

Mezcla de magmas en Vulcanello (Isla Vulcano, Italia)

Magma mixing in Vulcanello (Vulcano Island, Italy)

A. Aparicio¹, G. Frazzetta²

RESUMEN

La actividad volcánica de Isla Vulcano comenzó aproximadamente hace 350.000 años y continúa hasta la actualidad con el desarrollo de tres grandes episodios correspondientes a las caldera de Piano, caldera de Fossa y a Vulcanello, que han emitido piroclastos y coladas de composiciones muy variadas, desde riolitas a traquibasaltos. Esta variedad litológica ha sido relacionada con procesos petrogenéticos tan diversos como cristalización fraccionada, asimilación simultánea con cristalización (ACF), mezcla de magmas, etc.

El episodio de Vulcanello emite rocas traquiandesíticas, con composiciones shoshoníticas y latíticas. Un proceso de mezcla de magmas es reconocido entre traquitas y shoshonitas para generar latitas. Traquitas y riolitas son producidas por procesos de cristalización fraccionada simple y por ACF con asimilación de rocas sedimentarias a partir de magmas traquiandesíticos.

Palabras clave: Shoshonitas, latitas, mezcla de magmas, Vulcano, Italia.

ABSTRACT

Volcanic activity in Vulcano starts about 350 ka ago and continues up to present day with the development of three main episodes corresponding to the calderas of Piano and La Fossa, and Vulcanello. These cover a compositional range from rhyolitic to trachybasaltic rocks. This lithological diversity is produced by different petrogenetic processes such as fractional crystallization, assimilation coupled to fractional crystallization (AFC), mixing, etc.

The eruption of Vulcanello area emitted trachyandesitic materials, including shoshonites and latites. A magma-mixing process is established between trachytes and shoshonites to generate latites. Trachytes and rhyolites are produced by fractional crystallization and by ACF processes (assimilation of sedimentary rocks) from trachyandesitic magmas.

Key words: Shoshonites, latites, magma mixing, Vulcano, Italia.

Introducción y marco geológico

La isla Vulcano es la más meridional del archipiélago volcánico de las Islas Eólicas, situadas al norte de Sicilia (fig. 1). Constituyen un arco volcánico con migración de la actividad volcánica desde el oeste (Cerdeña-Córcega) hasta el noroeste del mar Tirreno. Este arco se asienta sobre una corteza continental que transita a oceánica hacia el este (Beccaluva *et al.* 1985). En este esquema Milano *et al.* (1989), Ferrucci *et al.* (1991) sitúan

el Moho a 20 km de profundidad bajo Vulcano. Así, Ellan *et al.* (1988), Crisci *et al.* (1991), Francalanci *et al.* (1993), De Astis *et al.* (1997) asignan la secuencia de CA (calcoalcalina), HKCA (calcoalcalina con alto K), SHO (shoshonítica) y KS (serie potásica) a un proceso de subducción. Otros autores como Barberi *et al.* (1994) y Ventura (1994) localizan este volcanismo en un área de rift sobre estructuras tipo graben, con unas composiciones magmáticas variables desde calcoalcalinas a shoshoníticas.

¹ Departamento de Volcanología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid, España. Email: mcny144@mncn.csic.es

² Istituto Nazionale de Geofisica e Volcanologia. Sezione di Catania (INGV-Catania). Piazza Roma, 2. 95125 Catania (Italia).

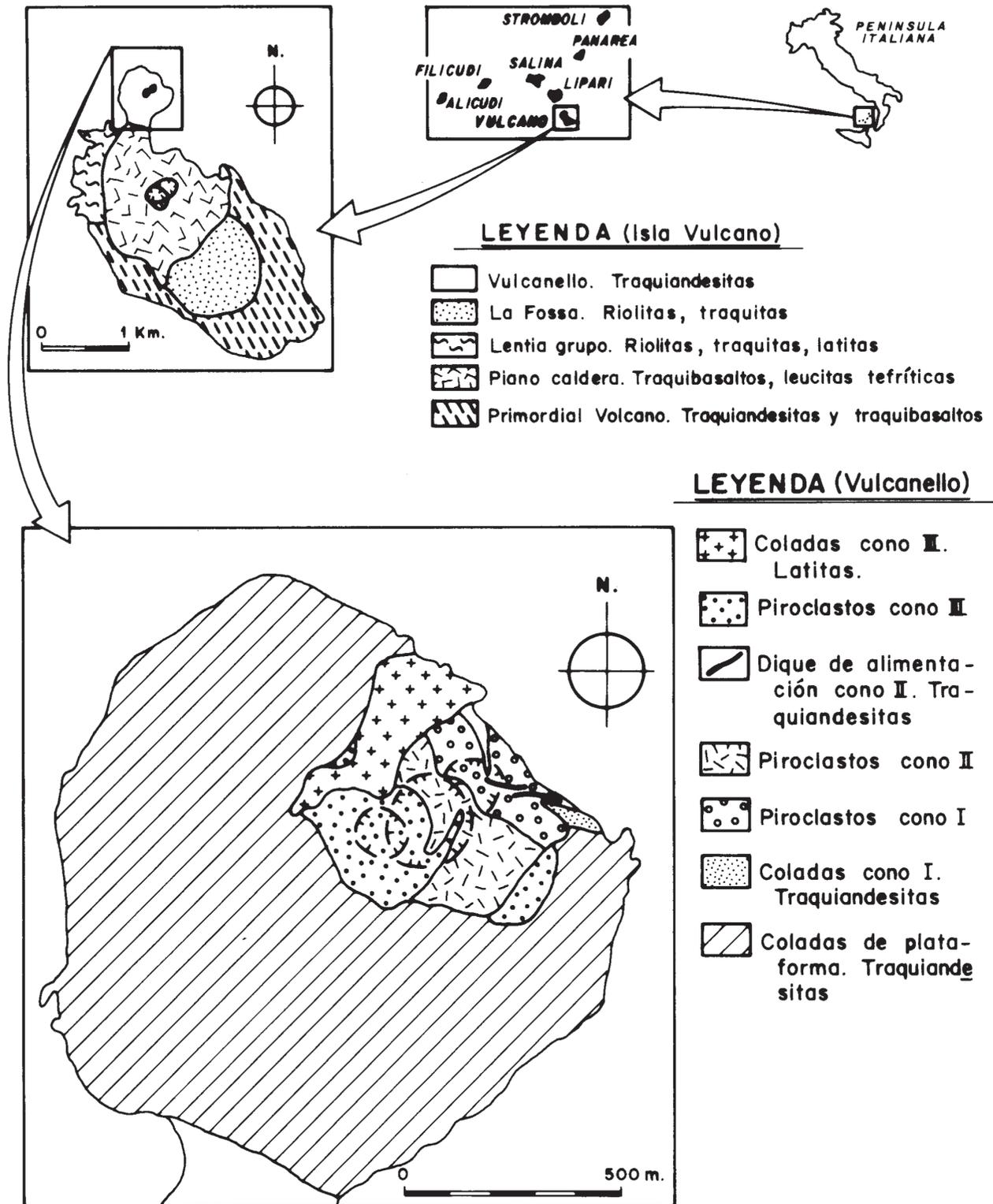


Fig. 1.—Esquema Geológico de Vulcanello (Isla Vulcano, Islas Eólicas, Italia). (Simplificado de Keller 1980).

En Vulcano, De Astis *et al.* (1997) encuentran una evolución desde series calcoalcalinas de alto K a shoshoníticas y potásicas. De forma general, todos los autores que han estudiado el volcanismo de esta isla (Keller 1980, Frazzetta *et al.* 1983, Clocchiatti *et al.* (1994), De Astis *et al.* (1997) establecen 5 episodios, el más antiguo de los cuales comenzó hace 120.000 años con erupciones de traquibasaltos-traquiandesitas (Volcán Primordial), seguido de un segundo episodio que lo constituyen los materiales de la Caldera de Piano con traquibasaltos y traquiandesitas. El tercer episodio es observable en el macizo de Lentia, datado entre 25.000 y 15.000 años y en el que afloran riolitas, traquitas y latitas. El cuarto ciclo está definido por el Volcán La Fossa, con materiales predominantes de riolitas y traquitas, y en el que tuvo lugar la última erupción de la isla (1888-1890 con emisión de bombas y materiales piroclásticos). El episodio de Vulcanello comienza en el siglo II A. de C. y continúa con erupciones históricas descritas, en los siglos VI y XVI D.C. (Keller, 1980).

En el área de Vulcanello se localizan tres conos y una plataforma lávica extensa. El más antiguo de estos conos está muy destruido por el mar, aunque la mayor parte de las coladas de la plataforma fueron generadas por salideros en conexión con su actividad. Es todavía observable el dique de alimentación de 1 metro de espesor y que contiene enclaves de rocas volcánicas (riolitas). En los piroclastos de este cono se encuentran también abundantes enclaves de traquita, riolitas y rocas sedimentarias (areniscas).

El cono intermedio está formado por piroclastos y no tuvo emisión de coladas, mientras que el cono tres emite coladas que en la zona de costa llegan a alcanzar los 15 metros de espesor visibles (Punta Roveto). Para De Astis *et al.* (2000) este episodio de Vulcanello está caracterizado por shoshonitas subsaturadas y escorias y lavas conteniendo leucita y más raramente traquitas, siendo la totalidad de las lavas emitidas de tipo traquiandesítico con enclaves traquíticos.

Quimismo de minerales y rocas

Materiales y métodos

Se realizó el estudio en base a un muestreo del conjunto de los materiales lávicos de la plataforma, del dique de alimentación, coladas de Punta Roveto (Cono 3) y de enclaves volcánicos (traquitas-riolitas) encontrados en el dique y piroclastos del cono 1. También se incluyeron en el estudio, a efec-

to comparativo, dos muestras de bombas de la erupción 1888-1890 del Volcán La Fossa.

El estudio petrográfico y mineralógico fue realizado por técnicas de microscopía óptica y difracción de rayos X (DRX) en los laboratorios del Museo Nacional de Ciencias Naturales, utilizando un difractómetro Philips semiautomático PW 1170 y los programas de identificación mineral de Carbonin & Menegazzo (1996). Los elementos mayores fueron determinados por Absorción Atómica con un equipo Perkin-Elmer 2380. Los elementos menores y traza se analizaron por ICP-MS en los ACME Analytical Laboratories (Vancouver, Canadá) de acuerdo con el método descrito en Govindaraju & Mevelle (1987). La composición de los minerales se hizo con una microsonda electrónica Jeol-Jxa-8900 con EPMA usando WDS a 15 Kv y 20 nA en el laboratorio de Microscopía de la Universidad Complutense de Madrid.

Minerales

La composición mineral de todas estas rocas es bastante homogénea, aunque varían las proporciones volumétricas. En las coladas y diques son abundantes los fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y opacos (más escasos), en una pasta hipovítrea con microlitos de plagioclasa y sanidina. En las coladas de Punta Roveto (cono 3) aumenta el contenido de feldespato potásico, al igual que en las traquitas (enclaves). En los enclaves riolíticos se encuentra cuarzo, plagioclasa, clinopiroxeno y biotita en pasta vítrea.

En todas las rocas estudiadas es observable la existencia de minerales con características de desequilibrio y mezcla: plagioclasas anubarradas, en casos corroídas y de aspecto elíptico-circular, bordes transformados y reaccionados, recrecimientos de sanidina, y piroxenos con bordes de reacción.

Los análisis químicos de estos minerales están reflejados en la tabla 1 y fueron hechos sobre clinopiroxenos, feldespatos, olivinos y opacos.

Los clinopiroxenos presentan pequeñas variaciones composicionales (fig. 2) entre términos diopsídicos y augíticos, observándose un aumento del contenido en Fs al aumentar el SiO₂ de la roca que los engloba, tanto si se trata de riolitas como de traquitas o traquiandesitas. Faraone *et al.* (1988) en clinopiroxenos pertenecientes a todos los episodios volcánicos, muestran unas composiciones similares, encontrando una relación de crecimiento de Si del clinopiroxeno al decrecer la relación SiO₂/Al₂O₃ en

Tabla 1.—Análisis químicos de minerales constituyentes de las rocas de Vulcanello

Olivino (fórmula en base a 4 oxígenos)									
Muestra	3318	3322	3324	3326-1	3326-2	3327	3328	3329	
SiO ₂	40,26	35,08	37,67	37,85	37,65	36,22	36,76	35,24	
FeO	11,99	27,33	24,51	26,19	25,68	28,00	26,17	26,91	
MnO	—	—	0,76	0,59	0,70	—	—	0,70	
MgO	46,96	37,32	36,83	37,37	36,61	39,96	36,57	38,28	
CaO	0,74	—	—	0,42	0,43	—	—	0,41	
Total	99,95	99,73	99,77	102,42	101,07	104,18	99,50	101,54	
Si	0,998	0,944	0,995	0,981	0,988	0,932	0,981	0,933	
Fe ⁺²	0,249	0,615	0,542	0,568	0,564	0,603	0,584	0,596	
Mn	—	—	0,017	0,013	0,016	—	—	0,016	
Mg	1,736	1,497	1,451	1,445	1,432	1,533	1,455	1,511	
Ca	0,020	—	—	0,012	0,012	—	—	0,012	
Fa	12,54	29,11	27,19	28,21	28,25	28,23	28,64	28,28	
Fo	87,45	70,88	72,80	71,78	71,74	71,76	71,35	71,71	

Magnetita (fórmula en base a 4 oxígenos)																	
Muestra	3315	3316	3317	3319	3320	3322	3324-1	3324-2	3324-3	3325-1	3325-2	3326-1	3326-2	3326-3	3327	3328	3329
SiO ₂	0,11	0,11	0,20	0,21	0,20	0,58	0,44	0,59	0,35	0,14	0,14	0,27	7,01	0,28	0,15	0,16	0,21
TiO ₂	8,57	6,90	7,33	6,38	4,21	5,80	7,96	7,18	8,73	14,71	7,94	8,41	6,64	7,76	8,02	8,24	7,77
Al ₂ O ₃	4,39	6,18	4,13	2,47	3,54	6,35	6,02	6,52	6,61	3,25	6,44	4,06	5,84	6,48	6,64	6,67	2,76
FeO	81,05	79,72	80,48	87,26	84,28	86,00	78,11	80,86	79,03	76,76	80,31	81,23	78,72	80,68	77,89	77,44	81,82
MnO	0,71	0,49	0,09	0,09	0,09	—	0,48	0,39	0,38	0,16	0,18	0,97	0,46	0,47	0,18	0,37	0,47
MgO	1,82	3,87	6,74	1,50	1,28	0,31	4,64	3,50	3,65	3,17	4,58	2,50	2,96	3,33	5,43	5,62	4,44
Total	96,65	97,27	98,97	98,51	93,60	99,04	97,65	99,04	98,75	98,19	99,59	97,44	101,63	99,00	98,31	98,50	97,47
Si	0,005	0,005	0,008	0,009	0,009	0,025	0,018	0,024	0,014	0,006	0,006	0,012	0,267	0,012	0,006	0,007	0,009
Ti	0,28	0,220	0,229	0,213	0,148	0,187	0,249	0,223	0,270	0,455	0,244	0,272	0,190	0,242	0,247	0,253	0,253
Al	0,225	0,309	0,202	0,129	0,195	0,320	0,295	0,318	0,320	0,158	0,311	0,206	0,262	0,316	0,321	0,321	0,141
Fe ⁺²	2,948	2,826	2,800	3,259	3,299	3,077	2,718	2,798	2,715	2,642	2,748	2,927	2,509	2,796	2,673	2,644	2,961
Mn	0,026	0,018	0,003	0,003	0,004	—	0,017	0,014	0,013	0,006	0,006	0,035	0,015	0,016	0,006	0,013	0,017
Mg	0,118	0,245	0,418	0,099	0,089	0,02	0,288	0,216	0,224	0,194	0,279	0,161	0,168	0,206	0,332	0,342	0,286

Feldespatos (fórmula en base a 8 oxígenos)																		
Muestra	3315-1	3315-2	3315-3	3316-1	3316-2	3317	3318	3319-1	3319-2	3319-3	3322	3323	3324	3325	3326	3327	3328	3329
SiO ₂	61,42	54,09	60,39	65,89	67,20	55,57	49,10	67,63	54,96	54,49	53,77	65,17	52,14	54,67	57,21	54,69	53,90	54,94
Al ₂ O ₃	20,52	29,01	19,55	19,83	19,26	27,69	30,60	18,14	28,50	26,96	28,57	24,13	29,18	28,31	27,45	27,42	28,94	29,33
CaO	1,02	8,62	1,57	0,78	0,92	10,33	10,95	1,79	11,53	13,88	12,09	9,43	11,36	10,25	10,63	10,73	11,31	11,17
Na ₂ O	8,15	6,76	7,03	5,22	4,47	4,87	4,30	5,59	4,89	5,02	3,97	6,29	4,33	4,79	4,55	4,48	4,70	4,48
K ₂ O	8,44	1,11	7,42	8,55	6,55	1,36	1,57	5,35	0,64	0,52	1,02	0,37	0,81	1,41	1,29	1,24	1,25	0,72
Total	99,95	99,59	95,96	100,27	98,40	99,82	96,52	98,50	100,52	100,87	99,42	105,39	97,82	99,43	101,13	98,56	100,10	100,64
Si	2,832	2,459	2,866	2,958	3,021	2,515	2,322	3,038	2,473	2,467	2,451	2,752	2,415	2,486	2,549	2,507	2,444	2,462
Al	1,115	1,554	1,093	1,049	1,021	1,477	1,705	0,960	1,511	1,438	1,535	1,201	1,593	1,517	1,441	1,482	1,547	1,549
Ca	0,050	0,420	0,080	0,038	0,044	0,501	0,555	0,086	0,556	0,673	0,59	0,427	0,564	0,499	0,507	0,527	0,549	0,536
Na	0,729	0,596	0,647	0,454	0,390	0,427	0,394	0,487	0,427	0,441	0,351	0,515	0,389	0,422	0,393	0,398	0,413	0,389
K	0,496	0,064	0,449	0,490	0,376	0,079	0,095	0,307	0,037	0,030	0,059	0,020	0,048	0,082	0,073	0,073	0,072	0,041
An	4,08	40,16	7,00	3,92	5,62	51,02	54,35	10,11	55,90	60,20	60,24	45,79	57,65	51,01	53,37	54,08	54,36	56,81
Ab	55,67	53,68	53,54	44,82	46,64	40,99	36,37	53,88	40,41	37,11	33,71	52,06	37,45	40,63	38,92	38,48	38,49	38,83
Or	40,24	6,15	39,45	51,25	47,72	7,98	9,26	36,00	3,68	2,67	6,04	2,13	4,89	8,34	7,70	7,42	7,14	4,34

Tabla 1.—Análisis químicos de minerales constituyentes de las rocas de Vulcanello (continuación)

Clinopiroxenos (fórmula en base a 6 oxígenos)														
Muestra	3315-1	3315-2	3315-3	3316	3317-1	3317-2	3318	3319-1	3319-2	3319-3	3319-4	3320-1	3320-2	3320-3
SiO ₂	51,75	51,62	49,96	50,00	51,09	51,55	51,84	52,27	52,31	51,31	53,40	49,49	50,34	51,75
TiO ₂	0,63	0,53	0,42	0,62	0,61	0,54	0,42	0,40	0,44	0,45	0,44	0,34	0,36	0,36
Al ₂ O ₃	3,75	3,67	2,76	3,65	3,56	3,61	2,63	3,11	3,06	2,99	2,95	2,69	3,39	2,17
FeO	9,06	9,07	7,73	8,96	7,56	7,56	8,42	7,38	8,74	9,20	8,91	4,64	8,59	8,94
MnO	0,25	0,24	0,24	0,15	—	—	—	—	—	—	—	0,10	0,21	0,19
MgO	14,04	14,28	14,94	13,41	16,11	16,84	14,13	14,63	14,24	16,52	15,64	17,03	16,54	16,06
CaO	19,88	20,11	21,43	20,85	25,78	21,49	22,06	20,17	19,72	21,04	21,48	22,38	20,86	19,58
Na ₂ O	0,43	0,48	0,33	0,28	0,530	0,49	0,46	0,43	0,53	—	—	0,44	0,35	0,39
Total	99,79	100,00	97,81	97,92	105,24	102,08	99,96	98,39	99,04	101,51	102,82	97,11	100,64	99,44
Si	1,922	1,916	1,901	1,903	1,826	1,872	1,930	1,952	1,951	1,884	1,925	1,879	1,865	1,931
Ti	0,018	0,015	0,012	0,018	0,016	0,015	0,012	0,011	0,012	0,012	0,012	0,010	0,010	0,010
Al ⁴	0,078	0,084	0,099	0,097	0,150	0,128	0,070	0,048	0,049	0,116	0,075	0,120	0,135	0,069
Al ⁶	0,086	0,077	0,025	0,067	—	0,027	0,045	0,089	0,086	0,013	0,050	—	0,013	0,026
Fe ⁺²	0,281	0,282	0,246	0,285	0,226	0,230	0,262	0,231	0,273	0,282	0,269	0,147	0,266	0,279
Mn	0,008	0,008	0,008	0,005	—	—	—	—	—	—	—	0,003	0,007	0,006
Mg	0,778	0,790	0,848	0,761	0,858	0,912	0,784	0,815	0,792	0,904	0,840	0,964	0,914	0,893
Ca	0,791	0,800	0,874	0,850	0,987	0,836	0,880	0,807	0,788	0,828	0,830	0,911	0,828	0,783
Na	0,031	0,035	0,024	0,021	0,037	0,035	0,033	0,031	0,038	—	—	0,032	0,025	0,028
Fs	15,55	15,42	12,85	15,25	12,24	11,62	13,60	12,46	14,73	14,00	13,87	7,40	13,54	14,53
En	41,87	42,02	42,91	40,03	46,50	46,10	40,70	43,98	42,74	44,88	43,32	47,60	45,35	45,53
Wo	42,57	42,55	44,23	44,71	53,49	42,26	45,69	43,55	42,52	41,11	42,80	44,98	41,09	39,92
Clinopiroxenos (fórmula en base a 6 oxígenos)														
Muestra	3321	3322	3323-1	3323-2	3324-1	3324-2	3325-1	3325-2	3326-1	3326-2	3327	3328	3329	
SiO ₂	54,34	50,03	52,75	60,20	50,73	50,30	50,78	49,57	50,55	49,04	49,76	52,22	49,68	
TiO ₂	0,071	0,54	0,15	—	0,59	0,49	0,70	0,64	0,61	0,61	0,64	0,82	0,69	
Al ₂ O ₃	0,58	3,78	1,49	0,42	3,56	4,04	3,87	3,57	4,60	3,49	3,60	3,42	4,60	
FeO	2,79	10,25	1,99	1,23	8,94	7,01	8,45	10,29	10,18	9,95	9,69	8,51	11,47	
MnO	—	—	—	—	0,22	0,08	—	—	0,14	0,17	—	—	0,23	
MgO	16,79	15,38	17,89	17,47	14,01	15,70	13,79	13,79	14,65	15,63	15,16	13,41	14,45	
CaO	24,49	20,60	25,36	22,75	21,19	21,92	22,57	21,67	19,30	20,86	20,35	20,07	18,27	
Na ₂ O	0,13	0,51	0,27	—	0,62	0,42	0,55	0,49	0,45	0,49	0,57	0,49	0,59	
Total	99,19	101,09	99,90	102,07	99,86	99,96	100,71	100,02	100,48	100,24	99,77	98,94	99,98	
Si	1,994	1,857	1,928	2,093	1,897	1,866	1,883	1,867	1,875	1,842	1,867	1,948	1,863	
Ti	0,002	0,015	0,004	—	0,017	0,014	0,020	0,018	0,017	0,017	0,018	0,023	0,919	
Al ⁴	0,006	0,143	0,064	0,007	0,103	0,134	0,117	0,133	0,125	0,154	0,133	0,052	0,137	
Al ⁶	0,019	0,022	—	0,010	0,054	0,043	0,052	0,026	0,076	—	0,026	0,098	0,066	
Fe ⁺²	0,086	0,318	0,061	0,036	0,280	0,218	0,262	0,324	0,316	0,313	0,304	0,266	0,360	
Mn	—	—	—	—	0,007	0,003	—	—	0,004	0,005	—	—	0,007	
Mg	0,918	0,851	0,975	0,905	0,781	0,868	0,762	0,774	0,810	0,875	0,848	0,746	0,808	
Ca	0,963	0,819	0,993	0,847	0,849	0,871	0,897	0,875	0,767	0,839	0,818	0,802	0,734	
Na	0,009	0,037	0,019	—	0,045	0,030	0,040	0,036	0,032	0,036	0,041	0,035	0,043	
Fs	4,37	15,99	33,00	2,01	14,97	11,27	13,63	16,42	16,86	15,64	15,43	14,66	19,22	
En	46,67	42,80	48,05	50,61	40,74	44,28	39,66	39,22	42,69	43,06	43,04	41,12	42,32	
Wo	48,95	41,19	48,94	47,37	44,28	44,43	46,69	44,34	40,43	41,28	41,52	44,21	38,44	
3315	Traquita-Bomba. Volcán Fossa. Erupción 1888-1890.	3324	Shoshonita. Colada Cono 1. Vulcanello.											
3316	Traquita-Bomba. Volcán Fossa. Erupción 1888-1890.	3325	Latita. Colada Punta Roveto. Vulcanello.											
3317	Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.	3326	Latita. Colada Punta Roveto. Vulcanello.											
3318	Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.	3327	Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.											
3319	Traquita. Enclave en piroclastos cono 1. Vulcanello.	3328	Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.											
3320	Traquita. Enclave en piroclastos cono 1. Vulcanello.	3329	Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.											
3321	Riolita. En piroclastos cono 1. Vulcanello.													
3322	Shoshonita. Dique alimentación cono 1. Vulcanello.													
3323	Riolita. Enclave en dique alimentación cono 1. Vulcanello.													

Analista: J.M. Peña.

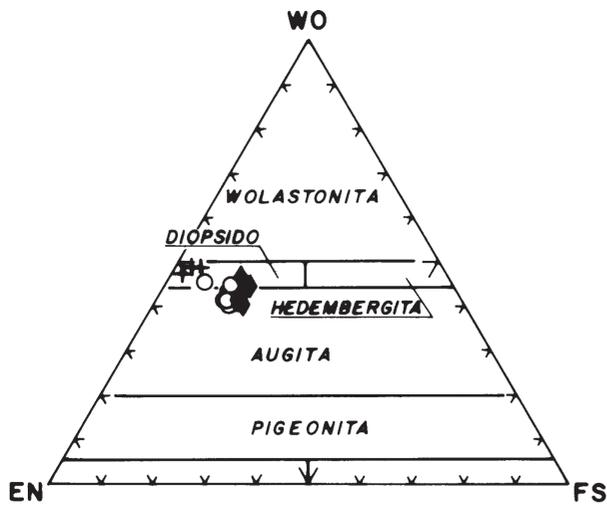


Fig. 2.—Triángulo composicional En-Wo-Fs para clinopiroxenos de Vulcanello: Rioltas +, Traquitas O, Shoshonitas ◊, Latitas ◆.

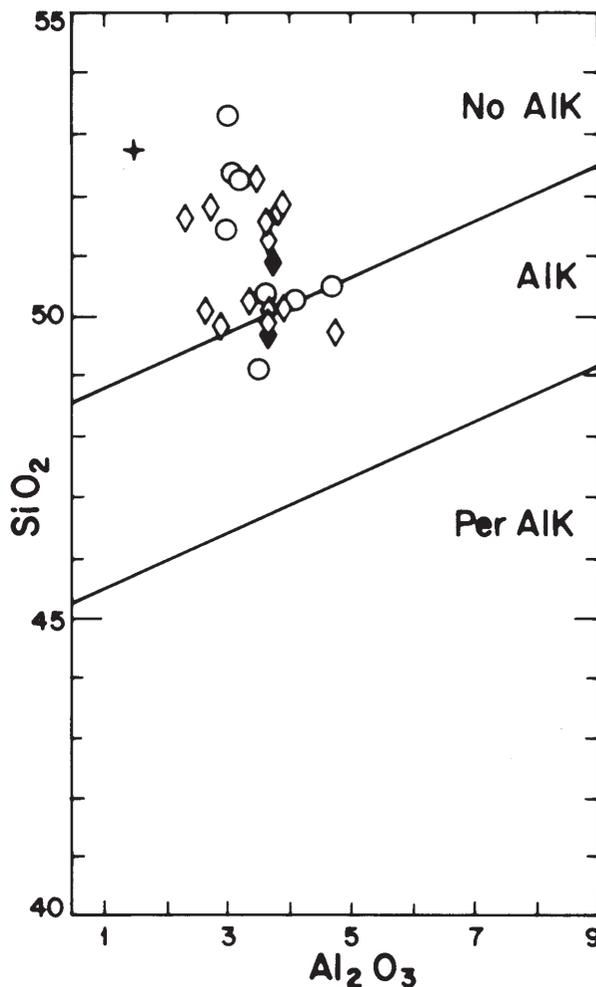


Fig. 3.—Diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ de Le Bas (1962) para clinopiroxenos. Simbología como en la figura 2.

el fundido. Castellet y Ballarà *et al.* (1982) dan variaciones similares a las de Faraone *et al.* (1988), aunque en los tipos más ácidos de rocas determinan pigeonitas. En el diagrama $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ para clinopiroxenos de Le Bas (1962) (fig. 3), se proyectan mayoritariamente en el campo no-alcalino con una pequeña dispersión hacia el alcalino. Clochiatti *et al.* (1994), también hacen una valoración de la composición de los clinopiroxenos de las vulcanitas de la isla y encuentra variaciones similares en términos diopsídicos y augíticos, con una ligera tendencia a aumentar el contenido en ferrosilita.

Los análisis de feldespatos fueron igualmente realizados sobre los mismos tipos litológicos (riolitas, traquitas, traquiandesitas). Sobre el triángulo Or-Ab-An (fig. 4) se proyectan en el campo de la sanidina y de plagioclasa. La sanidina muestra variaciones en los contenidos de Na y K, pero todos los ejemplares fueron localizados en traquitas, por lo que no es posible establecer otras relaciones. Las plagioclasas son mayoritariamente labradorita, tanto en traquitas como traquiandesitas. En riolitas el único ejemplar de plagioclasa medido es andesina.

El olivino se analizó en las traquiandesitas, mostrando una variación composicional de Fo_{70-72} , mientras Clochiatti *et al.* (1994), encuentra, para olivinos de toda la isla contenidos de Fo_{57-70} y Castellet y Ballarà *et al.* (1982) entre Fo_{53-71} .

Los análisis sobre minerales opacos (excepto riolitas) corresponden a magnetita en su totalidad y las variaciones de $\text{FeO}_{\text{total}}$ fluctúan entre 76 y 87%.

Rocas

La secuencia encontrada en Vulcanello, corresponde a traquiandesitas más o menos ácidas y traquitas-riolitas en los enclaves (fig. 5 y tabla 2). Los términos de traquiandesitas más bajas en SiO_2 pertenecen al cono 1 y al material lávico de la plataforma, y son clasificables como shoshonitas mientras que los términos del cono 3 son más ricos en SiO_2 y se clasifican como latitas, no se encuentran rocas intermedias. Las traquitas que se hallan entre los enclaves presentes en los piroclastos se proyectan en el mismo espacio que las traquitas analizadas como bombas de la erupción de La Fossa (1888-1890).

Los enclaves de riolitas son ricos en SiO_2 , en comparación con otras riolitas de la isla (De Astis *et al.* 1997), incluso con las que Clochiatti *et al.* (1994) denomina riolitas de alto SiO_2 pertenecientes a la erupción de 1888-1890.

Sobre el diagrama $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ de Irvine & Baragar (1971) (fig. 6) las rocas de Vulcanello, muestran una tendencia shoshonítica, salvo los enclaves riolíticos que son de bajo contenido en K_2O .

Una tendencia lineal es observada en los diagramas MgO -elementos (fig. 7) con extremos determinados por las shoshonitas y traquitas, mientras que las latitas ocupan una posición intermedia. Las riolitas se apartan de esta tendencia.

Los diagramas Rb-Ni , Rb-Ni/Rb y Rb-Sr (fig. 8) muestran la misma variación lineal, con las latitas ocupando posiciones intermedias.

Discusión

En conjunto, los datos texturales y geoquímicos de las rocas de Vulcanello se pueden interpretar a partir de un proceso de mezcla que se efectúa entre un magma traquítico, y un magma shoshonítico que genera rocas de tipo latítico.

La existencia de procesos de mezcla es de hecho una referencia constante para explicar la variabilidad magmática de la isla Vulcano. En la erupción de 1888-1890 Clochiatti *et al.* (1994) concluyen que las traquitas son el resultado de un proceso de mezcla de latitas y traquiandesitas, mientras que las riolitas son el resultado de CF a partir de latitas con asimilación cortical. De Astis *et al.* (1997, 2000) también proponen mezclas de magmas máficos y sálicos junto a CF para explicar los primeros episodios magmáticos y de mezcla, CF, y asimilación cortical para los últimos estadios. Frazzetta *et al.* (1983) en el volcán La Fossa exponen la existencia de mezcla entre riolitas y otros términos más básicos indicando la posibilidad de que las rocas traquíticas de este volcán puedan proceder de una mezcla, aunque para las riolitas no encuentra evidencias texturales de mezcla. Asimismo, De Fino *et al.* (1991) sugieren que magmas híbridos de carácter «traqui-riolítico», que aparecen en La Fossa tras la extrusión de las rocas traquíticas de la erupción de 1888-1890, resultan de la mezcla de términos traquíticos y riolíticos. Peccerillo *et al.* (2006) indican secuencias magmáticas en Vulcano con procesos de FC, ACF y mezcla. Para Giancada *et al.* (1998) basaltos por diferenciación generan shoshonitas y latitas, siendo un fenómeno frecuente la mezcla de magmas con procesos de asimilación cortical.

En el área de Vulcanello los cálculos de balance de masas con el programa IGPETWIN (Carr, 1994) arroja buenos resultados para obtener latitas de una

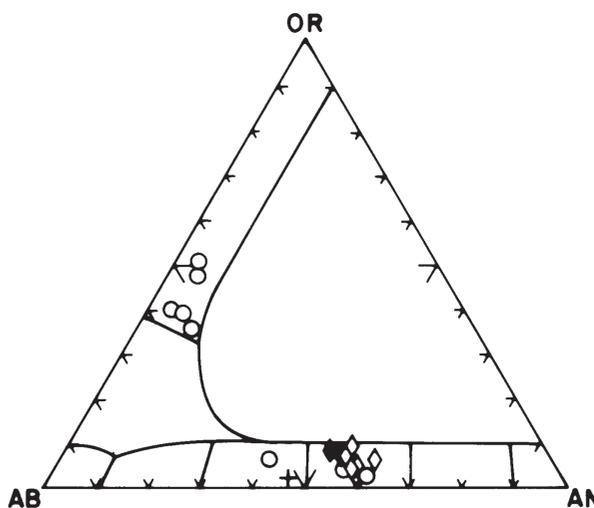


Fig. 4.—Triángulo composicional Ab-Or-An de feldespatos en Vulcanello.

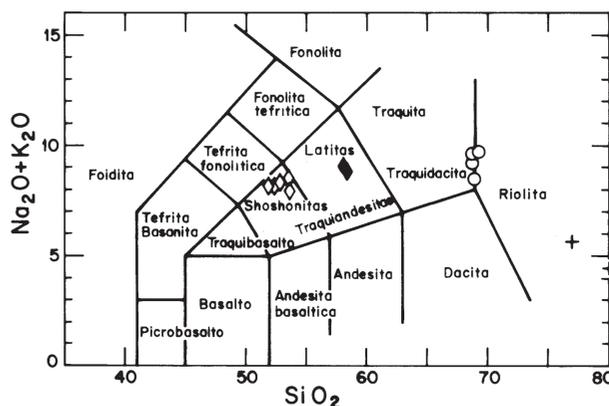


Fig. 5.—Clasificación TAS de Le Maitre (1984) para las rocas volcánicas de Vulcanello (lavas y enclaves).

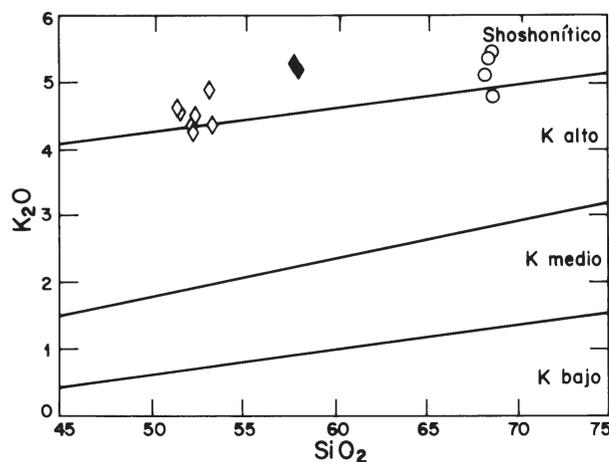


Fig. 6.—Diagrama $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ de Irvine & Baragar (1971) mostrando el carácter shoshonítico de las rocas de Vulcanello.

Tabla 2.—Análisis químicos de lavas y enclaves de Vulcanello

Muestra	3315	3316	3317	3318	3319	3320	3321	3322	3323	3324	3325	3326	3327	3328	3329
SiO ₂	68,40	68,23	53,04	53,20	68,5	68,06	77,08	51,50	80,00	51,33	57,85	57,62	52,25	52,05	52,15
TiO ₂	0,21	0,19	0,62	0,64	0,28	0,18	0,32	0,67	0,24	0,68	0,52	0,50	0,64	0,64	0,59
Al ₂ O ₃	14,98	15,21	16,35	16,27	14,83	15,36	10,98	16,01	9,20	15,97	16,12	16,27	16,37	16,41	17,13
Fe ₂ O ₃	0,49	0,65	3,75	3,29	0,39	2,41	0,13	4,46	0,26	5,33	2,74	2,95	3,50	3,42	2,14
FeO	1,71	2,26	4,15	4,63	2,36	0,86	0,51	3,92	0,52	3,15	3,45	3,47	4,49	4,73	4,90
MnO	0,07	0,09	0,17	0,17	0,09	0,05	0,01	0,17	0,02	0,17	0,14	0,14	0,17	0,16	0,16
MgO	0,89	0,73	4,54	4,69	1,27	0,87	0,96	4,90	0,64	4,85	3,06	2,97	4,54	4,60	4,50
CaO	2,32	2,39	8,06	8,24	3,22	2,20	2,85	8,96	3,04	8,68	5,86	5,79	8,18	8,48	8,14
Na ₂ O	4,12	4,17	3,56	3,57	3,65	4,00	3,39	3,51	2,21	3,33	3,58	3,69	3,59	3,66	3,90
K ₂ O	5,45	5,36	4,88	4,36	4,79	5,12	2,44	4,53	2,34	4,59	5,17	5,27	4,48	4,33	4,25
P ₂ O ₅	0,15	0,16	0,51	0,50	0,14	0,07	0,08	1,07	0,62	1,06	0,94	0,99	1,10	1,09	1,10
H ₂ O+	1,32	0,38	0,03	0,31	0,19	0,64	1,01	0,15	0,46	0,60	0,15	0,03	0,31	0,31	0,70
Total	100,11	99,82	99,66	99,87	99,71	99,82	99,76	99,85	99,55	99,74	99,58	99,69	99,62	99,88	99,66
Rb	250	248	119	116	232	236	79	108	80	114	161	151	118	118	113
Ba	491	476	945	976	408	418	404	919	474	935	790	805	937	957	959
Pb	65	79	38	34	81	74	54	23	21	34	30	10	36	39	37
Sr	480	507	1.249	1.310	536	651	1.513	1.245	1.092	1.266	1.022	1.052	1.259	1.250	1.282
Y	30	30	27	27	30	29	26	27	26	27	28	28	27	27	27
Th	29	1	3	4	24	32	21	1	19	3	10	11	3	4	2
Zn	38	54	49	52	44	0	5	45	0	54	52	39	53	56	55
Cu	40	47	174	155	70	86	66	165	106	85	136	145	169	165	184
Ni	5	3	15	19	6	8	12	18	15	24	11	10	16	18	17
Cr	3	17	18	0	5	5	14	16	5	14	10	9	18	16	14
Ga	1	0	0	0	19	0	10	0	0	0	7	0	0	2	5
Zr	298	280	202	201	214	234	221	195	166	194	230	236	200	198	201
An	15,00	16,00	40,00	39,00	24,00	21,00	21,00	42,00	31,00	40,00	29,00	28,00	38,00	40,00	41,00
q	17,47	16,95	0,00	0,00	19,95	19,73	41,88	0,00	52,89	0,00	3,41	2,57	0,00	0,00	0,00
or	32,21	31,68	28,84	25,77	28,31	30,26	14,42	26,77	13,83	27,13	30,55	31,14	26,48	25,59	25,12
ab	34,86	35,29	21,38	24,20	30,89	33,85	28,69	20,46	18,70	22,31	30,29	31,22	24,52	23,54	23,83
an	6,29	6,96	14,22	15,49	9,94	8,84	7,54	14,55	8,27	15,07	12,65	12,27	15,32	15,56	16,68
ne	0,00	0,00	4,74	3,26	0,00	0,00	0,00	5,01	0,00	3,18	0,00	0,00	3,18	4,02	4,97
di	3,53	3,26	17,98	17,84	4,26	1,26	4,80	18,21	2,20	16,48	8,31	8,07	14,55	15,65	13,43
hy	2,98	3,63	0,00	0,00	4,76	1,58	0,45	0,00	0,93	0,00	7,08	6,87	0,00	0,00	0,00
ol	0,00	0,00	4,68	5,87	0,00	0,00	0,00	4,48	0,00	3,50	0,00	0,00	6,43	6,51	8,16
mt	0,71	0,94	5,44	4,77	0,57	2,41	0,19	6,47	0,38	7,73	3,97	4,28	5,07	4,96	3,10
il	0,40	0,36	1,18	1,22	0,53	0,34	0,61	1,27	0,46	1,29	0,99	0,95	1,22	1,22	1,12
hem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ap	0,35	0,37	1,18	1,16	0,32	0,16	0,19	2,48	1,44	2,46	2,18	2,29	2,55	2,53	2,55
SUMA	98,79	99,44	99,63	99,56	99,52	99,18	98,75	99,70	99,09	99,14	99,43	99,66	99,31	99,57	98,96
I.D.	84,54	83,92	54,96	53,22	79,14	83,84	84,98	52,24	85,42	52,62	64,26	64,94	54,17	53,16	53,91

3315 Traquita. Bomba. Volcán Fossa. Erupción 1888-1890.
 3316 Traquita Bomba. Volcán Fossa. Erupción 1888-1890.
 3317 Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.
 3318 Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.
 3319 Traquita. Enclave en piroclastos Cono 1. Vulcanello.
 3320 Traquita. Enclave en piroclastos Cono 1. Vulcanello.
 3321 Riolita. Enclave en piroclastos Cono 1. Vulcanello.
 3329 Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.

3322 Shoshonita. Dique alimentación Cono 1. Vulcanello.
 3323 Riolita. Enclave en dique alimentación Cono 1. Vulcanello.
 3324 Shoshonita. Colada Cono 1. Vulcanello.
 3325 Latita. Colada Pta Roveto. Vulcanello.
 3326 Latita. Colada Pta Roveto. Vulcanello.
 3327 Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.
 3328 Shoshonita. Colada Plataforma. Vulcanello.
 Analistas: M.I. Ruiz y M.Vallejo.

mezcla de shoshonitas y traquitas (tabla 3). Con combinaciones de diferentes muestras de estas últimas rocas, se obtienen residuales que muestran una alta posibilidad de que se haya producido este proceso. Por el contrario, no se obtuvieron buenos resultados para obtener latitas a partir de shoshoni-

tas por CF, ni tampoco para mezclas del tipo riolita-latita o riolita-shoshonita para obtener traquitas.

En todo este proceso de evolución magmática, al menos para el episodio de Vulcanello, las riolitas quedarían al margen de cualquier proceso de mezcla, mientras que en otros afloramientos de la isla

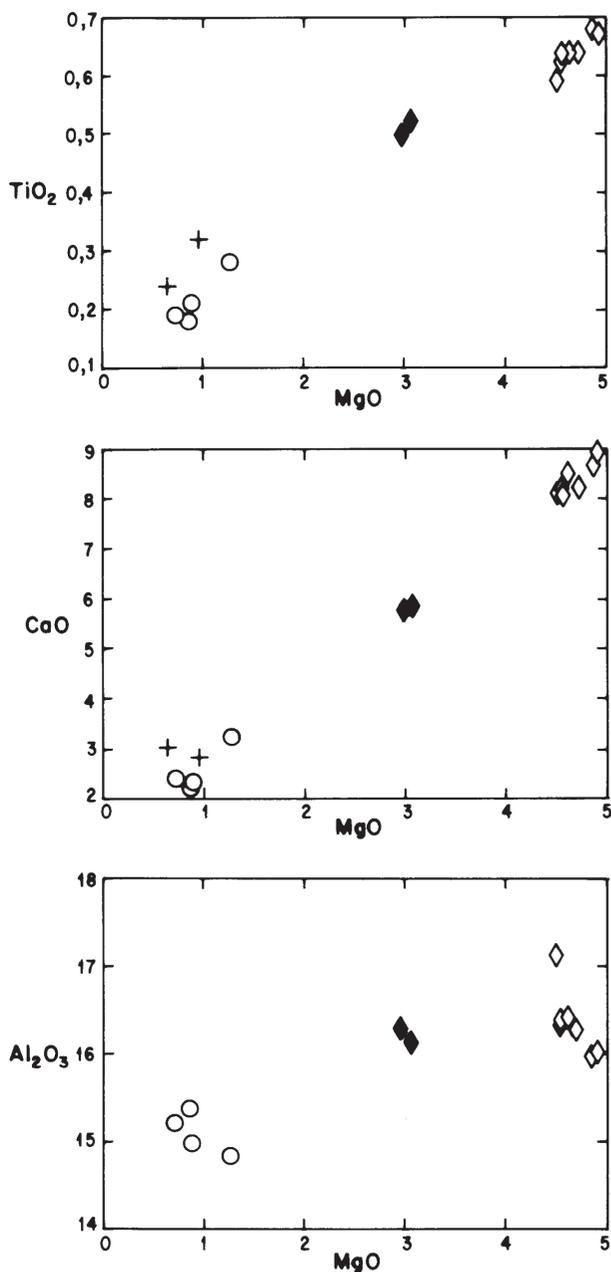


Fig. 7.—Diagramas binarios de elementos mayores frente a MgO representativos de la tendencia lineal para las rocas de Vulcanello.

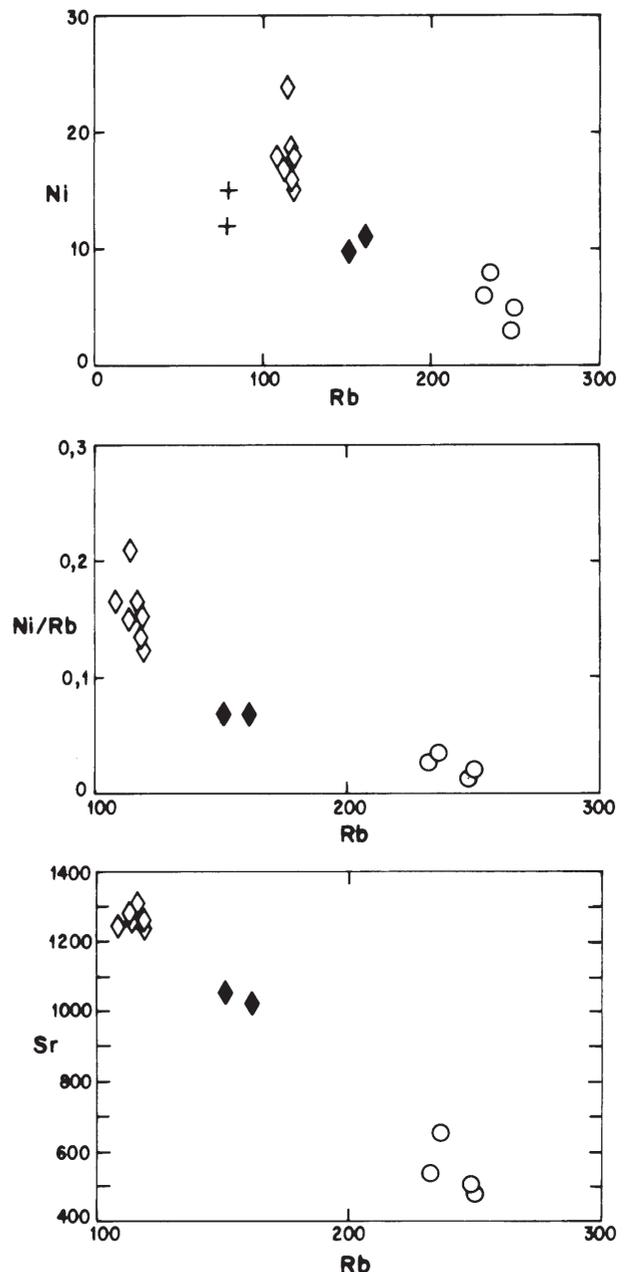


Fig. 8.—Diagramas binarios Ni-Rb, Ni/Rb-Rb y Sr-Rb, representativos de la tendencia lineal en elementos menores para las rocas de Vulcanello.

habrían sido generadas por ACF a partir de otros magmas más máficos (latitas) y contaminación cortical por asimilación de rocas pelíticas (Ellam *et al.* 1988, Ellam & Harmon, 1990, Clochiatti *et al.* 1994, De Astis *et al.* 1997).

El proceso de ACF para las riolitas de Vulcano es extensible a las riolitas (enclaves) de Vulcanello.

Cálculos de CF por balance de masa entre diferentes muestras de traquita (padre) y riolita (hija), considerando la composición de los minerales analizados en estas rocas como fases fraccionadas, dieron buenos resultados para los enclaves de Vulcanello (tabla 4). En todos los casos el cálculo mediante IGPETWIN sugiere que se trataría de un proceso de

Tabla 3.—Cálculo de balance de masas entre shoshonitas y traquitas para obtención de latitas por mezcla de magmas

Padre 1 (Traquita)	Padre 2 (Shoshonita)	Híbrido (Latita)	Suma cuadros residuales
3318	3315	3325	0,841
3319	3322	3325	1,045
3316	3320	3326	0,750
3328	3320	3325	0,454
3316	3320	3325	0,809

Tabla 4.—Cálculos de balance de masas para obtención de riolitas a partir de traquitas

Padre (Traquita)	Hija (Riolita)	Suma cuadros residuales
3319	3323	0,811
3319	3321	1,204

* Minerales utilizados: Magnetita (3319), feldspatos 3319-1 y 3319-2, y piroxeno 3319-2. Con estos parámetros, IGPETWIN sugiere un proceso de contaminación cortical por ACF.

cristalización fraccionada acompañado de asimilación (ACF), lo que resulta bastante razonable teniendo en cuenta que las riolitas se pueden originar en este sentido, aunque acompañadas de una contaminación cortical que debe ser algo más elevada que en las riolitas del resto de la isla, dado que los enclaves riolíticos de Vulcanello presentan el mayor contenido en SiO₂ (80%) de todas las riolitas aflorantes en la isla de Vulcano. Esta fuerte contaminación en SiO₂ podría estar relacionada con la masiva presencia de enclaves de cuarcita que Clochiatti *et al.* (1994) citan en el área del Volcán la Fossa y que en Vulcanello se encuentran también. Frezzotti *et al.* (2004) hablan de contaminación cortical a partir de fundidos silíceos producidos por la anatexis de rocas metamórficas, como neises y esquistos, que dejan un residuo silíceo.

En este esquema petrogenético, el magma más primitivo estaría representado por el conjunto shoshonítico presente fundamentalmente en el primer episodio volcánico de la isla (Grupo Primordial) y en el episodio último de Vulcanello. A partir de este magma, se generarían por mezcla con traquitas, rocas latíticas, y por ACF riolitas. Este esquema de magma único diferenciado, de composición basáltica, es desarrollado por Castellet y Ballarà *et al.* (1982) que citan la existencia de tefritas leucíticas (según la clasificación QAPF de Streckeisen, 1967) a las que hacen derivar de un magma basáltico que evoluciona a traquitas y rio-

litas. Sin embargo, De Astis *et al.* (1997) establecen dos fuentes magmáticas diferentes a partir del manto (manto litosférico y manto astenosférico) para generar las variaciones magmáticas que encuentra. Las condiciones en las que pueden ocurrir las mezclas y contaminación no están determinadas. Clochiatti *et al.* (1994) dan una temperatura de 1.050 a 1.100°C para las latitas-traquitas y de 1.000 a 1.030°C para las riolitas, basándose en determinaciones sobre inclusiones fluidas, y sitúan una cámara superficial a 2,5 km con P de 60-80 MPa. Estos mismos autores explican que estas condiciones y profundidad estarían de acuerdo con la fusión parcial de cuarcitas. Por otro lado, Faraone *et al.* (1988) en determinaciones sobre clinopiroxenos dan una temperatura máxima de 1.176°C y mínima de 550°C (en diques y condiciones de enfriamiento lento).

Medidas de temperatura obtenidas en este trabajo usando la calibración de Loucks (1996) para rocas con olivino y clinopiroxeno (traquiandesitas), dan valores de 1.170°C y mínimos de 832°C. Castellet y Ballarà *et al.* (1982) estiman para los traquibasaltos y traquiandesitas condiciones de formación de 7-4 Kb y 1.260°C -1.150°C.

El análisis global del vulcanismo de la isla sugiere que las shoshonitas, tanto de Vulcanello como de otros episodios de la isla, constituyen el magma más primitivo encontrado y que las temperaturas más altas obtenidas corresponden a estos magmas.

Tendríamos, pues, un esquema en el que a lo largo de todo el período de tiempo que representan las erupciones de la isla de Vulcano (entre 120.000 AC y la actualidad) estuvo en funcionamiento una cámara magmática en donde procesos de CF y ACF dieron origen a los magmas traquíticos y riolíticos

En el episodio de La Fossa (1889-1890) Frazzetta *et al.* (1983) indican la posibilidad de una cámara única estratificada o dos cámaras diferentes, con magmas riolíticos y traquíticos cuya mezcla origina productos híbridos traquítico-riolíticos como ocurre con las bombas «breadcrust». Posteriormente, De Fino *et al.* (1991) explican la existencia de una sola cámara magmática estratificada en la que la salida del magma traquítico de forma rápida arrastraría el magma riolítico dando igualmente origen a bombas traquítico-riolíticas. Ambos autores consideran que la cámara o cámaras se encuentran en una posición muy próxima a la superficie.

En el episodio de Vulcanello procesos de mezcla entre magmas traquiandesíticos y silíceos podría ser la explicación para la presencia de latitas. La existencia de términos riolíticos con un contenido en sílice más alto que en riolitas de otros episodios se interpreta como una contaminación a partir de rocas sedimentarias cuarcíticas.

Sin embargo, la localización de este magma traquiandesítico pudiera ser algo más profunda, de acuerdo con Vetere *et al.* (2007), que sitúan la cámara magmática a 20 km de profundidad. Estudios de viscosidad han permitido a estos autores deducir que el ascenso del magma desde esta profundidad hasta la superficie se produciría muy rápidamente (en unas pocas horas). En ese ascenso la mezcla con magmas silíceos, cuya cámara se situaría por encima, puede explicar la existencia de composiciones latíticas en Vulcanello. A su vez, estos magmas silíceos (traquíuticos) más superficiales experimentarían una contaminación con sedimentos cuarcíticos originando riolitas con los más altos porcentajes de SiO₂ de Vulcano (80%), mientras que los mayores contenidos de SiO₂ en las erupciones de la Fossa no superan el 75% (De Fino *et al.* 1991).

Conclusiones

En el episodio de Vulcanello erupcionaron magmas shoshoníticos y latíticos. Asociados a ellos se encuentran enclaves de traquitas, riolitas y rocas sedimentarias (areniscas-cuarcitas).

Un proceso de mezcla de magmas es establecido entre magmas shoshoníticos y traquíuticos para originar latitas.

Se atribuye a un proceso ACF el origen de las riolitas (enclaves) enriquecidas en sílice, a partir de un magma traquíutico, contaminado por rocas sedimentarias (areniscas).

Los enclaves traquíuticos de Vulcanello resultan composicionalmente similares a las bombas traquíuticas de la erupción 1888-1890 del Volcán de La Fossa.

El magma shoshonítico de Vulcanello representa, junto a las shoshonitas de otras series volcánicas de la isla, el magma más primitivo, a partir del cual, por CF y ACF, se han originado los magmas traquíutico y riolítico.

AGRADECIMIENTOS

A M.C. Sendra, A. Vilorio, M. Castillejo, R. García, J. Elvira por su inestimable ayuda en la realización de este trabajo. Al

profesor F. Barberi (Universidad de Pisa) y al personal del Instituto Internacional de Volcanología (Catania) por su ayuda en los trabajos de campo. Una ayuda a la investigación CSIC-CNR financió parte de la investigación.

Referencias

- Barberi, F.; Gandino, A.; Gioncada, A.; La Torre, P.; Sbrana, A. & Zenucchini, C. (1994). The deep structure of the Eolian arc (Filicudi-Panarea-Vulcano sector) in light of gravity, magnetic and volcanological data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 61: 189-206. doi:10.1016/0377-0273(94)90003-5
- Beccaluva, L.; Gabbianelli, G.; Lucchini, F.; Rossi, P.L. & Savelli, C. (1985). Petrology and K/Ar ages of volcanic dredged from the Eolian seamounts: implications for geodynamic evolution of the southern Tyrrhenian sea. *Earth and Planetary Science Letters*, 74: 187-208. doi:10.1016/0012-821X(85)90021-4
- Carbonin, S. & Menegazzo, G. (1996). Teaching application of an X-ray powder diffraction data card file: XRD profile simulation and hanawalt index tabulation. *Computers and Geosciences*, 22: 935-942. doi:10.1016/S0098-3004(96)00048-9
- Carr, M.J. (1994). *IGPETWIN: Igpert for Windows petrology software*. Somerset, Terra Softa Inc.
- Castellet y Ballarà, G.; Crescenzi, R.; Pompili, A. & Trigila, R. (1982). A petrological model on magma evolution of Vulcano eruptive complex (Aeolian Islands-Italy). In: *The Comparative Study of the Planets* (Coradini, A. & Fulchignoni, M., eds.). NATO Advanced Study Institutes Series, D. Dordrecht, Reidel, 459-476.
- Clocchiatti, R.; Del Moro, A.; Gioncada, A.; Joron, J.L.; Mosbash, M.; Pinarelli, L. & Sbrana, A. (1994). Assessment of a shallow magmatic system: the 1888-1890 eruption, Vulcano Island, Italy. *Bulletin of Volcanology*, 56: 466-486. doi:10.1007/BF00302828
- Crisci, G.M.; De Rosa, R.; Esperanca, S.; Mazzuoli, R. & Sonnino, M. (1991). Temporal evolution of a three component system: the island of Lipari (Aeolian arc, South Italy). *Bulletin of Volcanology*, 53: 207-221. doi:10.1007/BF00301231
- De Astis, G.; La Volpe, L.; Peccerillo, A. & Civetta, L. (1997). Volcanological and petrological evolution of Vulcano island (Aeolian Arc southern Tyrrhenian Sea). *Journal of Geophysical Research*, 102: 8021-8050. doi:10.1029/96JB03735
- De Astis, G.; Peccerillo, A.; Kempton, P.D.; La Volpe, L. & Wu, T.W. (2000). Transition from calc-alkaline to potassium-rich magmatism in subduction environments: geochemical and Sr, Nd, Pb isotopic constraints from the island of Vulcano (Aeolian arc). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139: 684-703. doi:10.1007/s004100000172
- De Fino, M.; La Volpe, L. & Piccarreta, G. (1991). Role of magma mixing during the recent activity of La Fossa di Vulcano (Aeolian Islands, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48: 385-398. doi:10.1016/0377-0273(91)90053-3

- Ellam, R.M.; Menzies, M.A.; Hawkesworth, C.J.; Leeman, W.P.; Rosi, M. & Serri, G. (1988). The transition from calc-alkaline to potassic orogenic magmatism in the Aeolian Islands, Southern Italy. *Bulletin of Volcanology*, 50: 386-398. doi:10.1007/BF01050638
- Ellam, R.M. & Harmon, R.S. (1990). Oxygen isotope constraints on the crustal contribution to the subduction related magmatism of the Aeolian Islands, southern Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44: 105-122. doi:10.1016/0377-0273(90)90014-7
- Faraone, D.; Molin, G. & Zanazzi, P.F. (1988). Clinopyroxenes from Vulcano (Aeolian Islands, Italy): Crystal chemistry and cooling history. *Lithos*, 22: 113-126. doi:10.1016/0024-4937(88)90020-5
- Ferrucci, F.; Gaudiosi, G.; Milano, G.; Necessarian, A.; Valardo, G. & Luongo, G. (1991). Seismological exploration of Vulcano (Aeolian Islands, southern Tyrrhenian Sea): case history. *Acta Vulcanologica*, 1: 143-152.
- Francalanci, L.; Taylor, S.R.; McCulloch, M.T. & Woodhead, J. (1993). Geochemical and isotopic variations in the calc-alkaline rocks of Aeolian arc, southern Tyrrhenian Sea, Italy: constraints on magma genesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 113: 300-313. doi:10.1007/BF00286923
- Frazzetta, G.; La Volpe, L. & Sheridan, M.F. (1983). Evolution of the Fossa Cone Vulcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17: 329-360. doi:10.1016/0377-0273(83)90075-6
- Frezzotti, M.L.; Peccerillo, A.; Zanon, V. & Nikogosian, I. (2004). Silica-rich melts in quartz xenoliths from Vulcano Island and their bearing on processes of crustal anatexis and crust-magma interaction beneath the Aeolian arc, southern Italy. *Journal of Petrology*, 45: 3-26. doi:10.1093/petrology/egg080
- Giancada, A.; Clochiatti, R.; Sbrana, S.; Botazzi, P.; Massare, D. & Ottolini, L. (1998). A study of melt inclusions at Vulcano (Aeolian Islands, Italy): Insights in the primitive magmas and on the volcanic feeding system. *Bulletin of Volcanology*, 60: 286-306. doi:10.1007/s004450050233
- Govindaraju, K. & Mevelle, G. (1987). Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis application to the determination of rare elements. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2: 615-621. doi:10.1039/ja9870200615
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Keller, J. (1980). The Island of Vulcano. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 36: 369-414.
- Le Bas, M.J. (1962). The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science*, 260: 267-288.
- Le Maitre, R.W. (1984). A proposal by the IUGS sub-commission on the systematic of igneous rocks for a chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica (TAS) diagram. *Australian Journal of Earth Sciences* 31: 243-255. doi:10.1080/08120098408729295
- Loucks, R.R. (1996). A precise olivine-augite Mg-Fe exchange geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 125: 140-150. doi:10.1007/s004100050211
- Milano, G.; Ferrucci, F. & Guerra, G. (1989). Interpretazione preliminare di profili DSS del Tirreno Meridionali. *Atti dell'VIII Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida*, 525-533.
- Peccerillo, A.; Frezzotti, M.L.; De Astis, G. & Ventura, G. (2006). Modelling the magma plumbing system of Vulcano (Aeolian Islands, Italy) by integrated fluid-inclusion geobarometry, petrology and geophysics. *Geology*, 34: 17-20. doi:10.1130/g22117.1
- Streckeisen, A.L. (1967). Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 107: 144-240.
- Ventura, G. (1994). Tectonics, structural evolution and caldera formation in Vulcano Island (Aeolian Archipelago, southern Tyrrhenian Sea). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 60: 207-224. doi:10.1016/0377-0273(94)90052-3
- Vetere, F.; Behrens, H.; Misiti, V.; Ventura, G.; Holtz, F.; De Rosa, R. & Deubener, J. (2007). The viscosity of shoshonitic melts (Vulcanello Peninsula, Aeolian Islands, Italy): Insight on the magma ascent in dikes. *Chemical Geology* 245: 89-102. doi:10.1016/j.chemgeo.2007.08.002

Recibido el 7 de febrero de 2008

Aceptado el 15 de marzo de 2008

Publicado online el 26 de mayo de 2008