

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

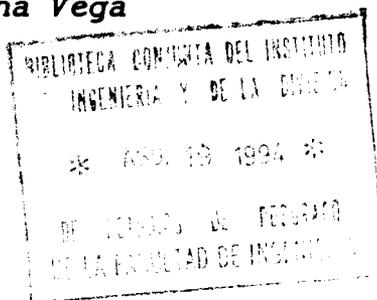
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Trabajo de investigación I:

**"COEFICIENTES SISMICOS ESPECIFICOS PARA LA ZONA METROPOLITANA
DEL VALLE DE MEXICO"**

Profesor: Dr. Miguel P. Romo Organista

Alumno: Armando Bárcena Vega



INDICE

- INTRODUCCION

- ALCANCES

- GENERALIDADES SOBRE LA INFORMACION ACELEROGRAFICA UTILIZADA EN
LOS ANALISIS

- OBTENCION DE MAPAS DE AMPLIFICACION ESPECTRAL (ESPERADA) PARA
LA ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO

- OBTENCION DE MAPAS DE RESPUESTA ESPECTRAL (ESPERADA) PARA LA
ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL SISMO DE SEPTIEMBRE 19 DE
1985

- OBTENCION DE ESPECTROS DE RESPUESTA (ESPERADOS) LOCALES PARA
LA ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA SISMOS ESPECIFICOS

- CONCLUSIONES

- REFERENCIAS

INTRODUCCION

La evidencia de los hechos históricos sismológicos, muestran que México se encuentra en una zona de gran actividad sísmica. A partir de 1957 se han intensificado los estudios tendientes a conocer las características del comportamiento del subsuelo de la ciudad de México, especialmente en lo que se refiere a la resistencia de los estratos de suelo que se utilizan para la cimentación de las construcciones, sin embargo, a la fecha persisten algunas interrogantes sobre la forma en que se mueve el terreno durante un sismo y la interacción entre el suelo y las estructuras.

El Departamento del Distrito Federal, en las normas técnicas complementarias para diseño por sismo propone un espectro de diseño generalizado con base en un criterio que optimiza una intensidad de diseño, la población de estructuras esperadas y las características geotécnicas del subsuelo de la zona. El hecho de que tal optimización explícita no se aplique directamente a cada estructura, implica que dicha optimización tiene ciertas restricciones; los formatos de diseño deben ser sencillos y el número de variables relevantes debe ser pequeño. Como consecuencia, lo que es óptimo para una población de estructuras puede no serlo para cada miembro individual. En el presente trabajo, con base en datos acelerográficos de campo, se evalúa la amplificación espectral esperada de los movimientos sísmicos ocurridos en el valle México, se evalúa también su respuesta espectral esperada para el sismo de septiembre 19 de 1985 y se propone una metodología para obtener espectros de respuesta locales esperados para eventos sísmicos específicos.

ALCANCES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se basan en datos acelerográficos de campo de un conjunto limitado de eventos sísmicos (los más importantes ocurridos en el periodo 79-90) y en considerar un amortiguamiento viscoso del 5 % en los análisis de respuesta espectral. Según los trabajos de León et al [1976], Romo y Jaime [1986], Romo y Seed [1986], Romo et al [1988] y Romo [1990] para conocer las propiedades dinámicas de las arcillas de la ciudad de México, se considera que el comportamiento del subsuelo de la zona durante los eventos sísmicos considerados ha sido elástico lineal.

GENERALIDADES SOBRE LA INFORMACION ACELEROGRAFICA UTILIZADA EN LOS ANALISIS

A partir de los sismos de septiembre de 1985 se ha intensificado la instrumentación del valle de México para tener un conocimiento más profundo de su movimiento ante eventos sísmicos. Instituciones como Fundación Javier Barros Sierra (FJBS), Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Centro Nacional de PREvención de Desastres (CENAPRED) e Instituto de Ingeniería (II) de la UNAM, tienen actualmente en operación una red de acelerógrafos cuya distribución en campo libre se muestra en la figura 1 (no se incluyen los de CFE); cada acelerógrafo registra sensiblemente las aceleraciones absolutas de los movimientos telúricos según tres componentes ortogonales: longitudinal, transversal y vertical, principalmente. Actualmente se cuenta con un total de 92 estaciones acelerográficas de campo libre en el valle.

Para desarrollar el presente trabajo se dispuso de la información acelerográfica de los sismos más importantes (con magnitud mayor de 5 en escala de Richter) ocurridos en el periodo 79-90; tales sismos se originaron en la zona de subducción Guerrero-Michoacan.

Se hace notar que la red mostrada en la figura 1, se ha completado en las últimas fechas. La tabla 1 muestra los sismos considerados en el presente trabajo y su correspondiente número de registros captados por las redes de las diferentes instituciones. En total se recabó información de 233 registros de los que se seleccionaron las componentes horizontales (466) para evaluar su correspondiente espectro de respuesta de aceleraciones para un amortiguamiento viscoso del 5 % del crítico.

OBTENCION DE MAPAS DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL (ESPERADA) PARA LA ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Con los análisis de respuesta se evalúa la amplificación espectral de los movimientos telúricos en el dominio del periodo (o de la frecuencia). Por ejemplo, para el sitio de Central de Abasto Oficinas (CAO) localizado en la zona del lago (ver fig 2), se registraron 14 componentes de los 7 sismos, y con sus correspondientes espectros de respuesta de aceleración normalizados se obtuvo la gráfica de la figura 3; puede decirse que la faja de curvas normalizadas muestra el rango de amplificación espectral esperada de la aceleración máxima del terreno en el dominio del periodo. Se hace notar también que de la misma figura 3, se pueden obtener curvas envolventes máxima, promedio y mínima de la franja de curvas de amplificación espectral. En particular, interesan las curvas máxima y promedio; la máxima físicamente indica la amplificación espectral máxima esperada, según los sismos considerados y de acuerdo a las condiciones del sitio, de la aceleración máxima del terreno en el dominio del periodo; similarmente, la curva promedio indica la amplificación espectral promedio esperada en el sitio de la aceleración máxima del terreno en el dominio del periodo para el conjunto de muestras sísmicas consideradas. Según esto, especificada la aceleración máxima del terreno de un sismo particular, puede obtenerse la aceleración espectral máxima y promedio esperadas en el sitio, al multiplicar las ordenadas de las curvas envolventes máxima o promedio de los espectros normalizados para el periodo seleccionado, por la aceleración máxima del terreno especificada.

Por ejemplo, la aceleración máxima en el sitio de CAO de los 7 sismos considerados sucedió en septiembre 19 de 1985 (09/19/85) y fue de 0.089222 g; si multiplicamos esta aceleración por las ordenadas de las curvas envolventes máxima y promedio de la figura 3, se obtendrán las curvas indicadas en la figura 4, donde se muestran además las curvas

espectrales de aceleración de todos los eventos sísmicos registrados en el sitio. Se observa que, efectivamente, las curvas indicadas son las envolventes de los espectros del sitio; con la envolvente promedio se logra reproducir casi de una manera exacta la envolvente real de las curvas espectrales; la envolvente superior cubre todas las posibilidades de respuesta espectral máxima ya que se debe considerar que el mismo depósito sujeto a diferentes excitaciones no responde cualitativamente de una manera idéntica [Romo, Magaña y Bárcena, 1990].

Las anteriores observaciones se utilizaron para obtener las envolventes máxima y promedio que se indican en las figuras 5 a 11. En todos los casos se puede ver claramente que con las envolventes máxima y promedio calculadas, se logra reproducir casi de una manera exacta la envolvente real; las variaciones que se obtienen obedecen a lo mencionado en el párrafo anterior, por lo que para fines de diseño por sismo de estructuras resulta más conveniente considerar, por ejemplo, la envolvente superior, que el espectro del sismo más crítico (de 09/19/85) o la envolvente real, ya que se toma en cuenta de esta manera la aleatoriedad de la respuesta del depósito a cualquiera de los sismos considerados y las características de estos últimos.

Aplicando el mismo procedimiento, se obtuvieron los espectros normalizados para cada sitio donde existen estaciones de la red acelerográfica, con lo que se obtuvieron curvas envolventes máxima y promedio de la amplificación espectral de la aceleración máxima del terreno. Por medio de un método (geoestadístico) de interpolación se obtuvieron mapas de amplificación espectral máxima y promedio en el dominio del periodo para la zona de la ciudad de México, los que se muestran en las figuras 12 a 23; en estos mapas se observa que la amplitud del movimiento sigue una marcada tendencia según la zonificación geotécnica del suelo de la ciudad. Por ejemplo, en las figuras 12 y 18 para el periodo $T = 0.5$ s, se observa que las mayores amplificaciones suceden en

la zona de Lomas y que estas decrecen en la zona del Lago; en cambio, para el caso opuesto de las figuras 17 y 23 donde $T = 3.0$ s, las amplificaciones mayores suceden en la zona del Lago y las menores en la zona de Lomas con una relación de hasta de 5. Para las gráficas en donde $T = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ s, pueden observarse casos intermedios en donde desde $T = 1.5$ s, ya son notorias las mayores amplificaciones en la zona del Lago. Lo anterior confirma el hecho de la influencia de las condiciones locales del suelo sobre su respuesta. Seed et al [1976] han promediado los espectros de varios sismos, agrupándolos de acuerdo con las condiciones del lugar y distancia focal (fig 24). Estos espectros muestran cualitativamente la respuesta que puede esperarse de un depósito de suelo de acuerdo a sus características.

Se obtuvieron también mapas de amplificación espectral para sismos específicos para observar correlación con los anteriores resultados. Para el sismo de 05/31/90 que se registro en 68 estaciones (ver tabla 1), se muestran los mapas correspondientes de amplificación espectral máxima en las figuras 25 a 27; para el sismo de 02/08/88 que se registró en 28 estaciones, se muestran los mapas correspondientes de amplificación promedio en las figuras 28 y 29. Los mapas citados en este párrafo, también correlacionan razonablemente la amplificación espectral de acuerdo al tipo de suelo de la zonificación preestablecida. En términos generales se puede decir que la zona de Lomas tiene periodos naturales que varían en el intervalo de 0.3 a 0.5 s, la zona de Transición de 0.5 a 1.4 s y la del Lago de 1.5 a 3.0 s.

Comparando la figura 30 (en donde se ha demarcado la zona de mayores daños en el sismo de 09/19/85 [Romo y Seed, 1986]) con la 16, se observa concordancia entre la zona de mayores daños y las máximas amplificaciones espectrales que se presentan en toda la zona que abarca el mapa (en la parte noreste al sitio del edificio de la SCT); se observa además que el espesor del estrato de suelo blando en dicha zona, varía entre 30 y 45 m. Conviene notar que también son

importantes las amplificaciones en la zona del lago Xochimilco-Chalco, principalmente en la zona de Xochimilco. Afortunadamente las estructuras en esta zona tienen en general dos niveles ($T = 0.1$ a 0.2 s), por lo que no sufrieron grandes daños, pero potencialmente es una zona que representa gran riesgo sísmico, principalmente para estructuras con periodo fundamental mayor de 1.5 s.

OBTENCION DE MAPAS DE RESPUESTA ESPECTRAL (ESPERADA) PARA LA ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA EL SISMO DE SEPTIEMBRE 19 DE 1985.

En otros trabajos se ha demostrado [Romo y Seed, 1986; Romo y Jaime, 1986; Jaime, 1987] que para el sismo de 09/19/85, en los depósitos arcillosos de la zona del Lago no sucedieron grandes efectos no-lineales ante la propagación de las ondas sísmicas. Esto se corrobora en la figura 4, donde se presentan los espectros de respuesta del sitio CAO de los sismos considerados; en general, se observa que todas las curvas espectrales tienen aproximadamente la misma forma, sin embargo, se nota el defazamiento de los picos hacia la derecha (aumentan los periodos dominantes) a medida que el sismo es de mayor magnitud. Esto indica que las mayores deformaciones inducidas en el depósito provocan efectos no-lineales (degradación del módulo G) y consecuentemente el periodo fundamental de vibración del depósito aumenta. Esto sugiere el hecho de reconocer el comportamiento no-lineal del suelo ante eventos sísmicos de diferente magnitud, en particular para sismos más severos que el de 09/19/85. En las figuras 31 y 32 se muestran resultados del estudio de las propiedades dinámicas de las arcillas de la ciudad de México [Romo, 1990]; en ellas se puede ver que para deformaciones angulares de hasta el 0.10 % (principalmente para arcillas con índice de plasticidad de 300), el módulo G y el amortiguamiento prácticamente permanecen constantes lo cual indica también que en ese rango de deformaciones el periodo fundamental bajo la hipótesis de comportamiento elástico-lineal, casi no cambia. Se ha observado que para los sismos registrados en la ciudad de México las deformaciones angulares inducidas en el suelo han sido del orden de hasta 0.10 %. De la figura 4, se observa que el periodo fundamental para este sitio oscila entre 1.1 y 1.35 seg, por lo que permanece prácticamente constante, a pesar de los grandes contrastes en magnitudes sísmicas (5.0 a 8.1 en escala de Richter) a que ha sido sometido el depósito.

Por lo anterior podemos decir que el depósito de suelo del sitio de CAO ha tenido prácticamente un comportamiento elástico-lineal, no obstante, debemos tener presente que para sismos de mayor magnitud al de 09/19/85 el suelo puede presentar un comportamiento altamente no-lineal; si nos referimos a la figura 31, observamos que para deformaciones mayores al 0.12 %, el módulo G se reduce considerablemente en un rango relativamente pequeño de deformaciones, hecho que puede influir significativamente en la modificación del periodo fundamental ante sismos más severos que el de 09/19/85.

Por las figuras 5 a 10 correspondientes a los sitios de Central de Abasto Frigorífico (CAF), Viveros de Coyoacán (SXVI), Tacubaya (TACY), Tláhuac Deportivo (TLHD), edificio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y de la Ciudad Universitaria (CU) localizados en las tres zonas geotécnicas en que se divide la ciudad de México, pueden aplicarse las mismas observaciones que se hicieron para el sitio de CAO, aún para el sitio de SXVI que se localiza en la zona de Transición y a TACY y CU localizados en la zona de Lomas (ver fig 2).

Por lo anterior se puede considerar que, en general, el subsuelo de la ciudad de México ha tenido un comportamiento elástico-lineal durante los eventos sísmicos.

Con base en las observaciones anteriores, el problema se reduce ahora a obtener las aceleraciones máximas del terreno que hubieran ocurrido en las estaciones de la actual red acelerográfica en el sismo de 09/19/85. Obtenidas éstas, si las multiplicamos según su localización, por las curvas de nivel de los mapas de las figuras 12 a 23 de amplificación espectral (o de función de transferencia) habremos de obtener mapas de la respuesta espectral del subsuelo del valle de México. Teóricamente dichos mapas espectrales se pueden obtener para los mismos periodos naturales en los que están definidas las curvas espectrales. Considerando que la población de estructuras desplantadas en

la zona, tienen periodo fundamental de vibración en el rango de 0.5 a 2.5 s, los mapas espectrales se calcularon para valores discretos de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 s del periodo, los cuales se muestran en las figuras 34 a 45. Aunque dichos mapas están referidos al sismo de 09/19/85, estos incluyen la variabilidad en las ordenadas espectrales debidas a movimientos de diferente magnitud sísmica e indirectamente, la distancia focal y mecanismo focal ya que las aceleraciones máximas en el terreno son función, principalmente, de estos tres parámetros.

Para la obtención de las aceleraciones máximas del terreno que hubiesen ocurrido en las estaciones de la actual red acelerográfica debido al sismo de 09/19/85, se procedió de la siguiente manera: para cada estación y para cada sismo, se calculó la relación de la aceleración máxima del terreno en cada sitio con respecto a la aceleración máxima correspondiente en CU. De las relaciones calculadas para cada sitio se seleccionó la máxima. En la figura 33 se muestra el mapa correspondiente a dichas relaciones máximas obtenido mediante un método (geoestadístico) de interpolación, y cuyas curvas de nivel indican la magnitud de las relaciones máximas esperadas de la aceleración máxima en el terreno para cualquier punto de la ciudad con respecto a la aceleración máxima en CU, para un evento sísmico dado (similar a los considerados). Por ejemplo, para los sitios CAO, CAF, SXVI, TACY, TLHD, SCT y CU en donde se registró el sismo de 09/19/85, las relaciones máximas de las aceleraciones máximas correspondientes ocurrieron precisamente en este sismo, de manera que si multiplicamos dichas relaciones máximas por la aceleración máxima en CU, obviamente se obtendrá la aceleración máxima del terreno en los sitios en cuestión; si multiplicamos ahora las aceleraciones máximas así obtenidas, localizando los sitios considerados en los mapas de las figuras 12 a 23, por las curvas de nivel correspondientes llegaremos a reproducir nuevamente las envolventes máxima y promedio indicadas en las figuras 4 a 10.

En la figura 33 se observa que los máximos valores de la relación de aceleración máxima en el terreno suceden indistintamente en las tres zonas geotécnicas. Comparando las figuras 30 y 33, se observa que la magnitud de las aceleraciones máximas en el terreno dependen de las características vibratorias del depósito de suelo (espesor y propiedades dinámicas) y del contenido de frecuencias del sismo.

La aceleración máxima (de las dos componentes) del terreno en CU en el sismo de 09/19/85 fue de 0.039840 g, que es a su vez la máxima en este sitio de todos los sismos considerados. Si multiplicamos esta aceleración por los valores de las curvas de nivel del mapa de la figura 33, obtendremos bajo la consideración de un comportamiento elástico-lineal, las aceleraciones máximas que hubiesen ocurrido en el terreno de las estaciones de la actual red acelerográfica en el sismo de 09/19/85. Localizando ahora las estaciones en los mapas de amplificación espectral (figs 12 a 23) y multiplicando sus aceleraciones calculadas por los coeficientes de las curvas de nivel de estos mapas se obtienen los mapas espectrales de las figuras 34 a 45, que muestran la respuesta espectral esperada de aceleraciones (en g) del terreno libre en la ciudad de México en el sismo de 09/19/85 para periodos de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 s; obviamente, estos mapas espectrales pueden obtenerse también para periodos intermedios.

Por lo anterior, con los mapas espectrales se puede definir un número ilimitado de espectros de respuesta locales. Si interesa un sitio en particular, solamente habrá que localizarlo en los mapas espectrales y se obtendrá el espectro de respuesta del sitio.

OBTENCION DE ESPECTROS DE RESPUESTA (ESPERADOS) LOCALES PARA LA ZONA DE LA CIUDAD DE MEXICO PARA SISMOS ESPECIFICOS.

Si se quiere evaluar el espectro de respuesta local para un sitio y sismo específicos, se multiplicará la aceleración máxima en CU correspondiente, por el coeficiente de la curva de nivel del mapa de la figura 33 que corresponda al sitio localizado en dicho mapa; el valor obtenido sería entonces la aceleración máxima esperada del terreno en el sitio de interés para el sismo en cuestión. Localizando ahora el sitio en los mapas de amplificación espectral (figuras 12 a 23), se obtienen las ordenadas del espectro local multiplicando la aceleración máxima del terreno calculada por los coeficientes de las curvas de nivel correspondientes en estos mapas, en función del periodo.

La aceleración máxima del terreno en CU se determina con la siguiente expresión [Singh y Ordaz, 1990]:

$$\log a_{\max} = 0.429M_s - 2.976\log R + 5.396$$

donde a_{\max} está en cm/s^2 ; R en km es la mínima distancia focal ($282 \leq R \leq 466$ km); M_s denota magnitud de ondas sísmicas superficiales ($5.6 \leq M_s \leq 8.1$); se considera una desviación estandar de 0.15 de los logaritmos comunes de a_{\max} . La expresión anterior es aplicable para temblores críticos que se generen en la zona mexicana de subducción.

Pueden obtenerse también, espectros locales de diseño con base en los análisis de amplificación espectral antes presentados: la incertidumbre de rebasar las ordenadas espectrales queda cubierta por la envolvente máxima de las amplificaciones espectrales, además, dicha envolvente cubre la dispersión en el contenido de frecuencias debido a los diferentes movimientos, considerandose con ésto indirectamente, la magnitud sísmica, el mecanismo focal y la distancia del lugar al foco.

CONCLUSIONES

Con base en los análisis presentados en las secciones previas se concluye lo siguiente:

- 1.- Las ampliaciones y aceleraciones espectrales concuerdan razonablemente con la zonificación geotécnica de la ciudad de México. Esto indica que las características del movimiento del terreno quedan principalmente controladas por las condiciones locales del suelo más que por la fuente sísmica.
- 2.- La magnitud de las aceleraciones en el terreno dependen de las características vibratorias del depósito de suelo (espesor y propiedades dinámicas) y del contenido de frecuencias del sismo. Para el evento sísmico de septiembre 19 de 1985, las profundidades críticas fueron aproximadamente 30 y 45 m.
- 3.- En la zona de mayores desastres en el sismo de 09/19/85, estos no sólo se debieron a los máximos valores de la aceleración máxima del terreno, si no principalmente a las grandes ampliaciones espectrales del movimiento por efecto de resonancia (ver figs 12 a 23 y 33).
- 4.- En la zona del lago Xochimilco-Chalco las ampliaciones espectrales son muy significativas, principalmente para periodos mayores a 1.5 s; más aún, los valores máximos de las aceleraciones máximas del terreno de la ciudad se presentan en la zona de Xochimilco, por lo cual, dicha zona potencialmente presenta un mayor riesgo sísmico (ver figs 12 a 23 y 33 a 45).
- 5.- Los análisis de amplificación espectral (figs. 12 a 23) permiten evaluar curvas envolventes de respuesta espectral máxima y promedio correspondientes a sismos y

sitios específicos. Los sismos en cuestión deberán tener características similares a los considerados en este trabajo.

- 6.- Se pueden evaluar espectros locales de diseño con base en las envolventes máxima y promedio de las amplificaciones espectrales, ya que estas cubren la dispersión en el contenido de frecuencias y magnitud de las ordenadas espectrales debidas a los sismos considerados.

REFERENCIAS

Jaime A., "Características dinámicas de la arcilla del valle de México"., Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1987.

León JL, Jaime A y Rábago M., "Propiedades dinámicas de los suelos: Estudio preliminar"., Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1976.

Romo M P y Jaime A., "Características dinámicas de las arcillas del valle de México y análisis de la respuesta sísmica del suelo"., Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1986.

Romo M P y Seed H B., "Analytical modelling of dynamic soil response in the Mexico earthquake of September 19, 1985"., Proceedings of the ASCE Specialty International Conference on The Mexico Earthquakes-1985, pp 148-162, Sept 19, 1986, México.

Romo M P, Jaime A y Reséndiz D., "General soil conditions and clay properties in the Valley of Mexico"., Earthquake SPECTRA, Vol. 4, No. 4, pp 731-752, noviembre 1988.

Romo M P, Magaña R y Bárcena A., "Respuesta no lineal de depósitos de suelo"., Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1990.

Romo M P., "Comportamiento dinámico de la arcilla de la ciudad de México y su repercusión en la ingeniería de cimentaciones"., Memorias del Simposio El Subsuelo de la Cuenca del Valle de México y su Relación con la Ingeniería de Cimentaciones a Cinco Años del Sismo, septiembre, 1990, en prensa.

Seed H B, Ugas C y Lysmer., "Site-Dependent Spectra for Earthquake-Resistant Design"., Bull. Seism. Soc. of America, Vol 6 pp 221-243, 1976.

Singh S y Ordaz M., "Sismicidad y Movimientos fuertes en México: una visión actual"., Centro Nacional de Prevención de Desastres, noviembre, 1990.

SISMO	MAGNITUD	II	FJBS	FICA	CENAPRED	total
03/14/79	7.6	7	0	0	0	7
09/19/85	8.1	10	0	0	0	10
09/21/85	7.6	7	0	0	0	7
02/08/88	5.1	4	24	0	0	28
04/25/89	6.8	8	28	27	0	63
05/11/90	5.0	3	28	19	0	50
05/31/90	5.8	3	34	26	5	68
TOTAL					=	233

Tabla 1. Eventos sísmicos analizados y su correspondiente número de registros captados por las redes de las diferentes instituciones.

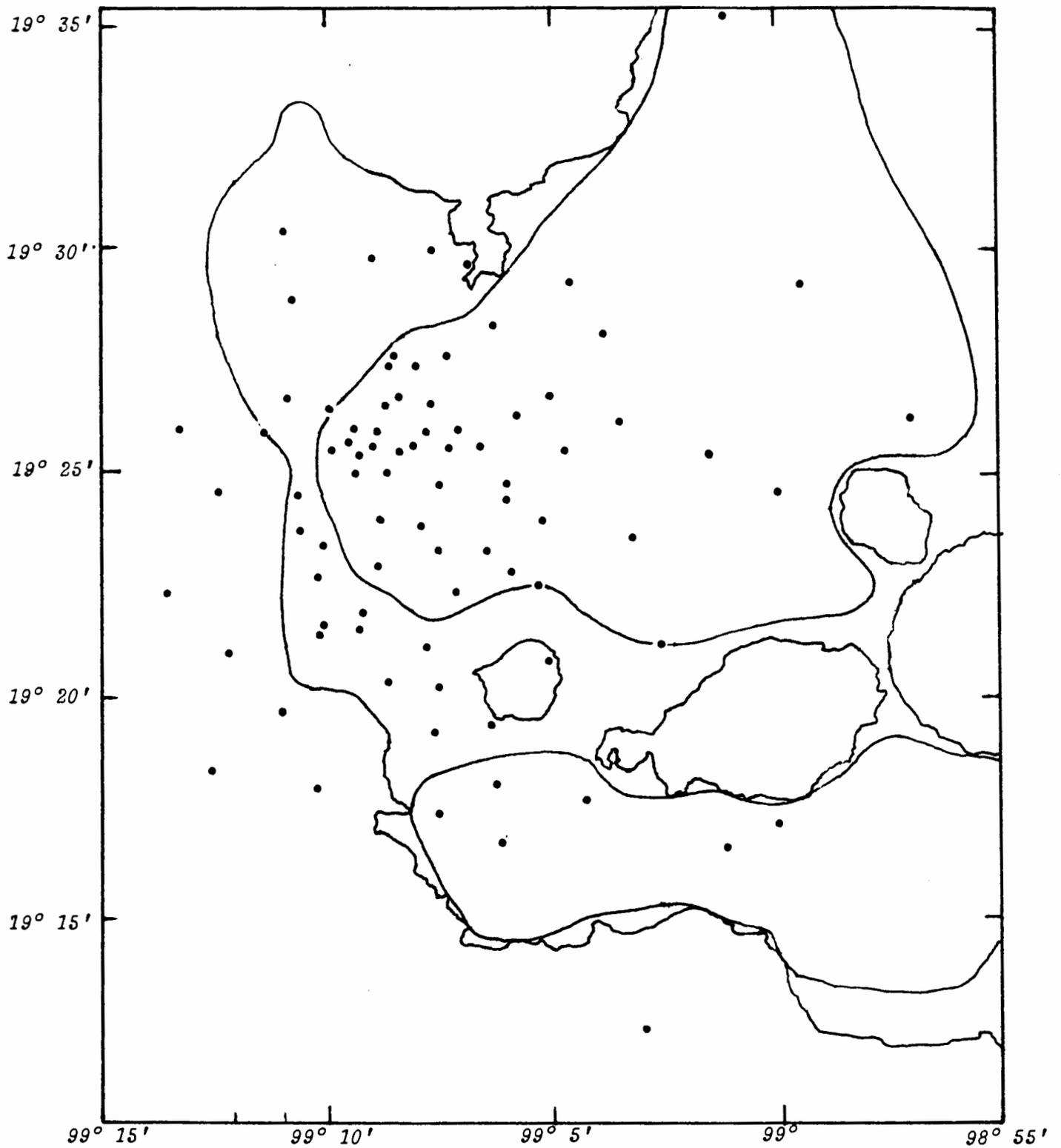


Fig. 1 Distribución de la red acelerográfica en la ciudad de México (hasta el 31 de mayo de 1990).

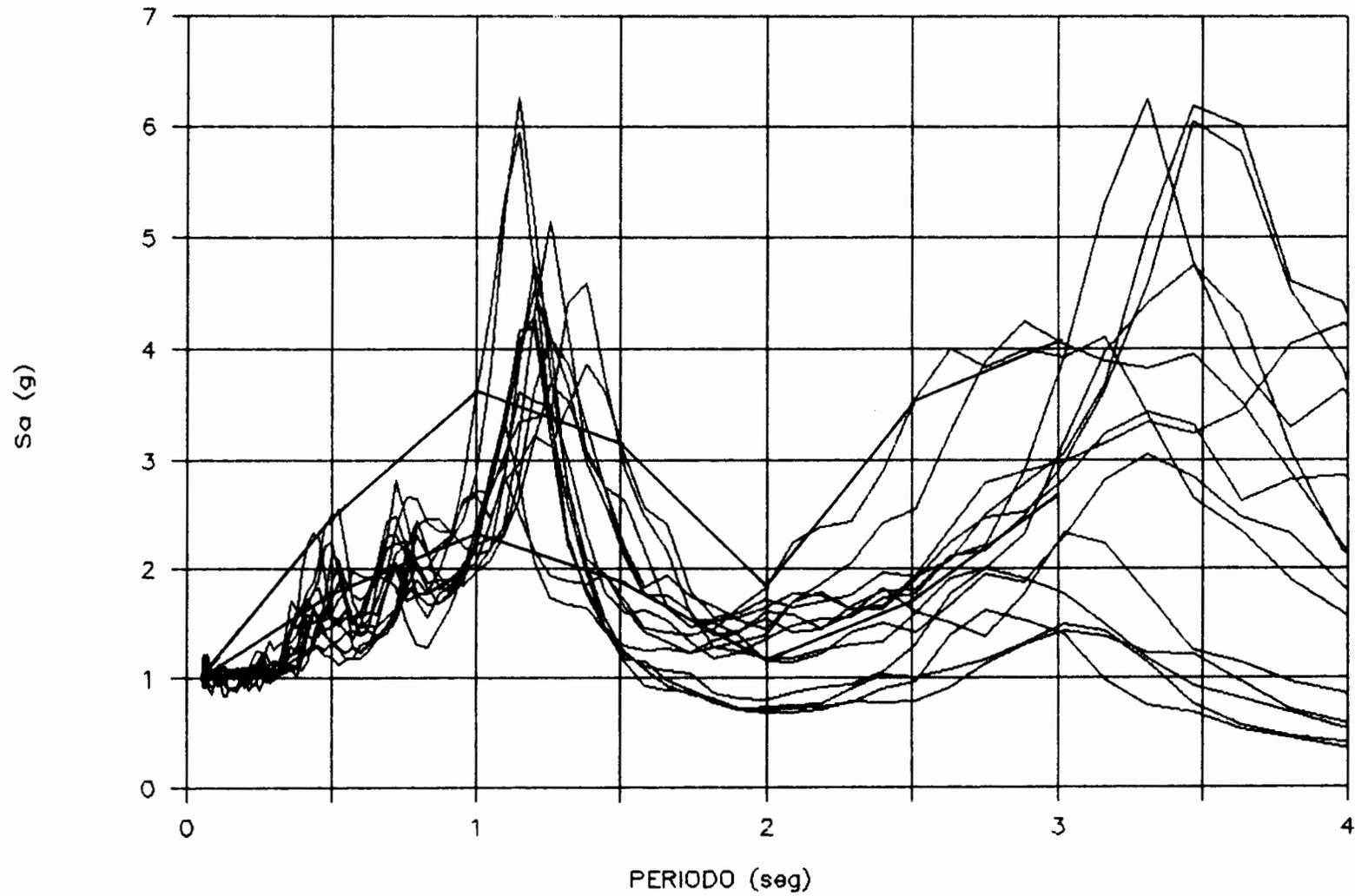


Fig. 3 Espectros de respuesta normalizados de los movimientos registrados en el sitio CAO y sus envolventes máxima y promedio para valores discretos del periodo.

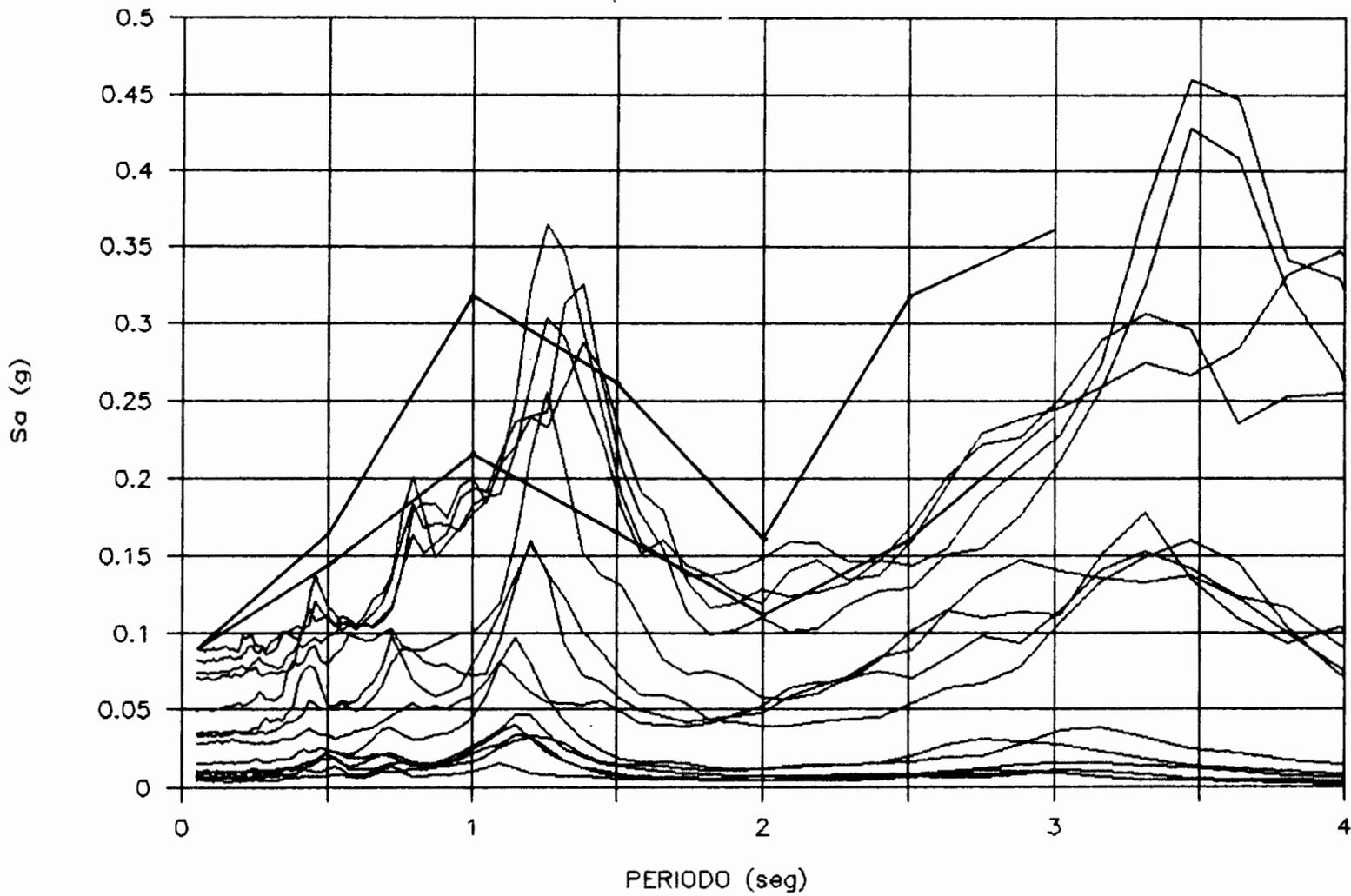


Fig. 4 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio CA0 y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

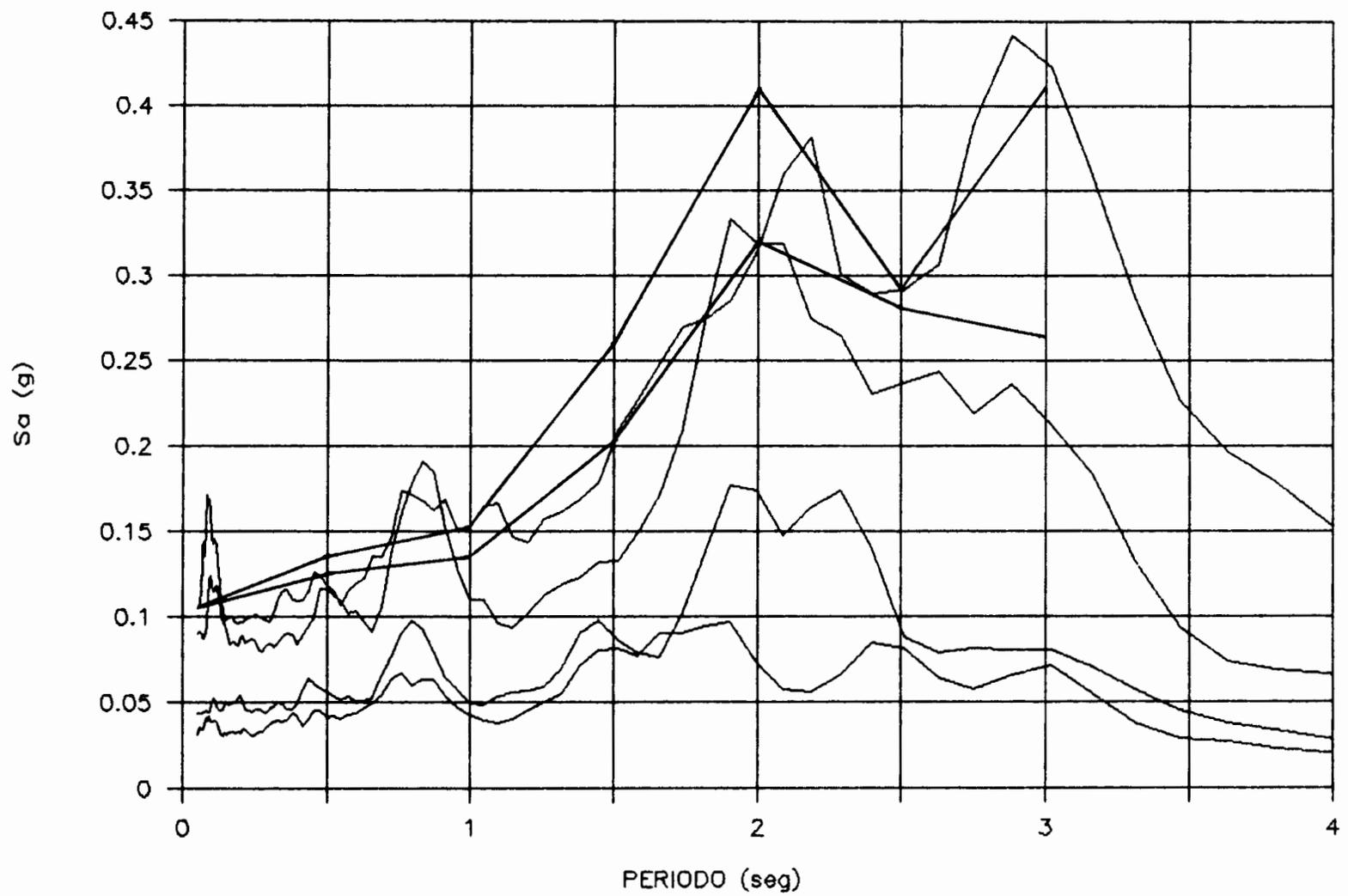


Fig. 5 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio CAF y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

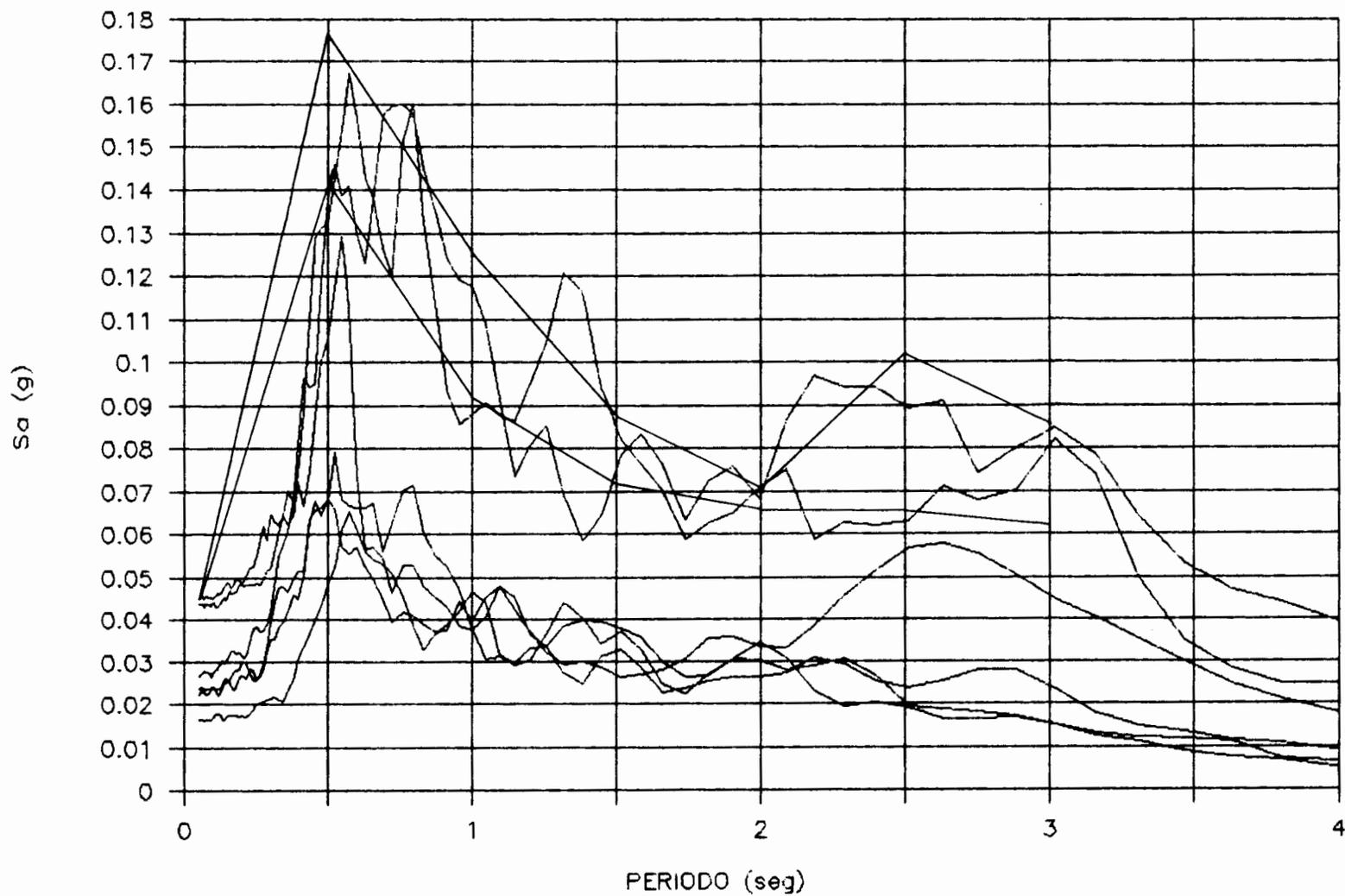


Fig. 6 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio SXVI y sus envolventes máxima y promedio calculadas

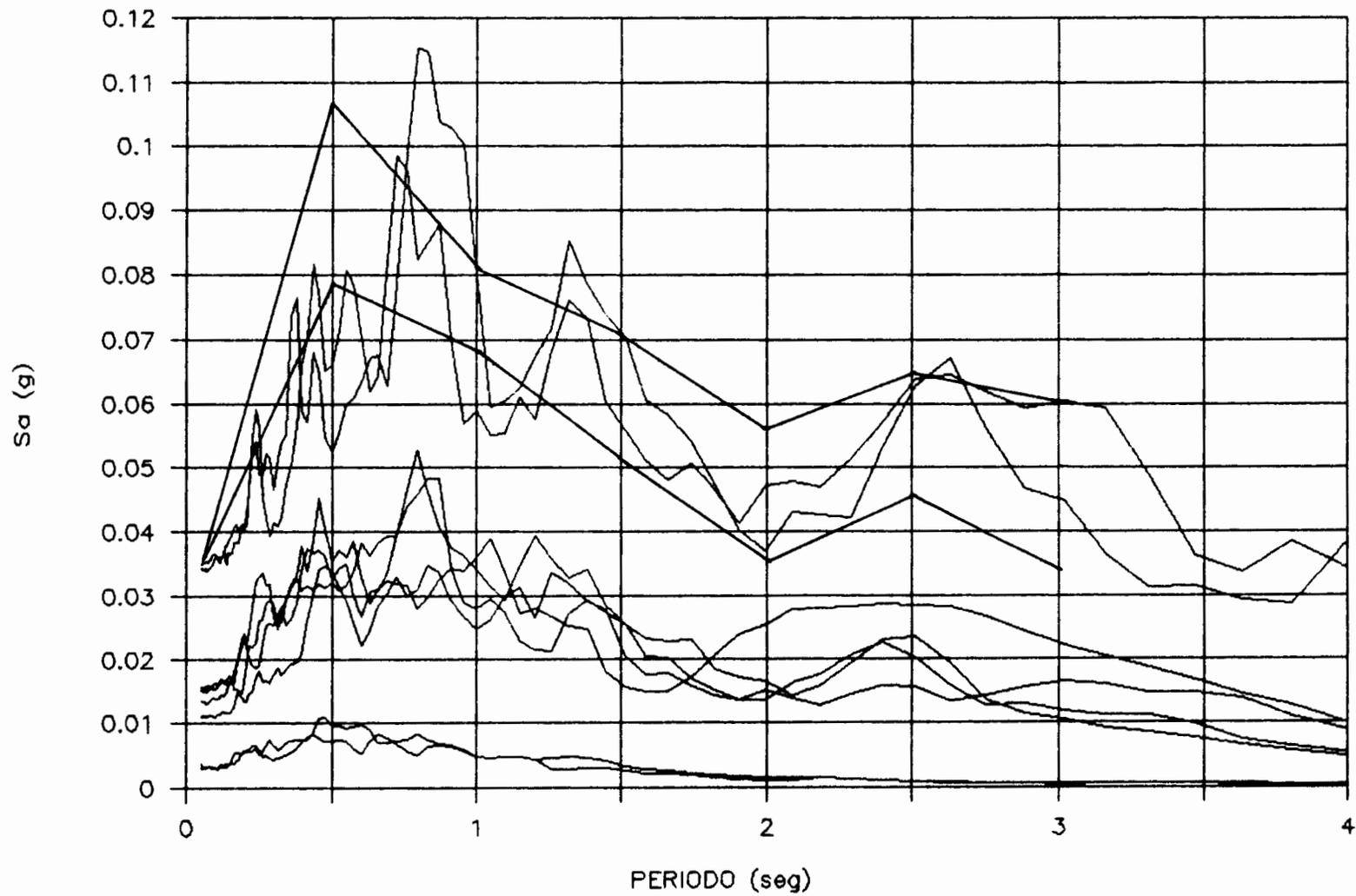


Fig. 7 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio TACY y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

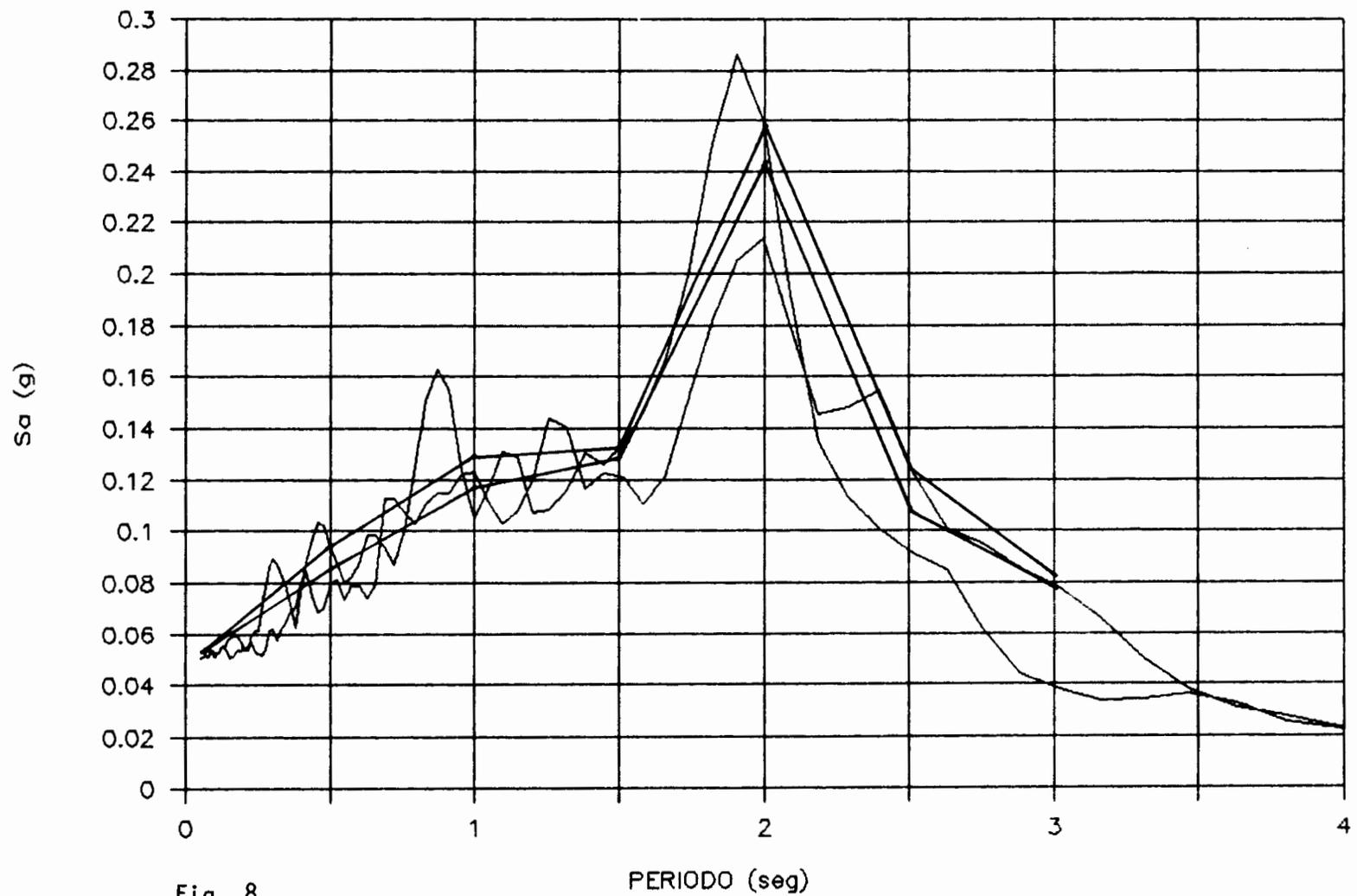


Fig. 8

Fig. 8 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio TLHD y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

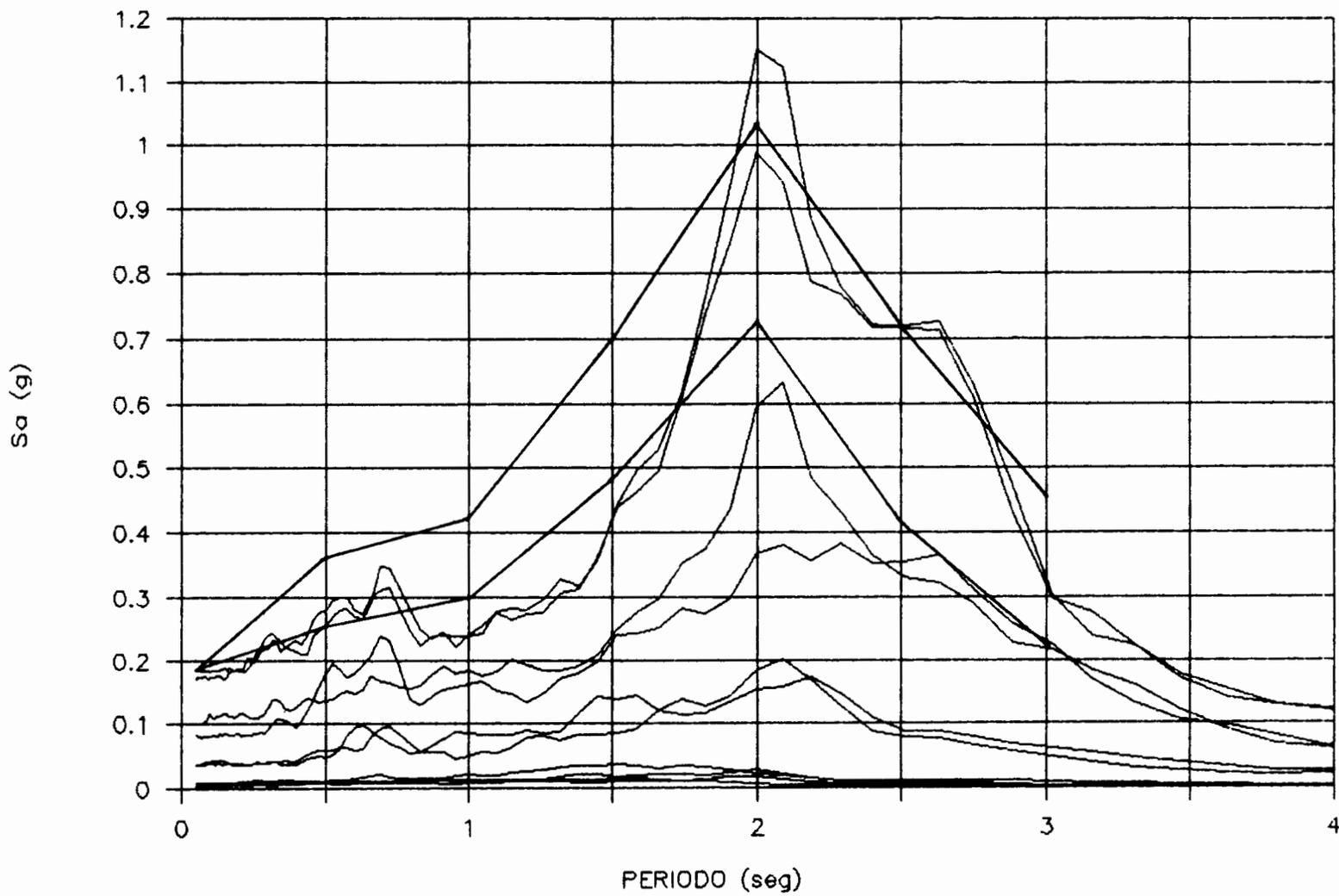


Fig. 9 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio SCT y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

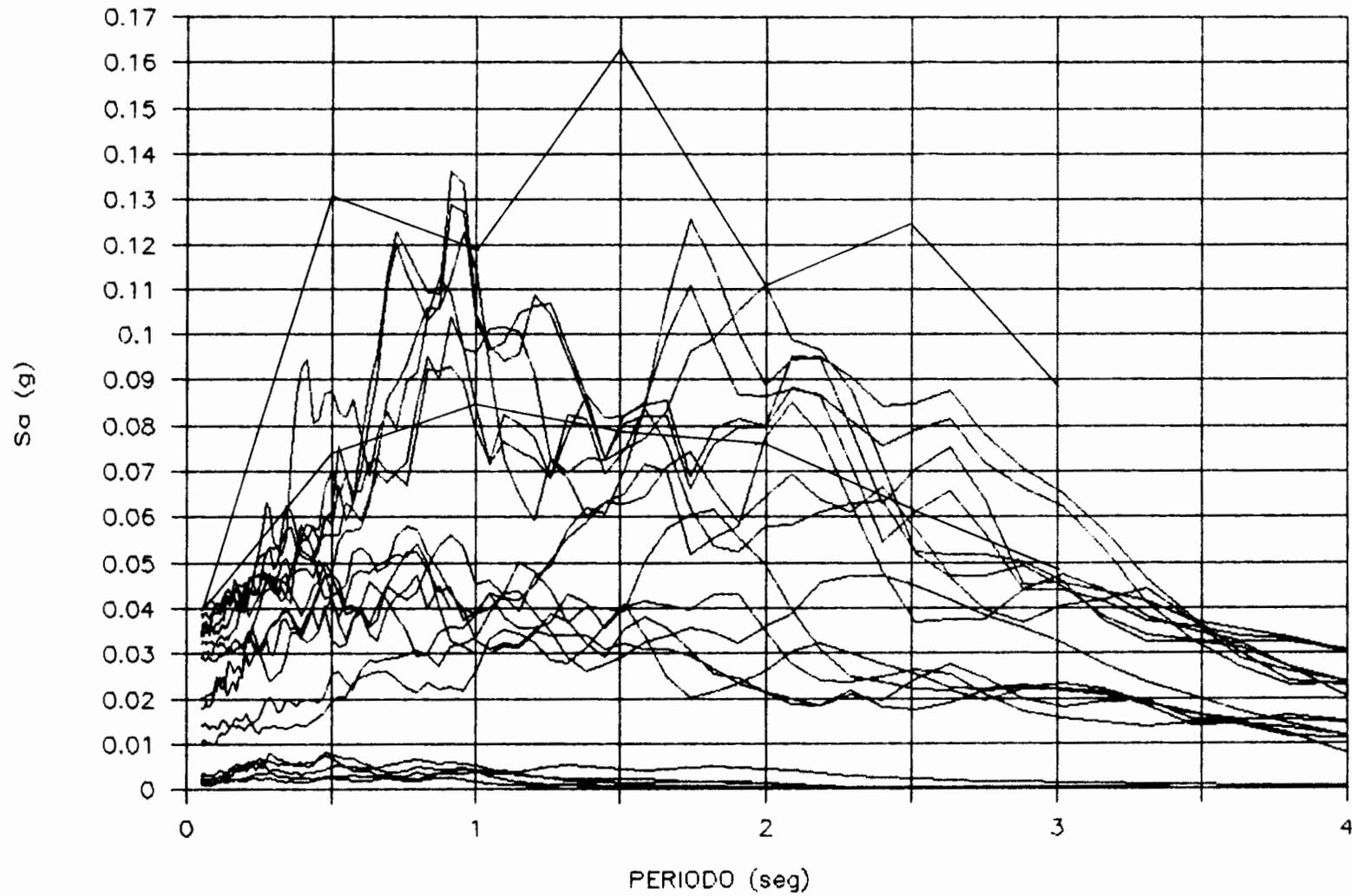


Fig. 10 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio CU y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

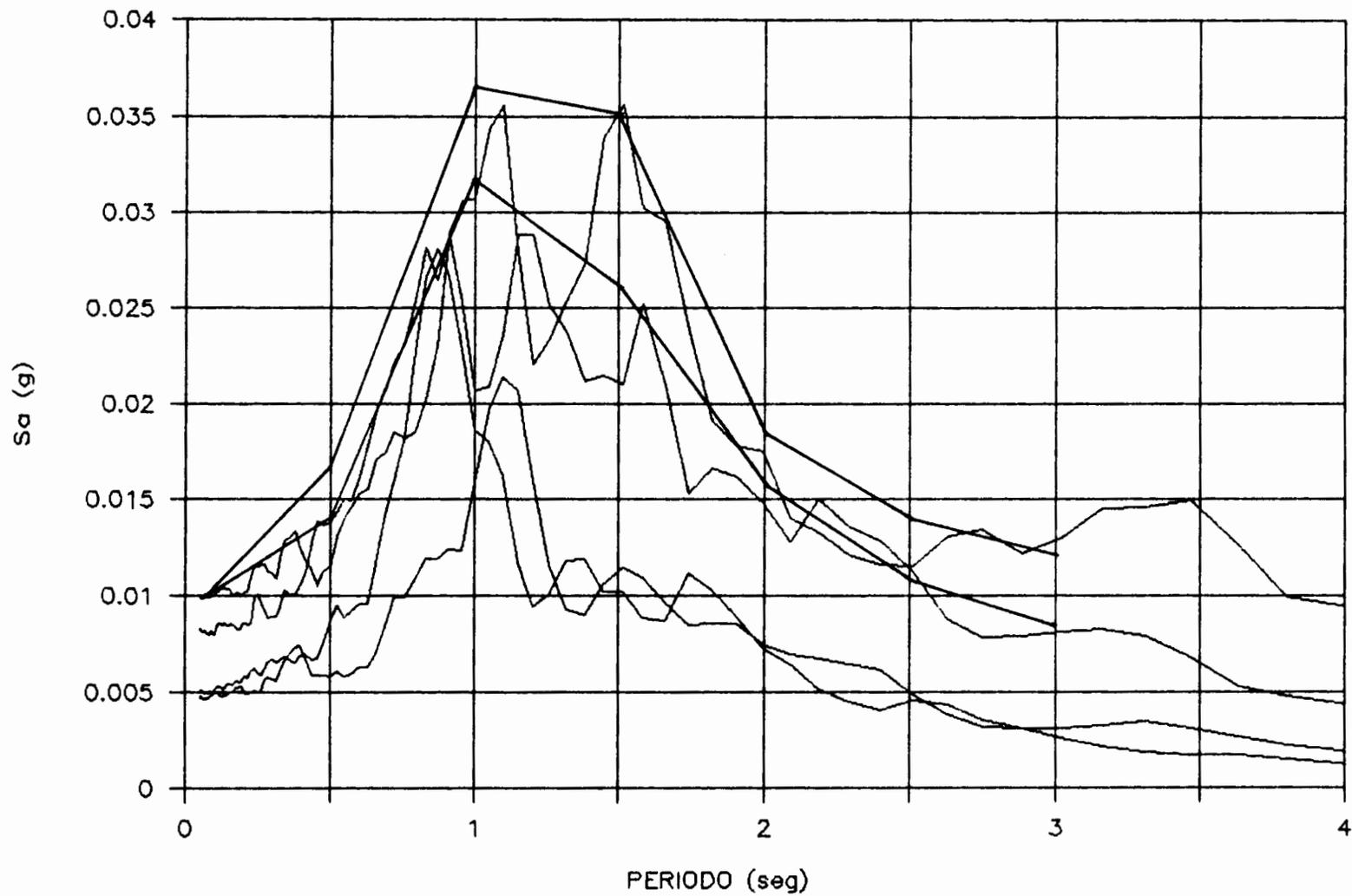


Fig. 11 Espectros de respuesta de los movimientos registrados en el sitio Aeropuerto y sus envolventes máxima y promedio calculadas.

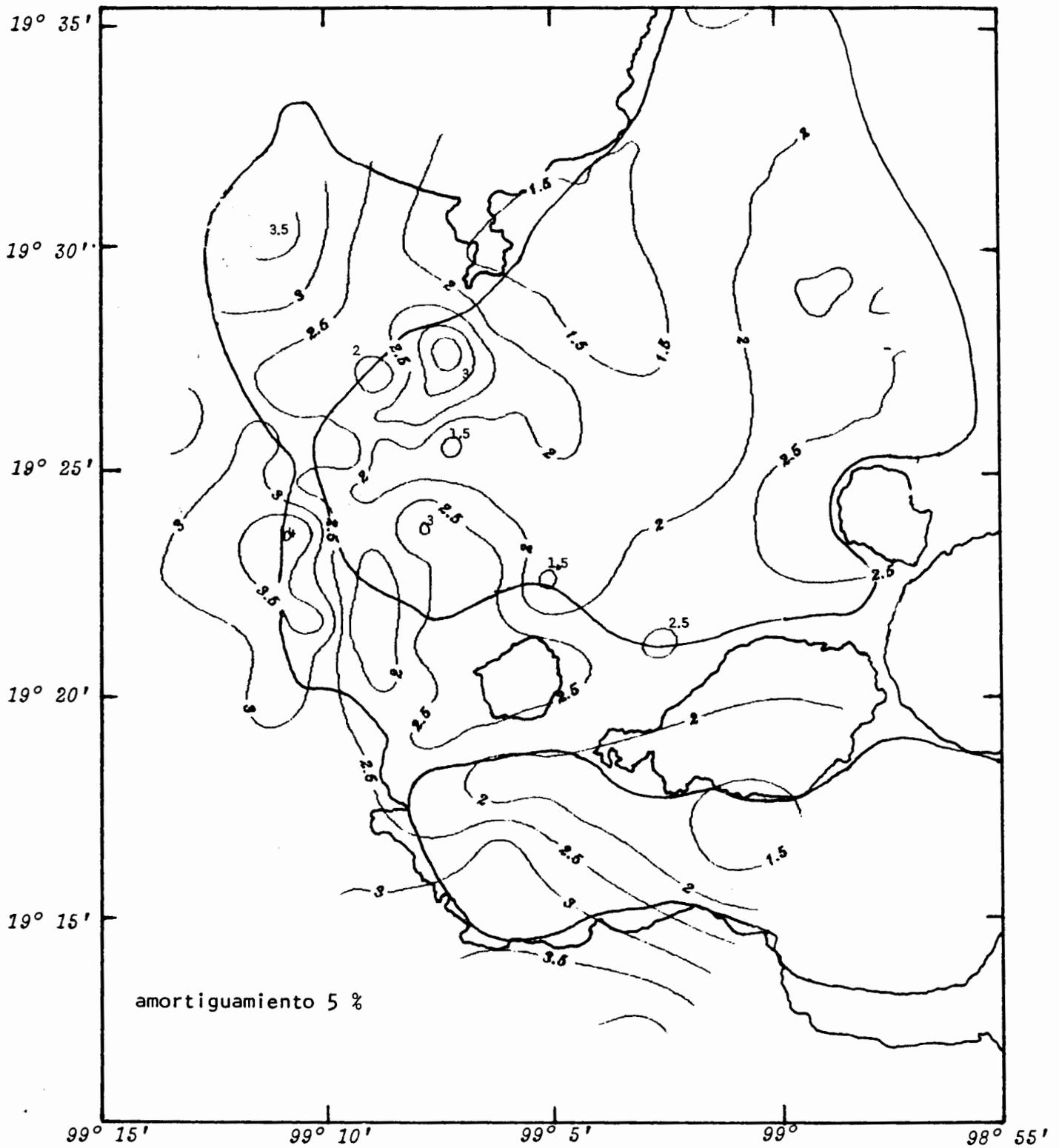


Fig. 12 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 0.5$ s.

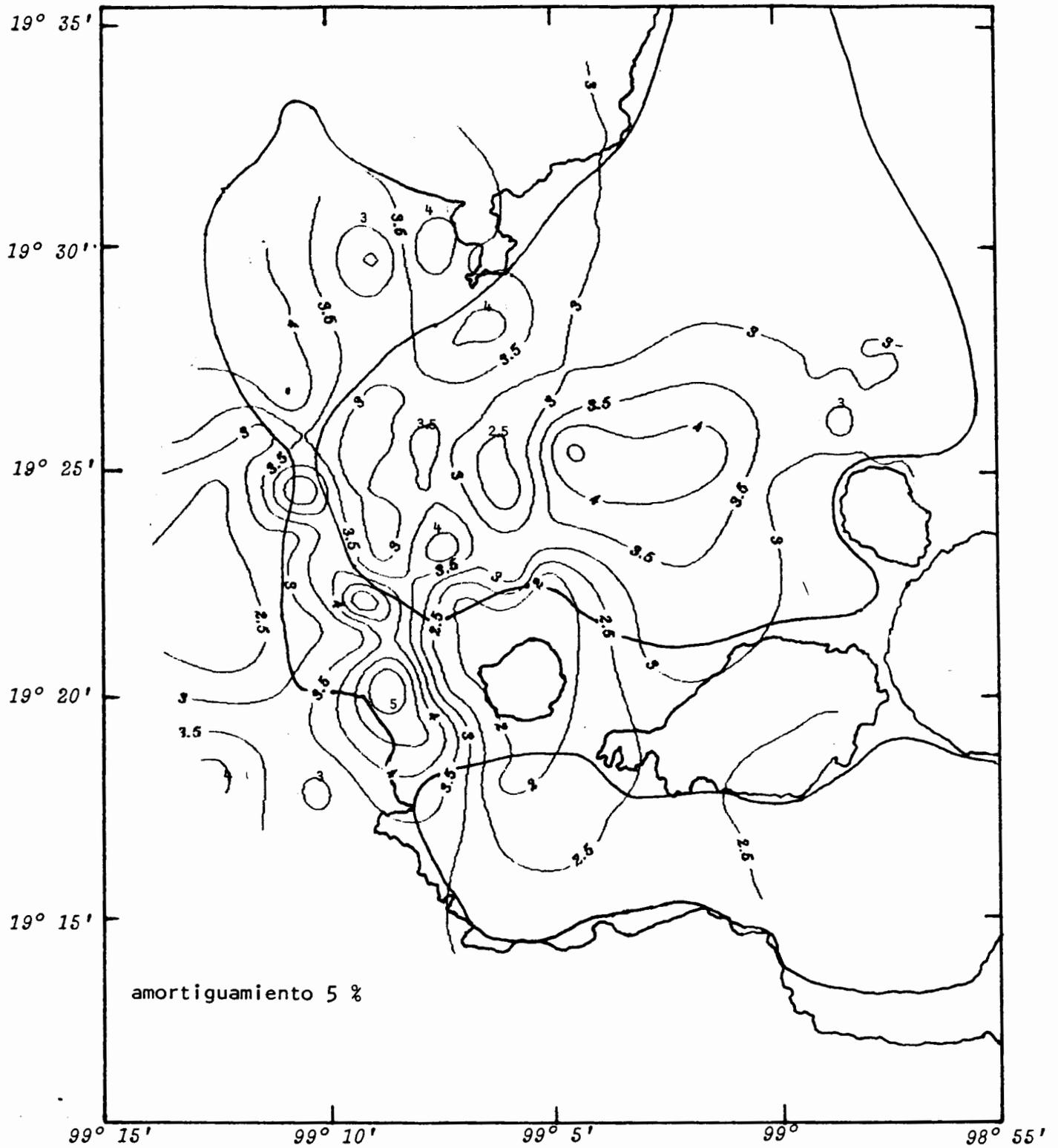


Fig. 13 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 1.0$ s.

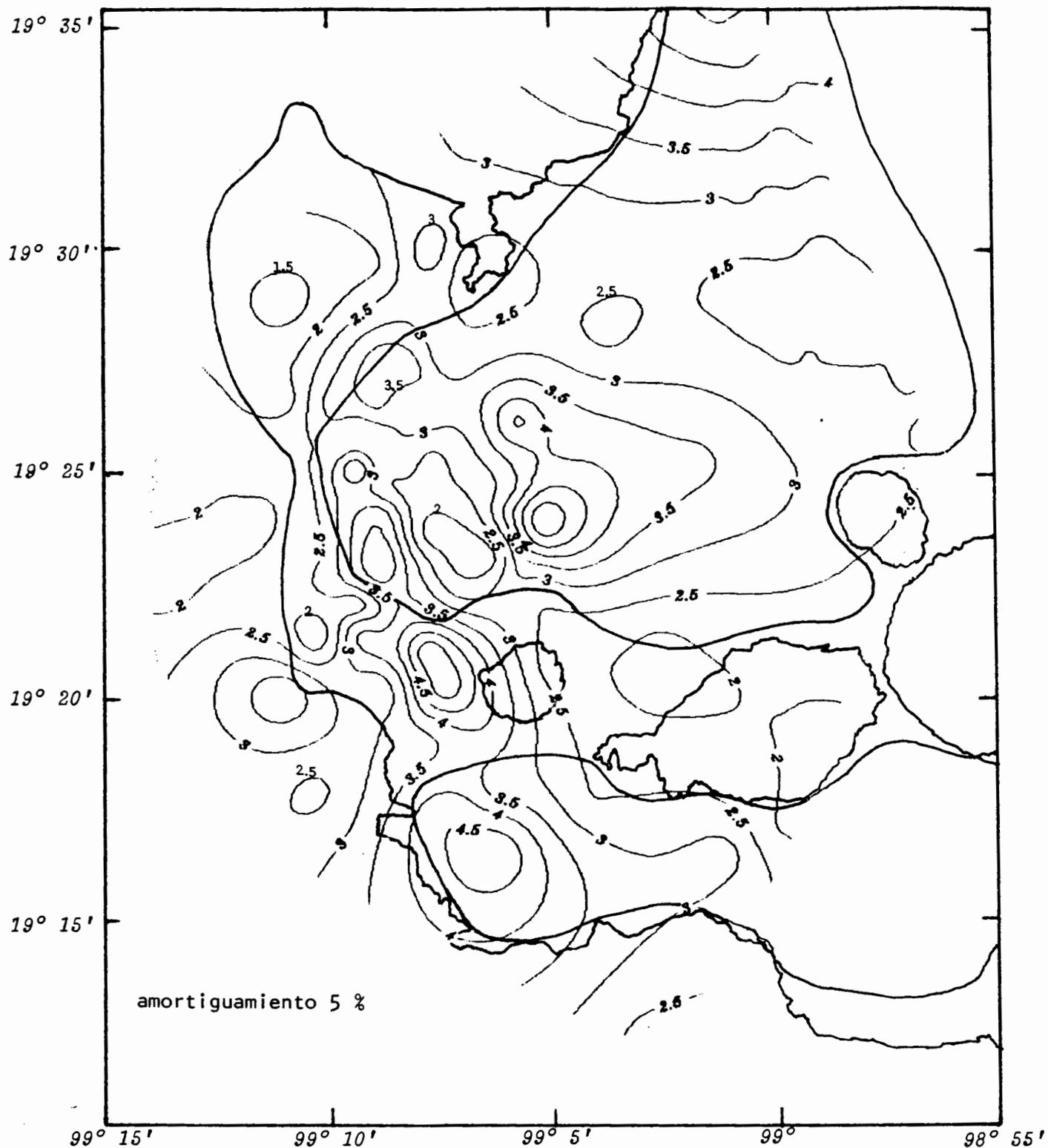


Fig. 14 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 1.5$ s.

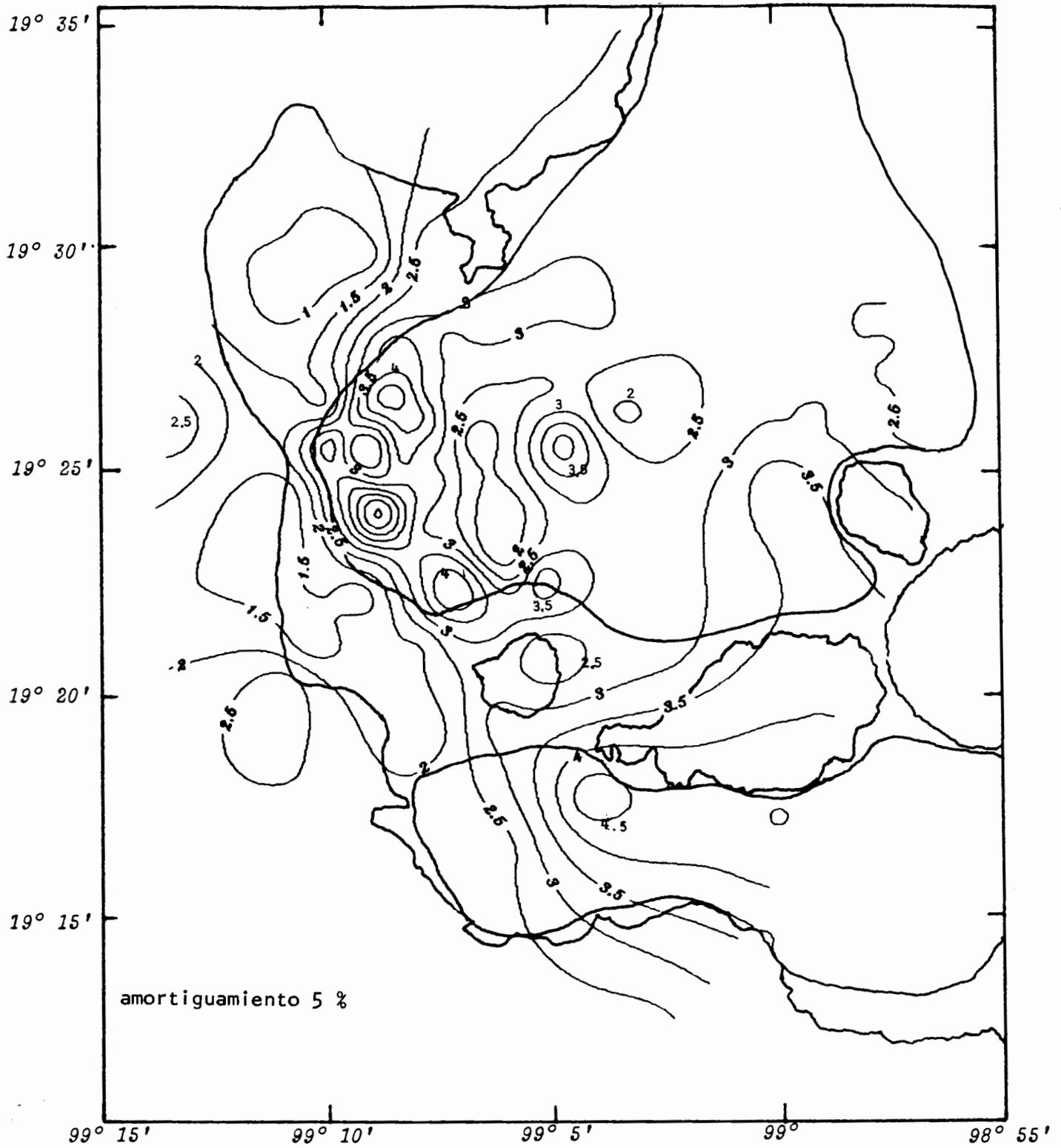


Fig. 15 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 2.0$ s.

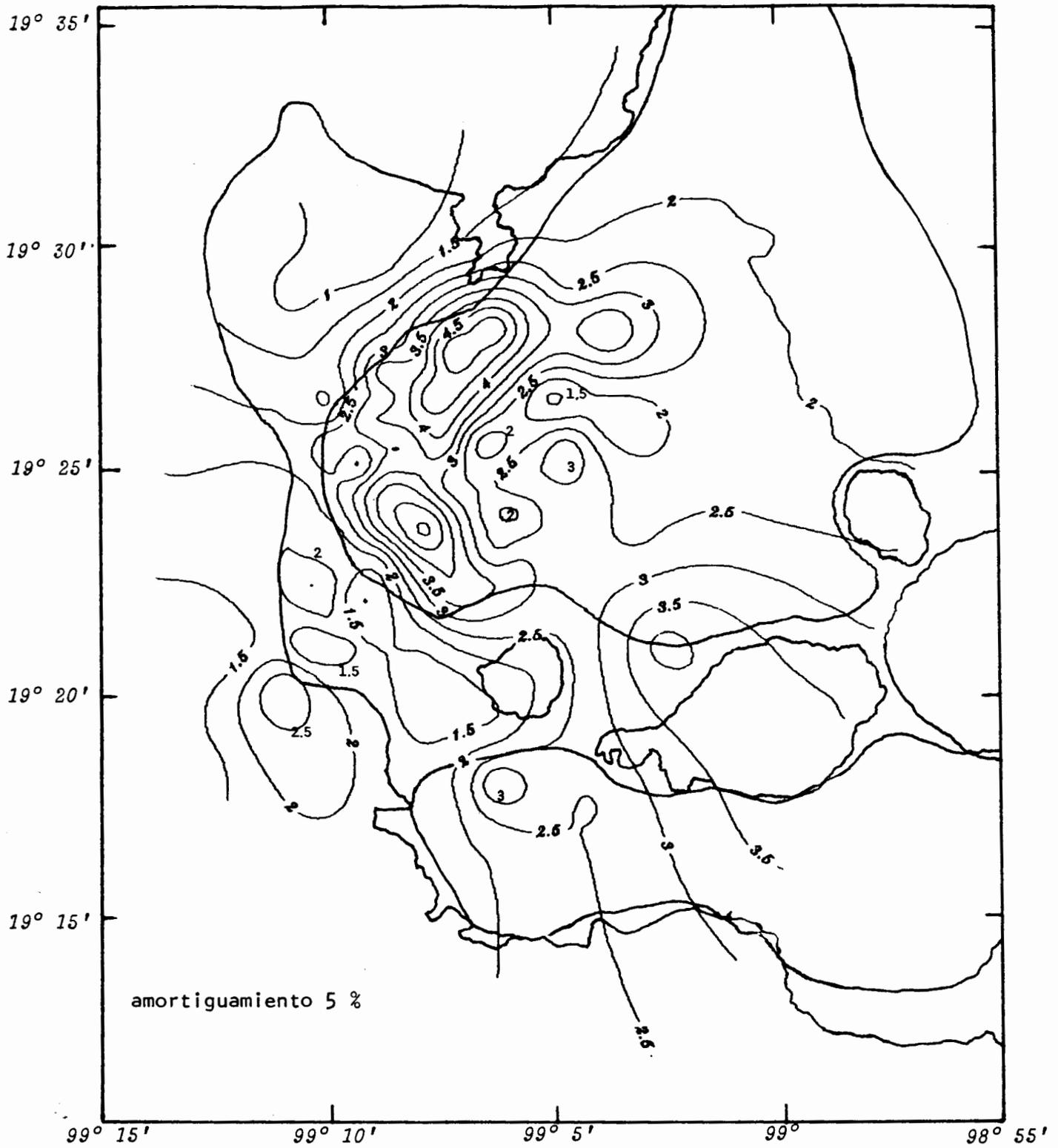


Fig. 16 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 2.5$ s.

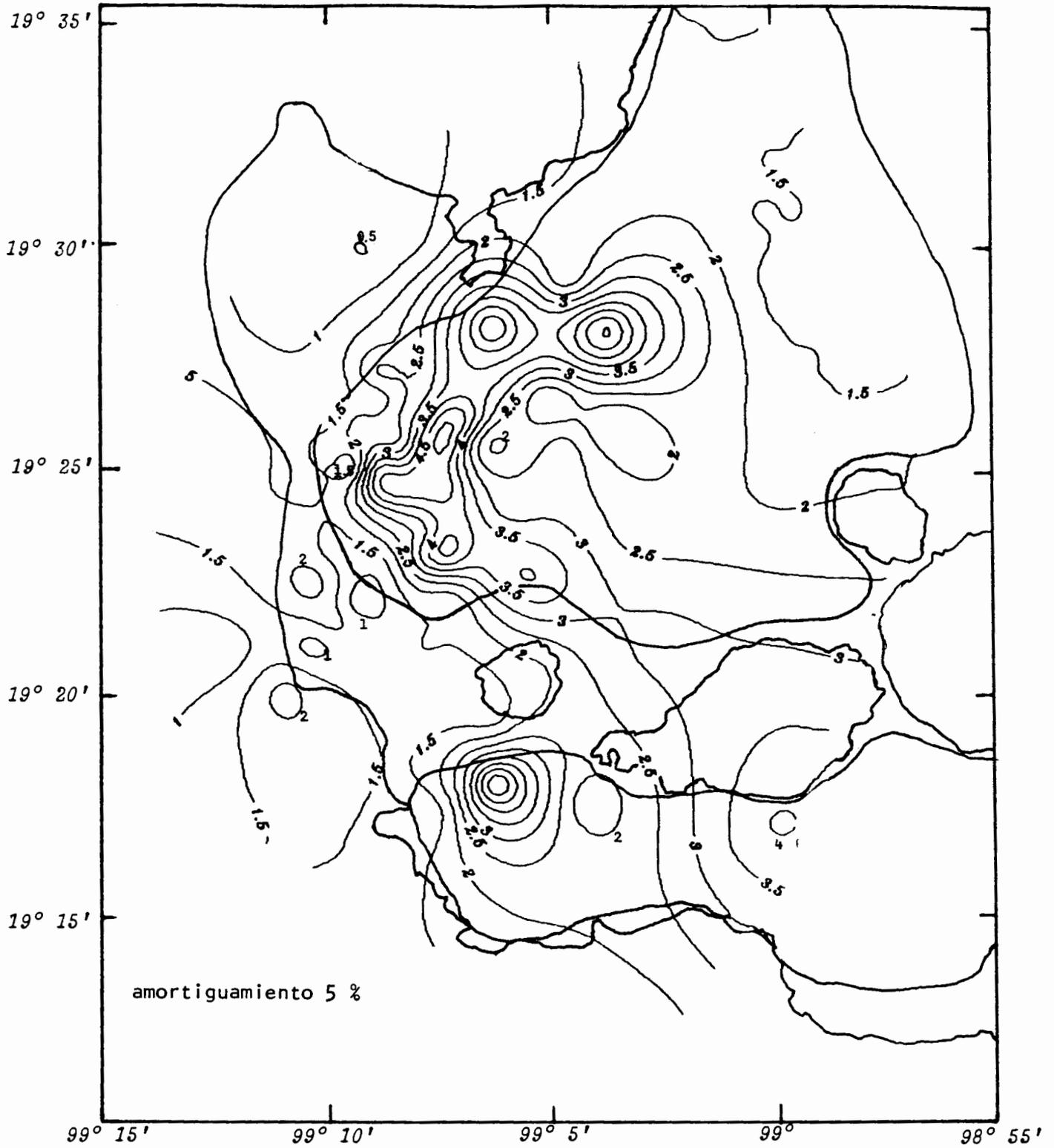


Fig. 17 Amplificación espectral máxima de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 3.0$ s.

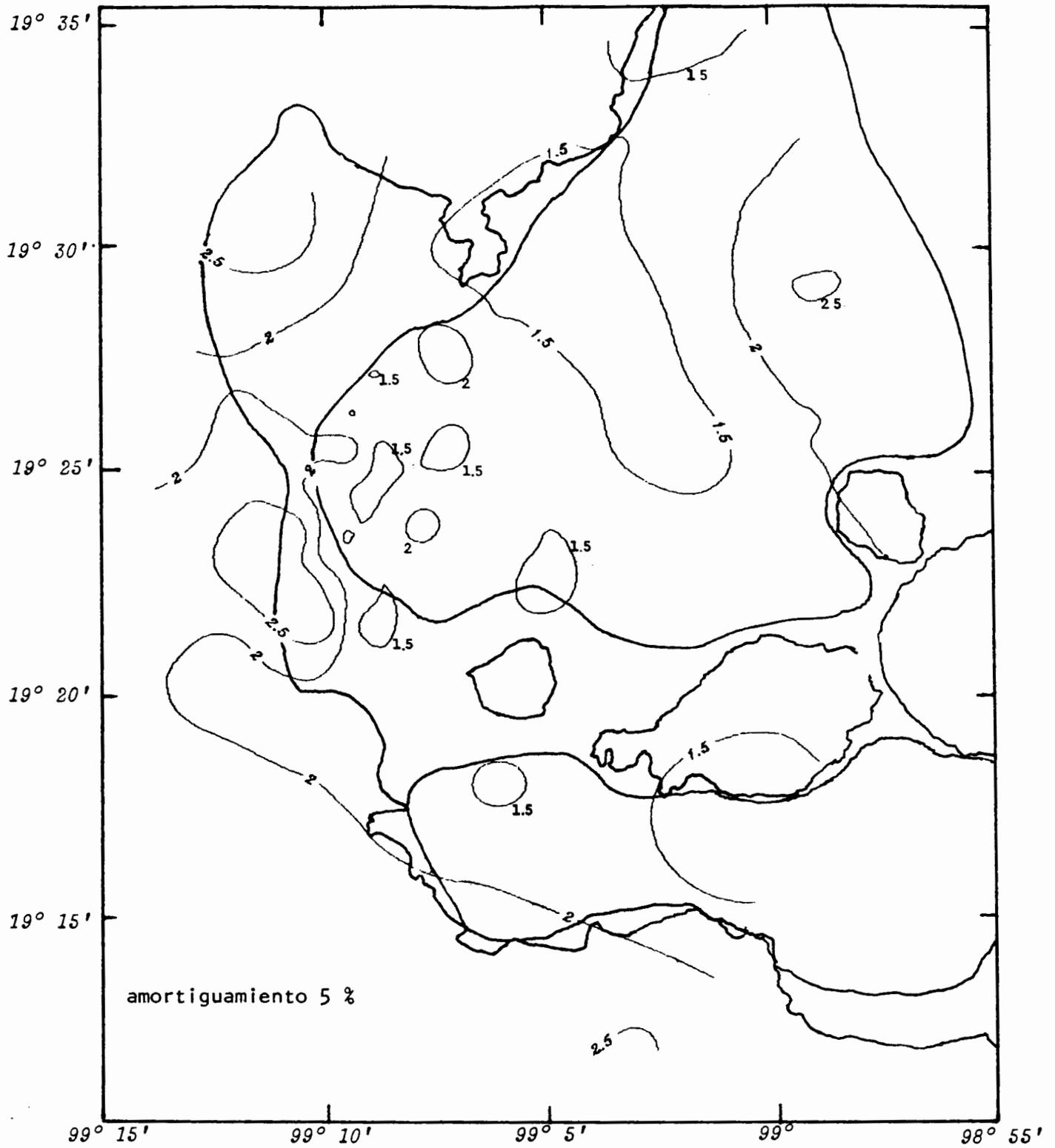


Fig. 18 Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 0.5$ s..

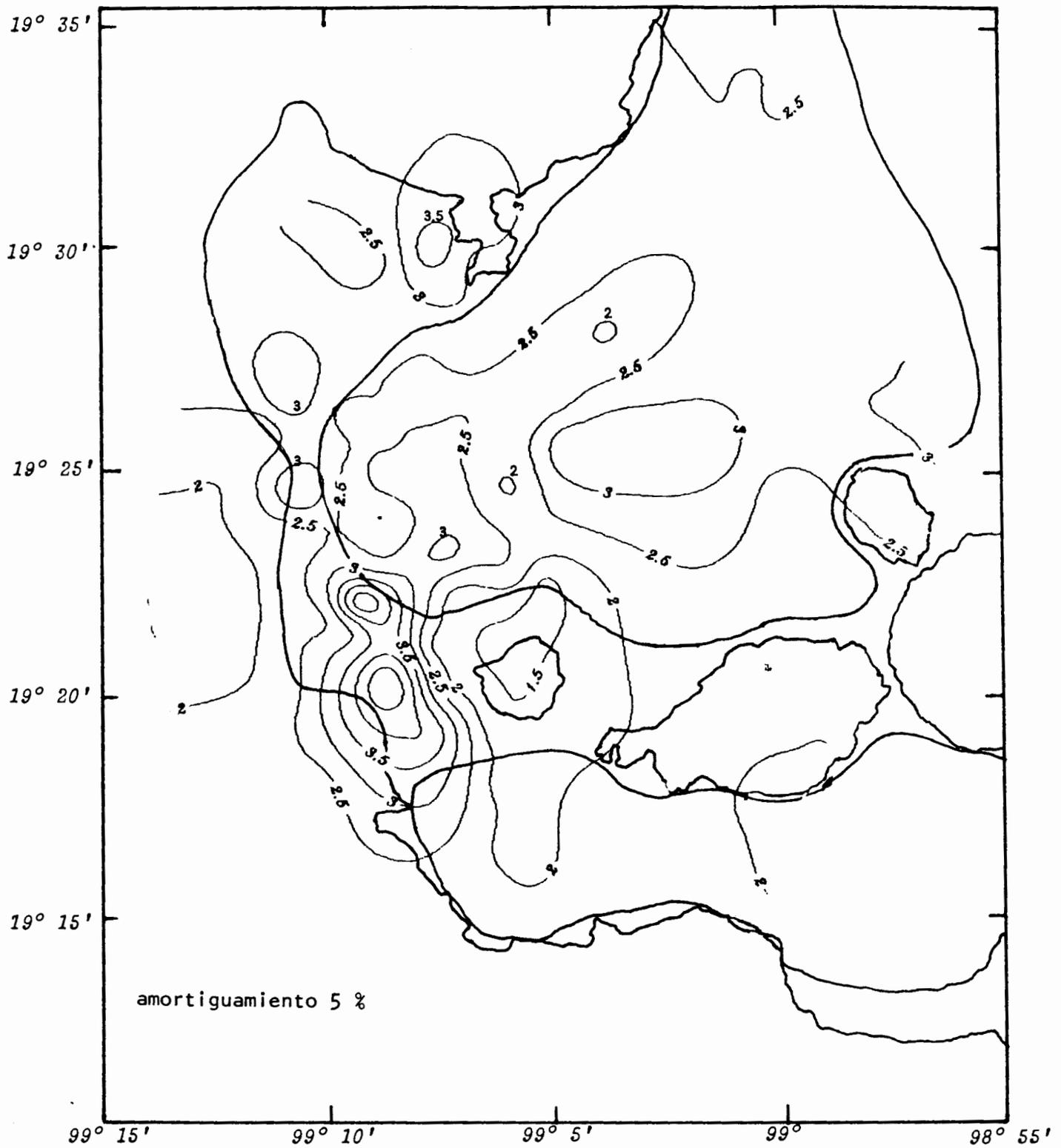


Fig. 19: Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 1.0$ s.

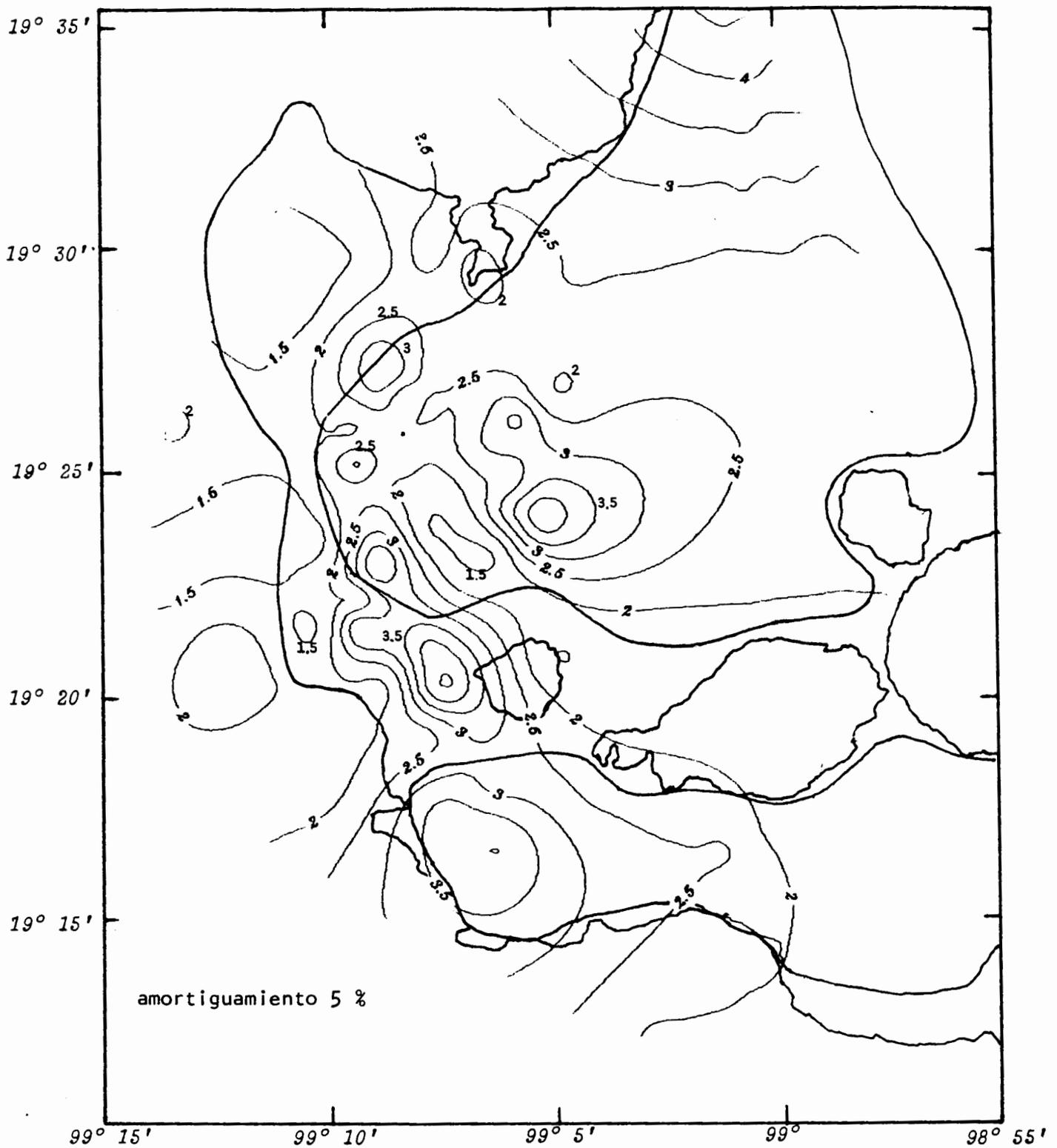


Fig. 20 Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 1.5$ s.

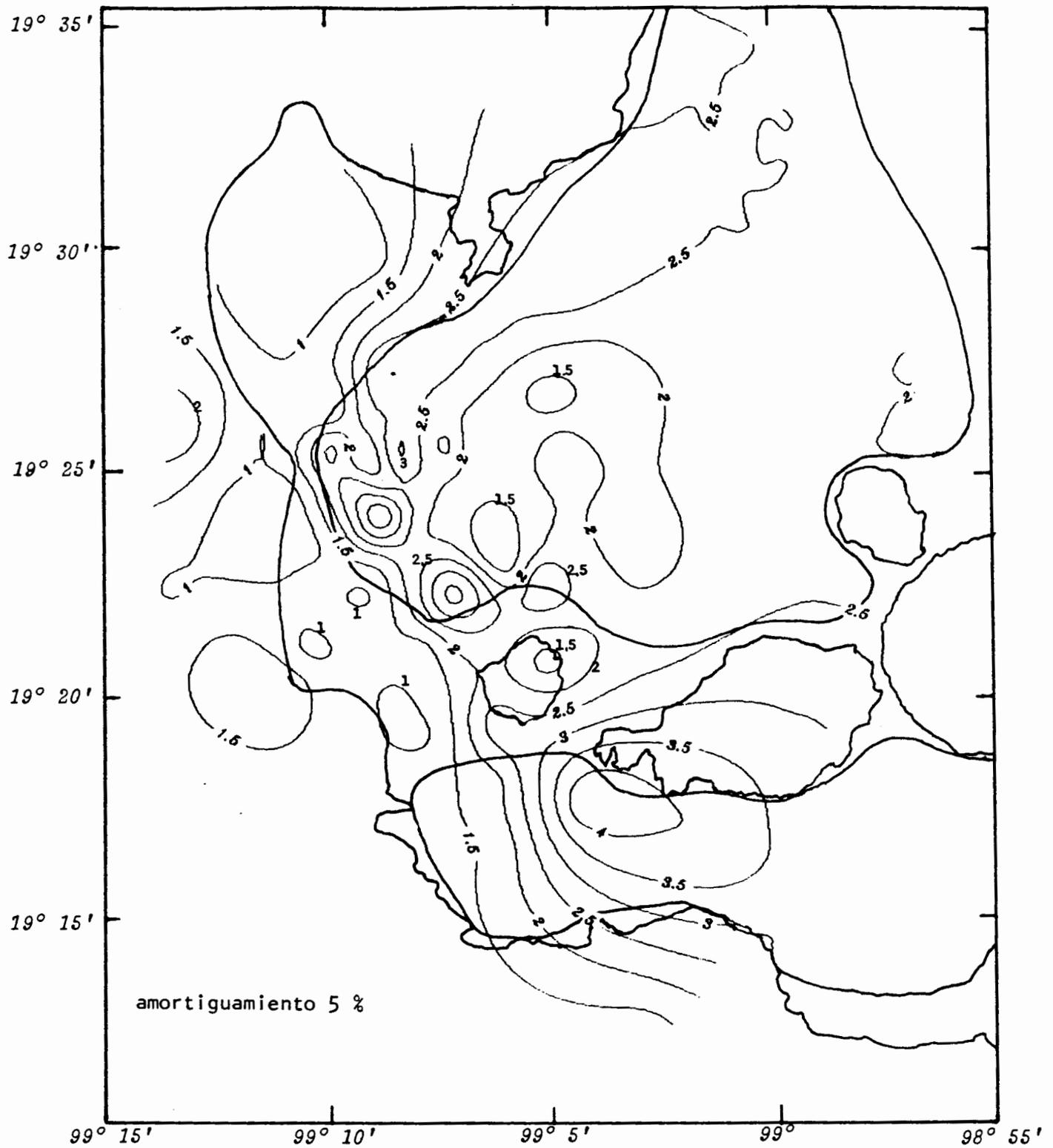


Fig. 21 Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 2.0$ s.

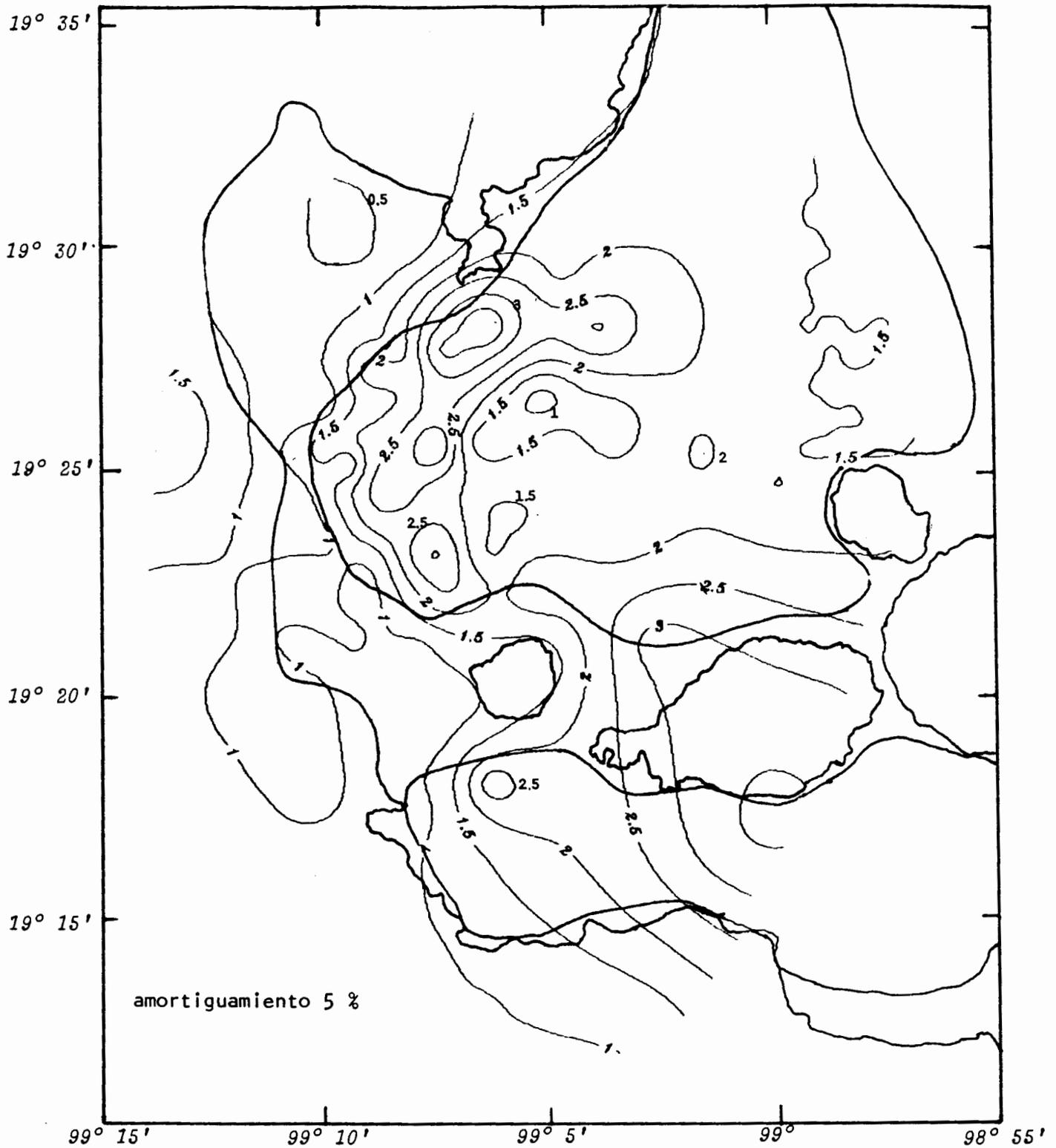


Fig. 22 Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 2.5$ s.

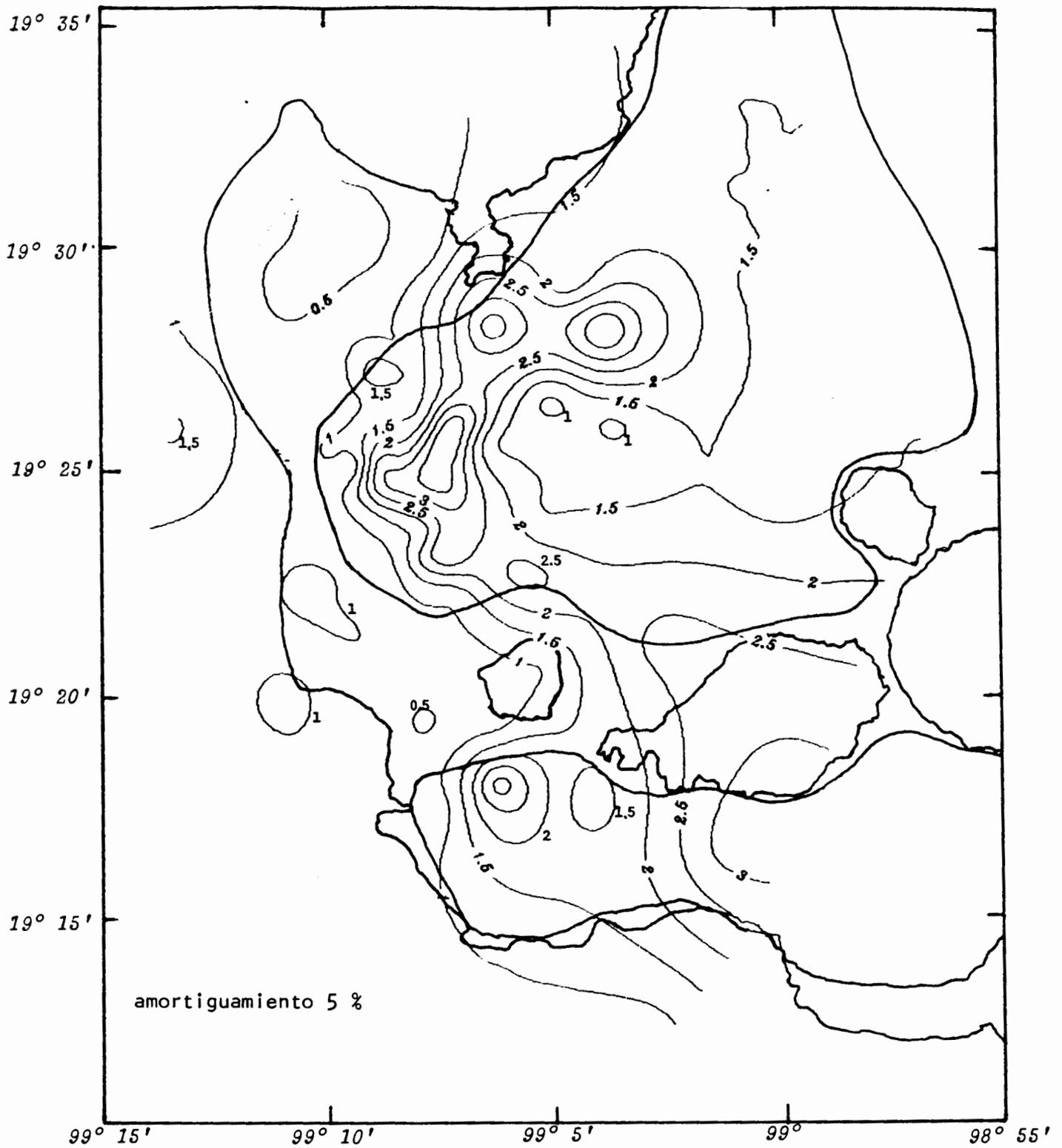


Fig. 23 Amplificación espectral promedio de los movimientos ocurridos en el valle de México para el periodo $T = 3.0$ s.

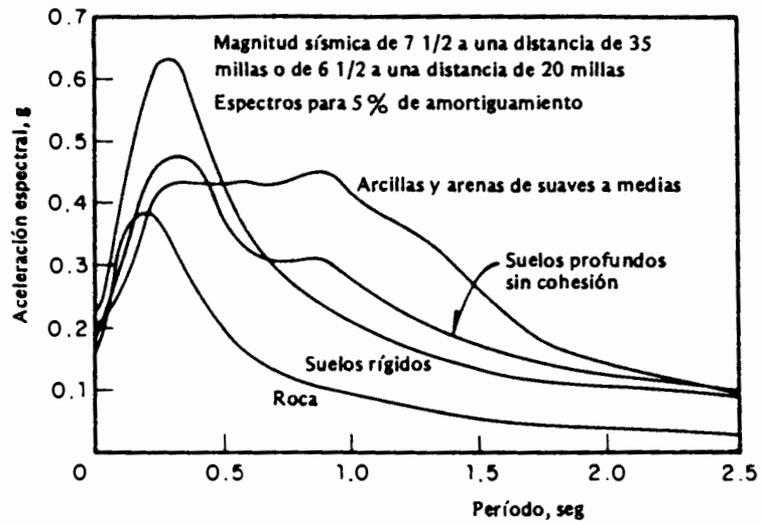


Fig. 24 Espectros promedio en diferentes tipos de suelo

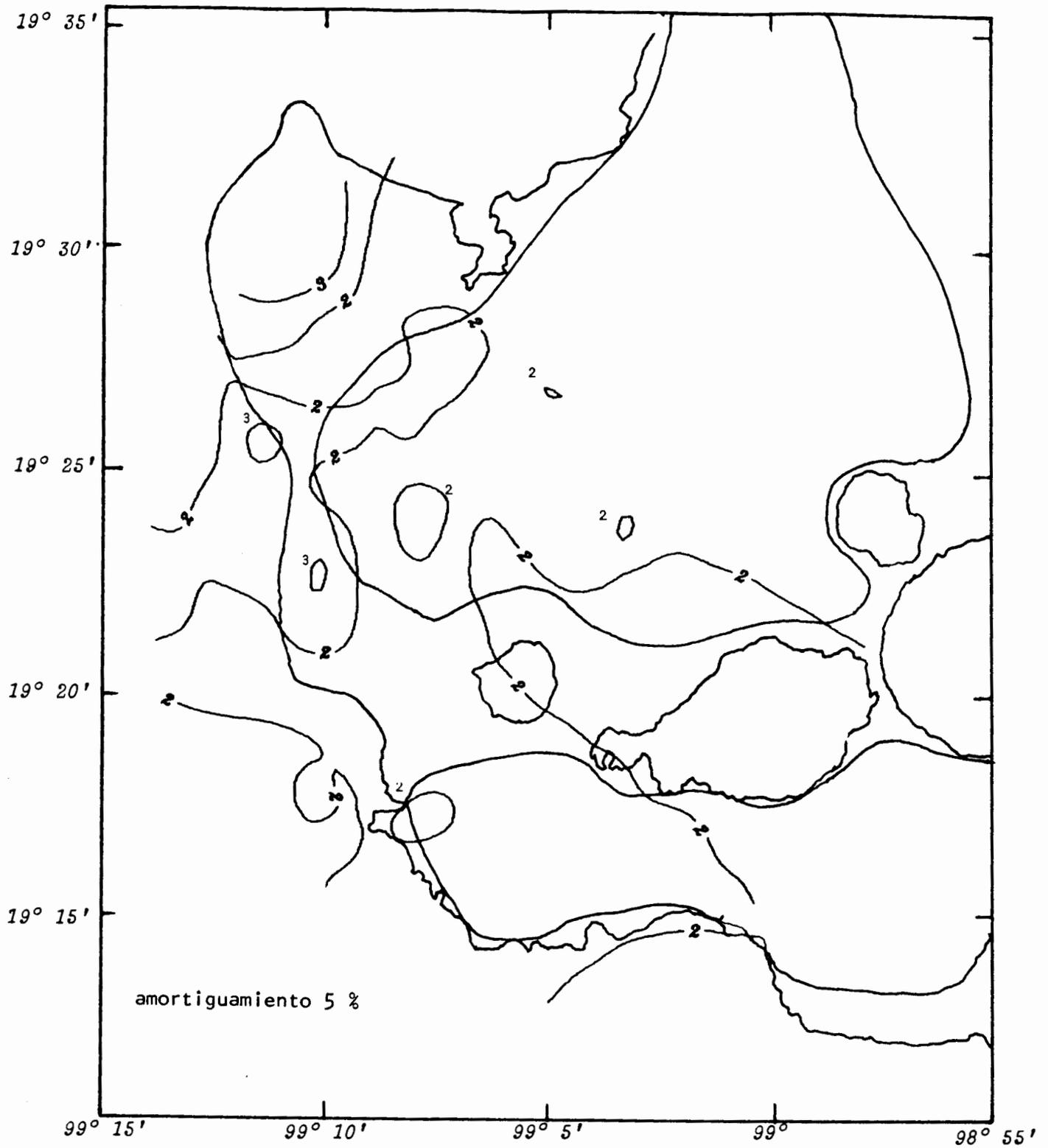


Fig. 25 Amplificación espectral máxima para $T = 0.5$ s del sismo del 31 de mayo de 1990 ocurrido en el valle de México.

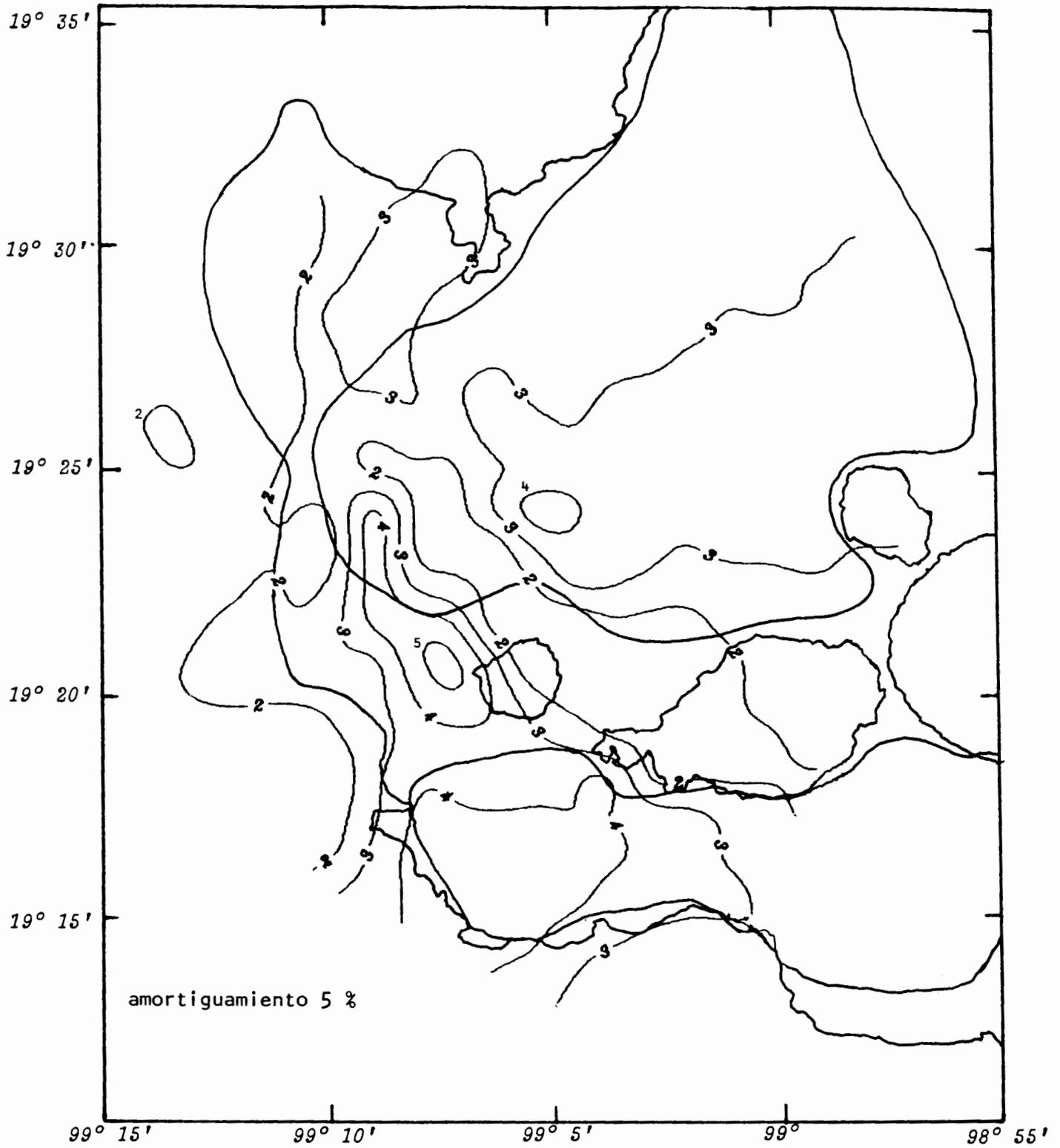


Fig. 26 Amplificación espectral máxima para $T = 1.5$ s del sismo del 31 de mayo de 1990 ocurrido en el valle de México.

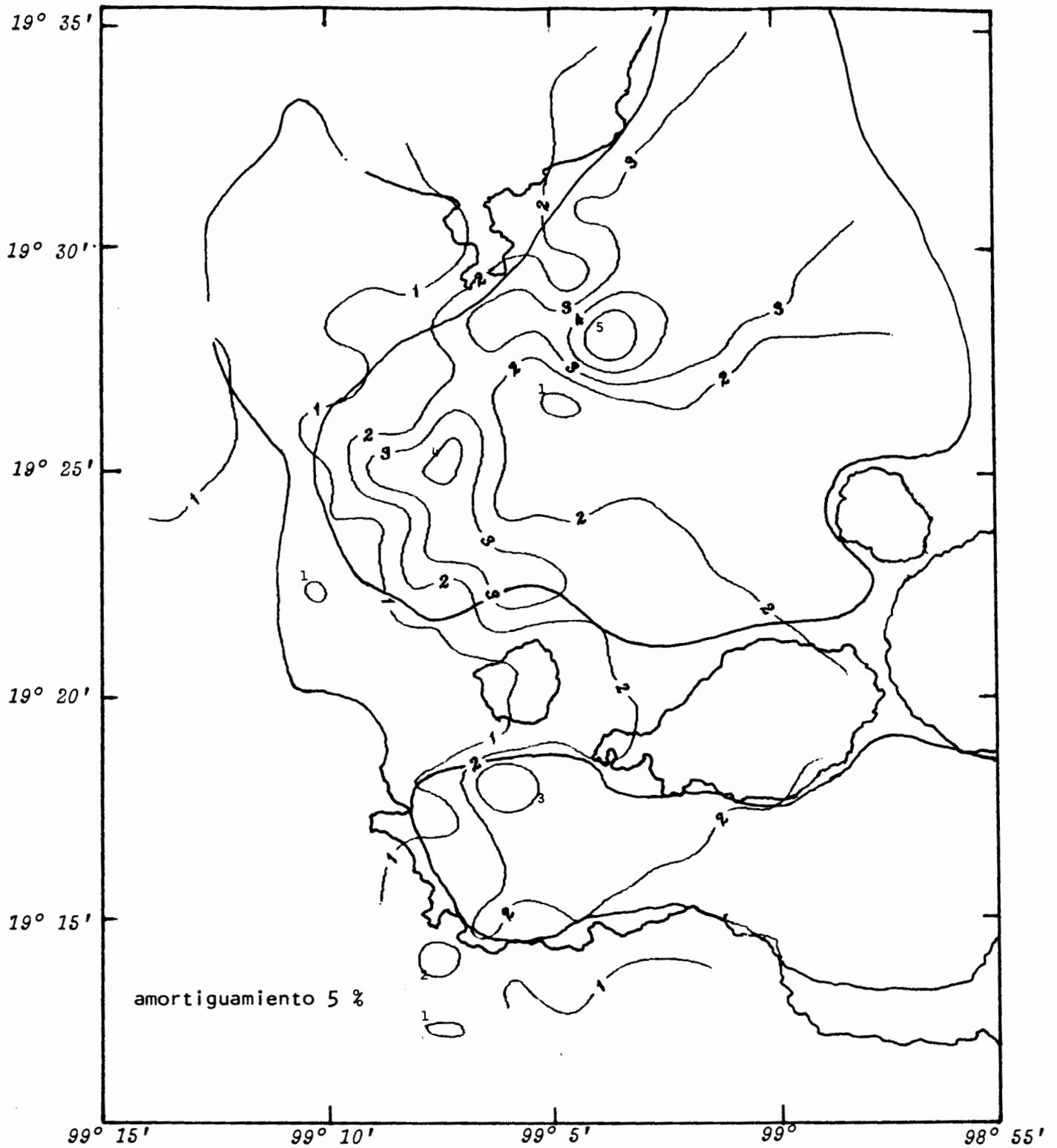


Fig. 27 Amplificación espectral máxima para $T = 3.0$ s del sismo del 31 de mayo de 1990 ocurrido en el valle de México.

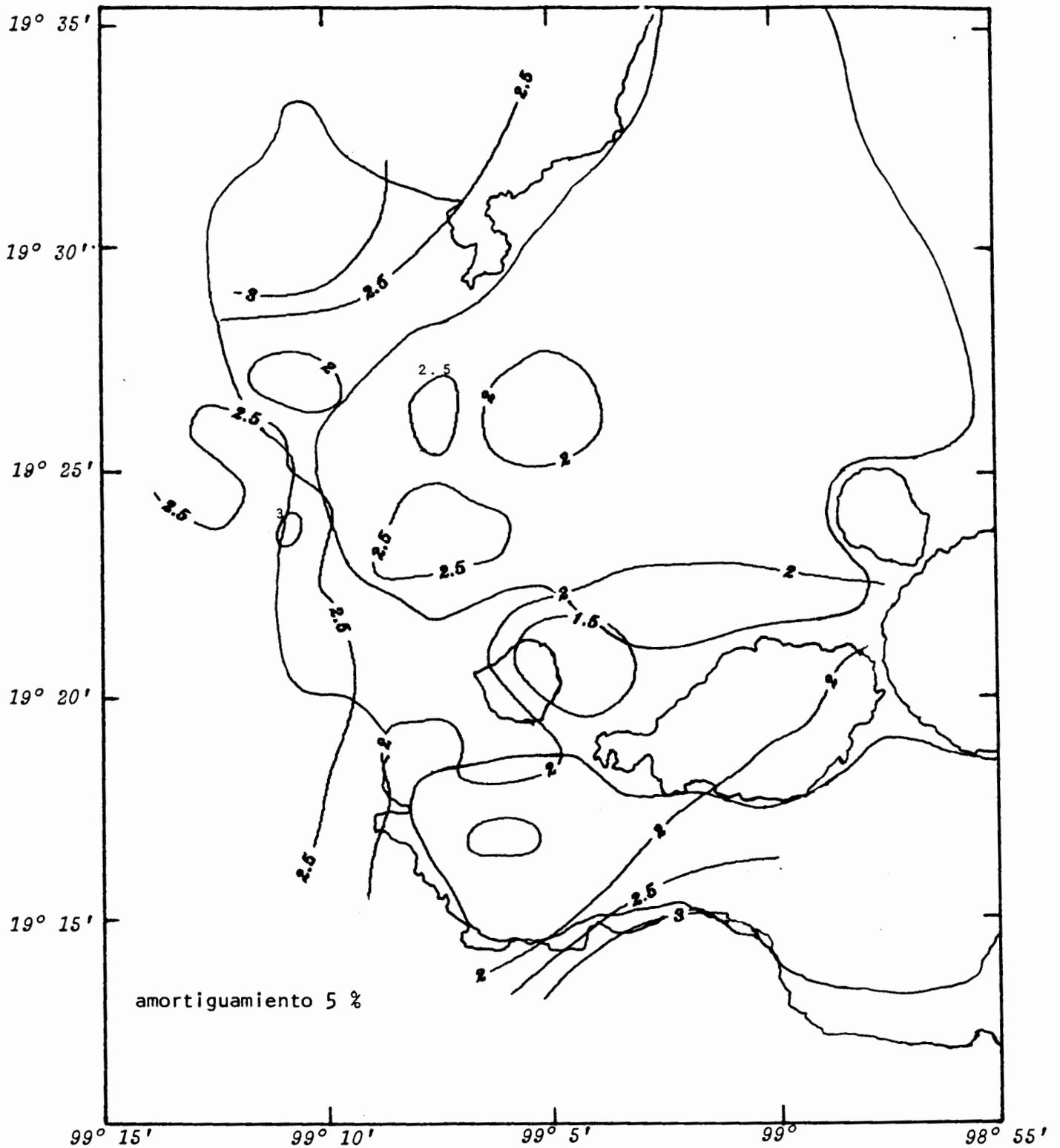


Fig. 28 Amplificación espectral promedio para $T = 0.5$ s del sismo del 8 de febrero de 1988 ocurrido en el valle de México.

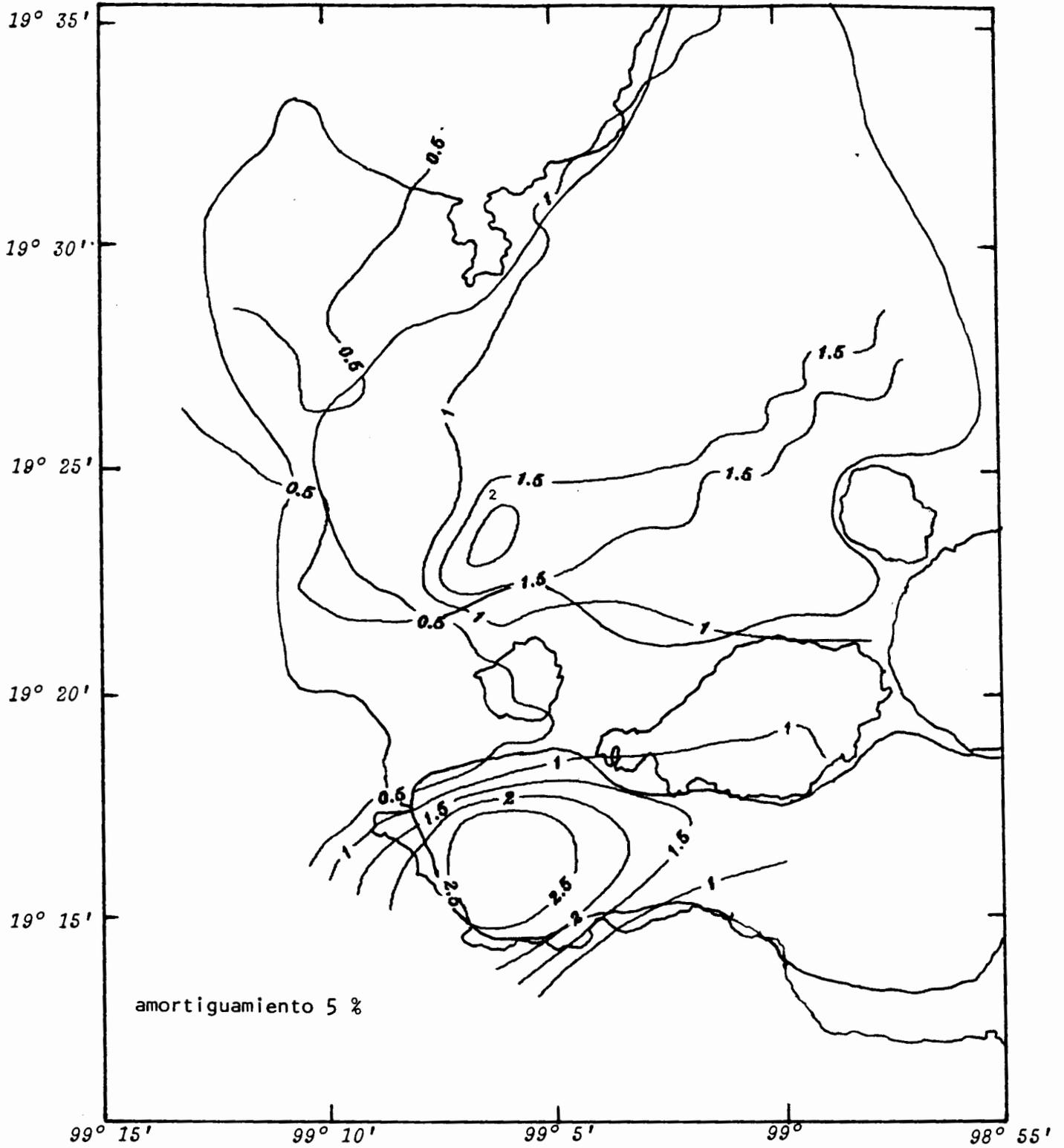


Fig. 29 Amplificación espectral promedio para $T = 3.0$ S del sismo del 8 de febrero de 1988 ocurrido en el valle de México.

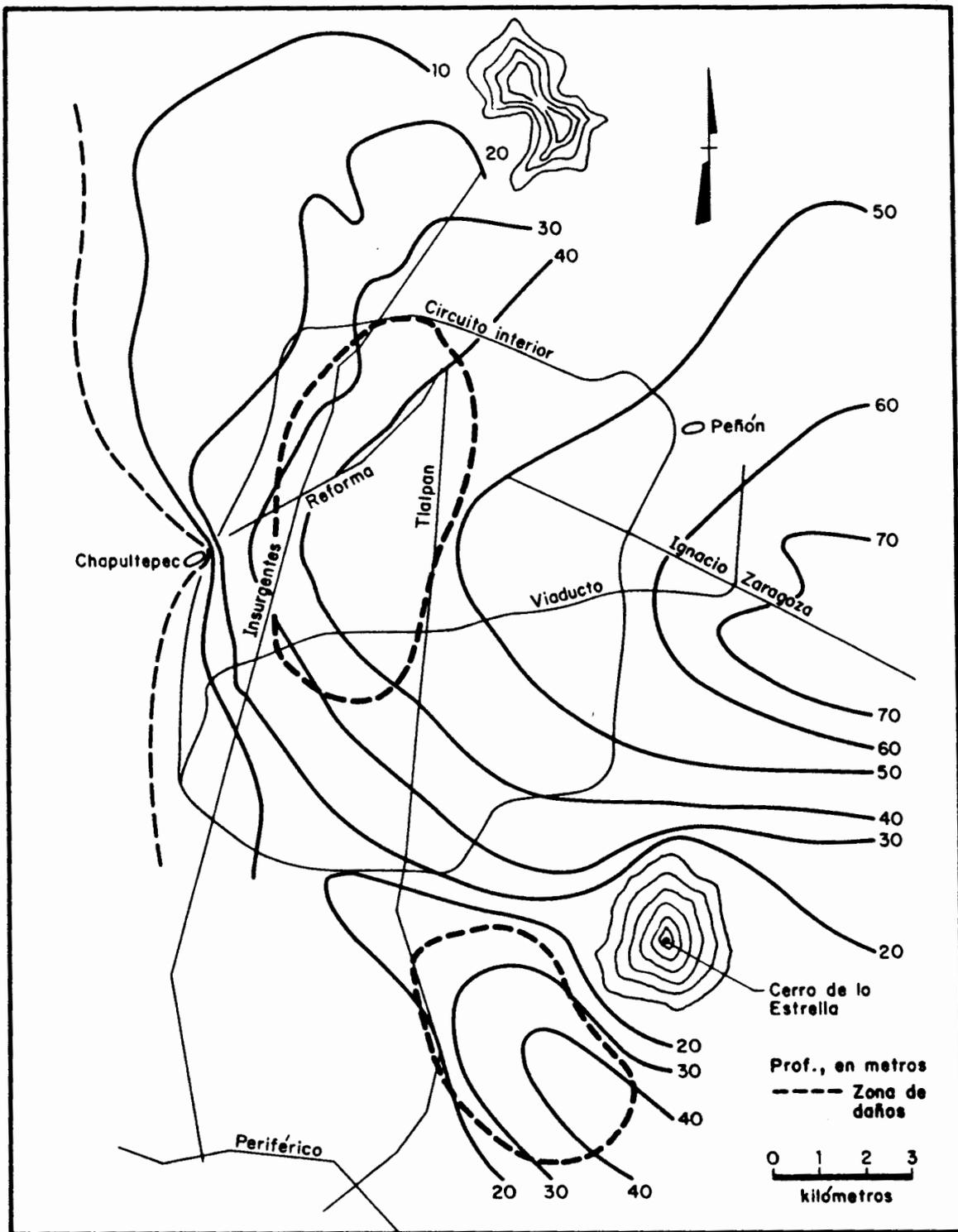


Fig. 30 Espesores aproximados de los depósitos de suelo blando.

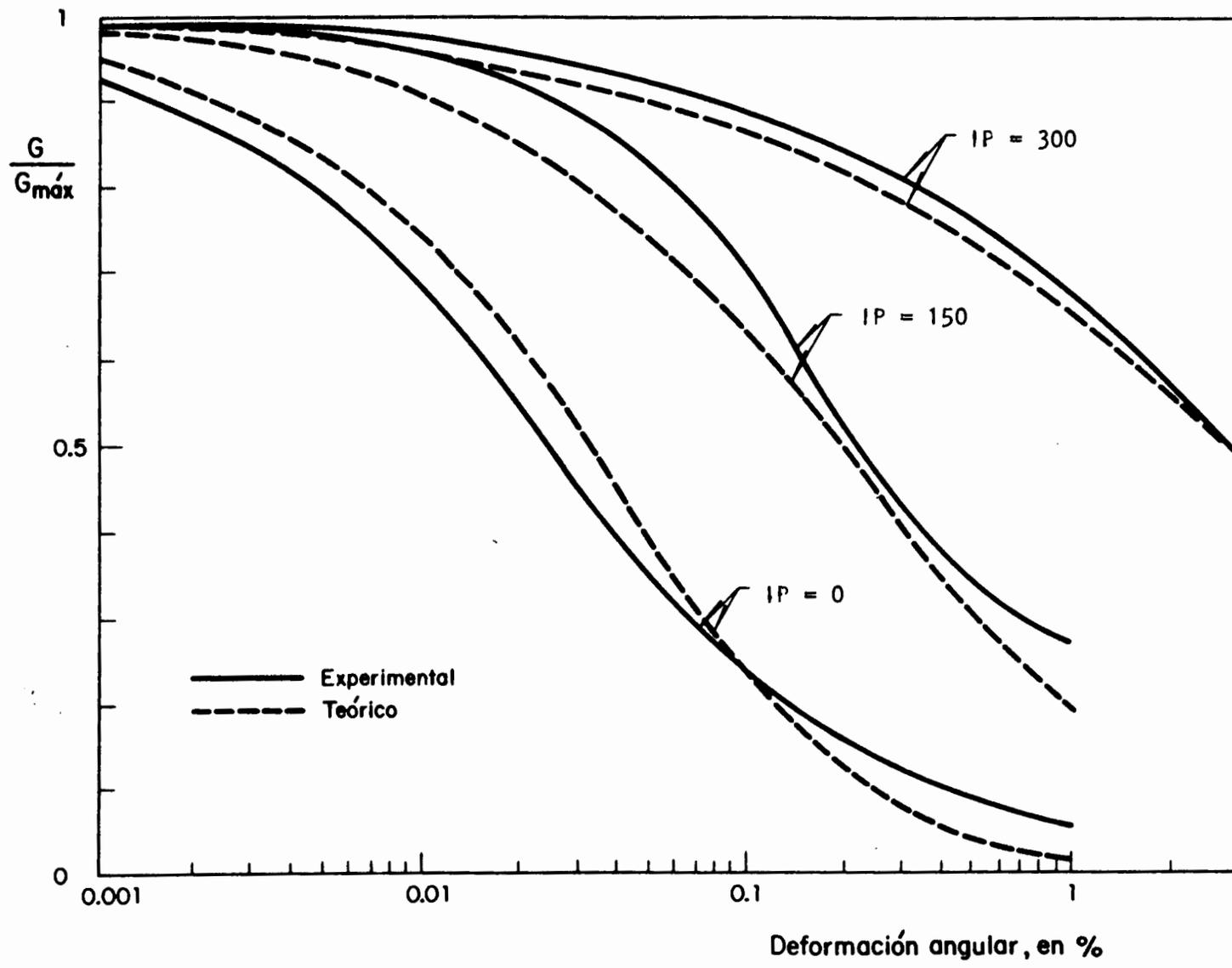


Fig. 31 Efecto del IP en la relación $G/G_{\text{máx}}$ - deformación angular para las arcillas de la ciudad de México [Romo, 1990].

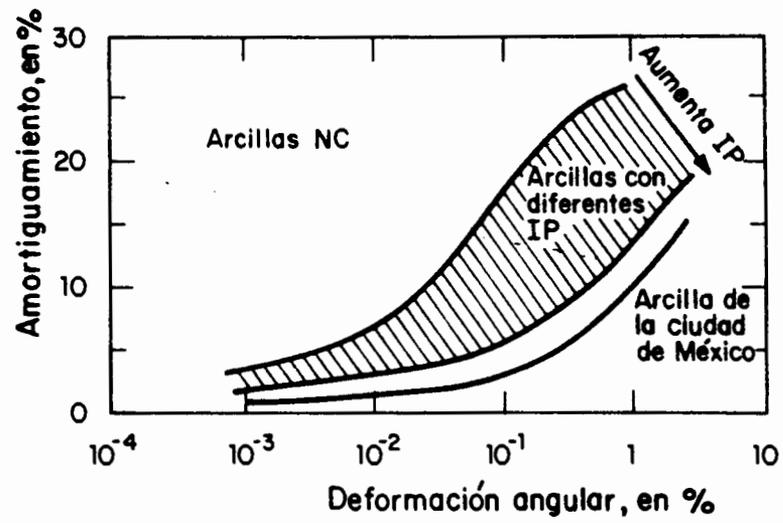


Fig. 32 Efecto del IP en el amortiguamiento para las arcillas de la ciudad de México [Romo, 1990].

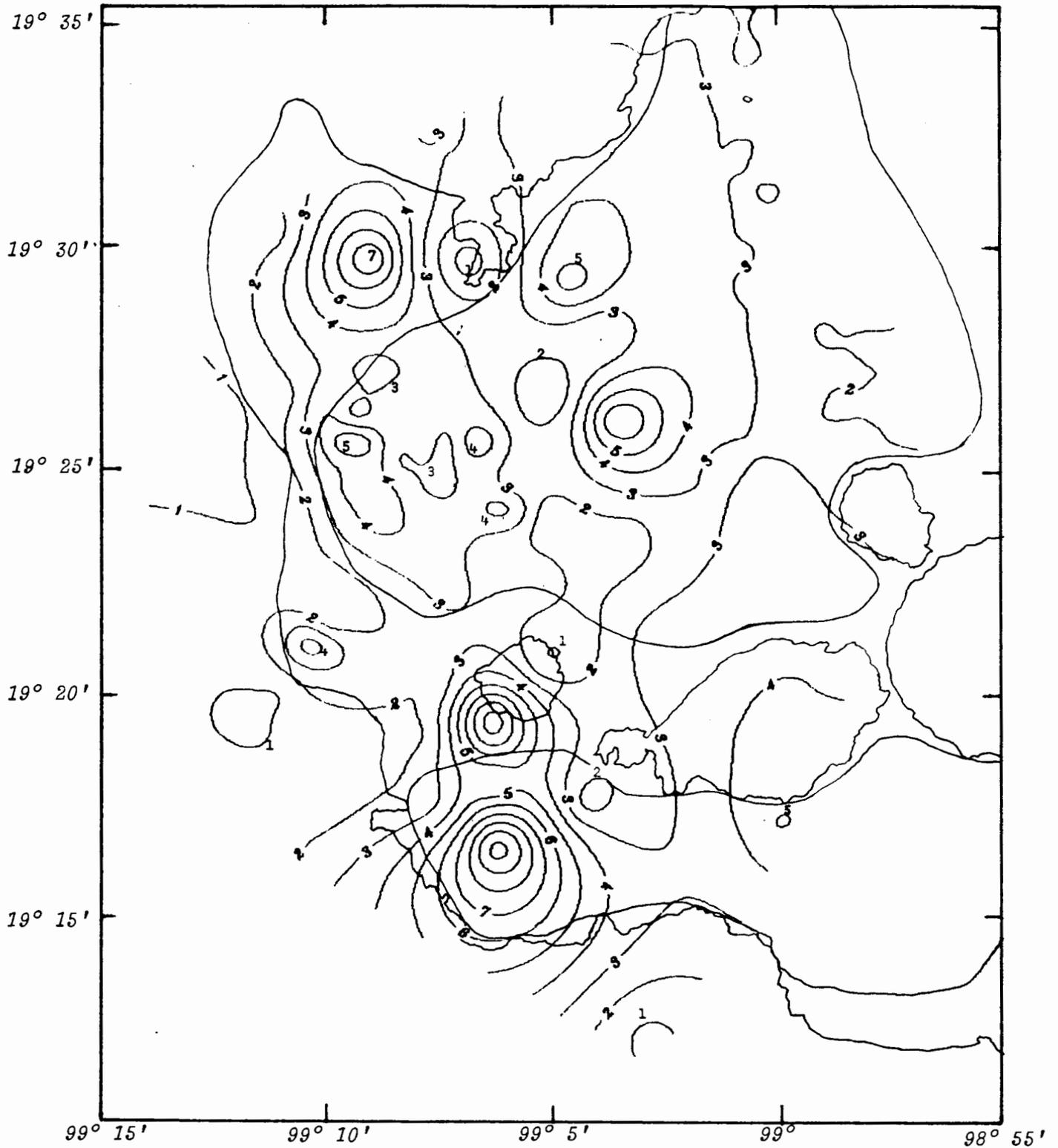


Fig. 33 Relaciones máximas de las aceleraciones máximas del terreno en el valle de México respecto a la aceleración máxima en CU para los sismos críticos ocurridos en el periodo 79-90.

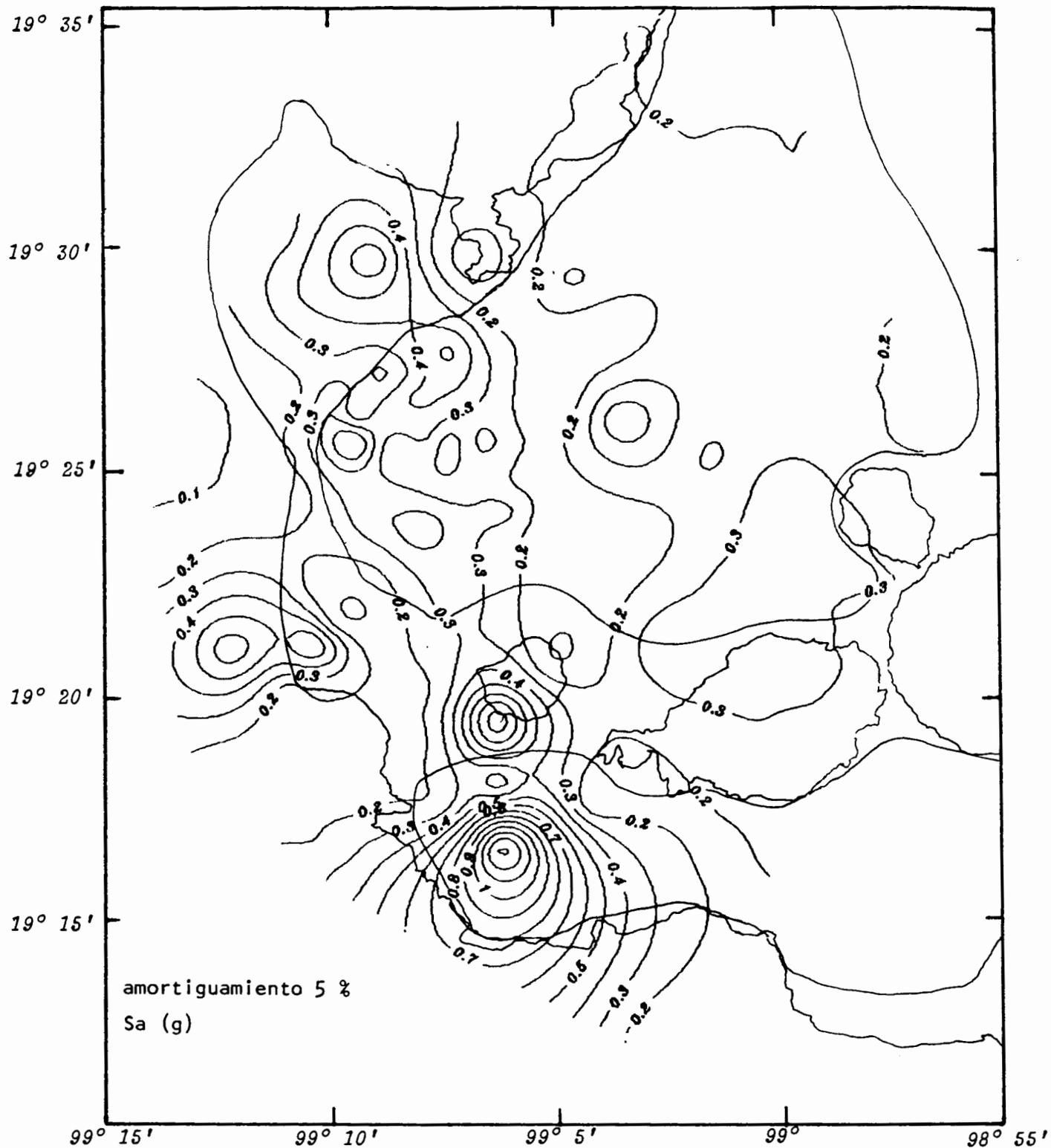


Fig. 34 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 0.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

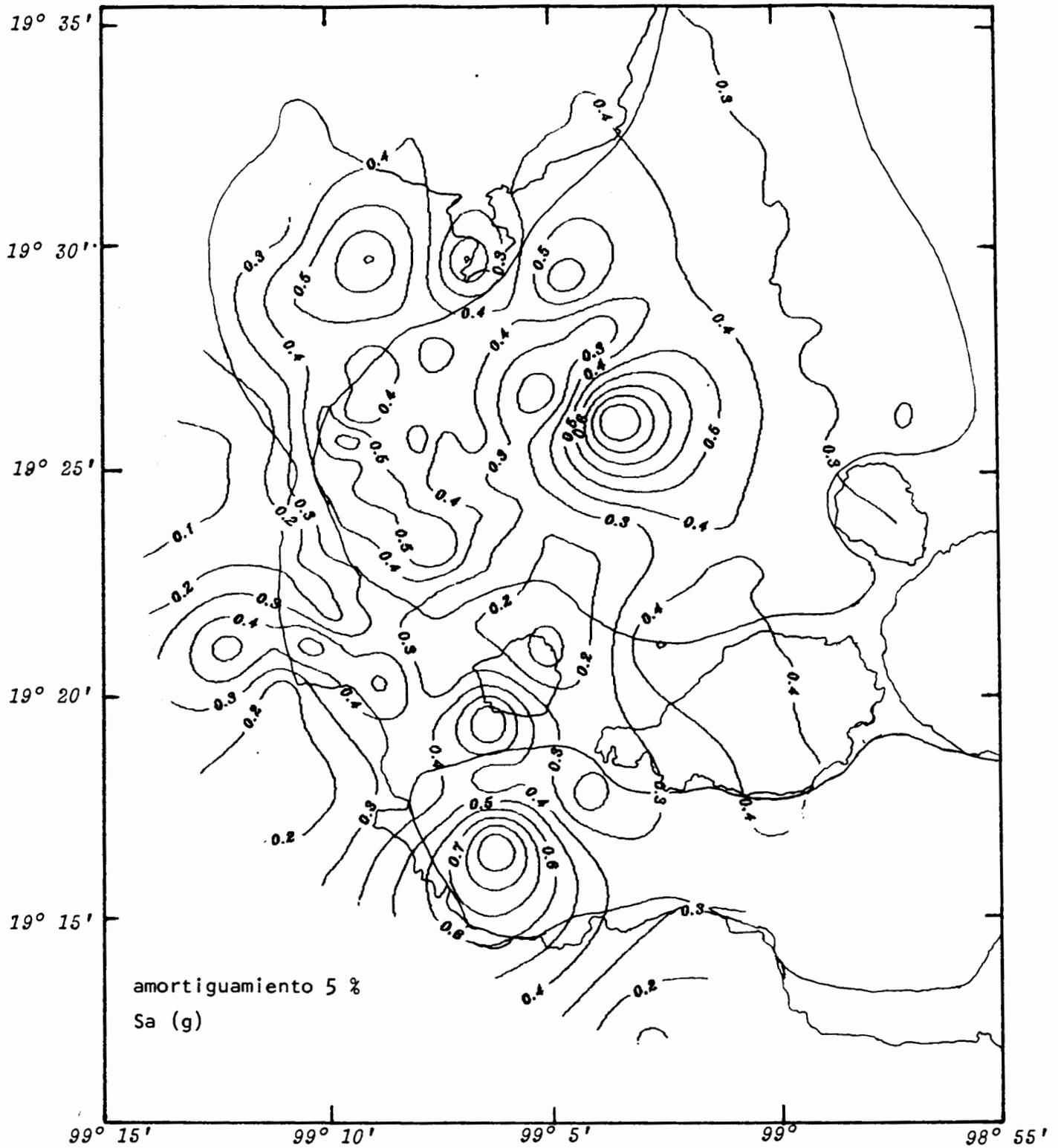


Fig. 35 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 1.0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

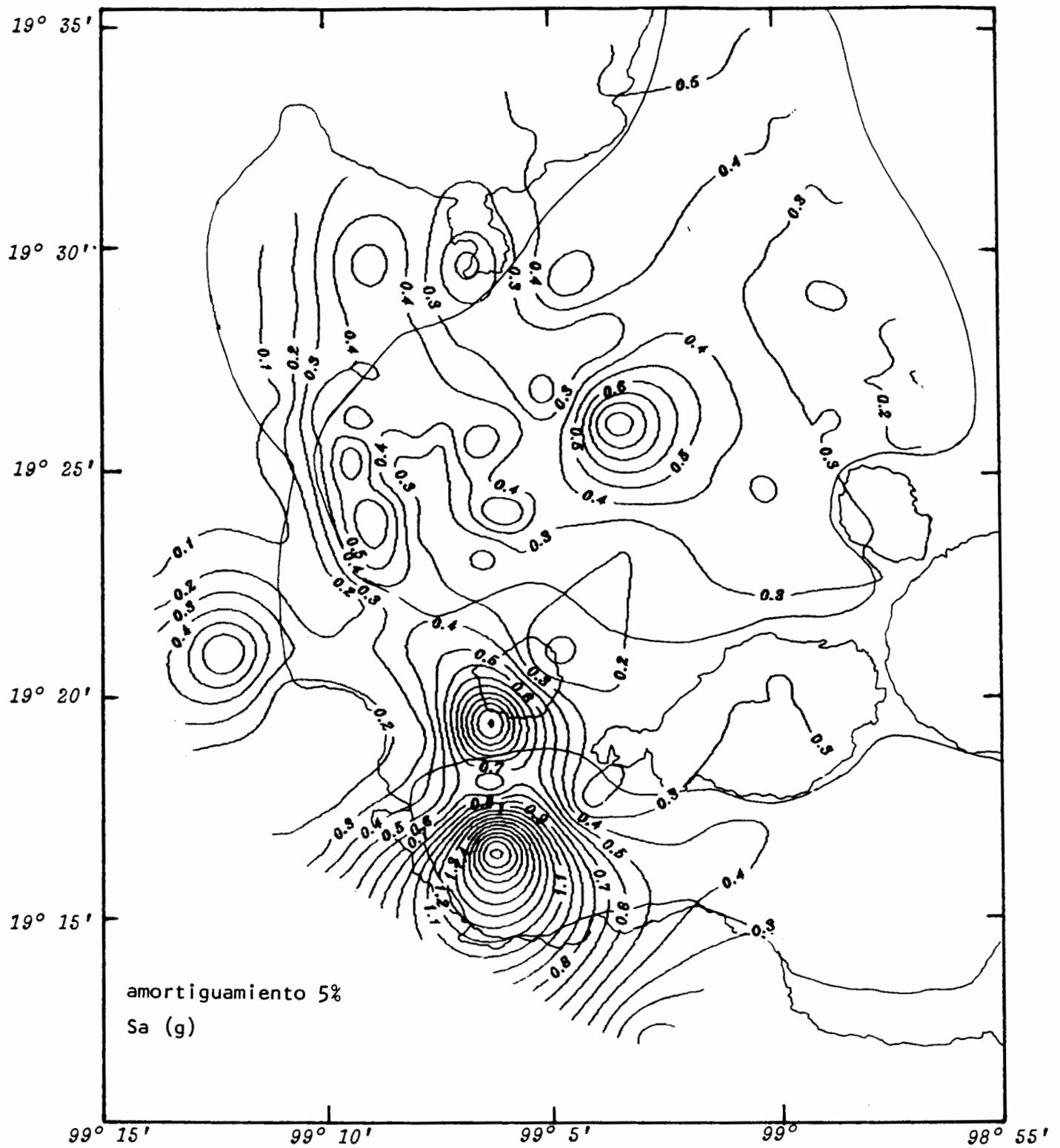


Fig. 36 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 1.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

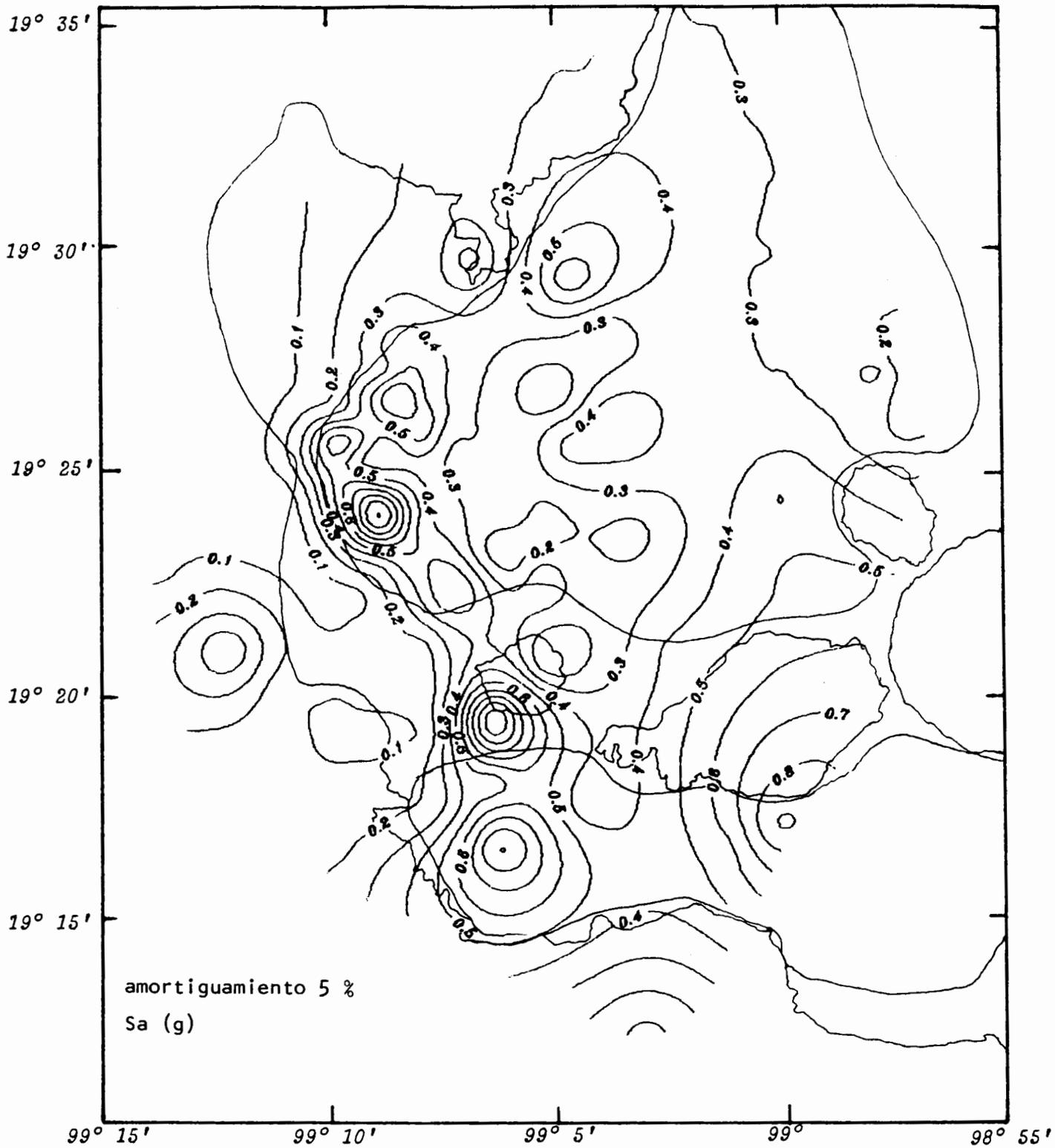


Fig. 37 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 2.0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

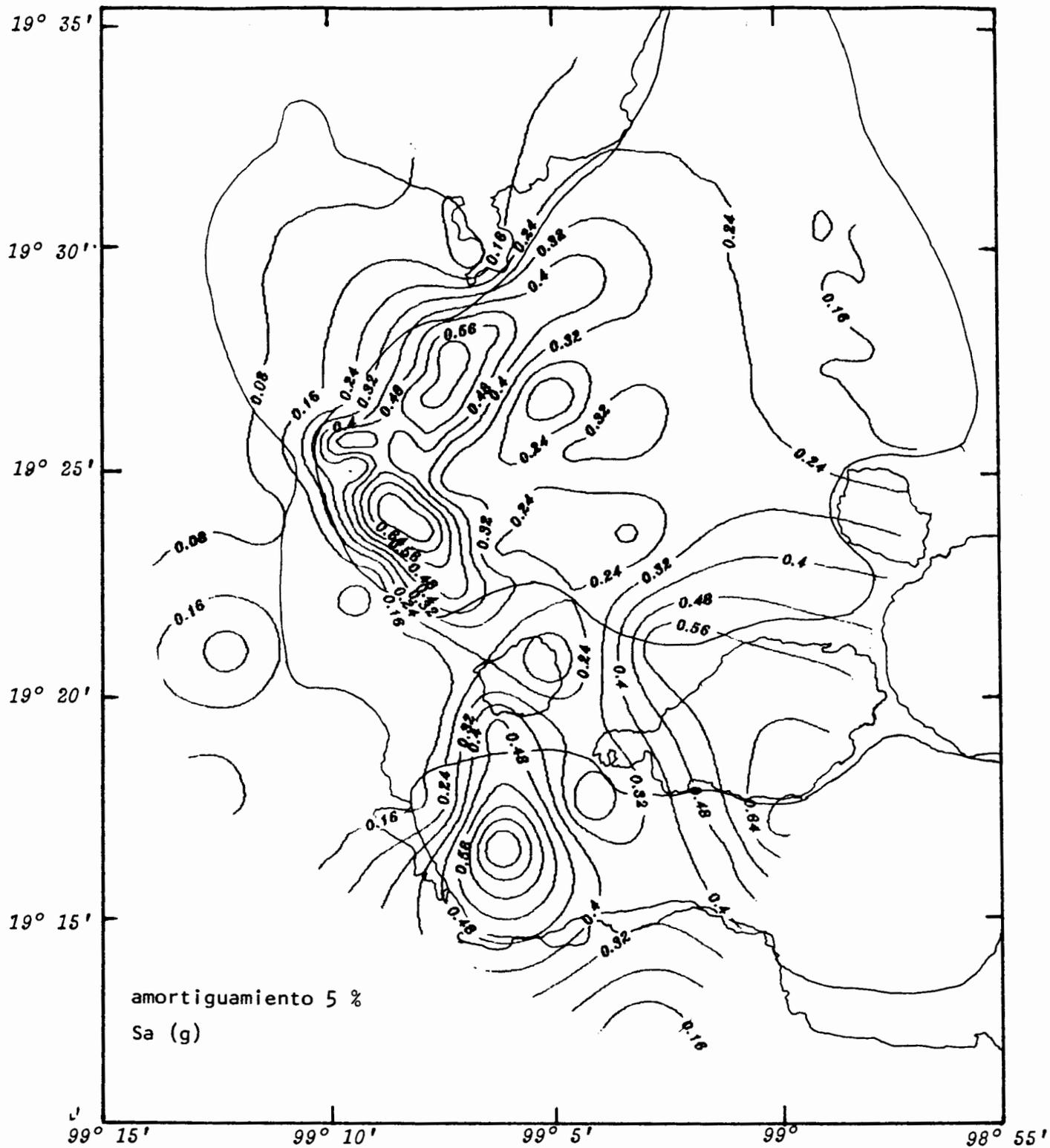


Fig. 38 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 2.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

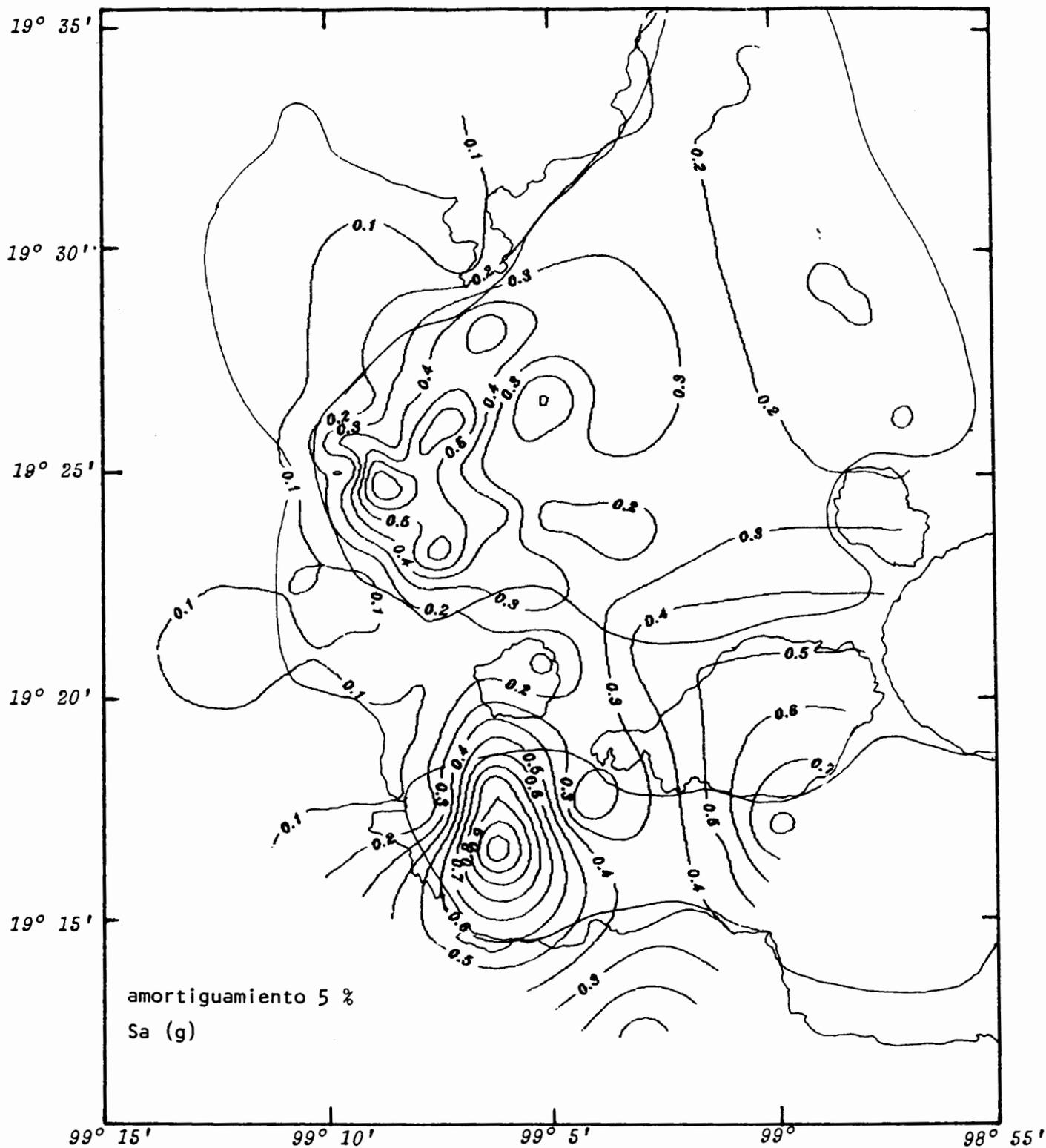


Fig. 39 Respuesta espectral máxima en el valle de México para $T = 3.0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

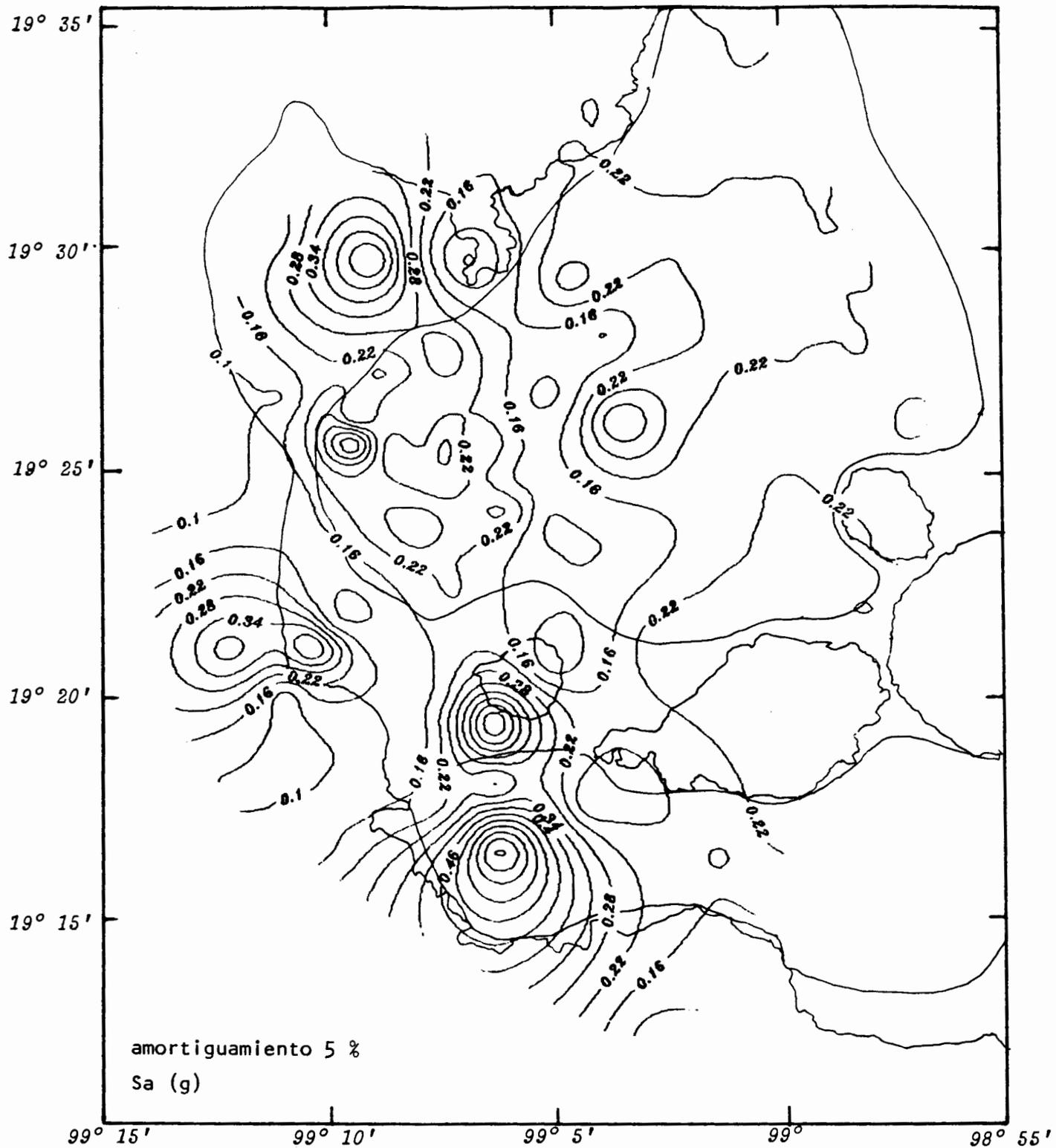


Fig. 40 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 0.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

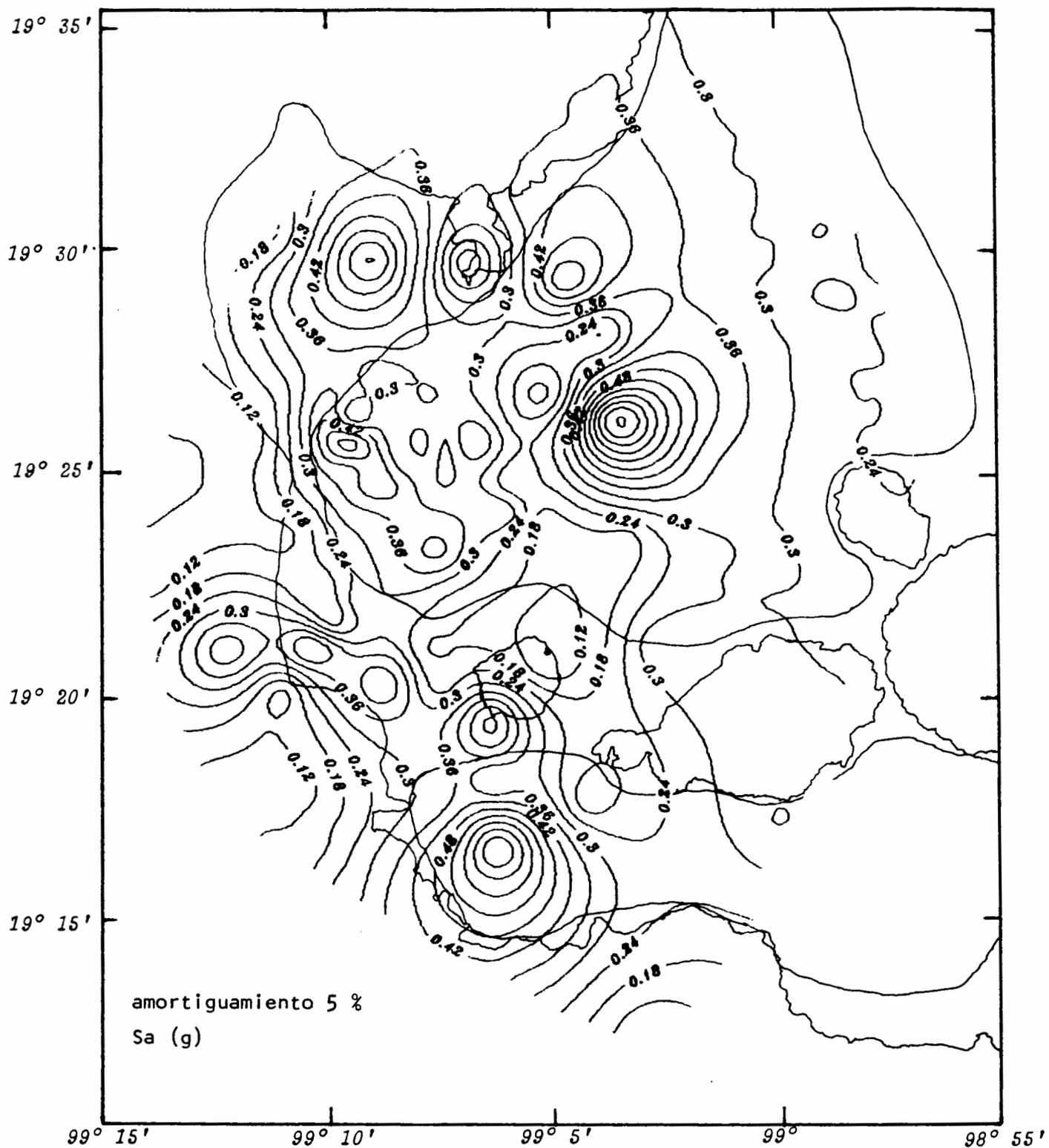


Fig. 41 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 1.0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

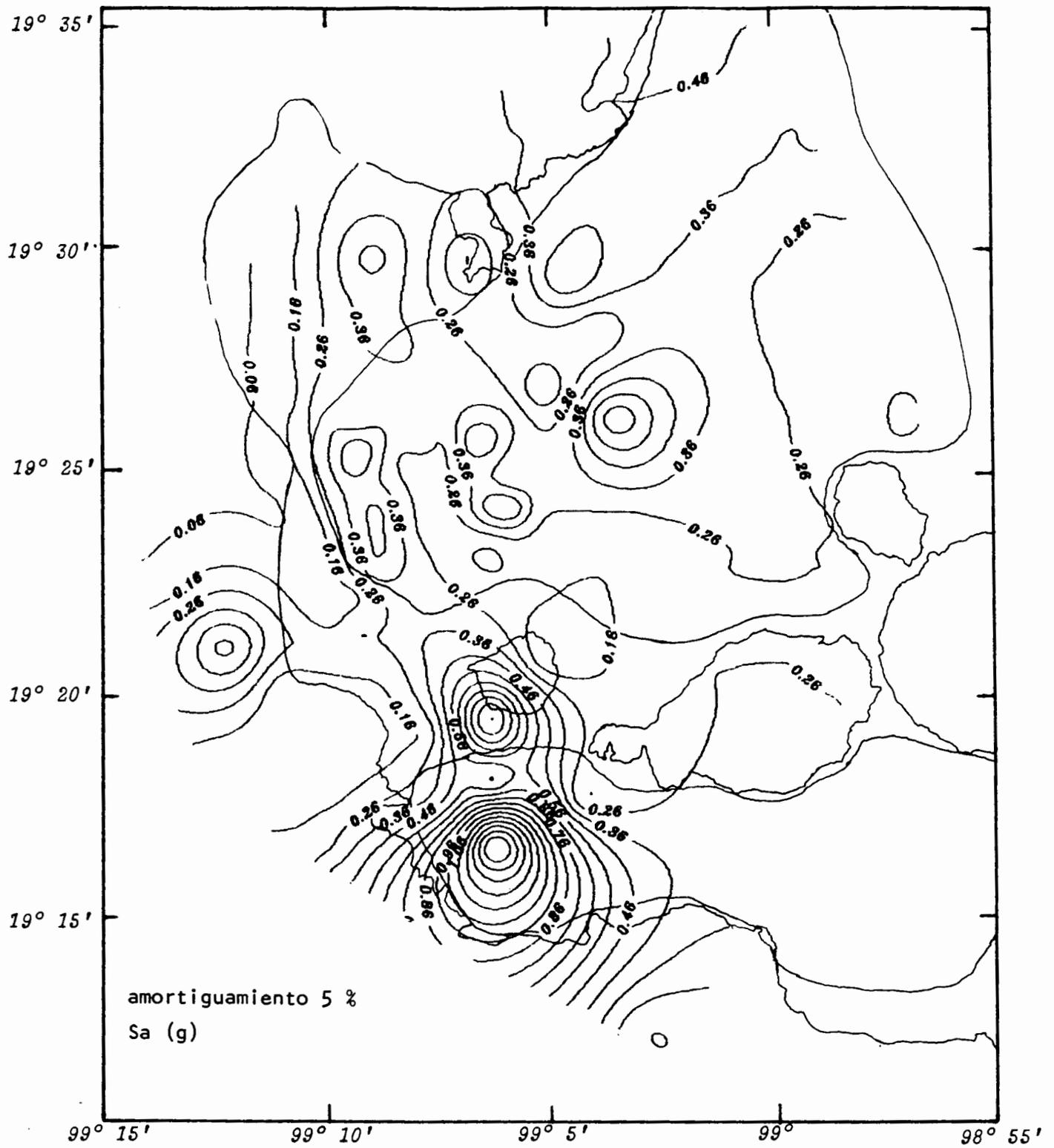


Fig. 42 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 1.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

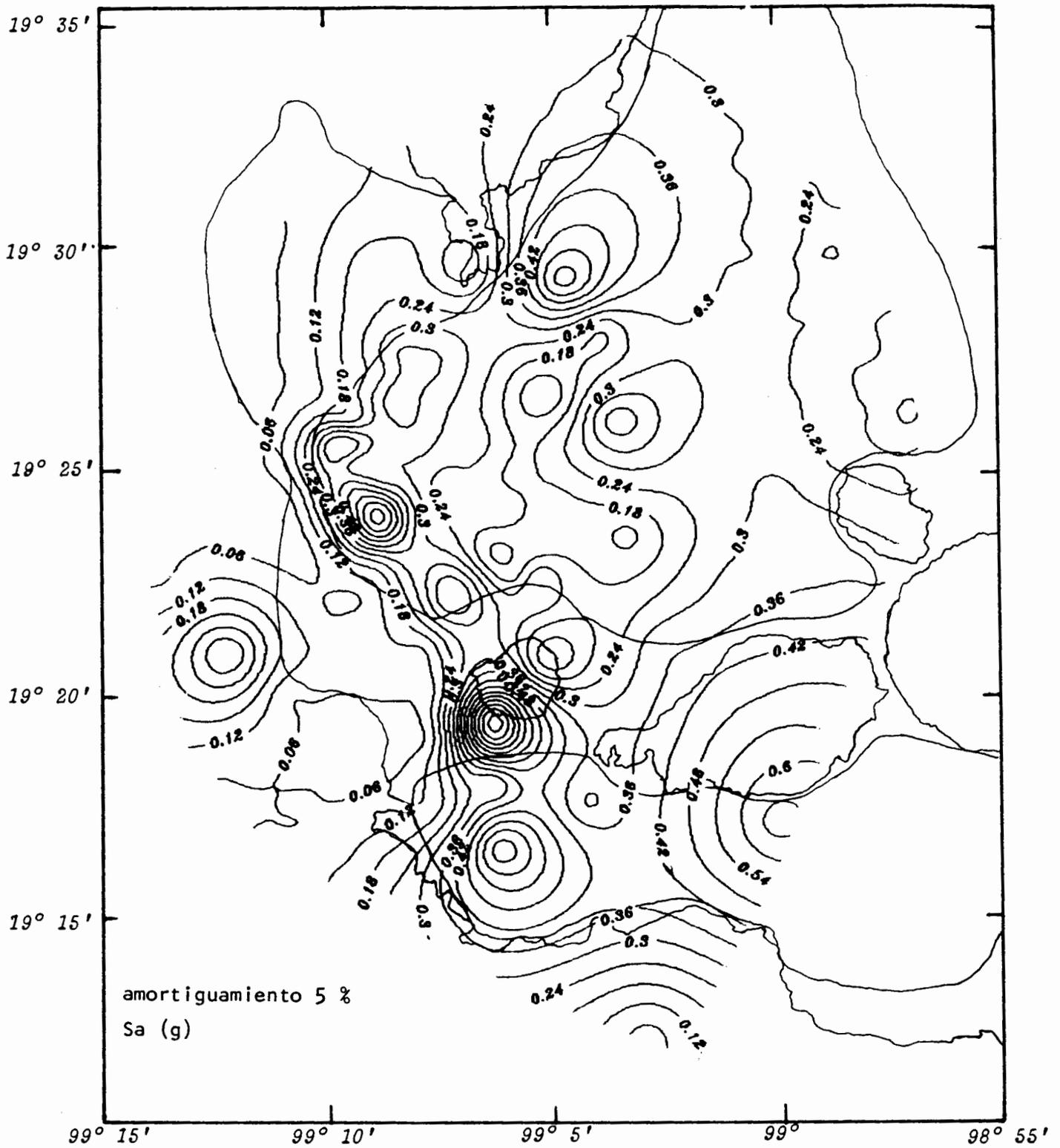


Fig. 43 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 2.0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

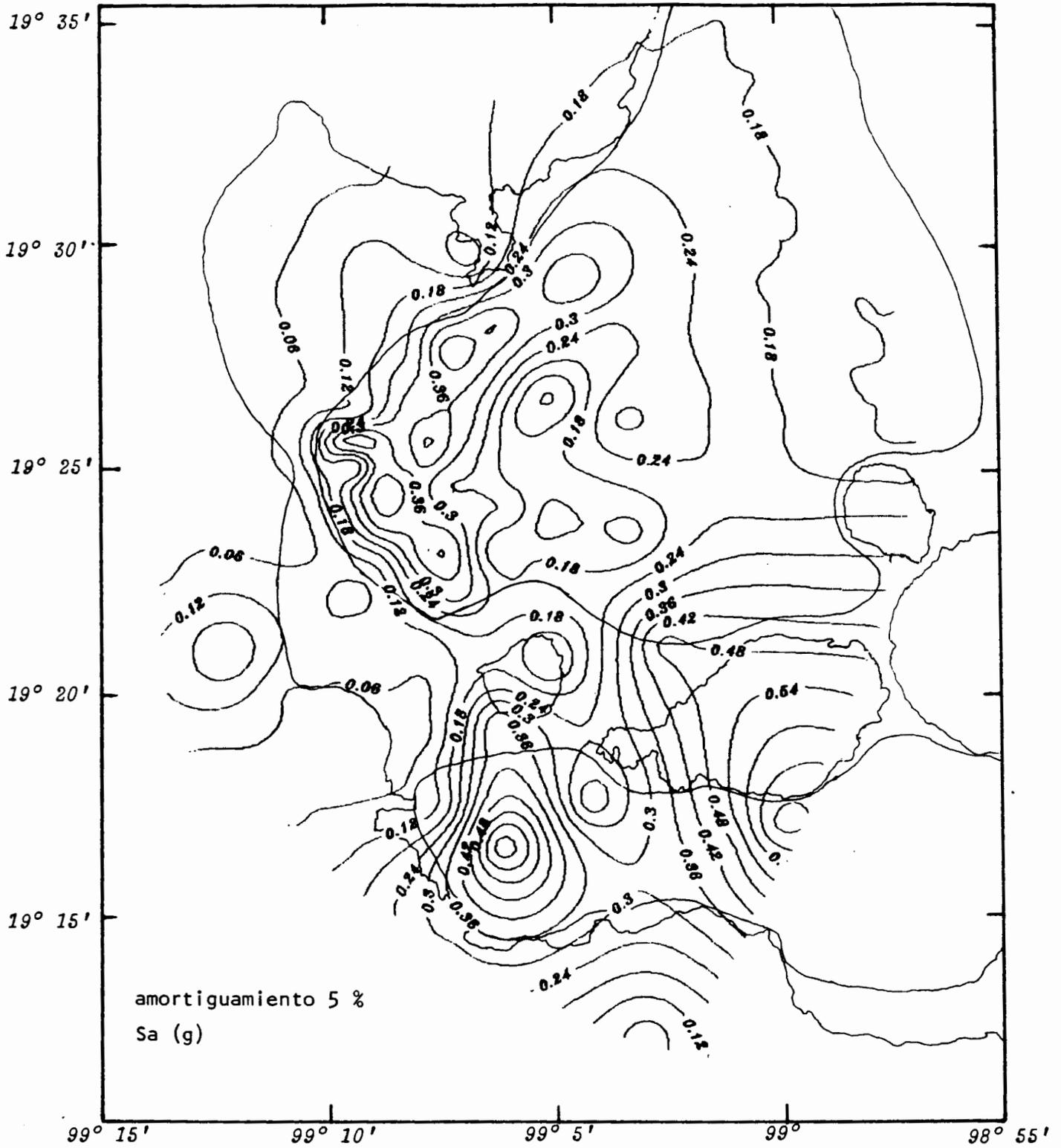


Fig. 44 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 2.5$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

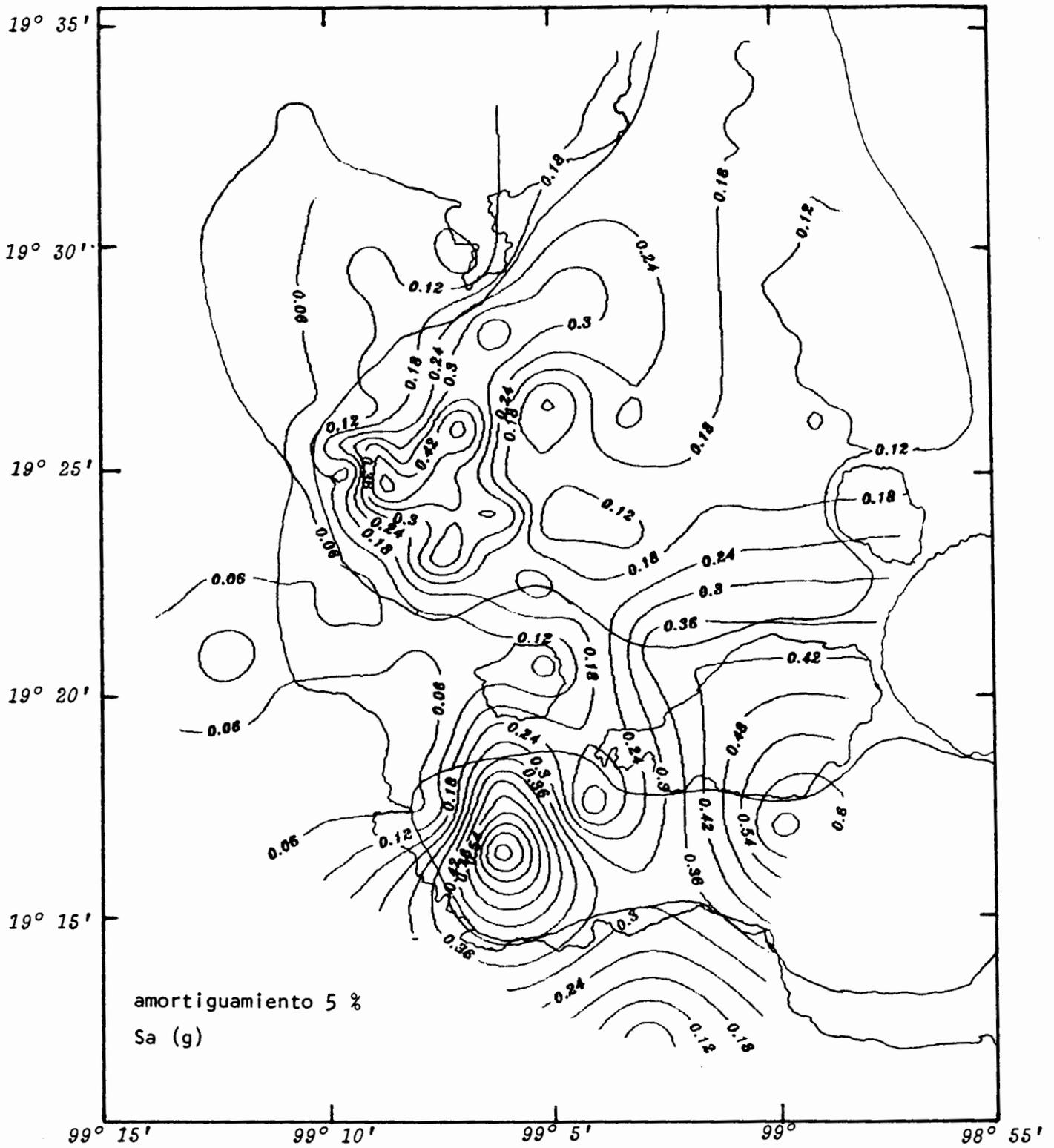


Fig. 45 Respuesta espectral promedio en el valle de México para $T = 3,0$ s en el sismo de sept. 19, 1985.

F/DEPFI/TI 1/1985



717419