

SECCION
GEOLOGIA REGIONAL

Volcanic Evolution of Central America

*Alexander R. McBirney**

Abstract

The presently active volcanoes of Costa Rica are only the most recent manifestations of long sequence of volcanic episodes that have affected most of Central America throughout most of Cenozoic time. Lines of igneous centers, including both plutonic intrusions and ancient volcanoes, form a series of successively younger belts that step southward in step-like arcs pivoting on an area in northwestern Guatemala and southern Chiapas.

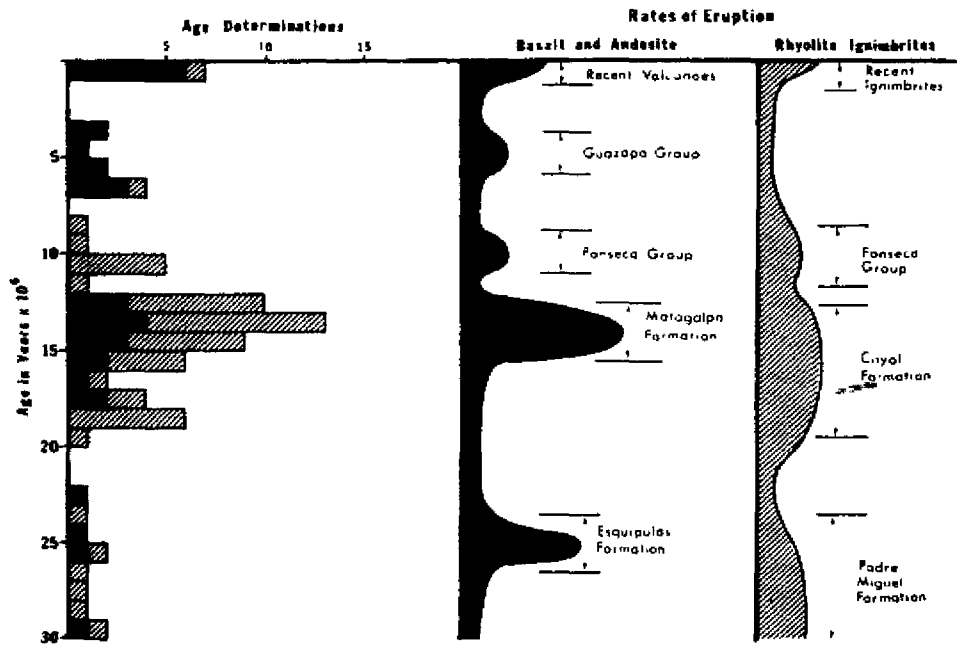
The period of strongest volcanism came during the mid-Tertiary episodes of voluminous ignimbrite eruptions. These covered most of Honduras and large areas of Nicaragua, El Salvador, and Guatemala, but they have not yet been identified in Costa Rica. Andesitic volcanoes were active during a Mid-Miocene episode that was preceded and followed by the siliceous ignimbrites. They were located mainly along a broad zone running through central Honduras and into Nicaragua, but they do not seem to have extended as far south as Costa Rica.

The long linear belt of large andesitic cones we see today is of very recent origin. No rocks of reversed magnetic polarity have yet been found in

these volcanoes, and it can be concluded that they grew very rapidly in less than a million years or so.

The volcanic history of Costa Rica differs in many ways from that of the countries to the north. Unfortunately, much stratigraphic work is needed to define the age relations, but if one can judge from a limited number of radiometric age determinations, rocks of the mid-Tertiary episode, which was so strong elsewhere, seem to have been less important than the late Miocene activity about ten million years ago. Unfortunately the Aguacate formation has yet to be adequately defined and dated, and we have yet to find calc-alkaline rocks of early or middle Tertiary age that could have been sources for detrital volcanic debris in sedimentary units of that age. There are, of course, many alkaline rocks of Tertiary and even Quaternary age, but these have no counterparts elsewhere in Central America and do not fit a simple model of orogenic volcanism as it is thought to be related to convergent plate boundaries. In many ways the igneous rocks of Costa Rica have closer affinities to those of Colombia and Ecuador than they do to those of northern Central America.

* Dept. of Geology University of Oregon, Eugene, Oregon 97403, U. S. A.



Comparison of histograms of all available Middle and Late Cenozoic K-Ar dates with relative volumetric estimates of basaltic-andesitic and rhyolitic ignimbrites for Central America. Specific volcanic rock formations are indicated. Relative volumes of igneous rocks are estimates based on observed abundances in the field and are not on an absolute scale.

EVOLUCION VOLCANICA DE AMERICA CENTRAL

*Alexander R. McBirney.**

RESUMEN

Los volcanes actualmente activos de Costa Rica son solo las manifestaciones más recientes de una larga secuencia de episodios volcánicos que han afectado la mayor parte de América Central a través del Cenozoico. Líneas de centros ígneos, incluyendo intrusiones plutónicas y viejos volcanes, forman una serie de cadenas sucesivamente más jóvenes que avanzan hacia el sur como en gradas de arcos pivoteándose sobre un área en el noroeste de Guatemala, y el sur de Chiapas.

El período de vulcanismo más fuerte ocurrió durante los episodios del Terciario medio y corresponden a ignimbrita. Ellas cubrieron la mayor parte de Honduras y grandes áreas de Nicaragua, El Salvador y Guatemala, pero no han sido aún identificadas en Costa Rica. Volcanes andesíticos estuvieron activos durante un episodio del Mioceno medio que fue precedido y seguido por las ignimbritas silíceas. Ellas se localizaron principalmente a lo largo de una amplia zona que corre a través de Honduras Central y en Nicaragua, pero no parecen haberse extendido tan al sur hasta Costa Rica.

La larga cadena lineal de grandes conos andesíticos que hoy vemos, es de muy reciente origen. Ninguna roca de polaridad magnética inversa ha sido descubierta en estos volcanes, y puede ser posible concluir que ellos crecieron muy rápidamente en menos de un millón de años aproximadamente.

La historia volcánica de Costa Rica difiere en muchas formas de aquéllas de los países del norte. Desafortunadamente, mucho trabajo estratigráfico se necesita para definir las relaciones de edad, pero si uno juzga de acuerdo con un limitado número de determinaciones de edad radiométricas, rocas del episodio del Terciario medio, que tienen una fuerte representación en otros lugares, parecen haber sido menos importantes que la actividad del período tardío hace más o menos unos diez millones de años. Desafortunadamente la formación Aguacate tiene que ser adecuadamente definida y datada, y debemos todavía encontrar rocas calc-alkálicas del Terciario temprano y medio que pueden ser las fuentes de debris de detritos volcánicos en unidades sedimentarias de esa edad. Existen, por supuesto, muchas rocas alcalinas del Terciario, y aún de edad cuaternaria, pero éstas no tienen contraparte en todo lugar de América Central y no caben en un modelo simple de vulcanismo orogénico como se cree que es el relacionado con los límites de placas convergentes.

En muchas maneras las rocas ígneas de Costa Rica tienen afinidades más cercanas a aquéllas de Colombia y Ecuador que a las del norte de América Central

GEOMORPHOLOGY AND PETROGRAPHY OF SOME VOLCANIC PROVINCES IN COSTA RICA

Guillermo E. Alvarado.

ABSTRACT

More than 200 eruptive centers of central emission have been located in different volcanic provinces of late Tertiary-Quaternary age. Present work reviews most of the information available about such eruptive centers including morphology, volcanic activity, radiometric dates and petrography.

Costa Rica is divided in the following volcanic provinces: Cordillera de Guanacaste; Cordillera de Tilarán and Montes del Aguacate; Cordillera Central; Vulcanismo Intragraben, Cordillera de Talamanca and Fila Costeña, and Cocos Island.

Geomorfología y Petrografía de algunas Provincias Volcánicas de Costa Rica

Guillermo E. Alvarado. *

Introducción:

En Costa Rica se han identificado más de 200 focos volcánicos de emisión central (cráteres, conos, domos y relictos volcánicos) ubicados en diferentes provincias volcánicas del Terciario Superior-Cuaternario (Fig. 1).

Cordillera de Guanacaste:

La Cordillera de Guanacaste, orientada NW-SE, está formada por estratovolcanes Cuaternarios constituidos de piroclastos y lavas (andesitas piroxénicas, andesitas augíticas, andesitas basálticas hasta basaltos), así como por depósitos fluvio-volcánicos. Los estratovolcanes son de forma subcónica regular; sólo el volcán Arenal muestra una forma cónica casi perfecta. Por lo común están asociados en parejas, alineados en sentido NW-SE.

Asociado con los volcanes Rincón de la vieja, Miravalles y Chato hay estructuras caldéricas. Hacia el SW del volcán Rincón de la Vieja, se hallan domos dacíticos del Plioceno Superior-Pleistoceno. (BELLON & TOURNON, 1978; DENGU, 1962; SAENZ, 1977).

Los volcanes Rincón de la Vieja y Arenal han presentado actividad eruptiva y fumarólica en los últimos años. A excepción del volcán Orosí, todos los macizos volcánicos principales presentan actividad secundaria (fumarolas, solfataras, mofetas, volcancitos de lodo).

— Cordillera de Tilarán y Montes del Aguacate:

La Cordillera de Tilarán y los Montes del Aguacate son un grupo de serranías con profundos valles y laderas de fuerte pendiente, en la cual se localizan varios conos volcánicos (relictos volcánicos) y domos subrecientes (ALVARADO et. al., 1980; MADRIGAL & ROJAS, 1980). Está constituida por rocas del Grupo Aguacate (andesitas augíticas, andesitas basálticas, basaltos alcalinos, tobas y brechas) que a su vez están intruidas por cuerpos plutónicos e hipoabisales. Su edad es del terciario.

En la Cordillera de Tilarán se observan brechas, tobas, ignimbritas y lavas; las más recientes correspondientes a la formación Monteverde (andesitas piroxénicas) de origen fisural (CHAVES & SAENZ, 1974; KUSSMAUL, en preparación). Esta cordillera es un Horst volcano-tectónico con desarrollo de tectónica tensional y actividad magmática (cuerpos ígneos intrusivos y vulcanismo fisural).

Cordillera Central:

La Cordillera Central, orientada NW-SE, está formada por múltiples conos volcánicos, constituidos por rocas piroclásticas, lavas (andesitas piroxénicas, andesitas basálticas y en menor cantidad basaltos y dacitas), así como lahares y depósitos fluvio-lacustres locales. Los estratovolcanes son de forma subcónica irregular, comúnmente coronados por estructuras caldéricas, dentro de las cuales o encima de sus bordes, se edifican pequeños conos y/o cráteres. En sus laderas se observan conos parásitos, algunos de dimensiones considerables, los

* Escuela Centroamericana de Geología. San Pedro de Montes de Oca. San José, Costa Rica.

cuales se pueden considerar como edificios individuales (p. e. volcán Cacho Negro). La Vertiente Atlántica de la Cordillera se presenta muy afectada por procesos erosivos dada la alta precipitación, siendo común observar cárcavas, barrancos, gargantas, cañones, cráteres abiertos, calderas de erosión, escarpes y saltos de agua.

En general se presentan conos alineados con rumbo Norte-Sur que evidencian la existencia de fracturas corticales profundas (p. e. Poás-Congo-Bosque Alegre-Río Cuarto) (DONDOLI, et. al., 1968, SAENZ, 1971).

Los volcanes Turrialba, Irazú y Poás han presentado actividad eruptiva y fumarólica más o menos constante en los últimos 150 años; del volcán Viejo y Barva se tienen registros de actividad eruptiva sin comprobación satisfactoria. Los volcanes Cacho Negro y Platanar poseen actividad de aguas termales, el Barva presenta además actividad solfatarica; el volcán Viejo la mostraba hasta hace unos pocos años.

Vulcanismo Intragraben:

En las llanuras del Atlántico; citadas por DENGO (1962) como una prolongación del Graben de Nicaragua, se levantan una serie de pequeños cerros y conos volcánicos. En algunos lugares cerca de la frontera con Nicaragua se extienden en forma de serranías bajas que pertenecen a las estribaciones Sur de la Cordillera de Chotales (MALAVASSI & CHAVES, 1970). En ellas se pueden observar conos con cráteres abiertos, el pequeño cerro donde está el hito Sar, parece ser chimenea volcánica ahora expuesta por la erosión (MADRIGAL & ROJAS, 1980).

Algunos de estos cerros están constituidos por rocas piroclásticas y lavas: andesitas piroxénicas (Cerros Chaparrón), andesitas augíticas y andesitas basálticas (Cerros Sardinal-Arrepentidos), basaltos alcalinos, basanitas, tefritas y monchiquitas (Lomas de Sierpe, Colorado, Aguas Zarcas y Cerro Tortuguero).

Según MALAVASSI & CHAVES (1970) los Cerros de Cureña sobreyacen discordantemente a las rocas sedimentarias de Venado (Mioceno). BELLON & TOURNON (1978), por medio de método K/Ar dataron una lava del Cerro Coronel, dando una edad de 1.2 ± 0.4 m.a. Por tanto, la edad de estos cerros debe de estar comprendida en el Plioceno-Cuaternario.

Cordillera de Talamanca y Fila Costeña:

En la Cordillera de Talamanca y en la Fila Costeña se encuentran evidencias de actividad volcánica Plio-Pleistocénica en forma de domos y relictos volcánicos tales como el Cerro Jaboncillo, Mano de Tigre, Pelón y los ubicados en los alrededores del río Lori y en la confluencia de éste con el río Coén (BALLMAN, 1976; MORA, 1979). También se observan diversas estructuras volcánicas poco estudiadas ubicadas en fila Matama y alrededores (ESCALANTE, 1978). Estas áreas están compuestas por diversas rocas volcánicas, principalmente lavas (andesitas, dacitas, basaltos) y tobas. Se supone que estos materiales volcánicos provienen de una fase tardía del vulcanismo post-orogénico, posterior al emplazamiento de los plutones Miocénicos (BALLMAN, 1976; MORA, 1979).

Isla del Coco:

La Isla del Coco (22 Km²) se localiza en el Océano Pacífico a unos 650 Km., al suroeste del Puerto de Puntarenas y está emplazada aproximadamente hacia la parte central de la Cresta Asísmica de Cocos, que fue originada por un punto caliente ubicado sobre la Placa de Cocos, muy cerca de la Dorsal de las Galápagos (HEY, 1977). Está constituida predominantemente por coladas de lava (traquitas, basaltos con olivino y basaltos con olivino y hornblenda en menor cantidad).

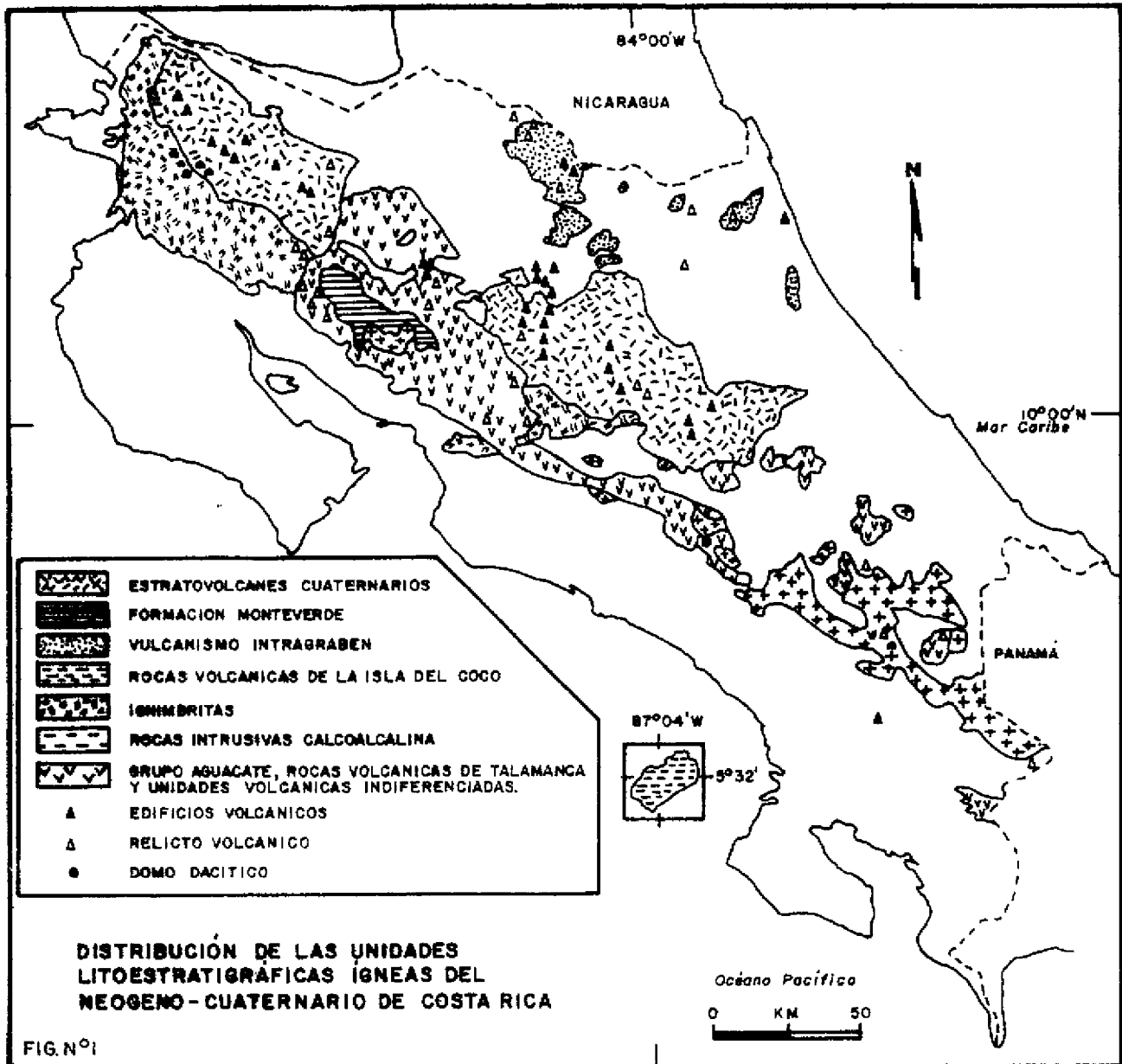
Según el modelo de HEY et. al. (1977), esta isla se encuentra ubicada entre las isocronas de 10 y 15 m.a. Sin embargo, las dataciones radiométricas suministradas por TOURNON (en SAENZ, 1982) para esta isla proporcionan edades de 1.2 y 2 m.a. y las de DALRYMPLE & COX (1968, en DENGO & LEVY, 1970) de 2 m.a. Lo anterior sugiere que la isla es producto de un vulcanismo local y enigmático (Plioceno Sup.-Pleistoceno Inf.) no relacionado con vulcanismo que dio origen a la Cresta Asísmica de Cocos.

Agradecimientos:

Se agradece a Siegfried Kussnaul y Rodolfo Madrigal por la revisión del texto. A Walter Montero y Peter Baumgartner por sus comentarios respecto a la Isla del Coco

REFERENCIAS

- ALVARADO G. E., PANIAGUA, S., & TEJERA, R., 1980. Mapa del Vulcanismo Plio-Pleistoceno. Escala 1:700.000 (mapa preliminar). Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica.
- BALLMAN, P., 1976. Eine Geologische Traverse des Ostteils der Cordillera de Talamanca. Costa Rica (Mittelamerika). J. Jb. Geol. Palaont. Mh. H.8: 502-512.
- BELLON, H., & TOURNON, J. 1978. Contribution de la géochronométrique K-Ar a L'étude du magmatisme de Costa Rica, Amérique Centrale. Bull. Soc. Géol. France (7), t. XX, 6 : 955-959; París.
- CHAVES, R., & SAENZ, R., 1974. Geología de la Cordillera de Tilarán (Proyecto Aguacate, 2a fase. Inf. Téc. y Not. Geol., año 12, No. 53: 1-49. Dirección de Geol. Min. y Petról., San José, Costa Rica.
- DENGO, G. 1962. Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. IX + 112 págs. Inst. Geogr. de Costa Rica, San José.
- DENGO, G., & LEVY, E., 1970. Mapa Metalogenético de América Central. Publ. Geol. ICAITI, III, 15 págs. + anexos. Guatemala.
- DONDOLI, C., DENGO, G., & MALAVASSI, E. 1968. Mapa Geológico de Costa Rica. Escala 1:700.000 (compilación). Dirección Geol. Min. y Petról., San José, Costa Rica.
- ESCALANTE, G., 1978. Mapa Geológico Preliminar, Area Sureste de Costa Rica (Cordillera de Talamanca y zonas adyacentes). Escala 1:200.000 San José, Costa Rica (inédito).
- HEY, R., 1977. Tectonic evolution of the Cocos-Nazca Spreading. Geol. Soc. Am. Bull., V. 88: 1404-1420.
- HEY, R., JOHNSON, G. L. & LAWRIE, A., 1977. Recent Plate motions in the Galapagos area. Geol. Soc. Am. Bull. V. 88: 1385-1403.
- KUSSMAUL, S. Estudio Geológico y Petrográfico de la Cuenca del Río Aranjuez (Cordillera de Tilarán, Provincia de Puntarenas). (En preparación).
- MADRIGAL, R., & ROJAS, E., 1980. Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica. (escala 1:200.000). 79 págs., SEPSA, Imprenta Nacional; San José, Costa Rica.
- MALAVASSI, E., & CHAVES, R., 1970. Estudio Geológico Regional de la Zona Atlántica Norte de Costa Rica. Inf. Téc. y Not. Geol., año 9., No. 35, 16 págs., Dirección de Geol., Min. y Petról., San José, Costa Rica.
- MORA, S., 1979. Estudio Geológico de una parte de la Región Sureste del Valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, V. 1:188. Escuela Centroamericana de Geología San José, Costa Rica, (inédita).
- SAENZ, R. 1971. Aparatos volcánicos y fuentes termales de Costa Rica. Inf. Tec y Not. Geol. No. 41: 16. Dirección de Geol. Min. y Petról., San José, Costa Rica.
- SAENZ, R., 1982. Edades Radiométricas de algunas rocas de Costa Rica. Bol. de Vulcanología No. 12: 8-10. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.



**PETROGRAFIA Y PETROQUIMICA DE LA
CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL,
COSTA RICA**

**PETROGRAPHY AND PETROCHEMISTRY
OF CORDILLERA VOLCANICA CENTRAL,
COSTA RICA**

*Sergio Paniagua**

ABSTRACT

This work discuss mineralogical and geochemical characteristics, of andesites and basaltic andesites from the Quaternary strato-volcanoes: Poás, Barva, Irazú and Turrialba which together conform Cordillera Volcánica Central of Costa Rica.

Mineralogically lavas consist of two pyroxene, two pyroxene-olivine andesites and basaltic andesites.

Rocks from Poás, Barva, Irazú and Turrialba are petrochemically uniform. Silica ranges from 48.53-65.03 weight %/o, average potassium is relatively high: 1.98 weight %/o, being Irazú (2.2) and Barva (2.0) higher. K_2O/Na_2O ratio ranges from 0.53 to 0.64. Rate $Mg/(Mg + Fe \text{ total})$ ranges from 0.30 TO 0.64. Sodium values increase slightly towards Irazú and Turrialba and all samples are relatively poor in TiO_2 , less than 1.1.

Peccerillo and Taylor's clasification applied to the Cordillera Volcánica Central Rocks shows that most of the lavas are high potassium basaltic-andesites, high potassium andesites and in minor degree normal basaltic andesites, all of them within the Calc-alkalic series.

RESUMEN

En este trabajo se discuten las características mineralógicas y geoquímicas de rocas andesíticas y andesíticas basálticas pertenecientes a los estrato-volcanes cuaternarios de los macizos Poás, Barva, Irazú y Turrialba, que constituyen la Cordillera Central de Costa Rica,

Dicha Cordillera se encuentra orientada en una dirección preferencial NW-SE y la conforman además de los macizos ya mencionados otras formas asociadas tales como conos secundarios o parásitos de aproximadamente la misma composición. Los estrato-volcanes corresponden a las últimas edificaciones del magmatismo joven de Costa Rica, los cuales se alzan imponentes sobre las formaciones volcánico-sedimentario terciario y son cubiertos a la vez en forma parcial por depósitos de lahares y cenizas recientes.

Se estudiaron aproximadamente 125 secciones transparentes y 20 cortes con platina universal, además se realizaron estudios modales con conteo de puntos de 20 secciones delgadas consideradas representativas del área. 16 nuevos análisis químicos de elementos mayores han sido incorporados para este estudio al volumen ya existente realizado por otros autores para la Cordillera Volcánica como para el Valle Central (Tabla 1).

Mineralógicamente las lavas consisten de un 40-45 vol %/o de fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno y en menor grado minerales opacos y olivino, los cuales se encuentran inmersos en una masa fundamental de vidrio y micro-litos que contienen prácticamente las mismas fases encontradas en los fenocristales. Plagioclasa de

* Escuela Centroamericana de Geología. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.

composición An38-An70 es el mineral más común y abundante en los fenocristales de la región. Posee contornos subeuhedrales y anhedrales, fracturado, con mantos de inclusiones frecuentes, parcialmente corroído y con zonación normal. Los tipos de macla son Albita y Albita-Carlsbad. El clinopiroxeno es el ferromagnesiano más abundante de las rocas de la región. Se presentan dos tipos: augita titanífera, en las rocas básicas con estructura de "reloj de arena" y augitas diopsídicas o subcálcicas ($2 V_x = 48^\circ - 60^\circ$) en las rocas intermedias. Exhiben cristales contornos subeuhedrales y anhedrales y a veces sus individuos se presentan reemplazados por seladonita. El ortopiroxeno se presenta generalmente como fenocristal en mucho menor abundancia como microlito en la masa fundamental. Los fenocristales son de tipo broncita a hiperstena ($2 V_x = 54^\circ - 89^\circ$) con promedios de En80 Fs20. Ocasionalmente se exhibe como comulito o textura en corona rodeado por augita, sobre todo en las andesitas basálticas en la masa fundamental. En algunas andesitas y andesitas basálticas, los fenocristales de olivino están rodeados por una margen de reacción de piroxeno (principalmente augita). Se presenta normalmente con alteraciones a iddigisita y seladonita en forma parcial o completa. Se ha observado en algunas muestras (volcán Poás) fantasmas de olivino cloritizado. Comúnmente los fenocristales de olivino se presentan con contornos subeuhedrales y con borde opacítico bien marcado. Su ángulo axial varía entre $2 V_x = 82^\circ - 92^\circ$ y $2 V_x = 77^\circ - 90^\circ$, con promedios de Fo 80 Fa 20. Los minerales opacos, aunque escasos siempre están presentes tanto como fenocristales como microlitos en proporción mayor en la mesostasa.

Las rocas de los volcanes Poás, Barva, Irazú y Turrialba en la Cordillera Central son petroquímicamente uniformes. Poseen un porcentaje de SiO_2

que varía entre 48.53 y 65.03 peso (55 % peso promedio). Los contenidos de K son relativamente altos (1.98 % peso) para tenores de 53-62 % de sílice. Siendo los más altos los de los volcanes Irazú (2.2) y Barva (2.0). Los valores de la razón $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ fluctúan entre 0.53-0.64; las razones $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe total})$ entre 0.30-0.64 son bajos en comparación con los magmas generados por fusión parcial de peridotita rica en Mg.

El contenido de Al_2O_3 se mantiene relativamente alto, llegando hasta valores de 20.07 % para tenores de 51-52 % de sílice, lo cual puede considerarse elevado, aún dentro de los "High Alumina Basalts". El contenido de K_2O aparece con valores relativamente altos aún para una serie calcoalcalina. Los valores de Na_2O tienden a incrementarse ligeramente hacia los volcanes Irazú y Turrialba. El CaO se mantiene aproximadamente invariable en todos los estrato-volcanes de la Cordillera Central y las muestras lávicas exhiben un relativo empobrecimiento en TiO_2 (< 1.1).

Se propone el esquema de clasificación química de PECCERILLO y TAYLOR (1975) para las diversas rocas cuaternarias de la Depresión Central de Costa Rica, ya que ésta coincide grandemente con la petrografía observada en dichas rocas. De acuerdo con el diagrama de variación K_2O versus Sílice de PECCERILLO y TAYLOR (1975) la mayoría de las lavas de los volcanes de la Cordillera Central se ubican principalmente dentro de las andesitas basálticas de alto K, andesitas de alto K y en menor grado andesitas basálticas normales, todas dentro de la serie calcoalcalina (Fig. 1).

El Índice Calcoalcalino de Peacock para el grupo de rocas volcánicas de la Cordillera Central es 58.7 ($\text{CaO} = 6.2$), que es similar al promedio de la región andina (58.5-59.5, $\text{CaO} = 6 - 6.5$).

TABLA 1
ANÁLISIS QUÍMICOS PROMEDIOS DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS
CUATERNARIAS DE LA DEPRESIÓN CENTRAL

No. de Análisis	1)	2)	3)	4)	5)
	9	8	20	7	6
SiO ₂	54.78	54.55	55.24	55.24	62.72
Al ₂ O ₃	18.54	17.54	17.28	16.93	16.87
Fe ₂ O ₃	3.99	3.36	2.82	2.91	1.56
FeO	4.68	4.59	4.22	4.42	2.78
MnO	0.16	0.14	0.12	0.13	0.13
MgO	3.60	5.08	5.05	5.27	1.26
CaO	7.73	7.74	7.45	7.80	3.25
Na ₂ O	3.27	3.23	3.45	3.45	4.02
K ₂ O	1.73	1.86	2.21	1.85	3.85
TiO ₂	0.87	1.02	1.04	0.98	0.97
P ₂ O ₅	0.29	0.28	0.36	0.32	0.27
H ₂ O	0.57	0.19	0.65	0.60	2.09
CO ₂	0.02	---	0.02	---	0.02
IC	23.38	28.11	28.05	29.11	11.82
NORMA CIPW					
Q	7.43	5.38	4.73	5.13	14.90
C	---	---	---	---	0.87
Ab	27.83	27.38	29.38	29.32	34.68
Or	10.30	10.86	13.13	11.01	23.21
An	30.95	27.93	24.65	25.32	14.67
Mt	5.01	4.91	4.13	4.26	2.32
Il	1.66	1.95	1.99	1.87	1.88
Ap	0.68	0.67	0.86	0.77	0.65
D ₁	4.62	7.28	8.11	9.33	---
Hy	10.58	12.72	12.56	12.28	6.03

1) Volcán Poás 2) Volcán Barva 3) Volcán Irazú
4) Volcán Turrialba 5) Ignimbritas Valle Central.

PECCERILLO Y TAYLOR (1975)

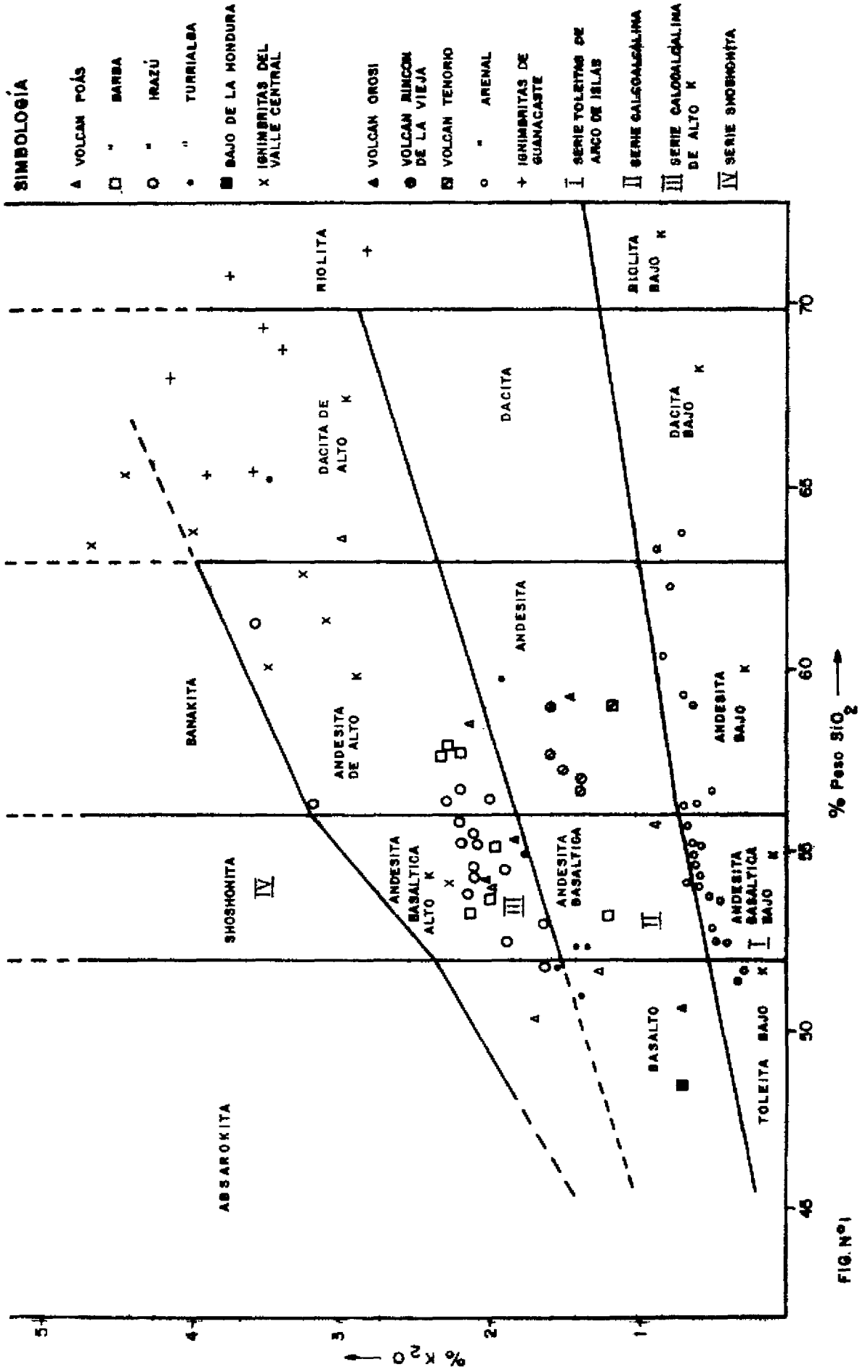


FIG. N°1

EVOLUCION MAGMATICA EN AMERICA CENTRAL

*Michael J. Carr.**

Magmatic Evolution in Central America

RESUMEN

Existen estrechas relaciones entre las características geofísicas, vulcanológicas y geoquímicas de los volcanes de América Central. Existe una uniforme variación en las alturas de los volcanes a lo largo del frente volcánico de América Central; alto en los extremos en Costa Rica y Guatemala y bajo en el centro. Estas variaciones se correlacionan negativamente con la gravedad de Bouguer y positivamente con la profundidad al Moho. Esto sugiere que empozamiento de magma puede ocurrir en el Moho.

Las alturas de los volcanes también correlacionan con el contenido elemental de grandes iones litófilos en las lavas, que pueden estar relacionados con sistemas abiertos de fraccionamiento. Tres tendencias de fraccionamiento se han identificado en estos volcanes que pueden relacionarse con la gravedad de los mismos. Estas tendencias pueden ser debidas a la profundidad a la que el fraccionamiento ocurre.

Un modelo de dos reservorios se propone para los volcanes de América Central. Uno en el Moho, que controla la densidad de los basaltos que asciende por la corteza. El otro reservorio es superficial, de unos pocos varios kilómetros de profundidad, y es el sitio de un fraccionamiento extensivo, así como de mezcla de magmas.

Introduction

There are several close relationships between the geophysical, volcanological and geochemical characteristics of Central American volcanos. Three of these relationships are emphasized here and a working hypothesis for magmatic evolution is derived them.

Bouguer Gravity and Height of Volcanic Edifice

There is a remarkably smooth variation in the heights of volcanoes along the Central American volcanic front with high elevations at the ends of the arc in Guatemala and Costa Rica and low elevations in the center of the arc. Most of this variation is caused by changes in regional elevation. However, there are also systematic variations in volcanic edifice height, the height of a volcano above its surroundings. These edifice heights correlate positively with regional elevation and negatively with Bouguer gravity (Fig. 1).

If we take the largest most mature volcano in each segment of the volcanic front and assume that its edifice height is controlled by the extent of its plumbing system, we can estimate the depth, H , of the plumbing using a simple relation between depth,

* Department of Geological Sciences, Rutgers University New Brunswick, New Jersey, 08903.

edifice height and the densities of magma and rock (Ben-Avraham and Nur, 1980). Similarly, we can estimate the thickness of the crust, M , from the regional Bouguer gravity (Woollard and Strange, 1962). Both estimates are very crude. Nevertheless, the range and sense of variation is reasonable for each estimate. Therefore, the obvious correlation (Fig. 1) between H , the depth to a reservoir, and M , the depth to the Moho, strongly suggests that there is a systematic ponding of magma at the Moho caused by the sharp density contrast between mantle and crust.

A magma reservoir at the base of the crust can have important petrologic consequences. For example, McBirney (1969) observed that basalts in Nicaragua were more mafic than other Central American basalts. Our current work confirms this observation and ponding and fractionation at the base of the crust can help explain it. Crustal rocks are relatively incompressible, but magmas are readily compressible. Therefore, a Mg and Fe rich Nicaragua basaltic magma at 30 Km depth can have the same density as a less mafic Guatemalan basaltic magma at 40 Km depth. Although the mafic magma is more dense at the surface, both magmas have essentially the same bouyancy relative to the lower crust and can rise.

LIL Elements and Size of Volcanoes

There is a wide range of LIL element contents in Central American lavas. Island-arc tholeiite basalt ($K_2O = .07$ wt. $\%$, $Rb = 5$ ppm, $Ba = 70$ ppm) occurs in three small volcanic centers near Managua, Nicaragua. High-alumina basalts are common and some of the larger volcanoes, like Santa Ana in El Salvador, are transitional between the high-alumina and alkali basalt series. Throughout Central America the larger the volcano, the higher the LIL element content. The most convenient expression of this relation with the available data is to plot the K/Ba ratios of basalts and basaltic andesites against the volumes of volcanoes (Fig. 2). The regional variation of Na_2O contents (Fig. 1) is also an expression of this relation since the Na_2O variation roughly parallels the variation in the heights of volcanic edifices, which is related to volume. The most probable explanation for this relationship is open system fractionation (O'Hara, 1977; Yanagi and Ishizaka, 1978). Volume is a crude measure of the maturity of the open system fractionation process.

Shallow Magma Reservoirs and Low Pressure Phase Relations

New analyses of lavas from the volcanic front reveals three fractionation trends. The most common trend, termed 'normal' by Carr et al. (1981) for Salvadoran volcanoes, is found in 11 suites from southeast Guatemala, El Salvador and Nicaragua. These volcanoes typically have localized negative Bouguer gravity anomalies, calderas and geothermal areas. They may have large shallow magma reservoirs. An 'Al-rich' trend is found in four suites. This trend is caused by less plagioclase fractionation and is found in volcanoes that lack large negative Bouguer gravity anomalies and geothermal areas. The third trend is found only in central Nicaragua in three suites of island-arc tholeiite lavas near Managua. Only a few of the Central American suites, (e. g. Masaya volcano) do not fit into one of these three trends.

Most mafic volcanic front lavas have phenocrysts of olivine, magnetite plagioclase and clinopyroxene. Although the percent of phenocrysts can be as high as 30 $\%$, the three different sets of suites define narrow clusters in most pseudo ternary projections (e. g. Fig. 3). The most consistent feature of the projections is the marked decrease in the plagioclase liquidus field in comparison with MORB lavas or 1 atm experimental data. The moderate (2 to 3 wt. $\%$) H_2O contents of Central American basalts (Anderson, 1975) is the probable cause.

The remarkably close clustering of the 11 different 'normal' suites in figure 3 strongly suggests that they define a low pressure ol-plag cotectic for typical Central American lavas. The 'Al-rich' suites have basalts similar to those in 'normal' suites, but with fractionation they lose less plagioclase and progressively diverge from the 'normal' suites. With data from additional suites we might find a continuous gradation between the 'normal' and 'Al-rich' suites. Our current hypothesis for the 'Al-rich' suites is that they begin with a basalt, like that of the 'normal' suites, but fractionate at greater depths and possibly at higher PH_2O .

Summary of Working Hypothesis

The simple relationships outlined above suggest a two reservoir model for Central American volcanoes. The depth of the first reservoir, at the base of the crust, controls the density of the basalts

rising into the crust. The second reservoir, a few to several Km, beneath the volcano is the site of extensive fractionation and magma mixing. Low pressure phase relations involving moderate H₂O contents control the major element chemistry. The LIL element contents, a measure of the extent of open system fractionation, are controlled by the efficiency of transfer of magma from the subcrustal to shallow reservoirs. The compressibility of magma

suggests that the transfer is more efficient in areas of thick crust. The basalt that can initially rise in areas of thick crust will have relatively low Mg and Fe contents and relatively low density at shallow depths. In areas of thin crust the more mafic lava that can initially rise is more dense at shallow depths and easily trapped and removed from the magmatic system as dike and sill intrusions into the upper crust.

BIBLIOGRAPHY

- ANDERSON, A. T., 1976. Coalescence, ascent and crystallization of the 1974, Fuego magma: a progress report: Abs, EOS, v. 57, p. 346.
- BEN AVRAHAM, Z. and NUR, A., 1980, The elevation of volcanoes and their edifice heights at subduction zones: Jour. Geophys. Res. v. 85 p. 4325-4336.
- CARR, M. J., MAYFIELD, D. G. and WALKER, J. A., 1981, Relation of lava compositions to volcano size and structure in El Salvador: Jour. Volcanol. Geotherm. Res. v. 10, p. 35-48.
- McBIRNEY, A. R., 1969, Compositional variations in Cenozoic calc-alkaline suites of Central America: Intern. Upper Mantle Sci. Rep. 16, p. 185-189, Oregon.
- O'HARA, M. J., 1977, Geochemical evolution during fractional crystallization of a periodically refilled magma chamber: Nature, v. 266, p. 503-507.
- WOLLARD, G. P. and STRANGE, W. E., 1962. Gravity anomalies and crust of the earth in the Pacific basin: The Crust of the Pacific Basin, Geophys. Mono. 6, G. A. MacDonald ed. p. 60-80.
- YANAGI, T. and ISHIZAKA, K., 1978, Batch fractionation model for the evolution of volcanic rocks in an island arc: an example from central Japan: Earth Planet. Sci. Lett. v. 40, p. 252-262.

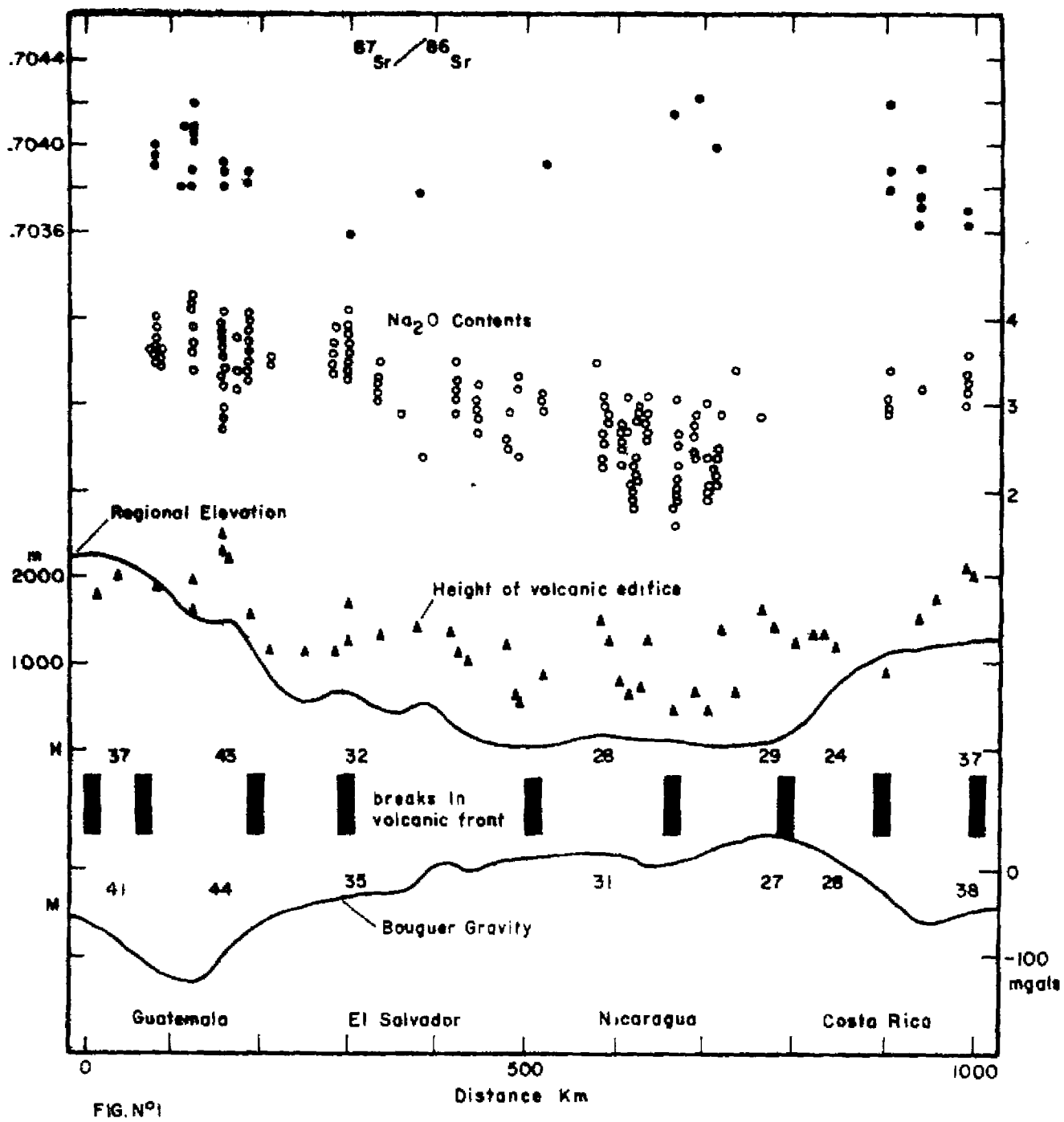


Fig. 1. Variation in selected physical and chemical parameters along the volcanic front. H is an estimate of depth (Km) to a magma reservoir. M is an estimate of depth to the Moho. Na₂O contents are for lavas with SiO₂ ≤ 55 wt. %

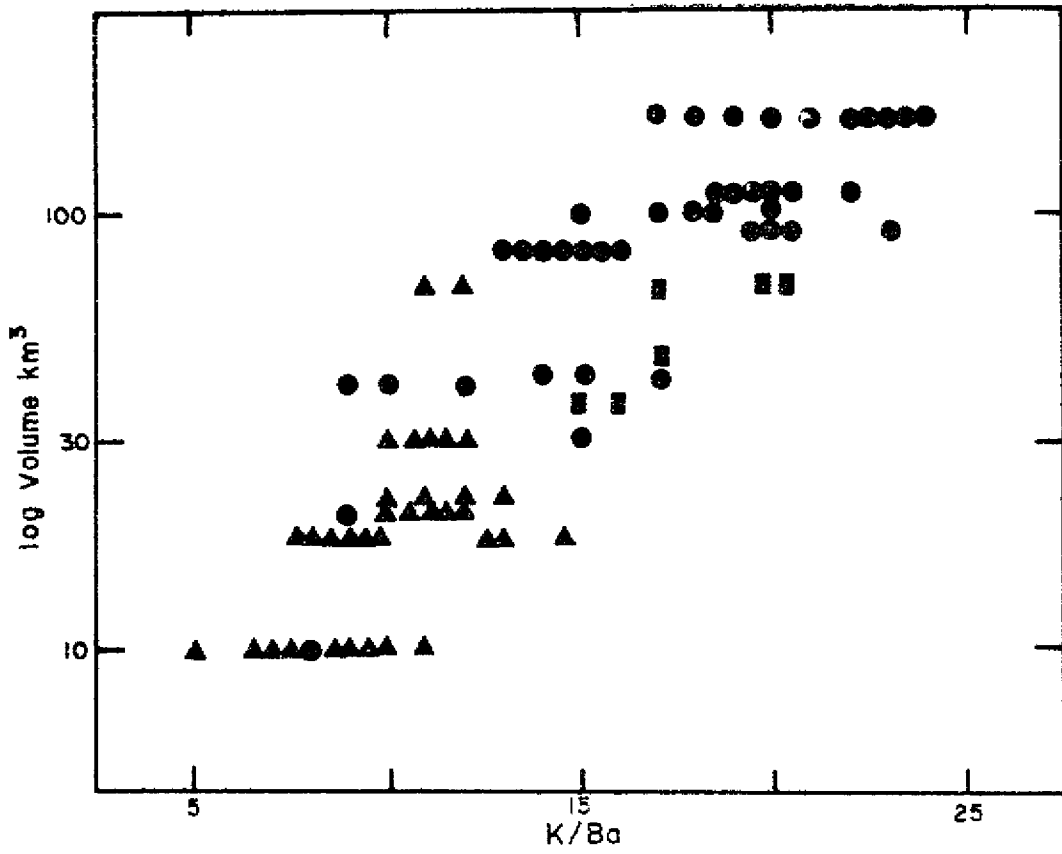


FIG. N°2

Fig. 2 K/Ba versus log volume of volcano for Guatemalan (boxes) Salvadoran (circles) and Nicaraguan (triangles) basalts and basaltic andesites. Small volcanic centers arbitrarily given a volume of 10 Km³

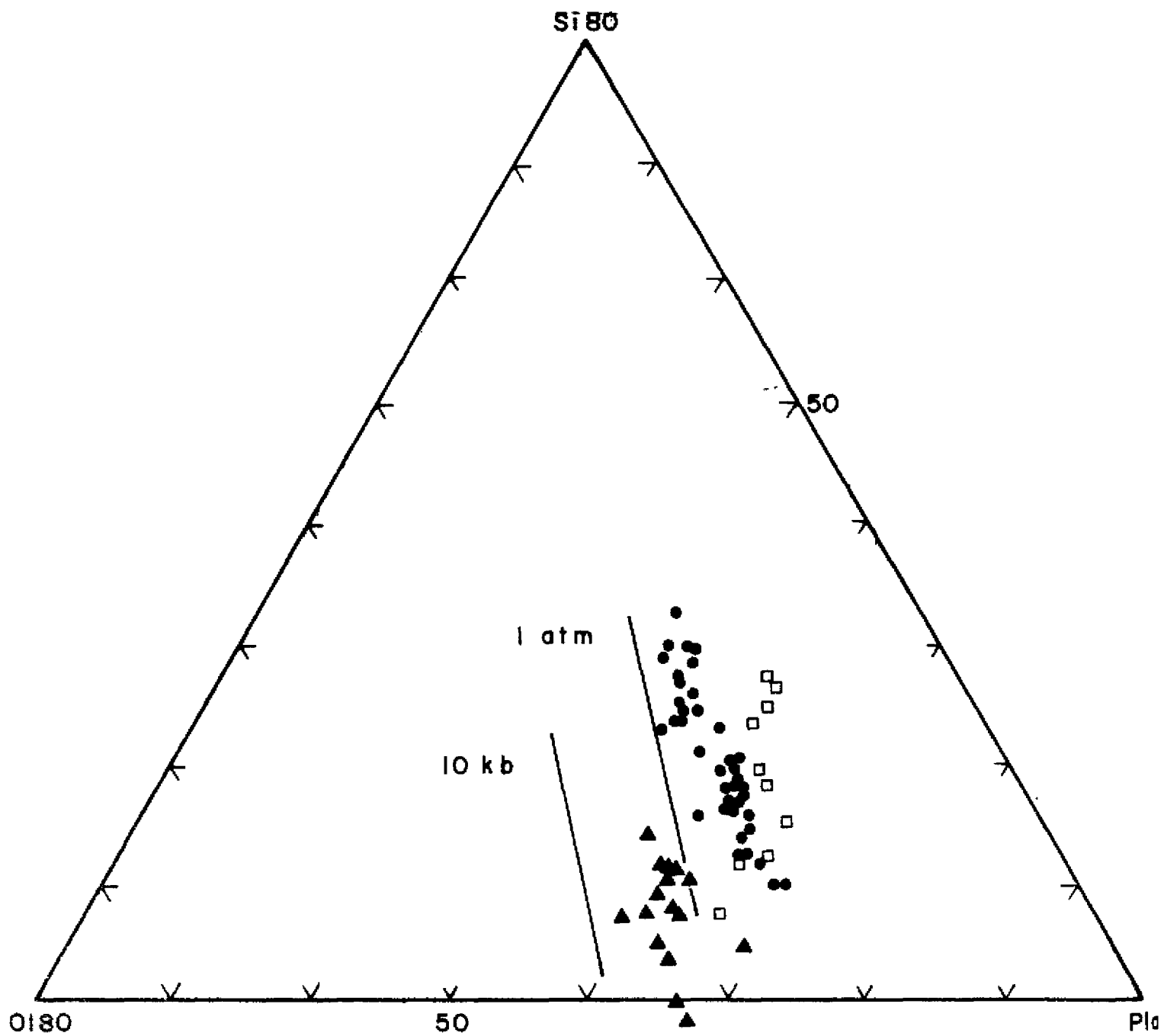


FIG. N° 3

Fig. 3. Dropside projection onto $O1-An-Si$ in molar units. Only lavas with $SiO_2 \leq 55$ are plotted. Filled circles are the 'normal' suites. Open squares are the 'Al-rich' suites and filled triangles are the island arc tholeiite suites.