

# IMAGENES HIPERESPECTRALES DE NÚCLEO APLICACIONES

- DEPÓSITOS TIPO PÓRFIDO -

Septiembre 2021

FOR RESTRICTED USE ONLY – NO DISTRIBUTION ALLOWED  
[sales@corescan.com.au](mailto:sales@corescan.com.au)

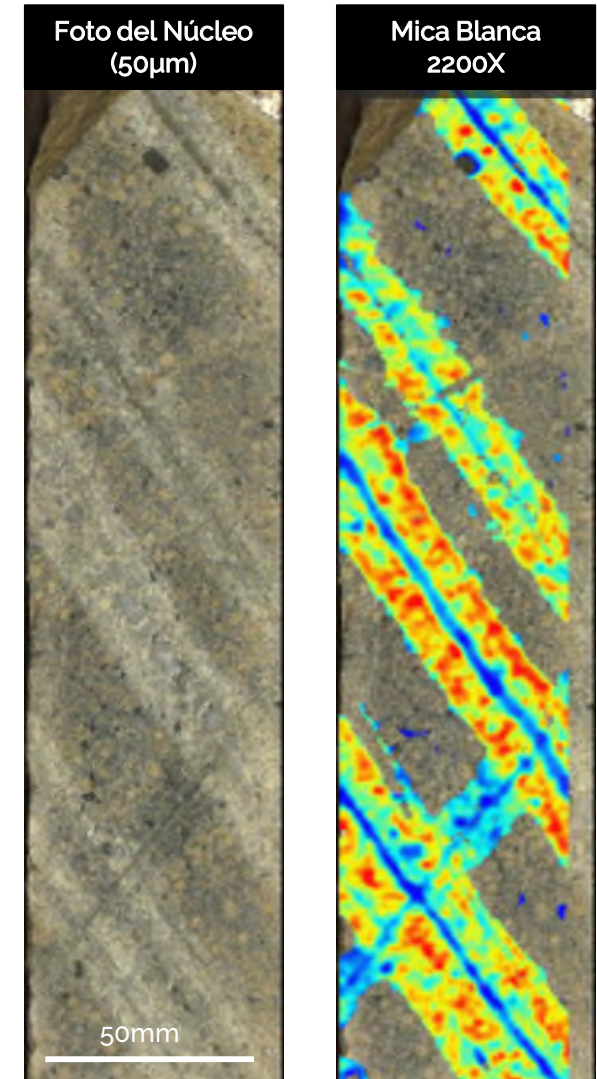
## Introducción a Corescan y las Imágenes Hiperespectrales

## Información General de los Depósitos Tipo Pórfido

## Mineralogía de Alteración

- Alteración y Mineralización de la Zona de Mena
- Litocap
- Alteración Proximal
- Sobreimpresión y Alteración Distal

## Rasgos Estructurales



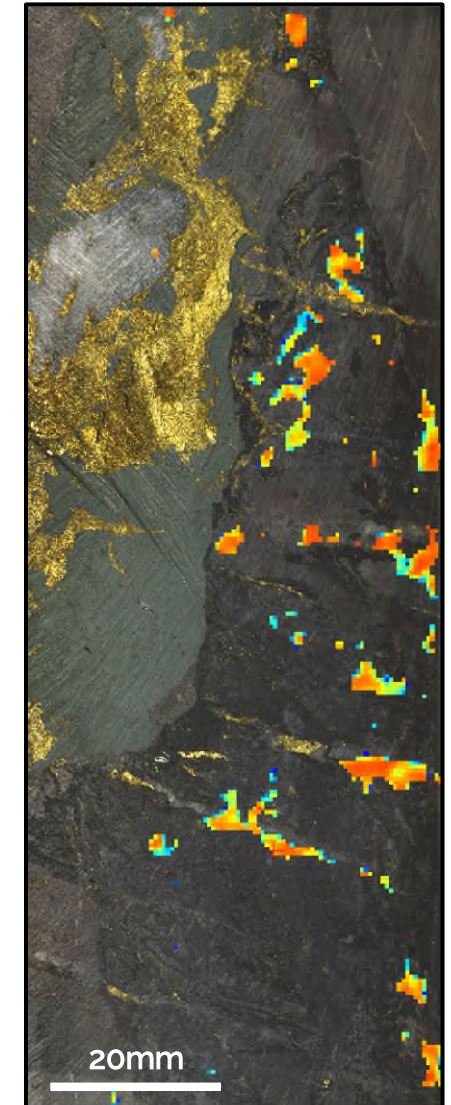
## Identificación y mapeo de minerales a lo largo del ciclo minero:

- Mejora de dominios de alteración y ensambles minerales
- Selección y caracterización de muestras metalúrgicas y geoquímicas
- Mediciones geotécnicas para diseño de mina e ingeniería
- Identificación de vectores de alteración para blancos de exploración
- Caracterización de mena y ganga para procesamiento mineral y optimización
- Verificación terrestre de levantamientos hiperspectrales aerotransportados

Los laboratorios hiperspectrales de Imágenes de núcleo de CoreScan (HCI) integran espectroscopía de reflectancia de alta resolución, imágenes visuales y perfiles láser 3D para mapear la mineralogía, composición mineral y morfología del núcleo, lo que proporciona un conocimiento geológico mejorado.

## Cronología resumida:

- La ingeniería del sensor comenzó en 2001
- Las operaciones comerciales comenzaron en 2011
- Más de 580 proyectos / 1.2 millones de metros escaneados, procesados y entregados con éxito





# Imágenes Hiperespectrales de Núcleo: Tipos de Material

Núcleo cortado / dividido



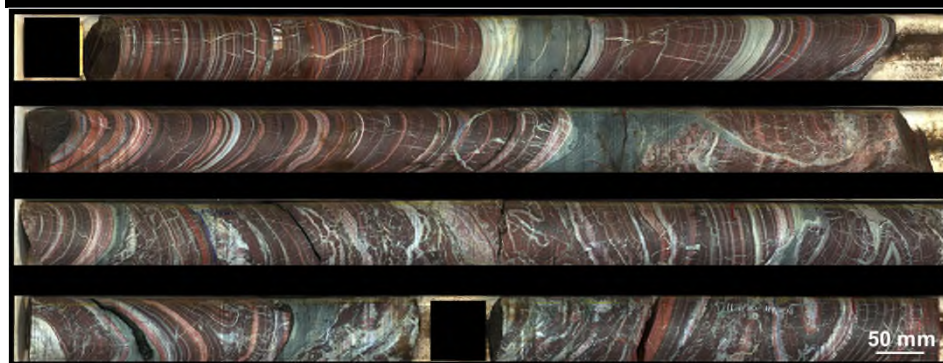
Muestras de Mano



Suelos



Núcleo entero / sin cortar



Chips, recortes, tronadura



# Hyperspectral Core Imager: Modelos 3 & 4

Specifications	HCI-3.2	HCI-4.1	HCI-4.2
RGB photography - spatial resolution	50 µm	25 µm	25 µm
Surface profiling - spatial resolution	500 µm	50 µm	50 µm
Spectrometer type	Imaging	Imaging	Imaging
Imaging spectrometer - spatial resolution	500 µm	500 µm	250 µm
Spectra per meter (1000mm x 60mm)	240,000	240,000	960,000
Spectral range - VNIR (nm)	450 - 1,000	450 - 1,000	450 - 1,000
Spectral range - SWIR (nm)	1,000 - 2,500	1,000 - 2,500	1,000 - 2,500
Spectral resolution (nm)	4nm	4nm	2nm
Core tray length (maximum)	1,550mm	1,550mm	1,550mm
Core tray width (maximum)	600mm	600mm	700mm
Supports material weighing	-	-	Yes
Supports pass-through workflow	-	-	Yes
Scanning speed	~10mm per second	~25mm per second	~18mm per second

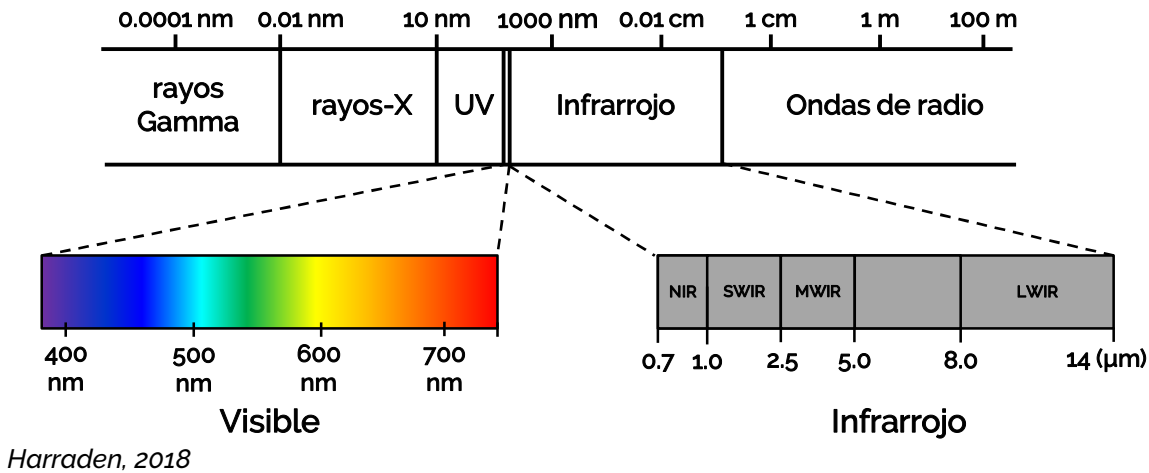


For further information please visit: <https://corescan.com.au/products/hyimager/>

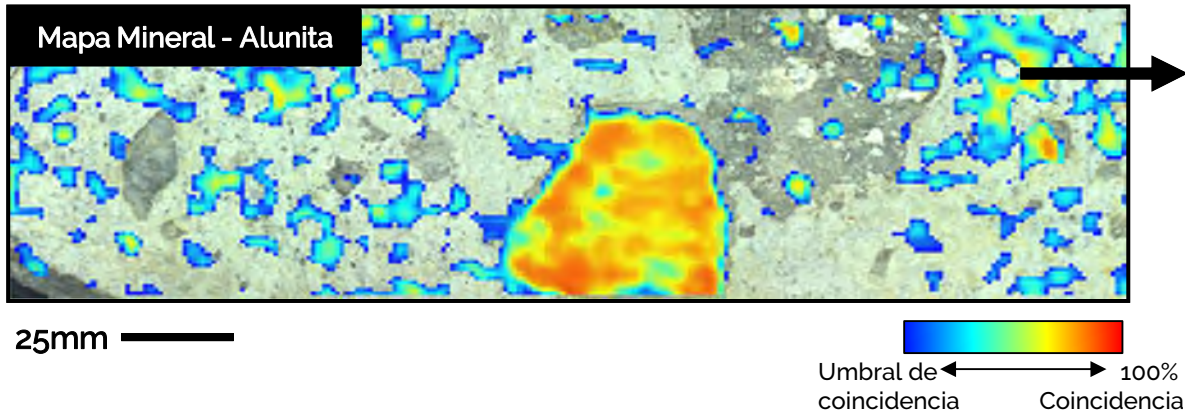


# Mineralogía Hiperespectral Continua

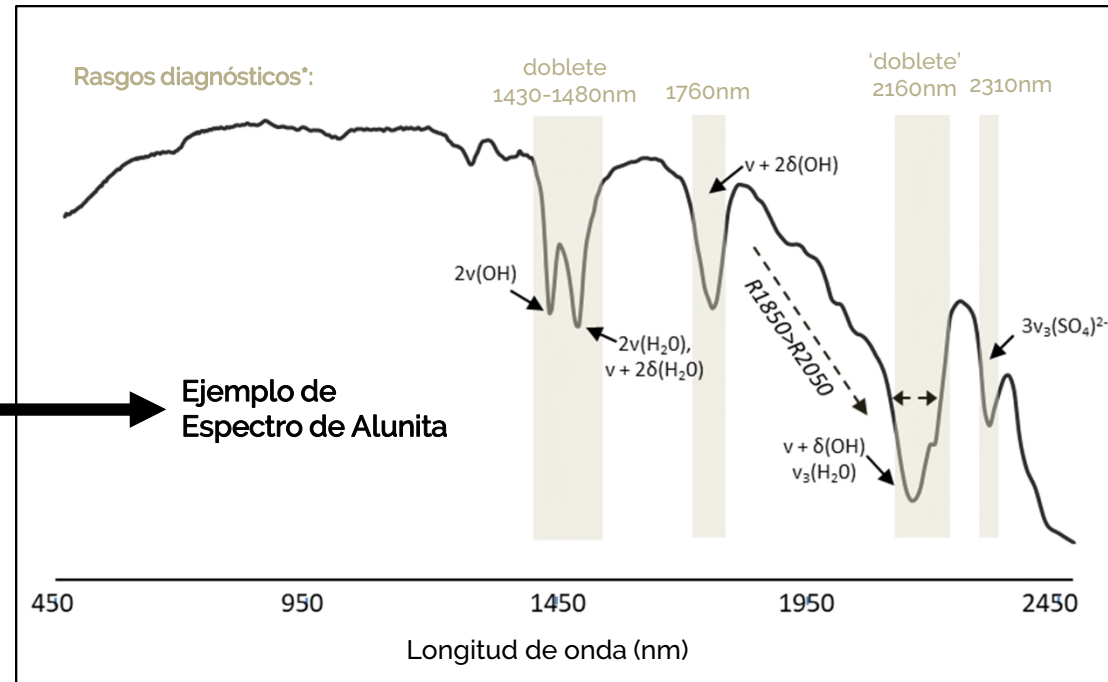
Los espectrómetros patentados de CoreScan miden cientos de bandas contiguas estrechas en el espectro electromagnético de 450 a 2500 nm, que abarcan el espectro visible e infrarrojo cercano (VNIR), y el infrarrojo de onda corta (SWIR).



Se obtienen imágenes de la superficie del núcleo con ~250,000 píxeles por metro\*; con cada píxel\* de 500 μm x 500 μm midiendo una firma espectral única.

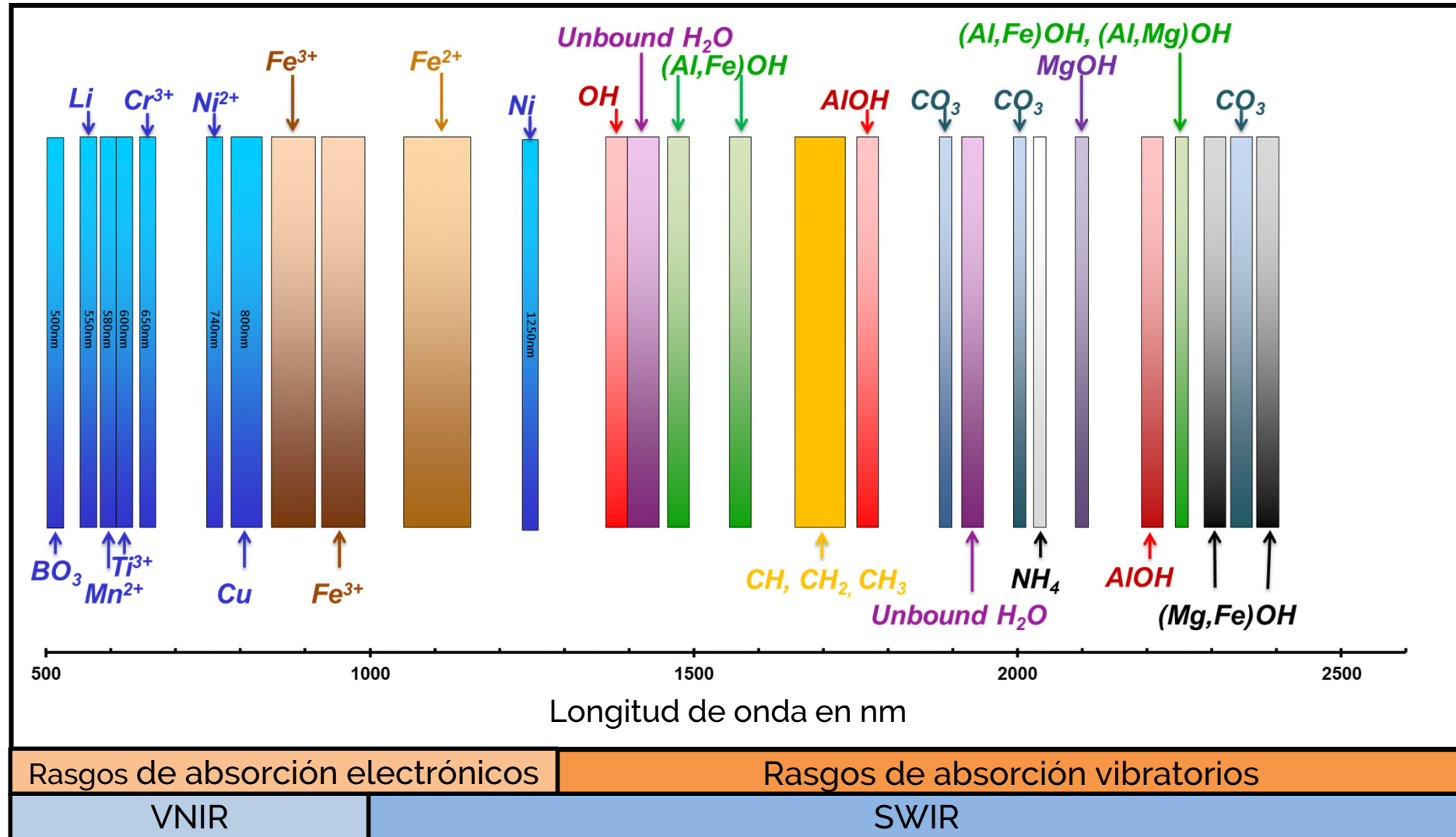


Tamaño de Pixel\*\*  
500μm



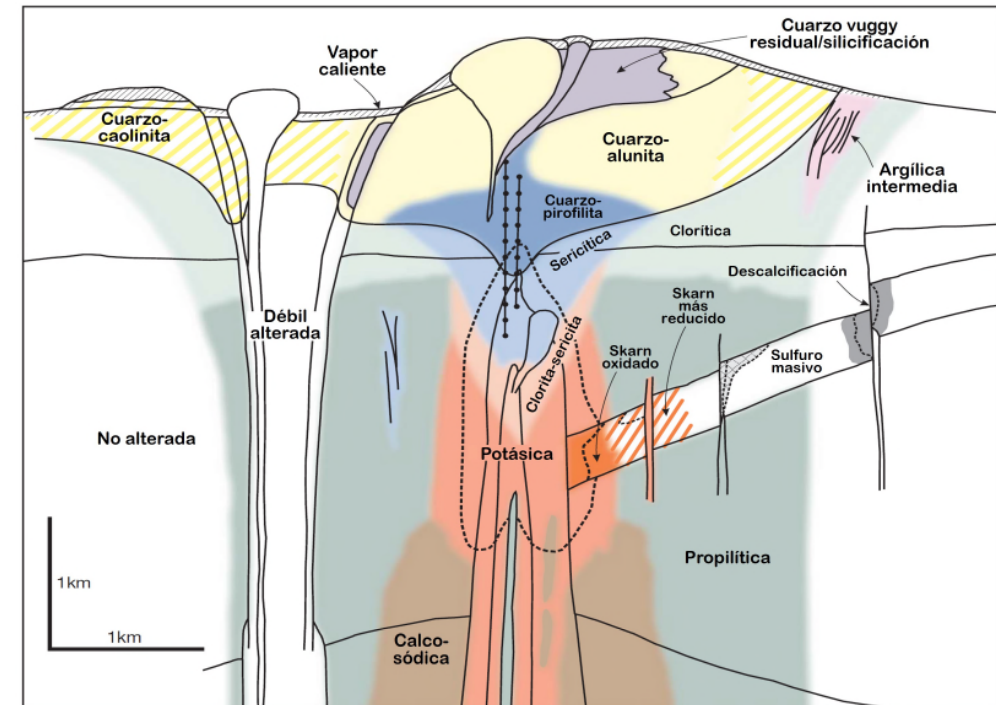
\*Específico del instrumento HCl-3  
\*\* No a escala

# VNIR-SWIR: Enlaces Moleculares Detectables



# Depósitos Tipo Pórfido

- Los depósitos tipo pórfido están asociados al magmatismo en zonas de subducción y se agrupan ampliamente en subtipos calco-alcalinos y alcalinos.
- Se forman en entornos relacionados con arcos y asociados con magmas de zonas de subducción.
- Están agrupados en provincias minerales discretas, lo que implica que existe alguna forma de control geodinámico o influencia de la corteza que afecta la ubicación de la formación de pórfidos. Tienden a ocurrir en cinturones lineales paralelos a orógenos.
- El estilo de mineralización varía mucho entre depósitos (stockwork vetado, brechas, diseminado), caracterizado por un complejo intrusivo porfídico que está rodeado por un stockwork de vetas y brechas hidrotermales.
- La alteración magmático-hidrotermal se caracteriza por abundantes sulfuros zonificados desde sulfuro de Cu rico en zonas minerales hasta pirita rica en zonas superiores (Halley et al., 2015).
- Tienden a ser de bajo grado pero de gran tonelaje.



Sillitoe, 2010

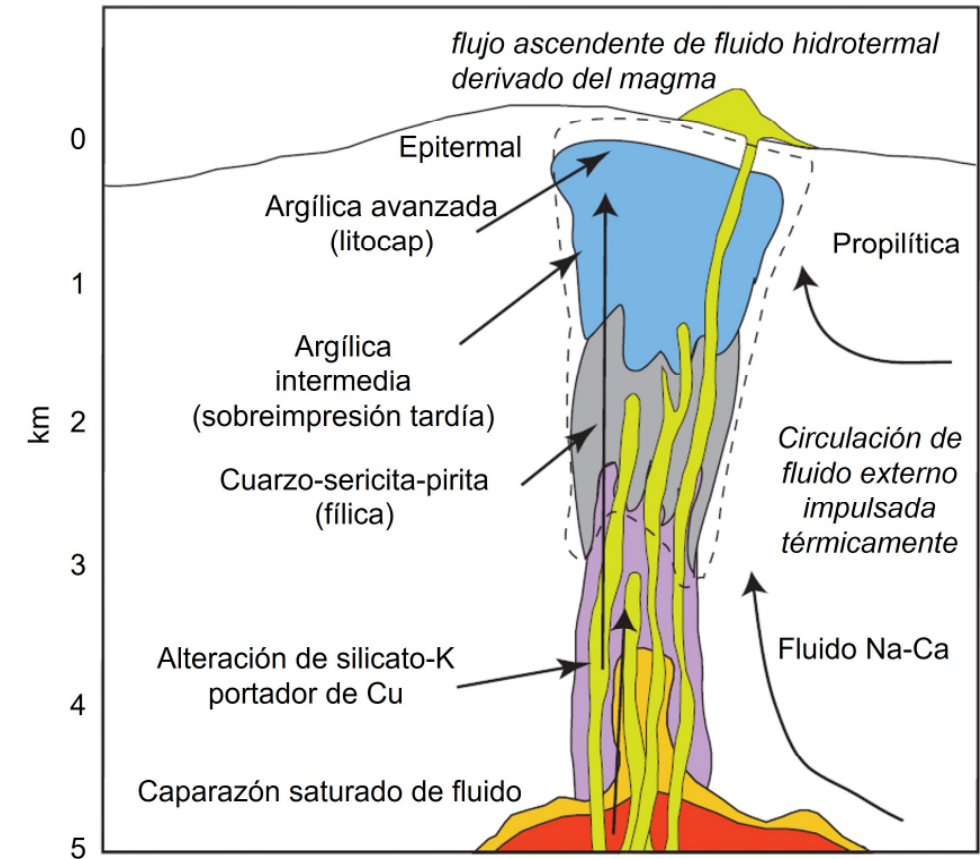


# Depósitos Tipo Pórfido – Mineralogía de Alteración

# Zonación de Alteración en Depósitos Tipo Pórfido corescan

Powered by Epiroc

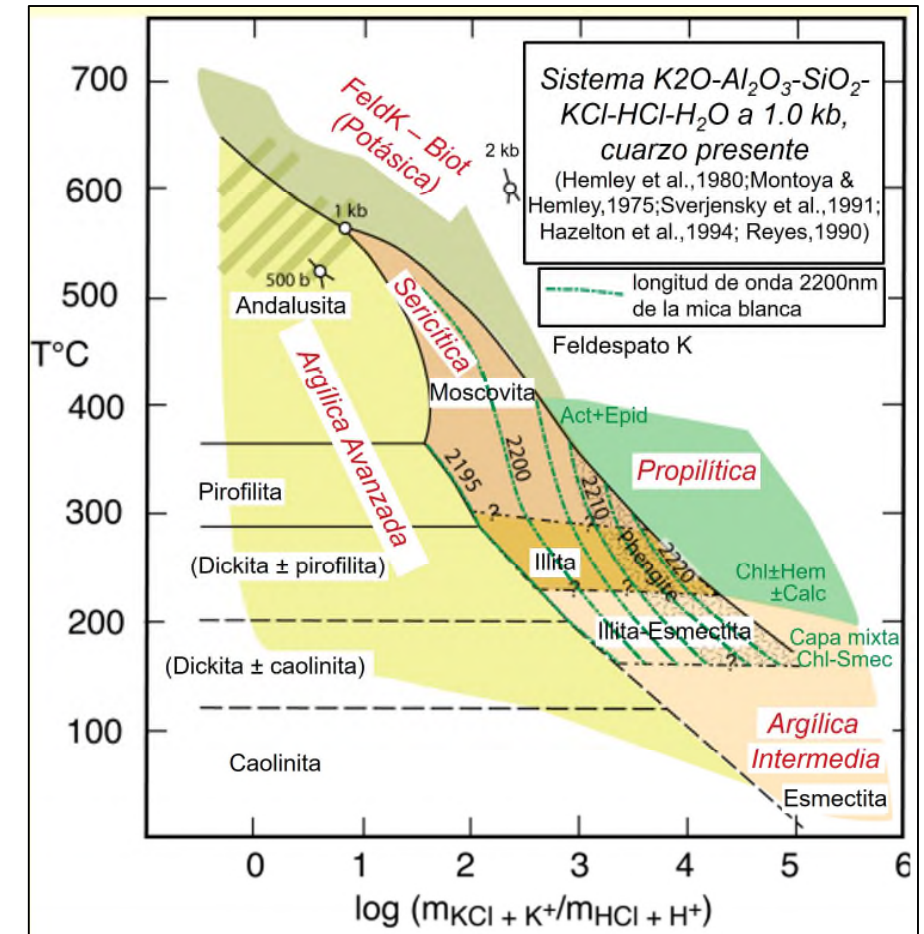
- Los fluidos a alta temperatura alteran la roca en ensamblajes minerales que consisten en cuarzo, feldespato K, biotita, anhidrita y magnetita (ensamblaje de alteración potásica).
- Superpuestos a los ensamblajes de alteración de alta temperatura en las partes superiores del sistema de pórfido hay ensamblajes de alteración que reflejan un enfriamiento progresivo y condiciones fisicoquímicas cambiantes (Tosdal et al., 2009):
  - Cuarzo + mica blanca ± clorita
  - Litocap argílico avanzado
  - Sobreimpresión de alteración argílica intermedia



(Tosdal et al., 2009)

# Zonación de Alteración en Depósitos Tipo Pórfido

- Las explicaciones de las condiciones fisicoquímicas para formar ensambles de estilo pórfido se explican en detalle a continuación y se destacan en el diagrama de la derecha, que incluye longitudes de onda de onda de mica blanca medidas en el SWIR.
- Cuarzo, mica blanca (ya sea moscovita, fengita o, en casos raros, paragonita) y piritita (p. ej., alteración fílica); cuando las rocas son ricas en Mg/Fe, está presente la clorita. Este ensamble se forma a través del enfriamiento del fluido a medida que asciende de forma flotante (Tosdal et al., 2009).
- Las arcillas pervasivas representan un conjunto de alteración argílica intermedia de baja temperatura (<250°C) formado durante el enfriamiento y el colapso del sistema hidrotermal (Tosdal et al., 2009).
- La intensa lixiviación ácida a poca profundidad forma una alteración argílica avanzada que puede o no estar asociada con depósitos epitermales. Esta alteración se caracteriza por la destrucción total de los minerales primarios, dejando un residuo insoluble de cuarzo, arcillas (caolinita o pirofilita), hidróxidos de aluminio (diáspora) y alunita; esto también se conoce como tapa de lixiviación (Tosdal et al., 2009).
- La alteración argílica intermedia tardía (esmectita-illita-clorita o esmectita-clorita) se forma a baja temperatura e introduce poco sulfuro, pero puede superimponerse extensamente los ensambles de mayor temperatura (Halley et al., 2015).

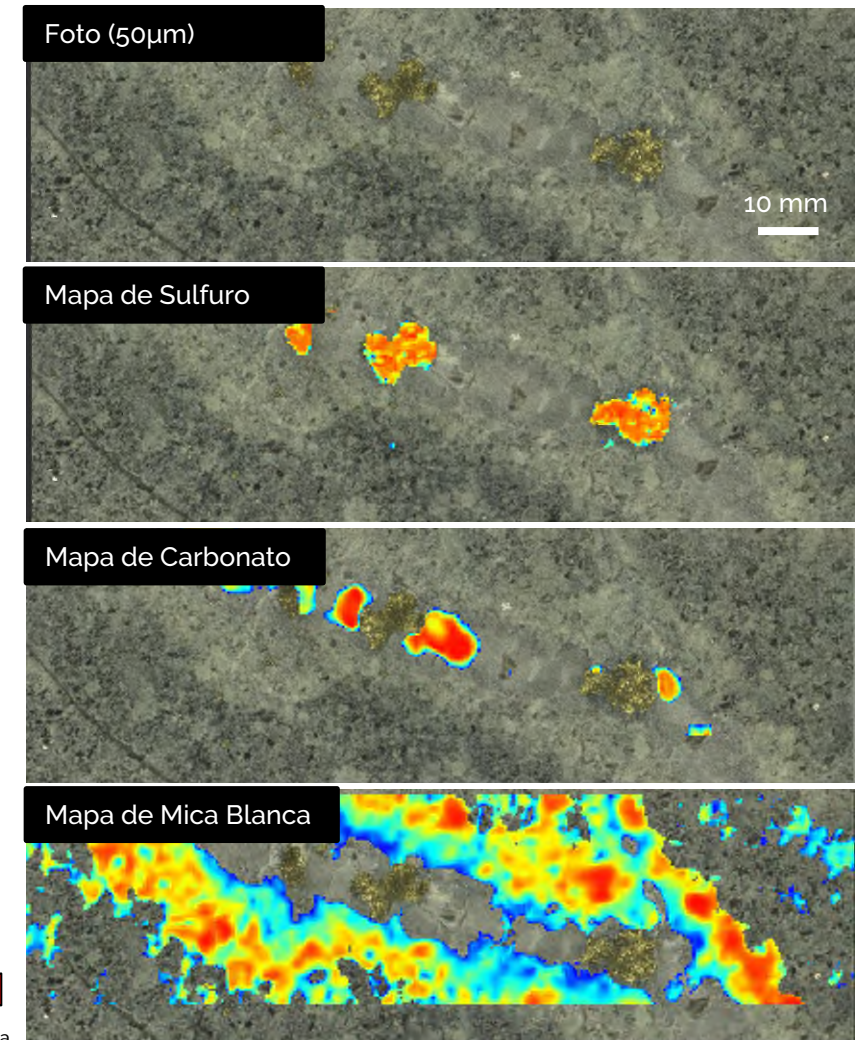
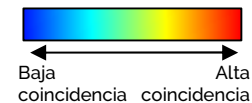
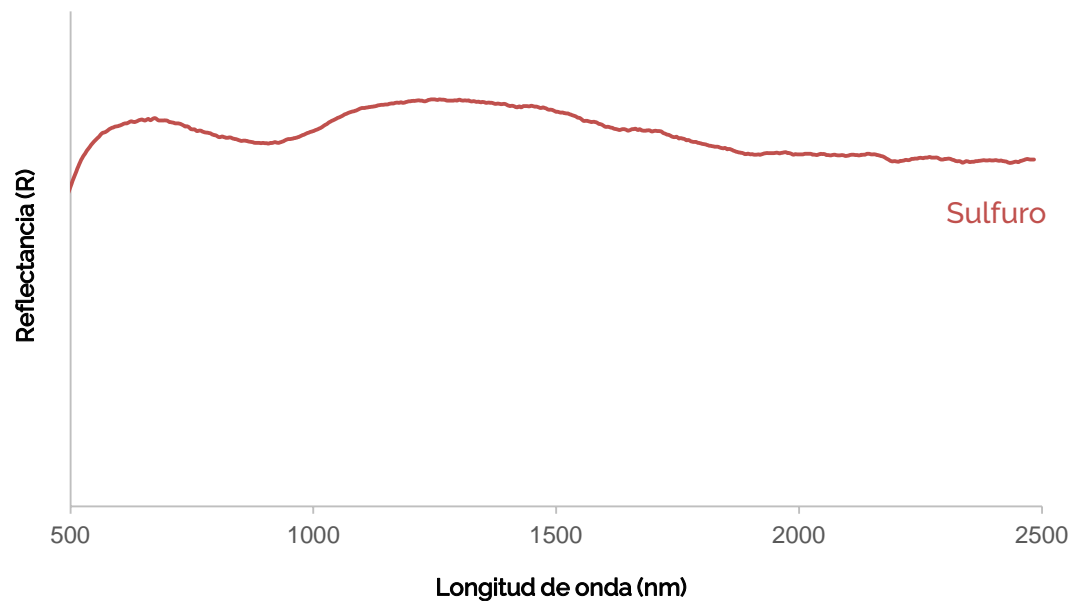


(Halley et al., 2015)



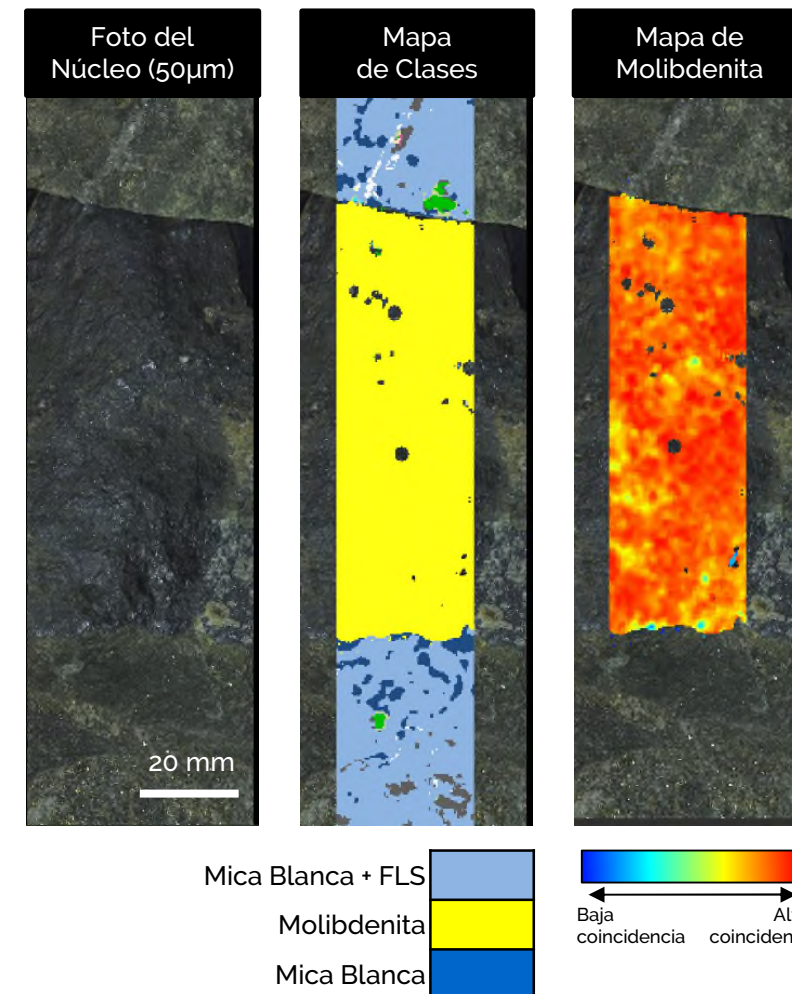
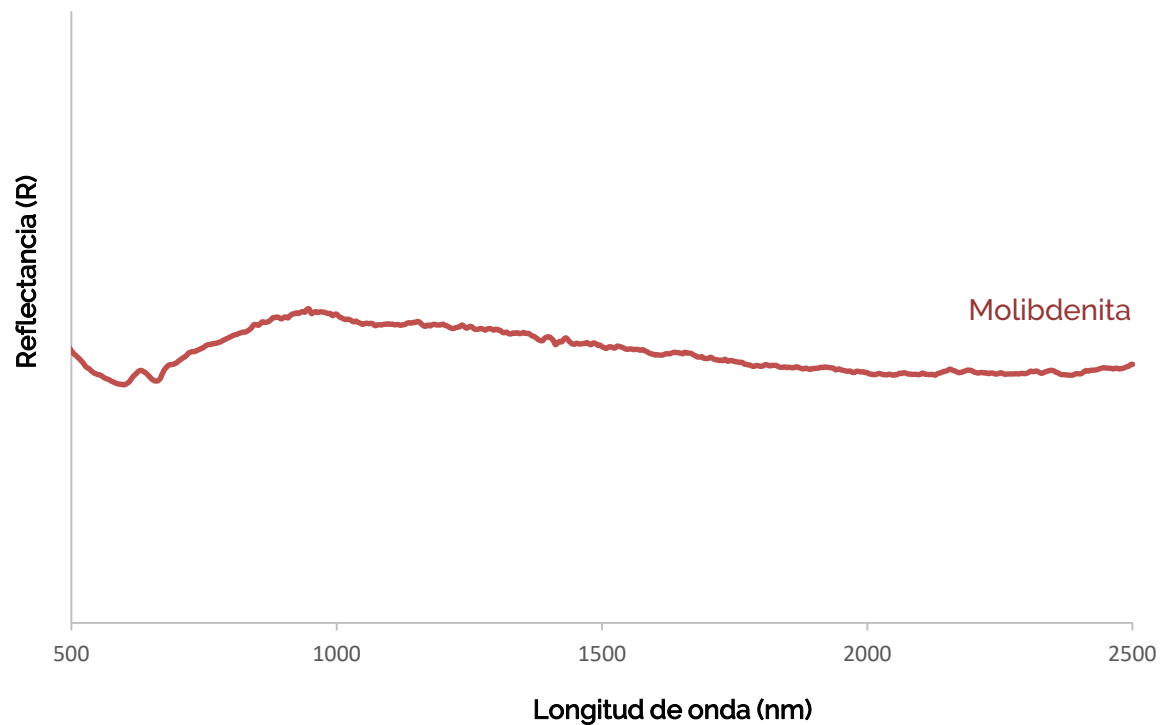
# Alteración & Mineralización de la Zona de Mena: Sulfuros de Fe

- Los sulfuros de hierro (p. ej., pirita, calcopirita) carecen de características de absorción espectral de diagnóstico en el rango VNIR-SWIR; sin embargo, la forma general de la firma espectral (más la textura – veteadada, masiva, etc.) puede permitir la discriminación e identificación general, particularmente para materiales de grano más grueso.



# Alteración & Mineralización de la Zona de Mena: Molibdenita

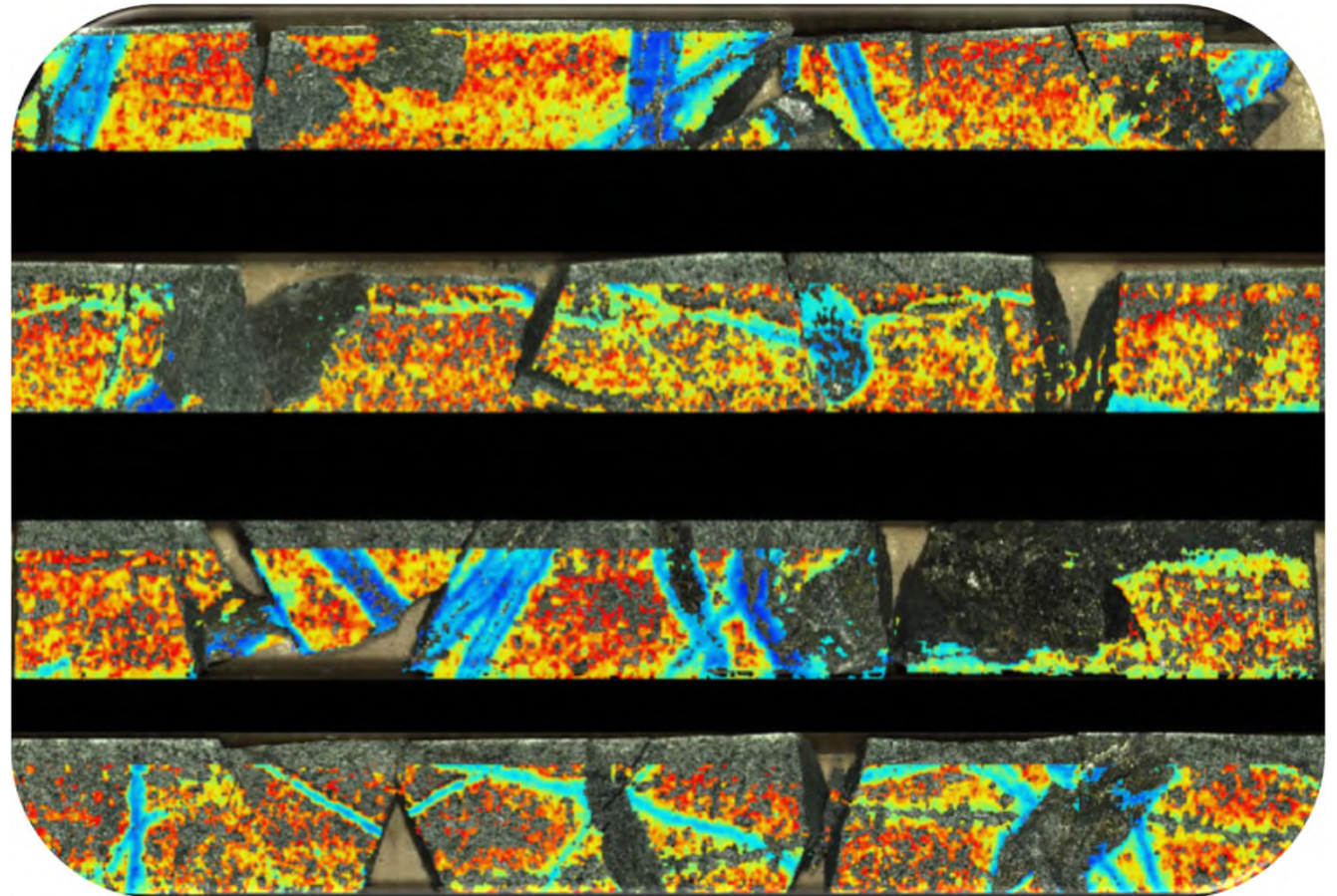
- La molibdenita es uno de los pocos sulfuros que tiene rasgos de absorción espectral diagnósticos en el rango VNIR-SWIR con rasgos espectrales atribuidos al Mo.



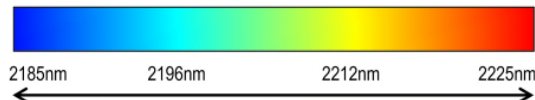
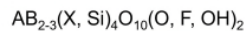


# Vectores a la Zona de Mena: Química de la Mica Blanca

- En muchos depósitos de pórfido, el dominio potásico central alberga la mayor parte del mineral (Cooke et al., 2014 y referencias allí).
- Cada vez más, el dominio "fílico" (cuarzo-moscovita-pirita+/-calcopirita) y la alteración "sericítica" se reconocen como un contribuyente significativo al recurso de un depósito (Benavides et al., 2018).
- La sericita verde/gris de alta temperatura que se observa a menudo en los pórfidos andinos puede ser un vector de intervalos portadores de leyes altas.



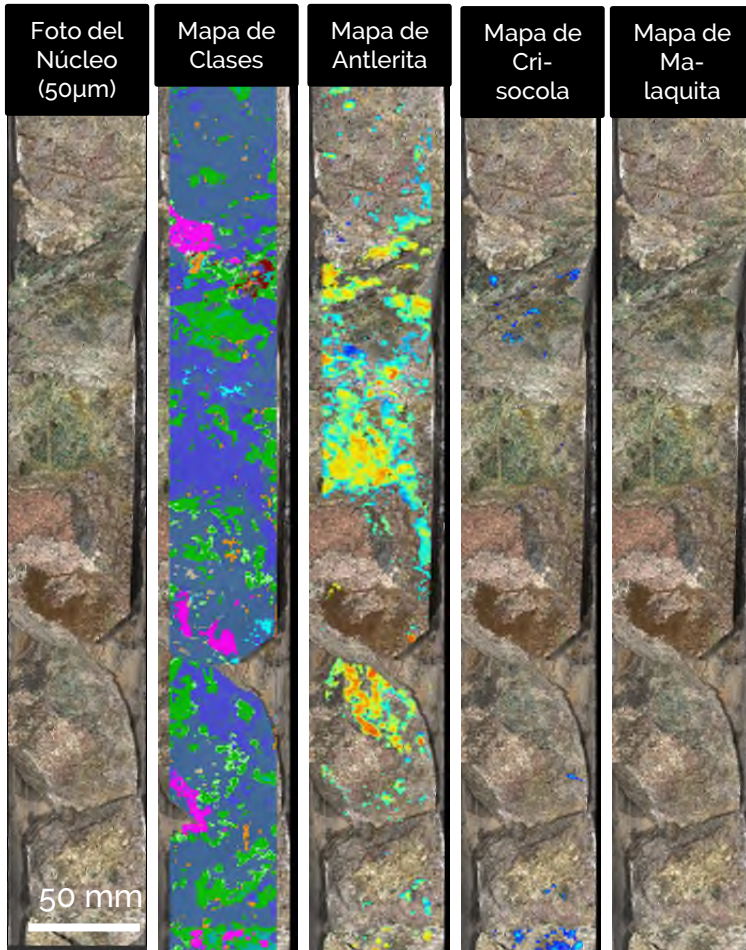
COMPOSICIÓN DE LA MICA BLANCA: Longitud de onda 2200nm



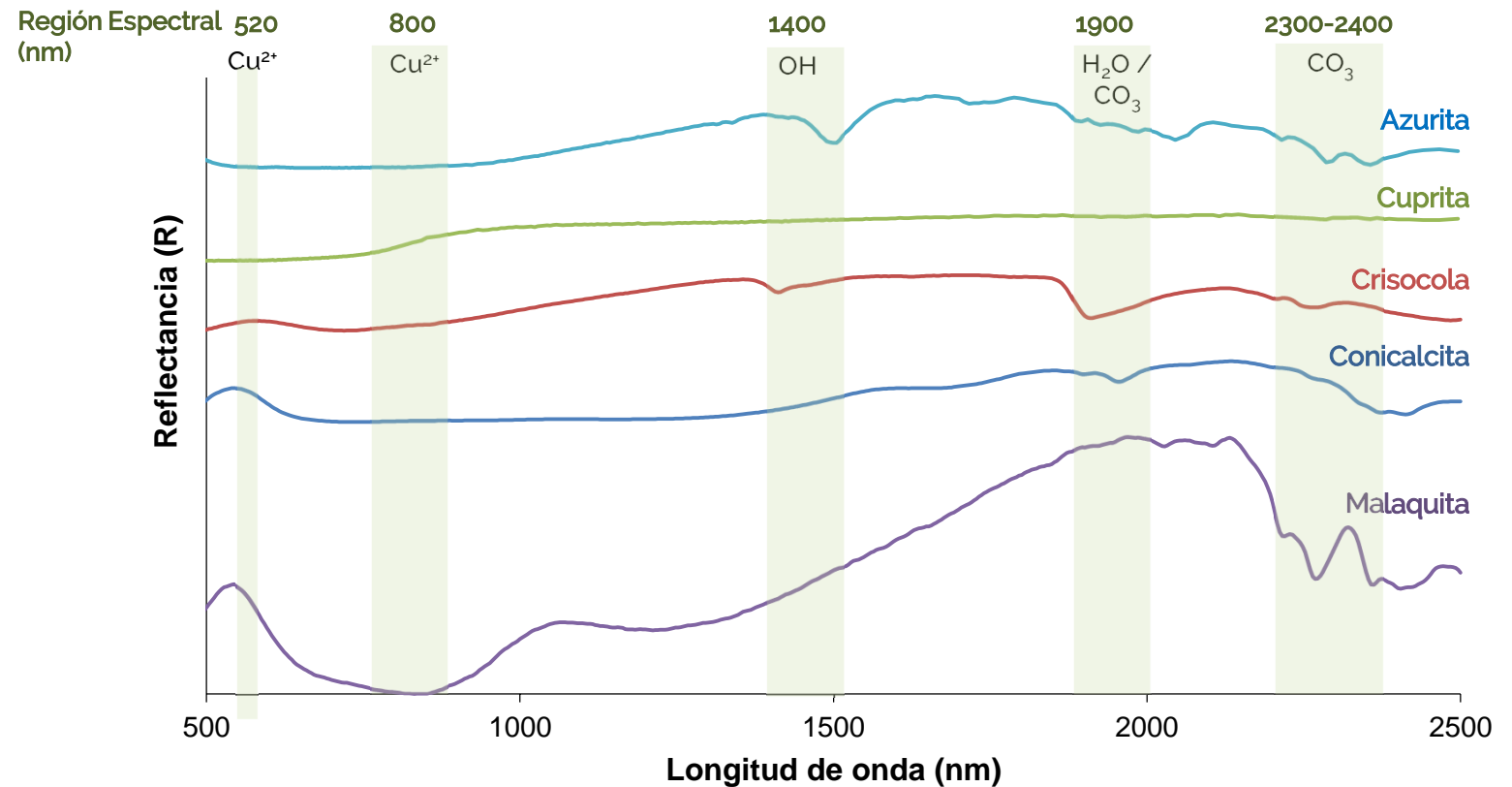
**Paragonita**      **Moscovita**      **Fengita, celadonita**  
A: Substitución de Na    A: substitución de K    B: substitución de Fe, Mg  
B, X: substitución de Al    X: Substitución de Si

Mapa de longitudes de onda de mica blanca de un pórfido de Cu-Mo, Chile.  
Las micas blancas de menor longitud de onda pueden verse como halos en las vetas de sulfuro.

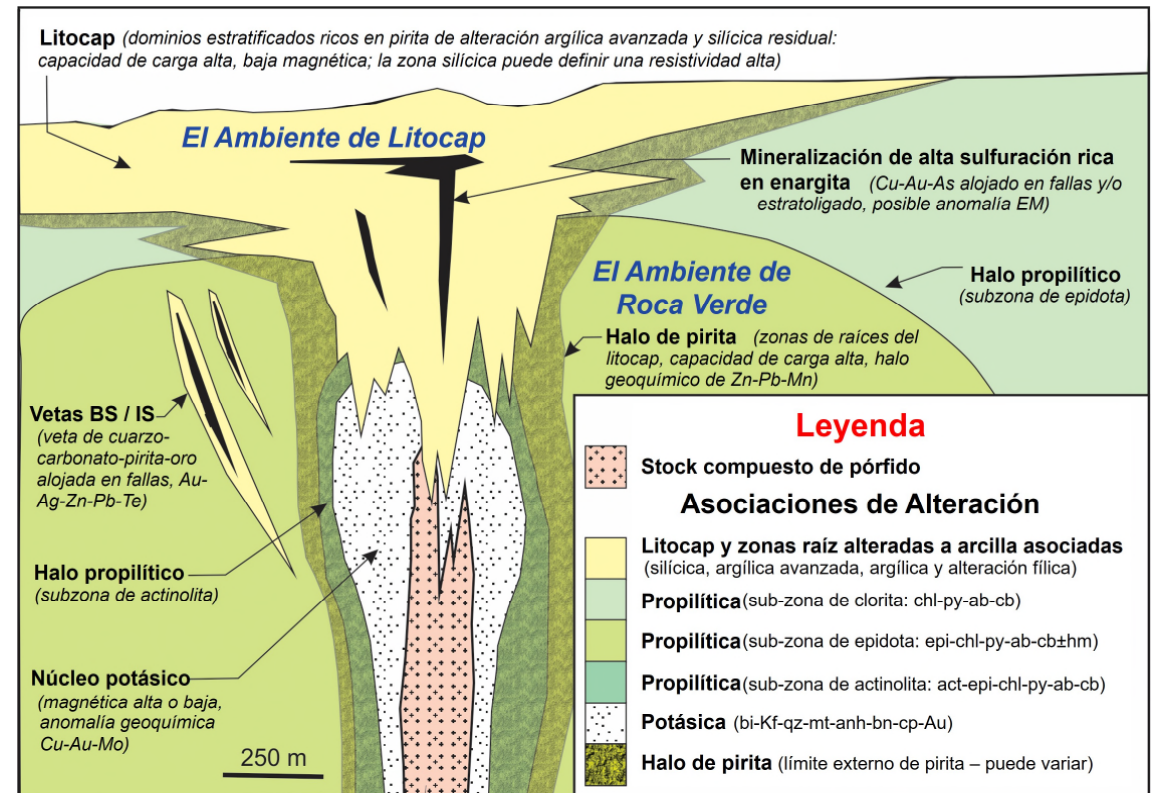
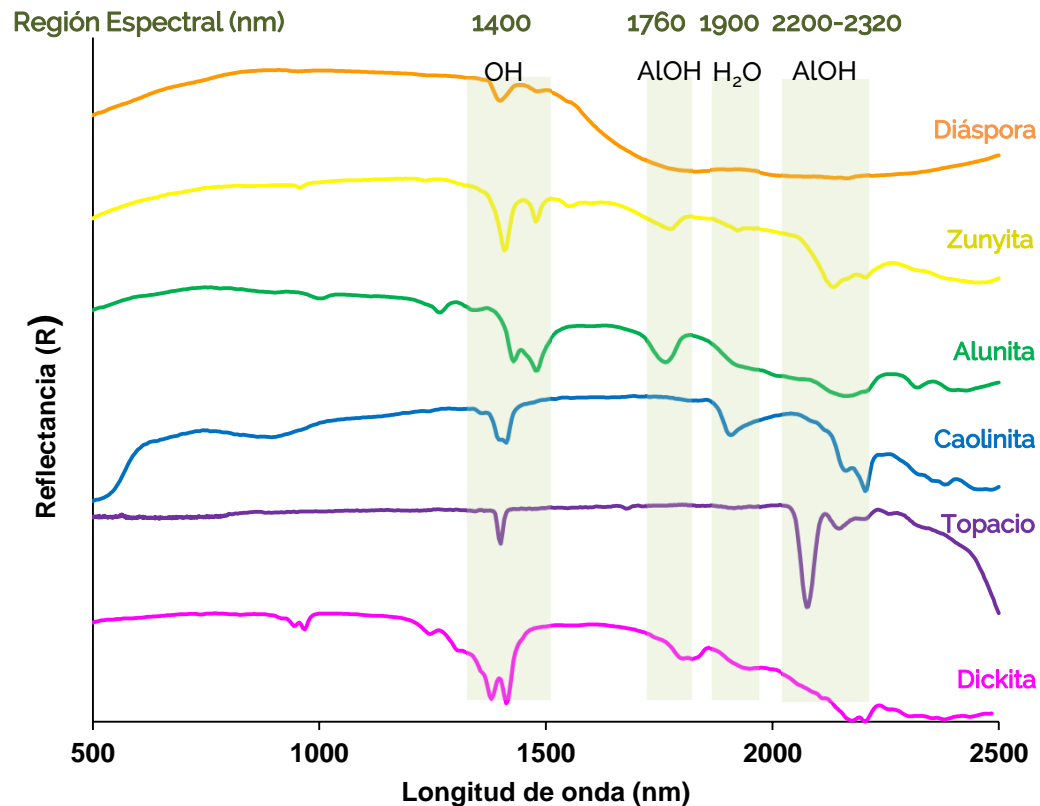




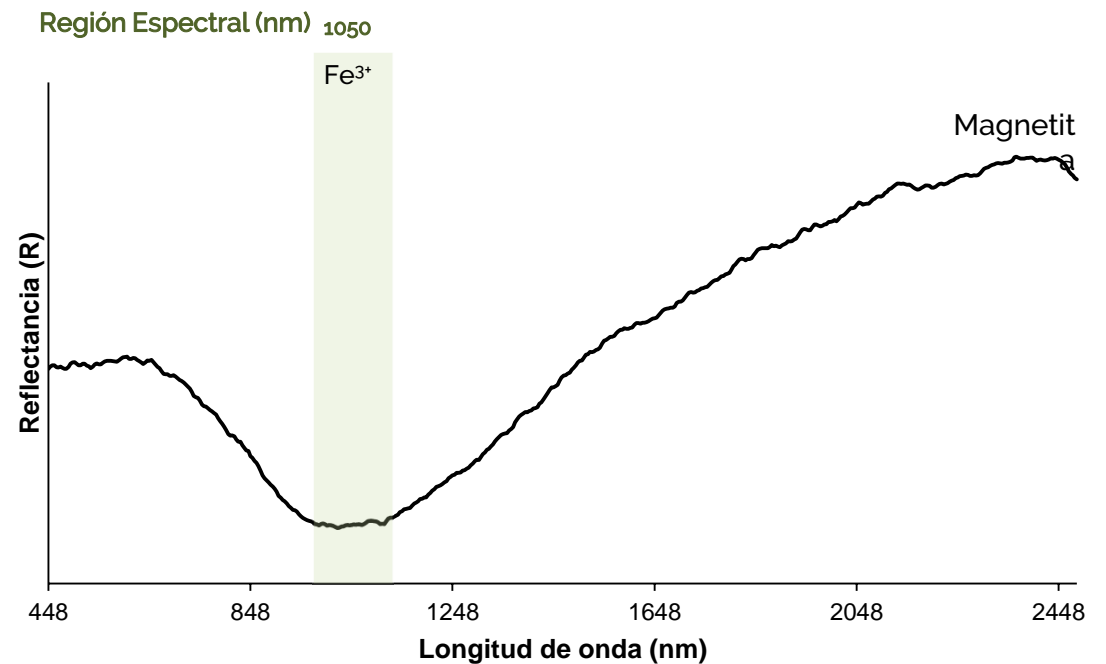
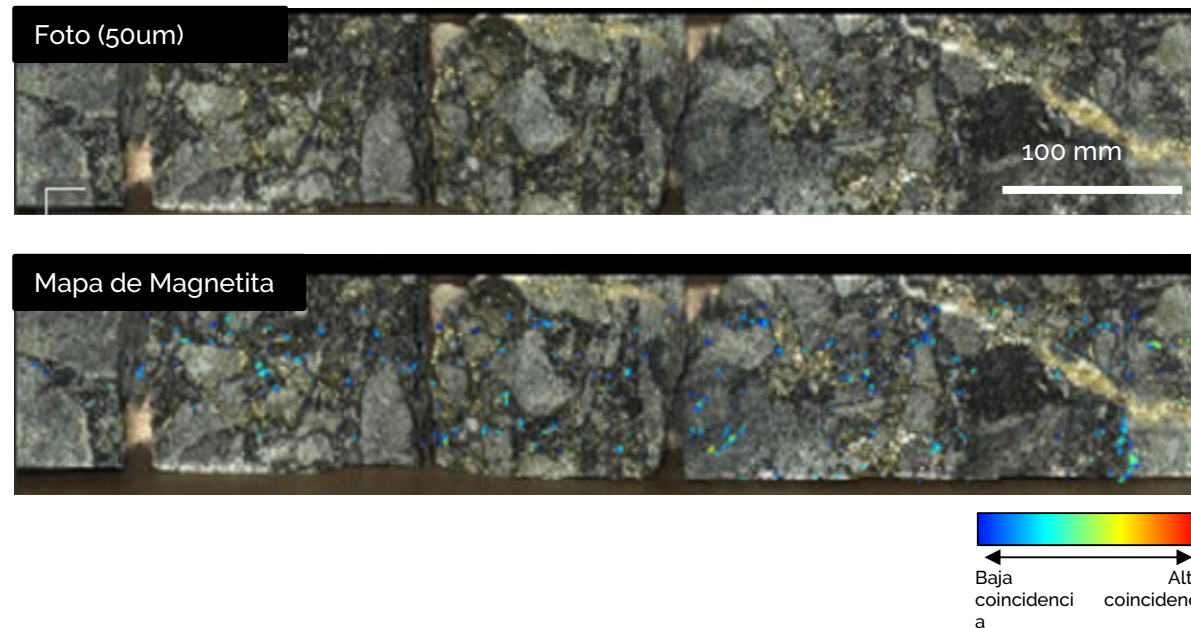
- Corescan es capaz de mapear una variedad de óxidos, carbonatos y sulfatos de cobre secundarios que se encuentran comúnmente en entornos supergénicos de pórfido.



- Los litocaps son dominios de alteración ampliamente estratificados que son extensos lateralmente (>10 km) y verticalmente (~1 km) que pueden superponerse a depósitos de pórfido.
- La aplicación de la espectroscopia VNIR-SWIR es una herramienta de vectorización eficaz para los litocaps.



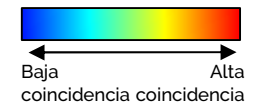
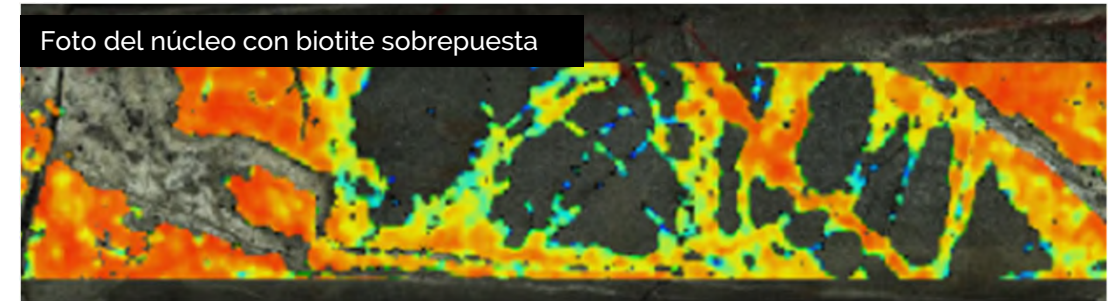
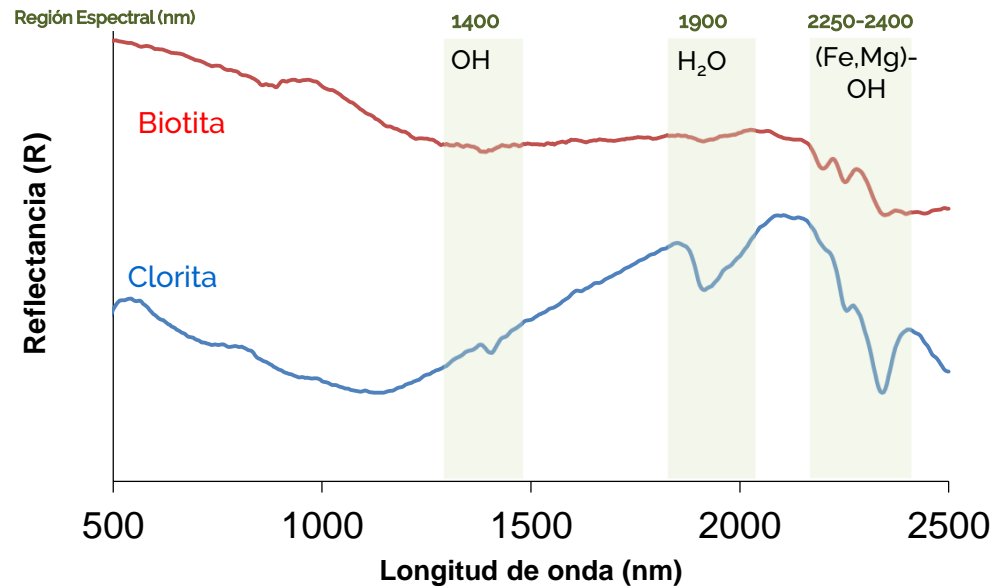
- La magnetita tiene un único rasgo de absorción distintivo en el rango VNIR-SWIR y, cuando está presente en una mezcla con otros minerales que contienen Fe, puede ser difícil de identificar.
- Con imágenes hiperespectrales de alta resolución espacial, la magnetita es más fácilmente identificable, particularmente cuando es de grano más grueso y/o está presente en las vetas.





# Biotita y Clorita

- La biotita es un mineral característico de la zona potásica de los pórfidos globales; ya sea como mineral primario o como biotita hidrotermal "triturada"; un producto de alteración de biotita o anfíbol. La clorita también puede residir en la zona de alteración potásica como una superimpresión retrógrada de minerales máficos, en particular biotita.
- Los minerales del grupo de la biotita y la clorita son fácilmente identificables mediante espectroscopía VNIR-SWIR de alta resolución, con rasgos que se correlacionan con el contenido de Fe/Mg.



# Mineralogía Proximal: Yeso / Anhidrita

- En los sistemas de pórfido de cobre, la anhidrita es un mineral hipogénico común que se encuentra tanto en la matriz como en las vetas. El yeso es un mineral común de relleno de fracturas.
- El espectro VNIR-SWIR de la anhidrita/yeso se caracteriza por múltiples rasgos de absorción del H<sub>2</sub>O, siendo el más característica el rasgo "tripleto" alrededor de los 1440nm.
- Aunque visualmente un mineral puede parecerse a la anhidrita, la hidratación del mineral durante el proceso de perforación convierte rápidamente la anhidrita en yeso, lo que dificulta la identificación de la anhidrita original (del yeso) mediante VNIR-SWIR.

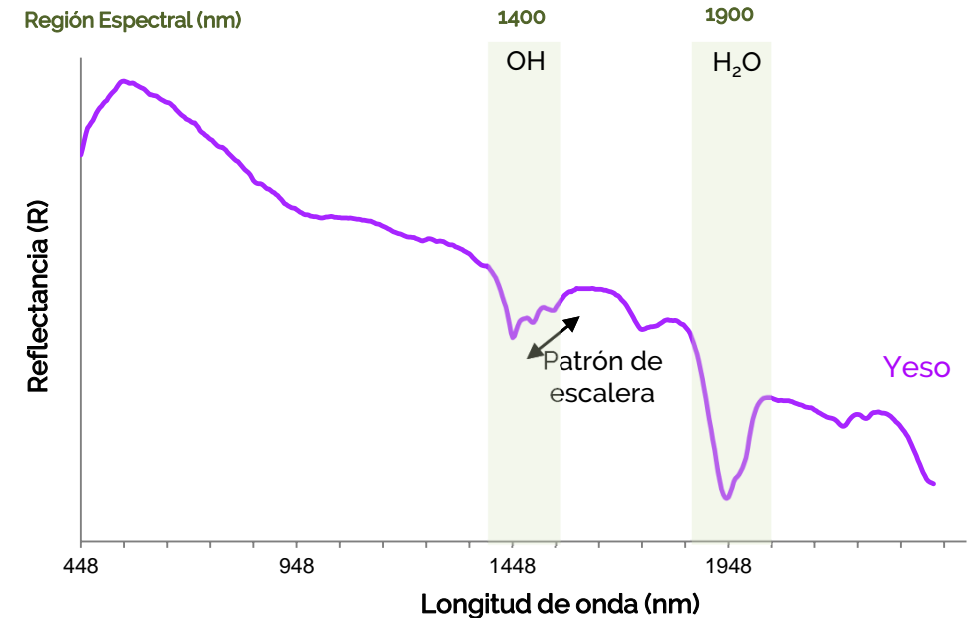
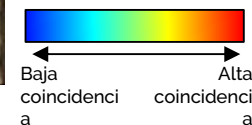
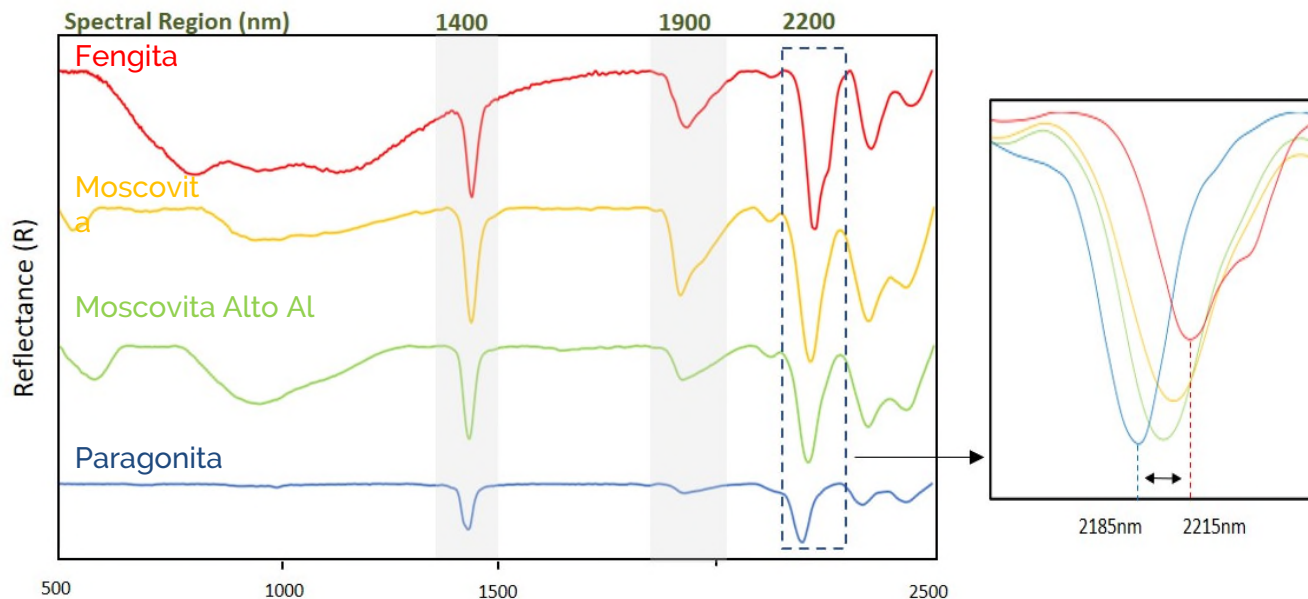
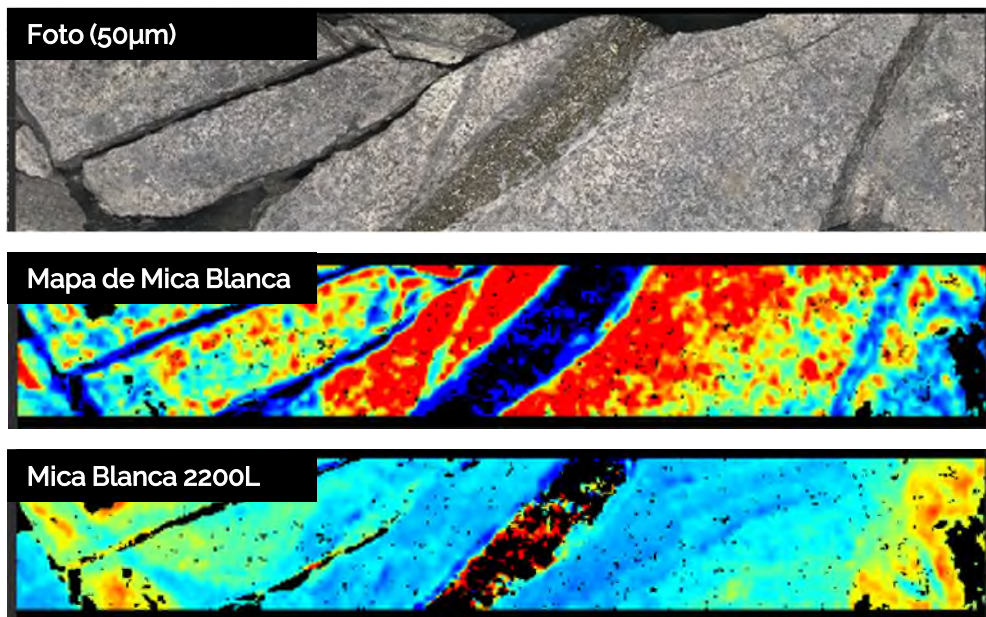


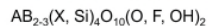
Foto del núcleo (50µm) con yeso sobrepuesto



- Las variaciones de composición en los minerales del grupo de la mica blanca se miden utilizando el rasgo de absorción a ~2200nm.



COMPOSICIÓN DE LA MICA BLANCA: Longitud de onda 2200nm



Paragonita  
A: Substitución de Na  
B, X: substitución de Al

Moscovita

A: substitución de K

Fengita, celadonita

B: substitución de Fe, Mg

X: Substitución de Si



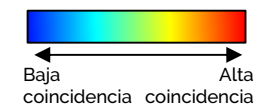
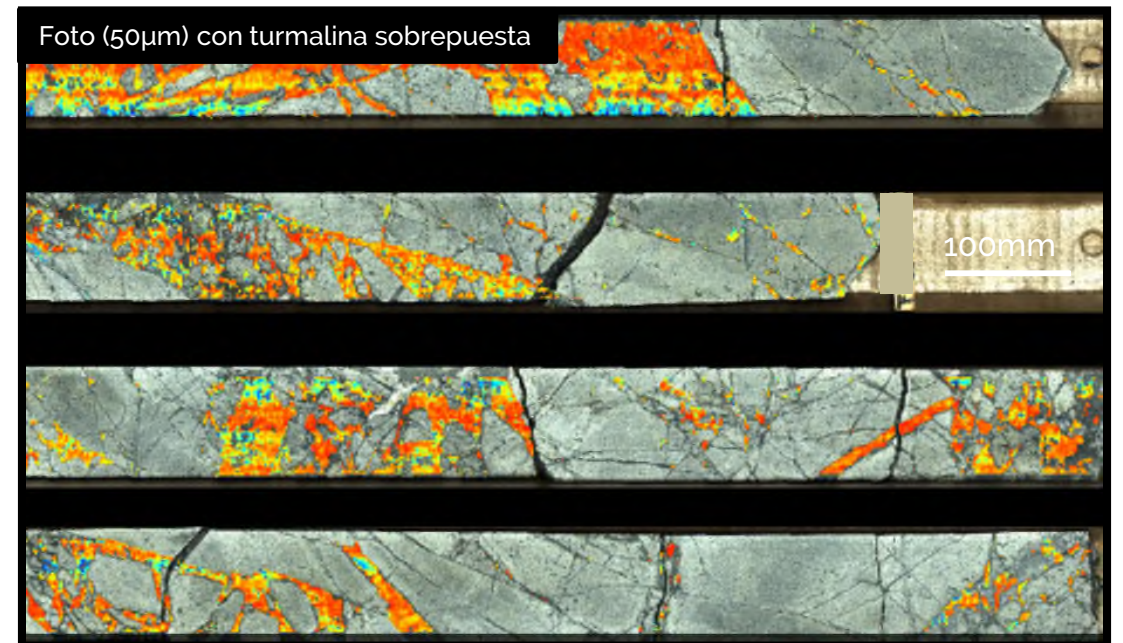
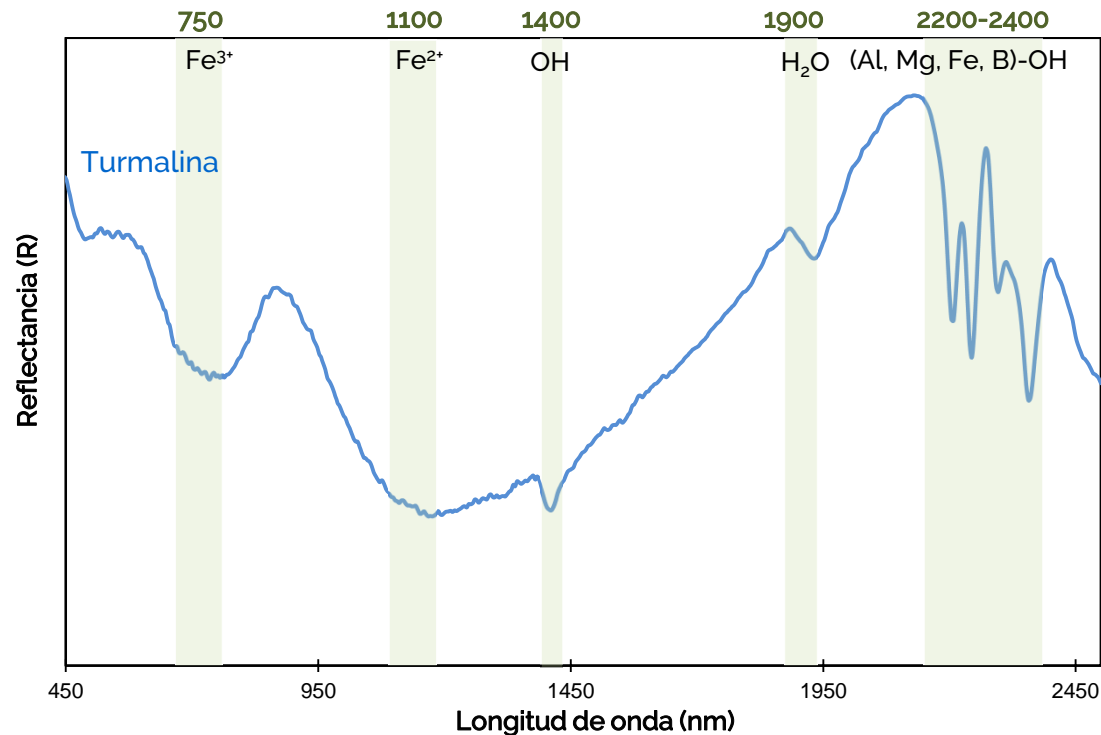
Baja coincidencia  
Alta coincidencia

- La posición de la longitud de onda del rasgo a 2200nm se correlaciona positivamente con el contenido de Fe (+Mg+Mn) y se correlaciona negativamente con el Al total; correspondiente a la sustitución de Tschermak tanto en moscovita como en la illita.
- Se mide una gama de composiciones de mica blanca, desde fengita hasta moscovita y paragonita, utilizando la longitud de onda de la función de absorción a 2200nm.

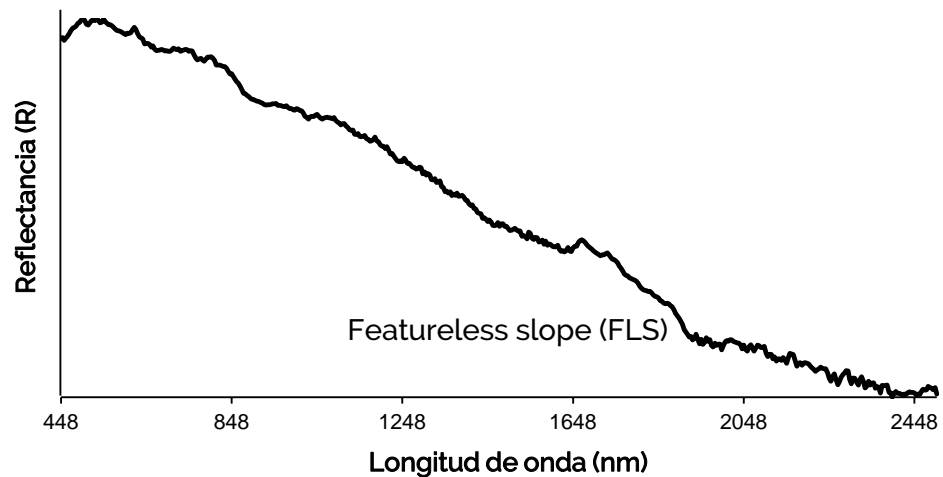


- La turmalina es una fase común en los depósitos tipo pórfido, particularmente en las brechas hidrotermales. Se puede asociar con la ley.
- La turmalina tiene varios rasgos SWIR diagnósticos y se identifica fácilmente mediante imágenes de alta resolución.

Región Espectral (nm)

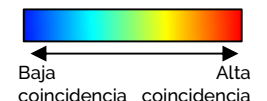
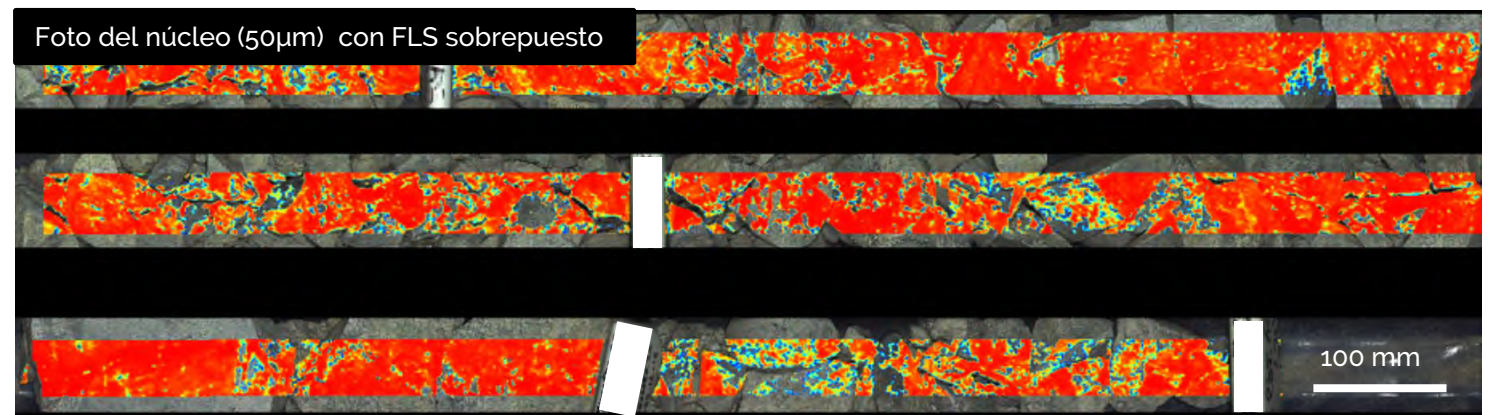


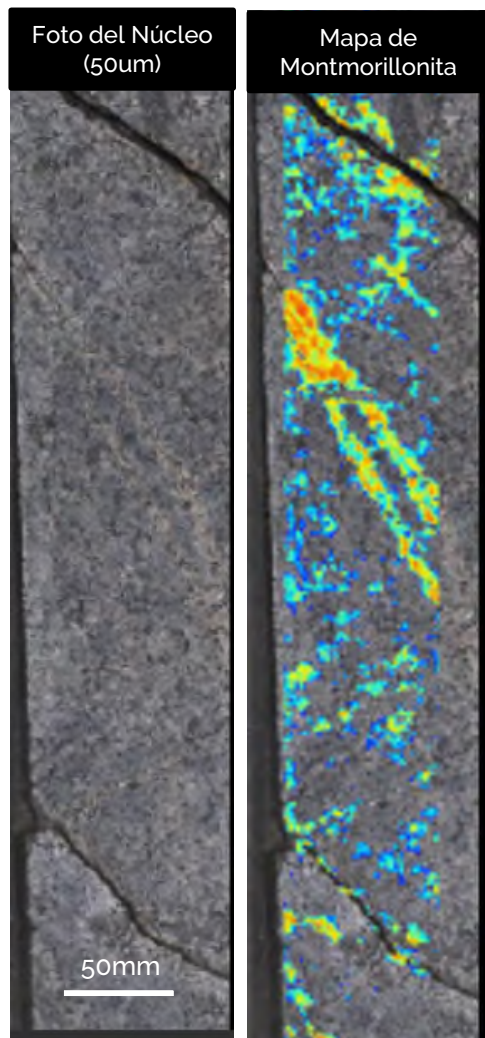
# “Featureless Slope”: Cuarzo y Feldespato



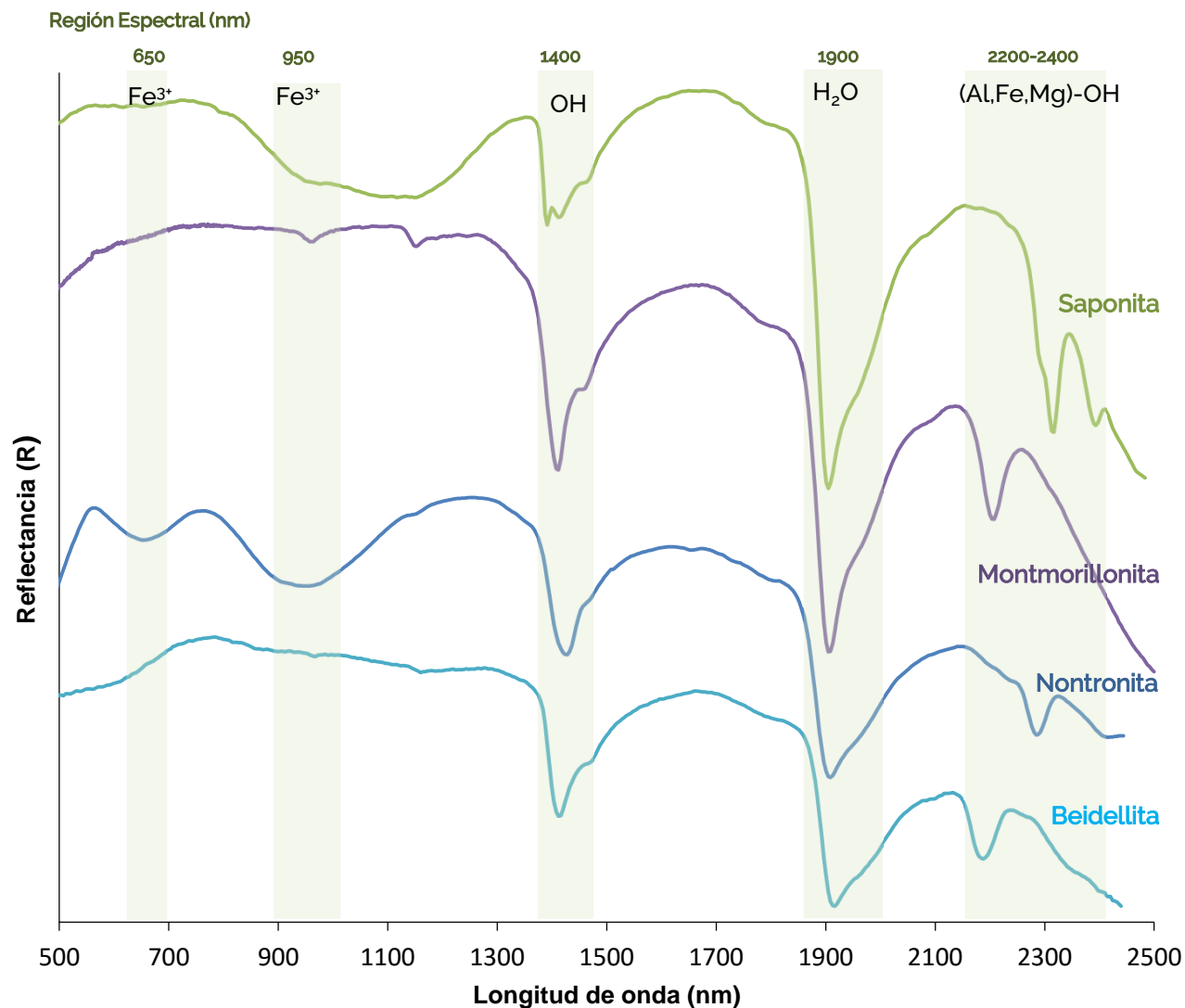
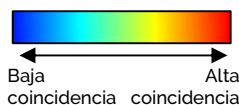
- El espectro de la clase *featureless slope* (FLS) no muestra rasgos de absorción distinguibles, aunque la pendiente negativa entre ~850nm y ~2400nm es el rasgo diagnóstico.
- La presencia de FLS puede indicar **silicificación** y/o atribuirse al **feldespatos**.

- El intervalo que se muestra en la imagen de la derecha está silicificado y mapeado por la clase FLS.
- Se desconoce si la sílice se agregó hidrotermalmente o si se produjo como resultado de otro evento de alteración.





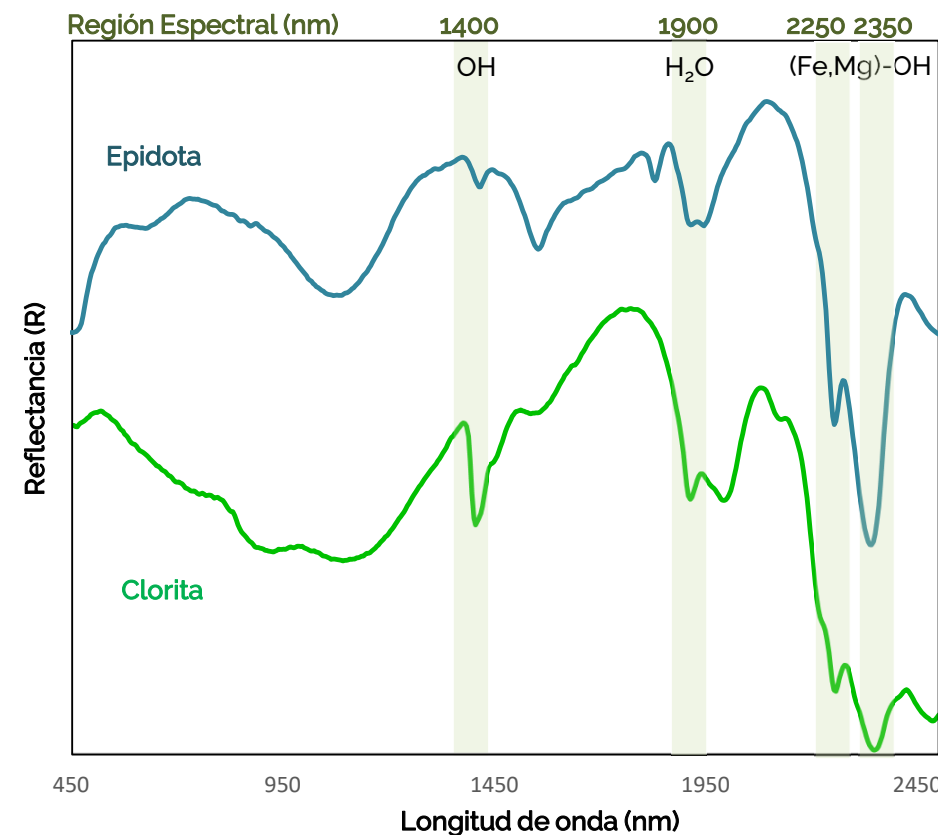
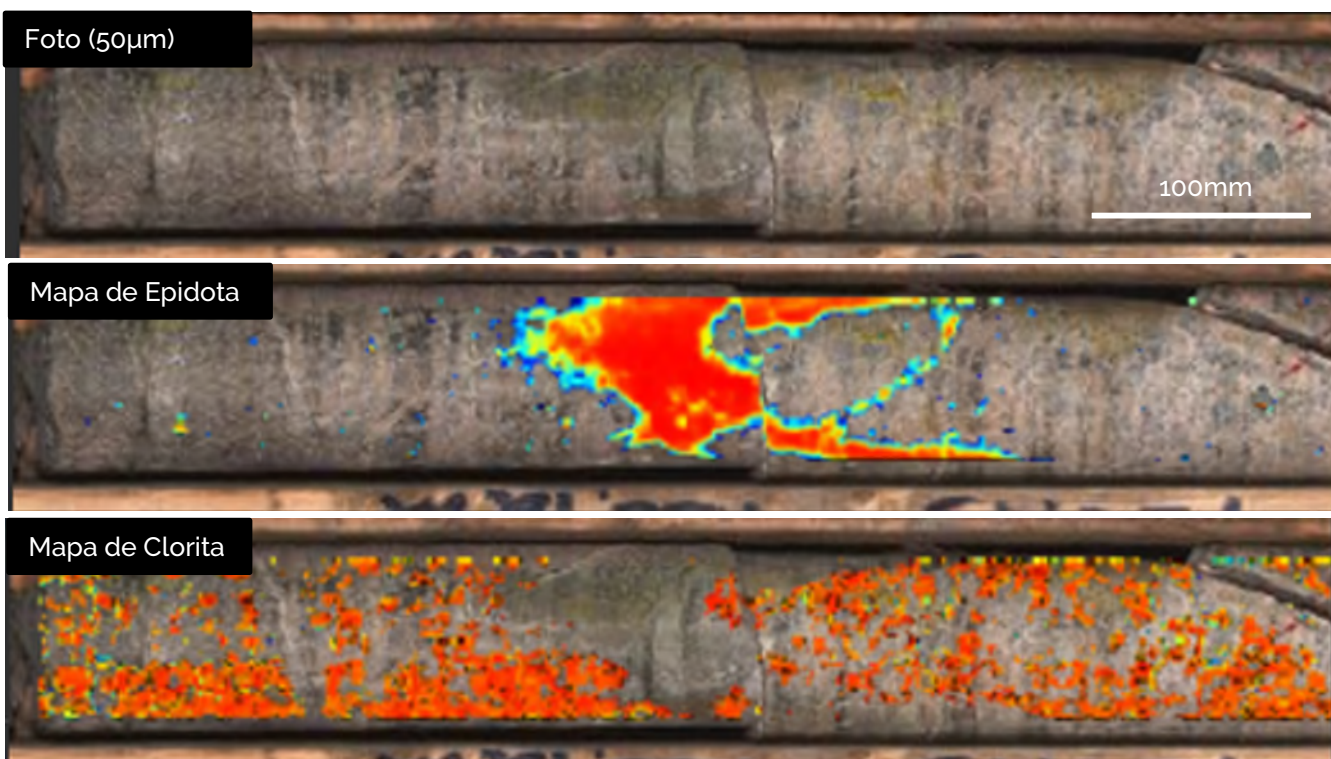
- Pueden ocurrir una amplia variedad de minerales del grupo de la esmectita en sistemas de pórfido, desde montmorillonita y beidellita que contienen  $\text{Ca}\pm\text{Na}$ , hasta nontronita rica en Fe y saponita rica en Mg.
- Estas fases a menudo se asocian con fases de alteración distal y en capas de lixiviación.





# Alteración Distal: Clorita-Epidota

- La clorita y la epidota son minerales de alteración hidrotermal comunes en los sistemas de pórfido, particularmente en el ambiente de alteración distal de roca verde. La clorita también es una fase retrógrada común después del anfíbol y la biotita y dentro de la zona filíca.

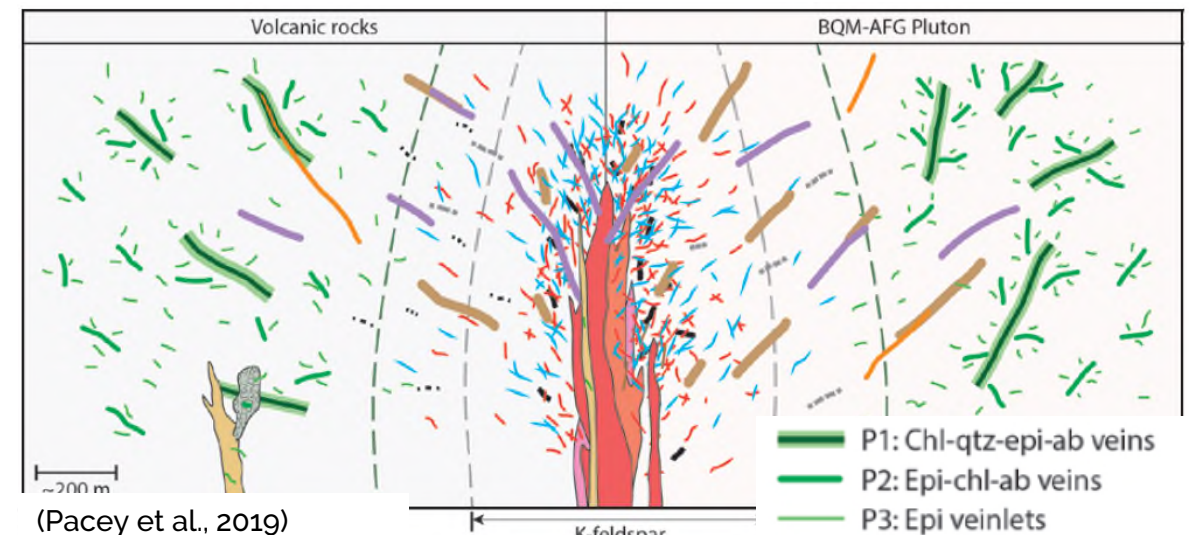
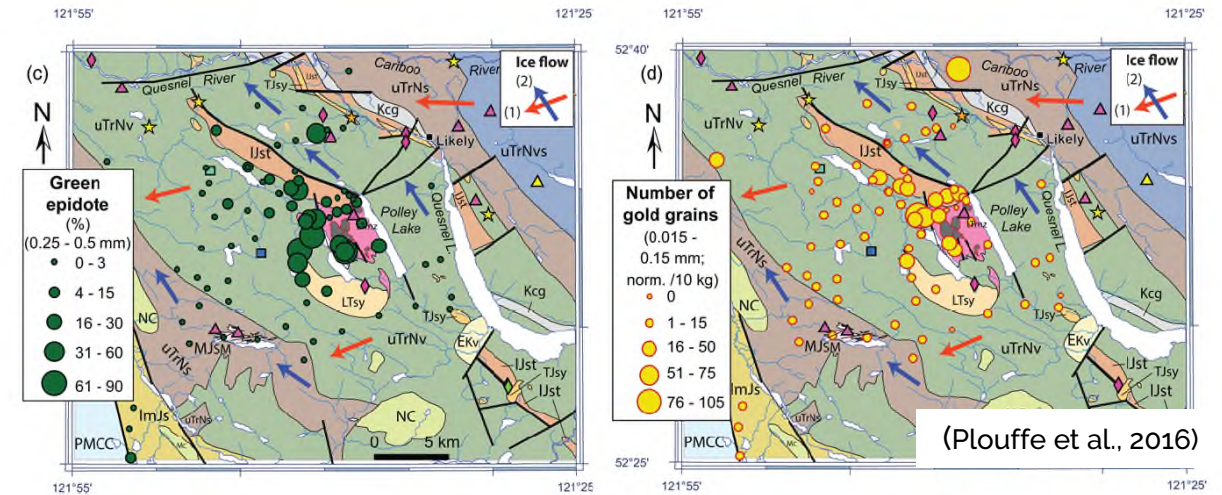
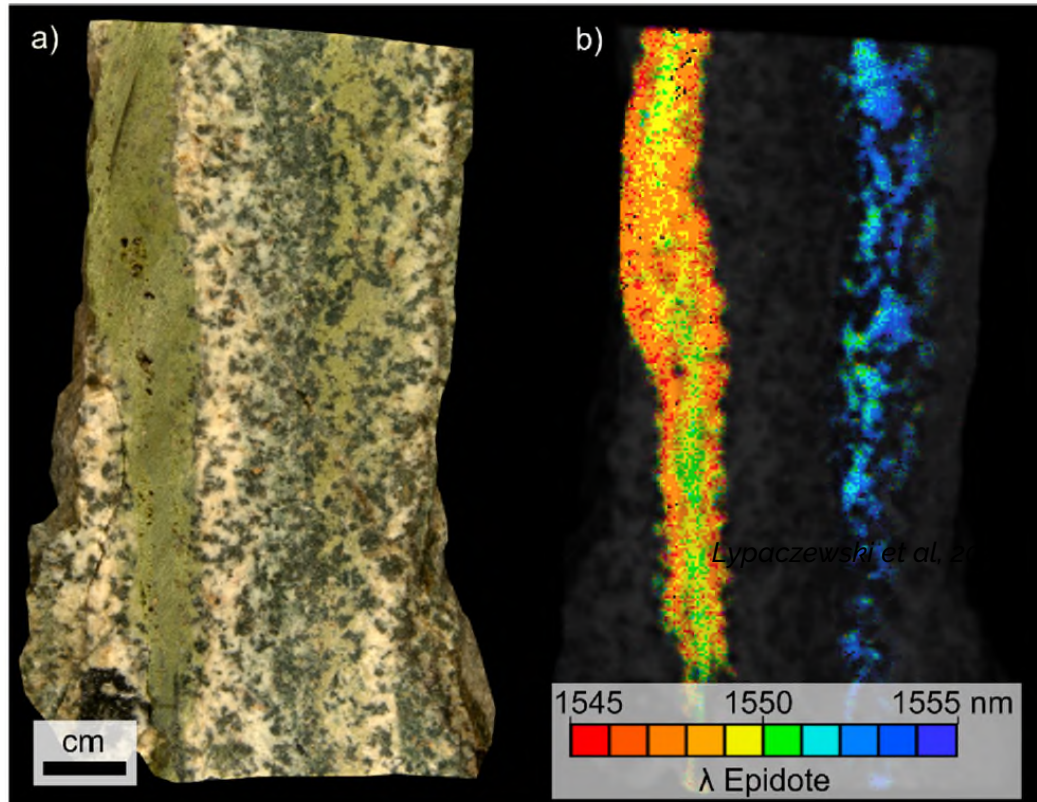


- Tanto la clorita como la epidota tienen rasgos de absorción VNIR-SWIR distintivos. Las variaciones de composición se pueden rastrear utilizando las posiciones de longitud de onda de los rasgos de absorción clave.



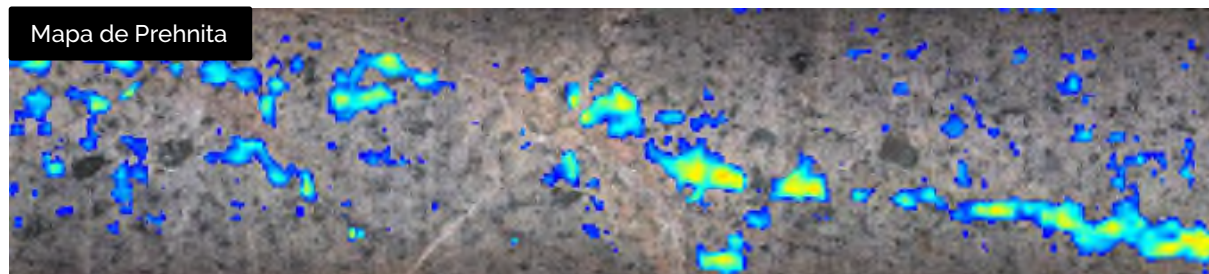
# Vector de Alteración Distal: Epidota

- La epidota es un mineral de alteración común en y alrededor de los sistemas de pórfido alcalino.
- La epidota es una importante herramienta de fertilidad y vectorización de pórfidos y un mineral indicador de pórfidos (Cooke et al., 2020).

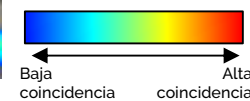
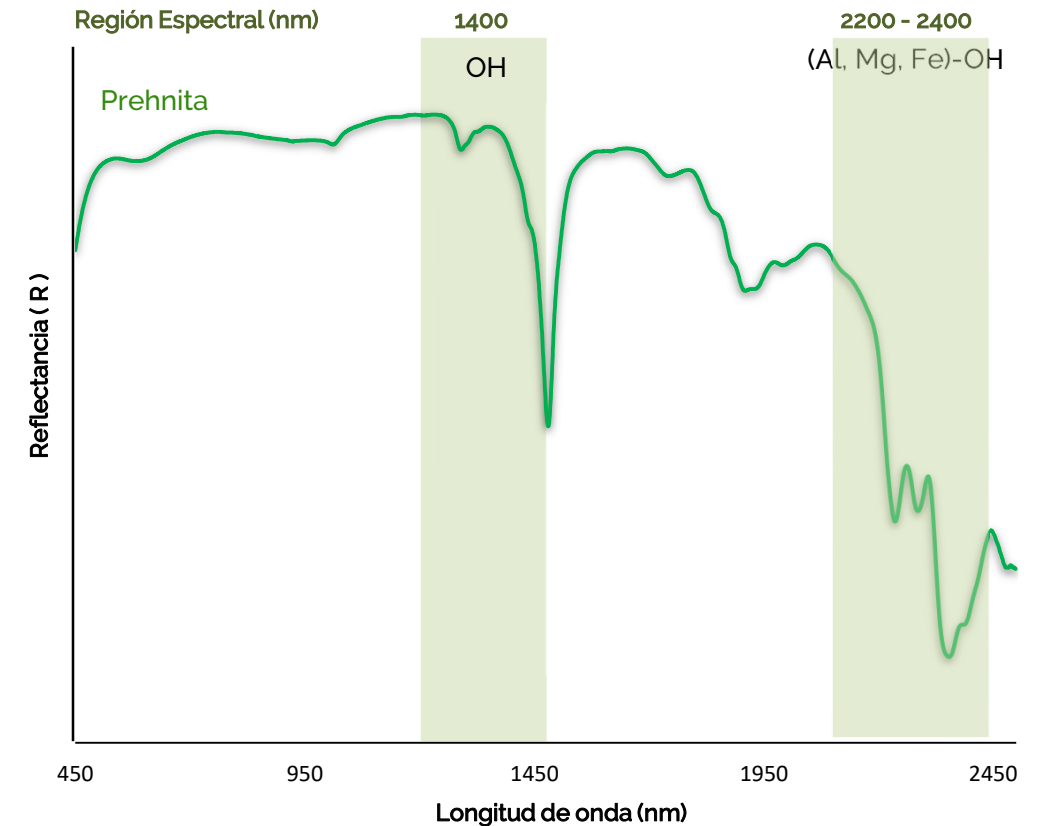


# Vector de Alteración Distal: Prehnita

- La prehnita es un componente común de la alteración 'propilítica' en y alrededor de los sistemas de pórfido alcalino (Byrne et al., 2020).
- Generalmente se presenta en asociación con epidota, calcita y mica blanca.
- Típicamente se forma a partir de la alteración de la plagioclasa para formar un conjunto de albita, mica blanca y prehnita (en asociación con la cloritización de biotita y/o hornblenda).
- Puede ser difícil de identificar visualmente pero tiene un espectro SWIR distintivo.



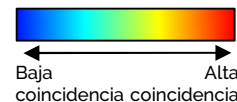
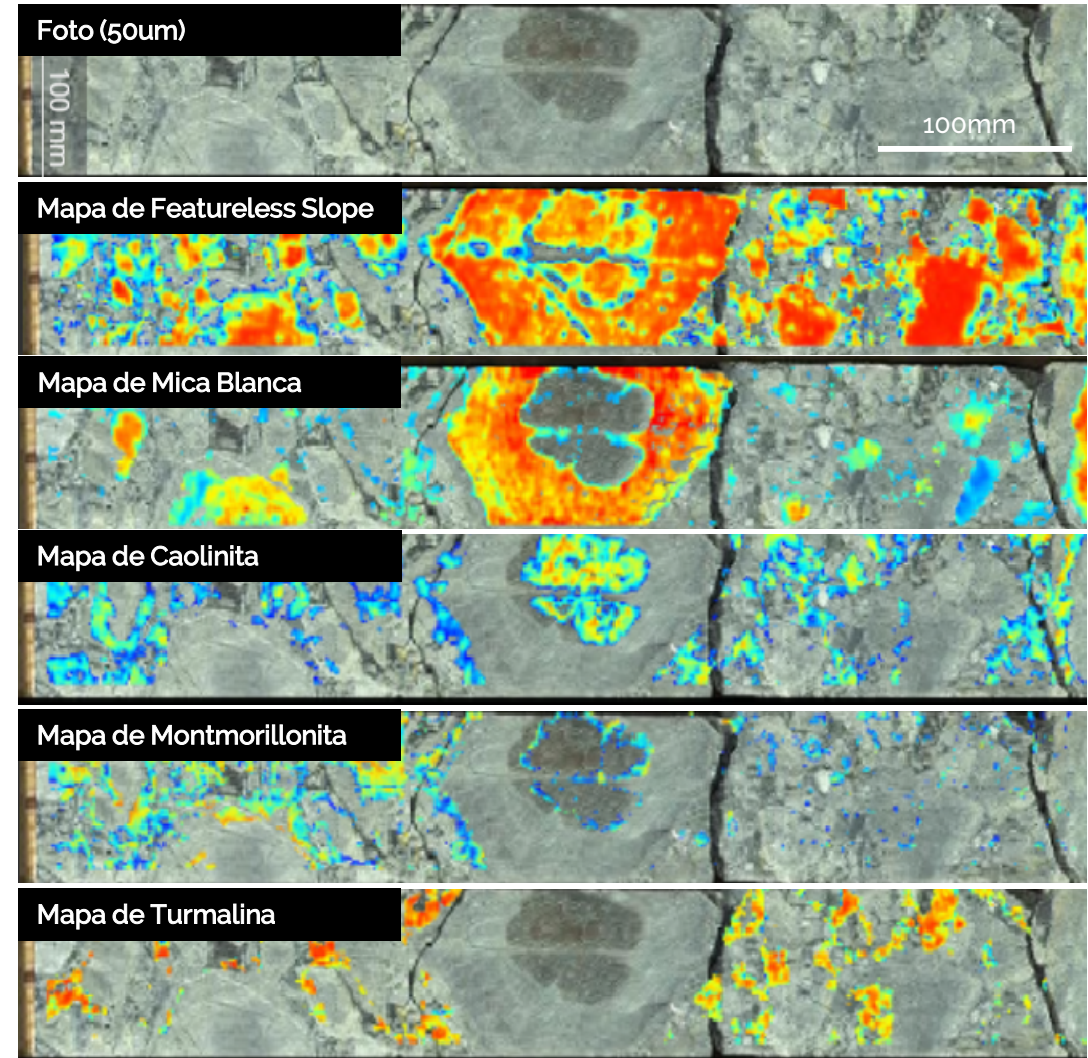
Highland Valley





# Brechamiento

- El brechamiento ocurre como resultado de la gran energía mecánica disponible de los fluidos magmático-hidrotermales ricos en agua, ascendentes y despresurizados, que se forman inicialmente bajo presión litostática y se mueven a condiciones de presión hidrostática (Burnham, 1985).
- Las brechas son comunes en los depósitos tipo pórfido y, dependiendo de cuándo se formen, pueden albergar una ley de metal significativa (temprano) o ser destructivas (aquellas que se forman al final del sistema hidrotermal; Tosdal et al., 2009).



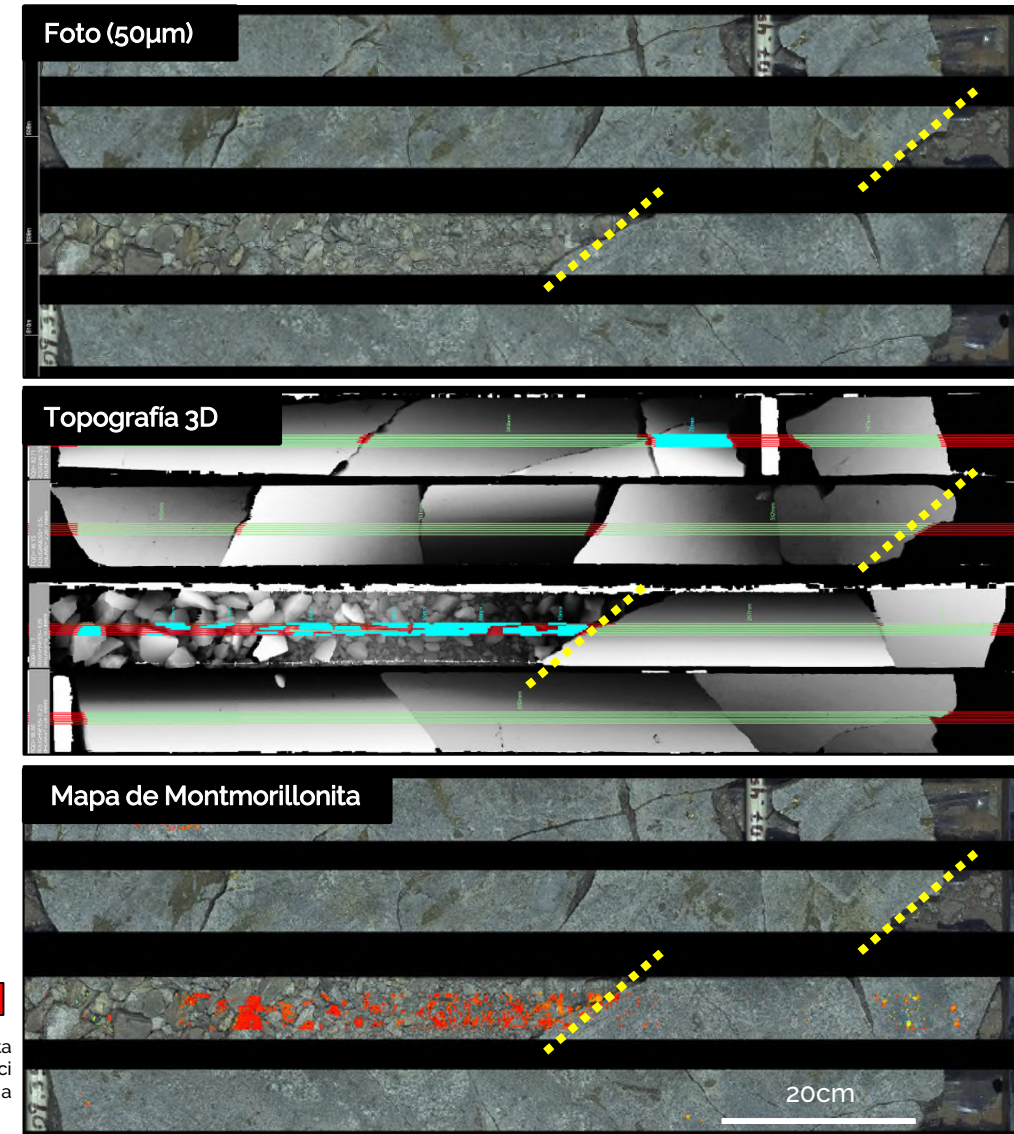
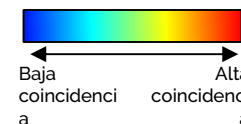


# Rasgos Estructurales

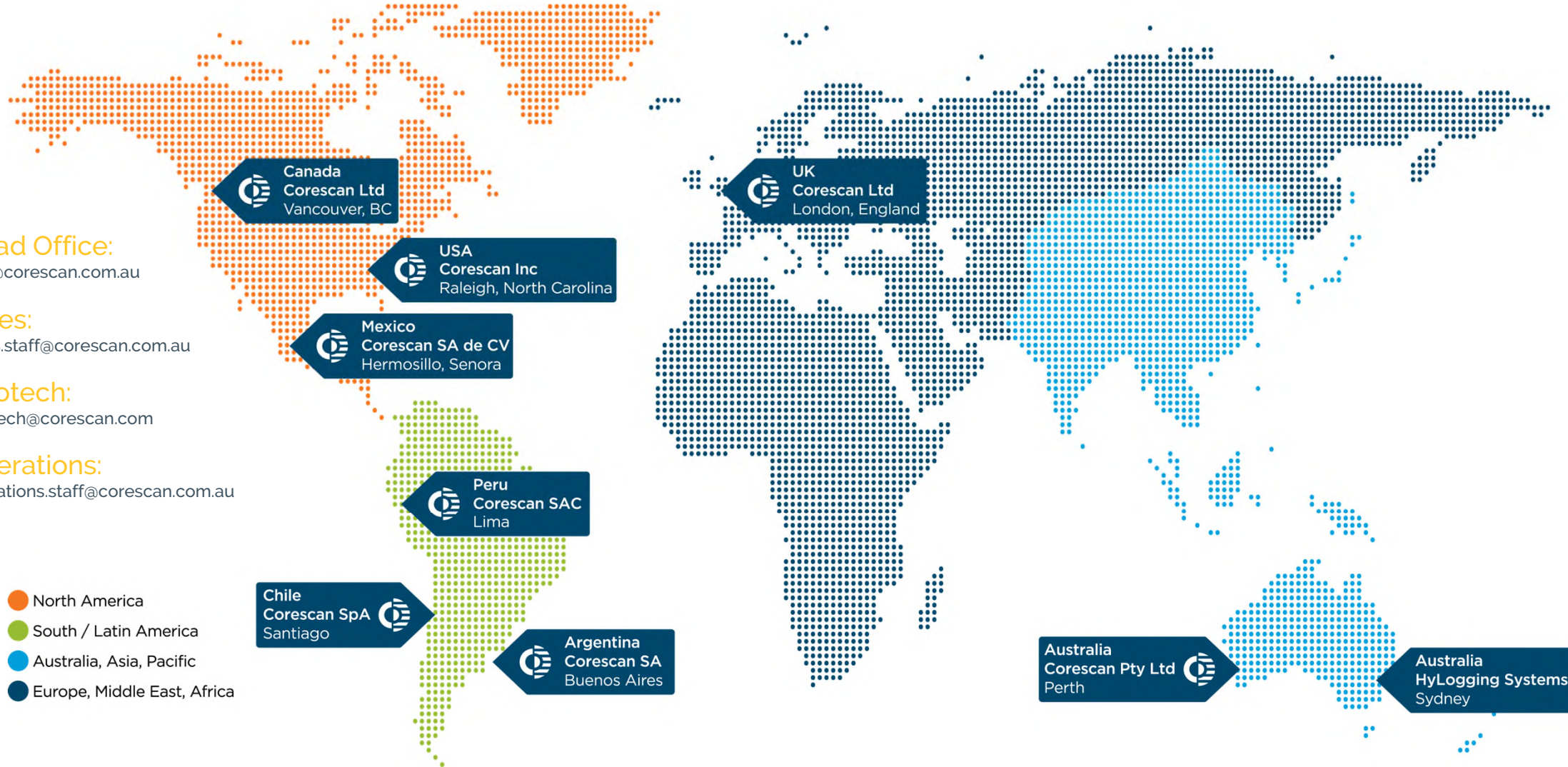
# Detección y Mapeo de Fallas

- Los cambios mineralógicos intensos y las zonas de brecha en el núcleo pueden indicar la presencia de fallas o gubia de falla.
- Las arcillas (esmectitas, caolinita, illita) son componentes comunes en las gubias de falla, las cuales todas son identificables con rasgos diagnósticos en SWIR.
- Los datos del perfilador láser (topografía 3D) pueden utilizarse para calcular variables geotectónicas simples (etiquetados como “pseudo” parámetros para distinguirlos de los datos geotectónicos tradicionales).
- Fracturas promedio por metro (*pseudo-average*), un proxy de rugosidad de superficie, y valores de pseudo RQD, son productos estándar de CoreScan.

Etiqueta de Imagen	Descripción
RQD	$\Sigma$ Largo de núcleo > 10cm / total largo de intervalo de núcleo (de Deere et al., 1957)
Breaks	Identificación de fracturas a través de la detección de la altura de núcleo debajo de un límite determinado (incluye fracturas naturales y mecánicas)
Roughness	Basada en la variación promedio de altura en la superficie del núcleo (debajo de un umbral gradiente determinado)



# Corescan Offices



**Head Office:**  
info@corescan.com.au

**Sales:**  
sales.staff@corescan.com.au

**Geotech:**  
geotech@corescan.com

**Operations:**  
operations.staff@corescan.com.au

- North America
- South / Latin America
- Australia, Asia, Pacific
- Europe, Middle East, Africa



## Quick Contacts

**Head Office:** [info@corescan.com.au](mailto:info@corescan.com.au)  
**Sales:** [sales.staff@corescan.com.au](mailto:sales.staff@corescan.com.au)  
**Geotech:** [geotech@corescan.com](mailto:geotech@corescan.com)  
**Operations:** [operations.staff@corescan.com.au](mailto:operations.staff@corescan.com.au)

## Global Contacts

**Head Office**  
**CoreScan Pty Ltd**  
1/127 Grandstand Road  
Ascot, WA, 6104  
Australia  
T: +61 8 9277 2355  
[corescan.com.au](http://corescan.com.au)

**Chile**  
**CoreScan SpA**  
San Pablo #9900  
Oficina 5, Edificio 1  
Pudahuel, Santiago, Chile  
T: +56 2 2712 5057  
E: [info@corescan.cl](mailto:info@corescan.cl)  
[corescan.cl](http://corescan.cl)

**Mexico**  
**CoreScan SA de CV**  
Rosa de Castilla Poniente 5  
Col. Quinta Emilia, C.P. 83214  
Hermosillo, Sonora, México  
T: +52 55 5350 5577  
E: [info@corescan.mx](mailto:info@corescan.mx)  
[corescan.mx](http://corescan.mx)

**Canada**  
**CoreScan Ltd**  
1055 W. Hastings St, Suite 1900  
Vancouver, BC, V6E2E9  
Canada  
T: +1 778 715 9991  
E: [info@corescan.com.au](mailto:info@corescan.com.au)  
[corescan.com.au](http://corescan.com.au)

**Australia, Asia, Pacific**  
**CoreScan Pty Ltd**  
1/127 Grandstand Road  
Ascot, WA, 6104  
Australia  
T: +61 8 9277 2355  
E: [info@corescan.com.au](mailto:info@corescan.com.au)  
[corescan.com.au](http://corescan.com.au)

**UK, Europe**  
**CoreScan Ltd**  
4/219 Kensington High Street  
Kensington, W8 6BD  
England, United Kingdom  
T: +44 203 389 7522  
E: [info@corescan.co.uk](mailto:info@corescan.co.uk)  
[corescan.co.uk](http://corescan.co.uk)

**Peru**  
**CoreScan SAC**  
Av. San Borja Sur 947  
Urb. San Borja. Lima  
Perú  
T: +51 1 700 3328  
E: [info@corescan.pe](mailto:info@corescan.pe)  
[corescan.pe](http://corescan.pe)

**USA**  
**CoreScan Inc**  
104 S. Estes Drive, Suite K  
Chapel Hill, NC, 27514  
USA  
T: +1 919 964 5050  
E: [info@corescan.com.au](mailto:info@corescan.com.au)  
[corescan.com.au](http://corescan.com.au)

**Argentina**  
**CoreScan SA**  
Reconquista 672, Piso 8  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Argentina  
T: +54 11 5171 4330  
E: [info@corescan.com.au](mailto:info@corescan.com.au)  
[corescan.com.au](http://corescan.com.au)

# Disclaimer



The information contained in this document is confidential, privileged and only for the information of the intended recipient and may not be used, published or redistributed without the prior written consent of Geoscan Pty Ltd (“Company”) and its controlled entities including Corescan, Coreshed and HyLogger (“Group”). The opinions expressed are in good faith and while every care has been taken in preparing these documents, the Company makes no representations and gives no warranties of whatever nature in respect of these documents, including but not limited to the accuracy or completeness of any information, facts and/or opinions contained therein. The Company, its controlled entities, the directors, employees and agents cannot be held liable for the use of and reliance of the opinions, estimates, forecasts and findings in these documents.