmica y en los sismos recientes ha sufrido grandes daños, siendo el fenómeno de licuación de suelos el causante de considerables desastres. Este fenómeno se ha presentado siempre en las partes más bajas de la ciudad, en los alrededores de la planicie en que se encuentra la ciudad de Moyobamba, Azungue, Tahuishco y la Quebrada Shango, originando desplazamientos laterales, asentamientos, grandes grietas, erupción de arena, etc, evidencias típicas de licuación de suelos.

ANTECEDENTES

Durante los terremotos de 1945 (Silgado, 1978), 1968 (Martínez, 1968), 1990 y 1991 (Lara, 1992), se evidencia la ocurrencia de licuación en los sectores de Tahuishco, Azungue y la Quebrada Shango, debido a las características geotécnicas de los suelos que subyacen dichos lugares y la acción sísmica.

---

(1) CISMID, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Ponencia presentada en el IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Ica, del 14 al 20 de Setiembre de 1992

El fenómeno de licuación se manifestó mediante la aparición de pequeños volcanes de arena, hundimientos del terreno de hasta 4 m, afloramiento de agua, grietas, desplazamientos laterales, reportándose grietas de hasta 100 m de longitud y 80 cm de ancho, rompiéndose las tuberías de agua y desagüe y levantándose algunos buzones.

Muchas viviendas colapsaron, principalmente aquellas construidas de tapial. Durante el terremoto de 1991, el C.E. 00494, construido de quincha sufrió daños importantes debido a la ocurrencia de licuación en el suelo de cimentación.

En la Figura 1 se puede apreciar los efectos producidos en el terreno debido a los terremotos de 1990 y 1991 que afectaron la ciudad de Moyobamba.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

El valle del Alto Mayo está constituido por depósitos cuaternarios de origen fluvio-lacustre, suprayaciendo al basamento rocoso.

La ciudad de Moyobamba se encuentra ubicada sobre una planicie elevada de depósitos residuales del cuaternario, compuestos por sedimentos arcillosos de poco espesor en la superficie, suprayaciendo a potentes estratos de arena.

Las partes bajas que rodean la ciudad, en las cuales se ubican los sectores de Tahuishco, Azungue y la Quebrada Shango, están compuestas de depósitos de arenas, areno-limosos y areno-arcillosos en estado suelto, con valores de resistencia a la penetración menores de 10 superficialmente, intercalados con pequeños lentes de material fino y turba, con alto nivel freático, condiciones las cuales las hacen potencialmente licuables, habiéndose inclusive evidenciado la ocurrencia de este fenómeno durante terremotos pasados.

SISMICIDAD

La zona del Alto Mayo en su historia sísmica de los últimos 400 años ha sufrido sismos con intensidades de hasta X en la escala de Mercalli Modificada, particularmente en Angaisa. En las poblaciones del Alto Mayo han ocurrido sismos de VIII y IX MM grados.

Los sismos que se producen en el continente y que son superficiales a intermedios, están relacionados a las fallas existentes como las de Shitari y Chazuta ubicadas al Sur-Oeste y Nor-Este de la ciudad de Moyabamba, respectivamente. El sismo del 19 de Junio de 1968 y los del 4 y 28 de Abril de 1991 que afectaron en mayor grado a la ciudad de Moyobamba, están asociados a la falla Chazuta.

Cabe recalcar que a lo largo de la falla Chazuta se ha producido una gran concentración de sismos superficiales, denominándose “nido sísmico” (Alva et al, 1991).

INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS

Con la finalidad de realizar la microzonificación sísmica de Moyobamba, el CISMID programó una campaña de exploración de campo que consistió en ensayos de penetración con cono holandés, sondajes con posteadora manual, mediciones de microtremor y calicatas (ver Figura 2), alcanzándose profundidades máximas del orden de 10 m. Parte de los sondajes efectuados fueron realizados en las zonas donde se tenía conocimiento de su vulnerabilidad a sufrir los efectos de licuación, es decir en los sectores de Tahuishco, Azungue y Quebrada Shango.

También se pudo recopilar información acerca de los ensayos SPT realizados en Azungue y Quebrada Shango para la construcción del sistema de desagüe de la zona. En la Tabla 1 se presenta un cuadro resumen de los sondajes efectuados y recopilados en los lugares mencionados y en las Figuras 3 y 4 se presentan algunos perfiles de los mismos. Con las muestras obtenidas en los sondajes, se realizaron ensayos de clasificación de suelos y otros ensayos de laboratorio.

La mayor parte de las muestras analizadas son arenas finas mal graduadas, arenas limosas y arenas arcillosas, determinándose el contenido de finos, el cual es un parámetro necesario en el análisis del potencial de licuación.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

La extensión regional afectada por las fallas en el terreno debido a licuación se ha estimado en base a una fórmula empírica (Kuribayashi y Tatsuoka, 1975), que implica el conocimiento de parámetros tales como la magnitud sísmica y la distancia epicentral al lugar más alejado de ocurrencia de licuación.

En la Figura 5 se puede apreciar que para una magnitud de 7.2 y una distancia epicentral de 30 km, características del terremoto de Abril de 1991, la ciudad de Moyobamba se ubica dentro de esta extensión regional y que efectivamente resultó afectada por la ocurrencia de licuación durante este evento sísmico en sus partes bajas, tales como los sectores Tahuishco, Azungue y la Quebrada Shango.

La evaluación del potencial de licuación de Moyobamba se ha realizado mediante la aplicación de métodos simplificados, basados en observaciones de campo del comportamiento de depósitos de arena en terremotos pasados, esto implica el uso de algún parámetro in-situ del depósito para determinar semejanzas o diferencias entre estos lugares y otros propuestos, con respecto a su comportamiento potencial (Parra, 1991). Este parámetro puede ser la resistencia a la penetración del suelo y en particular la resistencia a la penetración estándar (SPT) debido a la gran cantidad de datos disponibles para establecer una correlación entre este parámetro y su resistencia a sufrir licuación.

Siguiendo este criterio, en Estados Unidos: Seed et al (1983), Seed y De Alba (1986) y en Japón: Tokimatsu y Yoshimi (1981, 1983), Iwasaki et al (1978) e Iwasaki (1986) han

presentado métodos simplificados en base a ensayos de penetración estándar, apoyados en sus propias experiencias de campo y laboratorio. El programa DLICUA desarrollado en el Laboratorio Geotécnico del CISMID (Parra,1991) incluye estas metodologías simplificadas desarrolladas en los últimos años, realizando el análisis sistemático de los datos, lo que involucra el conocimiento de los siguientes parámetros:

1) Perfil estratigráfico del subsuelo, que incluye el tipo de suelo y la ubicación del nivel freático.

2) Las características de los estratos del subsuelo: densidad, contenido de finos, diámetro promedio de las partículas.

3) Los valores de la resistencia a la penetración estándar N, con la profundidad.

4) Los parámetros del sismo de diseño, es decir su magnitud (Ms) y la aceleración máxima en la superficie del terreno.

Los valores de q_c obtenidos en los sondajes CPT fueron convertidos a valores de resistencia a la penetración estándar N, según la correlación empírica propuesta por Robertson y Campanella (1983, 1985).

Para realizar esta evaluación se ha usado como sismo de diseño el terremoto del 4 de Abril de 1991, con una magnitud Ms de 7.2 en la escala de Richter. Debido a la carencia de un equipo acelerográfico en la zona, la aceleración máxima superficial se ha calculado a partir del estudio de riesgo sísmico para el Alto Mayo realizado por Alva et al (1991), en el cual se obtuvieron aceleraciones máximas en el basamento rocoso en función del período de retorno del evento. Este dato importante fue introducido en el programa EQPACK asumiendo un suelo blando desde el basamento hasta la superficie. Debido a la amplificación de las ondas en su trayecto ascendente se obtuvo una aceleración máxima superficial de 0.20 g, la cual se usó en la evaluación del potencial de licuación.

Con la información obtenida de los sondajes recopilados y ejectuados en este estudio, se efectuó el análisis simplificado de licuación en Moyobamba. En cada sondaje se aplicaron los métodos de Seed e Idriss; Tokimatsu y Yoshimi e Iwasaki y Tatsuoka, para un sismo de 0.20 g de aceleración máxima y magnitud Ms de 7.2, obteniéndose el factor de resistencia a la licuación (FRL) para cada método aplicado a cada nivel de ensayo de penetración estándar. En las Tablas 2 y 3 se presentan algunas salidas del programa DLICUA para los casos analizados.

En el sondaje analizado realizado en el sector Tahuishco, el análisis de licuación indica la ocurrencia del fenómeno a partir del nivel freático hasta los 8 m de profundidad. En el sector Azungue y la Quebrada Shango, de similares características geotécnicas, el análisis indica la ocurrencia de licuación desde la superficie hasta los 8 a 10 m de profundidad. En general, todos los casos analizados indican la ocurrencia de licuación de los estratos arenosos de estas zonas bajas de Moyobamba; ya sea por uno o más de los métodos aplicados, es decir para FRL menor que 1.

Como un análisis adicional se presenta en la Figura 6 los resultados de los ensayos triaxiales cíclicos llevados a cabo en el Laboratorio Geotécnico del CISMID, sobre muestras disturbadas obtenidas en la exploración de campo de los sectores Tahuishco y Azungue. Se puede apreciar resistencias cíclicas muy bajas, en concordancia con el análisis simplificado realizado.

La comparación de los resultados de este estudio, con la documentación del fenómeno ocurrido en Moyobamba durante los sismos pasados, indica que existe correlación entre las zonas donde se reporta licuación y el análisis realizado en los sondajes efectuados en estos mismos lugares. En consecuencia, los métodos simplificados de evaluación del potencial de licuación han sido validados con las evidencias del fenómeno durante los sismos del Alto Mayo.

CONCLUSIONES

1. Se ha realizado un buen número de sondajes en la ciudad de Moyobamba y se han recopilado algunos estudios existentes. Este banco de datos es de vital importancia para el conocimiento del subsuelo en el futuro desarrollo de la ciudad.

2. Los métodos simplificados de evaluación del potencial de licuación aplicados en Moyobamba, producen resultados semejantes. Es necesario conocer el perfil estratigráfico, características del subsuelo, nivel freático, resistencia a la penetración y el sismo de diseño para llevar a cabo el análisis.

3. Se ha realizado el análisis del potencial de licuación en las zonas bajas de Moyobamba para un sismo de Ms=7.2 y 0.20 g de aceleración máxima superficial. Los resultados del análisis confirman la documentación sobre la ocurrencia del fenómeno en terremotos pasados.

4. La metodología aplicada en este estudio es el resultado del trabajo iniciado por el CISMID en Chimbote algunos años atrás. Se propone la aplicación de esta metodología a otras ciudades del Perú, susceptibles a sufrir los efectos del fenómeno de licuación, para evaluar el potencial de licuación de suelos.

REFERENCIAS

- Alva Hurtado J.E., Medina E. y Huamán C. (1991), “Estudio de Peligro Sísmico del Alto Mayo”, Informe del CISMID, FIC, UNI, Lima, Perú.

- Cuadra C. y Chang L. (1991), “El Sismo de Moyobamba del 4 de Abril de 1991”, CISMID, FIC, UNI, Lima, Perú.

- Decourt L., Muromachi T., Nixon I.K., Schmertmann J.H., Thorburn S. y Zolkov E. (1988), “Standard Penetration Test Procedure”, Penetration Testing, ISSMFE, pp 27-51.

- Iwasaki T. (1986), “Soil Liquefaction Studies in Japan. State of the Art”, International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 5, Nº1, pp 2-68.

- Iwasaki T., Tatsuoka F., Tokida K. y Yasuda S. (1978), “A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan”, 5th Japan Symposium on Earthquake Engineering, November.

- Kuribayashi E. y Tatsuoka F. (1975), “ Brief Review of Soil Liquefaction During Earthquakes in Japan”, Soils and Foundations, Vol 15, Nº 4, pp 81-92.

- Lara J.L. (1992), “Microzonificación Sísmica de Moyobamba, Rioja y Soritor”, Tesis de Grado, FIC, UNI, Lima, Perú.

- Martínez Vargas A. (1969), “Geología y Geotecnia de Moyobamba y Alrededores después del Terremoto de 1968”, Laboratorio de Geología y Geomorfología Aplicada, FIC, UNI, Lima, Perú.

- Parra M. D. (1991), “Evaluación del Potencial de Licuación de Suelos en la Ciudad de Chimbote”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- Robertson P.K. y Campanella R.G. (1983), “Interpretation of Cone Penetration Test Part I: Sand”, Canadian Geotechnical Journal, Vol 20, pp 718-733.

- Robertson P.K. y Campanella R.G. (1985), “Liquefaction Potential of Sands Using the CPT, “Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol III, Nº 3, pp 384-403.

- Seed H.B., Idriss I.M. y Arango I. (1983), “Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 109, N°3, pp 481-485.

- Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L. y Chung R. (1985), “Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 111, N°12, pp 1445-1452.

- Seed H.B. y De Alba P. (1986), “Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands”, Use of Insitu Test in Geotechnical Engineering, ASCE, pp 281-302.

- Silgado E. (1978), “Historia de los Sismos más Notables Ocurridos en el Perú (1513-1974), Instituto de Geología y Minería, Nº 3, Serie C, Lima, Perú.

- Tokimatsu K. y Yoshimi Y. (1981), “Field Correlation of Soil Liquefaction with SPT and Grain Size”, International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, University of Missouri-Rolla, pp 203-208.

- Tokimatsu K. y Yoshimi Y. (1983), “Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content”, Soils and Foundations, Vol 23, N°4, pp. 56-74.

TABLA Nº 1

SONDAJE	ENSAYO	UBICACIÓN
P-1	CPT	C.E. 00494 – Sector Tahuishco
P-17	CPT	Jr. Moquegua – Sector Azungue
P-18	CPT	Jr. Miraflores – Sector Azungue
P-19	CPT	Jr. Sgto. Tejada – Quebrada Shango
SM-01	SPT	Caseta de Bombeo – Sector Azungue
SM-02	SPT	Colector – Sector Azungue
SM-03	SPT	Colector – Sector Azungue

TABLA N°2
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

SOLICITADO : CONCYTEC-JICA
PROYECTO : MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE MOYOBAMBA
FECHA : AGOSTO 1990

VALOR DE LA MAGNITUD : 7.2 Ms
ACELERACIÓN MÁXIMA : 0.20 g

SONDAJE : P-1 (CPT-1)
NIVEL FREÁTICO : 2.40 m.

PROFUNDIDAD (m.)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	DENSIDAD (Ton/m^3)	CONT. FINOS (%)	D(50) (mm)	VALOR N (gol / pie)	ESF. TOTAL (kg/cm^2)	ESF. EFECTIVO (kg/cm^2)	FRL 1 (S – I)	FRL 2 (T – Y)	FRL 3 (I – T)
1.00	SM	1.85	19.00	0.205	5	0.185	0.185	1.364	1.612	1.330
2.00	SC	1.80	37.00	0.170	7	0.365	0.365	1.646	2.266	1.529
3.00	SP – SM	1.90	10.00	0.270	2	0.555	0.495	0.358	0.920	0.651
4.00	SC	1.80	45.00	0.083	5	0.735	0.575	0.764	1.259	1.312
5.00	SM	1.85	26.00	0.190	3	0.920	0.660	0.503	0.911	0.739
6.00	SM	1.85	26.00	0.190	3	1.105	0.745	0.470	0.862	0.692
7.00	SP – SM	1.90	10.00	0.270	11	1.295	0.835	0.929	1.164	0.942
8.00	SP	1.90	4.00	0.300	17	1.485	0.925	1.062	1.114	1.063

TABLA N°3
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

SOLICITADO : CONCYTEC-JICA
PROYECTO : MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE MOYOBAMBA
FECHA : JULIO 1990

VALOR DE LA MAGNITUD : 7.2 Ms
ACELERACIÓN MÁXIMA : 0.20 g

SONDAJE : P-17 (CPT-17)
NIVEL FREÁTICO : **1**.70 m.

PROFUNDIDAD (m.)	CLASIFICACIÓN (SUCS)	DENSIDAD (Ton/m^3)	CONT. FINOS (%)	D(50) (mm)	VALOR N (gol / pie)	ESF. TOTAL (kg/cm^2)	ESF. EFECTIVO (kg/cm^2)	FRL 1 (S – I)	FRL 2 (T – Y)	FRL 3 (I – T)
1.00	SM	1.85	20.00	0.192	3	0.185	0.185	0.907	1.293	1.122
2.00	SM	1.85	29.00	0.157	2	0.370	0.340	0.601	1.115	0.950
3.00	SC	1.80	33.00	0.147	1	0.550	0.420	0.537	0.876	0.672
4.00	SC	1.80	16.00	0.530	4	0.730	0.500	0.564	0.879	0.439
5.00	SM	1.80	20.00	0.200	5	0.910	0.580	0.633	0.903	0.789
6.00	SM	1.80	20.00	0.200	7	1.090	0.660	0.764	0.977	0.848
7.00	SP – SM	1.80	11.00	0.270	8	1.270	0.740	0.685	0.896	0.759
8.00	SP – SM	1.80	11.00	0.270	7	1.450	0.820	0.564	0.816	0.690
9.00	SM	1.80	21.00	0.200	8	1.630	0.900	0.730	0.932	0.804
10.00	SM	1.80	21.00	0.200	10	1.810	0.980	0.847	1.042	0.860

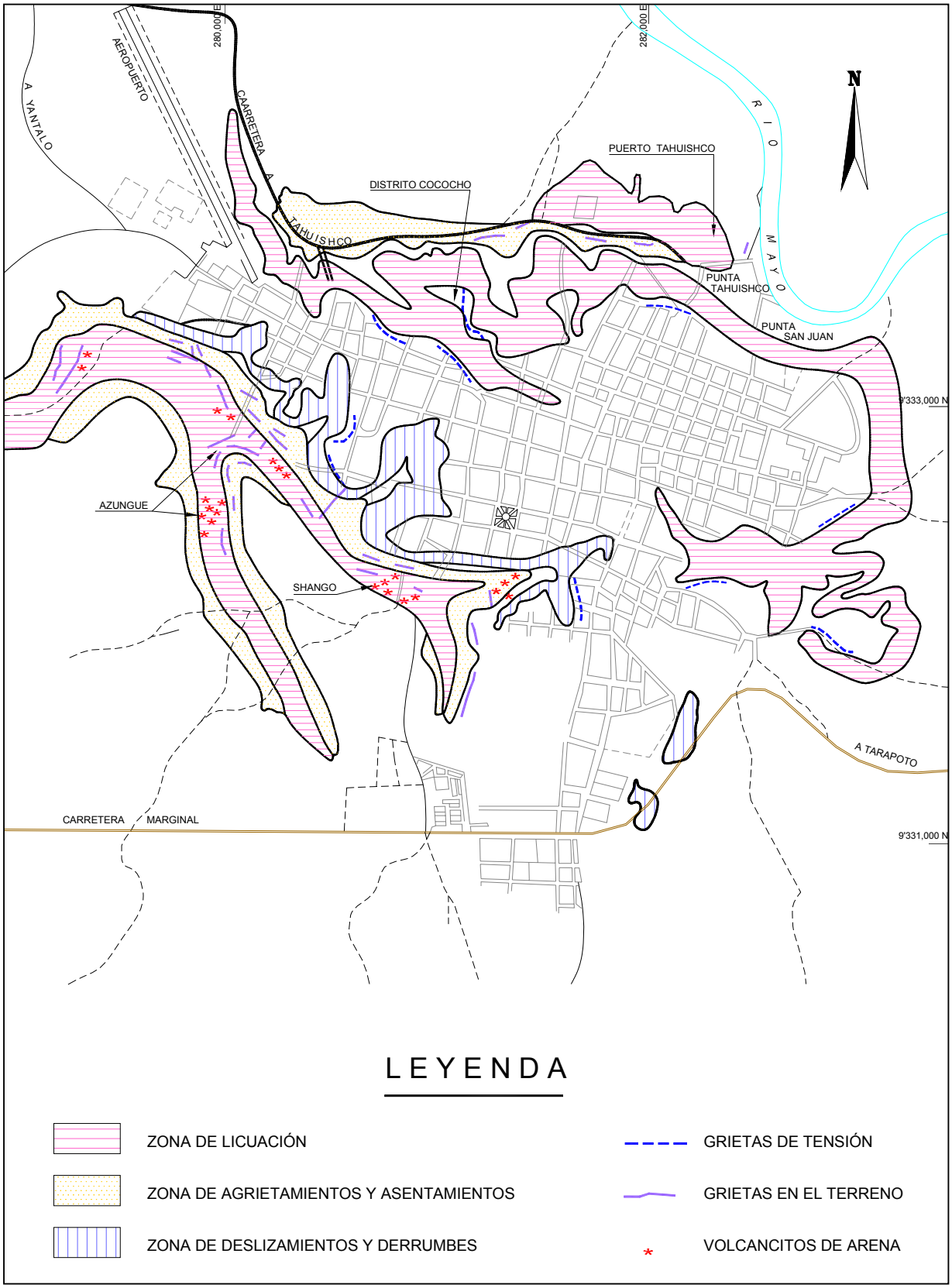

Figura 1.- Efectos Sísmicos en el Terreno en Moyobamba

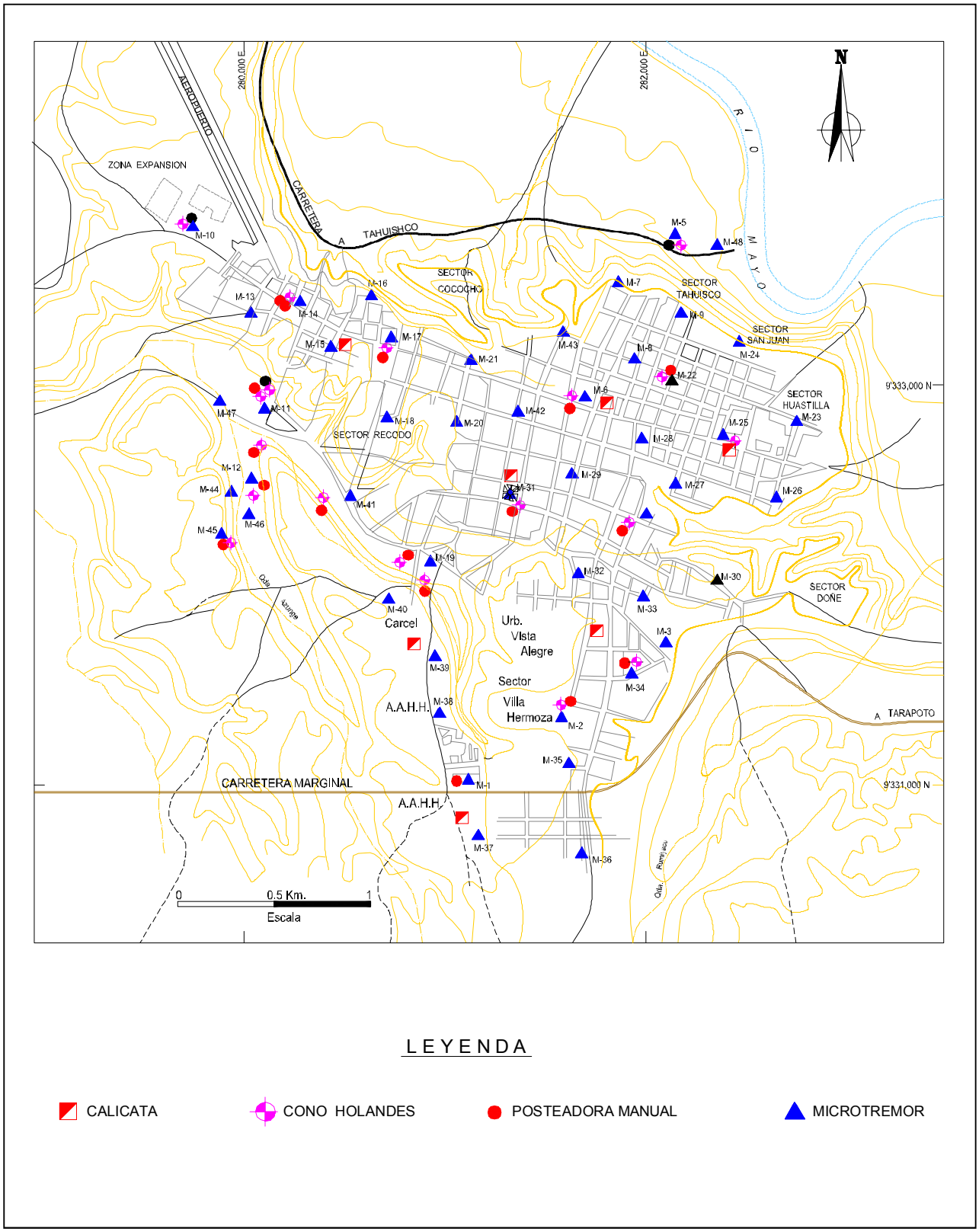

Figura 2.- Ubicación de Sondajes y Microtremor en Moyobamba

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnica

REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : CISMID - JICA
PROYECTO : Microzonif. Sismica de Moyobamba
UBICACION : Sector Tahuishco (C.E. 00494)

SONDAJE : P-1 (CPT-1)
FECHA : 15-07-90
OPERADOR : Tec. Roger Zumarán

TIPO DE SONDAJE : CPT y Posteadora Manual
PROFUNDIDAD N.F. : 2.40 m.

Profund. (m.)	Espesor (m.)	Estrato (m.)	Muestras Obtenidas	PRUEBAS DE CAMPO D. N. (gr/cc)	PRUEBAS DE CAMPO H. N. (%)	Simbología Gráfica	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	Profund. (m.)	NUMERO DE GOLPES/PIE
1:15	1.15		M-1		12.9		SM	Arena llmosa con lentes alslados de arcilla marrón oscura.No plastico; humeda y suelta. 19% de flnos.	1.00	
1.85	0.70		M-2		17.2		SC	Arena arcillosa marrón claro; grumos de arclla plastlca. Humeda y suelta, 3% de gravas y 37% de finos.	1.45	N = 5
2.05			M-3		20.3		SM	Arena limosa marrón claro; húmeda y suelta. 16% de flnos.	2.00	
					34.6		SP-SM	Arena limosa marrón claro con gravillas angulosas negras.Saturada y muy suelta. 4% de grava flna y 10% flnos.	2.45	N = 7
3.10	1.80		M-4						3.00	
3.65			M-5		22.2		SM	Arena limosa marrón con gravillas, saturada y suelta. 27% de flnos.	3.45	N = 2
4.40	0.75		M-7		16.6		SC	Arena arcillosa marrón oscuro. Plasticidad medla; saturada y suelta. 49% de flnos. IP=35%.	4.00	
									4.45	N = 5
									5.00	
					21.0		SM	Arena llmosa marrón claro; no plastlco. Saturada y suelta- 26% de finos.	5.45	N = 3
	2.80		M-8						6.00	
6.80									6.45	N = 3
7.20			M-9		28.0		SP-SM	Arena limosa marrón claro con gravas finas angulosas. Saturada y poco densa Contiene 10% finos.	7.00	
8.00	0.80		M-10		23.0		SP	Arena fina mal graduada con gravillas subredondeadas. Saturada. Contiene 4% de finos.	7.45	N = 11
									8.00	
									8.45	N = 17

ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

GRAFICA DE N

0 10 20 30 40 50 60

Figura 3.- Registro de Sondaje en Tahuishco

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CISMID - Laboratorio Geotécnica

REGISTRO DE SONDAJES

SOLICITADO : CISMID - JICA
PROYECTO : Microzonif. Sismica de Moyobamba
UBICACION : Sector Azungue

SONDAJE : P-17 (CPT-17)
FECHA : 23-07-90
OPERADOR : Tec. Roger Zumarán

TIPO DE SONDAJE : CPT y Posteadora Manual
PROFUNDIDAD N.F. : 1.30 m.

Profund. (m.)	Espesor (m.)	Estrato (m.)	Muestras	Obtenidas	PRUEBAS DE CAMPO D. N. (gr/cc)	PRUEBAS DE CAMPO H. N. (%)	Simbología	Grafica	CLASIF. (SUCS)	DESCRIPCION DEL MATERIAL	Profund. (m.)	NUMEROS DE GOLPES/PIE	ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR GRAFICA DE N (0 10 20 30 40 50 60)
0.55			M-1			14.9			SM	Arena limosa pardo plomizo. No plástico; húmeda y muy suelta, 20% de finos.			
	2.00		M-2			16.6			SM	Arena limosa color pardo oscuro; no plástica. Húmeda y muy suelta. 24% de finos.	1.00		
1.30											1.45	N = 3	
			M-3			18.7			SM	Arena limosa pardusca; no plástica. Saturada y muy suelta. 29% de finos			
2.00											2.00		
			M-4			18.6			SC	Arena arcillosa parda rojisa. Mediana plásticidad Saturada y muy suelta. 34% de finos.	2.45	N = 2	
2.50											3.00		
	2.40		M-5			23.3			SC	Arena arcillosa rojiza. Mediana plasticidad. Saturada y muy suelta. 33% de finos.	3.45	N = 1	
3.80											4.00		
			M-6			20.1			SC	Arena arcillosa pardo rojizo de baja pálsticidad. Saturada y muy suelta. 16% de finos.	4.45	N = 4	
4.40											5.00		
			–						SM	Arena limosa de grano medio a fino. Color amarillento. Saturada y suelta. 20% de finos.	5.45	N = 5	
											6.00		
6.60											6.45	N = 7	
			–								7.00		
	5.60								SP-SM	Arena media a fina; poco limosa color amarillo claro; saturada. Contiene 11% de finos.	7.45	N = 8	
											8.00		
8.30											8.45	N = 7	
			–						SM	Arena limosa color amarillo claro. Saturada y de densidad media. Contiene 21% de finos.	9.00		
											9.45	N = 8	
											9.55		
10.00											10.00	N = 10	

Figura 4.- Registro de Sondaje en Azungue

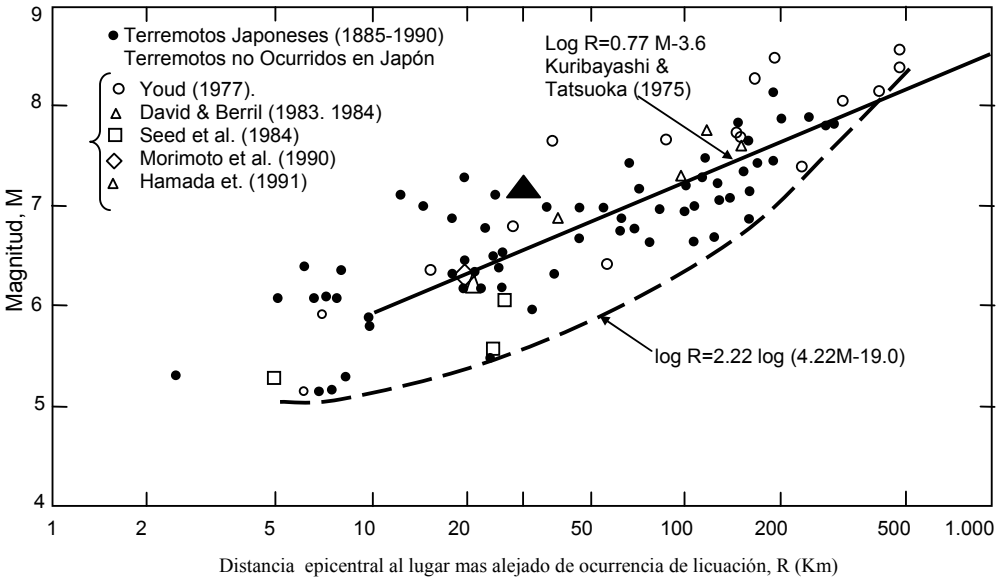

Figura 5.- Distancia Epicentral al lugar más alejado de Licuación, R en Km para magnitud M.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CISMID – Laboratorio Geotécnico

EQUIPO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CICLICO
ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

SOLICITADO : CISMID –UNI
PROYECTO : ENSAYOS DE LICUACION –MOYOBAMBA
UBICACIÓN :
FECHA : AGOSTO 1991

SONDAJE : SA-1 Y SA-4
MUESTRA :
PROF. (nf) :
CLASIF. (SUCS) :

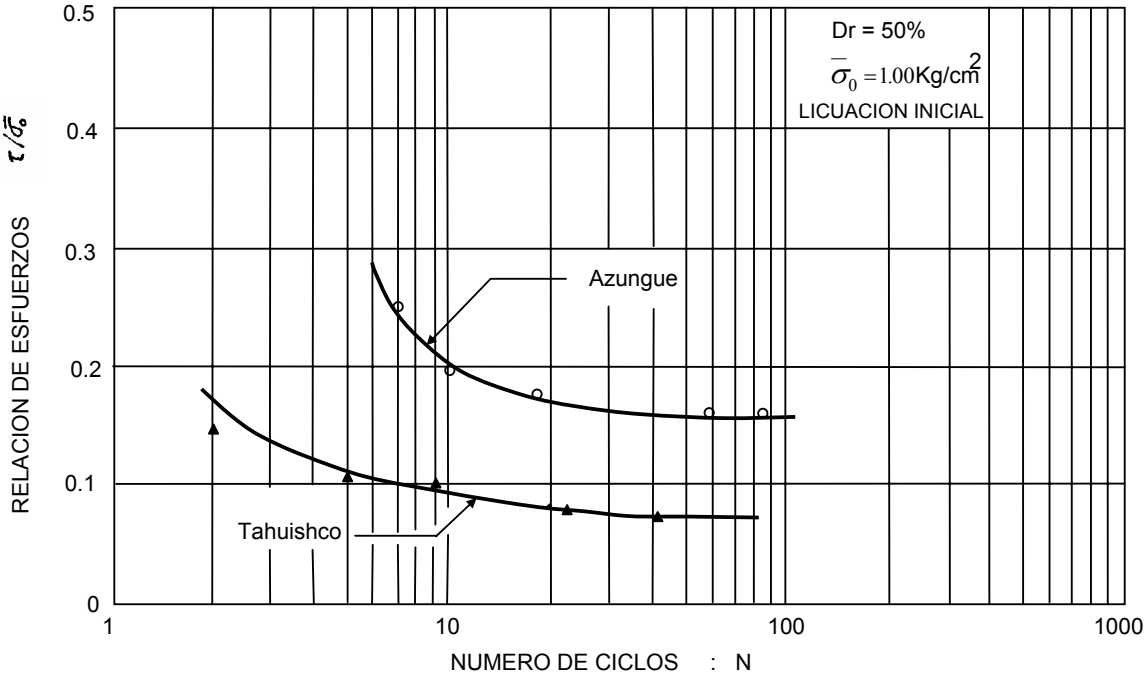

Figura 6.- Resultados de Ensayos Triaxiales Cíclicos