

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO
REVISTA DEL MUSEO DE LA PLATA
(NUEVA SERIE)

PETROLOGIA DEL VULCANISMO MIO-PLIOCENO
DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS

NORMA BROGIONI¹

RESUMEN

El vulcanismo de San Luis forma parte, conjuntamente con el de Pocho (Córdoba) del magmatismo Mio-Plioceno de las Sierras Pampeanas. Está representado por andesitas, laciandesitas, lacitas y traquitas modales, constituidas por plagioclasa, sanidina, anfíbol, clinopiroxeno y escasa biotita y cuarzo. Geoquímicamente, es un conjunto intermedio (la mayoría de las rocas tiene entre 61 y 66 % de SiO₂), caracterizado por bajos contenidos de TiO₂ y MgO, altos tenores de álcalis, y por no mostrar enriquecimiento en hierro. Químicamente, las rocas se clasifican como traquitas, lacitas, andesitas, dacitas, shoshonitas y escasas riolitas, que pertenecen a las series calcoalcalina normal, potásica y shoshonítica, con relaciones K₂O/Na₂O crecientes. Las relaciones texturales y caracteres geoquímicos son consistentes con un magma muy pobre en magnesio y rico en agua y potasio, cuya cristalización fue afectada por descensos repetidos de la presión. Las rocas calcoalcalinas normales, en una zona tan distante del arco magmático Mioceno, se vinculan con la horizontalización de la placa subductada. Las rocas calcoalcalinas potásicas y shoshoníticas corresponderían a un evento más joven y se habrían originado por bajo grado de fusión en niveles corticales profundos, siendo las vías de acceso fracturas reactivadas como consecuencia de la orogenia andina. En la Sierra del Morro, los caracteres geoquímicos y la paragénesis mineral podrían indicar la existencia de una cámara magmática estratificada (en la que los productos más diferenciados fueron emitidos inicialmente), o bien una evolución magmática a diferentes niveles corticales; las rocas más básicas representarían un magma más superficial, cuyo empobrecimiento en agua podría atribuirse al desarrollo de una facies piroclástica.

Vulcanismo - Mio-Plioceno - Petrología - Geoquímica - San Luis, Argentina.

¹ CONICET. División Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata.

ABSTRACT

PETROLOGY OF THE MIO-PLIOCENE VOLCANISM OF THE SAN LUIS PROVINCE. — During Mio-Pliocene epoch, an important volcanism developed in Sierras Pampeanas of San Luis and Córdoba. The outcrops at San Luis are represented by modal andesites, lati-andesites, latites and trachytes with plagioclase, sanidine, amphibole, clinopyroxene, and rarely biotite and quartz. The suite shows mesosilicic character (most rocks with 61-66 % of SiO_2), low TiO_2 and MgO , high alkali contents, and lack of iron-enrichment. Chemically, rocks are classified as trachytes, latites, andesites, dacites, shoshonites and rhyolites belonging to calc-alkaline, high-K calc-alkaline and shoshonite series, characterized by increasing $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. Textural relationships and geochemistry of rocks are in agreement with a Mg-poor, water and potassium-rich magma, which crystallization was affected by repeated pressure drops. Calc-alkaline outcrops, so far from the Miocene magmatic arc, are related to horizontal movement of the subducted slab. High-K calc-alkaline and shoshonitic rocks would be younger and might be originated by low-grade melting in deep crustal levels. Geochemistry and mineral paragenesis in the Sierra del Morro could indicate either a stratified magma chamber (in which most differentiated products were the first to be emitted) or an evolution of the magma at different crustal levels; the most basic rocks representing a shallower magma, which lower water contents could be attributed to the development of a pyroclastic event.

Volcanism - Mio-Pliocene - Petrology - Geochemistry - San Luis, Argentina.

INTRODUCCION

La petrología del vulcanismo Mio-Plioceno de la Provincia de San Luis es poco conocida, a pesar que el mismo mereció la atención de numerosos investigadores a partir de mediados del siglo pasado.

Las vulcanitas fueron identificadas petrográficamente como traquitas (De Moussy, 1860; Avé Lallemand, 1875, 1888; Brackebusch, 1875; Doering, 1882) y posteriormente como andesitas (Valentín, 1896) y traquiandesitas (Gerth, 1914), denominaciones empleadas luego por otros autores (Bodenbender, 1899, 1903; Pastore, 1915; Kittl, 1936; Böckmann, 1948; Pastore y González, 1954; Rossi, 1961; Sosic, 1964; Llambías y Brogioni, 1981). La utilización de nombres intermedios, tales como andesitas traquíticas, traquitoides y andesitas traquitoides, introdujo cierta confusión al no establecerse sus respectivos límites composicionales. Por otra parte, en la bibliografía citada se hace referencia también a variedades mineralógicas (augíticas, hornbléndicas, etc.) de los tres grupos petrográficos.

Desde el punto de vista petrológico, el vulcanismo fue considerado de carácter "Pacífico" (Kittl, 1936), y calcoalcalino débil con una ligera tendencia a la alcalinidad (Llambías y Brogioni, 1981).

En este trabajo se efectúa la descripción mineralógica y clasificación petrográfica de las rocas, estableciéndose el carácter geoquímico del vulcanismo con el objeto de contribuir a su conocimiento petrológico.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Los afloramientos volcánicos se distribuyen a lo largo de una faja que se extiende, con rumbo NO-SE, desde La Carolina hasta la Sierra del Morro (Fig. 1).

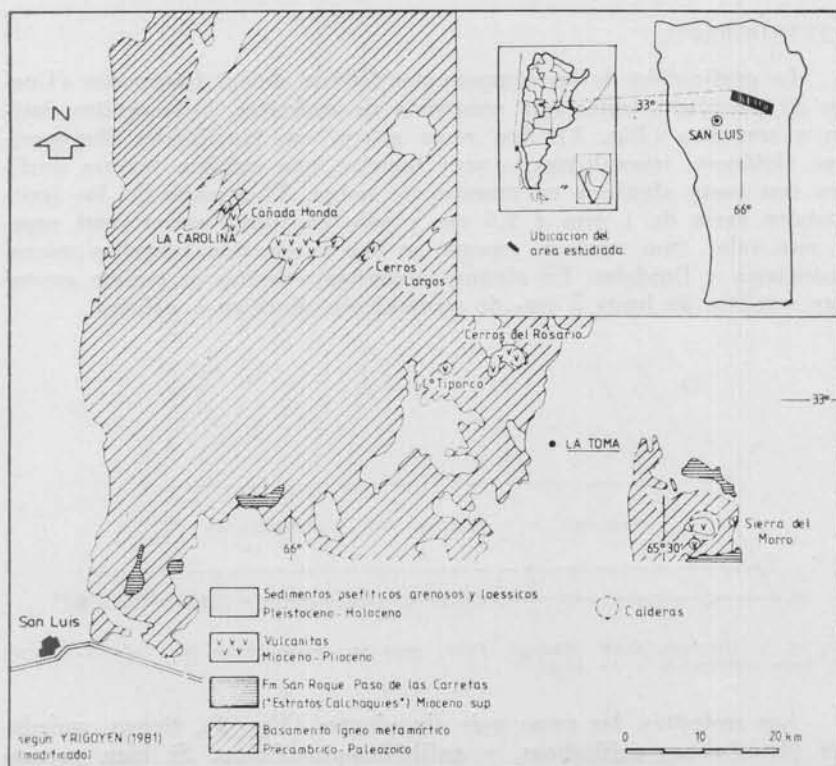


FIG. 1. — Mapa de ubicación y principales afloramientos volcánicos.

El magma se abrió paso a través del basamento igneo-metamórfico representado principalmente por esquistos biotíticos de rumbo meridiano y rocas migmatíticas, cuya edad se atribuye al Precámbrico-Paleozoico Superior (Yrigoyen, 1981). La reactivación, durante el Mioceno, de la conspicua fracturación que lo afecta y que se reúne en tres direcciones principales (NNE-SSO, E-O, y NO-SE), ha permitido el emplazamiento de domos (los cuerpos volcánicos más frecuentes) y también ha regido la formación de calderas de colapso en la Sierra del Morro y Cerros del Rosario (Williams, 1941; Brogioni, 1986). Depósitos piroclásticos de diverso origen, así como diques, filones y coladas de poca magnitud, completan el conjunto de manifestaciones volcánicas.

Si bien no se dispone de dataciones radimétricas, existe coincidencia en asignarlo al Mioceno Superior-Plioceno Inferior, tomando en consideración tanto relaciones estratigráficas (Llambías y Brogioni, 1981) como restos de mamíferos preservados en depósitos volcánicos póstumos, los cuales extenderían el lapso efusivo desde los 16 hasta los 7 Ma (Pascual y Bondesio, 1981).

I- PETROGRAFIA

La graficación de los componentes félsicos de las fenomodas (Cuadro I) permite establecer la existencia de andesitas, laciandesitas, lacitas y traquitas (Fig. 2). Son rocas grises, con tonalidades blanquecinas, violáceas, amarillentas, o muy oscuras, que exhiben textura porfírica con pasta afanítica en muestra de mano. El tamaño de los fenocristales varía de 1 mm a 2,5 cm y sólo en forma excepcional supera este valor. Son macizas, aunque se han reconocido traquitas microvesiculares y fluidales. En algunas andesitas y lacitas es posible encontrar xerolitos de hasta 5 cm, de composición diorítica o gábrica.

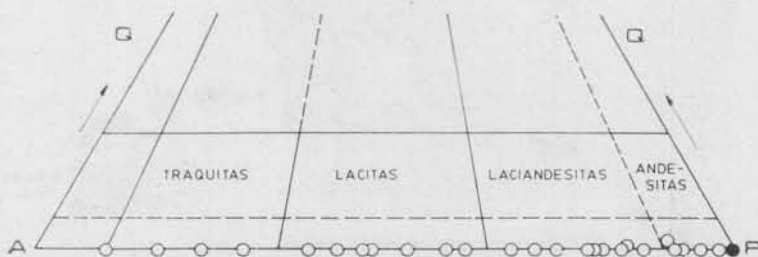


FIG. 2. — Diagrama QAP (Teruggi, 1980) para las vulcanitas de San Luis. El círculo lleno corresponde a 18 rocas.

Las andesitas, las rocas más abundantes (Fig. 3), tienen variedades piroxénicas, anfibólicas, y anfibólico-piroxénicas. Si bien presentan una amplia distribución en la faja de afloramientos, son particularmente frecuentes hacia el SE, en el C° Tiporco, Cerros del Rosario y Sierra del Morro (Fig. 7). Las rocas más ácidas (traquitas y lacitas) tienden, en cambio, a concentrarse en el sector occidental, en especial en La Carolina.

Los minerales son plagioclasa, sanidina, anfíbol, piroxeno, y más raramente, biotita y cuarzo. Un rasgo destacable es que el 60 % de las rocas presenta fenocristales de sanidina.

FENOCRISTALES

La *plagioclasa* se presenta en fenocristales y/o microfenocristales tabulares de 7 a 1,5 mm y 0,8 a 0,1 mm, respectivamente, subhedrales a anhedrales, corroídos en grado variable, maclados con ley de Ab,

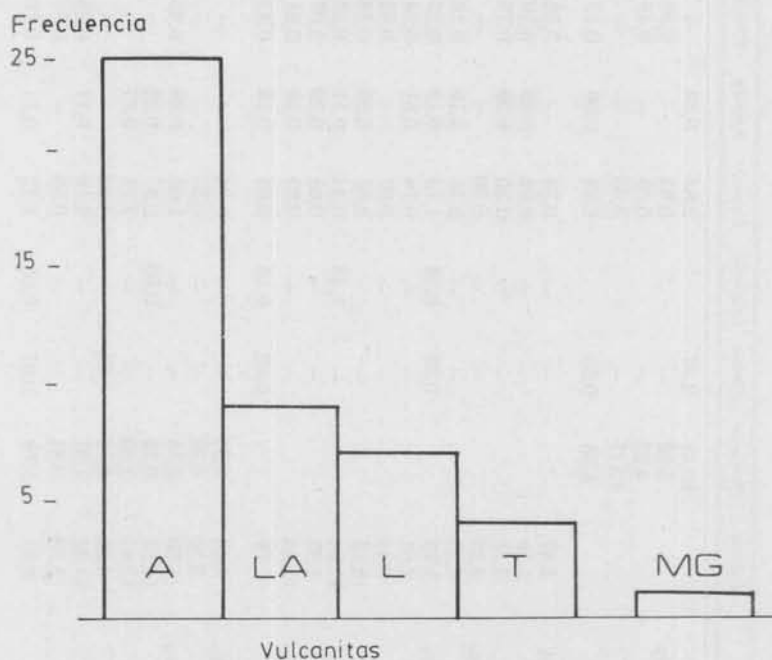


FIG. 3. — Histograma de frecuencia de andesitas (A), laciandesitas (LA), lacitas (L), traquitas (T), y microgabro (MG).

Ab-Carlsbad o Ab-Periclino, y notable zonación oscilatoria o normal. En general está fresca, o bien muestra alteración incipiente en calcita y/o sericita. En todos los grupos petrográficos se halla cribada, especialmente en el núcleo, estando los espacios rellenos por otra plagioclasa más ácida, vidrio con grado variable de desvitrificación, pasta, minerales secundarios, calcita y analcima (?). En traquitas, laciandesitas y andesitas piroxénicas presenta rebordes de sanidina. En algunos casos está muy flexurada y fracturada. El mineral incluido más frecuente es anfíbol, y raramente, piroxeno y biotita.

Su rango composicional oscila desde labradorita a oligoclasa (An_{60} a An_{15}) (Fig. 4). Las plagioclasas más cálcicas, medidas en fenocristales no zonados, se encuentran en andesitas piroxénicas, y las más ácidas en traquitas. Fuertes variaciones composicionales entre núcleo y borde han sido halladas en plagioclasas de andesitas anfibólico-piroxénicas (An_{28} a An_{70}), mientras que en las laciandesitas el rango es sensiblemente menor (An_{15} a An_{43}).

La *sanidina* se halla en fenocristales y/o microfenocristales; los primeros pueden alcanzar hasta 2,5 cm (aunque en traquitas llegan a 5 cm), mientras que los segundos son del orden de los 0,6 mm. Son euédrales a subédrales, con grado variable de corrosión, sin maclar o bien con maclas de ley de Carlsbad o más raramente Baveno, y con

Cuadro I — Composición modal de las vulcanitas cenozoicas de San Luis

Muestra	Piedra	Textura	Plagioclasa	Sauvita	Anfibol	Piroxeno	Biotita	Cuarzo	Opaos	Apofita	Tremula
Andesitas pirox.											
SL-45	53,49	46,51	30,65 An ₈₅	—	2,87	10,41	2,37	—	2,84	0,24	—
SL-52	65,90	34,09	26,60 n.d.	# 0,60 Or ₈₅	7,10	5,68	—	—	0,85	—	0,36
SL-53	77,30	22,69	17,91 An ₈₀	—	5,11	4,25	—	—	0,35	—	0,18
SL-54	44,64	55,36	38,84 An ₈₅	—	5,25	13,17	—	—	3,35	—	—
PROMEDIO	60,33	39,66	28,50	0,15	6,33	8,38	0,59	—	1,85	0,06	0,13
Andesitas anfibólicas											
SL-11	71,56	28,43	23,00 An ₈₅	1,92 n.d.	2,87	—	—	—	0,32	—	0,32
SL-15	57,41	42,58	34,26 An ₈₅	—	7,10	—	—	—	0,92	0,20	0,10
SL-16	68,72	31,27	24,81 An ₈₅	—	5,11	—	—	—	0,30	0,30	0,75
SL-17	76,01	23,98	16,82 An ₈₅	# 1,31 Or ₈₅	5,25	—	—	—	0,60	—	—
SL-27	80,19	19,80	12,99 An ₈₅	—	6,33	—	—	—	0,16	0,16	0,16
SL-48	69,17	30,82	21,53 An ₈₅	# 1,78 Or ₈₅	5,35	—	0,25	0,38	1,15	0,13	0,25
SL-59	72,88	27,11	17,91 An ₈₅	—	7,61	—	—	—	0,74	0,61	0,24
SL-60	68,83	31,15	20,45 An ₈₅	—	9,41	—	—	—	0,97	—	0,32
SL-65	59,40	40,59	23,13 An ₈₅	—	16,11	—	—	—	0,81	0,36	0,18
SL-66	62,69	37,30	24,06 An ₈₅	—	11,04	—	—	1,43	0,44	0,11	0,22
SL-67	63,08	36,92	30,48 An ₈₅	—	5,55	—	—	—	0,62	0,20	0,07
SL-68	65,04	34,96	22,58 An ₈₅	—	11,24	—	—	—	0,83	0,10	0,21
PROMEDIO	67,91	32,07	22,67 An ₈₅	0,41	7,75	—	0,02	0,15	0,65	0,18	0,23
Andesitas anfib. pirox.											
SL- 8	67,57	32,42	22,83 An ₈₅	# 1,87 Or ₈₅	6,45	0,59	—	—	0,34	—	—
SL-12	70,84	29,15	24,80 n.d.	—	3,30	0,39	—	—	0,53	—	—
SL-18	58,01	41,98	30,62 An ₈₅	# 1,53 Or ₈₅	5,60	2,54	—	—	1,02	0,25	0,42
SL-21	67,85	32,12	18,62 An ₈₅	—	11,53	0,22	—	0,66	0,87	0,22	—
SL-39	62,74	37,27	17,89 An ₈₅	—	13,01	3,39	—	—	2,71	0,27	—
SL-43	61,45	38,54	26,57 An ₈₅	—	4,28	5,16	0,61	—	1,92	—	—
SL-69	64,84	35,15	20,10 An ₈₅	—	11,52	1,01	—	—	2,10	0,17	0,25
SL-81	74,57	25,43	15,54 n.d.	—	8,58	0,81	—	—	0,30	—	0,20
PROMEDIO	65,98	34,00	22,12	0,42	8,03	1,76	0,07	0,08	1,22	0,11	0,16

Laciandesitas		Lacitas		Traquitas		MICROGABRO							
SL-7	58,78	41,21	28,02	An ₈₄₋₈₈	4,37	Or ₈₈	4,88	0,86	—	—	2,91	—	0,17
SL-10	60,11	39,88	24,76	An ₈₅ (⁺)	9,83	Or ₇₅	3,21	1,32	—	—	0,57	—	0,19
SL-13	66,49	33,50	24,09	An ₈₅	# 5,71	Or ₇₅	2,86	—	—	—	0,69	—	0,15
SL-14	61,41	38,58	20,82	n.d.	5,15	Or ₇₅	10,09	2,00	—	—	0,42	—	0,10
SL-37	65,34	34,65	21,84	An ₈₅	7,18	n.d.	—	2,04	1,36	—	0,42	—	0,48
SL-49	60,37	39,64	25,23	An ₈₅	# 4,86	Or ₇₅	—	—	—	—	1,65	—	0,28
SL-50	48,09	51,89	36,56	An ₈₇	6,20	Or ₇₅	1,41	6,20	0,28	—	2,06	0,28	0,28
SL-57*	67,07	32,95	15,56	An ₈₇ (⁺⁺)	7,11	Or ₇₅	6,40	3,12	—	—	1,25	0,25	0,75
SL-58*	83,61	16,38	9,90	An ₈₄	2,41	Or ₇₅	3,12	0,27	—	—	0,54	—	0,14
PROMEDIO	63,47	36,52	22,97		5,87	Or ₇₅	4,29	1,87	0,10	0,03	1,21	—	0,24
SL-1°	43,18	56,81	20,56	n.d.	31,18	Or ₇₅	4,31	—	—	—	0,51	—	0,25
SL-3	66,49	33,50	13,40	n.d.	14,59	Or ₇₅	4,99	4,79	—	—	0,52	—	—
SL-4*	45,68	54,33	21,13	n.d.	27,29	Or ₇₅	4,79	—	—	—	0,84	—	0,38
SL-30	59,71	40,28	21,99	An ₈₅	13,80	Or ₇₅	3,21	—	—	—	0,32	—	0,32
SL-51	62,84	37,16	21,27	An ₈₅	14,59	Or ₇₅	—	—	—	—	1,30	—	—
SL-55*	60,58	39,42	15,90	An ₈₅	17,40	Or ₇₅	1,94	2,65	—	—	1,12	—	0,41
SL-56*	70,85	29,15	13,32	An ₈₅	11,46	Or ₇₅	3,93	0,22	—	—	0,11	—	0,11
PROMEDIO	58,47	41,52	18,22		18,65	Or ₇₅	3,31	0,41	—	—	0,67	—	0,20
SL-5	54,71	45,28	5,45	An ₈₅	24,93	Or ₇₅	2,72	—	—	—	1,63	—	—
SL-20	72,63	27,37	6,57	An ₈₅	20,80	Or ₇₅	—	—	—	—	—	—	—
SL-28	55,55	44,29	11,29	An ₈₅	26,54	Or ₇₅	4,06	—	—	—	2,38	—	0,02
SL-29	68,52	31,46	2,66	An ₈₅	27,60	Or ₇₅	0,60	—	—	—	—	—	—
PROMEDIO	62,85	37,10	6,49	An ₈₅	24,96	Or ₇₅	1,84	—	—	—	1,00	—	0,005

* Núcleo y borde de cristal zonado; (+) Microfenoocristas; An₈₀; (++) Microfenoocristas; An₈₀; Mod. microscópica integrada con cálculo modal macroscópico debido al gran desarrollo de los cristales de sanidina; # Determinada sobre roca total debido al pequeño tamaño de los fenoocristas; en las rocas restantes, las determinaciones fueron hechas sobre fenoocristas exclusivamente. *Procedencia:* 45: ladera interna (SM); 52: Cº Peñado (SM); 53: Cº de los Condores (SM); 54: Cº de los Bancos (SM); 11: Cº Solista (CH); 15: Centro Cerros del Rosario; 16: sur Puesto Garcia (CH); 17: Cº del Cobre (CH); 27: Cº del Portezuelo (CR); 48: SO Cº de la Laguna (SM); 59: SO Cancha de pugnata (CH); 60: Cº de la Huera (CR); 65: margen derecha río de la Cartimbre (LC); 66: NE río de la Cartimbre (CH); 67: Cerrito de Piedra (LC); 68: Cerrito Peloso (LC); 8: NO Cº Intinasi (CH); 12: NE Casa de Piedra Pinada (CH); 18: Cº del Cobre (CH); 21 y 39: Cerros Larros; 43: Cº de la Laguna (SM); 69: SE Cerrito Peloso (LC); 81: Cº Tiporro; 7: Cº de Piedra (CH); 10 y 37: Cº Intinasi (CH); 13: Cº Redondo (CH); 14: Cº del Valle (CH); 49: S Cº Alagoa (SM); 50: Cº Peloso (SM); 57: Dique (SM); 58: Cº del Huelco (SM); 1: Cº Tomolastin (LC); 3: Cº Melillos (LC); 4: Cº La Virgen (LC); 30: Cº Pomongo (LC); 31: Pta. Cº de las Cuevas (SM); 55: Cº Moaña (SM); 56: Cº Tala (SM); 5: Cº Quemado (LC); 20: Cº Pelado; 28: Dique SE Cº Pomongo (LC); 29: Cº Pomongo (LC); SM = Sierra del Morro; CR = Cerros del Rosario; LC = La Carolina; CH = Cancha Honda.

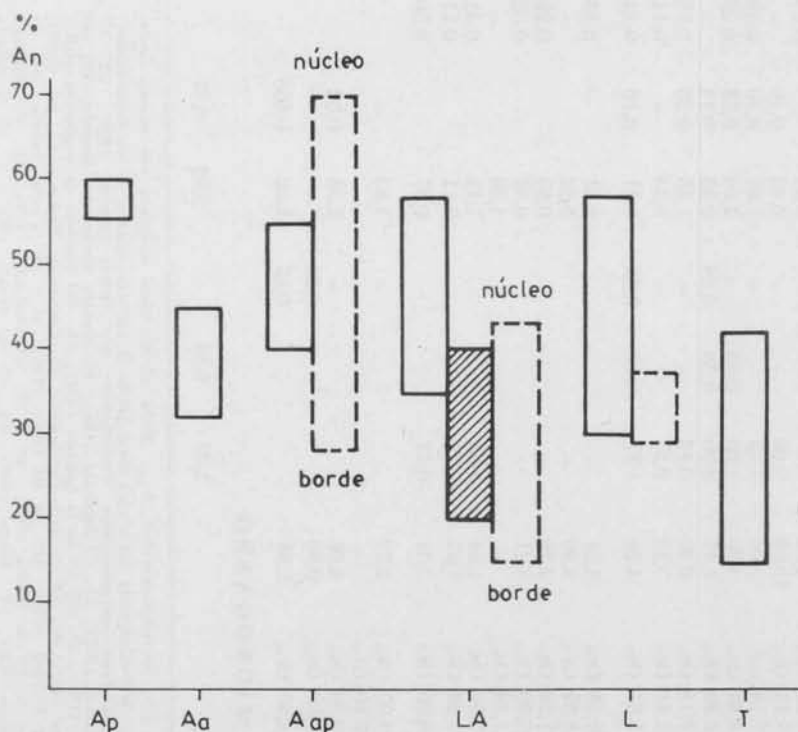


FIG. 4. — Contenidos máximos y mínimos de An de las plagioclasas de andesitas piroxénicas (Ap), anfibólicas (Aa), anfibólico-piroxénicas (Aap), laciandesitas (LA), lacitas (L) y traquitas (T). También se señala dicho contenido para microfocristales (en rayado) y cristales (líneas cortadas). Determinaciones efectuadas con platina universal.

ligera zonación. En algunos casos se desarrolla a partir de pequeños núcleos de plagioclasa. Los minerales incluidos son plagioclasa y anfíbol, y en pocos casos, piroxeno.

Su composición oscila entre Or_{50} y Or_{90} (Fig. 5), observándose una ligera tendencia al mayor contenido de potasio hacia las rocas más ácidas.

El *anfíbol* constituye el mafito más frecuente. Se desarrolla en fenocristales y/o microfocristales prismáticos euédricos a subédricos de hasta 4,1 y 0,4 mm, respectivamente. A veces se presenta macleado y zonado, con grado de corrosión variable. Los cristales pueden estar frescos o bien alterados en grado moderado a fuerte en clorita y calcita, con segregación marginal de opacos, o ligeramente epidotizados. En algunas lacitas se halla transformado en clorita esferulítica, y en las traquitas se conservan sólo sus huecos.

En todos los casos es hornblenda, de la cual se han identificado hornblenda común, ferropargasítica (Leake, 1978) y basáltica. En algunas laciandesitas y lacitas se encuentra una hornblenda con carac-

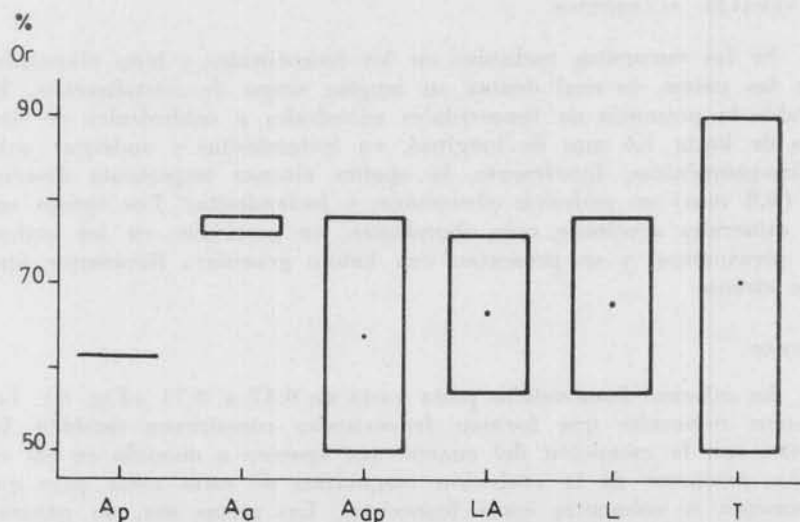


FIG. 5. — Contenidos máximos y mínimos de Or de las sanidinas. Los puntos señalan el contenido medio para cada grupo. Referencias iguales a figura 4. Las determinaciones se efectuaron según Tuttle y Bowen (1958).

terísticas intermedias entre la variedad común y la basáltica, con $\gamma:c = 8$ a 14° y pleocroísmo pardo amarillento a pardo oscuro casi negro, fuerte absorción y fina concentración marginal de opacos, que se ha denominado "basaltoide".

El *piroxeno* se halla generalmente subordinado con respecto al anfíbol, a excepción de las andesitas piroxénicas donde constituye el único mafito. Se encuentra formando fenocristales y/o microfenocristales prismáticos subhedrales a euhedrales, de hasta 2,2 y 0,15 mm, respectivamente. También es posible hallarlo con hábito granular o formando glomérulos. Es de color verde amarillento oscuro, y en las variedades más coloreadas es ligeramente pleocroico. Suele presentar zonación oscilatoria y estructura en reloj de arena. Puede encontrarse fresco o ligeramente epidotizado, con bordes ferritizados o reemplazado por calcita hasta constituir verdaderas pseudomorfois.

En la mayoría de los casos se trata de augita, y en menor proporción se encuentra egrina-augita.

La *biotita* es muy escasa. Falta en las lacitas y traquitas y en los grupos restantes se presenta en laminillas de hasta 0,28 mm, desferrizadas, fuertemente corroídas y con segregación de opacos, tanto en los bordes de los granos como siguiendo el clivaje. En las laciandesitas se encuentra muy flexurada.

El *cuarzo* sólo se presenta en escasa proporción en andesitas anfibólicas, anfibólico-piroxénicas y laciandesitas. Forma fenocristales o microfenocristales, a veces con senos de corrosión.

MINERALES ACCESORIOS

Se los encuentra incluidos en los fenocristales o bien vinculados con las pastas, lo cual denota su amplio rango de cristalización. Es notable la presencia de fenocristales euhedrales a subhedrales de titanita de hasta 1,6 mm de longitud, en laciandesitas y andesitas anfibólico-piroxénicas. Igualmente, la apatita alcanza importante desarrollo (0,8 mm) en andesitas piroxénicas y laciandesitas. Los opacos son los minerales accesorios más abundantes, en particular en las andesitas piroxénicas, y se presentan con hábito granular. Raramente aparece circón.

PASTAS

La relación fenocristales/pasta varía de 0,47 a 0,71 (Fig. 6). Los mismos minerales que forman fenocristales constituyen también las pastas, con la excepción del cuarzo, que aparece a menudo en los estadios póstumos de la evolución magmática de estas rocas pero que raramente se encuentra como fenocristal. Las pastas son, en general, muy finas. Sólo en algunas rocas de la Sierra del Morro sus constituyentes alcanzan una dimensión de aproximadamente 0,2 mm. En esta zona, por otra parte, se encuentra la única roca filónica (micrograbro) del conjunto estudiado, cuya pasta es granuda panalotriomorfa.

La mayoría de las rocas, con la excepción de las andesitas piroxénicas, tienen pastas *microfíricas*, constituidas por microfenocristales de plagioclasa, anfíbol, clinopiroxeno, sanidina, cuarzo y titanita de 0,03 a 0,25 mm, que se hallan inmersos en una base felsítica de plagioclasa ácida tabular a anhedral, cuarzo, abundantes opacos y apatito, clinopiroxeno, y más raramente, anfíbol cloritizado y oxidado. En las andesitas anfibólico-piroxénicas y lacitas, los microfenocristales se encuentran en una base hipohialina, con escaso vidrio, cristobalita o analcima rellenando los intersticios entre microlitos de plagioclasa ácida, clinopiroxeno y opacos.

Las andesitas anfibólicas y anfibólico-piroxénicas, así como las laciandesitas y lacitas, presentan, además, pastas *hipohialinas*, formadas por plagioclasa albitica tabular a anhedral, opacos, anfíbol, apatita, titanita y cristobalita, en una base vítrea escasa ($n = 1,510$ en andesitas anfibólicas). En forma ocasional es posible hallar también clinopiroxeno.

Pastas *felsíticas*, formadas por feldespato alcalino y cuarzo, se presentan en laciandesitas y andesitas anfibólicas. Se encuentra, además, escaso clinopiroxeno y apatita, opacos, y ocasionalmente, anfíbol y productos secundarios.

En andesitas piroxénicas y anfibólico-piroxénicas se hallan pastas *pilotácicas*, constituidas por plagioclasa albitica paralela a subparalela, y abundantes microlitos de clinopiroxeno, opacos, apatito y anfíbol (?). En el primer grupo se observa que el clinopiroxeno acompaña la flui-

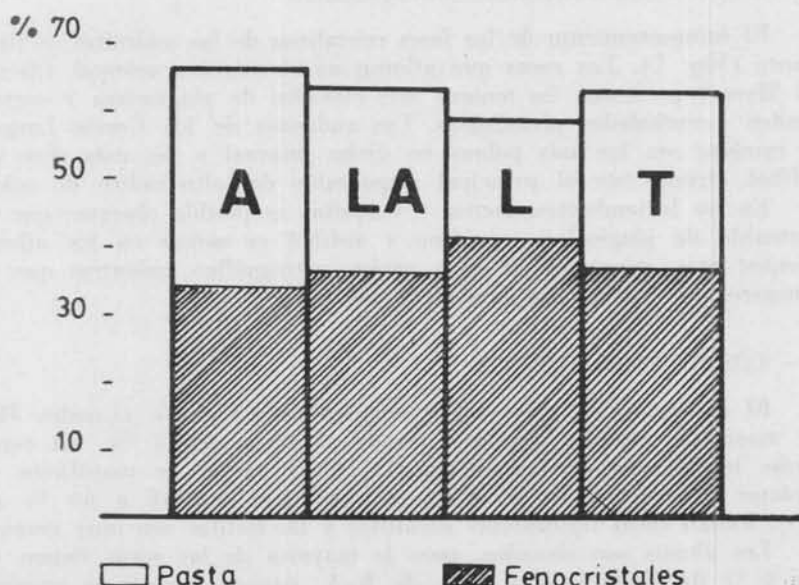


FIG. 6. — Porcentaje promedio de fenocristales y pasta para cada grupo petrográfico. Referencias iguales a figura 4.

dadidad de los constituyentes mayores, disponiéndose a modo de trenes entre el feldespato. Ocasionalmente se encuentra también vidrio y sanidina (?).

Pastas *granudas*, formadas por plagioclasa albitica granular, clinopiroxeno, apatita, opacos, anfíbol (?) alterado y escaso cuarzo, se presentan en laciandesitas, traquitas y andesitas anfibólico-piroxénicas y piroxénicas. En las primeras, el desarrollo tabular de la plagioclasa y su orientación conduce a variedades pilotáxico-granudas. En los restantes grupos, la falta de orientación permite identificar variedades fieltro-granudas, en las que se pueden reconocer dos tipos de plagioclasa: una andesínica y otra albitica. En las traquitas aparece también escaso vidrio ($n=1,516$) en forma de ocelos castaños.

En las rocas más ácidas se encuentran pastas *ortofiricas*, formadas por abundante plagioclasa albitica cuadrangular, con escaso clinopiroxeno y opacos, a los que se agregan, en las traquitas, apatita, titanita y un mafito alterado. Todos los constituyentes se hallan en una mesostasis feldespática, cuarzosa y vítrea muy fina y escasa.

Por último, una lacita de La Carolina es *vitrofirica*, con $n=1,492$.

Los minerales secundarios que forman parte de las pastas, en muy escasa cantidad, son clorita, sericita y productos limoníticos.

VARIACIONES DEL CONTENIDO MINERALÓGICO

El comportamiento de las fases cristalinas de las andesitas es fluctuante (Fig. 7). Las rocas que afloran en el extremo oriental (Sierra del Morro) presentan los tenores más elevados de plagioclasa y corresponden a variedades piroxénicas. Las andesitas de los Cerros Largos, en cambio, son las más pobres en dicho mineral y las más ricas en anfíbol, siendo éste el principal responsable del alto índice de color.

En las laciandesitas, lacitas y traquitas es posible observar que el contenido de plagioclasa, sanidina y anfíbol es menor en los afloramientos más orientales de cada grupo petrográfico, mientras que el clinopiroxeno exhibe una tendencia opuesta.

II - COMPOSICION QUIMICA

El contenido de sílice varía de 53,50 a 70,90 % (Cuadro II). La mayor frecuencia, que corresponde al rango 61-62 %, así como varias modas secundarias (Brogioni, 1984) ponen de manifiesto el carácter intermedio de la secuencia volcánica, con 61 a 66 % de SiO_2 . Faltan rocas típicamente basálticas y las riolitas son muy escasas.

Los álcalis son elevados, pues la mayoría de las rocas tienen de 5 a 6 % de Na_2O y 3 a 4 % de K_2O , aunque numerosas superan estos últimos llegando, en un caso excepcional, a 8,38 %. Las relaciones $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ son igualmente altas, muy próximas a la unidad y aún mayores.

Al_2O_3 varía entre 15,30 y 21 % y compensa, en general, a los álcalis por lo que la mayoría de las rocas son metaluminosas y sólo pocas, peraluminosas.

CaO exhibe un amplio rango composicional (0,24 a 9,34 %), en tanto que MgO es notablemente bajo, inferior al 1 %.

Normativamente, el conjunto volcánico varía desde moderadamente sobresaturado (pues Q sólo supera el 20 % en forma excepcional), hasta ligeramente subsaturado, con Ne inferior a 8,73 %.

En todos los casos, las tendencias evolutivas de los óxidos son normales (Fig. 8), pero es posible observar una fuerte dispersión de los datos, en particular para los álcalis y alúmina, atribuibles a características magmáticas primarias. Se verifica una tendencia evolutiva definida para el CaO y en menor grado para SiO_2 , TiO_2 y MgO . La confrontación con otros parámetros evolutivos, tales como sílice e índice de diferenciación (Brogioni, 1984), permite comprobar que si bien CaO y TiO_2 mantienen dicha característica, MgO y SiO_2 muestran mayor dispersión.

VARIACIONES REGIONALES

El análisis de la composición química de las rocas permite verificar ciertas variaciones regionales (Cuadro III), que se corresponden

CUADRO II. — *Composición química y normativa de las vulcanitas de San Luis*

Muestra	30	5	29	39	18	7	10	11	13	12	17	8	20	27	16	15
SiO ₂	63,80	67,00	70,60	57,40	58,90	61,70	62,00	62,40	62,44	63,30	64,50	65,50	70,90	61,60	63,40	63,70
TiO ₂	0,34	0,32	0,33	1,29	0,64	0,52	0,46	0,52	0,41	0,40	0,40	0,36	0,16	0,41	0,40	0,44
Al ₂ O ₃	16,60	17,90	15,30	18,40	17,20	17,00	18,50	17,70	18,39	18,50	16,50	17,10	16,50	18,20	18,30	17,30
Fe ₂ O ₃	1,34	2,71	1,01	4,61	4,75	3,14	3,08	3,20	2,75	2,34	1,98	2,12	1,14	3,32	2,35	3,00
FeO	1,38	0,12	0,08	1,78	2,33	0,78	0,44	1,06	0,26	0,89	1,24	1,02	0,09	0,48	1,20	0,48
MnO	0,12	0,03	0,33	0,14	0,13	0,12	0,11	0,14	0,08	0,11	0,11	0,09	0,06	0,14	0,14	0,14
CaO	3,83	1,48	0,24	6,00	5,95	5,66	3,76	4,78	2,62	4,45	4,11	3,91	0,56	5,32	5,19	5,18
MgO	0,53	0,09	0,02	2,07	1,44	0,70	0,60	1,06	0,26	0,59	0,79	0,76	0,01	1,04	0,88	0,78
Na ₂ O	3,51	4,70	2,56	4,28	4,66	4,81	4,62	5,22	4,70	5,07	4,82	4,70	5,84	4,86	5,82	5,52
K ₂ O	3,52	5,70	8,38	2,74	3,69	3,40	5,82	3,53	5,78	3,76	3,92	3,82	4,43	2,60	2,60	2,68
P ₂ O ₅	0,19	0,09	0,07	0,44	0,24	0,14	0,14	0,18	0,09	0,10	0,12	0,12	0,01	0,14	0,09	0,10
H ₂ O ⁺	3,14	0,64	1,65	0,90	0,17	0,41	0,20	0,47	0,44	0,56	0,36	0,27	0,20	0,99	0,21	0,18
H ₂ O ⁻	0,16	0,75	0,15	0,44	0,20	0,66	0,43	0,29	0,79	0,22	0,18	0,44	0,22	0,26	0,15	0,10
TOTAL	98,46	101,33	100,72	100,49	100,30	99,06	100,16	100,55	99,01	100,29	99,08	100,21	100,12	99,36	100,18	99,60

Muestra	59	60	54	45	53	47	52	43	50	48	49	57	56	55	51	58
SiO ₂	65,10	65,40	53,59	54,70	55,40	56,60	56,60	56,90	60,60	61,10	61,50	61,84	62,00	62,50	64,80	66,60
TiO ₂	0,40	0,38	0,88	0,84	0,40	0,68	0,56	0,68	0,48	0,62	0,50	0,43	0,43	0,28	0,38	0,21
Al ₂ O ₃	18,40	18,40	16,00	18,40	21,00	17,40	19,00	17,50	20,00	17,70	17,90	18,38	16,90	16,80	18,90	15,30
Fe ₂ O ₃	2,60	2,65	5,71	5,14	2,29	5,30	2,92	4,94	2,93	3,35	3,26	3,29	2,76	2,13	2,14	1,66
FeO	1,14	0,66	2,97	1,73	1,24	1,10	1,44	1,85	0,96	1,74	1,08	0,77	1,28	0,82	0,46	0,70
MnO	0,16	0,26	0,22	0,22	0,17	0,17	0,18	0,15	0,14	0,13	0,14	0,30	0,18	0,19	0,05	0,12
CaO	4,60	5,19	9,34	8,28	5,84	7,01	5,98	7,16	6,12	3,85	4,78	3,67	5,17	3,51	2,30	2,70
MgO	0,74	0,71	2,28	1,71	0,66	1,56	0,96	1,80	0,42	1,18	0,97	0,68	1,06	0,68	0,05	0,38
Na ₂ O	3,44	3,50	5,12	4,44	5,58	4,50	5,16	4,44	3,10	5,00	5,14	5,42	5,48	5,65	5,20	5,40
K ₂ O	2,46	2,42	3,84	4,16	5,08	3,94	5,65	3,95	3,25	4,58	4,60	4,35	4,06	4,96	5,05	5,38
P ₂ O ₅	0,12	0,10	0,46	0,42	0,07	0,35	0,11	0,32	0,20	0,24	0,16	0,16	0,24	0,12	0,08	0,12
H ₂ O ⁺	0,16	1,12	0,89	0,23	1,58	0,32	1,10	0,39	1,03	0,26	0,39	0,56	1,06	0,46	0,50	0,33
H ₂ O ⁻	0,20	0,19	0,07	0,16	0,28	0,36	0,20	0,26	0,19	0,36	0,28	0,20	0,18	0,04	0,28	0,05
TOTAL	99,52	100,98	101,28	100,43	99,59	99,29	99,76	100,34	99,42	100,11	100,70	100,05	100,80	98,14	100,20	98,95

CUADRO II (Continuación)

Muestra	30	5	29	39	18	7	10	11	13	12	17	8	20	27	16	15
Or	20,80	34,39	49,52	16,19	21,81	20,21	34,89	20,86	34,16	22,22	23,23	22,58	26,18	15,37	15,37	15,84
Ab	29,70	39,77	21,66	36,22	39,43	40,70	39,09	44,17	39,77	42,90	40,79	39,77	49,42	41,12	45,02	46,71
An	17,77	6,76	0,74	22,90	15,12	14,70	12,55	14,55	11,74	16,62	11,78	14,17	2,71	20,17	18,82	14,51
Ne	20,95	14,79	23,29	8,17	6,22	10,58	5,41	8,96	7,27	10,32	13,32	15,30	18,79	11,97	11,83	11,63
En	0,22	0,05	0,71					0,44				0,29	0,02	0,67		
Hy Fs																
W ₀			1,68		4,15	2,02	1,73	3,05	0,24	1,70	2,44	1,86		2,22	2,39	2,25
Di En			1,45		3,59	1,74	1,49	2,64	0,21	1,47	1,97	1,61		1,92	2,07	1,94
Fs											0,19					
W ₀					1,22	3,19	0,44	0,29		0,31						2,15
Ru		0,15														
Ap	0,44	0,21	0,16	1,02	0,56	0,33	0,33	0,42	0,21	0,23	0,28	0,28	0,02	0,33	0,21	0,23
Il	0,65	0,32	0,53	2,45	1,22	0,99	0,87	0,99	0,72	0,76	0,76	0,68	0,30	0,78	0,76	0,84
C	0,51	1,52	1,75										1,10			
Sp									0,08							
Mt	1,94		0,38	2,45	6,08	1,40	0,44	2,37		2,07	2,87	2,54	0,02	0,82	3,16	0,73
Hm		2,71	0,75	2,92	0,56	2,18	2,77	1,57	2,75	0,91	—	0,37	1,12	2,76	0,17	2,50
K ₂ O/Na ₂ O	5,95	5,13	4,20	15,68	17,37	11,85	8,07	11,33	4,64	7,45	9,41	7,62	4,93	9,50	9,23	10,64
DI	1,00	1,21	3,37	0,64	0,79	0,71	1,26	0,68	1,23	0,74	0,81	0,81	0,76	0,53	0,49	0,48
IR	71,45	88,25	94,37	60,58	67,46	71,50	78,90	73,99	81,20	75,44	77,33	77,65	94,38	68,46	72,26	74,17
IR	2,38	4,51	4,34	3,42	4,38	3,62	5,74	3,95	5,69	3,84	3,56	3,23	3,78	2,99	3,07	3,25
IAg			0,806										0,732			

CUADRO II (Continuación)

Muestra	59	60	54	45	53	47	52	43	50	48	49	57	56	55	51	58
Or	14,54	14,30	22,69	24,58	30,02	23,28	32,80	23,34	19,21	27,07	27,18	25,71	23,99	29,31	29,90	31,79
Ab	29,11	29,62	30,76	33,73	31,09	38,08	32,75	37,57	36,23	42,31	43,49	45,86	46,37	47,81	44,00	45,69
An	22,04	25,10	9,34	18,13	17,25	15,51	12,26	16,27	29,07	12,25	12,24	12,98	9,53	5,83	10,89	1,57
Na			6,81	2,08	8,73		5,91									
Q	25,07	23,83				2,60		2,51	16,91	6,33	5,05	6,14	5,76	4,78	10,42	10,96
En	1,84	1,77						1,05	1,02			0,18			0,12	
Hy Fs																
W ₀			6,57	4,93	10,4	4,49	2,77	5,19		2,21	2,79	1,75	3,05	1,96		1,09
Di En			5,68	4,26	1,64	3,88	2,39	4,48		1,91	2,42	1,51	2,64	1,69		0,95
Fs					0,04											
W ₀			7,64	3,52	2,77	2,61					1,56	5,37	3,00	2,55		3,52
Ru																
Ap	0,28	0,23	1,07	0,98	0,16	0,81	0,25	0,74	0,46	0,56	0,37	0,37	0,58	0,28	0,19	0,28
Il	0,76	—	1,67	1,61	0,76	1,29	1,06	1,29	0,91	1,18	0,95	0,82	0,82	0,53	0,72	0,40
C	1,97	0,84							0,74						0,84	
Sp																
Mt	3,04	1,87	7,74	3,83	3,32	2,13	3,51	4,48	2,16	4,24	2,49	2,21	3,47	2,45	0,54	2,04
Hm	0,51	1,36	0,37	2,50		3,83	0,43	1,85	1,44	0,43	1,54	1,76	0,37	0,44	1,76	0,25
IC	8,40	6,79	30,77	21,63	12,02	19,05	14,72	20,02	6,76	11,56	12,12	16,08	13,93	17,01	4,17	8,53
K ₂ O/Na ₂ O	0,71	0,69	0,75	0,94	0,91	0,87	1,07	0,89	1,05	0,92	0,89	0,80	0,74	0,88	0,97	1,00
DI	68,72	67,75	60,26	60,40	69,85	63,96	71,46	63,43	62,34	75,71	75,73	77,71	82,72	81,93	84,32	88,45
IR	1,57	1,56	7,64	6,62	10,48	5,24	8,43	5,06	2,29	5,07	5,13	7,59	4,79	8,37	4,83	4,92
IAg																

Metodología: SiO₂: gravimetría y colorimetría del filtrado; Al₂O₃; Fe total TiO₂, P₂O₅ y MnO: colorimetría; FeO y H₂O—: volumetría; Fe₂O₃: por diferencia entre Fe total y FeO; MgO y CaO: absorción atómica; Na₂O y K₂O: fotometría de llama; H₂O₂ total: gravimetría; H₂O+: por diferencia entre H₂O total y H₂O—. Los análisis fueron realizados por el LAQUIGE (CONICET). Procedencia de las muestras: ver Cuadro I.

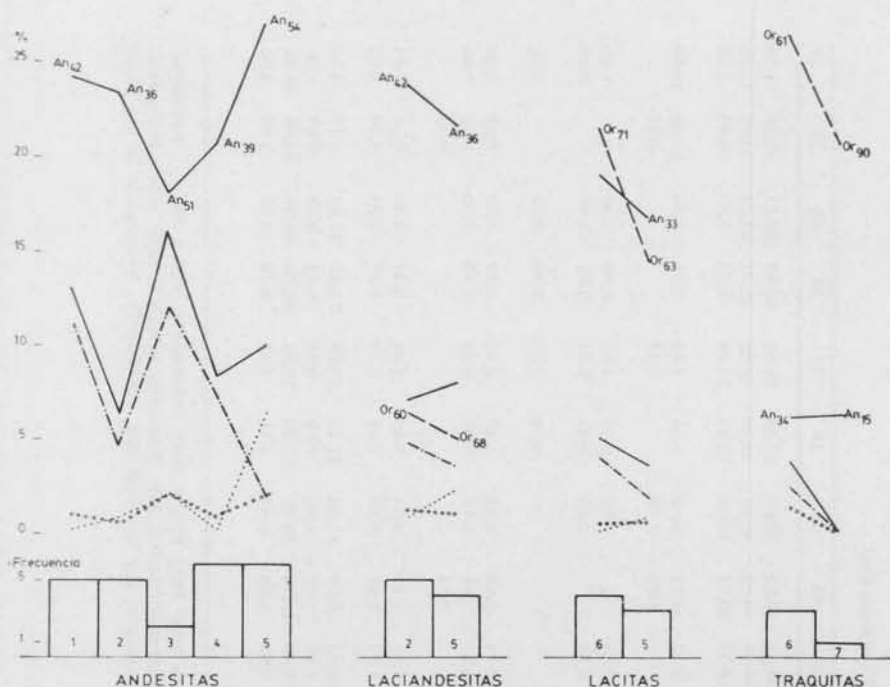


FIG. 7. — Parte inferior: Variación de la frecuencia de cada grupo petrográfico, en sentido NO-SE. 1: NO de La Carolina; 2: Cañada Honda; 3: Cerros Largos; 4: Cerro Tiporeo-Cerros del Rosario; 5: Sierra del Morro; 6: La Carolina; 7: C° Pelado. Parte superior: Variación de la composición modal promedio de cada grupo petrográfico en las diversas zonas de afloramiento. Plagioclasa (línea llena); sanidina (línea cortada); anfíbol (punto y raya); piroxeno (línea punteada); opacos (círculos); índice de color (línea llena gruesa). Se señalan también las variaciones del contenido promedio de An de la plagioclasa y de Or de la sanidina.

con aquéllas de índole mineralógica y petrográfica citadas anteriormente.

Las rocas de La Carolina, en el sector occidental, son intermedias a ácidas, peraluminosas, con tenores muy restringidos de TiO_2 y notablemente pobres en MgO y CaO . Las relaciones K_2O/Na_2O son altas, debido especialmente al contenido alto de K_2O . El Q normativo es elevado.

Hacia el SE, las vulcanitas de Cañada Honda son intermedias, registrándose un aumento de TiO_2 , Al_2O_3 , CaO y MgO . Son metaluminosas, con bajo Q normativo.

A continuación de los afloramientos aislados del C° Pelado y Cerros Largos, las rocas intermedias de los Cerros del Rosario se caracterizan por sus bajos contenidos de K_2O y, por ende, bajas relaciones K_2O/Na_2O . El tenor de TiO_2 es similar al de las vulcanitas de Caña-

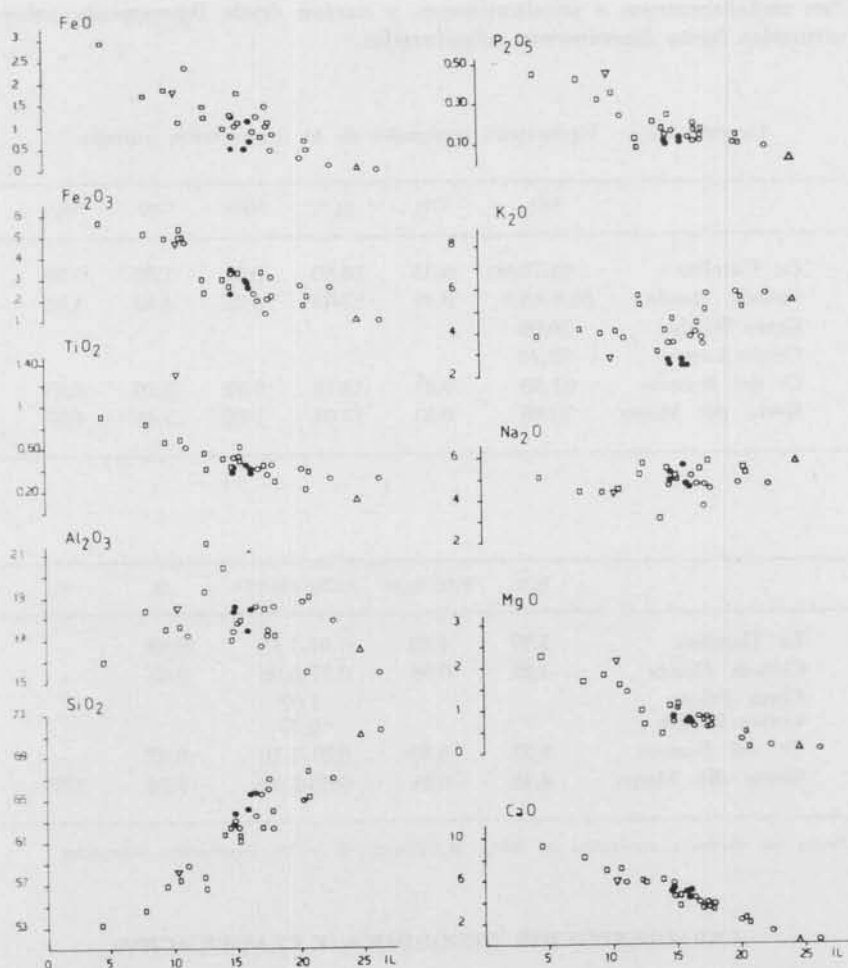


FIG. 8. — Diagramas de variación de los óxidos con respecto al Índice de Larsen $(1/3 SiO_2 + K_2O) - (CaO + MgO + FeO)$. Simbología: Círculos llenos: Cerros del Rosario; círculos abiertos: La Carolina-Cañada Honda; cuadrados: Sierra del Morro.

da Honda, y el Q normativo, más bajo; Al_2O_3 , MgO y CaO , en cambio, son más altos.

Finalmente, en la Sierra del Morro se encuentran rocas básicas a intermedias (la mayoría corresponde a estas últimas), observándose un incremento de TiO_2 , MgO y CaO ; Al_2O_3 es similar al de los Cerros del Rosario, y la relaciones K_2O/Na_2O se aproximan a la unidad.

Son metaluminosas a peraluminosas, y varían desde ligeramente sobresaturadas hasta ligeramente subsaturadas.

CUADRO III. — Variaciones regionales de la composición química

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O
La Carolina	63-70,60	0,33	16,60	0,21	1,85	3,59
Cañada Honda	59,8-65,5	0,46	17,60	0,77	4,40	4,82
Cerro Pelado	70,90					
Cerros Largos	57,40					
Cº del Rosario	61-65	0,41	18,12	0,82	5,10	4,53
Sierra del Morro	53,66	0,53	17,94	1,02	5,41	4,97

	K ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O	Al/(Na+K+Ca)	Q	Ne
La Carolina	5,87	1,82	1,01-1,11	19,68	—
Cañada Honda	4,21	0,88	0,77-0,98	9,67	—
Cerro Pelado			1,07		
Cerros Largos			0,87		
Cº del Rosario	2,55	0,58	0,81-1,10	6,87	—
Sierra del Morro	4,48	0,91	0,68-1,12	7,94	5,88

Todos los óxidos a excepción de SiO₂; K₂O/Na₂O; Q y Ne: contenidos promedios.

CARACTERIZACION GEOQUIMICA Y CLASIFICACION

La secuencia volcánica está integrada por rocas calcoalcalinas y alcalinas, que se distribuyen en las series calcoalcalina, transicional y alcalina definidas por Le Maitre et al. (1983) (Fig. 9). Según los valores del Índice de Rittmann (1,56 a 10,48), varía de calcoalcalina fuerte a alcalina débil. El conjunto exhibe tendencia al enriquecimiento en álcalis (Fig. 10), en particular en K₂O (característica de la que se exceptúan sólo las rocas de los Cerros del Rosario), lo cual conduce a altas relaciones K₂O/Na₂O (0,48 a 3,27). No se observa, en cambio, enriquecimiento en hierro (Fig. 11). La notable amplitud del contenido de K₂O, confrontada con la sílice, las ubica dentro de las series calcoalcalina s. s., calcoalcalina potásica y shoshonítica (Fig. 12).

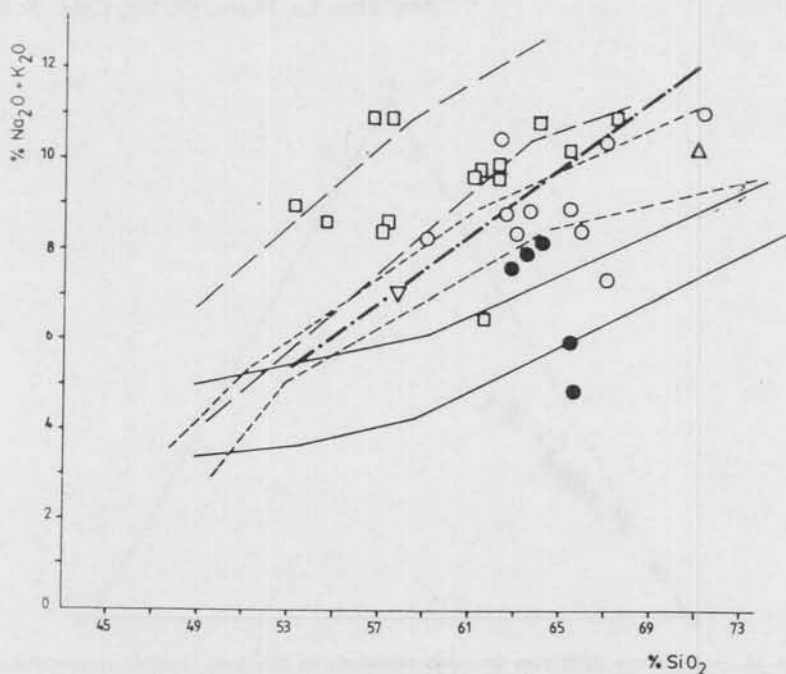


FIG. 9. — Tendencia de las rocas calcoalcalinas (líneas llenas), transicionales (líneas cortas) y alcalinas (líneas largas). Análisis recalculados sobre base anhidra. Simbología igual a figura 8. La línea de trazo grueso (Irvine y Baragar, 1971) separa el campo alcalino del subalcalino.

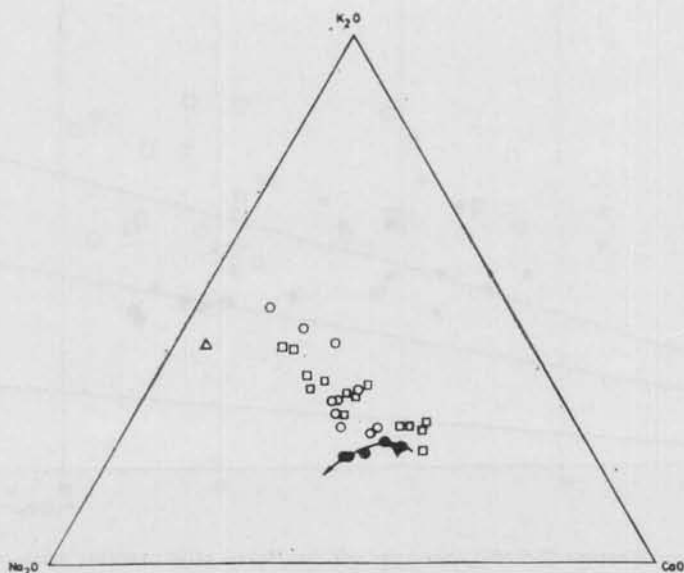


FIG. 10. — Diagrama $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ para las rocas volcánicas de San Luis. Análisis recalculados sobre base anhidra. Simbología igual a figura 8.

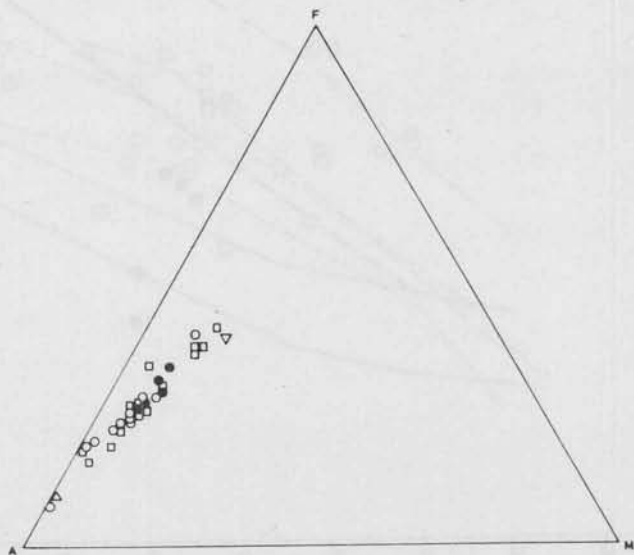


FIG. 11. — Diagrama AFM para las rocas volcánicas de San Luis. Análisis recalculados sobre base anhidra. Simbología igual a figura 8.

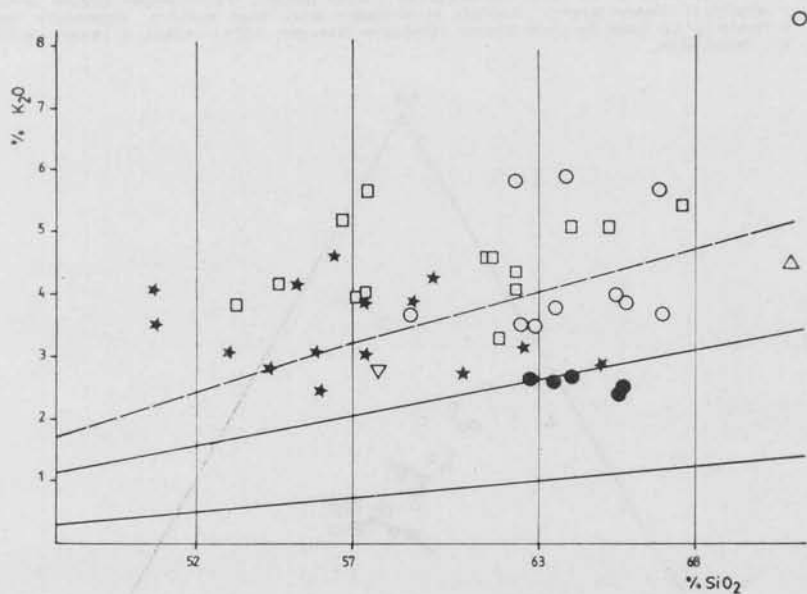


FIG. 12. — Diagrama K_2O/SiO_2 propuesto por Le Maitre *et al.* (1983), donde se separa la serie calcoalcalina normal de la serie calcoalcalina potásica. La línea de trazos delimita a la serie calcoalcalina potásica de la serie shoshonítica (Fytikas *et al.*, 1980). Simbología igual a figura 8. Las estrellas corresponden a vulcanitas de Pocho (Córdoba). Análisis recalculados sobre base anhidra.

CUADRO IV. — Composición química y modal de las series

Composición Química

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O/Na ₂ O	DI	Mg/MFe+Fe
SERIE CALCOALCALINA NORMAL														
Dacitas	64,73	0,40	18,19	2,66	0,87	0,25	0,77	5,06	4,47	2,55	0,10	0,59	70,71	27,85
SERIE CALCOALCALINA POTASICA														
Dacitas	65,49	0,38	17,49	1,97	1,15	0,11	0,66	4,16	4,60	3,82	0,13	0,84	75,47	28,23
Andesitas	61,57	0,66	18,51	3,48	1,02	0,14	1,07	5,65	4,51	3,15	0,22	0,72	67,37	25,92
Riolita	71,11	0,16	16,55	1,14	0,08	0,06	0,01	0,56	5,84	4,44	0,01	0,76	94,47	7,50
PR	64,09	0,50	17,91	2,65	0,98	0,12	0,81	4,55	4,68	3,55	0,16	0,77	73,32	25,00
SERIE SHOSHONITICA														
Traquitas	66,51	0,32	17,68	2,31	0,48	0,09	0,30	2,56	5,20	5,45	0,10	1,06	84,83	15,34
Lacitas	60,07	0,56	17,94	3,76	1,34	0,16	1,14	5,29	4,96	4,53	0,22	0,91	73,00	23,93
Shoshonitas	54,89	0,71	18,61	4,39	1,99	0,20	1,55	7,86	5,06	4,40	0,32	0,87	65,50	23,44
Riolita	71,37	0,33	15,47	1,02	0,08	0,33	0,02	0,24	2,59	8,47	0,07	3,27	97,47	14,28
PR	61,34	0,50	17,84	3,31	1,14	0,18	0,91	4,68	4,92	4,98	0,14	1,08	75,90	20,93

Composición Modal

	Plag.	San.	Anf.	Pirox.	Biot.	Cuar.	Op.	Ap.	Til.
SERIE CALCOALCALINA NORMAL									
Dacitas	24,36		7,31				0,73	0,28	0,36
SERIE CALCOALCALINA POTASICA									
Dacitas	21,61	4,24	4,55	0,24			0,45		0,20
Andesitas	23,69	2,50	5,70	2,09	0,06	0,06	1,39	0,11	0,13
Riolita	6,57	20,80							
PR	21,15	5,03	4,87	1,41	0,03	0,03	0,87	0,06	0,14
SERIE SHOSHONITICA									
Traquitas	15,32	13,00	2,13	0,58			1,06		0,14
Lacitas	21,43	4,13	3,84	2,92	0,18		1,25	0,13	0,26
Shoshonitas	29,13			9,28	0,79		2,18	0,08	0,06
Riolita	2,86	27,80	0,80			0,80			
PR	19,98	5,68	2,51	3,17	0,22	0,05	1,28	0,08	0,18

Los valores de los óxidos y relaciones, así como el contenido modal, corresponden a promedios para cada tipo de roca. PR: promedio de la composición química y modal de cada serie. Análisis químicos recalculados sobre base anhidra.
 H₂O+ total: gravimetría; H₂O₂: por diferencia entre H₂O total y H₂O-. Los análisis fueron realizados por el LAQUIGE (CONICET). Procedencia de las muestras: ver cuadro I.

SERIE CALCOALCALINA NORMAL

Está pobremente representada por dacitas con plagioclasa y anfíbol (Cuadro IV), que afloran exclusivamente en los Cerros del Rosario. El contenido de K_2O de la serie, normal para rocas calcoalcalinas, conduce a relaciones K_2O/Na_2O de 0,59, las más bajas de la secuencia volcánica (Fig. 13). El DI es 70,71 y las rocas son metaluminosas a peraluminosas. Vulcanitas con contenido similar de SiO_2 provenientes de los Andes Sudamericanos (Barker, 1979), y del arco magmático que se desarrolló en el Mioceno a aproximadamente la misma latitud que el vulcanismo de San Luis (Kay et al. 1985), presentan tenores más elevados de TiO_2 , MgO y P_2O_5 , y ligeramente menores de Na_2O que las rocas de esta serie.

SERIE CALCOALCALINA POTÁSICA

Son dacitas, andesitas y una riolita que afloran principalmente en Cañada Honda y Cerros Largos. Las rocas están formadas por plagioclasa y anfíbol, con escasa sanidina y clinopiroxeno (Cuadro IV). El contenido de SiO_2 y Al_2O_3 es similar al de la serie anterior, pero TiO_2 , MgO y en particular el K_2O se incrementan. Las relaciones K_2O/Na_2O ascienden a 0,77 y el DI a 73,32. Las dacitas y andesitas no difieren mayormente desde el punto de vista petrográfico, pero las andesitas muestran un incremento de TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO y P_2O_5 .

SERIE SHOSHONÍTICA

Son traquitas, lacitas, shoshonitas y una riolita que afloran principalmente en la Sierra del Morro, y en menor proporción, en La Carolina y Cañada Honda. El contenido de SiO_2 disminuye con respecto a las series anteriores registrándose, en cambio, un incremento de FeO , Fe_2O_3 , MgO , CaO y K_2O . Las relaciones K_2O/Na_2O ascienden a 1,08 (Fig. 13) y el DI es de 75,90 (Cuadro IV). Las traquitas se caracterizan por ser las rocas que tienen, en promedio, los contenidos de sanidina más altos. En las lacitas y shoshonitas, particularmente en estas últimas, se registra un incremento del clinopiroxeno y la aparición de biotita; la sanidina disminuye y en las shoshonitas sólo se encuentra formando parte de las pastas. Por último, las shoshonitas son rocas subsaturadas, con $Ne=5,86$.

Las características geoquímicas de la serie shoshonítica de San Luis son semejantes a las citadas por Morrison (1980) para las asociaciones de esa naturaleza: contenidos de álcalis superiores a 5 %, K_2O/Na_2O mayores de 0,6 (a 50 % de SiO_2), alta Al_2O_3 y $Fe_2O_3/$

FeO, y bajo enriquecimiento en hierro y TiO_2 . Faltan, en cambio, las rocas típicamente basálticas, aunque asociaciones shoshoníticas intermedias han sido también descritas (López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1980; Kolios et al., 1980).

LAS RIOLITAS

Se han hallado sólo dos rocas, que modalmente corresponden a traquitas pues carecen de fenocristales de cuarzo. Son hololeucocráticas tanto modal como químicamente, y se caracterizan por sus bajos tenores de MgO y CaO y altos DI (Cuadro IV). Difieren notablemente en cuanto al contenido de K_2O , pues una tiene 8,37 %, lo cual conduce a una relación K_2O/Na_2O de 3,27. Son peraluminosas ($Al/Na+K+Ca=1,07-1,11$) y el índice agpáitico (Bailey y MacDonald, 1970), que oscila entre 0,732 y 0,806, permite ubicarlas dentro de las riolitas normales.

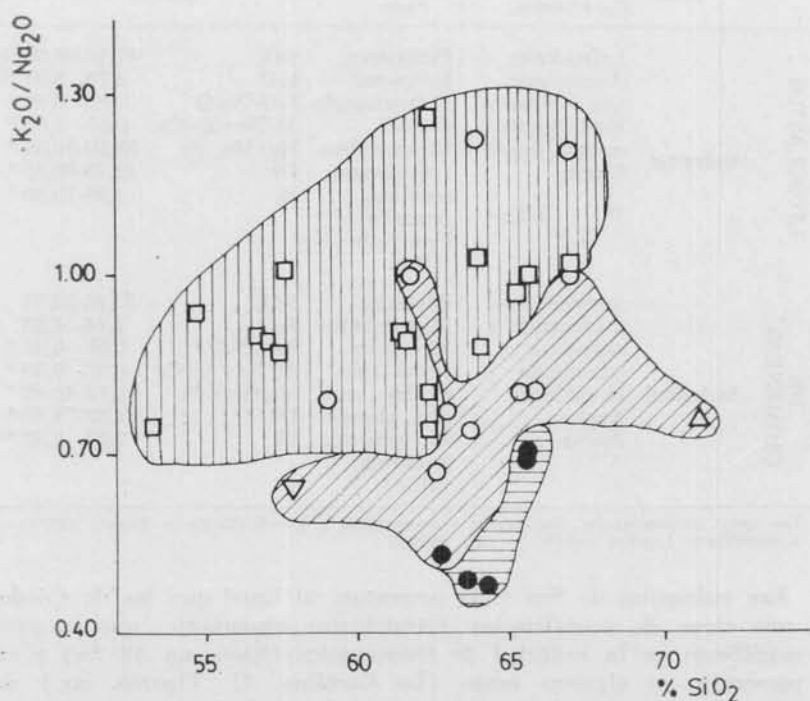


FIG. 13. — Variación de las relaciones K_2O/Na_2O con el contenido de SiO_2 . En rayado vertical: serie shoshonítica; oblicuo: serie calcoalcalina potásica; horizontal: serie calcoalcalina normal. Simbología igual a figura 8. Análisis recalculados sobre base anhidra.

DISCUSION

El vulcanismo que se desarrolló durante el Mio-Plioceno en el ambiente de las Sierras Pampeanas orientales es particularmente interesante, ya que se produjo en una zona tectónicamente estable y muy alejada del arco magmático andino.

Los afloramientos se distribuyen no sólo en San Luis sino también en Córdoba, al Norte de la Pampa de Pocho, relacionados con fracturas extensas reactivadas por la orogenia andina (Criado Roque et al., 1981; Gordillo y Lencinas, 1979). La vinculación entre ambos eventos se traduce en caracteres mineralógicos, petrográficos y geoquímicos similares (Cuadro V, Fig. 12). Sin embargo, en Córdoba aparecen rocas más básicas que en San Luis (basaltos) y faltan rocas calcoalcalinas normales. Por otra parte, la sanidina no desempeña el rol que cumple en San Luis, por lo que petrográficamente sólo se identifican andesitas.

CUADRO V. — Síntesis del vulcanismo de Pocho (Córdoba)

Rocas	Mineralogía		Composición química			
	Fenocristales	Pasta				
LITOCLASTOS		Labradorita	Pilotácicas	SiO ₂	47,14-62,55 %	
		Augita/egir.-aug./diópsido	Intersertal	K ₂ O	2,76- 5,07 °	
		Barkeviquita/oxihornblenda	Microgranuda	K ₂ O/Na ₂ O	0,67- 0,95 °	
	Andesitas		Biotita	Fluidal	Al/Na+K+Ca	0,51- 1,06 °
				Escaso vidrio (plagioclasa,	Mg/Mg+Fe	28,20-50,54 °
				sanidina,	DI	42,76-82,51 °
				piroxeno)	IR	4,66-10,20 °
	IC = 9,8 - - 27,5°	Fen/Pasta = 0,90 °				
"RELLENOS DE CHIMENEAS"		Andesina, con gradaciones a oligoclasa o labradorita	Pilotácica	SiO ₂	53,95-63,54	
	Andesitas		Hornblenda	Microfelsítica	K ₂ O	2,44- 4,83
			Augita	Mesostasis	K ₂ O/Na ₂ O	0,58- 0,94 °
			Biotita	vítrea (plagioclasa, sanidina, piroxeno, hematita, magnetita, vidrio)	Al/Na+K+Ca	0,67- 0,96 °
					Mg/Mg+Fe	12,12-40,48 °
					DI	52,62-71,70 °
				IR	2,62- 6,96 °	

Los datos empleados en este cuadro corresponden a Hiecke-Merlin y Piccoli (1961) y a Gordillo y Linares (1981); * este trabajo.

Las vulcanitas de San Luis presentan, al igual que las de Córdoba, una etapa de cristalización intratelúrica importante, que se pone de manifiesto en la cantidad de fenocristales (hasta un 40 %) y en la presencia, en algunas zonas (La Carolina, C° Tiporco, etc.) de xenolitos de sus equivalentes plutónicos. Las relaciones texturales indican que la primera fase en separarse fue el anfíbol, lo cual permite establecer que el magma estaba saturado en agua al momento de iniciarse la cristalización, y que la presión debió ser del orden de los

8 Kb (Eggler y Burham, 1973). La existencia de clinopiroxeno en lugar de anfíbol en algunas rocas de la Sierra del Morro indica, en cambio, un líquido pobre en agua, ya que sólo en estas condiciones se produce su cristalización antes que la plagioclasa y dentro de un rango amplio de presión (2-10 Kb) (Eggler, 1972).

La plagioclasa, que comenzó a desarrollarse con posterioridad, muestra signos de cristalización bajo condiciones de desequilibrio, siendo la zonación oscilatoria (a veces sobreimpuesta al zonado normal) y la resorción, los efectos más notables. La zonación oscilatoria, que afecta tanto a fenocristales como a microfenocristales, es atribuida por la mayoría de los autores a la saturación recurrente del líquido en anortita (en la interfase cristal/líquido) y a variaciones en las velocidades de difusión y de cristalización. El crecimiento del cristal debería realizarse muy lentamente (Allegre et al., 1981), en un sistema cuya temperatura o su velocidad de enfriamiento sea aproximadamente constante; en este último caso, la zonación oscilatoria se sobreimpone al zonado normal (Pringle et al., 1974). La resorción de los cristales, por otra parte, tiene lugar cuando el líquido (pobre en agua), a partir del cual están cristalizando, sufre una caída de presión (Vance, 1962). La zonación "patchy" y los rebordes alcalinos que se presentan con frecuencia, indican que se alcanzó la saturación en volátiles. Igualmente, la existencia de cristales con una zona adyacente al núcleo de composición más cálcica que éste, es indicativa de descensos bruscos de presión (Pringle et al., 1974).

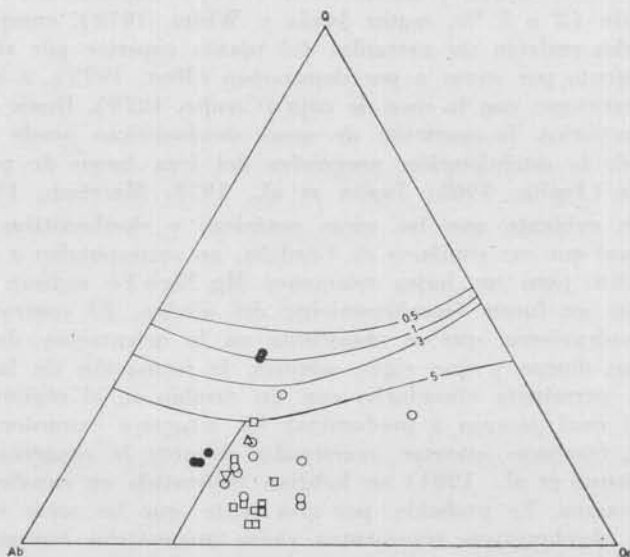


FIG. 14. — Diagrama Ab-Q-Or normativo para las vulcanitas de San Luis. Se señalan las líneas cotéticas correspondientes a 0.5, 1, 3 y 5 Kb. Simbología igual a figura 8.

La presencia de fenocristales de sanidina en la mayoría de las rocas (que pueden llegar al 30 %), cuya cristalización se inició con posterioridad a la de la plagioclasa, indica que el líquido original era rico en potasio y calcio (Carmichael, 1963) (Fig. 14). La presencia de cuarzo en algunas vulcanitas, ya sea como pequeños microfenocristales o bien acompañando al feldespato alcalino en las pastas, permite establecer que el líquido sólo alcanzó la curva cuarzo-feldespato en los estadios finales de su evolución.

Si bien la similitud de los caracteres petrográficos de las rocas permite suponer la existencia de vínculos genéticos entre ellas, el análisis geoquímico pone de manifiesto diferencias destacables.

Así, las dacitas anfibólicas de los Cerros del Rosario parecen provenir de un líquido de evolución independiente (Figs. 10 y 14) que originó rocas calcoalcalinas normales. La poca profundidad del plano de Benioff, que surge de los contenidos de K_2O , en una zona distante unos 1000 km de la fosa chilena, podría relacionarse con el desplazamiento horizontal de la placa oceánica por debajo del continente. (Stauder, 1973), que se habría iniciado en el Mioceno inferior a medio (Kay et al., 1985).

En La Carolina, Cañada Honda y Sierra del Morro, el aumento de K_2O se manifiesta en la aparición de sanidina y da lugar a rocas calcoalcalinas potásicas y shoshoníticas. Si bien no se dispone aún de suficientes datos analíticos que permitan soslayar las causas del enriquecimiento en potasio, es conocido que los líquidos con esta característica son considerados de origen profundo (Dickinson, 1968, 1975; Miyashiro, 1974; Marsh y Carmichael, 1974) e implican un bajo grado de fusión (2 a 5 %, según Jakés y White, 1972), aunque parte de los álcalos podrían ser extraídos del manto superior por el sistema de refinamiento por zonas o por depuración (Best, 1975), o bien provenir de reacciones con la roca de caja (Condie, 1979). Desde el punto de vista tectónico, la aparición de rocas shoshoníticas puede ser consecuencia de la estabilización progresiva del área luego de producida la orogenia (Joplin, 1965; Joplin et al., 1972; Morrison, 1980).

Parece evidente que las rocas potásicas y shoshoníticas de San Luis, al igual que sus similares de Córdoba, no corresponden a un magma primitivo, pues sus bajas relaciones $Mg/Mg+Fe$ indican que ha tenido lugar un fuerte fraccionamiento del olivino. El control estructural del vulcanismo, que se manifiesta en la orientación de la mayoría de los domos y que rigió, además, la formación de la caldera del Morro, permitiría vincularlas con un cambio en el régimen tectónico, en el cual pasaron a predominar los esfuerzos extensionales. De este modo, fracturas inversas, reactivadas durante la orogenia andina (Criado Roque et al., 1981) se habrían convertido en canales de acceso del magma. Es probable, por otra parte, que las rocas calcoalcalinas y las shoshoníticas representen ciclos magmáticos temporalmente próximos entre sí, como sucede en Córdoba, donde las calcoalcalinas potásicas son las más antiguas (7,5 Ma) y las shoshoníticas las más

jóvenes (5,3 Ma) (Gordillo y Linares, 1981). Es interesante mencionar que contemporáneamente con el vulcanismo de Córdoba se emplazaban en el arco magmático domos riolíticos calcoalcalinos (Fm. Vallecito, 5,9 Ma), cuyo magma se ha originado en niveles corticales profundos, luego de haberse producido el adelgazamiento astenosférico como consecuencia de la horizontalización de la placa (Kay et al., 1985).

CONCLUSIONES

Durante el Mioceno-Plioceno tuvo lugar en San Luis un vulcanismo calcoalcalino a shoshonítico, representado por traquitas, lacitas, andesitas, dacitas, shoshonitas y escasas riolitas. Las relaciones texturales de las rocas y sus características geoquímicas son consistentes con un magma muy pobre en magnesio y rico en agua, cuya cristalización fue afectada por descensos repetidos de presión.

El evento volcánico, a pesar de haberse desarrollado muy al Este del arco magmático, está relacionado con la subducción y con la horizontalización de la placa subductada. Las rocas calcoalcalinas normales de los Cerros del Rosario son un testimonio de ello. Las rocas potásicas y shoshoníticas, que podrían corresponder a un evento más joven, indican la existencia de un líquido enriquecido en potasio que se habría originado por bajo grado de fusión en niveles corticales profundos y cuyos canales de acceso habrían sido fracturas extensas reactivadas durante la orogenia andina. No se descartan fenómenos de contaminación cortical en la génesis de estas rocas.

En la caldera del Morro, los distintos productos shoshoníticos emitidos indican que la evolución comenzó con una etapa de cristalización profunda representada por anfíbol-plagioclasa-sanidina, y finalizó con la paragénesis clinopiroxeno-plagioclasa (sanidina en pastas). Esta sucesión podría indicar la existencia de una cámara magmática estratificada, cuyos productos más diferenciados fueron emitidos primero, o bien que la evolución del líquido se produjo a distintos niveles corticales, representando los productos finales un magma más básico y superficial, empobrecido en agua como consecuencia, probablemente, del desarrollo de la facies piroclástica previa.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución forma parte del trabajo de Tesis Doctoral de la autora, que fuera dirigido por el Dr. Mario Teruggi, a quien se agradece especialmente. Mi reconocimiento al Dr. Eduardo Llambías y al Lic Daniel Delpino, cuyas críticas al manuscrito permitieron mejorarlo sensiblemente. Se agradece también a la Arquitecta Adriana González por la ejecución del material gráfico.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEGRE, C., PROVOST, A. y JAUPART, C., 1981. Oscillatory zoning: a pathological case of crystal growth. *Nature* 294: 223-228.
- AVE LALLEMANT, G., 1875. Apuntes sobre la geocognosia de la Sierra de San Luis. *An. Acad. Nac. Cienc.* I: 103-140, Córdoba.
- 1888. Memoria descriptiva de la Provincia de San Luis, 166 pp.
- BAILEY, D. y MACDONALD, R., 1970. Petrochemical variations among mildly peralkaline (comendite) obsidians from the oceans and continents. *Contrib. Min. Petr.* 28: 340-351.
- BARKER, F., 1979. *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Elsevier: 1-288.
- BEST, M. G., 1975. Migration of hydrous fluids in the upper mantle and potassium variation in calc-alkaline rocks. *Geology* 3: 429-432.
- BOCKMANN, S., 1948. Estudio de los volcanes Terciarios de la Provincia de San Luis. *Tesis inédita*, U. N. Buenos Aires.
- BODENBENDER, G., 1899. Comunicaciones mineras y mineralógicas, II. *Bol. Acad. Nac. Cienc.* 16: 206-223, Córdoba.
- 1903. Comunicaciones mineras y mineralógicas: Onix mármol en las Provincias de San Luis y Mendoza. *Bol. Acad. Nac. Cienc.* 17: 359-364, Córdoba.
- BRACKEBUSCH, L., 1875. Informe sobre un viaje geológico hecho en el verano del año 1875 por las Sierras de San Luis y Córdoba. *Bol. Acad. Nac. Cienc.* 2: 167-216, Córdoba.
- BROGIONI, N., 1984. Petrología del vulcanismo Cenozoico de la Provincia de San Luis. *Tesis inédita*, U. N. La Plata.
- 1986. Geología del vulcanismo Cenozoico de la Provincia de San Luis (Argentina). *Rev. Geol. Chile* (en prensa).
- CARMICHAEL, I. S. S., 1963. The crystallization of feldspar in volcanic acid liquids. *Q. J. Geol. Soc. London* 119: 95-131.
- CONDIE, K., 1979. *Plate tectonics and crustal evolution*. Pergamon Press, 288 pp.
- CRIBADO ROQUE, P., MOMBURU, C. y RAMOS, V. A., 1981. Estructura e interpretación tectónica. En: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. 8º Congr. Geol. Argent. Relatorio: 155-192.
- DE MOUSSY, M., 1860. *Description géographique et statistique de la Confédération Argentine*, I, II y III, Paris.
- DICKINSON, W., 1968. Circum-Pacific andesite types. *J. Geophys. Res.* 73, (6): 2261-2269.
- 1975. Potash-depth (K-h) relations in continental margins and intra-oceanic magmatic arcs. *Geology* (2): 53-56.
- DOERING, A., 1882. Algunas observaciones sobre la edad geológica del sistema de la Sierra de Córdoba y San Luis. *Bol. Inst. Geogr. Argent.* III: 41-49.
- EGGLER, D., 1972. Water-saturated and undersaturated melting relations in a Paricutin andesite and an estimate of water content in the natural magma. *Contrib. Mineral. Petrol.* 34: 261-271.
- EGGLER, D. y BURHAM, C., 1973. Crystallization and fractionation trends in the system Andesite-H₂O-CO₂-O₂ at pressures to 10 Kb. *Geol. Soc. Am. Bull.* 84: 2517-2532.
- FYTIKAS, M., GIULIANI, O., INNOCENTI, F., MANETTI, P., MAZZUOLI, R., PECCERILLO, A. y VILLARI, L., 1980. Neogene volcanism of the Northern and Central Aegean region. *Ann. Géol. Pays Hell.* 30: 106-129.
- GERTH, H., 1914. Constitución geológica, geohidrología y minerales de aplicación de la Provincia de San Luis. *An. Min. Agr. Secc. Geol.* 10 (2): 1-64.
- GORDILLO, C. y LENCINAS, A., 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En: *Geología Regional Argentina* I: 577-650.
- GORDILLO, C. y LINARES, E., 1981. Geocronología y petrografía de las vulcanitas Terciarias del Departamento Pocho, Provincia de Córdoba. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* XXXVI (4): 380-388.

- HIECKE-MERLIN, O. y PICCOLI, G., 1961. Studi geologici e petrografici su un gruppo di vulcani della Sierra de Córdoba (Argentina). *Mem. Ist. Geol. Univ. Padova* 33, 59 pp.
- IRVINE, T. y BARAGAR, W., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* 8 (5): 523-548.
- JAKES, P. y WHITE, A., 1972. Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83: 29-40.
- JOPLIN, G., 1965. The problem of the potash-rich basaltic rocks. *Mineral. Mag.* 34 (268): 266-275.
- JOPLIN, G., KISS, E., WARE, N. y WIDDOWSON, J., 1972. Some chemical data on members of the shoshonite association. *Mineral. Mag.* 38: 936-945.
- KAY, S., MAKSAEV, V., MPODOZIS, C., MOSCOSO, R. y NASI, C. A., 1985. Evolución de las rocas ígneas del Terciario medio a superior en la Cordillera Principal de Chile (29°-31°S): Correlación con cambios en la geometría de la subducción. *Comunicaciones* 35: 113-118.
- KITTL, E., 1936. Estudio geológico en la Provincia de San Luis, especialmente sobre los volcanes Terciarios. *An. Mus. Argent. Cienc. Nat. B. Rivadavia* XXXVIII: 349-404.
- KOLIOS, N., INNOCENTI, F., MANETTI, P., PECCERILLO, A. y GIULIANI, O., 1980. The pliocene volcanism of the Voras Mts. (Central Macedonia, Greece). *Bull. Volcanol.* 43 (3): 553-568.
- LEAKE, B., 1978. Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.* 16, part. 4: 501-520.
- LE MAITRE, R., BELLINI, M., LE BAS, M., SCHMID, R., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., PICCIRILLO, E. y JUSTÍN-VISENT, E., 1983. A proposal for a definitive chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. IUGS, *Subcomisión de Sistemática de rocas ígneas, Circular* 36, *Contribución* n° 100.
- LÓPEZ RUIZ, J. y RODRÍGUEZ BADIOLA, E., 1980. La región volcánica neógena del sureste de España. *Est. Geol.* 36 (1-2): 5-63.
- LLAMBIAS, E. y BROGIONI, N., 1981. Magmatismo Mesozoico y Cenozoico. Geología de la Provincia de San Luis. 8º Congr. Geol. Arg., Relatorio: 101-115.
- MARSH, B. y CARMICHAEL, I., 1974. Benioff zone magmatism. *J. Geophys. Res.* 79 (8): 1196-1206.
- MIYASHIRO, A., 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.* 271: 321-355.
- MORRISON, G., 1980. Characteristic and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos* 13: 97-108.
- PASCUAL, R. y BONDESIO, P., 1981. Sedimentitas cenozoicas. En: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. 8º Congr. Geol. Argent. Relatorio: 117-153.
- PASTORE, F., 1915. Estudio geológico y petrográfico de la Sierra del Morro, Provincia de San Luis. *An. Min. Agr. Secc. Geol.* 11 (2): 1-45.
- PASTORE, F. y GONZÁLEZ, R., 1954. Descripción geológica de la Hoja 23g San Francisco, Provincia de San Luis. *Bol. Dir. Nac. Min.* 80: 1-62.
- PRINGLE, G., TREMBATH, L. y PAJARI, G., 1974. Crystallization history of a zoned plagioclase. *Mineral. Mag.* 39: 867-877.
- ROSSI, N., 1961. Petrografía de las rocas volcánicas de San Luis. *Serv. Min. Nac., Inf. inédito* n° 864.
- SOSIC, M., 1964. Descripción geológica de la Hoja 24h (Sierra del Morro), San Luis. *Dir. Nac. Geol. Min., Bol.* 95: 1-44.
- STAUDER, W., 1973. Mechanism and spatial distribution of Chilean earthquakes with relation to subduction of oceanic plate. *J. Geophys. Res.* 78 (23): 5033-5061.
- FERUGGI, M., 1980. *Clasificación de las rocas ígneas* según la Subcomisión de Sistemática de la Unión Internacional de Cs. Geológicas. Ed. Cientif. Arg., 34 pp.

- TUTTLE, M. y BOWEN, N., 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Geol. Soc. Am. Mem.* 74: 1-145.
- VALENTIN, J., 1896. Informe sobre una excursión efectuada a la Provincia de San Luis en los meses de septiembre y octubre de 1894. *Rev. Mus. La Plata* 7: 97-129.
- VANCE, J., 1962. Zoning in igneous plagioclase: normal and oscillatory zoning. *Am. J. Sci.* 260: 746-760.
- WILLIAMS, H., 1941. Calderas and their origin. *Univ. Calif. Berkeley Publ. Geol. Sci.* 25: 239-346.
- YRIGOYEN, M. R., 1981. Síntesis. En: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. 8º Congr. Geol. Argent. Relatorio: 7-32.

Manuscrito recibido el 17 de noviembre de 1986.

Manuscrito revisado recibido el 20 de febrero de 1987.