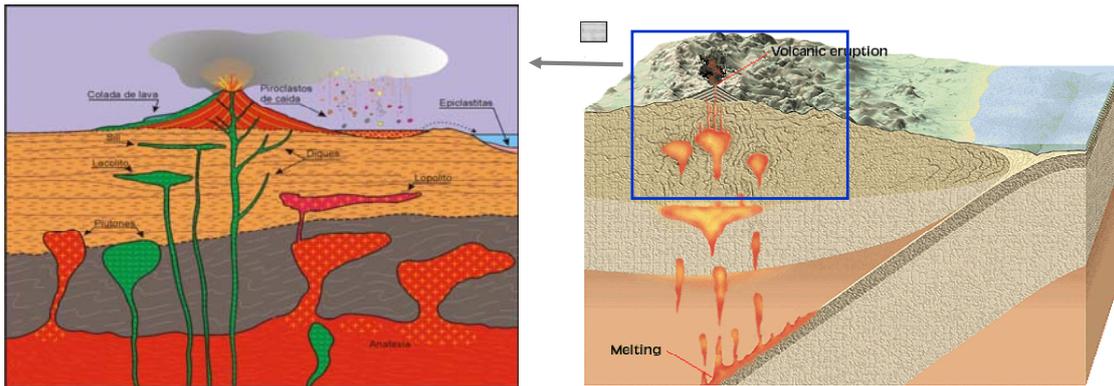


TRABAJO PRÁCTICO Nº 9

“ASOCIACIONES PETROTECTÓNICAS”

Dickinson (1971), define a una asociación petroTECTÓNICA como un “conjunto de rocas (clanes o familias) que tienen un origen en común”



Premisas e hipótesis:

- Los **magmas** son creados por **fusión** de la **corteza** y/o **manto**, ya que **no existen reservorios permanentes!**
- La **fusión** es respuesta a un episodio dinámico (**tectónico**), dado que el calor localizado por concentración radioactiva es sólo localmente suficiente.

Para su formación necesita de:

- **Aumento de temperatura** (ascenso, fricción y subducción)
- **Decrecimiento de presión** (fallamiento, diapirismo, levantamiento regional) importante en ambientes de RIFT.
- **Aditamento de volátiles** (baja las condiciones de **P** y **T°** del Solidus) muy importante en zonas de subducción!

Asociación PetroTECTÓNICA es un conjunto o serie de rocas formadas en un **AMBIENTE TECTÓNICO** determinado.

CLASIFICACIÓN (Condie, 1981):

1) Asociaciones petrotectónicas de márgenes destructivos.

- A- Antearco continental.
- B- Arco continental.
- C- Arco de islas.

2) Asociaciones petrotectónicas de márgenes colisionales.

- A- Magmatismo sincolisional (granitos-deformados).
- B- Magmatismo post-colisional.
- C- Riolitas de plateaux post-colisionales.

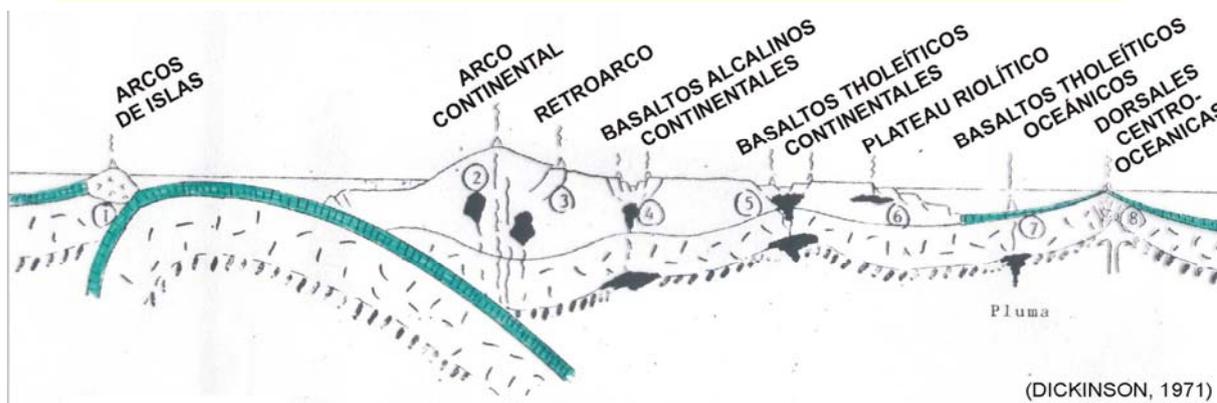
3) Asociaciones petrotectónicas de márgenes constructivos.

- A- Zona de intraplaca continental.
- B- Zona de intraplaca oceánica.
- C- Plumas y hot-spots.
- D- Dorsales centro-oceánicas.

4) Asociaciones petrotectónicas de márgenes conservativos.

- A- Fallas transformes.

ASOCIACIONES PETROTECTÓNICAS RELACIONADAS A LOS PRINCIPALES AMBIENTES TECTÓNICOS



1-ARCOS DE ISLAS:

Inmaduros series tholeiíticas
Maduros series calcoalcalinas

2-ARCOS CONTINENTALES:

Tholeiitas de arco
Series calcoalcalinas
Series shoshoníticas

3-RETROARCO:

Series bimodales: Basaltos
Rio-dacitas

4-LITÓSFERA POTENTE:

Basaltos alcalinos

5-LITÓSFERA ATENUADA:

Basaltos tholeiíticos
Riolitas

6-PLATEAU RIOLÍTICOS:

Riolitas

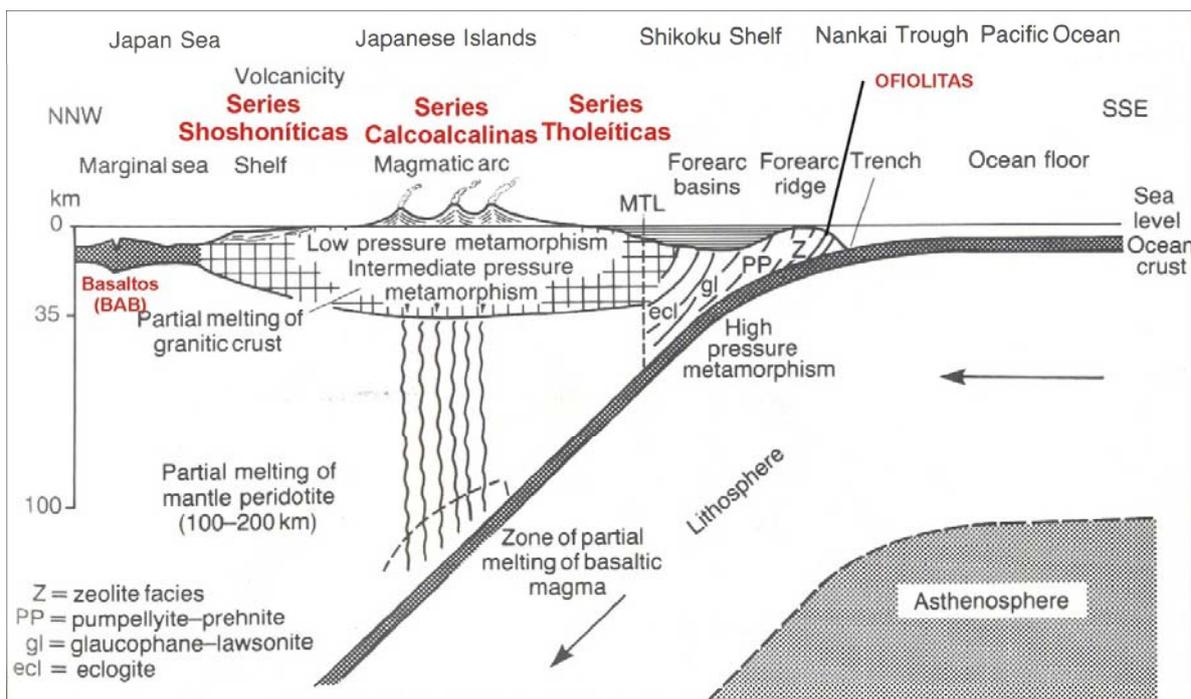
7-PLATEAU OCEÁNICOS:

Basaltos alcalinos

8-DORSALES OCEÁNICAS:

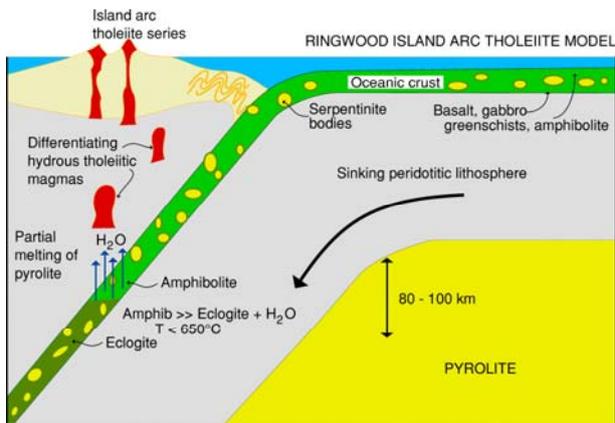
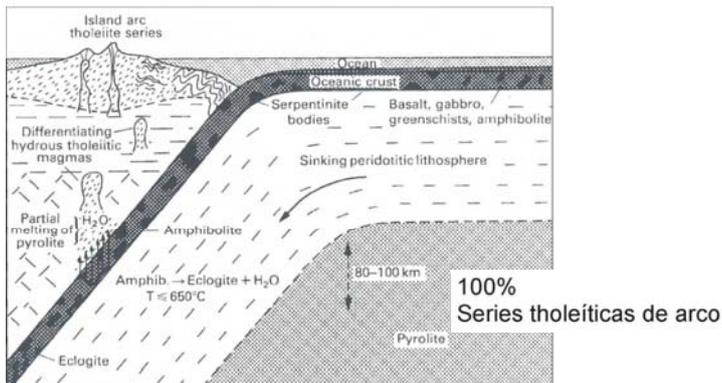
Tholeiitas de bajo contenido de k

ARCO CONTINENTAL

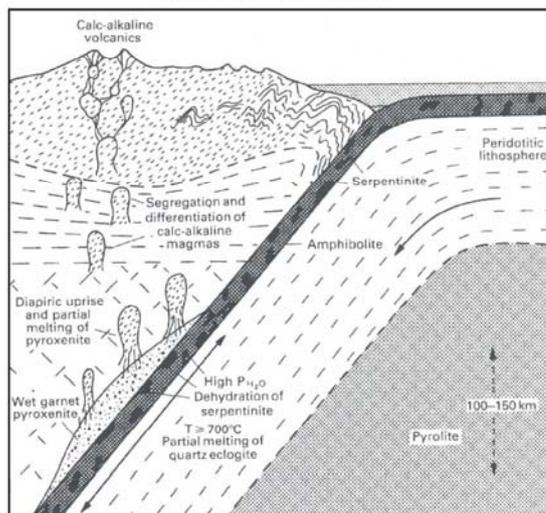


ARCO DE ISLAS

ARCOS INMADUROS

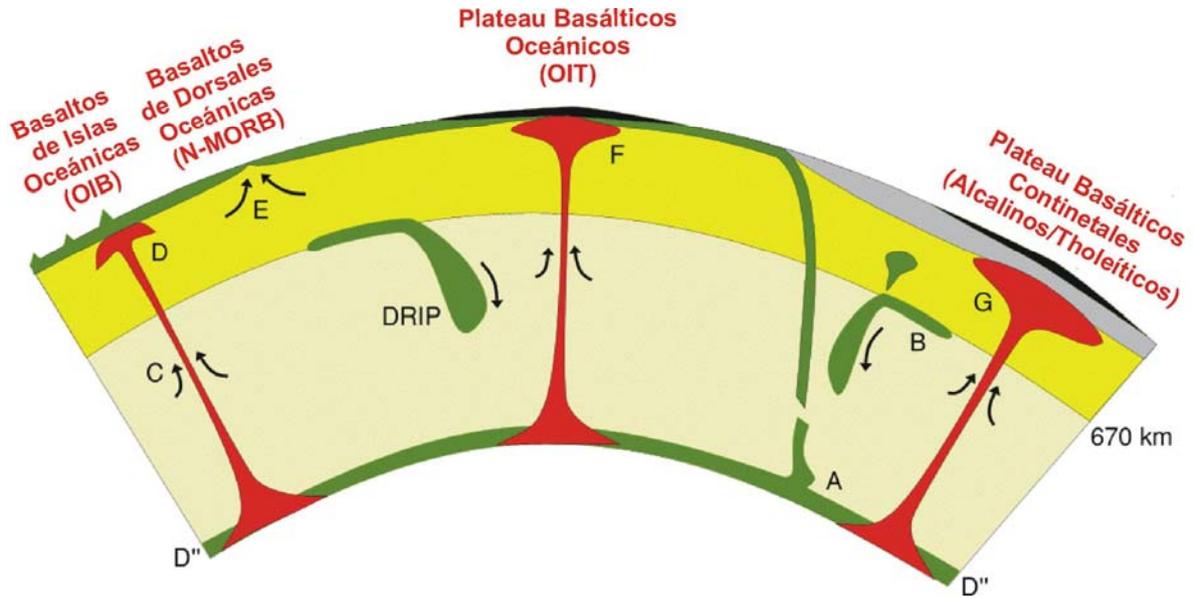


ARCOS MADUROS

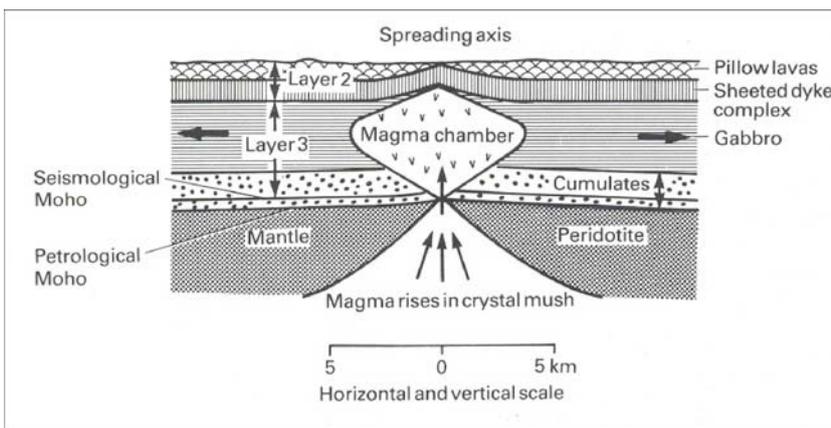


Por apilamiento volcánico diferenciación magmática:
 80% Rocas tholeíticas
 20% Rocas calcoalcálinas

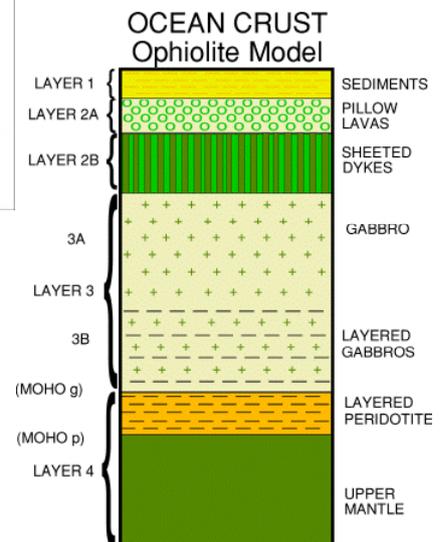
ASOCIACIONES PETROTECTÓNICAS DE MARGENES CONSTRUCTIVOS



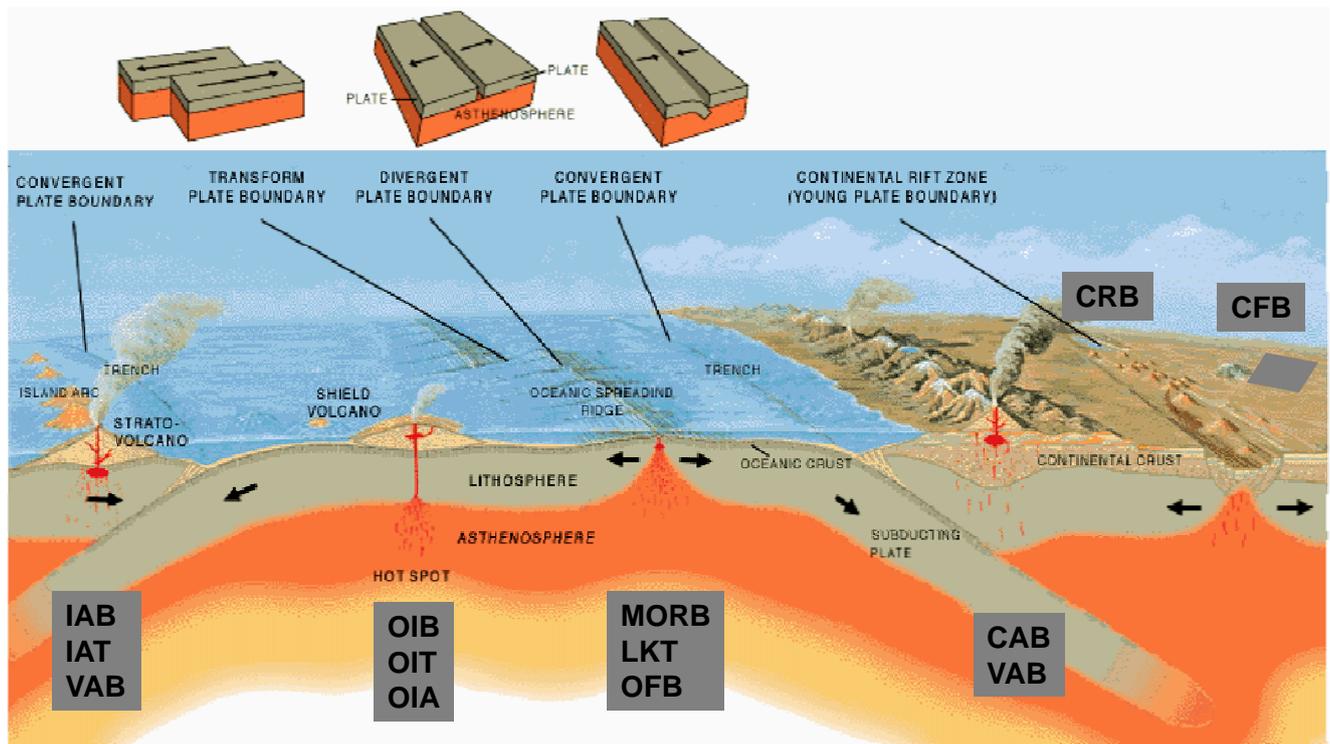
DORSALES CENTRO-OCEÁNICAS



**Basaltos N-MORB
(E-MORB y P-MORB)**



LOS DIFERENTES CONTEXTOS GEOTECTONICOS



Y tipos de magmatismo asociados

ELEMENTOS MAYORES Definición y utilización.

Clasificación química de rocas ígneas

Análisis de rocas

Elementos mayores: > 1%	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ FeO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O H ₂ O
Elementos menores: 0.1 - 1% (Usualmente se incluyen con los elementos mayores)	TiO ₂ MnO P ₂ O ₅ CO ₂
Elementos traza: <0.1% Se expresan en ppm (1% = 10,000 ppm)	Rb, Nb, Li, Be, La, Ce, Th, U, etc.
Isótopos radioactivos y estables	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb δ ¹⁸ O, etc.

DISCRIMINADORES TECTÓNICOS & GEOQUÍMICA

- **Elementos mayoritarios:** controlan las fases minerales presentes en ciertas condiciones de cristalización del magma.

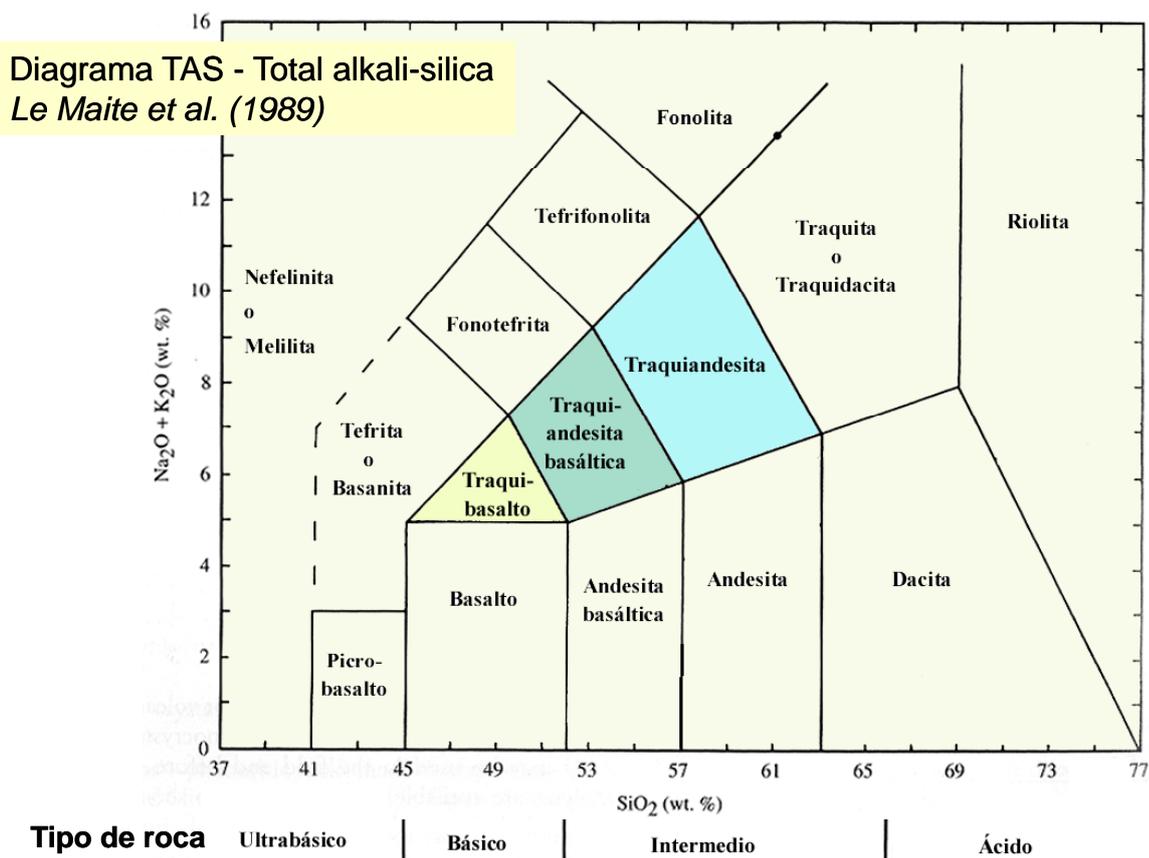
1. Diagramas binarios (X-Y).
 - a. Valor absoluto de los componentes químicos
 - b. Relaciones de componentes químicos
2. Diagramas ternarios.
- 3) Normas que de alguna manera representan posibles modas (p. ej. CIPW).
- 4) Representaciones matemáticas de la información composicional
- 5) Modelos.

- Usando la química de basaltos (±andesitas) es posible distinguir entre los diferentes (conocidos) regímenes tectónicos en que ellos se habrían generado.
- Los diagramas fueron construidos utilizando elementos mayores y traza.
- Aquellos que utilizan elementos inmóviles bajo actividad hidrotermal (x ejm. Ti, Zr, Y, Nb, P) pueden ser utilizados en rocas alteradas y hasta metamorfizadas.
- Elementos deben ser insensitivos a procesos secundarios y fáciles de medir con buena precisión.
- Los diagramas discriminantes NUNCA deben usarse como una prueba, solo sirven para “sugerir” una asociación tectónica.

ARCOS VOLCANICOS VAB

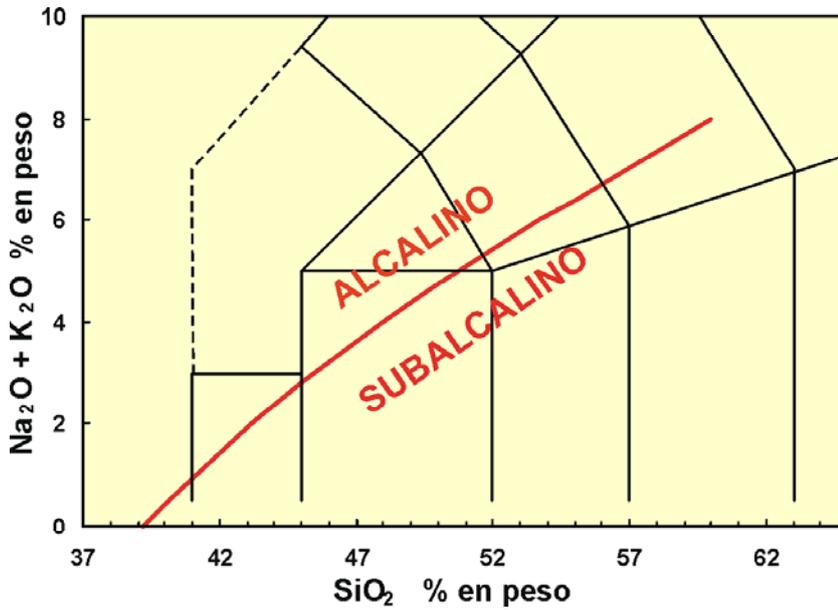
- Anomalías negativas de **Nb (Ta)** con respecto al **Th, Ce (La)**.
- Tholeítics: agotamiento con respecto al **N-Morb** del **Nb, Ti** e **Y (Yb)**.
- Calcoalcalinos y calcoalcalinos con alto **K**: tienen mayores concentraciones de **Nb** y **Zr**, pero el **Ti** e **Y** siguen siendo menores al **N-MORB**.
- La anomalía de **Nb** se forma por el fraccionamiento del **Nb** con respecto al **Th** y **Ce** durante la deshidratación y fusión parcial de la placa subductada.
- El **Th** y **Ce** son transferidos desde la placa subductada a la columna de fusión debajo del arco, mientras que el **Nb** es retenido en anfíboles y otras fases menores en la placa.

Clasificación de Rocas Volcánicas, basado en composición química de roca total



Clasificación basada en composición química de roca total

Series de rocas magmáticas



Rocas alcalinas:

- Subsaturadas en sílice
- Contienen *ne* normativa
- Comúnmente incluyen alguno(s) de los minerales:
 - Feldespatoides (nefelina, leucita)
 - Analcima
 - Feldespato alcalino
 - Anfíboles alcalinos
 - Clinopiroxenos alcalinos
 - Soluciones sólidas biotita-flogopita
 - Olivino

NO CONTIENEN:
ORTOPIROXENO, CUARZO

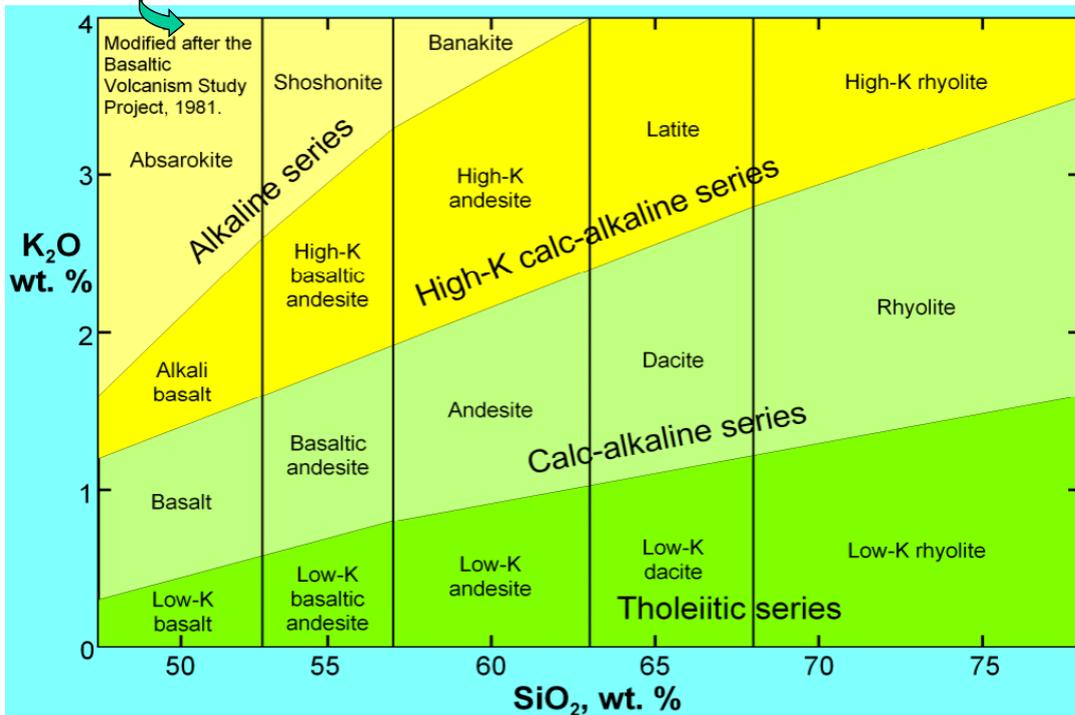
Diagrama TAS - Total alkali-silica
Le Maite et al. (1989)

Clasificación basada en la composición química de roca total

Series de rocas magmáticas

Serie shoshoníticas

Subdivisión de rocas subalcalinas



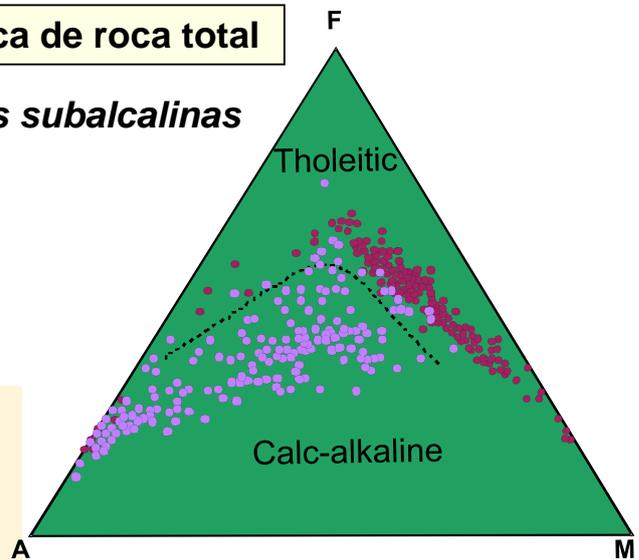
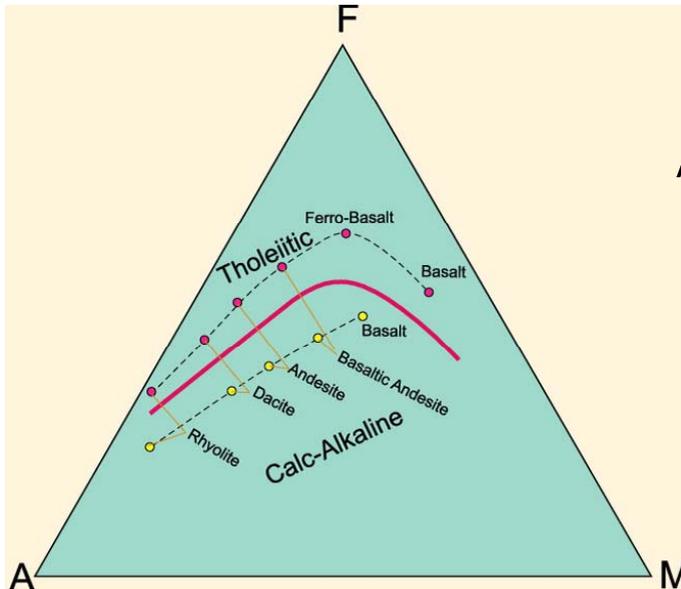
Clasificación por composición química de roca total

Subdivisión de rocas subalcalinas

- **Diagrama AFM:** subdivisión en series
 - **tholeítica** y **calco-alcalina**.

B - a calcoalcalinaos 16-20 wt % Al_2O_3

b - a toleíticos 12-16 wt % Al_2O_3



- alkalis $\rightarrow K_2O + Na_2O$
- $FeO^* \rightarrow FeO + Fe_2O_3$
- MgO

Irvine and Baragar, 1971

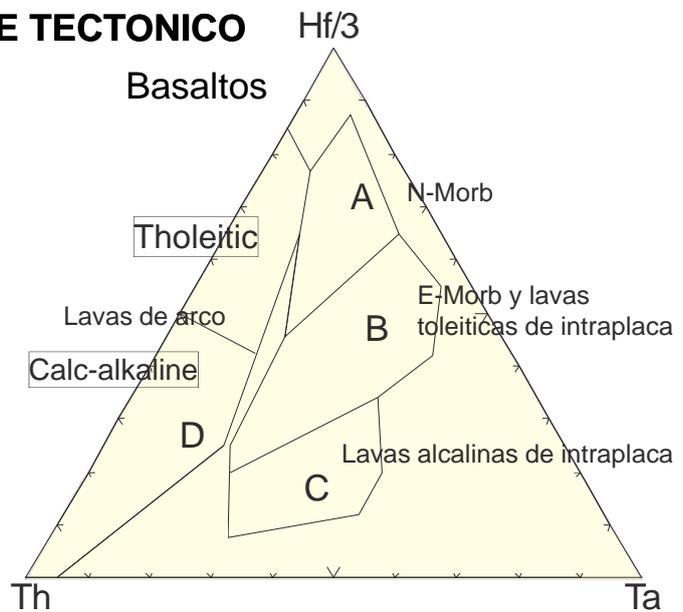
DISCRIMINADORES DE AMBIENTE TECTONICO

- **Wood et al, 1979:** Se basa en elementos inmóviles que presentan muy baja concentración en basaltos.
- Diferencia distintos tipos de MORB.
- Muy buen discriminante de basaltos de arcos volcánicos (1980).

- **Pearce y Cann, 1973:** buen discriminador, entre basaltos de intraplaca (Islas Oceánicas o Continentales) de otros tipos de basaltos (D)

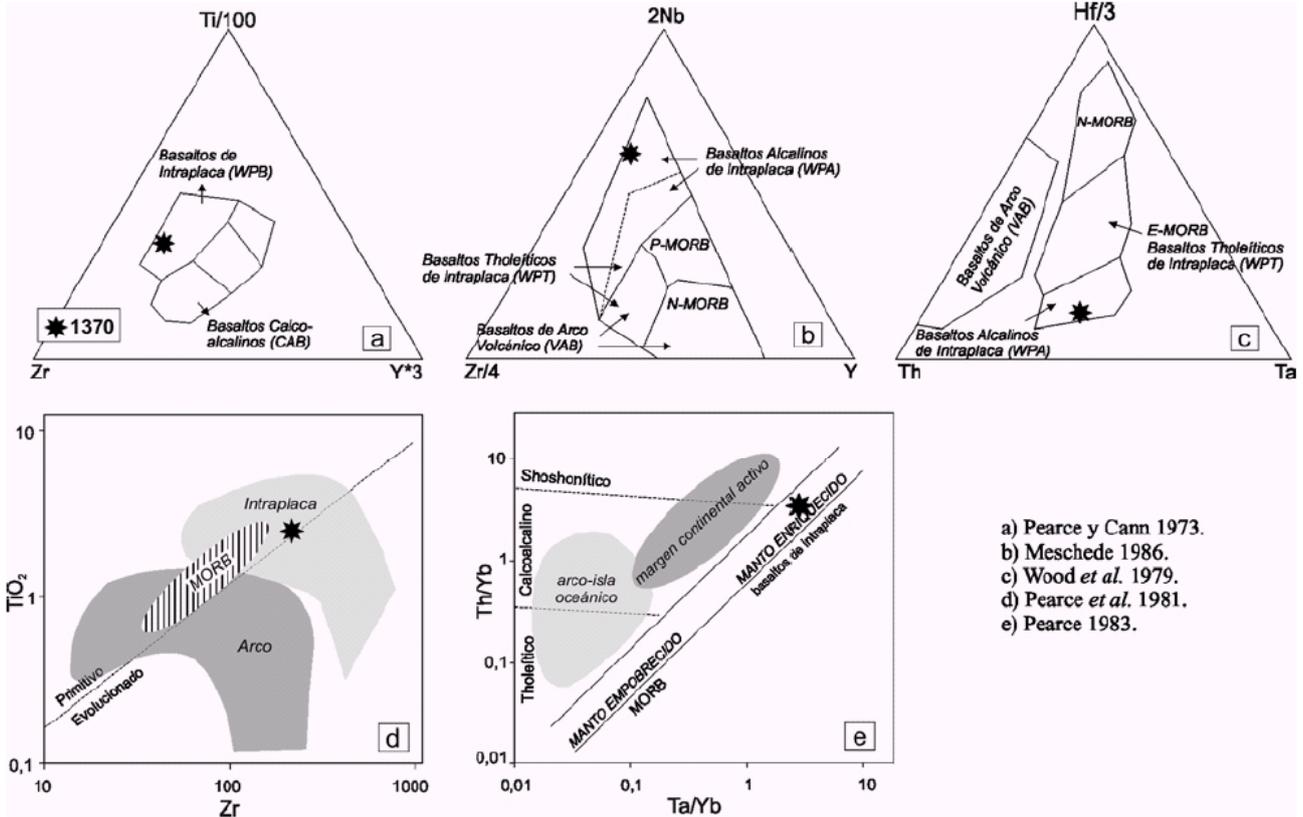
- Tholeiitas de arco islándicos A y B
- Basaltos calcoalcalinos B y C
- Campo B es ambiguo, las rocas que caen allí pueden separarse usando el diagrama de Ti/Zr.

- **Meschede, 1986:** Para discriminar basaltos de fondo oceánico.



DISCRIMINADORES DE AMBIENTE TECTONICO

Figura 6: a, b, c, d y e. Diagramas de discriminación geotectónica. Detalles interpretativos en el texto.



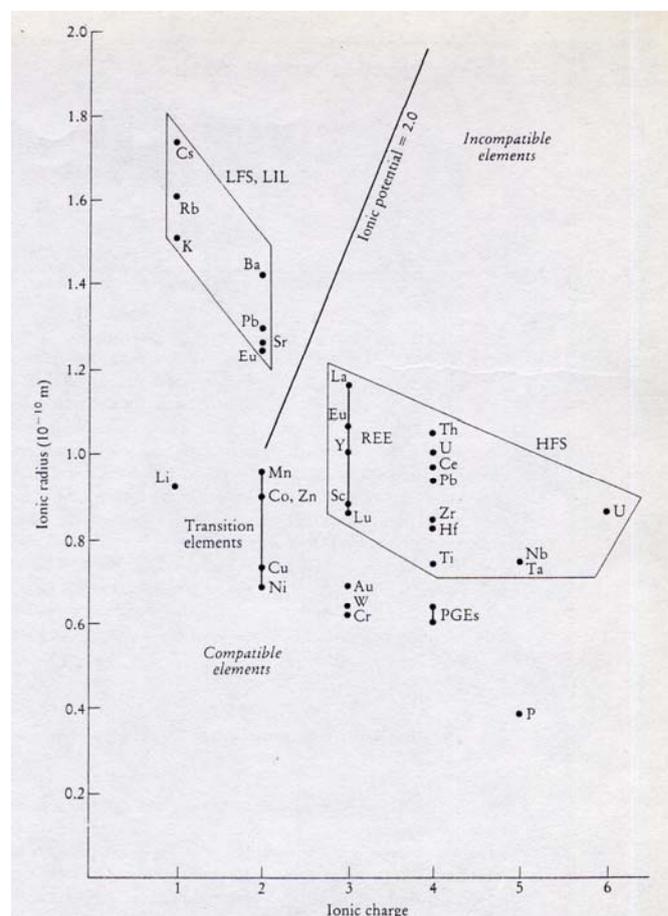
GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA

CLASIFICACIÓN ELEMENTOS TRAZA

- **Muy útiles** → alta sensibilidad en procesos de fraccionamiento
- Baja concentración y sustituyen a otros elementos en los cristales
- Intercambio en equilibrio de un **componente *i*** entre dos **fases (sólido y líquido)** $K_p: [Me]_{\text{mineral}}/[Me]_{\text{fundido}}$
 - **Importante:** esta constante varía en función de la composición del fundido
- Elementos **compatibles:** entran en la estructura cristalina del mineral (en un proceso de cristalización), depende de la constante de partición $K_p: [Me]_{\text{mineral}}/[Me]_{\text{fundido}} > 1$
 - **Ej:** Sc, V, Cr
- Elementos **Incompatibles:** quedan en el líquido (fundido), se concentran en el magma residual $K_p: [Me]_{\text{mineral}}/[Me]_{\text{fundido}} < 1$
 - **Ej:** Th, Ti, Ta
- **Tierras Raras:** metales de la serie de los lantánidos, N° atómico: 57 a 71 (La-Lu) y el Y (39) también se incluye por tener un radio iónico similar.
 - Tierras raras livianas (LREE): La, Ce, Pr, Nd, Pm
 - Tierras raras medianas (MREE): Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho
 - Tierras raras pesadas (HREE): Er, Tm, Yb; Lu

- En función de la relación entre la carga/ tamaño iónico: Fuerza de campo, o potencial iónico (radio iónico/ carga iónica), los elementos **incompatibles:** divididos en dos subgrupos:
 - **High Field Strength Elements (HFS):** potencial iónico más pequeños (bajo radio iónico), alta carga en cationes, inmóviles
 - Ej: REE, Th, U, Ce, Pb, Ti, Zr-Hf, Nb-Ta, Ti, P, Y.
 - **Low field strength elements (LFS) ó Large Ion Lithophile Elements (LIL):** baja carga y alto radio iónico, móviles, particularmente cuando está involucrada una fase fluida
 - Ej. K, Rb, Cs, Ba, Pb, Sr, Eu.

Rollison (1993)



La compatibilidad depende de los minerales y los fundidos involucrados, por lo tanto no son valores exactos (depende de cada sistema)

Table 9-1. Partition Coefficients (C_S/C_L) for Some Commonly Used Trace Elements in Basaltic and Andesitic Rocks

	Olivine	Opx	Cpx	Garnet	Plag	Amph	Magnetite
Rb	0.010	0.022	0.031	0.042	0.071	0.29	
Sr	0.014	0.040	0.060	0.012	1.830	0.46	
Ba	0.010	0.013	0.026	0.023	0.23	0.42	
Ni	14	5	7	0.955	0.01	6.8	29
Cr	0.70	10	34	1.345	0.01	2.00	7.4
La	0.007	0.03	0.056	0.001	0.148	0.544	2
Ce	0.006	0.02	0.092	0.007	0.082	0.843	2
Nd	0.006	0.03	0.230	0.026	0.055	1.340	2
Sm	0.007	0.05	0.445	0.102	0.039	1.804	1
Eu	0.007	0.05	0.474	0.243	0.1/1.5*	1.557	1
Dy	0.013	0.15	0.582	1.940	0.023	2.024	1
Er	0.026	0.23	0.583	4.700	0.020	1.740	1.5
Yb	0.049	0.34	0.542	6.167	0.023	1.642	1.4
Lu	0.045	0.42	0.506	6.950	0.019	1.563	

Data from Rollinson (1993). * Eu^{3+}/Eu^{2+} Italics are estimated

Sr y Ba (Elem. Inc.) → comportamiento depende de las fases minerales involucradas.

- **Sr** es excluido desde la mayoría de los minerales comunes excepto **Pg**.
- **Ba** excluido de la misma manera excepto en **Fd-K**.

FX Pg => Ba/Sr ↑

FX Or => Ba/Sr ↓

Table 9-1. Partition Coefficients (C_S/C_L) for Some Commonly Used Trace Elements in Basaltic and Andesitic Rocks

	Olivine	Opx	Cpx	Garnet	Plag	Amph	Magnetite
Rb	0.010	0.022	0.031	0.042	0.071	0.29	
Sr	0.014	0.040	0.060	0.012	1.830	0.46	
Ba	0.010	0.013	0.026	0.023	0.23	0.42	
Ni	14	5	7	0.955	0.01	6.8	29
Cr	0.70	10	34	1.345	0.01	2.00	7.4
La	0.007	0.03	0.056	0.001	0.148	0.544	2
Ce	0.006	0.02	0.092	0.007	0.082	0.843	2
Nd	0.006	0.03	0.230	0.026	0.055	1.340	2
Sm	0.007	0.05	0.445	0.102	0.039	1.804	1
Eu	0.007	0.05	0.474	0.243	0.1/1.5*	1.557	1
Dy	0.013	0.15	0.582	1.940	0.023	2.024	1
Er	0.026	0.23	0.583	4.700	0.020	1.740	1.5
Yb	0.049	0.34	0.542	6.167	0.023	1.642	1.4
Lu	0.045	0.42	0.506	6.950	0.019	1.563	

Data from Rollinson (1993). * Eu^{3+}/Eu^{2+} Italics are estimated

Ejm. Elementos compatibles:

- Ni fuertemente fraccionado → olivino > piroxeno
- Cr y Sc → piroxenos > olivino
- Ni/Cr o Ni/Sc permiten distinguir el efecto de olivino y augita en un fundido parcial o en una serie de rocas generadas por FX.

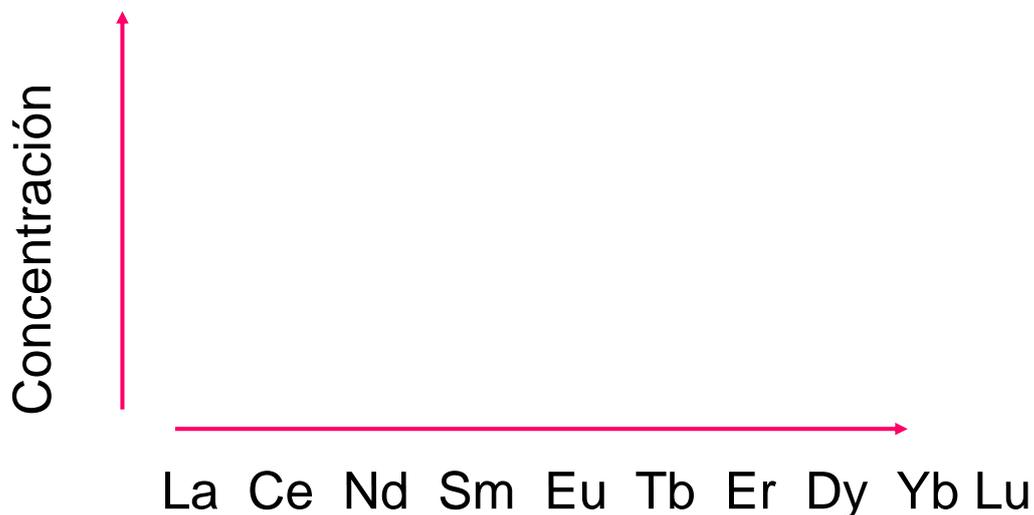
Table 9-1. Partition Coefficients (C_S/C_L) for Some Commonly Used Trace Elements in Basaltic and Andesitic Rocks

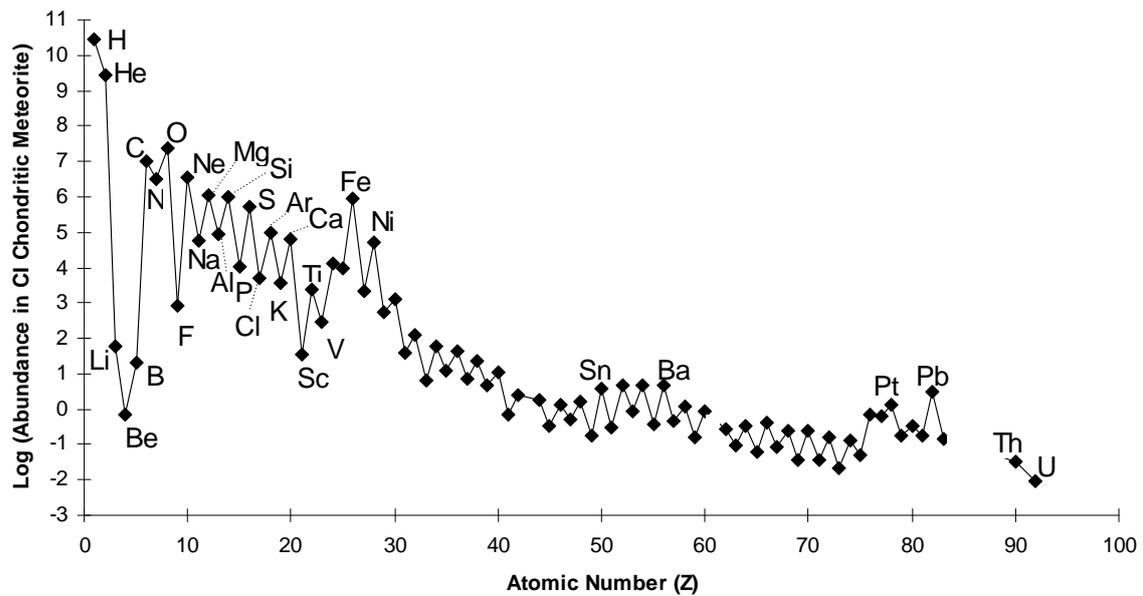
	Olivine	Opx	Cpx	Garnet	Plag	Amph	Magnetite
Rb	0.010	0.022	0.031	0.042	0.071	0.29	
Sr	0.014	0.040	0.060	0.012	1.830	0.46	
Ba	0.010	0.013	0.026	0.023	0.23	0.42	
Ni	14	5	7	0.955	0.01	6.8	29
Cr	0.70	10	34	1.345	0.01	2.00	7.4

Diagramas de REE

Gráficos de concentración (eje-y) v/s número atómico creciente

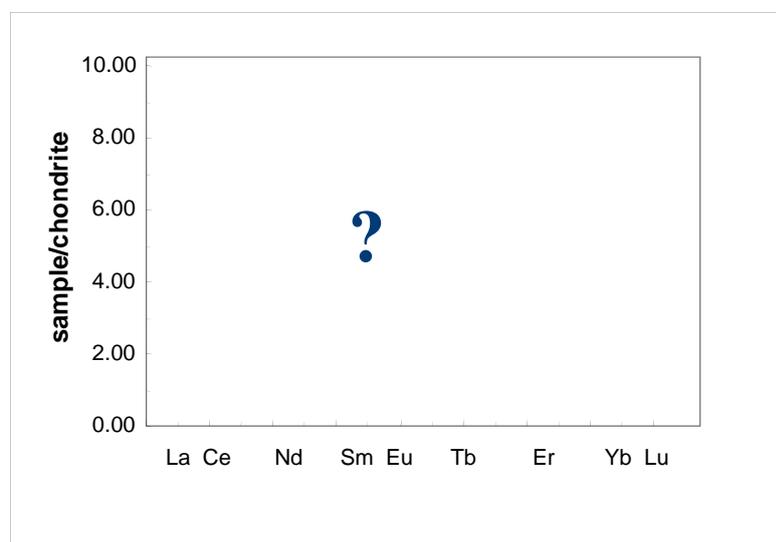
- Grado de compatibilidad aumenta desde la izquierda a la derecha





- Normalizando a un estándar se elimina **Oddo-Harkins effect**, hace la escala y más funcional
 - Estimaciones de las REE del manto primordial
 - Concentraciones de los meteoritos condriticos

¿Cómo se vería un diagrama de REE normalizado al condrito?



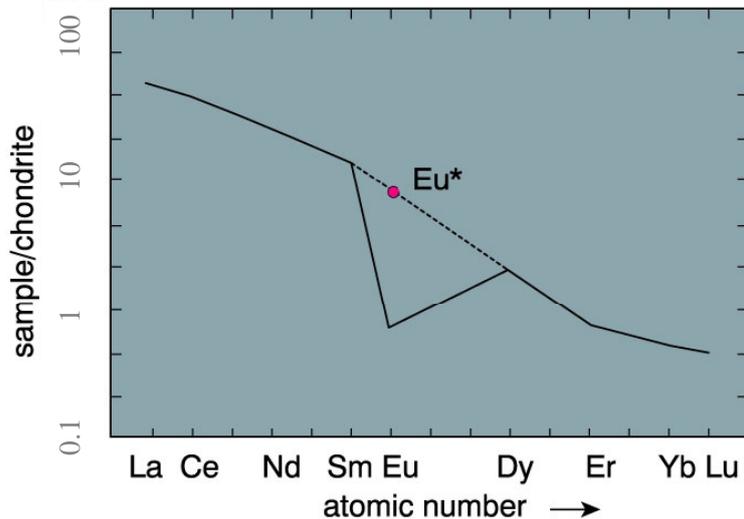


diagrama REE de una lherzolita hipotética con 20 wt% Pg, lo que resulta en una pronunciada anomalía negativa de Eu.

$$Eu^* = (Sm + Gd) / 2$$

$$Anomalía = Eu / Eu^*$$

- Anomalía de europio (Eu/Eu*) cuando plagioclasa es:
 - Un mineral que cristaliza
 -
 - Un sólido residual en la fuente

Diagramas Multielementales (Araña o “Spider”)

Son una extensión de la técnica de normalización utilizada en las REE hacia un mayor espectro de elementos.

- > Chondrite/Mantle-normalized spider diagrams son comúnmente ordenados por aumento (←) del grado de incompatibilidad
- > Diferentes estimaciones → diferente ordenamiento (poca estandarización!!)

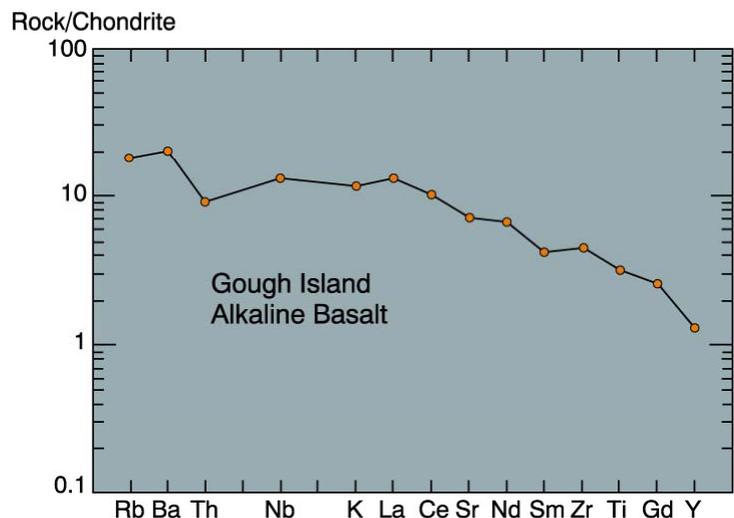
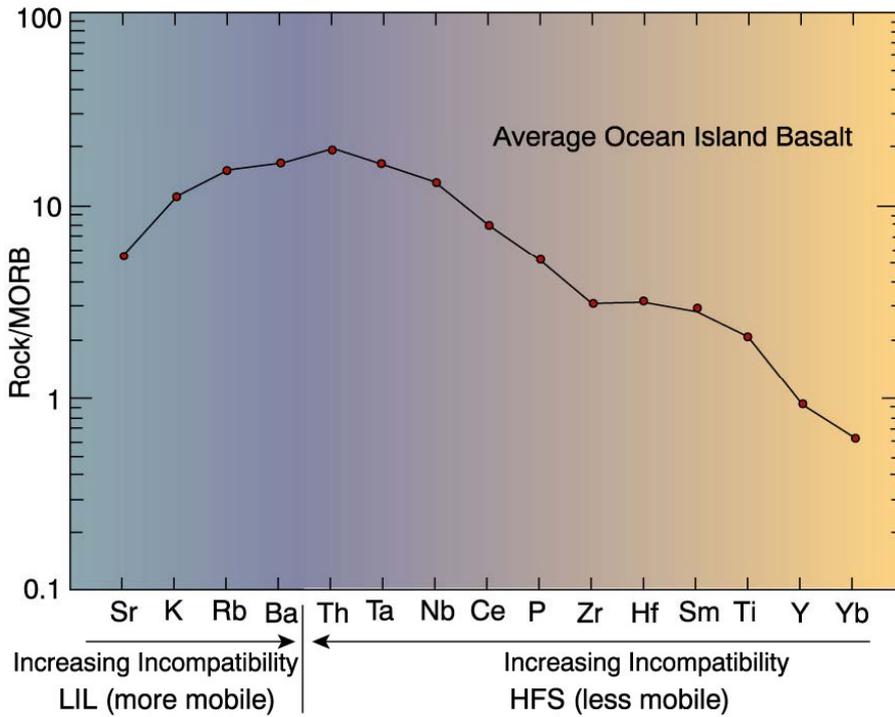


Diagrama Spider normalizado a MORB

(Pearce (1983): Separa LILE y HFSE de acuerdo a su grado de incompatibilidad y a su movilidad en un medio acuoso



OIB graficado normalizado al MORB Spider diagram propuesto por Pearce (1983).

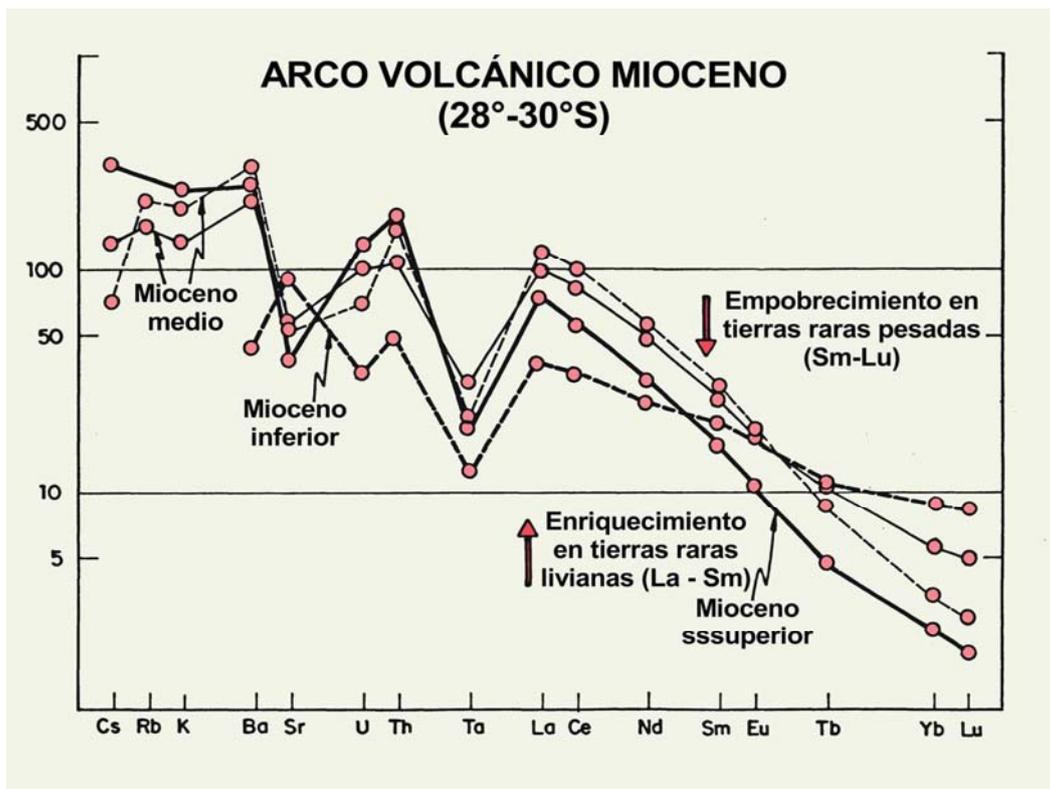


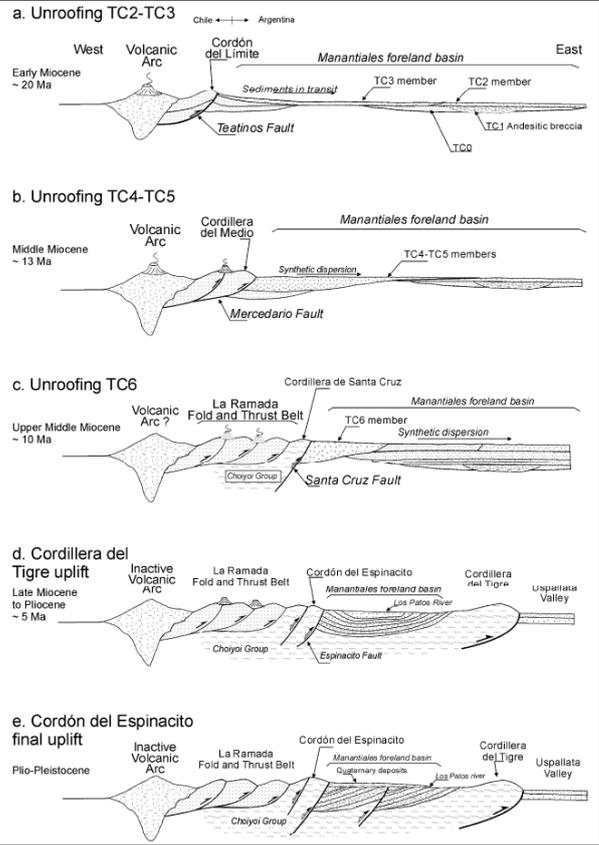
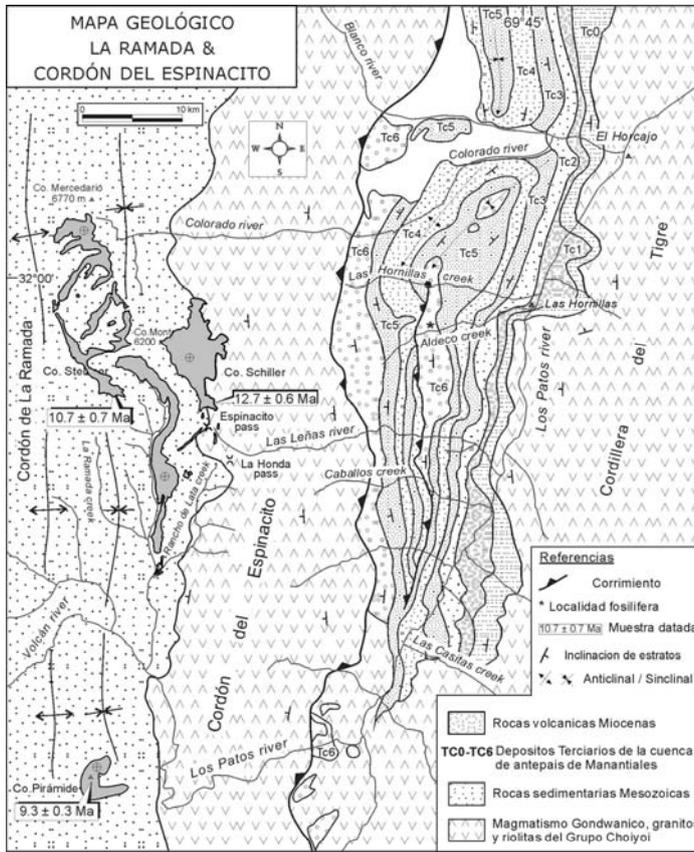
Table: Resumen de algunos elementos traza particularmente útiles en petrología Ignea

Elemento	Uso como indicador petrogenetico
Ni, Co, Cr	Elementos altamente incompatibles. Ni (y Co) son concentrados en olivino, y Cr en espinel y clinopiroxeno. Altas concentraciones indican una fuente mantélica.
V, Ti	Ambos altamente fraccionados en Fe-Ti óxidos (ilmenita o titanomagnetita). Si ellos se comportan diferentemente, Probablemente el Ti se fracciona en una fase accesoria, como esfeno o rutilo.
Zr, Hf	Elementos muy incompatibles que no se sustituyen en las fases mayores silicatadas (aunque ellos pueden reemplazar Ti en esfeno o rutilo).
Ba, Rb	Elementos incompatibles que substituyen K en K-felds, micas, o hornblenda. Rb substituye menos fácilmente en Hb que en K-felds y en micas, K/Ba permite distinguir estas fases.
Sr	Sustituye al Ca en plagioclasas (pero no en piroxenos), y, en menor cantidad, K en los K-felds. Se comporta como elemento compatible a baja presión donde plagioclasa se forma temprano, pero como incompatible a mayores presiones, donde la plagioclasa ya no es estable.
REE	Granate acomoda las HREE más que las LREE, y ortopiroxeno y hornblenda en menor proporción. Esfeno y plagioclasa acomodan más las LREE. Eu^{2+} es fuertemente fraccionado por las plagioclasas
Y	Comunmente incompatible (como HREE). Fuertemente particionado en el granate y anfíbola. Esfeno y apatito también concentran Y, por lo tanto la presencia de ellos como accesorios podría tener un efecto significativo

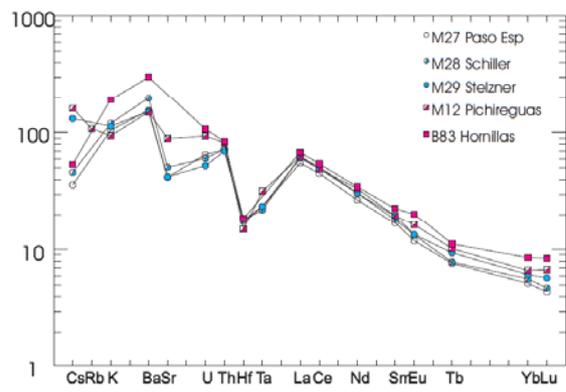
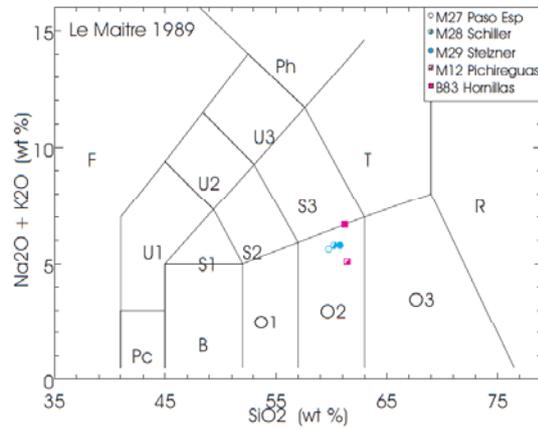
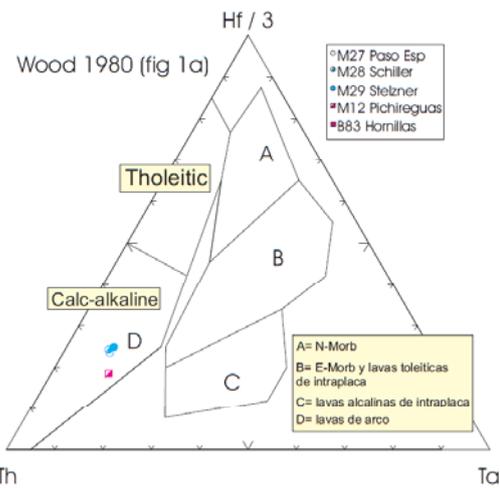
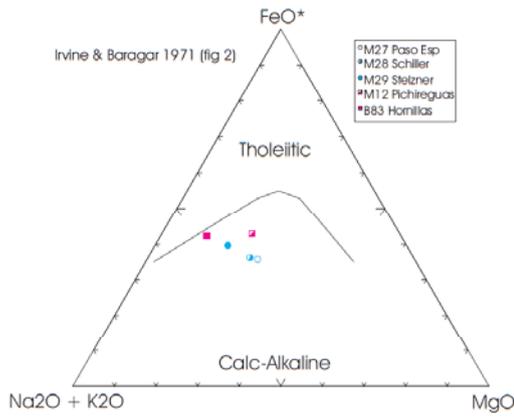
Green (1980). *Tectonophys.*, **63**, 367-385.

EJERCICIOS:

- Graficar los siguientes diagramas:
 - TAS ($\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$); total de álcalis vs. sílice (Le Maitre et al., 1989), da clasificación química y nomenclatura de rocas volcánicas.
 - $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ (Irvine y Baragar, 1971), subdivisión de rocas volcánicas, en alcalinas y sub-alcalinas.
 - $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Peccerillo & Taylor, 1976), subdivisión de rocas subalcalinas; con campos de bajo, medio y alto-K.
 - AFM (Irvine y Baragar, 1971), campos calcoalcalinos y tholeíticos.
 - Distribución de tierras raras y elementos traza, según norma Condrito Leedy.
 - Wood (1980), para ambiente tectónico.
- Sobre la base de los *elementos geológicos asociados* y el análisis de los *datos geoquímicos y diagramas* de las rocas volcánicas, analice el ambiente tectónico de la región de estudio.
- Explique la posible coherencia de los discriminadores tectónicos con el ambiente geológico y características litológicas de las unidades presentes.



Trabajo Práctico N° 10 - Asociaciones Petrotectónicas I



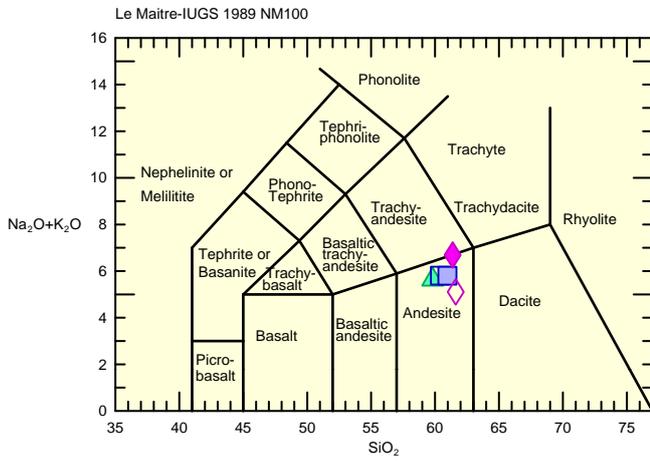


Diagrama TAS para rocas volcánicas, grafica total de alcalis vs silice (Le Maitre *et al*, 1989).

Muestras M27, M28 y M29 andesitas
M 12 campos de andesitas basálticas

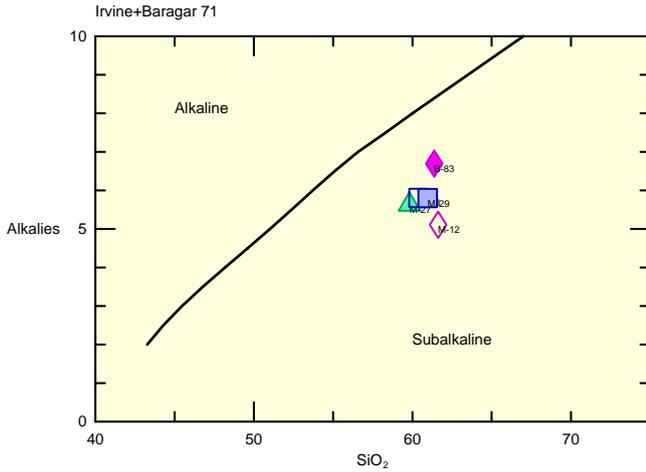
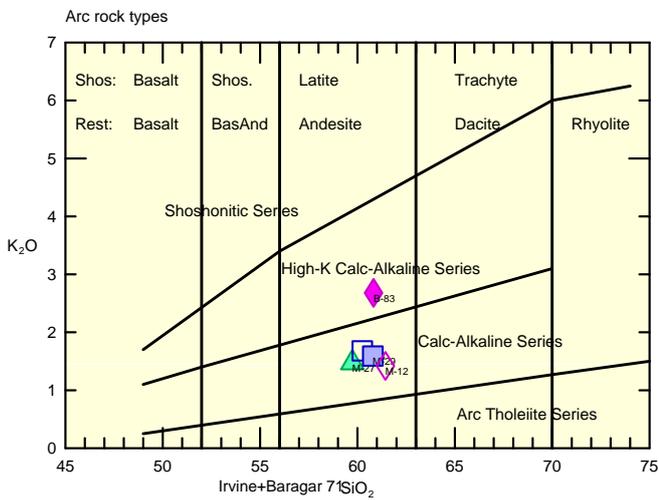


Diagrama de Irvine y Baragan (1971). Rocas de la región de estudio, se ubican en el campo de rocas subalcalinas.



Las rocas volcánicas subalcalinas, Muestras M27, M28, M29: ubican en el campo de las andesitas y pertenecen a la serie calcoalcalina.

La Brecha de Las Hornillas (M83) se ubica en el campo de las andesitas, con alto potasio.

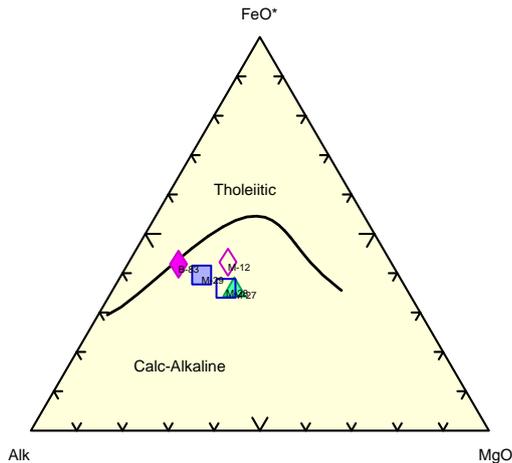


Diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971), Indica para las rocas analizadas una asociacion de rocas calcoalcalinas.

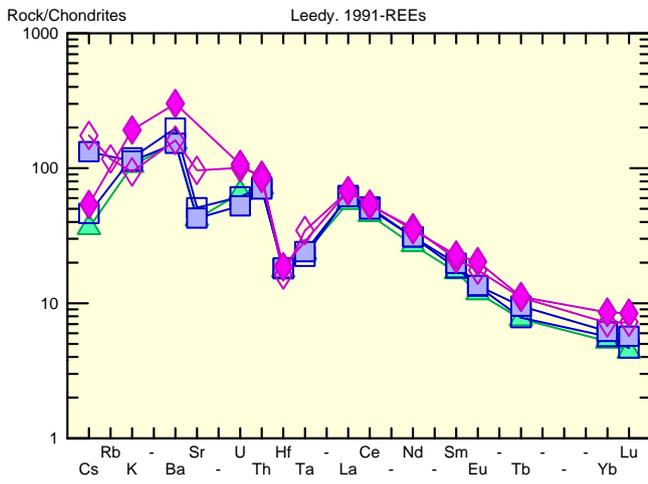


Diagrama de distribución de RREs.
 Alto Ba y Th, y Bajo Ta respecto a La,
 Típico de ambiente de Arco.
 Razones: Ba/La (2 3.71 -33,45), La/Ta (28. 11-
 55.47), Muy alta razón La/Yb 14 .36-22 .09),
 alta razón La/Sm (4.56-5.82) y una baja
 anomalía negativa de Eu (Eu/Eu"=0.87-1,03)
 Estas relaciones indicarían
 características típicas de magmatismo de arco.

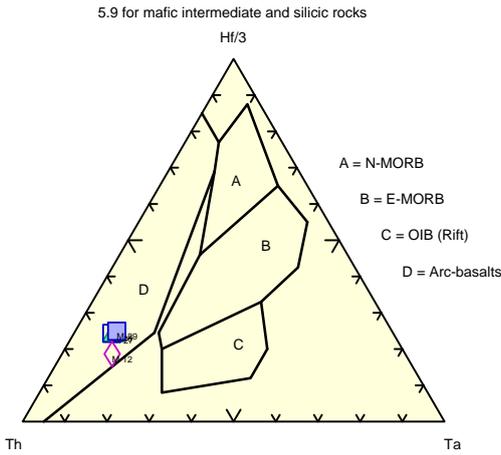


Diagrama de Wood (1980), que las muestras
 caen en el campo de rocas de asociaciones de
 arco magmatico, dentro del subcampo
 calcoalcalino.