

estos sitios es de 33, localizados en distintas zonas de la ciudad de México. En la figura 5.2 se presenta el análisis de estos lugares. Esta lámina representa el cambio en la respuesta dinámica de los suelos por efecto del hundimiento regional para un periodo de tiempo de 20 años. La ubicación de estos datos se presentan en el Anexo 4.

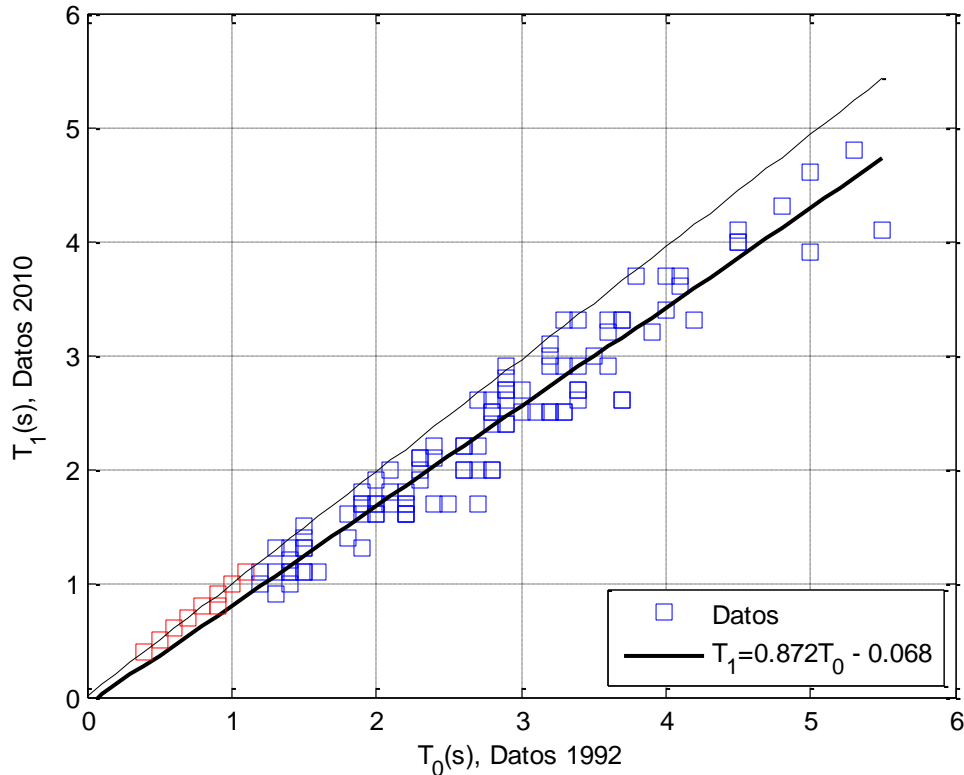


Figura 5.2. Comparativo entre los valores de periodo para el año 1992 y 2010 en 33 sitios de ciudad de México.

Se observa en la gráfica que los cambios más significativos se presentan a partir de $T_0 = 1.2$ s. Se ha observado que para valores menores a $T_0 = 1.2$ s el cambio ha sido nulo, siendo estas zonas las más estables. De la gráfica anterior se obtuvo la recta de mejor ajuste

$$T_1 = 0.872T_0 - 0.068 \quad 5.1$$

que representa el cambio que han tenido los periodos de dominantes para un lapso de 20 años.

A partir de esta Ecuación se puede calcular la variación de los valores de periodo del suelo y actualizar los datos contenidos en el trabajo de Lermo *et.al.*

Es importante mencionar que tras haber realizado las correcciones tanto para los datos para el año de 1990 y la estimación de los valores para el resto de los sitios instrumentados, y tras la integración de ambos conjuntos de datos, se encontró una excelente correlación espacial y nominal entre ellos.

Para fines de comparación, Aguilar (2008) propone una relación que involucra las variables Espesor inicial e Intervalo de tiempo, para calcular en un lapso de tiempo, el valor de periodo dominante por efecto del hundimiento en la ciudad de México (ecuación 5.2)

$$T = \left[2.258 - \frac{1.6}{31} \left(\left(\frac{H_0 - 70}{-1.6} \right)^{\frac{1}{0.52}} + \frac{\Delta T}{0.85} \right)^{0.52} \right]^2 + 0.5 \quad 5.2$$

siendo T el periodo de vibración del suelo posterior al tiempo ΔT en años y H_0 el espesor inicial (sin efecto de hundimiento) de cada sitio.

Con base en el mapa de acuitardo del capítulo dos, se obtuvo una aproximación de los espesores iniciales de cada sitio instrumentado. En la Tabla 5.2 se presenta un comparativo entre los datos medidos en 2010 y los calculados mediante la ecuación 5.2 para 20 años. Evaluando la Ecuación 5.2 y sustituyendo la variable H_0 al espesor correspondiente de cada sitio, con $\Delta T=0$, para el caso del año 1990 se obtuvieron los valores para la cuarta columna de la tabla. Para obtener los valores de la sexta columna, se procedió de igual manera solo que se sustituyó $\Delta T=20$ para observar el cambio en un lapso de tiempo de 20 años.

Tabla 5.2. Comparativo de los valores de los sitios medidos con microtremores y la ecuación 5.2.

INSTITUCIÓN	ESTACIÓN ACCELEROGRÁFICA	MICROTREMORES			
		1990		2010	
		MEDIDO	CALCULADO	MEDIDO	CALCULADO
CIRES	CJ04	2.2	1.6	1.7	1.6
CIRES	TL08	2.2	1.5	1.6	1.4
CIRES	DM12			2.7	1.2
CIRES	MI15	1.4	1.0	1.1	0.9
CIRES	MY19	2.8	1.8	2.5	1.7
CIRES	IB22	1.4	1.2	1.3	1.2
CIRES	GR27			0.7	0.7
CIRES	VM29	2.8	2.6	2	2.5
CIRES	EO30	0.6	0.5	0.6	0.5
CIRES	CE32	4.2	2.5	3.3	2.4
CIRES	XO36	3.4	2.2	3.3	2.1
CIRES	BO39			2.2	1.5
CIRES	UC44	1.5	1.3	1.1	1.3
CIRES	BA49			2.4	2.0
CIRES	MT50	0.7	0.6	0.7	0.6
CIRES	SP51			1.7	1.8
CIRES	JC54	1.1	0.8	1.1	0.7
CIRES	CA59			2.6	2.4
CIRES	CH84			1.1	0.8
CENAPRED	TLAS	2.9	3.1	2.7	2.9

CENAPRED	ZARS	4.1	3.3	3.7	3.1
CENAPRED	UNKS	3.7	2.9	2.6	2.7
IDEI	SCT1	2	2.2	1.6	2.1
IDEI	CDAO	3.2	2.1	2.5	2

Se aprecia que los valores obtenidos mediante la ecuación 5.2 presenta diferencias bastante considerables en su gran mayoría con los datos medidos (Figura 5.3). De lo anterior se concluye que esta expresión no representa de manera confiable el cambio en la respuesta del suelo en un futuro por la gran dispersión e incertidumbre que se tiene. Esto pudiera deberse esencialmente a que Aguilar toma como base el mapa de las NTC para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2004), cuyo espesor máximo es de 70 metros, en tanto que para este trabajo se considera de 60 metros. Otro aspecto a recalcar sería los tipos de interpolaciones usadas y el número de datos manejados, pues al parecer el autor no consideró toda la información de la base de datos, sino que solo se centró en una zona de interés, la zona centro del Distrito Federal.

Por otro lado, el autor en base en su ecuación propuesta, predice la variación de periodo dominante para 50 años. En la figura 5.4 se presenta sus resultados finales. De esta imagen se puede comentar, por citar un ejemplo, que para sitios con periodo de 4.2s cambiaría a 3.4s para un periodo de tiempo de 50 años. En base a los resultados que se han obtenido en este trabajo, se puede comparar con el valor de periodo dominante de la estación CE32 que para 1992 era de $T_0 = 4.2s$, mientras que para el año 2010 es de $T_0 = 3.3s$, presentado un cambio sumamente crítico de $\Delta T_0 = 0.9s$ para un periodo de 20 años. Lo anterior indica que el fenómeno del hundimiento está disminuyendo rápidamente el espesor del subsuelo y por ello sus valores de periodo dominante.

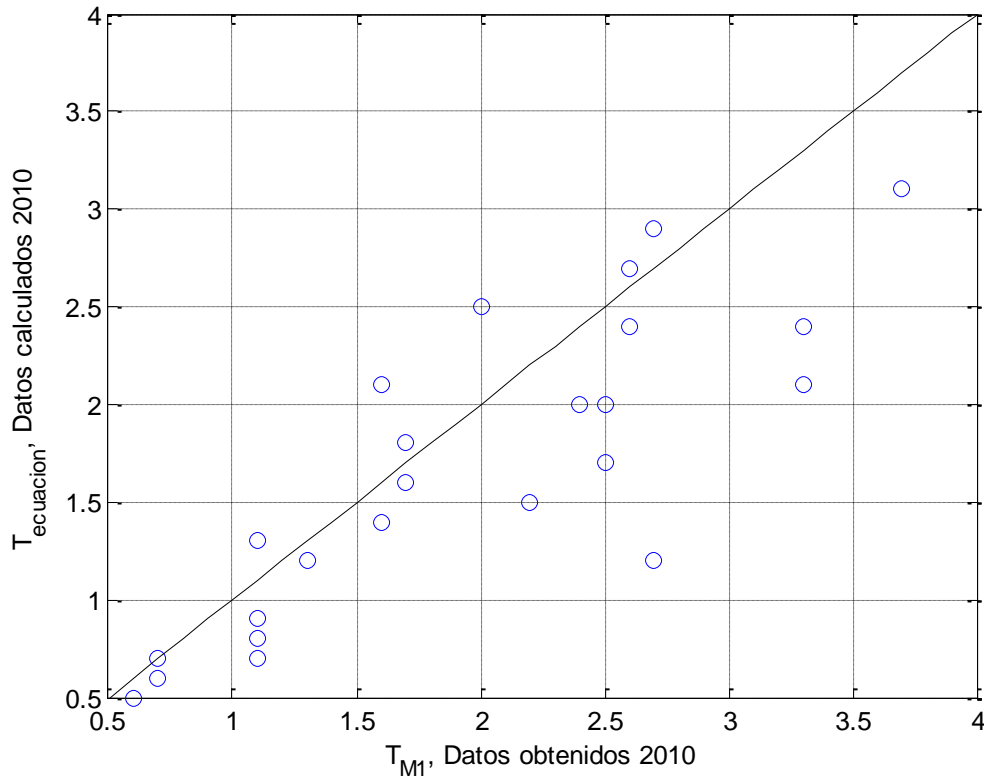


Figura 5.3. Comparativo entre la estimación de periodos dominantes ec. 5.2 y los medidos en 2010.

Tabla 2. Variación del periodo de vibración en 50 años.

Espesor inicial	Periodo de vibración inicial	Espesor reducido	Periodo de vibración modificado
10.0 m	0.60 s	8.3 m	0.57 s
20.0 m	0.92 s	18.0 m	0.84 s
30.0 m	1.44 s	27.6 m	1.29 s
40.0 m	2.16 s	36.9 m	1.92 s
50.0 m	3.10 s	45.7 m	2.67 s
60.0 m	4.25 s	53.1 m	3.44 s
70.0 m	5.60 s	56.7 m	3.84 s

Figura 5.4. Resultados finales del cambio en el valor de periodo dominante para un periodo de tiempo de 50 años (Aguilar, 2008)

Por lo anterior, resulta complicado tratar de predecir el comportamiento dinámico de los suelos para el futuro, y más aún si solo se tiene como punto de partida un conjunto limitado de datos.

Como resultado del análisis anteriormente descrito, en la figura 5.5 se presenta una propuesta de actualización del mapa de periodos dominantes del suelo para la ciudad de México. Este fue generado mediante la actualización de 305 datos aplicando la ecuación 5.1 (Lermo, 1992); las mediciones realizadas entre 2009 – 2010; los registros más recientes de aceleración y microtremores medidos en las estaciones acelerométricas. En total este mapa se realizó a partir de 1010 datos, mismos con los que se dispone en nuestra base de datos.

Ante las observaciones anteriormente citadas, se presentan las siguientes recomendaciones para la generación y obtención de un mapa de isoperiodos más completo, mejor definido y apegado a las características sísmicas de la Cuenca de México.

1.- Realizar campañas de adquisición de datos de vibración ambiental alrededor de los cuerpos montañosos: Sierra de las Cruces al oeste, Sierra de Chichinautzin al sur, Sierra de Guadalupe al norte, Cerro de la Estrella, Sierra de Santa Catarina, Peñón de los Baños y Del Marqués al interior de la Cuenca de México para definir con mayor precisión la curva $T_0 = 0.5s$. Se proponen 200 sitios para medición, localizados espacialmente en la figura 5.6. Estos sitios han sido seleccionados en base a la información con la que se cuenta actualmente, contenida en nuestra base de datos SIG-Microtremor, que consta de 1010 datos dentro de la cuenca.

2.- Es necesario actualizar el mapa vigente pues se sabe, que las propiedades del subsuelo se han modificado tanto geotécnica y sísmicamente. Por lo cual es necesario llevar a cabo más campañas de mediciones de vibración ambiental en zonas carentes de información dentro de la ciudad de México, así como en zonas en donde se sabe que el hundimiento presenta una mayor tendencia, según la imagen 3.14. En la figura 5.6 se sugieren las zonas a medir, delimitadas con línea roja.

3.- Realizar mediciones en las zonas del Ex-Lago Texcoco y Chalco.

4.- Se verifica que una de las zonas que ha presentado los hundimientos más críticos está comprendido dentro de Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México; teniendo como consecuencia la aparición de una grieta de importantes dimensiones en la colonia Benito Juárez, dentro de la misma localidad en octubre de 2010. Se propone analizar esta zona mediante campañas de vibración ambiental para definir la magnitud del cambio en las propiedades del subsuelo.

5.- Es necesario realizar mediciones en el resto de los sitios instrumentados con acelerógrafos.

6.- Es necesario realizar mediciones en la zona de Xochimilco, pues la cantidad de información disponible es poca. De igual manera se propone, mediante la adquisición de datos sobre las principales avenidas de la ciudad, corroborar que las estimaciones hechas en éste trabajo son válidas, a manera de calibración. Esta propuesta se presenta, en líneas naranja en la lámina 5.6.

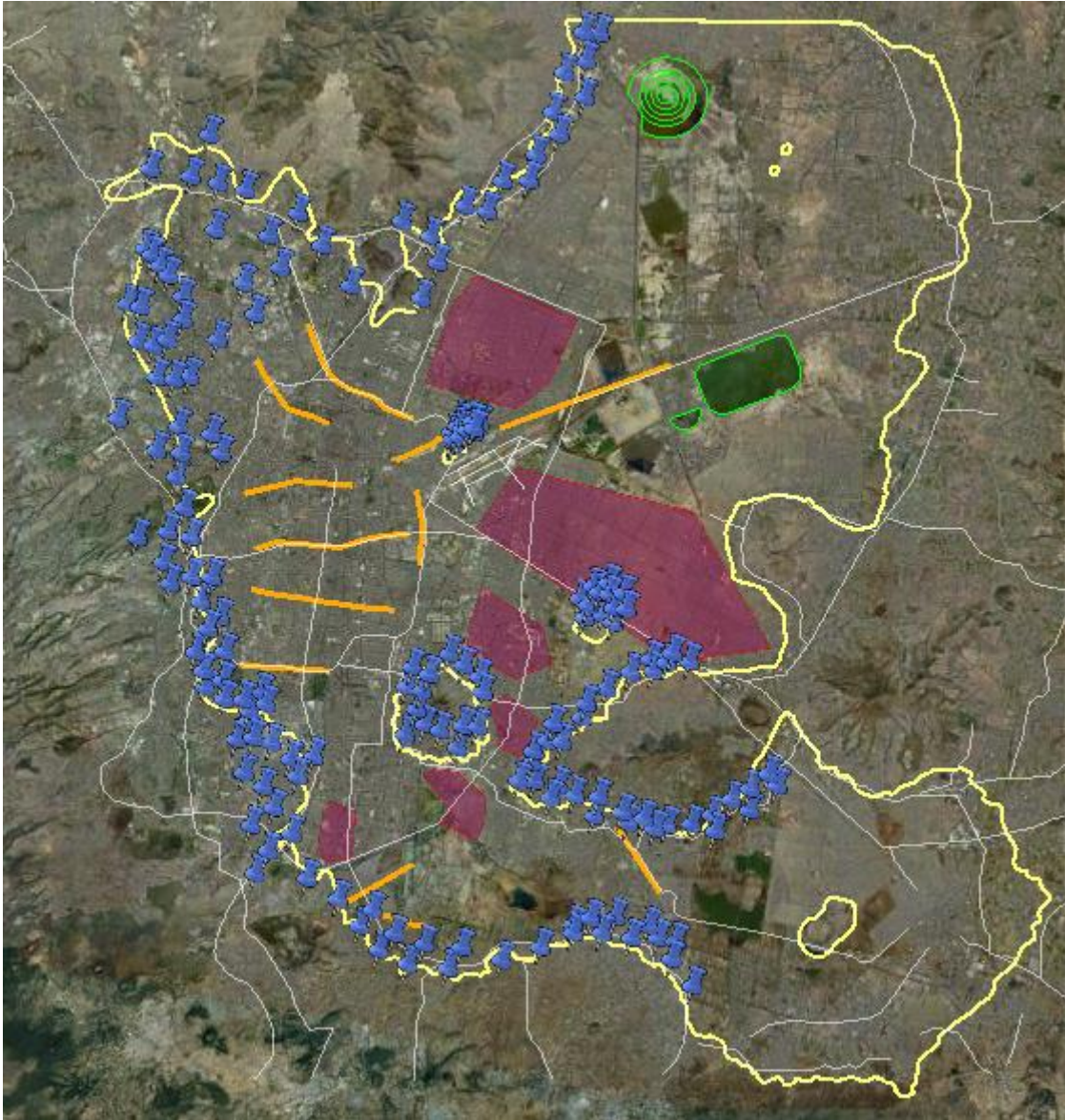


Figura 5.6. Las marcas en azul representan la ubicación y distribución de los sitios propuestos para la actualización de la curva de periodo dominante $T_0 = 0.5s$. Las líneas naranjas indican los perfiles a realizar y las áreas sombreadas son sitios con escasa o nula información. La línea amarilla representa el límite de la zona de lago.

Por último, en las siguientes láminas se muestra la diferencia entre el mapa del vigente reglamento y el mapa obtenido, así como su relación con el mapa de acuitardo, respectivamente.

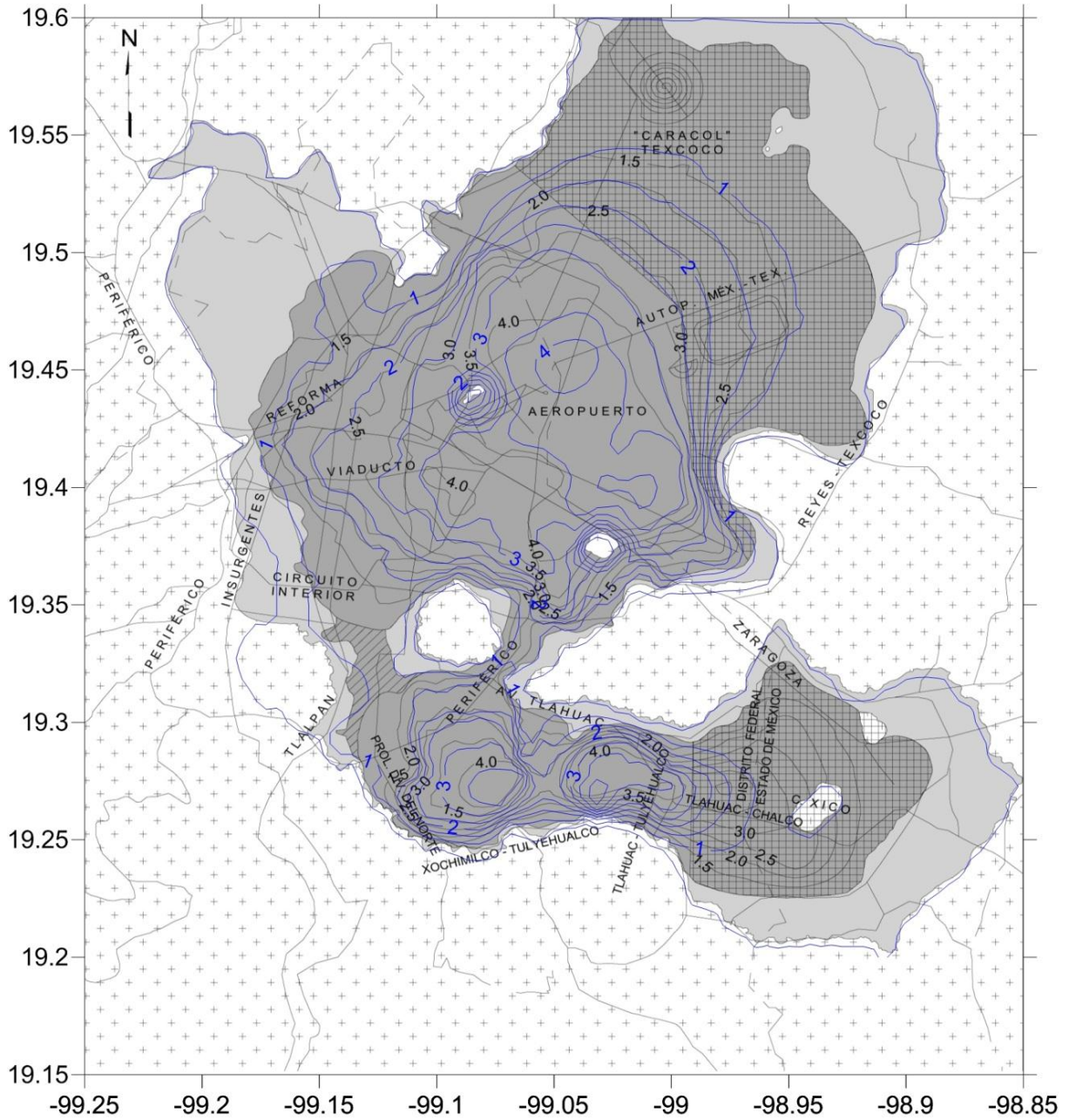


Figura 5.8. Comparativo entre el mapa de periodos dominantes del NTCDS y en líneas azules las nuevas curvas de isoperiodo.

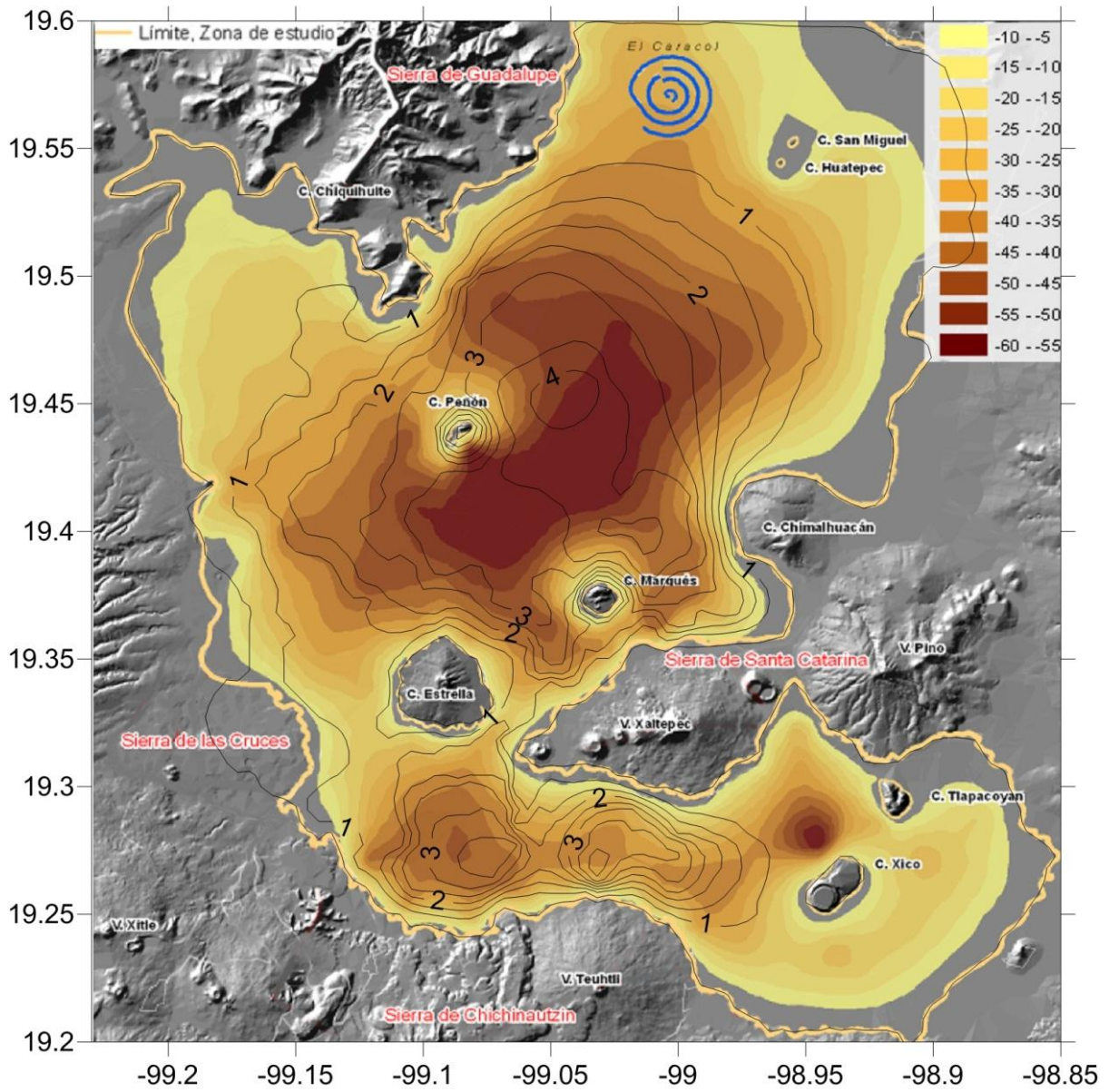


Figura 5.9. Correlación entre el mapa de espesores del acuitardo y las nuevas curvas de isoperiodo en líneas negras.