

ROCAS PIROCLASTICAS ASOCIADAS CON LA FORMACION DE LA CALDERA DE GUAYABO, CORDILLERA DE GUANACASTE, COSTA RICA.

Sergio Chiesa¹⁾, Giovanna Civelli²⁾, Pierre-Yves Gillot³⁾,
Oscar Mora⁴⁾, Guillermo E. Alvarado⁵⁾

ABSTRACT: The volcanic depression of the Guayabo caldera was emplaced during several collapses between 1.5 to 0.6 m.y. ago. These eruptions are recorded in a series of pumice-ash flows, pyroclastic surges and air-fall tuffs, called Guayabo Formation, that are exposed in the western and southern part of the Guayabo caldera rim. The pyroclastic-flow sheets represent more than 30 km³ of dacitic to rhyolitic magma associated to crystal fractionation processes. The volume and also the energy of the eruptions decrease in the time. Microprobe and geobarometric analyses of amphibole suggest that the level of the magma chamber was less than 5 km.

RESUMEN: La formación de la depresión volcánica en los alrededores del volcán Miravalles, conocida como "caldera de Guayabo", está relacionada con una sucesión de fases explosivas ocurridas entre 1,5 y 0,6 m.a. Estas fases produjeron notables volúmenes de materiales piroclásticos (> 30 km³), que actualmente afloran desde el borde meridional de la caldera hacia el suroeste, en un área de aproximadamente 300 km². La sucesión estratigráfica estudiada se define como Formación Piroclástica Guayabo y comprende por lo menos 3 diferentes miembros constituidos por flujos piroclásticos intercalados con depósitos sedimentarios y depósitos piroclásticos de caída. La mayoría de los flujos son muy ricos en cristales (p.ej. plagioclasa, cuarzo, hornblenda y óxidos metálicos). Indicaciones barométricas obtenidas con cristales de hornblenda magnésiana indican que algunos de estos flujos piroclásticos fueron originados en una cámara magmática somera (< 5 km).

INTRODUCCION

La caldera de Guayabo es una depresión de aproximadamente 180 km² y unos 15 km de diámetro (ICE-ELC, 1983), ubicada en el sector central de la Cordillera de Guanacaste, circundando parcialmente al Volcán Miravalles. Este

sector constituye un área interesante de estudio, sobre todo porque es uno de los pocos lugares en Costa Rica, en donde se puede reconocer la zona de origen de flujos piroclásticos voluminosos. La posibilidad de obtener datos cronológicos para cada miembro de la formación estudiada permite establecer una clara distribución temporal de las

- 1) CNR - Centro di studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali, c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Piazza Cittadella 4, 24100 Bergamo, Italia. Tel./Fax 035-248051.
- 2) Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze della Terra, Via Mangiagalli 34, 20133 Milano, Italia.
- 3) Centre de Faibles Radioactivites - CEA/CNRS, 91191, Gif sur Yvette, Francia.
- 4) ICE - Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.
- 5) GEOMAR, Universidad de Kiel - Wischhofstr. 1-3, 2300 Kiel, Alemania.

grandes fases explosivas que afectaron al complejo volcánico estudiado.

Una gran cantidad de trabajos, en su mayoría inéditos, se han realizado en esta área (ver referencias bibliográficas en ALVARADO, 1984; MONTERO & ALVARADO, 1988). Sin embargo, tan sólo hasta hace unos pocos años se realizó una cartografía y estratigrafía de detalle de los depósitos que afloran en el exterior de la caldera (CHIESA et al., 1987; MORA, 1988; CIVELLI, 1990; PECCHIO, 1990). Estos últimos trabajos han sido el fruto de un programa de colaboración entre el ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), el CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia) y el Dipartimento di Scienze delle Terra dell' Università di Milano, Italia.

Los primeros resultados, presentados en este trabajo, comprenden la descripción estratigráfica

y petrográfica de los flujos, su delimitación, la reconstrucción de los volúmenes originales y la delineación de las sucesivas grandes fases explosivas asociadas a la caldera de Guayabo.

MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La Cordillera de Guanacaste, junto con la Cordillera Central, constituye el extremo sur-oriental del arco volcánico centroamericano, relacionado con la convergencia y subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe. Está constituido por complejos estratovolcánicos Cuaternarios que muestran una orientación NO-SE (Fig.1). Los macizos están constituidos principalmente por lavas de composición entre andesitas basálticas y andesitas, productos piroclásticos y depósitos volcanoclásticos. La vertiente pacífica,

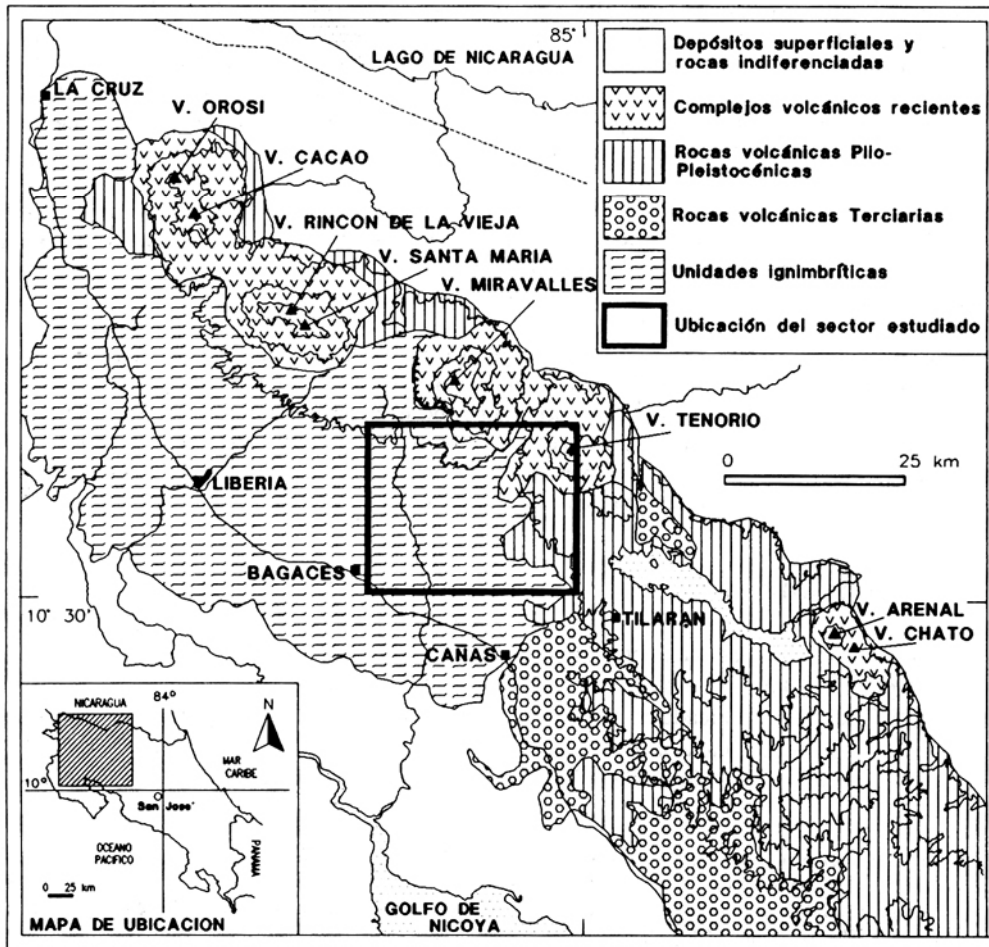


Fig. 1: Mapa geológico simplificado de la Cordillera de Guanacaste

desde la base de los volcanes hasta la costa, está caracterizada por la presencia de una extensa meseta ignimbrítica, conocida como la Meseta Ignimbrítica de Santa Rosa.

El borde de la depresión de la Caldera de Guayabo está representado por los cerros Mogote y Montañosa al oeste y por los cerros Espiritu Santo y Gota de Agua al sureste, restos de antiguos estratovolcanes. Al noroeste de estos últimos cerros se encuentra el volcán Miravalles, un estratovolcán en cuya cumbre se pueden reconocer 6 diferentes focos eruptivos en su mayor parte alineados con rumbo NE-SO (ALVARADO, 1989).

El sector estudiado (Hoja Tierras Morenas, Fig.2), se ubica al suroeste del Volcán Miravalles y está cubierto por unidades de flujos piroclásticos intercalados con depósitos de caída, sedimentos continentales y paleosuelos bien desarrollados. Algunas áreas menos extensas están ocupadas por coladas de lava, lahares y flujos de detritos volcánicos (CHIESA et al., 1987).

GEOLOGIA DE LAS UNIDADES PIROCLASTICAS

DENGO (1962) define la Formación Liberia como "una toba blanca..., en muchas partes en forma poco coherente..., aparece formada por pequeños fragmentos de pómez y granos irregulares de cuarzo, oligoclasa, sanidina, biotita y magnetita encerrados en una matriz vítrea aglutinada" características que, en su mayor parte, se refieren al flujo de pómez biotítica del Río Liberia (véase CHIESA, 1991). Los recientes estudios de detalle han determinado que se trata de muchas unidades de flujos ignimbríticos ácidos provenientes de diferentes centros de emisión (véase CHIESA et al., 1987). Por ello, preferimos redefinirla, separando de ella las unidades provenientes de la caldera de Guayabo. Para estudios estratigráficos en regiones volcánicas Cuaternarias y Neogénicas sugerimos que se comience a aplicar las recientes metodologías de "Unidades estratigráficas con límites de inconformidades" (UBSU, véase PASQUARE et al., 1991).

La mayor parte del área de estudio está cubierta por flujos piroclásticos Pleistocénicos. Estas sucesiones comprenden productos directamente

asociados con la formación de la caldera de Guayabo (lo que definimos como Formación piroclástica Guayabo) y sobreyacen a un "basamento" más antiguo constituido por las siguientes unidades:

Formación Bagaces

Comprende flujos ignimbríticos en su mayoría de composición dacítica, intercalados con depósitos lacustres, coladas de lava y material volcano-sedimentario (DENGO, 1962). Su edad es Miocena Superior-Pliocena (ALVARADO et al., en prensa; GILLOT et al., en prep.).

Formación Río Liberia

Es un flujo pumítico constituido por abundante matriz (50-70%), pómez blancas y redondeadas (10-30%), fragmentos líticos (10-20%) y cristales de cuarzo, biotita, plagioclasa y pocos anfíboles (15-30% en total). Su área de extensión original corresponde a 3500-4000 km² aproximadamente; por lo tanto, esta unidad representa un excelente estrato guía (datado en 1,6 m.a.) en toda la Cordillera de Guanacaste (CHIESA, 1991; ALVARADO et al., en prensa.)

Flujos Montano

Comprenden por lo menos cuatro diferentes flujos de pómez separados por paleosuelos, depósitos de caída y niveles volcanoclasticos retrabajados. Cada unidad de flujo está constituida por pómez (5-50 %), fragmentos líticos (10-20 %) y matriz de ceniza (50-90 %). Las pómez tienen color claro y dimensiones comprendidas entre 2 y 8 cm. Los líticos (5-15 %) son casi siempre pequeños (aprox. 1 mm) aunque pueden alcanzar unos 2 cm y están constituidos por lavas.

La característica común de todas las unidades es la casi total falta de cristales (< 3 %) en las pómez y en la matriz (estratotipo cerca del pueblo de Montano, 405N-280E; corresponde a la sección N°4 en la Fig.3) (CIVELLI, 1990). Los flujos Montano afloran en un área de 30 km² y representan sin duda una facies distal (escaso espesor, abundancia de matriz de cenizas, líticos pequeños) por el momento de procedencia desconocida. Sin

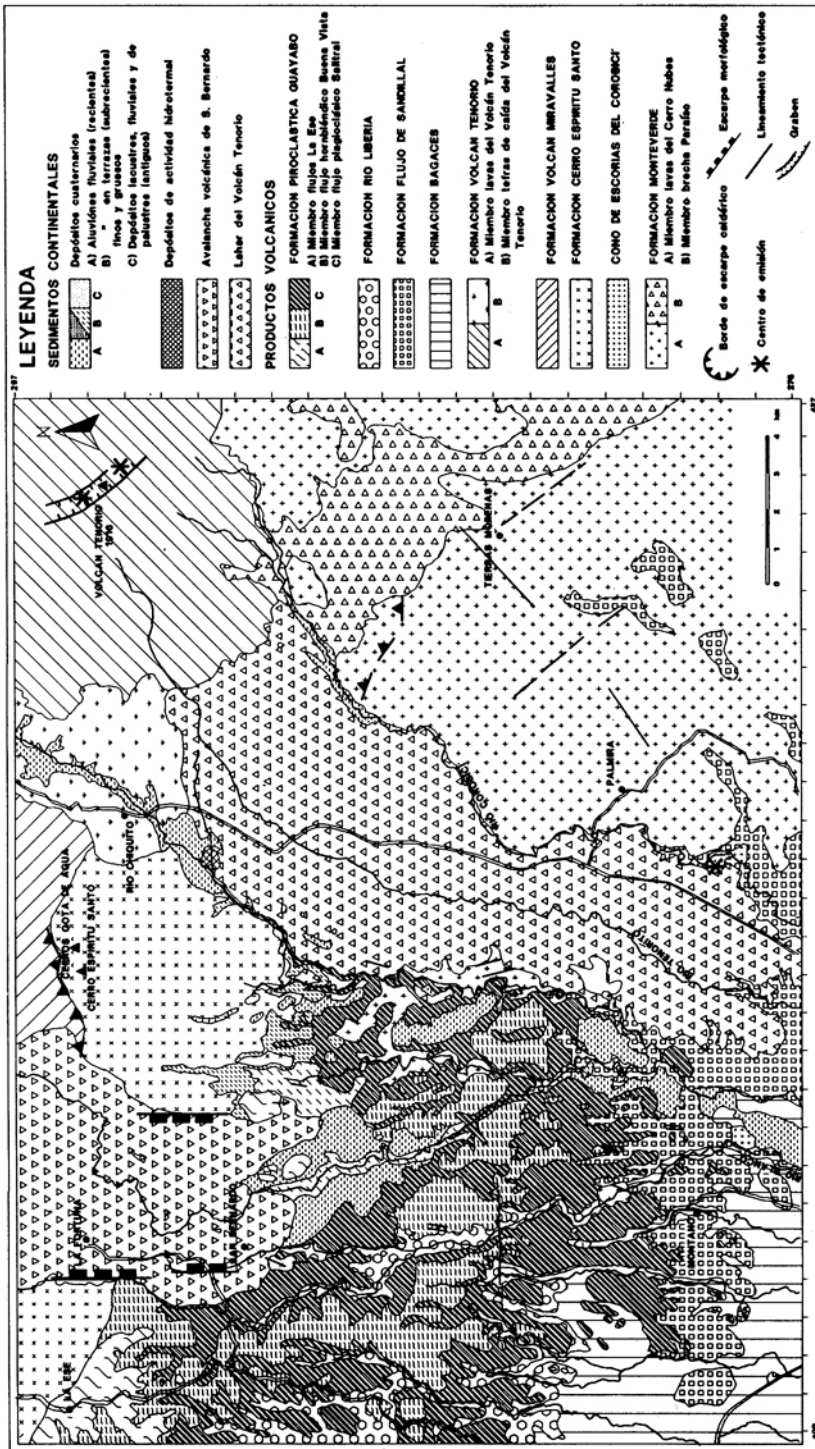


Fig. 2: Mapa geológico del sector estudiado (Hoja Tierras Morenas)

embargo, presentan algunas afinidades con otro flujo, aflorante al este del Río Tenorio hasta la ciudad de Cañas, denominado preliminarmente como Formación flujo de Sandillal. Por eso, se ha

preferido incluirlos, por el momento, en esta formación y atribuirlos a una procedencia más oriental (área el volcán Tenorio). Su espesor medio es de unos 20 m (MORA, 1988).

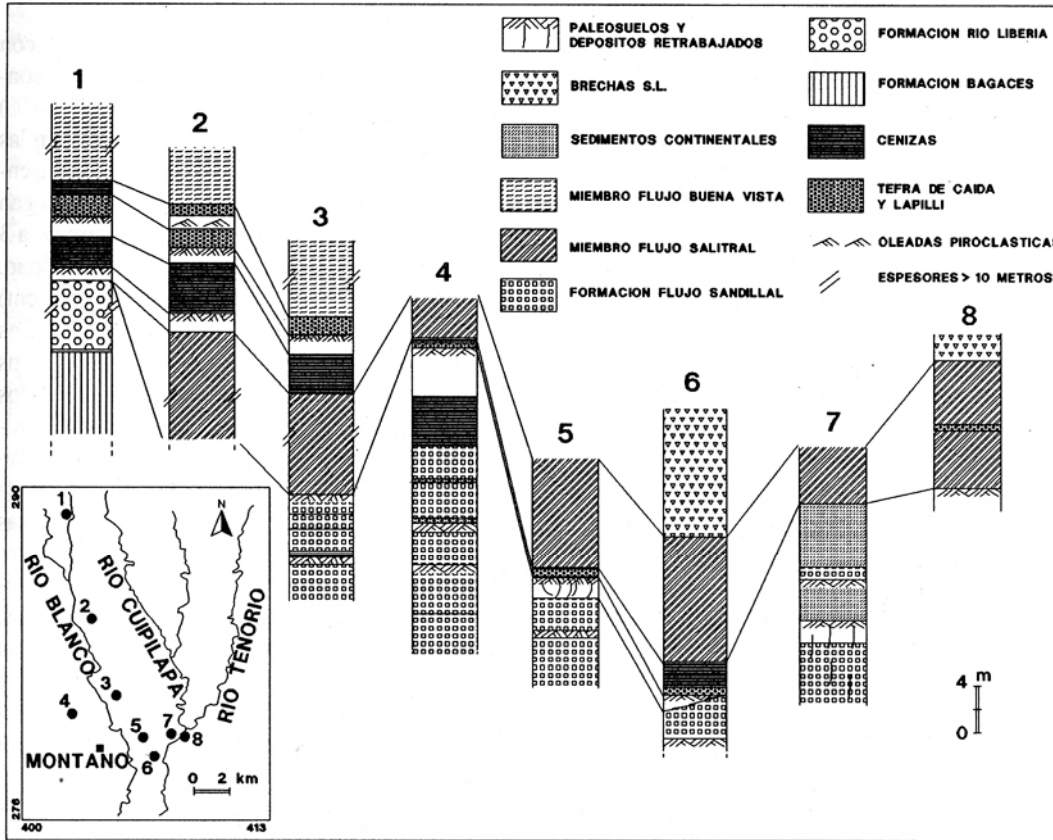


Fig. 3: Correlaciones estratigráficas entre los miembros de la Formación piroclástica Guayabo

LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACION PIROCLASTICA GUAYABO

Las unidades litoestratigráficas piroclásticas agrupadas en la Formación Guayabo han sido separadas en diferentes miembros con base en su textura, posición estratigráfica, color, contenidos de cristales-pómez-líticos y mineralogía. La sucesión estratigráfica de la Formación piroclástica Guayabo comprende los siguientes miembros:

Miembro flujo Salitral

Está constituido por un flujo piroclástico muy compacto que contiene pómez (5-25 %), líticos (5-25 %) y cristales de plagioclasa (10-15 %), cuarzo, ortopiroxeno y poco anfíbol (en suma 10 %) en una matriz de cenizas gruesas (50-80 %). Las pómez tienen una dimensión media de 2-3 cm, pero pueden alcanzar hasta 30 cm con una evidente gradación normal desde la base hasta el techo del depósito; generalmente son muy vesiculares y con estructura fluidal. Los líticos tienen

siempre naturaleza lávica, a veces escoriácea, color negro a rojizo, forma angulosa y dimensiones de hasta 10 cm. La matriz de ceniza muestra variaciones entre el blanco, el gris y el rosado (ver estratotipo en la Cuesta Jobo, 406N-284.30E; corresponde a la sección N°2 en la Fig.3) (CIVELLI, 1990).

El flujo Salitral es el miembro más extendido de la Formación Guayabo, llegando hasta los 200 km² con un espesor variable entre pocos metros hasta unos 50 metros cerca del borde meridional de la caldera (San Isidro de Limonal, Río Piedras). Su base está caracterizada por la presencia de un nivel de ceniza y un depósito de caída (lapilli lítico y pumítico, así como ceniza de cristales) que llega hasta 20 cm de espesor. Internamente se pueden observar en algunos de los afloramientos (p.ej. alrededores de Salitral) niveles de cenizas y niveles ricos en pómez gris, que indican la presencia de diferentes subunidades en el mismo flujo.

Miembro flujo Buena Vista

Constituido por una matriz de ceniza gris claro (40-60 %) con pómez (15-60 %), líticos (5-15 %) y abundantes cristales de anfíbol (15 %), plagioclasa, cuarzo, clinopiroxenos y minerales opacos contenidos en las pómez y en la matriz. Las pómez, bien vesiculares, tienen una dimensión media de 3-4 cm, sin embargo, en función de una frecuente gradación desde normal hasta inversa, pueden llegar a los 35 cm. Los líticos alcanzan hasta los 10 cm; tienen composición lávica y están distribuidos de modo homogéneo (ver estratotipo en la Cuesta Gambalache, 407N-280.70E; sección N°3 en la Fig.3) (CIVELLI, 1990).

En algunos afloramientos (p.ej. en los alrededores de Salitral, unos 2 km al sur del Torno) se encontraron dentro del flujo niveles de cenizas con laminaciones que indican seguramente la depositación de por lo menos dos unidades de flujo. En la base del flujo Buena Vista se observan cuatro diferentes depósitos de caída separados por un paleosuelo y constituidos por cristales de plagioclasa y anfíbol (50 %) y por pómez (50 %);

estos depósitos alcanzan hasta 2 metros de espesor. Este flujo es también muy extenso (150 km²) y cerca del borde de la caldera de Guayabo llega a espesores de 30 metros.

Miembro Flujos La Ese

Representa las unidades más recientes con por lo menos 3 diferentes flujos piroclásticos constituidos por pómez (60-70 %) y líticos (5-10 %) con escasa matriz de ceniza. Los cristales en las pómez o en la matriz parecen totalmente ausentes. Las pómez son blancas, redondeadas y llegan hasta 15 cm, pero usualmente son inferiores a 3 cm de diámetro y con moderada vesicularidad. Los líticos son mucho más reducidos (0,5-1 cm) y tienen forma angulosa y naturaleza lávica. Los diferentes flujos están separados por paleosuelos y niveles retrabajados; frecuentes son también los horizontes oxidados y delgados niveles de cenizas, así como chimeneas de desgasificación (estrotipo de Tajo La Ese, 295.25N-400.60E; Fig.4) (MORA, 1988). Varios niveles de típicas brechas co-ignimbríticas que contienen cumulos microgranodioríticos están presentes. Algunos depósitos lacustres finamente estratificados (cenizas, arenas volcánicas y pumitas sin cristales) con un espesor aflorante de 1,6 m forman parte de esta unidad (p.ej. km 18+300) y sobreyacen a un nivel de pómez plinianas de caída. Sobre el lacustre yacen sedimentos fluviales pumíticos con estratificación inclinada, evidencia de abanicos aluviales que desembocan en pequeñas cuencas lagunares. Más arriba se observan oleadas piroclásticas con lapilli acrecional, un depósito pliniano de caída (pómez con anfíbol) y nuevos flujos de oleadas y finalmente un flujo blanco rico en pómez (aprox. 75 %) con raros anfíboles y líticos (5-10 %) en una matriz ligeramente gris-amarillenta (10-20 %).

El Miembro flujos La Ese, con espesores de hasta 40 metros, aflora en un área de unos pocos km² en los alrededores de La Ese, aunque, a la hora de incluir algunos afloramientos aislados, se observa que su área original ha sido mucho mayor.



Fig. 4: Fotografía del Tajo La Ese. Se observan diferentes unidades de flujos piroclásticos [F, F^I, F^{II}] (la superior separada por un paleosuelo [P]), así como claros paquetes de brechas co-ignimbíticas [B, B^I, B^{II}] y chimeneas de desgasificación [C, C^I, C^{II}, C^{III}, C^{IV}]. Una falla de rumbo NO-SE corta la secuencia con diferente buzamiento.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA FORMACION PIROCLASTICA GUAYABO

Los productos estudiados afloran en un área de aproximadamente 300 km² desde el borde meridional de la caldera de Guayabo hacia el suroeste y oeste, hasta las ciudades de Bagaces y Liberia. Además, los flujos de la Formación piroclástica Guayabo tienen espesores variables entre pocos metros hasta más de 45 metros. En todas las unidades, los espesores mayores se encuentran cerca del borde caldérico. En la figura 5 están indicados los espesores del Miembro Salitral y Buena Vista. Los valores de los espesores y su presumible área de cobertura original han sido utilizados para la estimación del volumen total del depósito, previo a la erosión. Los volúmenes de los miembros individuales de la Formación Guayabo (sin tomar en consideración aquellos

que pueden estar rellenando la caldera) están comprendidos aproximadamente entre 5 y 10 km³ cada uno y se han estimado en 9,17 km³ para el Miembro Salitral, en 7,75 km³ para el Miembro Buena Vista y en 5,5 km³ para los flujos de La Ese. Considerando contenidos de líticos de 15 % y valores de densidad de 2,0 g/cm³ para el primero, 10 % y 1,9 g/cm³ para el segundo y 5 % y 1,8 g/cm³ para el tercero, se obtienen valores aproximados de 6,23 km³, 5,3 km³ y 3,7 km³ de roca densa equivalente (DRE), respectivamente. Estos valores se refieren solamente a los flujos piroclásticos extracaldéricos y no incluyen a los depósitos intracaldéricos o alterados ni las cenizas de caída distales y proximales, las cuales afloran en un área mucho más extensa. Además, se debe recalcar que todas las unidades han sido afectadas por una intensa fase de erosión (Cuaternario Medio-Superior) y, por lo tanto, los espesores medidos no representan los originales. En efecto,

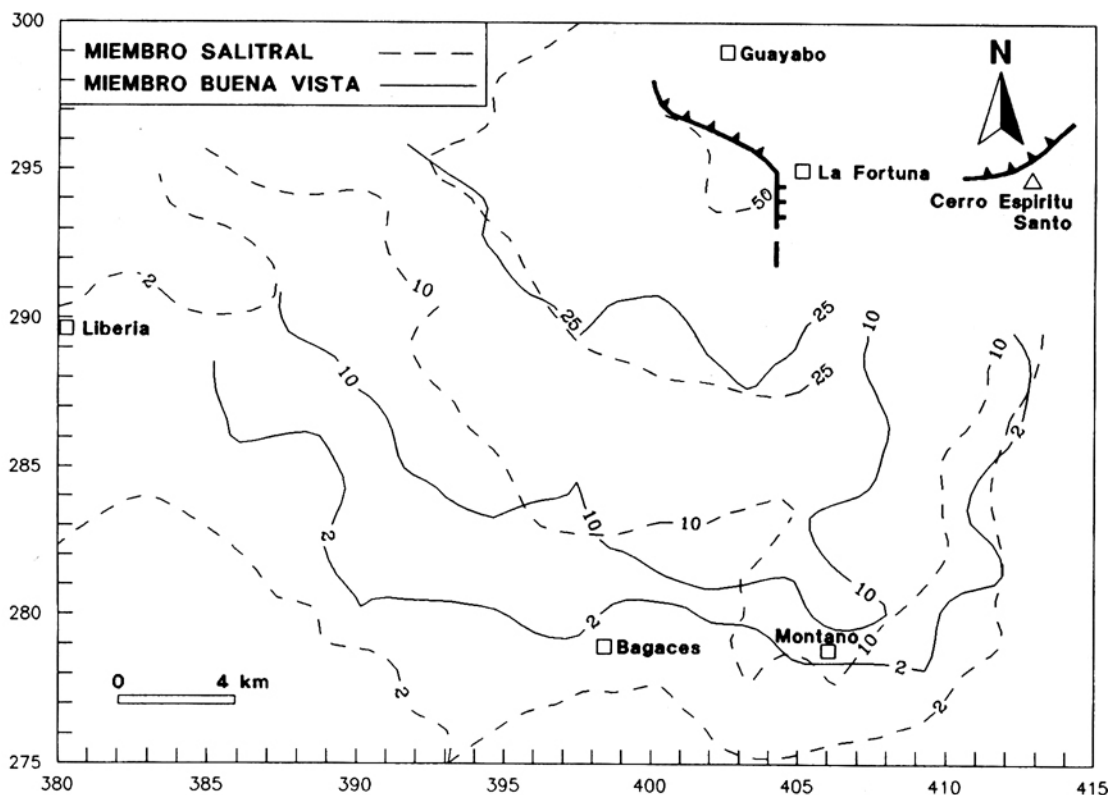


Fig. 5: Mapa de isopacas de los Miembros Salitral y Buena Vista

se encuentran espesas capas fluvio-lacustres de materiales piroclásticos entre Cañas y el Golfo de Nicoya. Por lo tanto, los volúmenes eruptados pueden ser hasta el doble de los medidos. Considerando un valor de 250-300 m de hundimiento para la subsidencia caldérica de Guayabo (obtenidos con métodos geofísicos por HALLINAN, 1991), es posible estimar un volumen de $\geq 45 \text{ km}^3$ para el colapso. Este valor es aproximadamente del mismo orden de magnitud como el valor que se calculó para los productos de los flujos piroclásticos extracaldéricos ($\approx 15,5 \text{ km}^3$).

POSICION ESTRATIGRAFICA

En la figura 3 están representadas las correlaciones estratigráficas entre algunos de los flujos de la Formación piroclástica Guayabo, que están facilitadas por la presencia de niveles sedimentarios, paleosuelos y depósitos de tefras de caída.

Las unidades subyacentes a la Formación Guayabo están constituidas por una espesa alternancia de niveles de cenizas finas bien laminadas y depósitos de caída (unos 10 m) y por la Formación flujo del Río Liberia (véase sección estratigráfica N°1 en Fig.3). En la posición estratigráfica superior se pueden observar solamente depósitos volcanoclásticos (lahar del Tenorio y flujos de avalanchas volcánicas de San Bernardo-La Fortuna), depósitos fluviales y lacustres (ver secciones N° 6-8 en Fig.3) así como las tefras de caída del volcán Tenorio.

CUADRO CRONOESTRATIGRAFICO

Las relaciones estratigráficas definidas con base en el trabajo de campo, fueron afinadas por medio de una serie de dataciones obtenidas con el método K-Ar en fracciones de vidrio y de cristales (plagioclasa y anfíbol) en el Centre de Faibles

Radioactivites, CEA/CNRS, Gif sur Yvette, Francia.

Los datos en el Cuadro 1 muestran que la formación de la caldera de Guayabo remonta desde aproximadamente 1,5 m.a. atrás y, por lo tanto, está relacionada con fases explosivas mucho más antiguas que aquellas mencionadas en la literatura. La última fase fue la que originó el miembro La Ese y se remonta a 0,6 m.a. atrás. Los datos estratigráficos (isopacas) sugieren que el graben

del Río Peje-La Fortuna ya existía en el tiempo de la formación de la caldera y que los productos de nubes ardientes asociados al colapso rellenaron paulatinamente esta depresión volcano-tectónica orientada N-S. Estudios preliminares de paleocanales formados en diferentes unidades ignimbéricas apoyan lo anterior. El último depósito que rellena esta depresión neotectónica es la avalancha volcánica de San Bernardo-La Fortuna.

Cuadro 1
DATAACIONES CON EL METODO K-Ar

Muestra	Mineral	Localización (Long.; Lat.; Altura)	K %	⁴⁰ Ar* % ⁴⁰ Ar 10 ¹¹ at.g ⁻¹	Edad (m.a.)	
G 63	anfíbol	405,9; 283,6; 200	0,342	2,53	5,20	1,456 ± 0,036
πG49P	vidrio	400,5; 295,0; 500	2,80	6,81	16,84	0,580 ± 0,012
	plagioclasa		0,394	7,43	2,60	0,620 ± 0,010

H 63 = Muestra del Miembro flujo Salitral

πG49P = Muestra del Miembro flujos La Ese

Referencia : Alvarado et al., en prensa

MICROSCOPIA DE LOS COMPONENTES PIROCLASTICOS

La microscopía de los componentes piroclásticos ha permitido delinear, en forma preliminar, la posible evolución magmática de las diferentes fases. Las vesículas de las pómez tienen en general estructuras celulares o fibrosas y pueden, por lo tanto, ser relacionadas con el tipo llamado "pumice shards", típico de magmas ácidos con relativamente elevada viscosidad (CAS & WRIGHT, 1987). El resultado más interesante concierne a la comparación entre las formas de las burbujas de las pómez perteneciente al Miembro Salitral con respecto al Miembro Buena Vista. En el Miembro Salitral las burbujas están constituidas por cavidades redondeadas; mientras que las burbujas del flujo Miembro Buena Vista son mucho más estiradas, fibrosas y con una porosidad del 35-40 % del volumen total (Fig.6). Esto puede ser explicado considerando diferentes condiciones de presión de los fluidos en el curso de los fenómenos eruptivos: las pómez con vesículas redondeadas del flujo con plagioclasa sugieren la

presencia de una elevada presión, mientras que las pómez fibrosas definen una clara disminución de la presión en el curso del tiempo.

QUIMICA Y MINERALOGIA

En el Cuadro 2 se presentan 10 análisis químicos de las pómez pertenecientes a los diferentes miembros de la Formación piroclástica Guayabo. Cuatro de estos son análisis nuevos y fueron realizados en pómez no alteradas extraídas de diferentes afloramientos. Los datos muestran que todos los flujos tienen una composición química entre dacítica y riolítica y se ubican en el campo subalcalino (Fig.7). El diagrama de la relación Rb/Zr contra Rb (Fig.8) muestra claramente una derivación de estos flujos por procesos de cristalización fraccionada.

La mayoría de las unidades están caracterizadas por la presencia de minerales hidroxilados (hornblenda, biotita) y además por plagioclasa cuarzo y óxidos metálicos. Los análisis químicos de los minerales se presentan en el Cuadro 3. Las fases mineralógicas más interesantes fueron estu-

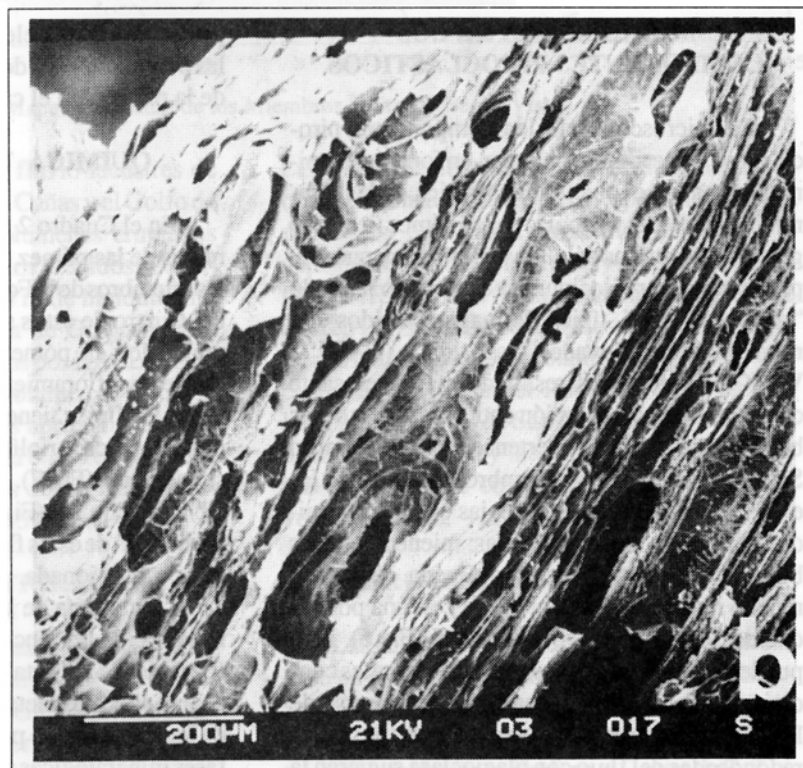
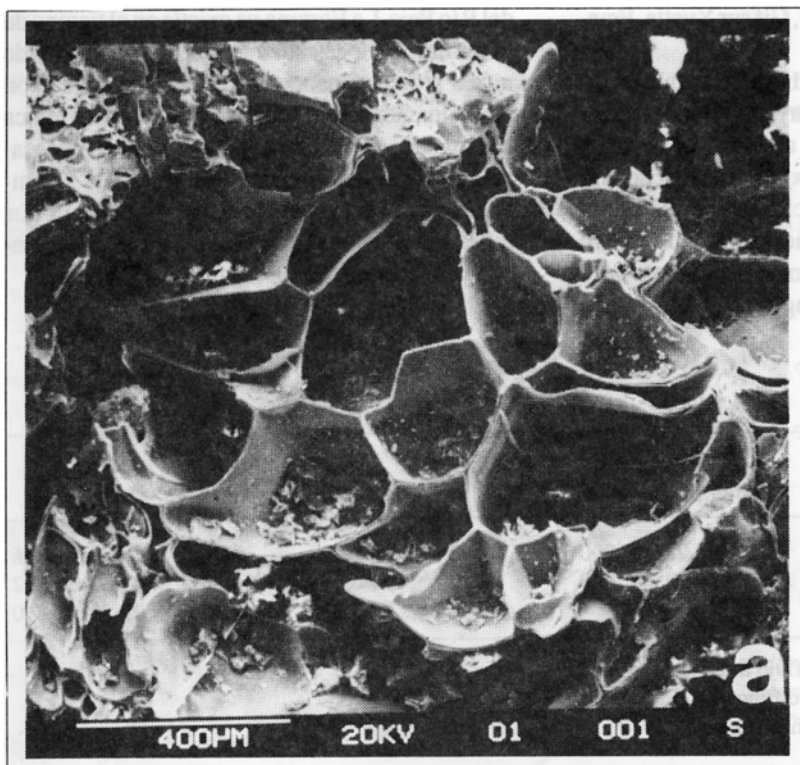


Fig. 6: Microfotografías de las vesículas de los componentes piroclásticos. a) Miembro Salitral; b) Miembro Buena Vista

Cuadro 2
ANÁLISIS QUÍMICOS DE POMEZ

MUESTRA	La Ese	24-9	24-2	24-3	H60	H63	4/1/91	TM14a	H57	H58
CLAVE	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
REFERENCIA	1	1	1	1	2	2	1	3	2	2
SiO ₂	77.29	74.51	72.62	69.12	74.67	75.16	73.92	67.94	72.99	72.70
TiO ₂	0.21	0.29	0.32	0.46	0.25	0.23	0.26	0.42	0.27	0.38
Al ₂ O ₃	13.29	14.37	15.34	17.42	13.75	13.11	15.13	20.24	14.54	14.37
FeO	1.13	2.09	2.30	3.88	2.03	1.78	2.13	3.61	2.97	2.96
MnO	0.07	0.08	0.10	0.09	0.06	0.07	0.08	0.00	0.08	0.12
MgO	0.13	0.24	0.54	0.30	0.67	0.59	0.28	0.58	0.58	0.63
CaO	1.36	2.19	2.12	2.60	1.73	1.96	1.88	2.05	1.90	2.28
Na ₂ O	2.67	3.13	2.92	3.49	2.59	2.80	2.18	2.48	2.77	2.96
K ₂ O	3.82	3.07	3.70	2.61	4.23	4.26	4.09	2.63	3.87	3.56
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.04
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00
V	0	40	0	32	21	20	32	0	30	34
Cr	0	6	0	7	4	4	1	0	7	5
Co	0	5	0	8	4	2	4	0	5	7
Ni	0	6	0	8	6	5	5	0	6	7
Cu	5	8	0	8	10	8	10	0	8	8
Rb	73	61	0	51	68	73	81	0	60	56
Sr	215	346	0	452	291	308	317	0	305	336
Y	14	20	0	21	21	21	20	0	21	22
Zr	115	163	0	182	141	134	149	0	149	200
Nb	9	5	0	8	6	6	9	0	8	8
Ba	1783	1561	0	1334	1544	1759	1569	0	1468	1657
La	0	28	0	45	35	38	35	0	40	32
Ce	0	58	0	53	89	83	59	0	100	102
Th	6	4	0	4	3	5	6	0	6	5
LONG.	400.7	400.9	397.9	398.6	410.5	405.9	403.1	401.3	412.3	410.5
LAT.	295.5	294.9	293.5	290.5	287	283.6	291	288.6	288	287

Clave = 1: Miembro La Ese
2: Miembro Buena Vista
3: Miembro Salitral

Referencia= 1: Zanchi A, 1989
2: Civelli G., 1990
3: Tournon J., 1984

diadas con la microsonda electrónica. Los cristales de anfíbol del Miembro Buena Vista se clasifican con base en el diagrama de LEAKE (1978) como hornblendas magnesianas (Fig.9). Algunos de estos análisis se utilizaron para obtener indicaciones geobarométricas. Los cálculos, basados en las relaciones de HAMMARSTROM y ZEN (1986) y de HOLLISTER et al. (1986), indican una presión de cristalización de

1,18 - 1,38 kb, correlacionable con una cámara magmática somera (< 5 km).

CRONOLOGIA DE LAS FASES VOLCÁNICAS EXPLOSIVAS

Las fases explosivas asociadas con la Formación Guayabo han depositado espesas secuencias ignimbríticas basales, relacionadas con el hun-

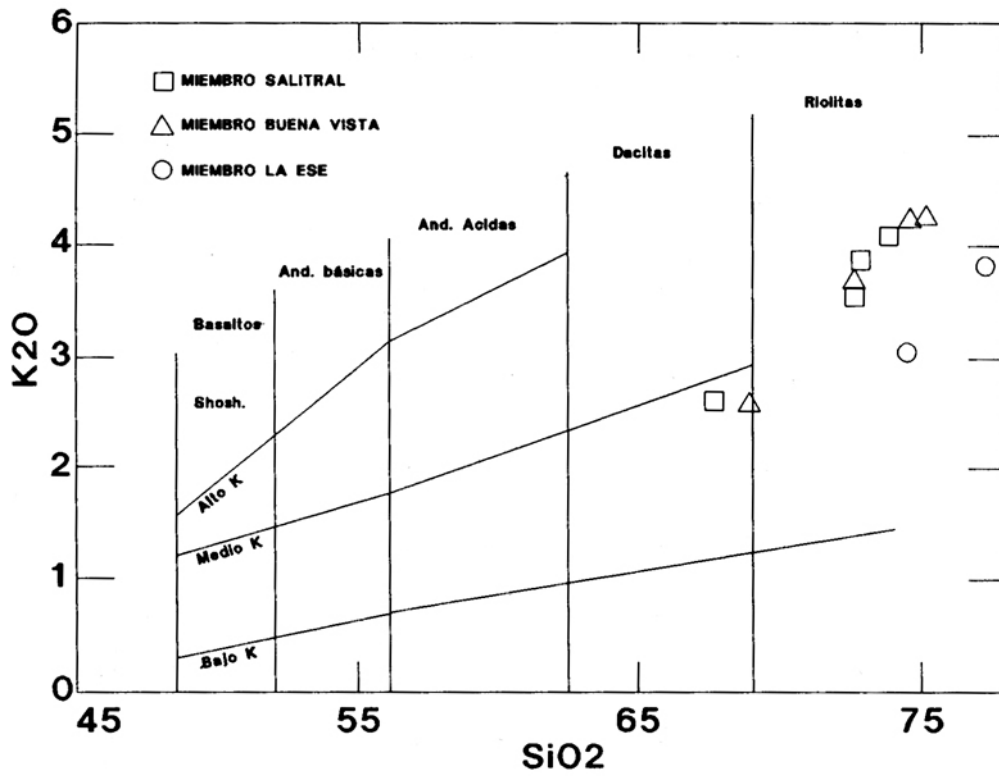


Fig. 7: Diagrama de clasificación de PECCERILLO & TAYLOR (1976)

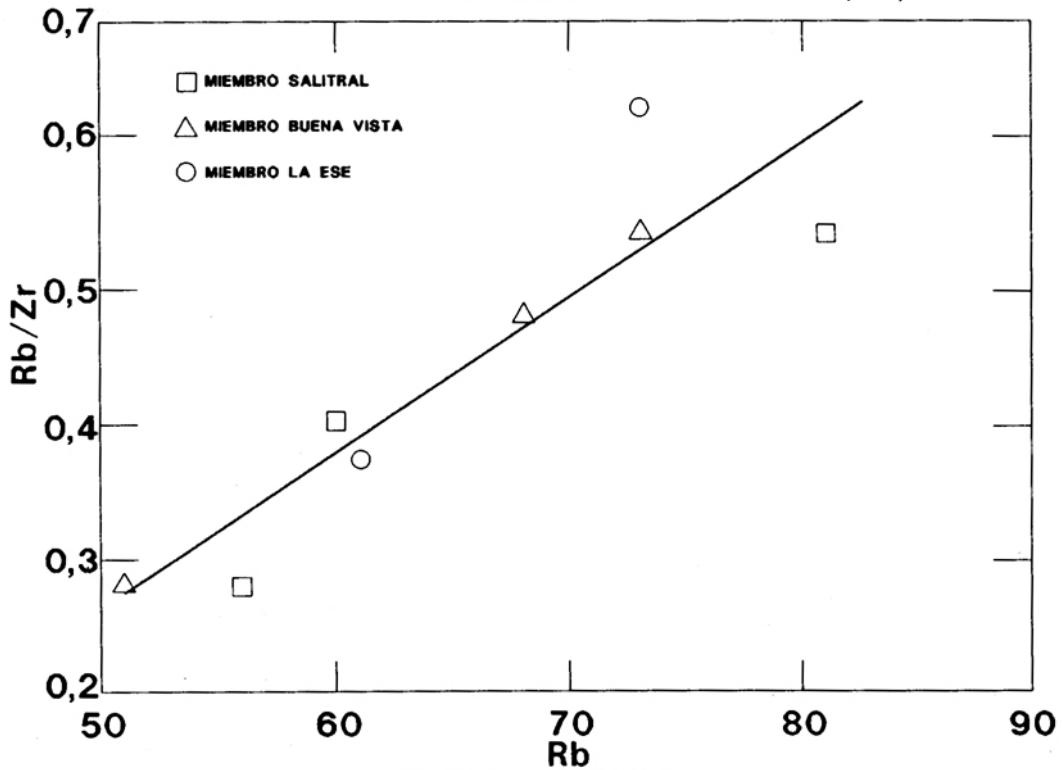


Fig. 8: Diagrama (Rb/Zr) / Rb

Cuadro 3
ANALISIS QUIMICOS DE FASES MINERALES

Miembro Flujo Buena Vista - ANFIBOLES

ANALISIS	501	502	503	801	802	901	7103	7201	7202	7203
SiO ₂	48.52	48.95	47.85	48.09	46.69	47.31	46.70	47.83	48.06	48.12
TiO ₂	1.11	1.16	1.33	1.26	1.54	1.33	1.81	1.38	1.39	1.23
Al ₂ O ₃	5.28	5.52	6.08	5.71	6.86	5.92	6.57	6.12	5.86	5.75
Cr ₂ O ₃	0.00	0.04	0.06	0.00	0.08	0.06	0.03	0.06	0.01	0.00
FeO	11.60	11.84	11.83	11.95	12.64	12.13	12.37	11.85	12.12	11.82
MnO	0.69	0.64	0.63	0.65	0.71	0.70	0.52	0.71	0.67	0.65
MgO	16.92	16.80	16.24	16.16	15.41	16.10	15.41	15.96	15.68	16.47
CaO	10.82	10.92	10.92	11.07	11.16	11.17	11.12	10.72	11.11	10.87
Na ₂ O	1.18	1.18	1.27	1.29	1.46	1.15	1.53	1.30	1.32	1.15
K ₂ O	0.32	0.38	0.42	0.41	0.50	0.45	0.52	0.44	0.46	0.39
TOTAL	96.44	97.43	96.63	96.59	97.05	96.32	96.58	96.37	96.68	96.45
Si	6.925	6.928	6.858	6.915	6.734	6.828	6.761	6.876	6.934	6.889
Al IV	1.075	1.072	1.142	1.085	1.266	1.17	1.239	1.124	1.066	1.111
Al Vi	-0.187	-0.151	-0.115	-0.117	-0.1	-0.165	-0.008	-0.087	-0.069	-0.141
Ti	0.119	0.123	0.143	0.136	0.167	0.144	0.197	0.149	0.151	0.132
Cr	0	0.004	0.007	0	0.009	0.007	0.003	0.007	0.001	0
Fe 3+	1.33	1.267	1.179	1.083	1.075	1.182	0.954	1.161	0.943	1.263
Mn	0.083	0.077	0.076	0.079	0.087	0.086	0.064	0.086	0.082	0.079
Mg	3.6	3.545	3.47	3.464	3.313	3.464	3.326	3.42	3.373	3.515
Fe 2+	0.054	0.135	0.239	0.354	0.45	0.282	0.543	0.263	0.52	0.152
Fe 2+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca	1.655	1.656	1.677	1.706	1.724	1.727	1.725	1.651	1.718	1.667
Na	0.345	0.344	0.323	0.294	0.273	0.273	0.275	0.349	0.282	0.333
Na	-0.019	-0.02	0.03	0.065	0.133	0.049	0.154	0.013	0.087	-0.014
K	0.058	0.069	0.077	0.075	0.092	0.083	0.096	0.081	0.085	0.071
Xmg	0.985	0.963	0.936	0.907	0.88	0.925	0.86	0.928	0.867	0.958
Fe ₂ O ₃	12.385	11.895	10.934	10.007	9.902	10.884	8.76	10.734	8.684	11.723
FeO	0.456	1.137	1.992	2.946	3.73	2.337	4.888	2.191	4.306	1.272

REFERENCIA: Civelli, 1990

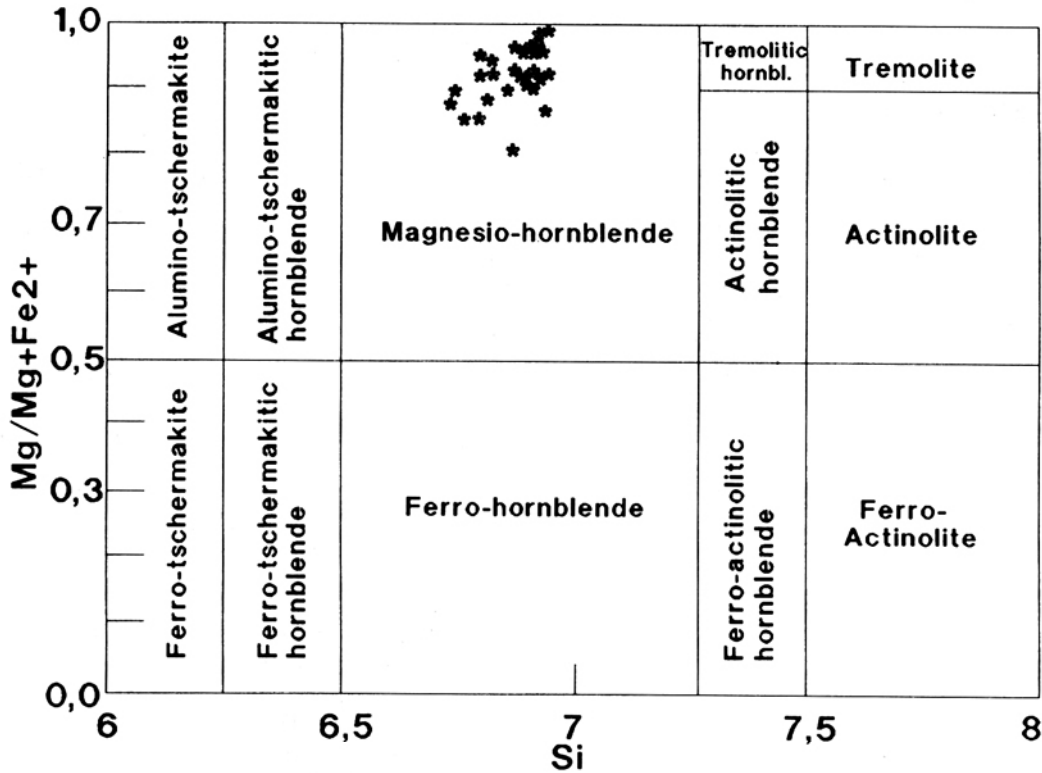


Fig. 9: Diagrama clasificativo de los anfíboles (LEAKE, 1978)

dimiento por etapas de la caldera del mismo nombre.

La secuencia de los eventos empezó alrededor de 1,5 m.a. atrás con una sucesión de intensas fases explosivas, asociadas con el posible ascenso de la presión de los fluidos, que provocaron el parcial vaciado rápido de la cámara magmática, la completa destrucción del antiguo y complejo edificio llamado volcán Guayabo (PECCHIO, 1990) y la formación de una caldera compleja y de contorno festoneado (Fig. 10 a,b). En el curso de estas fases, fueron erupcionados extensos volúmenes de material piroclástico que se movieron hacia el suroeste por una distancia de más de 20 km, rellenando parcialmente la misma caldera y las depresiones externas existentes. A estas fases explosivas sucede un largo período de tranquilidad relativa que se extiende por 0,8 m.a.; no obstante, durante este período de tranquilidad se depositaron capas de cenizas y de pómez de limitada distribución y difícil correlación. Pos-

teriormente se depositaron sedimentos lacustres y fluviales y, contemporáneamente, se edificó un nuevo edificio volcánico denominado volcán Cabro Muco, ubicado entre los restos caldéricos antiguos (Fig.10 c).

Sucesivos eventos explosivos (0,6 m.a.), relacionados con menores colapsos en el sector norte-oriental de la estructura volcánica de Guayabo (Cerros La Montañosa), originan los flujos de pómez y los depósitos de caída más recientes. Estos depósitos están caracterizados por pómez con estructuras muy estiradas, indicadoras de condiciones de presión relativamente poco elevadas en la cámara magmática (Fig. 10 d).

Las fases terminales comprenden la edificación del Miravalles, ubicado más al norte. La presente actividad del Miravalles está constituida exclusivamente por fumarolas y fuentes termales ubicadas cerca de la base del volcán, próximas a la depresión conocida como el graben de La Fortuna-Río Peje.

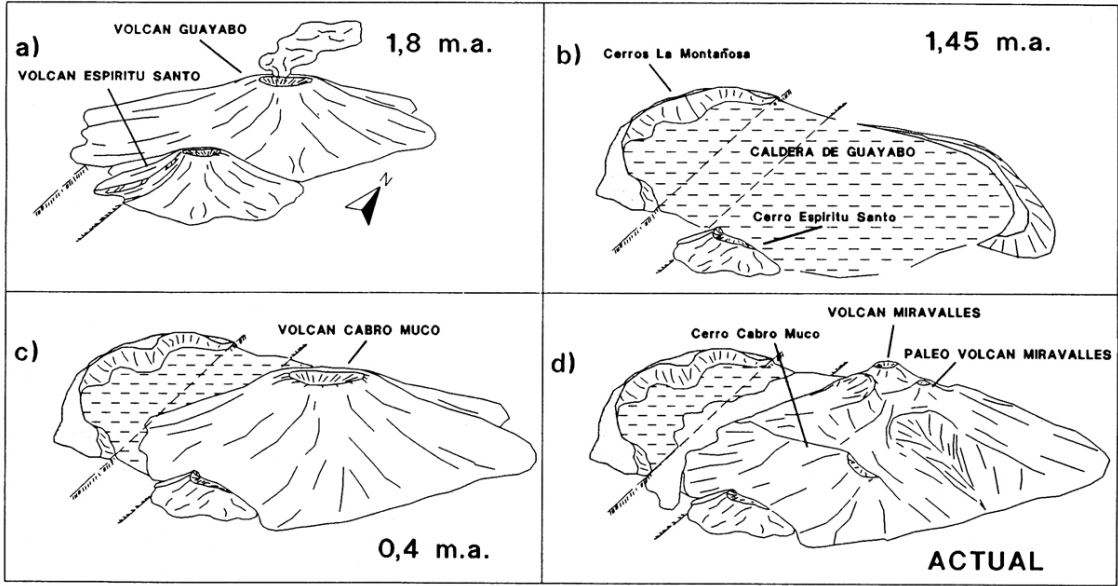


Fig. 10: Esquema simplificado de la cronología de las fases volcánicas y evolución geovolcanológica del conjunto Guayabo-Miravalle

CONCLUSIONES

La formación de la caldera de Guayabo está relacionada con una sucesión de fases explosivas con dos o tres máximos en la actividad a los 1,5 - 1,45 m.a. y a 0,6 m.a. atrás, los cuales se agrupan dentro de lo que definimos como Formación piroclástica Guayabo (Pleistoceno Inferior-Medio basal). Dicha formación comprende a depósitos ácidos (generalmente dacitas y riolitas), en su mayor parte representados por flujos de pómez más o menos soldados, algunos flujos de oleadas piroclásticas y depósitos de tefras de caída, así como sedimentos epiclásticos y paleosuelos formados en los períodos de inactividad relativa. Algunas coladas de lava fosilizan las secuencias piroclásticas y el paleorelieve.

La producción del magma ácido está asociada con la presencia de cámaras magmáticas someras (profundidad \leq 5 km). Las condiciones de presión de los fluidos y las modalidades eruptivas en el curso de las fases principales fueron diferentes y además, los volúmenes eruptados (DRE) muestran una clara disminución en el tiempo (6,23 km³ y 5,3 km³ alrededor de 1,5 m.a. y 3,7 km³ alrededor de 0,6 m.a.)

El actual volcán Miravalles y sus estructuras asociadas, de edad ligeramente más antigua ($>$ 120 km³), se edificaron posterior a este último evento explosivo.

Agradecimientos: Agradecemos a los geólogos Alfredo Mainieri y Mayra Corella (Recursos Geotérmicos del ICE) por su disponibilidad; al geólogo Gerardo Soto por la revisión del texto y a Hans-Ulrich Schmincke por sus comentarios en el campo. El presente trabajo se realizó con el apoyo del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica), del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia) y del CEA/CNRS (Francia) y representa una contribución al Proyecto 249 "Magmatismo andino y su marco tectónico" del PICG.

REFERENCIAS

- ALVARADO, G.E., 1984: Aspectos petrológicos-geológicos de los volcanes y unidades lávicas del Cenozoico Superior de Costa Rica. - 183 págs. Tesis Licenciatura, Univ. de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, San José.
- ALVARADO, G.E., 1989: Los volcanes de Costa Rica. - 175 págs. EUNED, San José.
- ALVARADO, G.E., KUSSMAUL, S., CHIESA, S. & GILLOT, P.-Y., en prensa: Cuadro cronoestratigráfico de las rocas ígneas de Costa Rica basado en dataciones radiométricas K-Ar y U-Th. - *J. South Amer. Earth Sci.*
- CAS, R.A.F. & WRIGHT, J.V., 1987: Volcanic successions (modern and ancient). - 528 págs. Allen & Unwin, London.
- CHIESA, S., 1991: El flujo de pómez biotítica del Río Liberia (Guanacaste), Costa Rica, América Central. - *Rev. Geol. Amér. Central.*, 12: 73-83.
- CHIESA, S., CORELLA, M. & MORA, O., 1987: Geología de la Meseta ignimbrítica de Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. - 133 págs., Instituto Costarricense de Electricidad (informe inédito).
- CIVELLE, G., 1990: Geologia della Cordigliera del Guanacaste (Costa Rica): le piroclastiti dell'area Chorotege. - Tesis. Univ. degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra.
- DENGO, G., 1962: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. - 112 págs.; Instituto Geográfico de Costa Rica, San José.
- GILLOT, P.-Y., CHIESA, S. & ALVARADO, G.E., en preparación: Chronostratigraphy and evolution of the Upper Miocene-Quaternary volcanism in north Costa Rica: The Arenal volcano-structural framework.
- HALLINAN S., 1991: Mass transfer during the multi-stage evolution of the Guayabo caldera. - International Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation. Napoli'91, Italia.
- HAMMARSTROM, J.M. & ZEN, E. A., 1986: Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. - *Amer. Mineral.*, 71: 1297-1313.
- HOLLISTER, L.S., GRISSON, G.C., PETERS, E.K., STOWELL, H.H. & SISSON, V.B., 1986: Confirmation of empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calcic alkaline plutons. - *Amer. Mineral.*, 72: 231-239.

- ICE-ELC, 1983: Proyecto geotérmico Miravalles. Informe geo-vulcanológico. - ELC, Electroconsult, Milano, Italia.
- LEAKE, B.E., 1978: Nomenclature of anfiboles. - Amer. Mineral., 63: 1023-1052.
- MONTERO, W. & ALVARADO, G.E., 1988: Los terremotos de Bagaces de 1935 y 1941: Neotectonismo transversal a la Cordillera volcánica del Guanacaste, Costa Rica. - Ciencia y Tecnología, 12 (1-2): 69-87.
- MORA, O., 1988: Estudio geológico-petroológico de las piroclastitas en los alrededores de Bagaces, provincia de Guanacaste, Costa Rica. - 61 págs.; Escuela Centroamericana de Geología, Univ. de Costa Rica (tesis inédita).
- PASQUARE, G., EBBATE, E., CASTIGLIONI, G.B., MERENDA, L., MUTTI, E., ORTOLANI, F., PAROTTO, M., PIGNONE, R., POLINO, R. & SASSI, F.P., 1991: 1° Convegno sulla cartografia Geologica Nazionale. Guida al rilevamento a all'informatizzazione della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000 (versione preliminare). - 212 págs. CNR-SGN, Roma, Italia.
- PECCHIO, M., 1990: Geovolcanologia e petrochimica della Cordigliera di Guanacaste (Costa Rica): le lave dell'area Chorotega. - 189 págs. Tesis. Univ. degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. - Contrib. Mineral. Petrol., 58: 63-81.
- TOURNON, J., 1984: Magmatisme du mesozoique á l'actuel en Amérique Central. L'exemple du Costa Rica, des ophiolites aux andésites. - 335 págs. Tesis. Mem. Sc. Terre Univ. Curie, Paris.
- ZANCHI, A., 1989: Evoluzione dell'arco vulcanico centro-americano: l'esempio della Cordigliera di Guanacaste in Costa Rica. - 235 págs. Tesis. Univ. degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze della Terra.