

GEOLOGÍA ECONÓMICA

Geología General
Semestre Otoño 2010
Felipe Rabajille P

Geología Económica

La Geología Económica corresponde esencialmente al estudio de depósitos minerales. Esto incluye tanto recursos metálicos, minerales industriales (no metálicos) y también los combustibles

DEFINICIONES BÁSICAS

Ocurrencia Mineral.

Concentración anómala de un mineral que se considera valiosa.

Depósito Mineral.

Es una **ocurrencia mineral** de tamaño y ley suficiente para que en circunstancias favorables, sea considerado con potencial económico.

DEFINICIONES BÁSICAS

Yacimiento.

Depósito mineral que ha sido examinado y ha probado tener suficiente tamaño, ley y accesibilidad, como para ser puesto en producción y ser rentable.

La rentabilidad de un yacimiento depende también de condiciones ajenas al cuerpo mineral, como las tasas de impuesto, precio de metales, etc.

Definiciones Básicas II

Mina.

Corresponde a las labores de explotación de un **yacimiento.**



Minera Escondida

DEFINICIONES BÁSICAS

Recurso Mineral.

Tonelaje o volumen de roca mineralizada de interés económico intrínseco, cuyas leyes, límites y otras características apropiadas están conocidas con cierto grado de certeza.

Reservas Minerales.

Porción o volumen de un **Recurso Mineral** en el que se han efectuado estudios técnicos y económicos.

DEFINICIONES BÁSICAS

Roca de caja.

La roca que rodea al depósito, por ejemplo las rocas a ambos lados de una veta.

Roca huésped.

La roca dentro de la cual se presenta el depósito mineral. Ej. Pórfido Chuqui en Chuquicamata.

DEFINICIONES BÁSICAS

Mena.

Mineral o **minerales** que pueden ser extraídos de una roca con ganancia económica (utilidad).

Ej. Menas de Cu: **Calcopirita** (CuFeS_2), **Bornita** (Cu_5FeS_4), **Calcosina** (Cu_2S).

DEFINICIONES BÁSICAS

Ganga.

Aquellos **minerales** los cuales ocurren con los minerales de mena, pero que no tienen valor económico.

Ej. **Cuarzo** (SiO_2), **Calcita** (CaCO_3) o **Pirita** (FeS_2).

DEFINICIONES BÁSICAS

Ley.

Grado de concentración de un elemento en el cuerpo mineralizado, ya sea mineral o roca.

Ley de Corte.

Grado mínimo de concentración, para que la explotación sea rentable.

DEFINICIONES BÁSICAS

Estéril.

Término minero utilizado para referirse a la roca que no constituye mena explotable, en oposición a rocas mineralizadas.

PROCESOS DE MINERALIZACIÓN

Mineralización.

Se refiere usualmente a procesos formadores de minerales de mena o a minerales asociados que permiten la sobreconcentración de ellos (pirita).

TIPOS DE MINERALIZACIÓN

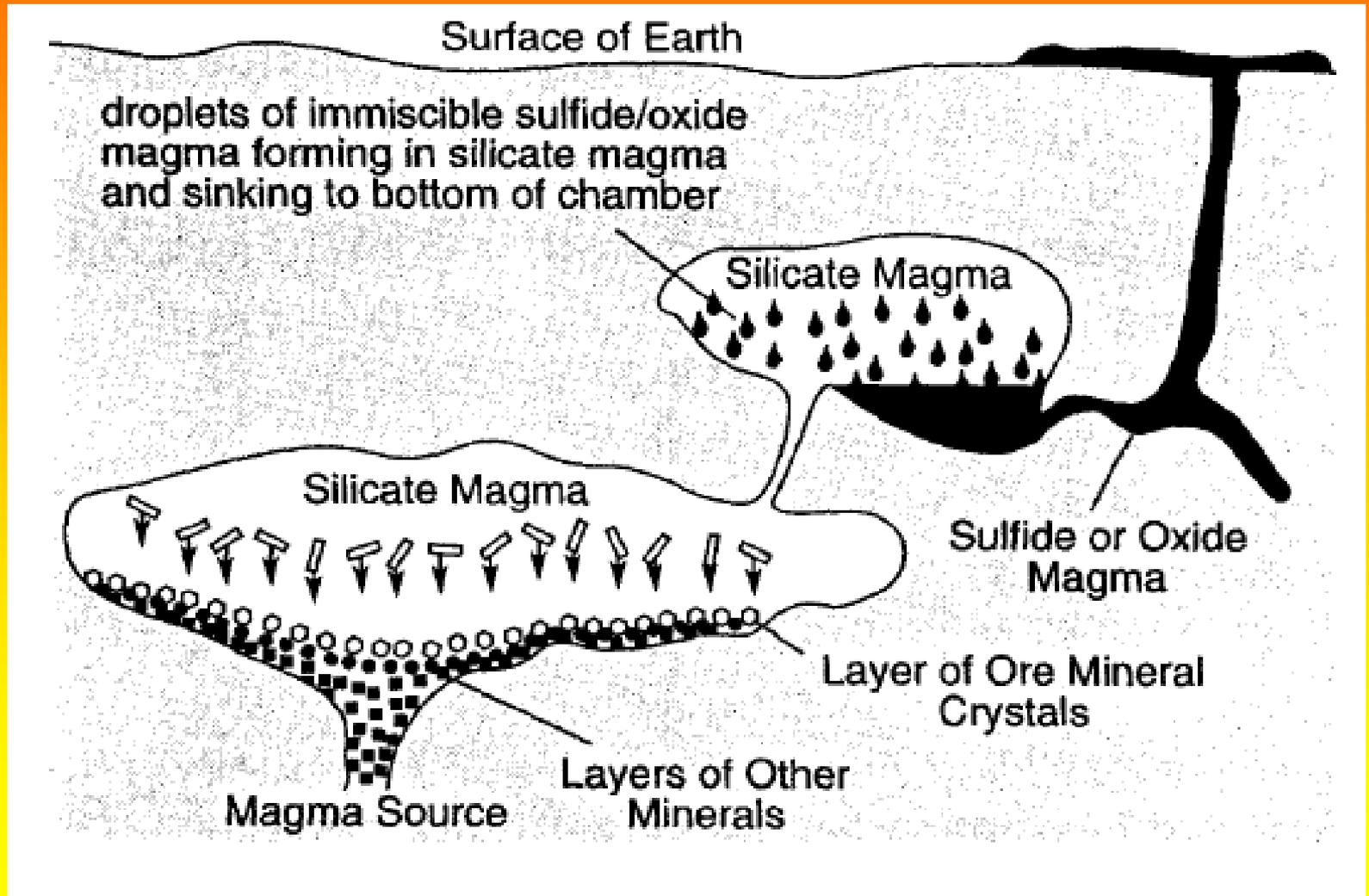
1 Hipógena o Primaria.

Mineralización endógena, es decir producida por procesos internos de la tierra.

1 Hipógena o Primaria.

- Magmáticos: Cristalización
 Segregación
 Fraccionamiento
- Metamórficos: Regionales
 Contacto
- Hidrotermales: Pórfidos

Magmáticos

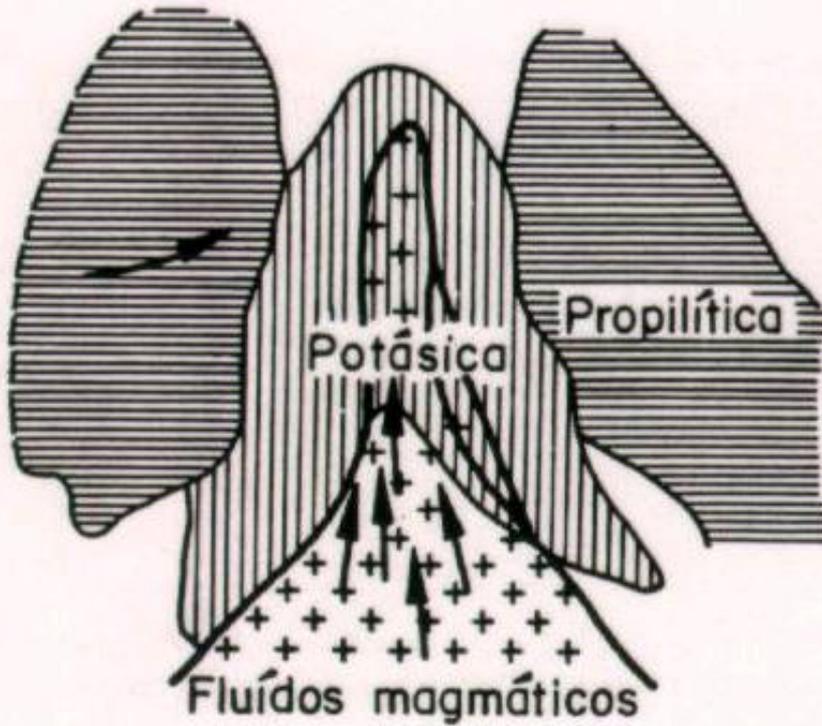


PORFIDOS CUPRIFEROS

PÓRFIDOS CUPRIFEROS

- Grandes intrusivos cristalizan parcialmente dejando un residuo de elementos incompatibles y agua magmática.
- Esos elementos ascienden en pequeñas intrusiones llamadas pórfidos
- Alteración Hidrotermal
- Mineralización Hipógena

(A)



(B)



Esquema de pórfidos

Alteraciones Hidrotermales

- Potásica
- Argilica Moderada
- Fílica (Cuarzo-Sericita)
- Propilítica



Potásica (Biotita, Feldespato potásico, magnetita)



Argílica Moderada (arcillas)

DM-LITHOTHEQUE The Andes, North-Central Chile, Cordillera Domeyko

27 ESCOM 1, 3



Fílica (Cuarzo, Sericita)



Propilítica (Epidota, Clorita, Actinolita)

ZONALIDAD EN LOS YACIMIENTOS DE PÓRFIDOS CUPRÍFEROS (según Lowell y Guilbert, 1970)



- | | |
|--|------------------------------------------------|
| | Cuarzo-sericita-dorita
-feldespato potásico |
| | Zona polésica |
| | Zona filica |
| | Zona argílica |
| | Zona propilítica |
| | Clorita-sericita-
epidola-magnetita |
| | Zona mineralizada |
| | Zona interior de
baja ley |

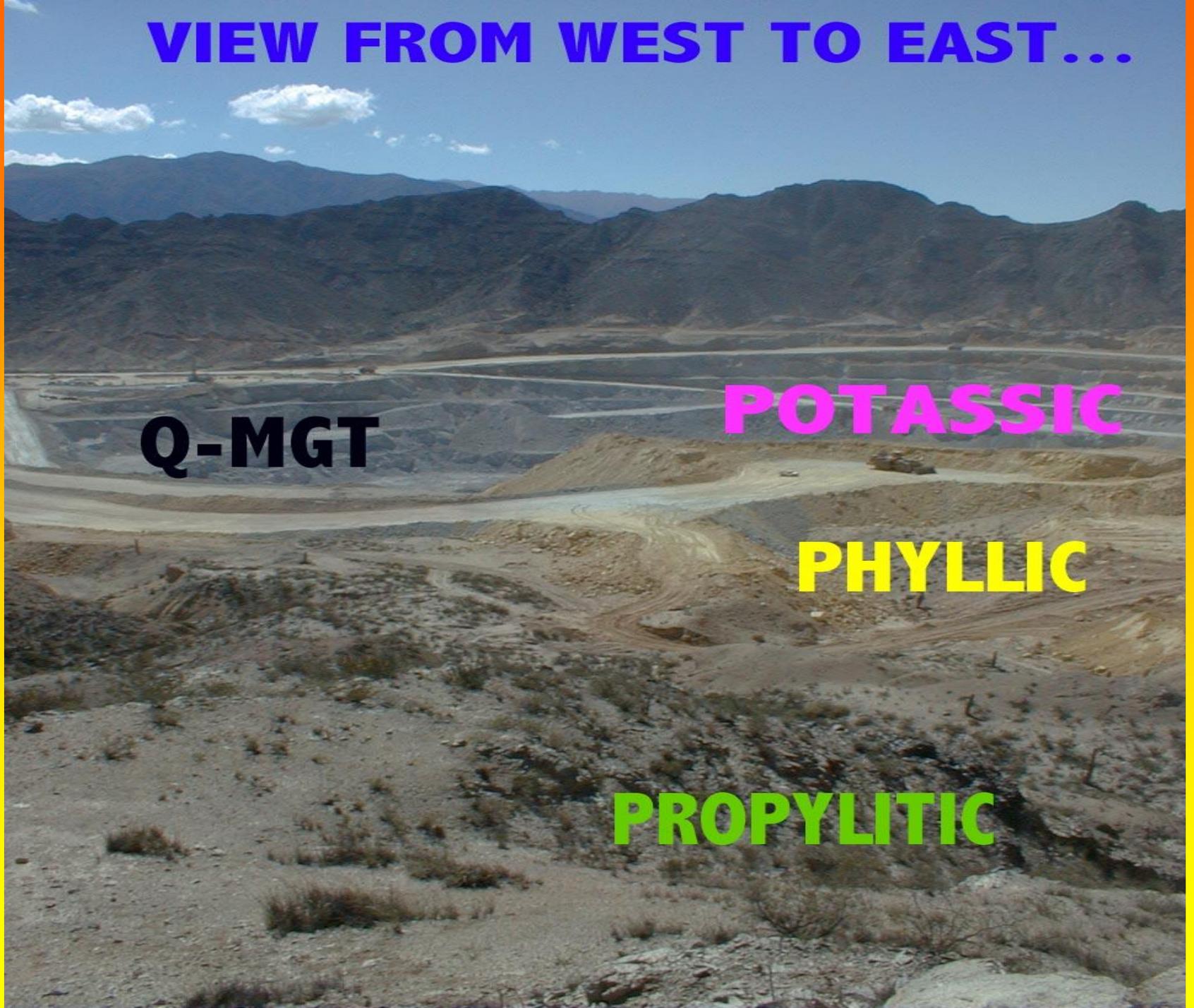
VIEW FROM WEST TO EAST...

Q-MGT

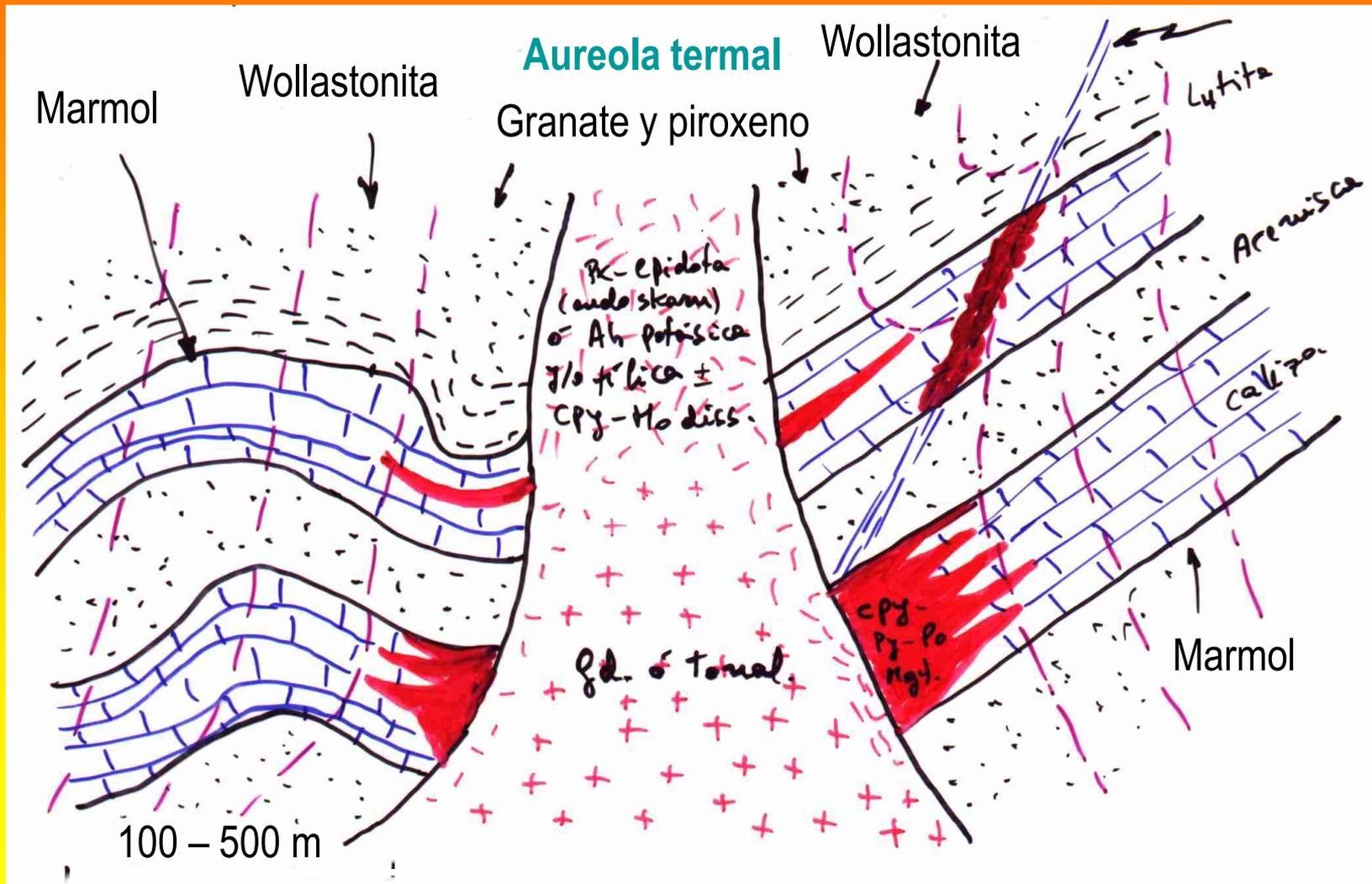
POTASSIC

PHYLIC

PROPYLITIC



Metamorfismo de contacto: *Skarn*



TIPOS DE MINERALIZACIÓN

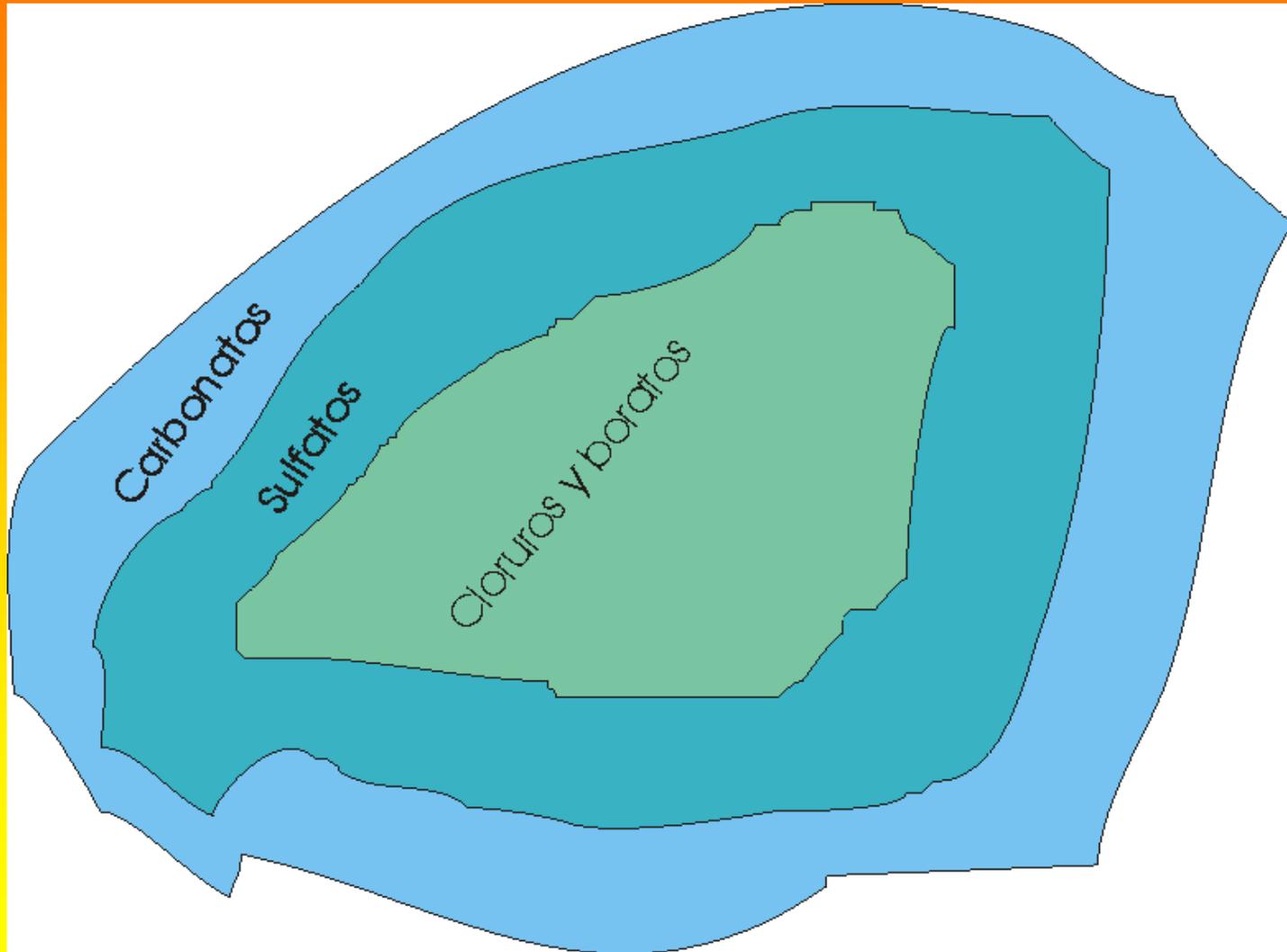
2 Supérgena o Secundaria.

Mineralización o efectos exógenos (agentes externos) sobre cuerpos mineralizados.

2 Supérgena o Secundaria.

- Sedimentarios: Alóctonos
Autóctonos
- Meteorización: Residuales
Supérgenos
Exóticos
- Superficiales: Exhalativos

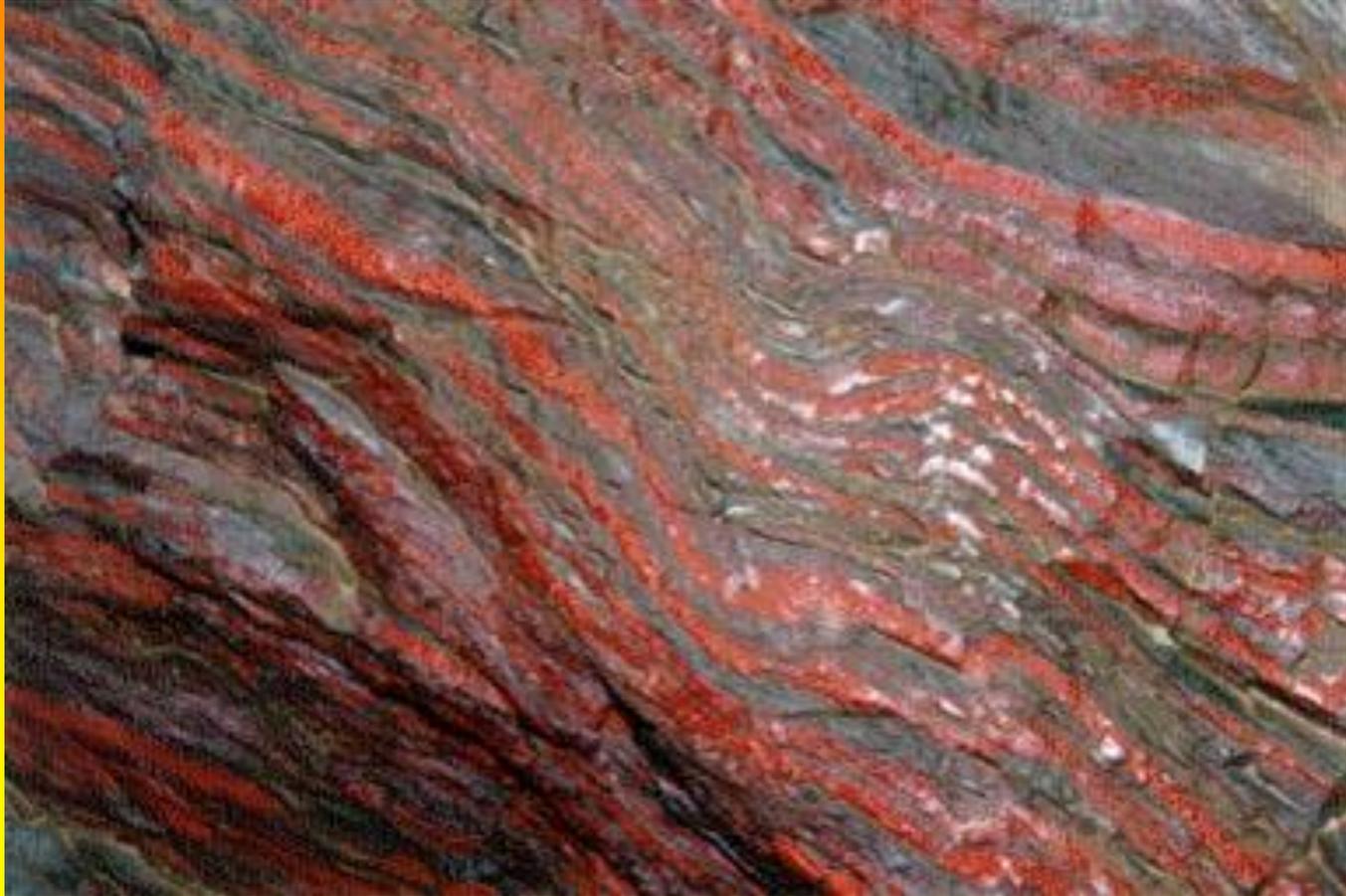
Sedimentario Autóctono: *Salar*



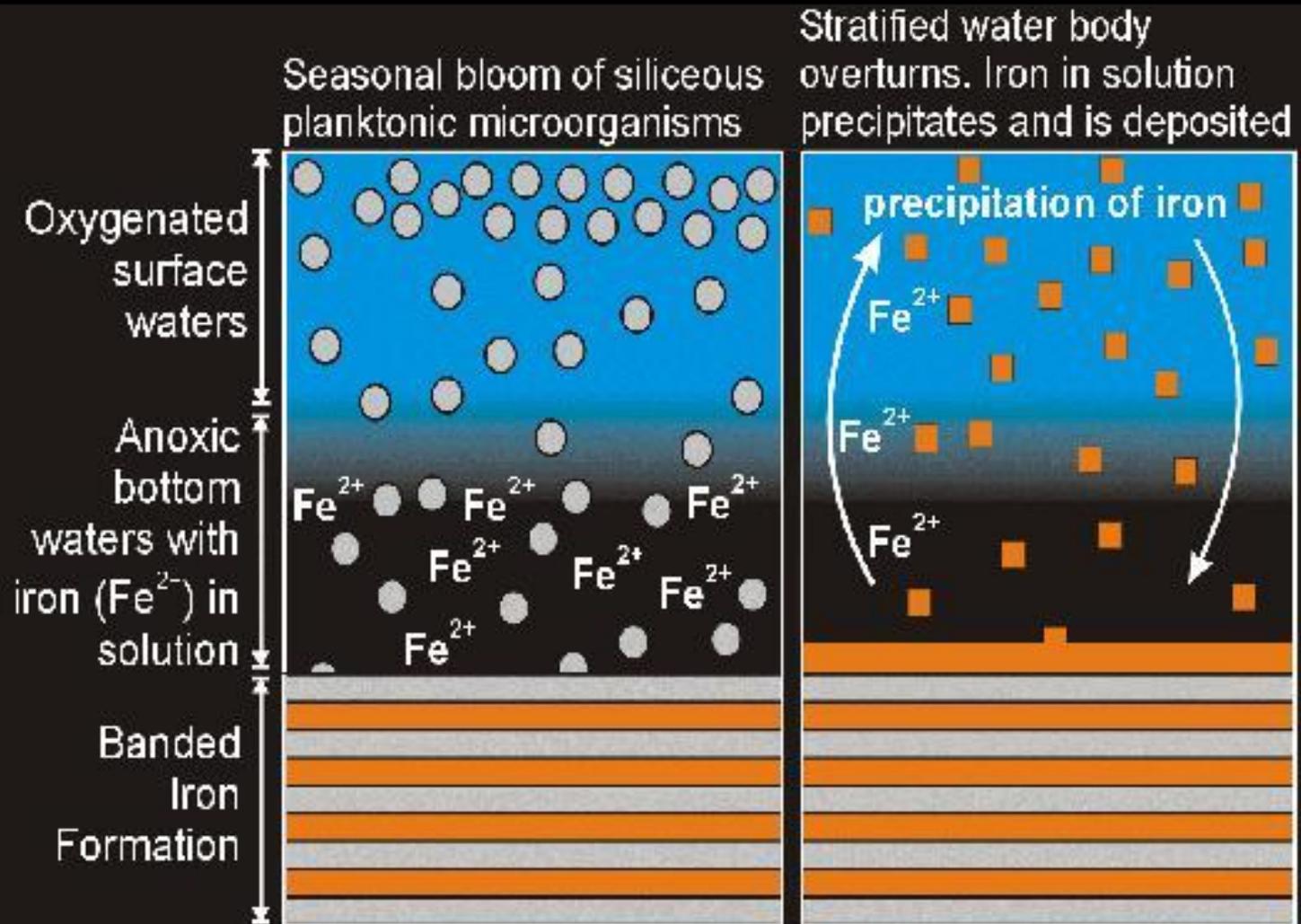
Salar de Uyuni, Bolivia.



Sedimentario Autóctono: *BIF*



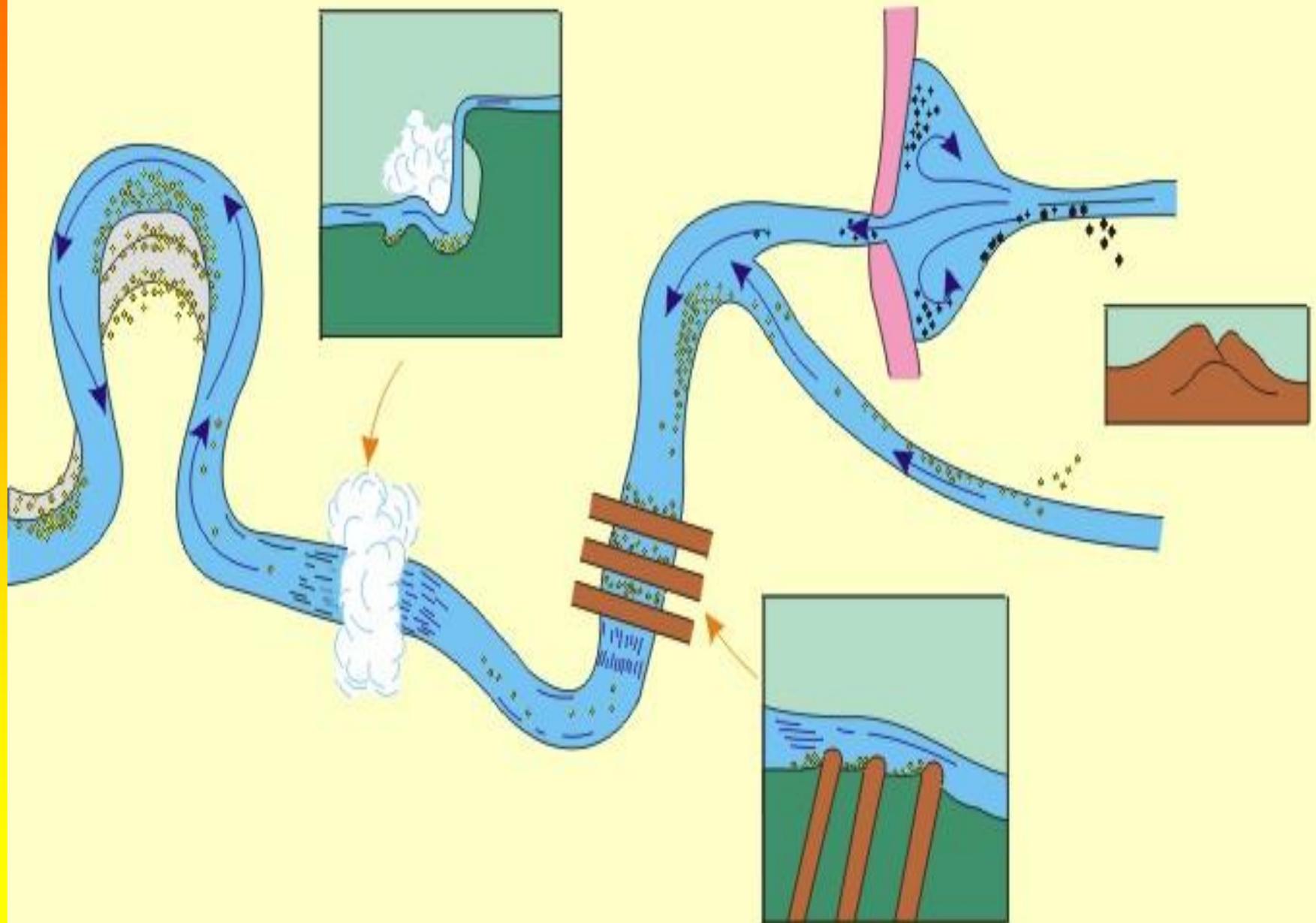
Origin of Banded Iron Formations



Sedimentario Autóctono: *Nodulos de Mn*



Sedimentario Alóctonos: *Placeres*



Sedimentario Alóctonos: *Placeres*



Sedimentario Alóctonos: *Placeres*



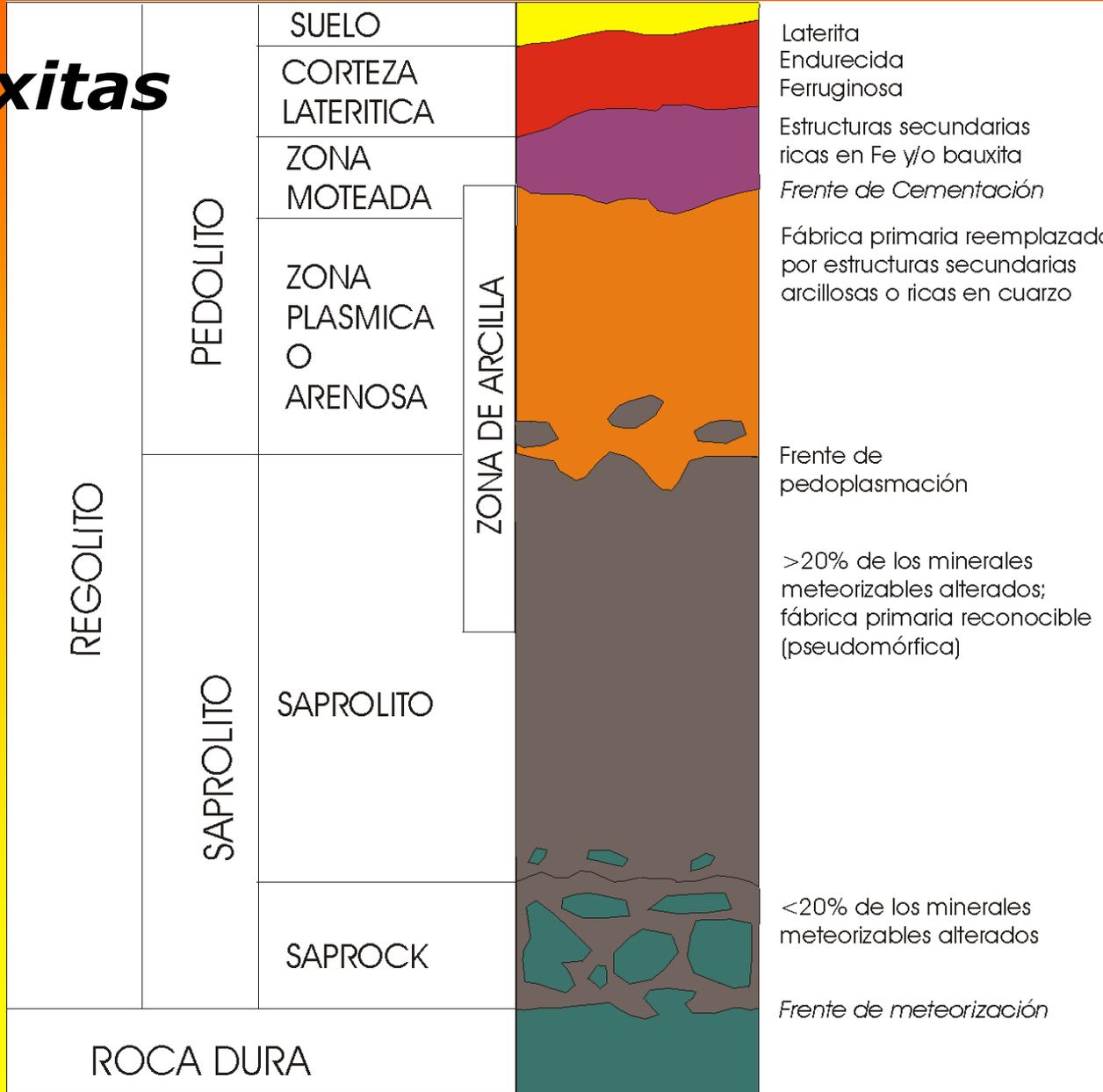
Yacimientos de áridos

Se llama áridos a los materiales granulares (pequeños trozos de roca) utilizados en la construcción (edificación y obras públicas) y en diversas aplicaciones industriales.

En general, son considerados como materiales baratos, abundantes, situados necesariamente cerca de los centros de consumo, que tienen una composición y textura muy diversas y presentan características muy distintas. Esta diversidad comienza con el tipo de yacimiento y el enclave geológico, y continúan con las técnicas de explotación y procesos de trituración del todo uno que se extrae de la cantera o gravera.

Meteorización, Residuales:

Lateritas y Bauxitas

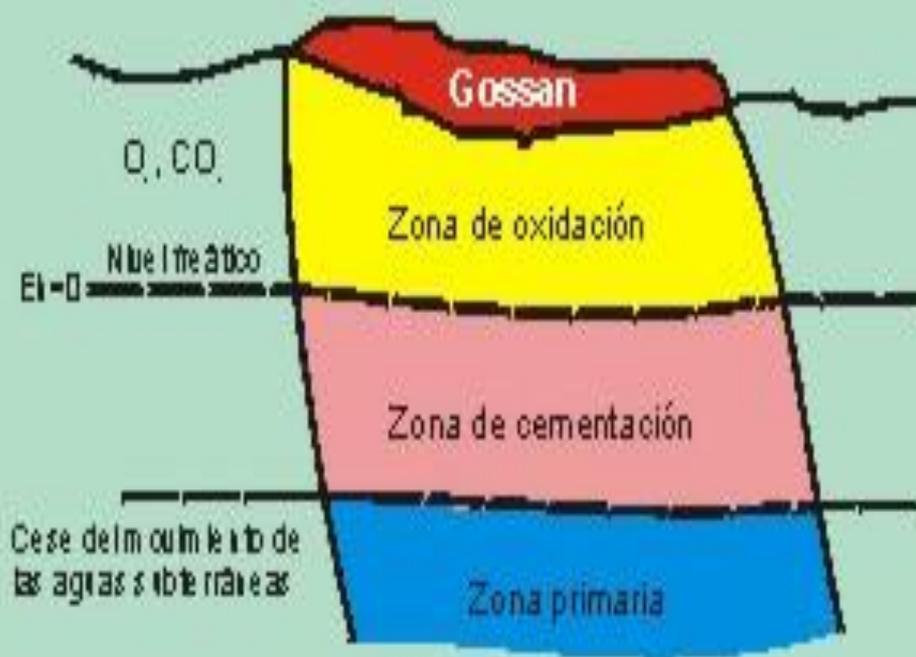


TERMINOLOGIA DE REGOLITOS

Enriquecimiento Supérgeno

- **Aguas meteóricas interactúan con los sulfuros en superficie de los pórfidos generando ácido sulfurico.**
- **Los ácidos lixivian el cobre generando un fluido rico en el metal.**
- **Este fluido desciende a través del pórfido redepositándose en niveles inferiores**
- **Zonas minerales**
- **Alteración Argílica Avanzada**

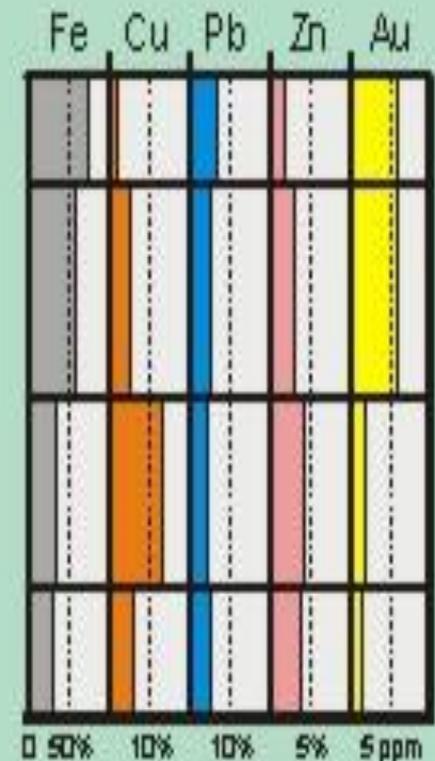
Meteorización: *Supérgenos* *



Mineralogía

Goethita, lepidocrocita, hematites, jarosita
Cuprita, tenorita Azurita, malaquita, atacamita,
Calcosina, covellina
Pirita, calcopirita, bornita

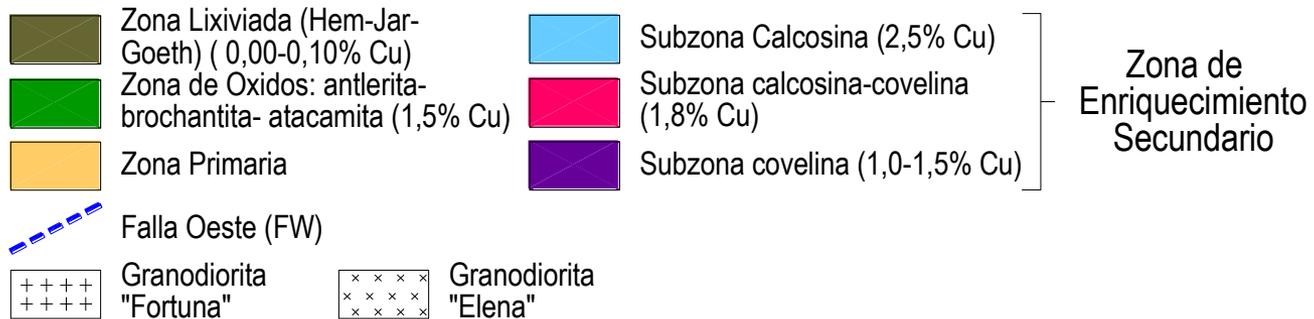
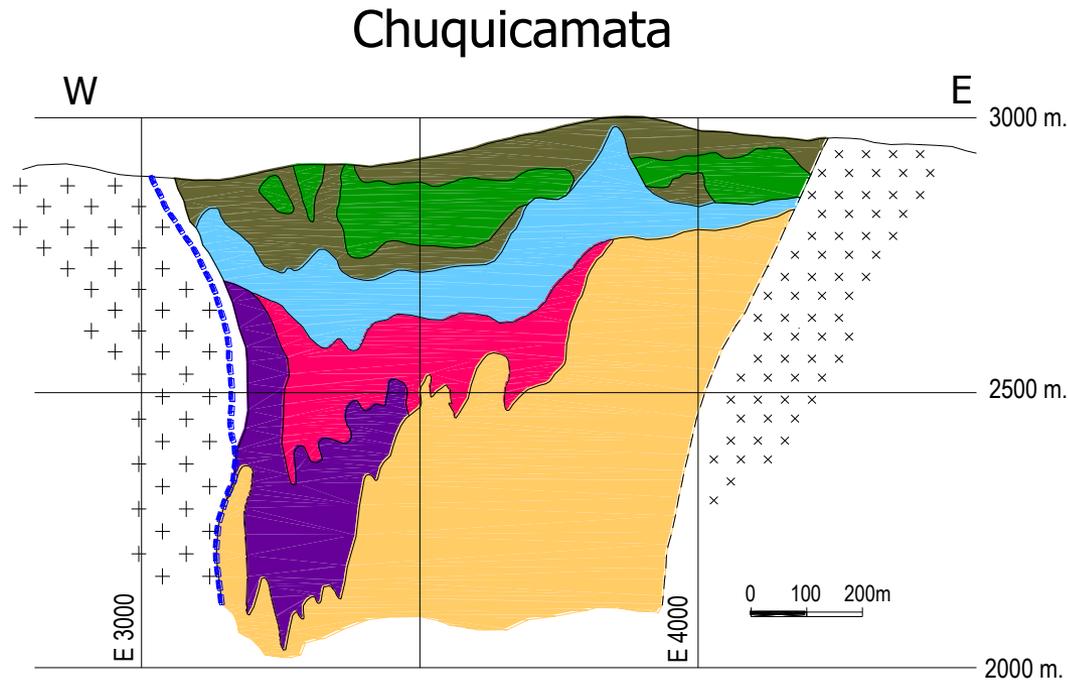
Geoquímica



Meteorización: *Supérgenos* *



Meteorización: *Supérgenos* *



Meteorización: *Supérgenos* *



Meteorización: *Supérgenos* *



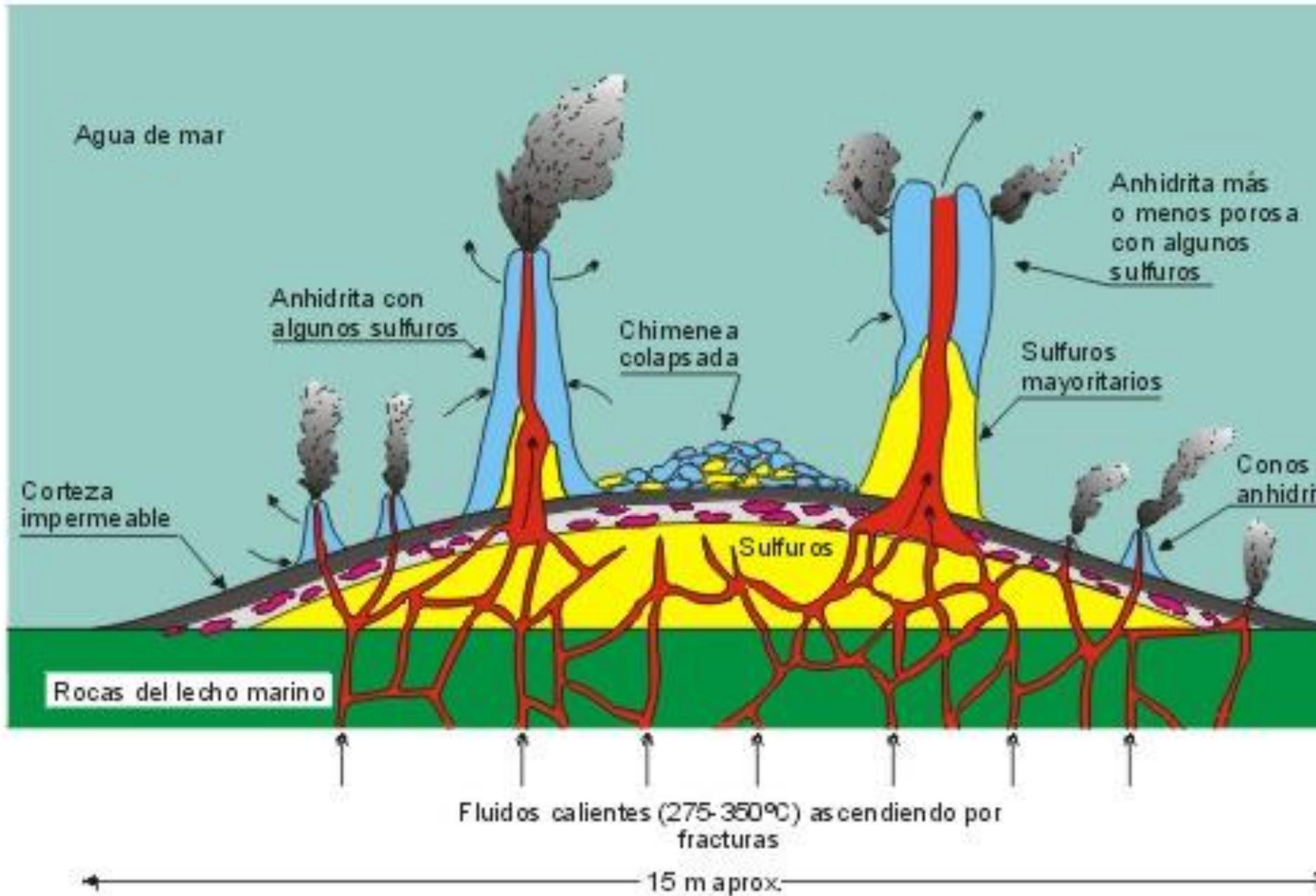
Meteorización: *Supérgenos* *





Argílica avanzada (alunita, cuarzo oqueroso, óxidos de hierro)

Superficiales: Volcano Exhalativos



Superficiales: Volcano Exhalativos



Recursos Energéticos

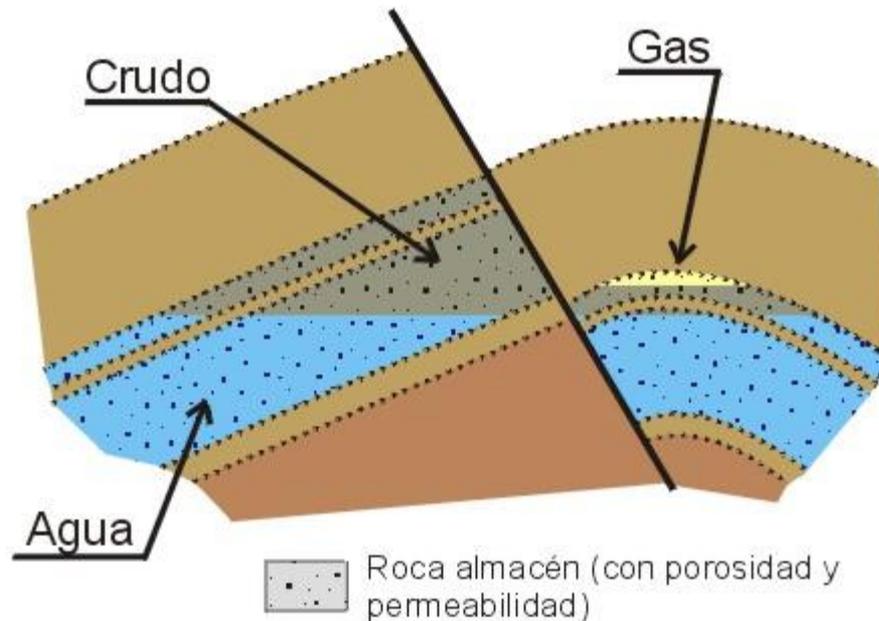
Petróleo

El [petróleo](#) y el gas natural, los *hidrocarburos fósiles*, están constituidos casi exclusivamente por hidrocarburos, es decir, compuestos orgánicos, más o menos complejos, de Carbono e Hidrógeno, mezclados en proporciones diversas entre sí, y con otros compuestos químicos:

ELEMENTO	RANGO (%)	TÍPICO (%)
Carbono	85-95	85
Hidrógeno	5-15	13
Azufre	< 5	1,3
Oxígeno	< 2	0,5
Nitrógeno	< 0,9	0,2
Metales	< 0,1	
Composición elemental del crudo		

Los hidrocarburos se forman en rocas arcillosas que contienen este kerógeno (rocas madre). Sin embargo, para poder ser explotables (extraíbles por bombeo), estos hidrocarburos han de **migrar** a rocas porosas y permeables (las rocas almacén) y quedar atrapados por algún mecanismo que impida que la migración los lleva hasta la superficie: las **trampas petrolíferas**

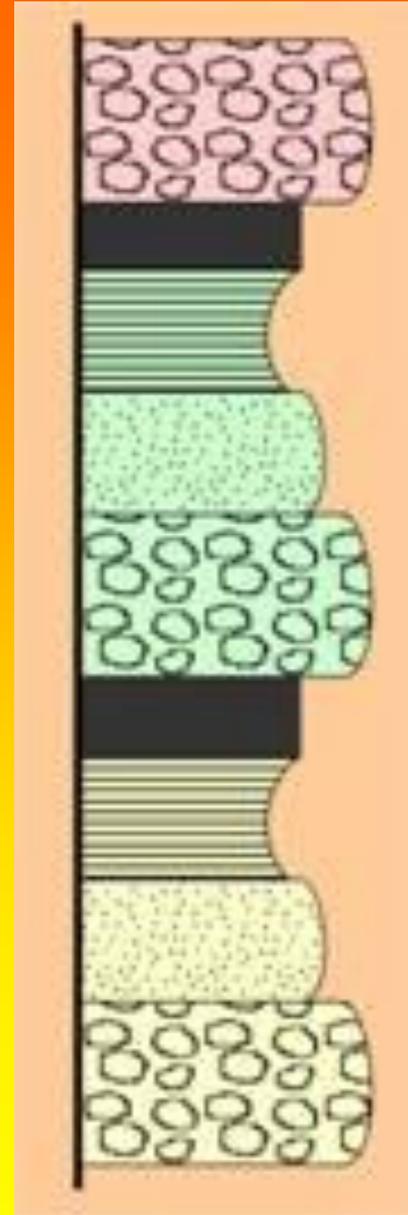
TRAMPA ESTRUCTURAL MIXTA, CON UN ANTICLINAL (derecha) Y UNA FALLA (izda)



Carbón

El carbón es una roca sedimentaria combustible con más del 50% en peso y más del 70% en volumen de materia carbonosa, formada por compactación y maduración de restos vegetales superiores, como consecuencia de la evolución de esta materia orgánica de origen vegetal que se acumula en determinadas cuencas sedimentarias.

Desde el punto de vista estratigráfico, es una roca sedimentaria organoclastica de grano fino, compuesta esencialmente por restos litificados de plantas, que aparece constituyendo secuencias características que reciben el nombre de *ciclotemas*.



El carbón se clasifica según diversos criterios:

-**Tipo**: diferencias en el tipo y clase de material vegetal que contenga, traducida a los denominados componentes macroscópicos del carbón: fusita, durita, clarita y vitrita.

-**Rango**: diferencias en el grado de evolución o carbonización que haya sufrido, debidos a las condiciones de presión y temperatura a que hayan estado sometidos. Es la evolución de turba a lignito, hulla y antracita.

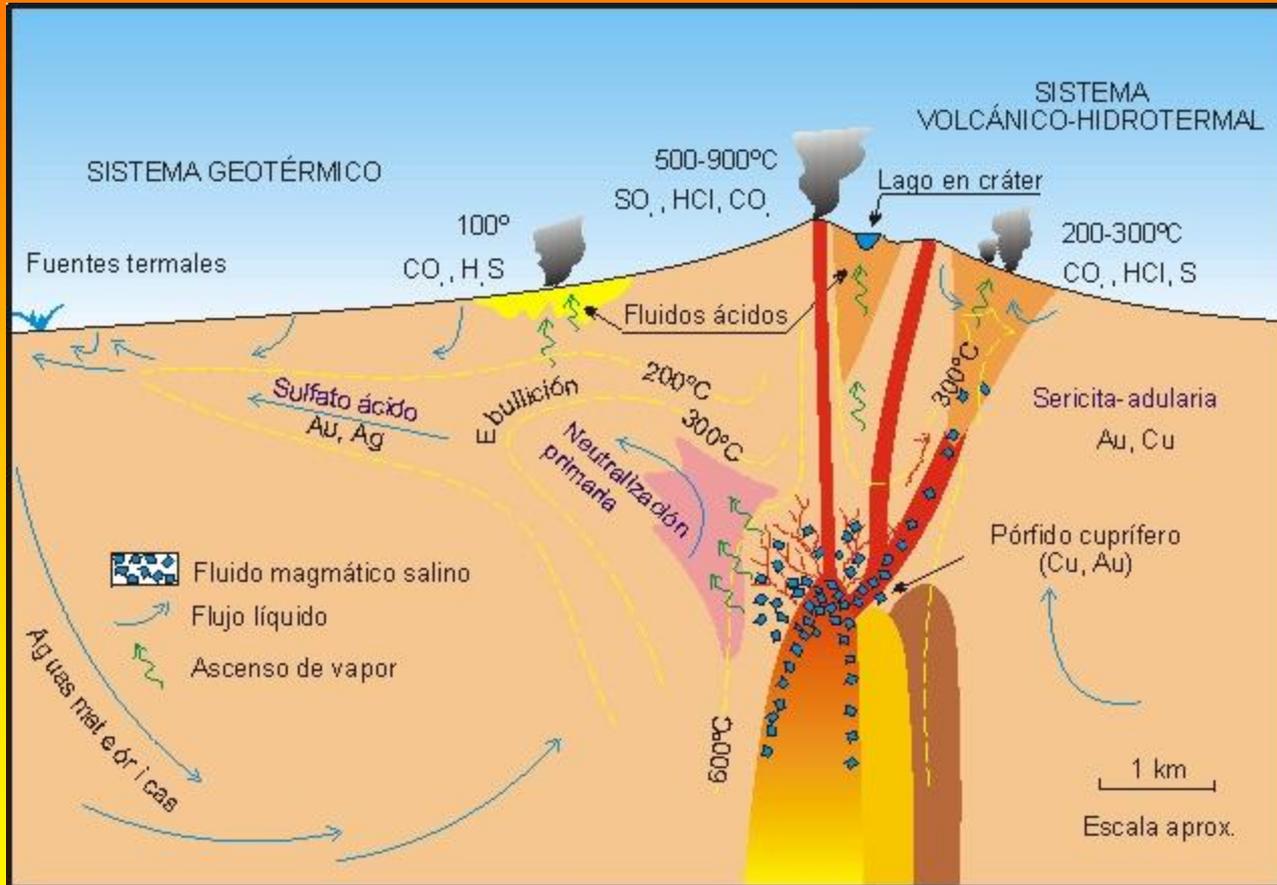
-**Grado**: clasifica el carbón en función del nivel de impurezas (cenizas) que contenga.

Energía Geotérmica

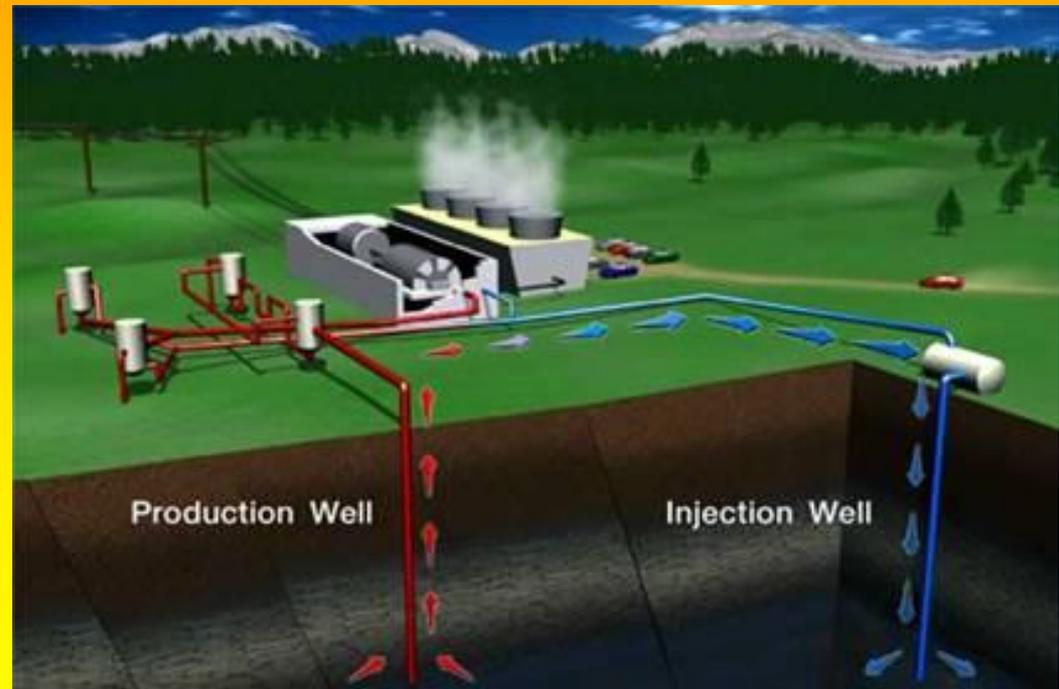
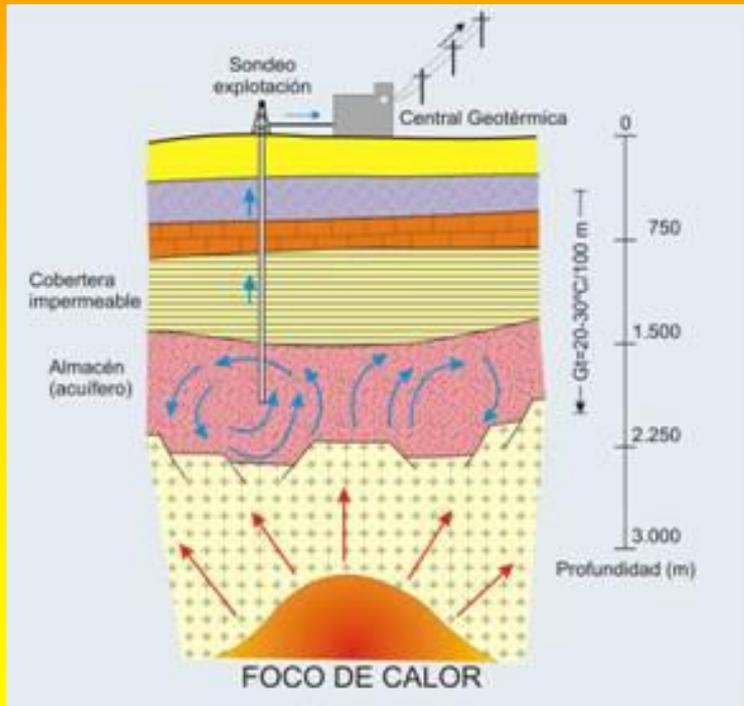
Las manifestaciones de actividad tardoimagnética suelen ser emisiones de aguas o de gases a temperaturas y/o con composiciones anómalas. A su vez, pueden ser de dos tipos, en función de su posibilidad de ser aprovechadas: emisiones directas en la superficie, y manifestaciones subterráneas (energía geotérmica).

Las **manifestaciones superficiales** pueden ser muy variadas: desde las más conocidas y espectaculares, como los geysers, o las emanaciones de gases en el entorno de edificios volcánicos recientes (fumarolas, solfataras), a las fuentes termales.





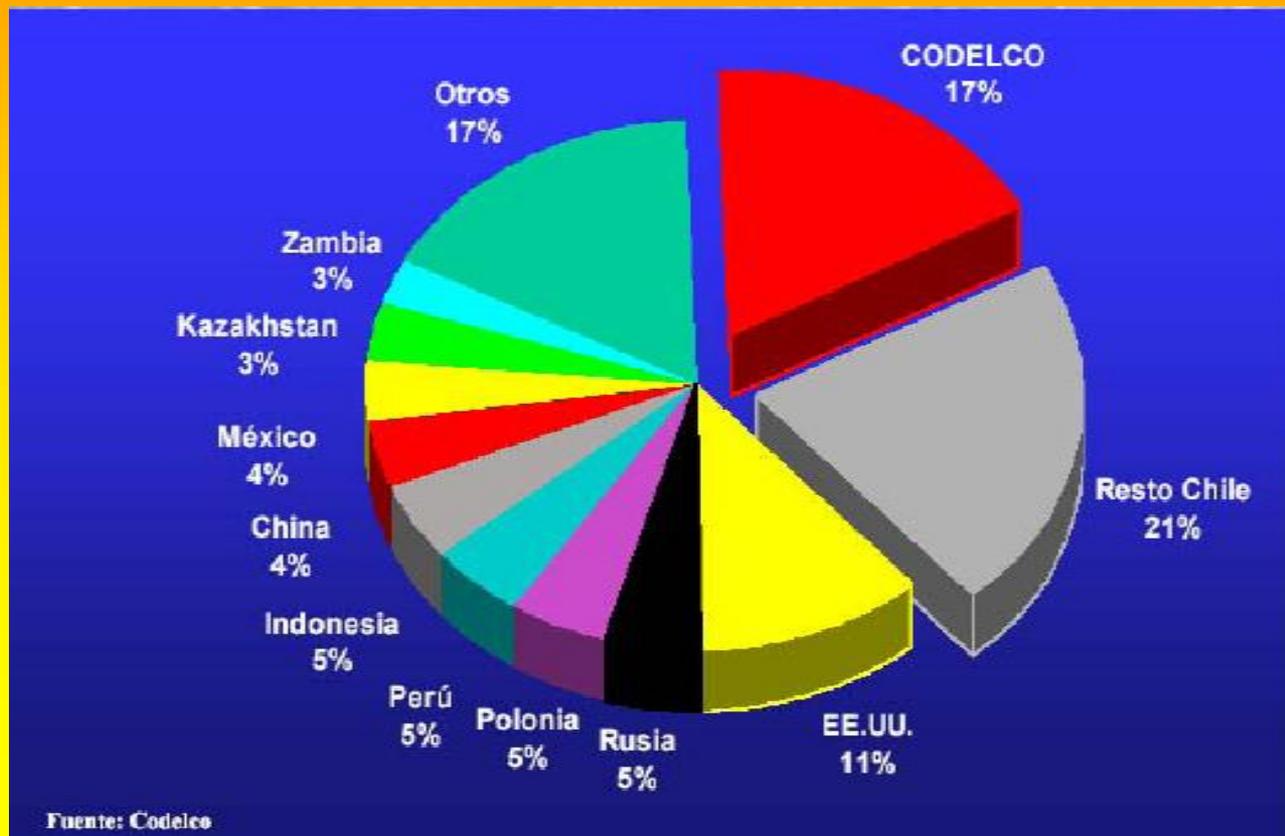
Las manifestaciones subterráneas corresponden a la denominada **energía geotérmica**, contenida en los acuíferos localizados a profundidades inferiores a unos 2.500-3.000 m. con aguas a temperaturas por encima de los 150°C, que pueden ser explotados comercialmente para la obtención de energía eléctrica. La elevada temperatura a la que se encuentra este agua está en relación con la presencia de un foco de calor activo, relacionado normalmente con esta actividad tardimagmática.



Chile y el Cobre

Chile y el Cobre

- Mayor productor de cobre (35%), seguido por países como Perú y Estados Unidos



Producción Cu 2006

5.381.761 ton de cobre fino

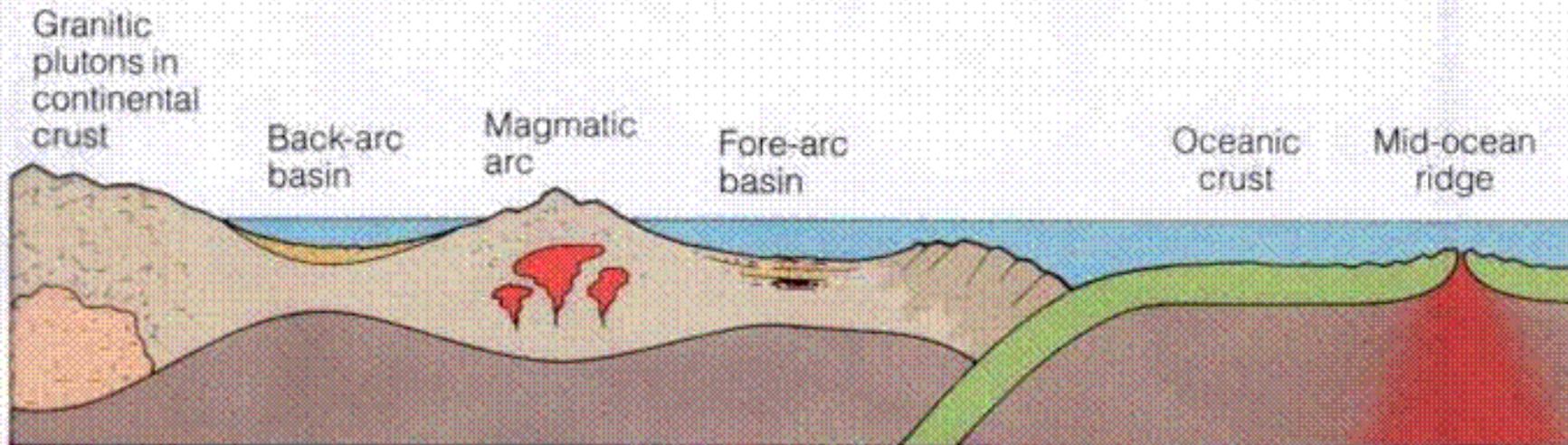
11.864.752.045 libras (3,72 US\$/lb)

Gran minería: 5.037.572 ton (93,6%)

Mediana minería 288.390 ton (5,4%)

Pequeña minería 55.799 ton (1%)

Chile



	Tin Tungsten Bismuth Copper	Copper Zinc Gold Chromium	Copper Gold Silver Tin Lead Mercury Molybdenum	Lead Zinc Copper	Chromium	Manganese Cobalt Nickel	Copper Zinc
Metals							
	Vein, contact metamorphic	Volcanogenic massive sulfide, stratabound, evaporites	Porphyry copper, veins	Stratabound in sediments	Magmatic chromite	Manganese nodules	Volcanogenic massive sulfide
Deposits							

Principales minas de cobre

I Región:

Collahuasi
Cerro Colorado
Quebrada Blanca

III Región:

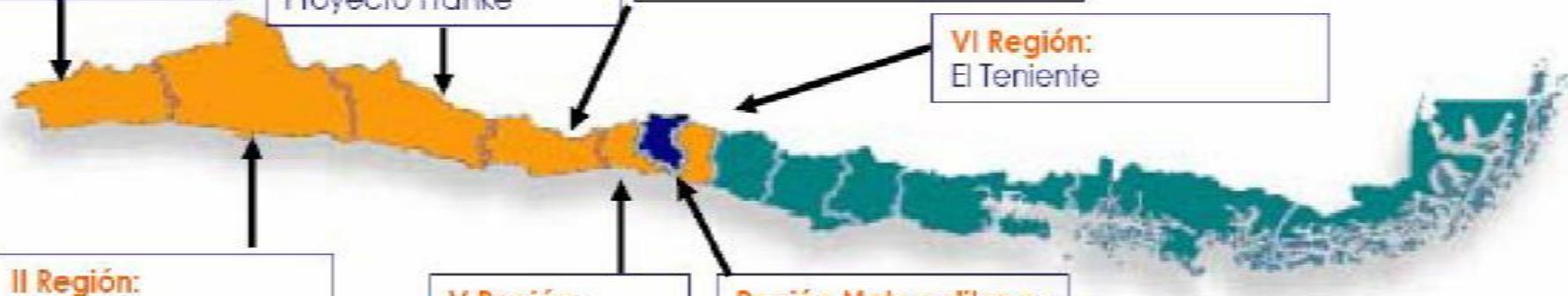
Candelaria
Salvador
Ojos del Salado
Proyecto Caserones
(ex-Regalito)
Proyecto Franke

IV Región:

Los Pelambres
Proyecto Andacollo Sulfuros

VI Región:

El Teniente



II Región:

Escondida
Spence
Chuquibambilla
Radomiro Tomic
El Abra
Mantos Blancos
Lomas Bayas
Michilla
El Tesoro
Zaldívar
Proyecto Esperanza
Proyecto Gaby

V Región:

Andina
El Soldado

Región Metropolitana:

Los Bronces



Tipos de Yacimientos

- Pórfidos Cupríferos
- Depósitos Estratoligados
- Exóticos
- IOCG
- Vetiforme
- Etc



Mineralización exótica de cobre en gravas aluviales

Minerales de Cobre

Minerales de Cobre

- Hipógenos
 - Sulfuros
- Supergenos
 - Oxidados
 - Sulfuros



Malaquita $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$

A: Generalmente en fibras radiales formando masas botroidales, a menudo granular o terroso.

H: 3.5 – 4

Q: Efervece con HCl

Y: Mena supérgena de Cu.

Se haya en las zonas de oxidación de las vetas de Cu, asociada a la azurita, cuprita, cobre nativo y óxidos férricos.

Generalmente en vetas de Cu donde yacen calizas.



Azurita



A: cx frecuentemente tabulares o equidimensionales. También en grupos esféricos radiados, comúnmente material terroso **asociado a malaquita**.

H: 3.5 – 4

B: Vítreo

C: Azul Marino intenso.

O: soluble en HCl con efervescencia.

Q: se observa con frecuente la pseudomorfosis de la malaquita en azurita, menos comunmente en cuprita.

Y: mismo origen y paragénesis que la malaquita, pero mucho más frecuente.

U: Mena secundaria de cobre.



Atacamita $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

A: Comúnmente con hábito prismático delgado, también tabular a diferencia de la Brocantita que tiene cristales aciculares radiales.

Usualmente en agregados cristalinos granulados, a veces fibrosos y **radiados**.

H: 3 – 3.5

Cu = 59,5%

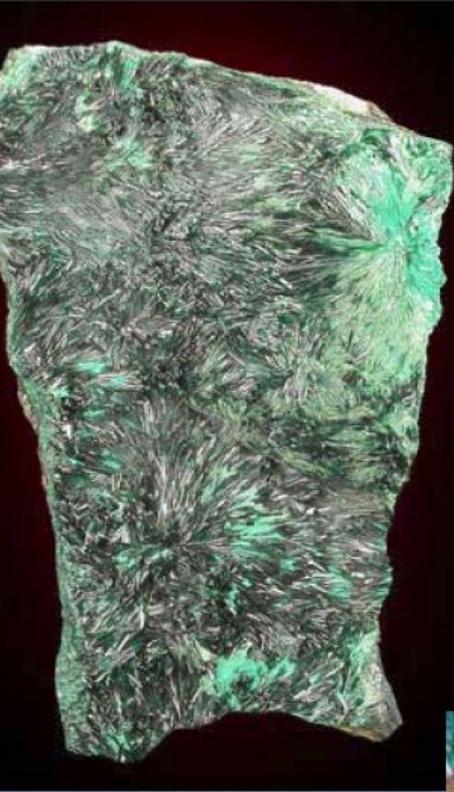
Q: **No Efervece con HCl a diferencia de la Malaquita**

C: Diversas tonalidades de verde, generalmente verde petróleo.

R: Verde claro.

Y: mx supérgeno en zona de oxidación de depósitos de Cu.





Atacamita en Yeso

Crisocola $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

A: Generalmente amorfa. Se da en forma masiva a compacta, algunas veces terroso

H: 2 - 4

B: Vítreo a terroso

C: Verde a azul verdoso, pardo. (Lo más característico es el color)



Brocantita $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$

A: Masivo, con cxs aciculares radiales,
Acicular radial

H: 3.5 – 4

E: Perfecta

R: Verde palida.

C: Verde esmeralda – verde negruzco –
verde claro.

Confundible con Atacamita.

Y: Zona de Oxidaci3n de vetas de Cu.

Origen Hidrotermal.

Cu = 56,2%



Antlerita $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$

A: cx tabulares, pueden ser delgados, estriados verticalmente, a menudo aciculares.

En agregados paralelos y estos perpendiculares a las vetas.

H: 3.5 – 4

E: Perfecta

Cu = 53,74%

R: Verde pálida.

C: Verde esmeralda – verde negruzco.

O: Muy poca efervescencia en HCl (A diferencia de la Malaquita)

Confundible con Atacamita y Brocantita, pero las vetas son muy distintivas.

Y: Zona de Oxidación de vetas de Cu.

Origen Hidrotermal.



Covelina CuS

A: Generalmente Masiva como revestimiento.

H: 1.5 – 2 (**Blanda**) $\text{Cu} = 66,48\%$

B: Resinoso a Terroso.

T: **Frágil** a diferencia de la Calcosina que es mas séctil.

R: gris-ploma, negra. Gruesa.

C: **Azul índigo.** Puede presentar iridiscencia roja y amarilla. Para diferenciarla con la Calcosina.

Confundible con Calcosina.

Y: mineral supérgeno en depósitos de Cu. Normalmente como recubrimiento de la zona de sulfuros.

Asociada a **Calcosina, Calcopirita, Bornita** y Enargita.

U: Mena menor de Cu.



Calcosina Cu_2S

A: Típicamente en masas granulares y en forma masiva

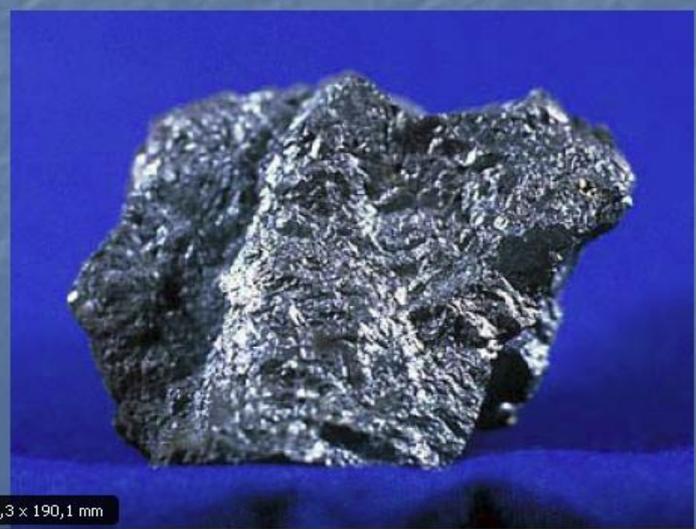
H: 2.5 - 3

T: Ligeramente séctil

C: gris oscuro - negro

B: Metálico

R: gris oscuro - negro



Cu = 79,8%

Trabajo del Geólogo

Trabajo del Geólogo

- Exploración minera
- Geología de Mina

Exploración minera

- Búsqueda de nuevos yacimientos metalíferos
- Mapeo general, geoquímica sondajes
- Etapas
 - Básica
 - Seguimiento
 - Avanzada

Exploración

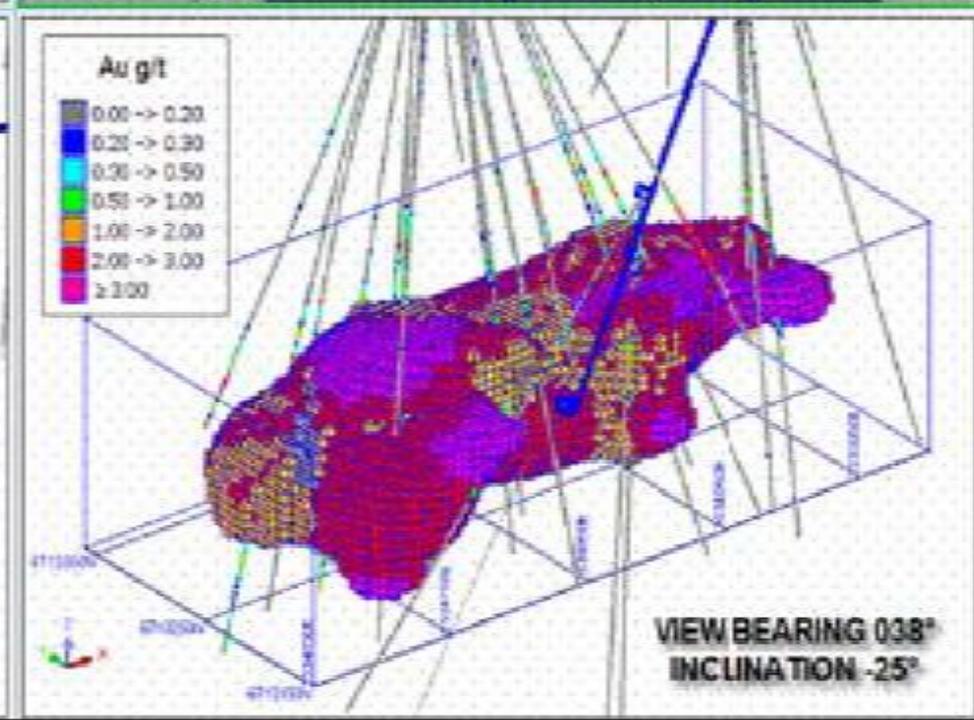
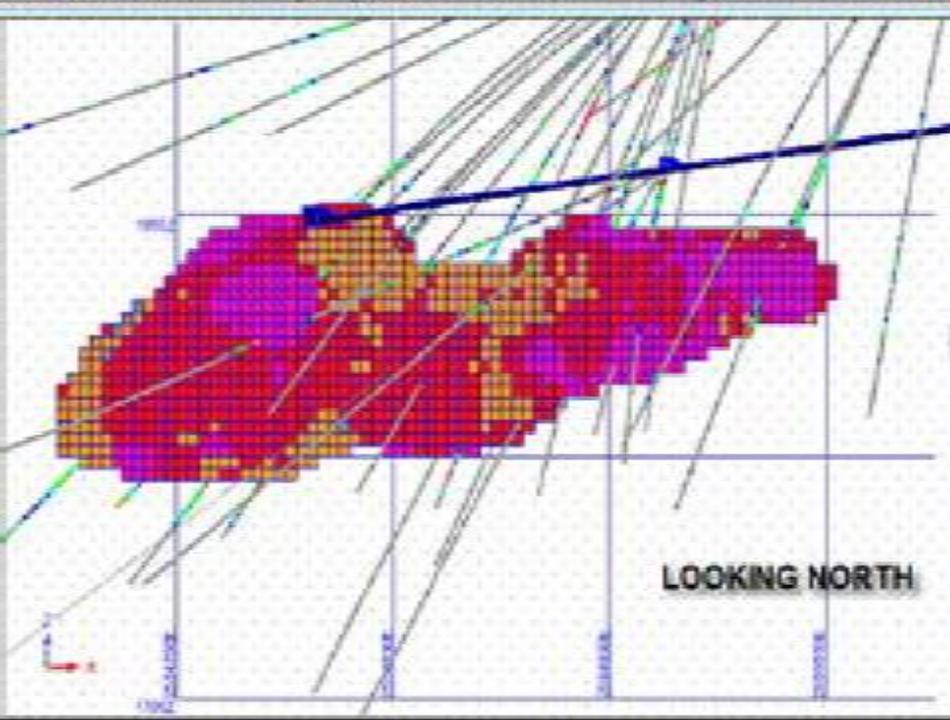
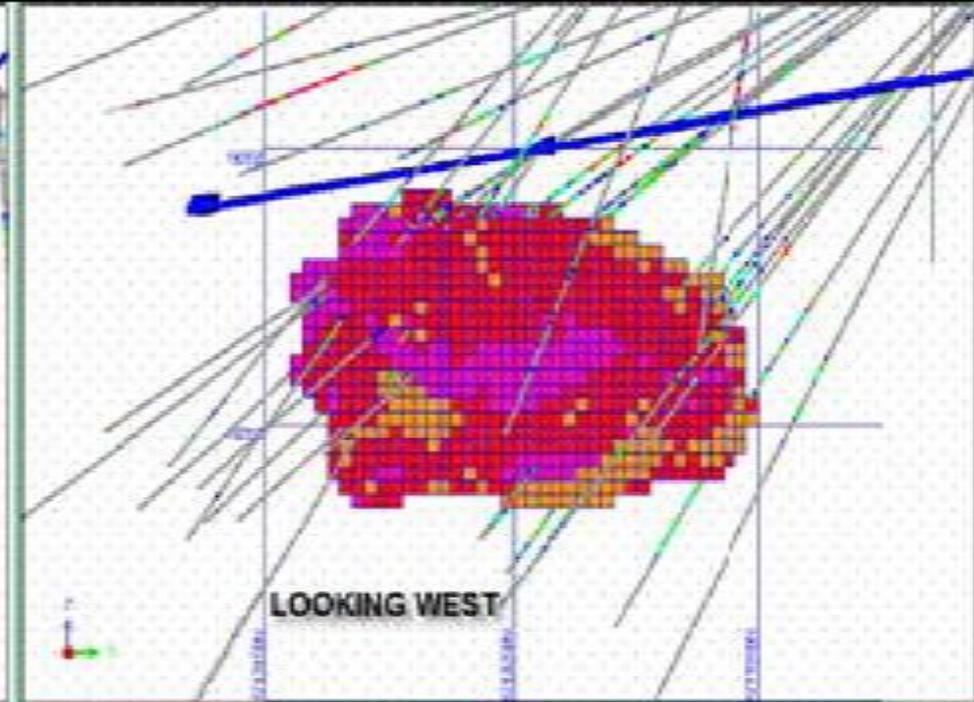
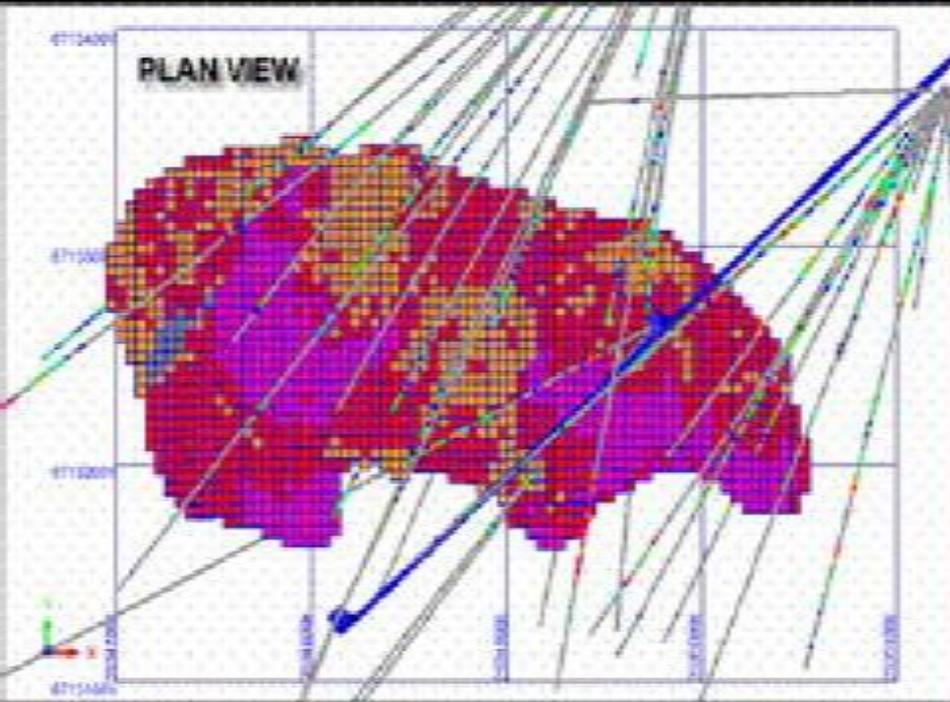
- Básica: Definición de áreas o regiones de interés
- Seguimiento: Hallazgo de mineralización, descubrimiento de cuerpo mineralizado
- Avanzada: Delineación del recurso (mucho sondaje)

Exploración Yacimiento Gaby









Geología de Mina

- Mapeo de Bancos
- Control de calidad
- Prospección de sondajes
- Geólogos Metalúrgicos
- Exploración Distrital





