

Análisis Petrogenético de las Rocas Volcánicas de la Isla de Providencia en el Caribe colombiano

ANA ELENA CONCHA & CARLOS MACIA

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá, Colombia

CONCHA, A.E. & MACIA, C. (1995): Análisis Petrogenético de las Rocas Volcánicas de la Isla de Providencia en el Caribe colombiano.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 19, pgs. 173-186, 7 Figs., Santa Fé de Bogotá.

Palabras Claves: Mar Caribe, Colombia, Isla de Providencia, Geoquímica, Petrogénesis, Vulcanitas

RESUMEN

Las características geoquímicas de las rocas volcánicas aflorantes en la Isla de Providencia, muestran que no fueron generadas a partir de un proceso comagmático de cristalización fracionada, sino que en su génesis estuvieron involucrados diferentes ambientes geotectónicos, de acuerdo con análisis de elementos mayores y trazas.

ABSTRACT

The geochemical characteristics of the volcanic rocks present at the Providencia Island show that these do not be created from a comagmatic processes of fractionated crystallization. It is demonstrated that in its genesis were involucrated different geotectonical setting, according with the major and trace elements analysis.

INTRODUCCION

Uno de los pocos afloramientos de una cadena de estrato-volcanes que se extiende con una dirección aproximada N-S corresponde a la Isla de Providencia, Santa Catalina y sus cayos aledaños (MACIA & CONCHA 1992). Con base en la clasificación y caracterización geoquímica de las rocas aflorantes (CONCHA & MACIA, 1993) así como en sus relaciones de campo, se cree que dicha cadena volcánica tuvo su origen a partir de diferentes centros eruptivos desde el Mioceno (KERR 1978, MACIA & CONCHA 1992, CONCHA & MACIA 1993, GOEBEL 1985, WADGE & WOODEN 1982).

El Caribe posee una de las configuraciones geotectónicas más complejas del planeta y acerca del origen y evolución de esta región existen muchos interrogantes. Uno de estos, corresponde al origen y evolución de la corteza que infrayace al Promontorio de Nicaragua, sobre el que reposa la cadena volcánica y su relación con Centro América y la Cuenca Colombiana (BURKE *et al.* 1984; CASE *et al.* 1984; BURKE 1988; MANN & BURKE 1984 b, etc.).

Debido a que Providencia se encuentra localizada en el límite (Escarpe de Hess) entre las macroestructuras Cuenca

Colombiana- Promontorio de Nicaragua (Fig. 1) y que allí constituye uno de los pocos afloramientos de rocas volcánicas en este sector, determinar su génesis proporciona valiosa información acerca del desarrollo tectónico de la región. KERR (1978) reporta la presencia de rocas alcalinas y subalcalinas, interpretándolas como producto de la subducción de la placa de Cocos bajo la de América Central. Para explicar su diversidad geoquímica propone procesos tales como subducción y mezcla de magmas relacionándolos genéticamente con la tectónica de América Central durante el Terciario.

MACIA & CONCHA (1992) proponen que las vulcanitas de Providencia no se generaron por un proceso geotectónico singular, sino que en su génesis deben estar involucrados varios de estos procesos.

Para esto, se utilizan diagramas de diferenciación tanto de elementos mayores, como de elementos traza, junto con el comportamiento de las tierras raras, debido a su carácter de indicadores petrogenéticos muy sensibles y confiables.

Del mismo modo se utilizan diagramas de normalización tales como muestra/MORB (Middle Ocean Ridge Basalts), muestra/manto primitivo y muestra/condrita C1, para determinar las afinidades geoquímicas de los reservorios que produjeron los magmas de las rocas volcánicas en Providencia.

Por último se emplean diagramas de discriminación geotectónica para determinar el ambiente geodinámico que generó los magmas.

1. METODO DE TRABAJO

Adicionalmente al análisis de elementos mayores (CONCHA & MACIA 1993), se utilizan elementos traza analizados por el método de Fluorescencia de Rayos X en el Instituto de Geociencias de la Universidad Johannes Gutenberg de Mainz, Alemania. Así mismo se emplean análisis de tierras raras (REE) y elementos tales como Th, U, Hf, Ta y Cs en 16 muestras seleccionadas y analizadas por el método de Activación Neutrónica en el Instituto Max Planck para Química, sección de Cosmoquímica en la ciudad de Mainz, Alemania (CONCHA 1989).

2. PETROGENESIS

2.1 Diagramas de variación de tipo Harker

Para un proceso comagmático único, las correlaciones en este tipo de diagramas, deben presentarse de una manera continua, sin "hiatos" entre los diferentes tipos de roca. En los diagramas de Harker, para las rocas volcánicas de Providencia (Figs. 2a y 2b), se observa que éstas no presentan un "trend" de diferenciación continuo, sino que se distribuyen en tres "trends" bien definidos, en campos de los basaltos –andesitas basálticas, dacitas y riolitas. A continuación se presenta un análisis de los diferentes elementos mayores:

K_2O muestra una correlación positiva con respecto al contenido de SiO_2 en las tres regiones. Con base en observaciones petrográficas el K_2O debe estar incluido en el alto porcentaje de vidrio (líquido) en los diferentes tipos de muestras colectadas.

Na_2O y Al_2O_3 , por el contrario, muestran una correlación positiva en los campos de los basaltos–andesitas basálticas y dacitas, mientras que en el campo de las riolitas la correlación es negativa. Esto significa que la cristalización de plagioclasa tuvo su momento más importante en las riolitas cuando los valores de estos óxidos disminuyen por haber sido incluidos en la estructura de dicho mineral.

CaO y MgO presentan una correlación negativa con respecto al SiO_2 . Se observan nuevamente las tres regiones bien definidas en el espectro geoquímico, en los campos de basaltos–andesitas basálticas, dacitas y riolitas.

En los basaltos–andesitas basálticas y dacitas las concentraciones de CaO y MgO disminuyen rápidamente, indicando la separación de fases máficas tales como olivino, orto, clinopiroxeno y minerales pesados. En las riolitas, estos valores permanecen más o menos constantes y son muy bajos, lo que indica la ausencia de las fases minerales nombradas anteriormente.

En cuanto a los óxidos TiO_2 y FeO^* (hierro total), los tres campos (basaltos–andesitas basálticas, dacitas y riolitas) no presentan diferencias tan marcadas en su variación como en los otros diagramas. Se podría pensar, en este caso, en una cristalización fraccionada a partir de un magma único; sin embargo, el comportamiento contradictorio de estos óxidos con respecto al de los otros elementos mayores no se puede considerar como definitivo. En este caso, recurrimos al estudio de otros indicadores como los elementos traza y tierras raras que esclarecen esta duda, ya que estos permiten estudiar los procesos de cristalización magmática con gran confiabilidad.

2.2. Diagramas de variación utilizando algunos elementos traza

Las diferentes fases sólidas (minerales) pueden incluir con gran selectividad en sus estructuras los diferentes elementos traza, dependiendo naturalmente de la cantidad y de la clase de fases minerales que cristalizan a partir de un magma.

Zr, Nb e Y son elementos incompatibles y se comportan

geoquímicamente de manera muy similar, enriqueciéndose en el líquido residual durante los procesos de cristalización fraccionada (PEARCE & NORRY 1979). Por tal motivo, en caso de una serie volcánica comagmática, deberían aumentar continuamente tanto los valores de estos elementos como sus relaciones, desde las rocas más básicas a las más ácidas.

En la Fig. 3a (Zr/Y vs. Zr) no se observa un "trend" de diferenciación continuo, sino como en los elementos mayores, se observan tres campos de diferenciación (basaltos–andesitas basálticas, dacitas y riolitas) y que dentro de cada uno de ellos existieron diferenciaciones internas. Esta distribución se observa también en la Fig. 3b (Zr/Nb vs Zr).

Dicho comportamiento sustenta la idea que las vulcanitas de Providencia no se pueden considerar como los productos de cristalización fraccionada a partir de un magma común.

En la Fig. 3c (Zr vs Ti) se observa nuevamente la distribución de las muestras en tres campos: basaltos–andesitas basálticas, dacitas y riolitas. Las dacitas muestran internamente una correlación negativa en un claro "trend" de diferenciación, controlado por la cristalización de magnetita e ilmenita entre otros. En los basaltos –andesitas basálticas no se observa un "trend" bien definido. Los valores para las riolitas permanecen más o menos constantes, indicando la ausencia de fases mine-rales con Ti en su estructura. Del análisis de esta gráfica se reitera el carácter no comagmático de las vulcanitas de Providencia, ya que en caso de una diferenciación a partir de un magma común, la distribución de las concentraciones de Ti vs. Zr debería mostrar una correlación negativa de las muestras más básicas a las más ácidas.

Al analizar la Fig. 3d (LILE "Large Ion Lithophile Elements", Ba vs Rb), se pueden ver nuevamente diferenciaciones internas en los tres campos: basaltos–andesitas basálticas, dacitas y riolitas. En las rocas más básicas se ve una correlación positiva. En las rocas intermedias a ácidas, se observan correlaciones negativas que muestran la cristalización fraccionada de plagioclasa. Los diferentes "trends" no se pueden catalogar como comagmáticos.

En la Fig. 3e (LILE, Ba vs Sr) tampoco se observa un "trend" de diferenciación único en la serie volcánica. En las riolitas se puede notar una diferenciación interna de los miembros más básicos a los más ácidos, controlados por una cristalización importante de la plagioclasa.

En la relación Rb/Ba vs Rb (Fig. 3f) se observan nuevamente los tres campos separados y dentro de cada uno de ellos diferenciaciones internas, que no pueden ser catalogadas como comagmáticas. La relación Rb/Sr vs Rb (Fig. 3g) por el contrario, muestra un "trend" de diferenciación bastante continuo, que se podría interpretar como de una serie comagmática. Sin embargo, siendo ésta la única representación que apoya dicha teoría puede considerarse como la excepción a la regla.

2.3 Tierras raras (REE)

Para poder analizar la distribución de las tierras raras de

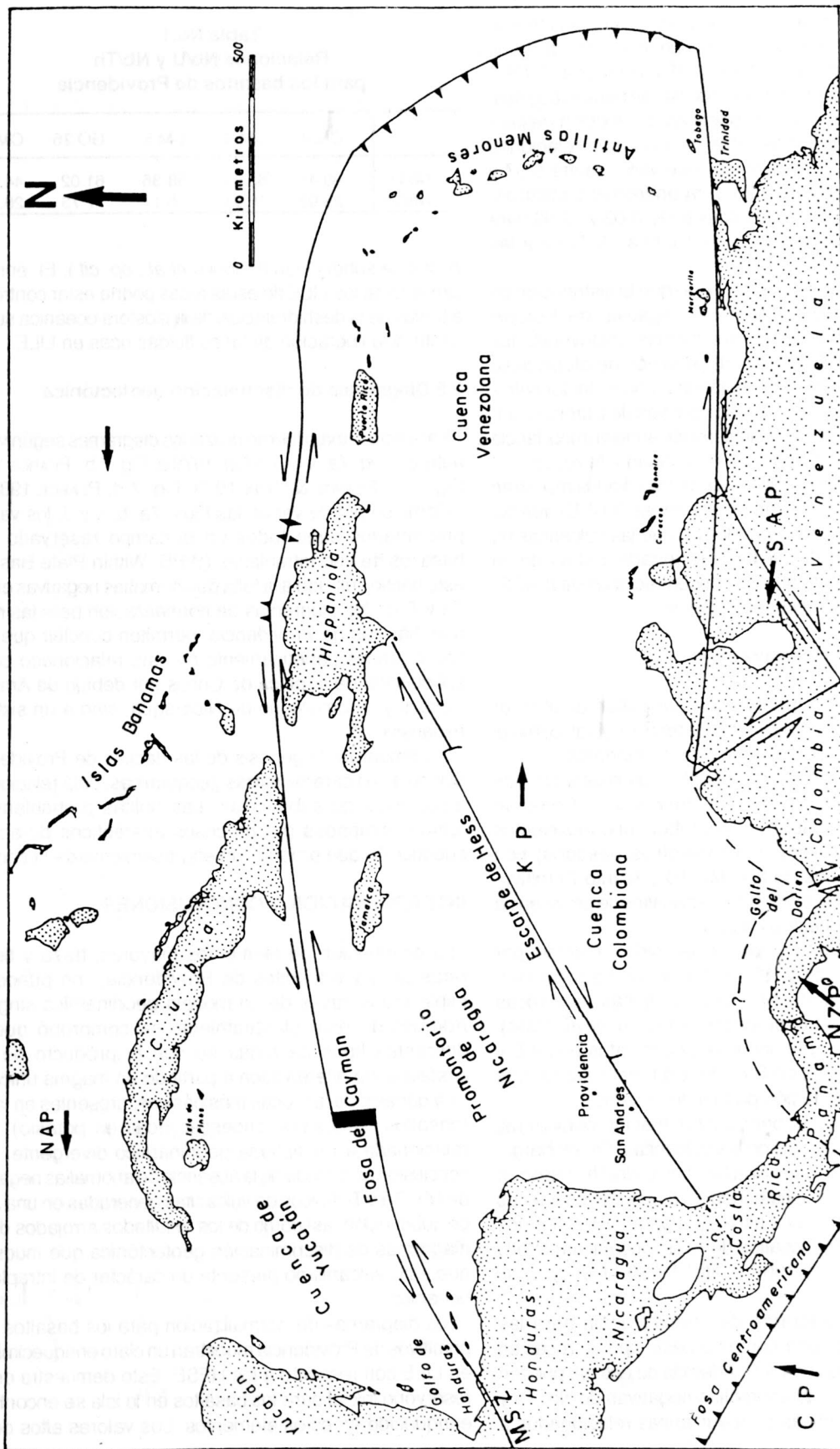


Fig. 1. Mapa geotectónico de la región del Caribe (MANN & BURKE 1984).
 NAP = Placa norteamericana, KP = Placa del Caribe, SAP = Placa suramericana,
 NCP = Placa de Cocos, MSZ = Placa de Nazca, MSZ = Zona de sutura de Montagua.
 ▲▲ Zona de subducción, ⇌ Fallas de transformación,
 → Dirección relativa del movimiento.

las vulcanitas de Providencia, los valores medidos fueron normalizados con relación a las concentraciones de estos elementos en condritas de tipo C1 (EVENSON *et al.* 1978).

De los diagramas de distribución de tierras raras escogidos, en las Figs. 4a y 4b, se puede observar que todos muestran enriquecimiento en tierras raras livianas, con relaciones Ce/Yb (cn condrita normalizada) que varían entre 6.37 y 12.26 para los basaltos, 8.25 para andesitas basálticas, 17.30 y 24.14 para andesitas ricas en K, 3.03 y 12.99 para dacitas y dacitas ricas en K y de 13.00 a 15.74 para las riolitas.

Se puede observar del mismo modo que la distribución de tierras raras no presenta anomalías negativas de Europio en las muestras básicas e intermedias, incluyendo las dacitas, evidenciando que la cristalización de plagioclasa en esas rocas no se puede considerar como un factor petrogenético importante. Anomalías negativas de Europio solamente se observan en las riolitas, certificando la importancia petrogenética de la plagioclasa en este tipo de rocas.

En la Fig. 5 se observa que las rocas más ácidas muestran valores más bajos en tierras raras livianas (LREE) que las rocas más básicas, concordando con que las vulcanitas no son producto de cristalización fraccionada a partir de un reservorio único puesto que las concentraciones de (LREE) son mayores en las rocas más básicas.

2.4. Diagramas de Normalización

Los diagramas de normalización posibilitan establecer tanto la composición primitiva del material original, como el ambiente geodinámico del origen de los magmas.

En las Figs. 6a, b y c, se representan las muestras más básicas de la serie aflorante en Providencia. Como se puede observar, los basaltos presentan enriquecimientos en LILE y HFSE (elementos siderófilos pesados) con respecto a reservorios de tipo MORB y Manto Primitivo. Esto significa que el reservorio de los basaltos de Providencia se encontraba enriquecido en LILE.

Este enriquecimiento pudo haber sido inducido por procesos de subducción. Sin embargo, no se presentan anomalías negativas de Nb, Ta y Ti, típicas para rocas relacionadas con estos procesos (BRIQUEU *et al.* 1984). Esto permite pensar que los enriquecimientos en LILE y HFSE de las vulcanitas de Providencia fueron producidos por un bajo grado de fusión parcial del manto.

Otra posibilidad es suponer contaminación cortical del material durante la génesis de las vulcanitas. Sin embargo, los valores de las relaciones Nb/U así como Nb/Th, muestran que esta posibilidad no existe, debido a que dichos valores son significativamente más altos, que para los reservorios de tipo MORB y OIB (Basaltos de Islas Oceánicas) (Nb/U 47 ± 10 (HOFMANN *et al.* 1986 y Nb/Th 30 (JOCHUM *et al.* 1987). Ver Tabla 1.

La Fig. 6d es el diagrama de normalización para las dacitas. Se observa claramente que este tipo de rocas se encuentra enriquecido en LILE. Además de esto se pueden reconocer fácilmente las anomalías negativas de Nb, Ta y Ti que son características para vulcanitas relacionadas a

Tabla No.1
Relaciones Nb/U y Nb/Th
para los basaltos de Providencia

	CM 4	CM 6	CM 5	GO 26	CM 3
Nb/U	98.41	63.04	58.36	61.02	44.93
Nb/Th	25.92	16.91	16.17	17.73	20.76

zonas de subducción (BRIQUEU *et al.*, *op. cit.*). El enriquecimiento de los LILE de estas rocas podría estar controlado a través de la deshidratación de la litósfera oceánica subducente, y la liberación de fases fluidas ricas en LILE.

2.5 Diagramas de discriminación geotectónica

Para este trabajo fueron utilizados diagramas según varios autores (Fig. 7a, WOOD *et al.* 1979 a; Fig. 7b, PEARCE 1982; Fig. 7c, PEARCE & CANN 1973; Fig. 7d, PEARCE 1982).

Como se puede ver en las Figs. 7a, b, c y d, los valores presentados caen todos en el campo reservado para basaltos de tipo Intraplacas (WPB, Within Plate Basalts); este hecho sumado a la falta de anomalías negativas en Nb, Ta y Ti en los diagramas de normalización para las rocas más básicas de Providencia, permiten concluir que este tipo de rocas genéticamente no está relacionado con la subducción de la placa de Cocos por debajo de América Central y Promontorio de Nicaragua, sino a un sistema expansivo.

Sin embargo, la génesis de las dacitas de Providencia, debido a sus características geoquímicas, está relacionada a procesos de subducción. Las riolitas probablemente fueron originadas por procesos anatécicos durante la subducción que produjo un engrosamiento de la corteza.

INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

La distribución de elementos mayores, traza y tierras raras de las vulcanitas de Providencia, no puede ser explicada a través de un modelo geodinámico singular. Además de este planteamiento se comprobó que los diferentes tipos de rocas no son el producto de una cristalización diferenciada a partir de un magma único.

La génesis de las rocas más básicas, presentes en la Isla (basaltos, andesitas, andesitas ricas en potasio), está relacionada a un sistema geodinámico divergente. Esta conclusión es tomada de la ausencia de anomalías negativas de Nb-Ta y Ti, típicos de vulcanitas generadas en una zona de subducción, así como de los resultados arrojados de los diagramas de discriminación geotectónica que muestran que éste vulcanismo presenta un carácter de intraplacas oceánico.

Los diagramas de normalización para los basaltos más primitivos de Providencia muestran un claro enriquecimiento en LILE con respecto a los HFSE. Esto demuestra que el reservorio inicial para los basaltos en la isla se encontraba enriquecido en estos elementos. Los valores altos de las

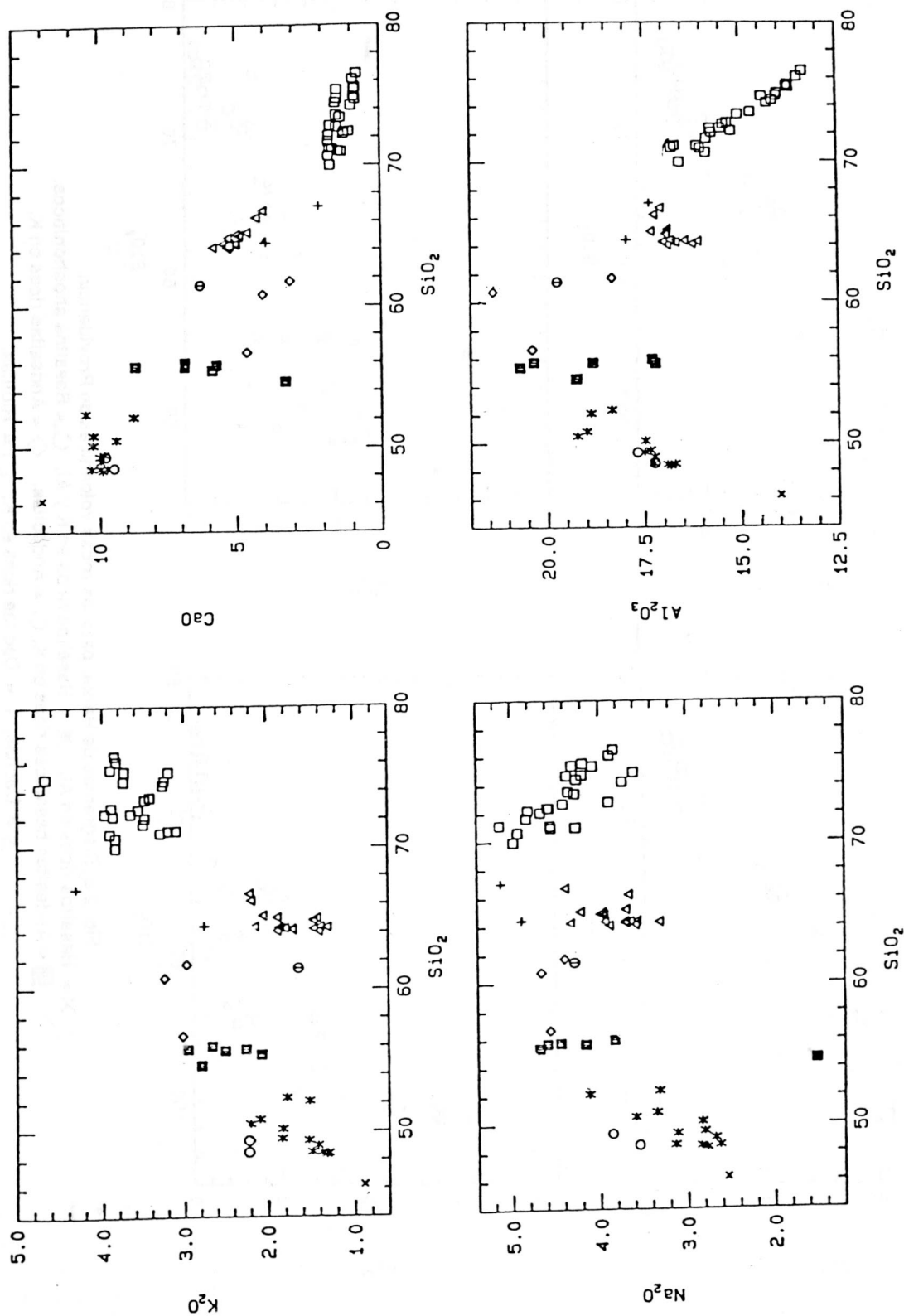


Fig. 2a. Diagramas de Harker para las rocas volcánicas de Providencia.

X = Basaltos ricos en K y Al, * = Basaltos shoshoníticos,
 ■ = Andesitas basálticas ricas en K, O = Andesitas, ◇ = Andesitas ricas en K,
 Δ = Dacitas, + = Dacitas ricas en K, □ = Rioltas.

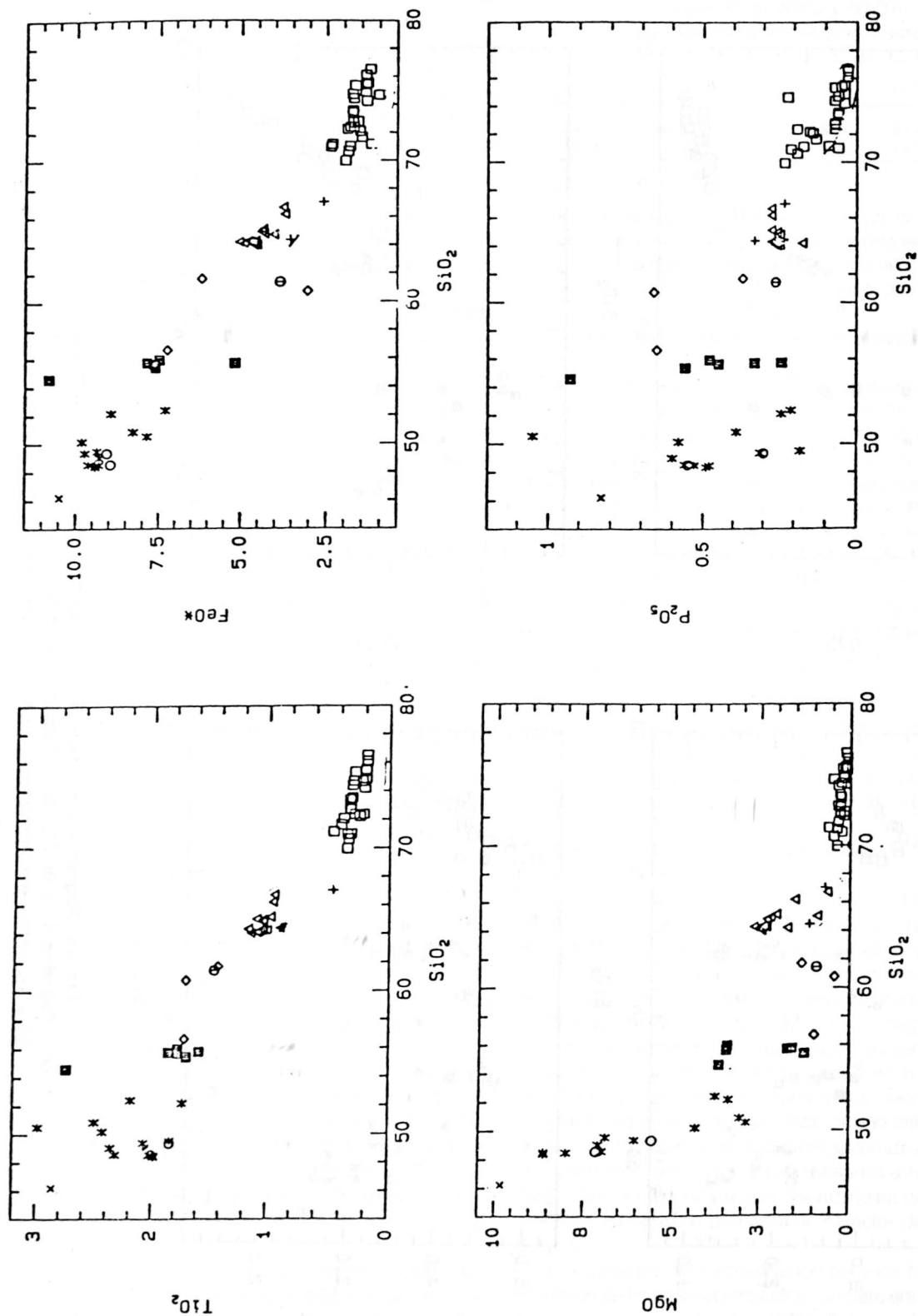


Fig. 2 b. Diagramas de Harker para las rocas volcánicas de Providencia.
 $\times$ = Basaltos ricos en Al, $*$ = Basaltos ricos en K y Al, $\square$ = Basaltos shoshoníticos,
 $\blacksquare$ = Andesitas basálticas ricas en K, $\circ$ = Andesitas ricas en K, $\diamond$ = Andesitas ricas en K,
 Δ = Dacitas, $+$ = Dacitas ricas en K, $\square$ = Riolitas.

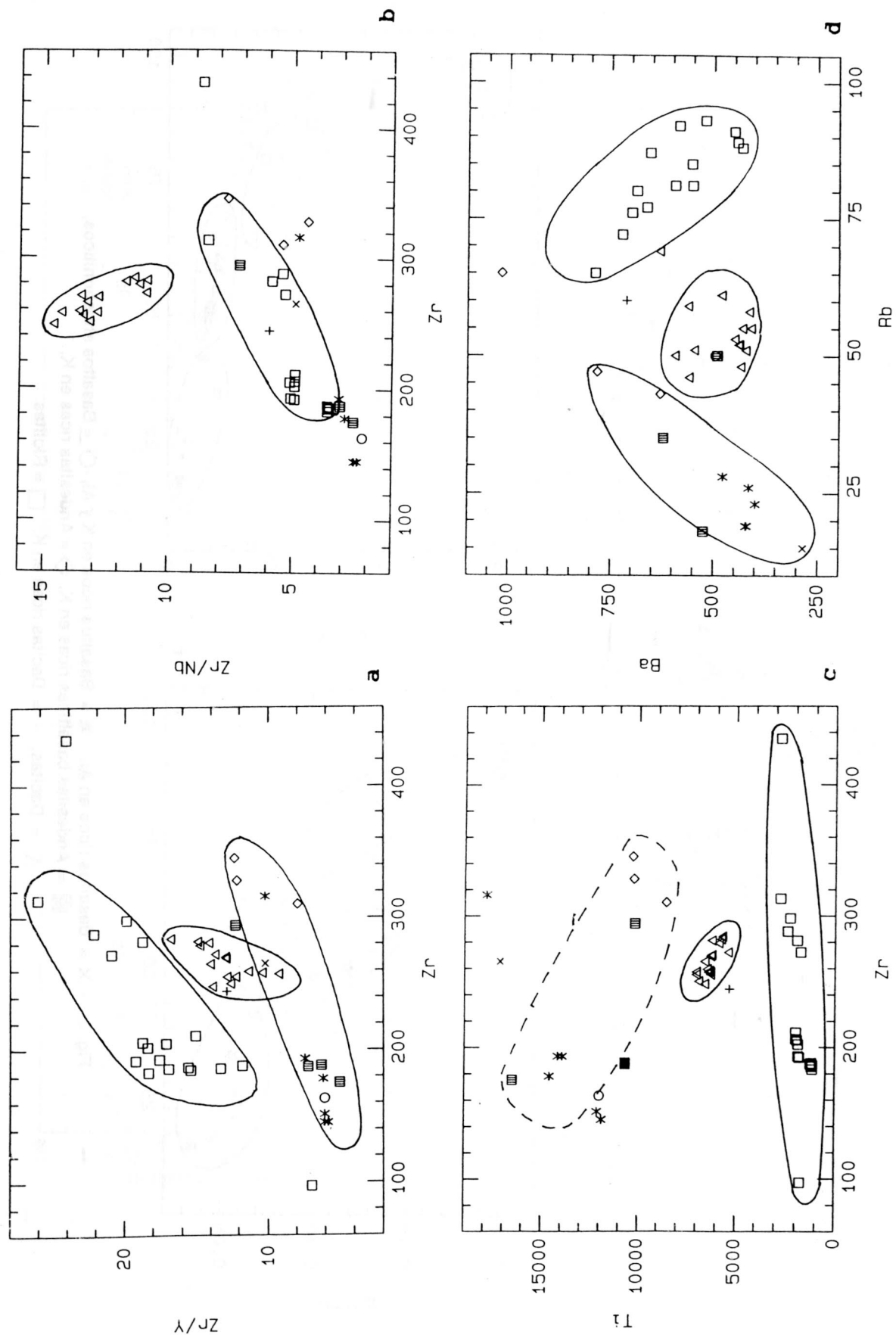


Fig. 3. X = Basaltos ricos en Al, * = Basaltos ricos en K y Al, O = Basaltos shoshoníticos, ▨ = Andesitas basálticas ricas en K, ◇ = Andesitas ricas en K, Δ = Dacitas, + = Dacitas ricas en K, □ = Riolitas.

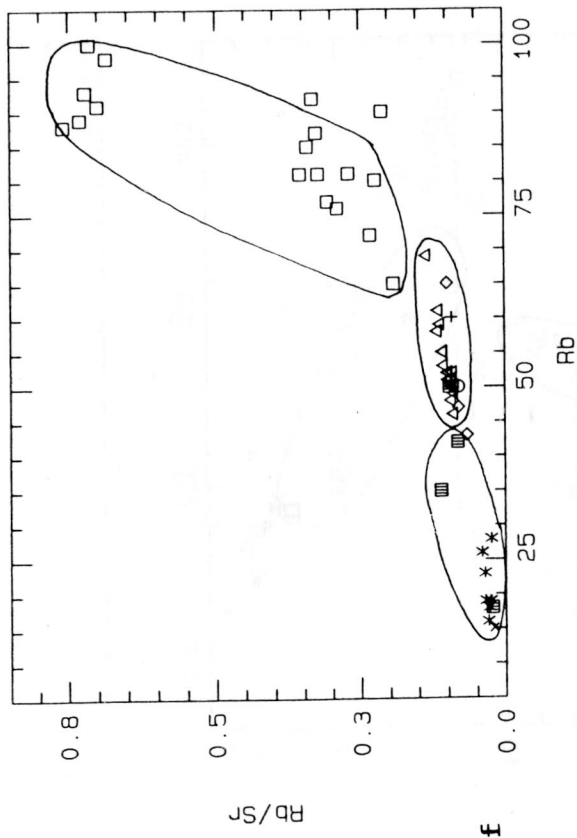
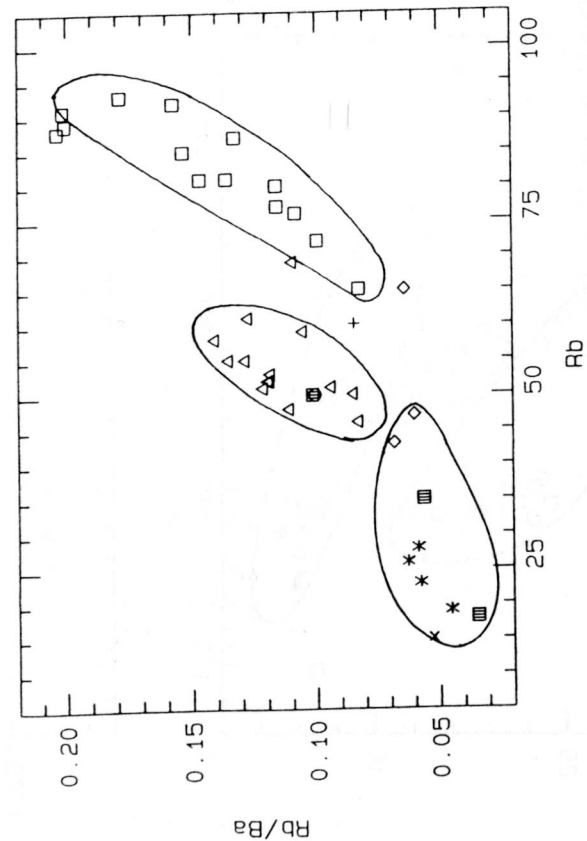
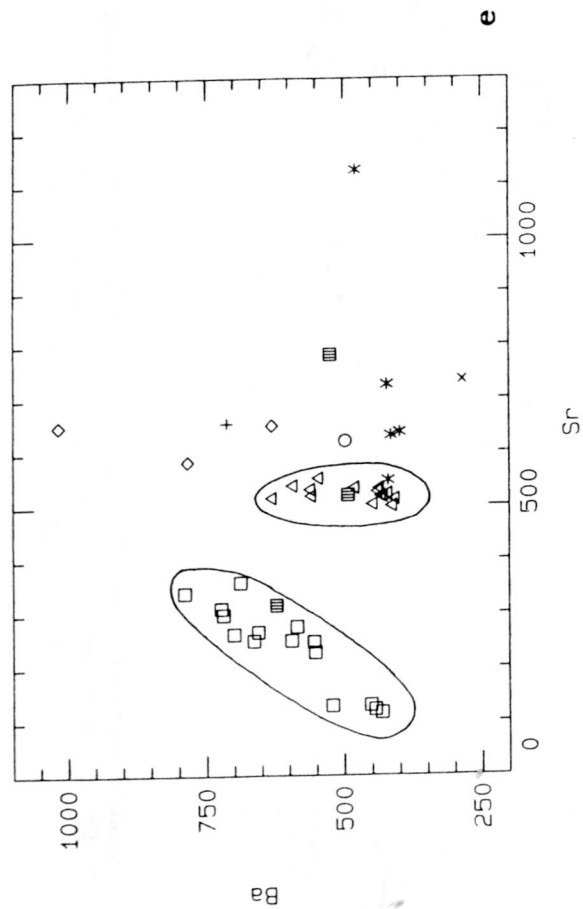


Fig. 3. X = Basaltos ricos en Al, * = Basaltos ricos en K y Al, O = Basaltos shoshoníticos, ▤ = Andesitas basálticas ricas en K, ◊ = Andesitas ricas en K, Δ = Dacitas, + = Dacitas ricas en K, □ = Rioltas.

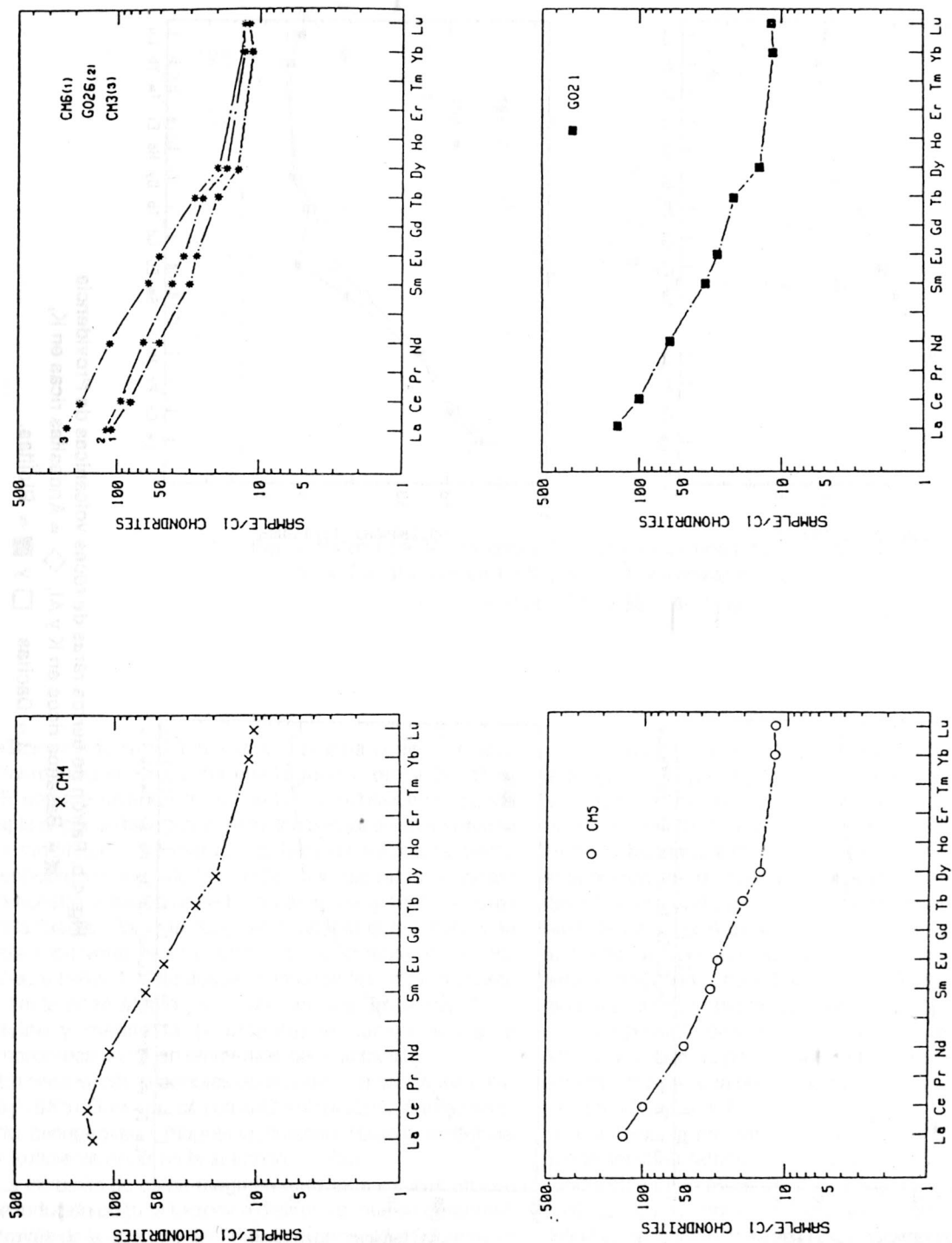


Fig. 4a. Patrón de tierras raras de rocas volcánicas de Providencia
 * = Basaltos ricos en K y Al, ◇ = Andesitas ricas en K,
 Δ = Dacitas □ = Riolitas.

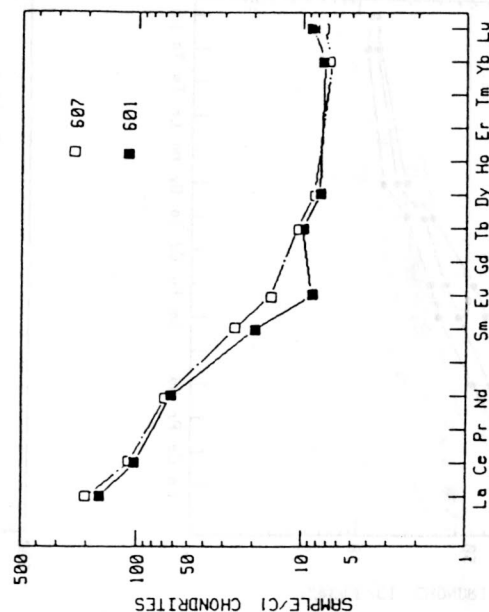
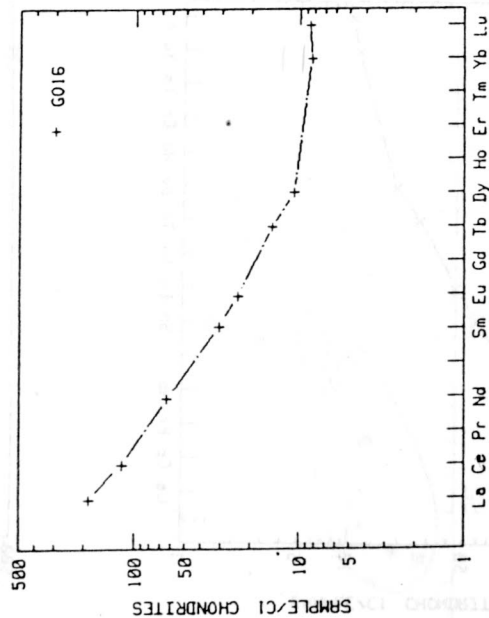
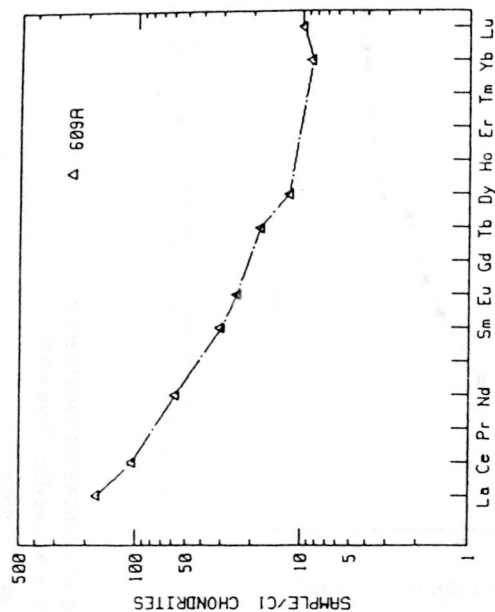
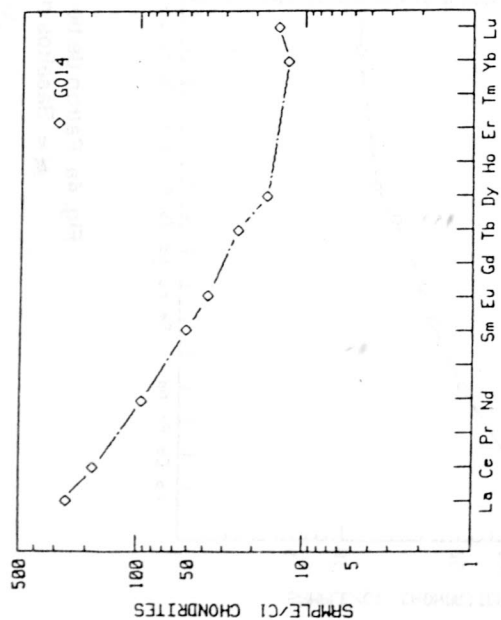


Fig. 4 b. Patrón de tierras raras de rocas volcánicas de Providencia
 * = Basaltos ricos en K y Al, $\diamond$ = Andesitas ricas en K,
 Δ = Dacitas $\square$ y $\blacksquare$ = Riolitas.

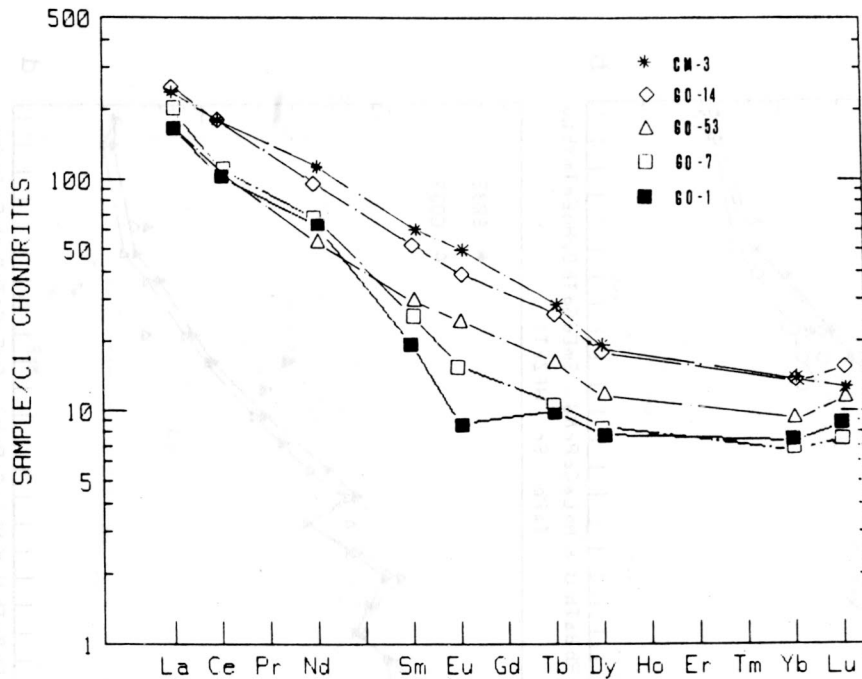


Fig. 5. Patrón de tierras raras de rocas volcánicas de Providencia

* = Basaltos ricos en K y Al, ◇ = Andesitas ricas en K,
 △ = Dacitas □ y ■ = Riolitas.

relaciones de Nb/U y Nb/Th comprueban que no existió contaminación cortical durante la génesis de los basaltos.

El enriquecimiento en LILE de las rocas básicas se puede explicar por un bajo grado de fusión parcial de un reservorio no modificado del manto. La falta de fraccionamiento (empobrecimiento) de las SREE (Tierras raras pesadas) demuestra la ausencia de la influencia de granate residual en la fuente. Por esta razón es probable que la fusión de este reservorio haya ocurrido a una presión de 20 Kb (GREEN 1982). Los fluidos así formados ascendieron hasta el límite entre Manto y Corteza; en este límite cristalizan olivino y magnetita (+ cromita) lo que ocasiona el empobrecimiento en elementos compatibles.

En niveles más superiores de la corteza, a presiones entre 15 y 18 Kb (GREEN *op. cit.*) cristaliza plagioclasa (labradorita), orto, clinopiroxeno, magnetita, ilmenita y bajo la presencia de suficiente agua en la solución, anfíbol.

La intrusión de estos magmas (alcalinos y subalcalinos) fue inducida por una tectónica distensiva, que se desarrolló a través de la apertura del "Mid-Cayman-Ridge" durante el Mioceno, coincidiendo con la datación radiométrica K/Ar 14.5 ± 1 m.a. (GOEBEL 1985) para estas rocas.

Los diagramas de normalización para las dacitas de Providencia, muestran las anomalías negativas de Nb, Ta

y Ti típicas para vulcanitas relacionadas a procesos de subducción, lo que implica otro modelo geodinámico para su origen. Al mismo tiempo estos diagramas muestran enriquecimiento de los LILE con respecto a los HFSE. Dicho comportamiento puede ser explicado por medio de la subducción de la placa oceánica de Cocos, que al ser llevada a profundidad sufre deshidratación (inestabilidad de las fases minerales con H_2O en su estructura) permitiendo al mismo tiempo que los LILE contenidos en los fluidos restantes sean incorporados a la cuña del manto, lo que origina en ésta un cambio metasomático, así como un descenso en la temperatura de fusión. El empobrecimiento relativo de Nb, Ta y Ti con respecto a los otros elementos HFSE se explica a través de la presencia residual de titanita, ilmenita y/o rutilo (GREEN & PEARSON 1987).

En síntesis, la presencia de las dacitas en Providencia puede ser interpretada como el vulcanismo resultante de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa de Centro América y el Promontorio de Nicaragua. Para una afirmación definitiva se requiere determinar la edad de estas vulcanitas.

Con base en el contenido y distribución de las tierras raras (REE) de las riolitas presentes en Providencia, éstas no pueden ser consideradas como producto de la diferenciación de las dacitas, ya que las riolitas presentan valores de

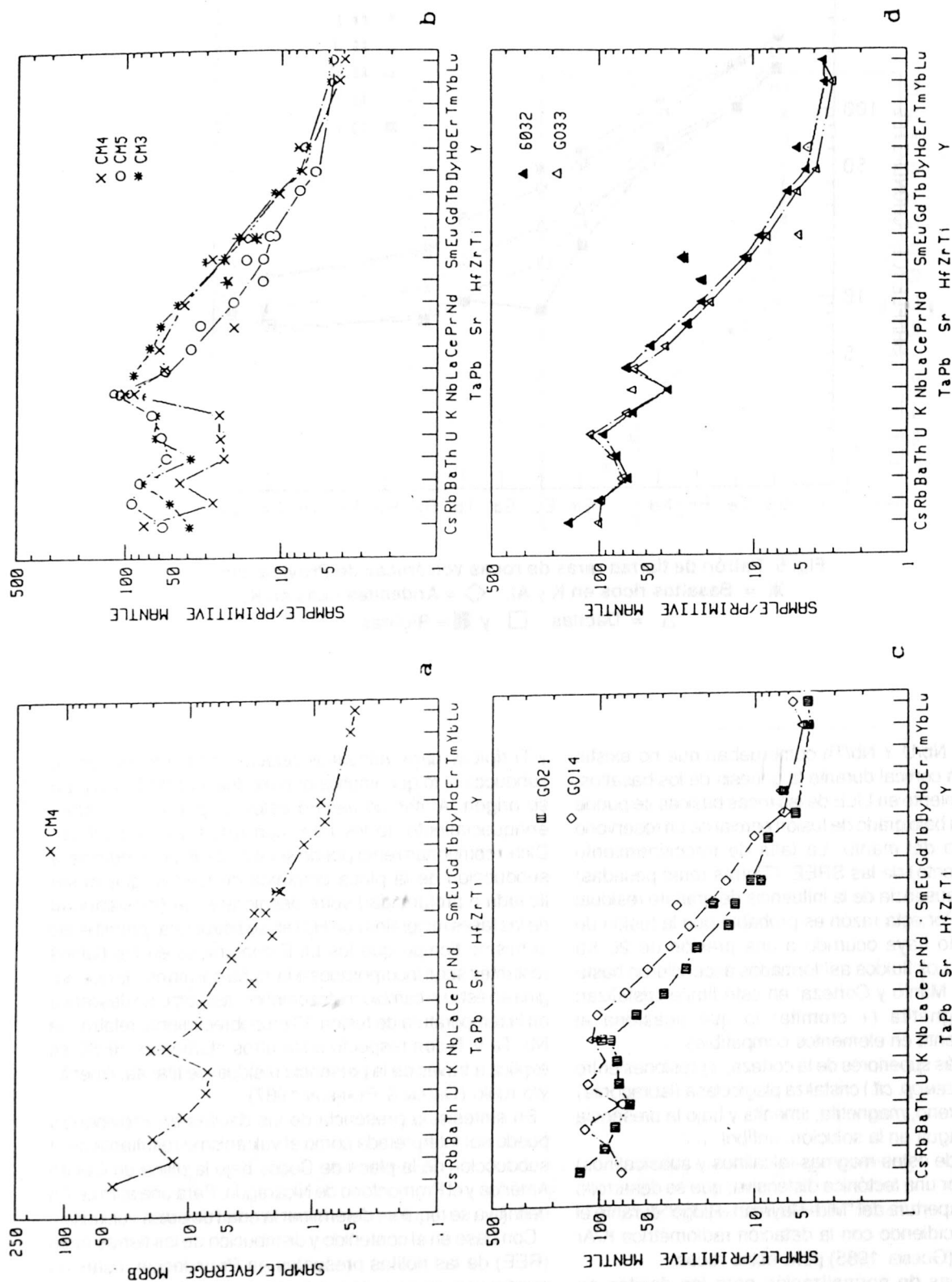


Fig. 6. Diagramas de normalización para las rocas volcánicas de Providencia.
 X = Basaltos ricos en Al, * = Basaltos ricos en K y Al, O = Basaltos shoshoníticos,
 ■ = Andesitas basálticas ricas en K, ◇ = Andesitas, △ = Andesitas ricas en K,
 ▲ = Dacitas, + = Dacitas ricas en K, □ = Riolitas.

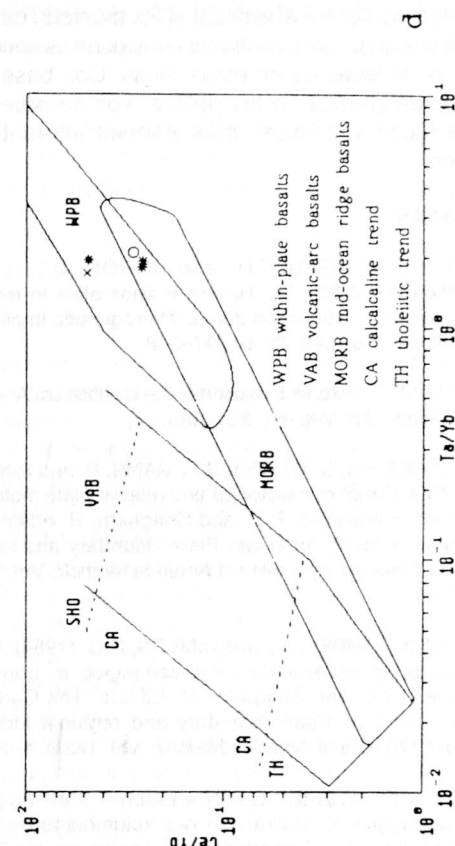
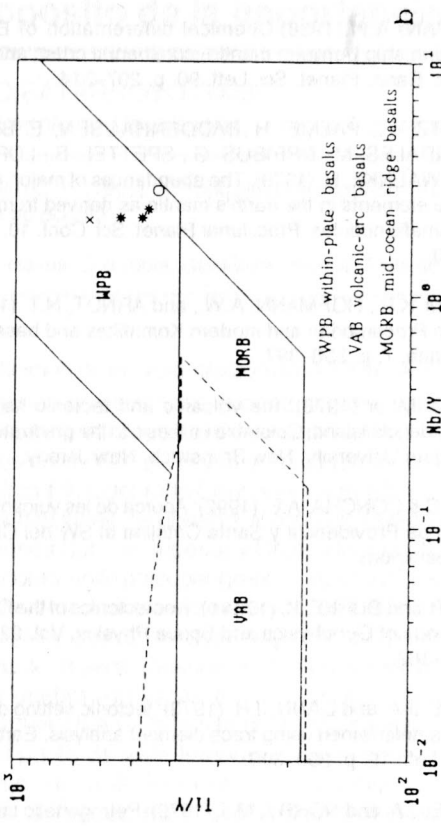
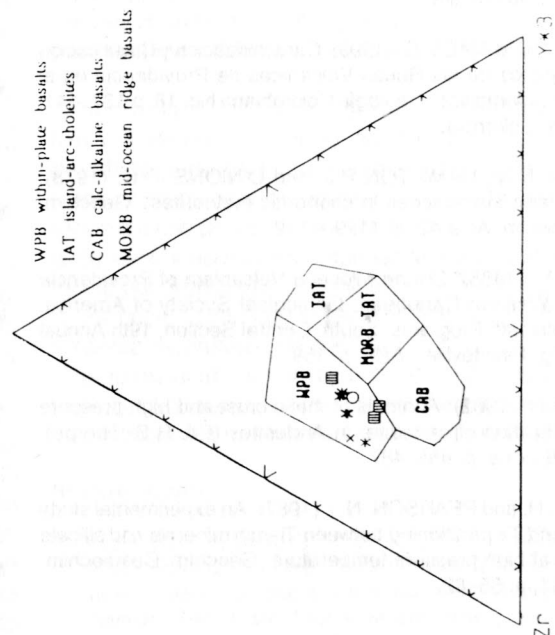
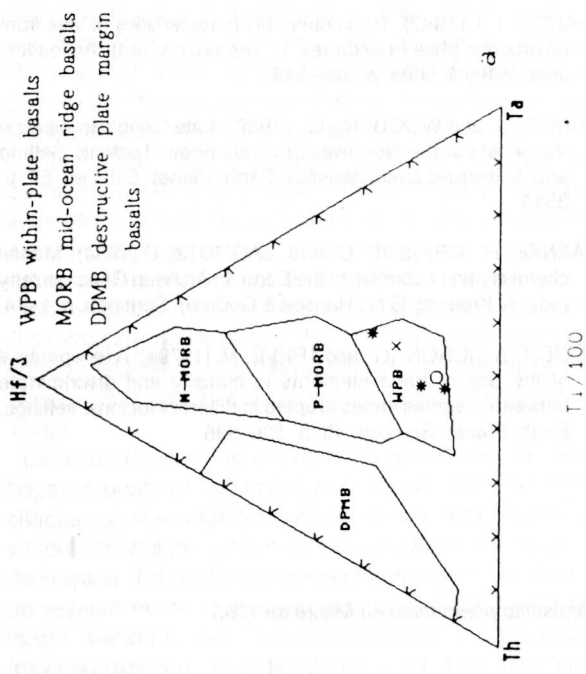


Fig. 7. Diagramas de discriminación geotectónica para las rocas volcánicas de Providencia
 X = Basaltos ricos en Al, * = Basaltos shoshoníticos

tierras raras mayores o similares a ellas. Las riolitas en Providencia pueden ser entonces el producto de procesos anatéticos de engrosamiento por subducción de la corteza bajo la placa de Centro América y el Promontorio de Nicaragua. Sin embargo, para confirmar esta teoría es necesario tener datos de isótopos en estas rocas. Con base en la posición estratigráfica de las riolitas, son consideradas como las rocas volcánicas más jóvenes aflorantes en Providencia.

REFERENCIAS

- BRIQUEU, L., BOUGAULT, H. and JORON, J.L. (1989): Quantification of Nb, Ta, Ti, and V anomalies in magmas associated with subduction zones: Petrogenetic implication. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 68, p. 297–308.
- BURKE, K. (1988). Tectonic Evolution of the Caribbean. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* Vol. 16 p. 201–230.
- BURKE, K.; COOPER, C.; DEWEY, J.F.; MANN, P. and PINDELL, J.C. (1989): Caribbean tectonics and relative plate motions in: Boinini W., Hargraves, R.B. and Shagham, R. editors: *The Caribbean – South American Plate Boundary and regional tectonics: Geological Society of America Memoir*, Vol. 162. p. 31–63.
- CASE, J.E.; HOLCOMBE, T. L. and MARTIN, R.G. (1984): Map of the geologic provinces in the caribbean region. in: Bonini, W., Hargraves, R.B. and Shagham, R. Editors. *The Caribbean –South American Plate Boundary and regional tectonics: Geological Survey of America Memoir*. Vol. 162 p. 1–20
- CONCHA, A.E. (1989) *Geochemisch– Petrologische Untersuchungen an Vulkaniten der kolumbianischen Insel Providencia/Karibik. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" an Fachberich Geowissenschaften der Johannes Gutenberg Universitaet in Mainz, Deutschland.*
- CONCHA, A.E. & MACIA C. (1993): Caracterización y Clasificación Geoquímica de las Rocas Volcánicas de Providencia en el Caribe Colombiano. *Geología Colombiana* No. 18. p. 137–141. Bogotá. Colombia.
- EVENSEN, N.N., HAMILTON P.J. and O'NIONS, R.C. (1978): Rare earth abundances in chondritic meteorites., *Geochim. Cosmochim. Acta* 42, p. 1199–1212.
- GOEBEL, V. (1985): On the Miocene Vulcanism of Providencia Island Western Caribbean. *Geological Society of America. Abstracts with Programs. South. Central Section, 19th Annual Meeting. Fayetteville* 17 (3), p. 159
- GRENN, T.H. (1982): Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite. In *Andesites* (Ed. R.S. Thorpe), Wiley & Sons. p. 465–487.
- GRENN, T. H. and PEARSON, N.J. (1987): An experimental study of Nb and Ta partitioning between Ti-rich minerals and silicate liquids at high pressure temperature. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, p. 55–62.
- HOFMANN, A.W., JOCHUM, K.P., SEUFERT, M and WHYTE, W.M. (1986) Nb and Pb in Oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 79, p. 33–45.
- HOFMANN, A.W. (1988): Chemical differentiation of Earth: the relation ship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 90. p. 297–314.
- JAGOUTZ, E., PALME, H., BADDENHAUSEN, E., BLUM, K., CENDELES, M., DREIBUS, G., SPETTEL, B., LORENZ, V., and WAENKE, H. (1979): The abundances of major, minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules. *Proc. lunar Planet. Sci. Conf.* 10. p. 2031 – 2050.
- JOCHUM, K.P., HOFMANN, A.W., and ARNDT, N.T. (1987): Nb/Th in Precambrian and modern Komatiites and basalts. *Terra Cognita*, 7, p. 396–397.
- KERR, J. M. Jr (1978): the volcanic and tectonic history of la Providencia Island, Colombia (a thesis to the graduate school)– Rutgers University, New Brunswick, New Jersey.
- MACIA, C & CONCHA, A.E. (1992): Acerca de las vulcanitas de las Islas de Providencia y Santa Catalina al SW del Caribe (en preparación).
- MANN, P. and BURKE, K. (1984 b): Neotectonics of the Caribbean. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. Vol. 22 No. 4. P. 309–362.
- PEARCE, J.A. and CANN, J.R. (1973): tectonic setting of vulcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 19. p. 290–300.
- PEARCE, J.A. and NORRIS, M.J. (1979): Petrogenetic Implications of Ti, Zr and Nb variations in Volcanic Rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* No. 69. p. 33–47.
- PEARCE, J.A. (1982): Trace element characteristics of lava from destructive plate boundaries. In Thorpe, R.S. (ed): *Andesites*. John Wiley & Sons, p. 525–548.
- WADGE, G. and WOODEN, J.L. (1982): Late Cenozoic Alkaline Volcanism in the Northwestern Caribbean: Tectonic Setting and Sr isotopic characteristics. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 57, p. 3546.
- WAENKE, H., DREIBUS, G. and JAGOUTZ, E (1984): Mantel chemistry and accretion of the Earth. In *Archean Geochemistry* (eds. A. Kroener, G.N., Hanson & Godwin). Springer, p. 1–24.
- WOOD, D.A., JORON, J.L. and TREVIL, M. (1979a): A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magmas series erupted in different tectonic settings. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 45. p. 326–336.

Manuscrito presentado en Marzo de 1995