

GEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA EN LAS VULCANITAS DEL CENOZOICO SUPERIOR DE LA REGION CENTRAL DE COSTA RICA

Sergio Paniagua Pérez

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica
Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)

ABSTRACT

This paper presents new analysis of trace elements (Co, Cu, Ni, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Ce, La, Ba, Zn) in the basalts of the pliocene Aguacate Group of the "Valle Central" and the quaternary products of the strato-volcanes of the "Cordillera Central" of Costa Rica.

The preliminary geochemical characterization of those elements and the diverse variation diagrams suggest an evolutionary magmatic tendency in the different types of rocks in the Central Region of the country, which begins with the most basic members of the quaternary series (basalts) and end with the ash-flows of intermediate to acidic composition, pointing out that the basic samples from the Aguacate Group are dispersed and apparently follow no evolution pattern, indicating they are rocks which possibly belong to another magmatic series.

Also it is attempted to prove the location and classification of the basic members of the "Cordillera Central" serie of Costa Rica in the corresponding geotectonic setting, applying to them the various petrologic and tectonic diagrams of PEARCE & CANN (1973).

RESUMEN

Se presentan nuevos análisis químicos de elementos traza (Co, Cu, Ni, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Ce, La, Ba, Zn) en los basaltos del Grupo pliocénico Aguacate del Valle Central y en especial en los productos cuaternarios de los estrato-volcanes de la Cordillera Central de Costa Rica.

La caracterización geoquímica preliminar de dichos elementos y los diversos diagramas de variación sugieren una tendencia evolutiva magmática de los diferentes tipos de rocas de la Región Central del país, los cuales se inician con los miembros más básicos de la serie cuaternaria (basaltos) y finaliza con los flujos ignimbriticos intermedios a ácidos, destacándose el hecho de que las muestras básicas del Grupo Aguacate se presentan dispersas y no siguen aparentemente ningún patrón evolutivo, indicando que son rocas que pertenecen posiblemente a otra serie magmática.

Se intenta además comprobar la ubicación y clasificación de los miembros más básicos de la serie de la Cordillera Central de Costa Rica en el marco geotectónico correspondiente aplicando para ello los diferentes diagramas petrológicos-tectónicos de PEARCE y CANN (1973).

INTRODUCCION

Los elementos traza constituyen una serie de elementos cuya concentración en el magma es $\leq 0.1\%$ y que de una u otra forma intervienen en el proceso de la génesis y evolución magmática.

Desde hace algún tiempo se conoce que el comportamiento de dichos elementos obedece decisivamente a algunas características que presentan sus iones, tales como el tamaño de radio iónico, la carga y la electronegatividad de sus iones entre otras. Es así que si dos iones tienen igual radio y carga, entran en solución sólida en cantidades proporcionales a sus concentraciones en el líquido. Si los radios son semejantes y la carga igual, el de radio menor se concentra de preferencia en la fase sólida (ya que la unión es más débil para el ión mayor y eso se traduciría en un menor punto de fusión del mineral correspondiente).

Si dos iones tienen radios iguales o semejantes y carga diferente, el ión de mayor carga entra preferentemente en la estructura cristalina y se dice que es capturado por el mineral. Hay muchas excepciones al respecto, por tal motivo se introdujo posteriormente el término de electronegatividad de los iones, de tal manera que si dos iones poseen radios y cargas similares, aquel de menor electronegatividad será incorporado preferentemente al mineral, ya que forma la unión más fuerte y de tipo más iónico.

TAYLOR (1965) ha sido uno de los primeros en la aplicación de los elementos traza para la petrología. El estudio de elementos traza tiene varias ventajas comparadas con el estudio de elementos mayores:

-Ellos comúnmente muestran un amplio rango de concentración.

-Las razones o cocientes entre dos elementos de diverso comportamiento geoquímico pueden variar mucho, así es que la razón de elementos traza apropiados (por ejemplo Ba/Rb) puede ser indicador sensible de ciertos procesos geológicos.

-Una gran información petrológica ha sido obtenida del estudio de ocho elementos mayoritarios. El estudio de muchos más elementos, proporciona una gama de combi

naciones en cuanto a tamaños, valencia y reactividad química, en el que puede esperarse un incremento en nuestro entendimiento petrológico.

La concentración de un elemento en un líquido magmático depende de tres factores independientes:

- De la concentración inicial del elemento en la fuente de ese líquido.
- Del fraccionamiento químico que ocurre durante la fusión (total y/o fraccionada).
- Del fraccionamiento químico que ocurre durante el ascenso y la cristalización del líquido. Ello sin considerar el efecto de contaminación por asimilación durante las últimas etapas.

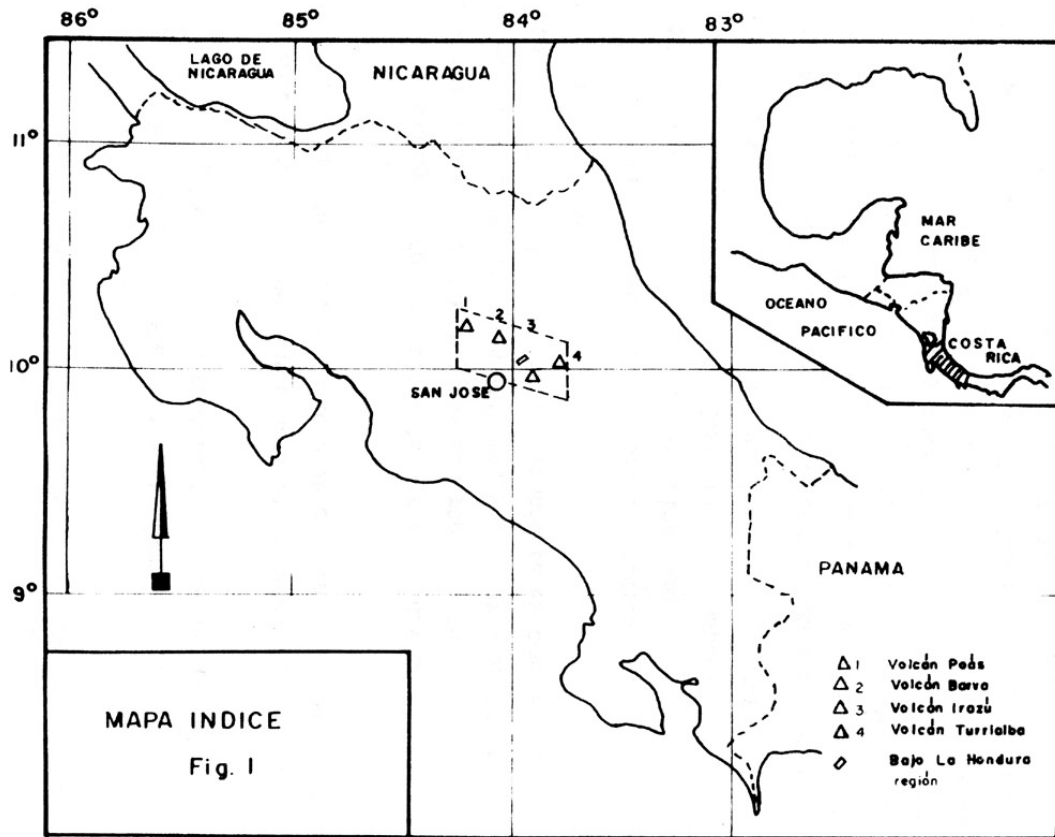
Para propósitos petrogenéticos los elementos traza se dividen en dos grandes grupos: elementos compatibles (Cr, Co, Ni) que son rápidamente incorporados durante el fraccionamiento dentro de las fases máficas, y elementos incompatibles, típicamente elementos litofílicos de radio iónico grande tales como Rb, Sr, Ba, elementos de tierras raras y otros.

Es propósito de este trabajo realizar la caracterización y discusión geoquímica de los elementos traza de los productos del volcanismo Plioceno-Cuaternario de la llamada Depresión o Región Central de Costa Rica, en especial con las lavas de los estrato-volcanes de la Cordillera Central (Poás, Barba, Irazú y Turrialba).

Las rocas volcánicas de la zona de estudio se encuentran tanto en la cordillera como en el Valle Central (Fig. 1), correspondiendo a la serie calcoalcalina los productos cuaternarios representados por las ignimbritas andesíticas y dacíticas del Valle Central y las lavas andesíticas y andesítica basálticas de la Cordillera Central (WILLIAMS, 1952; KRUSHENSKY & ESCALANTE, 1967; WEYL, 1980; KUSSMAUL et al. 1982; PANIAGUA, en prensa) y a la serie alcalina las rocas pliocénicas representadas aquí por los basaltos del Grupo Aguacate (DENGO, 1962; TOURNON, 1973; PICHLER y WEYL, 1975).

MÉTODOS ANALÍTICOS

Los elementos traza Co, Cu, Ni, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Ce, La, Ba, y Zn han sido analizados por el método de fluorescencia de Rayos X en el Departamento de Geología de la Universidad de McMaster, Canadá.



CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA

En la Tabla 1 se presentan los análisis químicos de elementos mayores, en la Tabla 2 los elementos traza pertenecientes a lavas e ignimbritas del área de estudio. Los análisis se han agrupado por unidades y estrato-volcanes de más antiguo a más reciente. Debido a la poca cantidad de análisis de elementos traza en las rocas de Costa Rica, las interpretaciones que aquí se discuten tendrán un carácter preliminar. A continuación se describen las características de los elementos traza de cada unidad en el área de estudio.

Grupo Aguacate:

En este grupo se incluyen también tres análisis de PICHLER y WEYL, 1975, de los cuales dos (AG-1 y AG-3) corresponden a la región de La Garita y de Río Grande de Atenas, dentro del área de estudio, la tercera muestra AG-5, está al oeste fuera del área investigada.

Los elementos compatibles Co y Ni, exhiben valores comparados con las rocas cuaternarias. El Cu es relativamente alto en comparación con las andesitas y basaltos de origen continental de TAYLOR (1969). El Cu decrece con el aumento de sílice y los valores de Ni/Co son típicamente > 1 (Fig. 2, Tabla 2).

Los elementos litofílicos de radio iónico grande en los basaltos alcalinos de este grupo tales como Rb y Sr, presentan valores variables entre 22 y 90 y entre 900 y 1175 ppm respectivamente. La abundancia del Sr está en relación directa al mayor contenido de CaO y al porcentaje modal de plagioclasa tipo bitownita observado (Tablas N° 1 y 2).

El Sr decrece generalmente con el incremento de sílice no solo en esta unidad sino también en lavas e ignimbritas cuaternarias. La abundancia promedio de Rb (63 ppm) es ligeramente alto con respecto al promedio de las lavas cuaternarias de la Cordillera Central, a excepción de la muestra AG-4 que es muy baja (22 ppm). La abundancia absoluta de Rb es intermedia entre las ignimbritas cuaternarias y los estrato-volcanes. El valor promedio de la razón K/Rb (300) es similar al de las ignimbritas pero inferior al de los estrato-volcanes y la razón Ba/Sr es menor en las lavas del Grupo Aguacate que cualesquiera de las unidades antes citadas.

Los cationes Zr y Nb del Grupo Aguacate son generalmente poco abundantes. El Zr, especialmente, aumenta al incrementarse el SiO_2 en todas las unidades en estudio (Fig. 2). Por último los contenidos absolutos de los elementos de tierras raras tales como Y, La y Ce son bajos comparados con el resto de las demás unidades.

Las rocas del Grupo Aguacate presentan características geoquímicas particulares: bajo contenido de sílice, altos contenidos de MgO , CaO , alto contenido de minerales máficos normativos. También presentan nefelina normativa, olivino modal y normativo que son rasgos particulares diferentes de las demás unidades. De acuerdo a PICHLER y WEYL (1975) estas rocas básicas representan tipos de diferenciación de magmas basálticos alcalinos.

Ignimbritas del Valle Central:

Son los primeros análisis de elementos trazas que se conocen de esta unidad. A pesar de que sólo tres muestras fueron analizadas, se discutirán sus principales características.

Se puede apreciar que a excepción del contenido de Cu que en general decrece con el aumento en sílice (Fig. 2), la abundancia de Co y Ni no sigue un patrón regular de comportamiento, no obstante, en las muestras FI-4 y FI-6 la baja razón Ni/Co (0.18 y 0.76) es notable. La abundancia absoluta de Sr es la más baja de todas las unidades. La relación K/Rb es alta y uniforme en las ignimbritas dacíticas (320) y baja (184) en la andesita basáltica ya que en especial la abundancia de K en las primeras es función directa del aumento de sílice.

El promedio de la razón Ba/Sr (2.25) y Rb/Sr (0.15) en las ignimbritas andesíticas es muy alta comparada con los estrato-volcanes de la Cordillera Central.

El Ba es el elemento de mayor abundancia (promedio 1269 ppm) que es consecuencia de su carga más elevada, por la cual el Ba es más fácilmente capturado por los minerales de potasio existentes en estas rocas sobresaturadas.

En general los valores más altos de Zr, Nb, Y, Ce y La, se presentan en las ignimbritas existiendo una ligera tendencia a su aumento con el incremento en el porcentaje de sílice (ver Fig. 2).

TABLA 1

	AG-1	AG-3	AG-4	AG-5
SiO ₂	43.45	44.07	44.63	48.60
Al ₂ O ₃	15.46	16.08	15.74	17.70
Fe ₂ O ₃	7.36	5.33	6.08	6.10
FeO	5.64	6.67	6.33	5.32
MnO	0.06	0.25	0.20	0.15
MgO	8.45	8.89	9.06	5.33
CaO	12.70	11.83	11.83	10.00
Na ₂ O	2.53	2.51	3.46	1.75
K ₂ O	0.82	0.86	0.62	2.86
TiO ₂	1.16	1.15	1.08	0.98
P ₂ O ₅	0.18	0.33	0.35	0.00
H ₂ O	2.84	1.93	0.00	0.16
CO ₂	0.00	0.12	0.00	0.00
Suma	100.65	100.02	99.38	99.15
NORMA CIPW				
Q	-	-	-	0.09
Ab	12.19	13.97	14.48	14.94
Or	4.95	5.18	3.68	17.05
An	29.03	30.64	25.74	32.31
Ne	5.24	4.15	8.10	-
Mt	10.93	7.89	8.89	8.95
Il	2.56	2.23	2.07	1.88
Ap	0.44	0.80	0.83	-
Di	26.84	21.50	24.60	14.13
Hy	-	-	-	10.56
Ol	8.03	13.44	11.53	-
I. Diferenciación	22.38	23.30	26.27	32.09

AG-1 Basalto alcalino. En PICHLER y WEYL, 1975.

AG-3 Basalto alcalino. En PICHLER y WEYL, 1975.

AG-4 Basalto alcalino. PANIAGUA, en prensa.

AG-5 Basalto alcalino. En PICHLER y WEYL, 1975.

... continuación ... TABLA 1*

	PL-2	P-2	BA-2	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7
SiO ₂	50.25	51.58	53.15	55.08	57.46	57.59	57.84
Al ₂ O ₃	18.83	20.17	15.91	17.63	17.22	17.17	17.52
Fe ₂ O ₃	3.82	3.83	3.34	3.30	2.92	2.79	2.74
FeO	5.46	5.48	4.58	4.51	3.99	3.82	3.75
MnO	0.18	0.16	0.13	0.15	0.13	0.14	0.12
MgO	5.11	3.35	7.45	4.75	4.43	4.42	3.98
CaO	9.52	9.06	8.15	7.60	6.80	7.05	6.80
Na ₂ O	3.30	3.27	3.24	3.28	3.36	3.36	3.61
K ₂ O	1.72	1.27	2.13	1.97	2.34	2.23	2.29
TiO ₂	0.79	0.96	1.03	0.97	0.76	0.78	0.76
P ₂ O ₅	0.48	0.30	0.43	0.32	0.19	0.25	0.23
Suma	99.46	99.43	99.54	99.56	99.60	99.61	99.64
NORMA CIPW							
Q		3.00	0.16	5.85	8.21	8.67	8.23
Ab	28.05	27.80	27.51	27.85	28.52	28.51	30.63
Or	10.21	7.54	12.63	11.68	13.87	13.22	13.57
An	31.65	36.80	22.68	27.68	25.09	25.27	24.92
Mt	5.58	5.60	4.88	4.82	4.26	4.07	4.00
Il	1.51	1.84	1.97	1.85	1.45	1.49	1.45
Ap	1.14	0.71	1.02	0.76	0.45	0.62	0.55
Di	10.21	5.22	11.98	6.47	6.02	6.49	5.94
Hy	6.02	11.45	17.09	12.98	12.06	11.59	10.66
Ol	5.58						
I. Diferen- ciación	38.25	38.34	40.31	45.38	50.60	50.40	52.42
PL-2	Basalto. Volcán Platanar, Macizo del Poás						
P-2	Basalto. Cerro Congo, Macizo del Poás						
BA-2	Andesita basáltica rica en K, Volcán Barba						
BA-4	Andesita basáltica rica en K, Volcán Barba						
BA-5	Andesita rica en K, Volcán Barba						
BA-6	Andesita rica en K, Volcán Barba						
BA-7	Andesita rica en K, Volcán Barba						

* PANIAGUA (en prensa)

... continuación ... TABLA 1

	BH-1	IR-2	TU-1	TU-2	TU-5	TU-6
SiO ₂	48.53	52.45	50.91	51.81	54.82	59.62
Al ₂ O ₃	19.93	16.60	16.51	17.07	17.23	16.99
Fe ₂ O ₃	4.22	3.17	3.92	3.55	3.13	2.52
FeO	5.78	4.52	5.21	4.74	4.17	3.82
MnO	0.20	0.15	0.15	0.13	0.12	0.10
MgO	6.04	7.05	6.95	6.60	5.50	3.86
CaO	9.97	8.80	9.10	9.47	7.87	6.15
Na ₂ O	2.91	3.36	3.45	3.19	3.68	4.10
K ₂ O	0.69	1.88	1.39	1.57	1.77	1.97
TiO ₂	0.92	0.99	1.46	1.00	0.92	0.71
P ₂ O ₅	0.22	0.57	0.44	0.37	0.37	0.29
Suma	99.41	99.54	100.01	99.61	99.58	100.13
NORMA CIPW						
Q					3.39	9.72
Ab	24.74	28.53	29.31	27.10	31.34	34.61
Or	4.10	11.15	8.25	9.31	10.49	11.61
An	39.50	24.77	25.58	27.75	25.37	22.10
Mt	6.17	4.63	5.72	5.18	4.57	3.66
Il	1.76	1.89	2.79	1.93	1.76	1.35
Ap	0.52	1.36	1.05	0.88	0.88	0.69
Di	7.05	12.18	13.41	13.54	9.07	5.19
Hy	11.96	13.69	10.43	13.90	13.17	11.00
Ol	4.13	1.95	3.39	0.34		
I. Diferenciación	28.84	39.68	34.56	36.41	45.12	55.95

BH-1 Basalto, región Bajo La Hondura.

IR-2 Andesita basáltica rica en K, Colada Cervantes, Volcán Irazú.

TU-2 Basalto, Volcán Turrialba.

TU-1 Basalto, Laguna Cratérica Bonilla, este Volcán Turrialba.

TU-5 Andesita basáltica rica en K, Volcán Turrialba.

TU-6 Andesita. Volcán Turrialba.

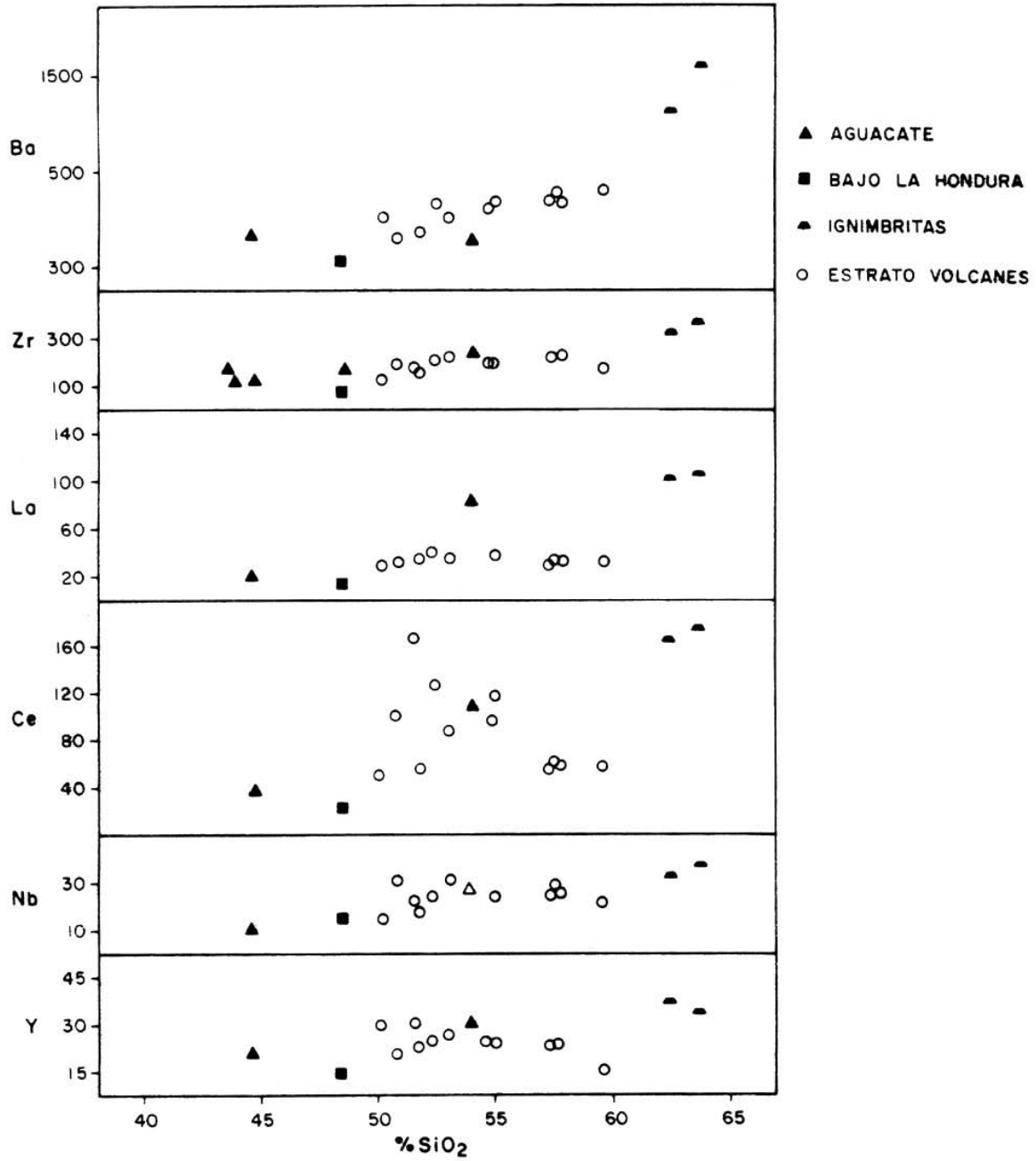
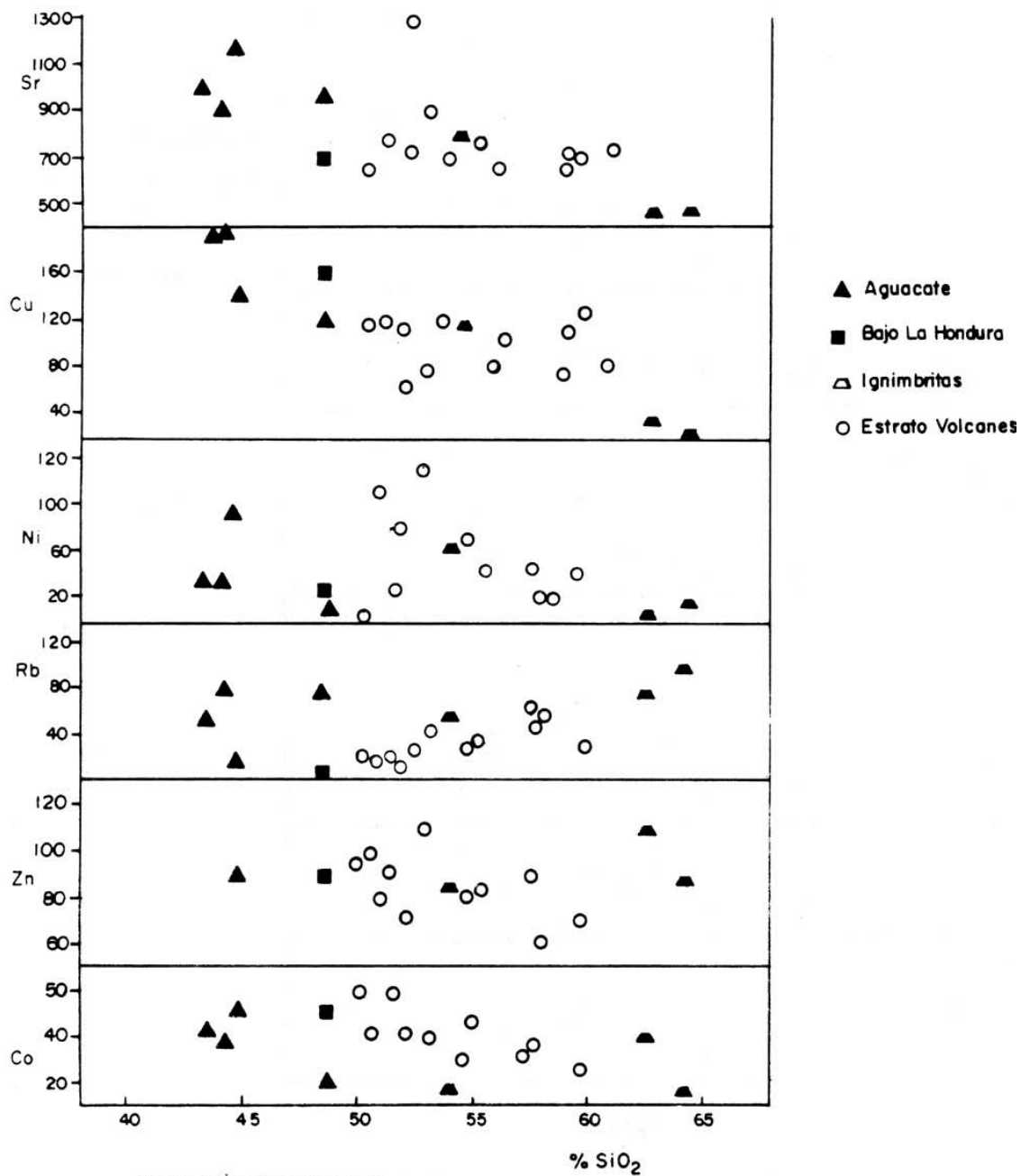


Fig. 2: Diagrama de variación de los elementos traza (ppm) vs sílice en las rocas volcánicas de la Depresión Central de Costa Rica.



Continuación de la Figura 2.

Estrato-volcanes:

A excepción de los contenidos de Rb y Sr dadas en 13 muestras por MONTIGNY et al. (1969), THORPE et al. (1979) y de Cr por TOURNON (1980), no existen hasta el presente análisis publicados de elementos traza de los estrato-volcanes de la Cordillera Central de Costa Rica.*

La mayoría de estas rocas son andesitas basálticas ricas en K, andesitas ricas en K y andesitas basálticas normales, de acuerdo a la clasificación de PECCERILLO y TAYLOR (1975).

En general tanto las andesitas como las andesitas basálticas de los estrato-volcanes, presentan valores de elementos traza intermedios entre las ignimbritas y las lavas del Grupo Aguacate, con excepción de los contenidos de Zn que son similares en todas las unidades. El promedio de la razón K/Rb (389) es superior en los estrato-volcanes.

Los elementos ferromagnesianos Co y Ni son más altos en las andesitas de la Cordillera Central que el promedio de las rocas de la serie calco-alcalina de TAYLOR (1969). El contenido de Co es alrededor de 44 ppm en las andesitas basálticas y andesitas de la Cordillera Central y es ligeramente inferior (68 ppm) al promedio de las andesitas japonesas de la serie hiperstena (TAYLOR & WHITE, 1966)

El contenido promedio de Ni (58 ppm) es más abundante que el promedio de las andesitas calco-alcalinas de TAYLOR (1969).

Los elementos traza Rb y Sr son similares en abundancia a las andesitas de arcos de islas del Pacífico Oriental de TAYLOR (1969).

A continuación se discutirán brevemente las características de los elementos traza en cada estrato-volcán.

Macizo Volcán Poás:

Las rocas de este centro volcánico (PL-2 y P-2) del cual fueron analizados los miembros más básicos de la serie presentan bajos valores de Ni, Zr, Rb/Sr y relativamente altas razones K/Rb en relación a los macizos volcánicos de Barba y Turrialba. Vale destacar que la muestra P-2 (Volcán Cerro Congo) posee una abun-

* Después de terminar el presente trabajo, TOURNON (1983) publicó 25 análisis de la Cordillera Central, los cuales no han sido considerados en esta investigación.

dancia inusualmente alta de Ba (1776 ppm) y de Sr (1326 ppm) comparada tanto con la muestra PL-2 (Volcán Platanar) como con los demás macizos. Esto puede ser explicado por un enriquecimiento en elementos litofílicos de radio iónico grande debido a una contaminación de magmas provenientes de la corteza oceánica subducida, de carácter diferencial, es decir, que afectaría al Sr y al Ba, pero no al K y Rb (MORENO et al. 1979). Es posible también que el alto contenido de Sr y Ba, en esta zona sea solamente un reflejo de una característica inherente al manto continental en esta área. Hay que recordar, también que en la discusión sobre el quimismo de las rocas de este macizo se menciona que esta área es la transición entre las rocas de la Cordillera Central y las rocas de la Cordillera de Guanacaste y Arenal, (KUSSMAUL et al. 1982). El alto contenido de Sr como una consecuencia de un proceso de acumulación de plagioclasa es dudosa ya que la petrografía en esta muestra no presenta evidencias claras de ello. Esta anomalía podría ser entonces explicada posiblemente por fenómenos de segmentación tectónica (PANIAGUA, en prensa).

Macizo Volcán Barba:

Las andesitas basálticas y andesitas de este macizo presentan abundancia de elementos traza similares al de los macizos Irazú y Turrialba. Los elementos Co y Cu son en promedio similares a los anteriores macizos, en tanto que el contenido de Ni (29 ppm) es muy inferior al de los macizos del Irazú (117 ppm) y Turrialba (71 ppm), pero es ligeramente superior al macizo Volcán Poás (17 ppm).

El contenido de Rb es el más alto de los elementos litofílicos de radio iónico grande de todos los estrato-volcanes de la Cordillera Central (60 ppm). Este aumento va aparejado con la abundancia también de Ba (714 ppm), a excepción de la superioridad del macizo Volcán Poás. Como es de esperarse el macizo Volcán Barba posee el más bajo contenido de la relación K/Rb (263) y una de las más altas razones Ba/Sr (1.02). Los valores de Zr, Nb, La, Y y Ce se mantienen uniformes en todas las lavas de este macizo al igual que en el Irazú y Turrialba.

Macizo Volcán Irazú:

En este macizo existen además de los elementos traza dados en esta investigación (muestra IR-2; % SiO₂ = 52.45; K₂O = 1.88) aportes de la abundancia de los contenidos de Rb y Sr en 5 lavas del Irazú (MONTIGNY et al. 1969; THORPE et al. 1979).

En el quimismo de los elementos mayores se demostró que existe una semejanza con las rocas del macizo Volcán Turrialba (PANIAGUA, en prensa), la abundancia en elementos traza confirma claramente esta aseveración (Tabla 2). Existe solo un ligero incremento del contenido de Sr, Ce y especialmente de Ni (117 ppm) en la roca de la muestra del Irazú (IR-2) con respecto a las muestras del macizo Volcán Turrialba (71 ppm). La razón Ni/Co (3.0) es la más alta de todos los estratovolcanes de la Cordillera Central y la cantidad de Ni solo es comparable con las que presentan los basaltos alcalino o toleíticos (promedio 120 ppm). De acuerdo a TAYLOR (1969), estos altos valores inusuales de Ni no son comunes pero pueden ocurrir en algunas andesitas de bajo sílice posiblemente debido a cúmulos de rocas de baja abundancia de Ni. El valor absoluto de la muestra IR-2 en la razón Ba/Sr es una de las más baja de la Cordillera Central y la razón K/Rb de esta misma muestra es también una de las más altas de la Cordillera junto con la del macizo del Turrialba.

La muestra BH-1 (Bajo La Hondura; Tabla 2), ubicada entre los macizos volcánicos de Barba e Irazú, exhibe el contenido más bajo de sílice (48.53% peso) de toda la región de la Cordillera Central. Concentraciones tan bajas de este óxido en el área de los estrato-volcanes no son comunes. No obstante su primitividad manifestada por el bajo contenido de sílice, su número magnésiano (0.53) no es tan alto, pero existen otras características que lo enfatizan aún más. La muestra es relativamente pobre en Na_2O (2.91% peso) pero rica en CaO (9.97% peso), lo cual hace que la razón $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ (3.43) sea la más alta entre las muestras analizadas de la región. Esto se refleja en el alto contenido de plagioclasa normativa (68.34%) y aunque no con la cantidad de plagioclasa modal, si con la composición cálcica de ésta. El contenido de K_2O (0.69% peso) es relativamente bajo y la razón $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.24) es la más baja de todas las muestras del área cordillerana. El bajo contenido de potasio es consistente con el bajo contenido de Rb (8 ppm). La muestra BH-1 se asemeja al promedio de los basaltos del Grupo Aguacate, pero éste es más bajo en SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y es ligeramente más alto en FeO_{tot} , MgO , CaO , K_2O y TiO_2 ; además Aguacate posee nefelina normativa, índice de color mucho más alto (44.58 vs 31.61) y la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, es tres veces superior a la de Bajo La Hondura.

Por la abundancia de elementos traza la muestra BH-1 se asemeja al promedio de los basaltos del Aguacate en los contenidos de Co, Cu, Ni, Y, Nb, La y Zn, pero

es extremadamente bajo en Rb (8 vs 63 ppm), Sr (734 vs 1018 ppm) y Ba (342 vs 499 ppm) y más alto en la relación K/Rb (716 vs 300 ppm) y Ba/Rb (43 vs 23 ppm).

Enfocando la atención de las muestras BH-1 (Tabla 2) y el promedio de las muestras del macizo Volcán Barba e Irazú, que son respectivamente las muestras menos y más diferenciadas, es posible adentrarse en los factores que juegan un rol en la evolución del magma que originó tales rocas.

Comparadas con los estrato-volcanes citados, la muestra BH-1 es más rica en Al_2O_3 , CaO, Mg, $FeO_{tot.}$, Co, Ni (excepto Irazú), plagioclasa y olivino normativo; presenta no obstante, una razón similar de $Mg/Mg + Fe_{tot.}$, TiO_2 y Sr, pero es pobre en SiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Rb, cationes de radio iónico grande, La y Ce. Además la muestra BH-1 presenta olivina normativa, al paso que las muestras de los centros volcánicos Barba e Irazú son cuarzo normativas. Estas tendencias son consistentes con un fraccionamiento controlado por la plagioclasa y olivino. Al fraccionarse la plagioclasa el líquido residual se empobrece en Al_2O_3 , CaO, Sr y un fraccionamiento del olivino trae consigo un empobrecimiento de MgO, Ni, Co. Las pérdidas de estos elementos se ven compensadas por un enriquecimiento en el resto de los elementos. Sin embargo, las altas razones de K/Rb, Ba/Rb y bajas razones Rb/Sr, de la muestra BH-1, indican que dicha diferenciación fue incipiente. Comparadas con las muestras volcánicas del Terciario Inferior de Costa Rica ($SiO_2 < 50\%$ peso), la muestra BH-1 es muy alta en Co (53 vs 17 ppm) y K/Rb (716 vs 283 ppm), y es a la vez extremadamente baja en Rb (8 vs 73 ppm).

Macizo Volcán Turrialba:

Tal como se discutió anteriormente, las muestras de este centro volcánico presentan características químicas y mineralógicas similares a las lavas del macizo Volcán Irazú. Esto también es válido para la abundancia de la mayoría de los elementos traza tales como Co, Rb, Zr, Y, Nb, La, Zn y Ba; lo mismo que para las razones K/Rb (492), Rb/Sr (0.40), Ba/Sr (0.82) y Ba/Rb (0.20), ver Tabla 2. Al igual que las muestras del macizo Volcán Irazú, las del Turrialba exhiben cantidades apreciablemente mayores de Ni (promedio 71 ppm), lo cual hace que la relación Ni/Co (1.92) sea superior a 1.0 típico de las andesitas promedio de TAYLOR (1969). Los valores absolutos de Ba de las distintas muestras del Turrialba (TU-2, TU-5 y TU-6) presentan una uniformidad en su abundancia (promedio = 705 ppm) a excepción de la muestra TU-1 que es inferior (478 ppm), esta última muestra es menos diferenciada

y corresponde a la Laguna Bonilla al este del Turrialba, que morfológicamente es más antigua que el Volcán Turrialba propiamente dicho. Comparada con el promedio de las rocas de este cono central, la muestra TU-1 es más pobre en sílice, Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , Ba, $Fe_{2O_3_{tot}}$, y presenta una razón $Mg/Mg + Fe_{tot}$ ligeramente más elevada, pero es más pobre en CaO, MgO, MnO, TiO_2 , P_2O_5 , Ni, Sr, plagioclasa, piroxeno monoclinico y olivino modal. Además la muestra TU-1 tiene olivino normativo, en tanto que las andesitas basálticas del cono central son cuarzo normativa. Esta tendencia de la muestra TU-1 es consistente con un fraccionamiento controlado por la plagioclasa y el clinopiroxeno.

Discusión y comparación de los resultados:

Los elementos traza Ni y Co pertenecientes a los diferentes tipos de rocas en la Depresión Central de Costa Rica están ploteados en la Fig. 3. En este gráfico se observa que en las muestras del Grupo Aguacate, a medida que aumenta el contenido de cobalto aumenta el de níquel. En las ignimbritas del Valle Central dicha relación es inversa.

Las muestras de rocas pertenecientes a los diferentes estrato-volcanes de la Cordillera Central no siguen un patrón de comportamiento regular, notándose únicamente que las rocas del macizo Volcán Poás (PL-2 y P-2) poseen los máximos valores de Co en tanto que la muestra del Irazú (IR-2) tiene los valores más altos de níquel.

Los elementos Co y Ni, son elementos compatibles que participan en el fraccionamiento del olivino y, por lo tanto, en una evolución magmática normal decrecen con el aumento del contenido de sílice o índice de diferenciación (% normativo de $Q + Ab + Or + Ne$) tal como se observa en las figuras 4 y 5. En la figura 4 el contenido de cobalto en la mayoría de las muestras de la Depresión Central disminuye bruscamente a medida que aumenta la diferenciación, a excepción de la muestra AG-4 que exhibe un relativo alto valor de Co (54 ppm) con respecto a las demás rocas de su grupo y de la muestra FI-1 que presenta uno de los índices de diferenciación más altos de su unidad, sin poseer la mayor cantidad de sílice en su composición. Este hecho puede ser explicado por su alto contenido de sodio que se refleja en una alta proporción de nefelina y albita normativa, producto de una contaminación original de esta muestra (PANIAGUA, en prensa).

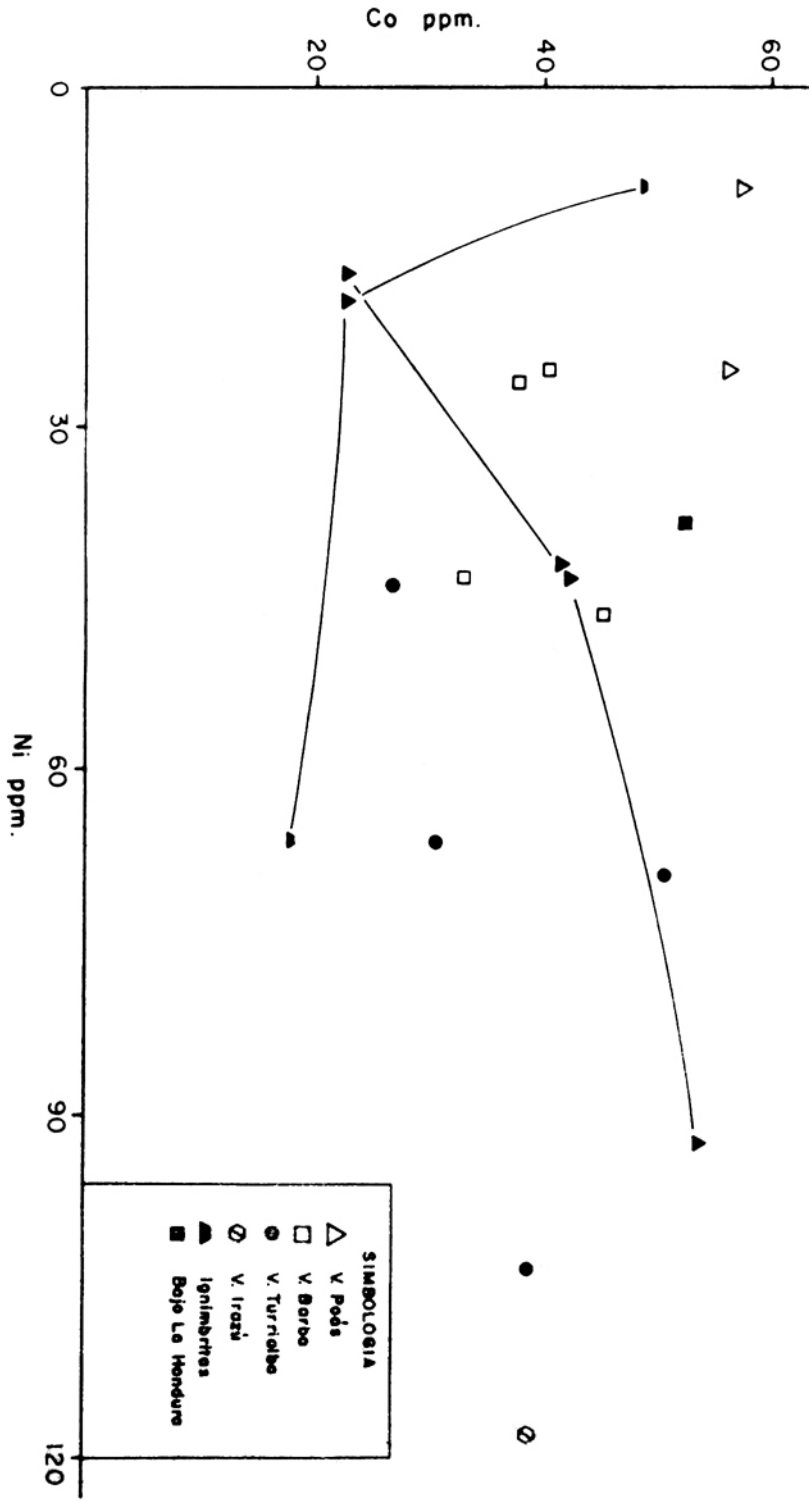


Fig. 3: Diagrama Ni-Co pertenecientes a las rocas volcánicas de la Depresión Central de Costa Rica

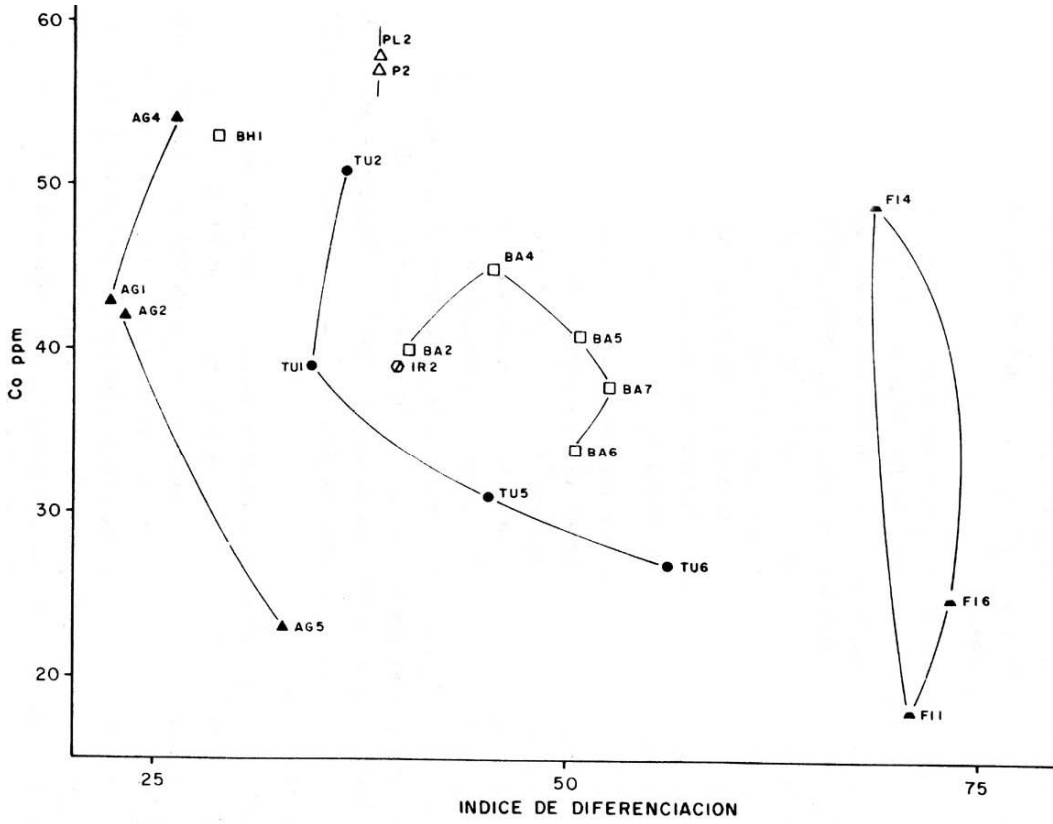


Fig. 4: Diagrama Co vs Índice de Diferenciación (% normativo de Q + Ab + Or + Ne) para las rocas volcánicas de la Depresión Central. Simbología igual que en la Figura 3.

En la figura 5 la serie de diferenciación no es claramente apreciable, a excepción del Grupo Aguacate. No obstante para la mayoría de los macizos volcánicos (en especial Turrialba y Barba) es plausible observar una ligera tendencia en su diferenciación. Las ignimbritas del Valle Central muestran sus altos valores y su bajo contenido de Ni esperados.

Una clara tendencia de diferenciación puede observarse en el diagrama Rb/Sr vs SiO_2 de la figura 6. En este gráfico las rocas más básicas o menos diferenciadas de la Cordillera Central se presentan con los valores más bajos tanto en Rb como en porcentaje de sílice. A medida que aumenta la diferenciación lógicamente los valores de Rb y SiO_2 aumentan en tal forma que en los límites superiores de la curva evolutiva pueden observarse las muestras más ácidas de la región (las ignimbritas). Se destaca el hecho que las muestras básicas del Aguacate se encuentran dispersas y no siguen aparentemente ningún patrón evolutivo, indicando que son rocas que pertenecen posiblemente a otra serie magnética.

Lo anterior puede corroborarse también mediante el diagrama de la Fig. 7 que relaciona la razón K/Rb vs Índice de Diferenciación. En dicho gráfico se observa claramente una tendencia evolutiva magnética de los diferentes tipos de rocas de la Depresión Central del país, que se inicia con los miembros más básicos de la serie (Bajo La Hondura) y finaliza con los flujos ignimbríticos intermedios a ácidos. Al igual que en la figura 6 las rocas del Grupo Aguacate no muestran ninguna tendencia evolutiva en el proceso magnético y su serie se considera distinta al de las ignimbritas y de los estrato-volcanes cuaternarios. Como era de esperarse en las series calcoalcalinas el contenido de sílice va acompañado de un enriquecimiento en Rb respecto al K.

PEARCE & CANN (1973) mediante esquemas basados en análisis de Ti, Zr, Y, Nb y Sr en rocas volcánicas básicas Paleozoicas y Mesozoicas han logrado identificar diferentes marcos tectónicos. De acuerdo a los mencionados investigadores cuatro tipos de magmas pueden posiblemente ser discriminados: i) toleitas de bajo K; ii) basaltos calco-alcalinos; iii) basaltos de piso oceánico y iv) basaltos intra-placa (basaltos continentales + islas oceánicas). A excepción del Sr los otros elementos mencionados se han sugerido como insensibles a los procesos de alteración y a la vez constituyen un conjunto de elementos menos móviles.

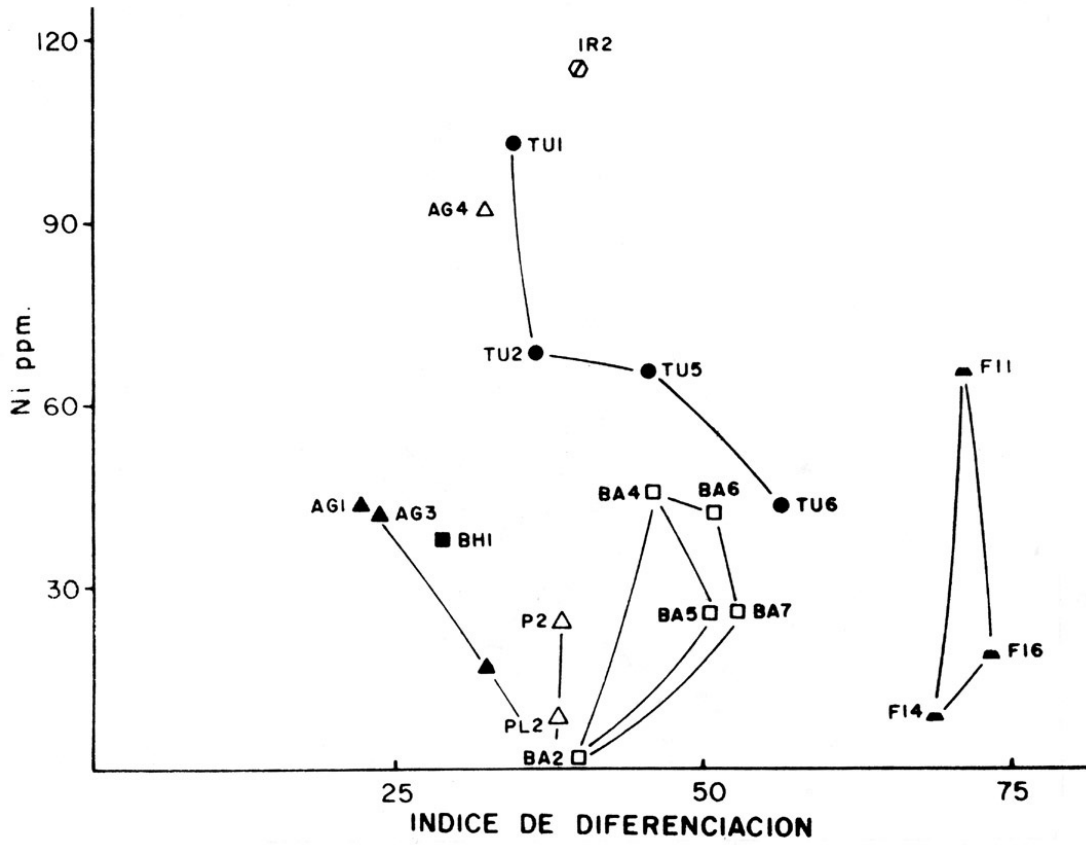
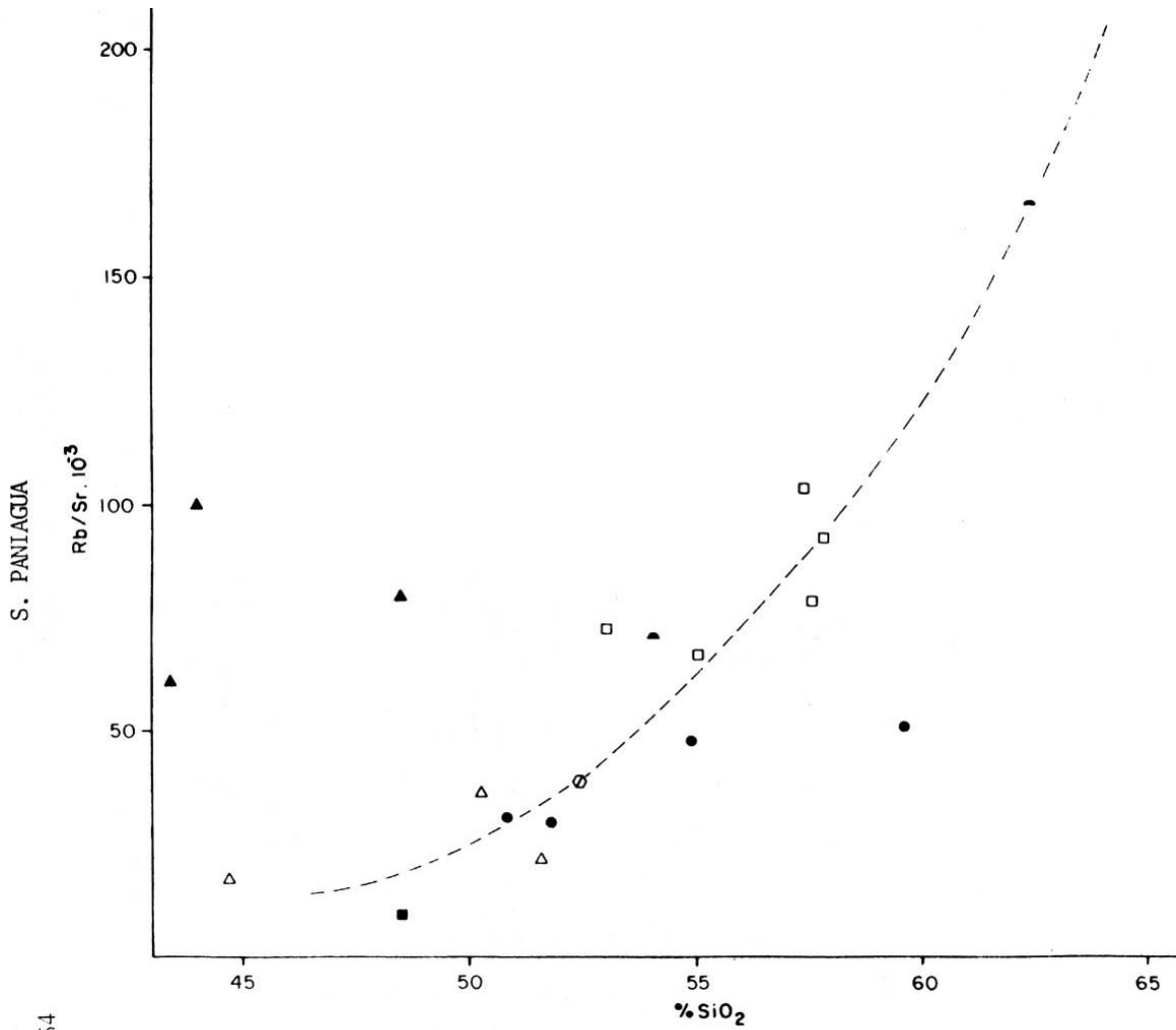


Fig. 5: Diagrama Ni vs Índice de Diferenciación
 Simbología igual que en la figura 3.



54

Fig. 6: Diagrama Rb/Sr vs SiO₂
 Simbología igual que en la Figura 3.

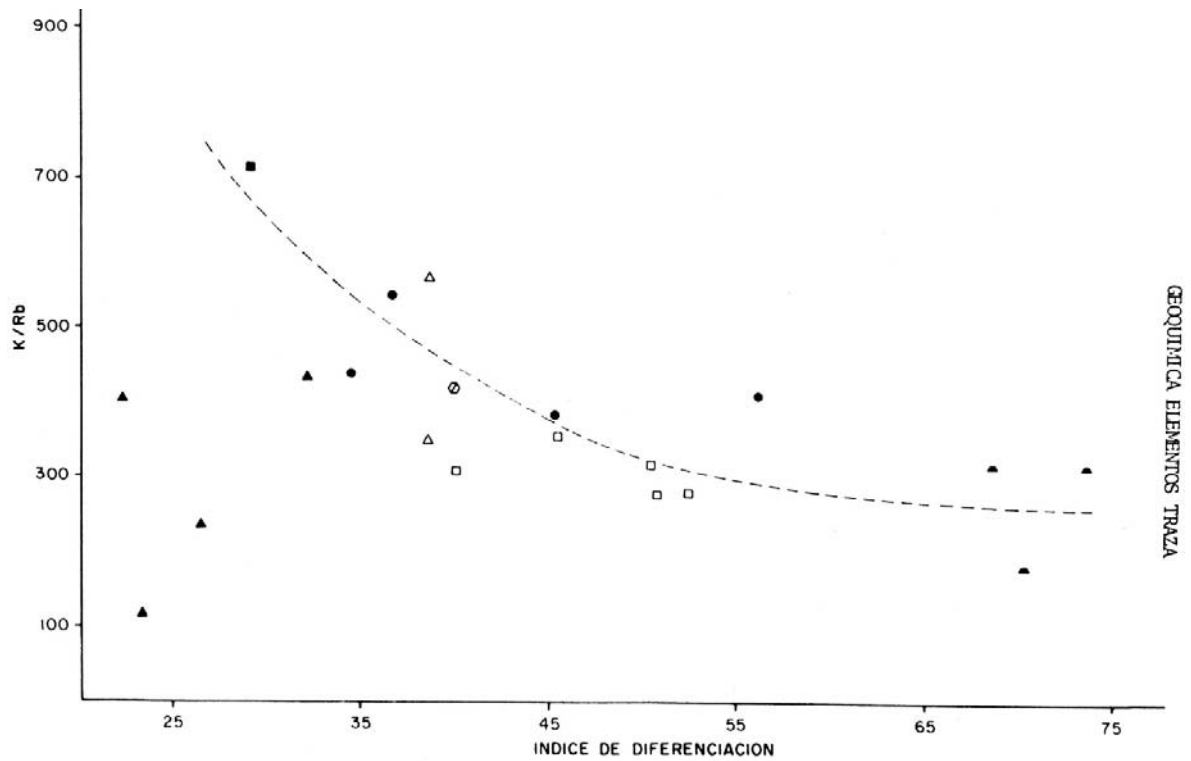


Fig. 7: Diagrama K/Rb vs Índice de Diferenciación

No obstante, HOLM (1982) hace severas críticas al trabajo de clasificación del diagrama Ti-Y-Zr de los anteriores autores aduciendo que las toleítas continentales de una serie de rocas paleozoicas y mesozoicas investigadas por él no pueden ser identificadas por el mencionado diagrama ya que algunas veces la evidencia de los campos es ambigua y en otros hay que hacerlo con gran precaución y no coinciden con el ambiente tectónico conocido.

En consideración HOLM (1982) argumenta que las toleítas de bajo K, basaltos de piso oceánico, basaltos calco-alcalinos, basaltos de islas oceánicas y basaltos alcalinos intra-placa, pueden ser diferenciados con la ayuda del diagrama Ti-Y-Zr. Sin embargo las toleítas continentales se proyectan en los campos de piso oceánico y basaltos calco-alcalinos y por lo tanto no pueden ser diferenciados con este diagrama. Estos antecedentes plantean dudas acerca de la confiabilidad de esta clasificación geotectónica, sin embargo en un primer intento de comprobar la clasificación de las muestras de Costa Rica en el marco geotectónico, se ha utilizado el diagrama Ti vs Zr para dividir los cuatro campos antes citados (Fig. 8). En este diagrama se han ploteado solamente los miembros más básicos de la Depresión Central del país, representado por las muestras del Volcán Poás (PL-2 y P-2), Bajo La Hondura (BH-1), Volcán Turrialba (TU-2) y por consiguiente también los basaltos del Grupo Aguacate (AG-3, AG-4, AG-5, AG-1). Todas estas rocas se ubican en el campo de los basaltos calco-alcalinos de los mencionados autores, a excepción de la muestra AG-1, que posee un relativo exceso de titanio (Fig. 8, Campo C).

A manera de comparación se ubican en esta figura 8 algunas muestras cretácicas del Complejo Ofiolítico de Nicoya reportadas por PICHLER & WEYL (1975), los cuales se sitúan claramente dentro de los campos D y B de la mencionada figura que corresponde a los basaltos de piso oceánico tal como se conciben actualmente. De acuerdo a PEARCE & CANN (1973) estos datos en los campos D y B de la figura 8 serían similares a la mayoría de los basaltos del Golfo de Adén, Dorsal Medio Oceánica (45°N) y de otras áreas.

En la figura 9, el diagrama triangular Ti-Zr-Y de PEARCE & CANN (1973), se observa que la mayoría de las rocas básicas de la Depresión Central se ubican en los campos de los basaltos calco-alcalinos (Campo C) y solamente las muestras AG-4 y BH 1 se localizan en el campo de los basaltos continentales e islas oceánicas intra-placa (Campo D). Esta clasificación coincide con la petrografía y el quimismo ob-

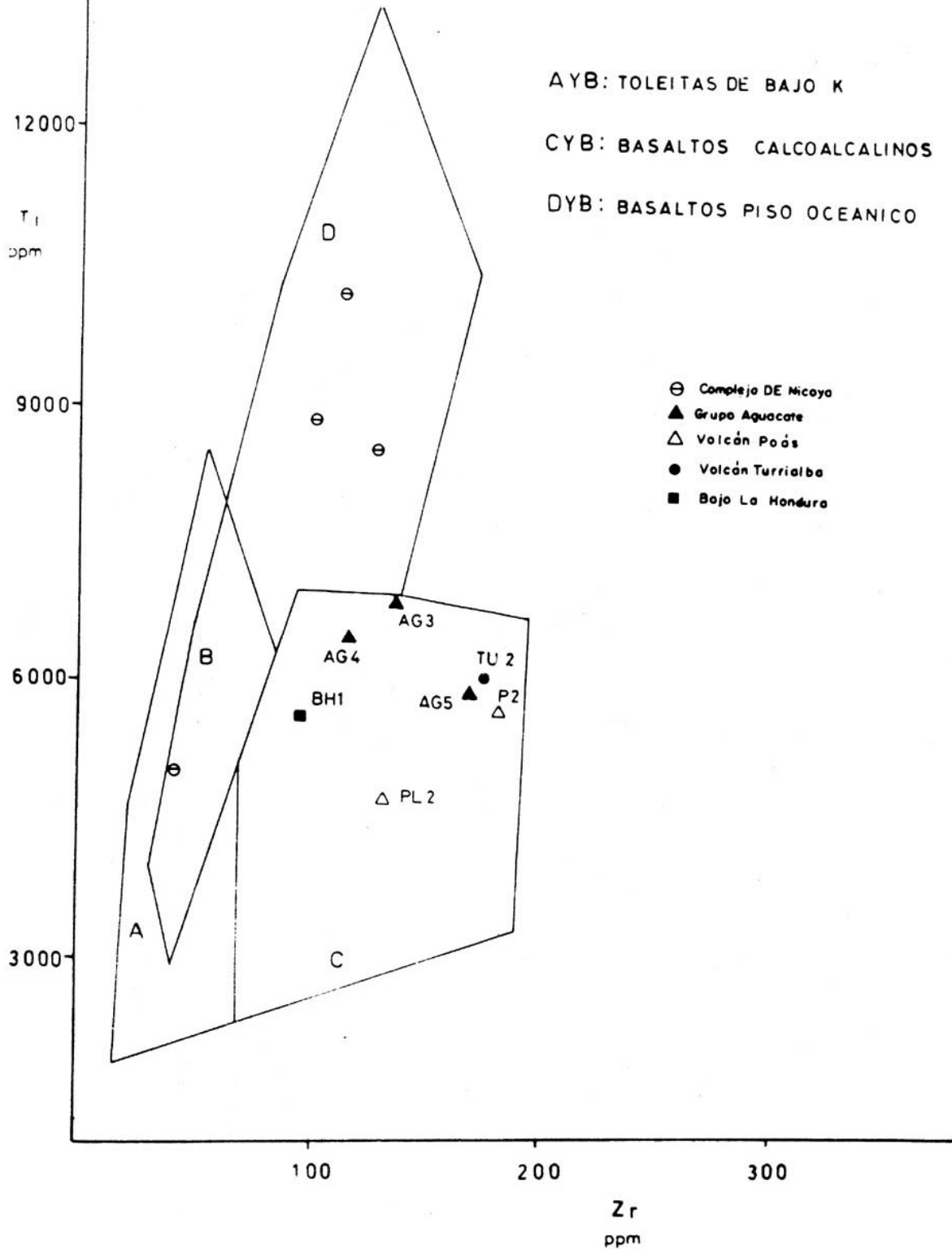


Fig. 8: Diagrama Ti-Zr para dilucidar diferentes marcos tectónicos donde están emplazadas las rocas básicas del área de estudio de acuerdo al sistema propuesto por PEARCE & CANN (1973).

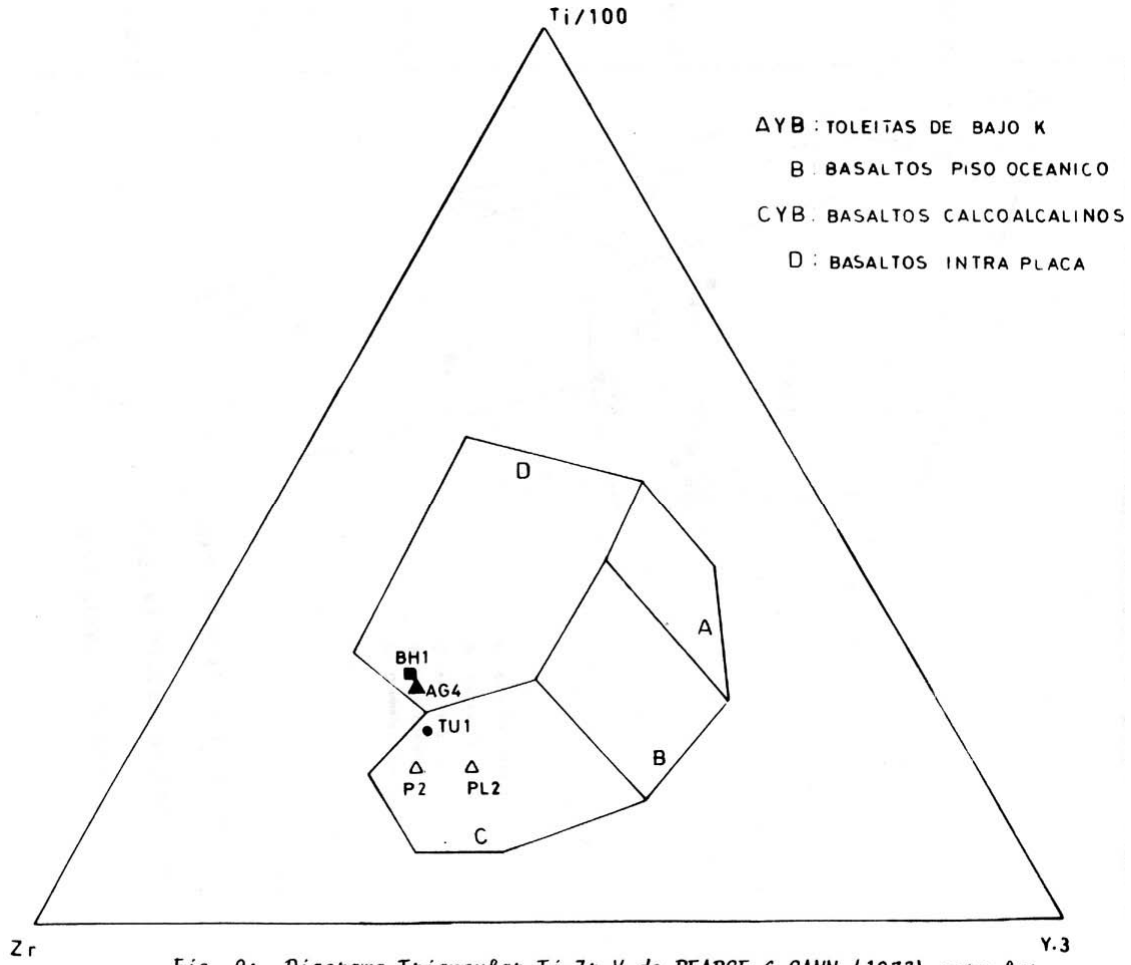


Fig. 9: Diagrama Triangular Ti-Zr-Y de PEARCE & CANN (1973) para las rocas básicas de la Depresión Central. Misma simbología que la Fig. 8.

servado para la mayoría de estas lavas, lo mismo puede decirse para su ubicación en el marco tectónico regional.

Las muestras de Costa Rica ubicadas en el campo C de la figura 9, serían similares a los basaltos calco-alcalinos mencionados en la discusión de la figura 8; en tanto que las muestras de Costa Rica ubicadas en el campo D de la citada figura 9, serían similares a la mayoría de las rocas basálticas continentales y de las Mesetas del Decán en la India.

En la Fig. 10, que relaciona Zr-Ti-Sr, se observa que la mayoría de las rocas básicas Plio-pleistocénicas de la Depresión Central de Costa Rica, se ubican dentro del campo B (basaltos calco-alcalinos), no obstante la muestra Ag-4 se ubica casi dentro del campo A, correspondiente a las tolefitas de bajo K. Este comportamiento anómalo puede, posiblemente, ser explicado por el hecho de que la muestra AG-4 está alterada y posee además un contenido relativamente alto de Sr, lo cual hace variar su posición en la clasificación de las características básicas de los diferentes marcos tectónicos.

La mayoría de las muestras del Complejo de Nicoya permanecen invariablemente bien situadas dentro del Campo C de la figura 10 correspondiente a las rocas de piso oceánico.

En conclusión se puede argumentar que los datos geoquímicos de las rocas básicas aquí presentadas coinciden bastante bien con los diagramas de PEARCE & CANN (1973), de la misma manera que las rocas ofiolíticas del Complejo de Nicoya. Por lo tanto, las objeciones de HOLM (op. cit.), no son consistentes al menos con los resultados aquí expuestos.

CONCLUSIONES

Las series de rocas volcánicas cuaternarias de la Depresión Central de Costa Rica son notablemente separadas del grupo de los basaltos del Grupo Aguacate, indicando que esta última unidad corresponde a otra serie magmática diferente. Esto debido al hecho que en los diferentes diagramas de variación existe una clara tendencia evolutiva magmática de las vulcanitas cuaternarias, en tanto que las muestras del Aguacate se encuentran dispersas y no siguen significativamente ningún patrón evolutivo.

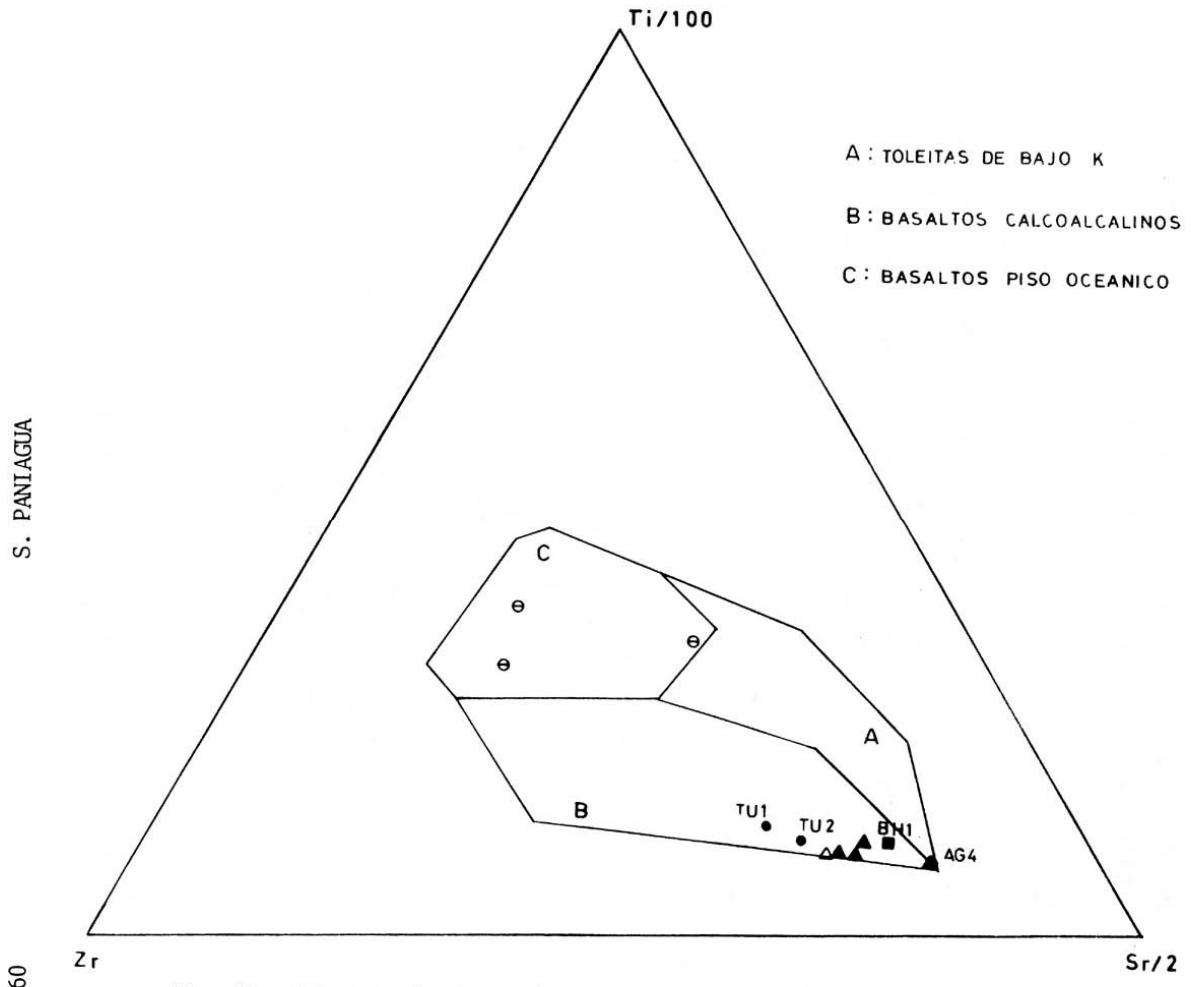


Fig. 10: Diagrama Zr-Ti-Zr de PEARCE & CANN (1973).
Misma simbología que la Figura 8.

Los datos geoquímicos pertenecientes a las diversas rocas básicas aquí expuestas coinciden bastante bien con el campo calco-alcalino de los diagramas petrológicos-tectónicos de PEARCE y CANN (1973), de la misma manera que lo hacen las rocas ofiolíticas jurásicas-cretácicas del Complejo de Nicoya con el campo de los basaltos toleíticos abisales.

BIBLIOGRAFIA

- Dengo, G., 1962: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica.- En: Petrologic Studies A.F. Buddington, volume Geol. Soc. Am. 133-161.
- Holm P.E., 1982: Non-recognition of continental Tholeiites using the Ti-Y-Zr diagram.- Contrib. Mineral. Petrology. 79: 308-310.
- Jakes, P. & White, A.J.R., 1972: Major element and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas.- Geol. Soc. Amer. Bull., 83: 28-40.
- Krushensky, R.D. & Escalante, G., 1967: Activity of Irazú and Poás volcanoes, Costa Rica, November 1967-July 1965.- Bull. Volcanol., 31: 75.84.
- Kussmaul, S., Paniagua, S. & Gainza, J., 1982: Recopilación, clasificación e interpretación petroquímica de las rocas ígneas de Costa Rica. Inst. Geogr. Nac., 28, Inf. Semest. Julio-Dic.: 17-79.
- Montigny, R., Javoy, M. & Allegre, C.J., 1969: Le probleme des andesites. Etude du volcanisme quaternaire du Costa Rica (Amérique Centrale): A L'aide des Traceurs couple $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{180}/^{160}$.- Bull. Soc. Geol. Fr., 7: 794-799.
- Moreno, H., Naranjo, J. & López, L., 1979: Geología y petrología de la Cadena Volcánica Osorno-Puntiagudo, Andes del Sur, Latitud $41^{\circ}10'S$.- An. II Congr. Geol. Chileno, Arica, Chile: E109-E131.
- Paniagua, S.: Quimismo y razones isotópicas iniciales $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ para las lavas cuaternarias de Costa Rica.- Cienc. Tec. (en prensa).
- Pearce, J.A. & Cann, J.R., 1973: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using three element analysis.- Earth Planet Sci. Letters, 19: 290-300.
- Peccerillo, A. & Taylor, S.R., 1975: Geochemistry of Upper Cretaceous volcanic rocks from the Pontic Cahin, Northern Turkey.- Bull. Volcanol., 39: 557-569.
- Pichler, H. & Weyl, R., 1975: Magmatism and crustal evolution in Costa Rica and Central América.- Geologische Rundschau, 64: 457-475.
- Taylor, S.R., 1965: The application of trace element data to problems in petrology.- Phys. Chem. Earth, VI, Chap. 2: 133-213.

- Taylor, S.R. & White, A.J., 1966: Trace element abundances in andesites.- Bull. Volcanol., 29: 177-194.
- Taylor, S.R., 1969: Trace elements chemistry of andesites and associated calc-alkaline rocks.- Proc. Andesite Confer.; Oregon 1968 (ed. A.R. McBirney), Internat. Upper Mantle Project Sci. Rep. 16: 43-63.
- Taylor, S.R., White, A.J.R., Duncan, A.R. & Ewart, A., 1969: Genetic significance of Co, Dr, Ni, Sc, and V, content of andesites.- Geochim. Cosmochim. Acta, 33: 275-286.
- Thorpe, R.S., Francis, P.W. & Moorbath, 1979: Strontium isotope evidence for petrogenesis of Central American andesites.- Nature, 277: 44-45.
- Tournon, J., 1973: Presence de basaltes alcalines recents au Costa Rica.- Bull. Volcanol., 63: 140-147.
- Tournon, J., 1980: Contribución a la morfología de la punta occidental de la Cordillera Central de Costa Rica Inst. Geogr. Nac., 26, Inf. Semestr. Julio-Dic.: 73-78.
- Tournon, J., 1983: La cadena volcánica cuaternaria de Costa Rica: composiciones químicas de las lavas, presencia de dos tipos de series.- Inst Geogr. Nac., 29, Inf. Semestr. Julio-Dic.: 31-62 (1984).
- Weyl, R., 1980: Geology of Central América.- 371 págs.; Gebruder Barntraegen, Berlin.
- Williams, H., 1952: Volcanic history of the Meseta Central of Costa Rica.- Univ. Calif. Publ. Geol. Sci., 29: 145-180.