

# Características petrográficas y geoquímicas de elementos mayores del Campo Volcánico de Los Tuxtlas, Veracruz, México

S.P. Verma<sup>1,2</sup>, A. Salazar-V.<sup>1</sup>, J.F.W. Negendank<sup>2</sup>, M. Milán<sup>3</sup>, I. Navarro-L.<sup>1</sup> y T. Besch<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México.*

<sup>2</sup>*Universität Trier, Alemania.*

<sup>3</sup>*Instituto Politécnico Nacional, D.F., México.*

<sup>4</sup>*Johannes-Gutenberg Universität, Mainz, Alemania.*

Recibido: 30 de octubre, 1991; aceptado: 12 de mayo, 1992.

## RESUMEN

El Campo Volcánico de Los Tuxtlas se localiza en la costa del Golfo de México, al oriente del Cinturón Volcánico Mexicano, como unidad volcánica independiente, a unos 300 km al SE del volcán Citlaltépetl. Está constituido por más de 276 estructuras volcánicas situadas dentro de un área subcircular de 50 km de diámetro. Este vulcanismo, cuya edad va del Oligoceno al Holoceno, es de tipo explosivo, fisural y de carácter alcalino. Las rocas varían de basanita tefrítica a basalto y excepcionalmente a andesita basáltica. Los análisis de elementos mayores y sus respectivas normas CIPW nos hacen inferir que, salvo a una muestra, se trata de magmas poco diferenciados, con valores de magnesio altos (~70). En comparación con las partes oriental y nor-occidental del Cinturón Volcánico Mexicano, los magmas del Campo Volcánico de Los Tuxtlas son en general más "primitivos".

**PALABRAS CLAVE:** Los Tuxtlas, petrografía, elementos mayores, magma alcalino, México.

## ABSTRACT

Los Tuxtlas Volcanic Field (LTVF) is located on the coast of the Gulf of Mexico, east of the Mexican Volcanic Belt. This field contains over 276 volcanic structures within a diameter of ~50 km. Rock types vary from tephritic basanite to basalt and occasionally basaltic andesite. The major element data and the corresponding CIPW norm show that the magmas are little differentiated, with high Mg-Values (~70). As compared to the eastern and north-western parts of the Mexican Volcanic Belt, the magmas of Los Tuxtlas are in general more primitive.

**KEY WORDS:** Los Tuxtlas, petrography, major elements, alkaline magma, Mexico.

## INTRODUCCION

El campo volcánico de los Tuxtlas (CVLT) se localiza en la costa del Golfo de México (Fig. 1), al oriente del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM); constituye un conjunto volcánico independiente que dista 200 km de los volcanes de Palma Sola y casi 300 km del Citlaltépetl (Pico de Orizaba), ambos al NW del CVLT. Algunos autores asocian el CVLT al CVM (e.g., Molnar y Sykes, 1969; Mooser, 1972; Pal y Urrutia, 1977; Demant, 1978; Pal *et al.*, 1978; Negendank *et al.*, 1981, 1985; Nixon, 1982). No obstante, el carácter alcalino de los magmas del CVLT hace que otros autores la ubiquen dentro de la Provincia Alcalina Oriental (e.g., Demant y Robin, 1975; Robin 1976a, b, 1982).

Existen pocos trabajos publicados sobre el CVLT. Las descripciones petrográficas y los análisis químicos de Friedlander y Sonder (1923) indican que las lavas del CVLT son predominantemente basálticas e incluyen picritas y andesitas. Más recientemente, Pichler y Weyl (1976)

aportan nuevas descripciones y análisis químicos de las rocas de esta región, sugiriendo la existencia de dos grupos volcánicos, uno basáltico alcalino subsaturado y otro mugearítico. Thorpe (1977) confirma estos datos, pero indica que predomina una sola asociación basáltico-alcalina en el CVLT. Recientemente, Nelson y González-Caver (1992) presentan datos geológicos y geoquímicos, así como algunas edades por K-Ar en el CVLT. En el presente trabajo se describen las principales características petrográficas y geoquímicas de los magmas en el CVLT.

## MARCO ESTRUCTURAL Y VULCANOLÓGICO

El CVLT (Fig. 2) está constituido por más de 276 estructuras volcánicas, entre las cuales se destaca por su altura el volcán San Martín con más de 1,600 m.s.n.m. con un diámetro aproximado de 12 km (Martínez-Peña, 1991; Salazar-Vázquez, 1991). Estas estructuras se sitúan dentro de una zona subcircular de ~50 km de diámetro (Rios Macbeth, 1952).

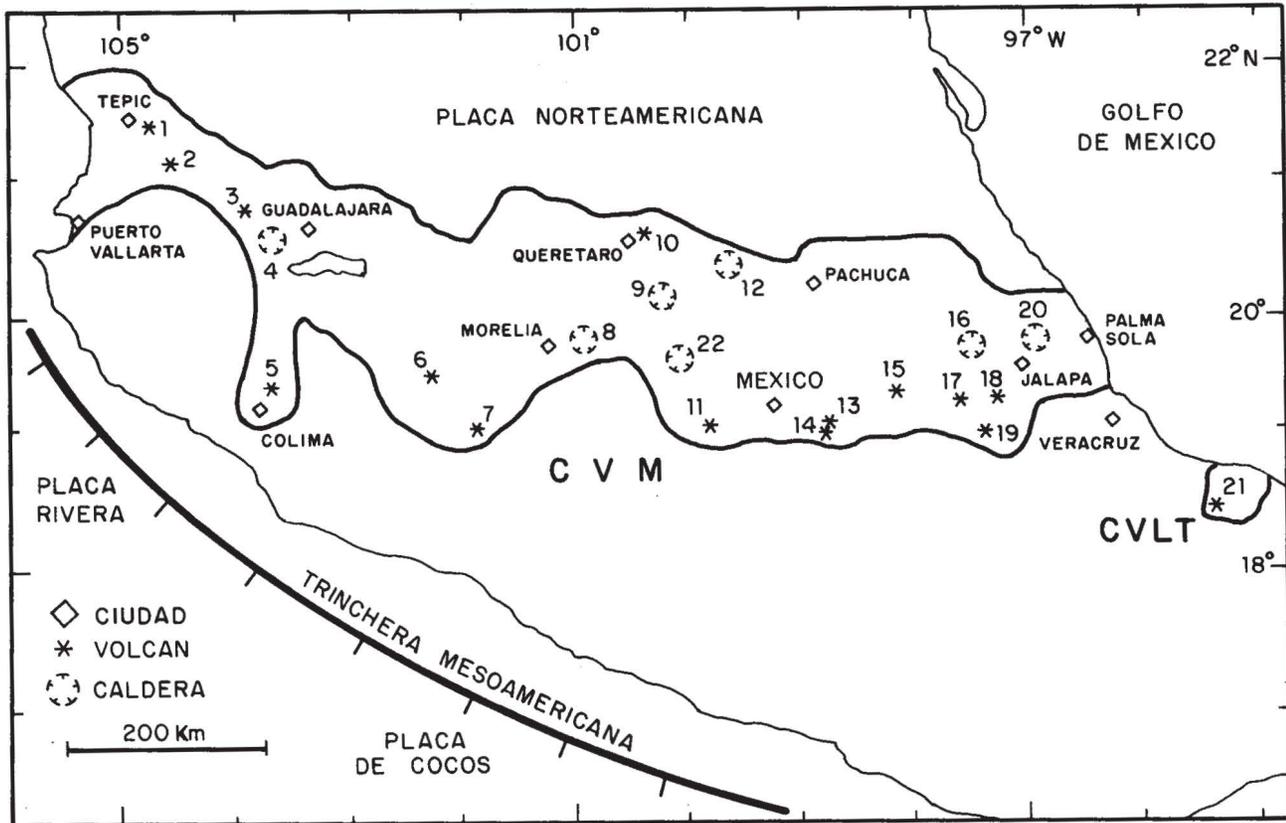


Fig. 1. Localización del Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT) en el marco del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) (modificado de Verma, 1987); las principales estructuras volcánicas son: 1=Sanganguey, 2=Ceboruco, 3=Tequila, 4=La Primavera, 5=Colima, 6=Paricutín, 7=Jorullo, 8=Los Azufres, 9=Amealco, 10=El Zamorano, 11=Nevado de Toluca, 12=Huichapan, 13=Iztaccshuatl, 14=Popocatepetl, 15=La Malinche, 16=Los Humeros, 17=Las Derrumbadas, 18=Cofre de Perote, 19=Citlaltépetl (Pico de Orizaba), 20=Chiconquiaco (Negendank *et al.*, 1985), 21=Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT, área de este estudio), y 22=Mazahua (caldera recientemente descubierta por Anguita *et al.*, 1991a, b).

El vulcanismo de Los Tuxtlas se remonta cuando menos hasta el Oligoceno. Su actividad se manifiesta por el alto contenido de cenizas y arenas volcánicas que se observaron en las formaciones La Laja del Oligoceno y Depósito del Mioceno Inferior, constituidas por arcillas tobáceas y areniscas (López-Ramos, 1983). Las erupciones que se presentan son de tipo efusivo-fisural, correspondiendo con magmas de composición alcalina que datan del Mioceno-Oligoceno hasta el Holoceno.

Para Friedlander y Sonder (1923) el CVLT estaría conformado por tres focos volcánicos principales, de los cuales el más conocido es el volcán San Martín que tuvo una erupción en 1773. En el flanco Sur de este volcán se emplazaron conos de lavas escoriáceas durante el Holoceno.

Para otros autores (Alvarez Jr., 1949; Rios Macbeth, 1952) las rocas volcánicas y sedimentarias que afloran en el CVLT descansan discordantemente sobre un lacolito de diorita. Sin embargo, no es posible establecer con exactitud

la naturaleza diorítica del basamento. En realidad, sólo se encuentran fragmentos de esta roca en forma de cantos rodados en acumulaciones aisladas de gravas. Por lo tanto, la existencia de tal cuerpo diorítico intrusivo parece ser sólo una suposición (Mayer, 1962).

El marco estructural de esta región está caracterizado por fallas distensivas N-S y NW-SE, que separan la planicie costera del altiplano (Moosman y Viniestra, 1976; Robin y Nicolas, 1978; Robin y Tournon, 1978). Estas fallas constituyen el límite entre una región de corteza continental normal y un dominio de corteza delgada (Hales, 1971; Antoine *et al.*, 1975).

Reconocimientos efectuados sobre el terreno hacen suponer la existencia de por lo menos tres fases volcánicas (Robin, 1982):

- I. Del Oligoceno Superior al Plioceno Inferior, constituye el substrato del CVLT.

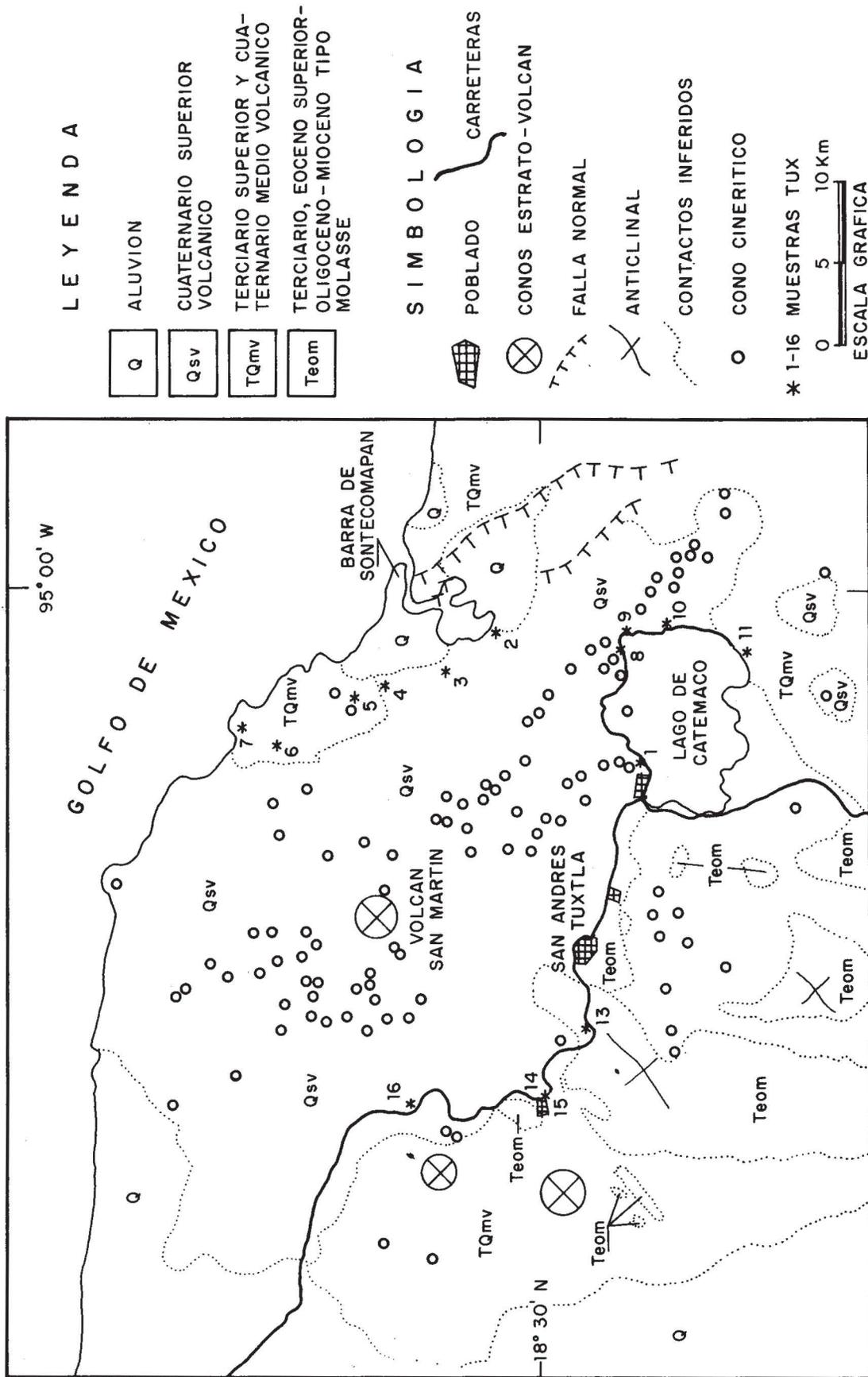


Fig. 2. Mapa geológico simplificado del Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT), Veracruz (modificado de Mooser, 1980) y con la localización de las muestras recolectadas para este estudio.

- II. Caracterizado por un desplome en bloques, representada por grandes sistemas volcánicos.
- III. El desplome de la segunda fase dio lugar a que el emplazamiento de los derrames lávicos procedentes de conos más recientes fue hacia el interior (derrames próximos a Sontecomapan o al lago de Catemaco) o bien hacia el exterior (derrames de Santiago Tuxtla) respectivamente.

## RESULTADOS

La localización de las muestras recolectadas en este estudio se presenta en la Fig. 2. Los elementos mayores fueron determinados (vía húmeda) en la Universidad de Trier en Alemania. Las normas CIPW fueron calculadas utilizando programas desarrollados en el IIE (Verma M. P. *et al.*, 1986; Verma *et al.*, 1991). Los resultados de la petrografía y la geoquímica de elementos mayores obtenidos en las muestras del CVLT se presentan en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

### Petrografía

En el presente estudio petrográfico de las rocas del CVLT, se observaron dos tendencias mineralógicas bien definidas:

En la primera, las rocas tienen una textura porfírica, con abundantes fenocristales de olivino euhedral (Fig. 3), acompañados de clinopiroxenos (augita) en una

mesostasis que contiene plagioclasa, clinopiroxeno, óxidos de Fe-Ti (titanomagnetitas; Fig. 4), y ocasionalmente vidrio. Es importante señalar que la muestra TUX04 contiene además nefelina en la mesostasis.

En la segunda también porfírica, se observan abundantes fenocristales de plagioclasa (labradorita-bitownita), con cantidades subordinadas de clinopiroxeno y olivino alterado a iddingsita, en una mesostasis de plagioclasa, clinopiroxeno, óxidos de Fe-Ti y ocasionalmente vidrio intersticial (Fig. 5).

### Geoquímica de elementos mayores

Las muestras analizadas (Tabla 2) son en su mayoría subsaturadas (Ne-normativa hasta 18%), con la excepción de TUX11. Por su parte, los valores de magnesio (Mg V) son altos (~70), nuevamente con la excepción de TUX11, lo que nos indica que se trata de magmas muy poco diferenciados.

De acuerdo con la Fig. 6a (Peccerillo y Taylor, 1976), no es posible clasificar las rocas del CVLT, ya que son fuertemente subsaturadas en sílice. Por otra parte, en el diagrama TAS (Fig. 6b; Le Bas *et al.*, 1986), estas rocas se clasifican como basanitas tefríticas, basaltos y una andesita basáltica (TUX11). Fig. 7 presenta los datos de elementos mayores de CVLT en un diagrama AFM. En esta figura es muy evidente el carácter altamente magnésico de los magmas del CVLT.

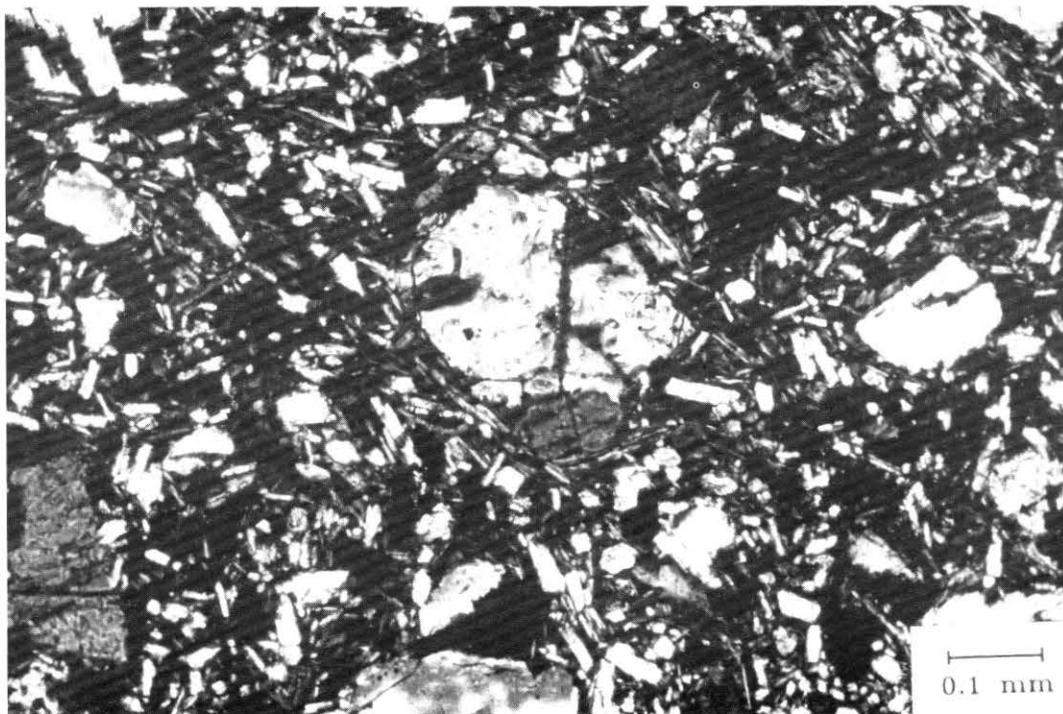


Fig. 3. Microfotografía de la muestra TUX01 mostrando textura porfírica con fenocristales de olivino (nicoles cruzados).

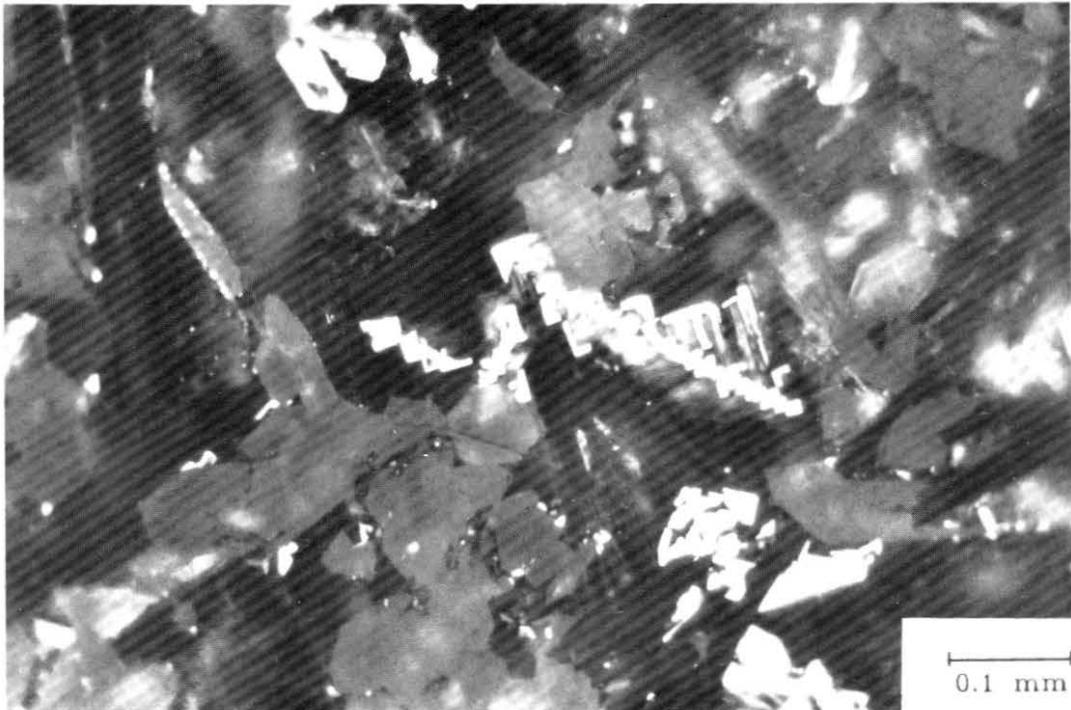


Fig. 4. Microfotografía de la muestra TUX09 mostrando una titanomagnetita esqueletal al centro.

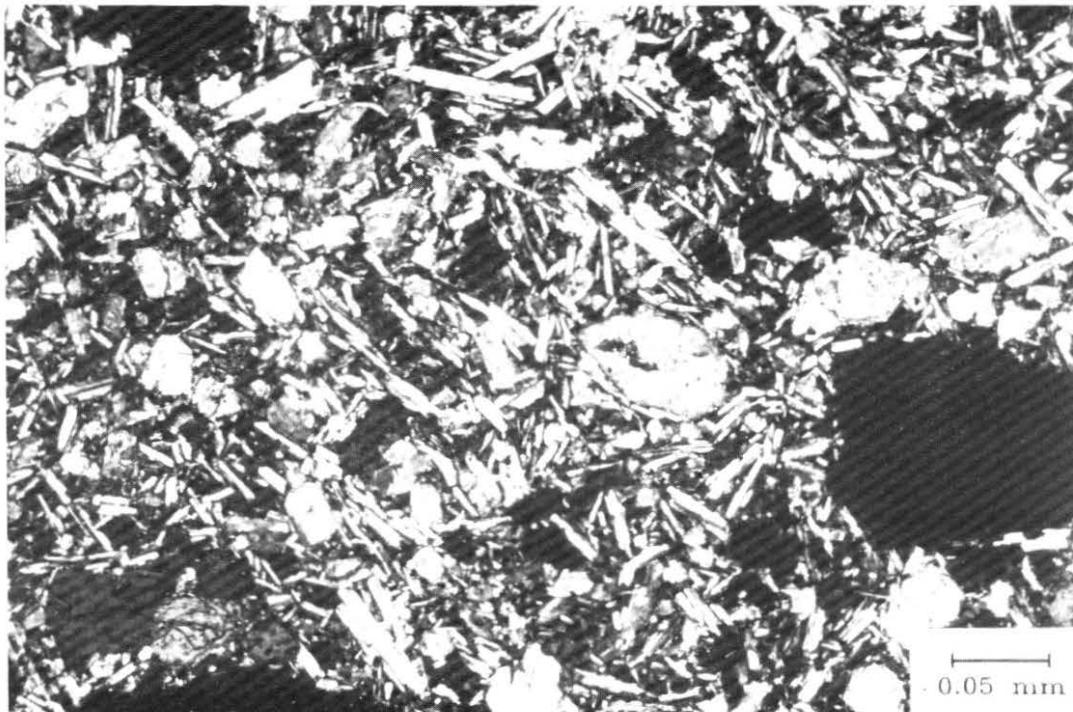


Fig. 5. Microfotografía de la muestra TUX08 mostrando textura porfirítica con fenocristales de olivino alterado a iddingsita en una mesostasis dominada por plagioclasas (nicoses cruzados).

Tabla 1

Datos petrográficos de muestras del Campo Volcánico de los Tuxtlas.

MUESTRA	TIPO DE ROCA	FENOCRISTALES			MESOSTASIS					LOCALIZACION	
		Pg	Px	Ol	Pg	Px	M.Opc.	Ol	Vid.	Latitud °N	Longitud °W
TUX01	TB		*	***	*	*	**	****	*	18°25'26"	95°05'51"
TUX03	B		**	**	**	**	*	**	*	18°31'52"	95°03'35"
TUX04	TB		*	***	*	**	*	****	*	18°34'47"	95°04'14"
TUX05	B		*	**	**	**	*	**	*	18°35'50"	95°04'20"
TUX07	TB		*	**	**	**	*	**	*	18°38'38"	95°05'36"
TUX09	B		*	***	*	**	**	***	*	18°25'52"	95°01'09"
TUX10	B		*	**	**	**	**	**	*	18°24'26"	95°00'47"
TUX14	TB		**	***	**	**	**	**	*	18°27'34"	95°17'46"
TUX15	TB		**	***	**	**	**	***	*	18°27'54"	95°17'35"
TUX16	B		**	***	**	**	*	**	*	18°32'07"	95°18'30"
TUX02	B	**	*	**	*	**	*	****	*	18°30'49"	95°02'00"
TUX06	TB	**	*	**	*	***	***	**	*	18°37'30"	95°05'29"
TUX08	B	**	*	**	**	**	***	**	*	18°26'11"	95°02'43"
TUX11	BA	***	*	*	**	**	**	**	*	18°22'05"	95°00'54"
TUX13	B	*	**	***	**	*	**	***	*	18°26'19"	95°15'49"

Las abreviaciones usadas son: Pg = Plagioclasas, Px = Piroxenos, Ol = Olivino, M.Opc. = Minerales opacos, Vid. = Vidrio.

"TIPO DE ROCA" es de acuerdo a la clasificación química de Le Bas et al. (1986); TB = traqui-basalto; B = basalto; BA = andesita basáltica.

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

Tabla 2

Elementos mayores y normas CIPW para las rocas del Campo Volcánico de los Tuxtlas (CVLT).

T U X															
(%)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	13	14	15	16
SiO <sub>2</sub>	44.60	45.82	46.33	41.52	45.59	43.43	42.46	46.80	46.57	46.02	53.54	45.92	43.94	43.21	46.19
TiO <sub>2</sub>	1.80	1.89	1.86	2.67	1.66	1.94	1.83	1.67	1.35	1.32	1.00	1.64	1.50	2.35	1.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.77	12.59	13.02	11.88	13.05	12.33	11.86	13.02	14.45	14.16	18.18	12.21	11.52	12.31	13.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.52	11.63	11.20	13.31	11.37	12.71	12.61	11.01	10.93	11.18	8.32	11.47	11.00	12.19	10.94
MnO	0.18	0.17	0.18	0.20	0.19	0.20	0.20	0.18	0.18	0.19	0.15	0.17	0.18	0.19	0.18
MgO	14.11	13.07	12.15	12.55	11.93	12.96	14.34	12.22	10.85	11.49	3.74	14.12	15.81	12.85	13.57
CaO	10.79	11.01	10.99	10.97	12.00	11.20	12.72	10.87	11.94	11.08	8.94	10.53	11.19	11.15	10.76
Na <sub>2</sub> O	2.73	2.65	2.72	3.76	2.28	2.68	2.78	2.68	2.46	2.63	3.74	2.58	2.03	3.30	2.76
K <sub>2</sub> O	0.80	0.94	0.92	1.64	1.05	0.77	0.69	0.89	0.61	0.84	1.24	0.82	0.73	1.33	0.78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.82	0.47	0.45	0.76	0.36	0.78	0.80	0.52	0.26	0.55	0.26	0.53	0.46	0.71	0.33
LOI	-	-	-	-	0.27	-	-	-	-	-	0.42	-	1.38	-	-
Suma	99.12	100.24	99.82	99.26	99.75	99.00	100.29	99.86	99.60	99.46	99.53	99.99	99.74	99.59	100.18
Mg-V	72.94	71.21	70.48	67.48	69.78	69.17	71.45	70.95	68.60	69.34	49.73	73.04	75.98	69.88	73.19
Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.46	-	-	-	-
OR	4.73	5.55	5.44	0.37	6.24	4.55	1.96	5.26	3.60	4.96	7.39	4.85	4.39	7.86	4.61
AB	11.05	11.68	14.19	-	9.11	8.02	-	16.19	14.68	14.46	31.93	13.44	6.94	2.05	12.45
AN	17.50	19.68	20.60	10.69	22.39	19.34	17.84	20.87	26.58	24.35	29.42	19.31	20.50	14.85	21.46
Lc	-	-	-	7.31	-	-	1.66	-	-	-	-	-	-	-	-
NE	6.53	5.82	4.78	17.24	5.57	7.94	12.74	3.52	3.33	4.22	-	4.54	5.70	14.02	5.91
DI Mg	18.35	18.72	18.05	22.07	20.12	17.77	23.44	17.29	17.35	15.26	5.86	17.58	20.25	20.93	17.70
DI Fe	6.33	6.97	6.95	9.29	8.24	7.41	8.85	6.64	7.73	6.62	5.43	6.14	6.13	7.98	6.26
HY Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.68	-	-	-	-
HY Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.11	-	-	-	-
OL Mg	18.67	16.73	15.34	14.73	14.39	16.85	17.41	15.71	13.30	15.10	-	18.93	21.47	15.63	17.93
OL Fe	8.15	7.88	7.46	7.84	7.45	8.88	8.31	7.62	7.49	8.28	-	8.36	8.21	7.53	8.02
MT	2.51	2.53	2.44	2.89	2.49	2.76	2.74	2.39	2.38	2.43	2.19	2.49	2.43	2.65	2.38
IL	3.42	3.59	3.53	5.07	3.17	3.68	3.48	3.17	2.56	2.51	1.92	3.11	2.90	4.46	2.70
AP	1.94	1.11	1.07	1.80	0.86	1.85	1.89	1.23	0.62	1.30	0.62	1.26	1.11	1.68	0.78
Salic	39.81	42.74	45.01	35.61	43.31	39.85	34.21	45.83	48.19	48.00	70.20	42.15	37.53	38.77	44.43
Femic	59.36	57.53	54.84	63.69	56.71	59.19	66.13	54.06	51.43	51.49	29.82	57.87	62.50	60.86	55.77
C.I.	75.74	76.79	74.88	73.03	80.19	74.51	85.81	73.88	77.30	72.36	46.74	76.16	85.65	75.62	77.58
D.I.	22.31	23.05	24.41	24.92	20.92	20.51	16.36	24.96	21.61	23.65	40.78	22.83	17.03	23.93	22.97
S.I.	48.39	46.20	45.02	40.15	44.80	44.51	47.14	45.60	43.66	43.96	21.95	48.71	53.47	43.31	48.38
A.R.	1.37	1.36	1.36	1.62	1.31	1.34	1.33	1.35	1.26	1.32	1.45	1.35	1.28	1.49	1.35

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Hierro total expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

Mg-V = Valor de Mg = 100Mg<sup>2+</sup> / Mg<sup>2+</sup> + 0.9Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup>, atómico.

La norma CIPW fue calculada sobre base seca y el análisis ajustado al 100%, usando el programa RIGD (Verma *et al.*, 1991).

Salic = Suma de los minerales normativos silíceos (Q + OR + AB + AN).

Femic = Suma de los minerales normativos félicos (DIMg + DIFe + HYMg + HYFe + FO + FA + MT + IL + HM).

C.I. = Índice de cristalización (AN + 2.1570577DIMg + FO + 0.7007616HYMg); (Poldervaart and Parker, 1964).

D.I. = Índice de diferenciación (Q + OR + AB + NE + Lc); (Thornton and Tuttle, 1960).

S.I. = Índice de solidificación (100MgO / (MgO + FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O)); (Hutchinson, 1974).

A.R. = Relación de alcalinidad (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO + álcalis total) / (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + CaO - álcalis total); sin embargo, cuando el SiO<sub>2</sub> > 50% y 1 < (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O), entonces 2(Na<sub>2</sub>O) es usado en lugar del álcalis total, (Wright, 1969).

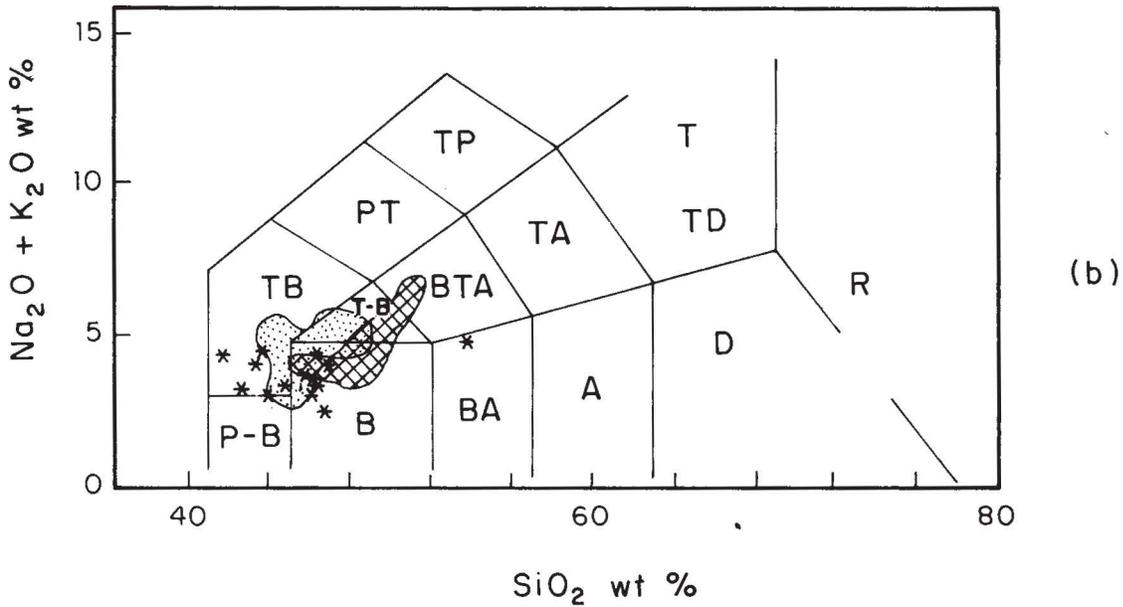
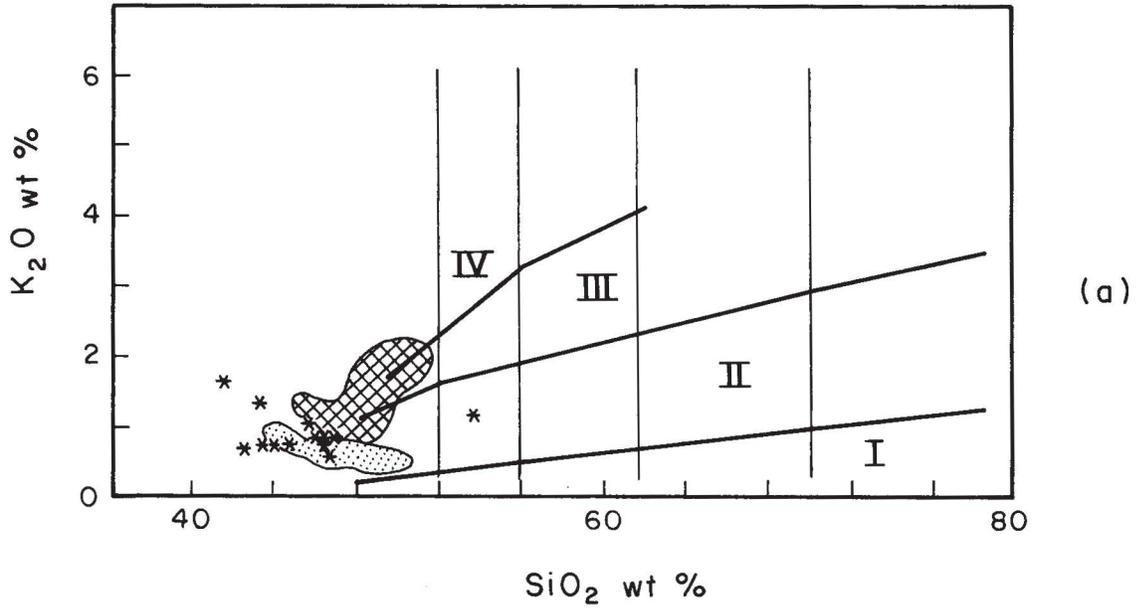


Fig. 6. Ubicación de las muestras de CVLT en el diagrama de (a) K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> (Peccerillo y Taylor, 1976); las secuencias I a IV son: I=serie toleítica; II=serie calco-alcalina; III=serie alto-K calco-alcalina; IV=serie shoshonítica, y (b) TAS (Total Alcalis-Sílica, según Le Bas *et al.*, 1986); aquí los campos son: P-B=picrobasalto; B=basalto; BA=andesita basáltica; A=andesita; D=dacita; R=riolita; TB=basanita tefrítica; T-B=traquibasalto; BTA=traquiandesita basáltica; TA=traquiandesita; TD=traquidacita; T=traquita; PT=fono-tefrita; TP=tefri-fonolita. Ver el texto para mayores detalles sobre los campos hachurados; el área en puntos corresponde a E-CVM (región de Palma Sola), y en cuadrícula a NW-CVM (región de Sanganguey).

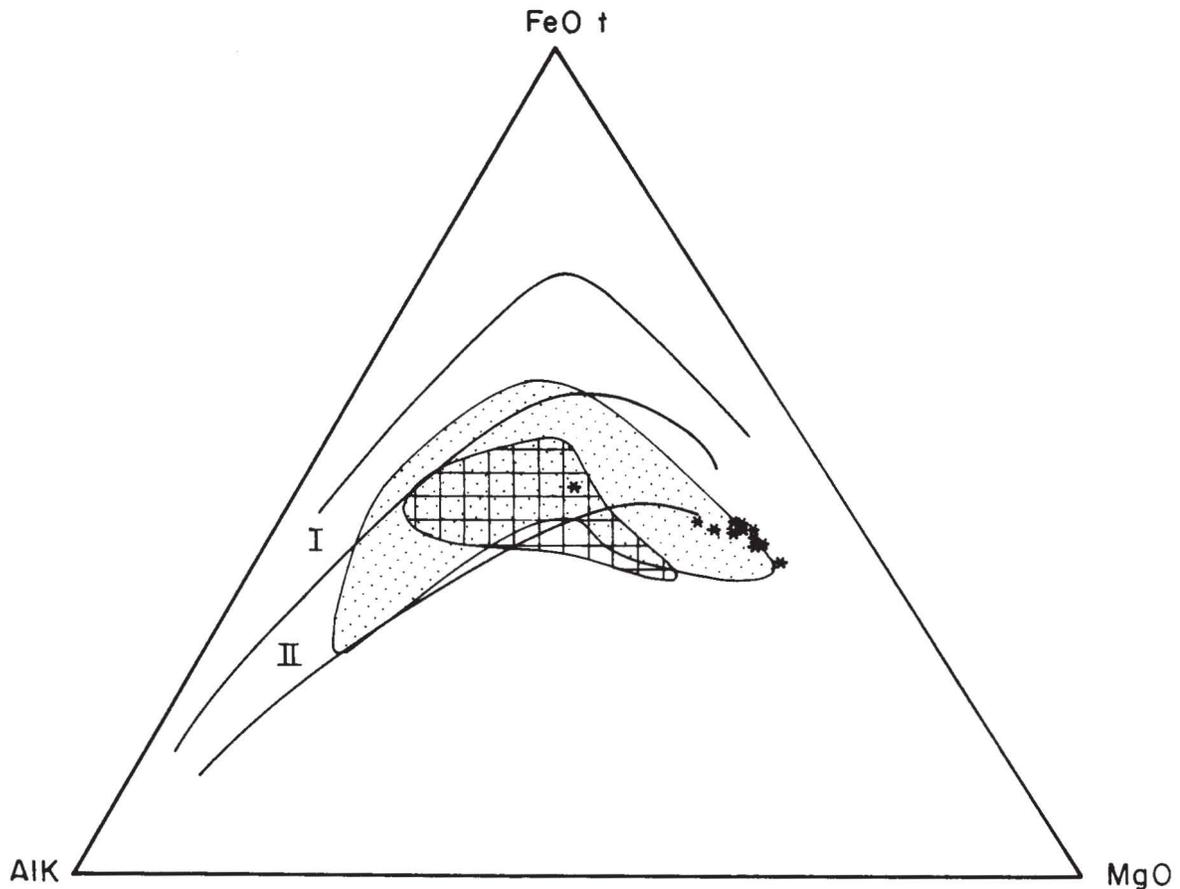


Fig. 7. Ubicación de las muestras de CVLT en el diagrama AFM y comparación con los datos del E-CVM (región de Palma Sola) y NW-CVM (región de Sanganguey). Ver el texto y el pie de Fig. 6 para mayor información. Las series I y II son: I=Serie pigeonítica, II=Serie de hiperstena.

Para fines de comparación, se incluyen, en las Fig. 6a, b y 7, dos regiones del CVM con el vulcanismo alcalino: Región de Palma Sola (E-CVM; área hachurada en puntos; Negendank *et al.*, 1985) y la del Volcán Sanganguey (NW-CVM; área hachurada en cuadrícula; Nelson y Carmichael, 1984; Verma y Nelson, 1989a, b). Se puede observar que los magmas en el CVLT son más subsaturados y menos diferenciados que los de las otras dos regiones (E-CVM y NW-CVM).

En las gráficas de las Fig. 8 ( $\text{SiO}_2$ , MgO, CaO y  $\text{Na}_2\text{O}$  contra el índice de diferenciación, D.I.), se utilizan nuevamente para fines de comparación los datos de las muestras alcalinas de las regiones de Palma Sola y Volcán Sanganguey. Es evidente el carácter poco diferenciado de los magmas del CVLT en comparación con otras regiones.

## DISCUSION

Aún tomando en cuenta que el número de muestras estudiadas no es exhaustivo, los datos geoquímicos y petrológicos obtenidos indican claramente que en el CVLT el grupo predominante es la asociación basanita tefrítica y

basalto. Además, cabe señalar que ninguno de los análisis graficados en las Figuras 3a y b, 4 y 5 proporcionan evidencias para involucrar un magma parental basáltico toleítico, como lo proponen Pichler y Weyl (1976). La serie del CVLT es por lo tanto distinta de la asociación calcoalcalina que domina a lo largo del CVM (Aguilar-Y-Vargas y Verma, 1987).

Las muestras del CVLT tienden a situarse en un rango más alcalino que las muestras de las regiones de Palma Sola y Volcán Sanganguey (Fig. 6a, b; 7). Así mismo, si se observan las variaciones en el índice de diferenciación (D.I.) para las tres regiones consideradas (Fig. 8), se puede concluir que los magmas del CVLT son menos diferenciados o más "primitivos" que de las otras dos regiones. De forma más evidente, el índice de solidificación (S.I.) de las rocas del CVLT exhibe valores altos y homogéneos (Tabla 2), lo que indica que provienen de magmas escasamente fraccionados. A su vez, el índice de cristalización (C.I.) muestra también bastante homogeneidad (Tabla 2), así como valores en general más altos que para las otras dos regiones, lo que indica un carácter más máfico (Salazar-Vázquez, 1991).

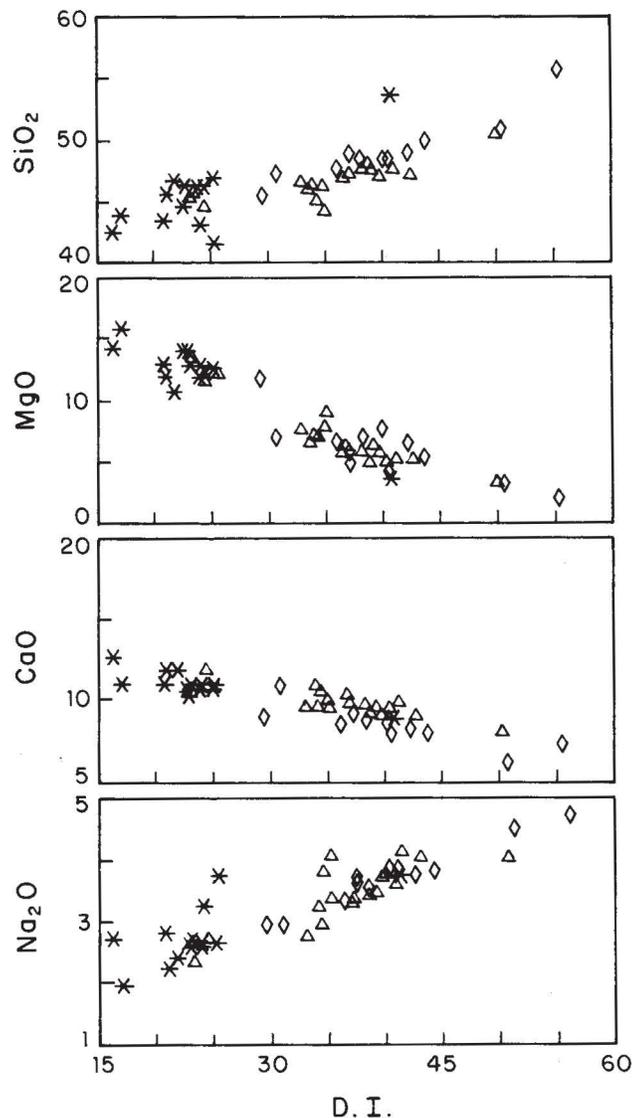


Fig. 8. Diagramas de algunos elementos mayores versus el Índice de Diferenciación (Differentiation Index, D.I.). Los símbolos son: asteriscos para CVLT, triángulos para E-CVM (región de Palma Sola), y diamantes para NW-CVM (región de Sanganguey).

Con respecto a los valores de Mg-V es evidente que en el CVLT se tienen valores homogéneos (Tabla 2) y más altos que los encontrados en las regiones de Palma Sola (Negendank *et al.*, 1985) y Volcán Sanganguey (Nelson y Carmichael, 1984; Verma y Nelson, 1989a, b).

### CONCLUSIONES

En el CVLT, los magmas pertenecen a la asociación basanita tefrítica y basalto. Estos magmas son en general menos diferenciados (con valores más bajos de D.I. y más altos de Mg-V) que los magmas alcalinos de las regiones de Palma Sola y Volcán Sanganguey.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado bajo el patrocinio del IIE, el CONACYT (convenio P221CCON891521) y la Fundación Alexander von Humboldt de Alemania. Los autores agradecen al Dr. Luis García Cacho (Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, España) así como a los árbitros de la revista por sus comentarios constructivos sobre una versión anterior de este trabajo.

### BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR-Y-VARGAS, V.H. y S.P. VERMA, 1987. Composición química (elementos mayores) de los magmas en el Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofis. Int.*, Volumen Especial sobre el Cinturón Volcánico Mexicano-Parte 3B (Ed. S. P. VERMA), 26, 195-272.
- ANGUITA, F., S.P. VERMA, M. MILAN, L. GARCIA CACHO y D. SAMANIEGO-M., 1991a. La confirmación de una hipótesis de trabajo: Una nueva caldera en el centro del Cinturón Volcánico Mexicano. *Bol. IIE*, 15, 27-31.
- ANGUITA, F., S.P. VERMA, L. GARCIA CACHO, M. MILAN y D. SAMANIEGO-M., 1991b. Mazahua: una nueva caldera en el Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofis. Int.*, 30, 135-148.
- ALVAREZ Jr., M., 1949. Unidades tectónicas de la República Mexicana. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 14, 1-22.
- ANTOINE, J.W., R.G. MARTIN, T.G. PYLET y W.R. BRYANT, 1975. Continental margins of the Gulf of Mexico. In *Continental Margins* (Eds. C.A. BURK y C.L. DRAKE), Springer-Verlag, p. 683-696.
- DEMAN, A., 1978. Características del eje neovolcánico transmexicano y sus problemas de interpretación. *Rev. Inst. Geol. UNAM*, 2, 172-187.
- DEMAN, A. y C. ROBIN, 1975. Las fases del vulcanismo en México: Una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. *Rev. Inst. Geol. UNAM*, 75, 813-860.
- FRIEDLANDER, I. y R.A. SONDER, 1923. Über das Vulkangebiet von San Martín Tuxtla in Mexiko. *Zeitsch. Vulkanol.*, 7, 162-187.
- HALES, A.L., 1971. Crustal and upper mantle structure in the region of the Gulf of Mexico. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 32, 63-70.
- HUCHISON, C.H., 1974. Laboratory handbook of petrographic techniques. John Wiley, New York, N.Y. 527 p.

- LE BAS, M.J., R.W. LE MAITRE, A. STRECKEISEN y B. ZANETTIN, 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27, 745-750.
- LOPEZ-RAMOS, E., 1983. Geología de México. Tomo III, tercera edición, México, D.F., 453 p.
- MARTINEZ-PEÑA, B., 1991. Estudio geológico y vulcanológico de la región de Los Tuxtlas, volcán San Martín. Tesis Profesional, E.S.I.A.-I.P.N., Ciencias de la Tierra, en preparación.
- MAYER, I. R., 1962. Estudio vulcanológico de la Región de Los Tuxtlas, Veracruz. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MOLNAR, P. y L.R. SYKES, 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from focal mechanism and seismicity. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80, 1639-1984.
- MOOSER, F., 1972. The Mexican Volcanic Belt: Structure and tectonics. *Geofis. Int.*, 12, 55-70.
- MOOSER, F., 1980. *Geology of Laguna Verde*. Final Security Analysis Report to the International Nuclear Regulatory Commission. C. F. E., México, D. F.
- MOOSMAN, R.W. y O.F. VINIEGRA, 1976. Complex fault structures in Veracruz Province. *Am. Asoc. Petrol. Geol. Bull.*, 60, 379-388.
- NEGENDANK, J.F.W., R. EMMERMANN, F. MOOSER, U. SEIFFERT-KRAUS y H.J. TOBSCHALL, 1981. Evolution of some Tertiary and Quaternary central volcanoes of the TMVB and possible different positions of the Benioff-Zone. *Zbl. Geol. Paläont.*, 1, 183-194.
- 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. *Geofis. Int.*, Special Volume on Mexican Volcanic Belt-Part 2 (Ed. S.P. VERMA), 24, 477-575.
- NELSON, S.A. y I.S.E. CARMICHAEL, 1984. Pleistocene to recent alkalic volcanism in the region of Sanganguey volcano, Nayarit, Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 85, 321-335.
- NELSON, S.A. y E. GONZALEZ-CAVER, 1992. Geology and K-Ar dating of the Tuxtla Volcanic Field, Veracruz, Mexico. *Bull. Volcanol.*, 55, 85-96.
- NIXON, G.T., 1982. The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 93, 514-523.
- PAL, S. y J. URRUTIA F., 1977. Paleomagnetism, geochronology and geochemistry of some igneous rocks from Mexico and their tectonic implications. *Proc. IV Gondwana Symp., Calcutta, Part II*, 814-831.
- PAL, S., M. LOPEZ-M., J. PEREZ-R. y D.J. TERRELL, 1978. Magma characterization in the Mexican Volcanic Belt (Mexico). *Bull. Volcanol.*, 41, 179-189.
- PECCERILLO, A. y S.R. TAYLOR, 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- PICHLER, H. y R. WEYL, 1976. Quaternary alkaline volcanic rocks in eastern Mexico and Central America. *Münster Forsch. Geol. Pal.*, 38-39, 159-178.
- POLDERVAART, A. and A.B. PARKER, 1964. The crystallization index as a parameter of igneous differentiation in binary variation diagrams. *Am. J. Sci.*, 262, 281-289.
- RIOS MACBETH, F., 1952. Estudio geológico de la región de Los Tuxtlas. *Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol.*, 4, 325-377.
- ROBIN, C., 1976a. Las séries volcánicas de la Sierra Madre Oriental (basaltos e ignimbritas). Descripción y caracteres químicos. *Rev. Inst. Geol. UNAM*, 2, 13-42.
- ROBIN, C., 1976b. Présence simultanée de magmatismes de significations tectoniques opposées dans l'Est du Mexique. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, XVIII, 1637-1645.
- ROBIN, C., 1982. Relations volcanologie-minéralogie-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 p.
- ROBIN, C. y E. NICOLAS, 1978. Particularités géochimiques des suites andésitiques de la zone orientale de l'axe trans-mexicain dans leur contexte tectonique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XX, 193-202.

- ROBIN, C. y J. TOURNON, 1978. Spatial relations of andesitic and alkaline provinces in Mexico and Central America. *Can. J. Earth Sci.*, 15, 1633-1641.
- SALAZAR-VAZQUEZ, A., 1991. Desarrollo de programas de cómputo y su aplicación para el manejo de elementos traza en la región de Los Tuxtlas, Veracruz. *Tesis Profesional*, E.S.I.A.-I.P.N., Ciencias de la Tierra, 61 p. + Apéndice.
- THORTON, C.P. y O.F. TUTTLE, 1960. Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation Index. *Am. J. Sci.*, 258, 664-684.
- THORPE, R.S., 1977. Tectonic significance of alkaline volcanism in eastern Mexico. *Tectonophysics*, 40, 19-26.
- VERMA, M.P., V.H. AGUILAR-Y-VARGAS y S.P. VERMA, 1986. A program-package for major element data handling and CIPW norm calculation. *Comput. Geosci.*, 12, 381-399.
- VERMA, S.P., 1987. Mexican Volcanic Belt: Present state of knowledge and unsolved problems. *Geofis. Int.*, Special Volume on Mexican Volcanic Belt-Part 3B (Ed. S.P. Verma), 26, 309-340.
- VERMA, S.P. y S.A. NELSON, 1989a. Isotopic and trace element constraints on the origin and evolution of alkaline and calc-alkaline magmas in the northwestern Mexican Volcanic Belt. *J. Geophys. Res.*, 94, 4531-4544.
- VERMA, S.P. y S.A. NELSON, 1989b. Correction to "Isotopic and trace element constraints on the origin and evolution of alkaline and calc-alkaline magmas in the northwestern Mexican Volcanic Belt". *J. Geophys. Res.*, 94, 7679-7681.
- VERMA, S.P., M. CABRERA-VAZQUEZ, A. CARMONA-POZOS, D. SAMANIEGO-M., I. NAVARRO-L., A. SALAZAR-V. y I. SÁNCHEZ, 1991. RIGD (Record Indexed Geoscientific Data): Reporte de Progreso. *Actas Fac. Ciencias Tierra UANL Linares* (Eds. S.P. Verma, J.A. Ramírez F., C.O. Rodríguez de B., J.M. Barbarín C., G. Izquierdo M., M.A. Armienta H. & D.J. Terrell), 6, 23-28.
- WRIGHT, J.B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.*, 106, 370-384.

---

S.P. Verma<sup>1,2</sup>, A. Salazar-V.<sup>1</sup>, J.F.W. Negendank<sup>2</sup>, M. Milán<sup>3</sup>, I. Navarro-L.<sup>1</sup> & T. Besch<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Depto. Geotermia, Div. Fuentes de Energía  
Instituto de Investigaciones Eléctricas

Apdo. Postal 475, Cuernavaca, Mor. 62000, México.

<sup>2</sup>GFZ Potsdam, D1561 Potsdam, Alemania (dirección actual).

<sup>3</sup>Div. Ciencias de la Tierra, Instituto Politécnico Nacional, Ticomán, D.F., México.

<sup>4</sup>Johannes-Gutenberg Universität, Institut für Geowissenschaften, D6500 Mainz, Alemania.