

Magmatismo, hiatus y tectonismo de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano

Víctor Hugo Garduño-Monroy* y Luis C. A. Gutiérrez-Negrín**

* *Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra, Milano, Italia.*

** *Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia, Mich.*

Recibido: 15 agosto, 1990; aceptado: 3 septiembre, 1991.

RESUMEN

La distribución espacial de edades radiométricas - de 40 millones de años (Ma) a la fecha - de rocas colectadas en las provincias de la Sierra Madre Occidental (SMO) y del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) permite identificar tres períodos de tiempo con ausencia de actividad volcánica (hiatus volcánicos): 28-25 Ma, 17-15 Ma y 7-5 Ma, aproximadamente. El primero parece coincidir con el final de una fase compresiva de deformación previa a la de Cuencas y Sierras; el final del segundo parece señalar el inicio del volcanismo basamental del CVM y se relaciona con los plegamientos del Mioceno Medio-Superior; el último sólo es evidente en las porciones oriental y occidental del CVM y su final indica el comienzo del volcanismo propio de esta provincia, prolongándose en el sector oriental hasta hace unos 3 Ma. La configuración de los datos radiométricos también refuerza la existencia de una provincia volcánica de edad intermedia entre la SMO y el CVM, que sería el basamento de este último. En este contexto, la falla Taxco-Querétaro juega un papel importante, al delimitar el alcance oriental del volcanismo de la SMO.

PALABRAS CLAVE: fechamientos radiométricos, Sierra Madre Occidental, Cinturón Volcánico Mexicano, magmatismo hiatus y tectonismo.

ABSTRACT

Space distribution of radiometric data - from 40 million years (Ma) to present - of rocks sampled in the Sierra Madre Occidental (SMO) and the Cinturón Volcánico Mexicano (CVM: Mexican Volcanic Belt) provinces, allow to recognize three time intervals with distinctive lack of volcanic activity (volcanic hiatus): 28-25 Ma, 17-15 Ma and 7-5 Ma, approximately. The first seems to coincide with the end of a compressive phase of deformation before the Basin and Ranges deformation phase. The end of the second hiatus seems to point out the start of the basamental volcanism of the CVM and is related to the compressive phase from Middle-Upper Miocene. The last hiatus is noticeable only at the western and eastern portions of the CVM; its end indicates the beginning of CVM typical volcanism, and it extends to about 3 Ma ago in the eastern portion. Configuration of radiometric age data also suggests the existence of a volcanic province which has an intermediate age between the SMO and the CVM; that volcanic province would be the basement of the CVM. In this context, the Taxco-Querétaro fault plays an important role as the eastern boundary of the SMO volcanism.

KEY WORDS: radiometric data, Sierra Madre Occidental, Mexican Volcanic Belt, magmatism, hiatus and tectonism.

INTRODUCCION

El Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) está constituido por rocas y edificios volcánicos de carácter calcoalcalino y de edad pliocuaternaria, presenta una orientación general este-oeste y corta las principales provincias meso y finiterciarias de México. En su sector central y occidental es evidente su sobreposición a la provincia de la Sierra Madre Occidental (SMO), la cual representa la más importante secuencia de eventos calcoalcalinos de edad terciaria en el país (Nixon *et al.*, 1987; Montigny *et al.*, 1987; Demant *et al.*, 1989). A su vez, la SMO es cortada por la tectónica meridional y submeridional de los eventos conocidos como Cuencas y Sierras.

En ese contexto general se inscribe el presente trabajo, que incluye un análisis de 1) más de 230 datos de edades absolutas de rocas colectadas en las dos provincias volcánicas mencionadas - obtenidos casi todos de trabajos publicados (Tabla 1); 2) fases de deformación que se han encontrado en diversos estudios de microtectónica efectuados

en rocas de ambas provincias, con el objetivo de evaluar mejor los eventos tectónicos y magmáticos que han ocurrido en esas regiones.

COMPORTAMIENTO DEL VOLCANISMO EN LA SMO Y EN EL CVM

En la Figura 1a se han graficado los datos de edades absolutas presentados en la Tabla 1, contra su ubicación geográfica, representada por su longitud; en las ordenadas se incluyeron únicamente edades de 40 Ma a la fecha. Resalta en la porción izquierda - esto es, occidental - de la gráfica la relativa continuidad en la actividad volcánica de la SMO. Esta actividad se inició, hacia los 40 Ma, con andesitas y brechas volcánicas que eventualmente se interdigitaron, hacia el oriente, con los depósitos molásicos de las Capas Rojas (Figura 1b).

Se nota un fuerte decremento en la actividad volcánica entre los 28 y 25 Ma, aproximadamente, lo que da lugar a un hiatus volcánico, tal como se ha marcado en la Figura 1a, el cual se localiza espacialmente entre los 106° y 101°

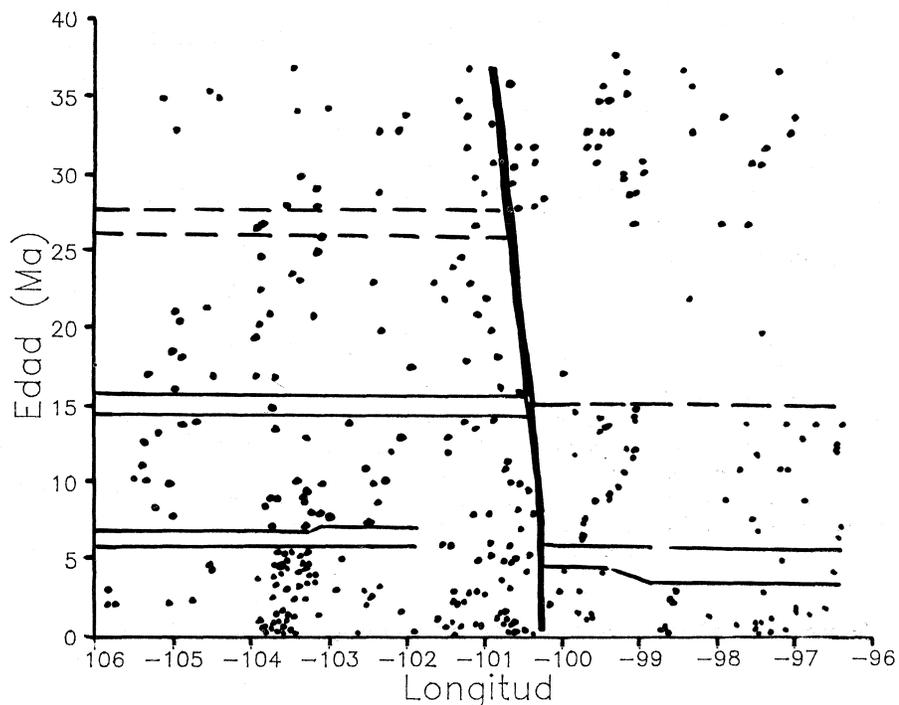


Fig. 1a. Distribución espacio-temporal de edades radiométricas (Tabla 1) de rocas pertenecientes a unidades geológicas de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano y representación de los hiatus volcánicos. La ubicación se reporta en función de la longitud W y latitud N, en tanto que las edades están dadas en Ma.

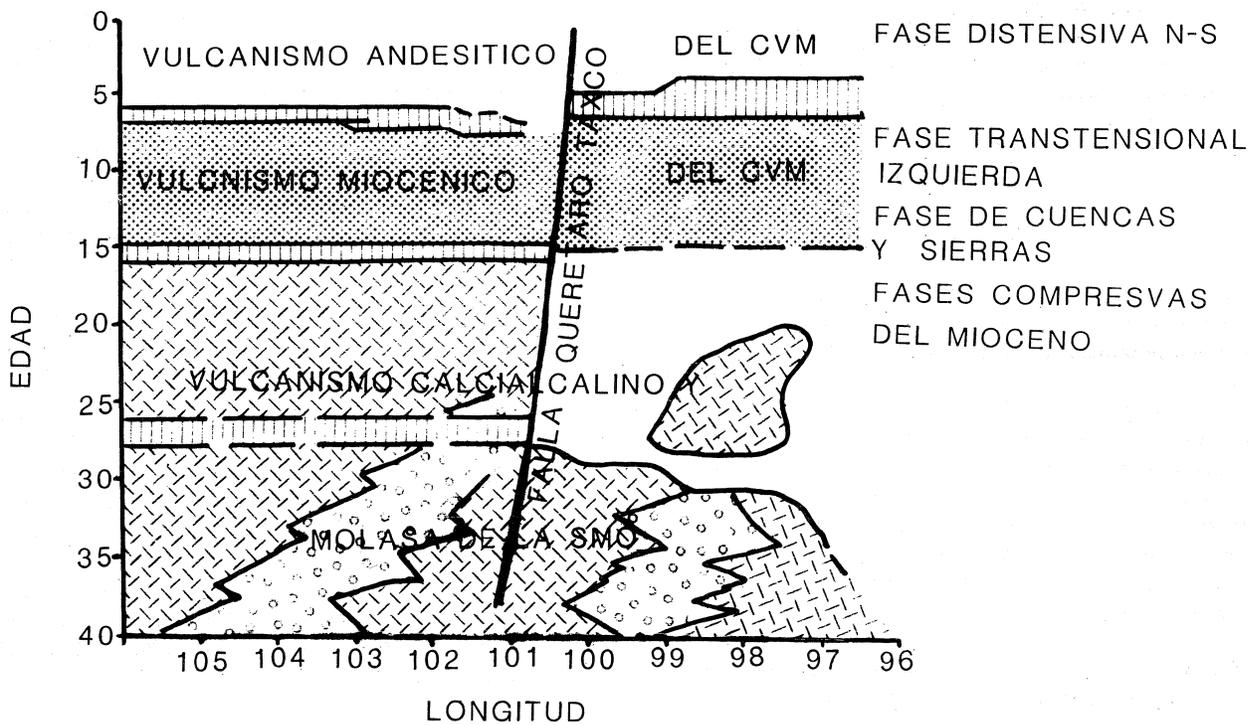


Fig. 1b. Relación entre los hiatus volcánicos delimitados en la figura 1a y los principales eventos geológicos ocurridos desde hace 40 Ma en la Sierra Madre Occidental y en el Cinturón Volcánico Mexicano.

de longitud oeste, es decir, en pleno territorio de la SMO. La actividad magmática en esta provincia vuelve a su nivel normal entre los 25 y 18 Ma, aproximadamente, aunque ahora se trata de un volcanismo representado por miembros algo más ácidos de la serie calcoalcalina (Montigny *et al.*, 1987; Demant *et al.*, 1989), tal como se aprecia en la Figura 1b. Es notable también la baja actividad volcánica durante este período, hacia el oriente de los 100° de longitud, lo que corresponde a la distribución espacial de la SMO. El límite oriental de la actividad de la Sierra parece constituirlo la falla Taxco-Querétaro, también representada en la misma Figura 1b.

Entre los 17 y 15 Ma se nota una nueva disminución en la actividad volcánica de la SMO, lo que daría lugar a otro probable hiatus (Figura 1a). Después de este nuevo hiatus se reanuda el volcanismo, aunque ahora no toda esta actividad es producida por los eventos vinculados a la SMO. Como se ve en la Figura 1b, después del hiatus de los 15 Ma la actividad magmática se extiende también hacia el sector oriental, abarcando prácticamente toda la región entre los 105° y 96° de longitud. Si bien la parte oriental presenta menos actividad que la occidental (Figura 1b y Figura 2) es evidente que sus productos volcánicos no pueden ser atribuidos únicamente a los fenómenos relacionados con la SMO.

En el sector occidental, por su parte, la actividad magmática entre los 15 y los 7 Ma parece corresponder tanto a los eventos postreros de la SMO como al inicio de la actividad basamental de lo que posteriormente habría de constituir el CVM. En el sector oriental, en cambio, la mayoría de la actividad magmática correspondería al basamento del CVM y quizá sólo una mínima parte a los eventos finales de la SMO. La presencia de un volcanismo basamental para el CVM, que habría tenido lugar entre el fin de la SMO y el principio del CVM propiamente dicho, con una edad aproximada entre 15 y 7 Ma, ya ha sido postulada por otros autores (Venegas *et al.*, 1985; Gutiérrez Negrín, 1988). Se trataría, así, de una provincia volcánica independiente, originada entre la actividad final de la SMO y el inicio del CVM, con una edad miocénica y una distribución espacial que concuerda con la distribución actual del CVM (Figura 2).

El carácter del volcanismo basamental del CVM sigue siendo calcoalcalino, representado a veces por miembros ácidos de esta serie magmática. En el sector de Tzitzio, Mich., y en el subsuelo de los campos geotérmicos de Los Azufres, Mich., La Primavera, Jal., y Los Humeros, Pue., las rocas andesíticas se presentan en paquetes mucho más gruesos que las rocas dacíticas y riolíticas. Los paquetes predominantemente andesíticos suelen estar coronados por mesas de basaltos, las cuales tienden a presentar edades más recientes de occidente a oriente (12 a 8 Ma) en la porción occidental (Figura 1) y, en general, edades menores de 10 Ma en la parte centro-oriental de la región ocupada por el CVM (Nixon *et al.*, 1987). Hacia su base, los paquetes volcánicos que integran este volcanismo basamental suelen

presentar sedimentos lacustres indicativos del hiatus volcánico ocurrido entre los 17 y los 15 Ma.

La diferencia entre los eventos volcánicos de la SMO y del basamento del CVM va más allá de su carácter y de su distribución espacial. Así, el volcanismo de la SMO tiene una orientación típica NW-SE, mientras que, sobre todo a partir de los 12 Ma, la orientación del volcanismo basamental del CVM se vuelve E-W, misma dirección que conservará el propio Cinturón (Figura 2).

Puede postularse todavía un tercer hiatus volcánico entre los 7 y los 5 Ma, aproximadamente, que resulta evidente en dos porciones: una entre los 106° y 102° y otra entre los 100° y los 97° de longitud oeste (Figura 1). En la porción central, es decir, entre los 102° y 100° de longitud, sólo se presenta un decremento en el ritmo de la actividad volcánica, decremento que también puede notarse en la parte oriental (al oriente de la falla Taxco-Querétaro) aún en fechas más recientes. Este hiatus parece marcar la transición entre el volcanismo basamental del CVM y el volcanismo característico del Cinturón propiamente dicho, transición que en la parte central es indistinguible.

De hace 5 Ma a la fecha, se inicia, entonces, el volcanismo típico del CVM: su carácter, al igual que el del volcanismo basamental, sigue siendo calcoalcalino. Desde el Plioceno, puntualmente, los miembros de esta serie presentan un carácter más diferenciado. Así, en el sector oriental, da lugar a las calderas de Amealco y Huichapan, Hgo. (Sánchez Rubio, 1987; Milán y Herrera, 1987), en la parte central origina el complejo volcánico de Los Azufres - con sus procesos caldéricos asociados - y de Cuitzeo (Ferrari *et al.*, en prensa) en Michoacán, y en el sector occidental el complejo de Tepic, Nay. (Nelson y Carmichael, 1984). Entre finales del Plioceno y principios del Pleistoceno empieza la formación de grandes edificios de estratovolcanes y de volcanes monogenéticos que caracterizan al CVM y más adelante, en el Pleistoceno Tardío, se generan las grandes calderas de Los Humeros (Puebla-Veracruz) en el sector oriental y de La Primavera (Jalisco) en el occidental.

En la Figura 2 se ha graficado la distribución espacial de las edades de la Tabla 1, agrupadas en cuatro períodos de tiempo. Pueden observarse las tendencias en la restricción espacial de la SMO que se han comentado, destacando también que el volcanismo del CVM - período de 5-0 Ma - tiende a presentar una ligera variación hacia el sur, con respecto a la actividad basamental - que corresponde aproximadamente al período de 12-5 Ma -; así, por ejemplo, las calderas pliocénicas guardan una posición más septentrional que las calderas cuaternarias.

ASPECTOS ESTRUCTURALES

Se han analizado datos propios, inéditos y ya publicados sobre el fallamiento y fracturamiento de la SMO y del CVM, principalmente en la porción central del país, a fin de determinar los principales tensores de deformación en ca-

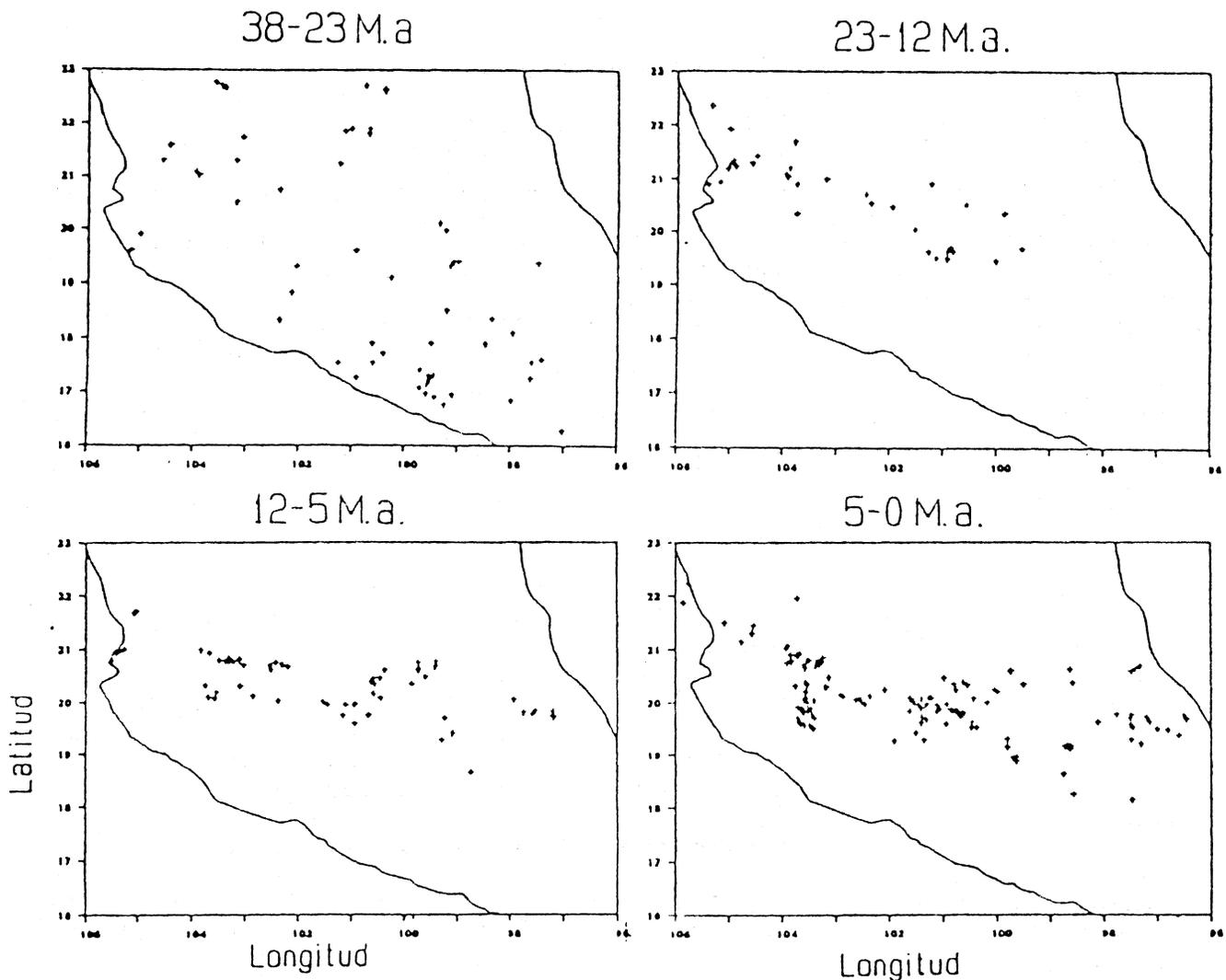


Fig. 2. Distribución espacial de las edades radiométricas (Tabla 1) agrupadas en cuatro períodos de tiempo. La ubicación está dada en términos de la longitud W y la latitud N.

da una de estas provincias y correlacionarlos con las características volcanológicas comentadas previamente.

En el área de Zitácuaro-Tzitzio, Mich. se distinguieron dos fases compresivas que afectan a las Capas Rojas y a las andesitas del Mioceno Inferior (Islas *et al.*, 1989). La primera fase es la causante del pliegue de fondo de Tzitzio, cuyo eje tiene una orientación N 340° (NW 20° SE); la segunda fase provocó una serie de fallas laterales derechas de orientación N 140° a N 175° (NW 5°-40° SE). Se encontraron también, en algunos casos, estructuras laterales izquierdas de dirección N 30° a N 40° (NE 30°-40° SW), que funcionan como conjugadas de las laterales derechas y son casi normales a ellas. Estas estructuras conjugadas implican un máximo de compresión σ_1 en dirección N 20° a N 30° (NE 20°-30° SW), compresión que también es responsable de algunas estructuras plicativas de orientación N 96° a N 108° (NW 84°-72° SE); estas últimas estructuras plicativas cortan el pliegue de fondo de Tzitzio.

Más adelante, en el Cuaternario, una tectónica de tipo distensivo con un máximo de distensión σ_3 orientado de N 340° a N 360° (NW 20° SE a N-S), reactivó estas mismas estructuras y causó el basculamiento de las rocas del Mioceno Superior; se formaron también estructuras distensivas generadas por un σ_3 de orientación N 320° (NW 40° SE).

En Querétaro se estudió la falla regional Taxco-Querétaro, observándose un fallamiento normal orientado N 340° (NW 20° SE) que basculó a mesas de basaltos del Mioceno Superior (edades de 8 a 6 Ma). Esta importante estructura del basamento es cortada por fallas de dirección N 40° a N 50° (NE 40°-50° SW) pertenecientes al CVM. A nivel regional, la falla Taxco-Querétaro funge como límite oriental de los arcos volcánicos mesozoicos, constituyendo al mismo tiempo la frontera oriental del Terreno Guerrero. Al norte, hacia San Luis Potosí, la falla Taxco-Querétaro parece controlar la parte norte del graben de Villa de Reyes,

Tabla 1

Relación de edades radiométricas

LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONG.	LAT.	EDAD	REF.
Guanajuato, Gto.	Riolita	101.25	21.25	37.0 ±0.0	22
Zacatecas	Ignimbrita	103.50	22.75	37.0 ±0.0	11
Tilzapotla, Gro.	Ignimbrita	99.21	18.50	36.9 ±1.3	12
Tilzapotla, Gro.	Ignimbrita	99.21	18.50	35.5 ±1.2	12
Cerro Grande, Zac.	Andesita	103.06	21.73	34.36±0.7	34
Zacatecas	Ignimbrita	103.45	22.70	34.3 ± ?	33
Mesa Tzitzio, Mich.	Ignimbrita	100.94	19.60	33.4 ±1.7	16
Guanajuato, Gto.	Riolita	101.25	21.25	32.0 ±0.0	22
Pozo Texcoco, -1500m	Andesita	99.00	19.40	31.1 ±0.0	30
Libres-Oriental, Ver.	Sienita	97.48	19.37	31.0 ±1.9	31
Pontezuelo, S.L.P.	Riodacita	100.68	21.90	30.6 ±1.5	26
Pozo Texcoco, -1500m	Andesita	99.00	19.40	30.4 ±0.0	30
Zacatecas	Ignimbrita	103.40	22.68	30.0 ± ?	33
S. Miguelito, S.L.P.	Riolita	101.15	21.85	30.0 ±1.5	26
Sta. María, S.L.P.	Ignimbrita	100.70	21.80	29.5 ±1.5	26
Cerro Ceballos, Zac.	Ignimbrita	103.20	21.33	29.15±0.61	34
La Cantera, S.L.P.	Ignimbrita	101.03	21.91	29.0 ±1.5	26
Zacatecas	Ignimbrita	103.58	22.78	28.0 ± ?	33
Panalillo, S.L.P.	Ignimbrita	101.16	21.82	26.8 ±1.3	26
Cinco Minas, Ags.	Microdiorita	102.91	21.03	26.7 ±0.6	34
S. Pedro Analco, Jal.	Granodiorita	103.95	21.08	26.6 ±0.6	34
Cinco Minas, Ags.	Andesita	102.90	21.03	24.7 ±0.6	34
Zona de Arandas, Jal.	Riolita	101.34	20.24	24.7 ±1.0	10
Zacatecas	Ignimbrita	103.50	22.71	23.6 ± ?	33
Zacatecas	Ignimbrita	103.41	22.75	23.2 ± ?	33
Montecillo, Gto.	Riolita	101.22	20.93	23.0 ±1.0	16
S. Pedro Analco, Jal.	Latita	103.90	21.21	22.54±0.47	34
S. José Allende, Gto.	Ignimbrita	101.02	20.87	22.0 ±1.0	16
S. Ma. del Oro, Nay.	Riolita	104.60	21.30	21.3 ±0.9	19
S. Miguel Bolaños, Jal.	Dique basalto	103.78	21.71	21.03±0.44	34
P. La Sosa, Mich.	Ignimbrita	101.13	19.51	21.0 ±1.0	16
C. El Mexicano, Jal.	Basalto	103.21	21.01	20.9 ±0.44	34
SW de Tepic, Nay.	Andesita	104.96	21.36	20.4 ±2.9	19
Cinco Minas, Ags.	Ignimbrita	103.93	21.05	20.2 ±0.5	34
Paso Ancho, Mich.	Basalto	100.93	19.50	20.0 ±1.0	36
S. Pedro Analco, Jal.	Dique félsico	103.96	21.10	19.5 ±0.5	34
S. Compostela, Nay.	Riolita	105.06	21.20	18.5 ±0.7	19
SE Indaparapeo, Mich.	Andesita	100.86	19.73	18.2 ±0.6	36
S. Compostela, Nay.	Riolita	104.91	21.25	18.1 ±0.8	19
Cointzio, Mich.	Ignimbrita	101.27	19.63	18.0 ±0.5	16
NW de Atemajac, Jal.	Andesita	103.96	19.26	17.0 ±0.0	37
Santa Rosa, Zac.	Ignimbrita	103.73	20.91	16.9 ±0.5	34
C. Garnica, Mich.	Andesita	100.82	19.65	16.2 ±0.8	16
SW de Tepic, Nay.	Basalto	105.01	21.31	16.0 ±0.7	19
S. de Guadalupe, D.F.	Andesita	99.08	19.62	15.0 ±0.8	30
S. de Guadalupe, D.F.	Basalto	99.09	19.60	14.2 ±0.7	30
S. Mil Cumbres, Mich.	Andesita	100.91	19.65	14.1 ±0.7	13
Libres-Oriental, Ver.	Granodiorita	97.13	19.70	14.0 ±0.0	46
Mzo. Palma Sola, Ver.	Basalto alc.	96.40	19.71	14.0 ±0.5	6
NW Carácuaro, Mich.	Dacita	101.27	19.05	14.0 ±0.7	16

Tabla 1 - Continuación

LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONG.	LAT.	EDAD	REF.
E. Zapata, Nay.	Basalto	104.90	21.20	13.8 ±3.0	20
Santa Rosa, Jal.	Ignimbrita	103.70	19.90	13.6 ±0.1	34
P. Vallarta, Jal.	Gabro	105.20	20.95	13.3 ±2.0	20
P. Vallarta, Jal.	Dique basalto	105.40	20.91	12.6 ±0.4	20
Mzo. Palma Sola, Ver.	Microdiorita	96.49	19.74	12.6 ±0.0	31
Mzo. Palma Sola, Ver.	Microdiorita	96.49	19.74	12.3 ±0.0	31
E de Arandas, Jal.	Basalto	102.20	20.67	12.0 ±2.0	44
Los Agustinos, Mich.	Riolita	100.72	20.20	11.4 ±0.6	16
P. Vallarta, Jal.	Ignimbrita	105.41	20.91	11.1 ±0.2	35
NE Los Humeros, Ver.	Andesita	97.18	19.80	11.0 ± ?	46
N de Atotonilco, Jal.	And. basált.	102.53	20.68	11.0 ±2.0	44
P. Vallarta, Jal.	Basalto	105.50	20.78	10.2 ±0.8	35
Arandas, Jal.	Basalto	102.31	20.70	10.2 ±0.3	35
E Lago Sayula, Jal.	Andesita	103.45	20.06	10.1 ±0.4	1
Los Azufres -2700 m	Andesita	100.68	19.75	10.1 ±0.6	5
P. Vallarta, Jal.	Basalto	105.36	20.95	10.1 ±0.3	35
NW de Arandas, Jal.	Basalto	102.43	20.76	10.0 ±2.0	44
C. La Campana, Jal.	Basalto	103.11	20.83	9.97 ± ?	34
N de Mecatán, Nay.	Basalto	105.08	21.68	9.9 ±0.3	19
S. Las Cruces, D.F.	Toba	99.30	19.28	9.8 ±1.0	30
Río Santiago, Jal.	Basalto	103.31	20.85	9.5 ±0.1	45
Río Santiago, Jal.	Basalto	103.33	20.85	9.2 ±0.1	45
Río Santiago, Jal.	Ignimbrita	103.31	20.83	9.1 ±0.1	45
Río Santiago, Jal.	Basalto	103.33	20.81	9.0 ±0.2	45
Río Santiago, Jal.	Basalto	103.33	20.81	9.0 ±0.2	45
N de Zimapán, Hgo.	Andesita	99.40	20.78	9.0 ±0.3	6
S de Atemajac, Jal.	Bas. andesít.	103.70	20.10	9.0 ±0.0	8
Taxbatha, Hgo.	Andesita	99.60	20.50	9.0 ±0.8	43
Villa Chavinda, Mich.	Basalto	102.39	20.03	8.8 ±0.8	40
Mesa Mistemeque, Jal.	Basalto	103.83	20.99	8.52 ±0.18	34
Punta Rosa, Nay.	Basalto	105.26	21.01	8.3 ±0.6	35
Aeropuerto de Gro.	Basalto	100.37	20.62	8.1 ±0.8	16
Lagunillas, Jal.	Basalto	103.12	20.80	8.02 ±0.17	34
C. Higueras, Jal.	Basalto	103.23	20.77	8.02 ±0.17	34
Peña del Panal, Mich.	Andesita	101.16	19.75	8.0 ±0.6	9
Pathé, Hgo.	Riolita	99.72	20.64	7.8 ±0.4	43
N de Mecatán, Nay.	Riolita	105.03	21.71	7.8 ±0.6	19
Zapotlanejo, Jal.	Ignimbrita	103.03	20.71	7.73 ±0.2	21
NE de Jalapa, Ver.	Andesita	97.58	19.78	7.7 ±0.3	6
Pathé, Hgo.	Riolita	99.72	20.64	7.6 ±0.3	43
Mzo. Palma Sola, Ver.	Dacita	96.43	19.65	7.2 ±0.2	31
N Guadalajara, Jal.	Ignimbrita	103.32	20.78	7.15 ±0.2	21
C. Largo, Pathé, Hgo.	Riolita	99.74	20.61	6.7 ±0.1	28
C. Largo, Pathé, Hgo.	Riolita	99.74	20.61	6.6 ±0.1	28
Gpo. San Juan, Hgo.	Basalto	99.74	20.61	6.5 ±0.2	28
Mzo. Palma Sola, Ver.	Dacita	96.45	19.68	6.5 ±0.2	6
Gpo. San Juan, Hgo.	Basalto	99.74	20.61	6.4 ±0.2	28
El Terrero, Mich.	Ignimbrita	100.94	19.60	6.1 ±0.6	16
S. El Gavilán, Mich.	Basalto	101.54	20.02	6.0 ±0.4	9
San Rafael, Mich.	Basalto	101.45	19.96	6.0 ±0.3	9

Tabla 1 - Continuación

LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONG.	LAT.	EDAD	REF.
Los Azufres, Mich.	Andesita	100.68	19.75	5.92±0.14	5
N Presa S. Rosa, Jal.	Ignimbrita	103.67	20.93	5.53±0.1	34
Río Santiago, Jal.	Andesita	103.50	20.80	5.5 ±0.1	45
La Soledad, Jal.	Riolita	103.30	20.82	5.47±0.17	21
E Lago Sayula, Jal.	Andesita	103.58	20.08	5.4 ±0.2	1
Puroagua, Mich.	Riolita	100.44	20.09	5.4 ±0.5	16
Int. El Zapote, Mich.	And. porfíd.	100.93	19.98	5.32±0.5	9
Zacoalco, Jal.	Andesita	103.55	20.20	5.2 ±0.4	1
N de Tesistán, Jal.	Riolita	103.38	20.78	5.19±0.06	21
Fm. Teziutlán, Pue.	Andesita	97.20	19.73	5.0 ±0.7	46
Los Azufres, -700 m.	Andesita	100.66	19.76	5.0 ±0.4	5
Atoyac, Jal.	Andesita	103.53	20.00	4.96±0.03	1
N de Amacueca, Jal.	Andesita	103.60	20.06	4.89±0.03	1
Río Santiago, Jal.	Ignimbrita	103.33	20.76	4.8 ±0.1	45
San Gaspar, Jal.	Ignimbrita	103.27	20.78	4.71±0.07	21
Río Santiago, Jal.	Basalto	103.33	20.76	4.7 ±0.1	45
Sur de Sayula, Col.	Ankaratita	103.65	19.86	4.69±0.05	1
Achio, Jal.	Ignimbrita	103.71	20.88	4.69±0.17	34
N de Amacueca, Jal.	Basalto	103.61	20.05	4.65±0.05	1
Zacoalco, Jal.	Andesita	103.58	20.21	4.6 ±0.1	1
E S. M. del Oro, Nay.	Riolita	104.56	21.31	4.6 ±0.2	20
E de Atemajac, Jal.	And. potásica	103.58	20.08	4.56±0.04	1
E de Tapalpa, Col.	Dacita	103.61	19.83	4.56±0.01	1
S de Zacoalco, Jal.	Lamprófido	103.55	20.11	4.42±0.03	1
Huentitán, Jal.	Basalto	103.31	20.78	4.4 ±0.3	21
E de Atemajac, Jal.	Andesita	103.58	20.08	4.35±0.06	1
Mzo. Palma Sola, Ver.	Bas. andesít.	96.50	19.75	4.31±0.8	31
Cd. Hidalgo, Mich.	Dacita	100.47	19.63	4.3 ±0.4	16
Huichapan, Hgo.	Ignimbrita	99.50	20.36	4.3 ±0.3	28
Río Santiago, Nay.	Basalto	104.53	21.45	4.3 ±1.7	19
E de Cd. Guzmán, Col.	Lamprófido	103.40	19.70	4.28±0.02	2
S de Sayula, Col.	Lamprófido	103.61	19.83	4.22±0.03	2
W de Sayula, Col.	Lamprófido	103.63	19.90	4.21±0.07	2
W de Sayula, Col.	Lamprófido	103.63	19.90	4.2 ±0.1	2
W de Sayula, Col.	Lamprófido	103.63	19.90	4.2 ±0.03	2
Huichapan, Hgo.	Ignimbrita	99.50	20.36	4.2 ±0.3	28
E Lago Sayula, Jal.	Lamprófido	103.41	20.05	4.16±0.04	2
Mistemeque, Jal.	Basalto	103.72	21.96	3.97±0.0	34
S. Fco. Ixcatán, Jal.	Basalto	103.25	20.85	3.97±0.1	21
W de Amealco, Qro.	Ignimbrita	100.80	20.36	3.8 ±0.4	16
Cinco Minas, Ags.	Basalto	102.93	21.03	3.77±0.6	34
Mistemeque, Jal.	Basalto	103.93	21.02	3.72±0.06	34
Fm. Teziutlán, Pue.	Andesita	97.48	19.77	3.5 ±0.3	46
Guadalajara, Jal.	Ignimbrita	103.31	20.74	3.44±0.1	21
Ixtlán Herv., Mich.	Andesita	102.36	20.14	3.3 ±0.3	40
E de Tapalpa, Jal.	Lamprófido	103.70	19.93	3.29±0.02	1
Guadalajara, Jal.	Ignimbrita	103.39	20.70	3.23±0.08	21
Los Azufres, -900 m.	Dacita	100.68	19.75	3.1 ±0.2	5
N La Primavera, Jal.	Pumicita	103.55	20.81	3.07±0.1	21
Pajacuarán, Mich.	Andesita	102.56	20.10	3.0 ±0.3	40

Tabla 1 - Continuación

LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONG.	LAT.	EDAD	REF.
NE de Coeneo, Mich.	Dacita	101.40	19.90	2.9 ±0.12	36
Moroleón, Gto.	Ignimbrita	101.21	20.10	2.8 ±0.2	9
W de Celaya, Gto.	Basalto	100.98	20.48	2.78±0.7	24
Cerro Alto, Jal.	Andesita	102.46	19.98	2.6 ±0.1	35
Atotonilco, Hgo.	Bas. andesít.	98.63	20.63	2.56±0.08	6
Mesa Santa Rosa, Jal.	Basalto	103.73	20.91	2.5 ±0.0	34
E de Sayula, Jal.	And. potás.	103.46	19.90	2.41±0.04	1
Atotonilco, Hgo.	Bas. andesít.	98.58	20.38	2.38±0.08	6
Nayarit	Riolita	104.76	21.15	2.3 ±0.5	20
C. Los Amoles, Gto.	Andesita	101.26	20.10	2.26±0.14	36
E Puruándiro, Mich.	Andesita	101.40	20.08	2.2 ± 0.2	9
S Villa Madero, Mich.	Dacita	101.35	19.30	2.15±0.2	16
Nayarit	Andesita	105.08	21.50	2.1 ±0.4	20
Villamar, Mich.	Andesita	102.53	20.05	2.0 ±0.2	40
E Cofre Perote, Ver.	Basalto	97.00	19.50	1.9 ±0.06	31
E Pico Orizaba, Ver.	Basalto	96.60	19.38	1.9 ±0.0	6
N La Primavera, Jal.	Basalto	103.60	20.71	1.78±0.3	21
S de Sayula, Col.	Dacita	103.60	19.81	1.7 ±0.1	1
E Cofre Perote, Ver.	Basalto	97.00	19.50	1.7 ±0.0	31
NE Zinapécuaro, Mich.	Obsidiana	100.75	19.88	1.6 ±0.15	13
Nevado Toluca, Méx.	Andesita	99.63	18.88	1.6 ±0.15	7
Cerro Grande, Mich.	Basalto	102.08	20.25	1.6 ±0.1	35
E Cofre Perote, Ver.	Andesita	96.80	19.48	1.57±0.05	6
Mesa Comalera, Mich.	Riolita	100.80	19.85	1.54±0.15	36
Nevado Toluca, Méx.	Andesita	99.80	19.15	1.54±0.07	7
Pico Orizaba, Ver.	And. basált.	98.11	19.63	1.5 ±0.07	6
N de San Marcos, Jal.	Andesita	103.53	20.35	1.44±0.02	1
Complejo Cántaro, Col.	Dacita	103.71	19.71	1.4 ±0.1	1
NE de Chapala, Jal.	Basalto	103.13	20.49	1.37±0.2	21
Presa Sta. Rosa, Jal.	Basalto	103.70	20.90	1.34±0.2	34
N de San Marcos, Jal.	Andesita	103.53	20.35	1.3 ±0.1	1
Nevado Toluca, Méx.	Andesita	99.63	18.96	1.3 ±0.3	7
N de Cd. Guzmán, Jal.	Lamprófidio	103.45	19.78	1.26±0.02	2
W Zinapécuaro, Mich.	Riolita	100.85	19.85	1.21±0.04	36
Nevado Toluca, Méx.	Andesita	99.70	18.95	1.2 ±0.1	7
Coeneo, Mich.	Andesita	101.61	19.85	1.2 ±0.4	9
Puruándiro, Mich.	Basalto	101.61	20.10	1.2 ±0.1	9
Zinapécuaro, Mich.	Riolita	100.85	19.88	1.19±0.09	36
N de Cd. Guzmán, Jal.	Lamprófidio	103.52	19.85	1.15±0.04	2
SE Zinapécuaro, Mich.	Riolita	100.71	19.81	1.14±0.04	36
Mesa Palomas, Jal.	Basalto	103.90	21.08	1.09±0.35	34
Los Azufres, Mich.	Riolita	100.64	19.76	1.08±0.02	15
Cerro Pizarro, Pue.	Riolita	97.45	19.53	1.0 ±0.2	46
Cerro Oyameles, Pue.	Riolita	97.50	19.70	1.0 ±0.2	46
N Los Azufres, Mich.	Andesita	100.63	19.81	1.0 ±0.2	15
N de San Marcos, Jal.	Andesita	103.55	20.36	0.99±0.01	1
Tequilizinta, Jal.	Basalto	103.92	20.75	0.97±0.2	34
Complejo Cántaro, Col.	Andesita	103.66	19.64	0.95±0.1	1
Los Azufres, Mich.	Riolita	100.64	19.76	0.93±0.04	15
Mesa Santa Rosa, Jal.	Basalto	103.71	20.90	0.93±0.05	35

Tabla 1 - Continuación

LOCALIDAD	TIPO DE ROCA	LONG.	LAT.	EDAD	REF.
Iztaccíhuatl, Pue.	Dacita	98.68	19.21	0.9 ±0.07	35
La Ollita, Jal.	Basalto	103.70	19.90	0.88±0.0	34
Pátzcuaro, Mich.	Andesita	101.40	19.61	0.87±0.05	35
W de Ucareo, Mich.	And. basált.	100.75	19.88	0.87±0.17	36
Cerro El Gallo, Mich.	Riolita	100.66	19.80	0.84±0.02	15
Cuitzeo, Mich.	Andesita	101.31	19.98	0.77±0.04	36
S de Cuitzeo, Mich.	Andesita	101.12	19.83	0.76± ?	36
Cuitzeo, Mich.	And. basált.	101.06	19.88	0.75±0.1	36
Cerro El Burro, Mich.	Andesita	101.50	19.43	0.65±0.05	9
N de San Marcos, Jal.	And. potás.	103.58	20.41	0.65±0.1	1
San Martín, Jal.	Dacita	103.83	20.91	0.63±0.03	35
Iztaccíhuatl, Pue.	Andesita	98.66	19.15	0.58±0.12	35
Iztaccíhuatl, Pue.	Dacita	98.73	19.16	0.58±0.11	35
S de Sayula, Col.	And. potás.	103.61	19.81	0.58±0.02	1
Xáltipan, Pue.	Ignimbrita	97.50	19.58	0.56±0.21	46
Volcán Tequila, Jal.	Obsidiana	103.86	20.90	0.55±0.04	35
Capula, Mich.	Andesita	101.30	19.68	0.54±0.03	36
Achio, Jal.	Basalto	103.73	20.89	0.53±0.1	21
Nevado Colima, Jal.	Andesita	103.66	19.60	0.53±0.1	39
E Cofre Perote, Ver.	And. potás.	97.13	19.63	0.47±0.02	6
Iztaccíhuatl, Pue.	Dacita	98.63	19.13	0.41±0.14	35
Nevado Colima, Jal.	Andesita	103.66	19.61	0.37±0.05	39
Cerro Pelón, Mich.	Basalto	101.90	19.28	0.37±0.5	24
S de Maravatío, Mich.	Basalto	100.48	19.53	0.36±0.08	13
Iztaccíhuatl, Pue.	Dacita	98.63	19.13	0.34±0.09	35
C. San Andrés, Mich.	Dacita	100.61	19.81	0.33±0.07	15
Las Derrumbadas, Pue.	Dacita	97.48	19.30	0.32±0.1	46
M. El Rosario, Mich.	Riolita	100.70	19.75	0.30±0.07	15
Nevado Colima, Jal.	Andesita	103.50	19.58	0.29±0.08	39
Iztaccíhuatl, Pue.	Andesita	98.63	19.11	0.27±0.02	35
Los Negritos, Mich.	Andesita	102.63	20.07	0.24±0.02	40
Volcán Tequila, Jal.	Andesita	103.83	20.80	0.22±0.03	35
Volcán Tequila, Jal.	Andesita	103.83	20.78	0.21±0.01	35
S La Primavera, Jal.	Riolita	103.58	20.66	0.15±0.02	27
El Carpintero, Mich.	Riolita	100.71	19.80	0.14±0.02	15
Nevado Colima, Jal.	Andesita	103.58	19.58	0.14±0.04	39
Iztaccíhuatl, Pue.	Dacita	98.61	19.18	0.08±0.02	35
Volcán Colima, Jal.	Piroclástico	103.43	19.51	0.08±0.03	39
W de Quinceo, Mich.	And. basált.	101.38	19.73	0.05±0.02	36
SE de Tuxpan, Mich.	Riodacita	100.38	19.53	0.05±0.03	13

REF.: Referencia; el número corresponde a la lista de referencias del texto. Edades en millones de años.

el cual varía su orientación de NE-SW a NW-SE, esta última prácticamente paralela a la falla mencionada.

En el Lago de Cuitzeo, Mich. se observaron dos tipos de fallamiento. El más antiguo afecta sólo a rocas miocénicas y presenta una orientación de N 135° a N 160° (NW 20°-45° SE); este fallamiento es paralelo a las estructuras originadas por la tectónica de Cuencas y Sierras que afecta al noroeste de México. El otro fallamiento está representado por un sistema de fallas normales con orientación de N 40° a N 70° (NE 40°-70° SW), que afecta a ignimbritas con edades de 2.8 Ma, mismas que presentan basculamientos hasta de 10°; este sistema fue causado por un máximo de distensión, σ_3 , de orientación N 130° (NW 50° SE).

En el área de Maravatío-Acambay, Mich.-Méx., se estudió la falla activa de Acambay, que se encuentra dividida en varios segmentos orientados en general este-oeste (N 90°). El tensor σ_3 resultante tiene una orientación norte-sur (N 360°), con ligeras componentes izquierdas. Esta falla dio lugar a los sismos de Acambay en 1912 y de Maravatío en 1979 (Astiz, 1986).

En Pajacuarán, Mich. se encuentra una importante estructura de orientación similar a la de Acambay, la falla de Pajacuarán, que afecta a depósitos aún no consolidados formados en la cuenca del Lago de Chapala; el máximo de distensión para esta falla fue calculado también con una orientación casi norte-sur (N 360°).

Entre las depresiones de Chapala, Jal. y Cuitzeo, Mich. parece presentarse un graben de orientación norte-sur (N 360°) que afecta a los productos volcánicos monogenéticos de edad pleistocénica del CVM; algunas fracturas con esa misma orientación han sido observadas al sur del Lago de Chapala, cortando estructuras de dirección este-oeste (N 90°).

DISCUSION

El origen del volcanismo en el occidente de México ha sido relacionado con la subducción en la costa del Pacífico (Nixon *et al.*, 1987; Montigny *et al.*, 1987; Demant *et al.*, 1989); pero además debe tenerse en cuenta que los accidentes de basamento jugaron un importante papel en la distribución geográfica de ese volcanismo, sobre todo en la configuración del CVM y de su basamento. En particular, la falla Taxco-Querétaro de la que se ha venido hablando parece haberse desempeñado como una especie de límite en el volcanismo miocénico, definiendo la frontera oriental de la SMO; este carácter limítrofe es evidente sobre todo entre el primero y el segundo de los hiatus mencionados (es decir, entre hace 28 y 15 Ma; Figura 1), pero también se observa entre el segundo y el último de los hiatus (entre hace 15 y 5 Ma). En este último período de tiempo se observa en la Figura 1 una disminución en la actividad volcánica al oriente de la falla Taxco-Querétaro. En realidad, lo que parece haber ocurrido es que esta estructura continuó actuando como límite de la actividad postrera de la

SMO, pero entre los 12 y los 5 Ma se había iniciado ya la actividad volcánica del basamento del CVM - con una dirección este-oeste; así, los eventos ubicados al occidente de la falla corresponderían tanto al final de la SMO como al principio de la actividad basamental del CVM, mientras que los ubicados al oriente de esa estructura habrían sido producidos casi exclusivamente por esta última actividad.

Por lo que se refiere a los hiatus, cabe agregar que el primero, entre los 28 y 25 Ma, ocurre cuando la antigua Placa Farallón sufre un rompimiento (Atwater, 1970), mientras que por el otro lado está ocurriendo la interdigitación de los productos volcánicos de la SMO con los depósitos molásicos formados después de la Orogenia Laramide al oriente.

El segundo hiatus, entre los 17 y los 15 Ma, parece asociarse con la individualización de la Placa de Cocos y con el advenimiento de la fase tectónica compresiva del Mioceno Superior, la cual da lugar a los pliegues de fondo de México (Tardy, 1980). Como se dijo, en el área de Tzitzio-Maravatío, Mich. se identificó otra fase de deformación compresiva, con un σ_1 casi normal al de la primera fase que causó el pliegue de fondo; esta segunda fase de deformación parece ser más bien una fase transcompresiva, muy posterior a la tectónica de Cuencas y Sierras observable en varios puntos de la intersección entre el CVM y la SMO.

Después del segundo hiatus (y en particular después de los 12 Ma) el volcanismo cambió su orientación de NW-SE a prácticamente E-W; se torna andesítico-basáltico, sobreponiéndose a las estructuras originadas por la tectónica de Cuencas y Sierras, mismas que son cortadas por las estructuras propias del basamento del CVM. Estas mesas andesítico-basálticas presentan una geometría que ayuda a preparar las futuras zonas de debilidad en las que se emplazará el volcanismo propio del CVM, juntamente con una fase de deformación de tipo transtensional izquierda, cuyo σ_3 sufre un giro izquierdo para generar las estructuras activas de dirección este-oeste.

Finalmente, el tercer hiatus, que ocurre en las porciones occidental y oriental entre los 7 y los 5 Ma, parece relacionarse con una reorganización mayor de la Placa del Pacífico, la cual incluye la apertura del Golfo de California (Atwater, 1970; Pasquaré *et al.*, 1990; Garduño y Tibaldi, 1991). En la parte central no se presenta ninguna interrupción de la actividad volcánica; al contrario, en esta porción la actividad pareciera incrementarse entre los 7 y los 5 Ma (Figura 1). Esto implicaría que en la región central la transición entre el volcanismo basamental del CVM y el del propio Cinturón fueron muy graduales. En la porción oriental, en particular al oriente de la falla Taxco-Querétaro, el hiatus incluso parece prolongarse hasta hace unos 3 Ma, lo cual podría sugerir cierta migración del volcanismo pliocuaternario - esto es, del CVM propiamente dicho - de occidente a oriente.

CONCLUSIONES

- El análisis de más de 230 datos de edades radiométricas de rocas de la SMO y del CVM, correlacionados con su distribución geográfica, parece corroborar la existencia de lo que sería una provincia volcánica diferente de las dos mencionadas. Se trataría de lo que se ha denominado volcanismo basamental del CVM, de edad intermedia entre la SMO y el propio CVM y con una extensión geográfica y carácter semejantes a los de la provincia del CVM. En la parte centro-occidental de México, los productos de esta provincia tienden a aparecer junto con los productos posteriores del volcanismo de la SMO, mientras que hacia el oriente se presentan solos.

- De la correlación entre los datos radiométricos mencionados y las fases de deformación identificadas en la misma región puede inferirse la presencia de tres hiatus en la actividad volcánica de los últimos cuarenta millones de años. El más antiguo parece haber ocurrido en la provincia de la SMO y, a su conclusión, da lugar a un volcanismo calcoalcalino representado por miembros algo más ácidos que en el período que le antecede. El segundo hiatus señala en la provincia de la SMO, al concluir, el principio de la actividad volcánica basamental del CVM y está relacionado con un cambio en la orientación global de la actividad volcánica que, de una orientación general NW-SE, pasa a una E-W. El tercer hiatus ocurrió en los sectores occidental y oriental y señala la transición entre el volcanismo del basamento y el del CVM propiamente dicho; tuvo lugar entre los 7 y 5 Ma, pero en el sector oriental se prolongó aparentemente hasta hace unos 3 Ma.

- La falla de Taxco-Querétaro es un accidente de basamento que parece actuar como el límite oriental del volcanismo de la SMO en la porción central del país, además de fungir como el límite oriental del Terreno Guerrero.

BIBLIOGRAFIA

(Por excepción, se anteponen números de secuencia por figurar estos en la columna final de la Tabla)

1. ALLAN, J. F., 1986. Geology of the Colima and Zacoalco grabens, SW Mexico: Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, 473-485.
2. ALLAN, J. F. y J. F. LUHR, 1982. K-Ar ages of Late-Cenozoic alkaline and calalkaline lavas of the Colima Graben, SW Mexico. *EOS, Transactions Am. Geol. Union*, 63, 45, p. 1154.
3. ASTIZ, L., 1986. The 1912 Acambay, Mexico (Ms = 7.0) earthquake: a reexamination. *Bol. Un. Geof. Mex.*, II, 17.
4. ATWATER, T., 1970. Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of Western North America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81, 3513-3536.
5. AUMENTO, F. y L. C. A. GUTIERREZ N., 1980. Geocronología de Los Azufres, Michoacán. Informe 3/80, Depto. Expl., CFE. Inédito.
6. CANTAGREL, J. M. y C. ROBIN, 1979. K-Ar dating on eastern Mexican volcanic rocks - Relations between the andesitic and the alkaline provinces. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5, 99-114.
7. CANTAGREL, J. M., C. ROBIN et P. VINCENT, 1981. Les grandes étapes d'évolution d'un volcan andésitique composite: exemple du Nevado de Toluca (Mexique). *Bull. Vulcanol.*, 44, 177-188.
8. CFE (Comisión Federal de Electricidad), 1980. Dataciones impublicadas de la Oficina de Exploraciones. Inéditas.
9. CFE (Comisión Federal de Electricidad), Oficina de Geología, 1986. Dataciones radiométricas en rocas del NW de Michoacán. Reporte GG 10/86, Ofna. de Geol., Depto. Expl. Inédito.
10. CFE (Comisión Federal de Electricidad), 1990. Dataciones impublicadas del Depto. de Exploración. Inéditas.
11. CLARK, K. F., C. T. FOSTER y P. E. DAMON, 1982. Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93, 533-544.
12. DeCZERNA, Z., 1974. Datos geocronométricos terciarios de los estados de México, Morelos y Guerrero. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Pet.*, 26 (4-6), 263-273.
13. DEMANT, A., R. MAUVOIS y L. SILVA-MORA, 1975. Estudio geológico de las hojas Morelia y Maravatío, Estado de Michoacán. CFE- Inst. Geol. UNAM, reporte interno, 30 pp.
14. DEMANT, A., J. J. COCHEME, P. DELPRETTI y P. PIGUET, 1989. Geology and petrology of the Tertiary volcanics of the northwestern Sierra-Madre Occidental, Mexico. *Boll. Soc. Geol. Fr.*, 8, 4, 737-748.
15. DOBSON, P. F., 1984. Volcanic stratigraphy y geochemistry of Los Azufres geothermal field, Central Mexico. M. Sc. Th., Stanford University, California. Unpublished.
16. FERRARI, L., G. PASQUARE, A. TIBALDI y L. VEZZOLI, 1989. Late Cenozoic-Quaternary volcanic arc shifting in Central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *EOS. Transactions Am. Geoph. Un.*, 70, 43, p. 1309.

17. FERRARI, L., V. H. GARDUÑO, G. PASQUARE y A. TIBALDI, 1991. Geological evolution of Los Azufres caldera, Mexico, as a response to the regional tectonics. *J. Volcanol. Geoth. Res.* (in press).
18. GARDUÑO, V. H. y A. TIBALDI, 1991. Kine-atic evolution of the continental active triple junction of the western Mexican Volcanic Belt. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, II, 135-142.
19. GASTIL, R. G., D. KRUMMENACHER and W. A. JENSKY, 1978. Reconnaissance geology of West-central Nayarit, Mexico. Geol. Soc. Am. Map and Chart Series MC-24.
20. GASTIL, R. G., D. KRUMMENACHER y J. MINCH, 1979. The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, I, 90, 839-857.
21. GILBERT, C. M., G. MAHOOD y I. S. E. CARMICHAEL, 1985. Volcanic stratigraphy of the Guadalajara area, Mexico. *Geofis. Int.*, 24-1, 169-191.
22. GROSS, 1975. Citado por Hasenaka y Carmichael, 1985.
23. GUTIERREZ NEGRIN, L. C. A., 1988. The La Primavera, Jalisco, México, geothermal field. *Geoth. Res. Counc. Transactions*, 12, 161-165.
24. HASENAKA, T. y I. S. E. CARMICHAEL, 1985. The cinder ones of Michoacan-Guanajuato, Central Mexico; their age, volume and distribution, and magma discharge rate. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 25, 105-124.
25. ISLAS, A., A. ORTIZ, J. ROBLES y J. C. SANCHEZ, 1989. Estudio estratigráfico-estructural y tectónico de la parte norte del pliegue de fondo de Tzitzio, Mich. Tesis profesional, IPN, México. Inédita.
26. LABARTHE, G., M. TRISTAN y J. ARANDA, 1982. Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del estado de San Luis Potosí. Reporte Técnico, Univ. Autón. San Luis Potosí, 208 pp.
27. MAHOOD, G., 1981. A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, México. *J. Geophys. Res.*, 86, 10137-10152.
28. MILAN V., M. y J. J. HERRERA F., 1987. Aspectos geológicos importantes de la exploración geotérmica del campo de Pathé, estados de Hidalgo y Querétaro. *Geotermia*, 3, 1, 31-40.
29. MONTIGNY, R., A. DEMANT, P. DELPRETTI, P. PIGUET et J. J. COCHEME, 1987. Chronologie K-Ar des séquences volcaniques tertiaires du Nord de la Sierra Madre Occidental (Mexique). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 304, 987-992.
30. MOOSER, F., 1974. Dataciones de rocas del pozo Texcoco y de la Sierra de Guadalupe. Inéditas.
31. NEGENDANK, J. F. W., R. EMMERMANN, R. KRAWCZYK, F. MOOSER, H. TOBSCHALL y D. WERLE, 1985. Geological and geochemical investigations on the Eastern Transmexican Belt. *Geofis. Int.*, 24-4, 477-575.
32. NELSON, S. A. y I. S. E. CARMICHAEL, 1984. Pleistocene to Recent alkalic volcanism in the region of Sangangüey volcano, Nayarit, Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 85, 321-355.
33. NIETO O., J., 1981. Citado por Nieto *et al.*, 1985.
34. NIETO O., J., L. DELGADO A. y P. E. DAMON, 1985. Geochronologic, petrologic and structural data related to large morphologic features between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt. *Geofis. Int.*, 24-2, 623-663.
35. NIXON, G. T., A. DEMANT, R. L. ARMSTRONG y J. E. HARAKAL, 1987. K-Ar and geological data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geofis. Int.*, 26-1, 109-158.
36. PASQUARE, G., F. CAMACHO A. y R. CANUL D., 1984. Estudio geológico regional de la porción NW de Michoacán y SW de Guanajuato. Informe 27/84, Depto. Expl., CFE. Inédito.
37. PASQUARE, G. and A. ZANCHI, 1985. Cenozoic volcanism and tectonics in West-Central Mexico. *Rend. Accad. Naz. Lincei*, 95, 293-301.
38. PASQUARE, G., L. FERRARI, V. H. GARDUÑO e A. TIBALDI, 1990. Migrazioni di un arco vulcanico continentale: della Sierra Madre Occidental all'Arco Vulcanico Messicano. *Atti del 75 Congresso della Soc. Geol. Ital.*, 96-101.
39. ROBIN, C., G. CAMUS, J. M. CANTAGREL, A. GOURGAUD, Ph. MOSSAND, P. VINCENT, M. AUBERT, J. DOREL et J. B. MURRAY, 1984. Les volcans de Colima (Mexique): Programme Interdisciplinaire de Recherche sur la Prévision et la Surveillance des Eruptions Volcaniques (France) *Bulletin*, 87, 98 pp.
40. ROSAS E., J., J. URRUTIA-FUCUGAUCHI y R. MACIEL F., 1989. Geología del extremo oriental del Graben de Chapala; breve discusión sobre su edad: zonas geotérmicas Ixtlán de Los Hervores-Los Negritos. *Geotermia*, 5, 1, 3-18.
41. SANCHEZ-RUBIO, G., 1978. The Amealco caldera. *Geol. Soc. Am., Abstracts with Programs*, 10, p. 145.

42. TARDY, M., 1980. Contribution à l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique. Thèse d'Etat. Inédito.
43. VENEGAS S., S., R. MACIEL F. y J. J. HERRERA F., 1985. Recursos geotérmicos en la Faja Volcánica Mexicana. *Geofís. Int.*, 24-1, 47-81.
44. VERMA, S. P., M. M. LOPEZ y D. J. TERRELL, 1985. Geochemistry of Tertiary igneous rocks from the Arandas-Atotonilco area, Northeast Jalisco, Mexico. *Geofís. Int.*, 24-1, 31-45.
45. WATKINS, N. D., B. M. GUNN, A. K. BAKSI., D. YORK y H. ADE-HALL, 1971. Paleomagnetism, geochemistry and potassium-argon ages of the Rio Grande de Santiago volcanics, Central Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 1955-1968.
46. YAÑEZ-GARCIA, C. y J. CASIQUE-VAZQUEZ, 1980. Informe geológico del proyecto geotérmico Los Humeros-Las Derrumbadas. Informe s/n, CFE, 65 pp.
-
- Víctor Hugo Garduño-Monroy* y Luis C. A. Gutiérrez-Negrín**.
- * *Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Mangiagalli 34, 20133, Milano, Italia.*
- ** *Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Apdo. Postal 18-H, C.P. 58090, Morelia, Mich.*

