

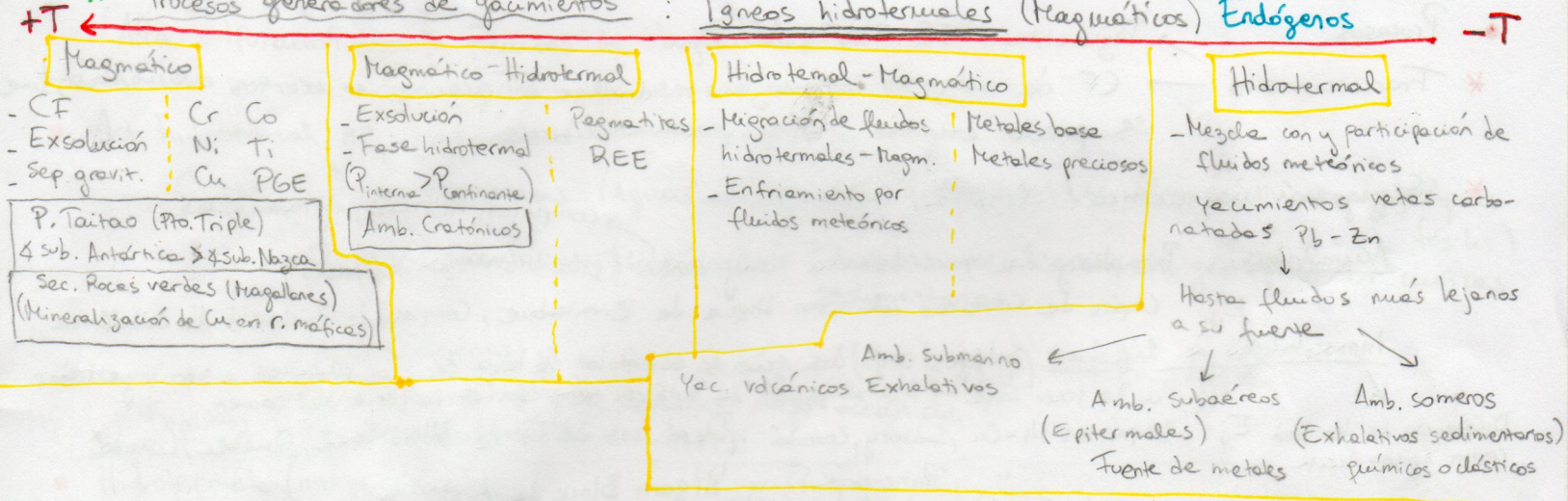
# Diapositivas (7) : Generación de yacimientos

## \* Fuente y tipos de agua en distintos ambientes tectónicos:

- 1) Rifting continental → Meteorica → Valle de Rift
- 2) Cont. - Ocean colisión → Meteorica + Magmatica → Volcanismo de Margen continental
- 3) Ocean - Ocean colisión → Meteorica + Magmatica → Volcanismo de Arco Isla
- 4) Separación de fondo oceánico → Marina + Sedimentaria → Volcanismo de Ridge oceánico
- 5) Cont. - Cont. colisión → Metamórfica + Sedimentaria → Zona metamórfica y cuenca sedimentaria

Aguas → Transferencia de calor por magmas en corteza inferior y por aguas en corteza superior

## \* Procesos generadores de yacimientos : Igneos hidrotermales (Magmáticos) Endógenos



\* **Magma:** Masa silicatada fundida que al cristalizar origina rocas intrusivas o volcánicas. Sist. multicomponente de sustancias en estado líquido (predominante), gaseoso y sólido.

- Líquido: soluciones aluminosilicatadas,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , entre otros.
- Sólido: Olivinos, Piroxenos, Plagioclasas y otros, diseminados en el líquido
- Gaseoso: Agua principalmente y, en menor relación,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3$ , etc.

\* **Magmas toleíticos:**  $\downarrow \text{K} - 53\% \text{SiO}_2 \parallel +63\% \Rightarrow \text{SiO}_2$  se satura  $\Rightarrow$  Cristaliza  $\text{O}_3$  libre  
 $\therefore$  Andesita con  $\text{O}_3 \Rightarrow$  hubo ALT. hidrotermal

**Ambientes:** Centros de expansión oceánicos, dorsales oceánicas, Arcos insulares jóvenes

**Tipo de magma:** lavas basálticas o andesíticas-basálticas

**Procesos:** Fraccionamiento entre tipos de lava

**Yacimientos:** Cromita - PGM, Bushveld, Sudáfrica / Pirrotina - Petlandita - Calcopirita, Sudbury, Ontario  
Magnetita - Ilmenita - (Vanadinita), Lago Stanford, EEUU; entre otros.

\* **Magmas calcocalcálicos:**  $\text{K}_2\text{O} > 0,3\%$   $\uparrow \text{K} \Rightarrow \uparrow \text{Si}$  (Arcos)

**Ambientes:** Zonas de subducción, Arcos insulares maduros, Márgenes continentales (mayor reciclaje).

**Tipos de magmas:** Gabro a granito o basalto a riolita. Lavas andesíticas en los arcos ls. maduros. ( $\sim 59\% \text{SiO}_2$ ). Andesitas o Diorita, Dacita o Granodiorita y riolita o granito en márg. cont.

**Procesos:** Fusión parcial de la cuña del manto y, en menor medida, de corteza oceánica.

Arcos insulares maduros → Poca interacción ascendente.

Margen cont. → Mayor o menor interacción y asimilación de corteza cont. inferior.

**Yacimientos:** Poífidos Cupríferos, skarns, estratoligados, epitermales, entre otros. (Ej. Margen Andino)

\* Magma Alcalinos:  $\% \text{SiO}_2 < \% \text{Na}_2\text{O} + \% \text{K}_2\text{O}$

Ambientes: Zonas de rifting intracontinental, Zonas de fallas transformacionales, Trasarcos de márg. cont.  
(Amb. escudos antiguos (cratónicos))

Tipos de magma: Zonas orogénicas  $\rightarrow$  Shoshonitas  
Zonas cratónicas  $\rightarrow$  Sienitas  $\rightarrow$  Rocas peralcalinas (cratones, kimberlitas y lamprófitos y carbonatitas)

Procesos: Fraccionamiento (CF)

Yacimientos: Apatito - Magnetita, Sokli, Finlandia / Apatito - Titanita, Izosero, Rusia / Magnetita - Apatito - Actinidita, Kiruna, Suecia / Casiterita - Wolframita, Jos, Nigeria / Diamantes, Sudafrica

• Procesos  $\rightarrow$  Pegmatitas; REE, Th, Ta, Li, Be

\* Fraccionamiento  $\rightarrow$  CF de magmas  $\Rightarrow$  magmas residuales enriquecidos en ciertos elementos, que se pueden encontrar en fases pneumatolíticas

\* Segregación magmática: Cromita, Sulfuros Ni-Cu  $\rightarrow$  complejos de rocas ultramáficas

Acumulados: Precipitación de mxs de mera muy densos (que cristalizan temprano)

Ej: Capas de Cromitas del Gran Dique de Zimbabwe, Complejo de Bushveld de Sudafrica

Inmiscibilidad de líquidos: Sulfuros u óxidos que se acumulan debajo de los silicatos o son inyectados a la roca caja  $\rightarrow$  cristalización de sulfuros tempranos en la serie de Bowen.

Diferencia de densidad Ej: Depósitos Ni-Cu, Sudbury, Canadá. Depósitos de Ti de Allard Lake, Quebec, Canadá.  
como Agua-Aceite

" " , Pechenga R.F. y Yilgarn Block de Australia  
Dep. de Fe, Copiapo y Atecoma.

Metamórficos Endógenos

• Regional  $\rightarrow$  Zonas de cizalla (fallas mayores)  $\Rightarrow$  Bombeo tectónico  
(480°-500°C)  $\rightarrow$  circulación de fluidos

Ambiente: Facies Eclogita y Anfibolita  $\rightarrow$  Precipitación en facie Esquistos verdes  
Fajas plegadas y corrientes y trasarco

Yacimientos: Vetas "mesotermales" de Cuarzo-Oro; Oro en zonas de cizalla; Depósitos diseminados de Ni en rocas ultramáficas.

• Contacto  $\rightarrow$  Metasomatismo  $\Rightarrow$  Alt. hidrotermal  $\Rightarrow$  Reemplazo  $\Rightarrow$  Skarn  
(Sist. abierto)

Ambiente: Rocas calizas adyacentes a intrusión

(calizas  $\rightarrow$  Mxs calco-silicatados)  
caliza  $\rightarrow$  Granate, Px, Epidota

Yacimientos: Distrito San Antonio, NE de La Serena / Dep. de Magnetita de Iron Spring, USA / Dep. de Talco de Luzenac, Francia.

Minerales: Tungsteno, Cu, Zn, Pb, Au, Sn, Fe

intrusivo  $\rightarrow$  más lejos

Ambos: Minerales industriales

Yacimientos: Dep. de Andalusita de Transvaal, Sudafrica / Dep. de Granate de N.Y., USA / Asbesto, Canadá.

## Hidrotérmales Endógenos

A medida que una cámara magmática crece, se junta fluido en la zona apical, hasta que su presión supera la confinante.  
(Mayor contraste T) (se desplazan las isotermas hacia la superficie)

★ Frágil → Dúctil → Acumulaciones de fluidos magmáticos (pulsos magmáticos)  
(~400°C) → límite de la isoterma que marca la zona de transición de frágil a dúctil → Barrera impermeable → contiene y acumula fluidos hidrot. en la zona apical del sist. intrus.  
Yac. Tipo Skarn → vetas → llega a la superficie y forma un yac. epitermal

Alta sulfuración ⇒ Fluidos de bajo transporte

### • Act. hidrotermal no magmática

Origen: Aguas connatas (Aguas subterráneas atrapadas (se bloqueó su recarga): Aguas fósiles)  
- O Aguas connatas + Meteóricas → Calentadas por el gradiente geotérmico en cuencas sedimentarias

- Aguas marinas en el fondo oceánico ( $\downarrow T$ ;  $\downarrow O_2$ ) → Cu, Au, Zn  
En zonas de rift de dorsales meso oceánicas

Depósitos: Pb-Zn-fluorita-Borita (MVT)

### • Hidrotermal (magmática)

Amb. tectónico  
Caract. estructurales  
Fluidos hidrotermales

fuelle  
Transporte (sol. ac.)  
Deposición  
Concentración

Exsolución:

% H<sub>2</sub>O magma  
~3%  
(Monzonita cuarzf.)  
~4%

Profundidad exsolución

~3,5 km

~4,5 km

Se gatilla la cristalización temprana (equigranular, forerit, etc.)

Magma félsico de 1 km<sup>3</sup> → Exsuelve ~100 m<sup>3</sup>

Ej. yacimientos (Chile): Pórfidos cupríferos Chuquibambilla, El Teniente, La Escondida, etc.  
Vetas de Au, Ag y Cu de El Indio  
Estratoligados de Cu

## Sedimentarios Exógenos

- Autoctonos: Precip. química in situ (ej: amb. evaporíticos, fondo oceánico (calizas), Fe y Mg sedimentarios)
- Alóctonos: Clásticos (ej: Arenas y gravas; dep. de placeres (Au, Sn, Ti, diamantes, etc.))

## Meteorización Exógenos

- Residuales: Descomposición de rocas y lixiviación química ⇒ residuos de óx. e hidróx. → Ej: lateritas Ni, Co, Al
- Supergenos: Oxidación de mineralización sulfurada, lixiviación y enriquecimiento secundario
- Exóticos: Lixiviación por fluidos supergenos y transporte lateral y redeposit. de metales en rxs o sedimentos.

## Superficiales Exógenos

- Exhalativos: Descargas gaseosas o líquidas de volcanes submarinos o subaéreos. (Ej: Sulfuros masivos volcanogénicos, Azufre (isla Java, Indonesia), Sulfataras)

## \* Metalogénesis

Definición: Término derivado del griego "Metaleion" = "mina". Estudio de la génesis de los dep. minerales (metálicos o no metálicos) en relación a su entorno geológico regional, con las variables de espacio-tiempo (4 dimensiones).

También estudia la distribución de los dep. minerales (espacio-tiempo) y analiza los factores que han contribuido al patrón de distrib. de los metales dentro de la parte Sup. de la corteza.

Provincia metalogénica: Área con agrupación de depósitos minerales o por tipos (1 ó más) caract. de depósitos. Además, puede contener más de un episodio de mineraliza.

Época metalogénica: Unidad de tiempo geológico favorable para la deposición de meras o caracterizada por una agrupación particular de dep. minerales. Pudiendo haber varias épocas metalogénicas representadas en una misma área.

Metabotecto: Caract. geológica (estructural, estratigráfica, litológica, geomorfológica, etc.) que ha jugado un rol importante en la concentración de una o más sustancias minerales y ha contribuido a la formación de dep. minerales. Puede combinar espacio-tiempo.

Ej: Orogénesis Andino, Una caldera volcánica, rocas volcánicas jurásicas, falla regional (Domeyko → Eoveno Sup.), Amb. Arco isla → Formación La Negra (dep. estratoligados), etc.

Franja metalogénica: En Chile se ajusta a la definición de Provincia metalogénica. Pero si se considera los Andes como una Provincia dominada por yacimientos epifíricos, lleva a definir en detalle subprovincias o franjas metalogénicas (orientadas N-S).

- Pórfidos de Cu-Mo Super-Gigantes (monstruosos) → 16 yacimientos

Ej: El Teniente, Río Blanco, La Escondida

Mayor parte de la prod. de Cu  
Toda la prod. de Mo

Amb. general Chile: Subducción → Trampas ascendentes → Volcanes → Amb. Hidrotermal

### Metalogénesis en Chile:

#### 1) Paleozoico Superior a Triásico

- Generación del Basamento de los arcos volcánicos del Mioceno, pobremente mineralizado
- Ej: La Escondida hospedada en granitoides del Paleozoico
- Faja de pórfidos de Cu-Mo hacia el Sur en territorio argentino
- Basamento hacia el Sur de Chile no lo conforma el basamento Paleozoico representado por arco volcánico. Diferentes amb. geo.
- Yacimientos: El Loa, Tornosol, Río Frío, San Jorge

#### 2) Jurásico (Amb. extensional)

- Gran ángulo de subducción ⇒ Baja velocidad de subducción
- Arco volcánico extensional, tipo arco isla (subducción cort. oceánica bajo cort. oceánica).
- Cuencas trasarco hasta Argentina
- Amb. de Rift (Aysén → Intrusivos gábricos → Amb. ofiolítico)
- Depósitos de Cu: Estratoligados de Cu (Ag) (caract. de amb. ext.), Vetas Cu (Mt-Act), Vetas Au y Ag

Montos Blancos (yacimiento más grande)

La Negra → Imprinta de Cu ~ 250 ppm  
(5 veces la concentración normal en rocas corticales)

## 1) Cretácico Inferior (Transición: Amb. Extensional a Compresivo)

Amb. Extensional:

Comienzo de separación de placas (África y Sudamericana)

⇒ Disminución de subd. Cretácico Sup.

- Dominio de dep. de Cu
- Estratoligados de Cu (Ag) → En el Norte desaparecen (no se crean yacim. en esta etapa)
- Cu-Au óxidos de Fe → Candelaria \* tipo IOCG → yac. Estratiforme que reemplaza niveles
- Pórfidos Cu-Mo (Au) → Monte Verde \* → Emplazado en rocas volcánicas
- Óxidos Fe-Apatito → Franja ferrífera Cord. Costa entre Atacama y Copiapo
- Vetas Cu-Au
- Skarn Cu, Fe → Por presencia de rocas carbonatadas del trasarco

\* IOCG: Yacimientos tipo Fe-Cu-Au (2° productores de Cu en Chile), tienen como sub-producto el Au.

- Depósitos de sulfuros masivos (rocas volcánicas - sedimentarias) y precipitación de estos cuerpos masivos en la cuenca de trasarco en amb. exhalativo marino

Yacimientos:

Amb. compresivo → yac. Andacollo (pórfido Cu) Epitermal Au-Ag?

## 4) Cretácico Superior - Paleoceno (Transición)

- Vetas mesotermiales (amb. de mayores T (300-400°C) hasta pórfidos) a epitermales de Cu-Au
- Pórfidos Cu-Au
- Vetas Ag
- Evidencias y yacimientos disminuyen drásticamente:

\* Transición:

- Disminución de  $\chi$  de subducción ⇒ Aumento de velocidad de subducción
- ⇒ • La placa Sudamericana (rotación →) se monta sobre la placa de Nazca
- ⇒ • Compresión de todo el margen continental ⇒ Alzamiento ⇒ Cuenca de Trasarco
- ⇒ • Aborto de ambiente extensional desde la región de Aysén y cierre (sutura) ⇒ Amb. de "rocas verdes" (Metamorfismo)
- ⇒ • Engrosamiento de la corteza y alzamiento de ésta.

Término de mineralización en Chile en el Cretácico Superior

## 5) Paleoceno - Eoceno Inferior (Amb. Compresivo)

- Sistema de falla Domeyko SW dextral
  - Perú a lo largo del arco volcánico → Roca huésped: Secuencia de rocas volcánicas y calcáreas ⇒ Skarn Cu y Pórfido cuprífero
  - Pórfidos Cu-Mo → Cerro Colorado; Distrito Sierra Gorda; Distrito Centinela
  - Vetas epitermales Au y Ag → Distrito El Peñón
  - Chimeneas de brechas con matriz de turmalina Cu (Au, W) → Región de Atacama
  - Distrito Los Azules: Profundidad ~ 1500 m → Límite Eoceno Inf. y Oligoceno.
- \* Transpresión → Amb. tipo transtensionales → Canalización de fluidos hidrotermales

## 6) Eoceno Superior - Oligoceno Inferior (Amb. Compresivo)

- Pórfidos de Cu-Mo → A lo largo del sistema de falla de Domeyko (dextral) de un largo de 1.300 km
  - Epitermales de Au → Esta evolucionó hacia un amb. tipo siniestral SE debido a la rotación de la placa Sudamericana con respecto a la placa de Nortea
- La continuidad de la falla de Domeyko hacia el Norte no es evidente.

- Cerca de Chuquibambilla (MNH antes Mansajina) → Más de 1.000 m de profundidad
- Distrito La Escondida (de BHP) → Zaldívar, Chimborazo, ...  
Enriquecimiento secundario, todo lixiviable, 250 m de enriquecimiento secundario. Ahora aumentaron la profundidad y llegaron al hipógeno
- La Fortuna → Yacimiento El Morro (NE Vallenar)

Debilidades corticales del Basamento (Paleozoico) que vienen desde Argentina  
↳ Se intersectan con la orientación de la falla de Domeyko.

\* Esta es la faja de yacimientos más importantes del Norte de Chile y tiene la mayor concentración de Cu conocida en el mundo.

- Yacimientos:

- ## 7) Mioceno - Plioceno (Amb. Compresivo)
- Franja de yac. Epitermales Au-Ag (Cu)
  - Epitermales Au-Ag (Cu) → Techo de yac. tipo pórfido cuprífero → ~ 1.500 m profundidad  
→ Franja de El Indio (~ 500 m de profundidad)
  - Pórfidos Cu-Mo → Franja del Mioceno → Las Vizcachas → Expresión aurífera más alta
  - Pórfidos Au → Franja Maripunga (Este de Copiapó)
- Cerro Casale → 1000 m más arriba yacimiento epitermal en vetillas (~ 1.500 m profundidad)

## 8) Alzamiento fuerte de la Cordillera Principal

Ambiente extensional:

