



El tamaño importa, la importancia de la mineralogía y la textura en la minería de depósitos de pórfido de cobre: Parte I

Sam Scher, M.Sc. | sscher@lkiconsulting

Cristal Palafox, M.Sc. | cristal.palafox@corescan.com.au

Julio Palomino | julio.palomino@corescan.mx

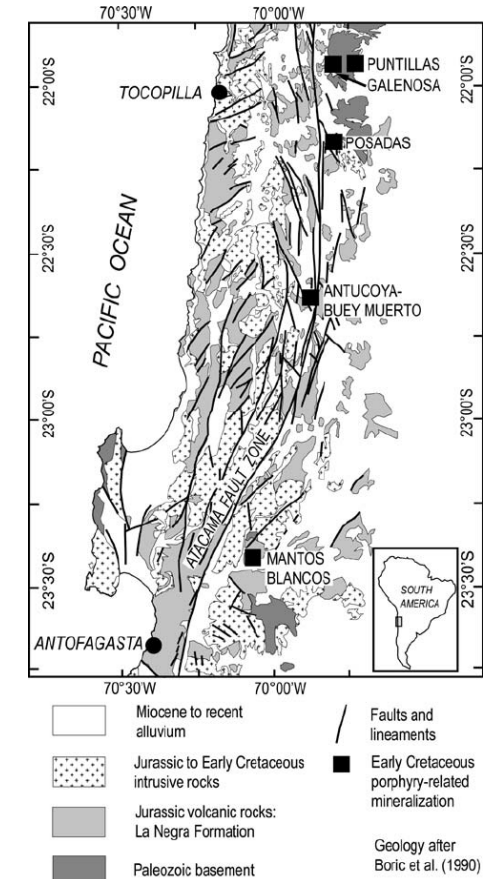
Conferencia Internacional de Minería 2024

Chihuahua

Taller Hiperespectral

Entorno geológico

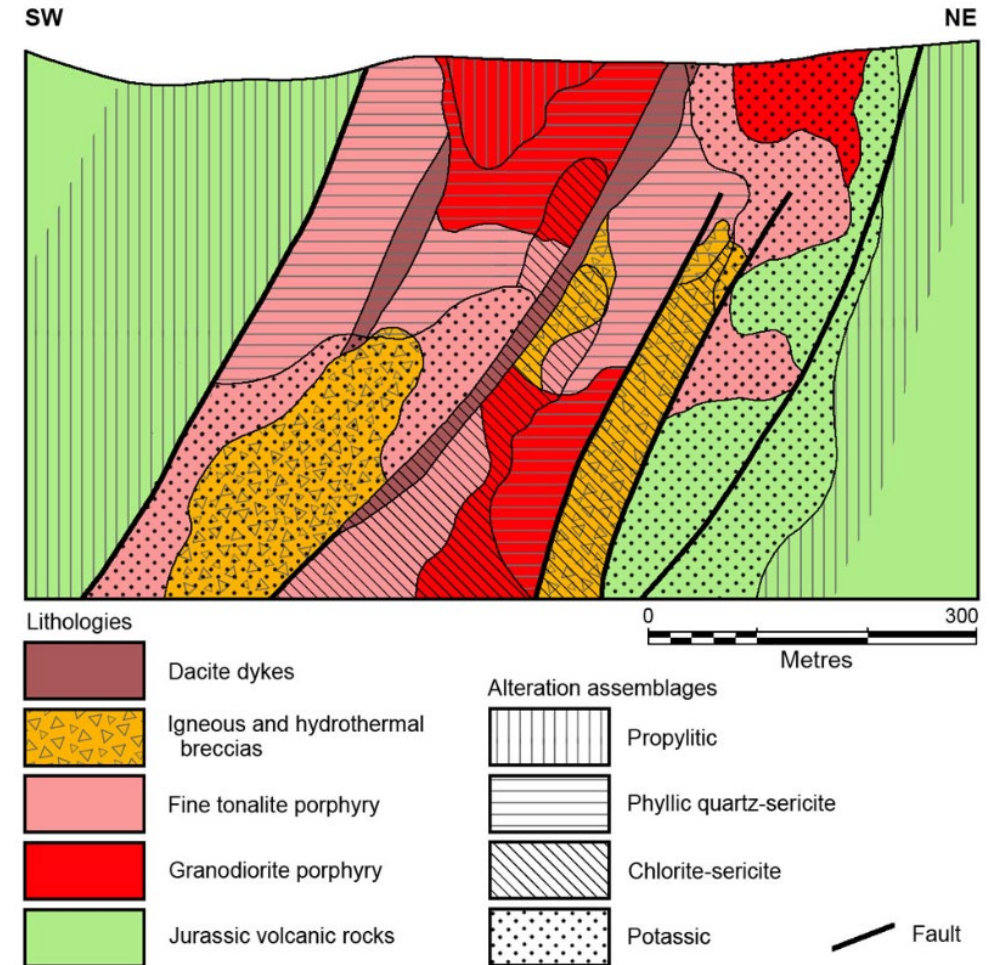
- El depósito de pórfido cuprífero (PCD) de Antucoya es uno de los depósitos más grandes en el poco estudiado cinturón de pórfidos del Cretácico Inferior en la Cordillera de la Costa del norte de Chile.
- El complejo cristalizó entre los $142,7 \pm 1,6$ y $140,6 \pm 1,5$ Ma, lo cual lo sitúa en un lapso de tiempo relativamente corto, inferior a los 2 Ma durante el Cretácico inferior..



Maksaev et al., 2006

Antecedentes Geologicos

- Antucoya está relacionada con una sucesión de diques y stocks de porfidos granodioríticos y tonalíticos que se emplazaron dentro de rocas andesíticas del Jurásico, de la Formación La Negra justo al oeste de la Zona de Falla de Atacama (AFZ).
- La mineralización de cobre ocurre como zonas de stockwork, diseminado en rocas alteradas y como matriz en la brecha; está alojado en los stocks porfídicos granodioríticos y tonalíticos y también en brechas magmáticas e hidrotermales dentro de un área de 1,6 x 1 km.

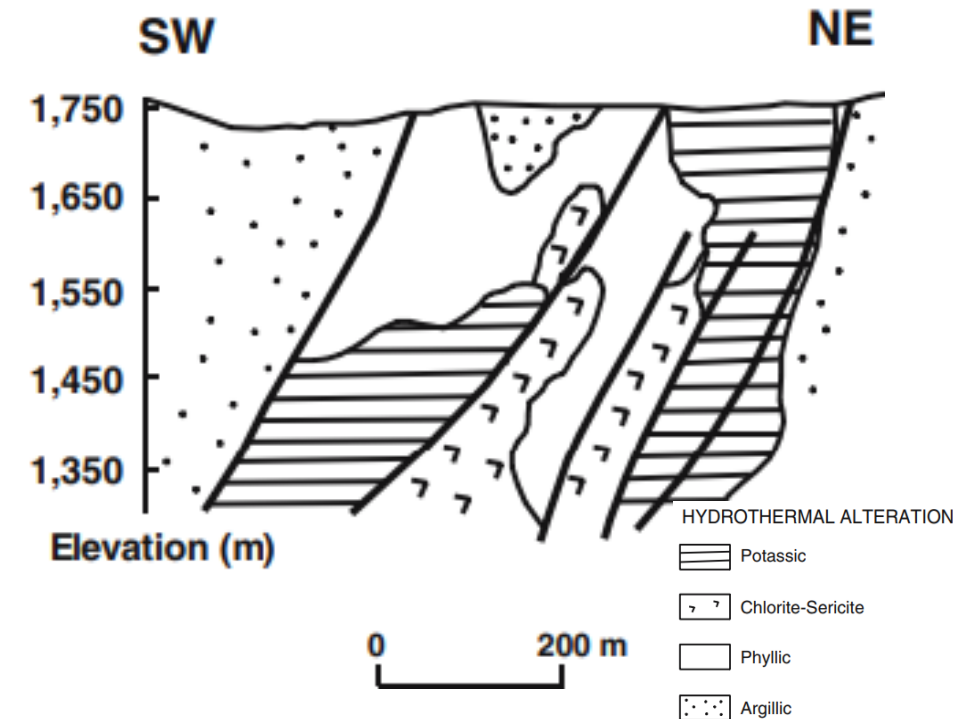


Geological cross section showing the distribution of alteration at the Antucoya porphyry copper deposit, Northern Chile (After: Maksaev *et al.*, 2006).

Estilo de alteración



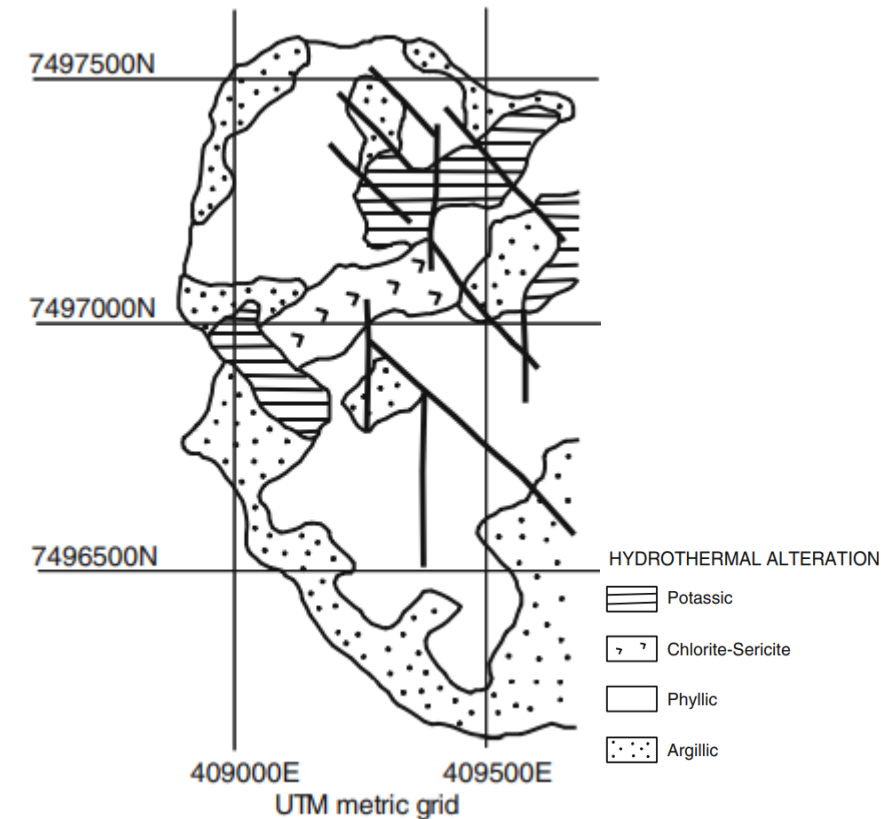
- Hay dos eventos intrusivos en Antucoya, ambos alterados y con mineralización económica, el pórfido de Antucoya (granodiorítico) y el pórfido tonalítico (de grano fino).
- El Pórfido de Antucoya se encuentra alterado a caolinita, illita y calcita, con trazas de anhidrita y feldespato argilizado. Contiene un denso stockwork de vetillas de cuarzo, algunas con minerales de cobre oxidados, limonitas (después de los sulfuros) y algunas vetas tardías de calcita, anhidrita y minerales opacos.
- El pórfido tonalítico tiene una fuerte alteración argílica y algo de reemplazamiento por calcita.



Alteration cross-section of the deposit from Maksaev et al. (2006).

Estilo de alteracion

- En Antucoya se reconocen cuatro etapas de alteración hidrotermal hipógena: potásica, clorita-sericita, cuarzo-sericita y propilítica.
 - Los primeros tres tipos de alteración afectan a los pórfidos y brechas, mientras que la alteración propilítica está restringida a las rocas volcánicas. La alteración potásica afecta principalmente a los cuerpos de brecha. El pórfido tonalítico se caracteriza por la asociación de biotita, feldespato potásico y cuarzo.
 - Mientras que dentro del pórfido de granodiorita de Antucoya se presenta un ensamblaje de clorita, sericita, esmectita, cuarzo, pirita y calcopirita.

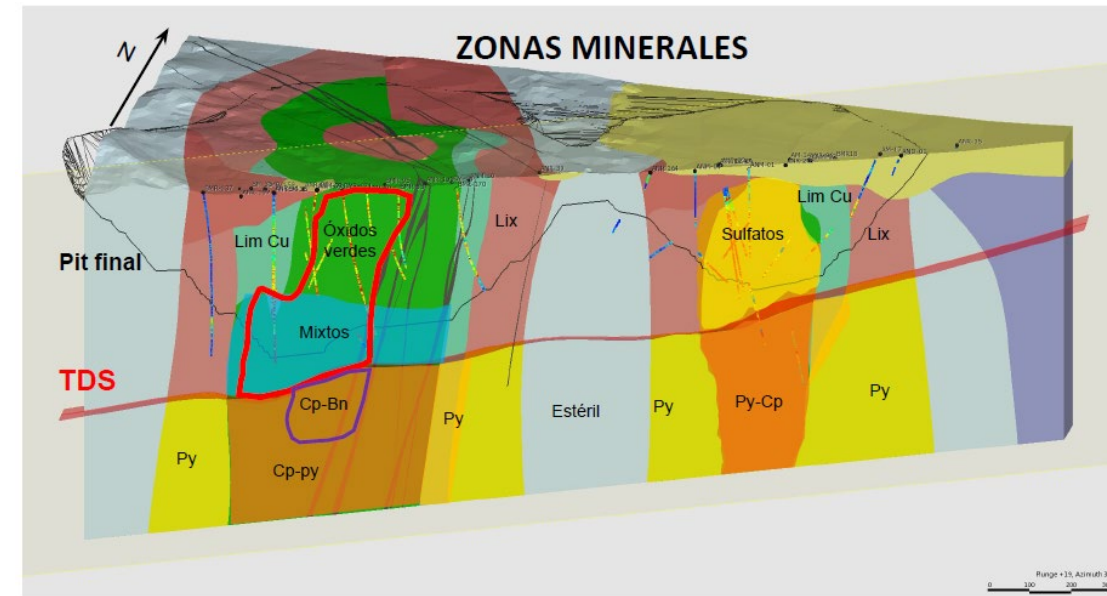


Alteration at the 1,350m level of the deposit from Maksaeve et al. (2006).

Alteración y mineralización.



- La mayor parte del yacimiento reconocido se ve afectado por una alteración supergénica de tipo argílica generalizada (illita, dickita y caolinita) y oxidación (atacamita, brochantita, crisocola, taco de cobre, jarosita y limonita), que se extiende hasta profundidades de 300 a 350 m desde la superficie. Estas alteraciones se superponen a tipos de alteraciones hipogénicas anteriores.
 - Se cree que los procesos supergénicos, aunque ilimitados, se desarrollaron durante la formación del pediplano costero de Tarapacá del Oligoceno-Mioceno.



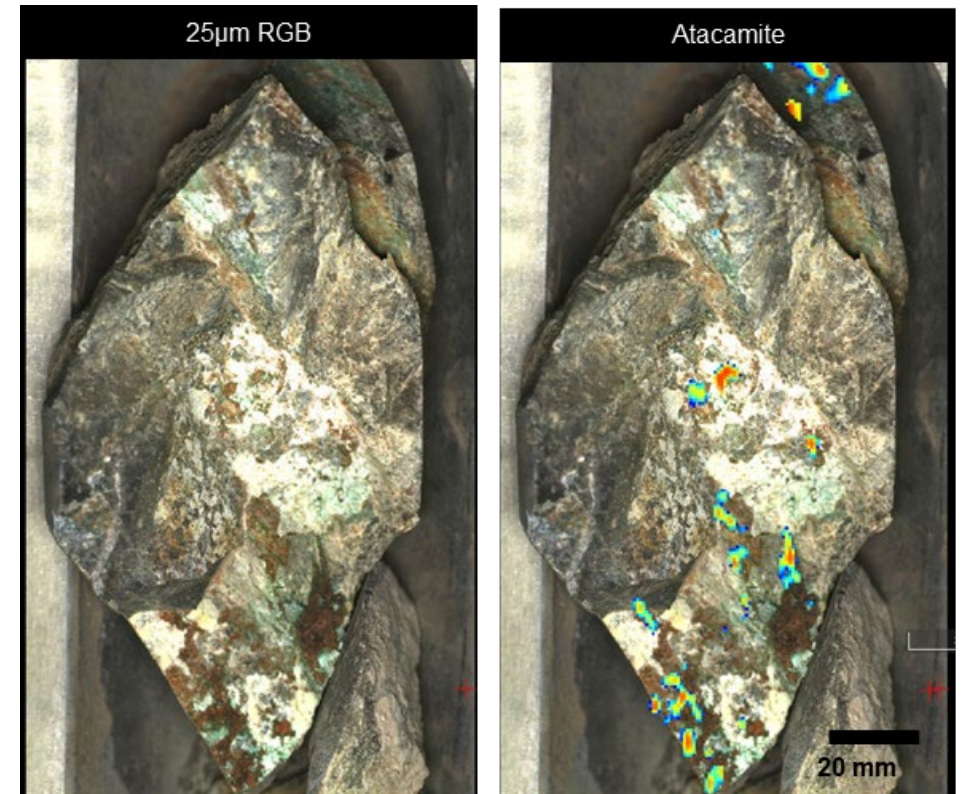
 Zonas de mayor ley de Cu, asociadas a brechas y pórfido con alteración potásica

Valiente and Rubio, 2016

Mineralización



- La mineralización principal constituye una columna de 350 m de espesor, compuesta de atacamita, brochantita, sulfatos de Fe-Cu, limonita con Cu, crisocola y óxidos negros con escasa calcocita y covellita en una capa delgada de enriquecimiento supergénico.
- En la zona hipógena subyacente, la mineralización está dominada por:
 - Calcopirita > pirita > bornita alojada en vetillas tipo A y B en alteración potásica
 - Vetillas tipo C en la periferia de las intrusiones de pórfido.
 - La relación pirita-calcopirita es mayor en las vetas tipo D dentro de una zona fílica poco profunda.
- La distribución de Mo es errática y mal caracterizada.



Recurso



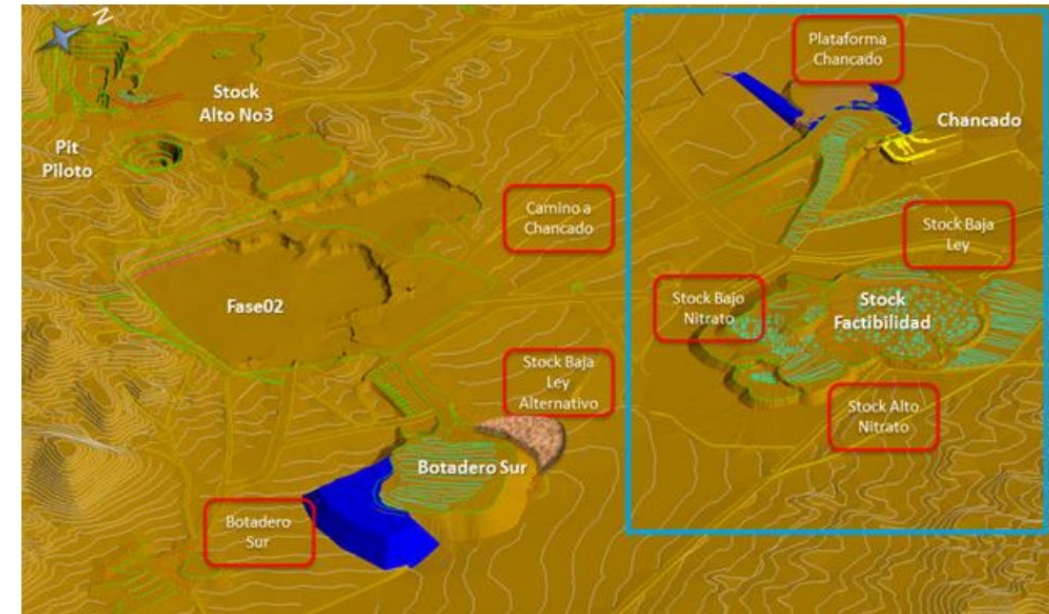
- Las estimaciones de recursos publicadas (medidas + indicadas) de la zona de óxidos al 2022 son 1.114,6 Mt con 0,28% Cu más un recurso inferido de 0,3557 Gt con 0,24% Cu.
- La mina tiene aproximadamente 1,6 km x 1 km.
- Se trata de un recurso en óxidos e incluye una gran superficie dedicada a la lixiviación.



El proceso minero en Antucoya



- Antucoya es una mina de Cu a cielo abierto que extrae y lixivia mineral de óxido utilizando la tecnología patentada Cuprochlor®-T.
- La mina produce cátodos de cobre mediante el proceso de extracción por solventes y electroobtención (SX-EW).
 - Esto implica un proceso hidrometalúrgico de dos etapas que primero extrae y mejora los iones de cobre de soluciones de lixiviación de baja ley en un solvente que contiene una sustancia química que reacciona selectivamente y se une al cobre en el solvente.
 - El Cu se extrae del solvente con un ácido acuoso fuerte que luego deposita Cu puro en los cátodos mediante un procedimiento electrolítico (es decir, electroobtención).



Antucoya mine plan including the pit, stocks, and leach pads (López Solar, 2016).

Planteamiento del problema e ideas de modelos de alto impacto



Problemas

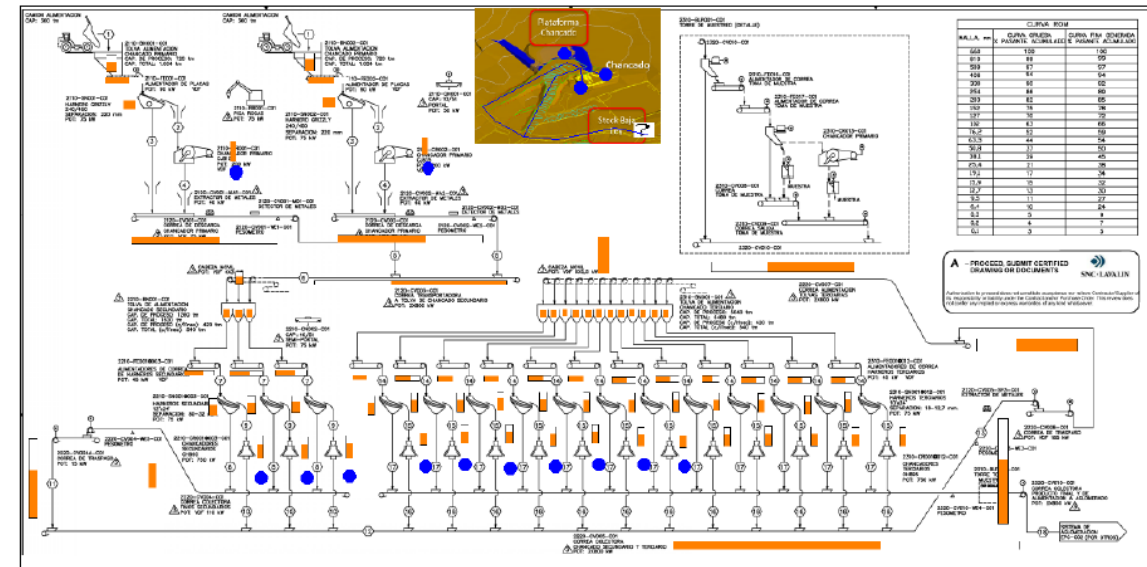
- La mayor parte de la minería en Antucoya se realiza en el recurso de óxido y aproximadamente el 30% del mineral proviene del recurso de sulfato.
- El recurso se compone de una mineralogía complicada que afectará el desempeño de la planta y la lixiviación.

Ideas de flujo de trabajo

- Crear un modelo sulfuro-óxido-sulfato-carbonato para ayudar con la planificación minera.

Impacto del uso de datos de imágenes hiperespectrales

- Puede mapear los minerales requeridos.
- Puede actualizar continuamente el modelo casi en tiempo real, siempre y cuando se escanee el núcleo.



Flujo de trabajo de molienda y procesamiento de Antucoya (López Solar, 2016)

**Echemos un vistazo a los
datos espectrales.**

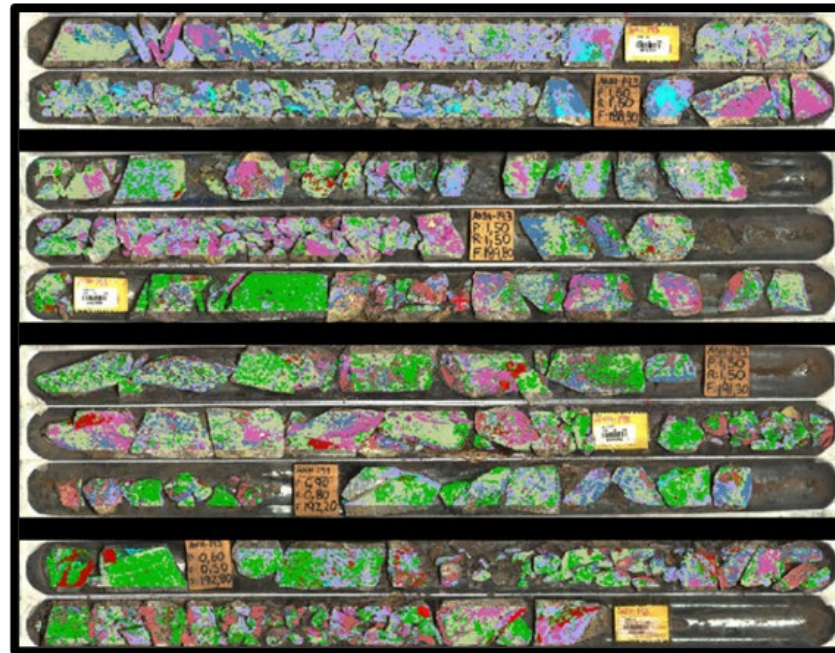


La biblioteca de minerales hiperespectrales de Antucoya



Nombre del Mineral	Color
Malaquita	Red
Antlerita	Red
Atacamita	Pink
Cu-Mineral (Sulfate)	Red
Biotita (grupo)	Dark Red
Dickita	Yellow
Jarosita	Purple
Yeso	Cyan
Carbonato	Cyan
Sulfato Na-Ca	Light Red
Sulfato Fe	Red
Sulfato Fe-Mg	Light Red
Caolinita: Alta X	Light Green
Caolinita: Med X	Light Green
Caolinita: Baja X	Light Green
FLS + Mica Blanca	Dark Blue
Clorita + Mica Blanca	Light Green
Mica Blanca: Paragonita	Light Blue
Mica Blanca: Paragonita-Moscovita	Blue
Mica Blanca: Moscovita	Blue
Mica Blanca: Moscovita-Fengita	Blue
Mica Blanca: Fengita	Blue
Montmorillonita	Light Blue
Clorita	Green
Alunógeno	Light Green
Cuarzo/Silice Hidratado	White
Cuarzo/Silice Opalino	White
Oxido de Fe (general)	Orange
Featureless Slope (FLS) - Tipo 1**	Grey
Featureless Slope (FLS) - Tipo 2**	Dark Grey

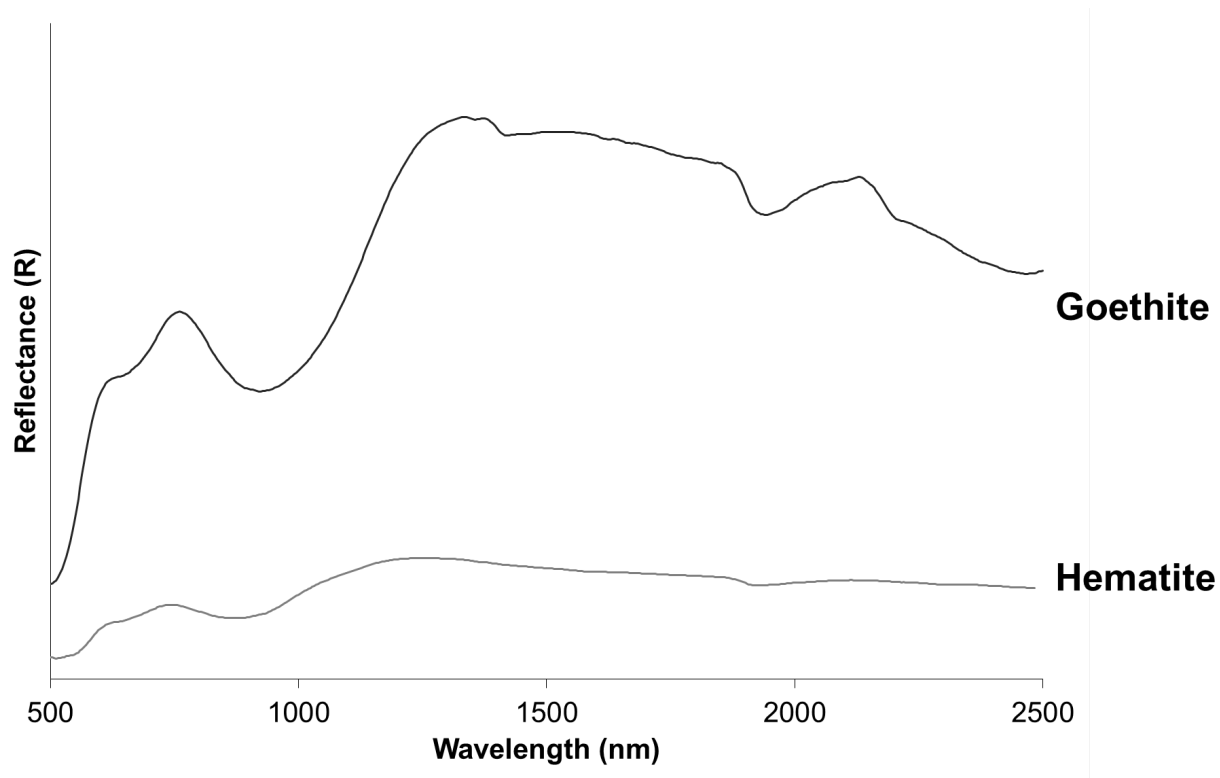
** Featureless Slope Spectra



100 mm

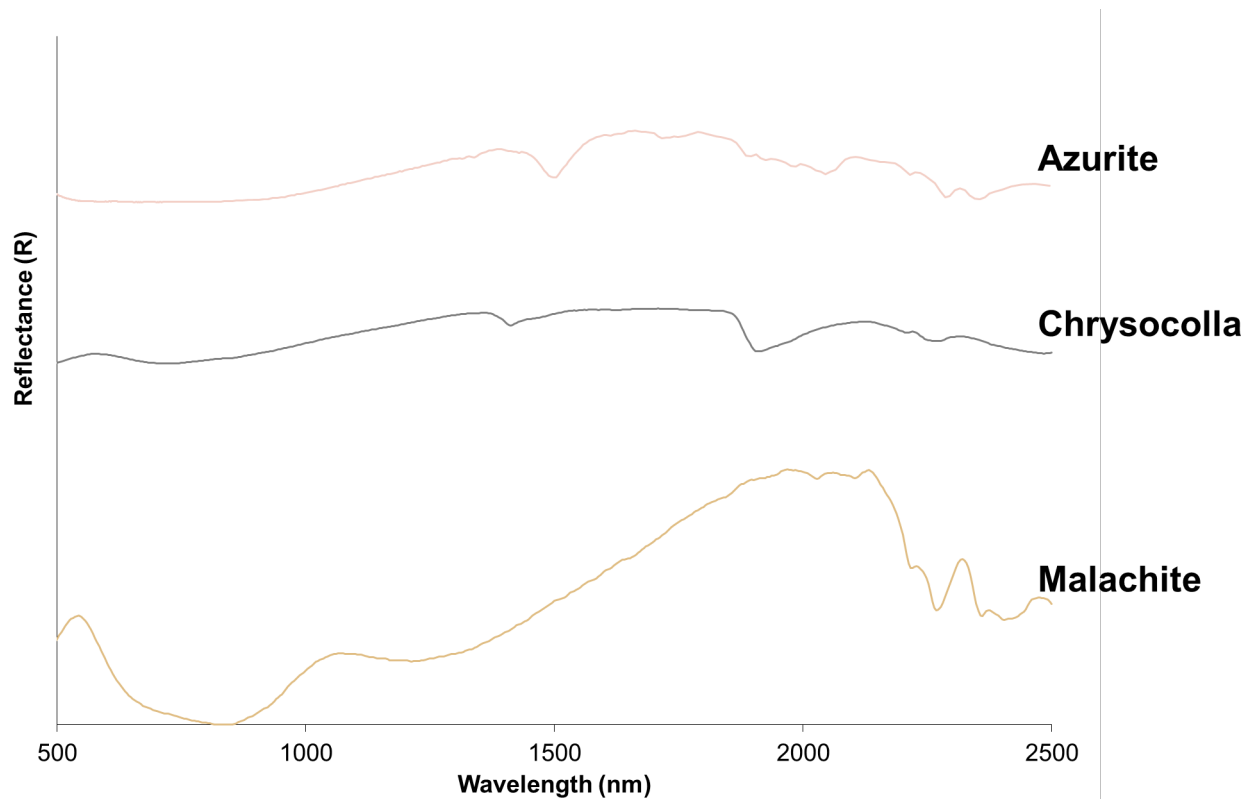
- La mineralogía de Antucoya es una mezcla compleja de carbonatos, óxidos, sulfatos, silicatos y arcillas.
- En la imagen de la izquierda, hay sulfatos, carbonatos, arcillas y minerales complejamente entremezclados entre sí.
- Comprender su distribución es fundamental para la planificación minera.

Oxidos



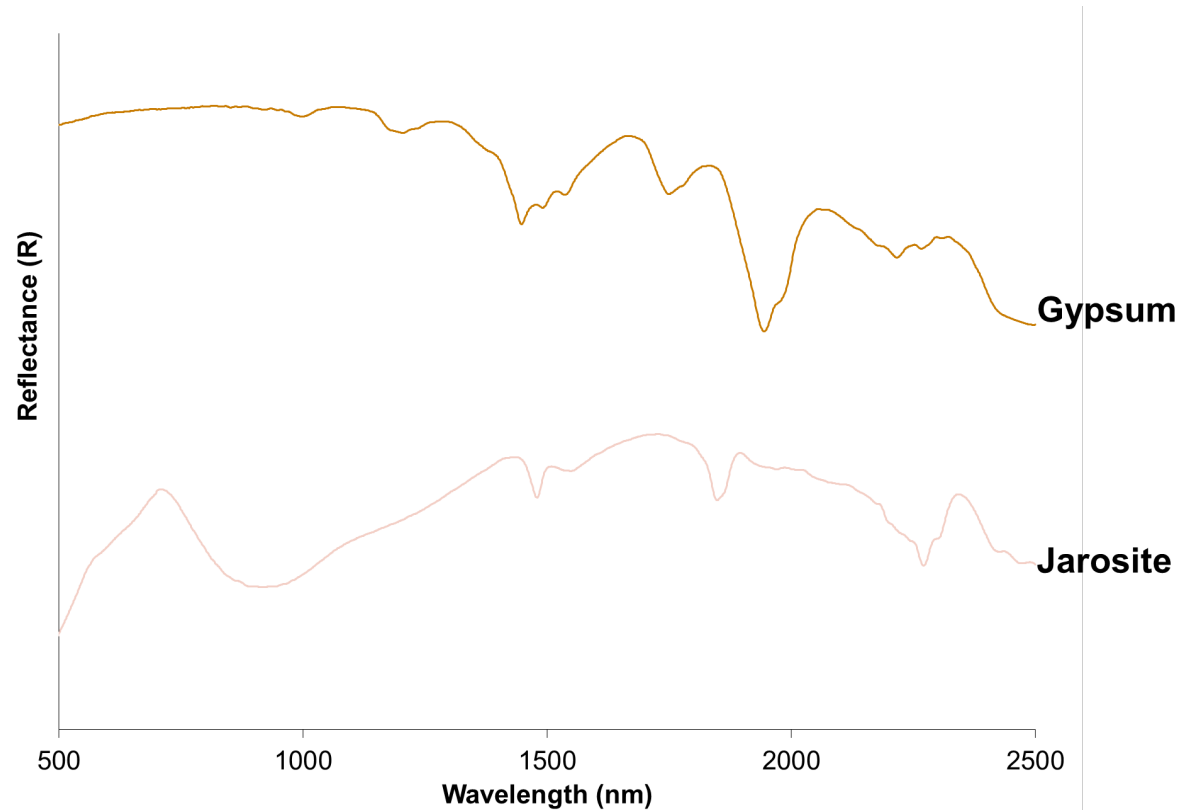
- La zona de óxido contiene toda la mineralización que se extrae actualmente en Antucoya y representa una columna de ~350 m de espesor.
- Algunos de los óxidos de Fe contienen Cu.

Minerales secundarios de Cu



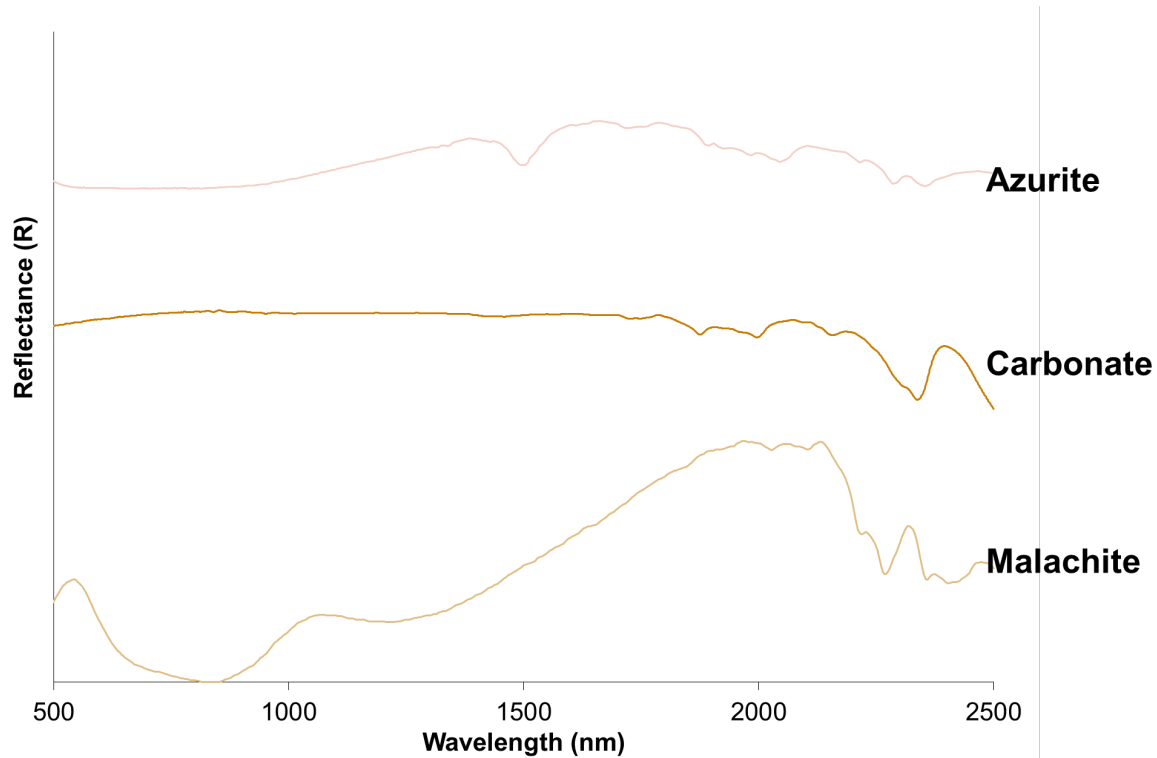
- La mineralización principal se compone de minerales secundarios que contienen Cu, incluidos atacamita, brochantita, sulfatos de Fe-Cu, limonita que contiene Cu, crisocola y óxidos negros con escasa calcocita y covellita en una delgada capa de enriquecimiento supergénico.
- A la izquierda, hay algunos de estos minerales que representan una mezcla de carbonatos y filosilicatos.
- Esto demuestra que no sólo la ganga de Antucoya es compleja, sino la mineralogía misma del mineral.

Sulfatos



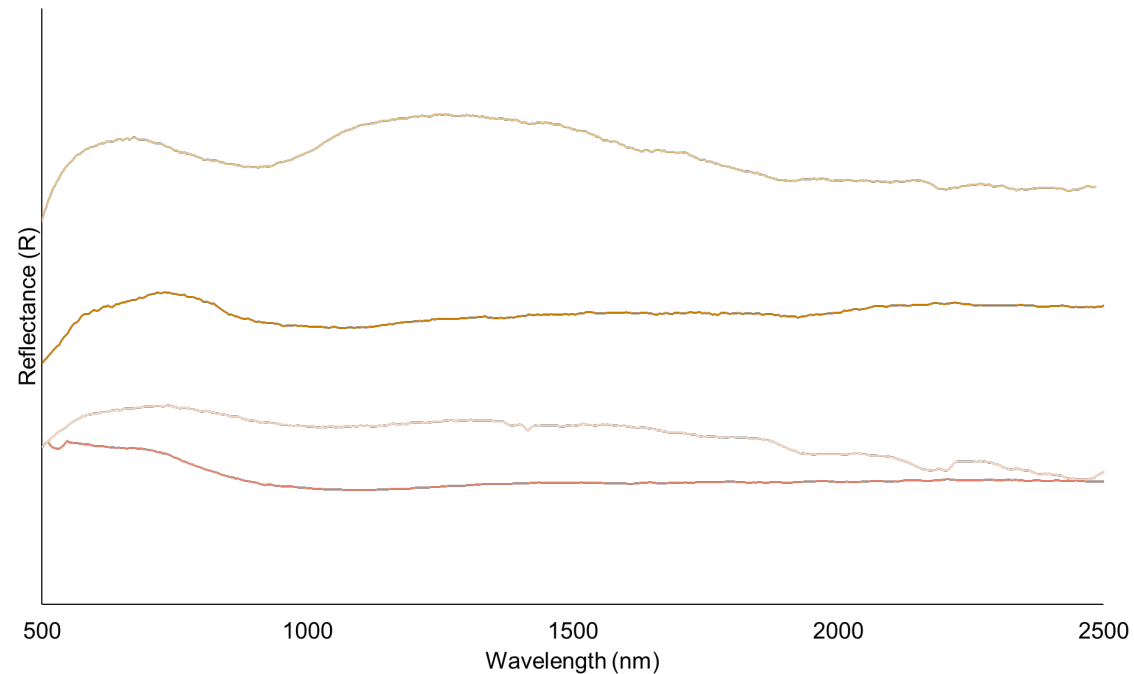
- En Antucoya existe una variedad de sulfatos, algunos de los cuales son minerales.
- Minerales: antlerita, mineral de Cu, brochantita
- Otros: alunógeno, jarosita, yeso, Na-Ca, Fe y Fe-Mg

Carbonatos



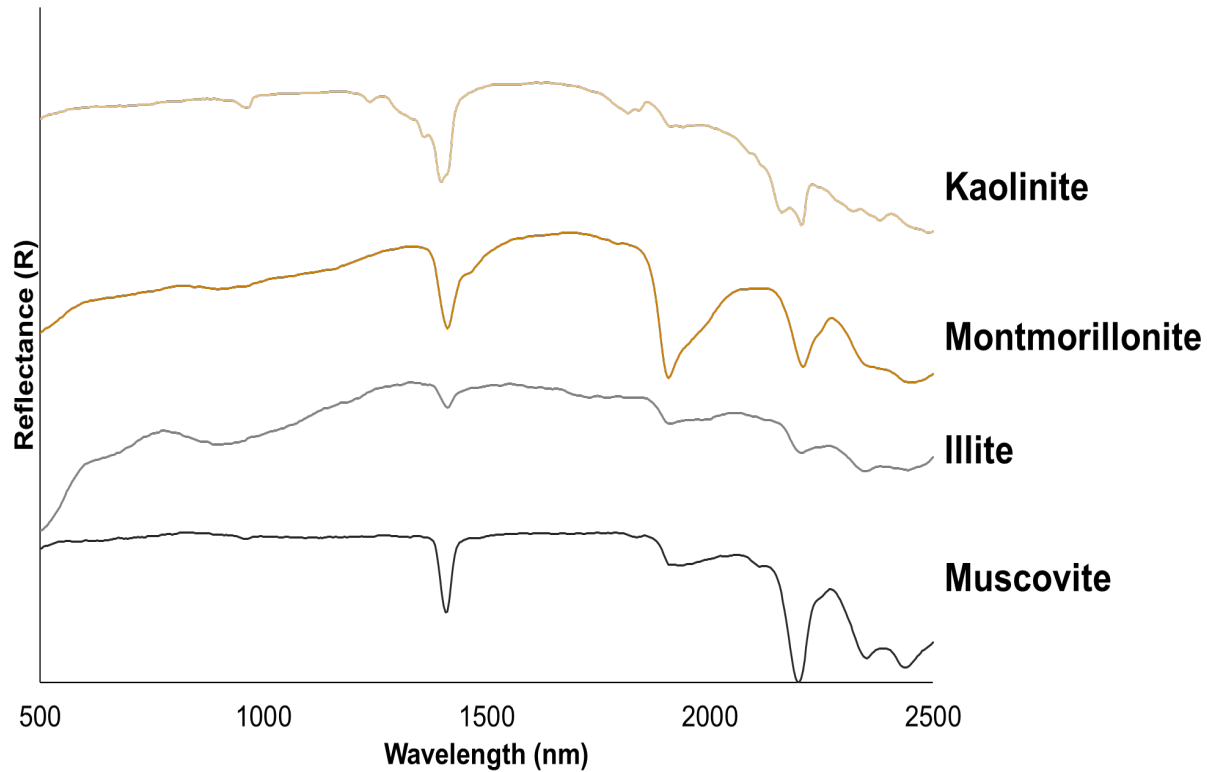
- Al igual que el grupo de minerales de los sulfatos, algunos de los minerales carbonatos en Antucoya contienen minerales.
- Mineral: malaquita
- Conocer y entender la distribución de carbonatos es importante debido al potencial de neutralización de ácidos para la lixiviación.

Sulfuros



- Los sulfuros de hierro (p. ej., pirita, calcopirita) carecen de rasgos de absorción espectral como diagnóstico, en el rango VNIR-SWIR.
- Sin embargo, la forma general de las firmas espectrales más la textura (veteada, masiva, etc.) puede permitir una discriminación e identificación generales, particularmente para materiales de grano más grueso.

Ganga



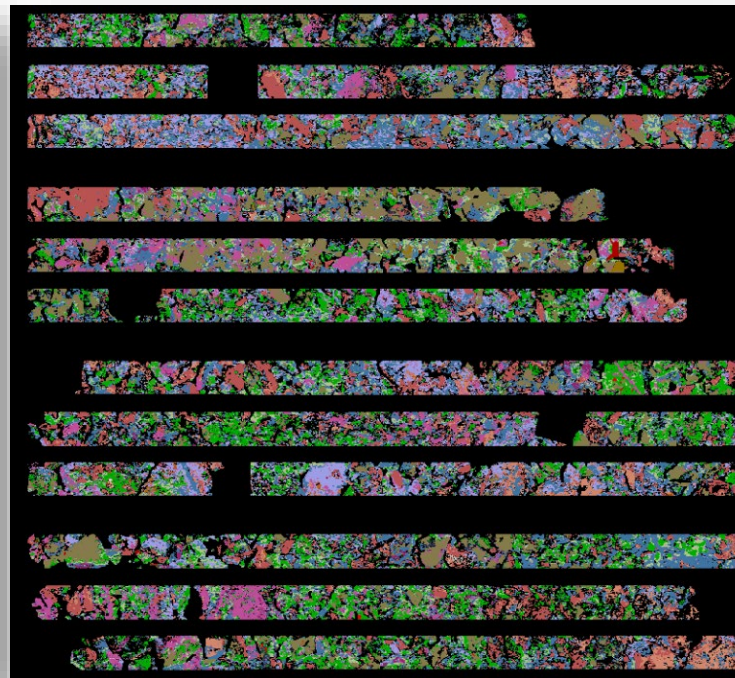
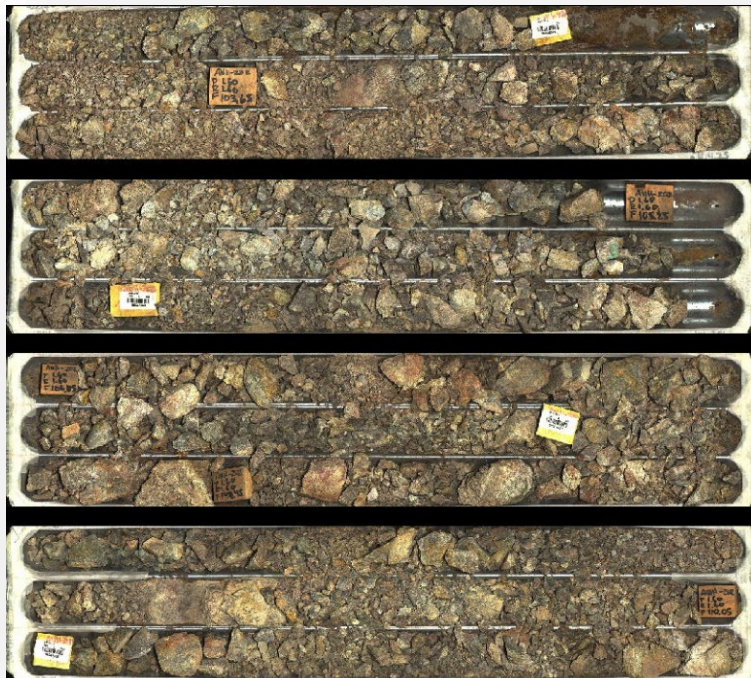
- Los minerales filosilicatos se componen de capas tetraédricas (T) y octaédricas (O).
- Esta estructura está inherentemente ligada a comportamientos en todos los aspectos de la minería (por ejemplo, la capacidad de la estructura T-O-T para almacenar agua y provocar un comportamiento de hinchazón).
- Consideremos Antucoya:
 - Molienda: las arcillas pueden aumentar el tiempo de permanencia en el molino y obstruir el equipo de molienda.
 - Lixiviación: las arcillas tienen capacidad de absorber reactivos, aumentando así el consumo.

¿El tamaño importa?

...claro que lo hace.



Facetas de tamaño



- Resolución espacial
- Resolución espectral
- Rango espectral
- Cantidad / calidad de espectrómetros
- Número de píxeles

Resolución espacial



- La resolución espacial generalmente se expresa como tamaño de píxel o del área de muestra que mide el espectrómetro: el "tamaño de píxel" o "tamaño del punto".
- Definido como el objeto más pequeño representado claramente con límites distintos.
- Las imágenes con tamaños de píxeles grandes se consideran de escala gruesa o de baja resolución (baja resolución espacial).
- Las imágenes de escala fina o de alta resolución tienen tamaños de píxeles pequeños (alta resolución espacial).

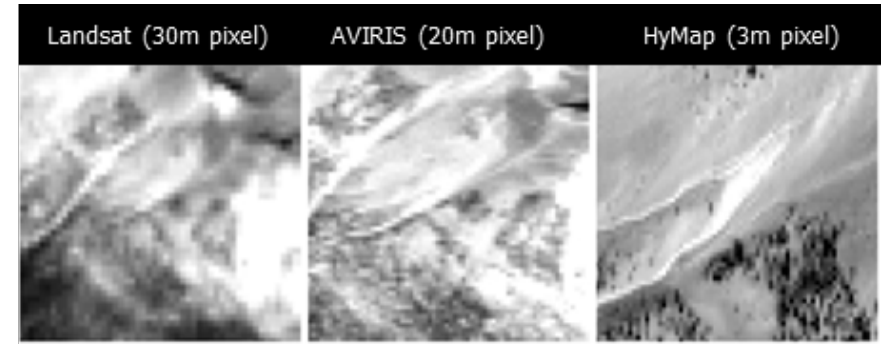


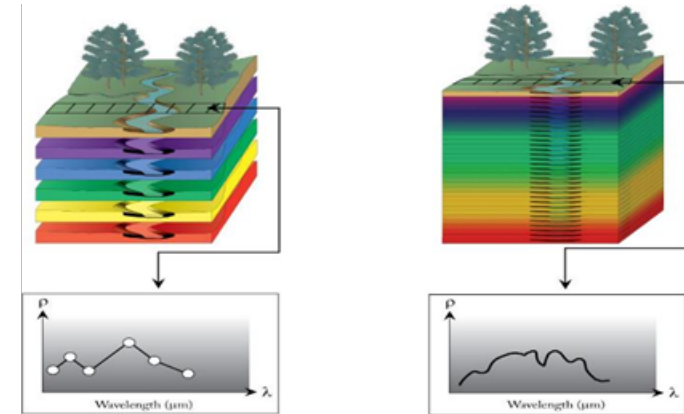
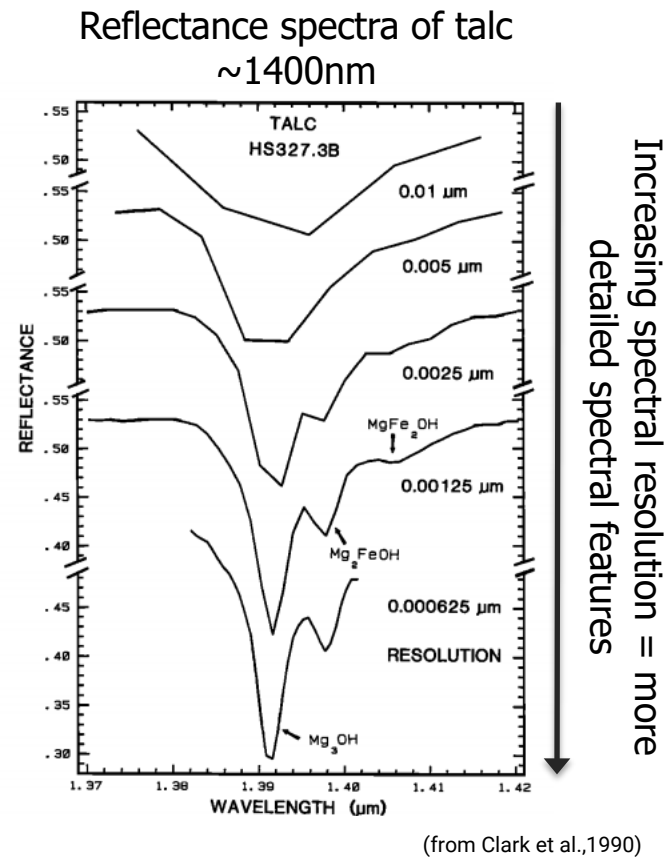
Image credit: Martini et al., 2001.



Hyperspectral core imaging data at 500µm. Image credit: Minnesota Department of Natural Resources.

Resolución espectral

- La resolución espectral describe los intervalos de longitud de onda en los que se realiza la medición de cada banda espectral y que determina la capacidad de discriminar características espectrales finas.
- Por lo general, se refiere a qué tan "ancha" es cada banda, o el rango de longitudes de onda cubiertas por una sola banda de medición.
- Es importante tenerlo en cuenta para determinar si puede identificar los minerales/grupos de minerales de interés.



Example multi-band:
0.5 μm or 500nm

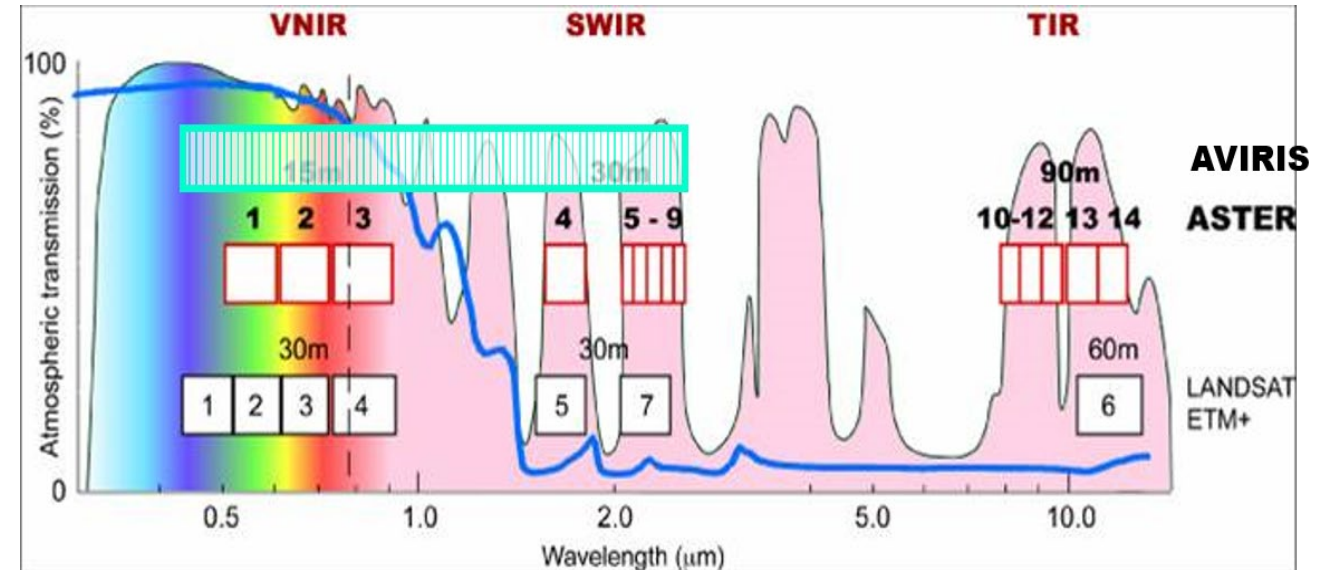
Example hyperspectral:
0.004 μm or 4nm

Higher spectral resolution = increased ability to resolve subtle differences in spectral signatures

Rango espectral, número de bandas y distribución de bandas



- El rango espectral se refiere a las longitudes de onda específicas medidas por un sensor.
- El número de bandas (y si son contiguas) hace la diferencia entre lo hiperespectral de lo multiespectral, es decir, identificaciones minerales absolutas versus clasificaciones minerales amplias.

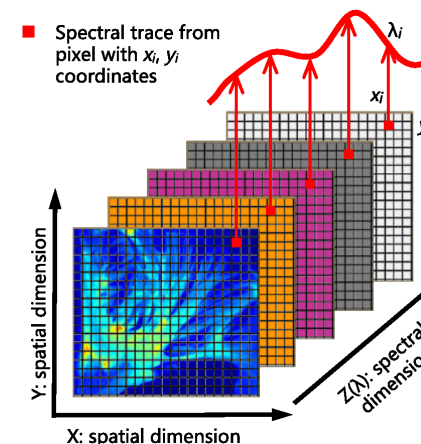
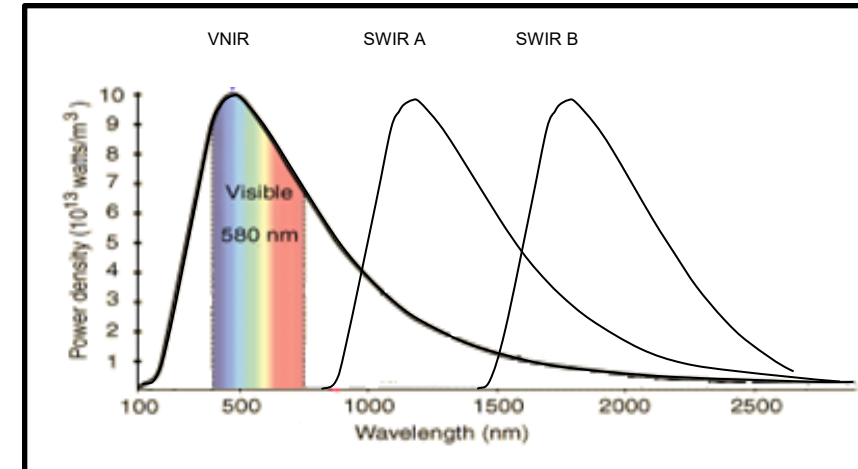


Ejemplos extraídos de datos satelitales. Cada uno muestra el rango espectral del instrumento, así como cuántas bandas de información están disponibles para interpretación.

Número de espectrómetros



- Debido a limitaciones de rendimiento óptico, los sistemas hiperespectrales de escaneo de núcleos están diseñados con más de un espectrómetro para cubrir el rango espectral, generalmente un espectrómetro VNIR y SWIR. Sin embargo, algunos sistemas cuentan con más de dos espectrómetros, por ejemplo:
 - Espectrómetro VNIR: ~400 nm a 1000 nm
 - Espectrómetro SWIR-A: ~800 nm a ~1700 nm
 - Espectrómetro SWIR~B: ~1600nm a ~2500nm
- Estos espectrómetros con traslape ayudan a prevenir el ruido tanto en las regiones superpuestas como a extender la señal más lejos en el SWIR, donde muchos minerales importantes (por ejemplo, minerales máficos y carbonatos) tienen características de absorción importantes.



Importancia de un buen co-registro, la respuesta espectral en todos los espectrómetros debe muestrearse desde la misma ubicación (píxel) en la superficie del núcleo para una interpretación mineral precisa y confiable.

Relación señal-ruido (SNR)



- La relación señal-ruido (SNR) es la medida de cuánta "señal" (o energía) se mide en comparación con la cantidad de "ruido" de fondo del instrumento.
- El ruido del instrumento puede deberse a varios factores, entre los que se incluyen una mala calibración del sensor, una mala calidad óptica o del detector, poca iluminación de la fuente o movimiento de la muestra durante la medición.
- Una SNR más alta mejora la capacidad de interpretar información mineralógica de los espectros medidos (características espectrales más definidas).
- Tenga en cuenta que en un sistema de imágenes, el tipo de sensor que utiliza su proveedor (por ejemplo, frame, pushbroom, whiskbroom) es un componente importante para mejorar la relación señal-ruido, al igual que el campo de visión y el ancho de la franja.

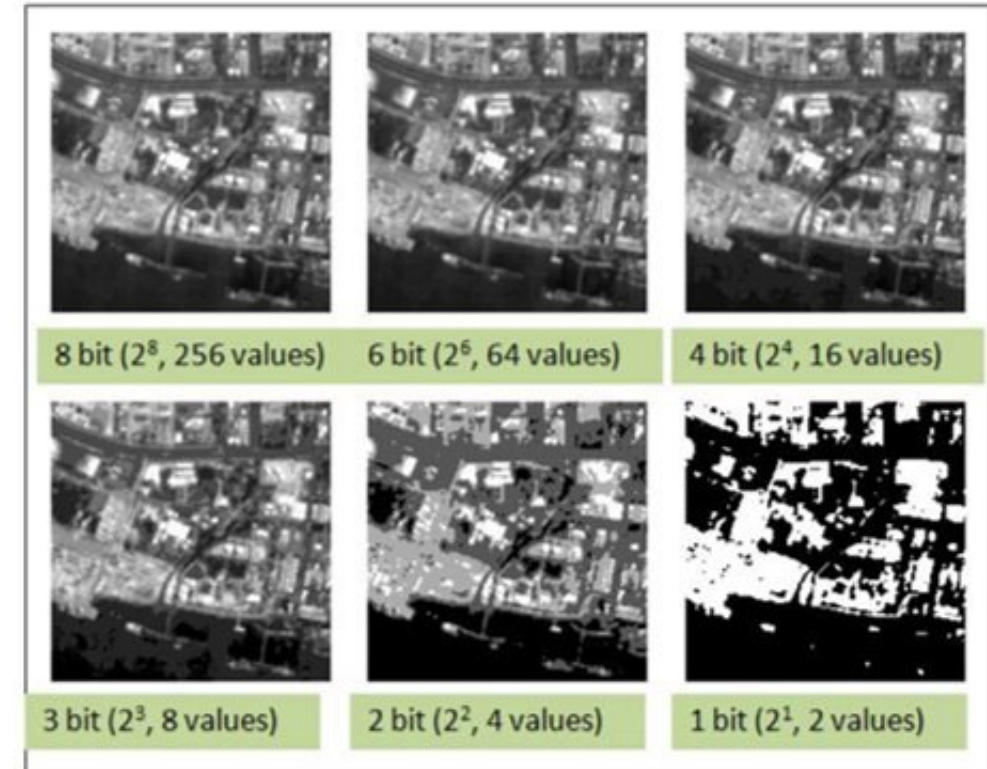
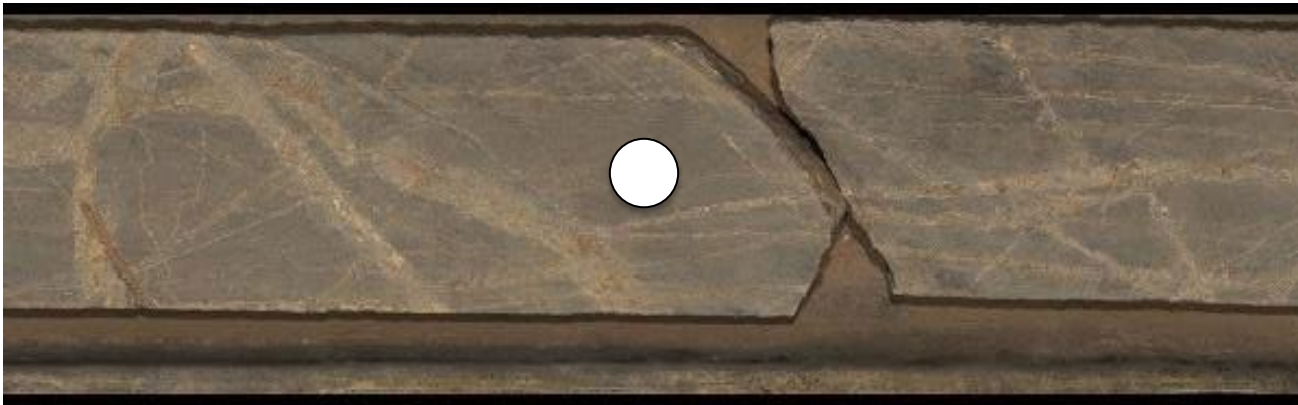


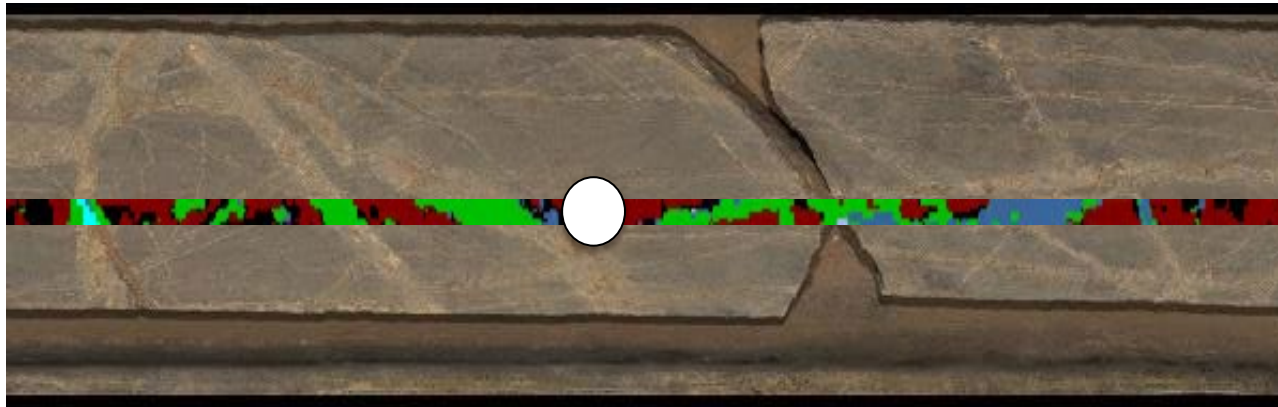
Image credit: Descartes Labs

Aumento de las estadísticas de conteo para la interpretación de datos: datos puntuales



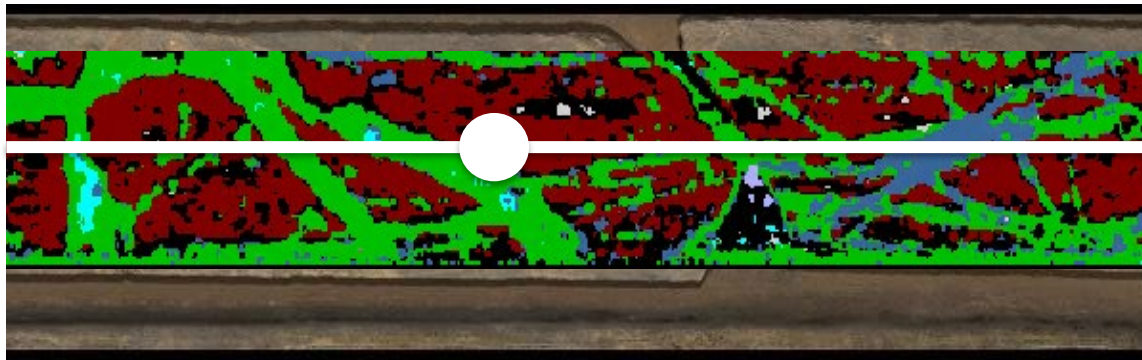
Mineral	Mineral % (Point)
# Spectra	1
Calcite	
Chlorite	
Kaolinite	
Montmorillonite	
Phlogopite	100
Tourmaline	
White Mica	

Aumento de las estadísticas de recuento para la interpretación de datos: sistemas de escaneo lineal



Mineral	Mineral % (Point)	Mineral % (Line)
# Spectra	1	20
Calcite		0.006
Chlorite		31.9
Kaolinite		0
Montmorillonite		0
Phlogopite	100	48.6
Tourmaline		0
White Mica		0.083

Aumento de las estadísticas de conteo para la interpretación de datos: sistemas de imágenes



Dickite
 Pyrophyllite
 Calcite
 Gypsum
 Alunite
 Tourmaline
 Atacamite
 Chrysocolla
 Kaolinite
 Montmorillonite
 Phlogopite
 White Mica
 Chlorite
 Featureless Slope



Mineral	Mineral % (Point)	Mineral % (Line)	Mineral % (Image)
# Spectra	1	20	55,000
Calcite		0.006	0.005
Chlorite		31.9	27.6
Kaolinite		0	0.002
Montmorillonite		0	0.03
Phlogopite	100	48.6	37.6
Tourmaline		0	0.01
White Mica		0.083	26.9

Sistema utilizado en este estudio



IR System Specification	Corescan HCI-4.1
Sensor type	Imaging
Spectrometer modules	3
Spectral range – VNIR (nm)	450 – 1,000nm
Spectral range – SWIR (nm)	1,000 – 2,500nm
Spectra per meter (1000mm x 60mm)	240,000
Spatial resolution	250 μ m
Spatial sampling	500 μ m
Spectral resolution	2nm



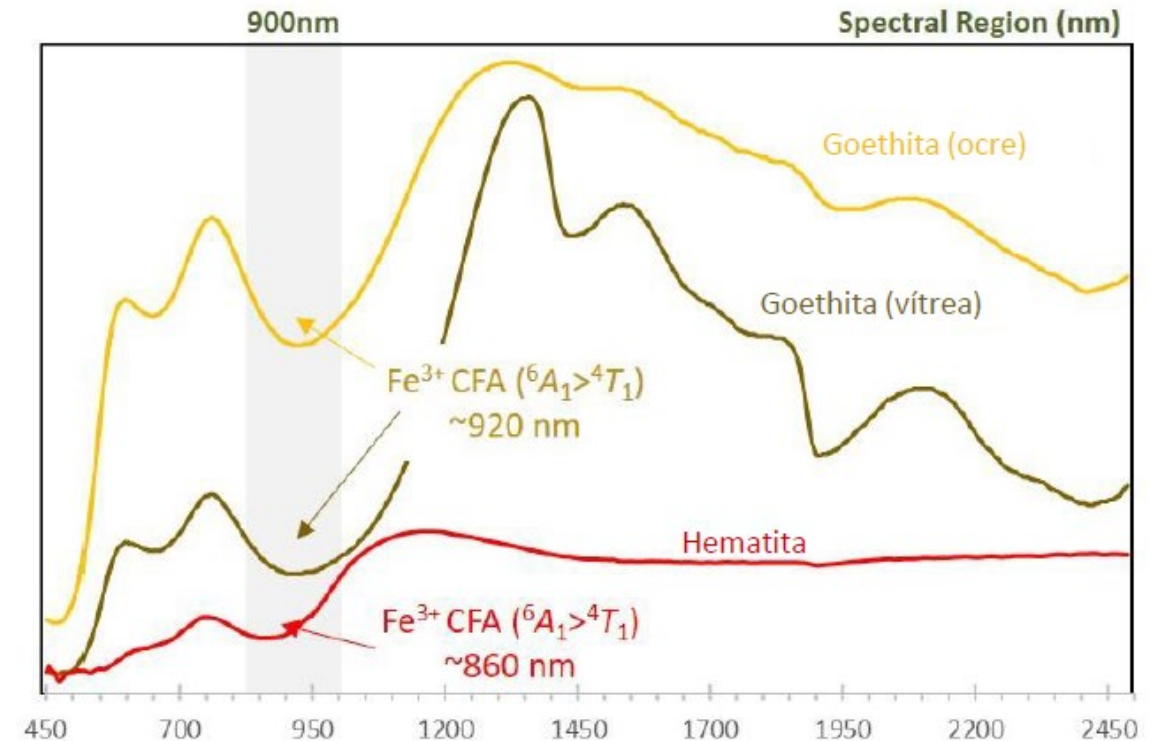
Programas pequeños con grandes impactos



La zona de óxido, lo que estamos minando



- Como vimos en la sección anterior, los óxidos de Fe se mapean fácilmente en el VNIR con características de absorción bien definidas.
- Estas características de absorción se deben a absorciones de campos cristalinos (CFA) y están relacionadas con el Fe.
- Además de mapear el grupo general, los óxidos de Fe se pueden diferenciar en hematita y goethita según su posición de longitud de onda:
 - Fe^{3+} (hematita): $\sim 860\text{nm}$
 - Fe^{2+} (goetita): $\sim 920\text{nm}$



Distribución de especies de óxido de Fe



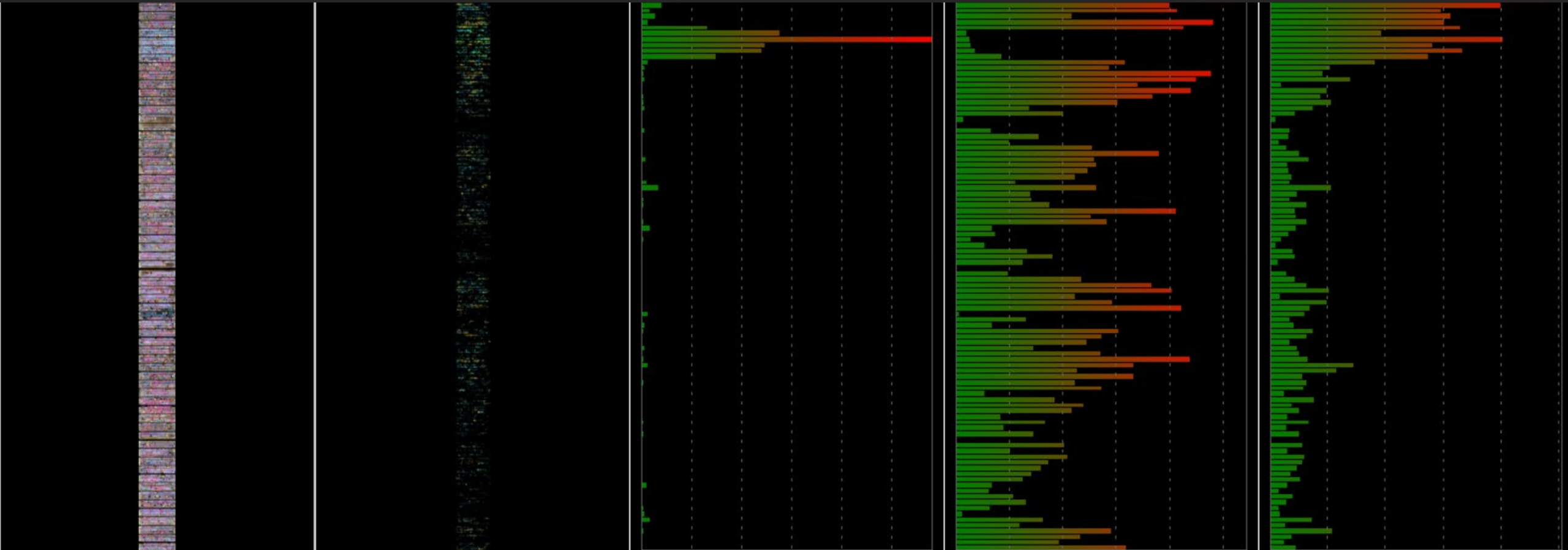
Mineral Class Map

Fe-Oxides

Goethite

Hematite

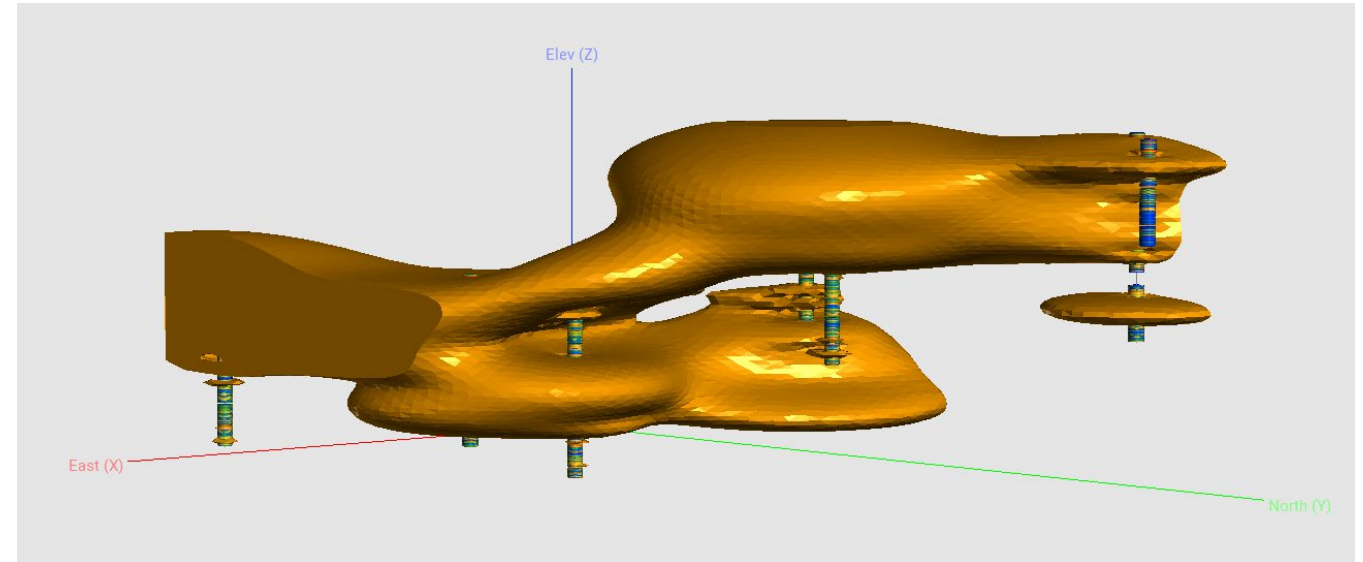
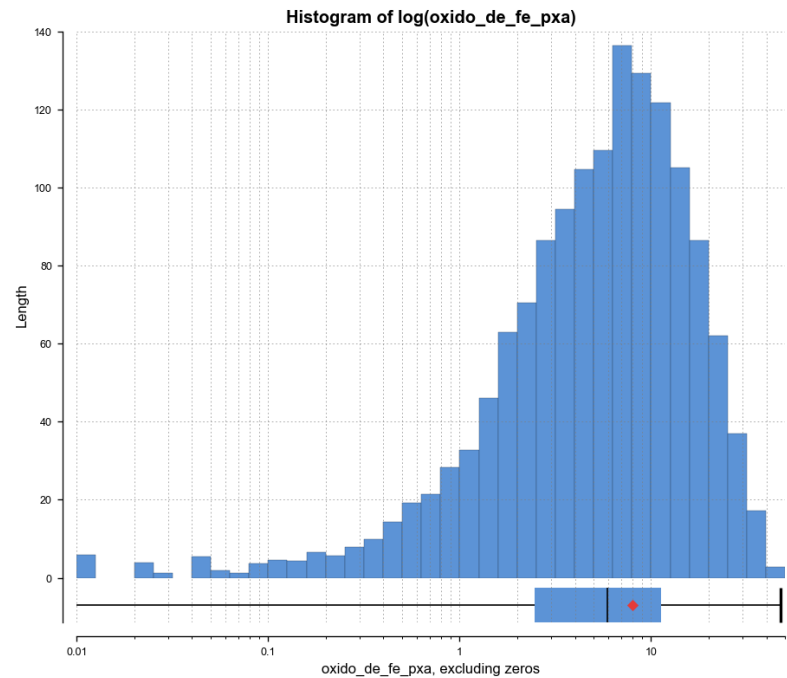
Fe-Oxide Mixture



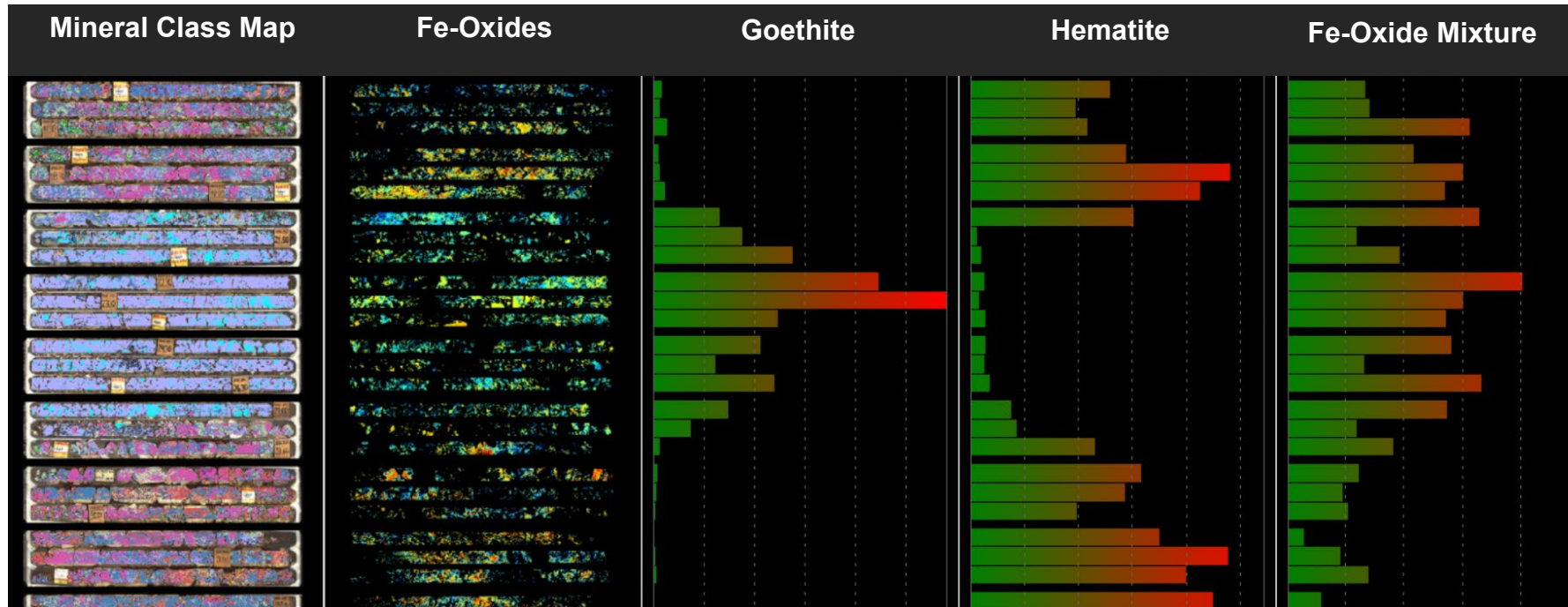
Zona de óxidos en 3D



- Indicador RBF Interpolant corte para el modelo seleccionado en base al valor mediano de los datos: 5%.



La zona de óxido... es complicada

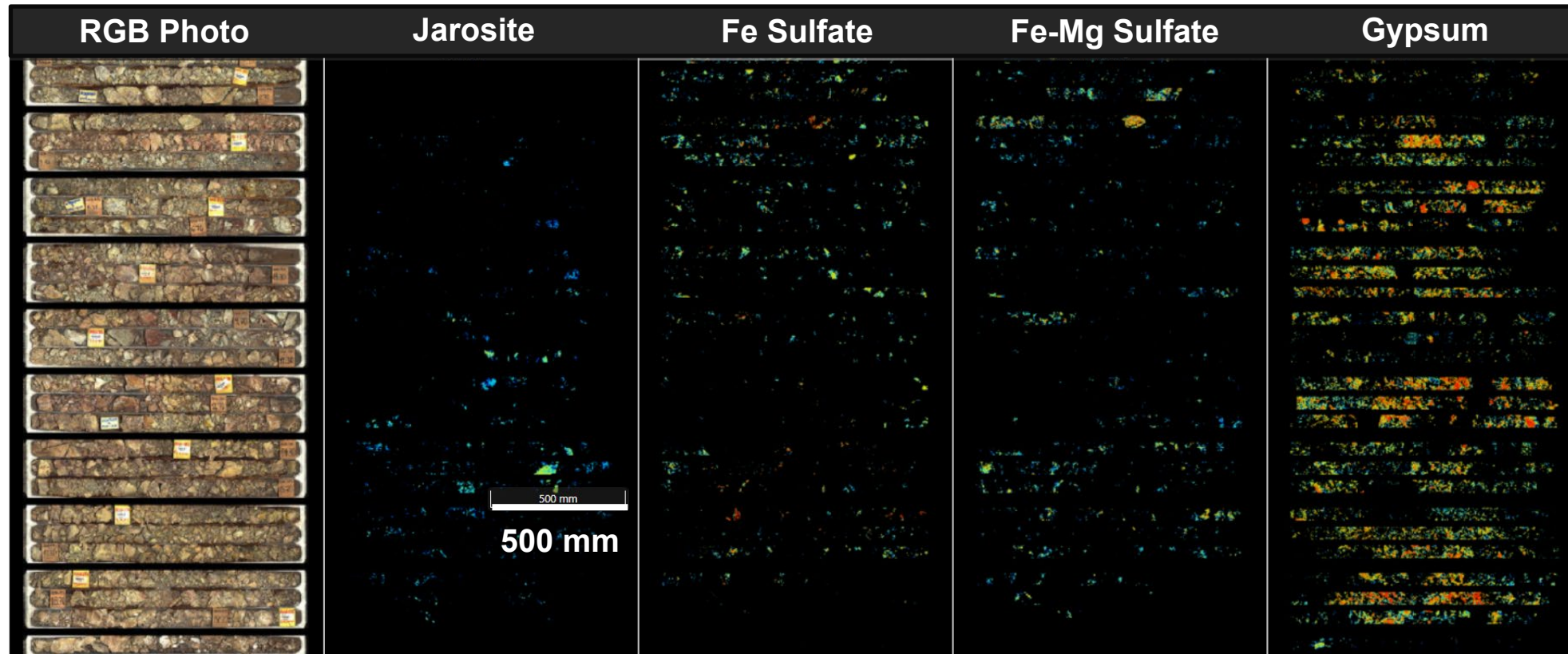


Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	
White Mica	
Montmorillonite	
Fe-Oxide (General)	
Chlorite	
Carbonate	

Sulfatos, un problema de permeabilidad



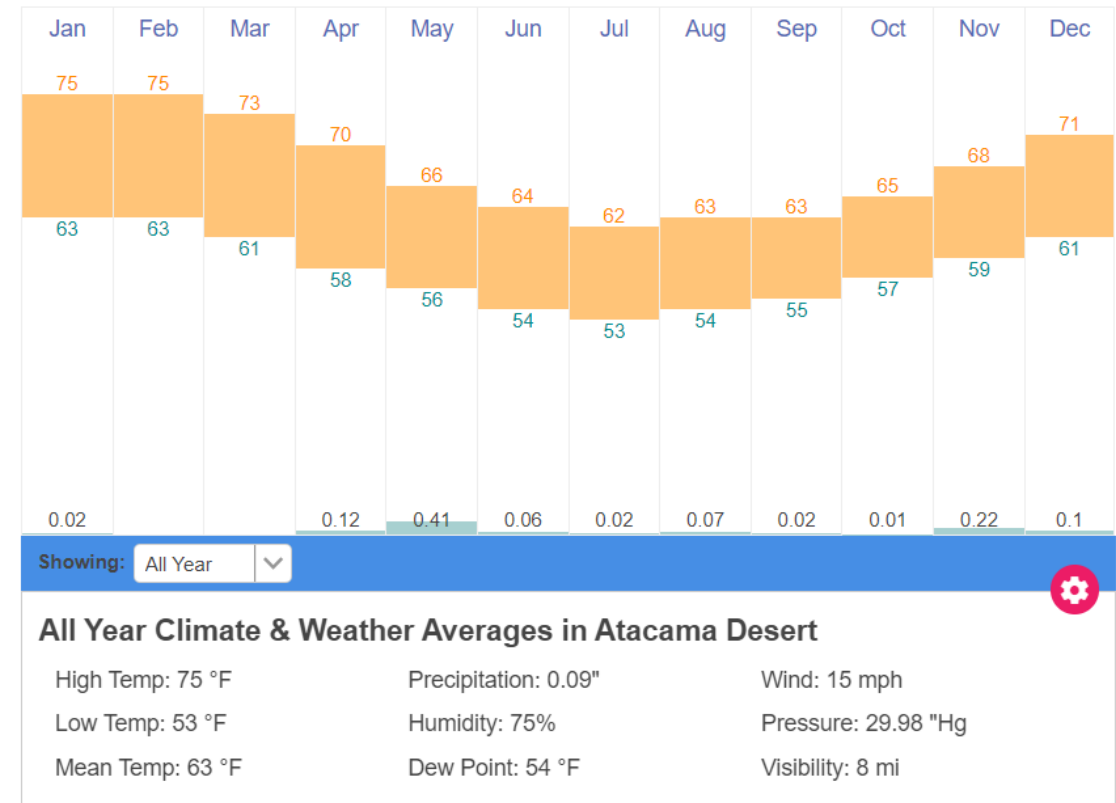
- La mina de Antucoya se basa completamente en explotar el recurso de óxido y lixiviar el Cu del mineral de óxido y sulfato.
- Sin embargo, cuando hay demasiado sulfato en el patio de lixiviación, las cosas se complican.



Hablemos del desierto de Atacama



- El desierto de Atacama es el desierto más seco de la Tierra.
- Curiosamente, el desierto de Atacama es un desierto de niebla, un tipo de desierto donde la niebla proporciona la mayor parte de la humedad que necesita la vida animal y vegetal.
- La humedad en el aire con niebla supera el 95%.
- A la derecha se puede observar la temperatura promedio en el desierto de Atacama en la Región de Antofagasta. Es importante destacar que durante la noche hace suficiente frío para que el sulfato líquido en la lixiviación en pilas cristalice, formando una capa impermeable debajo de la lixiviación.

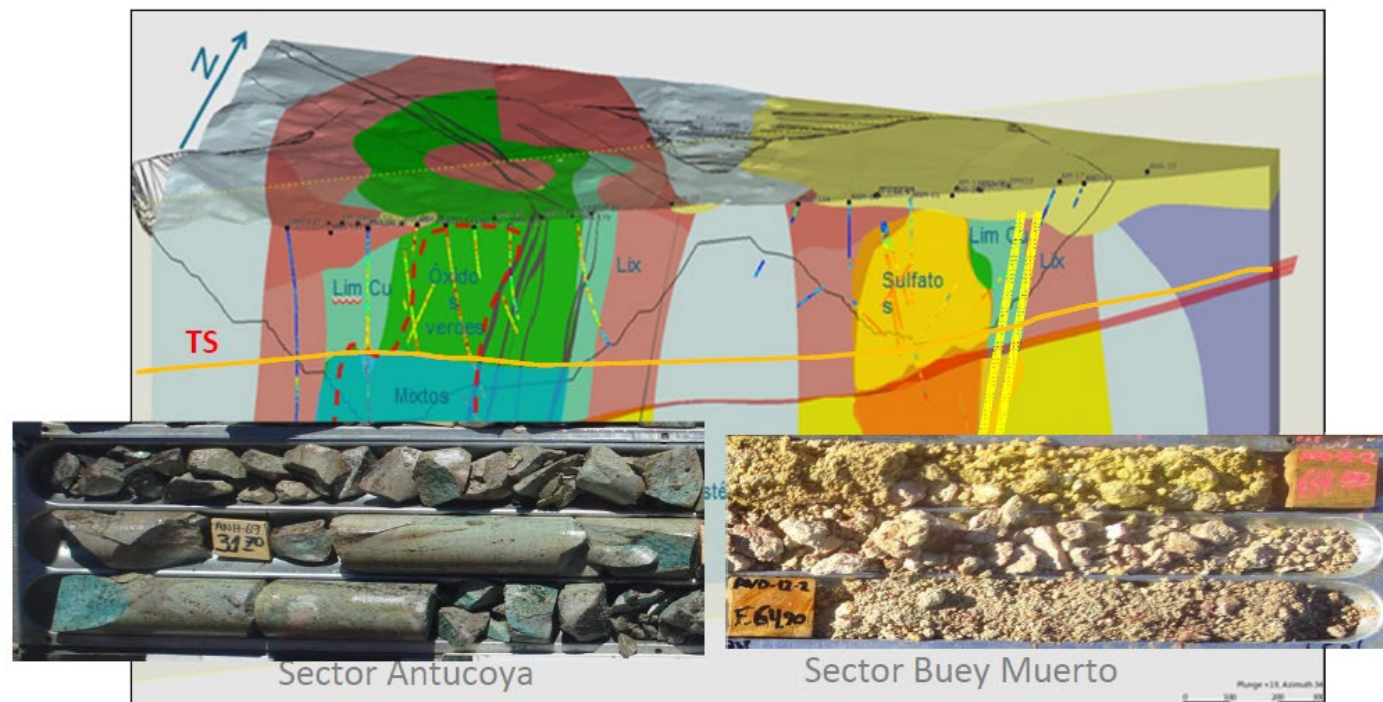


This graph is based on weather reports collected during 1992 to 2021 from Antofagasta, Chile; this city is ~125km southwest from Antucoya Mine ([link](#)).

Entender la distribución del sulfato

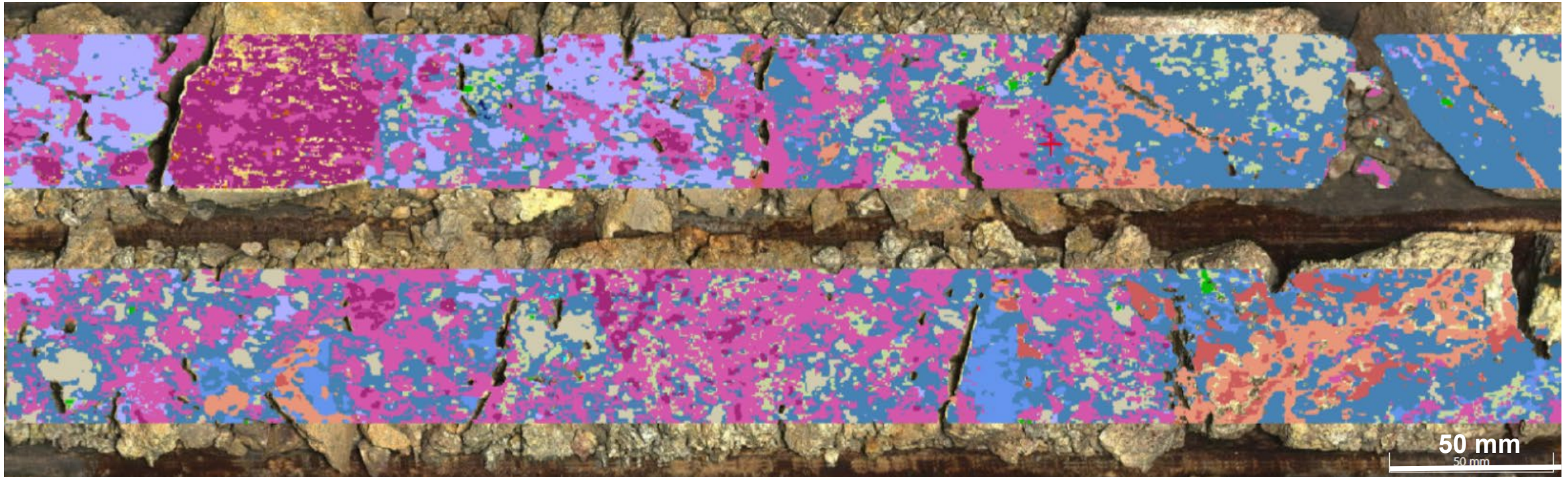


- Comprender la distribución del sulfato es crucial para explotar con éxito el recurso Antucoya.
- Las siguientes diapositivas están dedicadas a observar estos diferentes sulfatos y apreciarlos en la escala de 500um.
- Además, apreciar cuán entremezclados están con el recurso óxido.



Valiente and Rubio (2016)

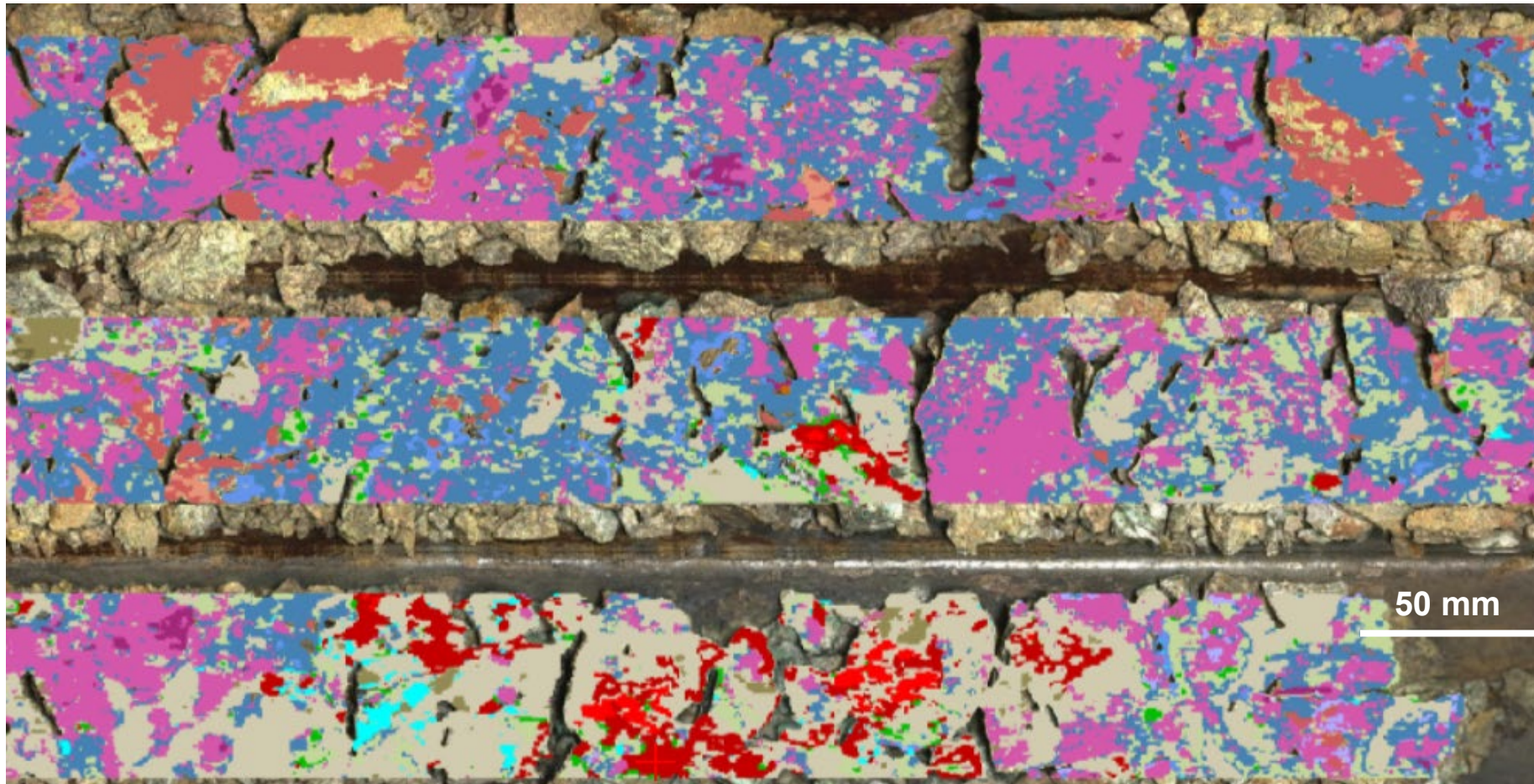
Sulfatos en un dominio geometalúrgico de óxidos



Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	

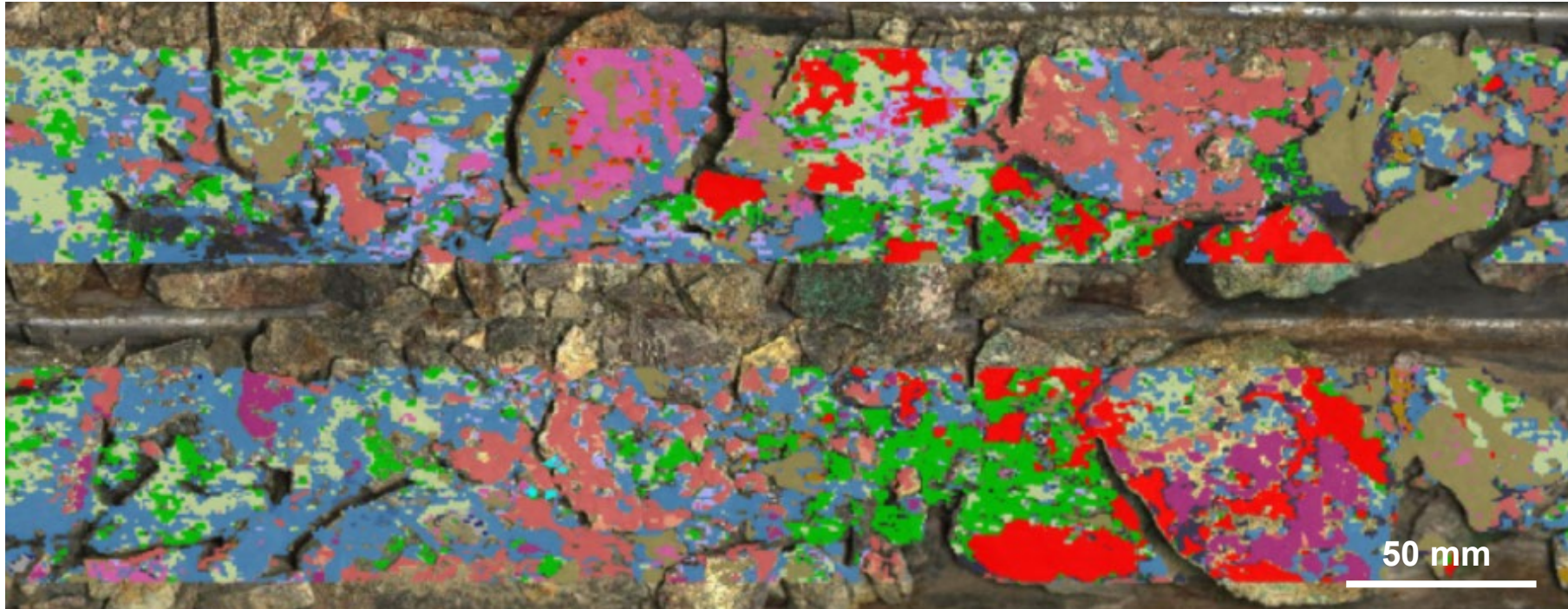
White Mica	
Kaolinite	
Montmorillonite	

Sulfatos en el dominio cuarzo-sericita-pirita



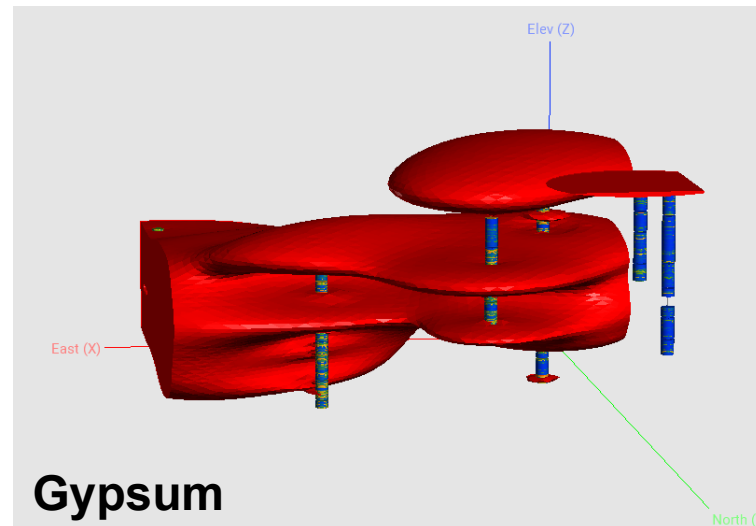
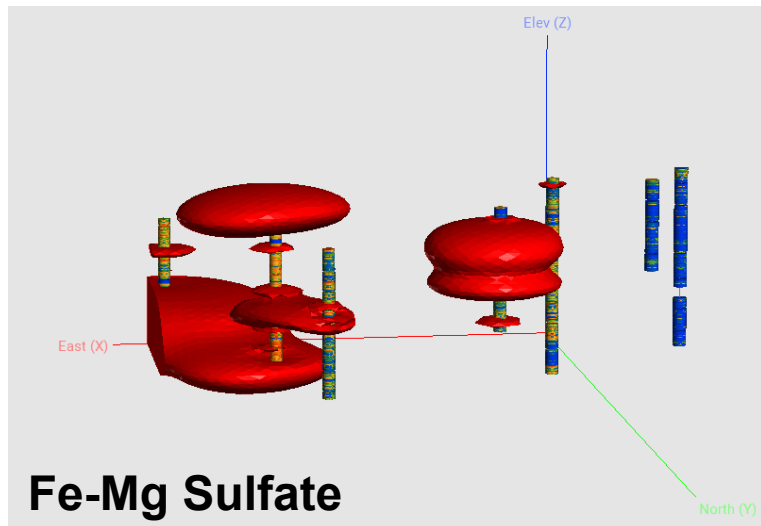
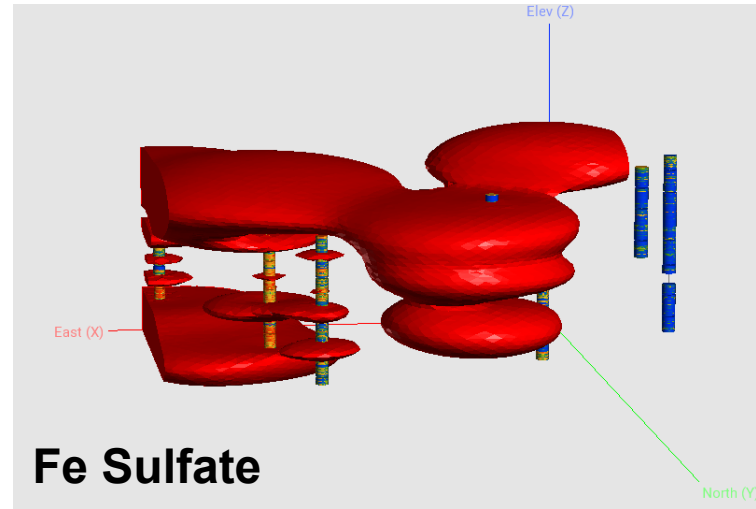
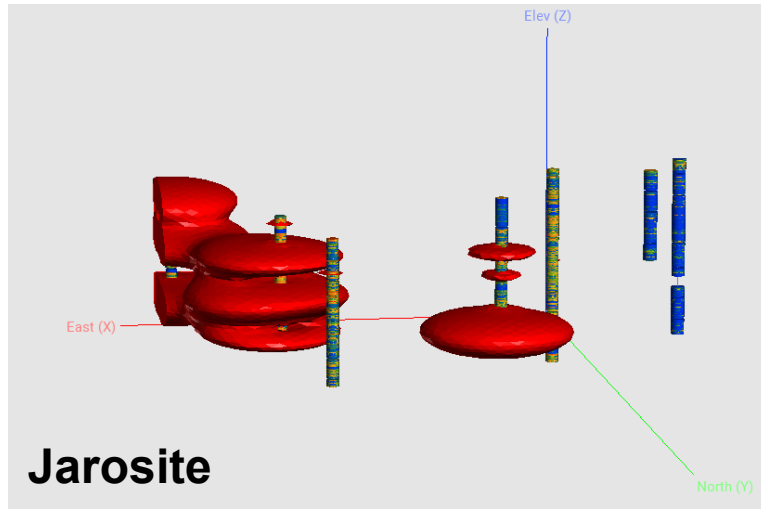
Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	
White Mica	
Kaolinite	
Cu Mineral (Sulfate?)	
Antlerite	
Carbonate	

Sulfatos en el dominio cuarzo-sericita-pirita

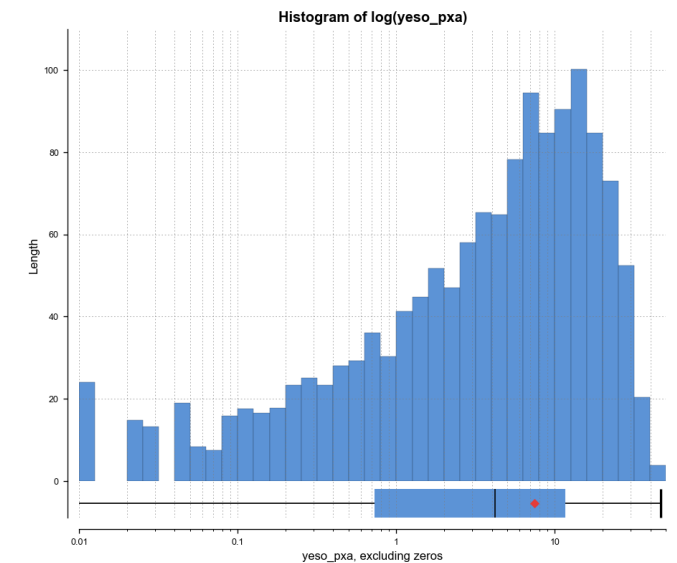


Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	
White Mica	
Kaolinite	
Chlorite	
Antlerite	

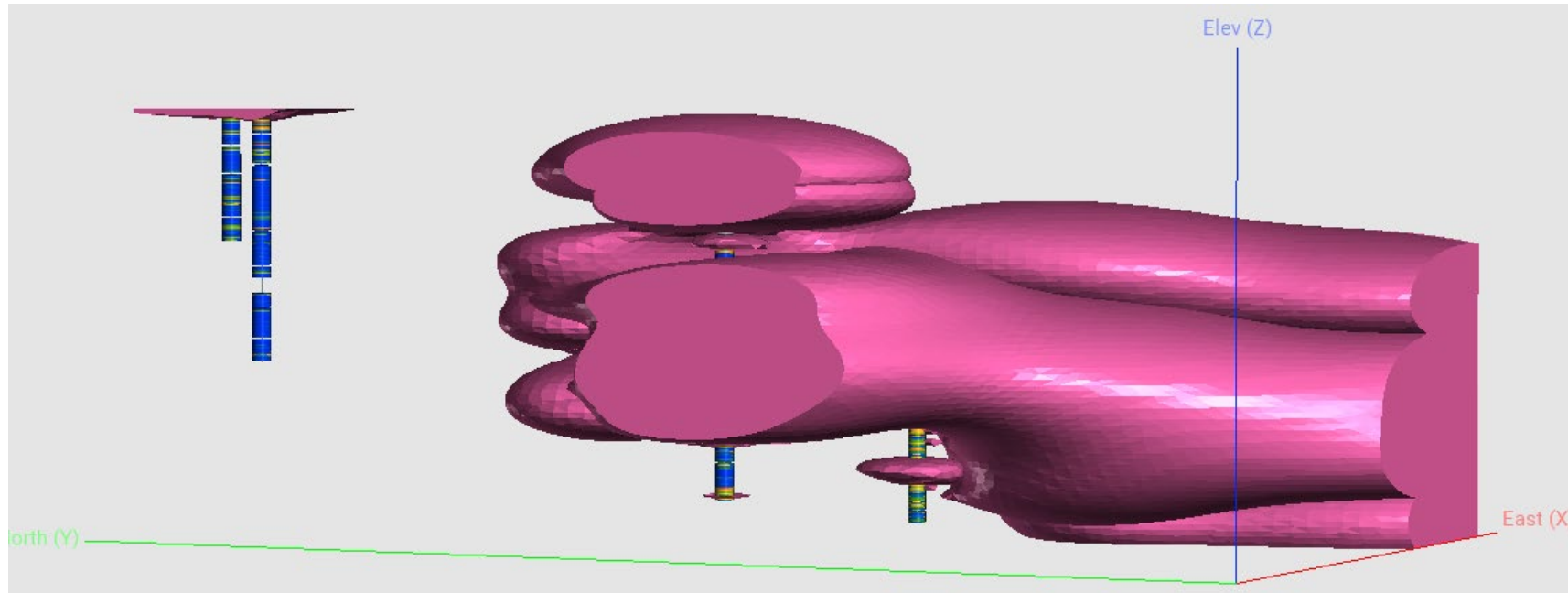
Cuantificando estas imágenes



- Indicador RBF Interpolant límite para el modelo seleccionado en función del valor mediano de los datos.



Cuantificando estas imágenes



- El siguiente paso es trabajar con herramientas como XRD y geoquímica para calibrar esta capa de sulfato.

Construyamos sobre este modelo: carbonatos

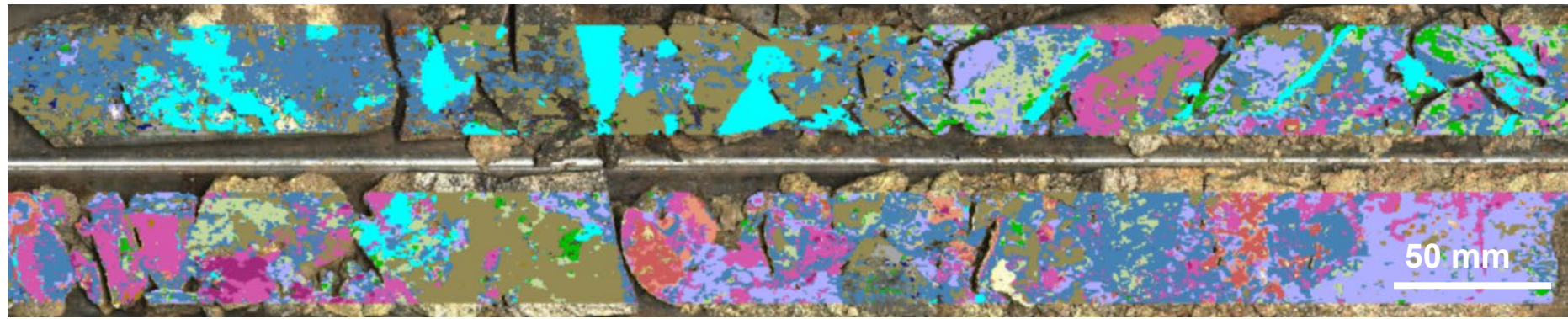


- Los carbonatos representan un problema para las operaciones de lixiviación en pilas.
- Se utilizan ácidos fuertes para lixiviar el Cu del mineral. En Antucoya mantienen un pH de 1,5.
- Los carbonatos son amortiguadores naturales de las soluciones ácidas.
- A escala de micras, los carbonatos se entremezclan con el mineral.
- Además, parte de la mineralogía del mineral es carbonato.



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

Carbonatos a escala de 500µm

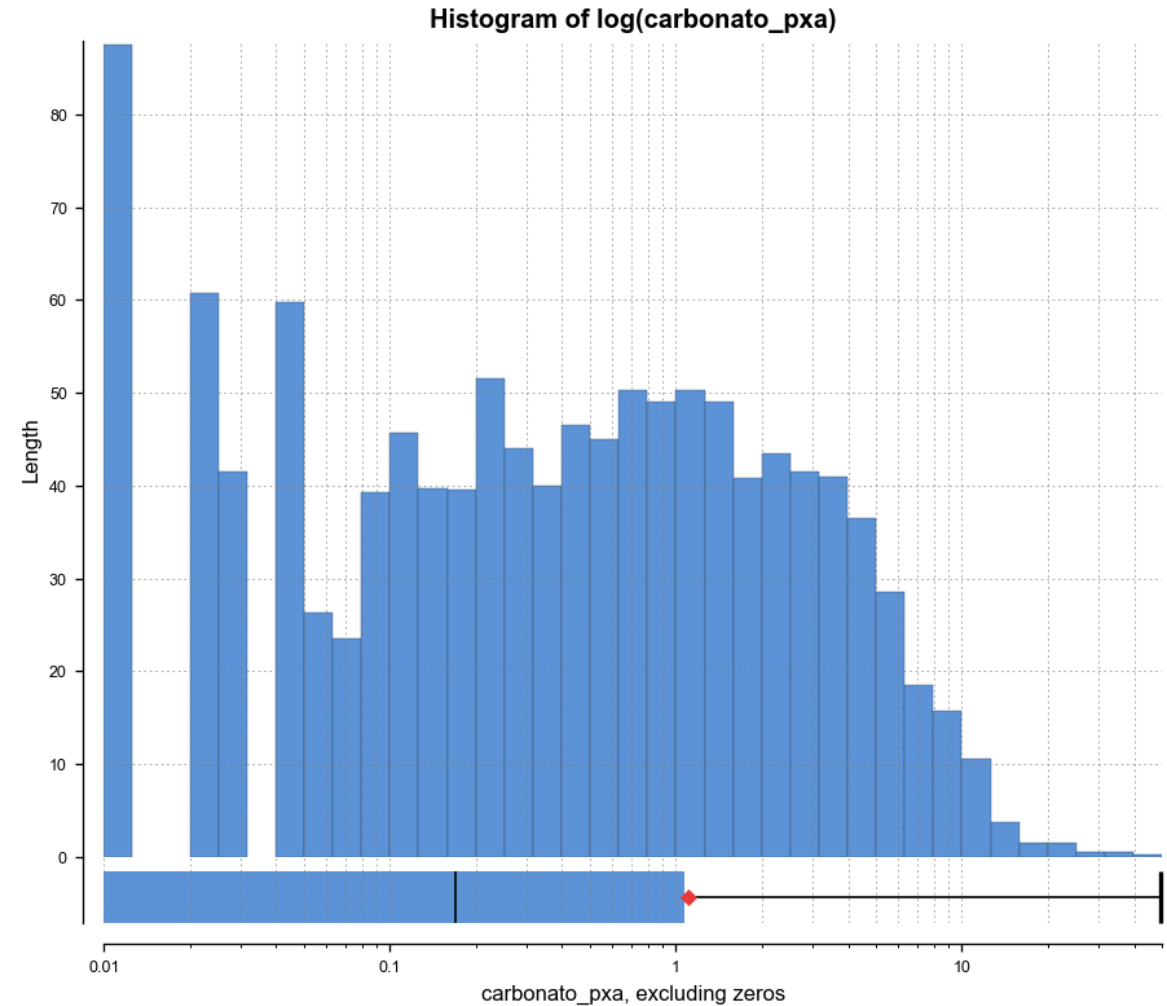


Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	
White Mica	
Kaolinite	
Carbonate	

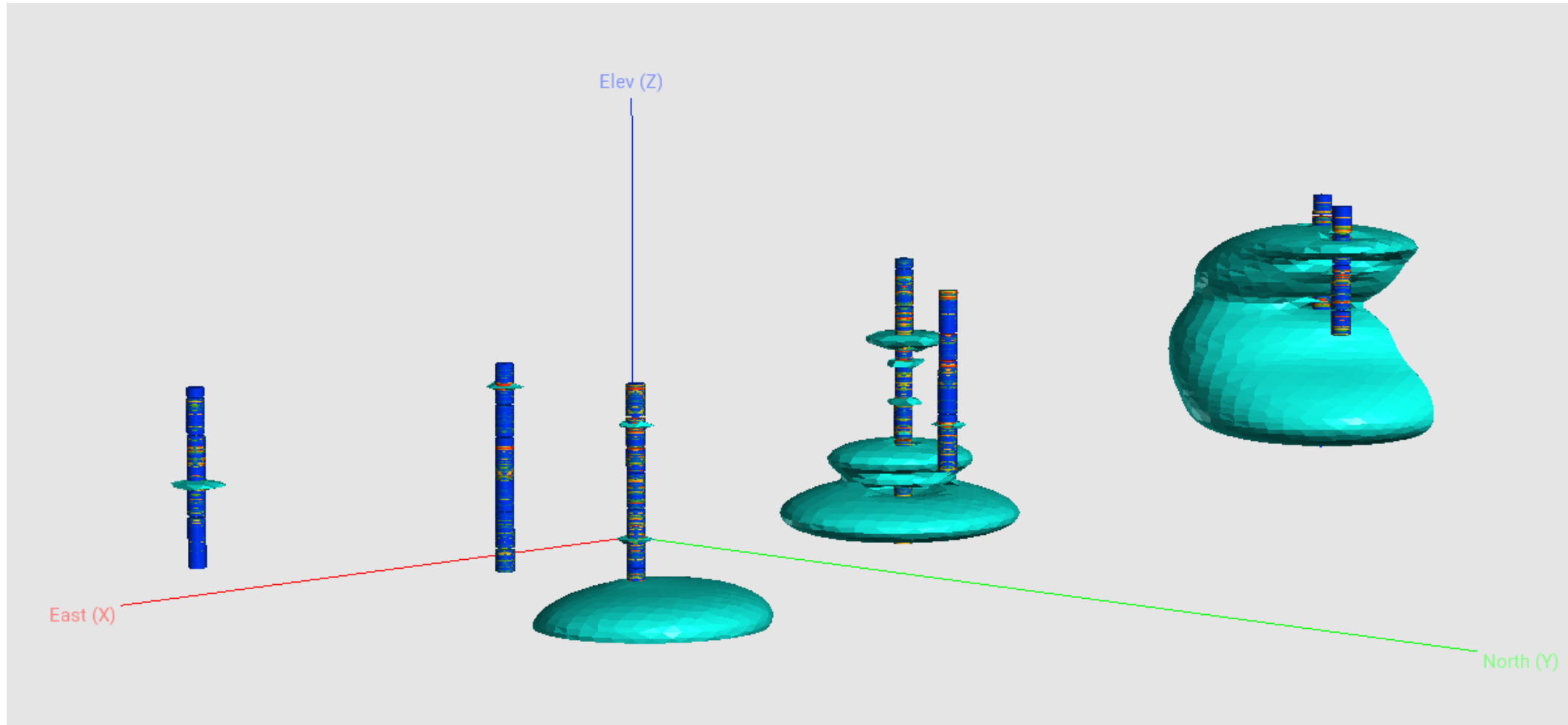
Distribución de carbonatos



- Indicador RBF Interpolant corte para el modelo seleccionado en base al valor mediano de los datos: 0,5%.
- Esto no refleja un porcentaje de carbonato significativo para problemas con la amortiguación ácida.



Modelo de carbonatos



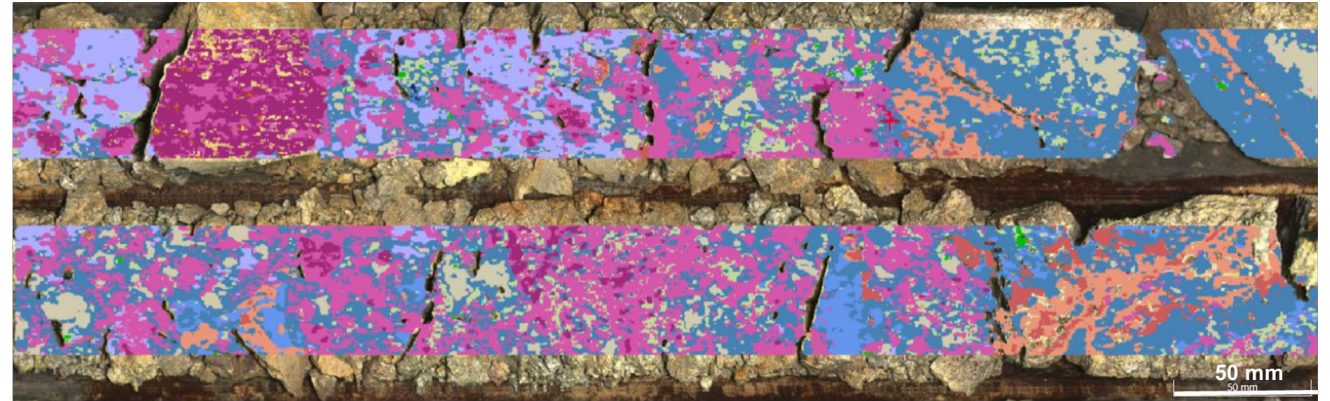
Modelo de óxido de Fe – sulfato – carbonato



Arcillas, siempre una posible complicación



- A lo largo de las imágenes hasta ahora hemos visto mica blanca (illita), montmorillonita y caolinita.
- Estimado por los geometalúrgicos de Antucoya, a menos que haya $>10\%$ de arcillas, no debería haber problemas en la lixiviación en pilas o en el molino durante la trituración.
- Comprender su distribución es importante para poder realizar pruebas adecuadas.



Jarosite	
Fe-Mg Sulfate	
Fe Sulfate	
Gypsum	

White Mica	
Kaolinite	
Montmorillonite	

Arcillas, una mirada más cercana

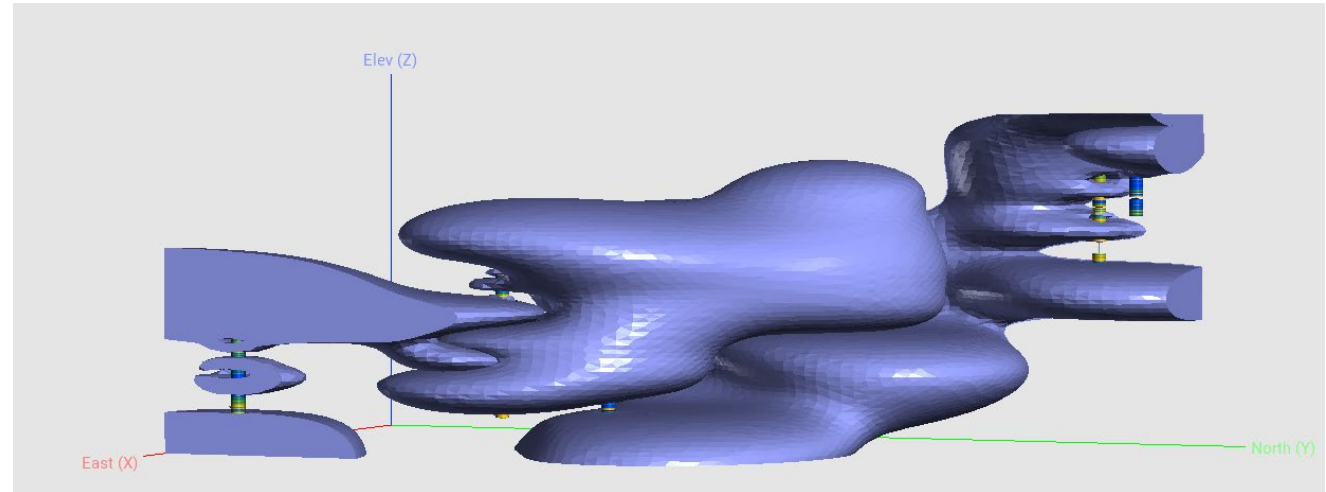
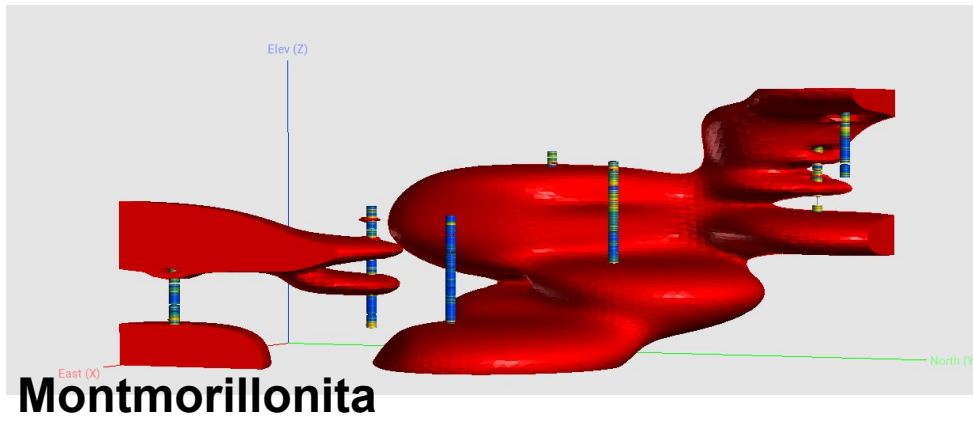
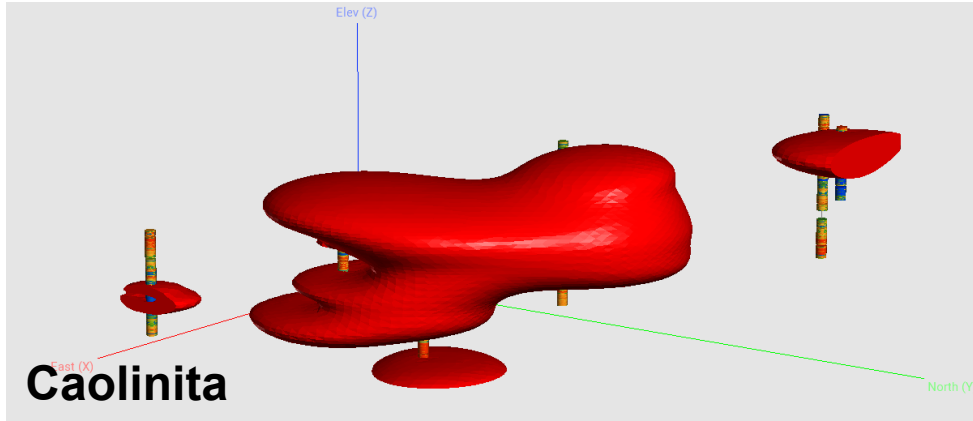


- Durante la trituración (es decir, trituración y molienda), el material con alto contenido de arcilla tiene el potencial de aumentar el tiempo de residencia en el molino.
- Las arcillas tienen la capacidad de absorber reactivos (por ejemplo, cianuro), aumentando así el consumo de un recurso costoso.

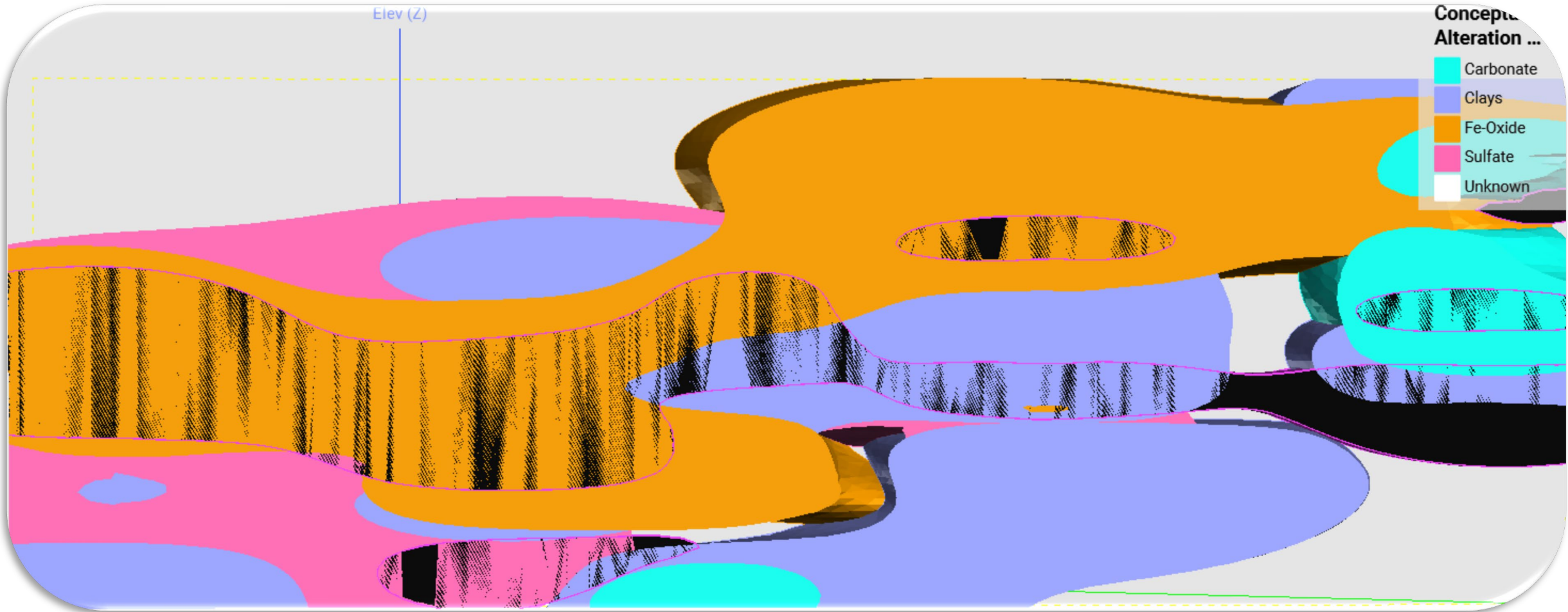
Table 4. Examples of clay minerals and potential processing problems (cf. Cruz et al. 2013; Farrokhpay et al. 2016).

Clay mineral group	Common minerals	Type of clay	Swelling potential	Effect on viscosity and yield strength	Problematic amount (wt.%)
Smectite	Montmorillonite, nontronite, saponite, beidellite	Bentonite, swelling clay, attapulgite clay	High (extreme, especially for montmorillonite)	Moderate – high depending on wt.% clay	> 5 %
Kaolin	Kaolinite, dickite	Kaolin, china clay, tonsteins	Low	Moderate – high depending on wt.% clay	> 10–15 %
Illite	Illite, glauconite	K-bentonites	Low	Moderate – high depending on wt.% clay	1 to > 5 % depending on whether divalent cations are present
Interlayer clays	Illite – smectite		Low to moderate	Moderate – high	
Vermiculite		Zonolite	Moderate	Moderate	
Palygorskite	Palygorskite, sepolite	Fuller's earth, attapulgite clay	Low / none	Probably high (fibrous mineral)	Probably < 1 %

Arcillas en 3D



Modelo integrado



¿El tamaño importa?

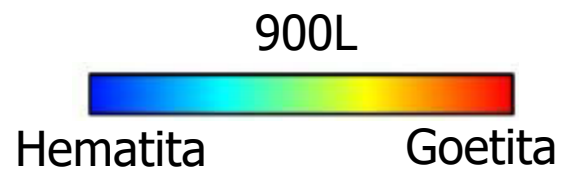
...claro que lo hace.



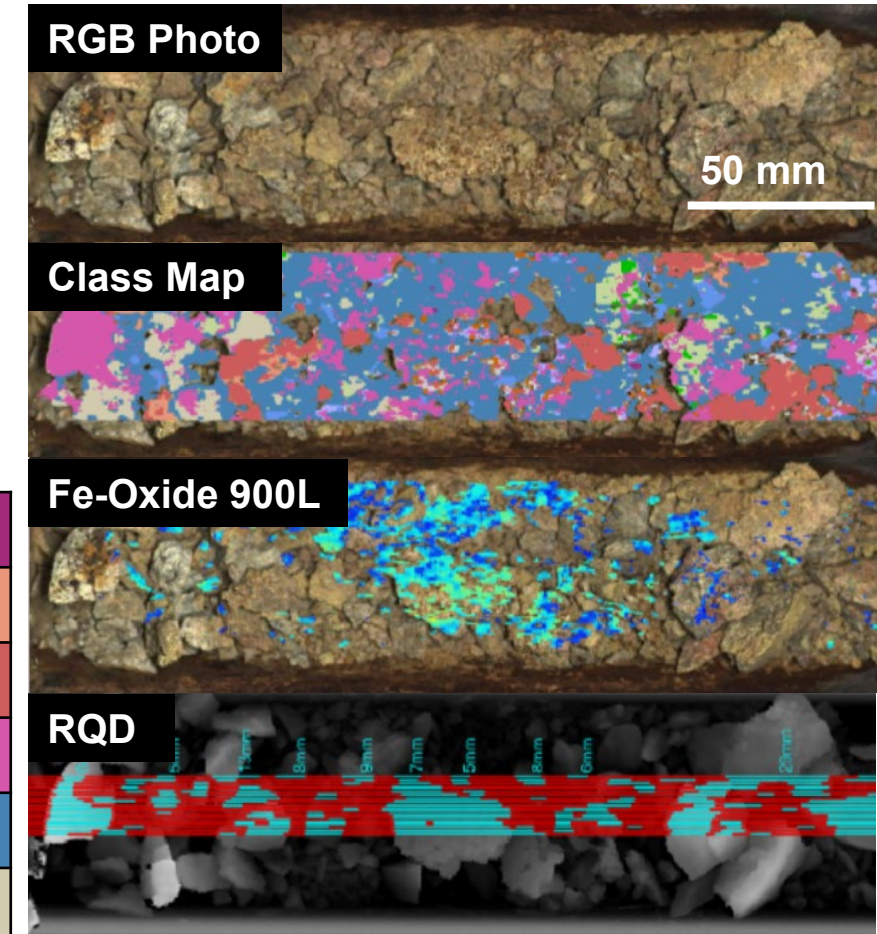
Por qué el tamaño si importa tamaño: resolución espacial



- Capacidad y habilidad de mapear parámetros espectrales y mezclas complejas en áreas donde el núcleo está altamente degradado.



Jarosita	
Fe-Mg Sulfato	
Fe Sulfato	
Yeso	
Mica Blanca	
Kaolinita	



Por qué el tamaño si importa tamaño: número de píxeles

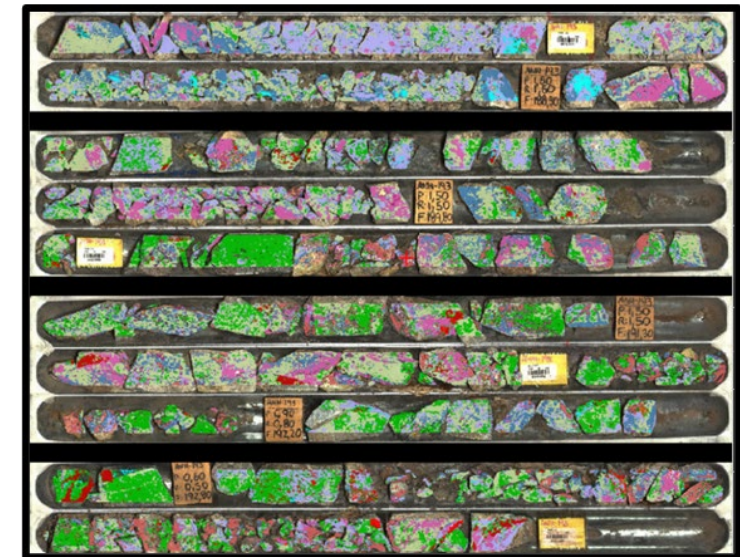


Dickite	
Pyrophyllite	
Calcite	
Gypsum	
Alunite	
Tourmaline	
Atacamita	
Chrysocolla	
Kaolinite	
Montmorillonite	
Phlogopite	
White Mica	
Chlorite	
Featureless Slope	

Mineral	Mineral % (Point)	Mineral % (Line)	Mineral % (Image)
# Spectra	1	20	55,000
Calcite		0.006	0.005
Chlorite		31.9	27.6
Kaolinite		0	0.002
Montmorillonite		0	0.03
Phlogopite	100	48.6	37.6
Tourmaline		0	0.01
White Mica		0.083	26.9

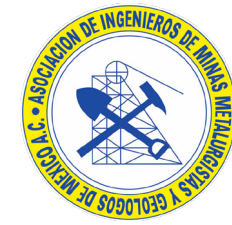
Nombre del Mineral	Color
Malaquita	
Antlerita	
Atacamita	
Cu-Mineral (Sulfate)	
Biotita (grupo)	
Dickita	
Jarosita	
Yeso	
Carbonato	
Sulfato Na-Ca	
Sulfato Fe	
Sulfato Fe-Mg	
Caolinita: Alta X	
Caolinita: Med X	
Caolinita: Baja X	
FLS + Mica Blanca	
Clorita + Mica Blanca	
Mica Blanca: Paragonita	
Mica Blanca: Paragonita-Moscovita	
Mica Blanca: Moscovita	
Mica Blanca: Moscovita-Fengita	
Mica Blanca: Fengita	
Montmorillonita	
Clorita	
Alunógeno	
Cuarzo/Silice Hidratado	
Cuarzo/Silice Opalino	
Oxido de Fe (general)	
Featureless Slope (FLS) - Tipo 1**	
Featureless Slope (FLS) - Tipo 2**	

** Featureless Slope Spectra

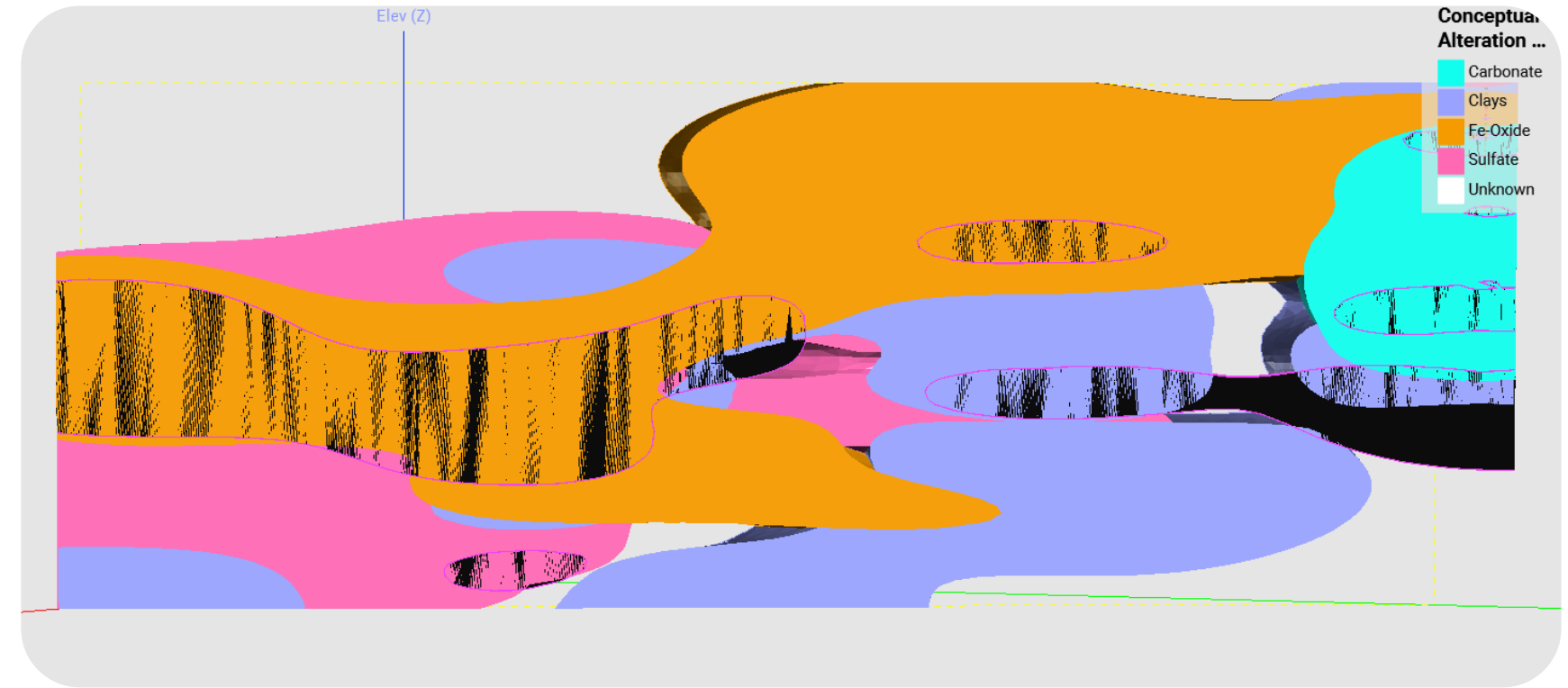


100 mm

Por qué el tamaño si importa tamaño: contando estadísticas



- Conjunto de datos continuo para utilizar como columna vertebral de este modelo.





El tamaño importa, la importancia de la mineralogía y la textura en la minería de depósitos de pórfido de cobre: Parte I

Sam Scher, M.Sc. | sscher@lkiconsulting

Cristal Palafox, M.Sc. | cristal.palafox@corescan.com.au

Julio Palomino | julio.palomino@corescan.mx

Conferencia Internacional de Minería 2024

Chihuahua

Taller Hiperespectral