

Diapositivas (3) : Pórfidos cupríferos

* Generalidades de los sistemas del tipo Pórfido Cuprífero

- Gran volumen de mineralización primaria (hipógena) (sulfuros de Cu-Fe y Fe)
- Asociados, pero no estrictamente restringidos, a roca intrusiva porfírica (granodiorita, Qz-monzonita y pórf. andesítico)

Depósitos Epigenéticos: Mineralización de sulf. hipógenos introducidos en las rocas.

Etapas tardías de la evolución magmética

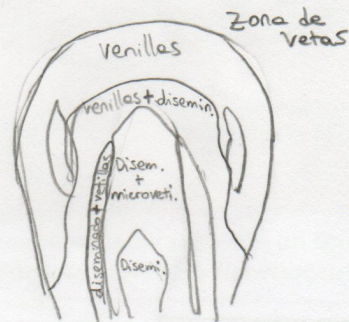
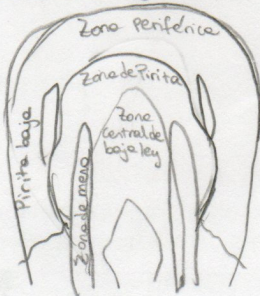
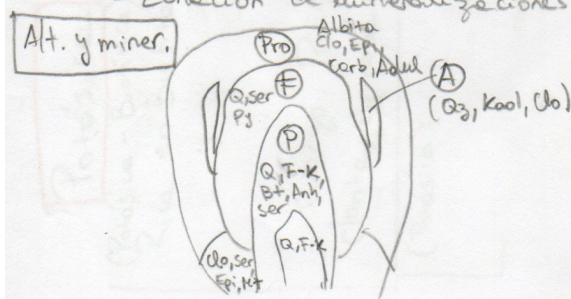
- Asoc. a arcos magmáticos de márgenes continentales
- Asoc. a magmatismo Calcoalcalino de composición intermedia
- Probablemente representan el apogeo en cúpulas de batolitos.
- Alt. hidrotermal penetrativa concéntrica dentro y alrededor del complejo intrusivo.
- Mineralización → Diseminada, vetillas, stockwork → En columnas de brecha
 - Sulfuros de Cu y Fe en halos de alt. hidrotermal
 - En el intrusivo y/o rocas encajadoras
- Sist. de fracturas en porción apical de cuerpo(s) intrusivo(s) y rocas de caja adyacentes.
- Secciones verticales → Tabulares
 - Embudo (muela)
- Diseminación horizontal > Vertical

Depósitos en el mundo (Cu y Fe): Margen continental del cinturón de fuego, Australia, Filipinas, Indonesia, etc.

- Convergencia entre placas → Compresivo (4 sub. ↓) Pórfidos Cu-Fe
 - Extensional (4 sub. ↑) Pórfidos Cu-Au (cuerca trasarco)
- Pórfidos cupríferos → Dep. más importantes de Chile y existen en varias fajas
 - (Ej: Chimborazo, Gabo, Escandida, El Salvador, Río Blanco, Teniente, Andacollo, Domeyko, Sierra Gorda, Antucoya, Punitillas, Cerro Colorado)
- Historia: Bingham Canyon (1º en producción → 1905 - hoy)
 - Morenel (1907 - hoy)
 - Teniente (1906 - hoy)
 - Chugucamata (1915 - hoy)
 - Potrerillos (1926 - 1958)

* Modelo de pórfido Cu de Lowell y Guilbert (1970)

- Relacionado a intrusiones (stocks multifase)
- Sist. hidrotermal activado (por el calor de la intrusión)
- Proc. hidrotermales ⇒ Alt. hidrotermal y mineralización
- Zonación de mineralizaciones y alteraciones

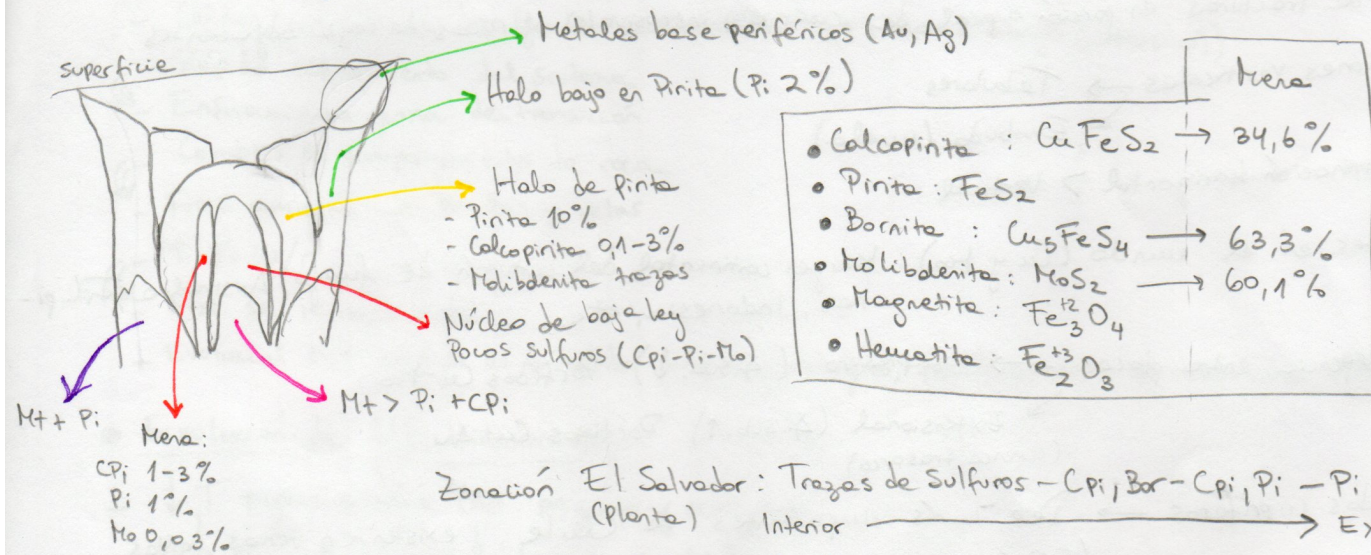


* Estilos de mineralización :

- Diseminada
 - Stockwork
 - En brechas hidrotermales
- NO SON EXCLUYENTES

* Mineralización y alteraciones HIPOGENA

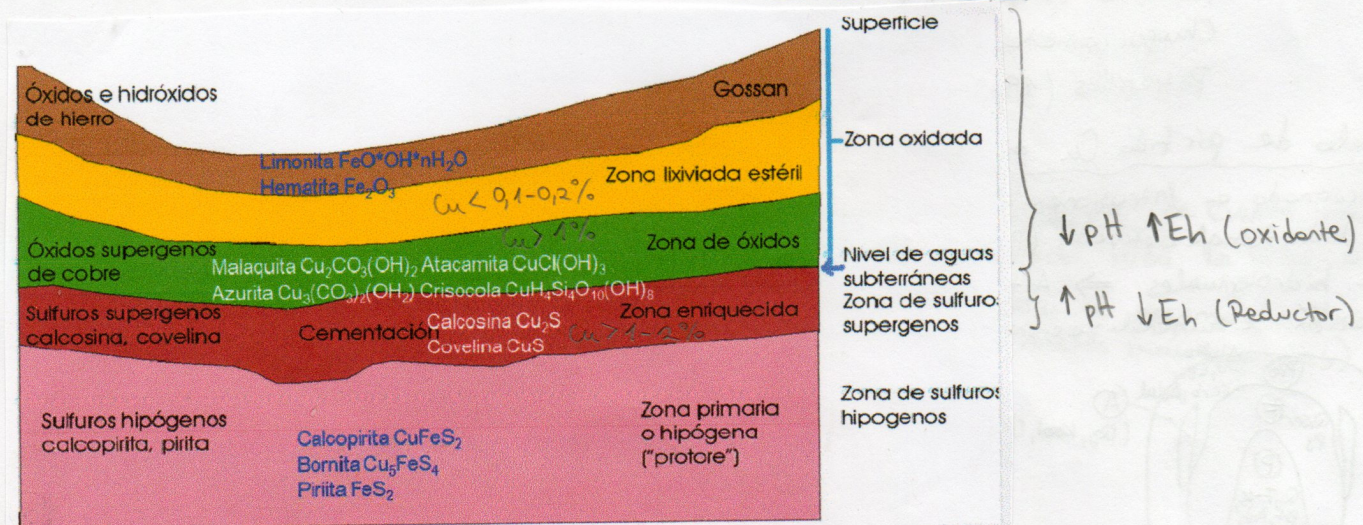
- Sulfuros → 90% : Pirita + Calcopirita
→ 10% : Bornita, Enargita, Tetrahedrita, Trazas de Molibdenita y Esfalerita
- Zonación depende del tipo de roca huésped
- Modelo ideal :
 - Raíz sodica-Calica
 - Núcleos de alt. Potásica
 - Sobrepuesto un halo de alt. Filica
 - Bordes laterales de alt. Argílica
 - Halo externo de alt. Propilítica
 - Sobre estos sist: Zona de alt. Argílica Avanzada
- ▶ - Sulfuros hipógenos:



sist. hidrotermal > cuerpos mineralizados

Esta área depende del nivel de alt.
Que se logre con la roca caja adyacente presente

SUPERGENA (sobreimpuesta)



Perfil de enriquecimiento secundario típico con mineralización hipógena (hidrotermal) de pirita-calcopirita (Ejemplo, asociada a un pórfido cuprífero).

300-550
350-400
Potásica T: 400-800°C pH: neutro a alcalino
(Potásica - Biotita)
Rica en Biotita:

Característicos
Biotita, Feld-K, Magnetita

Asociados
Cuarczo, Pirita, Anhidrita, Actinolita, Sericita, clorita, Epidota

(Potásica)

Característicos
Feld-K

Asociados
Cuarczo, Anhidrita, Albite, Iuscanita, Epidota

Filica T: 100-~600°C pH: 5-6

Característicos
Sericita (Iuscanita-Illita), Cuarczo

Asociados Sls (400-550) (Esmectita (100-200°C))
Pirita, Clorita, Hematita, Anhidrita, Arcillas (Montmorillonita y Ca)

Skarn (calcosilicada) T: Pango amplio pH: neutro a alcalino

Calco:

Característicos
Granates (Andradita, Grossularia), Clinopiroxeno (Diopsido, Hedenbergita), Wollastonita

Asociados
Actinolita, Tremulita, Epidota

Magnésico:

Característicos
Fasfente - Diopsido o Serpentina - Talco

Asociados
Calcoita, Tremulita, Magnetita

Retrogrado:

Característicos
Calcoita, clorita

Asociados
Hematita, Illita-esmectita (arcillas), Montmorillonita

-1

Propilitica T: 200-300°C pH: Neutro a alcalino

280-300

Característicos
Actinolita - Biotita (contacto con K)
Actinolita - Epidota
Epidota - clorita - Carbonatos (200-250°C)
- clorita - Zeditos hidratados

Asociados
Actinolita, Cuarczo, Sericita, Pirita, Arcillas

Argílica moderada T: 150-300°C pH: 4-5
pH con Alunita: 3-4

Característicos
Arcillas: Montmorillonita, Esmectita, Caolinita, Illita

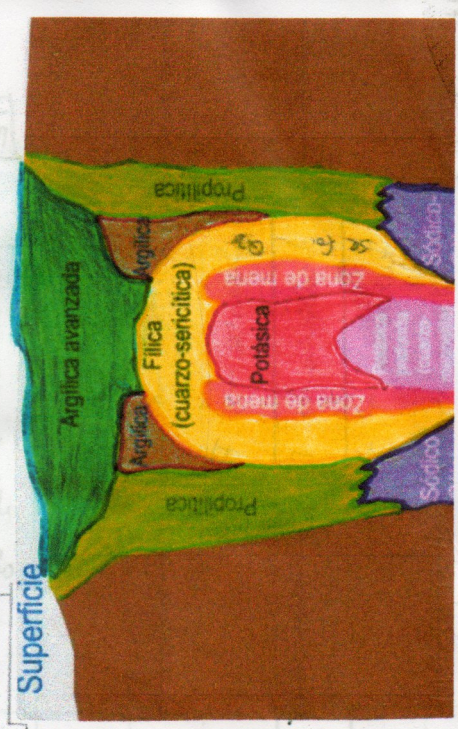
Asociados
Cuarczo, Pirita

-pH

Argílica Avanzada T: Pango Amplio pH: 1-3,5

Característicos
Cuarczo, Caolinita, Alunita (sulfato)

Asociados
Pirita, Pirrofilita, Hematita, Rutilo



Resos atómicas [uma]

Cu = 63,5

Fe = 55,8

S = 32

O = 15,9

H = 1

Cl = 35,4

H₂O = 95,9

Pb = 207,1

Zn = 65,3

As = 74,9

Ti = 47,9

* Ag = 107,8

* Au = 196,9

Minerais		Peso molecular [uma]	Peso atômico elemento de interesse [uma]	% Peso
Sulfuros	Ce			
	Calcofrita → CuFeS ₂	63,5 + 55,8 + 2·32 183,3	63,5	34,6%
	Bornita → Cu ₅ FeS ₄	5·63,5 + 55,8 + 4·32 501,3	5·63,5 = 317,5	63,3%
	Colcofina → Cu ₂ S	2·63,5 + 32 159	2·63,5 = 127	79,8%
	Covelina → CuS	63,5 + 32 95,5	63,5	66,5%
Sulfatos	Brochantita → Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆	4·63,5 + 32 + 10·15,9 + 6·1 451	4·63,5 = 254	56,3%
	Antlerita → Cu ₃ SO ₄ (OH) ₄	3·63,5 + 32 + 8·15,9 + 4·1 353,7	3·63,5 = 190,5	53,8%
	Chalcantita → CuSO ₄ ·5H ₂ O	63,5 + 32 + 9·15,9 + 10·1 248,6	63,5	25,5%
	Cuprita → Cu ₂ O	2·63,5 + 15,9 142,9	2·63,5 = 127	88,8%
Óxidos	Tenarita → CuO	63,5 + 15,9 79,4	63,5	79,9%
	Atacamita → Cu ₂ Cl(OH) ₃	2·63,5 + 35,4 + 3·15,9 + 3·1 213,1	2·63,5 = 127	59,5%
	Aguarita → Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	3·63,5 + 2·12 + 8·15,9 + 2·1 343,7	3·63,5 = 190,5	55,4%
Hidruros	Malapigita → Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	2·63,5 + 12 + 5·15,9 + 2·1 220,5	2·63,5 = 127	57,6%
	Hollanderita → MoS ₂	95,9 + 2·32 159,5	95,9	60,1%
	Galena → PbS	207,1 + 32 239,1	207,1	86,6%
Carbonatos	Blenda → (Zn, Fe)S	65,3 + 32 97,3	65,3	67,1%
	Heulandita → Fe ₂ ⁺³ O ₃	2·55,8 + 3·15,9 159,3	2·55,8 = 111,6	70,0%
	Magnetita → Fe ₃ O ₄ Fe ⁺² 3Fe ⁺³	3·55,8 + 4·15,9 231	3·55,8 = 167,4	72,4%
Hidruros	Pyrita → FeS ₂	55,8 + 2·32 119,8	55,8	46,5%
	Siderita → FeCO ₃	55,8 + 12 + 3·15,9 115,5	55,8	48,3%
	Asenopirita → FeAsS	55,8 + 74,9 + 32 162,7	74,9	46,0%
Hidruros	Stibita → TiO	47,9 + 15,9 63,8	47,9	75,0%
	Crisocola → CuH ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₆			36,2%

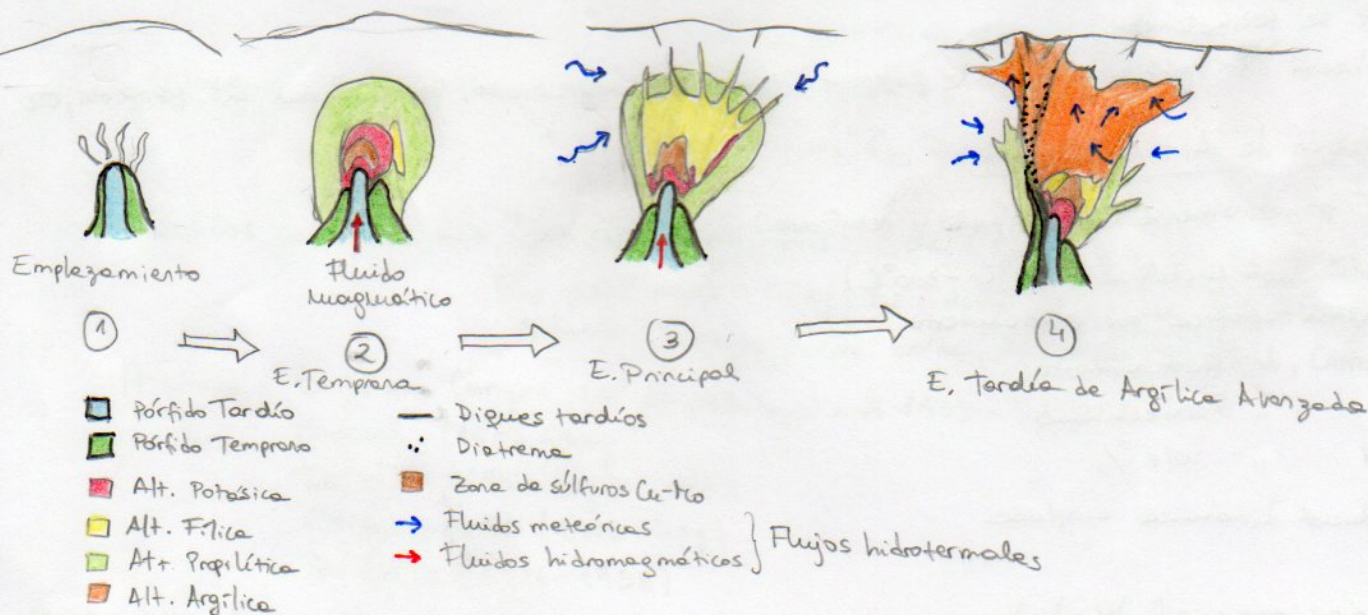
* Procesos de formación:

- Origen netamente magmático - hidrotermal
- Asoc. a emplazamiento multifase de rocas intrusivas de comp. intermedia
- Emplazamiento de rocas ígneas
- Circulación de fluidos hidrot. y mineralización } Asoc. espacial con estructuras

- 1) Particionamiento de la fase hidrotermal desde un magma en cristalización (desvolatilización)
- 2) Segmentación por densidad (se acumula en la apófisis)
- 3) Transporte de fluidos por zonas debilitadas (fracturas, etc.)
- 4) Deposición y mineralización (entrapamiento de mena)
- 5) Simultáneamente existe un dique alimentador que provoca una propagación lateral de rompimiento (propagating crack)

Modelo clásico:

- ① Emplazamiento de complejo intrusivo subvolcánico
- ② Etapa temprana de alteración y mineralización
- ③ Etapa principal de alteración y mineralización
- ④ Etapa tardía Argílica Avanzada



Separación de la fase hidrotermal:

Segunda ebullición (separación por cristalización y diferencia de densidad)

- Magmas silicatados → Incorporación de metales a los minerales formadores de roca
 - a nivel de retículo cristalino.
 - o como cristalización de microinclusiones en éstos
- Roca andesítica calcoalcalina → 20 - 100 ppm Cu
- ↑ % SiO₂ ⇒ ↑ Cristalización de sulfuros ⇒ ↑ Proba. de mineralización metálica
- Secuestro de metales (por el fluido hidrot.) → ANTES de la cristalización de sulfuros ⇒ Fuente de metales (de la incorporación en mxs formadores de roca) Magmas máficos.
- Fase hidrotermal → Hidrosalmuera + Fase vapor
 - ↳ Metales en complejos clorurados

Ascenso y acumulación de fluidos hidrotermales.

- 1) Ascenso hasta 2 - 2,5 km de profundidad
- 2) ↑ Contraste térmico → Frágil
(entre intrusión y roca huésped)
- 3) Roca huésped afectada por sucesivas intrusiones ⇒ ↑T ⇒ Anomalia isotérmica ⇒ Desplazamiento las isotermas hacia la sup.
- 4) 400°C límite Frágil - Dúctil → queda cercana a la superficie
- 5) ↓ Barrera impermeable ⇒ Contención y Acumulación de fluidos en zona apical del sist. intrusivo.

o Comportamiento reológico de roca huésped y acumulación de fluidos hidrotermales

- ↑ Presión y Brechización
- Sellamiento y repetición de eventos
- Celdas convectivas de fluidos meteoricos (↑T hacia abajo (intrusivo))
- Rápido enfriamiento del sistema
- ↳ Enfriamiento zona de transición
- ↳ Cambios en comportamiento de roca
- ↳ Fracturamiento → Vetillas y vetas
- ↳ ↑ % W/r
- ↳ Sist. se retroalimenta
- Evolución sist. pórfido en función de comport. reológico, fracturamiento, permeabilidad, alt. permeab., etc.

o Evolución de Alt. Hidrotermal

- ↓ T progresivamente (Alt. prograde y retrograde)
- Mineralización metálica (400°C - 300°C)
- Evolución reológica por enfriamiento
- " de fracturamiento
- " " Permeabilidad
- " " W/r %
- Evolución dinámica acoplada

Variaciones al Modelo

- Modelo asoc. a procesos magmáticos multifacéticos ⇒ Repetición de eventos uno sobre otro durante toda la vida magmática
- Cambian condi. de permeabilidad en zona de transición ⇒ Permite ascenso de fluidos hidroter. (a niveles más epizodales)
- ↑
Desarrollo de brechas hidrotermales