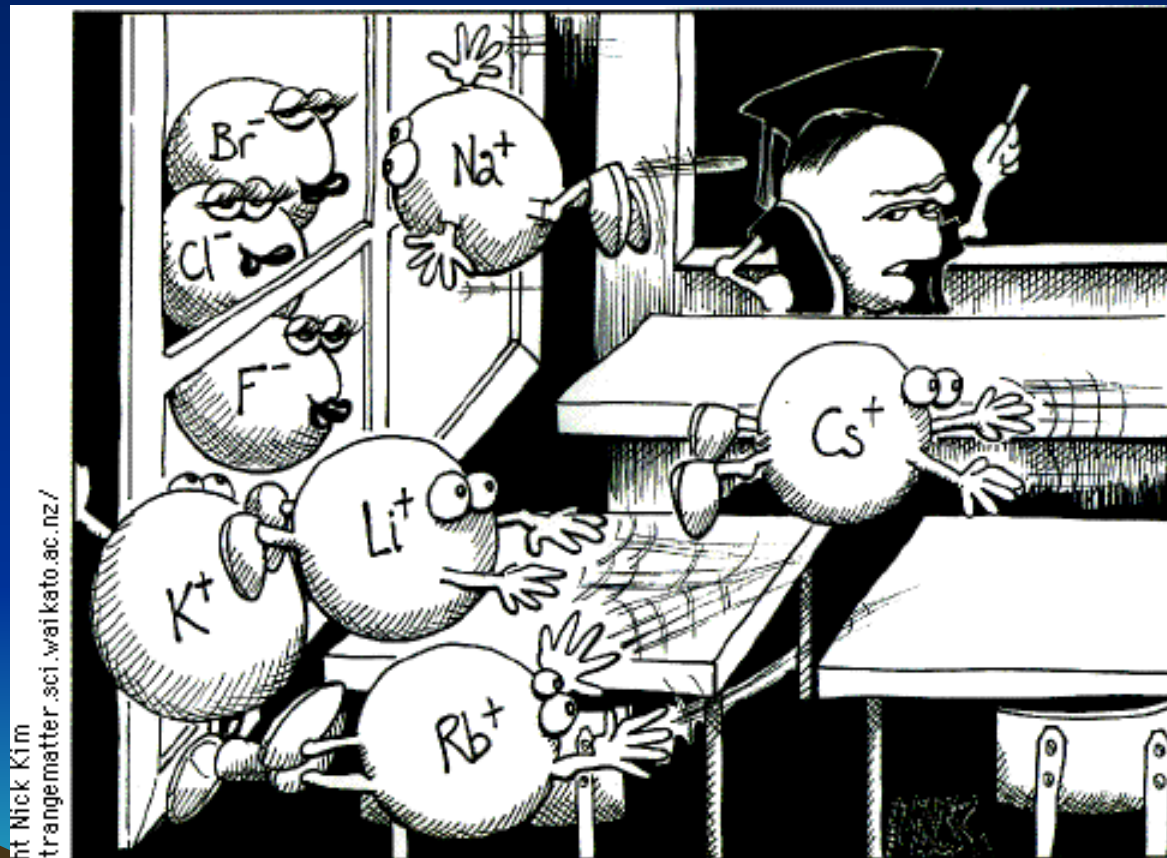


ELEMENTOS MAYORES

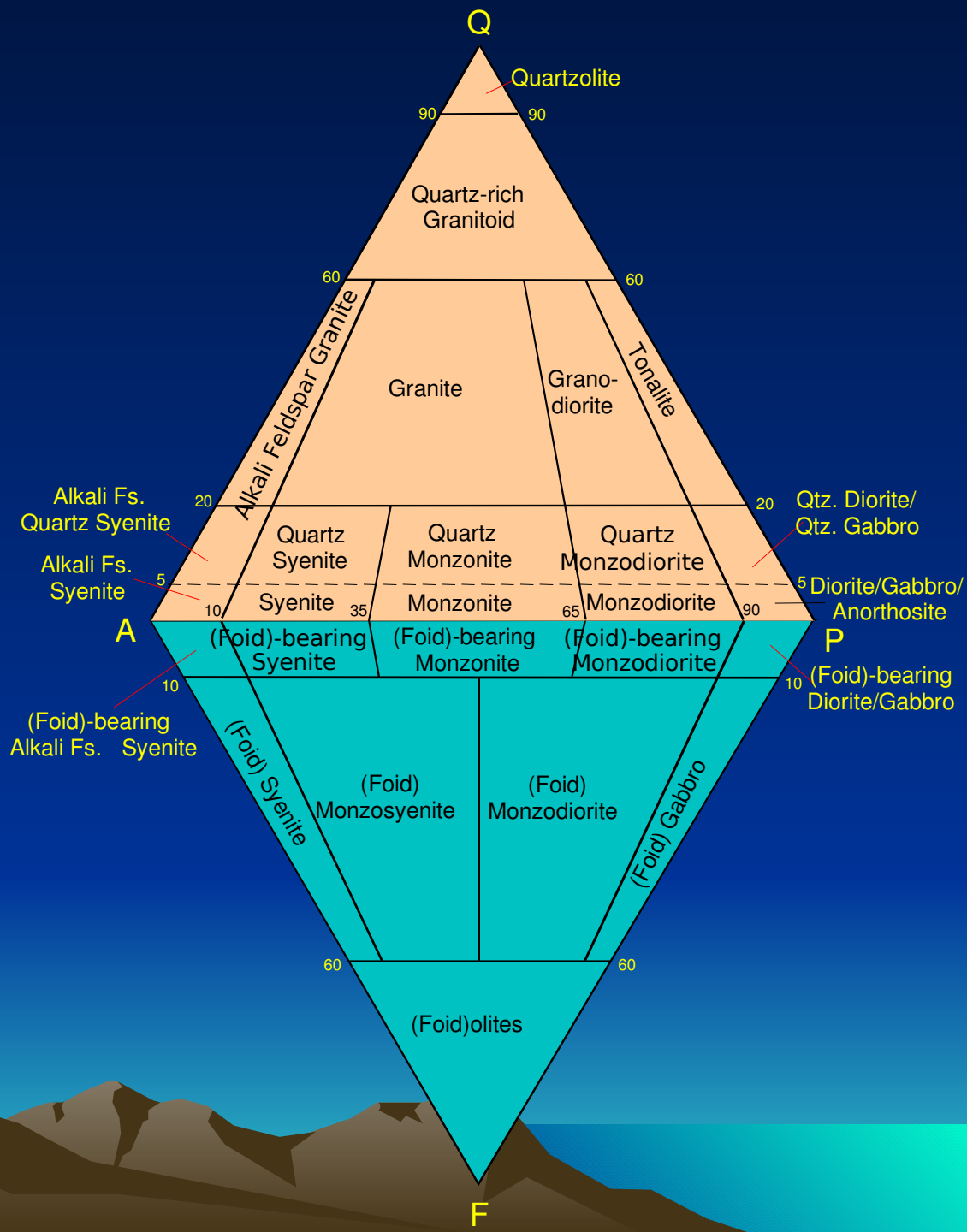
Definición y utilización.



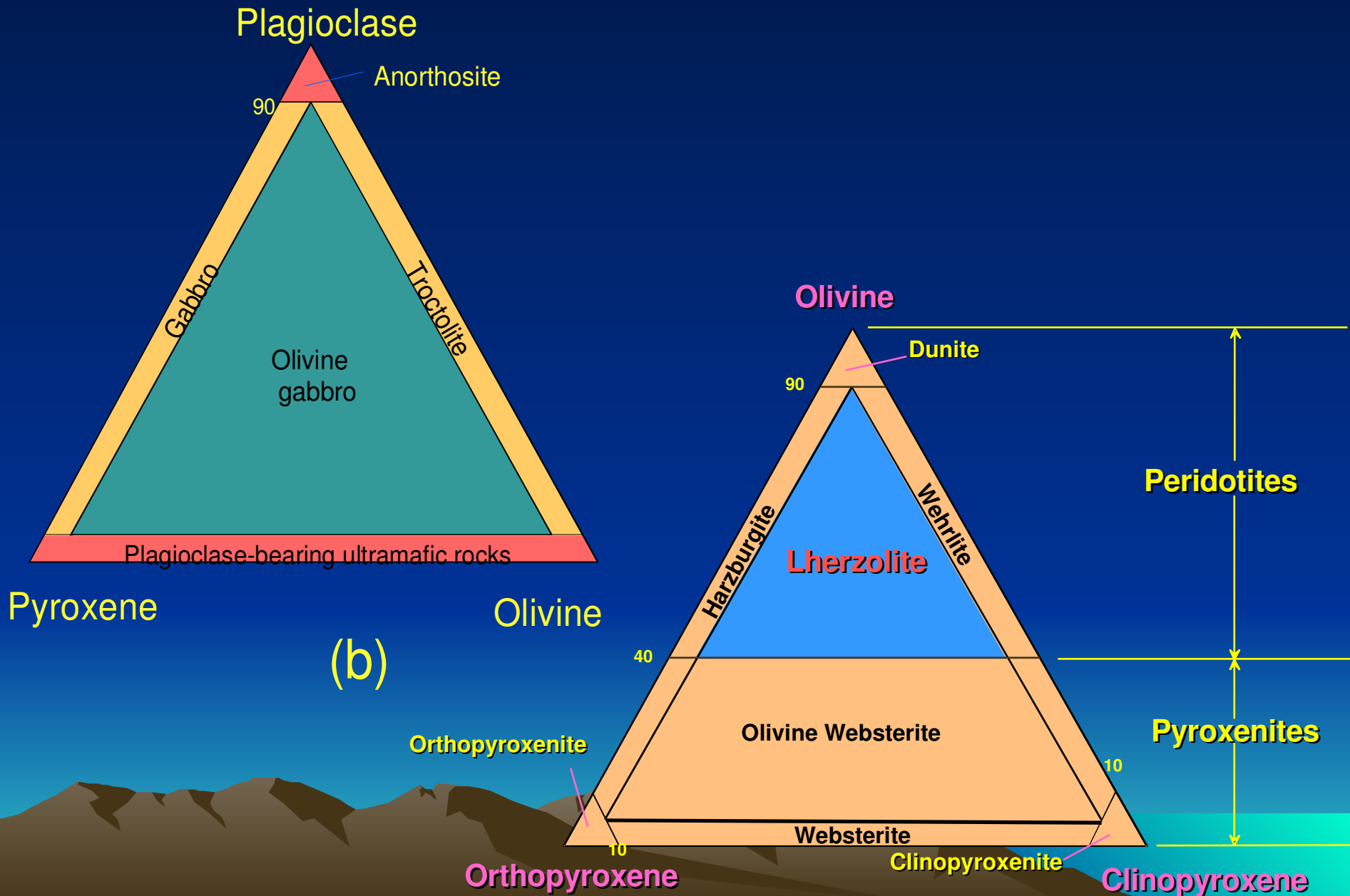
copyright Nick Kim
<http://strangematter.sci.waikato.ac.nz/>

"Perhaps one of you gentlemen would mind telling me just what it is outside the window that you find so attractive...?"

Clasificación de Rocas Igneas



Classificación de Rocas Igneas



Elementos Mayores [wt %]

SiO₂	55.70	49.10	47.02	49.32	47.30
TiO₂	0.74	1.89	1.51	1.50	2.30
Al₂O₃	16.20	12.95	15.94	17.50	16.15
Fe₂O₃	2.33	3.69	3.96	2.59	7.06
FeO	3.20	4.08	5.75	6.03	4.18
MnO	0.09	0.07	0.15	0.15	0.15
MgO	4.51	12.59	10.58	5.24	6.35
CaO	6.12	10.75	9.36	8.39	9.11
Na₂O	3.80	2.40	3.66	4.12	3.97
K₂O	1.07	0.49	1.13	2.23	1.68
P₂O₅	0.17	0.03	0.42	0.52	0.62
L.O.I.	5.98	1.76	0.41	2.19	0.89
<i>Im.a.l</i>	<i>0.45</i>	<i>0.62</i>	<i>0.52</i>	<i>0.38</i>	<i>0.36</i>
TOTAL	99.91	99.80	99.89	99.78	99.76



MANEJO DE DATOS GEOQUIMICOS

**TECNICAS, CONVERSIONES
Y PAPITAS!**



1. Recálculo sobre base anhidra de los datos

<i>Elementos Mayores [wt %]</i>					
SiO₂	55.70	49.10	47.02	49.32	47.30
TiO₂	0.74	1.89	1.51	1.50	2.30
Al₂O₃	16.20	12.95	15.94	17.50	16.15
Fe₂O₃	2.33	3.69	3.96	2.59	7.06
FeO	3.20	4.08	5.75	6.03	4.18
MnO	0.09	0.07	0.15	0.15	0.15
MgO	4.51	12.59	10.58	5.24	6.35
CaO	6.12	10.75	9.36	8.39	9.11
Na₂O	3.80	2.40	3.66	4.12	3.97
K₂O	1.07	0.49	1.13	2.23	1.68
P₂O₅	0.17	0.03	0.42	0.52	0.62
L.O.I.	5.98	1.76	0.41	2.19	0.89
<i>Im.a.l</i>	<i>0.45</i>	<i>0.62</i>	<i>0.52</i>	<i>0.38</i>	<i>0.36</i>
TOTAL	99.91	99.80	99.89	99.78	99.76

$$\frac{\sum [\text{óxidos}] - [\text{volátiles}]}{[\text{óxido}_i]} = \frac{100\%}{X_i \%}$$

$$\text{SiO}_2 * 100 / \text{Total} - (\text{LOI} - \text{CO}_2 - \text{S}_2) = 72.12 \text{ wt\%}$$

2. Cómo pasar de porcentaje en peso (wt%) a partes por millón (ppm)

$$10^6 \text{ ppm} = 100 \text{ wt\%} \Rightarrow 10.000 \text{ ppm} = 1 \text{ wt\%}$$

$$PM_x = \sum PA X_i$$

$$X [\text{ppm}] = (PA_x / PM_x) * X[\text{wt\%}] * 10.000$$

$$\text{Ejm: } K_2O = 2.23 \text{ wt\%}$$

$$K[\text{ppm}] = 2 * (39.0983 / 39 * 2 + 16) * 2.23 * 10.000 = 2.23 * 8301.42 \\ = 18512.1666$$



3. Cálculo proporciones moleculares y catiónicas

	wt %	Peso Molecular	Proporciones Moleculares	# Cationes	Proporciones catiónicas
SiO ₂	59.30	60.09	0.9868	1	0.9868
TiO ₂	0.79	79.90	0.0099	1	0.0099
Al ₂ O ₃	17.25	101.96	0.1692	2	0.3383
Fe ₂ O ₃	2.48	159.69	0.0155	2	0.0311
FeO	3.41	71.85	0.0474	1	0.0474
MnO	0.10	70.94	0.0014	1	0.0014
MgO	4.80	40.30	0.1191	1	0.1191
CaO	6.52	56.08	0.1162	1	0.1162
Na ₂ O	4.05	61.98	0.0653	2	0.1305
K ₂ O	1.14	94.20	0.0121	2	0.0242
P ₂ O ₅	0.18	141.95	0.0013	2	0.0025
TOTAL	100.00				

$$\text{Prop. Molec.} = X \text{ wt\%} / \text{PM}_x$$

$$\text{Prop. Cationicas} = \text{Prop. Molec.} * \# \text{ cationes}$$

4. Cálculo del porcentaje en peso (wt%) de un mineral

Table 9-2. Conversion from mode to weight percent

Mineral	Mode	Density	Wt prop	Wt%
ol	15	3.6	54	0.18
cpx	33	3.4	112.2	0.37
plag	51	2.7	137.7	0.45
Sum			303.9	1.00

$$\text{Moda}_A [\text{Vol}] * \text{Densidad}_A [\text{m/V}] = \text{Proporción en peso}_A [\text{m}]$$

$$\Sigma \text{Prop. peso}_{A,B,C,\dots} = 100\%$$

$$\Rightarrow \text{wt}\%_A = \text{Prop. peso}_A [\text{m}] / \Sigma \text{Prop. peso} [\text{m}]$$

5. Conversión óxido ferroso $\rightleftharpoons$ férrico

- Los contenidos de Fe en las rocas puede ser expresado como óxido férrico (Fe_2O_3) y/o óxido ferroso (FeO) o como Fe_{Tot} total.
- Depende de las técnicas analíticas utilizadas (titulación Redox)

$$\bullet \text{Fe}_{\text{Tot}} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$\bullet \text{Fe}_{2\text{O}_3\text{Tot}} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 1.11 * \text{FeO}$$

$$\bullet \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) = 0.85$$

$$\bullet \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} \approx 0.18-0.2$$

Clasificación química de rocas ígneas

Análisis de rocas

Elementos mayores: > 1%

SiO₂
Al₂O₃
Fe₂O₃
FeO
MgO
CaO
Na₂O
K₂O
H₂O

Elementos menores: 0.1 - 1%
(Usualmente se incluyen con los elementos mayores)

TiO₂
MnO
P₂O₅
CO₂

Elementos traza: <0.1%
Se expresan en ppm
(1% = 10,000 ppm)

Rb, Nb, Li, Be, La, Ce,
Th, U, etc.

Relaciones isotópicas

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr
¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd
²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb
²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb
δ¹⁸O , etc.

Análisis típico de roca total

Wt. % Oxides to Atom % Conversion				
Oxide	Wt. %	Mol Wt.	Atom prop	Atom %
SiO ₂	49.20	60.09	0.82	12.25
TiO ₂	1.84	95.90	0.02	0.29
Al ₂ O ₃	15.74	101.96	0.31	4.62
Fe ₂ O ₃	3.79	159.70	0.05	0.71
FeO	7.13	71.85	0.10	1.48
MnO	0.20	70.94	0.00	0.04
MgO	6.73	40.31	0.17	2.50
CaO	9.47	56.08	0.17	2.53
Na ₂ O	2.91	61.98	0.09	1.40
K ₂ O	1.10	94.20	0.02	0.35
H ₂ O ⁺	0.95	18.02	0.11	1.58
(O)			4.83	72.26
Total	99.06		6.69	100.00

Multiplicar por # de cationes en oxido ↑

La Norma

- Norma es la manera de unir los elementos mayores con las proporciones minerales
- Composición normativa ($\neq$ modal)
 - Proporciones minerales calculadas a partir de la geoquímica.
- Norma es la manera de comparar rocas con diferentes mineralogía.



Norma C.I.P.W.

- El cálculo de la norma es una manera de determinar la mineralogía de una roca ígnea a partir de su análisis químico. Esto permite clasificar la roca en base a su pseudo-mineralogía.
- **La norma** de una roca puede ser substancialmente diferente a la mineralogía observada (**la moda**).
- Para su calculo se asume que el magma es *anhidro*, no se consideran las soluciones sólidas de elementos como el Ti y el Al en los minerales ferromagnesianos y la relación Fe/Mg de todos los minerales ferromagnesianos se asume igual.
- La mineralogía normativa se basa puramente en la química, por lo que rocas de distinta textura o naturaleza con la misma química de roca total tendrán la misma composición normativa.

Minerales Normativos

- Q: cuarzo
- Feldespatos:
 - Or: ortoclasa
 - Ab: albita
 - An: anortita
- Feldespatoides
 - Lc: leucita
 - Ne: nefelina
- Piroxenos
 - Ac: acmita (piroxeno NaFe)
 - Di: diopsido
 - Hy: hiperstena
 - Wo: wollastonita
- Ol: olivino
- C: corindón

+ minerales menores: apatito Ap, titanita (esfeno) Tn



Clasificación basada en minerales normativos

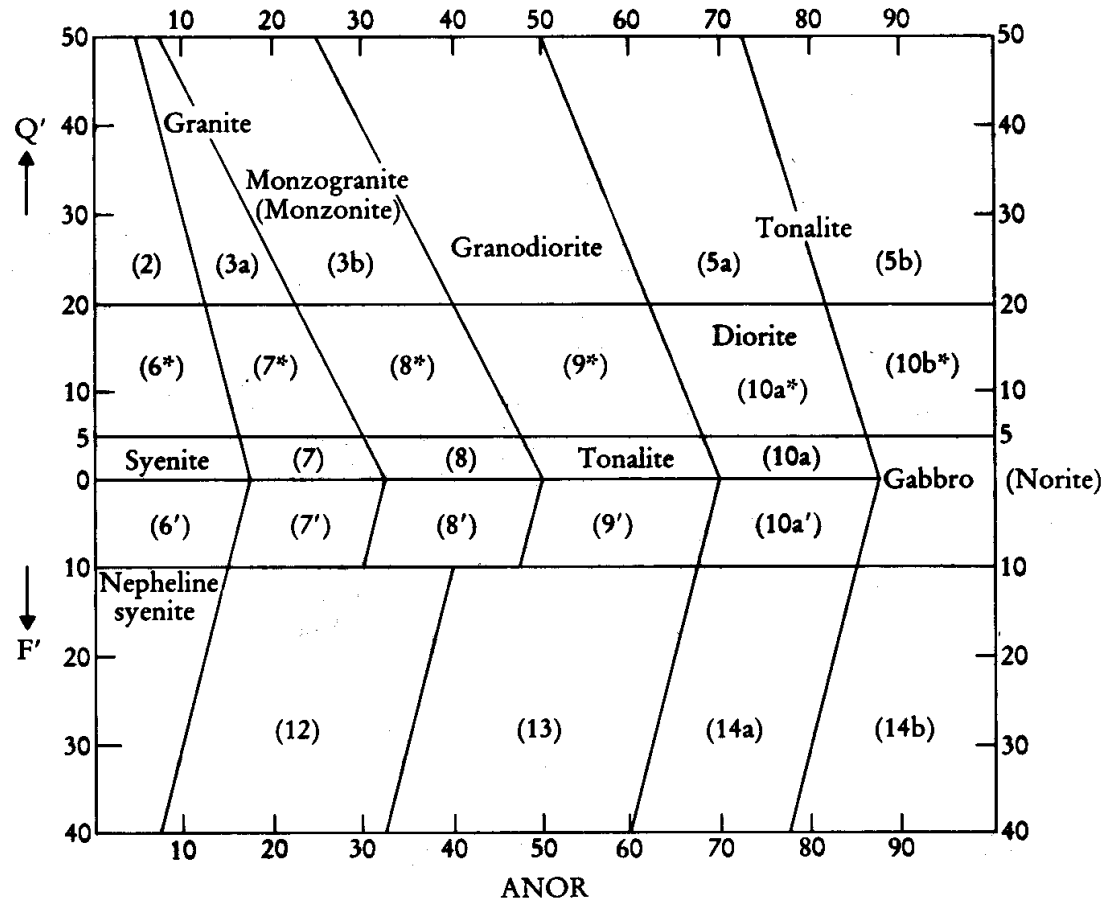


Figure 3.9 The classification of plutonic rocks using their molecular normative compositions (after Streckeisen and Le Maitre, 1979). The numbered fields correspond to those in the modal QAPF diagram of Streckeisen (1976). The named rock types are plotted at the position of their highest concentration in the data file used by Streckeisen and Le Maitre. $Q' = Q/(Q + Or + Ab + An)$; $F' = (Ne + Lc + Kp)/(Ne + Lc + Kp + Or + Ab + An)$; $ANOR = 100 \times An/(Or + An)$.

Clasificación basada en proporciones catiónicas

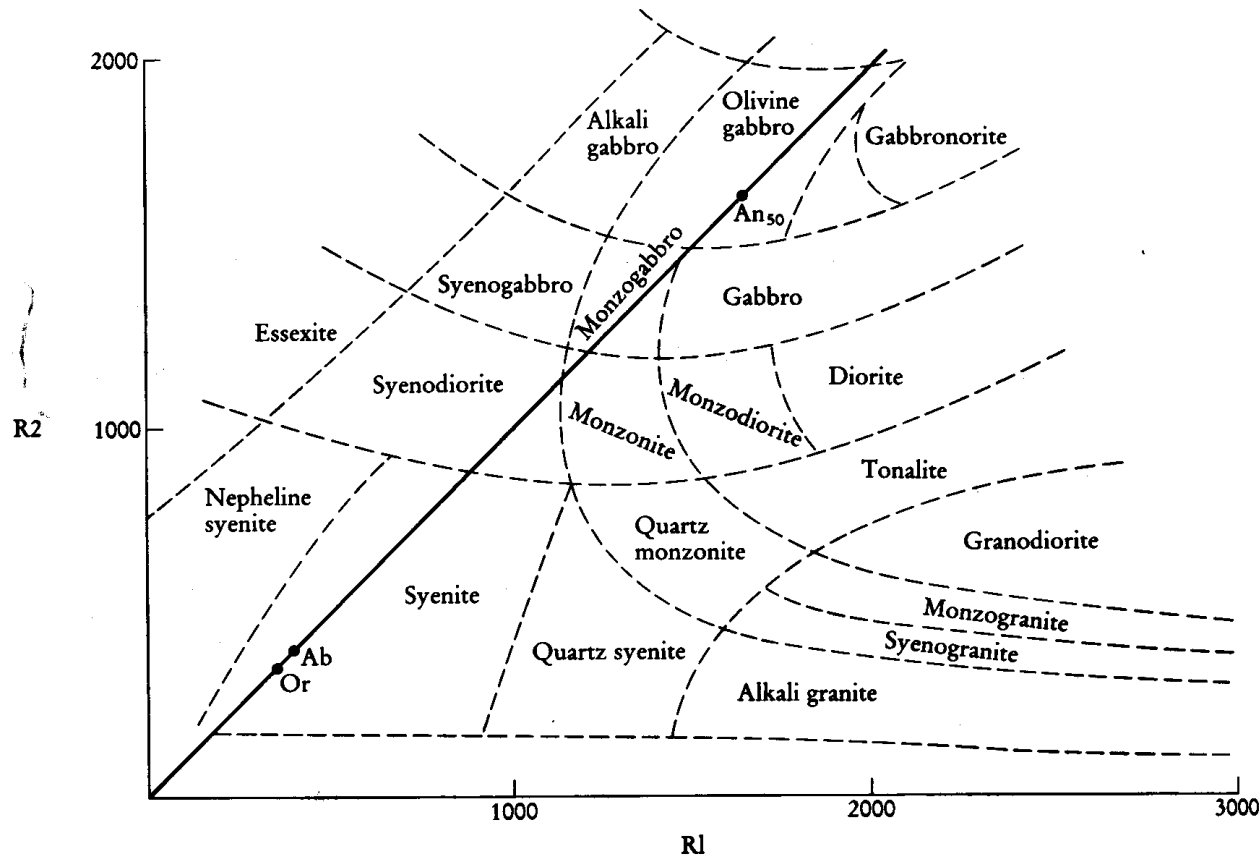


Figure 3.10 The classification of plutonic rocks using the parameters R1 and R2 (after de la Roche *et al.*, 1980), calculated from millication proportions. $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$.

Clasificación basada en proporciones catiónicas

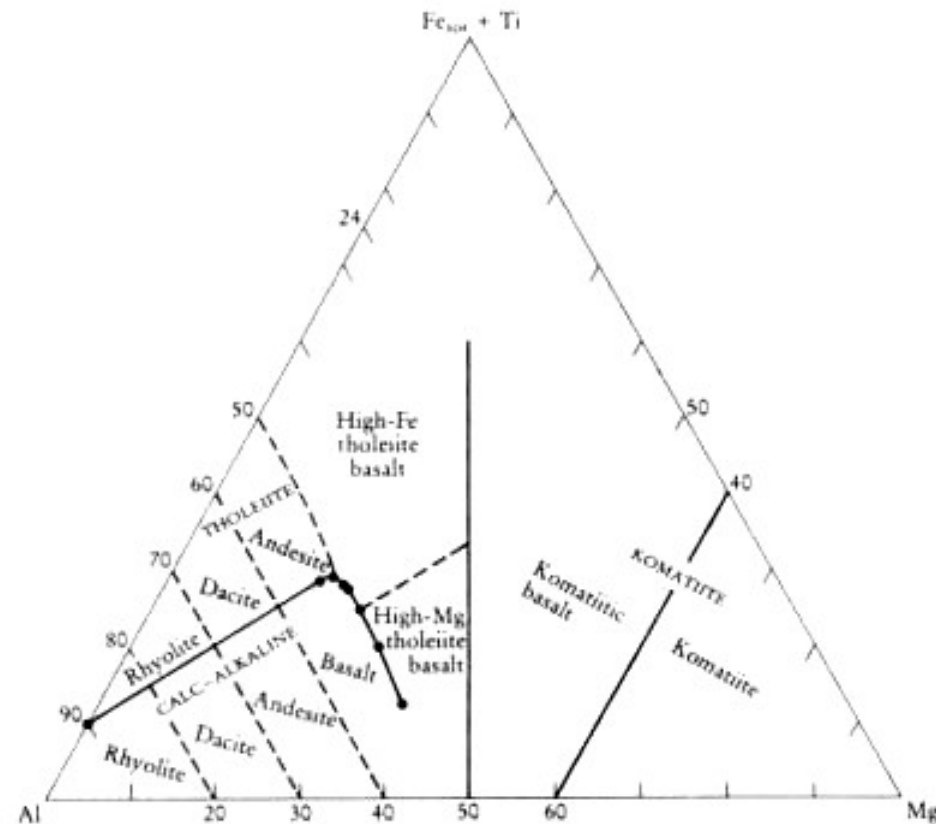


Figure 3.11 The classification of volcanic rocks according to their cation percentages of Al, $(Fe_{total} + Ti)$ and Mg showing the tholeiite, calc-alkaline and komatiite fields. In addition to the coordinates shown on the diagram, the boundary between the tholeiitic and calc-alkaline fields is defined by the coordinates (Al, Fe + Ti, Mg): 90,10,0; 53.5,28.5,18; 52.5,29,18.5; 51.5,29,19.5; 50.5,27.5,22; 50.3,25,24.7; 50.8,20,29.2; 51.5,12.5,36 (Rickwood, 1989; corrected).

Elementos Mayores

Los elementos mayores controlan las fases minerales presentes a ciertas condiciones de cristalización del magma.

Para facilitar la interpretación de los datos geoquímicos se emplean:

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



Elementos Mayores *Diagramas de variación binarios (X-Y)*

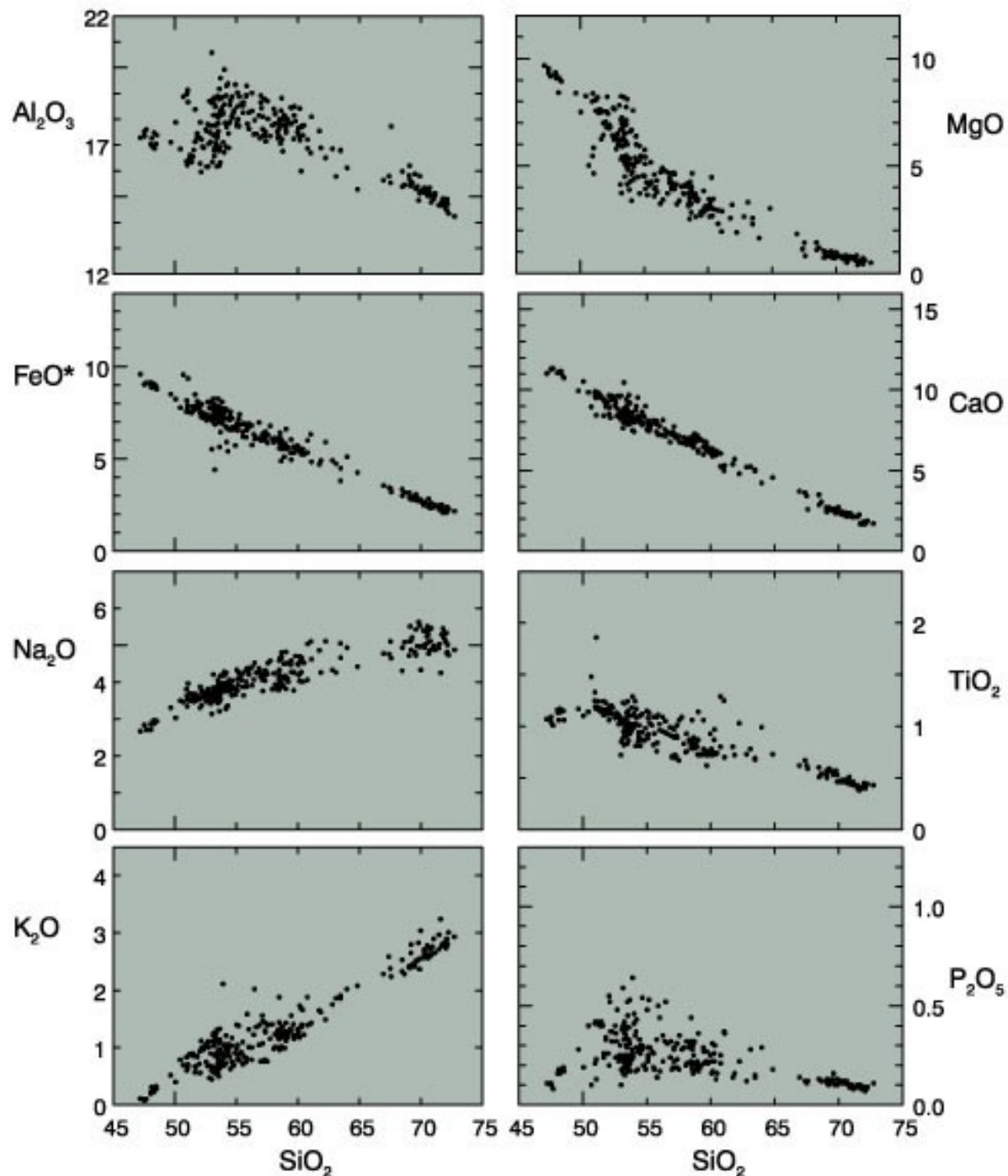
En conjuntos de rocas ígneas cogenéticas (comagmáticas), los pares de óxidos están fuertemente correlacionados.

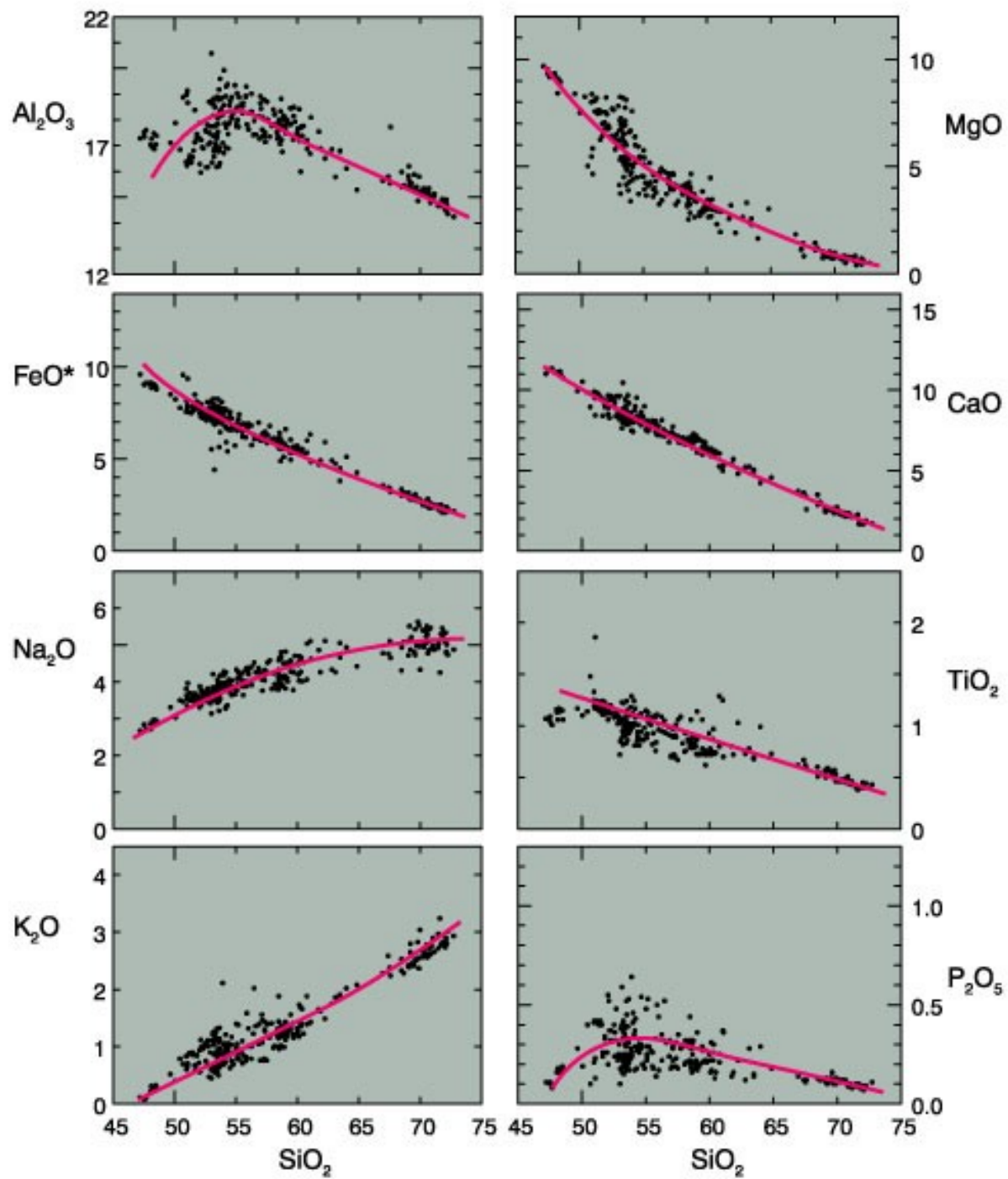
Las correlaciones o tendencias se pueden generar, de forma individual o en combinación, a consecuencia de:

- fusión parcial,
- cristalización fraccionada,
- mezcla de magmas, o
- contaminación.

Generalmente se considera que las tendencias representan el curso de la evolución química de los magmas, sin embargo es más probable que representen el promedio de las tendencias de evolución de muchos lotes de magma, los cuales muy probablemente no eran idénticos en composición dando lugar a procesos de diferenciación ligeramente diferentes para cada lote.

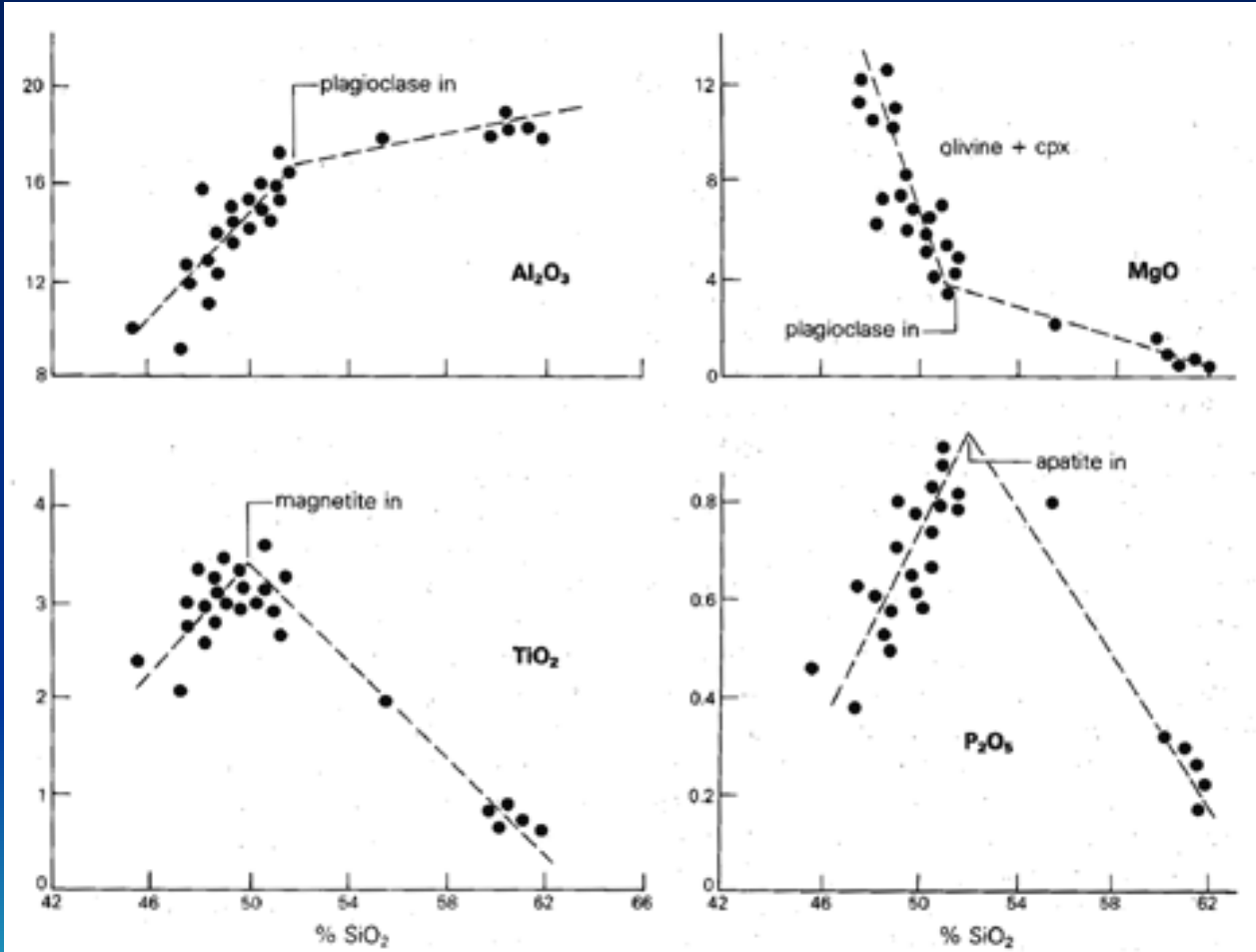
Debido a esto y al error analítico se observa cierta dispersión de los datos.





Elementos Mayores

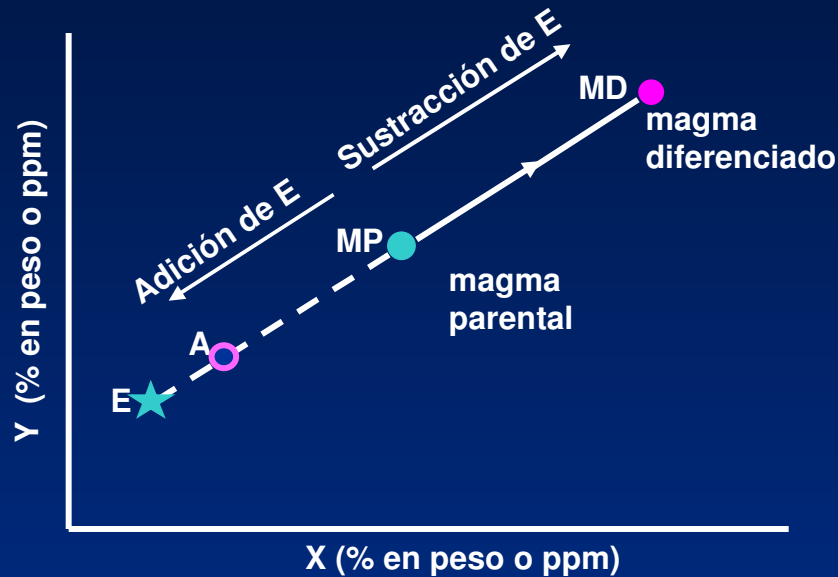
Diagramas de variación binarios (X-Y)



Tal vez, la propiedad más importante de los diagramas de Harker es la aplicación de la regla de la palanca para el balance de masa.

Si se tiene un conjunto de rocas relacionado por cristalización fraccionada, el cual presenta tendencias coherentes en diagramas de variación, se puede establecer el tipo de minerales que fraccionan.

En general, las inflexiones en las tendencias indican el inicio de cristalización de un nuevo mineral o grupo de minerales. Las inflexiones se observarán sólo para los elementos contenidos en el mineral.



Si una cantidad de E es añadida o sustraída de MP los híbridos resultantes graficarán a lo largo de una línea recta definida por las composiciones de E y MP.

Las proporciones de los miembros finales están dadas por la **regla de la palanca**.

Elementos Mayores

Regla de la Palanca

Si se añade E a MP para dar A:

$$\% \text{ E añadido} = \frac{\text{distancia A-MP}}{\text{distancia E - MP}} \times 100$$

E puede ser:

- un contaminante,
- un magma que se mezcla con MP
- cristales acumulados en el magma, para dar el cumulado A.

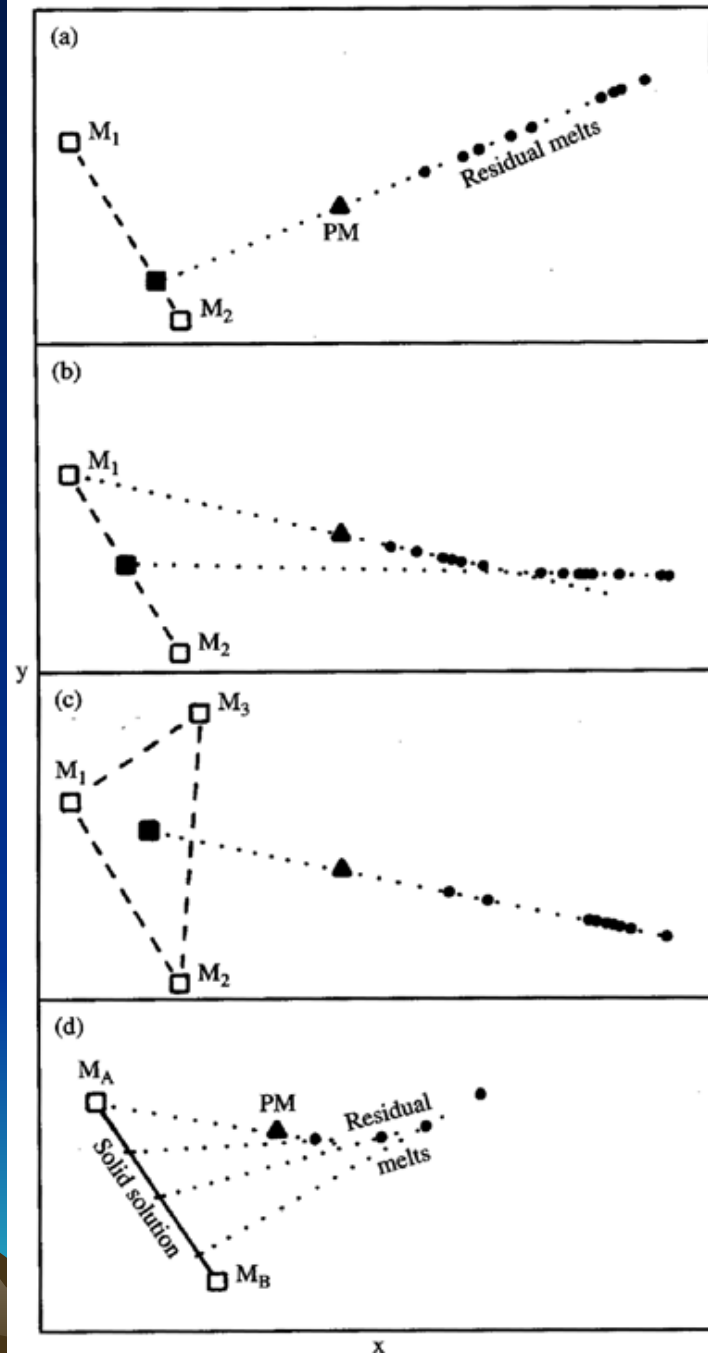
Si se extrae E de MP para dar MD:

$$\% \text{ E removido} = \frac{\text{distancia MP-MD}}{\text{distancia E - MD}} \times 100$$

Elementos Mayores

Regla de la Palanca

- a) Extracción de dos fases en proporción definida (80:20).
- c) Primero extracción de M1 seguida por extracción de M1 y M2 (50:50).
- e) Extracción de tres fases en proporción definida.
- g) Soluciones sólidas entre M_A y M_B fraccionan sucesivamente produciendo una tendencia curva. Algo similar se observa si varían las proporciones de dos o tres fases fraccionando simultáneamente.



Elementos Mayores

Regla de la Palanca

Ecuaciones de balance de masa

$$M_0 = M_L F + M_a (1 - F)$$

$$F = \frac{M_0 - M_a}{M_L - M_a}$$

M_L = Concentración en el líquido residual
 M_0 = Concentración en el líquido inicial
 M_a = Concentración en cristales separados
 F = Fracción de líquido residual (0-1)

$$M_0 = M_L F + \Sigma M_m f_m$$

Si sólo cristaliza una fase: $F = 1 - f_m$

$$f_m = \frac{M_0 - M_L}{M_m - M_L}$$

M_m = Concentración en la fase m
 f_m = Proporción en que ha cristalizado la fase m



¿Cuánto olivino (44.77 % en peso MgO) debió fraccionar para obtener un líquido con 16.29 % en peso de MgO a partir de un líquido con 17.39 % en peso de MgO?

$$F = \frac{M_0 - M_a}{M_L - M_a}$$

M_L = Concentración en el líquido residual
 M_0 = Concentración en el líquido inicial
 M_a = Concentración en cristales separados
 F = Fracción de líquido residual (0-1)

M_L (2) = 16.29 % en peso MgO
 M_0 (1) = 17.39 % en peso MgO
 M_a (olivino) = 44.77 % en peso MgO



$$F = \frac{17.39 - 44.77}{16.29 - 44.77} = 0.9613$$

$$f_m = 1 - F = 1 - 0.9613 = 0.0387$$

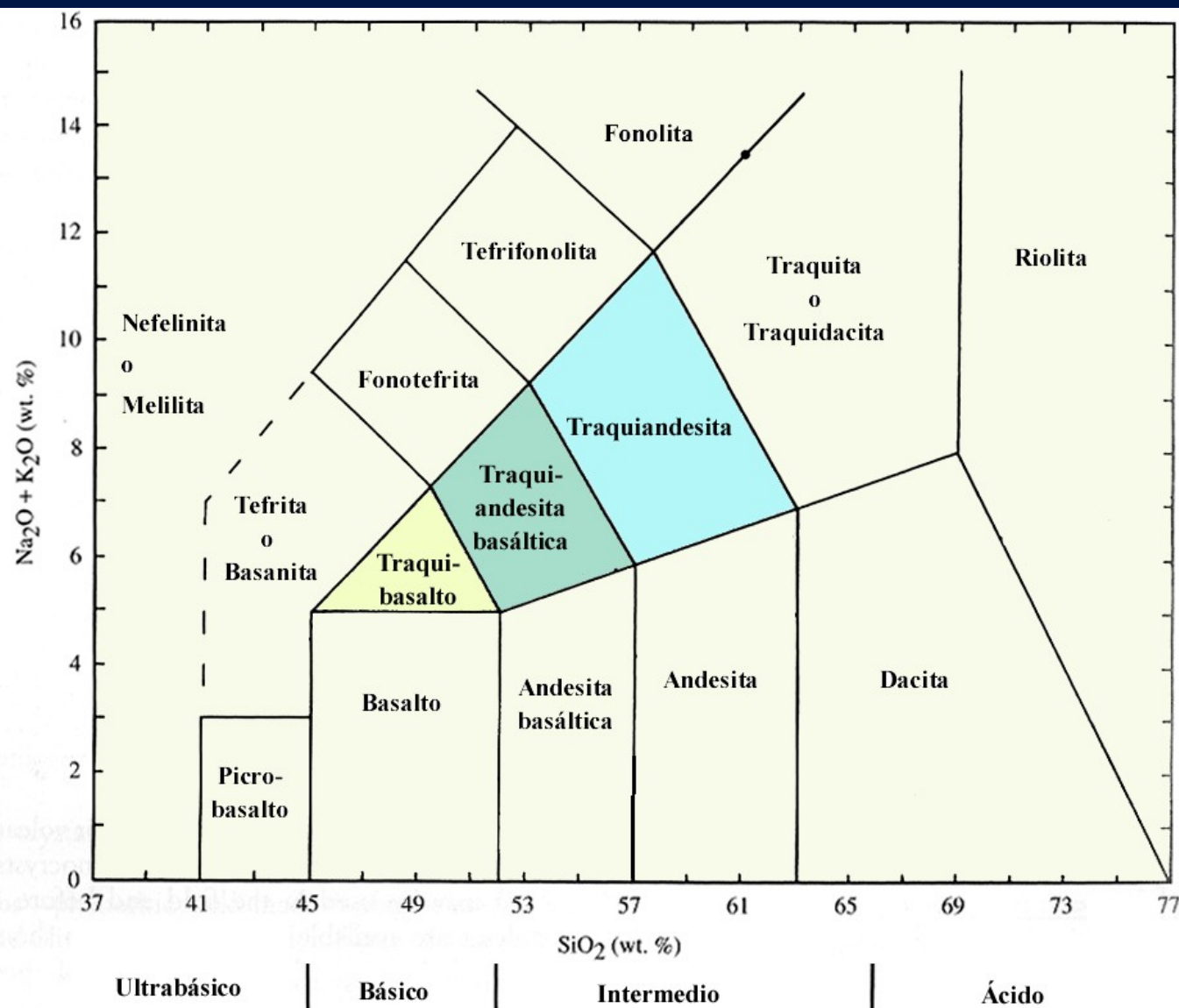
$$f_m = \frac{M_0 - M_L}{M_m - M_L}$$

M_m = Concentración en la fase m
 f_m = Proporción en que ha
cristalizado la fase m

$M_{m \text{ (olivino)}}$ = 44.77 % en peso MgO

$$f_m = \frac{17.39 - 16.29}{44.77 - 16.29} = 0.0386$$

Clasificación de rocas volcánicas basada en la composición química de roca total



Sudivisión de los campos coloreados	Traquibasalto	Traquiandesita basáltica	Traquiandesita
$\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \geq \text{K}_2\text{O}$	Hawaiita	Mugearita	Benmoreita
$\text{Na}_2\text{O} - 2.0 \leq \text{K}_2\text{O}$	Traquibasalto potásico	Shoshonita	Latita

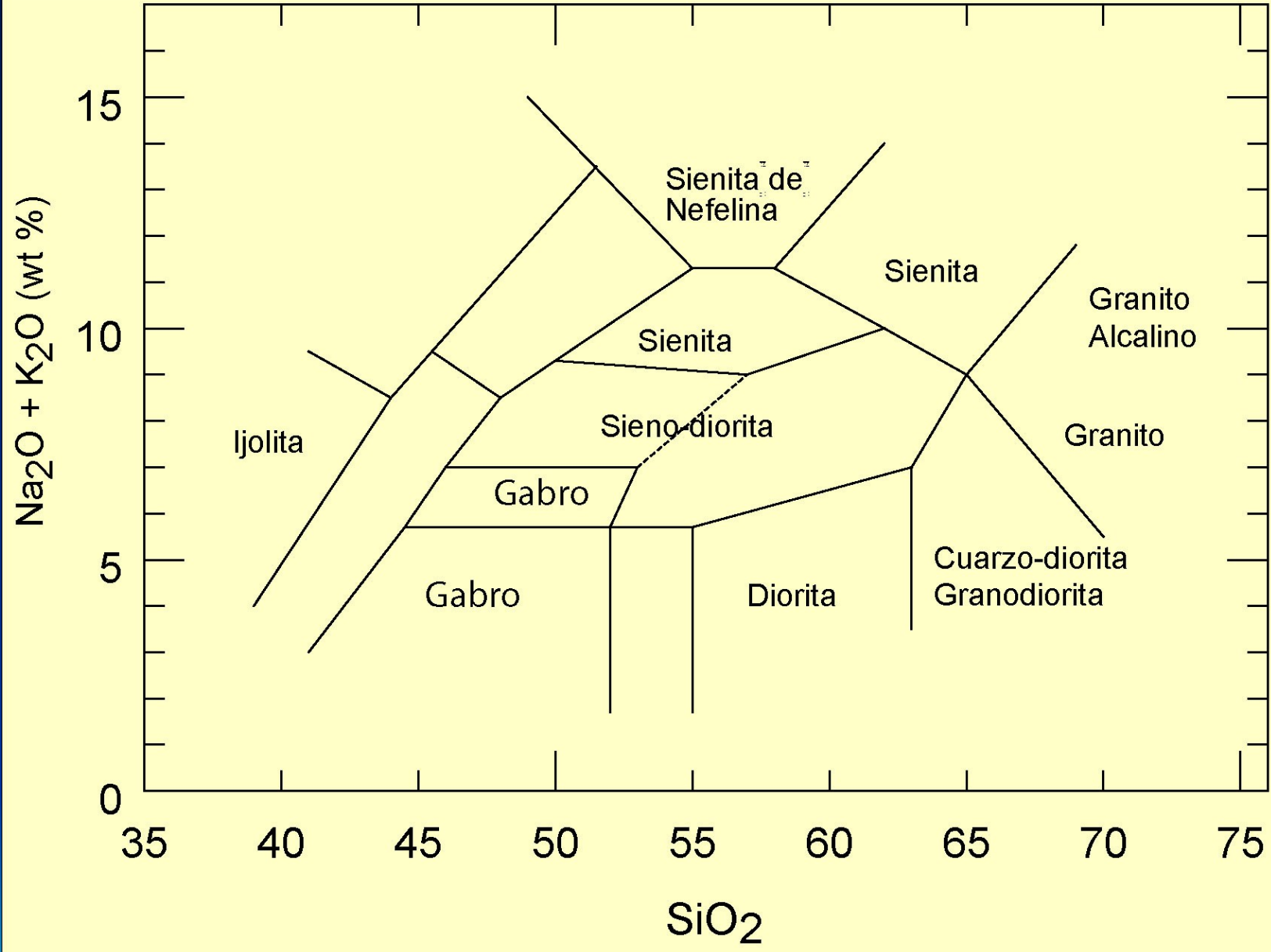
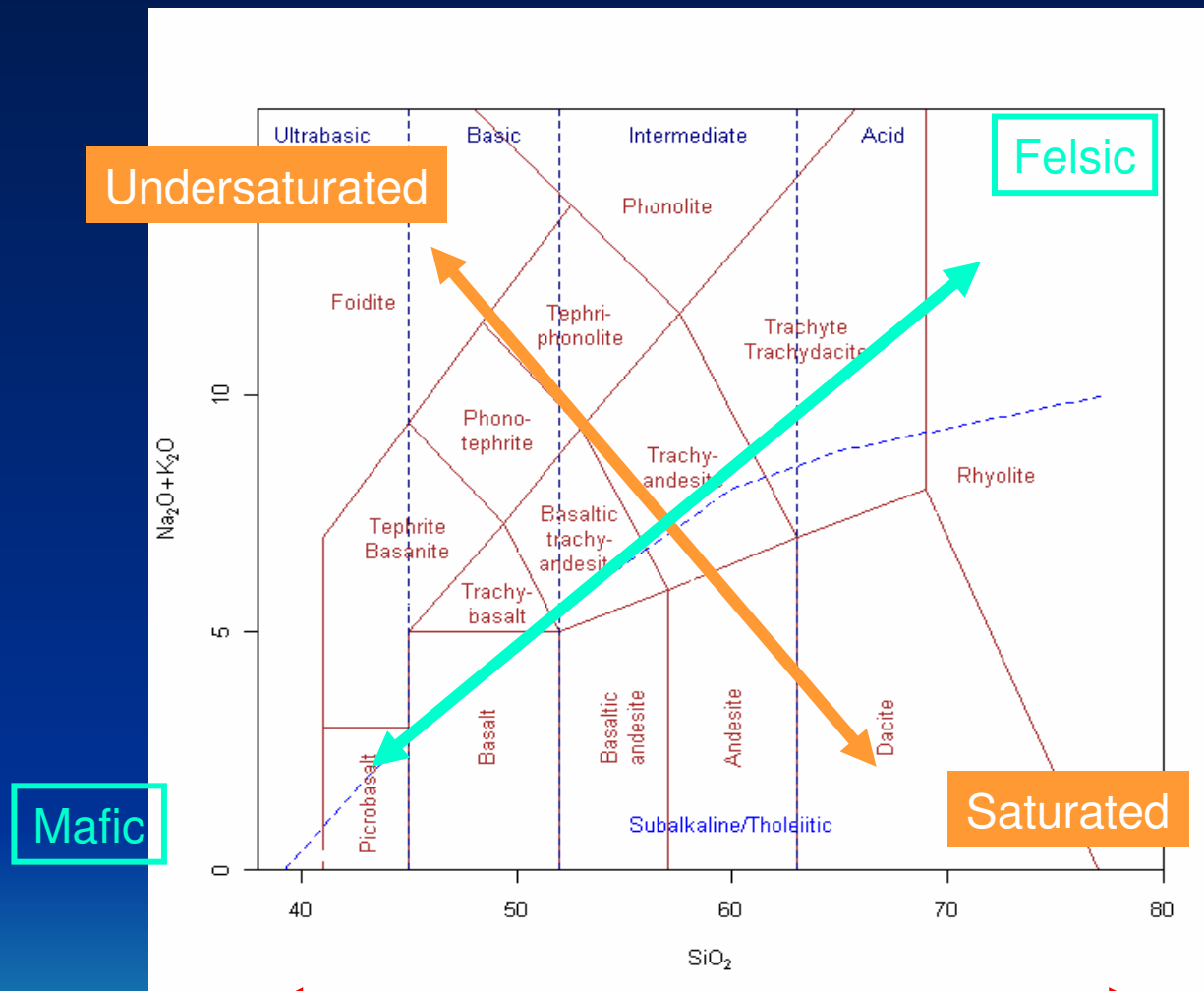


Diagrama TAS

- Se aplica a rocas volcánicas frescas ($H_2O < 2\%$ y $CO_2 < 0.5\%$)
- Los análisis deben ser recalculados al 100% en base seca (sin H_2O y CO_2 ,
- PPC).
- Se apoya en norma CIPW.
 - Basalto:
 - Basalto alcalino: *ne* normativa
 - Basalto subalcalino: *hy*, *q* norm
 - Tefrita: $< 10\%$ *ol* norm.
 - Basanita: $> 10\%$ *ol* norm.
 - Traquita: $q < 20\%$ en $q+ab+an+or$
 - Traquidacita: $q > 20\%$ en $q+ab+an+or$



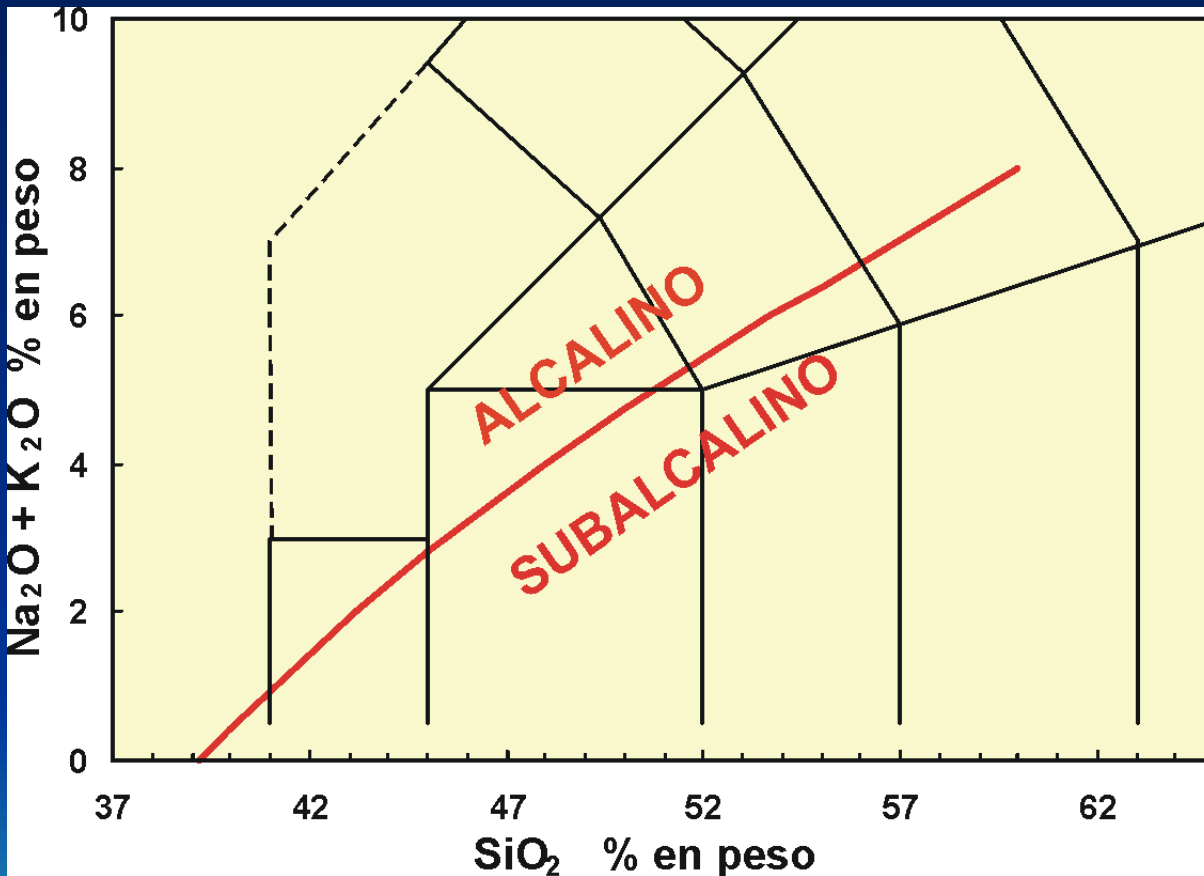


Basic

Acid

Clasificación basada en la 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

Clasificación basada en la composición química de roca total

Series de rocas magmáticas

Series shoshoníticas Subdivisión de rocas subalcalinas

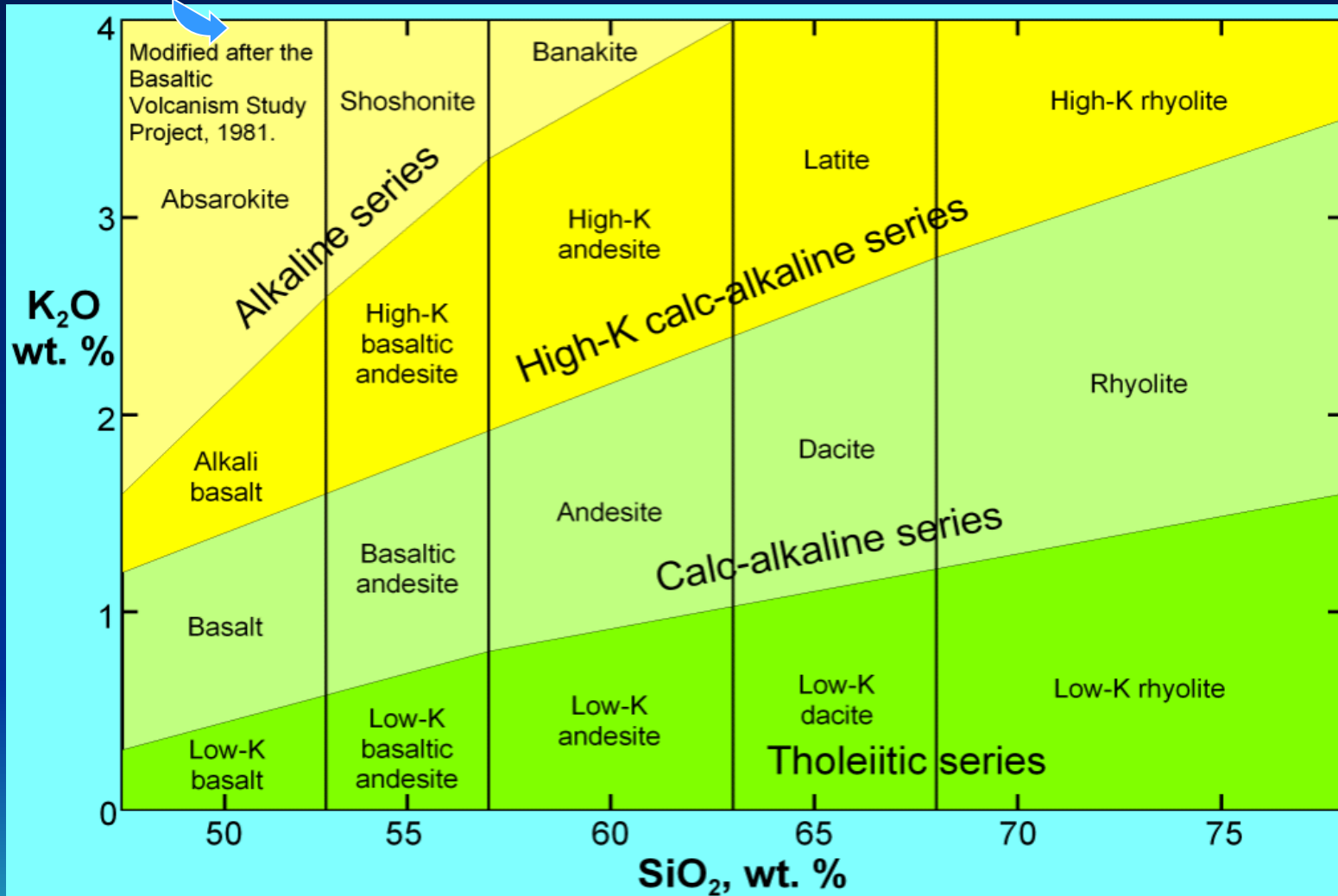
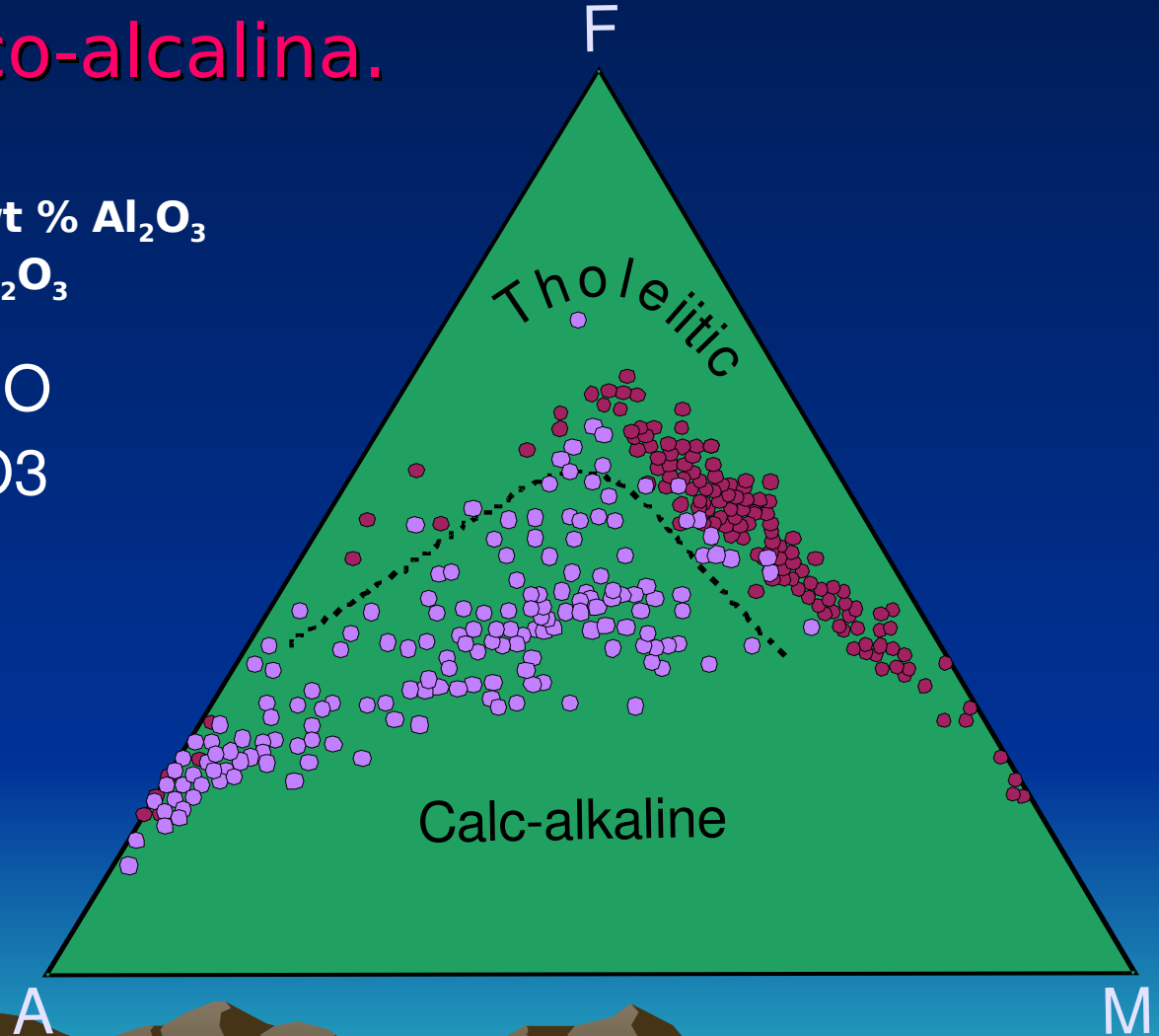
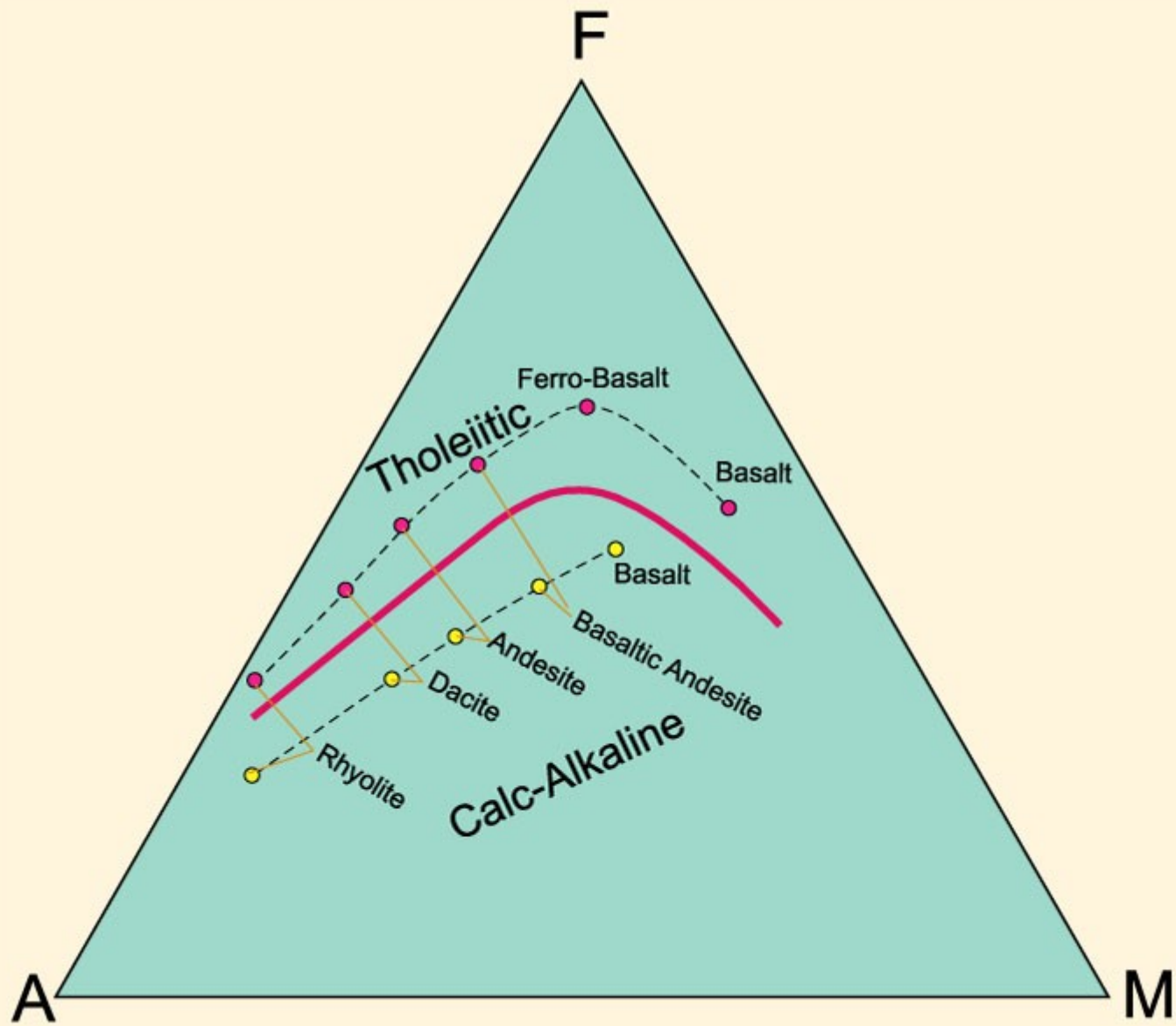


Diagrama AFM: subdivisión de la serie magmática subalcalina en las series tholeítica y calco-alcalina.

B - a calcoalcalinaos **16-20** wt % Al_2O_3
b - a toleíticos **12-16** wt % Al_2O_3

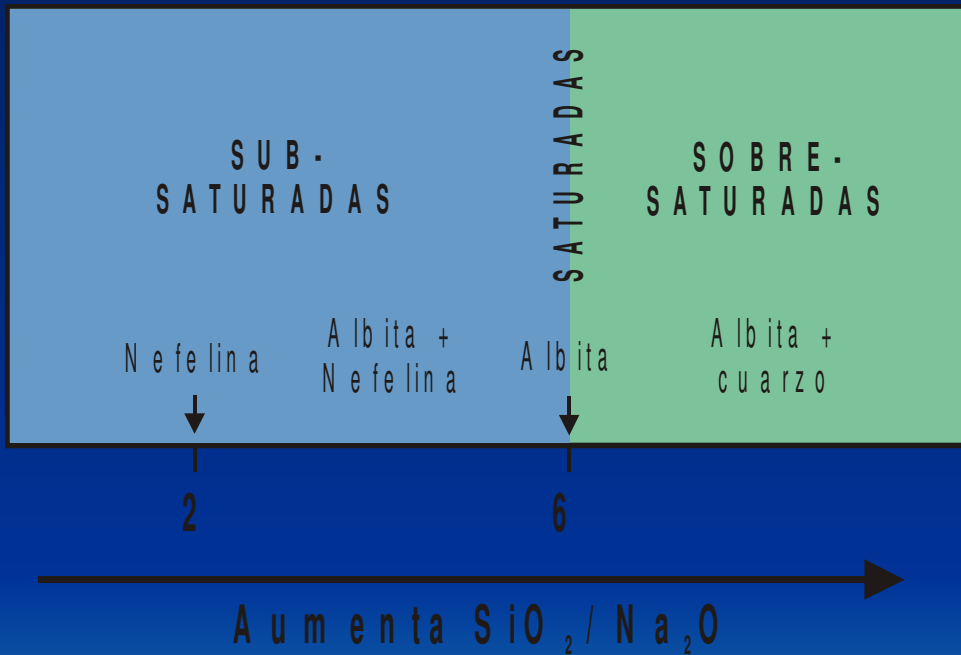
- alkalis $\rightarrow \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$
- $\text{FeO}^* \rightarrow \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$
- MgO





Clasificación basada en la composición química de roca total

Saturación en sílice



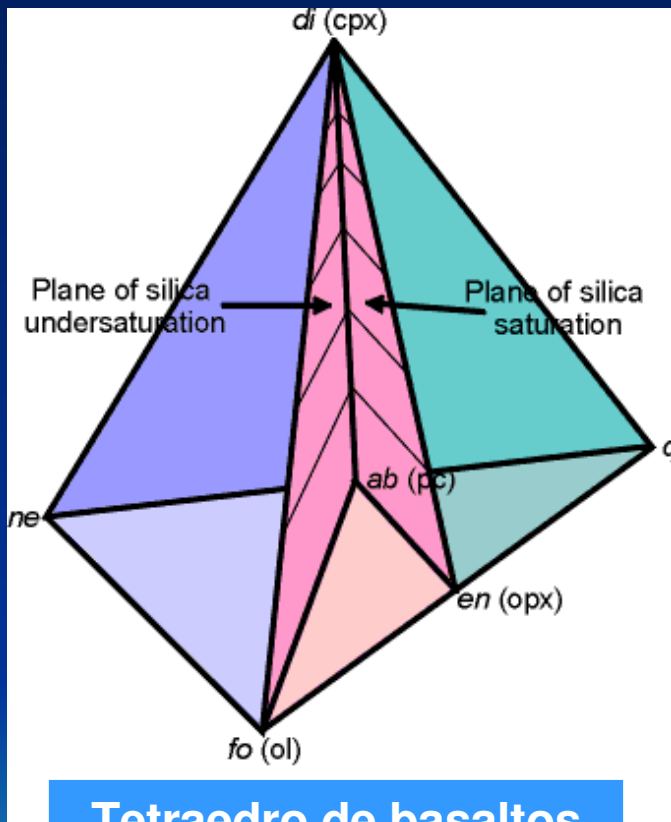
En la norma CIPW:

Sobresaturadas: *q*

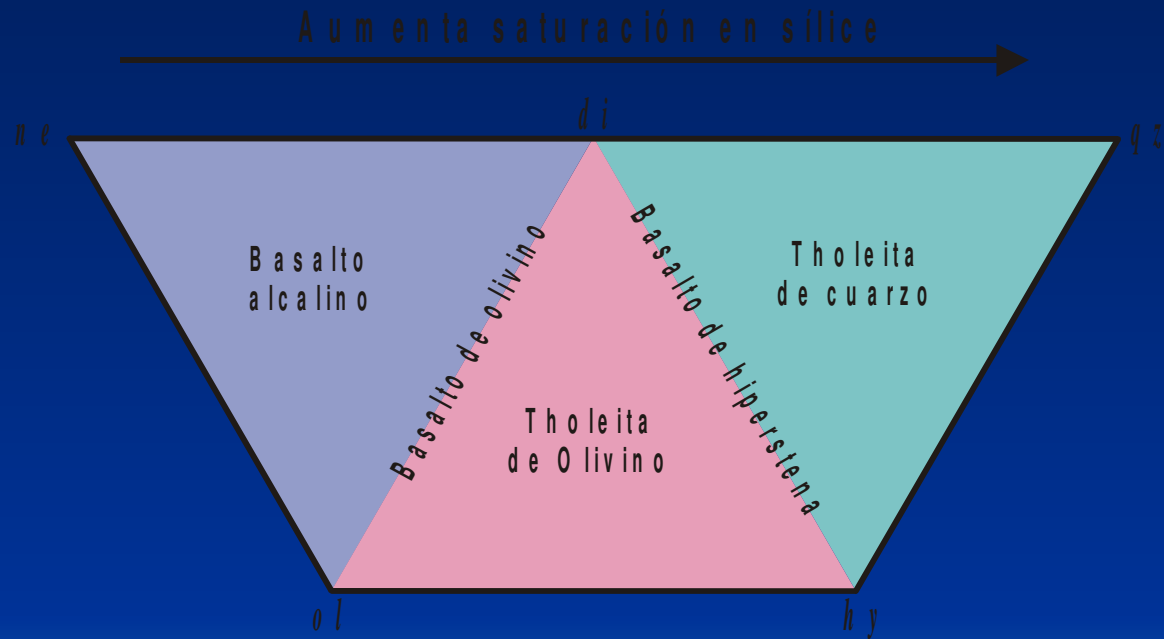
Saturadas: *hy*, *hy + ol*

Subsaturadas: *ol + ne*

Clasificación de basaltos basada en la composición normativa



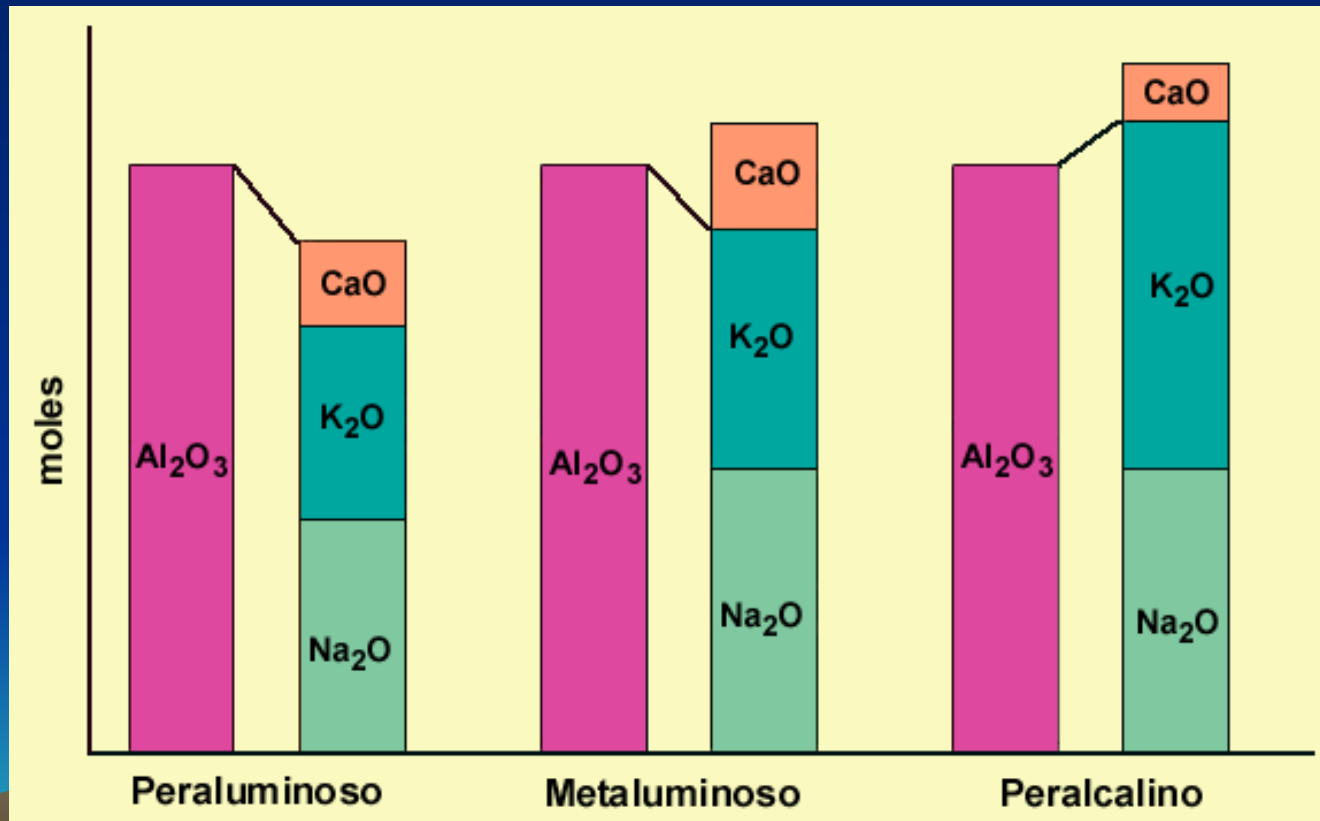
Tetraedro de basaltos



Clasificación basada en la composición química de roca total

Saturación en alúmina

Especialmente importante en la clasificación de rocas félsicas



Clasificación basada en la composición química de roca total

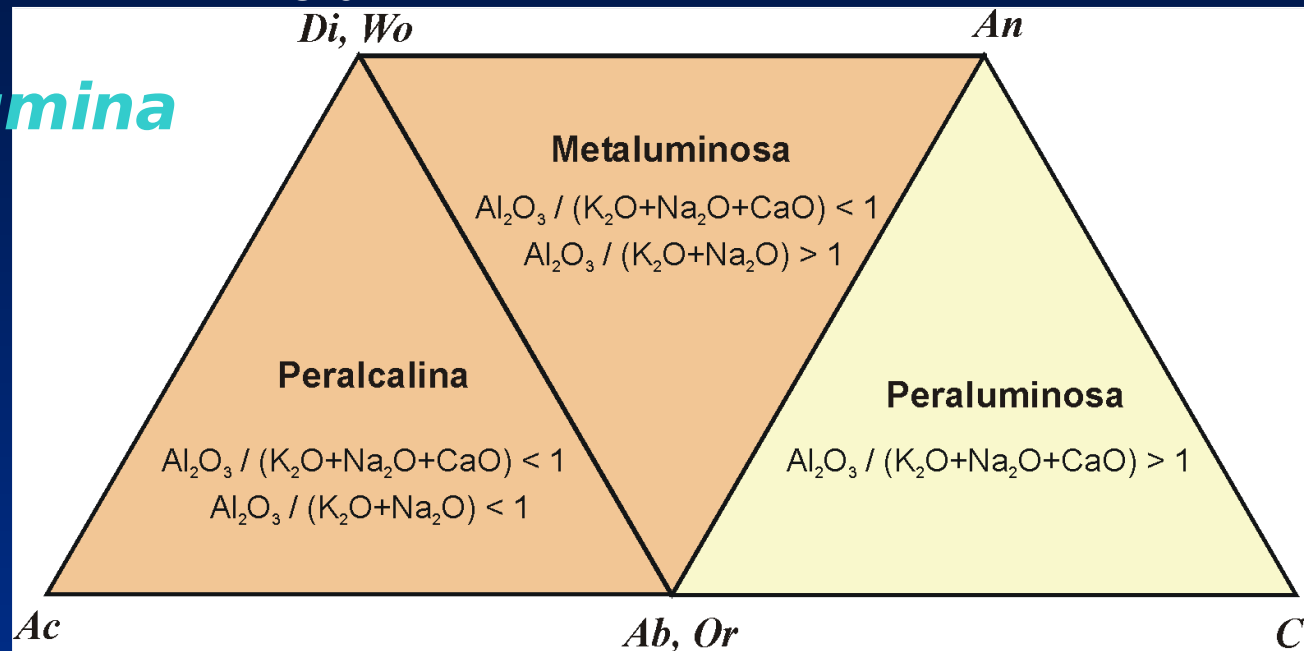
Saturación en alúmina

Índice de saturación en alúmina:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$$

Las relaciones son molares!!

Dividir % en peso del óxido entre el peso molecular del óxido.



Aumenta grado de saturación en Al →

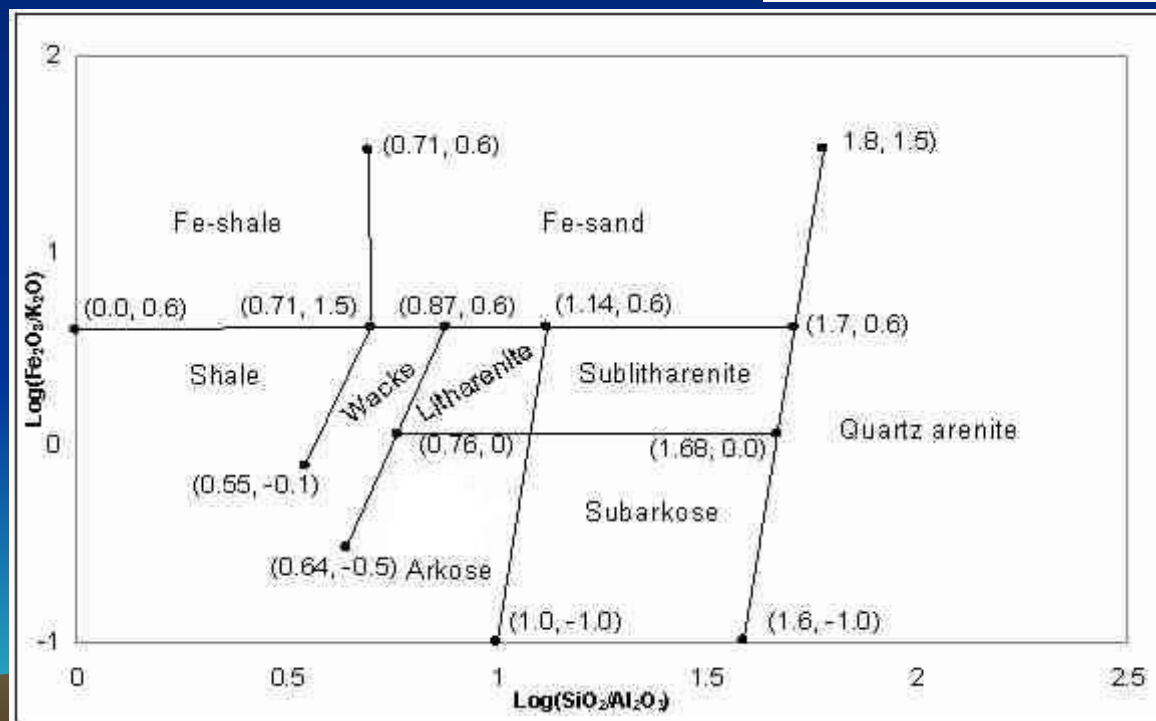
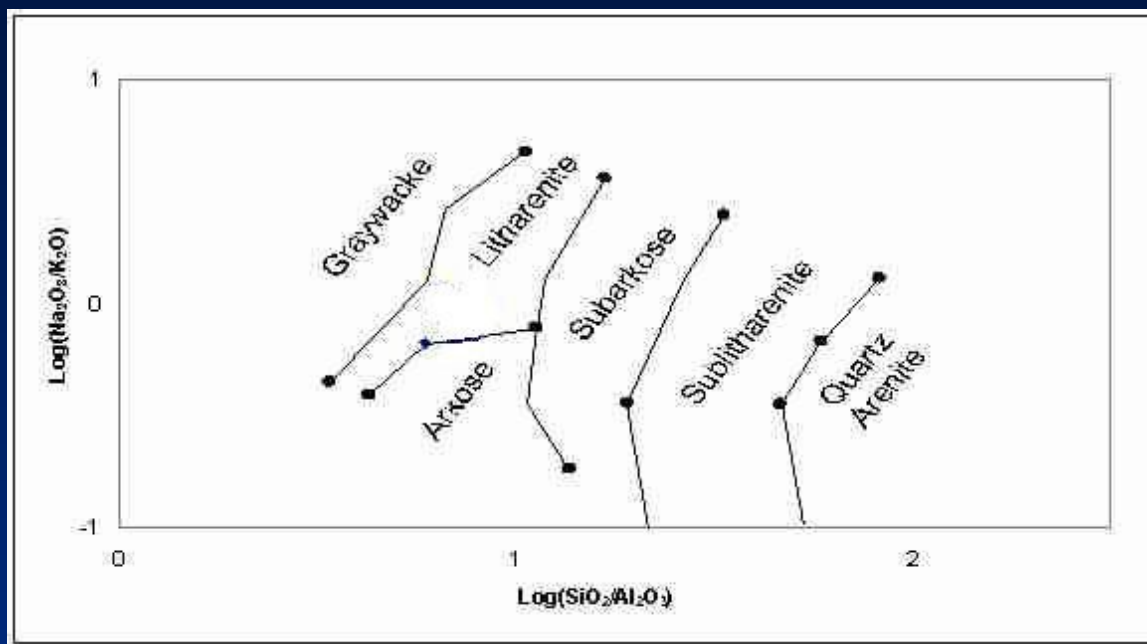
Grado de saturación	Serie	Minerales diagnósticos
Sobresaturada	Peraluminosa	Muscovita, Biotita rica en Al, cordierita, silimanita, andalusita, corindón, granate (almandino-espesartina), turmalina, topacio.
Subsaturada	Metaluminosa	Piroxeno, Biotita, Hornblenda
	Peralcalina	Anfíboles alcalinos (riebeckita, arfvedsonita), Piroxenos alcalinos (egirina), Olivino fayalítico, Ferrohedenbergita

“Existe” una importante diferencia entre las tres series mayores:

Series Característica	Margen de Placa		Intraplaca	
	Convergente	Divergente	Oceanica	Continental
Alkalina	si		si	si
Tholeítica	si	si	si	si
Calco-alkalina	si			

Esto lo veremos la próxima clase.....





Clasificación de Rocas Sedimentarias