

# Corrimientos dentro del subsuelo lacustre de la cuenca de México

Jaime Durazo  
Instituto de Geofísica. UNAM  
México D. F., MEXICO

Recibido: 10 de febrero, 1994; aceptado: 30 de mayo, 1994.

## RESUMEN

Dentro de los sedimentos lacustres someros de la cuenca de México pueden ocurrir corrimientos horizontales detectables. Los indicios son las obstrucciones generalizadas a la misma profundidad (principalmente entre 5 y 10 m) en conjuntos de piezómetros de tubo flexible, documentadas en 18 sitios. Las obstrucciones se detectaron con un cable. El trabajo de campo se realizó días después del sismo del 19 de septiembre de 1985 ( $M_s = 8.1$ ). La obstrucción generalizada no se explica por la subsidencia del terreno y podría relacionarse con el comportamiento sísmico general de la cuenca.

**PALABRAS CLAVE:** Corrimiento de estratos, subsidencia del terreno, sismos, piezómetros.

## ABSTRACT

Detectable horizontal differential displacements can occur in the shallow lake sediments in the basin of Mexico. The clue is generalized obstruction at the same depth (mainly between 5 to 10 m) in flexible-tube piezometers, documented at 18 different sites. Obstructions were detected by means of a cable. Field work was done a few days after the September 19, 1985 earthquake ( $M_s = 8.1$ ). The generalized obstruction cannot be explained by land subsidence but could be related to the general seismic behavior of the basin.

**KEY WORDS:** Strata displacement, land subsidence, earthquakes, piezometers.

## 1. INTRODUCCION

Un piezómetro se compone de una manguera instalada verticalmente en el subsuelo para medir las presiones de poro del punto donde está instalado, y el nivel del agua subterránea (Juárez y Rico, 1989). En la cuenca de México (la Cuenca), los piezómetros están instalados en 126 estaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Cada estación es un conjunto de cuatro o más piezómetros en un mismo sitio, con mangueras que alcanzan distintas profundidades, principalmente entre 10 y 60 m.

Se midieron los niveles del agua y las obstrucciones de la manguera de los piezómetros en 56 estaciones de la Cuenca. Se utilizó un cable. El procedimiento es rutinario; empero, para la CNA sólo los niveles del agua han sido objeto de medición sistemática. El trabajo de campo se realizó días después del sismo del 19 de septiembre de 1985 [ $M_s = 8.1$ ;  $m_b = 7.0$  (Anderson *et al.*, 1986)]. Los niveles del agua están incluidos en el Boletín de Mecánica de Suelos No 10 (1991) de la CNA; las obstrucciones fueron reportadas en Durazo (1993).

Las estaciones emplazadas en terrenos lacustres siempre presentaron obstrucciones. Esto se debe a la deformación de las mangueras ocasionada por la consolidación del terreno. Sin embargo, en ciertas estaciones que llamaremos OIP, las obstrucciones se presentaban en forma generalizada y sistemática: todas las mangueras estaban obstruidas a la misma profundidad. Las 18 estaciones OIP se presentaron principalmente en áreas de fuerte respuesta sísmica. La profundidad de la obstrucción generalizada fue diferente para cada estación, ocurriendo entre 2 y 55, y especialmente entre

5 y 10 m. Estos resultados podrían indicar pequeños desplazamientos horizontales dentro del subsuelo.

## 2. AREA ESTUDIADA

El área estudiada (Figura 1) se localiza en la cuenca endorréica de México, de 7,761 km<sup>2</sup> de extensión, y principalmente en sus partes bajas. Estas definen una planicie lacustre de 1,431 km<sup>2</sup> y altitud entre 2,230 y 2,250 m sobre el nivel del mar, drenada artificialmente hacia fuera de la Cuenca (actualmente se drena cerca de 50 m<sup>3</sup>/s). En la planicie se localiza parte del área metropolitana de la ciudad de México (16 millones de habitantes; superficie urbana de 1,300 km<sup>2</sup> en 1994). La plaza principal de esta ciudad se conoce como el Zócalo.

La cuenca sedimentaria asociada al área estudiada es de origen volcánico. Su basamento consiste de calizas marinas sepultadas a un nivel cercano al nivel del mar (Vázquez y Jaimes, 1989). La respuesta sísmica de la cuenca sedimentaria es resonante, con efectos marcados de amplificación de las ondas en ciertas áreas de la planicie lacustre (Chávez, 1993).

Cerca del Zócalo la estratigrafía es la siguiente. De 0 a 80 m: arcilla, limos y arena; de 80 a 500 m: limos, arena compacta, arenisca y caliza lacustre; de 500 a 1,980 m: tobas, rocas ígneas, brechas y conglomerados; y de 1,980 a 2,050 m: margas, arcillas y anhidritas (Romo *et al.*, 1988). Los estratos someros muestran intercalaciones de capas duras y pumicita (Figura 2). Comparadas con otras arcillas continentales, las de la Cuenca son extraordinarias por su alto contenido de agua y gran deformabilidad (Marsal y Mazari, 1969).

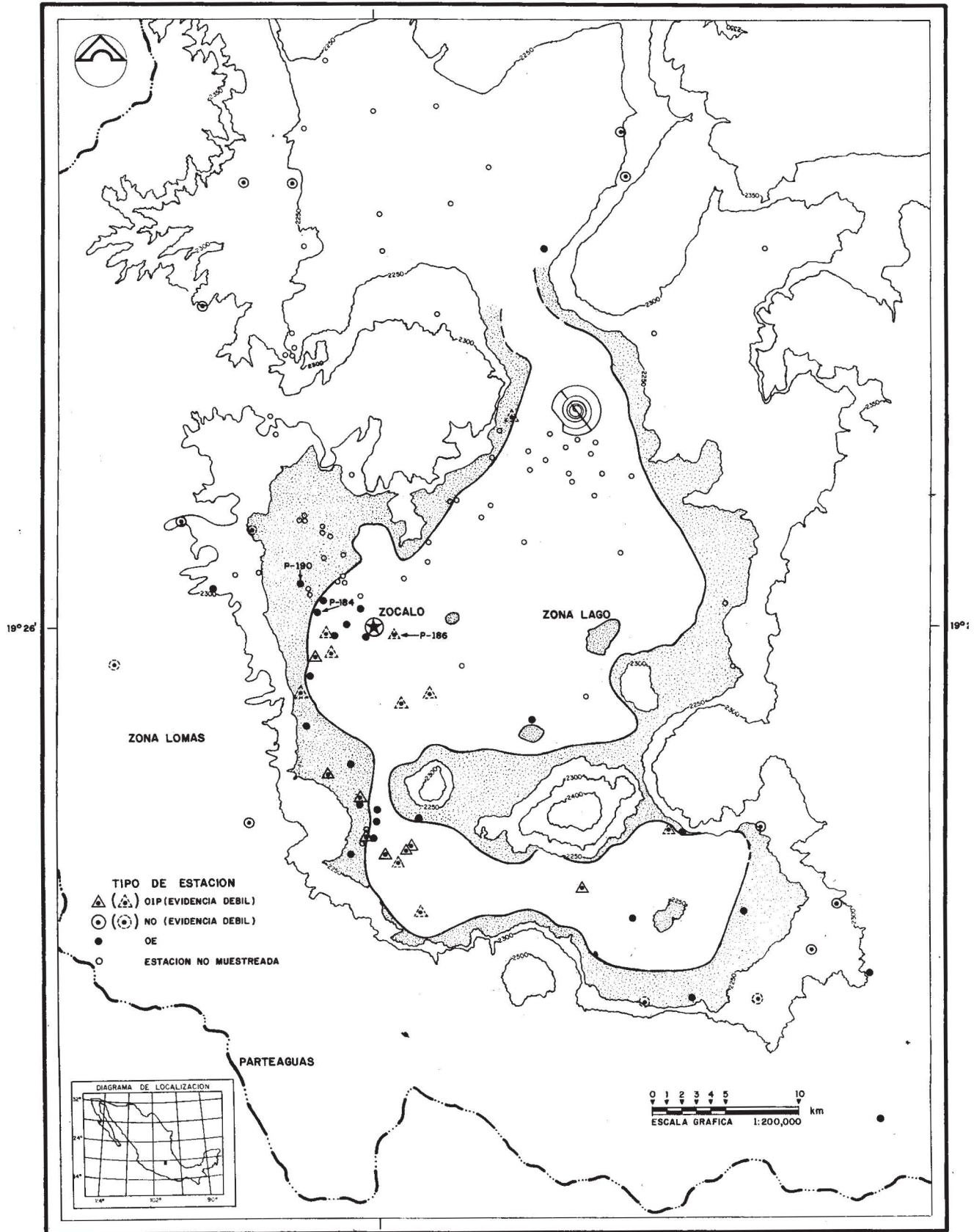


Fig. 1. Red de estaciones de piezómetros de la Comisión Nacional del Agua en la cuenca de México y patrones de obstrucción detectados del 26 de septiembre al 4 de octubre de 1985. (Plano base: CH-G-1022; SRH-CHCVM. Zonificación: Marsal y Mazari, 1969).



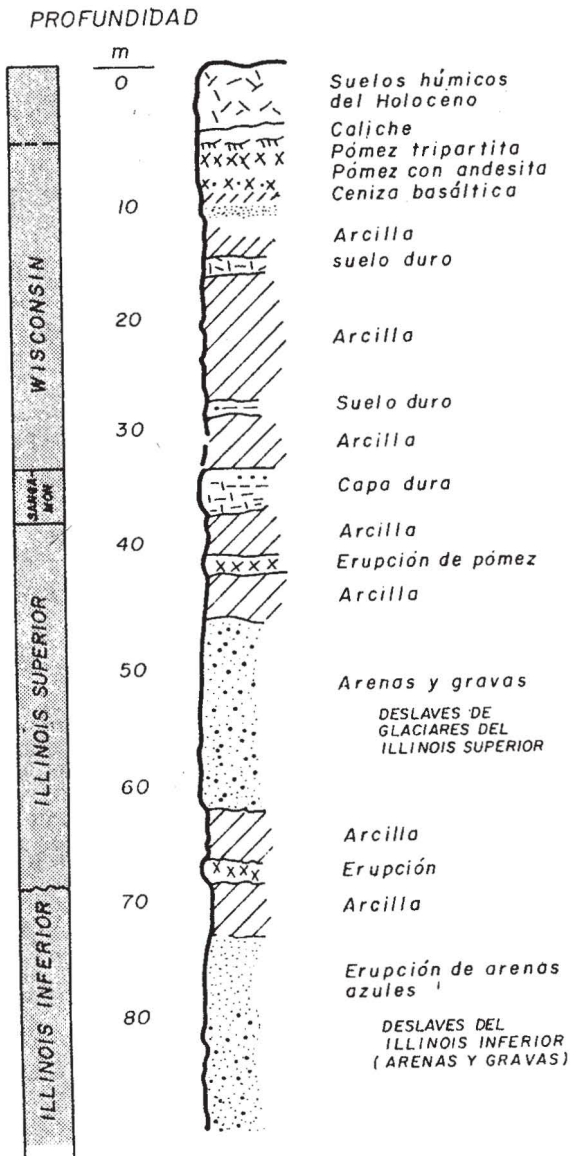


Fig. 2. Estratificación de los sedimentos someros en la zona lacustre cercana al Zócalo. (En: Santoyo y Gutiérrez, 1991).

La presión antropogénica sobre el ambiente fue y es intensa. Debido a la extracción de agua subterránea local (55 m<sup>3</sup> /s en 1989, casi el triple de la recarga natural), la planicie lacustre se ha hundido hasta 10 m durante este siglo. Actualmente, la velocidad promedio de subsidencia es 7.2 cm/año (Sahab, 1989), con un máximo de 1 cm/semana hacia el extremo SE (Ortega *et al.*, 1993). La planicie (zonas lacustre y de transición) está rodeada por lomas que no se hunden.

### 3. PATRONES DE OBSTRUCCION

Una estación de piezómetros se construye sobre una perforación donde se alojan varios piezómetros a profundidades diferentes (Figura 3). En la Tabla 1 se muestran las características relevantes de las estaciones examinadas. Para la localización urbana de las estaciones y las litologías con-

súltese el Boletín de Mecánica de Suelos No 10 (1991) de la CNA.

Tabla 1

Características generales de las estaciones de piezómetros flexibles (adaptada del Boletín de Mecánica de Suelos No 10. CNA, 1991)

Muestreo:	del 26 de septiembre al 4 de octubre de 1985
Diseño:	(véase Figura 3)
Estaciones muestreadas:	56 de 126
Localización:	75% en las zonas lacustre y de transición
Fechas de construcción:	82% entre 1950 y 1963
Piezómetros por estación (prom.):	4.2
Profundidad de los piezómetros:	75% ente 10 y 60 m

El procedimiento para detectar obstrucciones en las mangueras de los piezómetros fue el siguiente. Se utilizó un cable coaxial de 1/8" de diámetro. Al irlo introduciendo, el operador siente el aumento paulatino del peso del cable. A cierta profundidad el aumento del peso cesa abruptamente. Se mide la longitud introducida. Cuando no hay obstrucción, la medida debe indicar que se tocó fondo a la profundidad máxima del piezómetro. La medida fue reproducible a  $\pm 0.1$  m ( $1\sigma$ ). Hubo pocos casos donde la manguera presentaba estrechamientos. Allí la medida fue más imprecisa. La elongación del cable por su propio peso fue insignificante (0.3% a 25 °C).

Piedritas, insectos y otros objetos se pueden alojar en las mangueras y obstruirlas; además, en el fondo del tubo se asientan polvo y residuos. En ninguno de estos casos se alteran los niveles del agua y los piezómetros continúan funcionando normalmente. Hay casos en que un piezómetro inesperadamente indica niveles erráticos y/o se seca; supuestamente, la manguera se rompió y fue tapada por el material del entorno. Cuando la manguera se seca, la CNA clausura el piezómetro correspondiente.

De acuerdo con el patrón de las obstrucciones del agregado de mangueras, se distinguen tres tipos de estación (Figura 4):

- Estaciones Tipo OE: obstrucción irregular o que no afecta a todas las mangueras;
- Estaciones Tipo NO: ninguna manguera obstruida; y
- Estaciones Tipo OIP: todas las mangueras obstruidas a la misma profundidad.

La asignación de tipo implica cierta arbitrariedad e imprecisión. En la Tabla 2 se presentan ejemplos de estaciones tipificadas OE y NO; los valores excepcionales se resaltaron en *negritas*. El formato allí y en tablas poste-

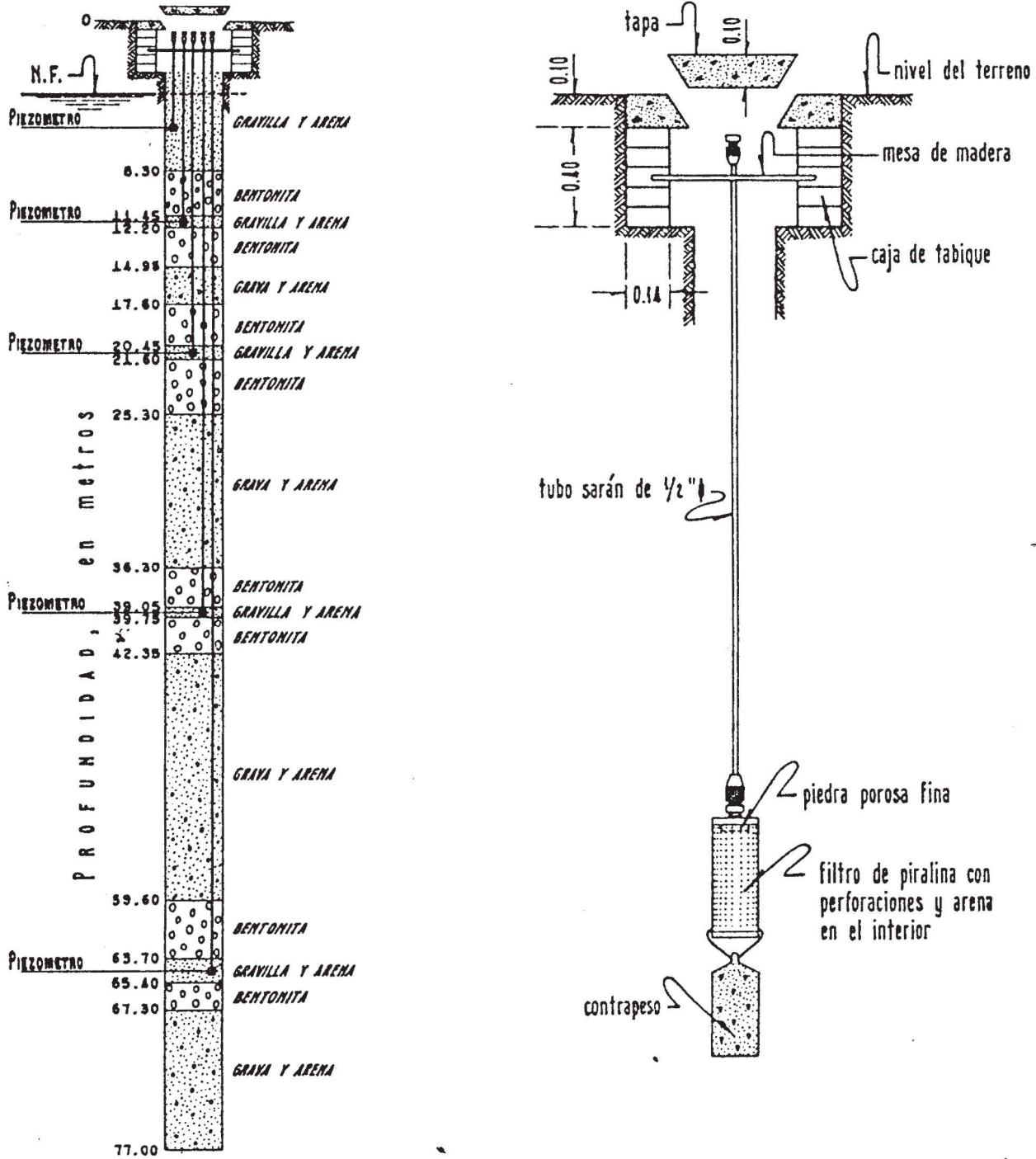


Fig. 3. Estación y piezómetros. (Boletín de Mecánica de Suelos No. 10, 1991.

riores se explica con el ejemplo de la estación 519-Ixtapaluca.

Esta estación se construyó en enero de 1960 y se midió el 28 de septiembre de 1985. La estación tiene un piezómetro que llega a 20 m de profundidad, que resultó obstruido a 9.0 m; otro piezómetro que llega a 28 m estaba obstruido a 27.7 m; otro piezómetro a 38 m estaba obstruido a 37.5 m; etc. Cuatro de las siete medidas se interpretaron

como si las mangueras no estuvieran obstruidas; las restantes estuvieron obstruidas. Sin embargo, esta estación fue clasificada como tipo NO, pero se señala como dudosa en la Figura 1.

#### 4. RESULTADOS

Después del macrosismo del 19 de septiembre de 1985, se efectuó el muestreo de 56 de las 126 estaciones de la

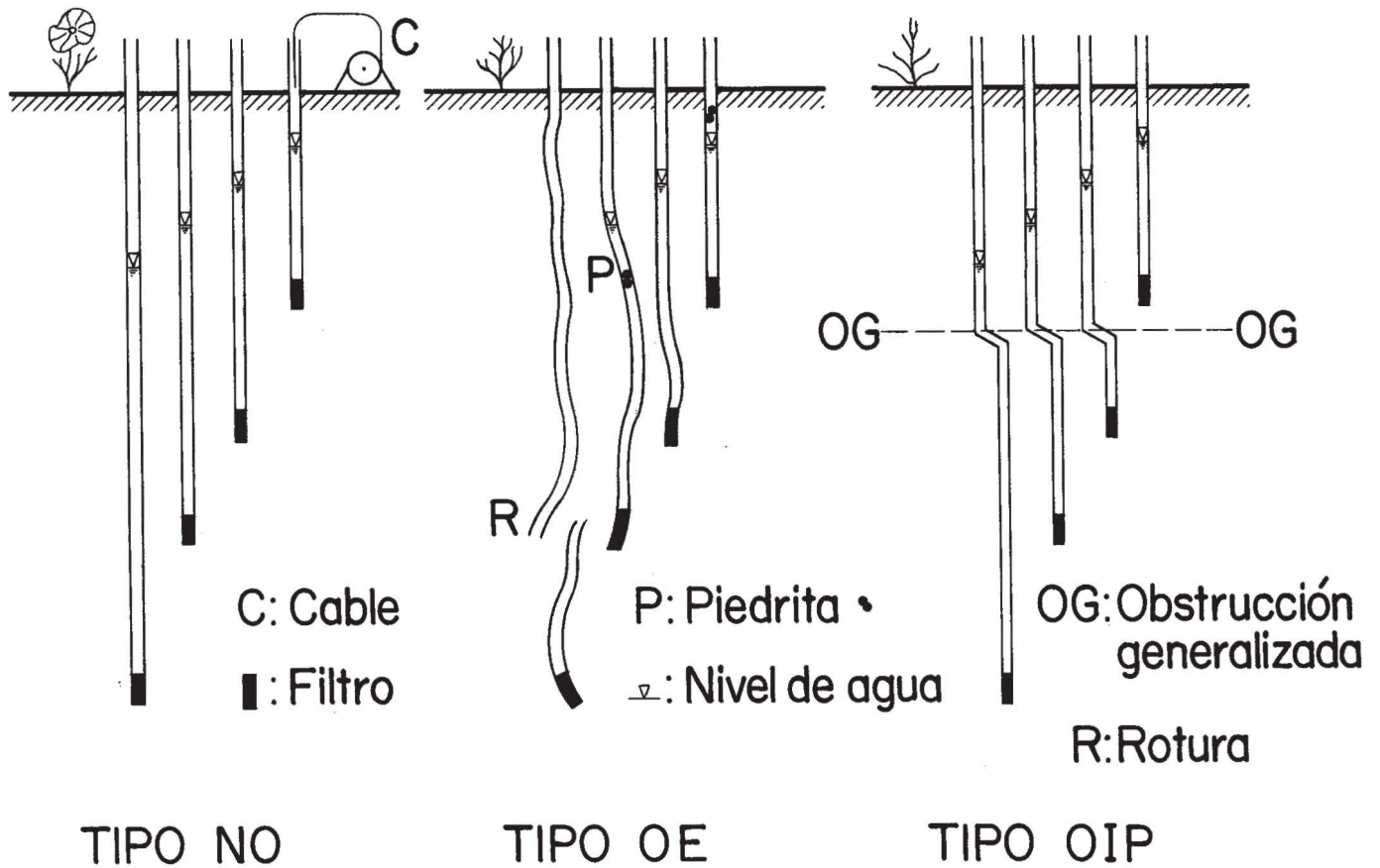


Fig. 4. Tipificación de las estaciones según el patrón de obstrucción de las mangueras de sus piezómetros.

Tabla 2

Ejemplos selectos de estaciones tipos OE y NO. (Fuente: Durazo, 1993)

Identificación de la CNA.	Fecha de muestreo (fecha de construcción)	Piezómetros						
		Profundidad de la obstrucción (Profundidad del piezómetro)						
<b>• Estaciones Tipo OE:</b>								
407 Hilos Escocia	270985 (0355)	1.5 (4)	10.5 (12)	10.5 (22)	<2 (32)	9.9 (42.5)	<3 (60)	
184-2 San Fernando	260985 (0752)	2.8 (4)	10.6 (15)	9.8 (34.6)	10.1 (81.5)	6.2 (101)		
<b>• Estaciones Tipo NO:</b>								
527 Ozumba	031085 (0260)	9.9 (10)	14.9 (15)	20.6 (22)	24.0 (25)			
519 Ixtapaluca	280985 (0160)	9.0 (20)	27.7 (28)	37.5 (38)	43.1 (46)	55.0 (58)	63.7 (66)	72.1 (78)

Cuenca para documentar las áreas de alto daño sísmico visible y, como control, otras áreas de respuesta sísmica atenuada. Se cubrió principalmente el centro-oeste y el sur de la Cuenca. El muestreo se limitó a piezómetros de mangueras flexibles. Las mediciones no se repitieron desde entonces.

Los resultados se presentan en la Figura 1. La Tabla 3 contiene los datos de profundidad de obstrucción en todas las estaciones OIP. En la Tabla 4 y la Figura 5 se presenta la evolución de las obstrucciones para los años 1970, 1981 y 1985, en tres estaciones ubicadas en terreno en subsidencia.



Tabla 3  
Estaciones de piezómetros tipo OIP

Estación N°	Fecha de muestreo (fecha de construcción)	P I E Z O M E T R O S							
		Profundidad de la obstrucción (en metros) (Profundidad del piezómetro)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
540 Tultepec	280985 (0163)	5.2[4.7] (6)	~14.2[14.1] (25)	~13.8[14.8] (32)	~14.9 (40)				
504 Chaparritas El Naranjo	011085 (0159)	2.7 (5)	14.5 (15)	26.3 (30)	25.9[25.9] (44)	10.3 (54)	25.8 (75)		
332 Lab. Lederle	011085 (0954)	5.0 (5)	10.5 (11)	10.5 (19.6)	10.5 (31.3)	10.5 (40)	10.5[10.4] (53.8)		
208 Monumento a la Madre	260985 (1052)	3.7 (4)	10.3 (13)	10.3 (30.7)	10.2 (39.9)	10.3 (51.4)			
243 Parque España	270985 (0463)	4.1 (4.2)	9.1 (14)	9.0 (29)	9.0 (35.8)	9.1 (45.6)	9.1 (54.8)	9.0 (63)	9.0 (70.4)
198 Coyoacán Jardín	290985 (1052)	6.7 (7)	9.9 (10.1)	14.1 (17)	14.2 (28)	14.2 (50.4)	14.2 (75.4)	14.2 (90)	
560-1 Xochimilco	290985 (0668)	29.7 (30)	54.1 (61)	55.6 (80)	54.1 (97)	55.6 (110)	55.6 (125)	55.6 (151)	
495 Juan Aja (PREPA 5)	300985 (0358)	5.7 (5.8)	7.5 (17)	7.4 (29)	7.5 (38)	7.6 (46)	7.5 (57)		
268-3 Xotepingo-Jardín	300985 (1053)	4.8 (5)	9.6 (11)	9.6 (15)	9.3 (19)	9.6 (24)	9.6 (41)		
456 Sucesores Gutiérrez	300985 (0756)	2.4 (5)	2.2 (13)	10.6 (23)	2.2 (31.5)	2.2 (38)	2.3 (57)		
493-1 Hernández Arrieta	300985 (0358)	2.8 (3)	5.6 (14)	5.8 (25)	5.6 (33)	5.8 (40)	5.9 (60)		
443 Ron Castillo	011085 (0356)	3.7 (3.5)	5.1 (14)	5.4 (24)	5.4 (44)	5.4 (60)			
539 Tláhuac	021085 (0763)	4.7 (7)	4.6 (18)	4.6 (31)	4.6 (42)	4.6 (56)	4.6 (69.5)		
501 Pepsi Cola Vega	041085 (0159)	14.1 (25)	15.3 (60)						
202 Ixtacalco	041085 (1052)	5.0 (4)	7.6 (16)	4.3 (25)	7.1 (50)	7.8 (68)			
240 Juanacatlán y Nuevo León	041085 (0453)	4.5 (4.5)	9.5 (9.9)	9.5 (15.9)	7.7 (25.9)	7.7 (36.1)	7.7 (44.9)	7.7 (59)	
186 Gran Canal	290985 (0652)	4.4 (5)	13.3[13.4] (13.2)	~12.6 (24.7)	~12.9 (35.4)	~14.0 (55.9)	~11.9 (78.9)		
477-2 Ayotla No. 2	280985 (0357)?	7.4 (2)?	~30 (38)	~14.9 (45)	~35 (51)	~25 (64)	~30 (75)		

[ ]: Medidas recuperadas de la bitácora de campo, efectuadas con anterioridad al 19 de septiembre de 1985.

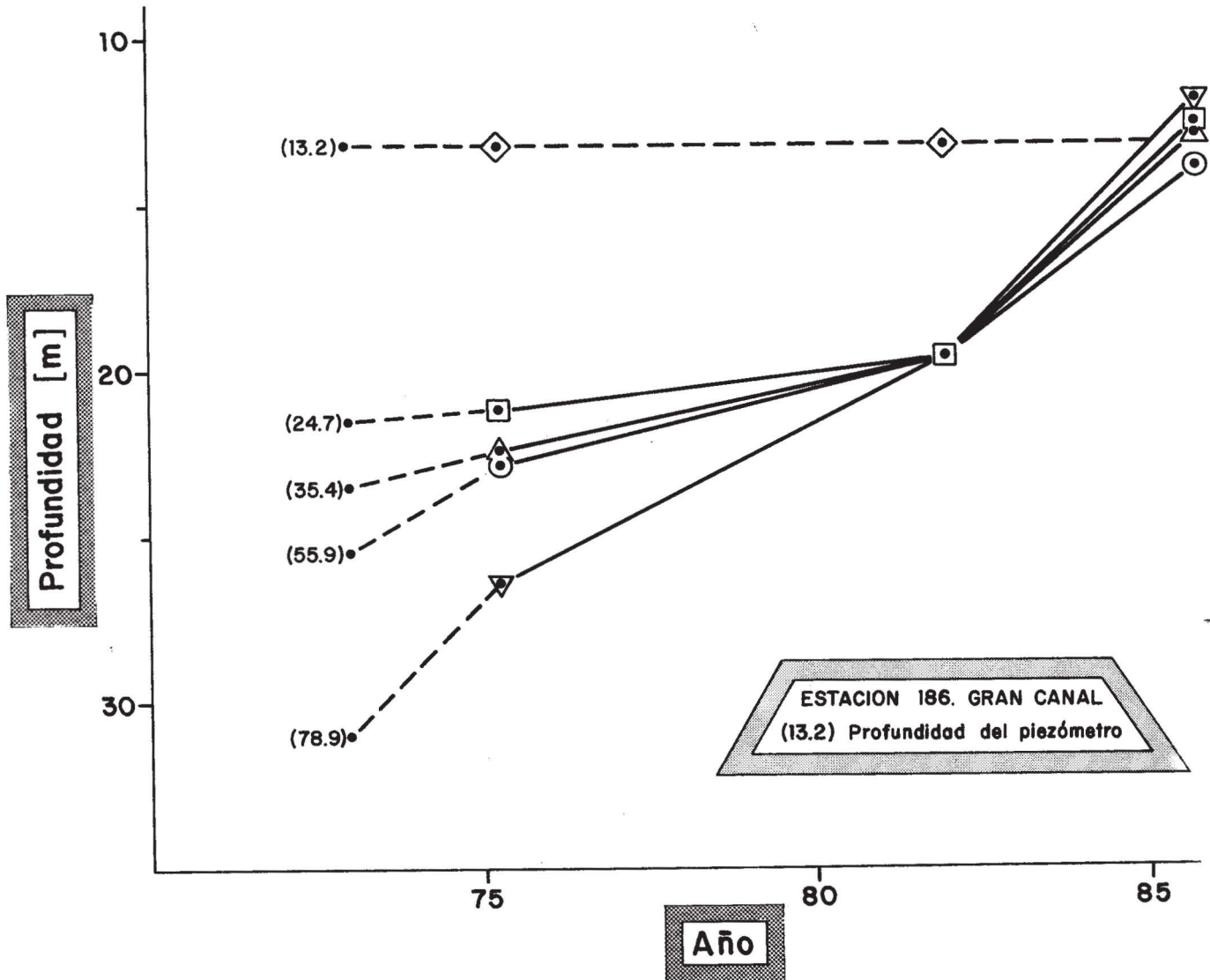


Fig. 5. Evolución de las obstrucciones de los piezómetros en una estación en la zona lacustre. (Fuente: Gerencia de Estudios de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Comisión Nacional del Agua. México, D. F., marzo 1993).

## 5. DISCUSION

Las mangueras no fueron rotas por el sismo del 19 de septiembre de 1985, ni por los sismos posteriores. Los piezómetros han seguido funcionando normalmente hasta hoy día [Boletín de Mecánica de Suelos No 10 (1991) de la CNA].

Las obstrucciones ocurrieron, sin excepción, en los terrenos en subsidencia (zonas lacustre y de transición; Figura 1). El patrón de obstrucción generalizada y sistemática (18 estaciones OIP) fue exclusivo de estos terrenos. El patrón de inalterabilidad (15 estaciones NO) fue una característica exclusiva de la zona de lomas. Por su parte, las obstrucciones irregulares (23 estaciones OE) se presentaron en ambas clases de terreno.

En terrenos que se hundean, como regla, emergen del subsuelo las columnas de los pozos (Boletín de Mecánica de Suelos No 10; CNA, 1991) y los piezómetros de tubo

rígido (comunicación personal de D. Arcos, CNA. Abril, 1993). Algunos pozos viejos han surgido más de 5 m. Los piezómetros de manguera flexible tienen instalados cerca de cuatro decenios (Tabla 1) y no hay evidencia de surgencia. Se concluye que las mangueras están pandeadas, con alta probabilidad de estar obstruidas por efecto del asentamiento.

Las obstrucciones ocurren en las mangueras flexibles desde antes del sismo del 19 de septiembre de 1985. La descripción siguiente se refiere a la evolución de los patrones de obstrucción en las estaciones donde se dispone de información previa.

- La estación 184-San Fernando (Figura 1; Tabla 4) fue construida en 1952. Se informa de dos obstrucciones en 1977. Para 1981 todos los piezómetros estaban obstruidos, siguiendo un patrón OE que se conservó hasta que fué documentada por este estudio. Los dos últimos conjuntos de medidas parecen indicar que el sismo del 19 de

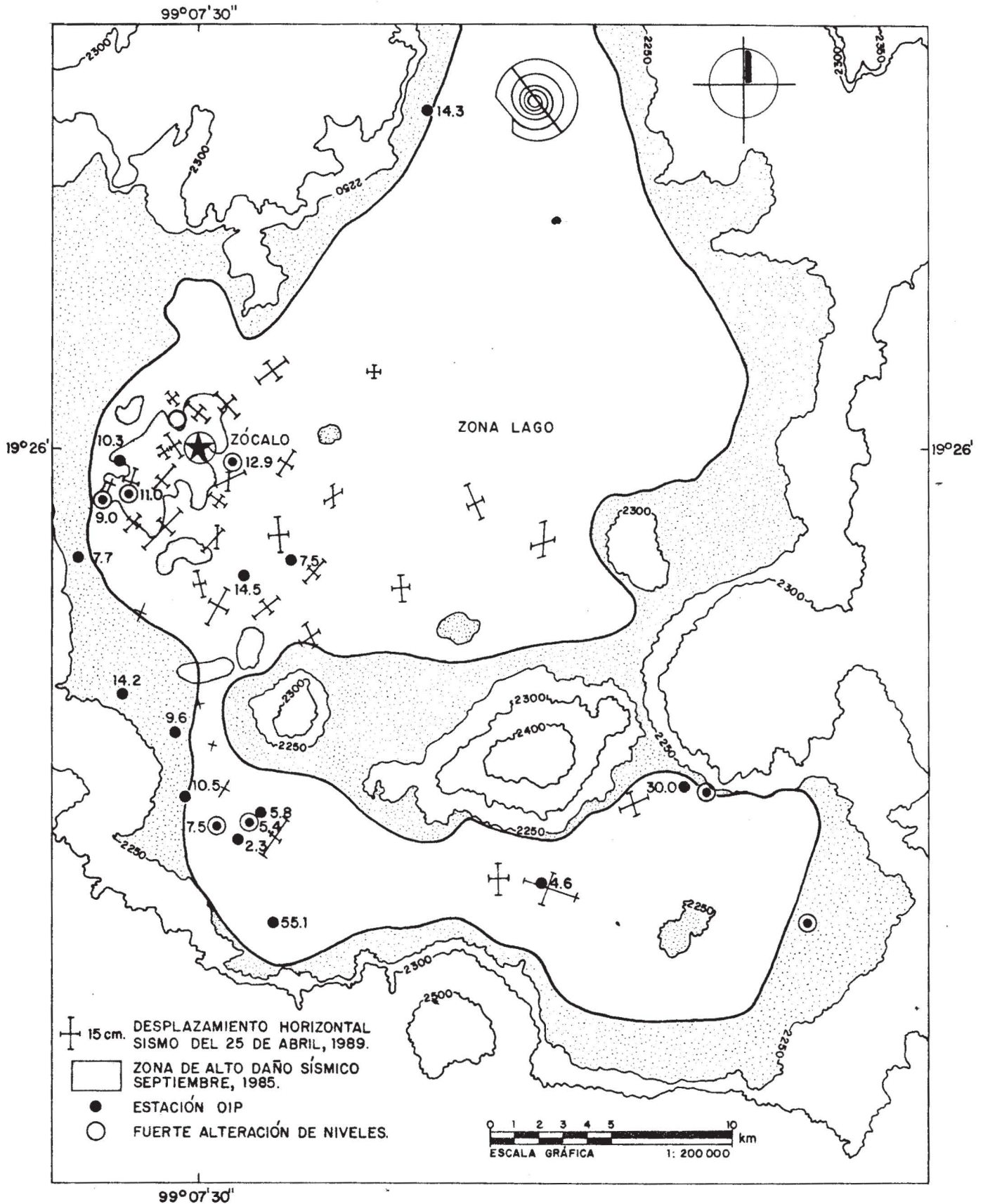


Fig. 6 Correlación del patrón de obstrucción a igual profundidad y zonas de fuerte respuesta sísmica. (Se incluye información de Anderson *et al*, 1986; y de Rosenblueth y Ovando, 1991).



Tabla 4

Evolución de obstrucciones en dos estaciones de la zona lacustre. (Fuente: Gerencia de Estudios de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Comisión Nacional del Agua. México, D. F.)

Estación	Fecha	Profundidad de la obstrucción [m]											
		P	I	E	Z	O	M	E	T	R	O	N	º
		1	2	3	4	5	6	7					
<b>184 San Fernando</b>													
Construcción	0752	4.3	14.5	25.5	34.6	81.5	101						
Medición 1	110377	1.7	-	2.5	-	-	-						
Medición 2	170381	2.6	10.6	6.1	9.9	6.8	10.1						
Medición 3	260985	2.8	10.6	6.8	9.8	10.1	6.2						
<b>190 Jardín Clavería</b>													
Construcción	0852	4.5	10.0	17.8	34.0	48.0	71.9	100					
Medición 1	010370	4.7	10.1	17.5	0.4	47.8	71.1	99.5					
Medición 2	050381	4.8	10.1	17.8	33.9	48.2	71.7	72.3					
Medición 3	290985	4.8	10.1	17.7	33.4	47.7	57.6	62.7					

septiembre de 1985 no afectó a las obstrucciones (posible equivocación de mangueras 5 y 6 durante las mediciones 2 y 3; Tabla 4).

- La estación 190-Jardín Clavería (Figura 1; Tabla 4) fue construida en 1952. Durante los primeros 18 años se mantuvo sin obstrucciones. En 1981 sucedió la primera obstrucción, a 72.3 m en su piezómetro más profundo (100 m). Otra obstrucción a 62.7 m se registró en el mismo piezómetro después del sismo de septiembre de 1985, cuando apareció una tercera obstrucción a 57.6 m en su penúltimo piezómetro (72 m). El patrón de obstrucción es OE.
- En la estación 186-Gran Canal (Figs. 1 y 5), que se construyó en 1952, las obstrucciones se presentaron a niveles cada vez más altos, especialmente en los piezómetros más profundos (Figura 3). Las mangueras de los piezómetros de 13 y 5 m (el último no se ilustra en la Figura 5) nunca fueron obstruidas. En 1981, se presentó el patrón de obstrucción generalizada OIP a la profundidad de 19.5 m. Días después del macrosismo, el estudio documentó otra obstrucción generalizada más somera, a 13.2 m.

Esta descripción refleja al proceso de consolidación de los sedimentos. Este comienza en los estratos consolidados por la extracción del agua y paulatinamente va asentando los estratos más superficiales (Marsal y Mazari, 1969). Cada manguera se pandea en respuesta individual a la compresión vertical a que está sujeta, que es distinta según la profundidad. Las mangueras más someras se pandearían menos. Si la consolidación fuera la causa única de las obstrucciones, éstas irían subiendo desde el fondo, más rápidamente en los piezómetros profundos; la estación se conservaría tipo OE.

La transformación OE → OIP es un hecho en la estación 186-Gran Canal y es probable en las estaciones prácticamente sin información previa (Tabla 2). En esta transformación las mangueras se obstruyen a la misma profundidad (Figura 4). Una explicación sencilla es que la dislocación

se genera en un agente distinto a la consolidación. Se postula la ocurrencia de corrimientos cuasi horizontales entre los estratos lacustres.

La profundidad de los corrimientos sería entre 2 y 55 m, principalmente entre 5 y 10 m, según la Tabla 3. Los corrimientos serían de dimensiones aproximadas a la del diámetro de las mangueras (Figura 3), es decir, del orden de milímetros. Si los corrimientos horizontales fueran muy pequeños no se detectarían como obstrucción en las mangueras; si fueran muy grandes, las romperían.

Las estaciones OIP se concentraron hacia áreas de fuerte respuesta sísmica (Figura 6). En la primera concentración, semicírculo de 3 km de radio al oeste del Zócalo, la fuerte respuesta sísmica fue manifiesta por el alto daño consecuente al sismo del 19 de septiembre de 1985. Otra concentración se presentó a 15 km al sur del Zócalo, en áreas de fuerte respuesta sísmica según los registros de otro evento menor ocurrido cuatro años después. Sólo lo primero sería consecuencia del sesgo de muestreo. Así, la correlación entre los sitios donde ocurren los supuestos corrimientos subterráneos y las zonas de resonancia sísmica de la Cuenca se propone a nivel de hipótesis para comprobación en el futuro.

## 6. CONCLUSIONES

Frecuentemente en las estaciones de piezómetros localizadas en los terrenos en subsidencia de la cuenca de México se presentaron obstrucciones generalizadas de mangueras a cierta profundidad. Las obstrucciones generalizadas acontecieron entre 2 y 55 m de profundidad. Esas estaciones están ubicadas preferentemente hacia zonas caracterizadas por su fuerte respuesta sísmica. Como causa se postula la ocurrencia de pequeños corrimientos horizontales dentro del subsuelo lacustre.

## RECONOCIMIENTOS

El presente estudio se generó por acuerdo entre la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El autor agradece a los Ings. Xavier Haró Solórzano y Daniel Arcos Hernández sus empeños en aquel acuerdo, su interés posterior y la información inédita proporcionada. El Ing. Guillermo Hernández García colaboró en la fase final del estudio.

### BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J. G., P. BODIN, J. N. BRUNE, J. PRINCE, S. K. SINGH, R. QUAAS y M. OÑATE, 1986. Strong ground motion from the Michoacán, Mexico, earthquake. *Science* 223: 1043-1049.
- BOLETIN DE MECANICA DE SUELOS No. 10, 1991. Datos del Valle de México, Período 1983-1986. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México; Comisión Nacional del Agua. México D. F.; 281 pp.
- CHAVEZ-PEREZ, S., 1993. Modelado sísmico de la cuenca de la ciudad de México. *Geofís. Int.* 32, 1, 111-130.
- DURAZO, J., 1993. Obstrucciones en piezómetros de la cuenca de México. Informe de un muestreo realizado del 26 de septiembre al 4 de octubre de 1985. *Reportes Internos* 93-6. Instituto de Geofísica, UNAM.
- JUAREZ-BADILLO, E. y A. RICO-RODRIGUEZ, 1989. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial Limusa S. A. de C. V. México.
- MARSAL, R. J. y M. MAZARI, 1969. El Subsuelo de la Ciudad de México. Segunda Edición. Facultad de Ingeniería de la UNAM. 2 vols.
- ORTEGA-GUERRERO, A, J. A. CHERRY y D. L. RUDOLPH, 1993. Large aquitard consolidation near Mexico City. *Ground Water*, 31, 5, 708-718.
- ROMO, M. P., A. J. JAIME y D. RESENDIZ, 1988. The Mexico earthquake of September 19, 1985- General soil conditions and clay properties in the Valley of Mexico. *Earthquake Spectra*, 4, 4, 731-752.
- ROSENBLUETH, E. y E. OVANDO, 1991. Riesgo sísmico en el Valle de México. En: Ovando S. E. y F. V. González (Editores). El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. Sociedad de Mecánica de Suelos, A. C. México. 228 pp.
- SAHAB-HADDAD, E., 1989. El agua subterránea y la ciudad de México. Comunicación escrita presentada por el Gerente Regional de Aguas del Valle de México, Comisión Nacional del Agua, en el Simposio El Sistema Acuífero de la Cuenca de México. Instituto de Geofísica de la UNAM. Waterloo Centre for Groundwater Research de la Universidad de Waterloo, Canada e International Development Research Agency, Ontario, Canada. México, D. F.; abril 28, 1989.
- SANTOYO, V. E. y C. E. S. GUTIERREZ, 1991. Estratigrafía y muestreo de los suelos lacustres del Valle de México. En: Ovando S. E. y F. V. González (Editores). El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. Sociedad de Mecánica de Suelos, A. C. México. 228 pp.
- VAZQUEZ-SANCHEZ, E. y R. JAIMES-PALOMERA, 1989. Geología de la cuenca de México. *Geofís. Int.*, 28, 2, 133-190.

---

Jaime Durazo  
Instituto de Geofísica. UNAM  
04510, México D. F.,  
MEXICO