

Introducción a Yacimientos Minerales

Auxiliar 7: IOCG - IOA

GL4401 - Primavera

Profesor: Brian Townley

Auxiliar: Nicolás Barahona

Ayudantes: Diego Mora y Blas Álvarez



Basado en las clases de:

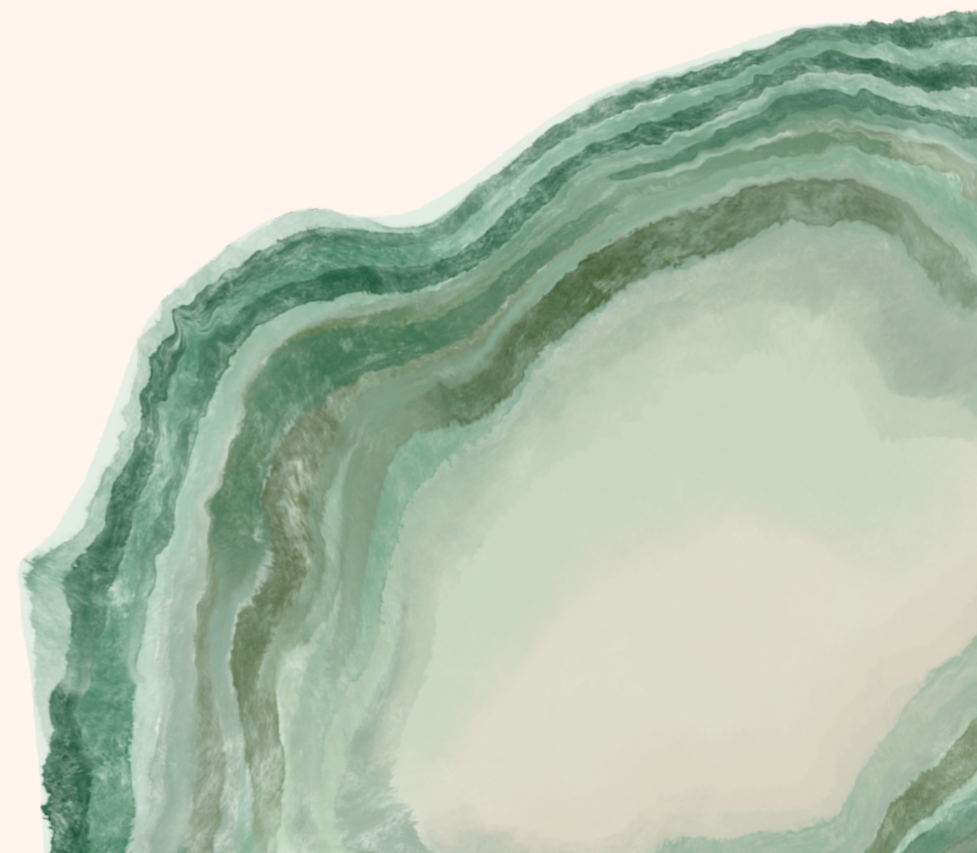
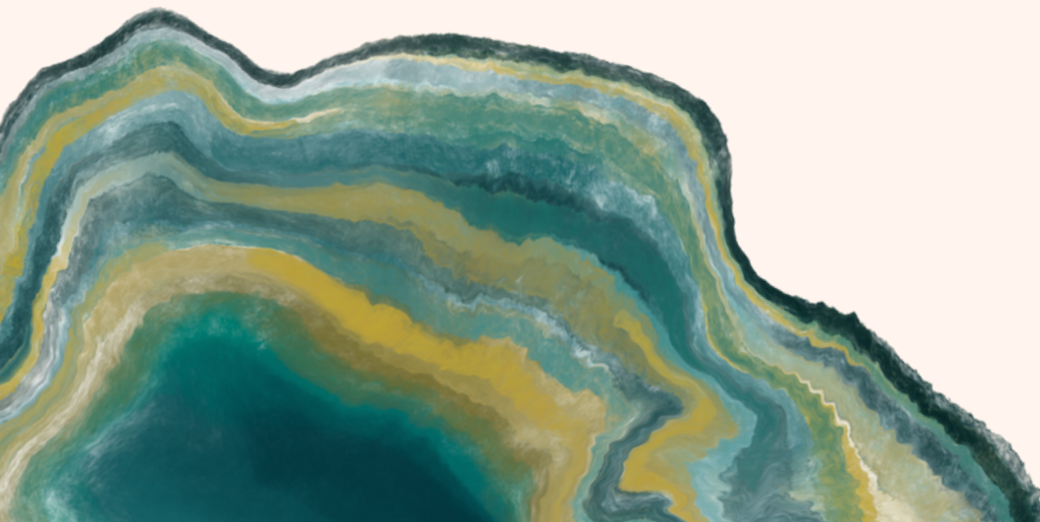
María José Tapia

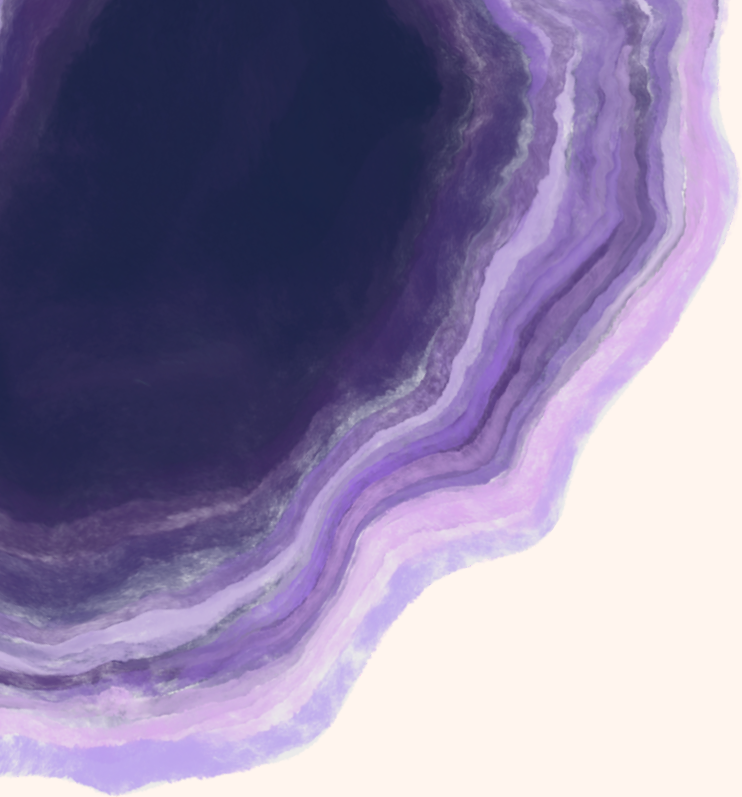
Andrés Ojeda

Javiera Carrasco

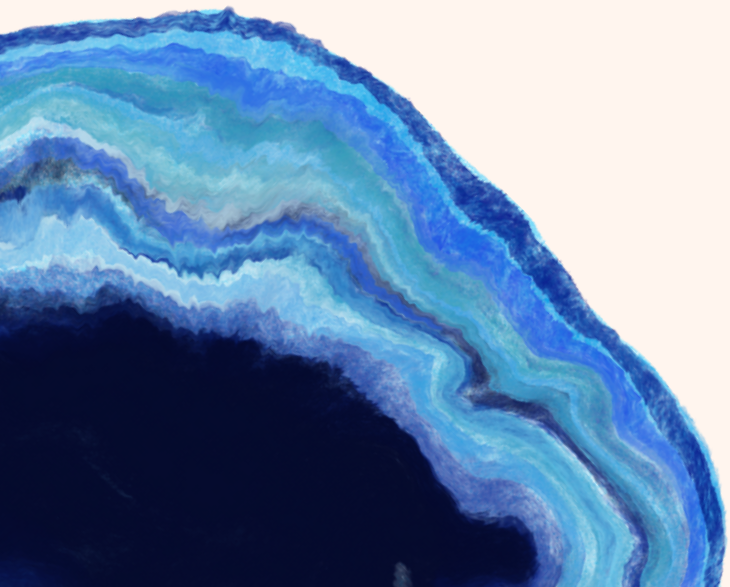
Javiera Pérez

Juan Francisco Ríos





Calendario tentativo V4



Semana		Tema
1	07/08 - 13/08	
2	14/08 - 20/08	Auxiliar 1: Minerales y propiedades diagnósticas
3	21/08 - 27/08	Auxiliar 2: Alteración hidrotermal y mineralogía de mena
4	28/08 - 03/09	Auxiliar 3: Alteración Potásica y Calco sódica / CL 1
5	04/09 - 10/09	Terreno Geología de Campo I
-	11/09 - 17/09	Receso
6	18/09 - 24/09	Auxiliar 4: Alteración Propilítica y Fílica
7	25/09 - 01/10	Auxiliar 5: Alteración Argílica
8	02/10 - 08/10	Auxiliar 6: Pórfidos y Brechas I Vetillas / CL 2
9	09/10 - 15/10	Auxiliar 7: IOCG - IOA
10	16/10 - 22/10	Control 1
11	23/10 - 29/10	Auxiliar 8: Estratoligados y Skarns / CL 3?
-	30/10 - 05/11	Receso / Recuperación Auxiliar 9: Paragénesis
12	06/11 - 12/11	Terreno Volcanología Física
13	13/11 - 19/11	Terreno Geología de Campo I
14	20/11 - 26/11	Auxiliar 10: Supérgenos y Epitermales / Tarea paragénesis
15	27/11 - 03/12	Fin del Semestre

Recapitulemos:

Clasificación de yacimientos

1. Commodity
2. Relaciones espaciales y de contacto con la roca encajonante.
 - a. Concordante
 - b. Discordante
3. Posición de formación
 - a. Hipógeno
 - b. Supérgeno
4. Tiempo de formación
 - a. Singenético
 - b. Epigenético
 - c. Diagenético



Recapitulemos:

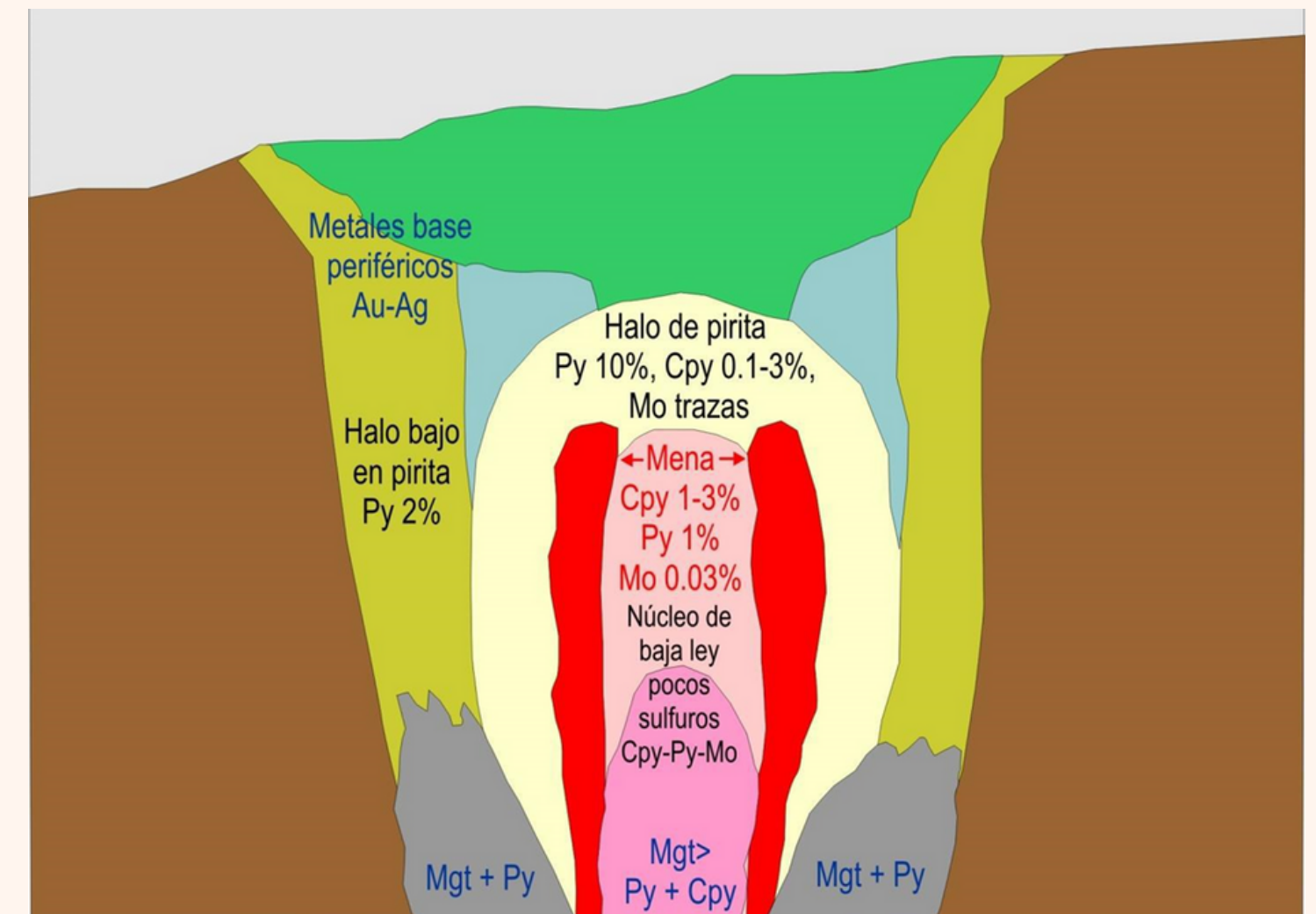
Pórfidos

Mineralogía primaria o hipógena:

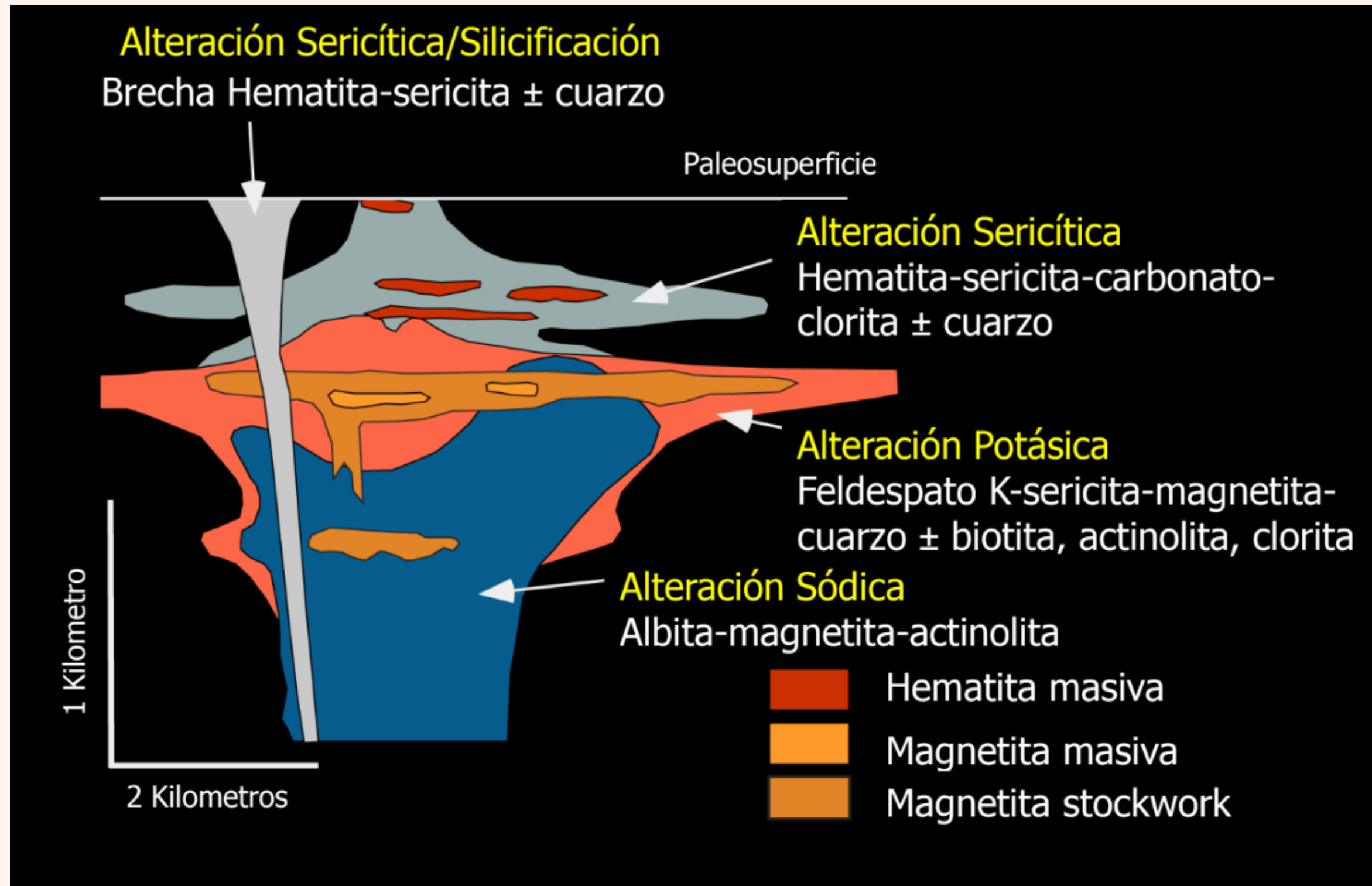
- Pirita
- Calcopirita
- Bornita
- Molibdenita

La mineralización se presenta en:

- Stockwork
- Vetillas tipo A, B y D
- Brechas



IOCG



Modelo de Hirtzman (1992)

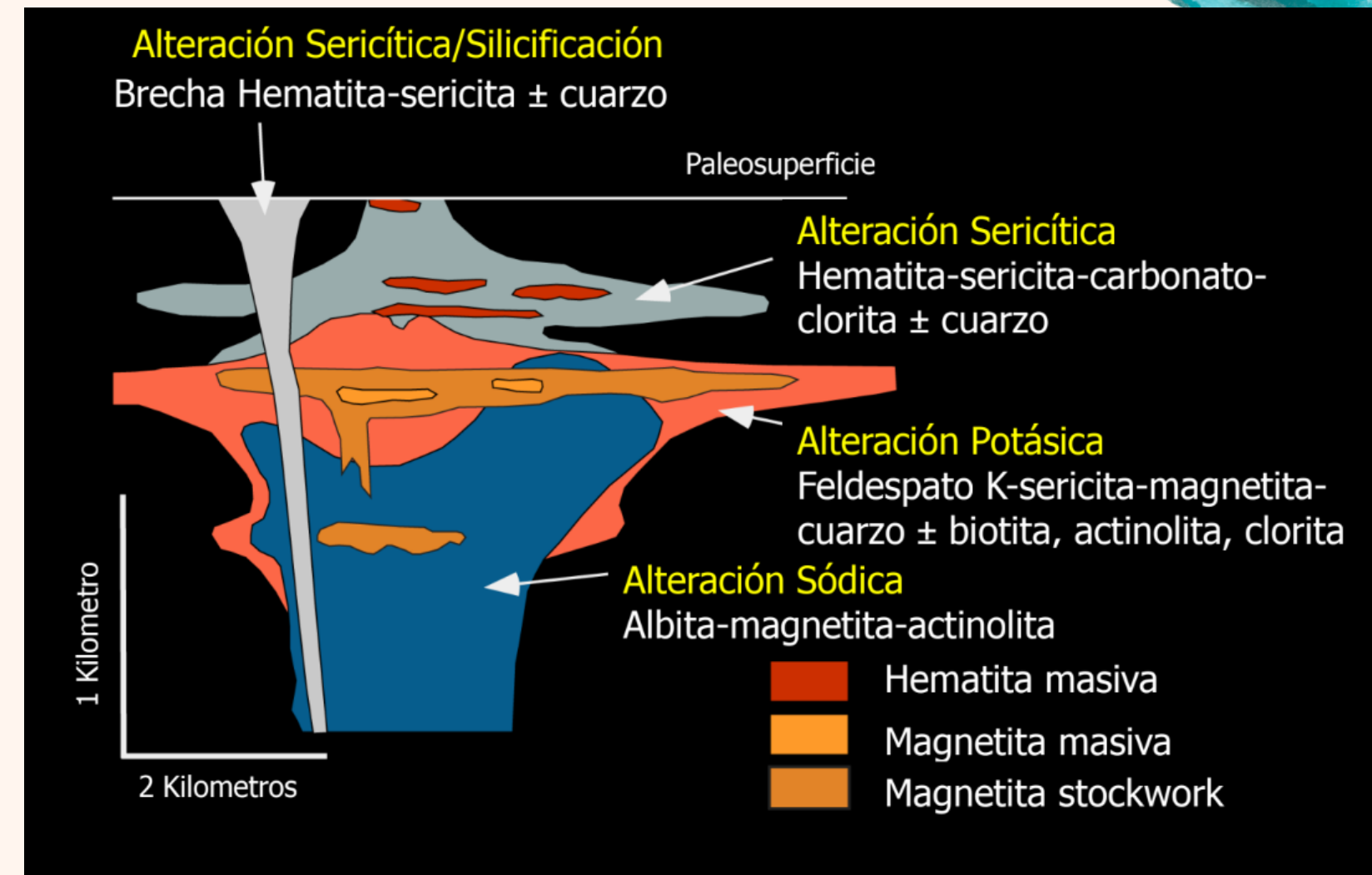
IOCG

Los IOCG son un clan de yacimientos no tan bien definidos que se caracterizan por tener:

- Óxidos de Fe (Iron Oxide)
- Cobre (Copper)
- Oro (Gold)

Se definieron como grupo en 1992 y agrupan TODO tipo de depósitos de óxidos de Fe (Olympic Dam, Kiruna, Bayan Obo, Candelaria, El Laco, Mantoverde, etc.).

Es por esto que no se entienden del todo, como bastantes cosas en la Geología, aun hay bastante debate en qué es un IOCG y cómo se forman.



Modelo de Hirtzman (1992)

Generalidades

Pobres en sulfuros y cuarzo y ricos en óxidos de Fe

- Hematita especular (Fe_2O_3)
- Magnetita ($\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)

Se explotan por Cu, con Au como subproducto pero puede contener Co, U, REE, Mo, Zn, Ag.

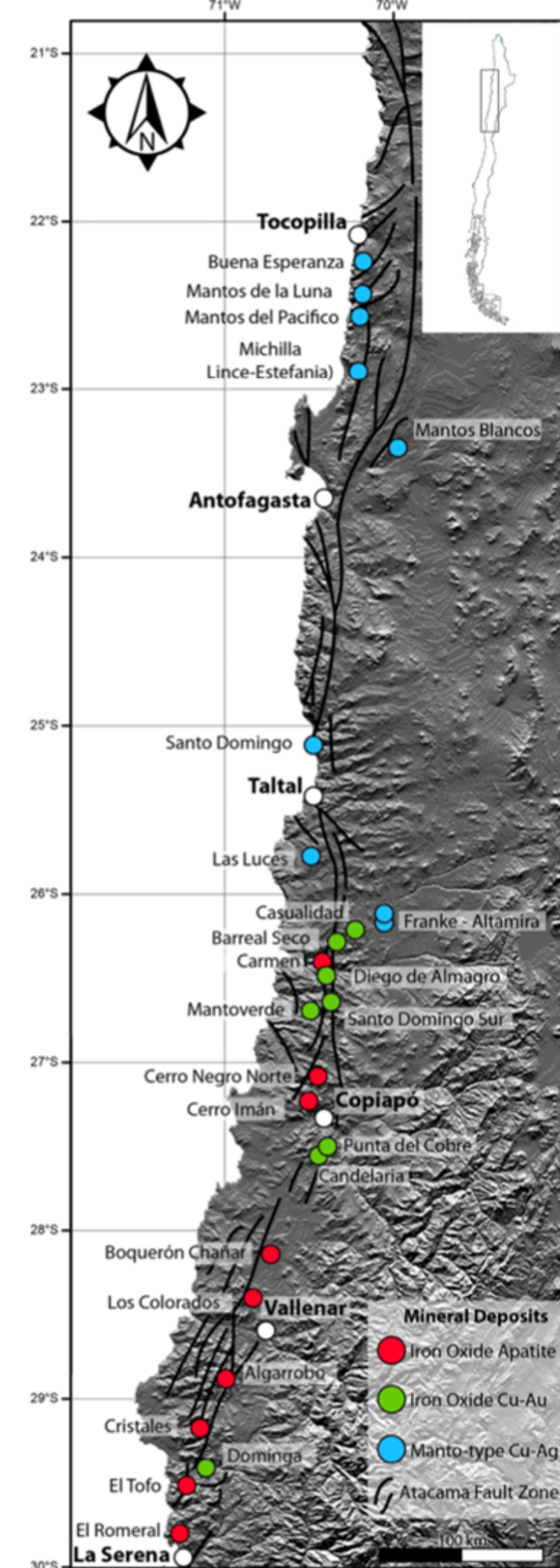
No se forman en un contexto tectónico específico.

En Chile se encuentran principalmente en la franja ferrífera de la Cordillera de la Costa, con edades entre 170 – 110 Ma.

Fáciles de detectar por métodos Geofísicos.

Medioambientalmente “agradables”:

- No tienen pirita, por lo que no se genera drenaje ácido.



Modelo de alteración y mineralización

Basado en el modelo de Hirtzman (1992), se reconoce una zonación de alteraciones en función de la T° y P (asociados a la profundidad):

Decrece T y P en ICG

Na ($\pm$ Ca): Albita + escapolita $\pm$ magnetita $\pm$ anfíboles



Ca – Fe ($\pm$ Na): Actinolita - epidota - cpx – granate – apatito – magnetita



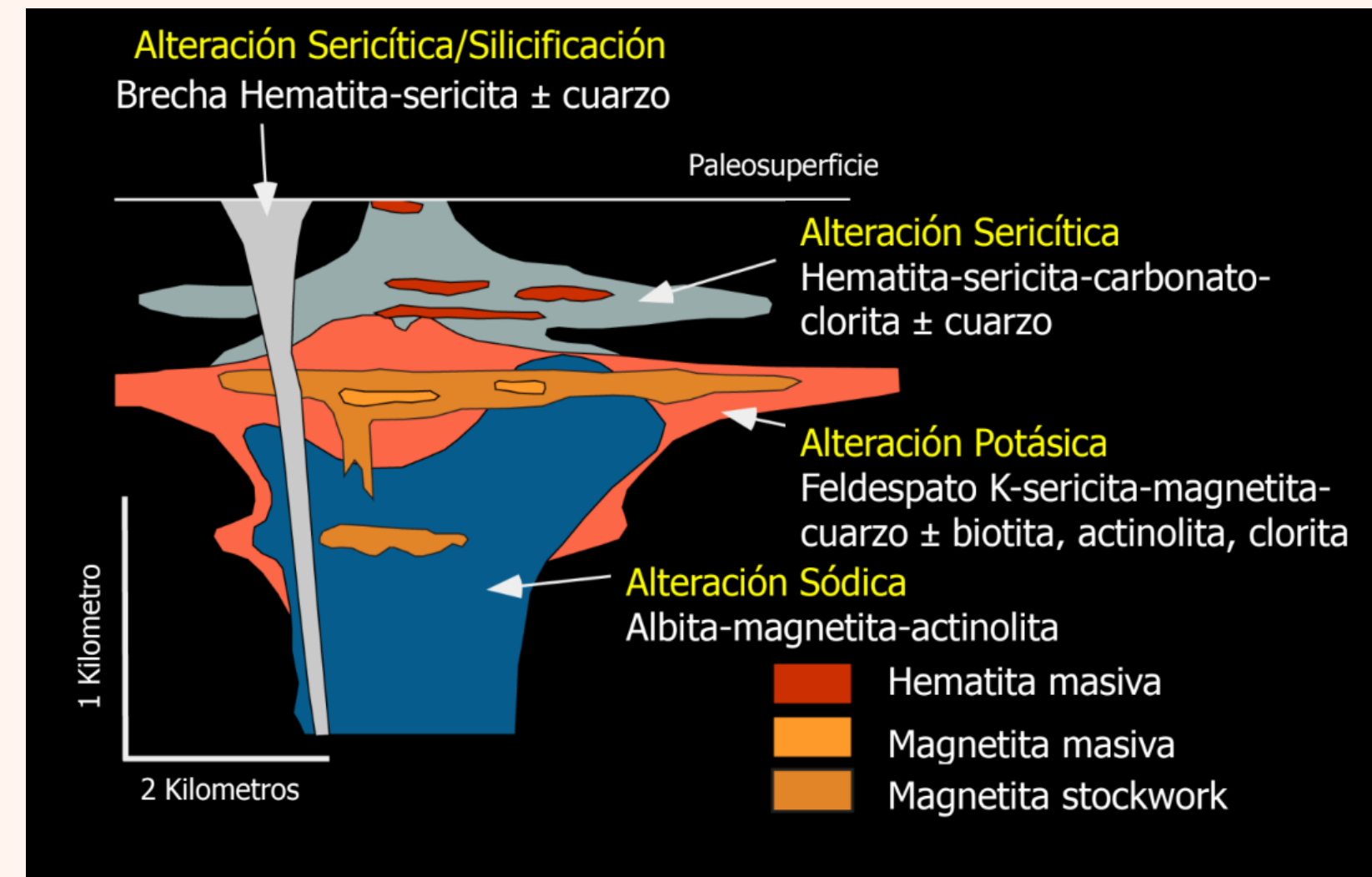
K – Fe ($\pm$ Ca) (Alta T): Biotita – feldespato-K – magnetita – actinolita – mineralización Cu – Au



K – Fe ($\pm$ Ca) (Baja T): Clorita – Feldespato-K – mica blanca – carbonatos – cuarzo - hematita



Hidrolítica: sericita – hematita – carbonatos – clorita - cuarzo



Modelo de Hirtzman (1992)

Modelo de alteración y mineralización

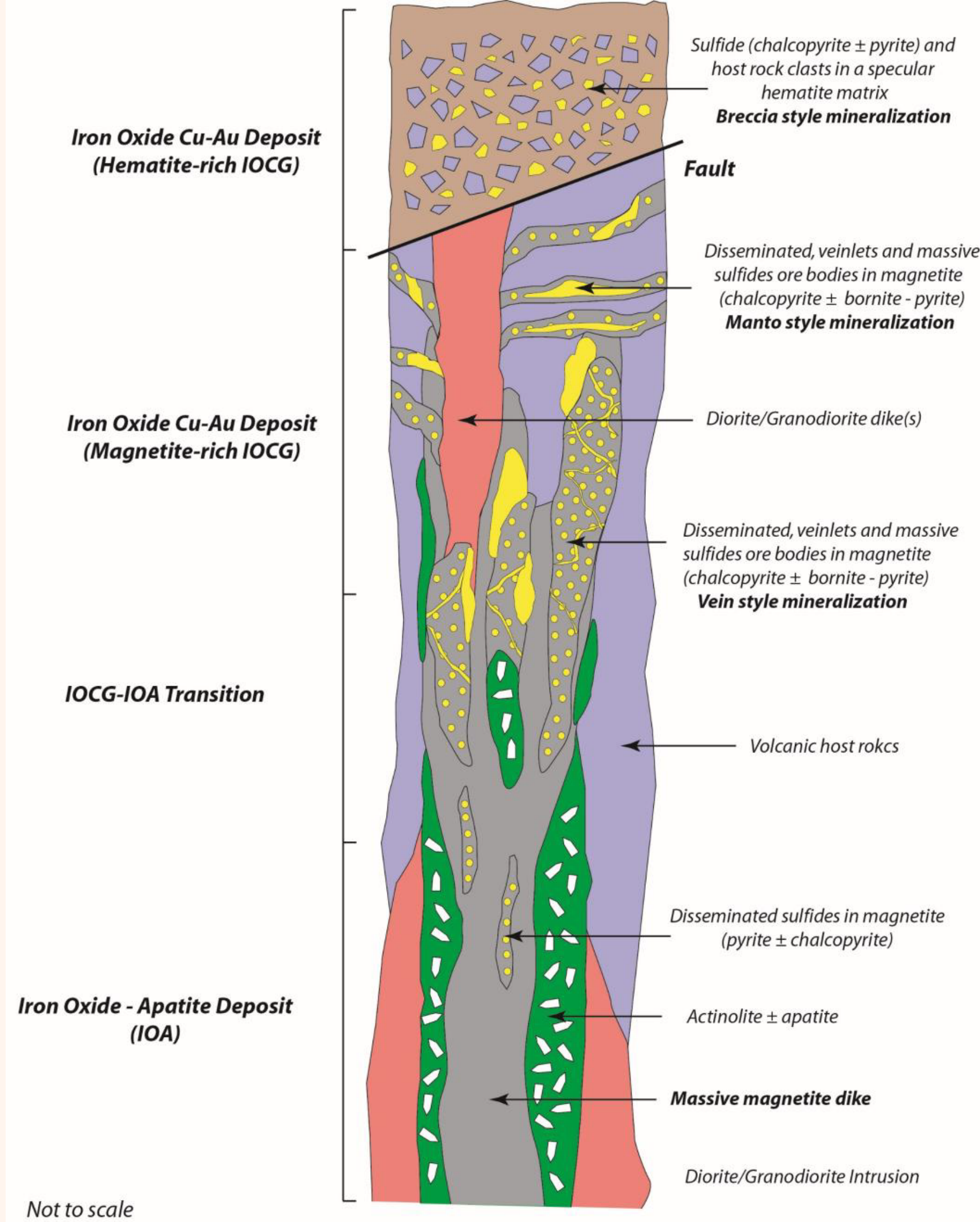
Caso andino:

En los sistemas de IOCG andinos, se reconocen una zonación de alteraciones y mineralización características, lo que permite también clasificar IOCG:

- IOCG de Hematita hacia la superficie en brechas
- IOCG de Magnetita en profundidad en vetillas y tipo “manto”

A la vez que en profundidad se genera una zona tipo IOA.

Barra et al., 2017



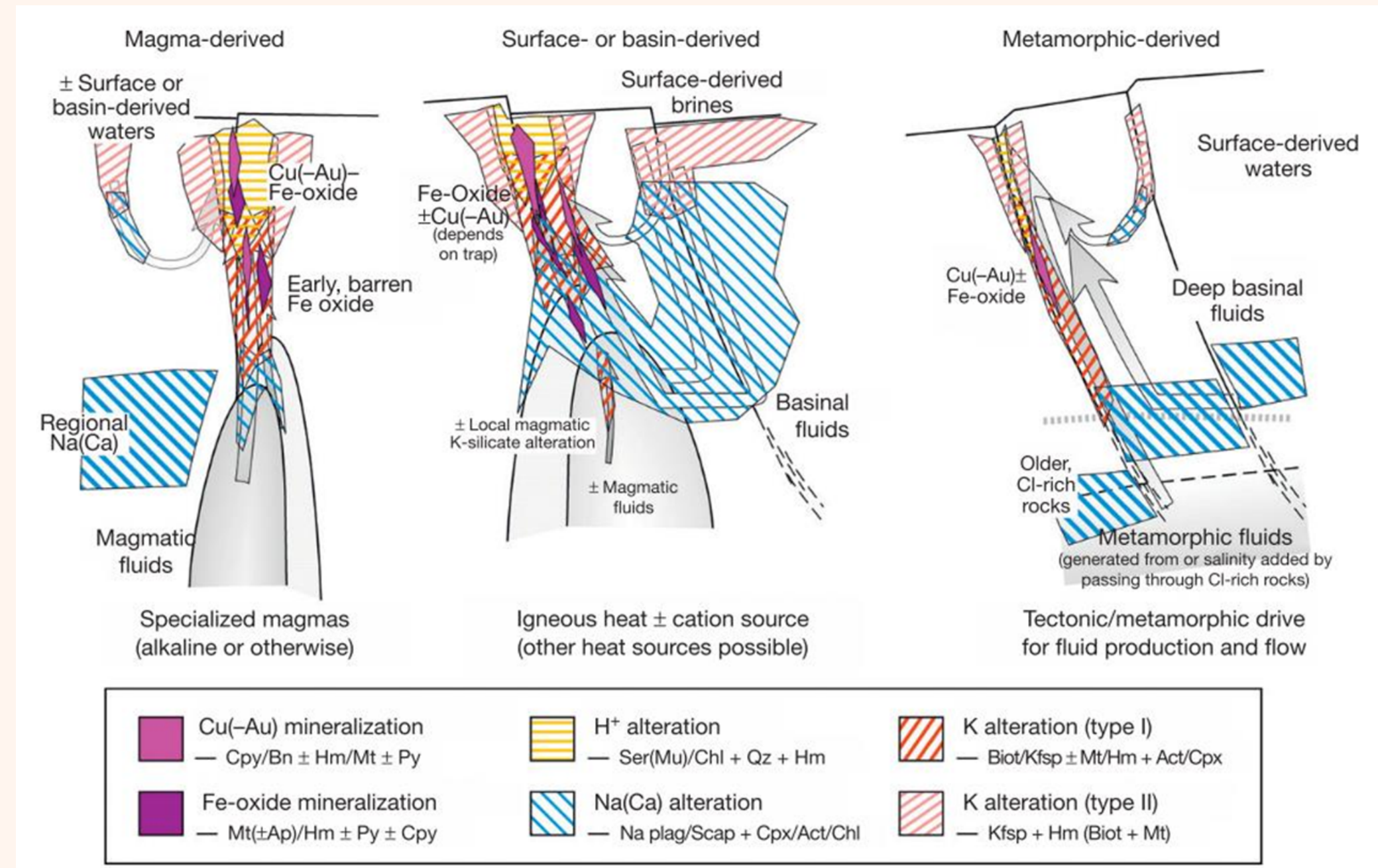
Modelo Genético

Los IOCG son depósitos que se cree se generan a partir de fluidos hidrotermales, pero la fuente de estos fluidos es debatida:

- Fuente sedimentaria
- Fuente metamórfica
- **Fuente magmática**

Caso andino:

En el clan de los IOCG andinos se ha probado que los **fluidos son de origen magmático** (Barra et al., 2017)

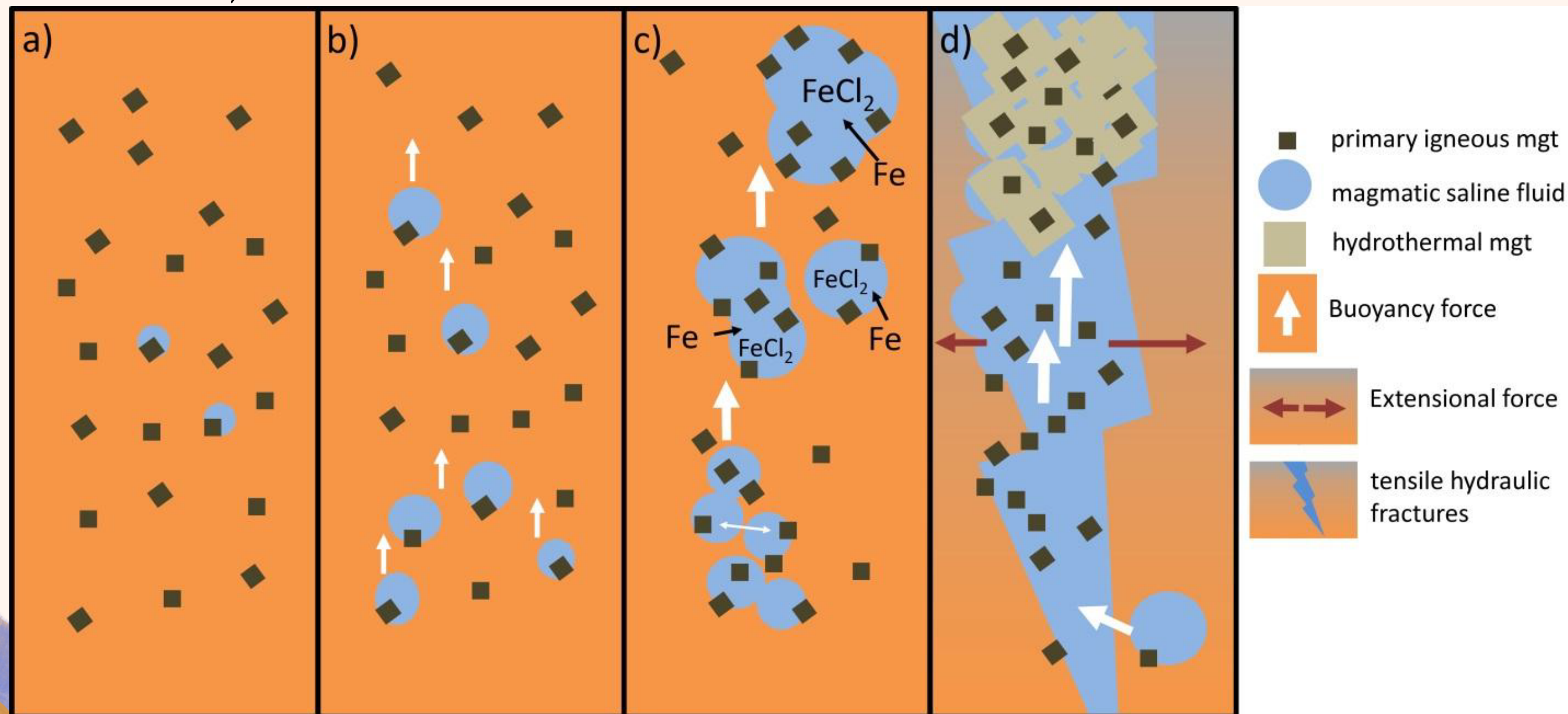


Los fluidos ascienden como un ensamblado de magnetita con fluidos ricos en Cl con Fe-Cu-Au (Barra et al., 2017).

Modelo Genético

Modelo de Flotación

El modelo de flotación de Knipping plantea la idea de que los sistemas IOCG-IOA se forman por el ensamblaje de cristales de magnetita (muy densos para ascender por su cuenta) con burbujas de un fluido ricos en Cl con iones disueltos de Fe, Cu y Au, que posteriormente asciende y cristaliza más Mt junto con Cu-Au (Knipping et al., 2015; Barra et al., 2017).



Modelo de Hirtzman (1992)

IOA



IOA

Los **IOA** (**Iron Oxide Apatite**) también llamados depósitos tipo **Kiruna** o de **Magnetita-Apatito** son un tipo de yacimientos explotados por su **Fe** con subproductos como **V, Co, P** y **REE**.

¿Subtipo de los IOCG?

Hirtzman (1992) y Sillitoe (2002) plantean un origen común con los IOCG debido a una serie de observaciones:

- Correlacion espacial en ambientes extensionales
- Magnetita en zonas profundas de IOCG

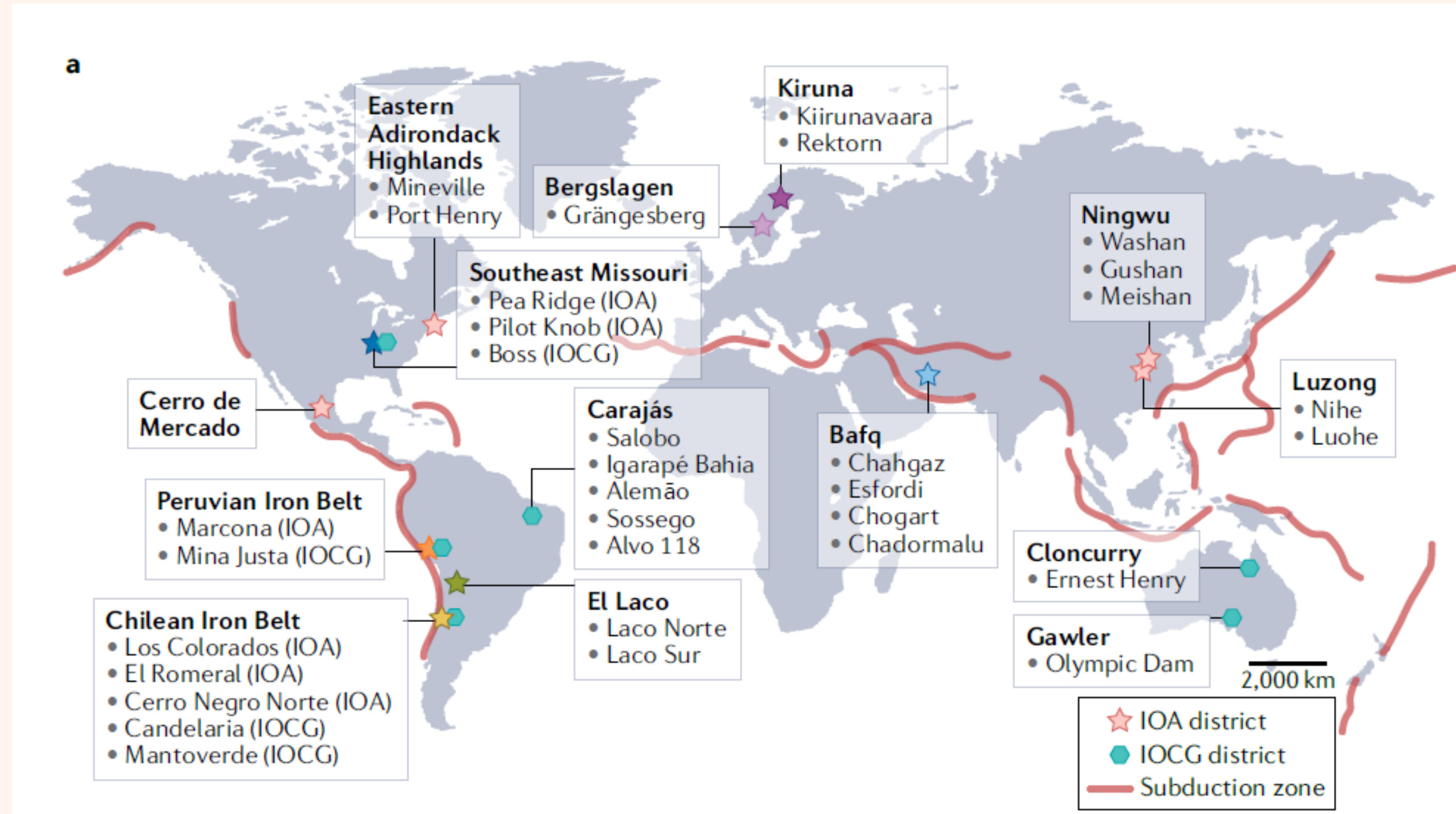


Generalidades

Compuestos principalmente por una mineralogía de Magnetita junto con cantidades variables (hasta un 50%) de Apatito, Actinolita y Piroxenos.

El depósito más importante a nivel mundial es el Kiirunavaara en el distrito de Kiruna en Suecia. Mientras que en Chile algunos de los más importantes son:

- Los Colorados
- El Romeral
- Carmen

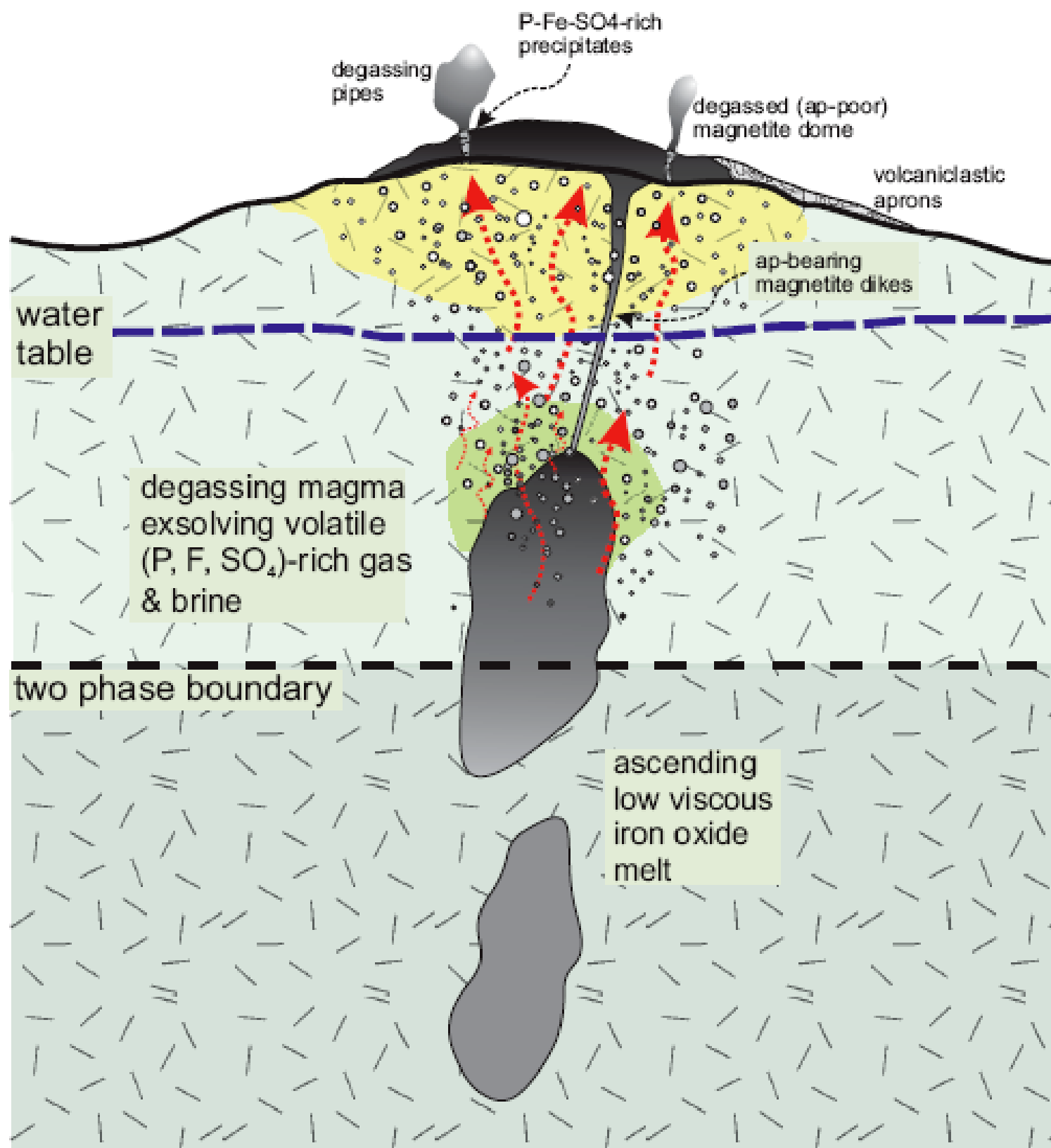


Reich et al., 2022

Modelo Genético

Al igual que en los depósitos de IOCG existe bastante debate en torno a la formación de los IOA, donde existen 3 grandes modelos:

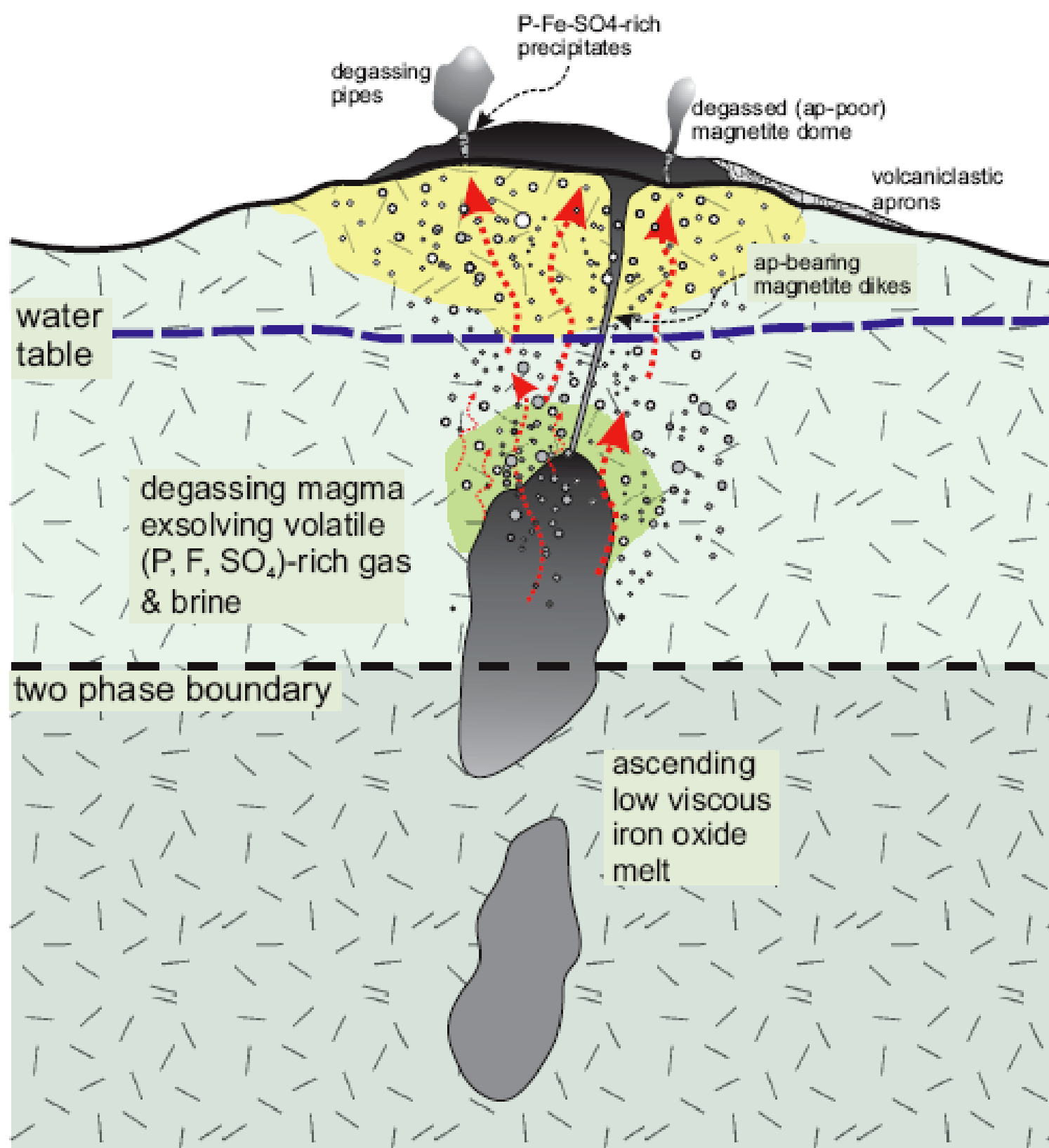
- **Modelo Magmático:** Un fundido (“magma”) de magnetita asciende y cristaliza en superficie o cerca de esta formando magnetita magmática.
 - Ventajas: Explica texturas de “lava” (El Laco) y firmas geoquímicas de magnetita magmática.
 - Desventajas: La magnetita es muy densa para ascender.
- **Modelo hidrotermal:** Un fluido hidrotermal genera la mineralización y alteración.
 - Ventajas: Explica texturas hidrotermales como reemplazos y vetillas, y firmas geoquímicas de magnetita hidrotermal.
 - Desventajas: No explica texturas ni geoquímica magmática.
- **Modelo mixto o de flotación:** Un ensamblado de burbujas con magnetita asciende y forma el depósito.
 - Ventajas: Explica todo lo anterior.
 - Desventajas: Modelo muy “nuevo” y difícil de estudiar.



Modelo Genético

Al igual que en los depósitos de IOCG existe bastante debate en torno a la formación de los IOA, donde existen 3 grandes modelos:

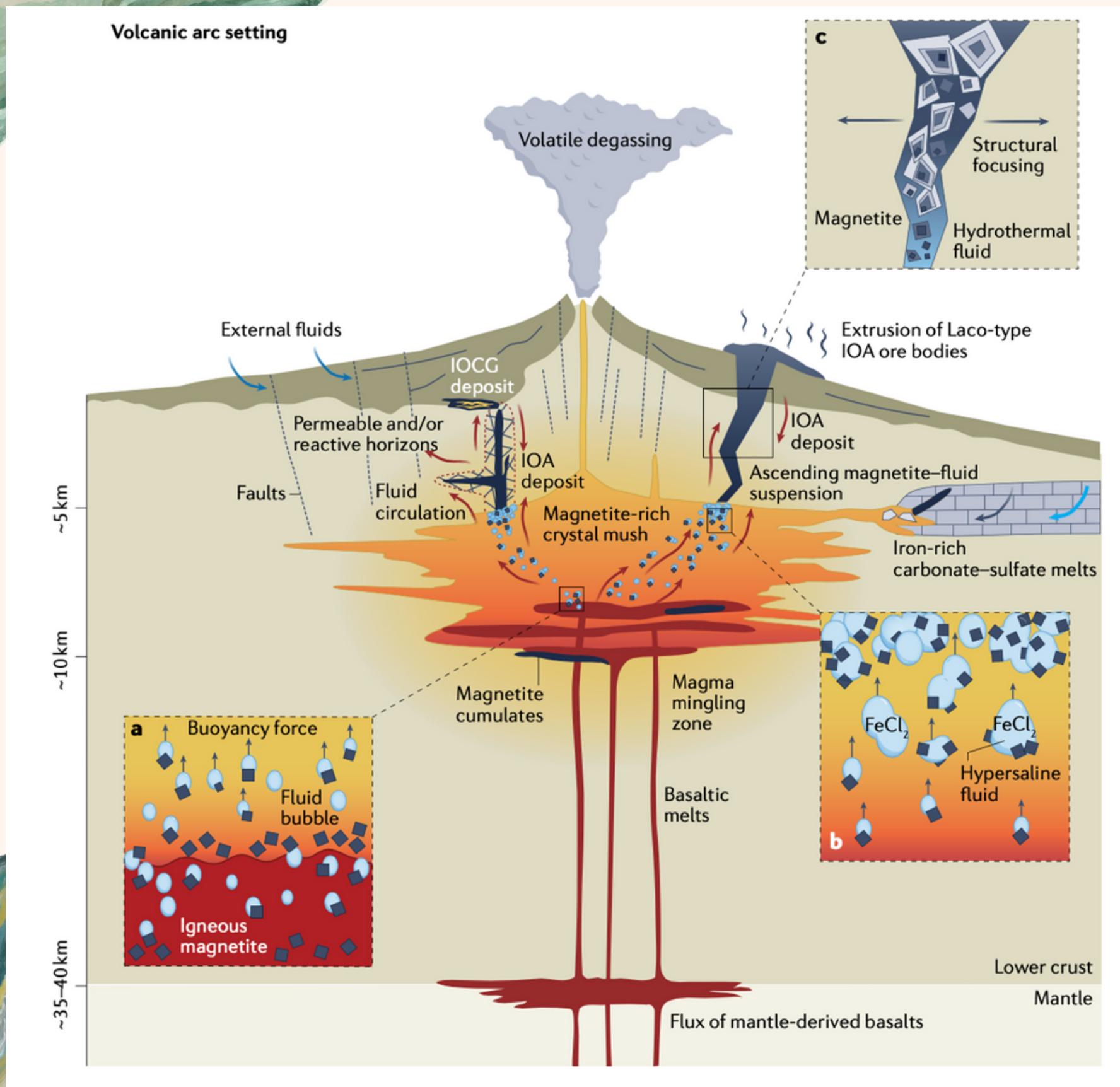
- **Modelo Magmático:** Un fundido ("magma") de magnetita asciende y cristaliza en superficie o cerca de esta formando magnetita magmática.
 - Ventajas: Explica texturas de "lava" (El Laco) y firmas geoquímicas de magnetita magmática.
 - Desventajas: La magnetita es muy densa para ascender.
- **Modelo hidrotermal:** Un fluido hidrotermal genera la mineralización y alteración.
 - Ventajas: Explica texturas hidrotermales como reemplazos y vetillas, y firmas geoquímicas de magnetita hidrotermal.
 - Desventajas: No explica texturas ni geoquímica magmática.
- **Modelo mixto o de flotación:** Un ensamblado de burbujas con magnetita asciende y forma el depósito.
 - Ventajas: Explica todo lo anterior.
 - Desventajas: Modelo muy "nuevo" y difícil de estudiar.



Modelo Genético

Al igual que en los depósitos de IOCG existe bastante debate en torno a la formación de los IOA, donde existen 3 grandes modelos:

- **Modelo Magmático:** Un fundido (“magma”) de magnetita asciende y cristaliza en superficie o cerca de esta formando magnetita magmática.
 - Ventajas: Explica texturas de “lava” (El Laco) y firmas geoquímicas de magnetita magmática.
 - Desventajas: La magnetita es muy densa para ascender.
- **Modelo hidrotermal:** Un fluido hidrotermal genera la mineralización y alteración.
 - Ventajas: Explica texturas hidrotermales como reemplazos y vetillas, y firmas geoquímicas de magnetita hidrotermal.
 - Desventajas: No explica texturas ni geoquímica magmática.
- **Modelo mixto o de flotación:** Un ensamblado de burbujas con magnetita asciende y forma el depósito.
 - Ventajas: Explica todo lo anterior.
 - Desventajas: Modelo muy “nuevo” y difícil de estudiar.



Actividad 7: Descripción de Muestras

Para la descripción de muestras asociadas a yacimientos se estudian 3 secciones:

Litología

En esta sección se evalúa la roca previa a la alteración y mineralización.

En caso de no ser posible debido a lo intenso de la alteración, se considera una roca de textura obliterada.

- Tipo de roca
- Mineralogía primaria
- Textura
- Nombre de la roca

Alteración

Minerales

Intensidad: % de la roca alterada.

- Débil: % menor
- Pervasiva (penetrativa):
Altera gran parte de la roca.
- Selectiva: Solo altera ciertos minerales.

Mineralización

Minerales: Todos los minerales metálicos.

Estilo de mineralización:

- Pátina
- Masivo
- Diseminado
- Cúmulos
- Rellenando espacios

Porcentaje de la roca.

Actividad 7: Descripción de Muestras

En caso de que encuentren estructuras como vetas, vetillas, amígdalas y brechización, es necesario describirlo. Por ahora, si se topan vetas o vetillas descríbanlas de la siguiente forma:

Vetas

Diámetro o espesor

Relleno

Forma: Recta o curva.

Continuidad: Continua o discontinua.

Halo de alteración:

- Tiene o no
- Espesor
- Alteración

Clasificación: EB, M, A, B o D.

Brechas

Fragmentos: Mono- o polimícticos. Litología, %, alteraciones, etc.

Forma de los fragmentos: Redondez, angularidad, etc.

Matriz: % y su composición (monominerales, líticos, etc.)

Cemento: Mineral que lo constituye (ie. turmalina, cuarzo, alunita, pirita, etc.)

Cavidades u oquedades: %, forma y relleno.

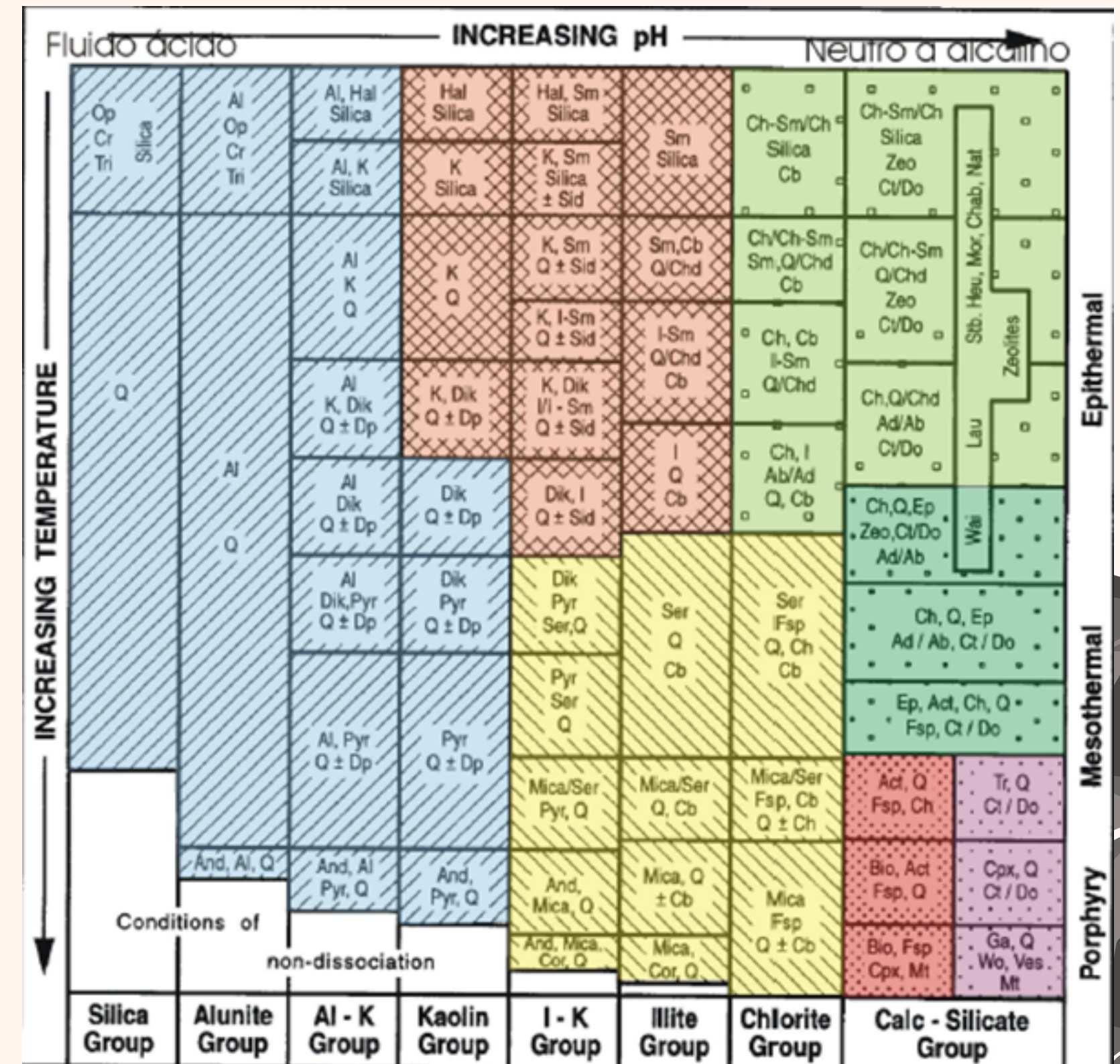
Alteración: Asociación mineral, condiciones de T y pH.



Actividad 7: Interpretación de Muestras

Interprete la muestra descrita utilizando la información de los minerales de alteración y estructuras:

- Clasifique el tipo de alteración/es
- Interprete las condiciones y ambiente de formación de dicha alteración (T°, pH y profundidad)
- Temporalidad de eventos
- Reacciones que se puedan reconocer
- Tipo de depósito





Geología

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Introducción a Yacimientos Minerales

Auxiliar 7: IOCG - IOA

GL4401 - Primavera

Profesor: Brian Townley

Auxiliar: Nicolás Barahona

Ayudantes: Diego Mora y Blas Álvarez

