

## Mazahua: una nueva caldera en el Cinturón Volcánico Mexicano

F. Anguita<sup>1</sup>, S. P. Verma<sup>2</sup>, L. García Cacho<sup>3</sup>, M. Milán<sup>4</sup> y D. Samaniego-M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Petrología y Geoquímica, Fac. Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, Madrid, España.

<sup>2</sup>Departamento de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México.

<sup>3</sup>Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España.

<sup>4</sup>Div. Ciencias de la Tierra, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. México.

Recibido: 9 de mayo, 1991; aceptado: 3 de octubre, 1991.

### RESUMEN

En este trabajo se describe una nueva caldera de colapso de 8 km de diámetro (la Caldera Mazahua) descubierta en la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano, en las proximidades de Villa de San Felipe del Progreso (Estado de México). Los datos volcanológicos obtenidos en el campo (procedencia de los mantos ignimbriáticos, episodios y estructuras de alta energía en la periferia de la caldera) han confirmado una hipótesis predictiva basada en la interpretación de estructuras circulares en fotos aéreas y de satélite.

**PALABRAS CLAVE:** Calderas, Cinturón Volcánico Mexicano, Volcanismo, México.

### ABSTRACT

This paper describes a new collapse caldera 8 km in diameter (Mazahua Caldera) located near Villa de San Felipe del Progreso (Estado de México, Mexico) in the central part of the Mexican Volcanic Belt. Field data on the origin of ignimbrite sheets and identification of high-energy events near the presumed caldera rim confirm a predictive model based on the interpretation of circular structures previously located on aerial photographs and satellite images.

**KEY WORDS:** Calderas, Mexican Volcanic Belt, Volcanism, Mexico.

### INTRODUCCION

El Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) es una estructura de 20-150 km de ancho y  $\approx 1,000$  km de largo, que se extiende aproximadamente E-W desde cerca de Puerto Vallarta hasta Veracruz (Mooser, 1972; Demant y Robin, 1975; Pichler y Weyl, 1976; Thorpe, 1977; Demant, 1978; Robin, 1982a, b; Negendank *et al.*, 1985; Verma, 1987). En esta provincia geológica existen unos 8,000 edificios volcánicos (Robin, 1982a); tan sólo en los alrededores de la Ciudad de México se han identificado más de 1,700 estructuras volcánicas (Samaniego-M., 1991; Samaniego-M. y Verma, en preparación).

Uno de los problemas básicos aún pendientes de resolver en el CVM es la escasez de estructuras caldéricas: sólo seis reconocidas hasta el presente, sin contar la nueva caldera Mazahua (figura 1). Ello contrasta con el gran volumen de productos félsicos explosivos emitidos, que cubren una superficie del orden de 160,000 kilómetros cuadrados. A no ser que el CVM se conciba como una provincia volcánica radicalmente anómala, el número de calderas aún por descubrir deber de ser elevado, y podría alcanzar varias decenas.

En 1989, en el curso de una campaña de reconocimiento y muestreo de las calderas de Amealco y Huichapan, situadas en la región central del CVM, los autores detectaron en la imagen Landsat número 28-46 (parte de la cual se reproduce en la figura 2) una estructura circular incompleta de unos ocho kilómetros de diámetro. Las coordenadas del centro son 19°36'30" de latitud N y

100°01' de longitud W. Se sospechó que esta estructura pudiese corresponder a una caldera aún no identificada. Estudios subsiguientes de fotointerpretación confirmaron la impresión inicial, al permitir localizar nuevas fracturas circulares, en parte utilizadas por la red de drenaje, y relieves curvilíneos concéntricos a la supuesta estructura, que seguían la pauta circular general. Esto llevó a planear una campaña de campo que permitiera averiguar si las sucesiones volcánicas presentes en la zona encajaban con las emitidas en un colapso típico de caldera. El resultado de estos trabajos ha sido positivo, lo que permite afirmar la presencia de una nueva caldera en el área central del CVM, a la que hemos propuesto asignar el nombre de Caldera Mazahua, como tributo a la etnia predominante en la región (Anguita *et al.*, 1991).

### GEOLOGIA DE LA CALDERA MAZAHUA

Las principales unidades volcanoestratigráficas y estructuras presentes en la zona se han representado en la figura 3. Los edificios volcánicos se apoyan sobre un sustrato metamórfico de probable edad mesozoica (ver mapa de INEGI E14A26 Angangueo, escala 1:50,000), que aflora sólo en un punto, precisamente situado en el exterior del borde Este de la caldera (figura 4). La descripción petrográfica de las muestras recolectadas se presenta en la Tabla 1. Sobre este basamento se apoyan edificios andesíticos, de los cuales los más próximos son los de La Ciénaga y el Cerro Purfísima Jaltepec. A su vez, estos volcanes andesí-

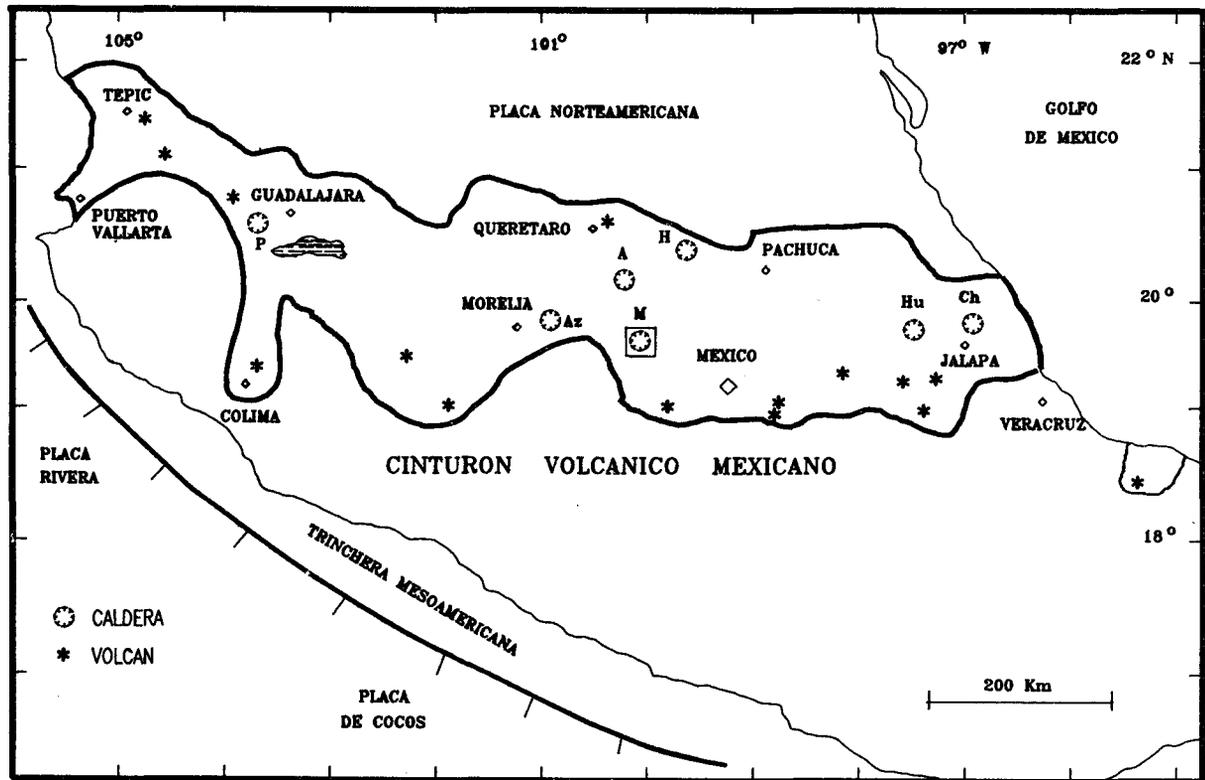


Fig. 1. Mapa esquemático del Cinturón Volcánico Mexicano, con localización de las calderas: P = La Primavera, Jal. (Mahood, 1980); Az = Los Azufres, Mich. (Pradal y Robin, 1985; Ferrari *et al.*, 1991); A = Amealco, Qro. (Carrasco-Núñez *et al.*, 1988; Verma *et al.*, 1991); H = Huichapan, Hgo. (Milán *et al.*, 1988); Hu = Los Humeros, Pue. (Pérez-Reynoso, 1978; Verma y López-M., 1982; Ferriz y Mahood, 1984); Ch = Chiconquiaco, Ver. (Negendank *et al.*, 1985); y M = Mazahua, Edo. de México (Anguita *et al.*, 1991; este estudio).



Fig. 2. Fragmento de la imagen Landsat No. 28-46 en el que pueden distinguirse las calderas de Amealco (A), Huichapan (H) y Mazahua (M).

uticos están cubiertos por una serie de mantos ignimbríticos\* de varias decenas de metros de espesor, cuyas secuencias se han detallado en la figura 5 (I-V; localización en la figura 3). La inclinación de los mantos es variable: en algunos casos es radial centrífuga (8-10°), en otros subhorizontal y, por último, en otros es anómala (hasta 50°), con claro origen tectónico. En general, se trata de ignimbritas homogéneas sin signos apreciables de soldadura, con tamaños de pómez desde milimétricos hasta 3 cm y, en algunos casos, con dos componentes de diferente color (gris claro y gris oscuro), que probablemente reflejan dos composiciones también diferentes. Los líticos son poco abundantes. Los mantos con pómez de tamaños mayores ofrecen mayor resistencia a la erosión, lo que explica el aspecto de escalera que presenta el conjunto de la serie (figura 6). En un punto al NW de la caldera, intercalados entre los mantos de ignimbritas, afloran niveles con laminaciones cruzadas complejas (figura 7), que pasan transicionalmente a otros arenosos y de microconglomerados.

\* El término Ignimbrita ha sido empleado en el sentido en que lo definen Bates y Jackson (1980): "Roca formada por depósito y consolidación de grandes masas de flujos de cenizas y nubes ardientes", sin implicar necesariamente soldadura intensa.

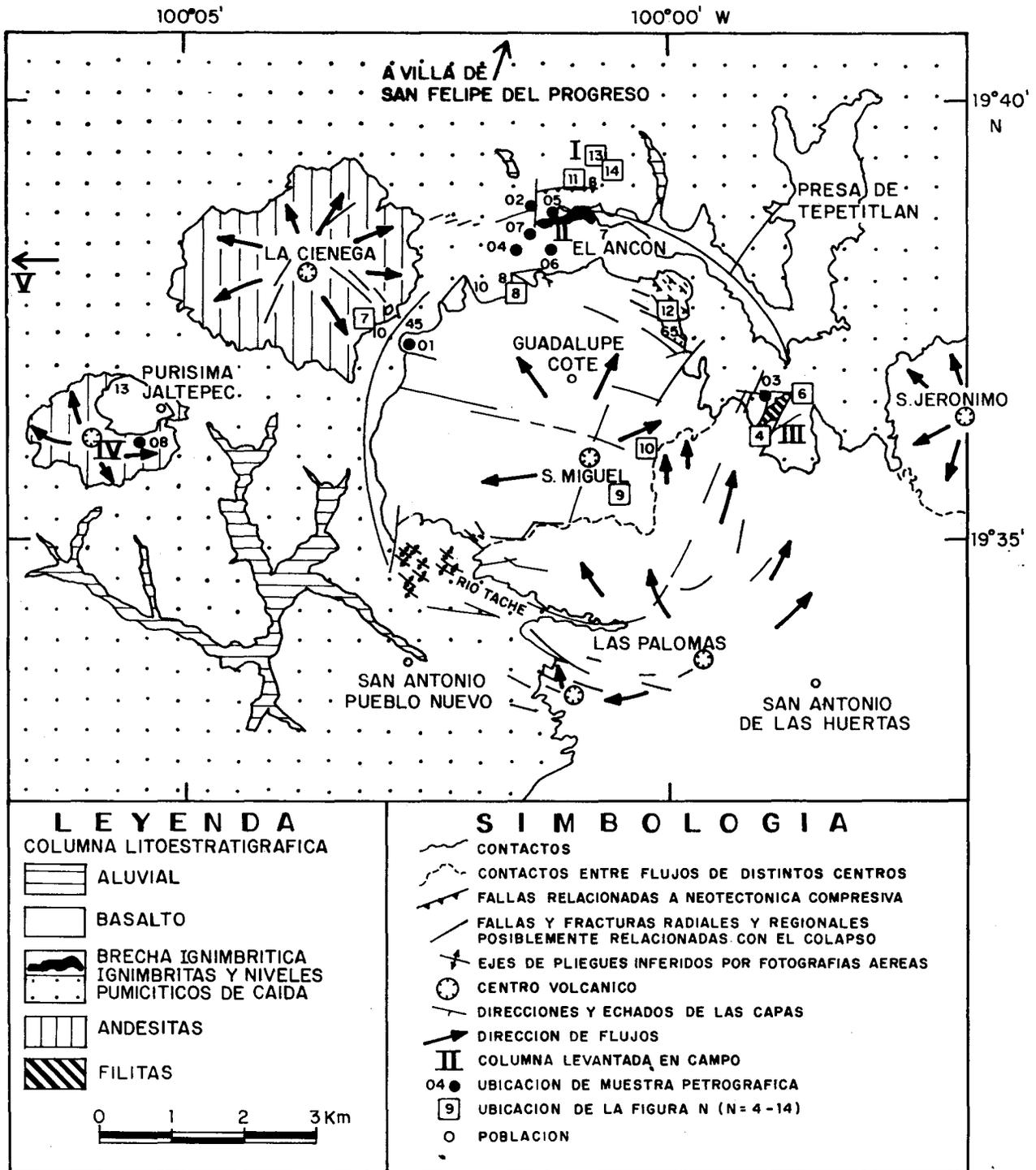


Fig. 3. Mapa geológico de los alrededores de la caldera Mazahua.  
 Se señalan las localizaciones de las muestras, eliminándose el prefijo MZ.

En el borde norte de la caldera, marcado por un escarpe de falla normal (escarpe El Ancón), queda expuesta una potente secuencia ignimbrítica de aproximadamente 60 m de espesor, cuyas porciones inferior y superior están constituidas por ignimbritas líticas no soldadas pero bastante endurecidas. La porción inferior está compuesta por capas

de hasta 4 m de espesor, constituidas por flujos de ceniza con escasos líticos, si se comparan con la porción superior, donde la matriz representa menos del 50% (y en algunos casos menos del 30%) de la roca. Megascópicamente, se alcanzó a observar fragmentos líticos de hasta 20 cm de diámetro (figura 8), constituidos por filitas, andesitas y rio-

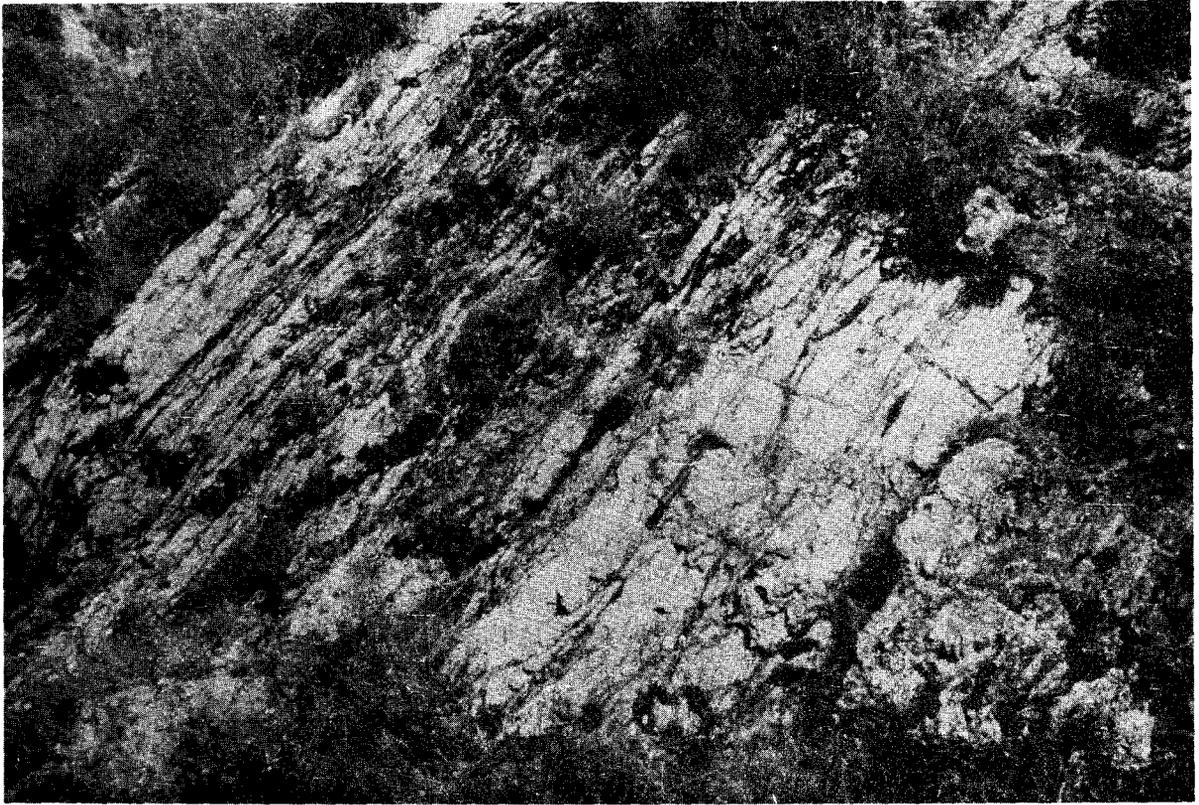


Fig. 4. Filitas situadas en el borde este de la caldera, única muestra del basamento que aflora en el área cartografiada.

litas, mientras que microscópicamente en la matriz predominan las trizas vítreas (shards) con escasos fragmentos cristalinos de plagioclasas.

Por encima de las unidades ignimbríticas se encuentran coladas basálticas (en general, una sola, de 2 a 5 m de espesor) que ocupan prácticamente toda la superficie de la caldera y que han sido emitidas desde dos conos de escorias: el de San Miguel (figura 9), situado prácticamente en el centro de la estructura, o el de Las Palomas, sobre una de las fracturas circulares que la delimitan. La unidad volcánica más reciente es un nivel de caída pumicítico que cubre los basaltos al menos en dos puntos, el más conspicuo de los cuales se halla en el norte de la estructura caldérica.

En el estudio de la tectónica de la zona se han distinguido tres tipos de fallas: regionales, radiales y circulares. La mayoría de las fracturas regionales que atraviesan el área tienen direcciones entre 100 y 110°, que corresponden a la directriz estructural general del CVM. Existen también fracturas más espaciadas perpendiculares a las anteriores y es interesante observar que el centro exacto de la estructura circular se encuentra en la intersección de dos fracturas. En cuanto a las fracturas radiales, son más visibles en el exterior de la caldera, especialmente en los edificios andesíticos, con alguna excepción (figura 10). Por último, las dos fracturas circulares más importantes son aprovechadas por la porción terminal de la presa de Tepetitlán (NE de la

caldera) y por el Río Tache (S de la caldera). En algún caso, estas fracturas han sido reactivadas en época reciente (figura 11). Dos zonas diametralmente opuestas de la caldera presentan una deformación compresiva intensa. En el noreste, fragmentos de la colada basáltica han sido cabalgados y levantados hasta posiciones cercanas a la vertical (figura 12). En el suroeste, los mantos de ignimbrita han sido plegados y los ejes de estos pliegues se sitúan en prolongación de las fracturas concéntricas.

## LA HIPOTESIS CALDERICA

Varios tipos de datos apoyan la existencia de una estructura subcircular de colapso en la zona.

### Criterios tectónicos

- La geometría subcircular de las fracturas que delimitan la estructura es muy evidente en las zonas norte, este y sur de ésta, mientras que en el borde oeste las fallas delimitantes parecen rectilíneas.

- El afloramiento, en un borde de la estructura, de un bloque del basamento metamórfico delimitado por fracturas circulares indica un levantamiento de la periferia de la estructura, según las mismas pautas que guiaron el colapso propuesto.

Tabla 1

## Descripción petrográfica de las muestras

MUESTRA	FENOCRISTALES				MESOSTASIS				TEXTURA	CLASIFICACION
	Pg	Px	Ol	Hb	Pg	Hb	Px	Vidrio		
MZ01		*	*		****		**		Intergranular traquítica	Basalto
MZ02		*		***	****		*		Traquítica porfídica	Dique andesítico
MZ04	*							****D	Piroclástica	Ignimbrita
MZ05	*							****D	Piroclástica	Ignimbrita
MZ06		**						****	Criptocrista- lina, granos de andesita	Pumicita
MZ07		**	**					***	Hialopilitica	Dique basáltico
MZ08					****	*			Pilotaxítica	Andesita

Ol = Olivino      Pg = Plagioclasas      Hb = Hornblenda      Px = Piroxeno.  
D = Desvitrificación.

Abundancia Modal: \* < 5%;    5% < \*\* < 25%;    25% < \*\*\* < 50%;    \*\*\*\* > 50%

Nota: La muestra MZ03 es una filita pelítica, con fenocristales de cuarzo y biotita, y mesostasis predominantemente moscovítica.

### Criterios volcanológicos

- Disposición de los mantos ignimbéricos. Aparte de la ya indicada inclinación radial centrífuga de algunas secuencias de ignimbritas, existen datos volcanológicos significativos, como son estructuras de deformación por flujo en el techo de algunos mantos (figura 13), y orientación predominantemente radial de moldes de troncos (figura 14) incluidos en algunos otros.

- Presencia de un manto de brechas ignimbéricas en el borde de la estructura. Dada su carga de fragmentos y el gran tamaño de éstos, este manto ignimbérico sólo puede representar la facies proximal de un episodio explosivo de gran violencia.

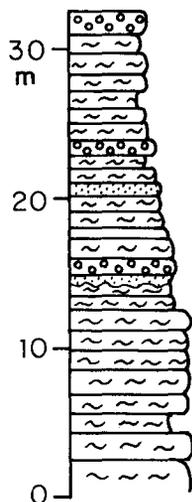
- Presencia de depósitos de alta energía (figura 7) en la periferia de la estructura, a unos cien metros de la fractura concéntrica. Todo indica que estas capas se depositaron

como "base surges" en una explosión próxima de carácter freatomagmático que se produjo en algún punto cercano al actual centro de la estructura.

### PROPUESTA DE HISTORIA EVOLUTIVA

La existencia de importantes volcanes andesíticos en la zona (Carmona-Pozos, 1991) permite plantear la hipótesis de que la actual caldera Mazahua comenzase su evolución como un edificio de este carácter geoquímico. Por el momento y en ausencia de datos geoquímicos de las rocas de la caldera, es arriesgado especular sobre la causa de que el edificio Mazahua progresase hasta un estado más avanzado de diferenciación. En cualquier caso, parece evidente que Mazahua se convirtió en un centro de emisión de repetidos flujos piroclásticos que llegaron a tener características freatomagmáticas (presencia de *base surges*). Hacia el final de esta fase precaldérica, la coexistencia en las ignimbritas de fragmentos pumicíticos de composición aparentemente

## I COLUMNA EN LA SOLEDAD (19° 39' – 100° 02')



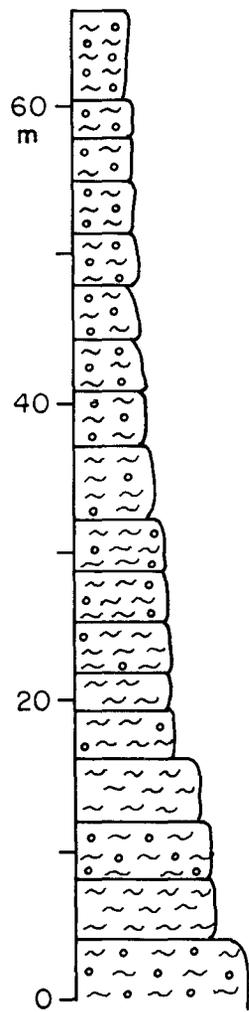
Ignimbrita marron oscuro con líticos andesíticos  
Flujos de ceniza blanca en capas  
de 0.40 a 0.60 m de espesor

Ignimbrita marrón oscuro con líticos andesíticos  
Flujos de ceniza blanca interdigitados con horizontes  
de ceniza y arena fina de caída libre

Ignimbrita color gris infrayacida por un horizonte  
de caída libre

Niveles formados por flujos de ceniza  
de color blanco amarillento;  
los paquetes varían de 0.5 a 2m de espesor

## II COLUMNA EN ESCARPE EL ANCON (19° 38' – 100° 01' 30")



Brecha ignimbrítica constituida por fragmentos  
de esquistos, riolita y basalto en matriz de ceniza

Ignimbrita con escasos líticos en matriz  
predominante de ceniza color crema

Paquetes de 2 a 5 m de espesor constituidos por  
ignimbritas líticas con fragmentos de andesitas,  
riolitas y esquistos en matriz de ceniza.  
Presentan tonos crema y marrón y se encuentran  
muy intemperizadas

Ignimbrita endurecida atravesada por diques  
con escasos líticos y pómez

Ignimbrita lítica con matriz de ceniza

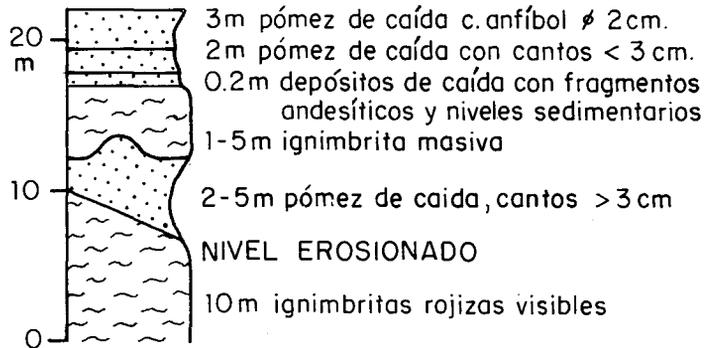
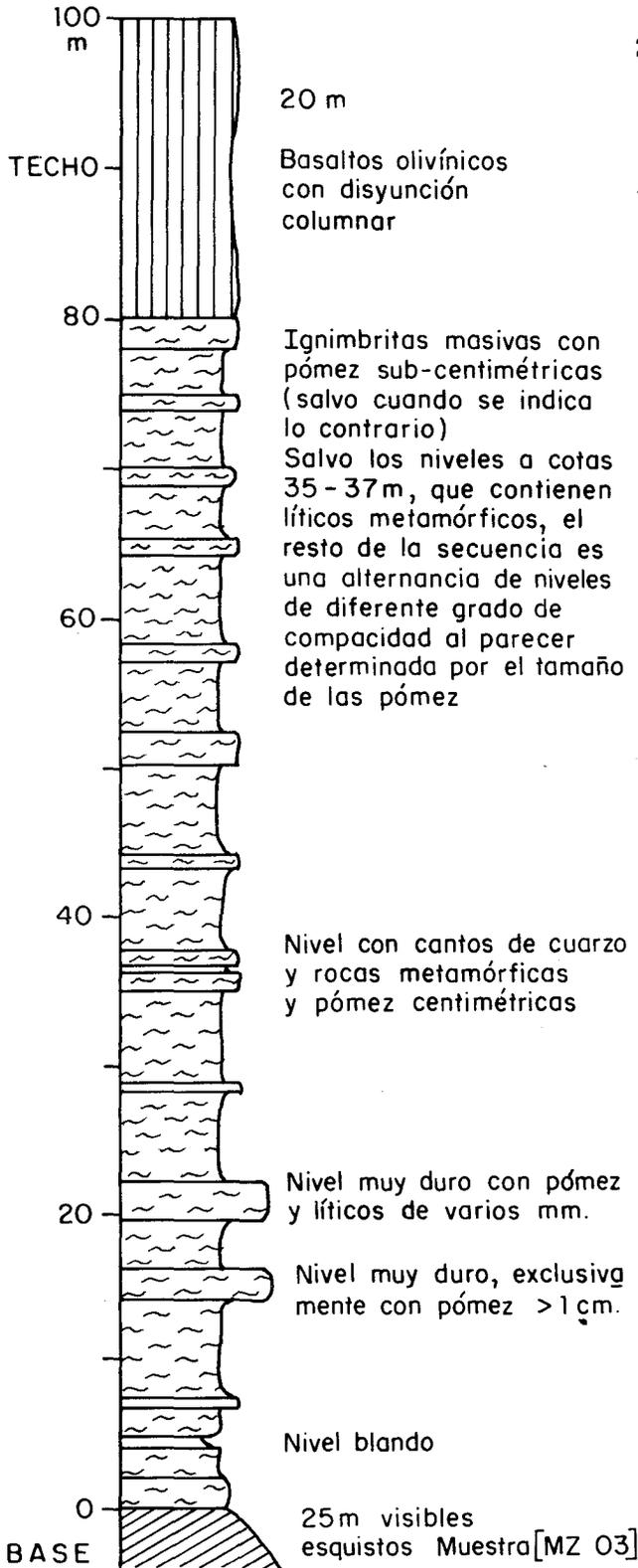
Ignimbrita endurecida color crema  
con escasos fragmentos líticos

Ignimbrita color crema con escasos fragmentos  
de pómez en matriz de ceniza alterada

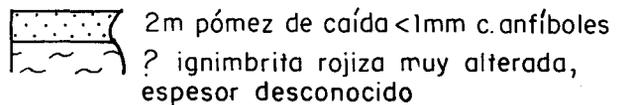
Fig. 5. Columnas litológicas de la secuencia ignimbrítica de la caldera Mazahua (para la localización de las columnas I-IV, ver Fig. 3); la columna V queda ubicada a  $\approx$  5 km al W, fuera del área del plano).

**III COLUMNA EN  
GUADALUPE COTE  
(19° 36' 30" - 99° 58' 40")**

**IV COLUMNA EN  
CERRO JALTEPEC  
(19° 36' - 100° 06')**



**V COLUMNA EN  
LA FABRICA CONCEPCION  
(19° 37' - 100° 10')**



(Continuación de la Fig. 5)



Fig. 6. Apilamiento de mantos ignimbríticos (MI) en el borde este de la caldera; la serie está apoyada en el basamento metamórfico (BM), y coronada por una colada basáltica (CB) procedente del Volcán de Las Palomas.



Fig. 7. Nivel con laminación oblicua. El depósito procede del centro teórico de la caldera (izquierda en la foto).



Fig. 8. Brecha ignimbrítica, con cantos de pumicita y líticos constituyendo hasta un 70% de la roca.



Fig. 9. Volcán de San Miguel, cono de escorias basáltico situado prácticamente en el centro de la caldera.



Fig. 10. Falla normal en ignimbritas intercaldéricas de la zona central.

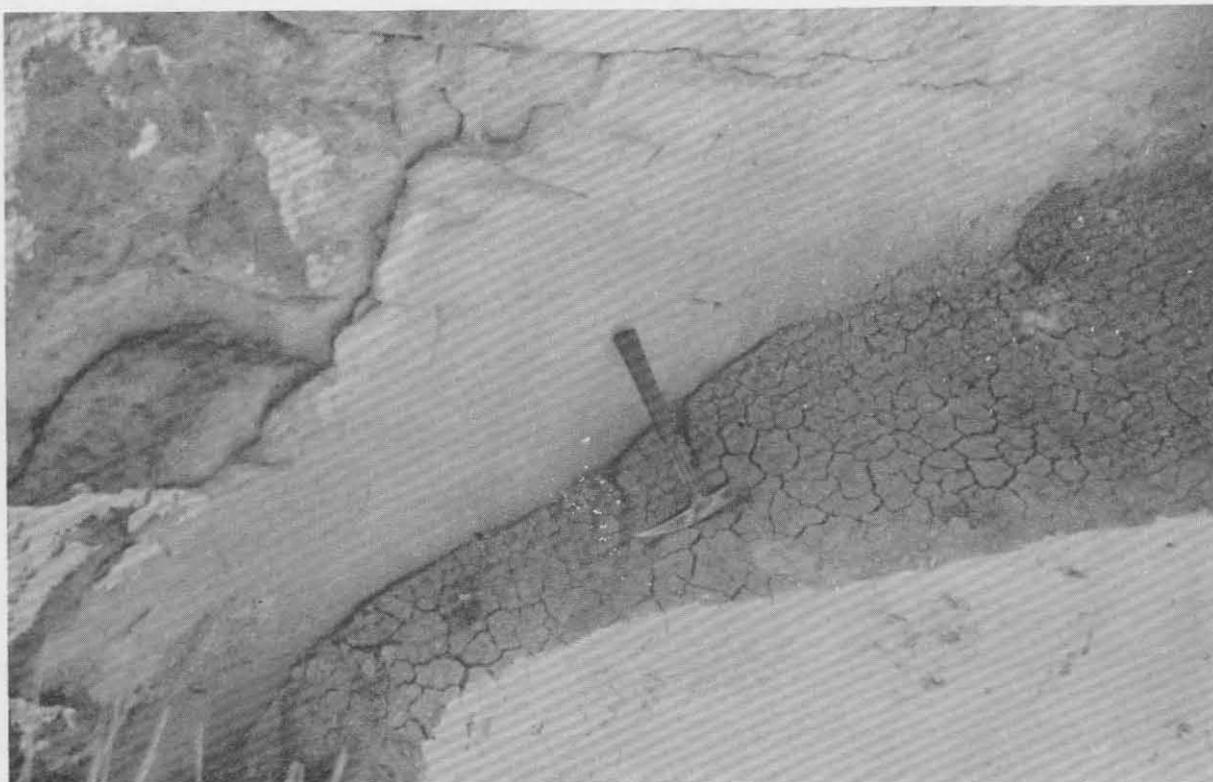


Fig. 11. Falla subvertical en ignimbritas extracaldéricas de la zona norte, a unos 500 metros del borde.



Fig. 12. Fragmento fuertemente tectonizado de una colada basáltica cerca del borde NE de la caldera.  
El buzamiento es de  $65^{\circ}$  hacia el centro de la caldera.

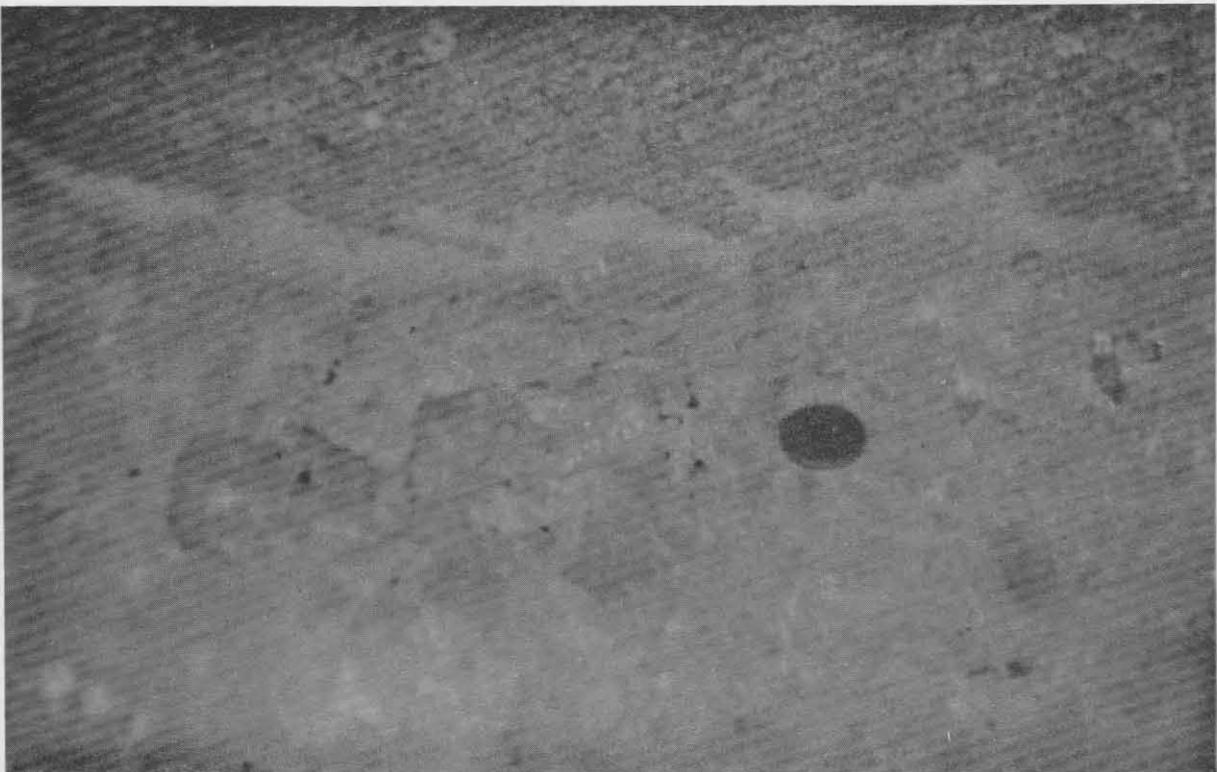


Fig. 13. Estructuras asimétricas de deformación por flujo en la parte superior de un manto ignimbrítico.  
El flujo que causó la deformación procedía de la derecha (centro de la estructura).

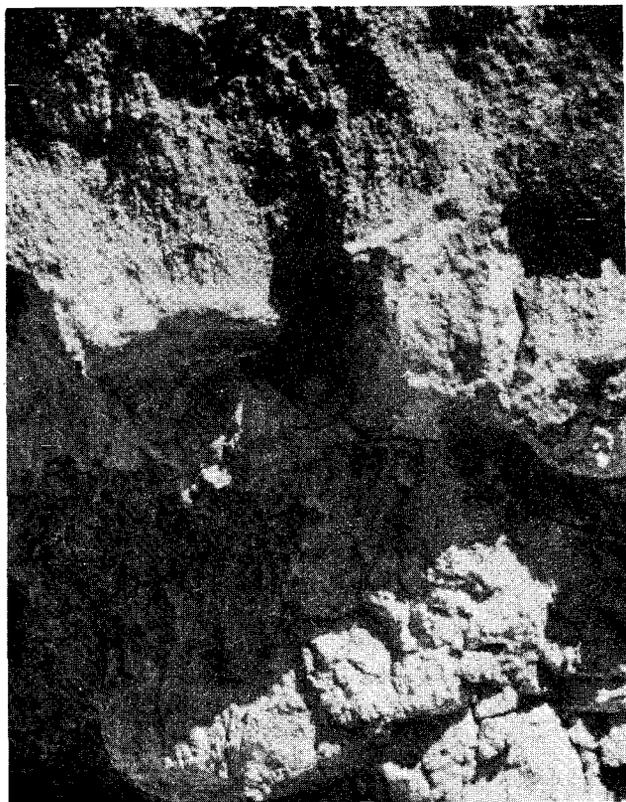


Fig. 14. Molde de tronco de un manto ignimbrítico situado a unos 500 m fuera del borde norte de la caldera.

diversa podría indicar una zonación en la cámara magmática. La etapa de colapso caldérico comienza con la emisión de ignimbritas que contienen pómez de tamaños crecientes y desemboca en una fase cataclísmica caracterizada por una intensa erosión de la chimenea (grandes líticos no juveniles) y la formación de una nube eruptiva que arrojó líticos y pómez decimétricos a varios kilómetros del edificio. Finalmente, se produjo un colapso circular sobre la cámara magmática rápidamente vaciada. Definimos pues la brecha ignimbrítica como el "Caldera-forming event" ("suceso generador de la caldera").

La actividad del edificio Mazahua prosiguió tras el colapso, como atestiguan los niveles de ignimbritas posteriores a la brecha ignimbrítica. Parece razonable suponer que la depresión caldérica albergase un lago temporal, lo que explica la formación de niveles volcanosedimentarios en esta fase. Es evidente que la actividad postcaldérica llegó a rellenar la depresión, dado que existen flujos piroclásticos que se continúan a través de la fractura circular. Las últimas ignimbritas atribuibles a Mazahua han sido localizadas a unos quince kilómetros al oeste del centro de la caldera. Los edificios basálticos que cubren las ignimbritas representan una fase de resurgencia que constituye una excepción en el CVM, donde las etapas resurgentes son sistemáticamente más diferenciadas (Verma *et al.*, 1991). Sin embargo, la actividad reciente en Los Humeros ha sido también basáltica, o sea menos diferenciada (Ferriz y Mahood, 1984).

En la caldera Mazahua no se observa una actividad resurgente cuantitativamente importante: sólo dos coladas como máximo. Esta actividad fue seguida por un último episodio explosivo definido por un nivel de caída pumicítica que cubre los basaltos en el norte y este de la caldera, y también a las ignimbritas postcaldéricas en las zonas distales. Diferentes criterios (el más evidente, la existencia en su base de suelos bien desarrollados) apuntan en el sentido de que este último episodio es ajeno a la evolución del edificio Mazahua; pero serán necesarios trabajos de campo más minuciosos para determinar con precisión su origen.

La edad de la caldera Mazahua sólo podrá conocerse con precisión mediante la datación radiométrica de la matriz de la brecha ignimbrítica. Sin embargo, varios datos de campo permiten sugerir que la caldera no es muy reciente:

- a) el quimismo del magma emitido en la actividad resurgente contrasta fuertemente con el de las ignimbritas. Ello indica un proceso de relleno de la cámara residual con nuevo magma primario, lo que requiere un cierto intervalo temporal entre ambos procesos.

- b) los frentes de las coladas basálticas han sufrido un importante retroceso erosivo, en algunos puntos se han desarrollado horizontes de suelo sobre aquéllas. Ambos hechos indican que las coladas no son muy recientes.

- c) las coladas basálticas están cubiertas a su vez por pumicitas. Los suelos que las separan indican un nuevo intervalo de interrupción entre ambas emisiones.

A partir de estos datos y de la distribución general de edades en el CVM, parece lógico suponer para la caldera Mazahua una edad terciaria tardía, que las proyectadas dataciones radiométricas permitirán confirmar y precisar.

## DISCUSION

Varios rasgos volcanológicos y estructurales de esta caldera se han mostrado poco concluyentes y a veces incluso contradictorios. Por ejemplo, los mantos ignimbríticos, en muchos casos subhorizontales, tienen en otras ocasiones pendientes dirigidas hacia el exterior de la estructura; pero a veces (caso de la brecha ignimbrítica) dirigidas hacia el interior de ésta. Como hemos mencionado, las huellas neotectónicas son múltiples y proporcionan una explicación suficiente para estas anomalías. Otras peculiaridades estructurales, como la intensa compresión que afecta al relleno caldérico en sus ángulos NE y SW deben resolverse también en el marco de la definición del campo de esfuerzos que ha afectado al edificio Mazahua en tiempos recientes. En todo caso, este problema no afecta en absoluto a la hipótesis caldérica.

Un aspecto más importante a resolver es por qué la brecha ignimbrítica está limitada a un pequeño sector en el norte de la estructura. Esa zona parece un bloque levantado tectónicamente, pero la resistencia de este nivel a la erosión

debería hacerlo aflorar en otros puntos. Aunque en el SE podría estar sepultado bajo los basaltos del Cerro de Las Palomas, falta claramente en el borde este, donde se ve toda la serie caldérica entre el basamento metamórfico y las coladas basálticas (figura 6). En principio, la distribución de un nivel "Caldera-forming" (generador de caldera) no debería estar limitada sectorialmente, aunque se conocen casos en que se presenta esta circunstancia (Aramaki, 1984). Estos y otros aspectos de detalle deberán esperar su solución hasta futuras campañas sobre el terreno.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La hipótesis de la existencia de una caldera de colapso en esta zona del CVM parece sólidamente sustentada en observaciones independientes entre sí y relativas a dominios tan diversos como la geología estructural de gran escala (imagen Landsat), escala media (fotointerpretación a escala 1:45 000) y pequeña escala (estructuras localizadas sobre el terreno); y la volcanología regional (localización de una secuencia de mantos ignimbríticos emitidos desde la caldera) y local (episodios y estructuras de alta energía en las inmediaciones de la caldera), culminando en la identificación de un nivel hiperexplosivo con todas las características de un "Caldera-forming event" (suceso generador de caldera). Este trabajo de reconocimiento debe ser seguido por otro que conduzca a un modelo más refinado, que deberá basarse en una nueva generación de datos:

- Cartográficos, que permitan una mejor correlación de los fragmentos dispersos de las secuencias intra y extracaldéricas.

- Gravimétricos, que permitan establecer un modelo del relleno del interior de la caldera y estimar los volúmenes emitidos.

- Geoquímicos, que permitan confirmar la ascendencia calcoalcalina del edificio Mazahua y modelar en detalle su evolución petrogenética.

- Geocronológicos, que permitan datar los principales episodios y encajarlos en la evolución general del CVM.

Es probable que en el curso de la obtención de esa segunda generación de datos se obtengan indicios (fundamentalmente estructurales) que permitan responder la pregunta acerca de por qué el edificio Mazahua, entre otros miles de aparatos volcánicos del CVM, tuvo una evolución terminal cataclísmica, y por qué esa evolución se produjo precisamente en el punto y época en que lo hizo. El futuro descubrimiento de otras calderas en el Cinturón Volcánico Mexicano depende de nuestra habilidad para contestar estas preguntas.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por CONACyT mediante el convenio P221CCON891521. La visita a México de los investigadores españoles Luis García

Cacho y Francisco Anguita fue posible gracias al convenio CONACyT-CSIC "Geoquímica, Vulcanología e Hidrología", México-España. Agradecemos al Dr. J. D. Centeno Carrillo, del Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid, la interpretación foto-geológica inicial del área del estudio, al Sr. Sergio Ortega, las impresiones de las fotografías, y al Sr. Adrián Patiño el dibujo de los mapas geológicos. Asimismo, agradecemos a dos árbitros anónimos y al Dr. Cinna Lomnitz sus comentarios constructivos sobre la versión anterior de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- ANGUITA, F., S. P. VERMA, M. MILAN, L. GARCIA CACHO y D. SAMANIEGO-M., 1991. La confirmación de una hipótesis de trabajo: Una nueva caldera en el centro del Cinturón Volcánico Mexicano. *Bol. IIE*, 15, 27-31.
- ARAMAKI, S., 1984. Formation of the Aira Caldera, Southern Kyushu, 22 000 years ago. *J. Geophys. Res.*, 89, 8485-8500.
- BATES, R. L. y J. A. JACKSON, 1980. Glossary of Geology, Second Edition, American Geological Institute, Falls Church, Virginia, 751 pp.
- CARMONA-POZOS, H. A., 1991. Elementos mayores y petrografía de las partes centro y oriente del Cinturón Volcánico Mexicano. Tesis Profesional Ing. Geól., E.S.I.A.-I.P.N., 161 pp.
- CARRASCO-NUÑEZ, G., M. MILAN y S. P. VERMA, 1988. Fases volcánicas de la Caldera de Amcalco. *Geomimet*, 153, 69-82.
- DEMANT, A., 1978. Características del eje neovolcánico transmexicano y sus problemas de interpretación. UNAM, *Inst. Geol. Revista*, 2, 172-187.
- DEMANT, A. y C. ROBIN, 1975. Las fases del vulcanismo en México: Una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. UNAM, *Inst. Geol. Revista*, 75, 813-860.
- FERRARI, L., V. H. GARDUÑO, G. PASQUARE y A. TIBALDI, 1991. Geology of Los Azufres Caldera, Mexico, and its relationship with regional tectonics: In: S. P. VERMA (Ed.) *Calderas: Genesis, Structure and Unrest*, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47, 129-148.
- FERRIZ, H. y G. A. MAHOOD, 1984. Eruption rates and compositional trends at Los Humeros volcanic center, Puebla, Mexico. *J. Geophys. Res.*, 89, 8511-8524.
- MAHOOD, G. A., 1980. Geologic evolution of a Pleistocene rhyolitic center - Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, 199-230.

- MILAN, M., G. GARRASCO-NUÑEZ y S. P. VERMA, 1988. Muestreo y resultados preliminares del estudio petrológico transversal al Cinturón Volcánico Mexicano. *Geomimet*, 151, 18-34.
- MOOSER, F., 1972. The Mexican Volcanic Belt: Structure and tectonics. *Geofís. Int.*, 12, 55-70.
- NEGENDANK, J. F. W., R. EMMERMANN, R. KRAWCZYK, F. MOOSER, H. TOBSCHALL y D. WERLE, 1985. Geological and geochemical investigations on the eastern Trans-Mexican Volcanic Belt. In: S. P. VERMA (Ed.) Special Volume on the Mexican Volcanic Belt - Part 2, *Geofís. Int.*, 24, 477-575.
- PEREZ-REYNOSO, J., 1978. Geología y petrografía de la caldera de Los Humeros. *Geomimet*, 3a. Epoca, 91, 97-106.
- PICHLER, H. y R. WEYL, 1976. Quaternary alkaline volcanic rocks in eastern Mexico and Central America. *Münster. Forsch. Geol. Paläont.* 38/39, 159-178.
- PRADAL, E. y C. ROBIN, 1985. Découverte d'une caldera majeure associée au champ géothermique de Los Azufres (Mexique). *C. R. Acad. Sci. Paris, S. II, 14*, 301-316.
- ROBIN, C., 1982a. Relations volcanologie-magmatologie-géodynamique: Application au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le sud Mexicain (Axe Trans-mexicain et Province Alcaline Orientale). *Annal. Sci. l'Univ. Clermont-Ferrand II*, 30, 503 pp.
- ROBIN, C., 1982b. Mexico. In: R. S. Thorpe (Ed.) *Andesites*, 137-147. John Wiley.
- SAMANIEGO-M., D., 1991. Aparatos volcánicos de la parte central del Cinturón Volcánico Mexicano. Tesis profesional Ing. Geól., E.S.T.A., I.P.N., 130 pp.
- THORPE, R. S., 1977. Tectonic significance of alkaline volcanism in Eastern Mexico. *Tectonophysics*, 40, 19-26.
- VERMA, S. P., 1987. Mexican Volcanic Belt: Present state of knowledge and unsolved problems. *Geofís. Int.*, 26, 309-340.
- VERMA, S. P. y M. LOPEZ-M., 1982. Geochemistry of Los Humeros Caldera, Puebla, Mexico. *Bull. Volcanol.*, 45, 63-79.
- VERMA, S. P., G. CARRASCO-NUÑEZ y M. MILAN, 1991. Geology and geochemistry of Amealco Caldera, Qro., Mexico. In: S. P. VERMA (Ed.) *Calderas: Genesis, Structure and Unrest*, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47, 105-127.
- 
- F. Anguita<sup>1</sup>, S. P. Verma<sup>2</sup>, L. García Cacho<sup>3</sup>, M. Milán<sup>4</sup> y D. Samaniego-M.<sup>2</sup>.
- <sup>1</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica, Fac. Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid (España).
- <sup>2</sup> Departamento de Geotermia, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Apdo. Postal 475, Cuernavaca, Mor. 62000 (México).
- <sup>3</sup> Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 28006, Madrid (España).
- <sup>4</sup> Div. Ciencias de la Tierra, Instituto Politécnico Nacional, México, D. F. (México).