

Yacimientos Minerales

BLOQUE II. GÉNESIS DE YACIMIENTOS MINERALES

Yacimientos magmáticos

Yacimientos hidrotermales



Gema Fernández Maroto

Departamento de Ciencias de la
Tierra Y Física de La Materia
Condensada

Este material se publica con licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



YACIMIENTOS MINERALES

YACIMIENTOS MAGMÁTICOS

Procesos de formación de Yacimientos Minerales

- No existe un **proceso único** para la formación de depósitos minerales
- Distintos modelos
- **Modelo de yacimiento mineral**: imagen que nos formamos de un depósito mineral o de un grupo de yacimientos de características similares, tratando de facilitar la comprensión de los mismos.
- En un mismo yacimiento pueden superponerse **varios procesos mineralizadores** separados por un tiempo geológico considerable.

**Uno de los principales procesos de formación de yacimientos
son las mineralizaciones que se generan directamente del
MAGMA**



PROCESOS IGNEOS EN LA FORMACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Magma: fusión de **silicatos y óxidos** (90-95%), con hasta un 10% de **elementos volátiles** (H_2O) disueltos que proceden del manto o se forman en las zonas de subducción.

Constituyentes volátiles: H_2O , H_2S , HCl , HF , CO , CO_2 , cloruros y fluoruros de metales pesados....Cuyos puntos de fusión y ebullición son considerablemente más bajos que las temperaturas de fusión de los silicatos y óxidos, permanecen disueltos en el fundido.

Mineralizaciones.

- Directamente de magma
- Consecuencia de la evolución del magma

PROCESOS IGNEOS EN LA FORMACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Cuando un magma asciende a zonas superiores de la corteza terrestre, la separación en fracciones de diferente composición se denomina **diferenciación magmática**.

Las causas de esta diferenciación son:

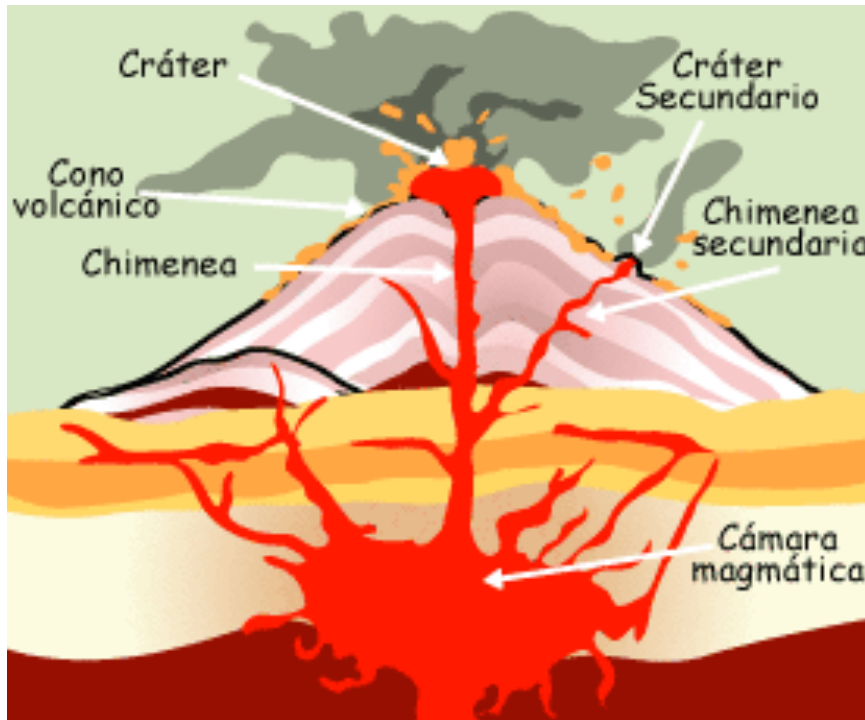
- El campo gravitatorio terrestre
- Los gradientes de presión y temperatura existentes durante el ascenso del magma.

Evolución de los magmas

• DIFERENCIACIÓN MAGMÁTICA:

- **Cristalización fraccionada:** los minerales van solidificando en función de sus puntos de fusión.
- **Diferenciación gravitatoria:** si los minerales que cristalizan son más densos, se irán al fondo de la cámara magmática.
- **Transporte gaseoso:** los gases pueden arrastrar iones hacia la parte superior de la cámara.
- **MEZCLA:** cuando se ponen en contacto dos tipos diferentes de magmas.
- **ASIMILACIÓN:** el magma se contamina por fusión de la roca encajante.

Cámara magmática



Cámara magmática es el espacio ocupado por el magma que en su ascenso hasta la superficie se detiene temporalmente en diferentes niveles de la litosfera.

Las cámaras magmáticas se sitúan a pocos kilómetros de profundidad bajo los volcanes, y en ellas los magmas experimentan procesos de diferenciación. Como consecuencia de este proceso (diferenciación magmática, cristalización fraccionada) en una cámara magmática coexisten la fracción líquida del magma con gases disueltos y la fracción sólida constituida por minerales que han cristalizado al estar sometidos a ambientes (presión y temperatura) diferentes de los de generación del magma.

PROCESOS IGNEOS EN LA FORMACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES

Yacimientos:

- Formados a elevadas presiones y temperaturas.
- Asociados a rocas básicas y ultrabásicas.
- Cromita, diamantes y min. del grupo del Pt.

Los modelos de yac. magmáticos dependen de:

- Quimismo del plutón
- Situación dentro de la CM
- Mecanismo de separación de cristales
- Condiciones f^0 - q^a de formación

ORIGEN Y PROCEDENCIA DE LOS MAGMAS

- **Directamente del manto:** tectónica divergente. Magmas básicos ó ultrabásicos
- **De la zona de subducción:** ácidos (corteza continental), básicos (manto) e intermedios (fricción entre ambas placas).
- **De anatexia:** fusión de rocas sedimentarias. Ácidos, metamorfismo.
- **De mezcla:** asimilación magmática

El magma está en continuo movimiento:

- Corrientes de convección
- Presiones laterales

El enfriamiento se produce **durante largos períodos de tiempo** en los que se modifican **las condiciones físico-químicas** iniciales.

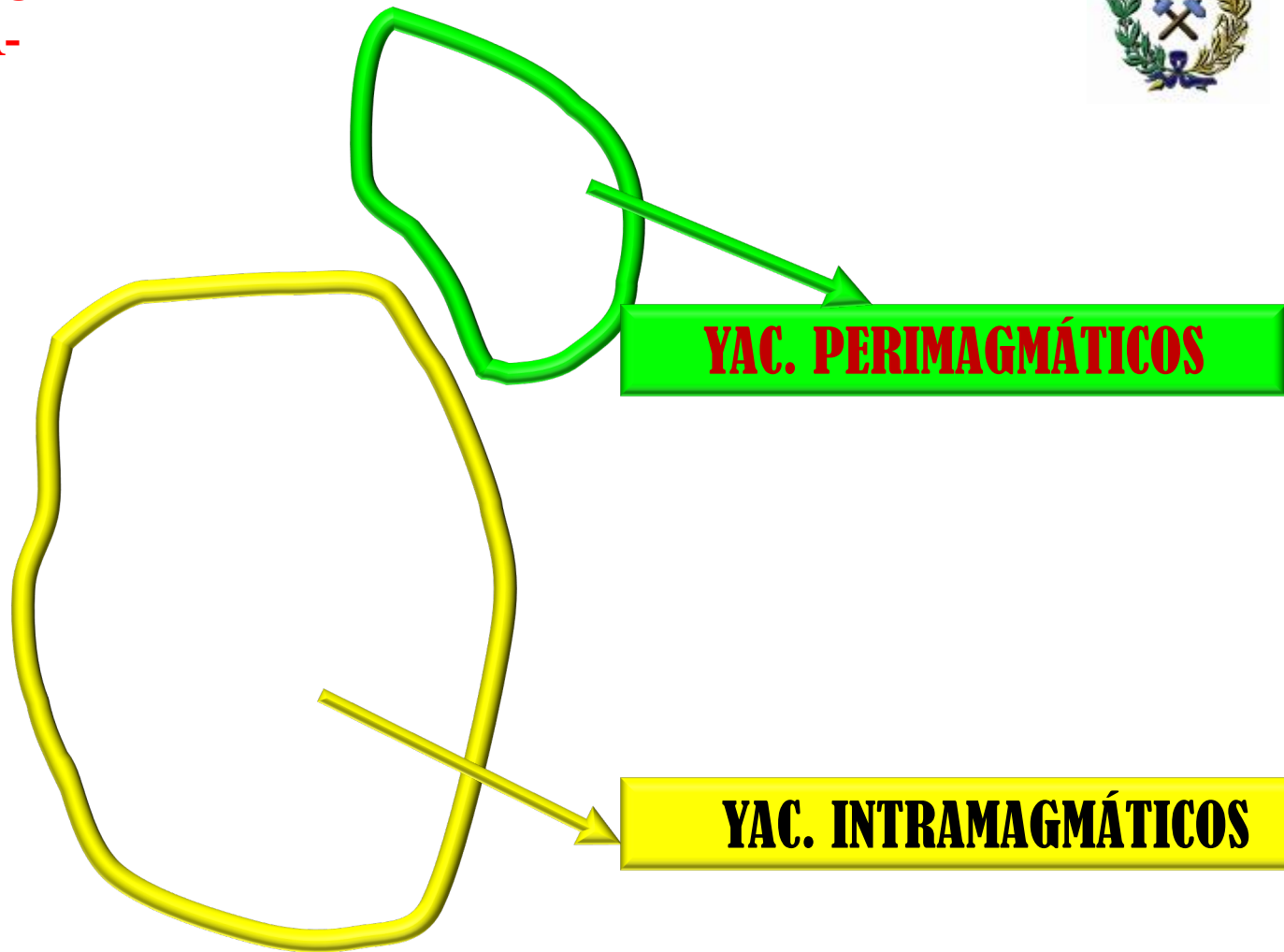
LAS CONCENTRACIONES DE MINERALES METÁLICOS SE FORMAN:

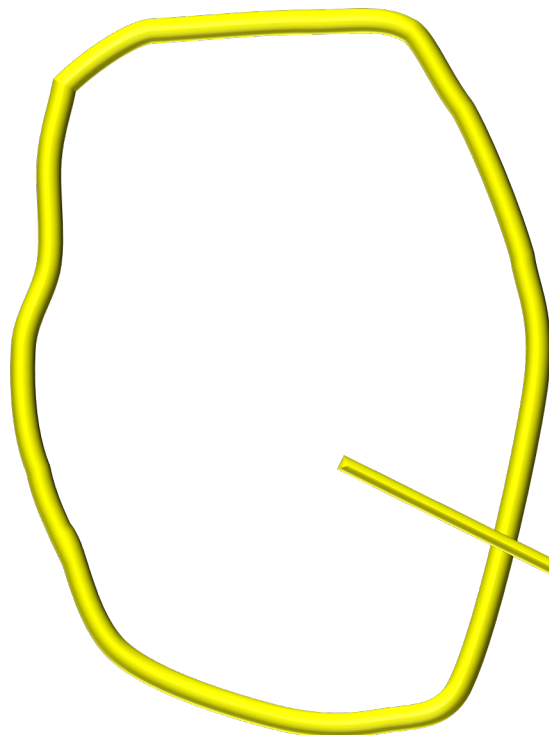
- INTERIOR DE LA CM: **YACIMIENTOS
INTRAMAGMÁTICOS**
 - EXTERIOR DE LA CM: **YACIMIENTOS
PERIMAGMÁTICOS**
- ASOCIADOS A:
- **ROCAS ULTRABÁSICAS**
 - **ROCAS BÁSICAS**
 - **ROCAS INTERMEDIAS**



**PRINCIPALMENTE SE
TRATA DE MINERA-
LIZACIONES DE:**

- Cu
- Ni
- Fe
- Ti
- Cr





YAC. INTRAMAGMÁTICOS

YACIMIENTOS INTRAMAGMÁTICOS

Formados en el interior del plutón, por diferenciación magmática, a elevadas P y T^a.

Minerales “refractarios”: cromita

PROCESOS INTRAMAGMÁTICOS

- CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA
- LÍQUIDOS INMISCIBLES
- PRESIÓN FILTRANTE
- DIFUSIÓN Y CONVECCIÓN

YACIMIENTOS INTRAMAGMÁTICOS

- ORTOMAGMÁTICOS (Niggli)
- LÍQUIDOMAGMÁTICOS
(Schneiderhorn)
- SEGREGACIÓN MAGMÁTICA
(Lingreen)
- MAGMÁTICOS (Park)

Yacimientos Intramagmáticos

Las causas que determinan la diferenciación del magma, son los gradientes de presión y temperatura, movimientos intramagmáticos por ellos condicionados o fuerzas tectónicas.

El descenso de la presión y temperatura provoca la "***crystalización fraccionada***" (separación de minerales individualizados en la mineralogénesis), donde la gravedad terrestre y la viscosidad del fluido, desempeñan un papel fundamental al atraer los minerales individualizados y concentrarlos en el fondo de la cámara.

En un magma simático se separan primero los minerales máficos, bajos en SiO_2 , y con ellos la cromita, los óxidos de hierro y titanio, diamantes y los elementos del grupo del platino.

Yacimientos Intramagmáticos

LÍQUIDOS INMISCIBLES: Durante la formación del magma o en su evolución, se puede producir un enriquecimiento debido a los componentes inmiscibles, tal es el caso del exceso de azufre que produce minerales sulfurados y, una vez saturado el magma, forman un líquido inmiscible que se concentra en forma de pequeñas gotas dispersas. Estas gotas pueden coalescer y segregarse "in situ" o inyectarse, por la presión, en las rocas encajantes.

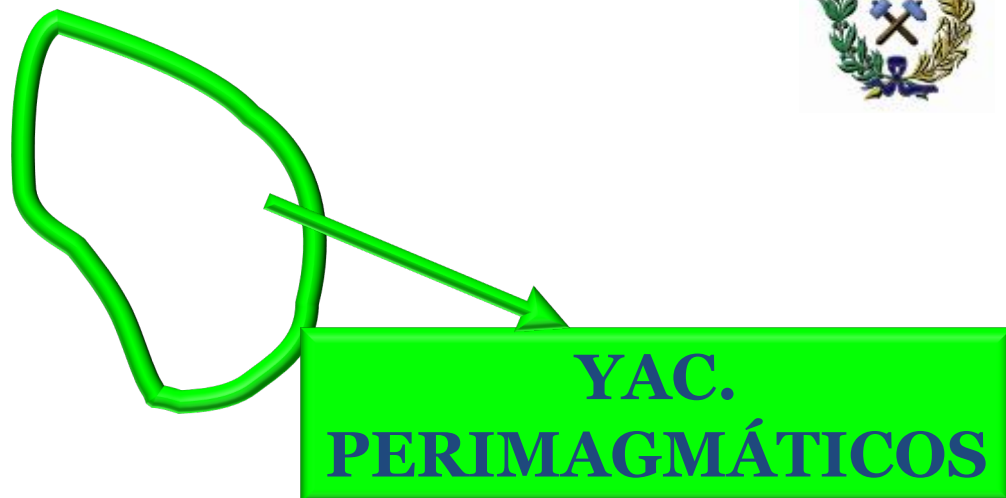
PRESIÓN FILTRANTE: Una variación de la diferenciación por cristalización se produce cuando un magma cristaliza parcialmente y está integrado por cristales del fluido residual. Si el magma se encuentra sujeto a presiones tectónicas, los cristales se acumulan y rellenan con el líquido residual exprimido, formando así fracciones de composición distinta.

DIFUSIÓN Y CONVECCIÓN: En una cámara magmática la cristalización empezará por los bordes del plutón en contacto con las rocas encajantes. La disipación del calor se realiza por difusión, el magma se empobrecerá en los constituyentes de los primeros cristales que se formen, enriqueciéndose de los restantes. Este aumento de la concentración hace que migren los componentes primeramente formados, desde el interior caliente hacia el borde mas frío.

MINERALES METÁLICOS INTRAMAGMÁTICOS

Asociaciones de minerales según afinidad:

- ROCAS ULTRABÁSICAS: Fe-Ti-Cr-Grupo Pt-Ni
- ROCAS BÁSICAS: Fe-Ni-Cu-Co
- ROCAS INTERMEDIAS: Cu-Pb-Zn-U-Co
- ROCAS ÁCIDAS: Au-Ag-As-Sb-Sn-Pb-Zn-Mo.



YACIMIENTOS PERIMAGMÁTICOS

Son los depósitos de mineral que se forman en la parte exterior de la intrusión.

Pueden situarse en los bordes del magma consolidado, o extenderse fuera del mismo en las rocas adyacentes. Los yacimientos perimagmáticos son filones pegmatíticos, hidrotermales, neumatolíticos o intrusiones de magma que se enfría y consolidará rápidamente al tener mayor superficie de difusión del calor y poco volumen de magma. A estas intrusiones magmáticas en fracturas, se las denomina **“diques filonianos”**

YACIMIENTOS PERIMAGMÁTICOS

La mayoría de los minerales metálicos y no metálicos de alto interés económico se encuentran en yacimientos hidrotermales o neumatolíticos. Las intrusiones magmáticas suelen situarse en la corteza terrestre a favor de ***“zonas de cizalla o fractura”***.

Una zona de cizalla se caracteriza por lineamientos, fracturas abiertas con huecos por los que pueden introducirse materiales fundidos o fluidos hidrotermales y neumatolíticos cargados de iones metálicos que se depositan cuando las condiciones físicoquímicas de estos huecos lo permiten, formando las mineralizaciones filonianas perimagmáticas.

Cuando la zona de cizalla es anterior a la mineralización, se crean huecos donde la presión de los materiales circulantes disminuye rápidamente manteniéndose la temperatura. El desequilibrio termodinámico provoca la precipitación de los minerales en texturas porfídicas típicas.

ZONAS DE CIZALLA

Las zonas de cizalla pueden tener desde centenares de kilómetros de largo, kilómetros de ancho (y cortar a escala cortical) hasta solo algunos centímetros de largo por un milímetro de ancho. Las grandes zonas de cizalla pueden mostrar desplazamientos relativos de los bloques de decenas a centenares de kilómetros

INTERÉS DE LAS ZONAS DE CIZALLA

- Anteriores a la mineralización: zonas de disminución de P manteniéndose la T^a.
- Áreas intensamente mineralizadas

LAS PEGMATITAS

Cristalización final de magmas en un ambiente rico en volátiles, que favorecen la migración iónica, y permite la formación de cristales de gran tamaño.

- Diques aprovechando fracturas
- Ligadas a RI

**Textura
Pegmatítica**

- Filones, lenticulares, tabulares
- > Valor comercial son las P. graníticas.

LAS PEGMATITAS

Las pegmatitas son rocas ígneas o metamórficas de grano grueso poco comunes. Se forman aparentemente a partir de las fracciones residuales de magmas ricos en volátiles o durante la removilización metamórfica.

Se encuentran estrechamente ligadas con diferentes rocas intrusivas comogranitos, sienitas, gabros, etc. y constituyen el producto de su diferenciación. Se sitúan en las rocas intrusivas o en las rocas encajantes. La forma de sus cuerpos es de lo más variada: filones, lentillas, cuerpos tabulares, en forma de cigarro, etc. Las pegmatitas graníticas han sido las más estudiadas por ser las de mayor valor comercial.

La “***textura pegmatítica***” es característica, formada por cristales muy gruesos de cuarzo y feldespato. Los grandes cristales (superiores a 1cm) indican que se produce en los estadios finales de cristalización de los granitos

PEGMATITAS

- **HOMOGÉNEAS:** compuestas por Q y feldespatos de grano grueso y mica, uniformes de pared a pared tanto en composición como en textura.
- **HETEROGÉNEAS:** en la periferia del plutón, resultado de un largo y continuo período de cristalización → minerales gigantes

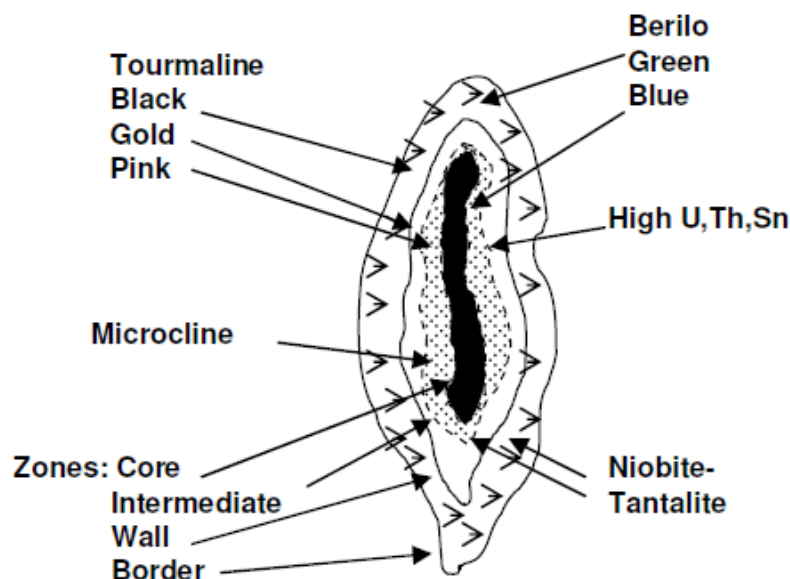


Fig. 26.- Esquema del zonado de una pegmatita (Modificado de Guilbert & Park, 1985).

PEGMATITAS

Los yacimientos de mayor interés comercial son:

- Yac. de cuarzo, feldespatos y micas
- Fluoruros, óxidos, carbonatos, boratos uranatos, silicatos de Zr, Th...
- Minerales de las Tierras Raras
- Minerales Radiactivos
- Minerales de sulfuros metálicos
- Piedras preciosas

CARBONATITAS

Asociaciones
endógenas
de calcita,
dolomita y
otros
carbonatos
relacionados
con cuerpos
intrusivos
complejos de
composición
ultrabásica
alcalina.



Yacimientos de
aprovechamiento
reciente

Características:

Interés comercial : Nb,
Tierras raras, Apatito..

Excepcionales Geol.

Poco abundantes

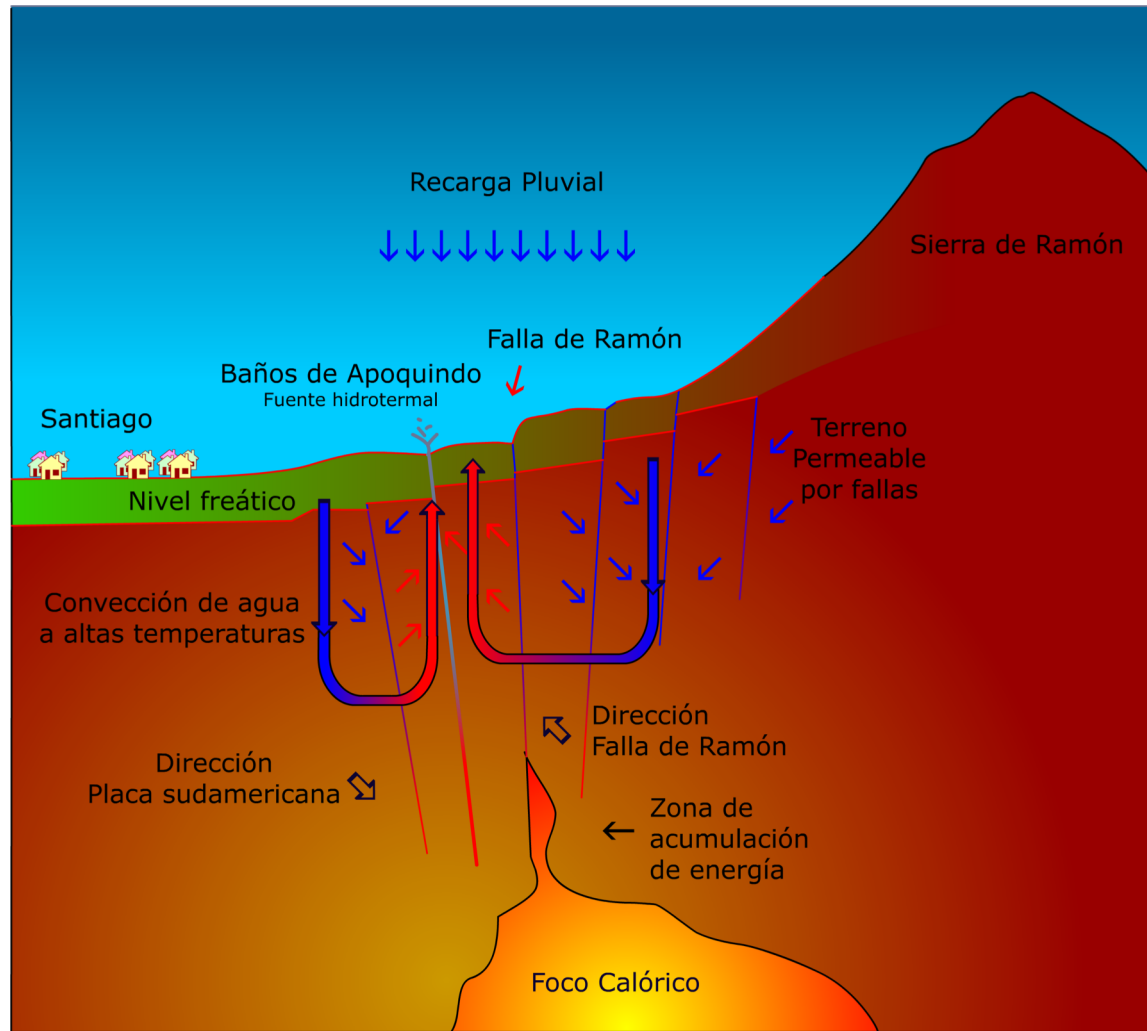
Textura: maciza,
bandeada, nodular

Estructura granular

Formaciones intrusivas
concéntricas

Zonación vertical
ascendente

YACIMIENTOS HIDROTERMALES



“Los **procesos hidrotermales** se definen como los efectos (mecánicos-químicos) producidos con la penetración de soluciones mineralizadoras en la corteza terrestre”. Jensen y Bateman (1981)

PROCESOS HIDROTERMALES

Los **PROCESOS HIDROTERMALES** dan lugar a concentraciones minerales debidas a la **precipitación diferencial de soluciones gaseoso-líquidas calientes** que circulan bajo la superficie terrestre, lo que lleva a la formación de **YACIMIENTOS MINERALES**.

- Depósito de los minerales transportados por los fluidos en las cavidades o huecos que atraviesan.
- Sustitución de los minerales de las rocas encajantes.

Morfología de un yacimiento hidrotermal:

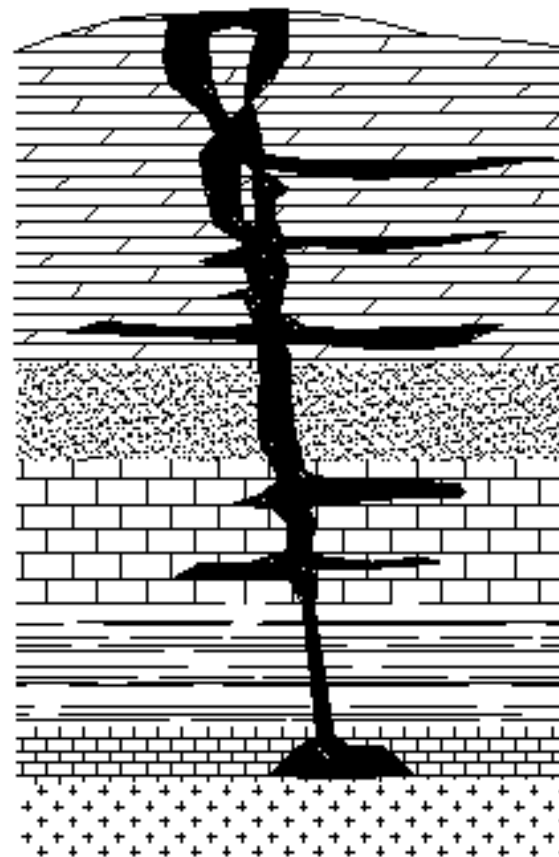
- Cavidad
- Características químicas de las rocas encajantes y su reacción con los fluidos hidrotermales.

Los factores esenciales para la formación de depósitos hidrotermales son:

- Disponibilidad de soluciones mineralizadoras susceptibles de disolver y transportar la materia mineral.
- Presencia de aberturas en las rocas por las cuales puedan canalizarse las soluciones.
- Presencia de lugares con condiciones físicoquímicas aptas para la deposición de los elementos transportados por las soluciones.
- Reacción química cuyo resultado sea la deposición.
- Concentración de mineral suficiente para constituir depósitos explotables.

Yacimientos hidrotermales

Los periodos activos de los sistemas hidrotermales se consideran cortos en términos geológicos, entre diez mil y cien mil años, dependiendo de la permeabilidad de las rocas que atraviesan. A nivel regional la relación de los sistemas convectivos con el incremento de la temperatura se debe más al calor producido por reacciones radiactivas que a focos puntuales de actividad térmica, lo que amplía en gran medida el contexto y las características del sistema a gran escala.



Las soluciones hidrotermales penetran dentro de las fisuras sin desplazamiento (fracturas de distensión) y experimentan cambios químicos al reaccionar con las rocas encajantes, especialmente cuando los fluidos están aún muy calientes.

Origen del Fluido Hidrotermal

- Agua meteórica
- Agua diagenética
- Agua metamórfica y magmática

Las mineralizaciones hidrotermales aparecen asociadas a **multitud de ambientes y procesos geológicos** relacionados con rocas plutónicas, volcánicas y subvolcánicas.

YACIMIENTOS HIDROTERMALES

El estudio geoquímico del agua de las soluciones hidrotermales en el análisis isotópico de las inclusiones fluidas de algunos minerales, permite observar que las variaciones isotópicas entre los fluidos de un mismo cristal son frecuentes, pero entran dentro de un rango que puede ser clasificado con cierta seguridad. La mayor parte del agua de los fluidos hidrotemales es meteórica. Sin embargo, existen procesos hidrotermales con fluidos procedentes de la diferenciación magmática.

Sistemas convectivos:

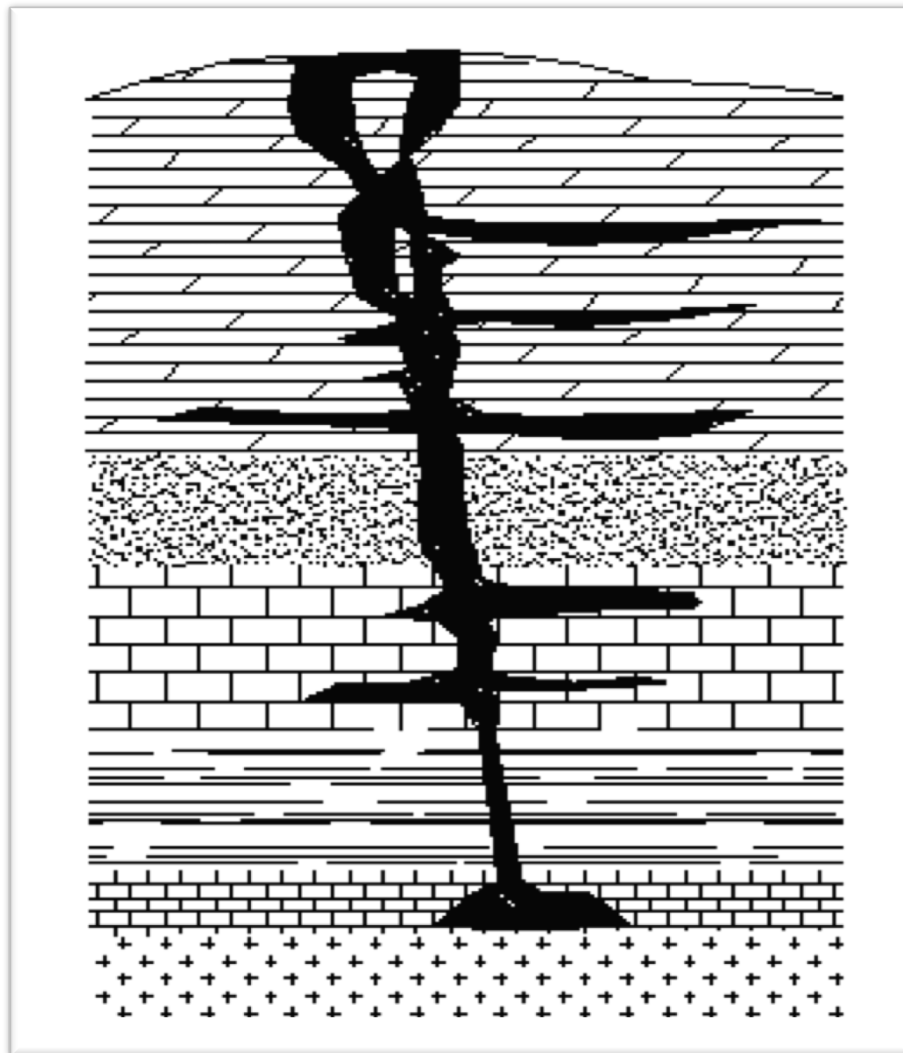
- Focos puntuales de actividad térmica
- Calor producido por la desintegración radiactiva.

Manifestaciones de hidrotermalismo



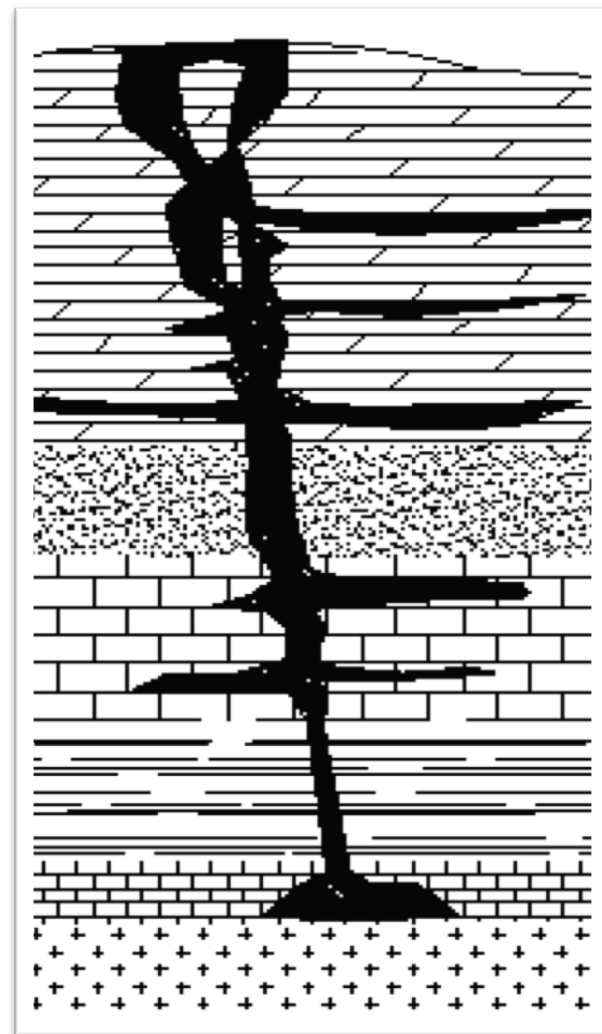
MORFOLOGÍAS DE LOS Y.H.

- DISEMINADAS
- RELLENO DE FRACTURAS
- IRREGULARES

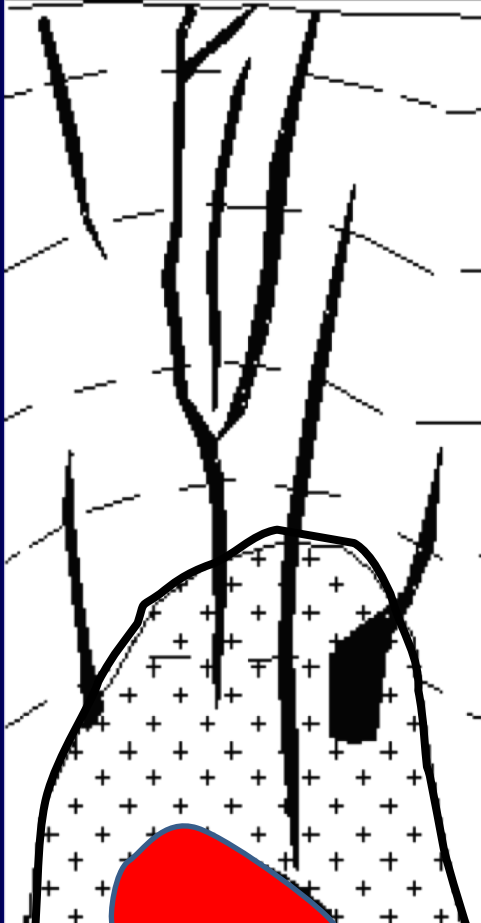


CLASIFICACIÓN DE LOS YAC. HIDROTERMALES, Lindgren(1932)

- **Catatermales o Hipotermiales:** entre 300-500°C, a gran profundidad. Menas de grano grueso. Fuerte alteración de las rocas encajantes.
- **Mesotermiales:** entre 200-300°C. Soluciones con ligera conexión con la superficie. Alteración extensa.
- **Epitermales:** entre 50-200°C, próximos a la superficie. Filones, stockworks y/o chimeneas de brecha.
- **Teletermiales:** menos de 50°C. Medio somero con T^a y P bajas. Escasa a nula alteración de la R.E.



YACIMIENTOS HIDROTERMALES

Zonas de yacimientos hidrotermales y su relación con la profundidad, la temperatura y la posición del batolito.	Clasificación de los yacim. hidrotermales	T. de formación °C.	Profundidad. m.	
	Teletermales	< 50°C	0-300	Galena, Blenda, Marcasita, Calcopirita
	Epitermales	50-200°C	300-1000	Sulfoarseniuros de Ag, telururos de Au y Ag
	Mesotermales	200-300°C	1000-4000	Calcopirita, enargita, galena
	Catatermales	300-500°C	1000-4000	Oro, Wolframita, Pirita, Blenda, Galena, Pirrotina
	Perimagmáticos	500-850°C	1000-10000	
	Intramagmáticos.	>650°C	1000-10000	

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Se entiende como **proceso de alteración hidrotermal** al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal-roca.

Esta interacción conlleva **cambios químicos y mineralógicos** en la roca afectada producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases.

En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerado como un proceso de metasomatismo, ocurriendo transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto.

PROCESOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En la naturaleza se reconocen variados **tipos de alteración hidrotermal**, caracterizados por **asociaciones de minerales específicos**. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros.

Alteración potásica: caracterizada principalmente por feldespato potásico y/o biotita., con minerales accesorios como cuarzo, magnetita, sericita, clorita.

Alteración propilítica: caracterizada principalmente por la asociación clorita-epidota con o sin albita, calcita, pirita, con minerales accesorios como cuarzo-magnetita-illita.

Albitización : normalmente asociado con alteración propilítica de alta temperatura, ocurre por lo general como reemplazo selectivo de plagioclasas junto con actinolita.

Alteración cuarzo-sericita: caracterizada principalmente por cuarzo y sericita con minerales accesorios como clorita, illita y pirita. Filica : dominancia de sericita.

Alteración argílica : caracterizada principalmente por arcillas (caolín) y mayor o menor cuarzo.

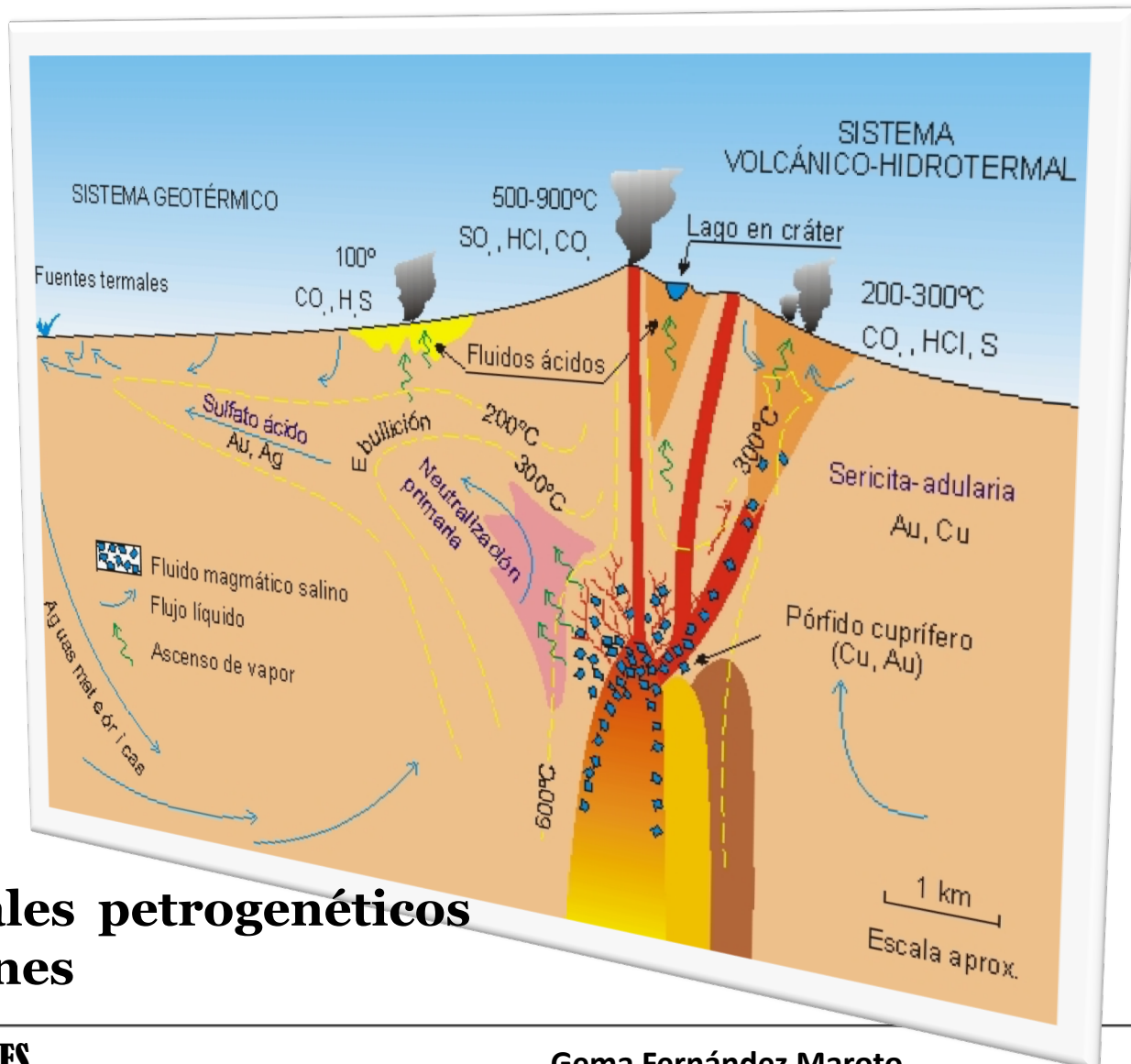
PÓRFIDOS DE METALES BASE

PORPHYRY COPPERS

PÓRFIDOS
CUPRÍFEROS

1905-1910 GRANDES
EXPLORACIONES
DEL SW EEUU →
INCREMENTO
NOTABLE DEL
ABASTECIMIENTO
MUNDIAL DE Cu.

**Sistemas hidrotermales petrogenéticos
de grandes dimensiones**



CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS

Características de los yacimientos porfídicos: Los *"pórfidos de metales base"* se definen como sistemas hidrotermales petrogenéticos de grandes dimensiones. Los tipos de yacimientos más característicos corresponden a los *"pórfidos cupríferos"* ó *"porphyry coppers"*, pero existen también los *"pórfidos de molibdeno"* y *"pórfidos de estaño"*. La extensión de los "pórfidos" ocupa Km³ de la corteza terrestre, con tonelajes superiores a 200 mt (oscilando entre los 100 MTm y 2.000 y 3.000 MTm). Los elementos que se concentran en éste tipo de depósitos son: Cu, Mo, Ag, Au, Pb, Zn y Mn; otros elementos aparecen como trazas: As, Bi, Sn, Rh y Pt. La calcopirita es el mineral hipogénico dominante, existiendo otros minerales importantes como la tetraedrita, tennantita y enargita.

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS

La distribución de la alteración hidrotermal muestra un núcleo de alteración potásica, cubierto sucesivamente por capas concéntricas de alteración filítica, argilítica y propilítica, correspondiendo probablemente a un ambiente de actividad deutérica de las últimas fases del magmatismo. Rodeando, y en parte solapando, la zona de alteración potásica se presenta la capa de alteración filítica en la que los minerales de alteración incluyen cuarzo, sericita, pirita, hidromica, clorita y rutilo; esta zona incluye partes del cuerpo mineralizado, especialmente la mineralización de pirita. En la zona argilítica los minerales dominantes son cuarzo, caolinita y montmorillonita.

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

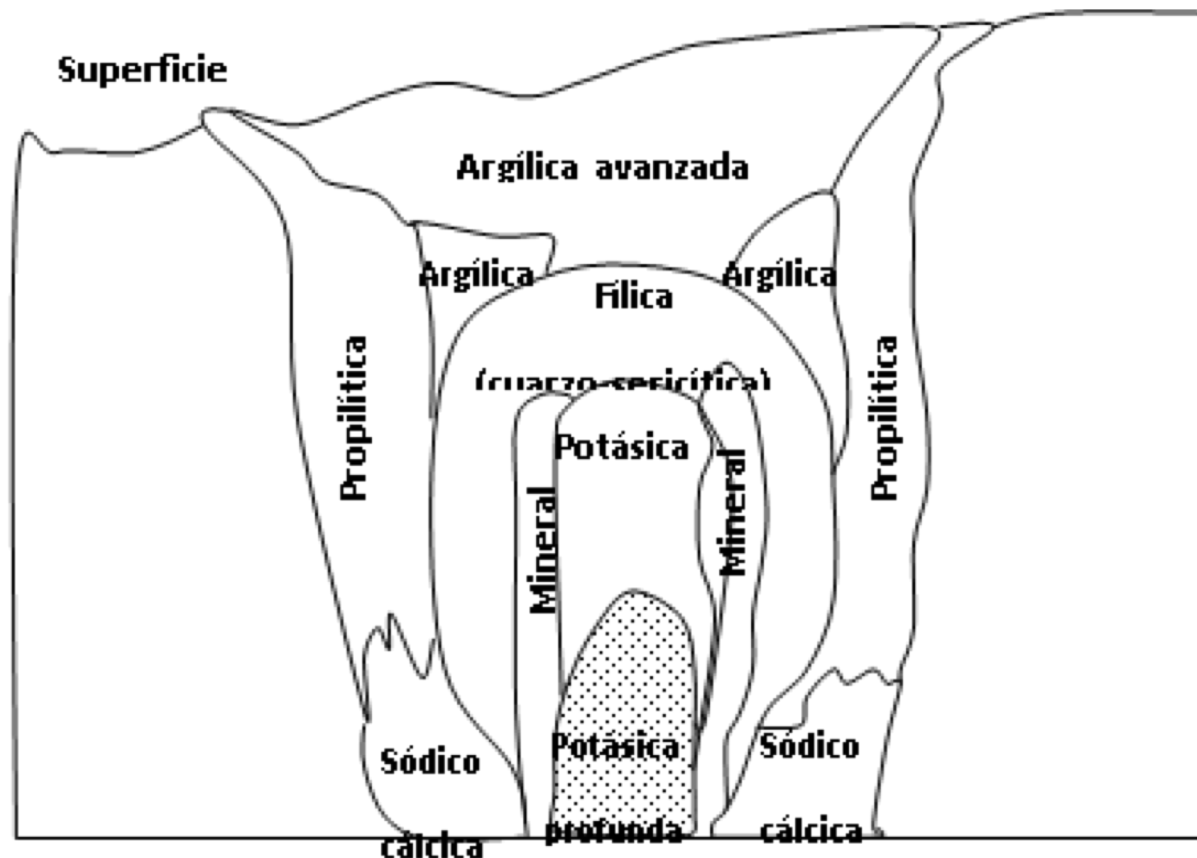
CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS



La zona exterior propilítica se caracteriza por el conjunto de minerales de alteración clorita-epidota-calcita, que reemplazan a anfíboles, biotita y plagioclasas; este tipo de alteración afecta a la mayor parte de la roca. Las zonas de mineralización de sulfuros son concéntricas y coaxiales con las zonas de alteración. La pirita es el mineral más abundante, seguido por la calcopirita, bornita, enargita y molibdenita. Desde el centro del yacimiento hasta el exterior, la secuencia típica de la mineralización es:

- 1) Calcopirita, pirita, bornita y molibdenita.
- 2) Pirita, calcopirita, molibdenita, bornita.
- 3) Pirita, calcopirita.
- 4) Blenda, galena, plata y oro.

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS



Esquema general de una masa de pórfido cuprífero, modelo de yacimiento hidrotermal con los minerales diseminados en cristales individuales o en filoncillos, sin una separación neta entre la mena y la ganga (Modificado de Lowell y Guilbert, 1970).

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS

En la zona más exterior de alteración, los minerales más comunes son blenda, galena, plata, calcopirita, oro y pirita.

En casi todos los yacimientos de cobre porfídico se observa una gradación progresiva en la distribución de los sulfuros:

- Filones en la zona periférica
- Filoncillos en la zona exterior
- Filoncillos y menor cantidad de granos diseminados en la zona intermedia
- Igual cantidad de vetillas y diseminación en la zona interior
- Finalmente predominio de la diseminación en la zona central.

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS

- La mineralización pasa de diseminada en la zona central, a stockwork en las zonas interior e intermedia, a filoniana en la parte exterior.
- En los yacimientos de cobre porfídico los procesos de oxidación y enriquecimiento secundario han jugado un papel de gran importancia, hasta tal punto que en la mayoría de los yacimientos se explota la zona correspondiente a minerales sulfurados cupríferos enriquecidos.

Intrusión y carácter en los pórfidos cupríferos:

- Los "pórfidos cupríferos" están ligados a intrusiones de monzonita, monzonita cuarcífera o pórfido diorítico del mesozoico o principios del terciario.
- Son bolsas de varios centenares de metros de diámetro y de forma irregular que penetran siguiendo las fracturas tectónicas principales.
- Todos ellos han sido denudados por la erosión.
- Las rocas encajantes han sido intensamente alteradas durante la primera fase de la mineralización.
- Mineralogía sencilla: PIRITA, CALCOPIRITA Y BORNITA
- Fuerte oxidación que origina un enriquecimiento secundario

CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS PORFÍDICOS

- Extensiones de km³
- Tonelajes > 200 mTm
- Elementos que se concentran: Cu, Mo, Ag, Au, Pb, Zn y Mn.
- Trazas: As, Bi, Sn, Rh y Pt.
- CALCOPIRITA
- TETRAEDRITA, TENNANTITA Y ENARGITA.
- Morfología muy variada.
- Intrusivos de rocas ígneas intermedio-ácidas → placa oceánica-placa continental. Andes
- Formaciones jóvenes: 40 millones de años

Leyes de metal:

- Cu 0.3 -1.4%
- Mo 0.01- 0.06%
- Au 0 – 0.6%

Génesis de los pórfidos cupríferos:

Estos inmensos depósitos de mineral son el resultado de la intrusión de pórfidos monzoníticos a lo largo de fallas antiguas u otras estructuras débiles. La intrusión se reactivó repetidas veces y los líquidos hidrotermales ascendieron sucesivamente por las mismas vías, produciendo alteraciones y mineralizaciones en diversas etapas. Las soluciones hidrotermales realizaron primero una amplia alteración de las rocas, lo que permitió un aumento de su permeabilidad.

Durante la alteración se eliminó algo de hierro, magnesia y sosa y se añadió potasio y sílice. Se metalizó un gran volumen de roca con minerales, especialmente pirita y calcopirita hasta constituir una mena comercial. La erosión subsiguiente, profunda, y la meteorización de las rocas liberó parte de los minerales primarios.

Génesis de los pórfidos cupríferos:

- 1) Formación de las zonas de **alteración potásica y propilítica**
- 2) Desarrollo de la **alteración fílica** (hacia fuera y arriba)
- 3) Formación de facies de **alteración argílica** en la parte superior del sistema

Mena: Sulfuros primarios en orden de abundancia:

– **Calcopirita:** Es el principal mineral hipógeno de interés económico; CuFeS_2 ; S=35% -Cu=34,5% - Fe=30,5%

– **Bornita:** Presencia variable, de ausente a mena principal; sulfuro de cobre y fierro; Cu_5FeS_4 ,
Cu=63.3% - Fe=11,1% - S=25.6%

– **Calcosina:** Más rara, Cu_2S ; Cu=79,8% - S=20,2%• En algunos yacimientos el contenido de arsénico y antimonio es alto, abundante tenantita, tetrahedrita y enargita.

• Algunos pórfidos están rodeados por zonas externas con mineralización de Pb, Zn, Mn, Ag y Au,

Depósitos de cobre porfídicos



Existen **grandes provincias metalogénicas de pórfidos cupríferos**, entre las que resaltan las de la cadena andina (Chile - Perú principalmente, destacando el **yacimiento de Chuquicamata**) y la del SO de los Estados Unidos.

La mayoría de estos yacimientos son de **edad cenozoica**.

El complejo minero de Chuquicamata está situado a 1650km al N de la capital de Chile





Panorámica de la Mina

Complejo porfídico “Chuqui”:
pórfido E, pórfido O, pórfido
Banco y el Textura Fina

Un sistema de fallas (Oeste) controló la mineralización (31 M.a.) desde la intrusión inicial (36-33 M.a.) hasta la brechificación postmineral.



Chuquicamata (Chile)

Bajo la explotación a cielo abierto, se han cuantificado cerca de 1.700 millones de toneladas en reservas de mineral de cobre (ley 0,7%) y molibdeno (502 ppm), que representan más de 60% de lo explotado en los últimos 90 años.

