Segunda parte

CAPITULO 3

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS

3.1 Composición química de las rocas ígneas.

ABUNDANCIA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LAS ROCAS ÍGNEAS

ELEMENTO	***CORTEZA***	***GRANITO***	***BASALTO***	***LUTITA***	***AGUA DE MAR***
O	46.4	49.00	45.90	39.20	85.7000
Si	28.2	32.20	24.00	23.80	0.0030
Al	8.2	7.70	8.80	8.00	0.0001
Fe	5.6	2.70	8.60	4.70	0.0001
Ca	4.1	1.60	6.70	2.50	0.4000
Na	2.4	2.80	1.90	0.60	0.0500
Mg	2.3	0.10	4.50	1.30	0.0010
K	2.1	3.30	0.80	2.30	0.0000001
Ti	0.57	0.20	0.90	0.40	H=10.8000
Mn	0.10	0.04	0.15	0.80	Cl= 1.9500
C	0.02	0.03	0.01	0.01	Br= 0.0060
Ag	0.005	0.004	0.05	0.001	Na=1.1240
Au	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	S= 0.8450

La mineralogía de una roca ígnea es función de su composición química y de las condiciones de temperatura y presión presentes durante su formación. Así un magma de una composición determinada puede dar lugar a diversas variedades texturales como obsidiana, riolíta felsofirica, riolita porfídica, pòrfido riolítico, granófido, microgranito, granito y pegmatita granítica.

Dependiendo de los accidentes en el momento de la intrusión o extrusión del tamaño del cuerpo ígneo y de su historia de enfriamiento podremos determinar el tipo de roca al que corresponda. Así mismo las relaciones genéticas entre rocas ígneas de diferentes composiciones dentro de una misma provincia petrográfica puede ser el resultado de procesos fisicoquímicos tales como la diferenciación, la asimilación o hibridación lo que resulta en tendencias de variación en la composición del magma.

En consecuencia la clasificación química de las rocas tiene como objetivo principal el señalamiento de rocas magmáticas y la aplicación de la presencia o ausencia de determinados minerales en rocas que pertenecen a una determinada provincia petrográfica dada.

Este tipo de clasificación se basa por supuesto en la composición química global obtenida de cada roca expresada en porcentaje en peso de los óxidos de los *elementos mayores*. De ahí resulto un primer problema: si bien una cierta asociación mineralogica corresponde a una sola composición química, la reciproca no es cierta es decir, a una composición química dada puede corresponder varias asociaciones mineralogicas.

3.2. LOS MINERALES FORMADORES DE LAS ROCAS ÍGNEAS

- *PRIMARIOS* (Forman la roca original)
  - Esenciales
    - Característicos
    - Raros
  - Accesorios
    - Característicos
    - Raros
- *SECUNDARIOS* (Se emplazan o se forman después)
  - Se consideran como minerales de alteración

Minerales Primarios: Se forman en el momento en que la roca; cristaliza, se litifica o se transforma sin fundirse, esto significa que puede ser una roca ígnea, sedimentaria o metamórfica respectivamente.
Un mineral primario es el formador de la roca original y se divide en dos categorías;

Esenciales y accesorios. Son los que se forman con la roca original.

Esenciales: Son los más abundantes de la roca, ocupan más del 90% del volumen total y en ocasiones el 100%. dan el nombre principal de la roca. Por ejemplo: Granito, andesita, etc.

Accesorios: Ocupan menos del 10% del volumen total de la roca. Solo dan ciertas características a la roca pero no las suficientes para cambiarles el nombre. Un granito puede no tener accesorios pero sigue siendo granito. Su presencia o ausencia no modifica el nombre de la roca. A lo sumo, en caso de abundancia, le daría el nombre a la variedad, v.g.: Granito de biotita.

Minerales Secundarios: Se forman después de que la roca ha sido generada en primera instancia. Se forman en segundo lugar, pueden penetrar en la roca ya formada a través de fracturas, huecos o zonas de debilidad pero también pueden originarse " in situ" a partir de la alteración de los minerales originales. Son minerales formados posteriormente a la consolidación de la roca:

- Por alteración, como la clorita a expensas de la biotita
- Por introducción, en fisuras o cavidades, como la calcita o las zeolitas.

3.2.1 MINERALES PRIMARIOS ESENCIALES CARACTERÍSTICOS DE LAS ROCAS IGNEAS

GRUPO DE LA SÍLICE
Cuarzo, Cristobalita, Tridimita, Calcedonia, Lechatelierita, Opalo.

GRUPO DE FELDESPATOS

MINERAL	COMPOSICIÓN
Ortoclasa	$KAl\ Si_3O_6$
Microclima	$KAl\ Si_3O_6$
Sanidino	$KAl\ Si_3O_6$
Adularia	$(K, Na)\ AlSi_3O_8$
Anortoclasa	$(K, Na)\ AlSi_3O_8$

GRUPO DE PLAGIOCLASAS

MINERAL	COMPOSICIÓN
Albita=*Ab*	$Na\ Al\ Si_3O_8$
Oligoclasa	$Ab_{80}An_{20}$
Andesina	$Ab_{60}An_{40}$
Labradorita	$Ab_{40}An_{60}$
Bitownita	$An_{20}An_{80}$
Anortita=*An*	$CaAl_2Si_2O_8$

3.2.2 MINERALES PRIMARIOS ACCESORIOS CARACTERÍSTICOS DE LAS ROCAS IGNEAS

*Los más comunes

GRUPO DE OLIVINOS	Fosterita	Mg_2SiO_4
	Olivino	$(MgFe)SiO_4$
	Fayalita	$FeSiO_3$
	Monicellita	CaSiO3

GRUPO DE PIROXÉNOS	Enstatita	MgSiO3
	Hiperstena	(MgFe)SiO4
	Pigeonita	$Ca_{0.25}(MgFe)_{1.75}Si_2O_6$
	Diopsido	$CaMgSi_2O_6$
	Hedenbergita	$CaFeSi_2O_6$
	Augita	$XY\ (Z_2O_6)$
	Jadeita	$NaAlSi_2O_6$
	Egirina	$NaFeSi_2O_6$
	Espodumena	$LiAlSi_2O_6$

GRUPO DE ANFÍBOLES	Antofilita	$(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$
	Cummingtonita	$FeMg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
	Grunerita	$Fe_7SiO_8O_{22}(OH)_2$
	Tremolita	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$
	Actinolita	$Ca_2(Mg_5Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
	Hornblenda	$X_2Y_5Z_8O_{22}(OH)_2$
	Glaucofana	$Na_2Mg_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$
	Riebeckita	$Na_2Fe_3Fe_2Si_8O_{22}(OH)_2$

GRUPO DE MICAS	Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})\ (OH)_2$
	Flogopita	$KMg_3\ (AlSi_3O_{10})\ (OH)_2$
	Biotita	$K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})\ (OH)_2$
	Lepidolita	$K(Li, Al)_2(AlSi_3O_{10})\ (OH)_2$
	Margarita	$CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})\ (OH)_2$

OTROS	Magnetita	Fe_3O_4
	Esfena	$CaTiO\ (SiO_4)$
	Zircon	$ZrSiO_4$
	Apatita	$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$

3.3 PROBLEMAS PARA LA CLASIFICACION DE LAS ROCAS IGNEAS

Una clasificación es el agrupamiento de conjuntos en clases o tipos con características comunes.

Es un método que introduce orden y simplicidad en la complejidad de la Naturaleza.

La clasificación será fiel si la selección es de conjuntos naturales preexistentes al análisis.

La clasificación será artificial si no responde a ese criterio de realidad

En la petrografía debemos introducir divisiones arbitrarias y la forma de transición es común pues entre dos tipos extremos de rocas pueden existir muchas formas intermediarias.

Existe un gran número de clasificaciones de las rocas ígneas. Por ejemplo;

Clasificación basada en rasgos observables en el terreno.

Rocas intrusivas o plutónicas, formadas a gran profundidad.

Rocas hipabisales, o de profundidad media, que pueden estar relacionadas con procesos plutónicos o volcánicos.

Rocas extrusivas, efusivas o volcánicas, solidificadas en superficie.

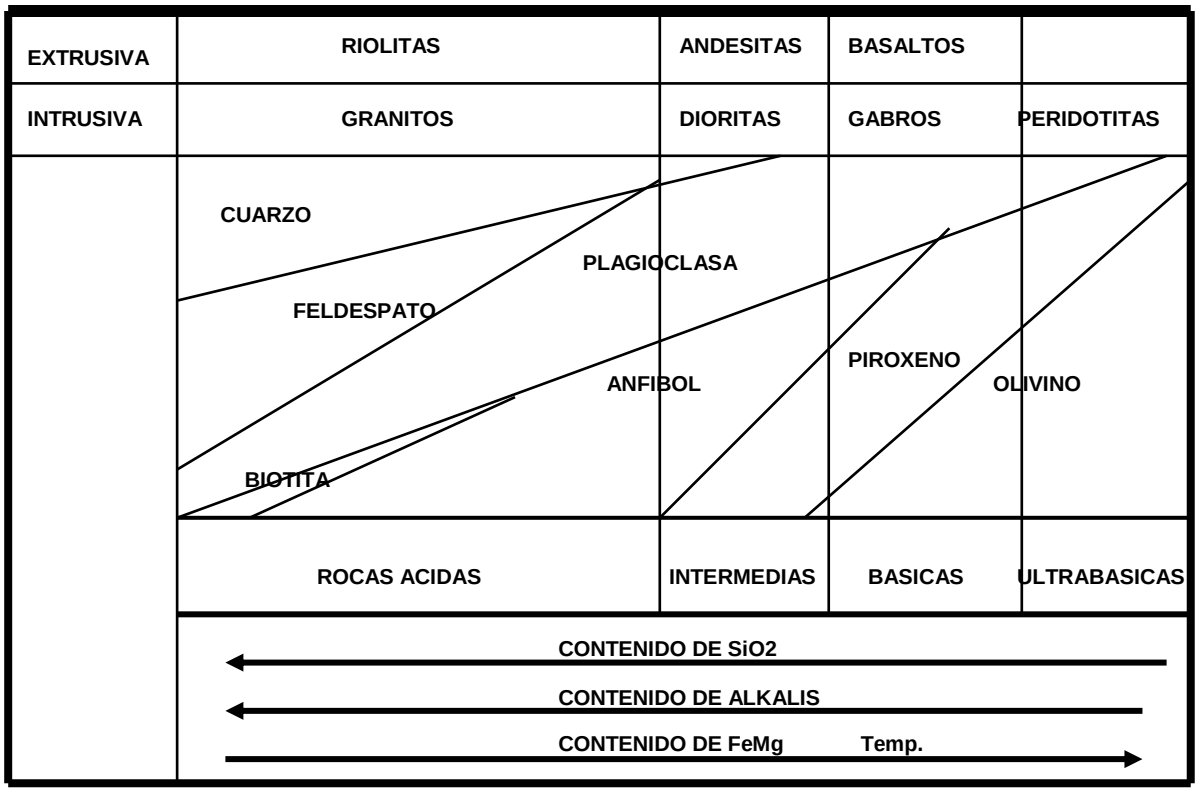
Figura 96

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS POR SU OCURRENCIA Y SU COMP. MINERALOGICA

COMPOSICION QUIMICA	**ACIDAS SOBRESATURADAS 10 A 40%**				**INTERMEDIAS SATURADAS 0 A 5% Q**				**BASICAS 0% Q**	
MINERALOGIA	*Fk>Pl*	*Fk=Pl*	*Fk<Pl*	*PlNa*	*Fk>Pl*	*FK=Pl*	*Fk<Pl*	*PlNa*	*PlCa*	*Foides*
Extrusivas	**Riolita**	**Latita de cuarzo**	**Riodacita**	**Dacita**	**Traquita**	**Latita**	**Traqui-andesita**	**Andesita**	**Basalto**	**X**
Intrusivas	**Pórfido riolitico**	**P lq**	**P rd**	**P d**	**P t**	**P l**	**P ta**	**P a**	**P b**	**X**
	Pórfido granitico	**P mq**	**P gd**	**P t**	**P s**	**P m**	**P sd**	**P d**	**P gb**	Porfido
Plutónicas	Granito	Monzo-nita de cuarzo	Grano-diorita	Tonalita	Sienita	Monzo-nita	Sieno-diorita	Diorita	Gabro	Anfibolita Pxenita Peridot Dunita

Figura 97

Clasificaciones basadas en la composición química y la mineralogía



Figuras 98, 99 y 100

Clasificación de Lacroix (1933)

DIVISIONES:

A) ROCAS FELDESPÁTICAS

SOBRESATURADAS (CON CUARZO PRIMARIO ABUNDANTE)
SATURADAS (SIN CUARZO NI FELDESPATOIDES)
SUBSATURADAS (CON FELDESPATOIDES)

FAMILIAS

A) ROCAS FELDESPÁTICAS

a) Familia Alcalina (sólo con feldespatos alcalinos, micas y anfíboles)
b) Familia calco alcalina (con feldespatos alcalinos y plagioclasas sódico cálcicas anfíboles y piroxenos)
c) Familia calco sódica (sólo con plagioclasas calco sódicas, piroxénos y olivinos)

SUB FAMILIAS

Família alcalina
a.1) Sub família potásica (Or > Ab)
a.2) Sub fam.sódico-potásica (Or = Ab)
a.3) Sub família sódica (Or < Ab)

Família calco-alcalina
b.1) Sub família potásica (Or > Pla)
b.2) Sub fam.monzonítica (Or = Pla)
b.3) Sub fam.granodiorítica (Or < Pla)

Família calco-sódica
c.1) Subfamília oligo-andesína (PlNa)
c.2) Subfamília labradorita-anortita (PlCa)

B) ROCAS FELDESPATÓIDICAS (FELDESPATOIDES Y MAFICOS)

GRUPO	% MAFICOS
• Hololeucocrático	0 a 5
• Leucocrático	5 a 35
• Mesocrático	35 a 65
• Melanocrático	65 a 95
• Holomelanocrático	95 a 100

3.4 Clasificación química de las rocas ígneas.

Una clasificación química para las rocas ígneas se basa en su análisis químico global, expresado en porcentaje en peso de los óxidos de los elementos mayores.

Por lo general no son más de una docena, incluyendo el agua.

Una clasificación química señala relaciones magmáticas.

A una asociación mineralógica dada corresponde una sola composición química.

El recíproco no necesariamente se cumple, pues a una composición química dada pueden corresponder varias asociaciones mineralógicas.

La clasificación química: Explica la presencia o ausencia de determinados minerales en rocas que pertenecen a una provincia petrográfica dada.

- Permite delimitar provincias petrográficas, al aplicarla a estudios regionales.
- Su composición química global señala relaciones magmáticas.
- Señala las condiciones de temperatura y presión durante su formación.
- Un magma de una composición química determinada puede dar lugar a diversas variedades texturales, dependiendo de accidentes en la extrusión o intrusión, tamaño del cuerpo ígneo e historia de enfriamiento.

Para resolver este problema se crearon los conceptos de “modo” y “norma”.

3.5 La Moda y el calculo de la Norma CIPW

Modo o composición modal es la asociación mineralógica especial de una roca dada.

Norma o composición virtual es un cálculo realizado a partir del análisis químico, siguiendo reglas fijas. Con él se obtienen ciertos minerales patrones, que no son necesariamente los de las rocas.

Este método denominado así por las iniciales de sus creadores Cross, Iddings, Pirsson y Washington, consiste en construir a partir de los resultados del análisis químico cuantitativo de una roca dada, una norma que reposa en la constitución de ciertos minerales patrones obteniéndose lo que se denomina composición virtual.

El cálculo de la norma se efectúa siguiendo un método riguroso que prevé todos los casos posibles pero que no autoriza iniciativa alguna al petrógrafo que la realiza de hecho esta actividad la realiza la computadora y los resultados se acompañan con los análisis químicos.

El primer paso consiste en transformar los porcentajes peso de los óxidos dados por el análisis químico en porcentajes moleculares.
Los porcentajes indican las proporciones moleculares de esos óxidos en la roca, dicha transformación “se efectúa dividiendo el porcentaje en peso de cada óxido entre su peso molecular correspondiente”.

En el segundo paso se calcular, por ejemplo, las proporciones de los minerales que se enumeran a continuación:
Apatita
Ortoclasa
Albita
Anortita
Corindón
Magnetita
Hiperstena: Enstatita
Ferrosilita

Si hay exceso de sosa se forma además Aegirina y en casos extremos un meta silicato de Na.

Se deja para más tarde el cálculo de la sílice, para aquellos minerales que la contienen.

Tercer paso.-Se reparte la sílice efectivamente presente en los minerales que la contienen y se pueden presentar tres casos:

Cuando esta exactamente saturada de SiO_2;	Se termina el cálculo
Cuando el SiO_2 esta en exceso:	Se contabiliza como cuarzo
Cuando presenta SiO_2 deficitaria:	Se tienen que modificar los cálculos de acuerdo con las siguientes reglas:

Se deducen las cantidades necesarias de FeO y MgO para formar diópsido con la cal no feldespatizable

Se transforma una parte de la hiperstena restante en olivino, conservando las proporciones iniciales de MgO y FeO.

Si el déficit en sílice no se elimina aún, se transforma una parte de la albita a nefelina.

En caso de continuar dicho déficit, parte de la ortoclasa se convierte en leucita.

Si continúa aún, se forma monticellita, a partir de la wollastonita, y kaliofilita, a partir de la leucita.

Si se presenta exceso de alúmina, se calcula como corindón

Para obtener el número molecular se divide el % peso entre el peso molecular.
Para obtener el peso molecular de un mineral:
Peso molecular apatita = (142)(1)+(56)(3) = 310
Peso molecular ortoclasa = (94)(1)+(102)(1)+(60)(6)
% de mineral = porciones moleculares por peso molecular.

Por ejemplo, se pueden calcular los minerales normativos siguientes

Apatita	$3(CaO) . P_2O_5$
Ortoclasa	$K_2O. Al2O_3 . 6SiO_2$
Albita	$Na_2O . Al_2O_3 . 6SiO_2$
Anortita	$CaO . Al_2O_3 . 2SiO_2$
Corindón	Al_2O_3
Magnetita	$FeO . Fe_2O_3$
Hiperstena: Enstatita	$(MgO.FeO)2SiO_2$
Ferrosilita	
Cuarzo	SiO_2

Minerales normativos

Son minerales simples y anhidros Algunos se encuentran realmente en las rocas (cuarzo. ortoclasa, plagioclasas etc.) Otros no existen comúnmente en las rocas, como la kaliofilita, halita y tenardita

Algunos minerales comunes han sido excluidos por su composición compleja (augita, hornblenda y micas).

Los minerales normativos se dividen en dos grupos:

Grupo Sálico: Minerales ligeros y claros
Grupo Fémico: Minerales pesados y oscuros

En la tabla siguiente se representan los pesos moleculares de los principales minerales normativos del grupo sálico (minerales esenciales en general) y el grupo máfico (minerales accesorios)

Quartz (*Q*)	SiO_2	60.1
Corundum (*C*)	Al_2O_3	102
Zircon (*Z*)	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	183
Orthoclase (*Or*)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556
Albite (*Ab*)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	524
Anorthite (*An*)	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	278
Leucite (*Lc*)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	436
Nepheline (*Ne*)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	284
Kaliophilite (*Kp*)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	316
Halite (*Hl*)	$NaCl$	58.4
Thenardite (*Th*)	$Na_2O \cdot SO_3$	142
Sodium carbonate (*Nc*)	$Na_2O \cdot CO_2$	106
Acmite (*Ac*)	$Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$	462
Sodium metasilicate (*Ns*)	$Na_2O \cdot SiO_2$	122
Potassium metasilicate (*Ks*)	$K_2O \cdot SiO_2$	154
Diopside (*Di*)	$CaO \cdot (Mg,Fe)O \cdot 2SiO_2$	217–248[a]
Wollastonite (*Wo*)	$CaO \cdot SiO_2$	116
Hypersthene (*Hy*)	$(Mg,Fe)O \cdot SiO_2$	100–132[a]
Olivine (*Ol*)	$2(Mg,Fe)O \cdot SiO_2$	141–204[a]
Dicalcium silicate (*Cs*)	$2CaO \cdot SiO_2$	172
Magnetite (*Mt*)	$FeO \cdot Fe_2O_3$	232
Chromite (*Cm*)	$FeO \cdot Cr_2O_3$	224
Ilmenite (*Il*)	$FeO \cdot TiO_2$	152
Hematite (*Hm*)	Fe_2O_3	160
Sphene (*Tn*)	$CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	196
Perovskite (*Pf*)	$CaO \cdot TiO_2$	136
Rutile (*Ru*)	TiO_2	79.9
Apatite (*Ap*)	$3.3CaO \cdot P_2O_5$	310
Fluorite (*Fl*)	CaF_2	78.1
Pyrite (*Pr*)	FeS_2	120
Calcite (*Cc*)	$CaO \cdot CO_2$	100

Ejemplo

METODO CIPW (ANALISIS DE LA NORMA)

OXIDO	% PESO	PESO MOLECULAR Masa atómica	NUMERO MOLECULAR % molecular	Ap	Or	Ab	An	Cor	Mag	Hip	Fs	Q
SiO2	72.67	60	1.211		0.366	0.300	0.036			0.012	0.008	0.483
Al2O3	13.44	102	0.132		0.061	0.050	0.018	0.003				
Fe2O3	1.06	160	0.007						0.007			
FeO	1.56	72	0.021						0.007	0.006	0.008	
MnO	--	71	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
MgO	0.23	40	0.006							0.006		
CaO	1.15	56	0.021	0.003			0.018					
Na2O	3.08	62	0.050			0.050						
K2O	5.75	94	0.061		0.061							
H2O	0.18	18	0.01									
P2O5	0.12	142	0.001	0.001								
Otros	0.76	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
PORCION Minima MOLECULAR				0.001	0.061	0.050	0.018	0.003	0.007	0.006	0.008	0.483
PESO MOLECULAR de cada mineral				310	556	524	278	102	232	172	132	60
PORCENT. NORMATIVOS (%de c/mineral en la rc.)				0.31	33.92	26.20	5.00	0.31	1.62	1.03	1.05	28.98

No. Molecular = % en peso / Peso Molecular (masa atomica).
Peso Molecular de cada mineral = Suma de los pesos de sus moleculas.
Porcentajes Normativos = Porcion Molecular X Peso Molecular

Porciento total = 98.42 **Porciento de primarios esenciales = 94.10**

Q = 30.797
FK = 36.046 **CLASIFICACION DE STRECKEISEN……**
Pl = 33.156

TAREA

OXIDO	% PESO	PESO MOLECULAR Masa atómica	NUMERO MOLECULAR % molecular	Ap	Or	Ab	An	Cor	Mag	Hip	Fs	Q
SiO2	67.50											
Al2O3	13.50											
Fe2O3	3.08											
FeO	3.00											
MnO	--											
MgO	1.73											
CaO	4.15											
Na2O	2.08											
K2O	3.75											
H2O	0.18											
P2O5	0.62											
Otros	0.41											
PORCION Minima MOLECULAR												
PESO MOLECULAR de cada mineral												
PORCENT. NORMATIVOS (%de c/mineral en la rc.)												

Porciento total = **Porciento de primarios esenciales =**

Q =

FK = **STRECKEISEN……**

PI =

3.6 CLASIFICACIÓN MINERALOGICA DE STRECKEISEN-IUGS

Figura 101

3.7 FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE UN ESTUDIO PETROGRAFICO (Ejemplo)

Figura 102

Valores aceptados para la clasificación de las rocas ígneas extrusivas

Figura 103

CAPITULO 4

L A S S E R I E S M A G M A T I C A S

4.1 Series de las rocas ígneas o Series magmáticas. Definición.

Una serie magmática es un conjunto de rocas relacionadas en espacio y tiempo con caracteres químicos y mineralógicos comunes.

Tal afinidad química y mineralógica señala que todas esas rocas se han derivado de una fuente común, llámese magma o cualquier otro tipo de fenómeno geológico.

Se ha encontrado que las rocas más pobres en SiO_2 son las más cercanas a la composición del magma original.

Existen cinco series magmáticas principales, tres de ellas muy comunes en la superficie de la tierra y dos que no son tan evidentes.

Las principales series son: toleítica, alcalina y calco alcalina y las otras dos son la transicional y la shoshonitica.

Las rocas ígneas de una región dada pueden constituir asociaciones petrográficas de diversos tipos.

El concepto de serie magmática o serie de rocas ígneas nació de las proporciones relativas de sus miembros.

La Tectónica de Placas ha ayudado a la determinación de dos aspectos importantes de las rocas ígneas;

La formación de los magmas por fusión parcial ya sea en el manto o en la corteza y Los factores que gobiernan la distribución mundial de la actividad ígnea.

Una serie magmática se podrá distinguir por su posición y origen.

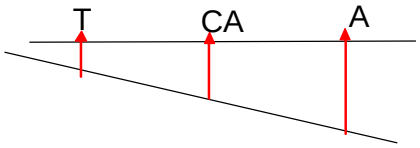
KUNO (1960) Clasificación para los basaltos ricos en Al2O3 > 17 % caen en el campo calco alcalino y están asociados a las andesitas. Se pueden clasificar utilizando el diagrama Na2O + K2O / Al2O3.

Varios modelos para la generación y fraccionamiento del magma en la corteza terrestre

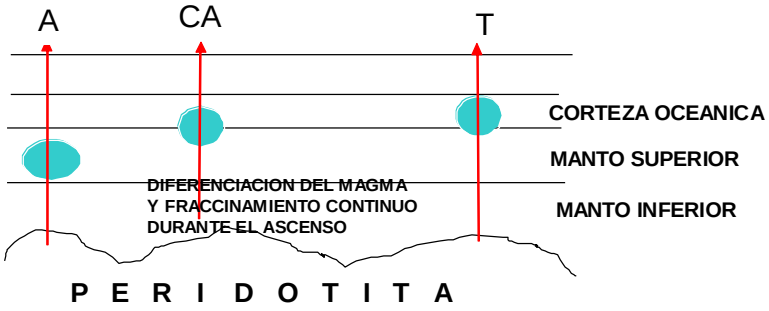
GENERACIÓN DEL MAGMA
DIFERENCIACIÓN
FRACCIONAMIENTO

CLASIFICACION DE LOS MAGMAS PRIMARIOS
POR SU POSICION Y ORIGEN

KUNO. (1960); Existen tres magmas primarios a partir de un manto peridotitico que se generan en funcion de la profundidad, de acuerdo con su ubicacion tectonica.



YODER Y TILLEY. (1962); Originalmente todos los magmas son iguales (peridotiticos) Su diferencia depende de donde sucede la diferenciacion. O sea que interviene la profundidad pero tambien el sitio donde ocurre la diferenciacion; Manto Superior, Contacto manto-corteza, o Corteza Oceanica.



Figuras 103, 104 y 105

Relación entre el echado de subducción y la localización de varios tipos de roca ígnea.

Las graficas de variación de K2O / SiO2 muestran líneas de tendencia típicas de asociaciones cálcicas, calcialcalinas y álcali cálcicas A, B y C respectivamente. La profundidad y la distancia de penetración estan dadas en Km.

Figura 106

CA = CALCOALCALINO
KCA = CALCOALCALINO RICO EN K
AC = ALCALICALCICO
A = ALCALINO O ALCALICO

GREEN Y RINGWWOOD 1976-1883. Los diferentes tipos de magmas provienen un manto de composición pirolítica (una parte de basalto por tres de

peridotita). La composición del magma resultante estará determinada por el grado de fusión parcial (liquido) y la presión (profundidad) a la que el magma se separa de su residuo sólido.

Un alto grado de fusión parcial (abundante liquido) favorece los magmas toleiticos mientras que un porcentaje menor de magma fundido producirá magmas alcalinos.

Los diferentes tipos de magmas se pueden modificar posteriormente por cristalización fraccionada al ascender hacia la superficie. Variación de la composición mineralogica de la "pirolita" según la presión (profundidad). Si varia la presión entonces variara:

El grado de fusión parcial.
La composición del líquido magmático
La composición mineralógica

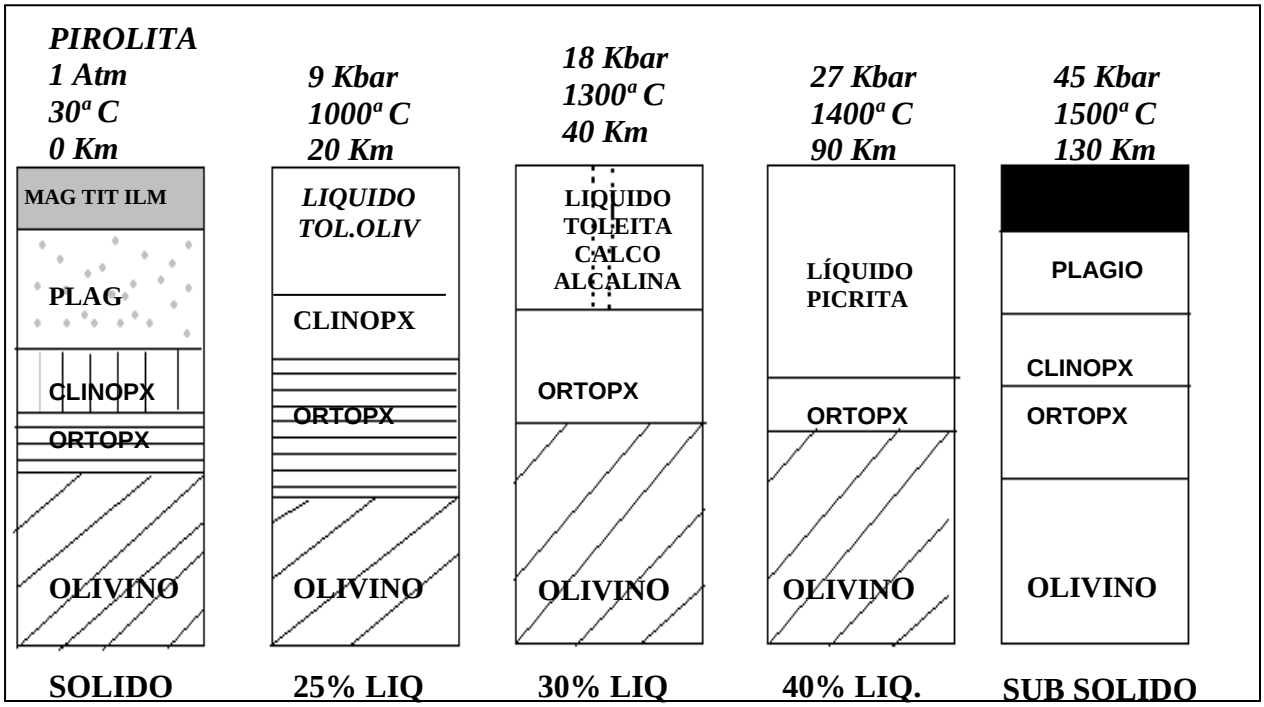


Figura 107

Según Ringwood 1974, las Toleítas de subducción se forman por la fusión parcial de la corteza oceánica inducida por la deshidratación de las anfibolitas.
Los magmas calco alcalinos son debidos a la fusión parcial de la corteza oceánica descendente transformada en eclogita mezclada con el manto sobre yacente, posteriormente hay un fraccionamiento. Esta serie también puede implicar una fusión de la corteza continental y una reacción entre ellas. La serie shoshonitica probablemente se origina en la parte mas profunda del plano de Benioff donde la roca esta deshidratada.

Figura 108

4.2 LOS DIAGRAMAS DE VARIACIÓN

Una roca ígnea se debe definir por:

a) Composición mineralógica
b) Composición química
c) Composición normativa.

REPRESENTACIÓN GRAFICA DE LAS ROCAS IGNEAS

Los diagramas de variación son esquemas de comparación de porcentajes que presentan los diferentes compuestos de las rocas ígneas. Se comparan generalmente óxidos metálicos con respecto a la cantidad de sílice total en un compuesto de muestras.

Para caracterizar por completo a una serie magmática es necesario relacionar la evolución de la concentración de los elementos mayores y menores con la composición mineralógica.

Los diagramas de variación examinan los cambios que experimentan los elementos o sus óxidos en un sistema dado.

Diagramas de Harker: Comparan los contenidos en sílice respecto de los demás óxidos, porque las rocas más pobres en SiO2 estarían más cerca de la composición del magma original.

1.- Para distinguir rocas alcalinas y sub alcalinas.

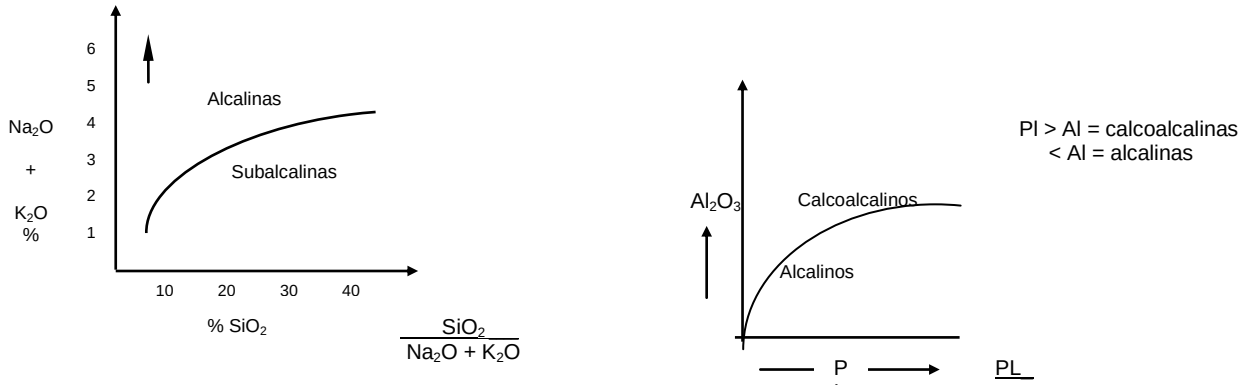


Figura 109

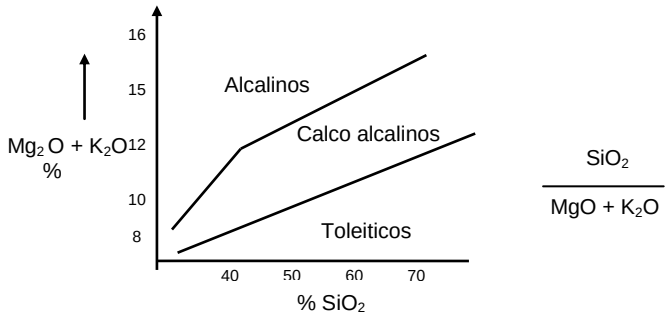
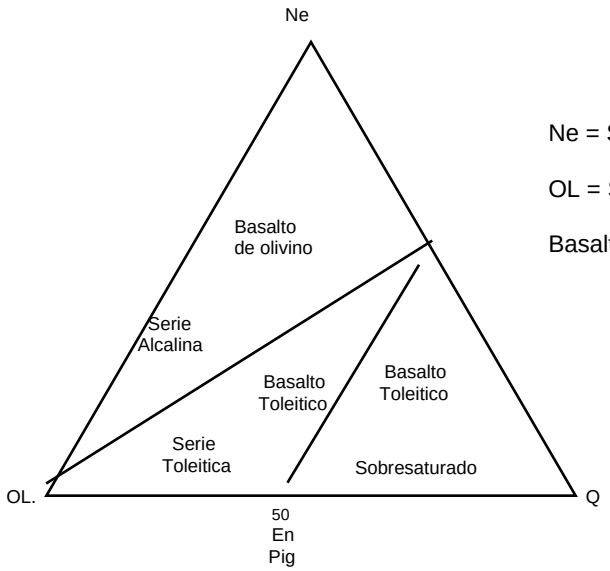


Figura 110

Diagramas AFM: Determina si durante el curso de la cristalización una serie magmática sigue la tendencia de Bowen o la de Fenner. Los Diagrama AFM se utilizan frecuentemente para distinguir entre rocas toleíticas y calco alcalinas.

Diagrama Ne' - Q'- Ol' Para propósitos generales, en donde:

Ne'= Ne + 3/5 Ab
Q' = Q + 2/5 Ab + 1/4 Opx
Ol' = Ol + 3/4 Opx



Ne = Silicato de sodio feldespatoide

OL = Silicato de hierro

Basalto = Rocas con feldespatoides, Fe y Mg.

Figura 111

Diagrama CNP* / Al2O3 Para los basaltos

Diagrama CNP* / ICN** Para los miembros de las tres series, en donde:

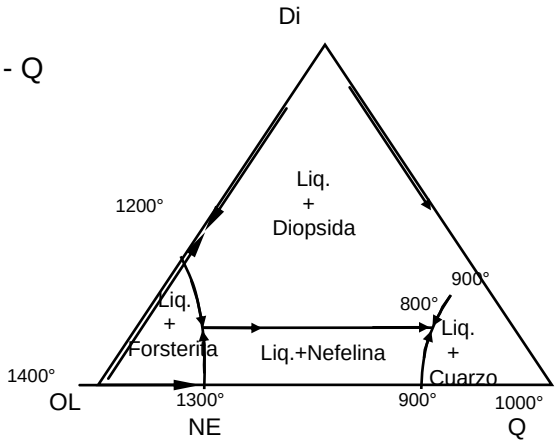
CNP* = Composición normativa de la plagioclasa = 100An / An + Ab + 5/3 Ne

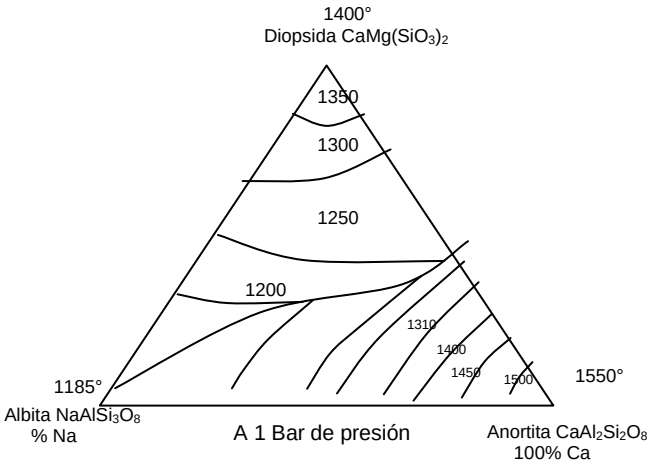
ICN** = Índice de color norma = Ol + Opx + Cpx + Mt + Ilm + Hm

Diagrama SiO2 - NaAlSiO4 - KAlSiO4: *Expresa la evolución del residuo de una cristalización fraccionada.*

DIAGRAMA OL – NE - Q

Diagrama para basaltos





4.3 DIVERSIDAD DE LOS BASALTOS

Los basaltos son las rocas volcánicas más abundantes de la superficie terrestre. Sus composiciones químicas y mineralógicas difieren, de acuerdo con la serie a la que pertenecen.

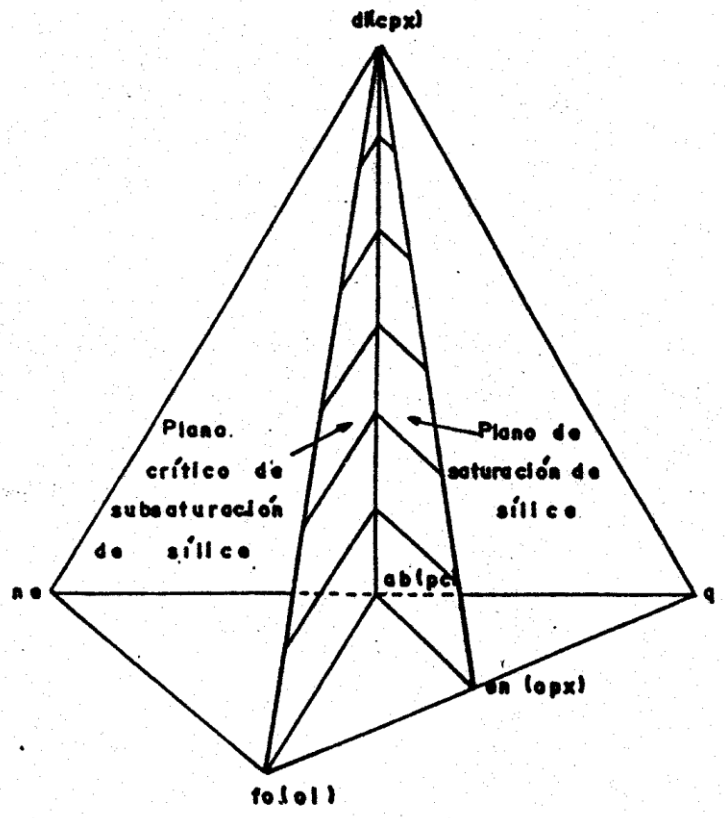


Figura 112

YODER Y TILLEY (1962) Clasificación normativa; Es un tetraedro dividido en dos planos: Uno de saturación de sílice y otro de sub saturación en sílice, que delimitan tres campos: Las toleítas de cuarzo, las toleítas de olivino y los basaltos alcalinos.

4.4 LA SERIES TOLEÍTICAS

Características

Alto contenido en FeO+Fe2O3

Aumento del hierro en los miembros intermedios durante la diferenciación, siguiendo la tendencia de Frenner. En la diferenciación magmática no aumenta el SiO_2 si no el Fe

No sigue a Bowen.

Predominan los basaltos

Baja relación Na2O + K2O / SiO2

Sobresaturación en SiO2 (cuarzo e hiperstena normativos)

Pigeonita característica de la serie

Olivino en fenocristales y con evidencias de reacción con el líquido que lo transforma en ortopiroxeno

En los miembros intermedios el olivino está ausente, pero en las lavas ácidas puede aparecer como fayalita.

Miembros: Basalto picrítico (oceanita) - Toleíta de olivino - Toleíta de cuarzo – Andesita basáltica (islandita) - Dacita –Riolita.

4.5 LA SERIES CALCO ALCALINAS

Características:

Rica en Al_2O_3

Aumenta el SiO_2 con la diferenciación

Presentan más Ca y Na que potasio

Predominan las andesitas

Bajo contenido en FeO+Fe2O3

Siguen la tendencia de Bowen durante la diferenciación.

En un diagrama álcalis / sílice se sitúan en un campo intermedio entre las series toleítica y alcalina en donde Na2O > K2O

No hay enriquecimiento en Fe en los miembros intermedios, debido a la cristalización precoz de los óxidos de Fe y Ti, Hiperstena característica, tanto en cristales como en la matriz, Olivino en fenocristales, a menudo inestables, que se transforman a piroxénos

Lavas intermedias y básicas con frecuencia porfídicas, Plagioclasa y clino piroxeno en fenocristales a menudo con zoneamiento marcado., Presencia frecuente de hornblenda y biotita, es decir minerales hidratados

Miembros; Basaltos ricos en alúmina - Andesitas - Dacitas - Riolitas

Ejemplo; Vulcanismo Circumpacifico

4.6 LAS SERIES ALCALINAS

Características.

Rica en álcalis (K, Na)

Aumenta el SiO_2 en la diferenciación

Predominan los basaltos

Enriquecimiento variable en Fe en los miembros intermedios

Se distinguen dos sub series:

<u>Moderadamente alcalina</u>, Contenido de Ne normativa es < 5%

<u>Fuertemente alcalina</u>, si su contenido en Ne normativa es mayor de 5 %

<u>Serie muy alcalina</u>

Ankaramita-Basanita-Nefelinita o

Analcitita o
Leucitita

Serie moderadamente alcalina.
De acuerdo con la relación Na2O / K2O se distinguen otras dos sub series:
Una sódica con (Na / K > 1)
Otra potásica pero (Na / K < 1)

Sub serie Sodica
Ankaramita-Basanita-Hawaiita
Mugearita-Benmoreíta
Fonolita de nefelina o Traquita

Sub serie Potasica
Ankaramita-Basanita
Traquibasalto-Tristanita
Fonolita de leucita o Traquita rica en K

ROCAS PERALCALINAS
Características:
Valor alto de la relación álcalis / sílice
Pantelleritas y Commenditas
Olivino y feldespatoides normativos
Olivino estable en fenocristales y en la matriz
Presencia de feldespatoides
Ausencia de piroxénos pobres en calcio
Miembros intermedios raros
Presencia de augita, a menudo titanífera
Feldespato alcalino presente en todos los miembros, incluyendo los máficos
Frecuencia de xenolitos (nódulos) peridotíticos y eclogíticos.
Ejemplos: Rifts de África Oriental y Oriente de México Sierra San Carlos y Sierra de Tamps.

4.7 LA SERIE TRANSICIONAL

Características:
Contenido en álcalis superior al necesario para la formación de feldespatos y feldespatoides (Na+K > Al)
Esta hiperalcalinidad se manifiesta en minerales sódicos no alumínicos, como la aegirina y la arfvedsonita
Según sea su grado de saturación en sílice contienen en su mesostásis olivino pigeonita o hiperstena
Miembros: Basaltos de hiperstena y olivino Ferrobasaltos y basaltos de andesina Commenditas y pantelleritas (lavas riolíticas hiperalcalinas)
Ejemplo: Volcán Boina, África del Noreste.

4.8 LA SERIE SHOSHONITICA

Características;

Serie rica en K, aparece solo en zonas de subducción
Contenido elevado en K (K2O / Na2O cercano a 1)
Contenido relativamente bajo en TiO2
Comportamiento variable del Fe
Grado variable de saturación en sílice (**q** ó **ne** normativos)
Abundancia de feldespato potásico en todos los miembros
Fenocristales zoneados de olivino, plagioclasa y ortopiroxenos
Olivino rico en hierro en la matriz
Presencia de flogopita, analcima, leucita o tridimita
Miembros;Basaltos shoshoníticos (absarokitas) - Shoshonitas - Latitas
Ejemplos; Volcanes Absaroke (Wyoming) y Stromboli (Italia)

La Serie shoshonitica (o alcalina) representa las ultimas manifestaciones volcánicas de la zona de subducción cuando la placa es continental. Algunas veces es reemplazada por la serie alcalina. Las shoshonitas son lavas básicas, en su mayoría semejantes a los basaltos calco alcalinos, excepto que su contenido en K2O es anormalmente elevado y más o menos igual al del Na2O

LOS BASALTOS Y LAVAS INTERMEDIAS PUEDEN CONTENER BIOTITA, LEUCITA O SANIDINA EN LA MATRIZ. Enriquecimiento en tierras raras ligeras enriquecidas en Rb, Zr, Ba, Th y U. Sus características geoquímicas señalan que se trata de rocas **menos primitivas** (más contaminadas) que las de las otras series de las zonas de subducción.

.

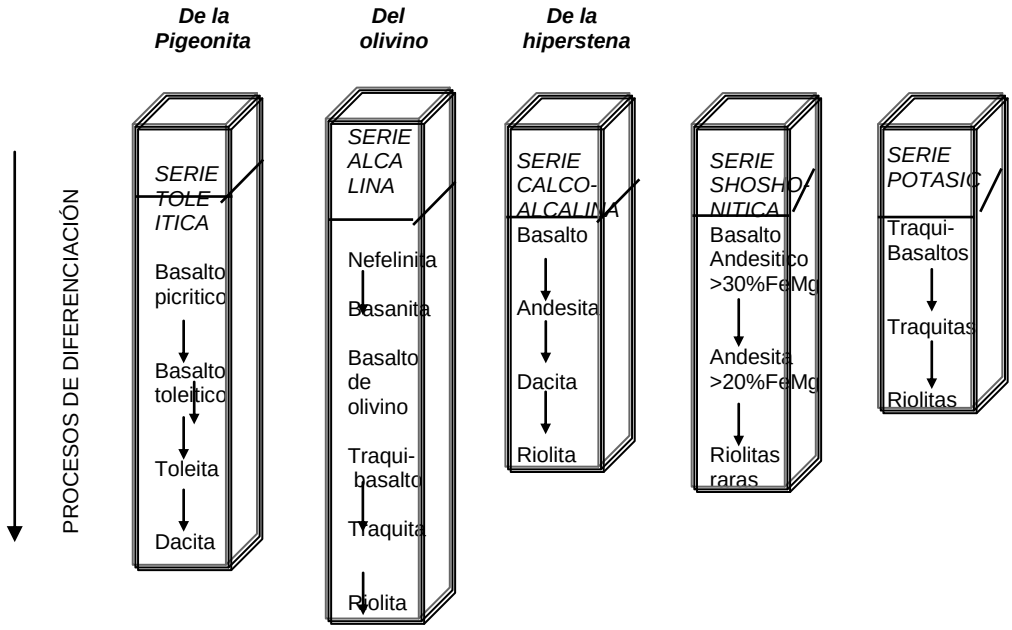


Fig. 113 Las series magmáticas, Procesos de diferenciación

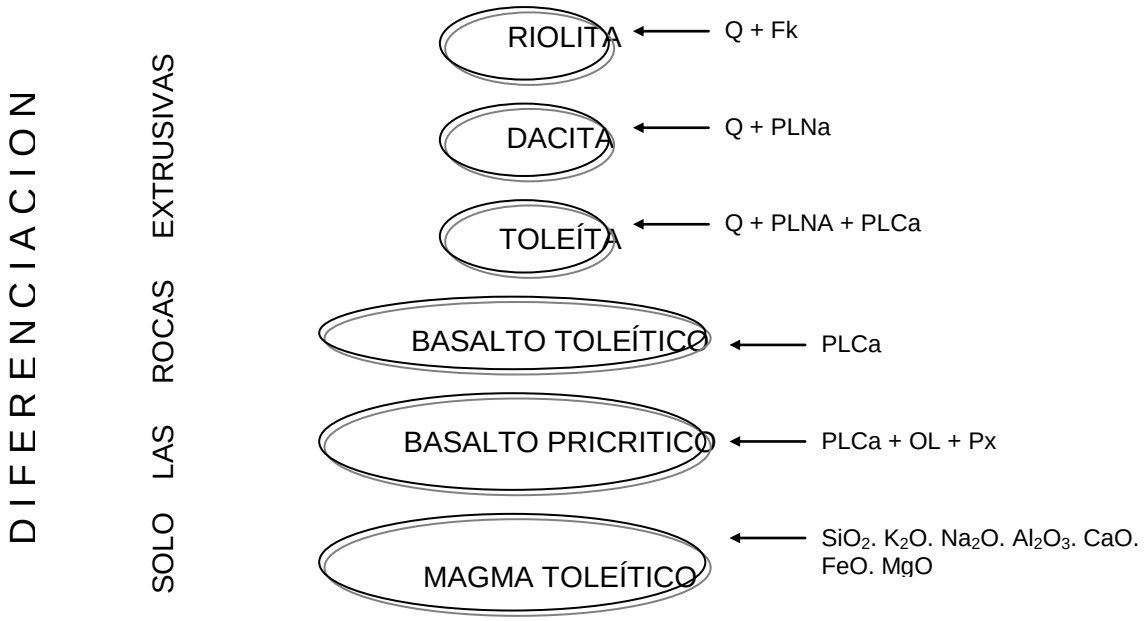


Figura 113

Clasificacion general de las rocas volcanicas comunes . La lineas que unen los recuadros indican las asociaciones principales.

Figura 114.

CAPITULO 5

ACTIVIDAD ÍGNEA Y TECTÓNICA DE PLACAS

5.1 RESUMEN DE LA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

a) las placas que existen son rígidas pero se mueven varios cm. por año
b) Existen: zonas de acreción o distensión (salida de material ígneo)
Zonas de concreción o subducción (entrada de material)
Zonas transformes (no hay salida ni entrada)
c) Existe una renovación constante y proporcional (dorsal – trinchera)
d) La naturaleza del magmatismo depende de su ambiente tectónico

5.1.1 DERIVA CONTINENTAL: EVIDENCIAS (Alfred Wegener 1912)

a) Geométricas
b) Paleoclimáticas (migración de los polos)
c) Paleontológicas
d) Estratigráficas
e) Estructurales
f) Paleomagnéticas
g) Expansión del fondo oceánico
h) Medición del flujo calorífico
i) Determinaciones geocronometricas

Las rocas ígneas no están repartidas al azar en la superficie de la Tierra.

Los volcanes actuales se sitúan casi en su totalidad en las zonas de actividad sísmica, que corresponde en su mayoría a los límites entre las placas.

El magmatismo intra placas es menos frecuente y parece ser una anomalía en el esquema global general.

Hipótesis enunciadas entre 1960 y 1970 a partir de la deriva continental.

Figuras 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, y 127

LA NATURALEZA DEL MAGMATISMO DEPENDE DE SU AMBIENTE TECTÓNICO.

5.2 TIPOS DE MAGMAS SEGÚN SU POSICIÓN TECTÓNICA.

a) Márgenes divergentes: (Rift) Esfuerzos de tensión, cizallamientos, fisuras, flujo térmico (dorsales) magmas basalticos sin plutonismo claro. Márgenes convergentes: (trinchera) Zona de subducción. Esfuerzos de compresión. Generación de montañas plutonismo, vulcanismo, diferenciación magmática ácida e intermedia.
b) Márgenes transformes: Fricción, no presentan tensión, ni compresión. El vulcanismo es escaso o nulo según sea el terreno, oceánico o continental. Fuertes temblores: falla de San Andrés.
c) Arcos de islas: (Paleo trincheras) Zonas de subducción rejuvenecidas. Plutonismo profundo: básico – intermedio.

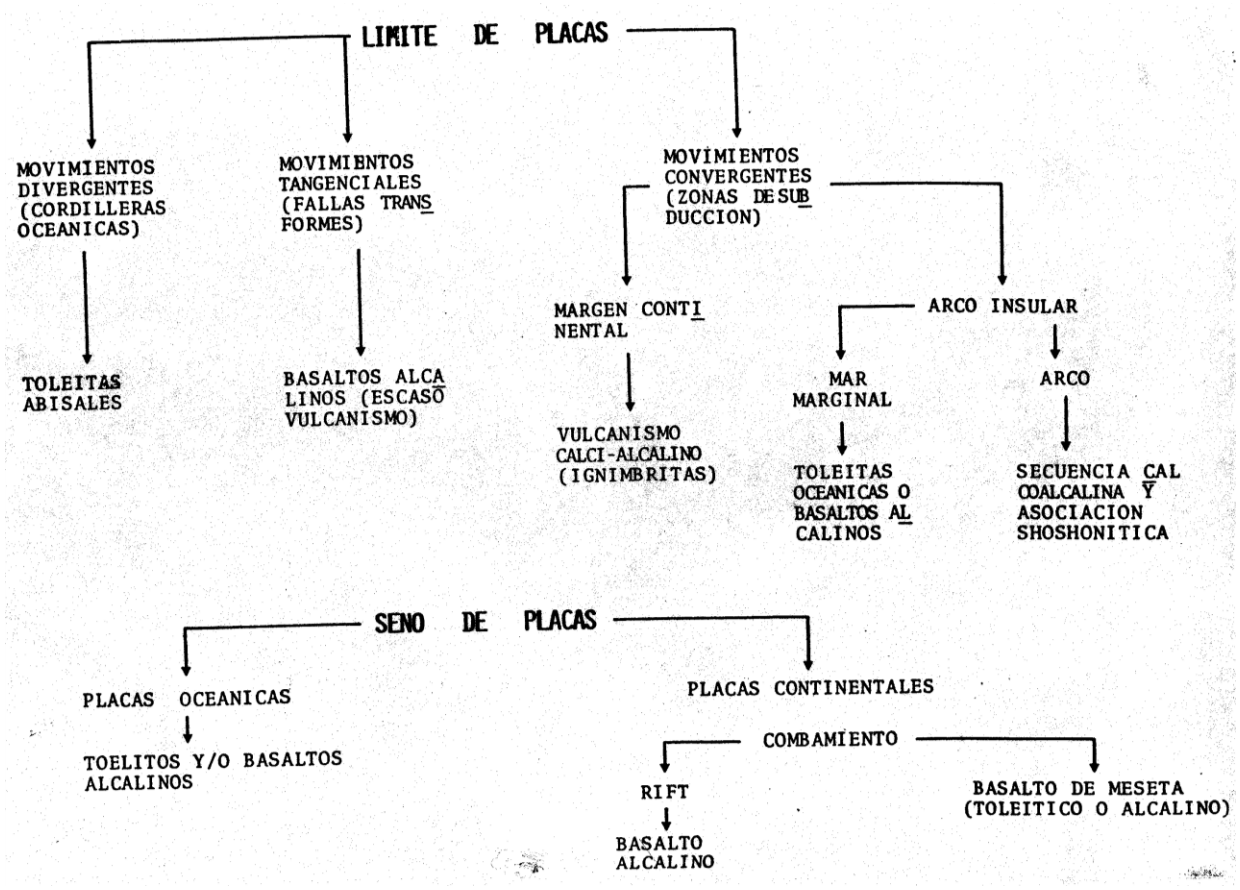


Figura 128

5.2.1 MAGMATISMO EN MÁRGENES DIVERGENTES - DORSALES OCEÁNICAS

La expansión del fondo oceánico implica la creación continua de una corteza oceánica al nivel de las dorsales. Esta corteza (capa 2) está constituida por **TOLEÍTAS ABISALES**, que son basaltos de olivino con las siguientes características:

Empobrecimiento en tierras raras ligeras
Relaciones Sr87/Sr86 bajas, en promedio de 0.7026
Hiperstena normativa
Textura porfídica, con fenocristales de forsterita y plagioclasa cálcica
Flujo térmico abundante
Actividad sísmica poco profunda
Vulcanismo frecuente toleítico
Escasos radioactivos
Ofiolitas (lavas oceánicas complejas)
Material del manto sin contaminar
Cámaras magmáticas de poca profundidad
Su anchura varia de 0.5 a 25 Km.

Existen en la actualidad 60,000 Km. de dorsales
Producen 6.3 Km^3 de lavas

Figuras 129 y 130

5.2.2 MAGMATISMO EN MÁRGENES CONVERGENTES O ZONAS DE SUBDUCCIÓN.

Flujo térmico muy bajo

Actividad sísmica profunda pero gradual; dependiendo de la inclinación del plano de subducción hasta mas de 500 Km.

Volcanismo contaminado y diferenciado según su profundidad de origen.

Las fajas volcánicas están limitadas del lado oceánico por una fosa caracterizada por valores bajos del flujo térmico y por anomalías isostáticas negativas.

Sismos de origen profundo, mayores de 100 Km. Como estos focos tienden a disponerse en un plano inclinado hacia el continente, de acuerdo con su pendiente, la distancia que separa la fosa de los primeros volcanes sería de175±75 Km (Dickinson, 1970).

Las rocas volcánicas pertenecen a las series; Toleitica, calco alcalina y alcalina según se van adentrando en el continente.

Figuras 131, 132 y 133

En cada una de las tres series existen variaciones en composición en una dirección perpendicular al alargamiento de la faja volcánica y en muchos casos hay un paso progresivo de una a otra.

La serie calco alcalina y la subducción. El hecho de que las ignimbritas sean frecuentes en las zonas de subducción y nunca aparezcan en los límites de las placas oceánicas apoya la hipótesis de que gran parte de ellas proviene de la anatexis de la corteza continental. La serie calco alcalina puede constituir un buen trazador de paleo zonas de subducción Sin embargo, cuando la inclinación del plano de Benioff es muy débil, esta serie está ausente. Predominan las andesitas sobre los basaltos pero es mayor el porcentaje de dacitas y riolitas, representadas sobre todo por ignimbritas.

El contenido de SiO_2 es mayor de 60%

Son comunes las andesitas de biotita y hornblenda, a veces con cuarzo, granate y cordierita.

La Serie shoshonítica (o alcalina). Ultimas manifestaciones volcánicas de la zona de subducción cuando la placa es continental. Algunas veces es reemplazada por la serie alcalina. Las shoshonitas son lavas básicas, en su mayoría semejantes a los basaltos calco alcalinos, excepto que su contenido en K_2O es anormalmente elevado y más o menos igual al del Na_2O

LOS BASALTOS Y LAVAS INTERMEDIAS PUEDEN CONTENER BIOTITA, LEUCITA O SANIDINA EN LA MATRIZ

Enriquecimiento en tierras raras ligeras, enriquecidas en Rb, Zr, Ba, Th y U

Sus características geoquímicas señalan que se trata de rocas **menos primitivas** (mas contaminadas) que las de las otras series de las zonas de subducción.

5.2.3 MAGMATISMO EN LAS FALLAS TRANSFORMES

a) Como no hay distensión ni acreción, el volcanismo es muy escaso o nulo. Por lo general no se producen fenómenos volcánicos, aparentemente por la Falta de una componente distensiva.
b) Si llega a existir, será alcalino.
c) Extrusión rápida del magma con poca mezcla o contaminación y escaso fraccionamiento o diferenciación magmática.
e) Son mas ricos en TIO2 (!.5 A 3.0 %) y álcalis (0.1 A 1.0%) Que en las dorsales
f) La ausencia de lavas diferenciadas señala un fraccionamiento débil y una ascensión rápida del magma primario.

Figura 134

5.2.4 MAGMATISMO EN LOS ARCOS INSULARES

a) Magmas toleiticos y calcoalcalinos
b) Los toleiticos son muy semejantes a los de las dorsales oceánicas pero contienen trazas de U.
c) La serie calco alcalina son andesitas de augita e hiperstena en estrato volcanes con fragmentos de roca granítica del sub. estrato.
d) Contenido en SiO2 entre 45 y 70 %, con predominio del 53 % (andesitas basálticas) en contraste con el de la serie calco alcalina, en donde el tipo más común es la andesita.
e) Bajo contenido de K2O (de 0.2 A 1 %)
f) Relaciones iniciales Sr87/Sr86, del orden de 0.703 a 0.704, ligeramente mayores que las de las toleítas abisales
h) Bajo contenido de Tierras raras

La serie calco alcalina de los arcos insulares
El tipo petrográfico más frecuente es la andesita de orto y clinopiroxeno
El SIO2 es de 50 a 66 %
Alto contenido en Al2O3, entre 17 y 18 %
K2O entre 0.5% (BASALTOS) y 1.0 a 1.5 % (ANDESITAS)
ENRIQUECIMIENTO EN TIERRAS RARAS LIGERAS

Figura 135

5.2.5 MAGMATISMO EN EL INTERIOR DE LAS PLACAS OCEANICAS

1.- Es alcalino
2.- Es producto de los “ Hot Points”
3.-Hay variación regular en las edades de las lavas de un mismo alineamiento volcánico.

Morgan (1972) demostró que sobre un mismo alineamiento volcánico las lavas presentan una variación regular en edad.

Por ejemplo, la Cordillera Emperador-Hawai, cuya edad varía entre 75 ma. al nivel de la fosa de las Aleutianas hasta 0 en la isla de Hawai, en donde el vulcanismo es activo, la relación:

$$dl/dt = 7\ 200km / 75\ m.a. = 7\ 200 \times 10^5 / 75 \times 10^6 = 10\ cm\ /año$$

Es del mismo orden de magnitud que la velocidad de expansión del fondo oceánico calculada para el Pacífico.

Figura 136

5.2.6 MAGMATISMO EN EL INTERIOR DE LAS PLACAS CONTINENTALES

1.- Es alcalino, a veces toleítico
2.- El alcalino esta presente en los rifts (valles de fisura) y en los arqueamientos.
3.- Se deben a un ascenso en la discontinuidad del Moho.
4.- El toleítico puede ser el mismo material alcalino pero contaminado.
5.- Difícil de definir porque un cierto número de volcanes, inclusive alejados de las dorsales, están relacionados con la expansión del fondo oceánico.

THORPE Y SMITH (1975) CONSIDERAN A LAS ISLAS VOLCÁNICAS RECIENTES Y LOS VOLCANES SUBMARINOS QUE ESTAN SITUADOS A MÁS DE 2 000 KM DE LAS DORSALES COMO VULCANISMO INTRAPLACAS .

En el caso de los continentes, Gilluly (1971) propone fijarlo a más de 700 km de la trinchera oceánica

EN EL NE DE ÁFRICA, BAJO LOS MACIZOS VOLCÁNICOS CENOZOICOS, EXISTE UN ABOMBAMIENTO DEL SUBSTRATO, QUE PODRÍA CORRESPONDER A UNA ASCENSIÓN DE LA ASTENOSFERA, A VECES AFECTADO POR GRANDES FISURAS (“RIFTS”) Con **MAGMAS ALCALINOS**

Figura 137.

Sección esquemática de un espolón del manto de la astenosfera subyaciendo un rift continental. Origen de las nefelinitas, carbonatitas y las kimberlitas.

Las lavas del fondo oceánico pertenecen en su mayor parte a la serie alcalina y salvo excepciones el Na >K, El vulcanismo toleítico está subordinado. Su contenido en K, Ti, tierras raras ligeras, así como en elementos incompatibles y radiogénicos es más elevado que en las dorsales.