

El tamaño importa, la importancia de la mineralogía y la textura en los depósitos de pórfidos de cobre: parte II

Sam Scher, M.Sc. | sscher@lkiconsulting

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

Tom Carmichael | tomcarmichael@datarock.com.au

Conferencia Internacional de Minería 2024

24 de abril de 2024

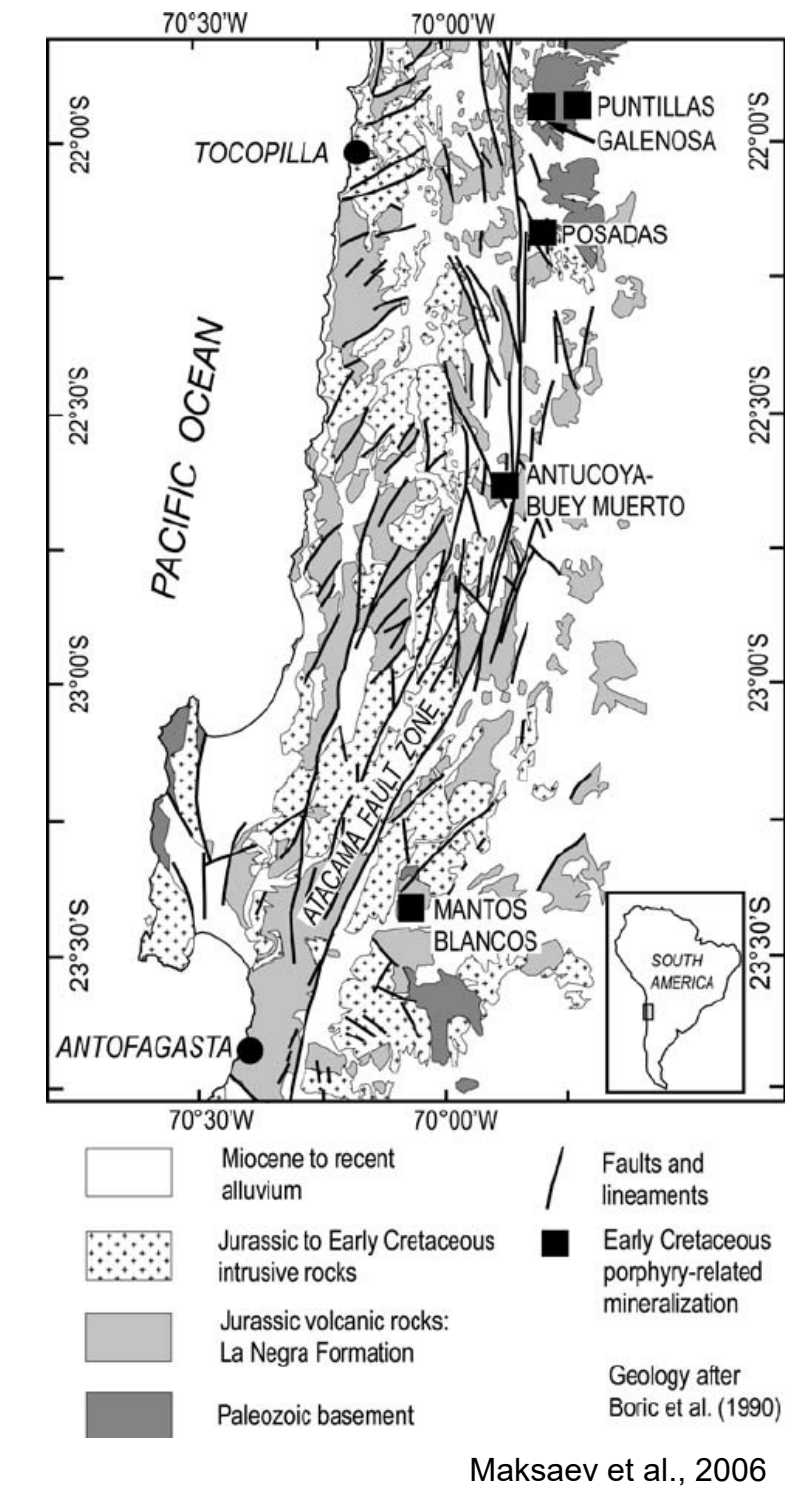
Resumen de la charla del taller

- En el taller de ayer, además de las discusiones sobre la geología general y la espectroscopia de la mina Antucoya, que se presentarán a continuación, hablamos sobre las siguientes aplicaciones del conjunto de datos de imágenes hiperespectrales (HSI).
- En esta charla nos centraremos en las aplicaciones de modelado de dominios 3D de los datos HSI y su integración con un conjunto de datos geometalúrgicos de consumo de ácido (CDA).



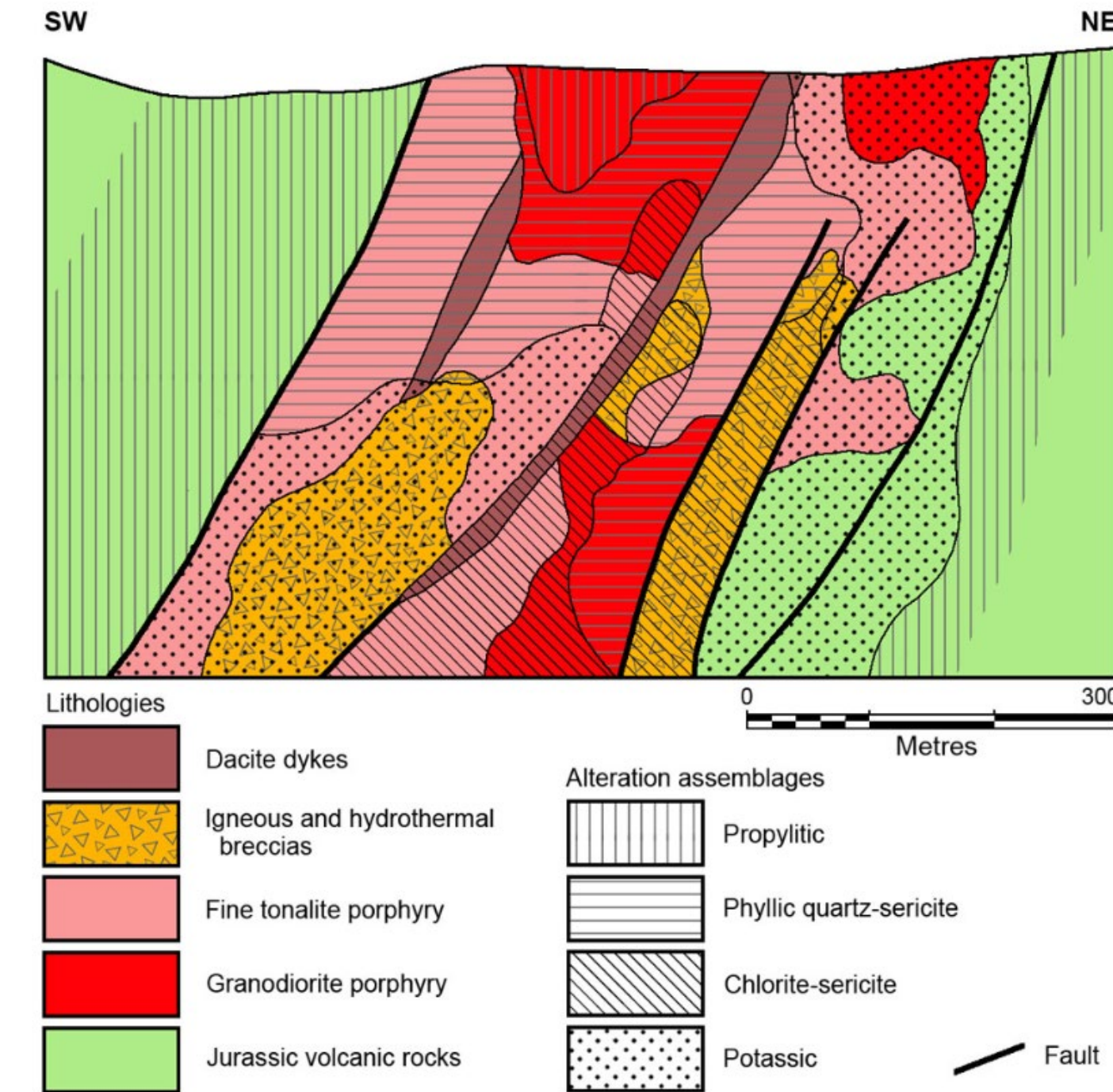
Entorno geológico

- 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..



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.

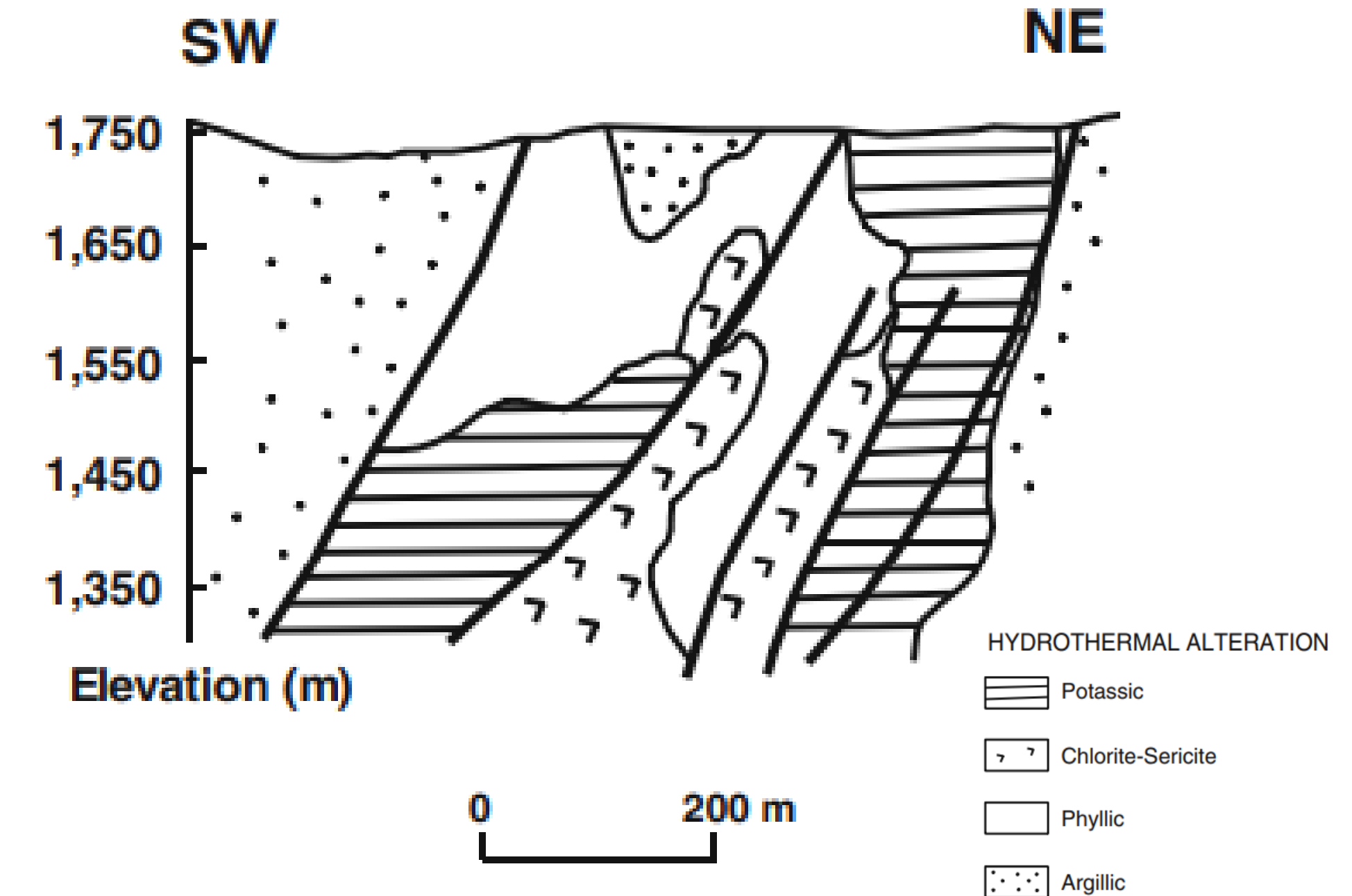


Geological cross section showing the distribution of alteration at the Antucoya porphyry copper deposit, Northern Chile (After: Maksaeve *et al.*, 2006).



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 feldespatos argilizados. 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.

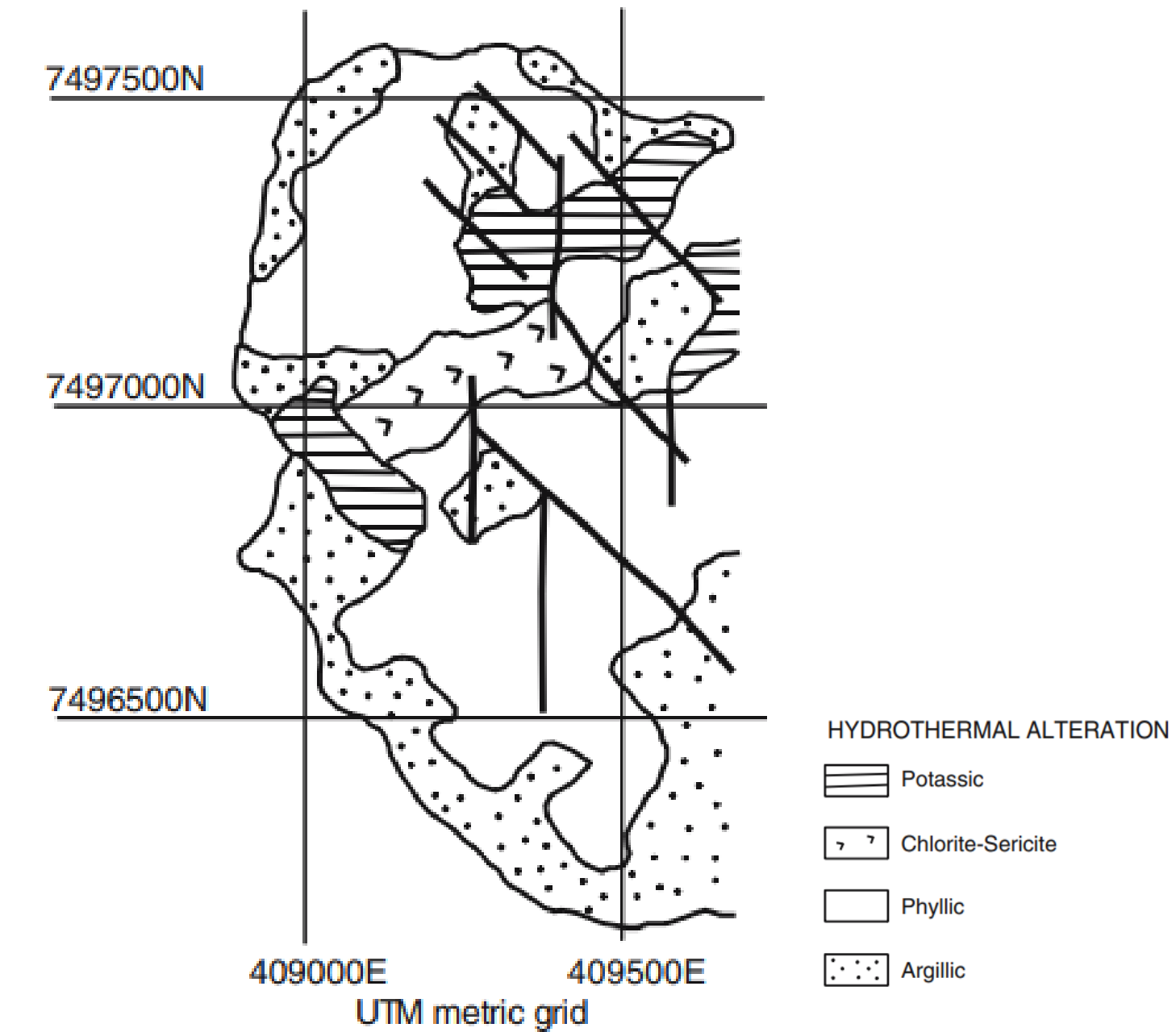


Alteration cross-section of the deposit from Maksaev et al. (2006).



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.

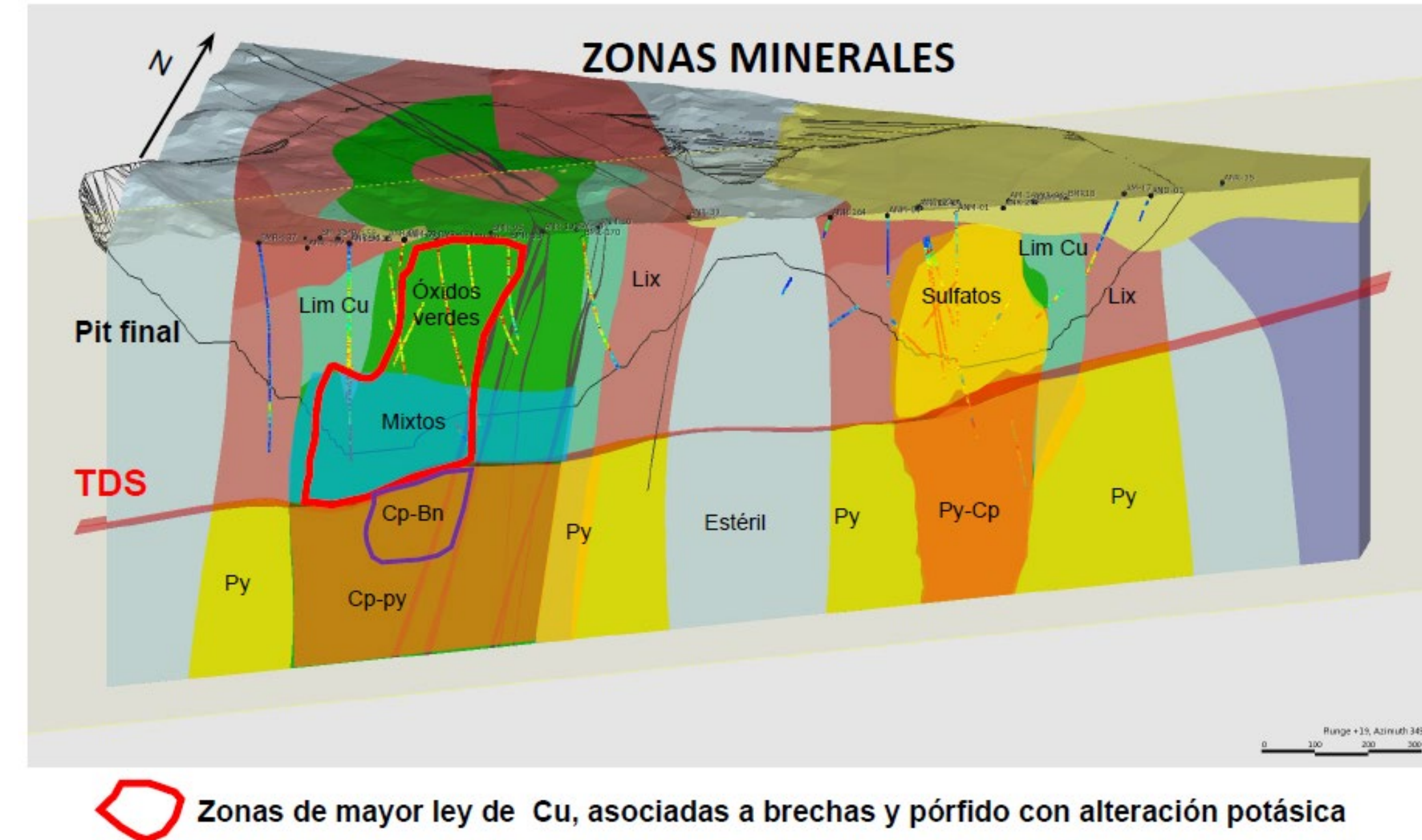


Alteration at the 1,350m level of the deposit from Makshev et al. (2006).



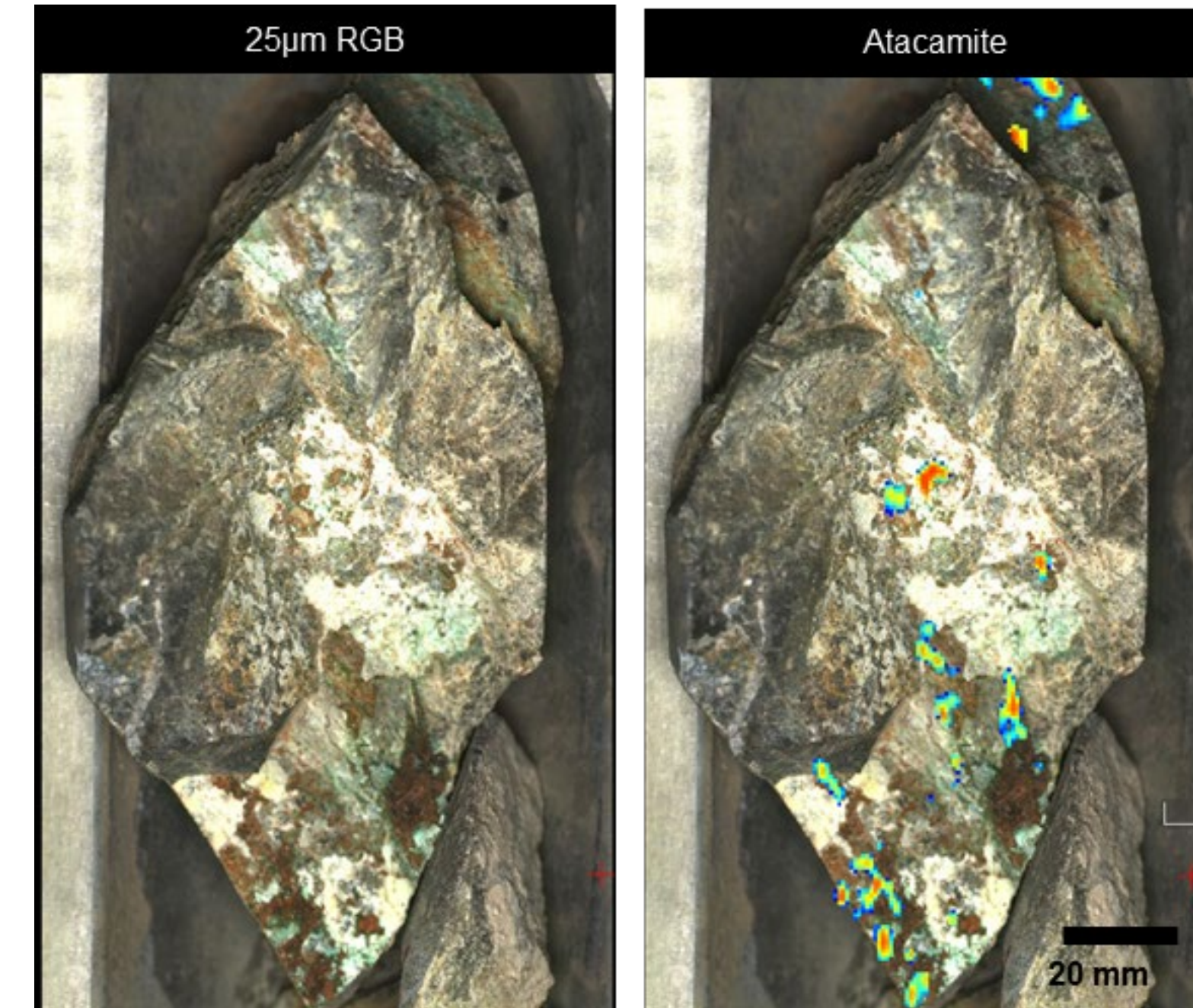
Alteración y mineralización.

- 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.



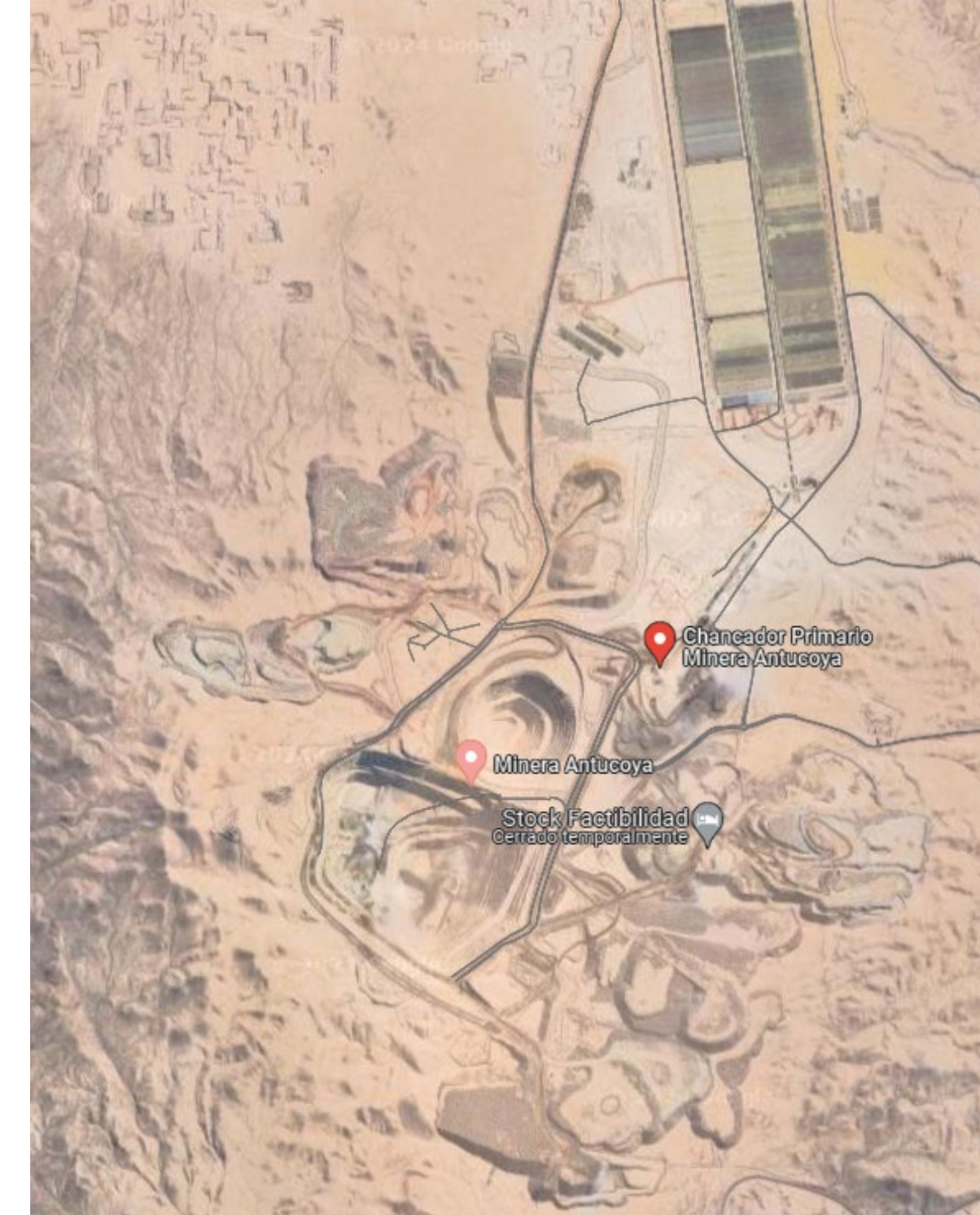
Mineralización

- 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.



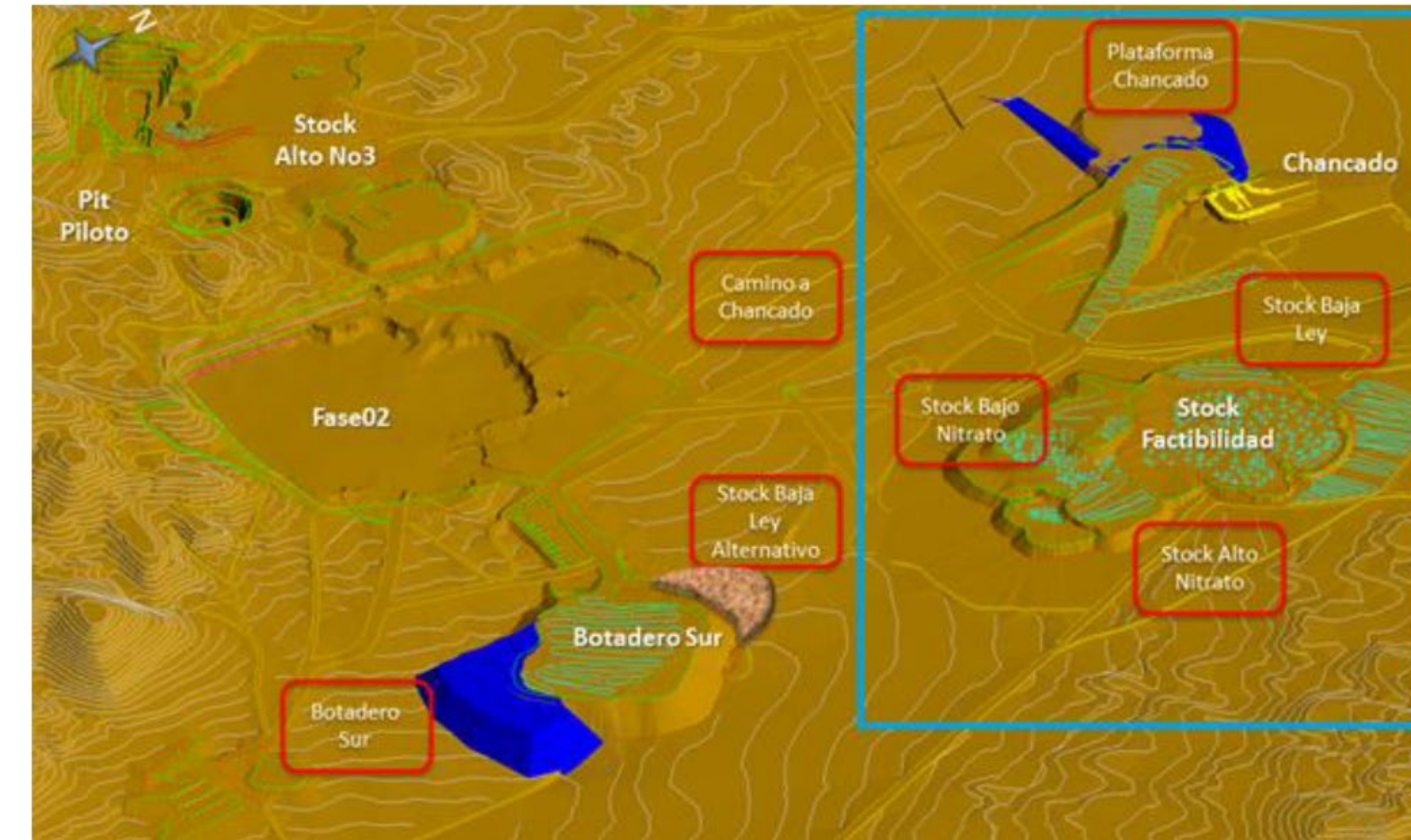
Recurso

- 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

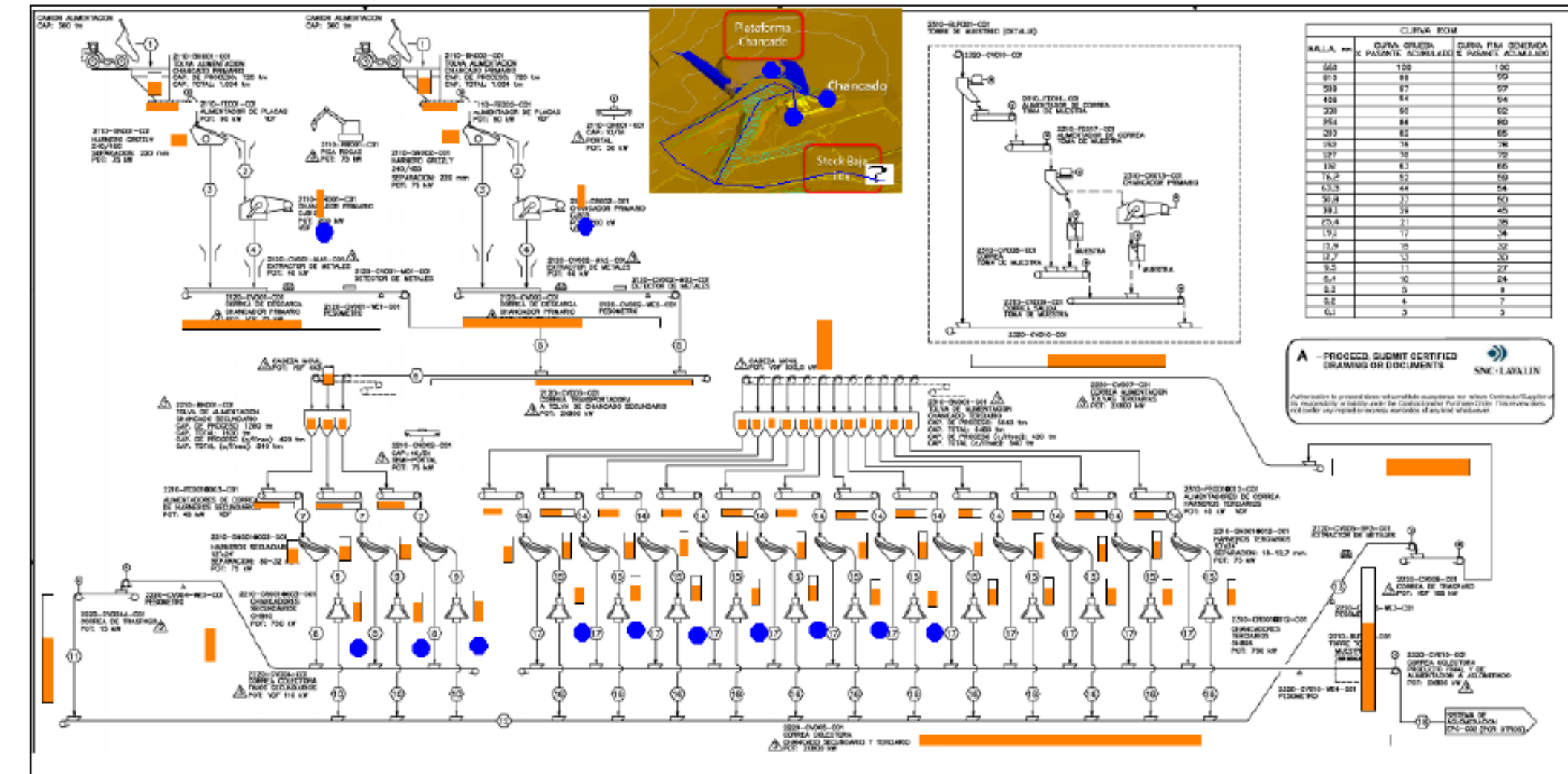
- La mayor parte de la minería en Antucoya se realiza en el recurso de óxido y aproximadamente el 30% del mineral proviene del recurso de sulfato.
- El recurso se compone de una mineralogía complicada que afectará el desempeño de la planta y la lixiviación.

Ideas de flujo de trabajo

- Genere un modelo de dominio mineral 3D no supervisado para la selección de trabajos de prueba.
- Cree un modelo de aprendizaje automático para predecir los dominios de consumo de ácido para ahorrar tiempo y dinero en programas futuros para ampliar el modelo de bloques geometalúrgicos.

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)



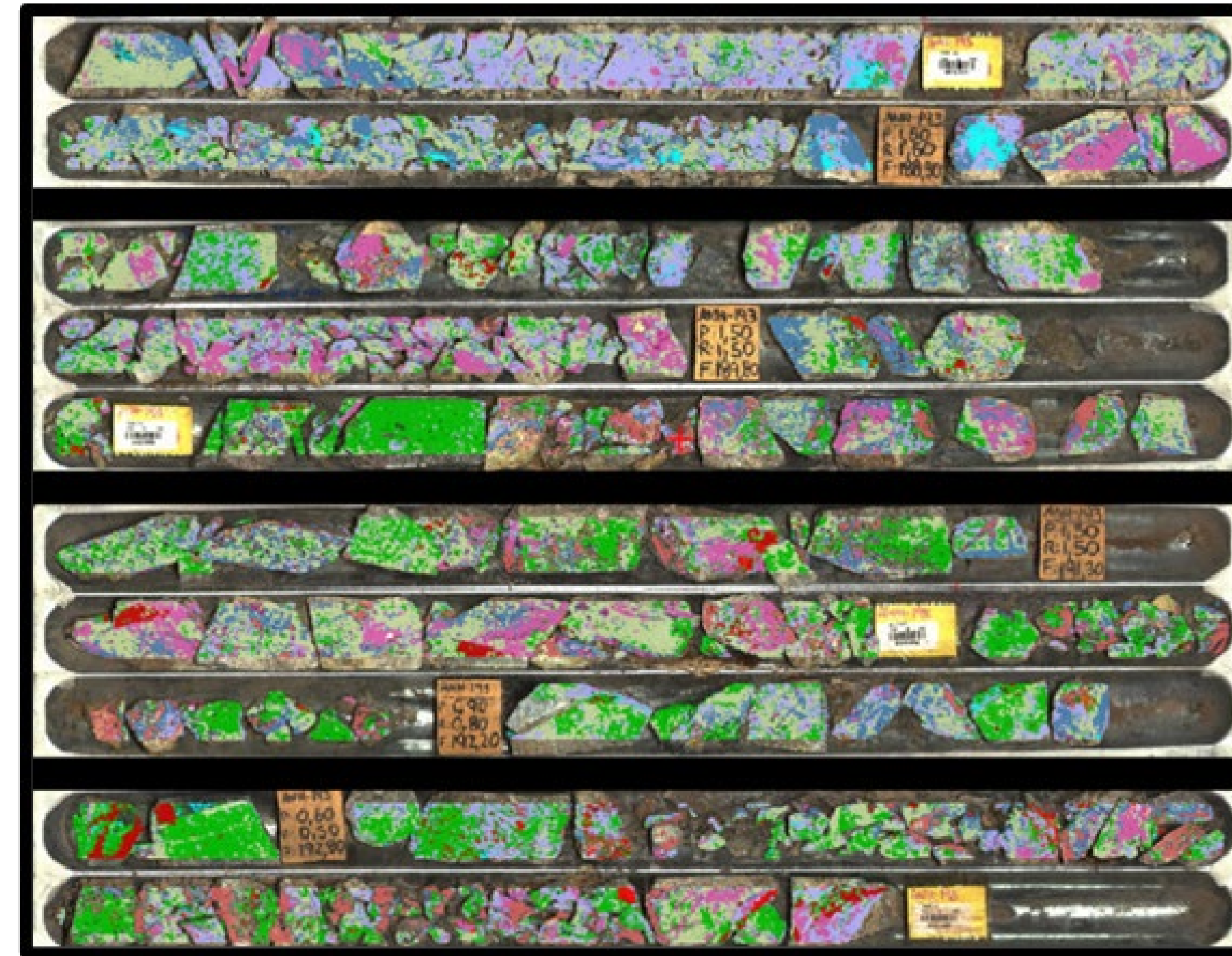
Echemos un vistazo a los datos espectrales



La biblioteca de minerales hiperespectrales de Antucoya

Nombre del Mineral	Color
Malaquita	Red
Antlerita	Red
Atacamita	Magenta
Cu-Mineral (Sulfate)	Red
Biotita (grupo)	Dark Red
Dickita	Yellow
Jarosita	Purple
Yeso	Pink
Carbonato	Cyan
Sulfato Na-Ca	Light Red
Sulfato Fe	Red
Sulfato Fe-Mg	Light Red
Caolinita: Alta X	Light Brown
Caolinita: Med X	Light Brown
Caolinita: Baja X	Light Brown
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	Dark Blue
Montmorillonita	Light Blue
Clorita	Green
Alunógeno	Light Orange
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

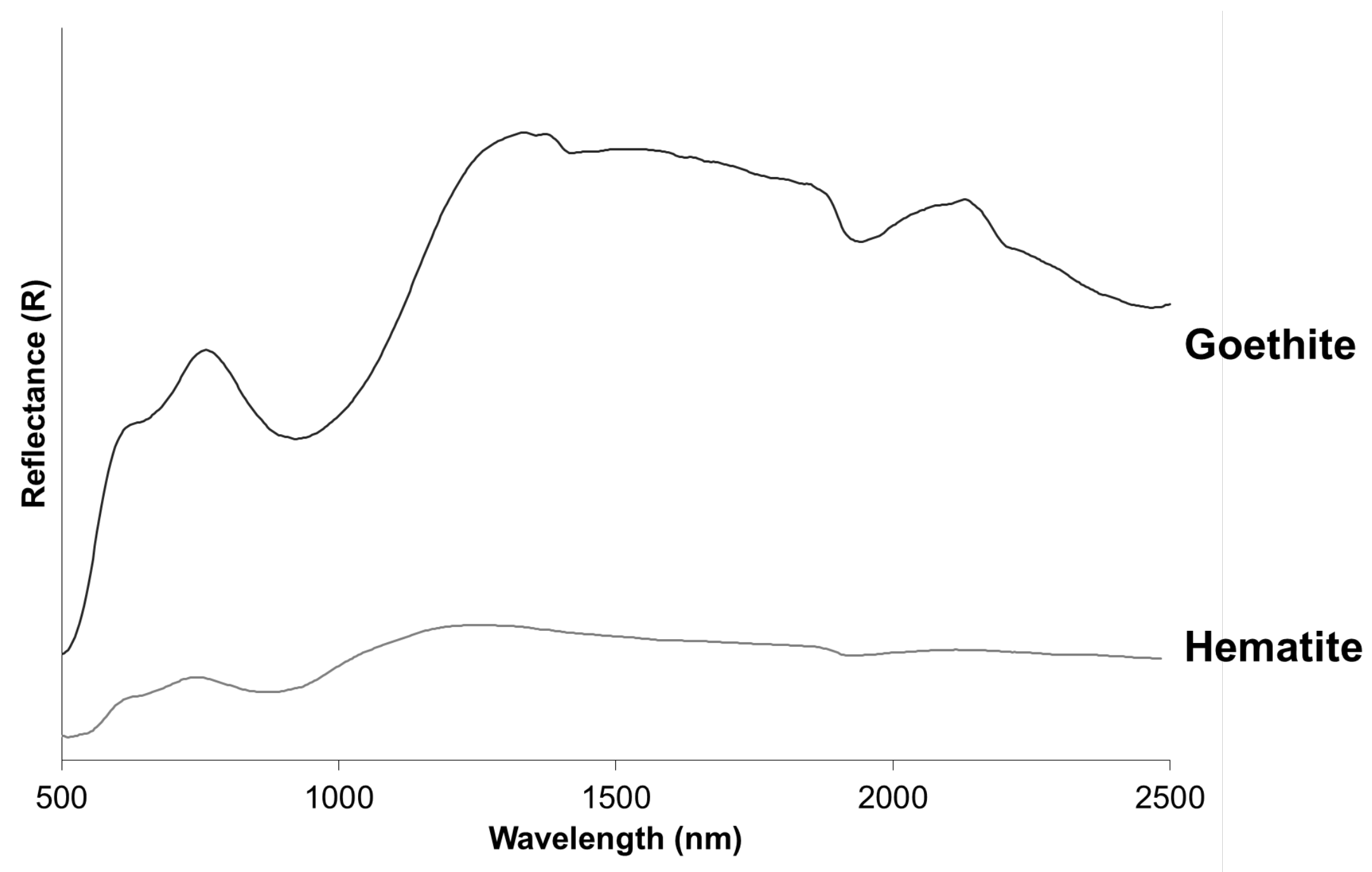


100 mm

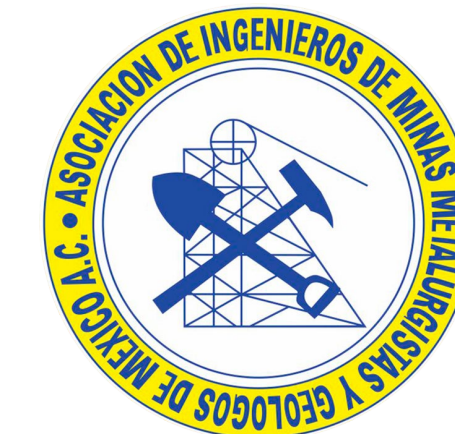
- La mineralogía de Antucoya es una mezcla compleja de carbonatos, óxidos, sulfatos, silicatos y arcillas.
- En la imagen de la izquierda, hay sulfatos, carbonatos, arcillas y minerales complejamente entremezclados entre sí.
- Comprender su distribución es fundamental para la planificación minera.



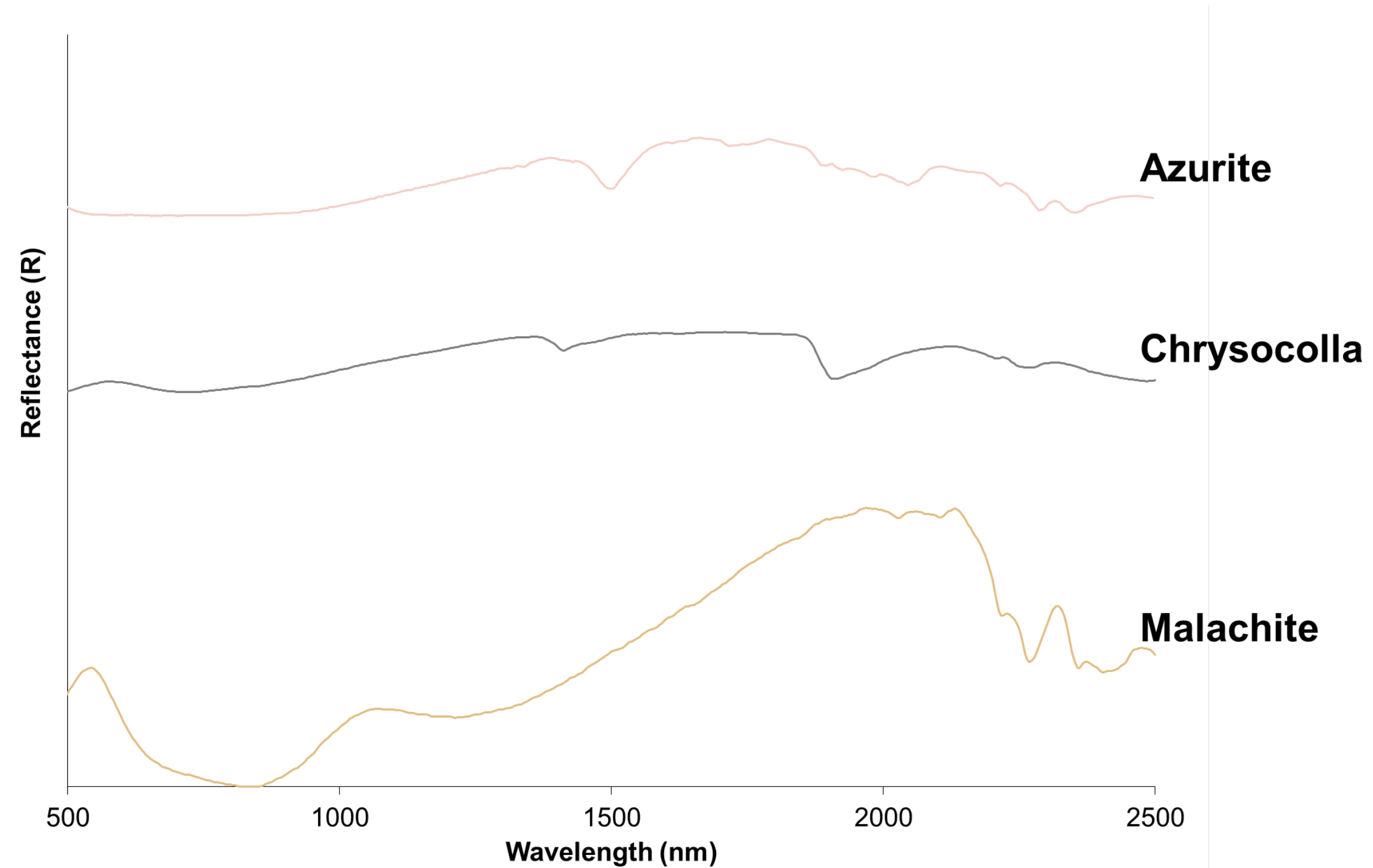
Oxidos



- 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.



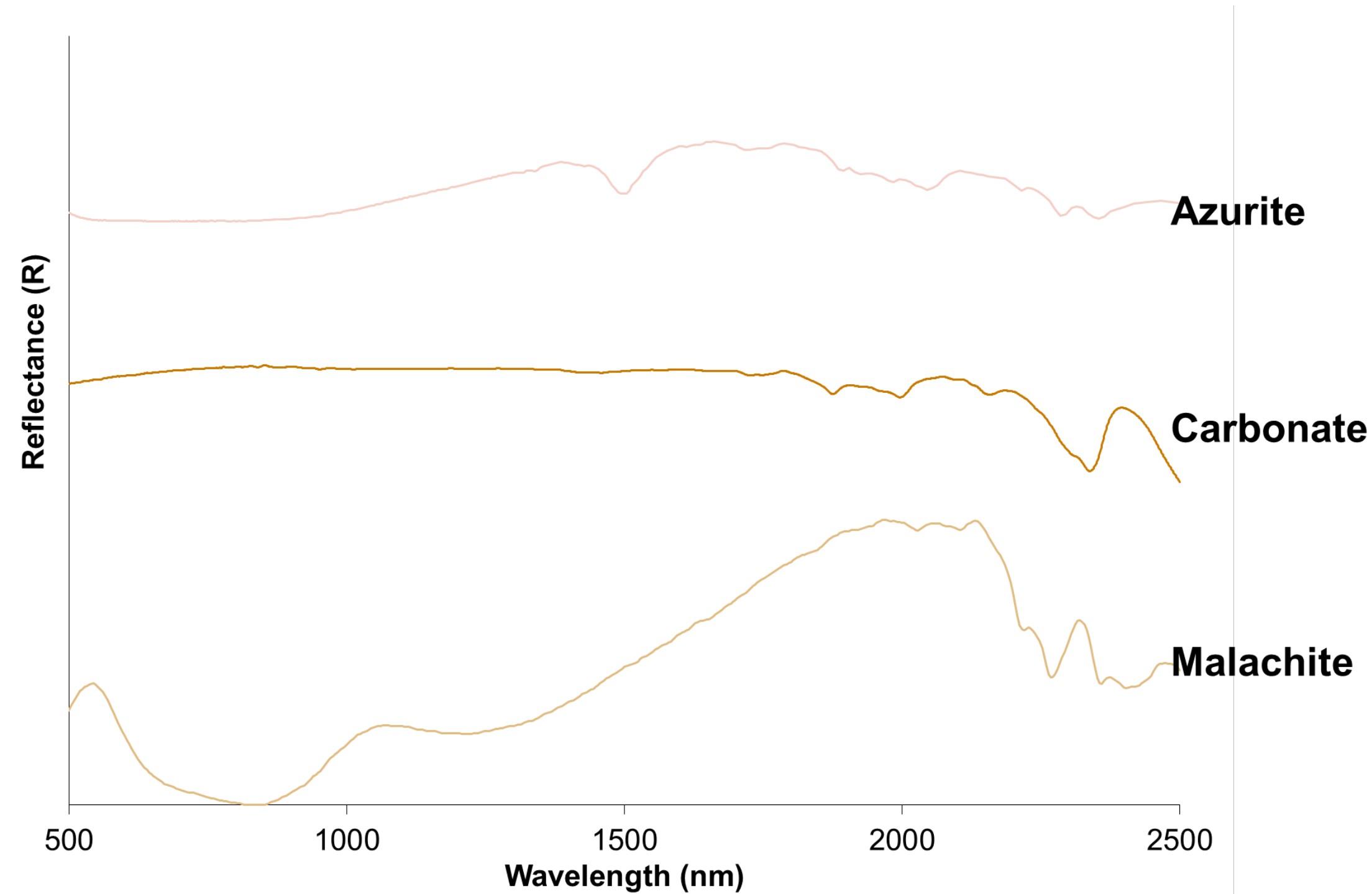
Sulfatos



- 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



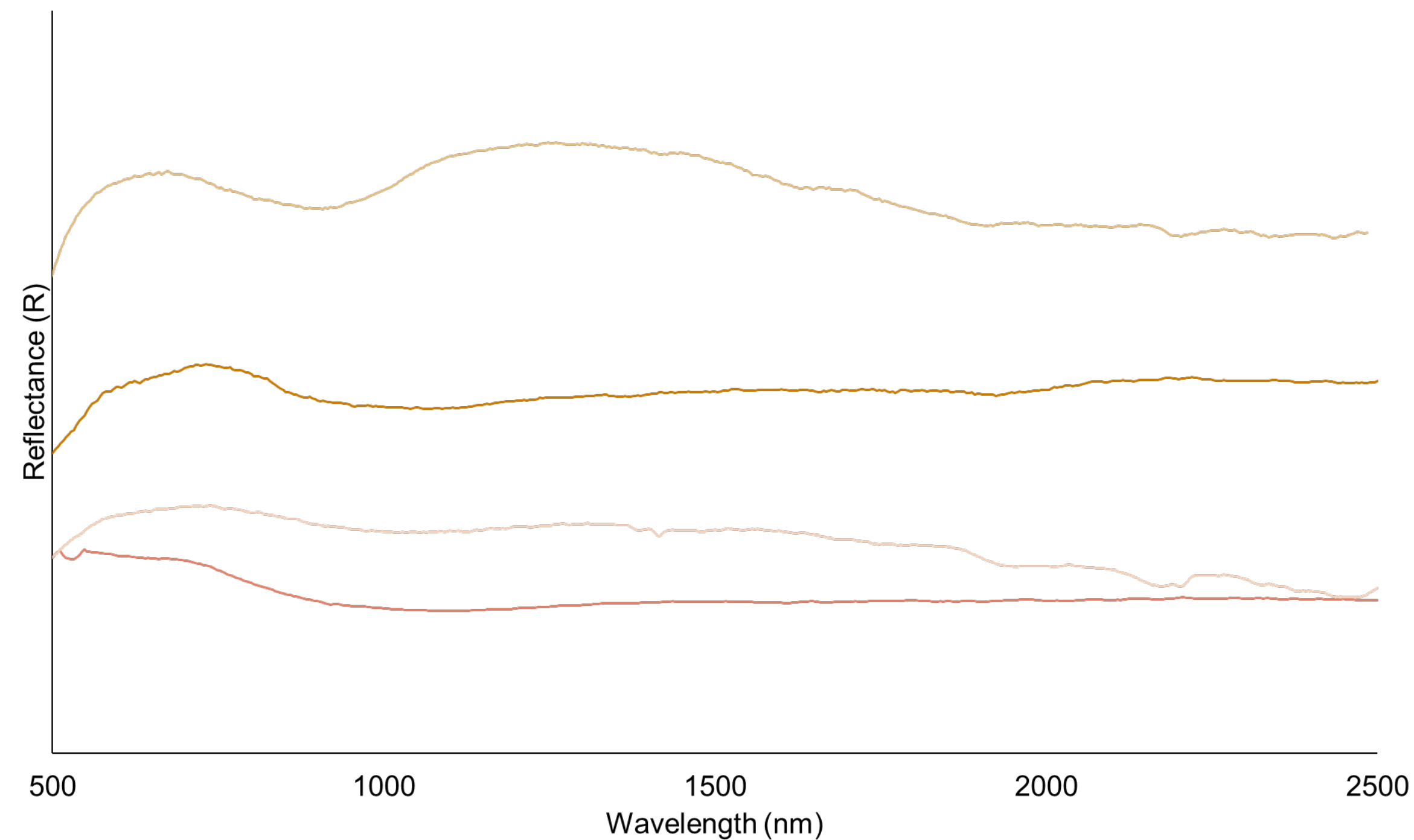
Carbonatos



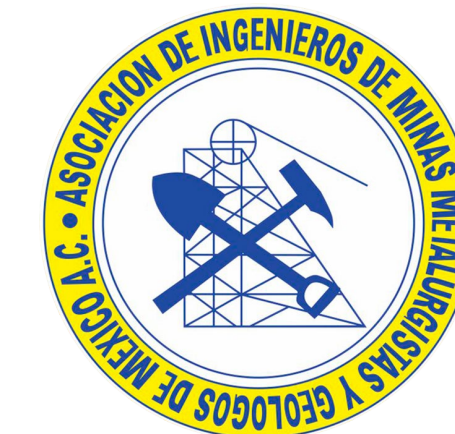
- Al igual que el grupo de minerales de los sulfatos, algunos de los minerales carbonatos en Antucoya contienen minerales.
- Mineral: malaquita
- Conocer y entender la distribución de carbonatos es importante debido al potencial de neutralización de ácidos para la lixiviación.



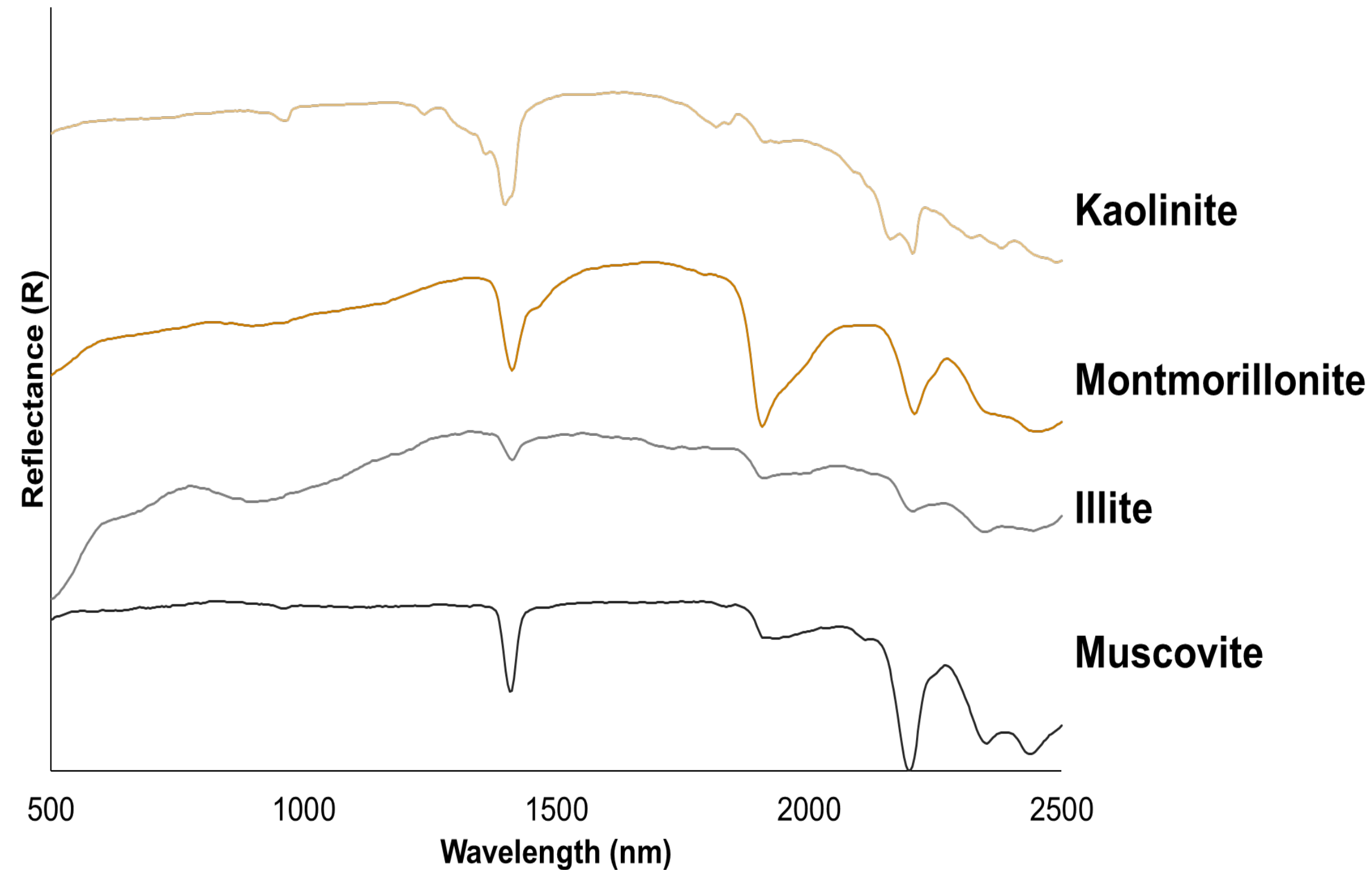
Sulfuros



- 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.



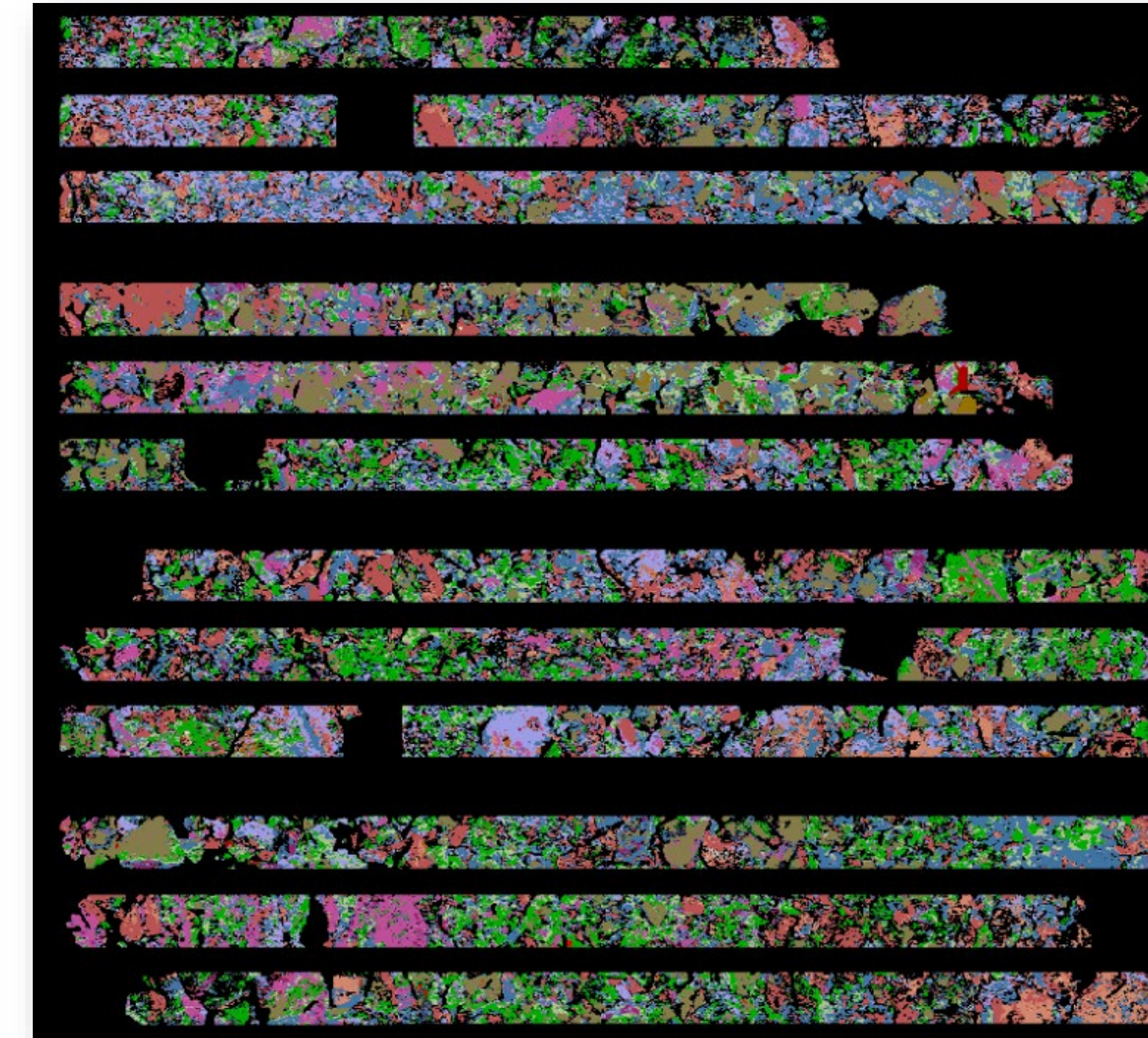
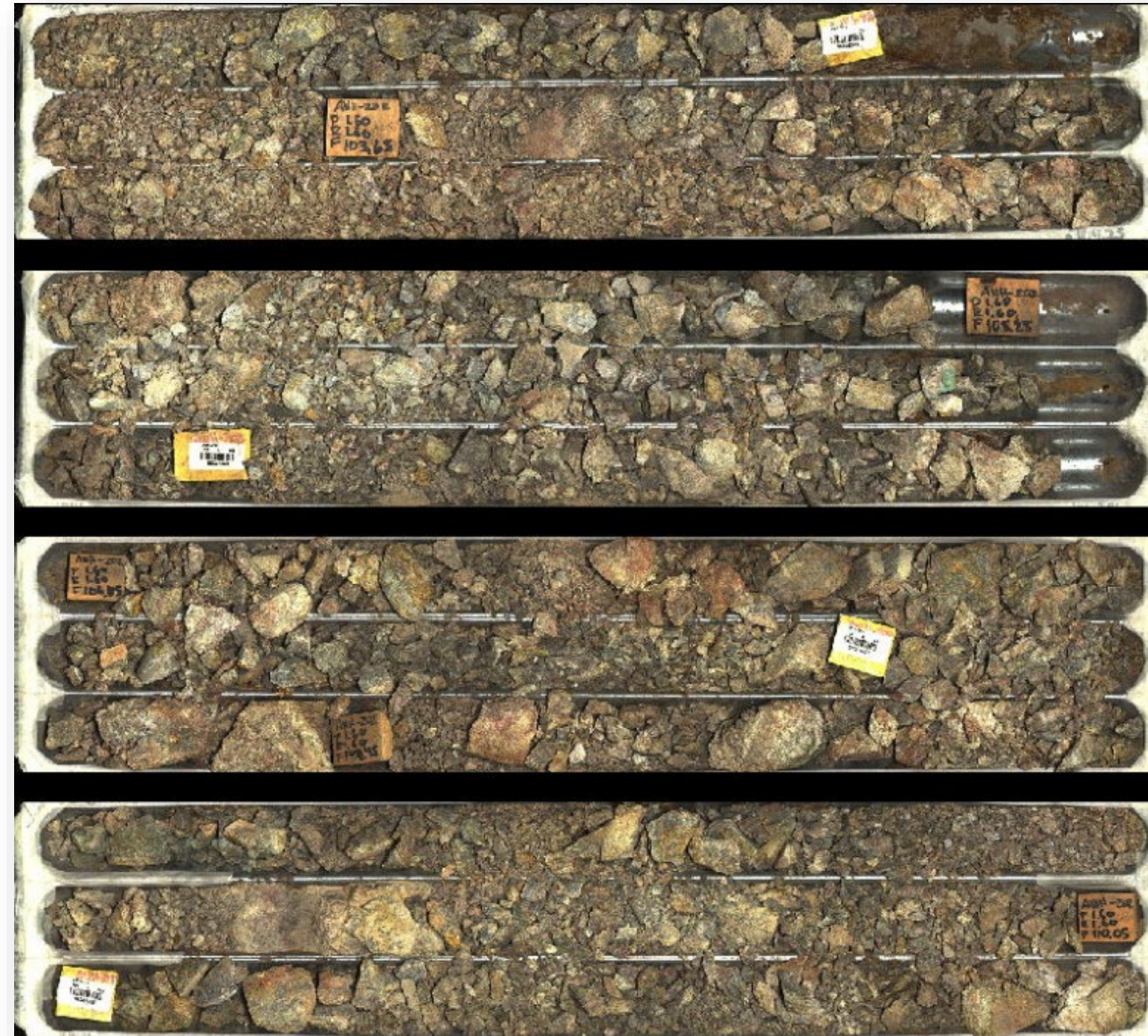
¿El tamaño importa?

...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).

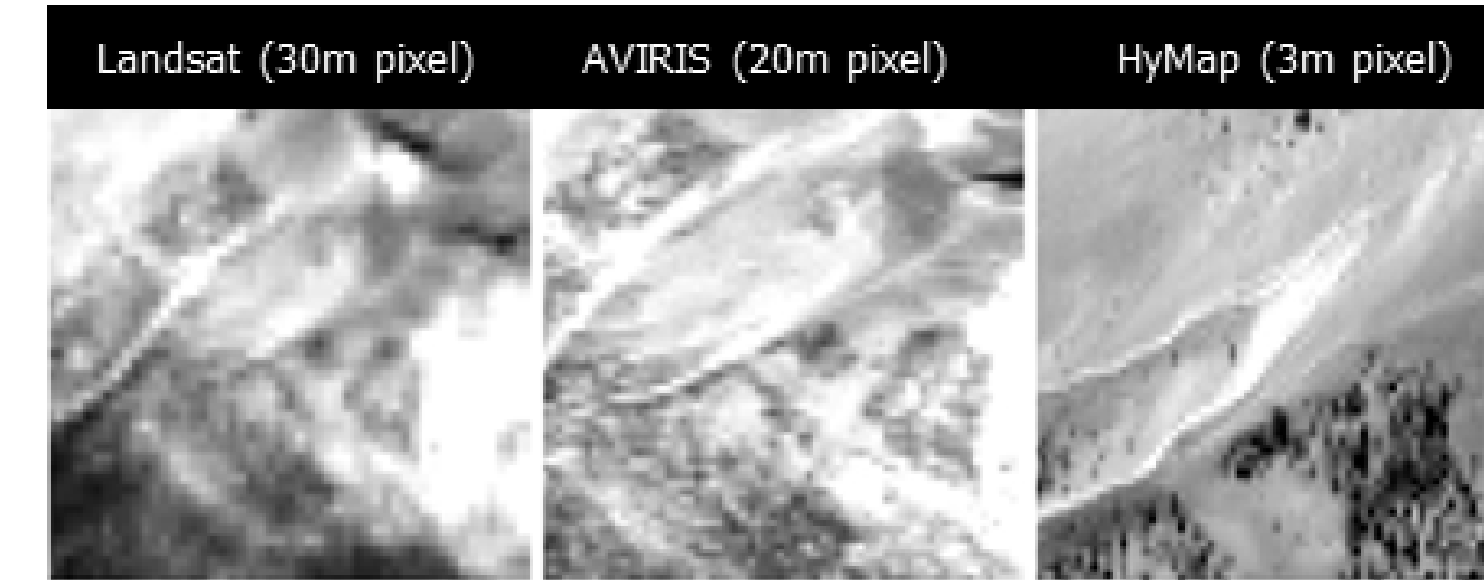


Image credit: Martini et al., 2001.

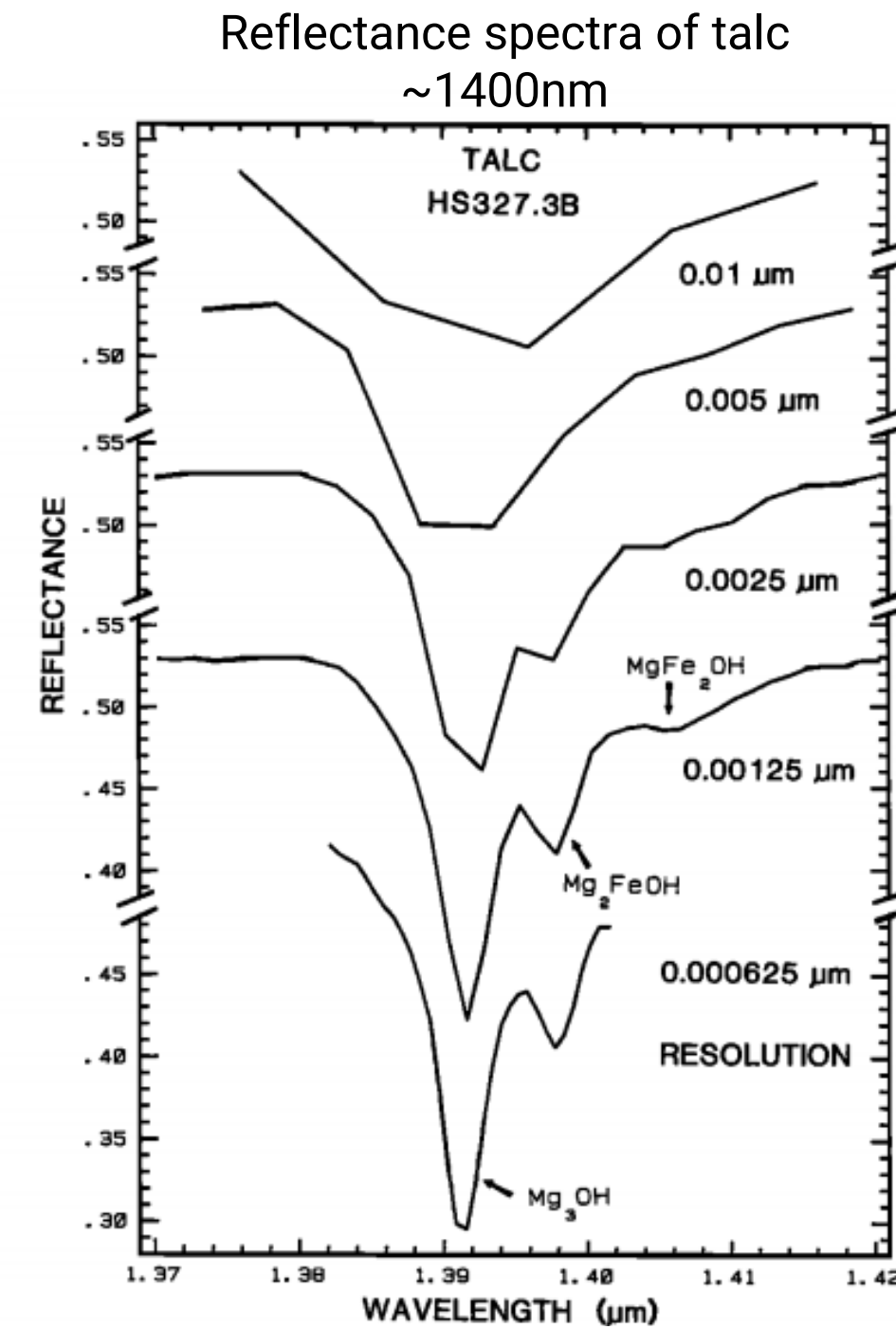


Hyperspectral core imaging data at 500µm. Image credit: Minnesota Department of Natural Resources.

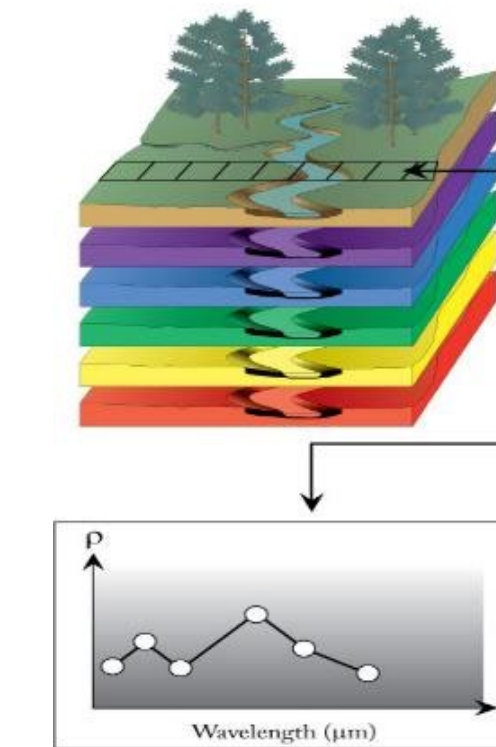


Resolución espectral

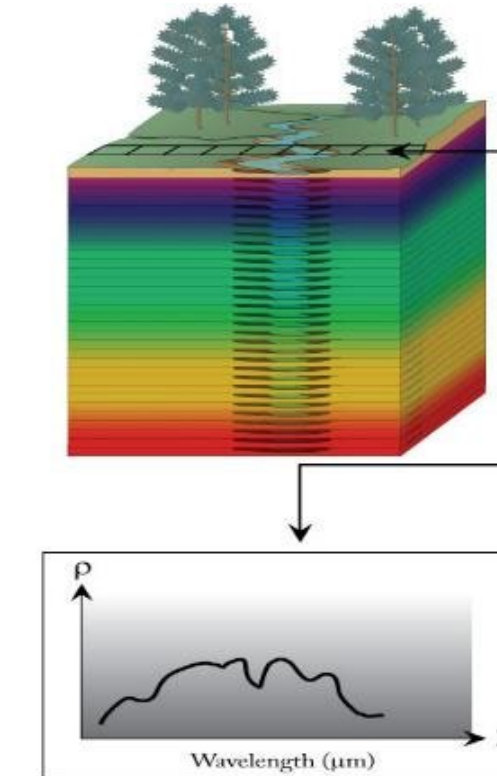
- La resolución espectral describe los intervalos de longitud de onda en los que se realiza la medición de cada banda espectral y que determina la capacidad de discriminar características espectrales finas.
- Por lo general, se refiere a qué tan "ancha" es cada banda, o el rango de longitudes de onda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



Increasing spectral resolution = more detailed spectral features

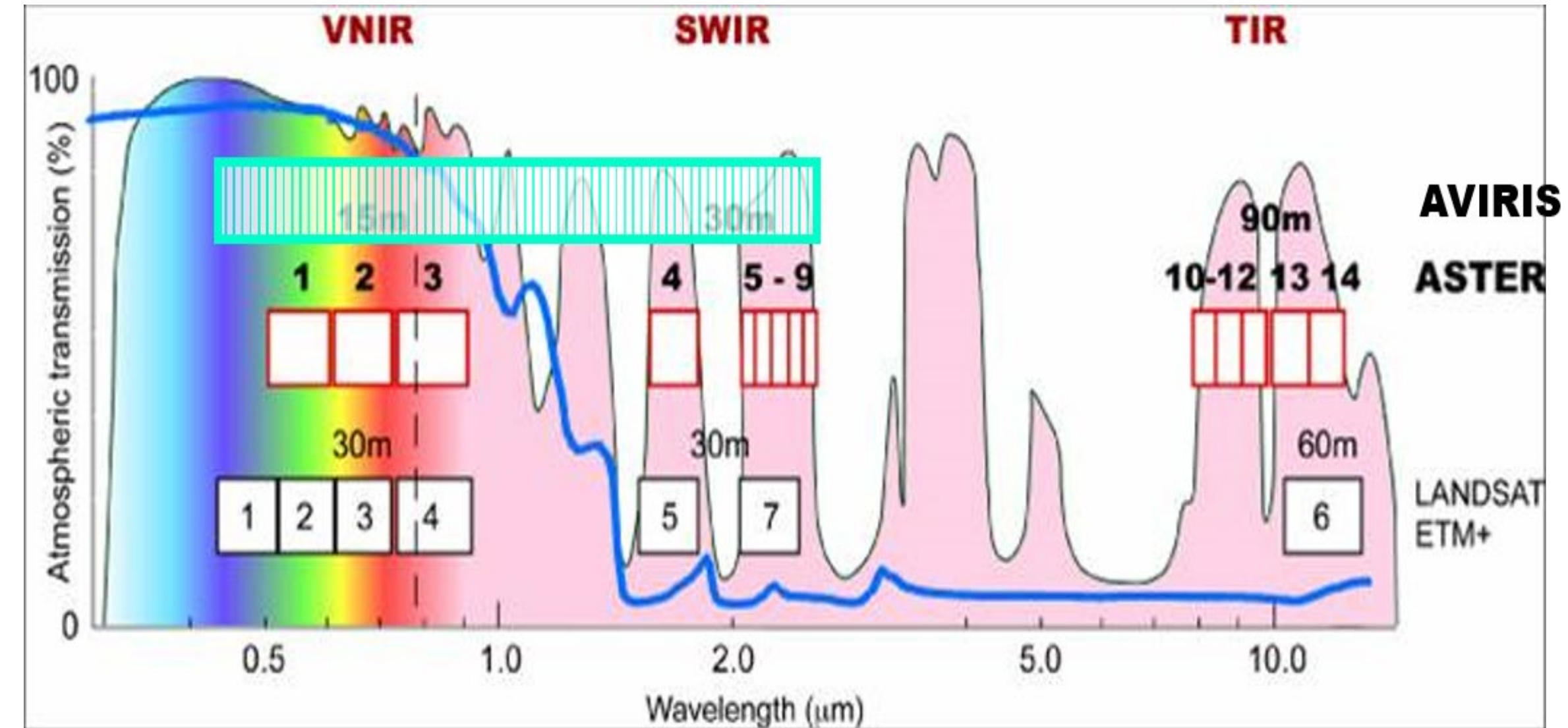


Higher spectral resolution = increased ability to resolve subtle differences in spectral signatures



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 multispectral, es decir, identificaciones minerales absolutas versus clasificaciones minerales amplias.

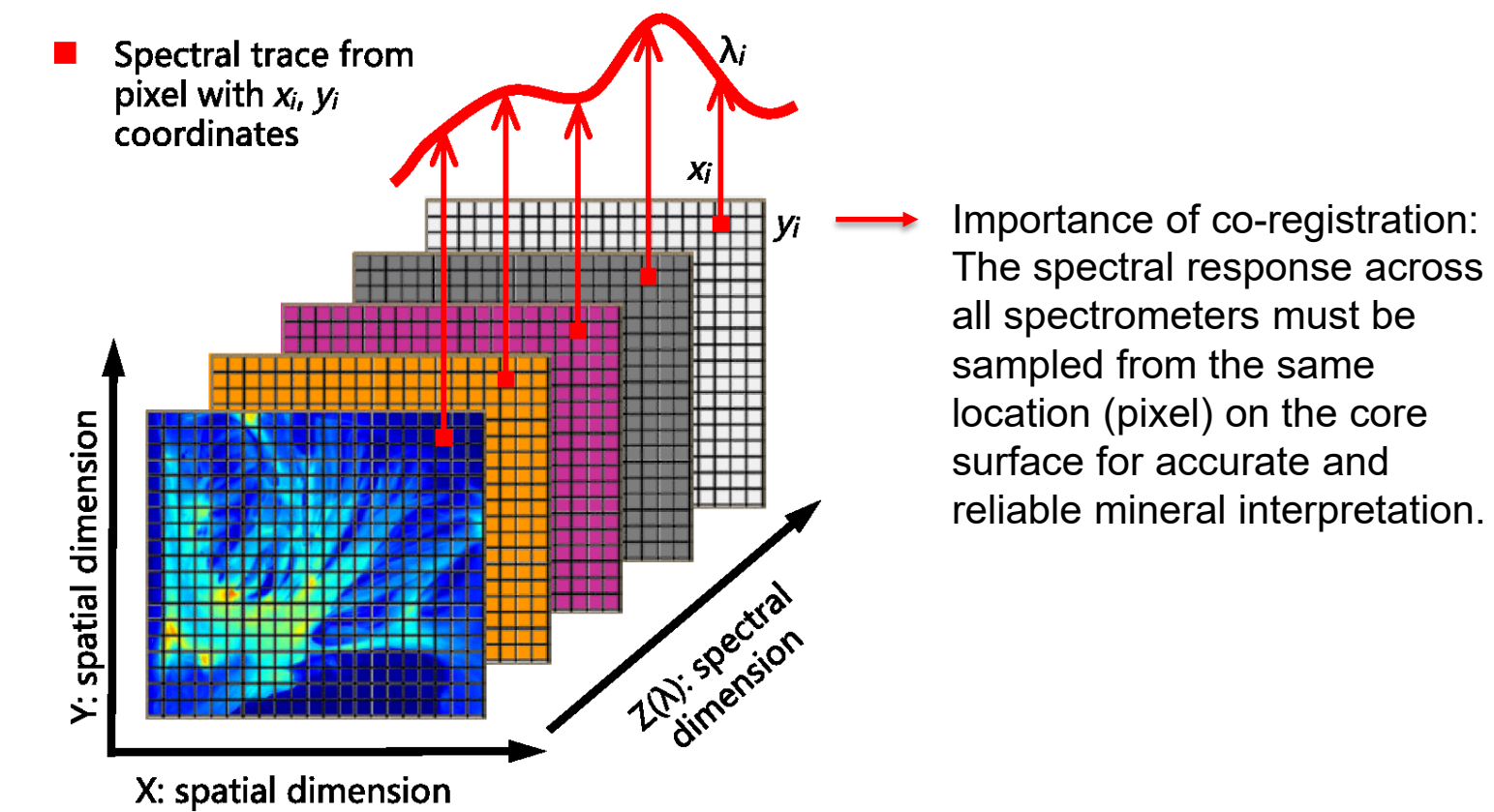
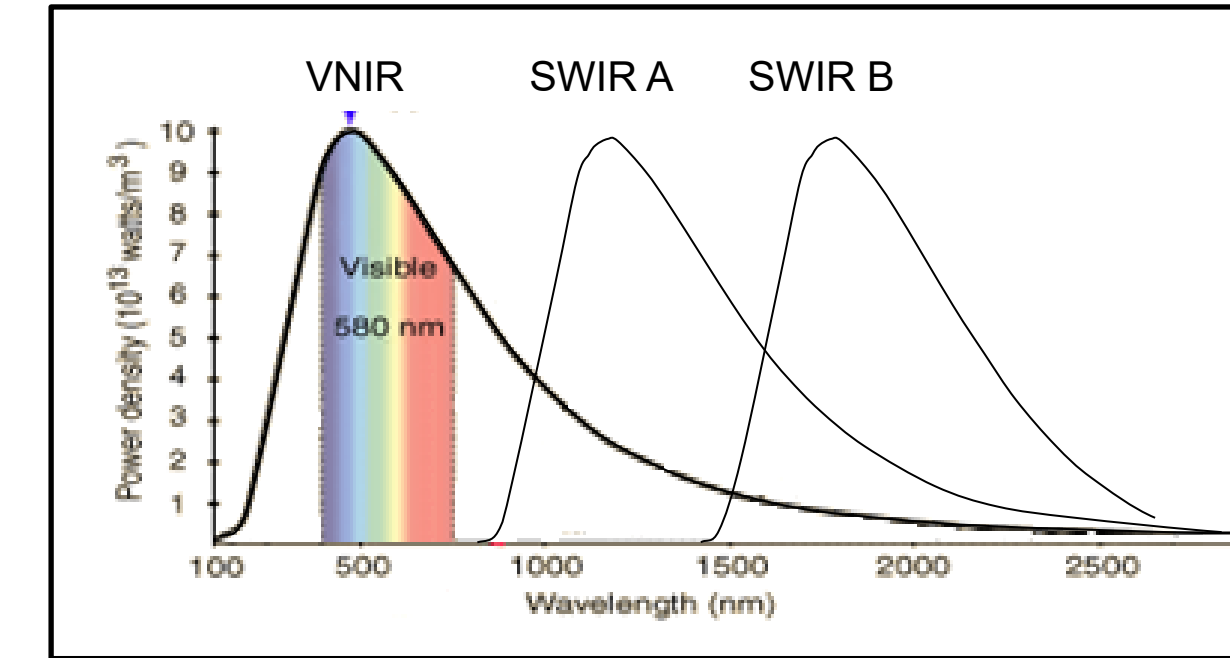


Ejemplos extraídos de datos satelitales. Cada uno muestra el rango espectral del instrumento, así como cuántas bandas de información están disponibles para interpretación.



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.



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.

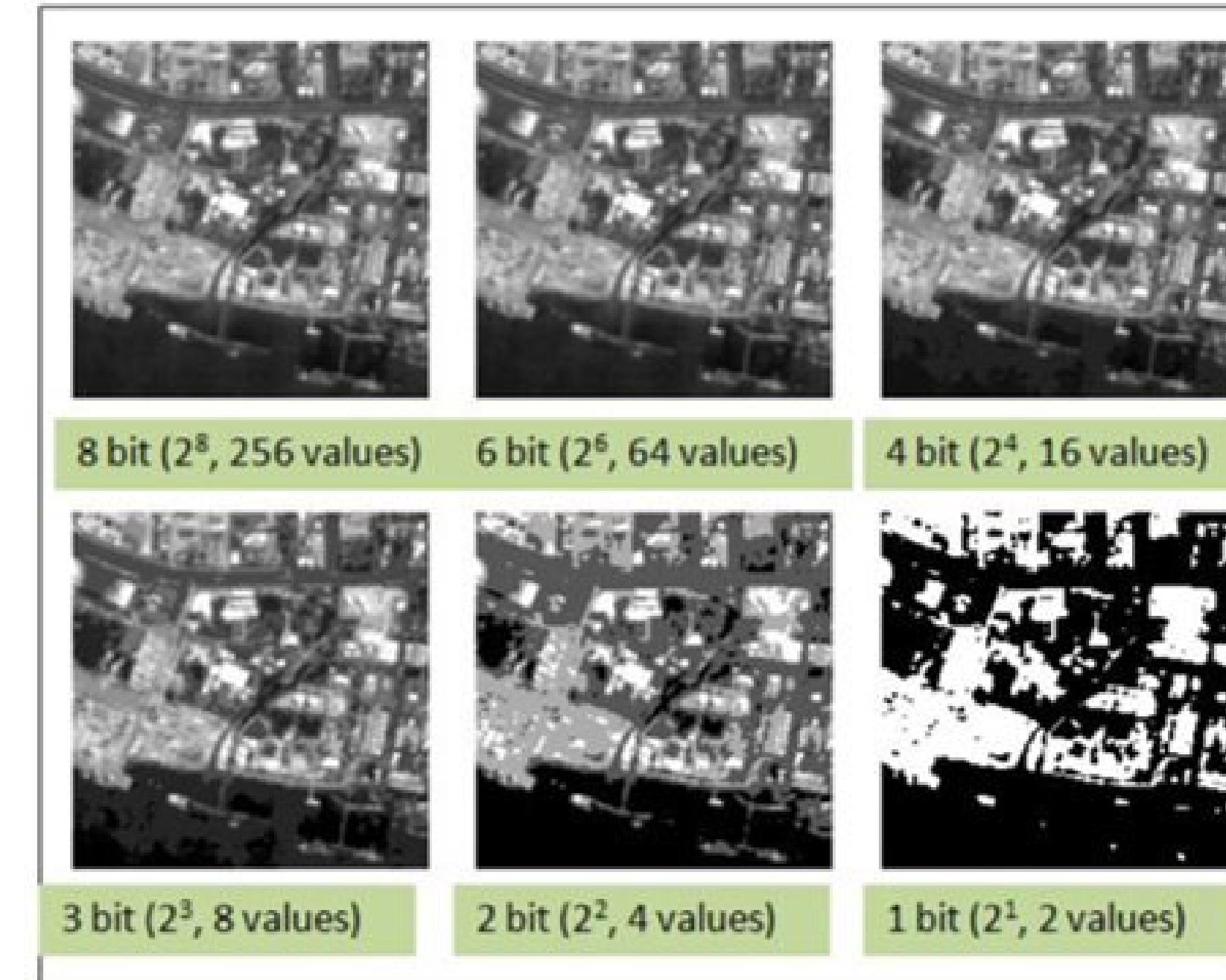
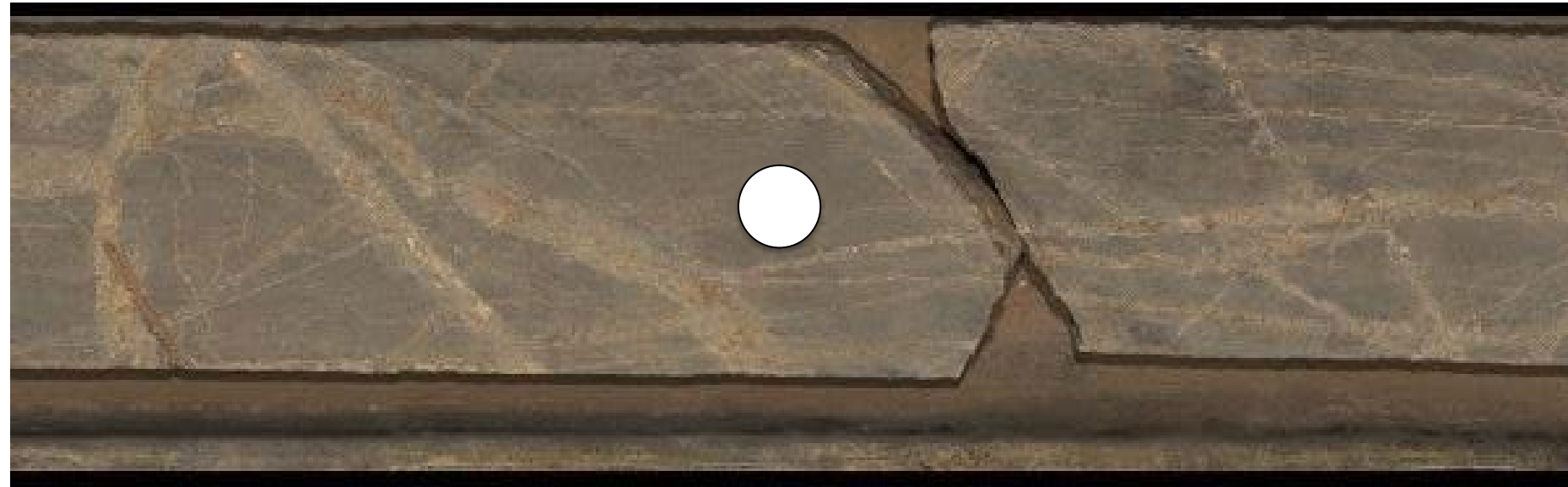


Image credit: Descartes Labs



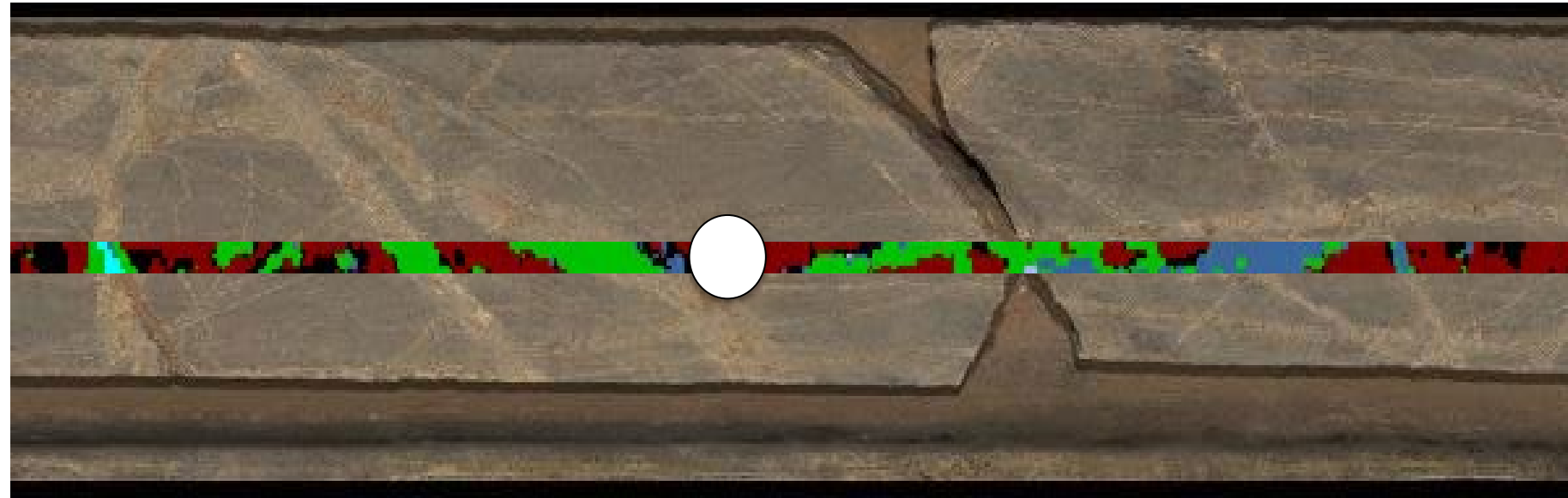
Aumento de las estadísticas de conteo para la interpretación de datos: datos puntuales



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

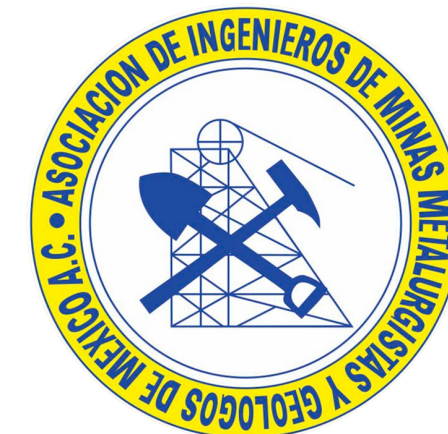
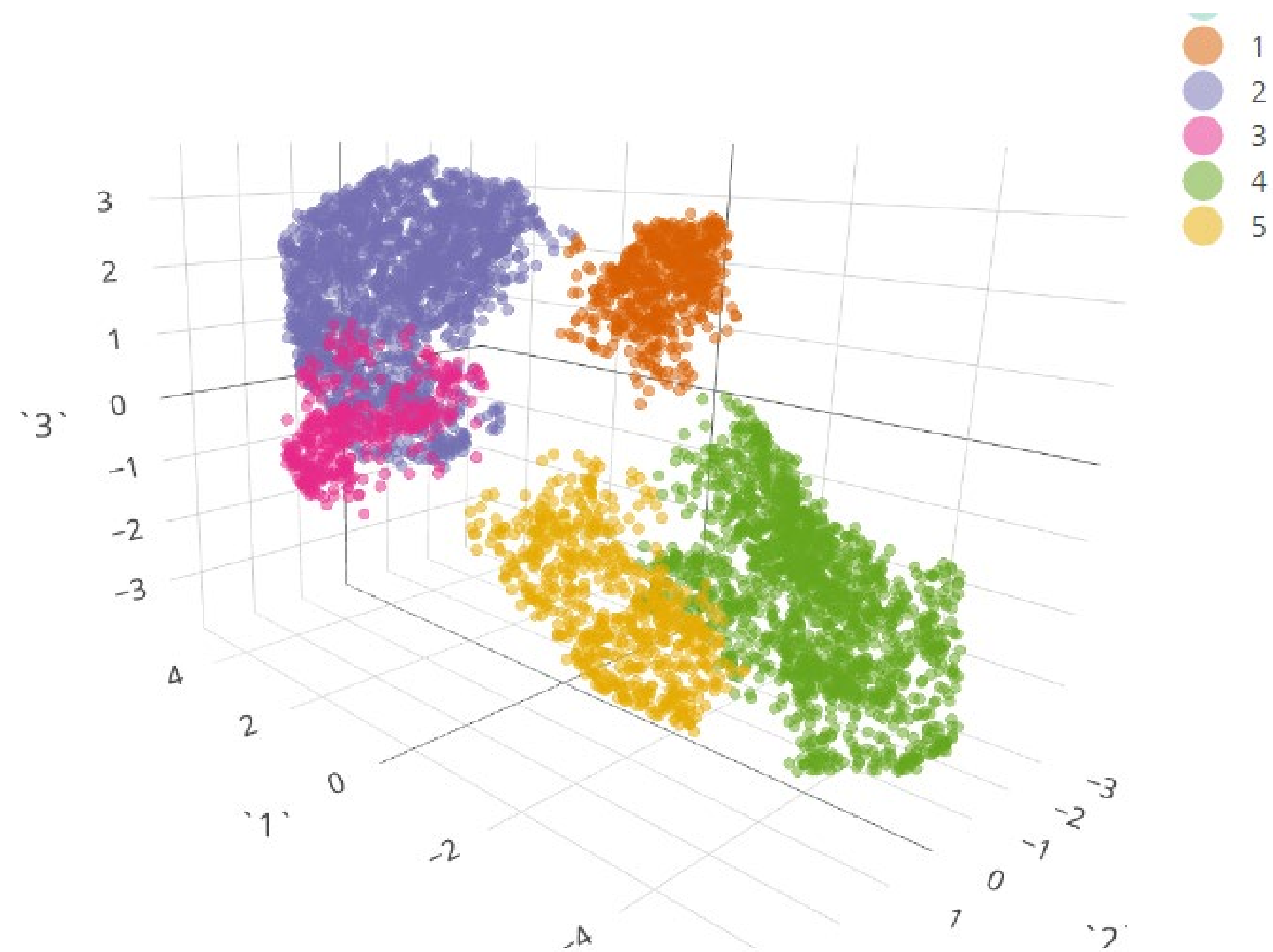


Mineral	Mineral % (Point)	Mineral % (Line)	Mineral % (Image)
# Spectra	1	20	55,000
Calcite		0.006	0.005
Chlorite		31.9	27.6
Kaolinite		0	0.002
Montmorillonite		0	0.03
Phlogopite	100	48.6	37.6
Tourmaline		0	0.01
White Mica		0.083	26.9

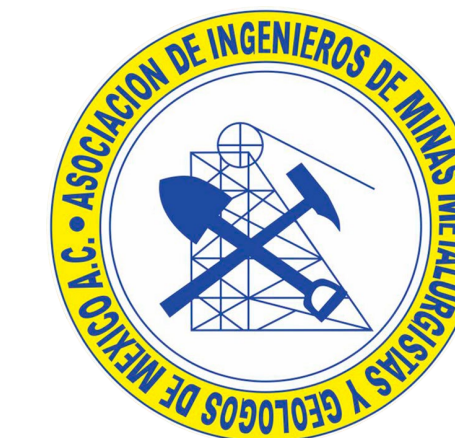


Sistema utilizado en este estudio

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



Echemos un vistazo a un flujo de trabajo de modelado 3D



Construyendo sobre el modelo de taller

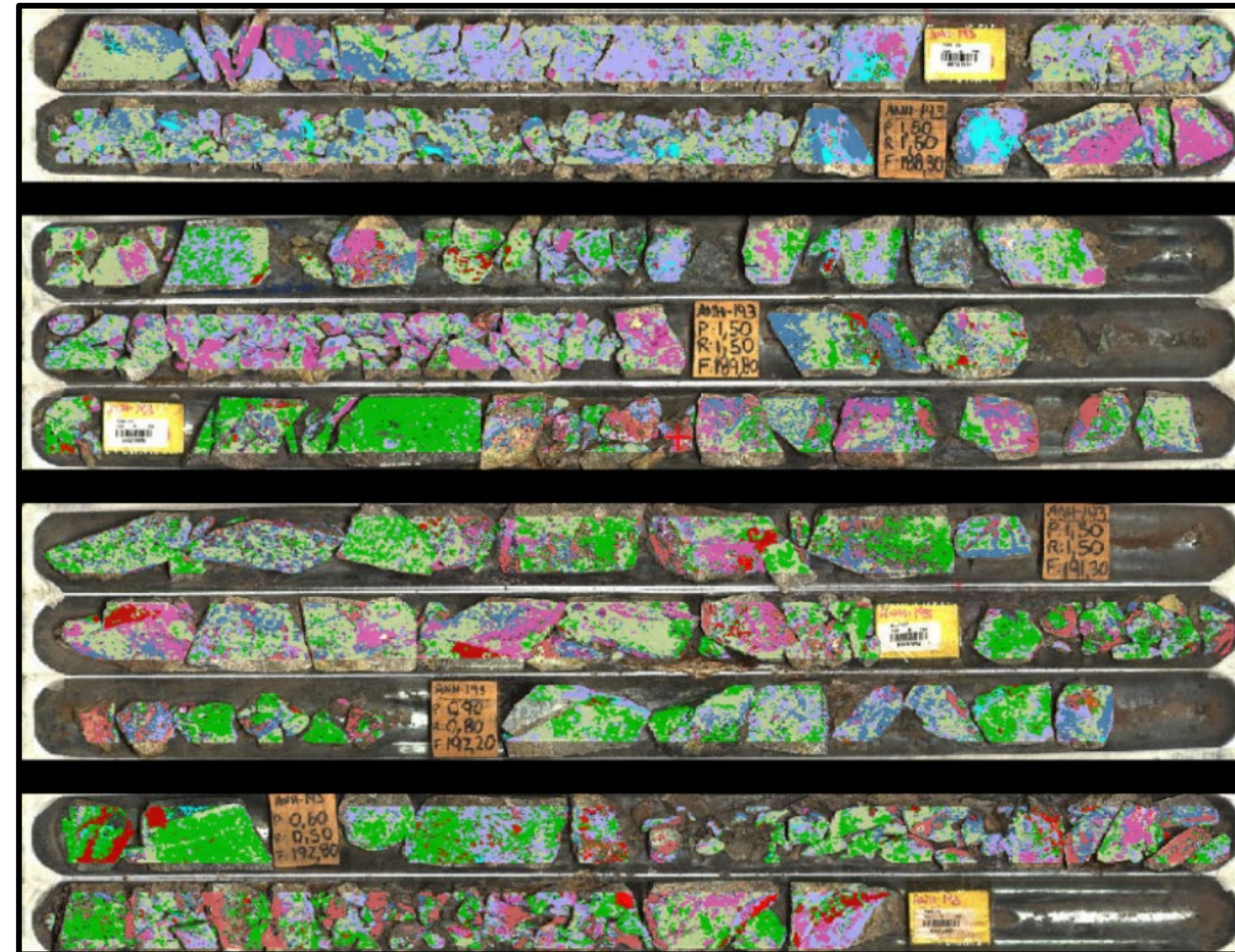
- El modelo construido en el taller fue altamente supervisado.
- Se centró en nuestro conocimiento de la mineralogía y las capas que queríamos construir en base a problemas metalúrgicos conocidos:
 - Sulfatos
 - Carbonatos
 - Arcillas
- Otra forma de abordar un modelo geometalúrgico es hacerlo desde un enfoque no supervisado, mediante el cual solo seleccionamos las entradas mineralógicas en función de la continuidad estadística y el conocimiento del sistema.



Entradas de datos: mineralogía hiperespectral

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

** Featureless Slope Spectra



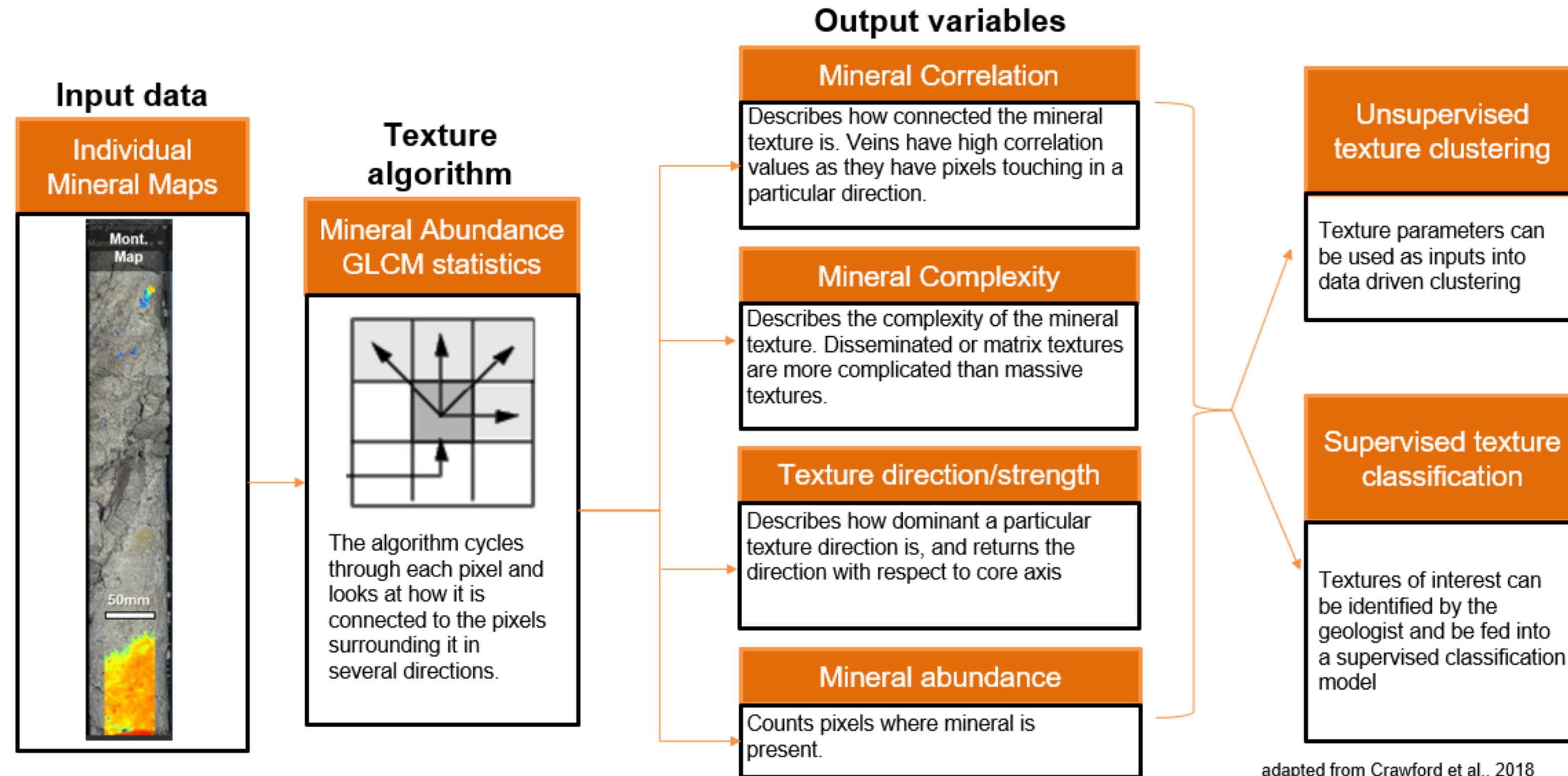
100 mm

- Criterios de mineralogía:
 - Debe ser continuo
 - La cantidad debe ser estadísticamente significativa
 - No seleccione minerales que estén altamente correlacionados



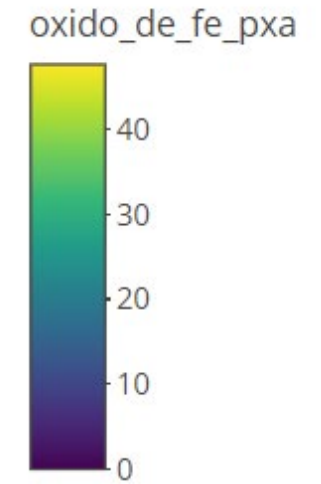
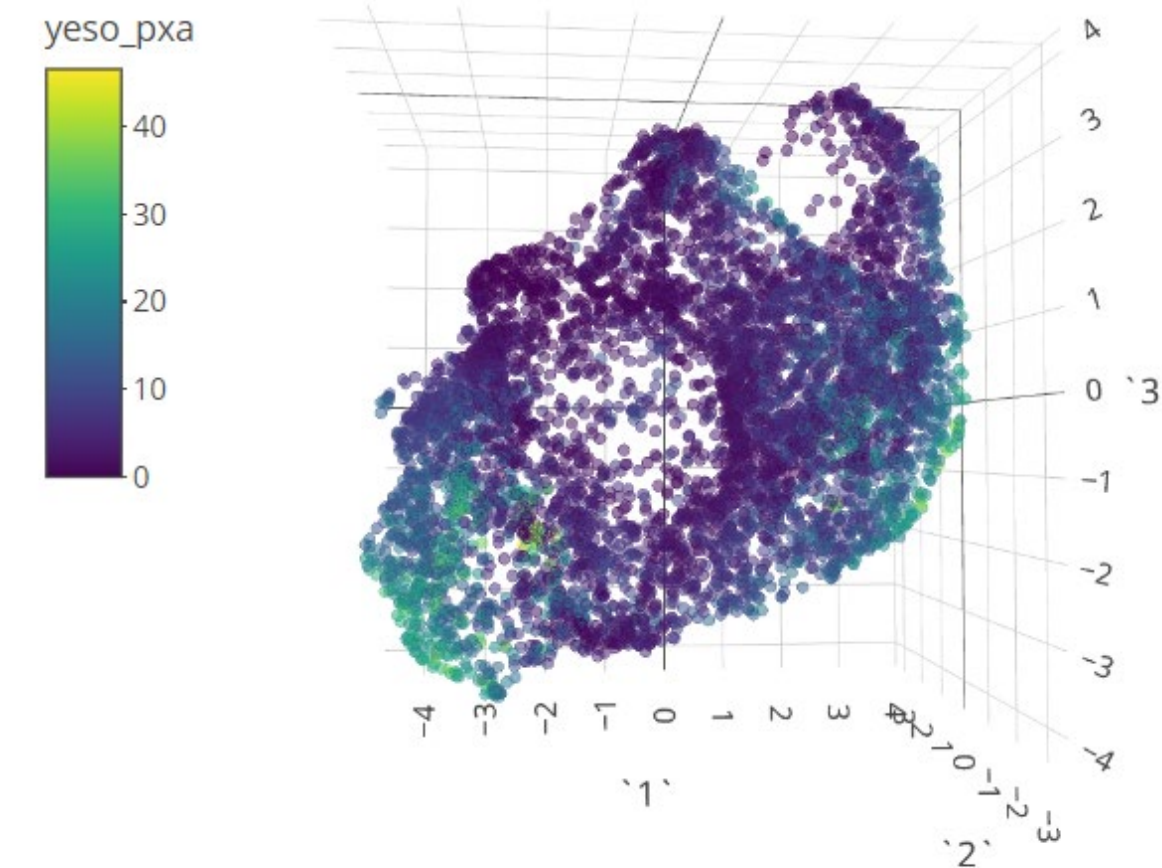
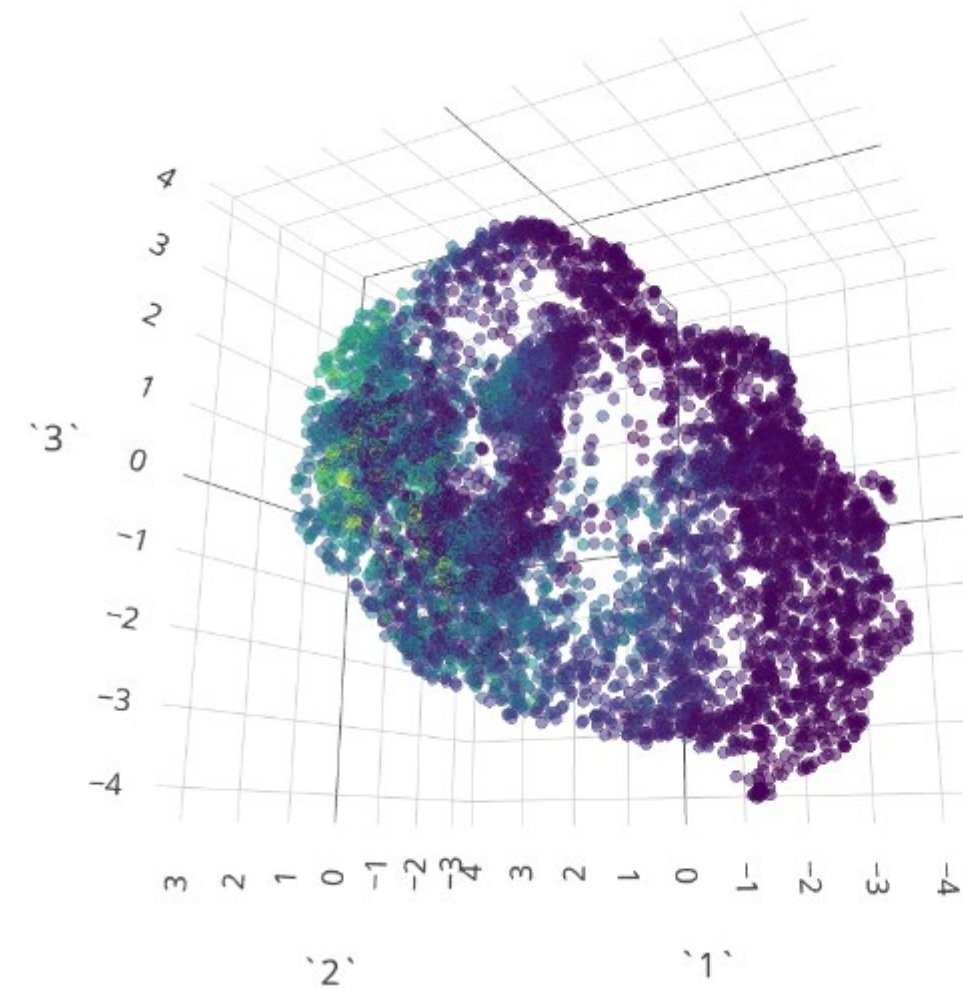
Entradas de datos: datos de textura de la imagen

- Extracciones de datos de textura de los datos de la imagen:
 - Al observar las estadísticas de cómo se conectan y distribuyen espacialmente los píxeles, es posible extraer algunas medidas estadísticas de la textura mineral de los mapas minerales HSI.
 - Estas estadísticas se pueden utilizar para clasificar la textura mineral tanto en aplicaciones de clasificación supervisada como de agrupación (este estudio).
 - Las técnicas de ejemplo incluyen: matriz de co-ocurrencia de nivel de grises (GLCM) y redes neuronales convolucionales (CNN).



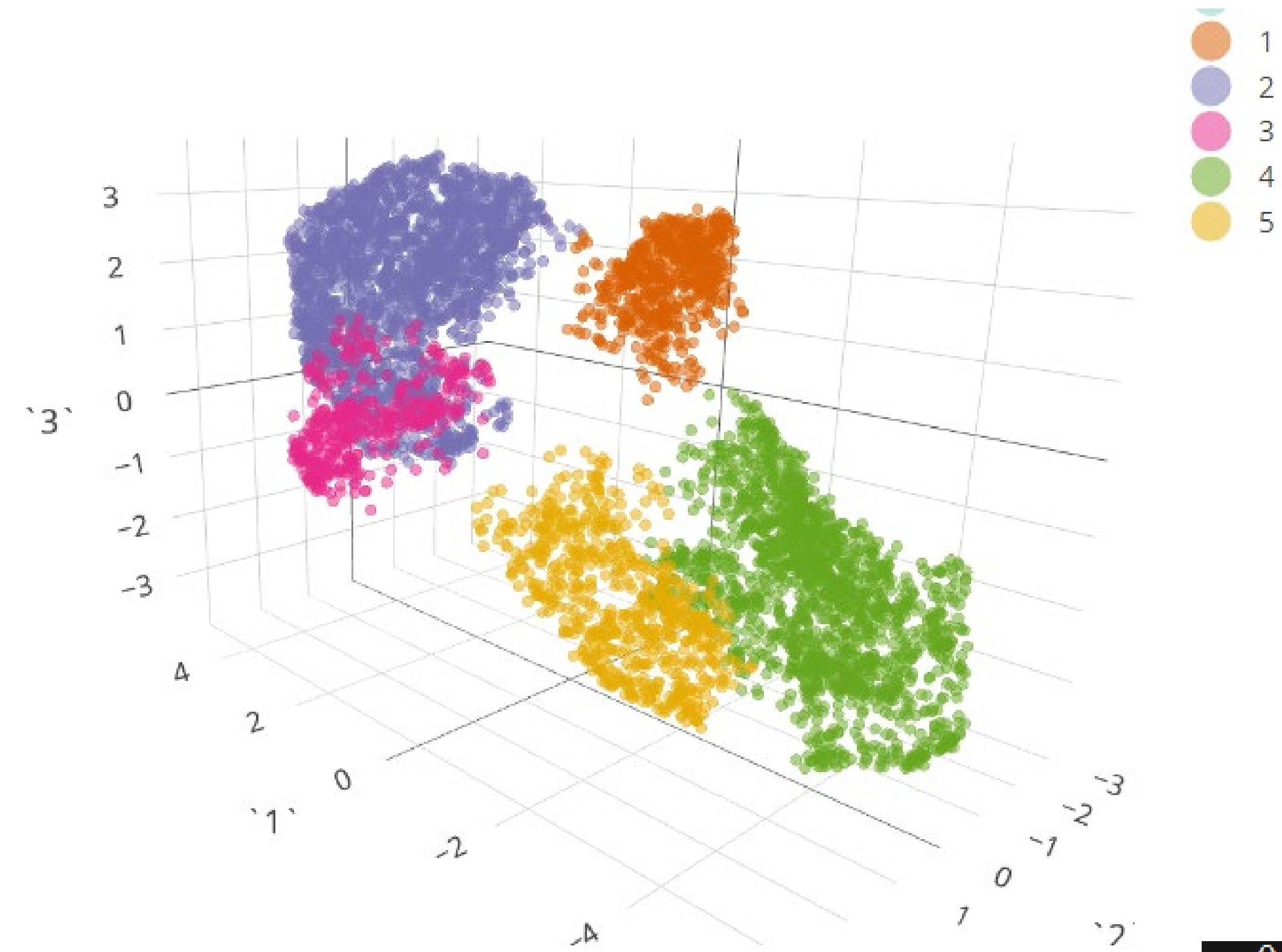
Selección de minerales y reducción de dimensionalidad

- Un UMAP es una técnica de reducción de dimensionalidad similar en principio a un PCA o tSNE.
- La idea es tomar muchas variables (demasiado complejas para que las veamos todas a la vez en un modelo) y reducirlas a una cantidad que sea más manejable y fácil de modelar en 3D:
 - unclassified_pxa, caolinita_pxa, oxido_de_fe_pxa, carbonato_pxa, sulfato_Fe_pxa, sulfato_Fe_Mg_pxa, montmorillonita_pxa, clorita_pxa, silice_opalinia_pxa, cuarzo_hidratado_pxa, yeso_pxa

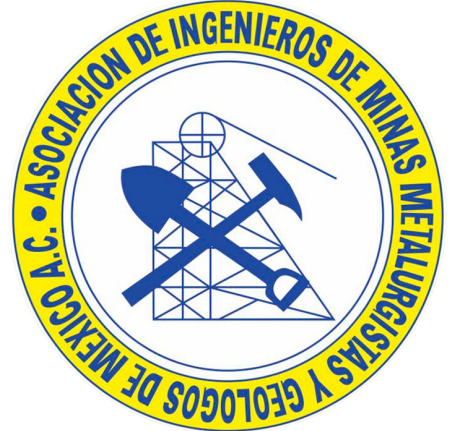


Agrupación

- Después de reducir estas variables a dominios o grupos distintos (ver a la derecha), podemos observar la composición de estos grupos y modelarlos.
- Esta UMAP y DBScan presentaron una solución de cinco clústeres.
- Los grupos 2 y 4 son mucho más grandes que los 1, 3 y 5; en el futuro sería interesante examinarlos por separado y con más detalle.



0	1	2	3	4	5
614	602	1951	428	1604	652



Dominios mineralógicos

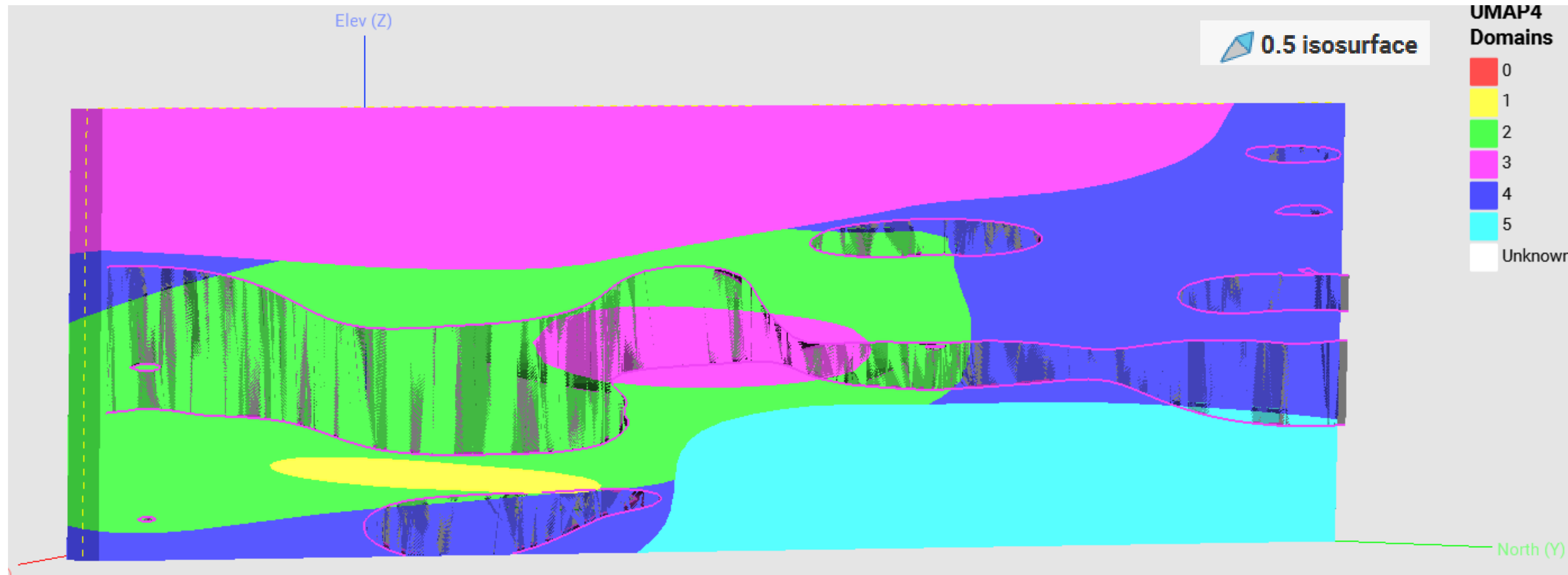


Row Labels	Average of unclassified_pxa	Average of caolinita_pxa	Average of carbonato_pxa	Average of clorita_pxa	Average of cuarzo_hidratado_pxa	Average of montmorillonita_pxa	Average of oxido_de_fe_pxa	Average of silice_opalina_pxa	Average of sulfato_Fe_Mg_pxa	Average of sulfato_Fe_pxa	Average of yeso_pxa
1	4.15	9.23	0.33	13.78	0.00	7.39	8.00	1.05	1.61	2.40	11.91
2	10.22	4.77	0.28	9.86	0.11	11.40	7.96	1.83	4.03	4.46	11.72
3	12.23	0.01	0.31	17.76	0.25	22.66	7.74	2.51	2.56	4.90	9.37
4	10.25	4.14	2.14	28.04	0.01	23.47	8.22	0.19	0.00	0.03	1.55
5	11.31	0.60	2.02	27.82	0.11	22.75	7.59	0.95	0.00	0.04	5.19



Grupo	Composición mineralógica
1	Caolinita, Óxido de Fe, Yeso
2	Unclassified, Óxido de Fe, Yeso, Sulfato de Fe-Mg, Sulfato de Fe, Caolinita, Silice de Opalina
3	Clorita, Montmorillonita, Yeso, Cuarzo Hidratado, Sulfato de Fe-Mg, Sulfato de Fe, Caolinita, Silice de Opalina
4	Clorita, Montmorillonita, Carbonato, Óxido de Fe, Caolinita
5	Clorita, Montmorillonita, Carbonato

Modelo de dominio



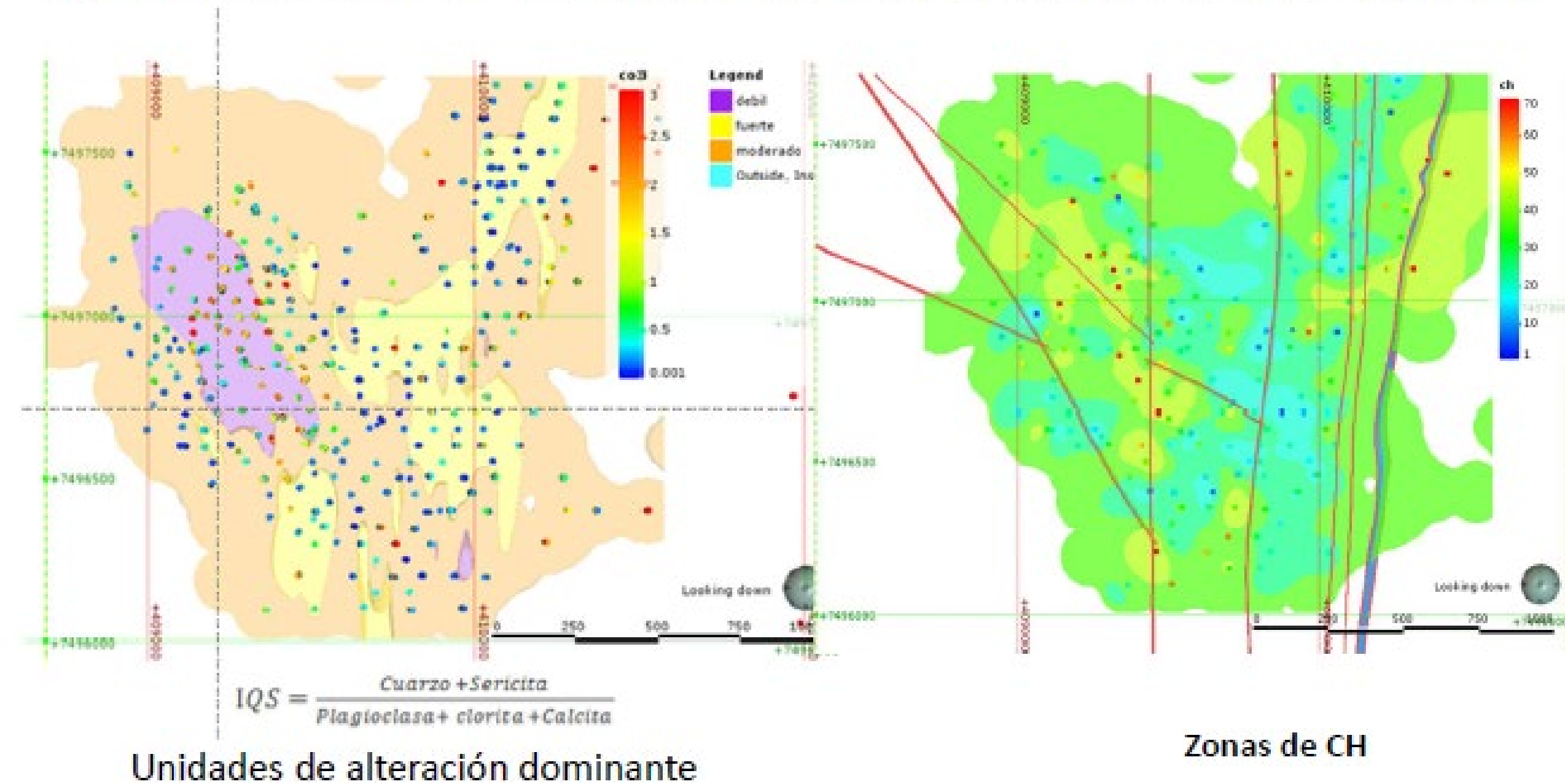
- Modelos como este se pueden utilizar para comprender dominios mineralógicos (separados de la paragénesis), así como para ayudar a seleccionar muestras de pruebas geometalúrgicas para comprender estos dominios mineralógica y texturalmente similares.



El modelo de consumo de ácido de Antucoya

- Antucoya posee un modelo de consumo de ácidos que se basa en sus tipos e intensidades de alteración.
- En general, se muestra que las zonas de alteración temprana consumen más ácido que los eventos de etapa tardía.
- En este estudio de caso, veremos otra forma de aplicar y modelar datos HSI.
- Aquí exploraremos modelos de clasificación de XGBoost y cómo un conjunto de datos consistente y continuo como HSI puede ayudar a ahorrar dinero con el tiempo.

Modelamiento de unidades de Consumo ácido Neto (CAN)

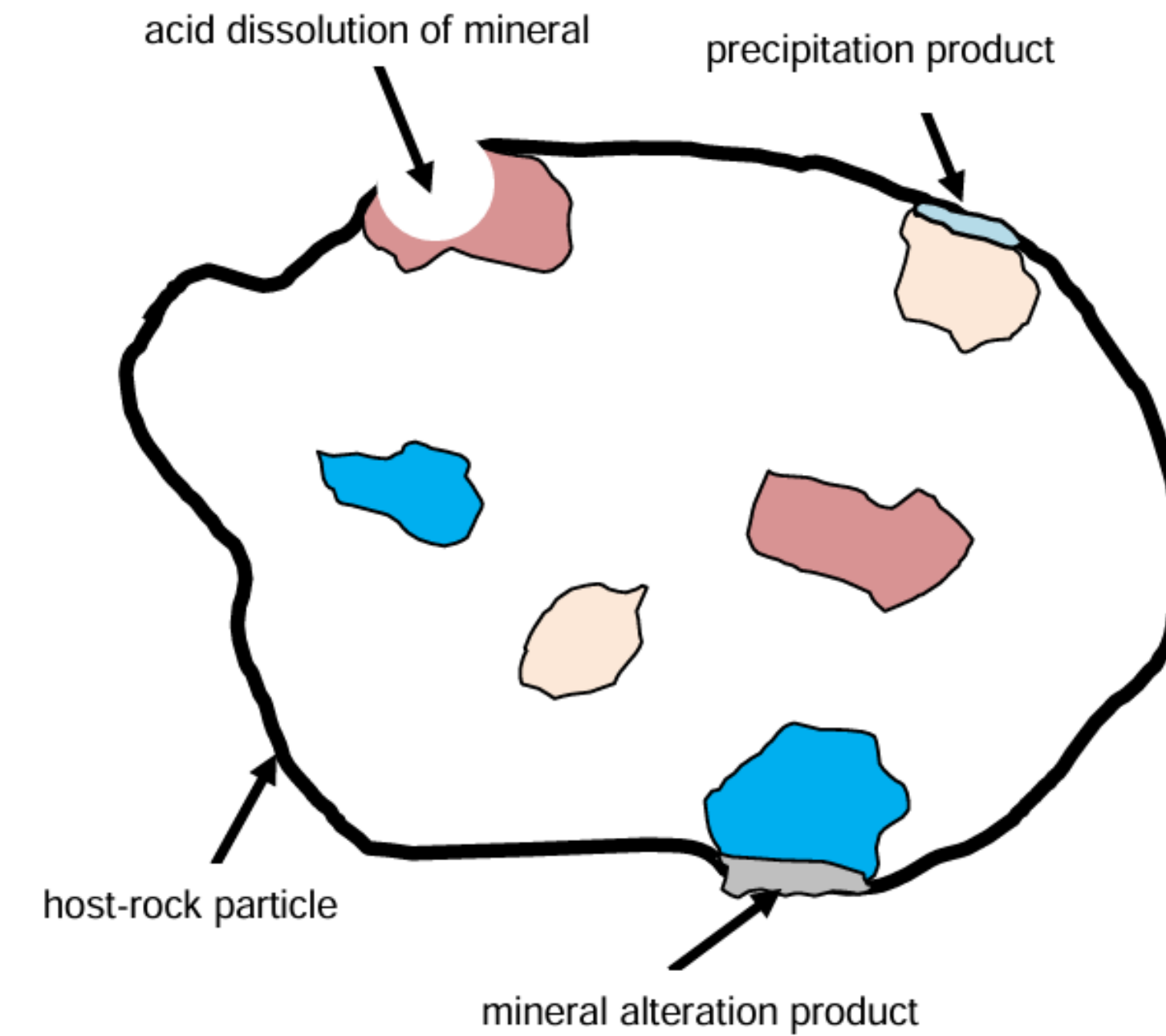


Valiente and Rubio, 2016



¿Qué es el consumo de ácido?

- El consumo de ácido puede determinar si un proyecto es económica y técnicamente viable o no porque la recuperación de cobre está directamente relacionada con él.
- Factores que influyen en la determinación del consumo de ácido: The minerals present in the ore, including gangue minerals (some gangue minerals undergo alterations that cause additional precipitate formation).
 - pH de la solución
 - Tasa de aplicación de ácido
 - Tamaño de partícula

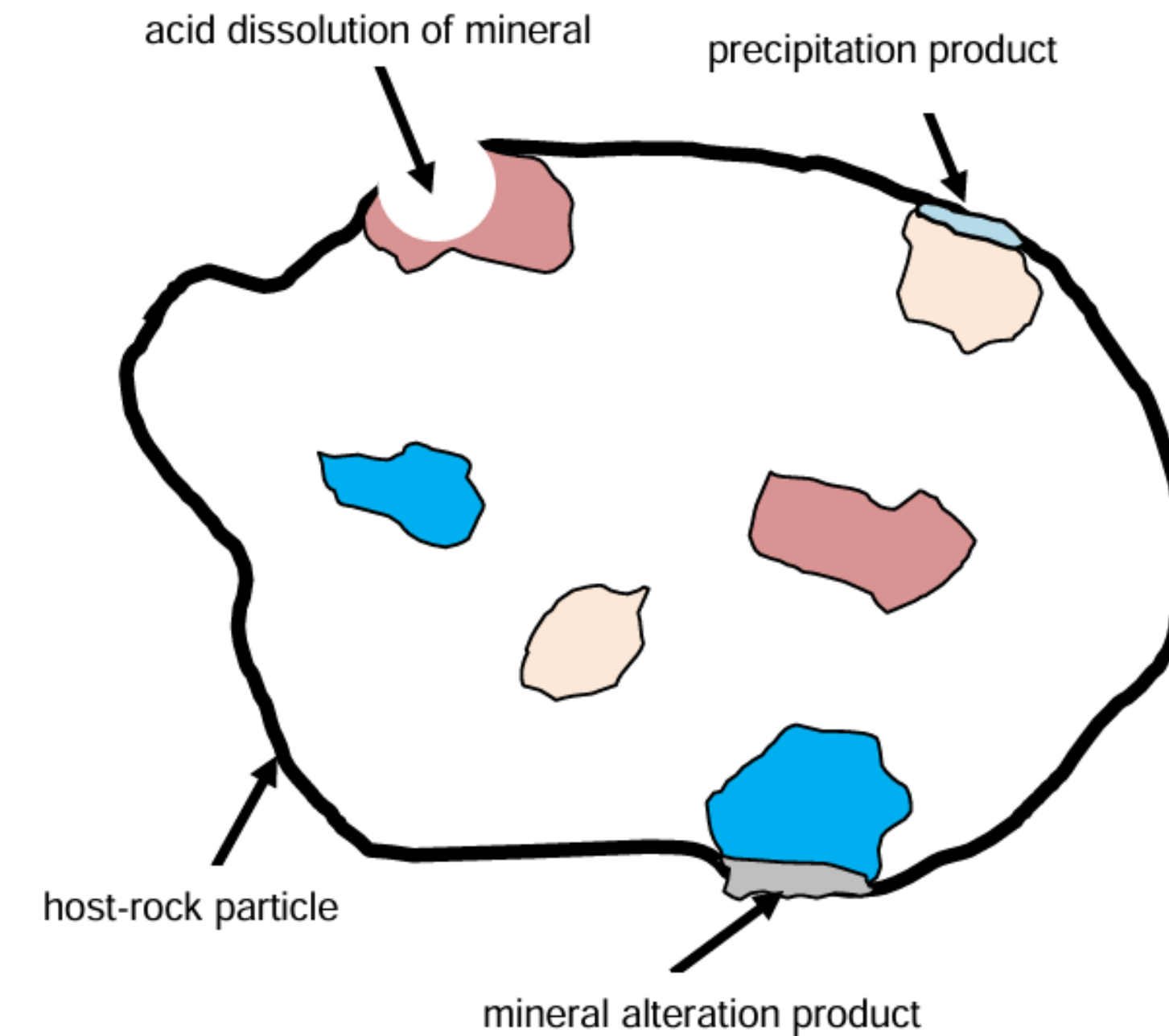


Free, 2010



¿Qué es el consumo de ácido?

- Los minerales que consumen grandes cantidades de ácido a menudo presentan importantes desafíos técnicos para la recuperación del cobre.
- Algunos minerales que consumen ácido se disuelven, otros se disuelven y luego forman rápidamente precipitados en la superficie que restringen una mayor lixiviación, y otros minerales que consumen ácido se transforman gradualmente en minerales secundarios durante el proceso de lixiviación.
 - Es posible que los subproductos restrinjan el consumo de ácido y liberen ácido, alterando así el equilibrio ácido.

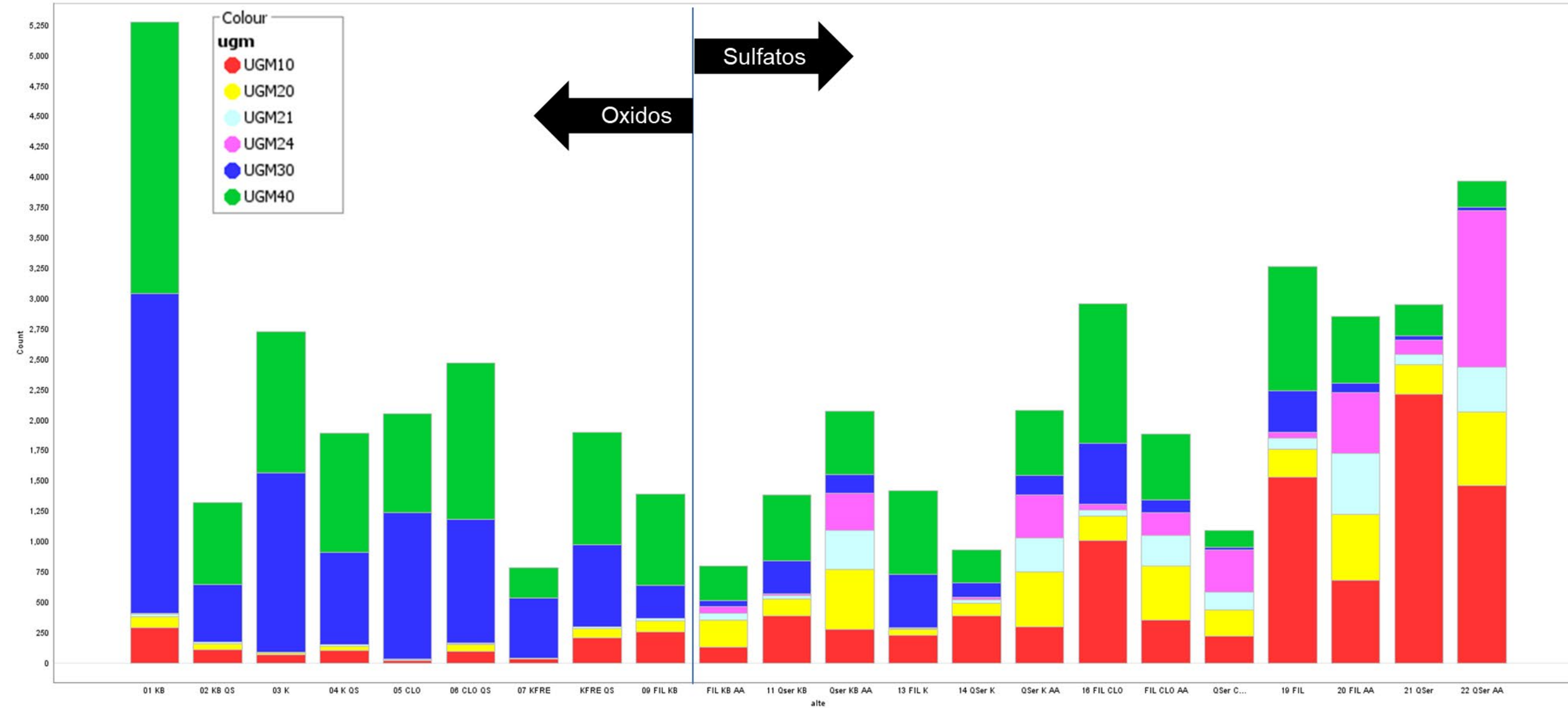


Free, 2010

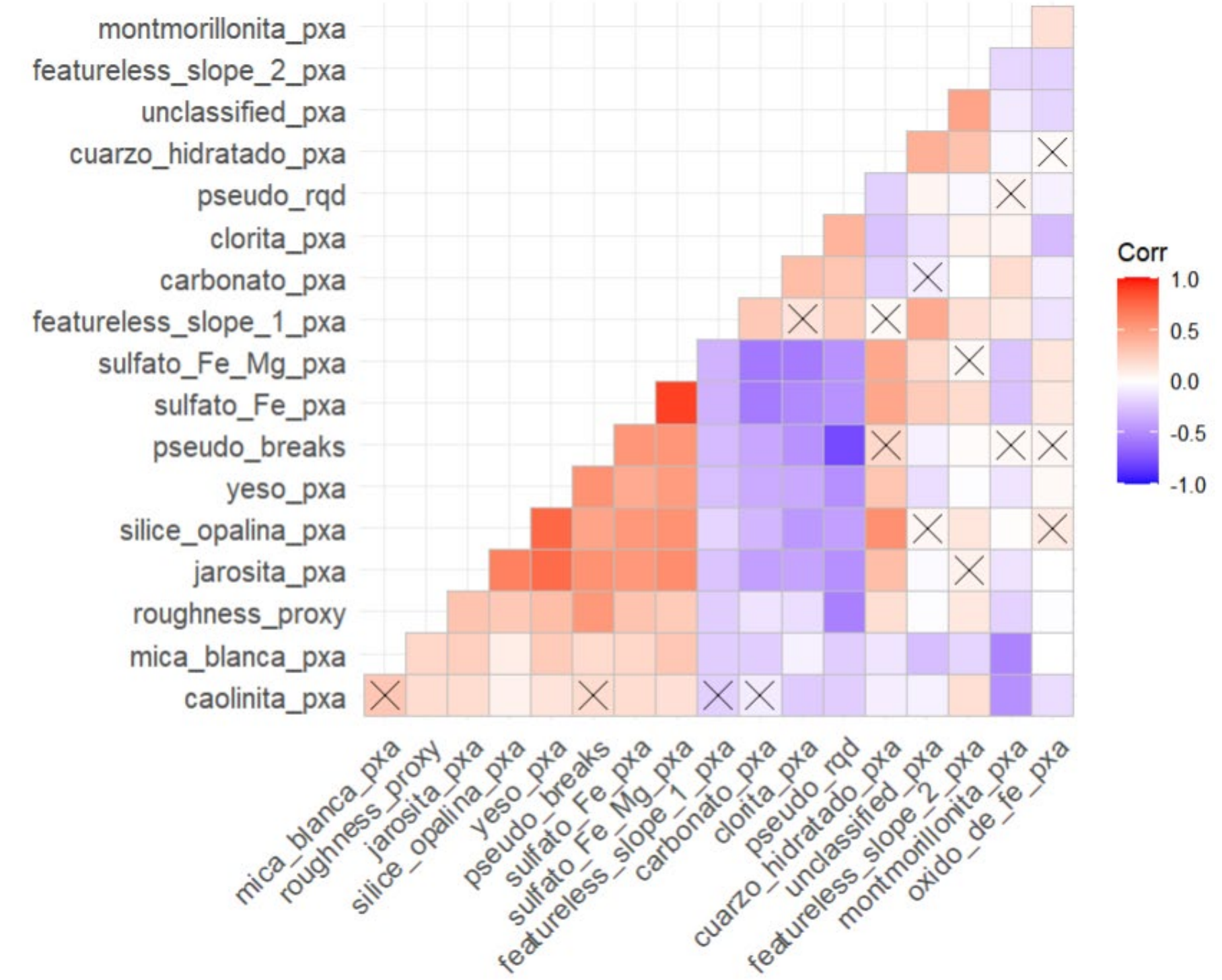
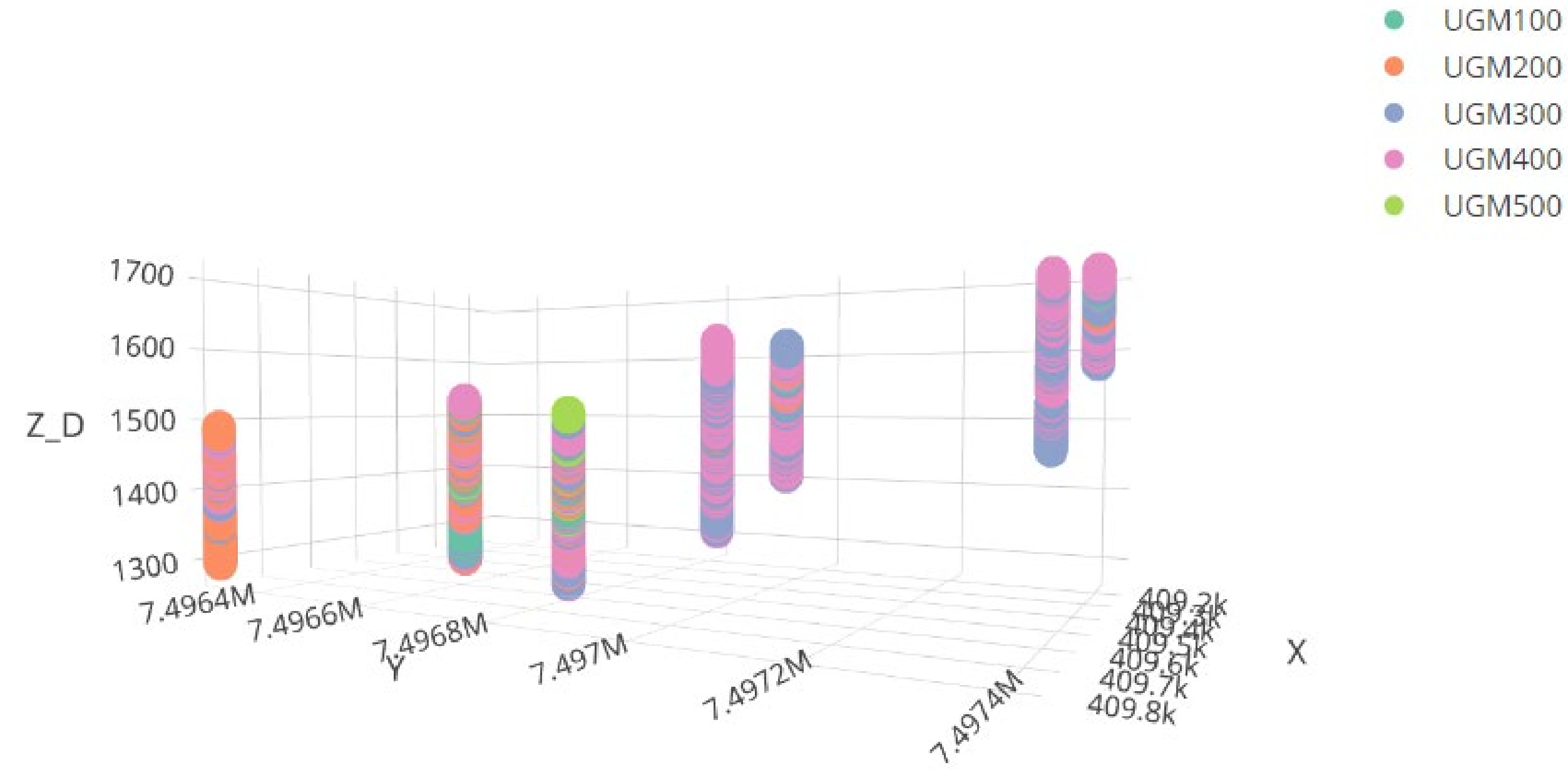


Alimentar a la planta es un equilibrio delicado

- Las diferentes unidades geometalúrgicas (UGM) aseguran que la planta se llene constantemente con el equilibrio correcto de sulfatos a óxidos.
- No es necesario utilizar otra tecnología para reconstruir todo este trabajo; sin embargo, un conjunto de datos subyacente consistente y continuo como HSI permitiría la construcción de una variedad de algoritmos de predicción y clasificación.
- En este caso, podríamos clasificar rápidamente el dominio geometalúrgico tan pronto como se escanea el núcleo.
- Para ello vamos a utilizar un modelo de aprendizaje automático XGBoost.



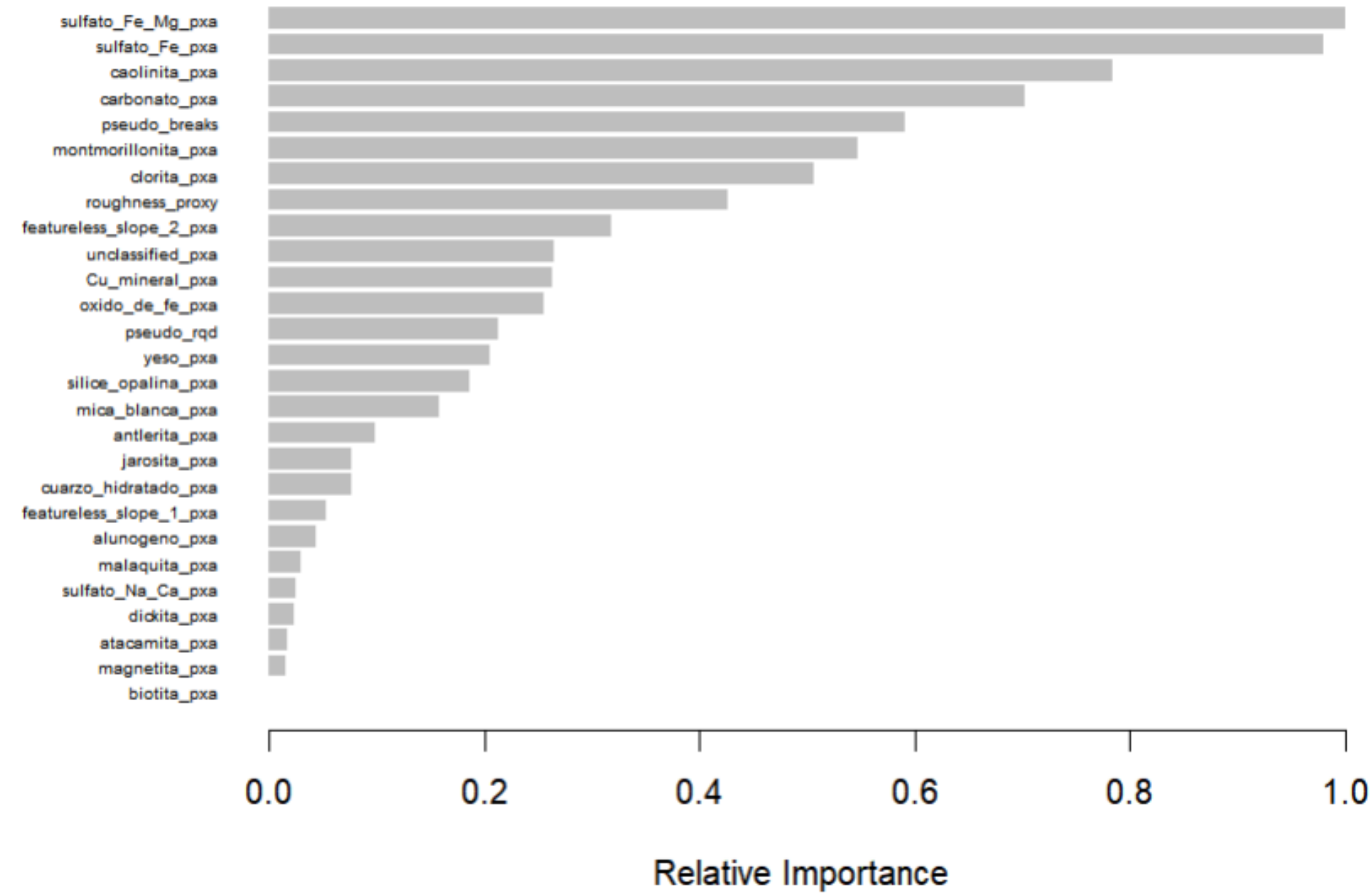
Seleccionar variables para predecir nuestros dominios de consumo de ácido



Nuestro modelo de clasificación

- Dondequiera que tengamos estos datos de HSI, podemos construir nuestros dominios de consumo de ácido.
- Es importante realizar el mantenimiento del modelo, especialmente al ingresar a áreas nuevas con las que el modelo no está familiarizado.
- Esto representa una solución que ahorra costos y tiempo en el trabajo de prueba para futuras adiciones de dominio geometalúrgico a su modelo de bloques.
- Los principios presentados aquí se pueden utilizar para predecir dureza, grado; clasificar otros dominios, litologías.

Gráfico de Importancia Variable



```

Confusion Matrix and Statistics

          Reference
Prediction UGM100 UGM200 UGM300 UGM400 UGM500
UGM100      0         2         0         14         0
UGM200      1        20         0         27         0
UGM300      8        19        99         98         0
UGM400     15        66        15        350         1
UGM500      0         0         0         0         0

Overall Statistics

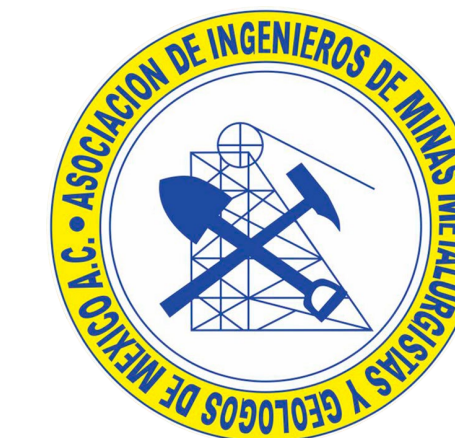
                Accuracy : 0.6381
                95% CI : (0.6022, 0.6729)
    No Information Rate : 0.6653
    P-Value [Acc > NIR] : 0.9448

                Kappa : 0.3272
    
```



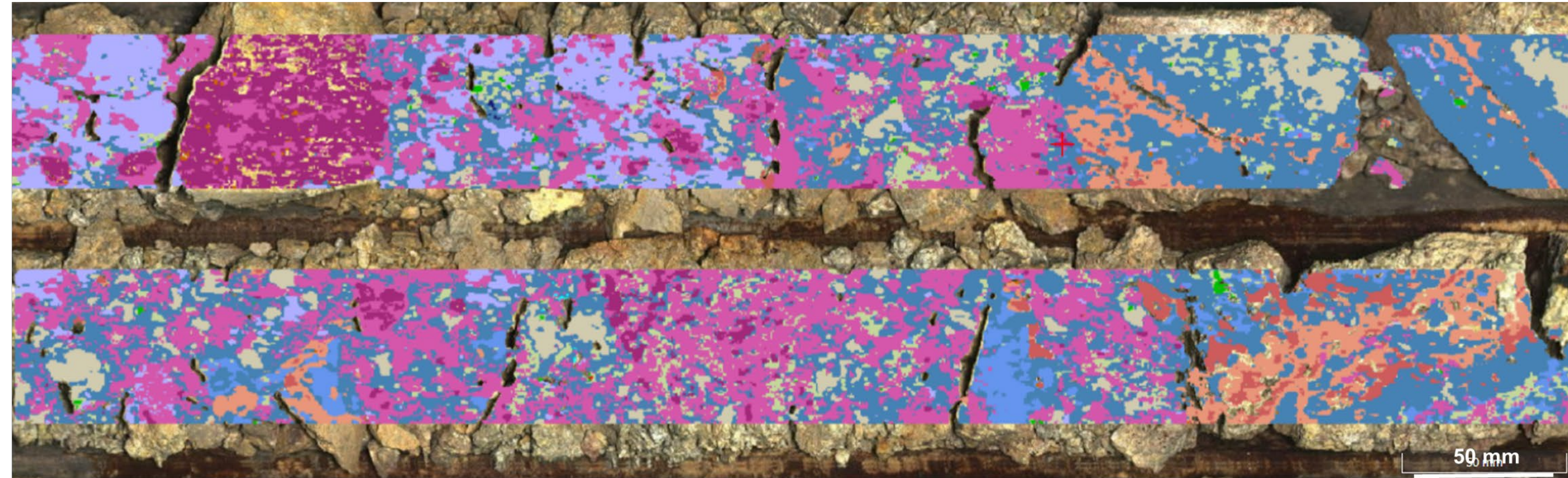
¿El tamaño importa?








...claro que lo hace.



Por qué importaba el tamaño: resolución espectral

- La capacidad de mapear cambios sutiles en mineralogía, como sulfato de Fe-Mg, jarosita y sulfato de Fe, que pueden tener impactos en la forma en que se consume el ácido durante la lixiviación.

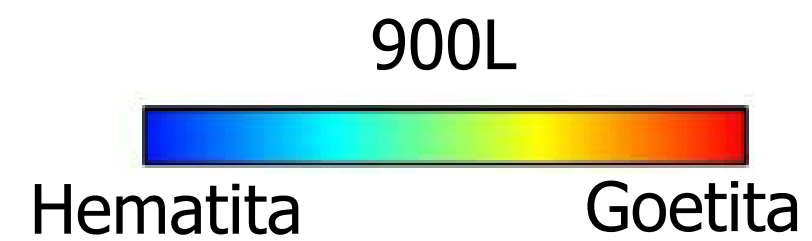


Jarosite		White Mica	
Fe-Mg Sulfate		Kaolinite	
Fe Sulfate		Montmorillonite	
Gypsum			

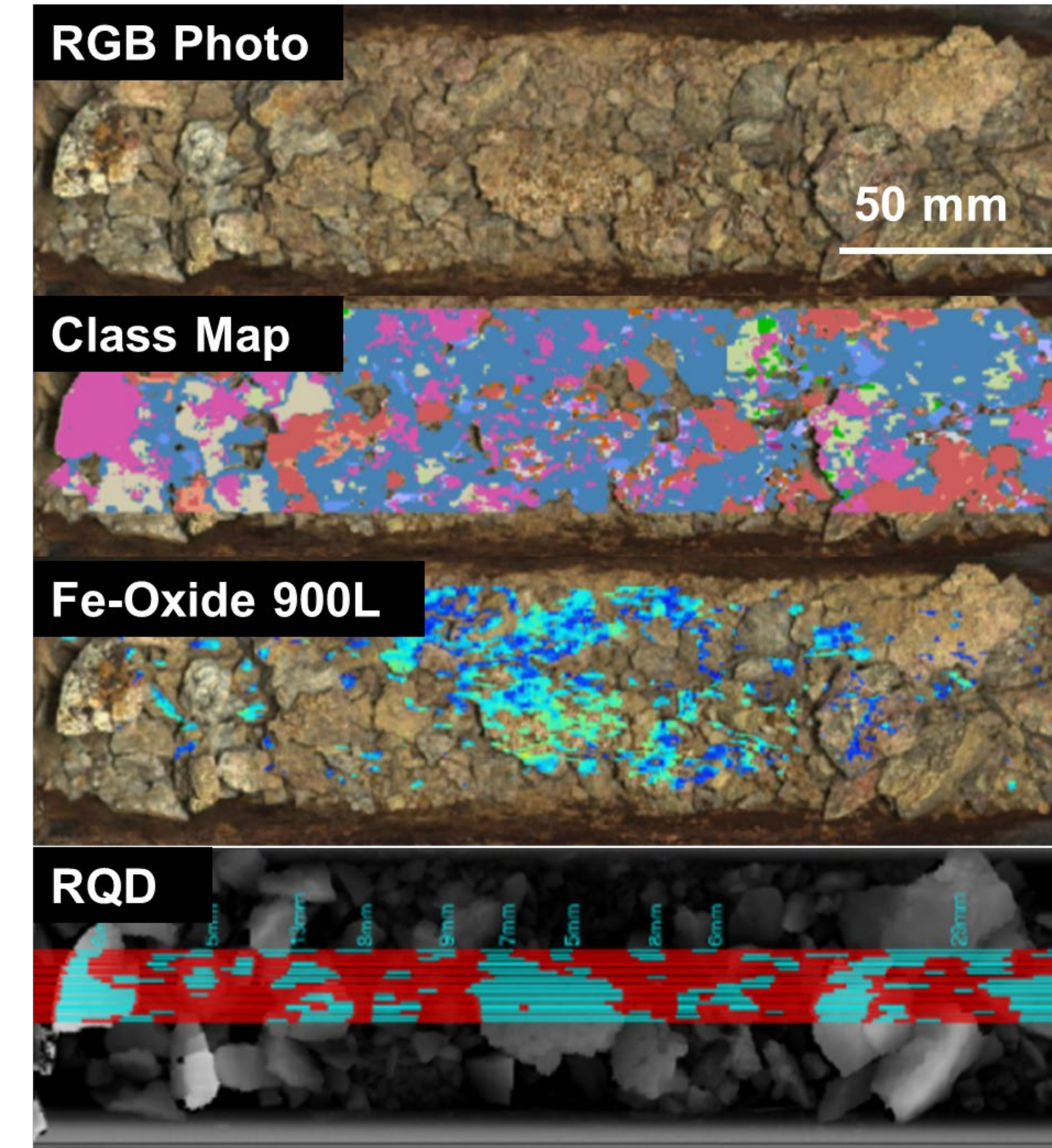


Por qué importaba el tamaño: resolución espacial

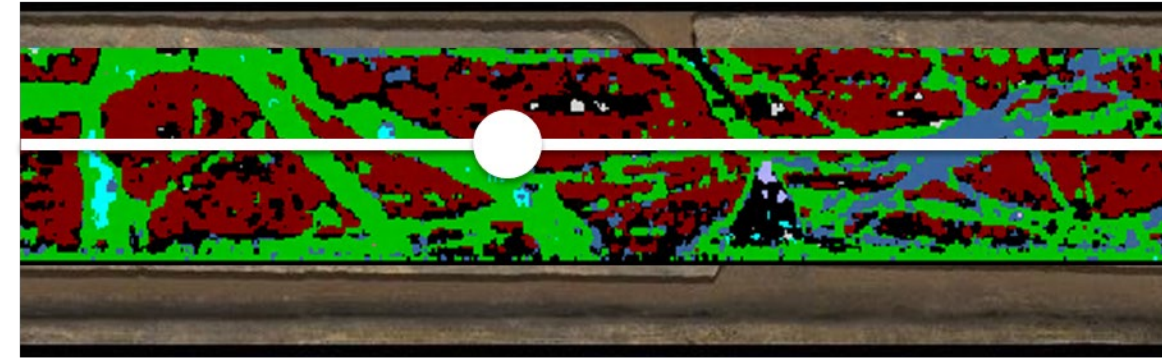
- Capaz de mapear parámetros espectrales y mezclas complejas en áreas donde el núcleo está altamente degradado.



Jarosita	
Sulfato de Fe-Mg	
Sulfato de Fe	
Yeso	
Mica Blanca	
Caolinita	



Por qué importaba el tamaño: número de píxeles

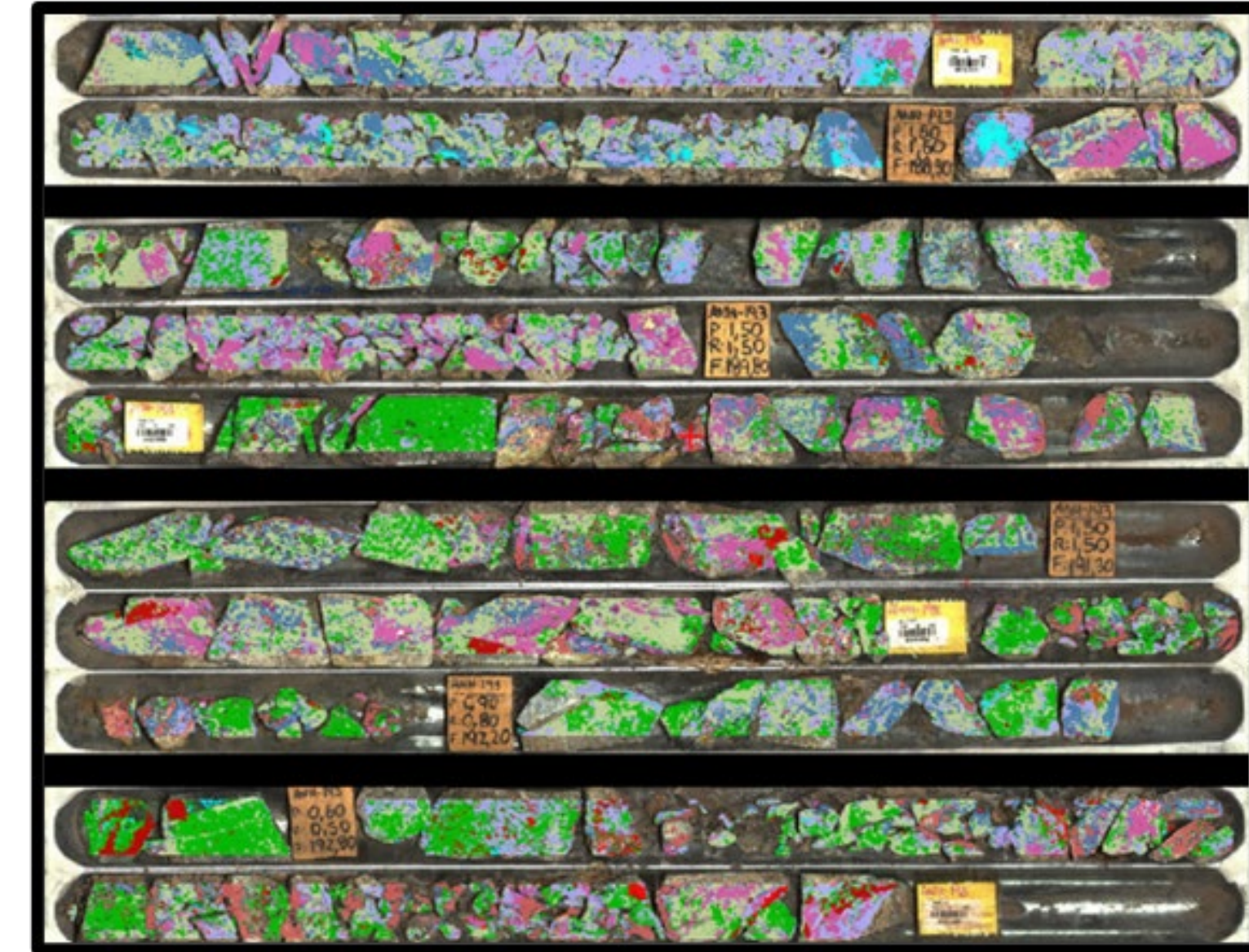


Dickite	Yellow
Pyrophyllite	Orange
Calcite	Cyan
Gypsum	Pink
Alunite	Light Pink
Tourmaline	Orange
Atacamite	Magenta
Chrysocolla	Purple
Kaolinite	Light Green
Montmorillonite	Light Blue
Phlogopite	Dark Blue
White Mica	Red
Chlorite	Green
Featureless Slope	Grey

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	Red
Antlerita	Red
Atacamita	Pink
Cu-Mineral (Sulfate)	Red
Biotita (grupo)	Dark Red
Dickita	Yellow
Jarosita	Purple
Yeso	Pink
Carbonato	Cyan
Sulfato Na-Ca	Light Red
Sulfato Fe	Red
Sulfato Fe-Mg	Light Red
Caolinita: Alta X	Yellow
Caolinita: Med X	Yellow
Caolinita: Baja X	Yellow
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 Orange
Cuarzo/Silice Hidratado	Grey
Cuarzo/Silice Opalino	Grey
Oxido de Fe (general)	Orange
Featureless Slope (FLS) - Tipo 1**	Grey
Featureless Slope (FLS) - Tipo 2**	Dark Grey

** Featureless Slope Spectra

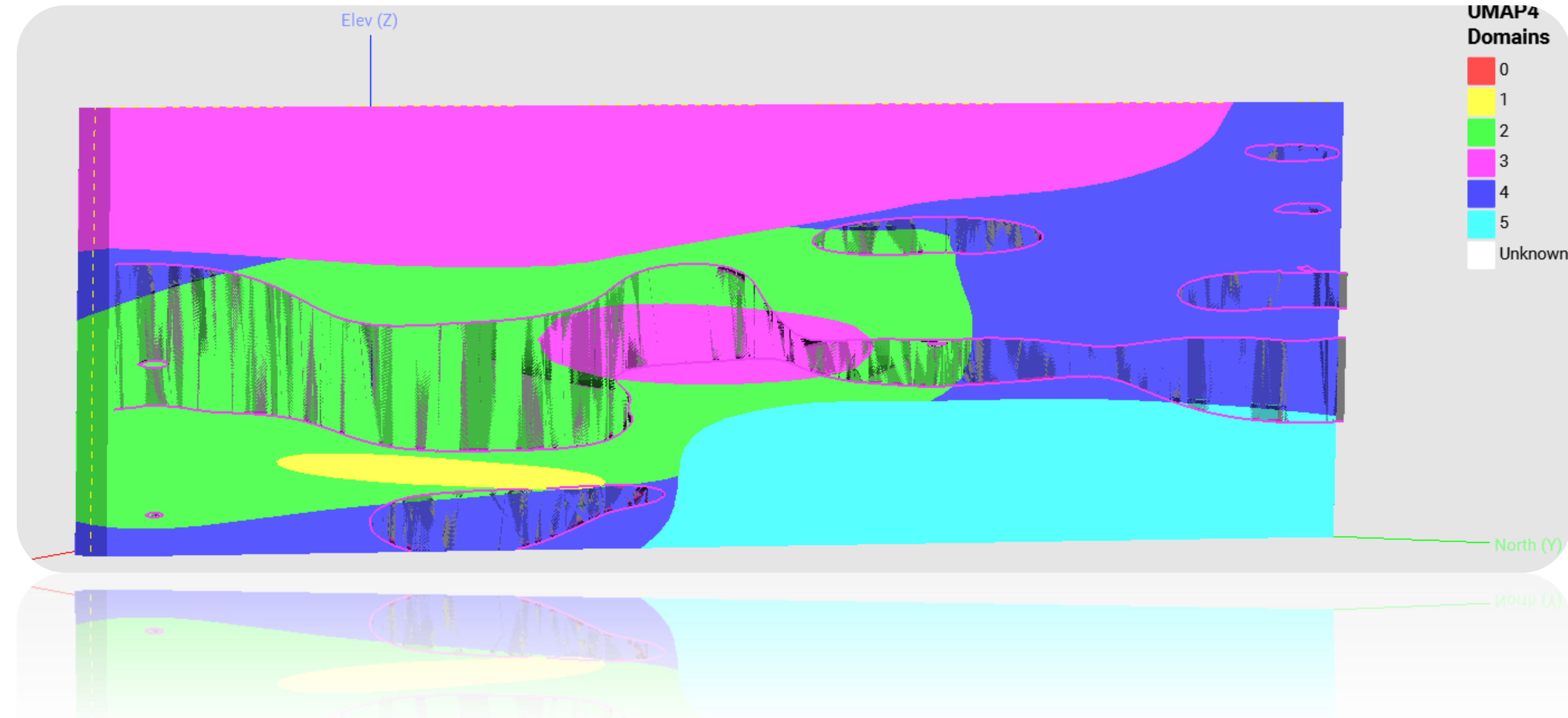


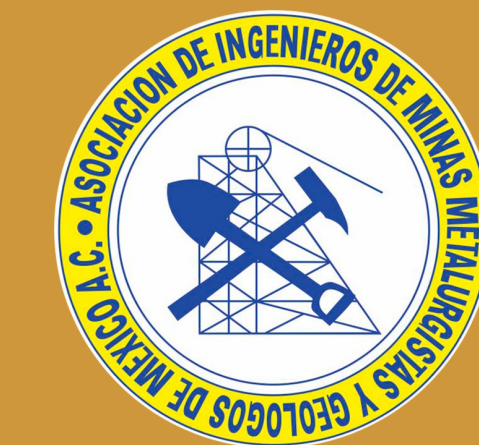
100 mm



Por qué importaba el tamaño: contando estadísticas

- Conjunto de datos continuo que se utilizará como columna vertebral de cualquier modelo de aprendizaje automático para predecir o clasificar parámetros.
- Conjunto de datos continuo para utilizar como columna vertebral del modelo de dominio:
 - Textura
 - Mineralogía





El tamaño importa, la importancia de la mineralogía y la textura en los depósitos de pórfidos de cobre: parte II

Sam Scher, M.Sc. | sscher@lkiconsulting

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

Tom Carmichael | tomcarmichael@datarock.com.au

Conferencia Internacional de Minería 2024

24 de abril de 2024