

UNA VISIÓN DESDE LA GEOLOGÍA HACIA LA EXPLORACIÓN DE ESMERALDAS:

LITOGEOQUÍMICA DE LA MINA DE ESMERALDAS LAS PAVAS



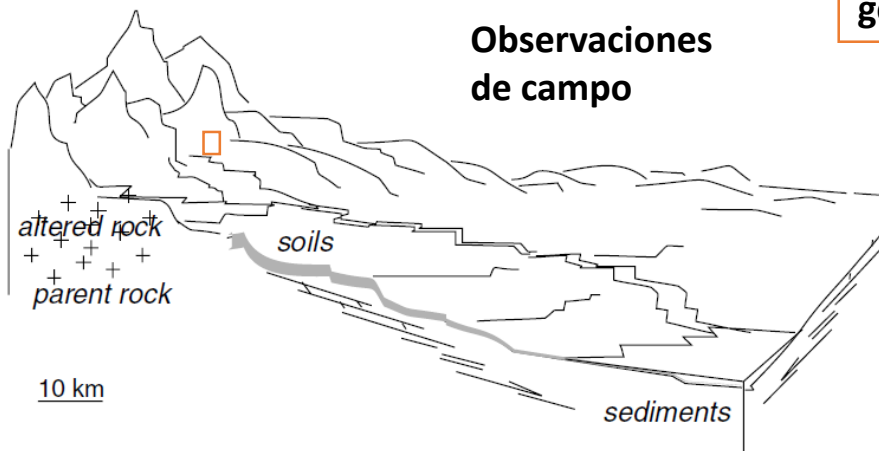
Germán Eduardo Bonilla Osorio
Geólogo, MSc, PhD-Candidato
gbonilla@inclaygeology.com





Escalas de investigación

Observaciones
de campo



Relaciones
geológicas

Geología
histórica

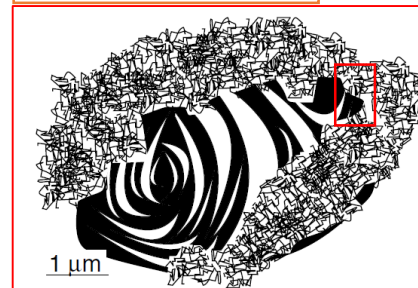
Litología



Identificación
de facies

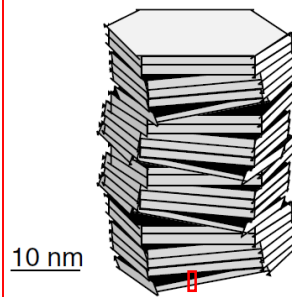
Procesos de
formación
de rocas

microanálisis

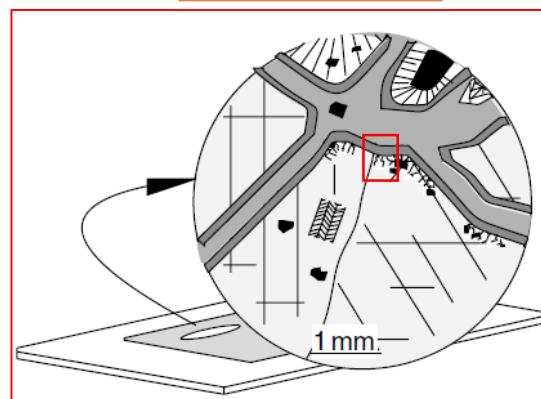


10 nm

microanálisis

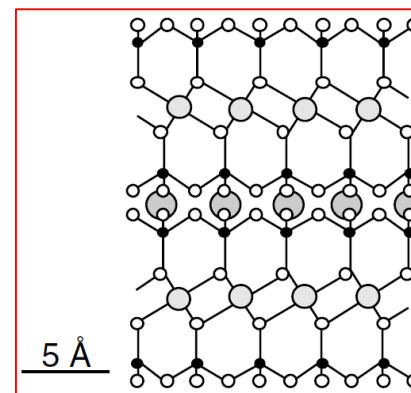


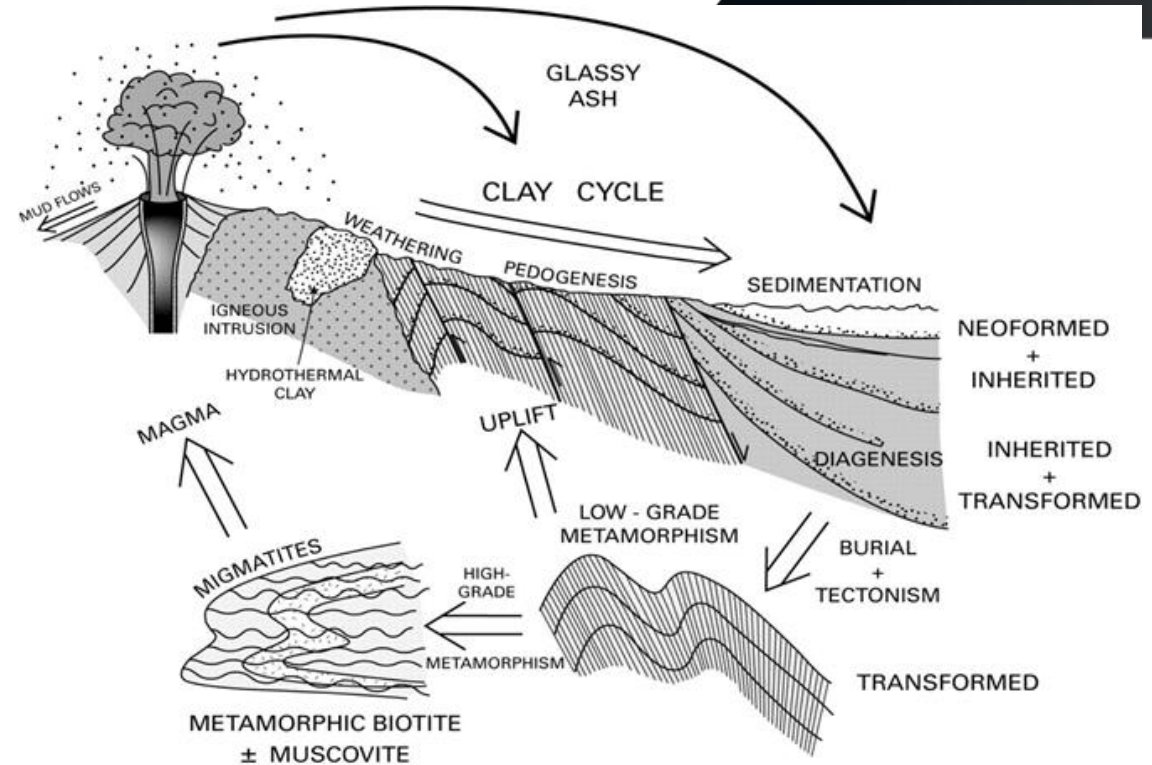
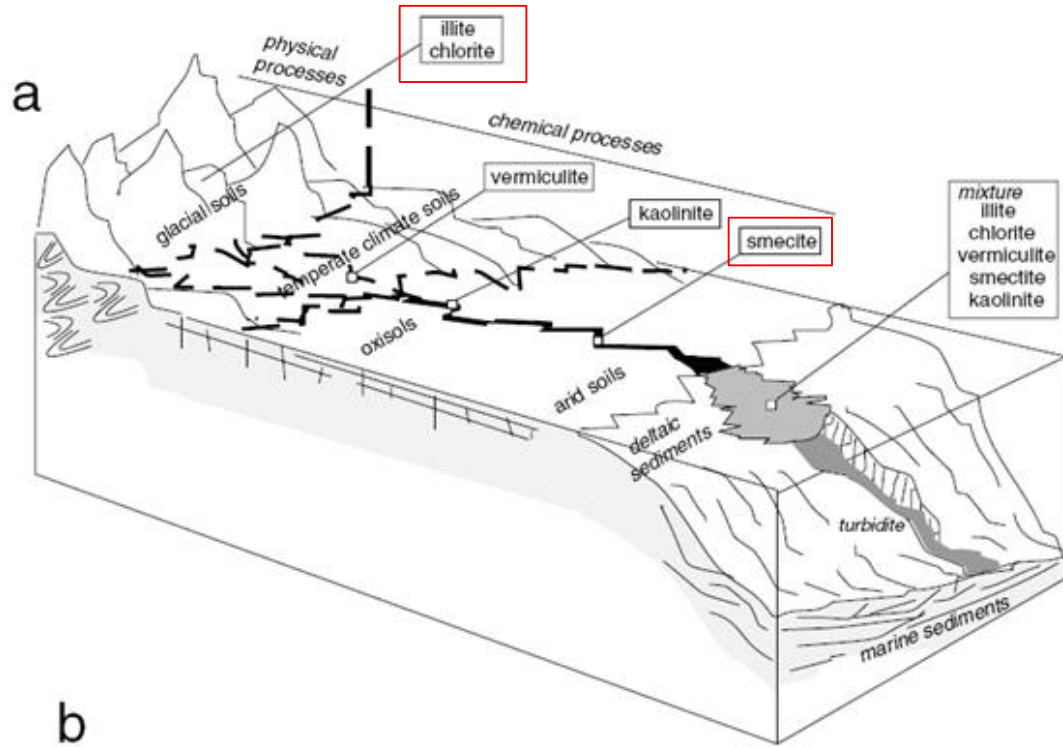
Petrografía



5 Å

Identificación cristalina





Los minerales presentes en las rocas sedimentarias, son el reflejo de la configuración tectónica, la geología de las áreas fuente, la meteorización, los ambientes de depósito y los procesos diagenéticos.

La composición normal del agua de mar con salinidad de 34‰ es:

Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Na^+



Table 1: Average mineralogical composition of shales (Attewell and Farmer, 1976; Boggs, 1995; Fertl, 1977)

Mineral	Composition (%)
Clay minerals	57
Quartz and chert	25
Feldspar	8
Calcite/dolomite	3
Pyrite/mica	3
Iron oxides	2
Organic carbon	1
Others (heavy minerals, etc)	1
Total	100%

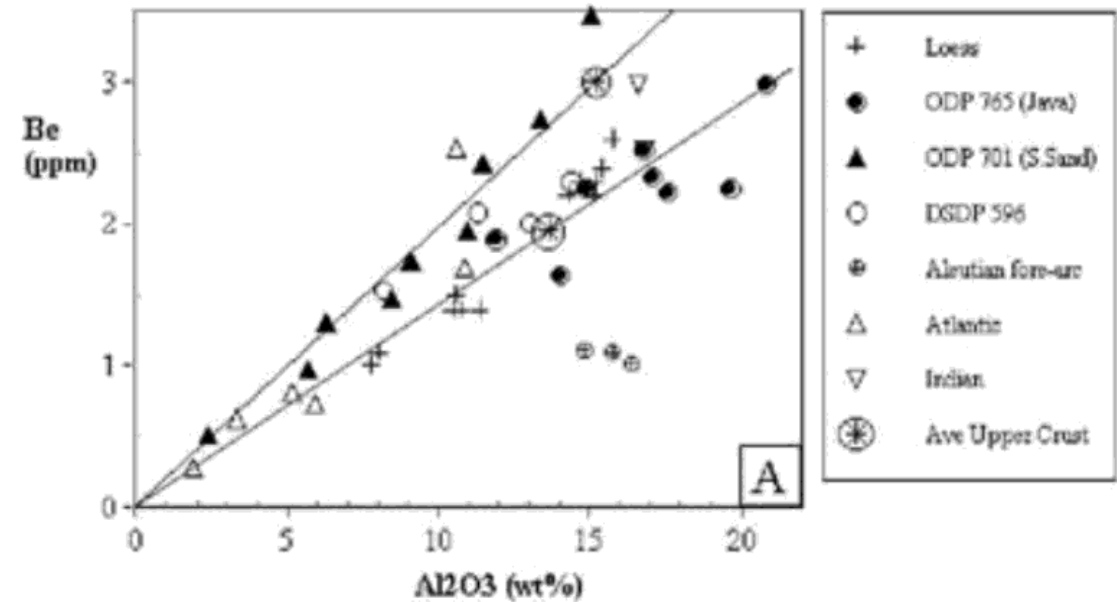
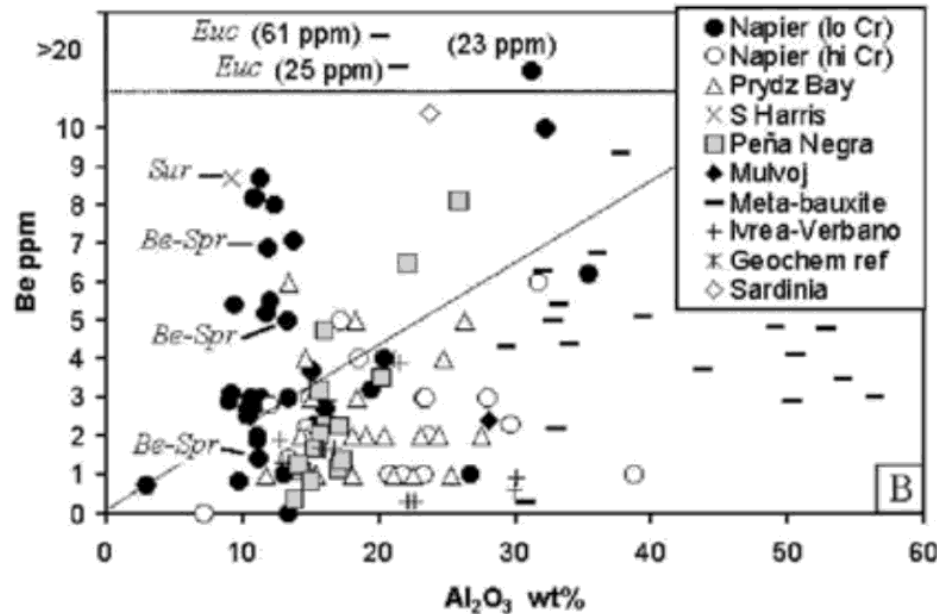


Figure 1. (a) Beryllium contents of marine and other sediments (compiled by Terry Plank; cf. Plank and Langmuir 1998). Loess is a good estimate of upper crust (Taylor et al. 1983). ODP Site 765 (Java) – Al from Plank and Ludden (1992); Be from Plank (unpublished ICP-MS data). ODP Site 701 (South Sandwich) – Al from Plank and Langmuir (1998); Be from Plank (unpubl. ICP-MS data). DSDP 596 refers to Tonga sediments from DSDP 595&6 – Al from Plank and Langmuir (1998); Be from Plank (unpublished ICP-MS data). Aleutian fore-arc sediments are dominated by arc volcanoclastics, which explains their anomalous low Be contents (data from Ryan 1989). Atlantic sediments are also from Ryan (1989), whereas the Indian Ocean sediments are from Plank (unpublished ICP-MS data). The average upper crustal values of 3.0 and 1.95 ppm Be are from Taylor and McLennan (1985) and Gao et al. (1998), respectively. (b) Whole-rock Be and Al_2O_3 contents of metapelites and related metamorphic rocks listed in Table 2, where sources of data are given. Lo Cr and Hi Cr refer to average Cr contents of Napier Complex metapelites, respectively 6 ppm and 674 ppm Cr (Sheraton 1980). Points for rocks containing euclase (Euc), surinamite (Sur) or sapphirine containing ≥ 0.2 wt % BeO, Be-Spr (Table 2) are labeled. The line is a reference passing through the estimated Be (3 ppm) and Al_2O_3 (15.2 wt %) contents of the upper continental crust (Taylor and McLennan 1985, 1995).

Beryllium: Mineralogy, Petrology, and Geochemistry

Edward S. Grew, 2018

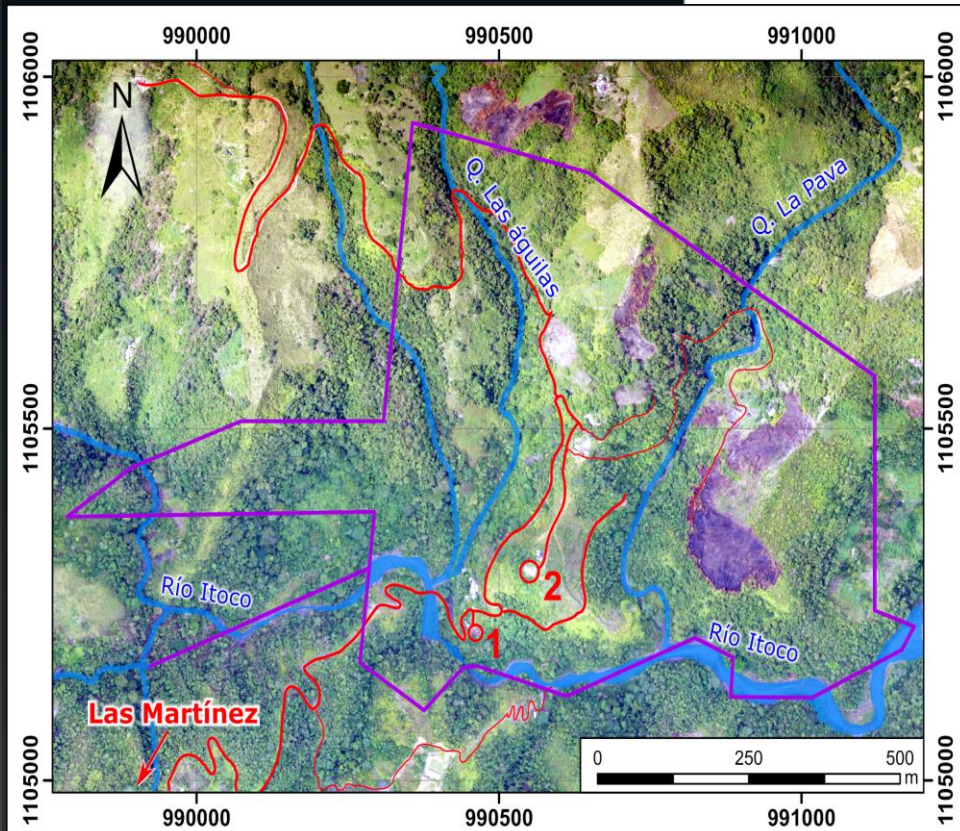


PROYECTO DE CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS CAJA DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDA DEL CINTURÓN OCCIDENTAL - 2018



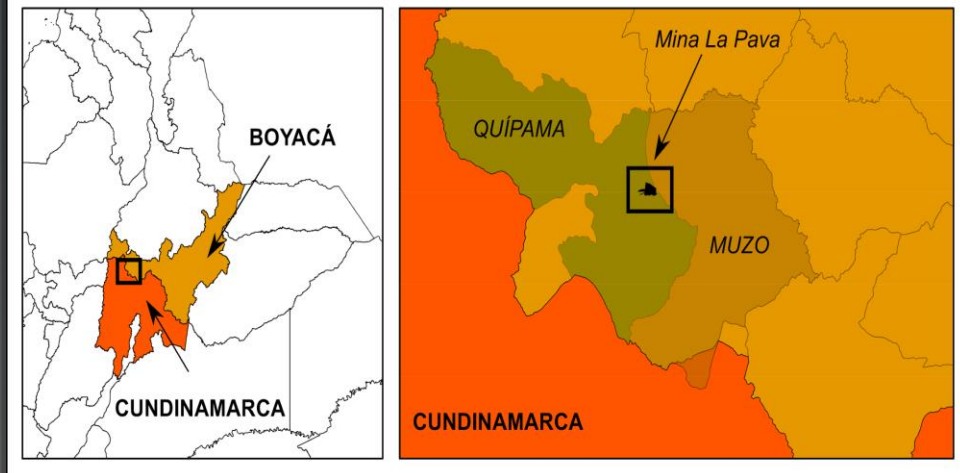
Bonilla-Osorio, G.E.¹, Castañeda, A.¹, Montaña, J.¹³, Lopez, C.L.¹, Bocanegra, L.¹, González-Durán, A.F.², García-Tolosa, J.², Cedeño-Ochoa, C.J.²

LOCALIZACIÓN



El título minero HJI-09451X se encuentra hacia el oeste del departamento de Boyacá, en el límite de los municipios de Muzo y Quípama hacia el norte del Río Itoco. La zona de estudio es accesible principalmente por una vía destapada conocida como Las Martínez visible en mapa como una línea roja y que es transitable hasta el campamento.

La vía conocida como Las Martínez es transitable desde el municipio de Quípama y desde el municipio de Muzo; sin embargo, para el desarrollo de las labores de campo de este proyecto se tomó la vía que parte desde Muzo.





PROYECTO DE CARACTERIZACIÓN LITOGEOQUÍMICA DE LAS ROCAS CAJA DE MINERALIZACIONES DE ESMERALDA DEL CINTURÓN OCCIDENTAL - 2018

OBJETIVO GENERAL

1. Entender la relación entre la secuencia sedimentaria y la mineralización de esmeraldas a partir de análisis geoquímicos y mineralógicos de bajo costo.

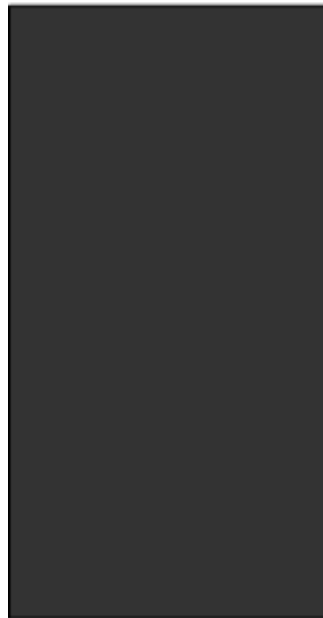
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Trabajo de Campo:

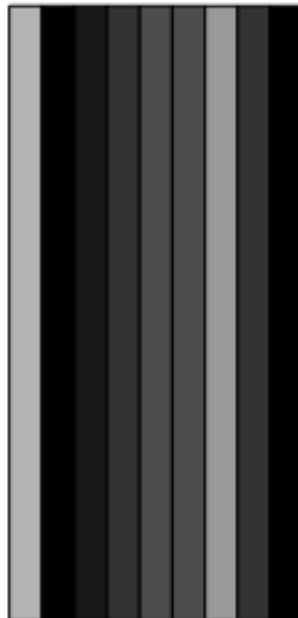
1. Realizar el levantamiento estructural superficial y subterráneo de una mina en el cinturón Esmeraldífero Occidental.
2. Realizar el levantamiento de una columna estratigráfica detallada de una mina en el cinturón Esmeraldífero Occidental.
3. Realizar la toma de muestras sistemática para análisis mineralógicos y geoquímicos.



Afloramiento



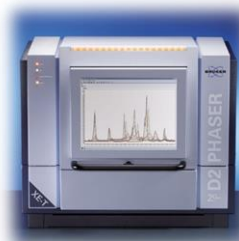
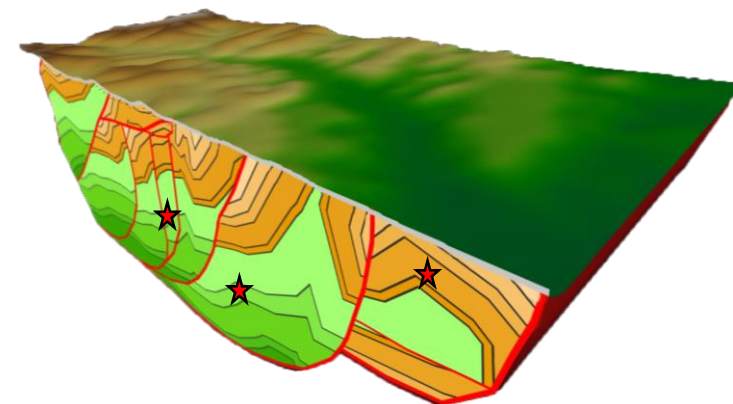
**Levantamiento
Estratigráfico**

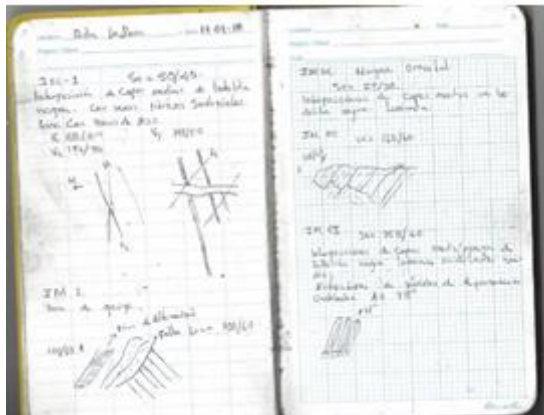
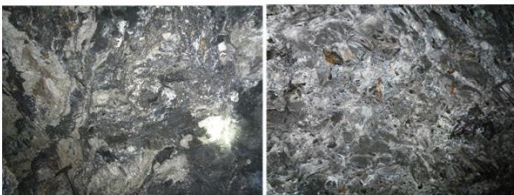
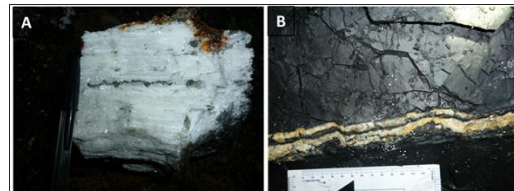
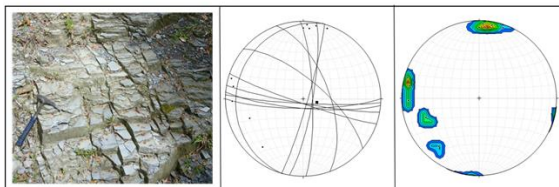
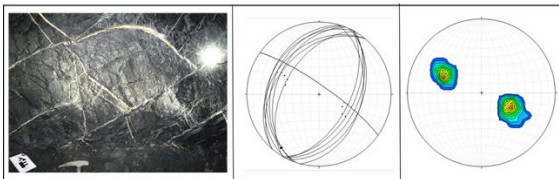
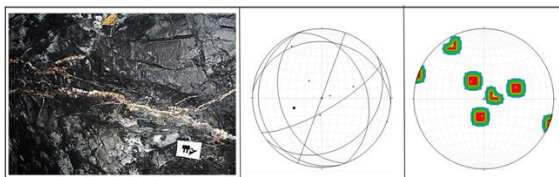


**Caracterización
Litogeoquímica**

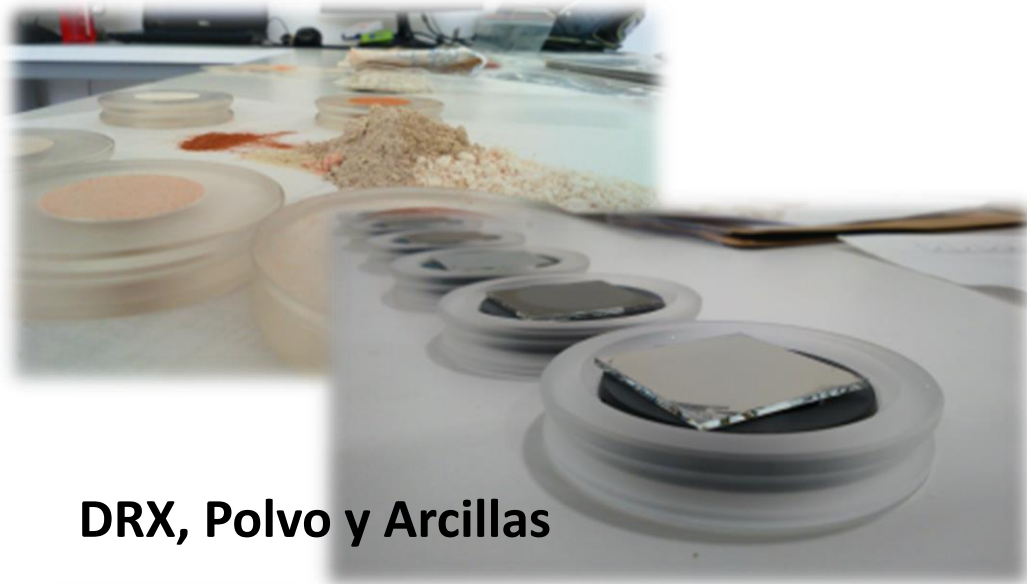


Geometría del depósito a partir del modelo estructural.

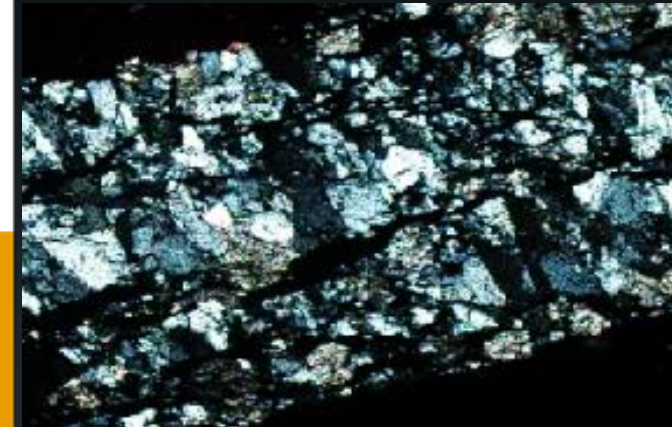
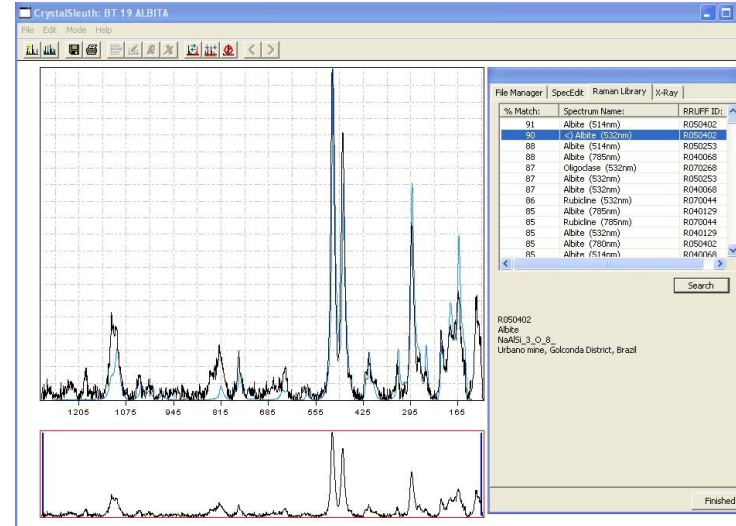


[illegible]

MÉTODOS DE ANÁLISIS



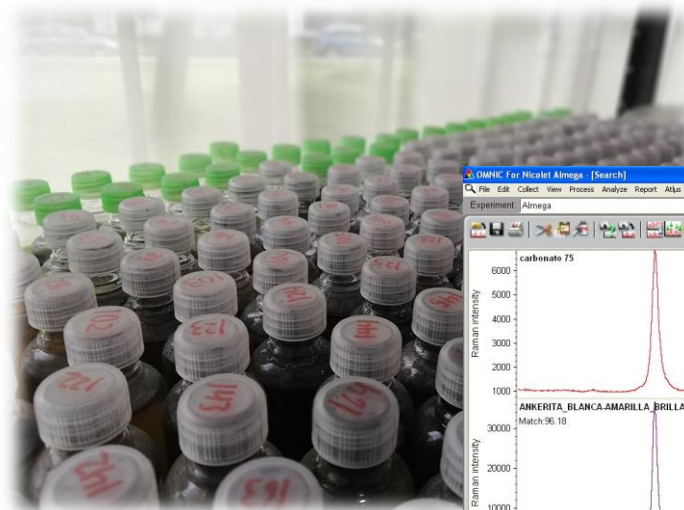
DRX, Polvo y Arcillas



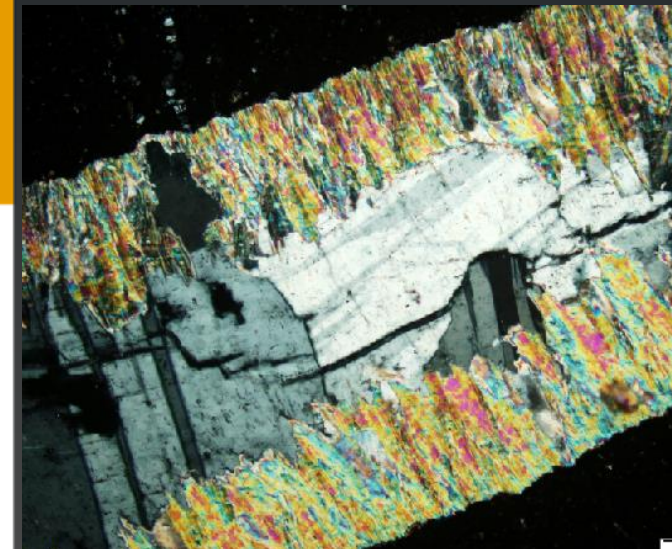
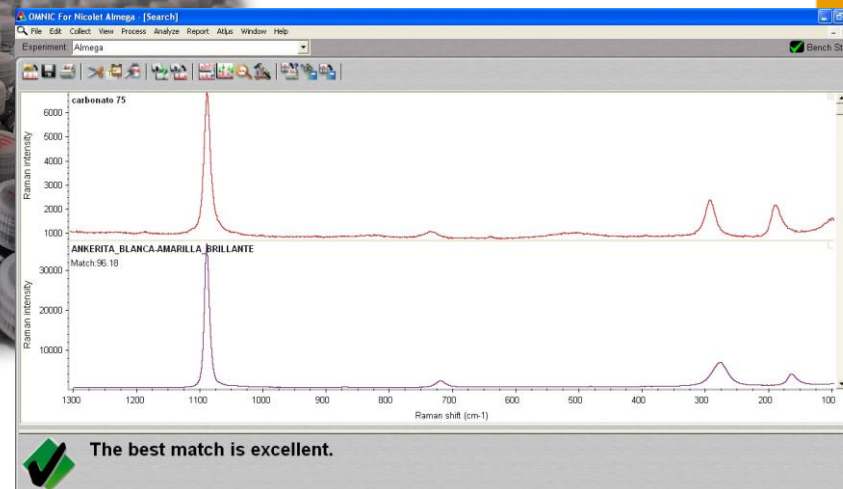
Petrografía



ED-XRF



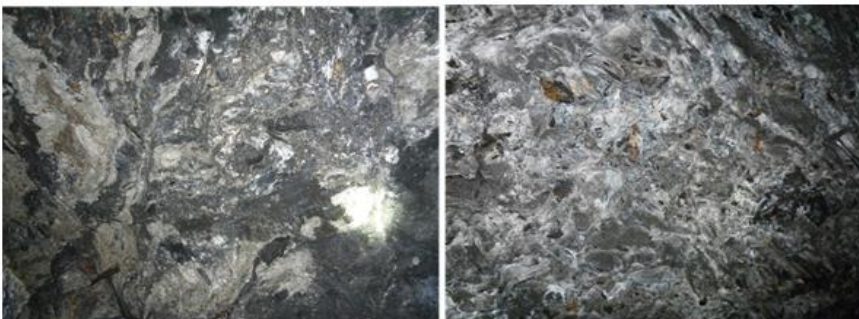
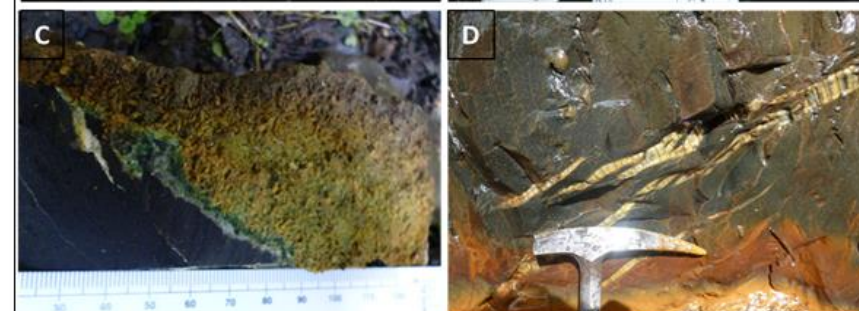
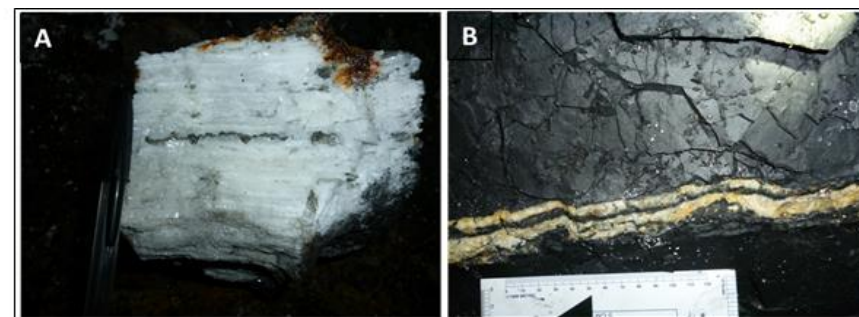
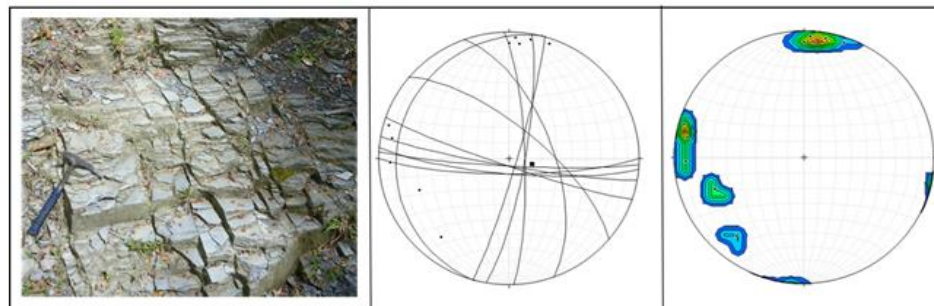
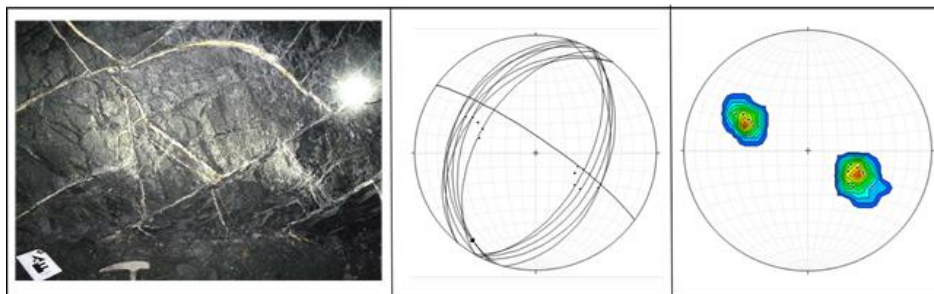
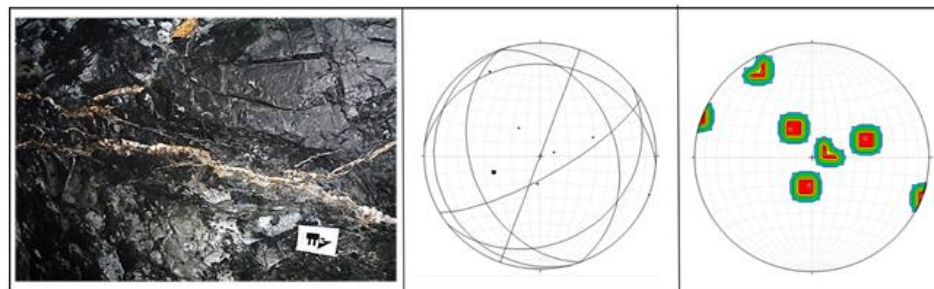
Micro Raman





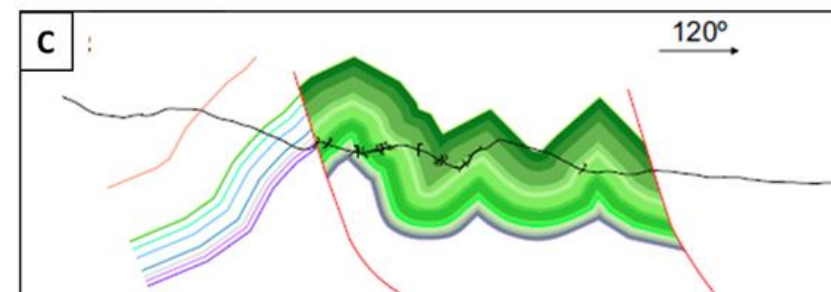
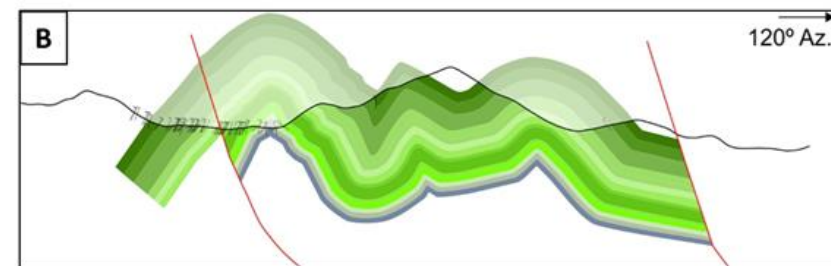
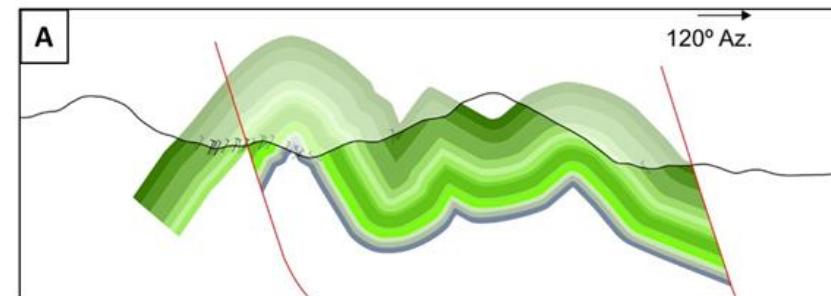
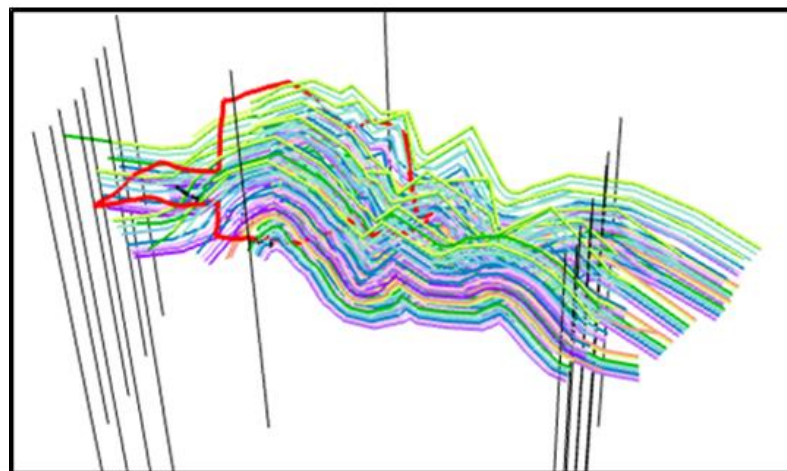
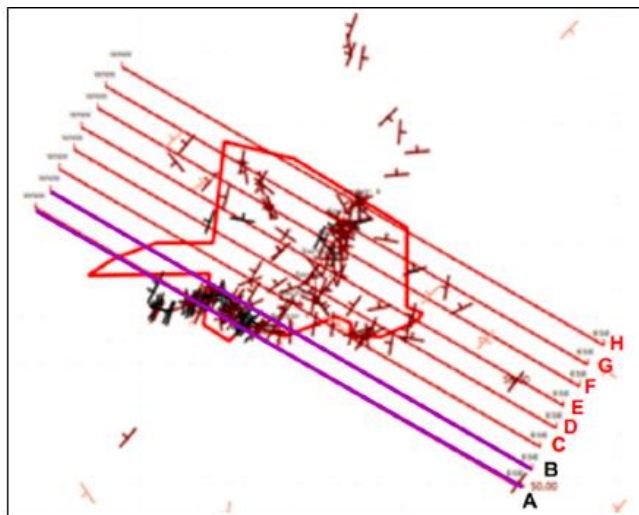
Principales eventos de deformación identificados:

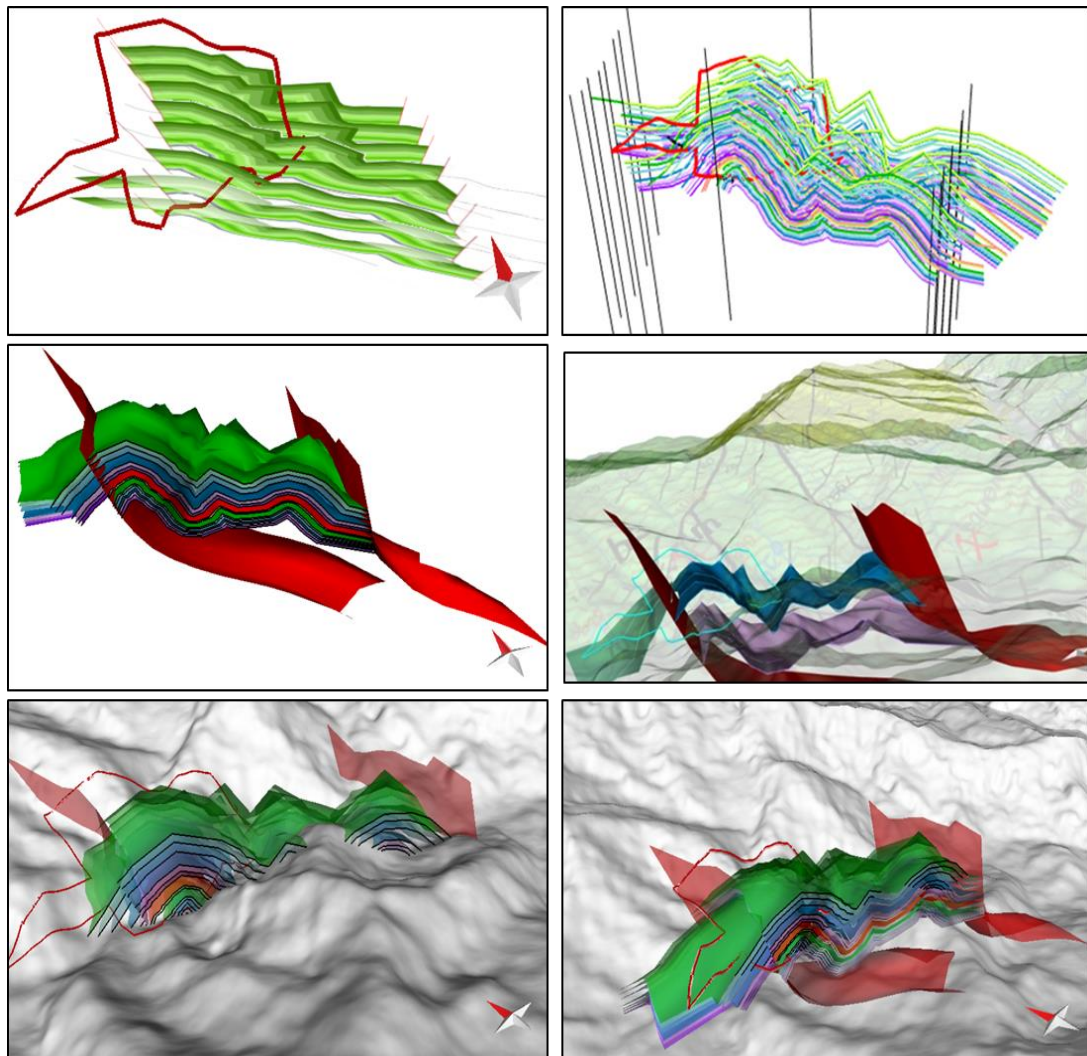
Fallas, brechas, pliegues y fracturas





Modelamiento de estructuras a partir de mas de 500 datos de superficie y tunelería.





SISTEMAS DE FALLAS Y PLIEGUES

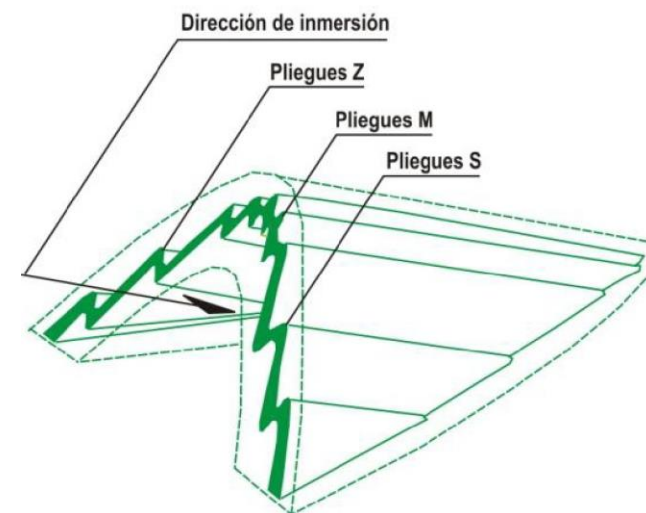
Se identificaron sistemas de deformación asociados a:

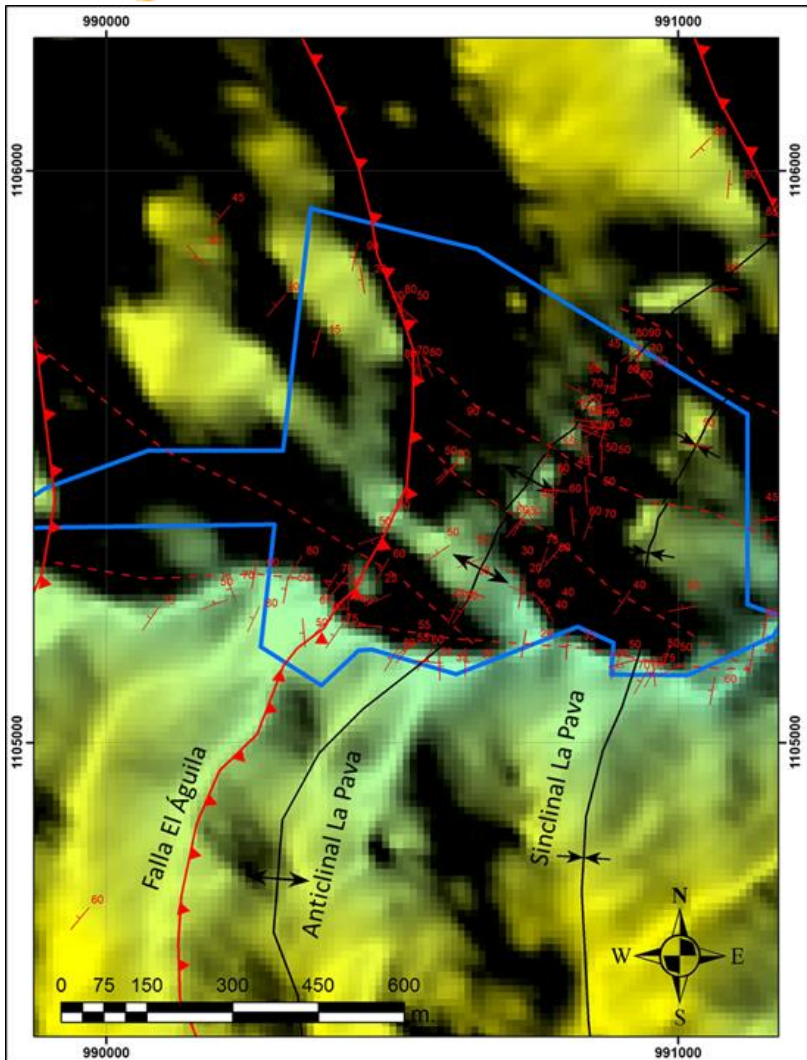
Fallas – El Águila

Fracturas – Transversales NW-SE

Anticlinal La Pava

Sinclinal La Pava

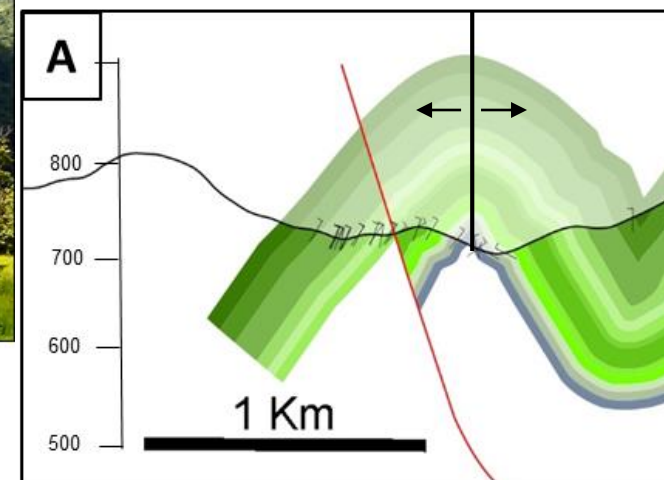




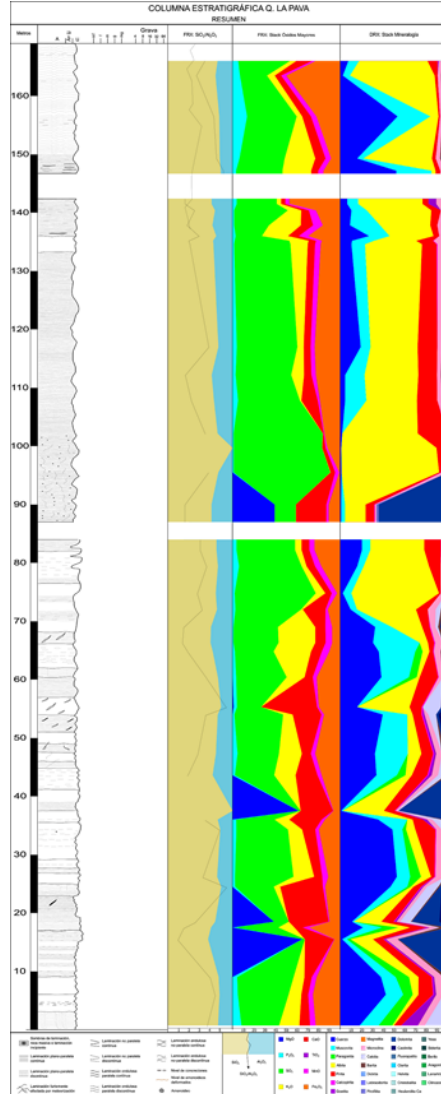
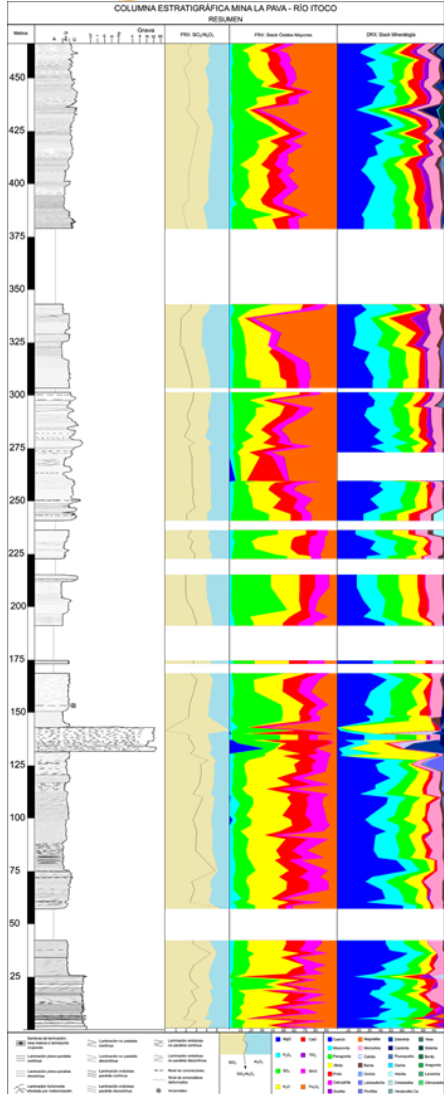
Mapa estructural - bloque minero La Pava.

Pliegues, zonas de falla, lineamientos transversales, datos estructurales y polígono del bloque minero La Pava.

Anticlinal La Pava



Falla El Águila

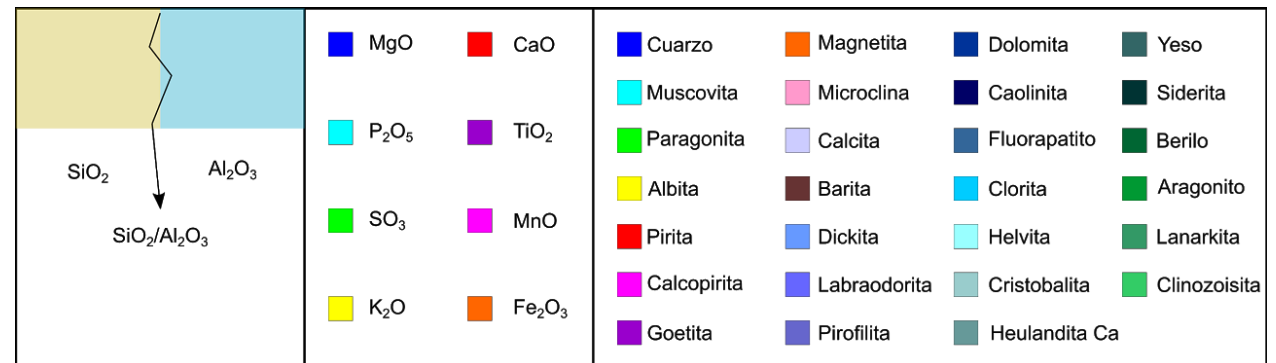


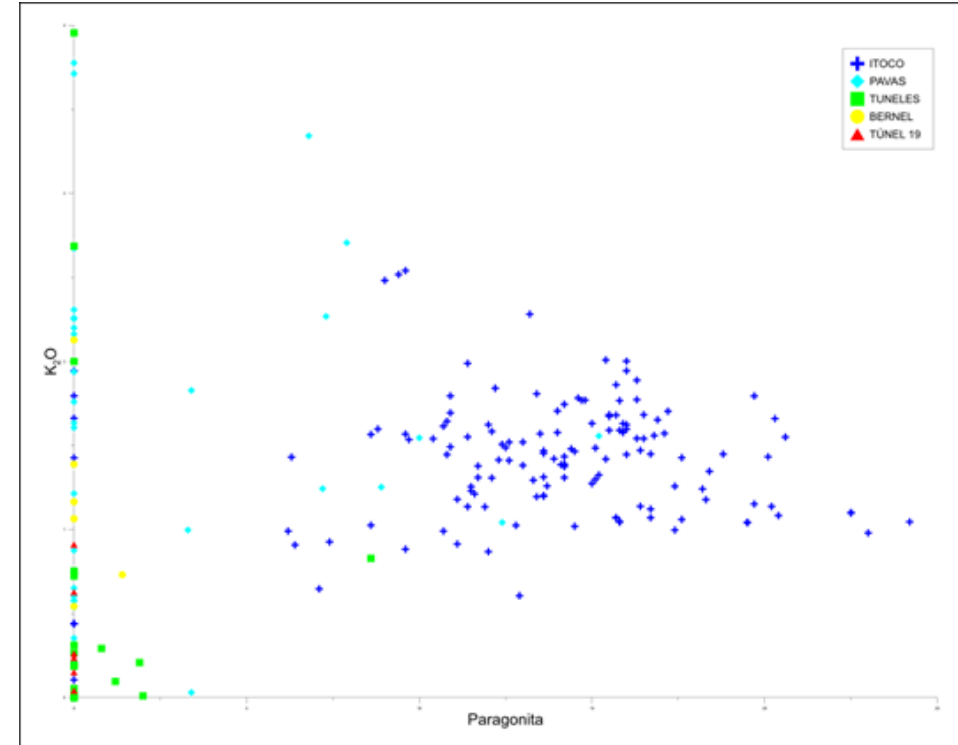
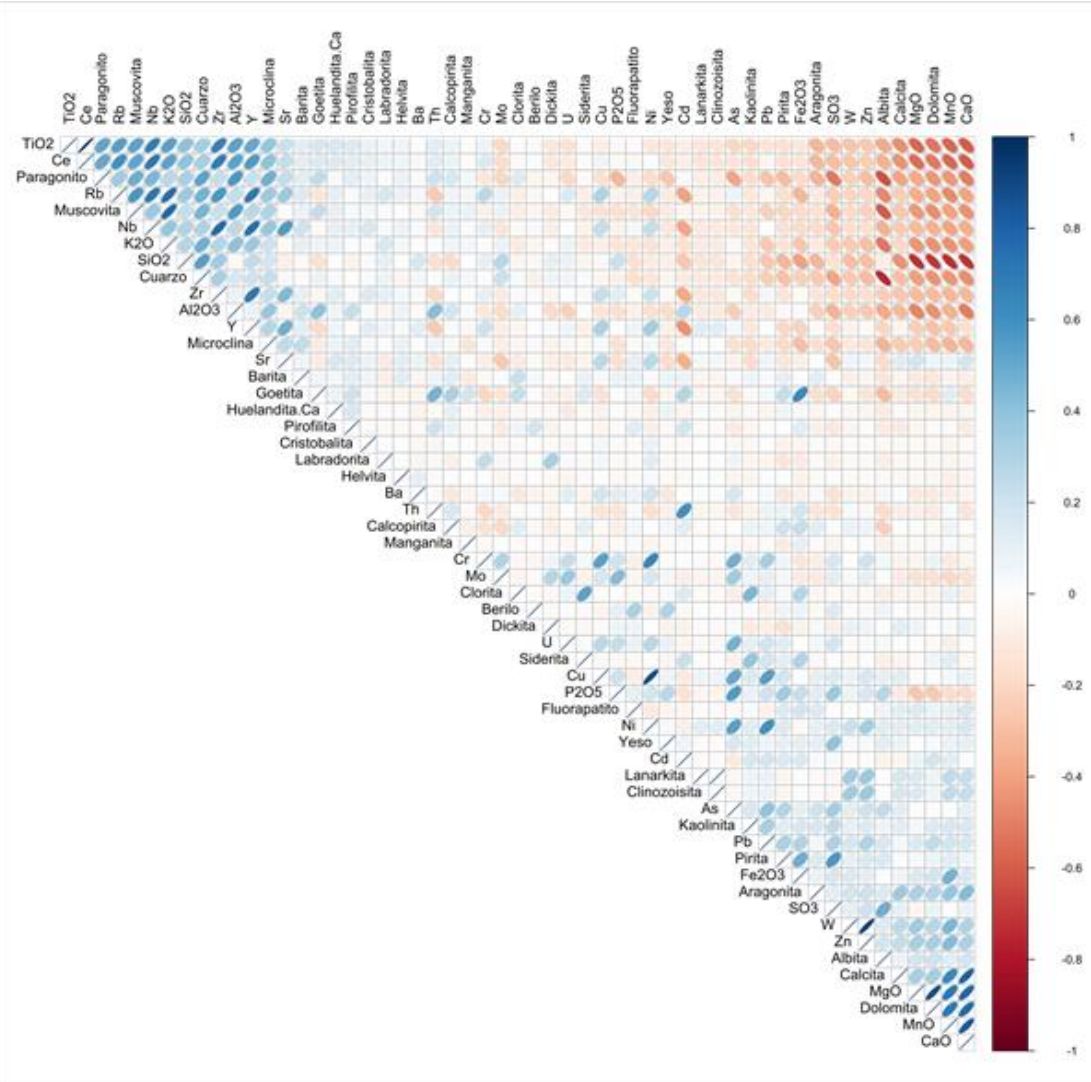
Se reconocieron dos grupos litológicos, cada uno tiende a asociarse a una columna estratigráfica:

Itoco: Lodolita con gran cantidad de materia orgánica y arcillas, micas.

Pava: Lodolitas con gran cantidad de materia orgánica, carbonatos y plagioclasa.

La cantidad de materia orgánica, la ausencia de fósiles de macro invertebrados, la ausencia de bioturbación y el color oscuro de las muestras en las muestras indican que la frontera redox, que es el contacto entre el agua que tiene alto contenido de oxígeno y el agua con bajo contenido de oxígeno en la columna de agua, se encontraba encima del interface agua sedimento, indicando condiciones anóxicas (Potter *et al.*, 2005).





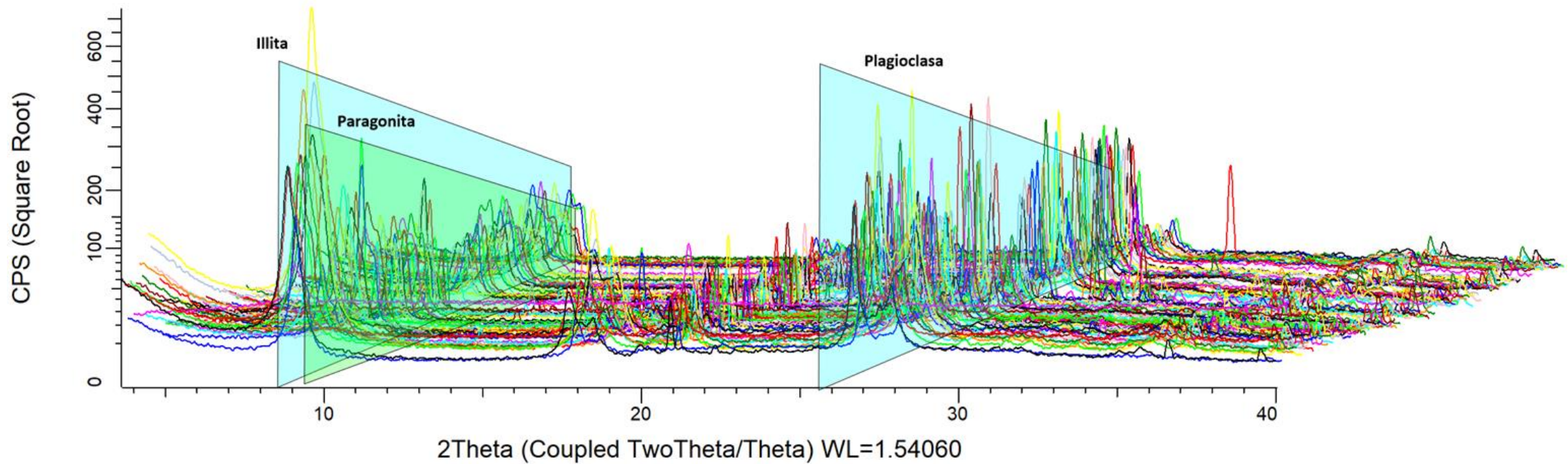
Dispersión de datos geoquímicos que relaciona el contenido de goetita y de óxido de hierro. En cruces azul oscuro se muestran los datos correspondientes a la columna de Itoco, en rombos color azul claro los correspondientes a la columna de la pava, en cuadros verdes los datos recolectados en diferentes túneles, en círculos amarillos las muestras del túnel Bernel y en triángulos rojos las muestras del túnel 19.



COLUMNA RÍO ITOCO

Mineralogía dominante.

Cuarzo, Albita, Microclina, pirita, calcopirita, Illita-Paragonita

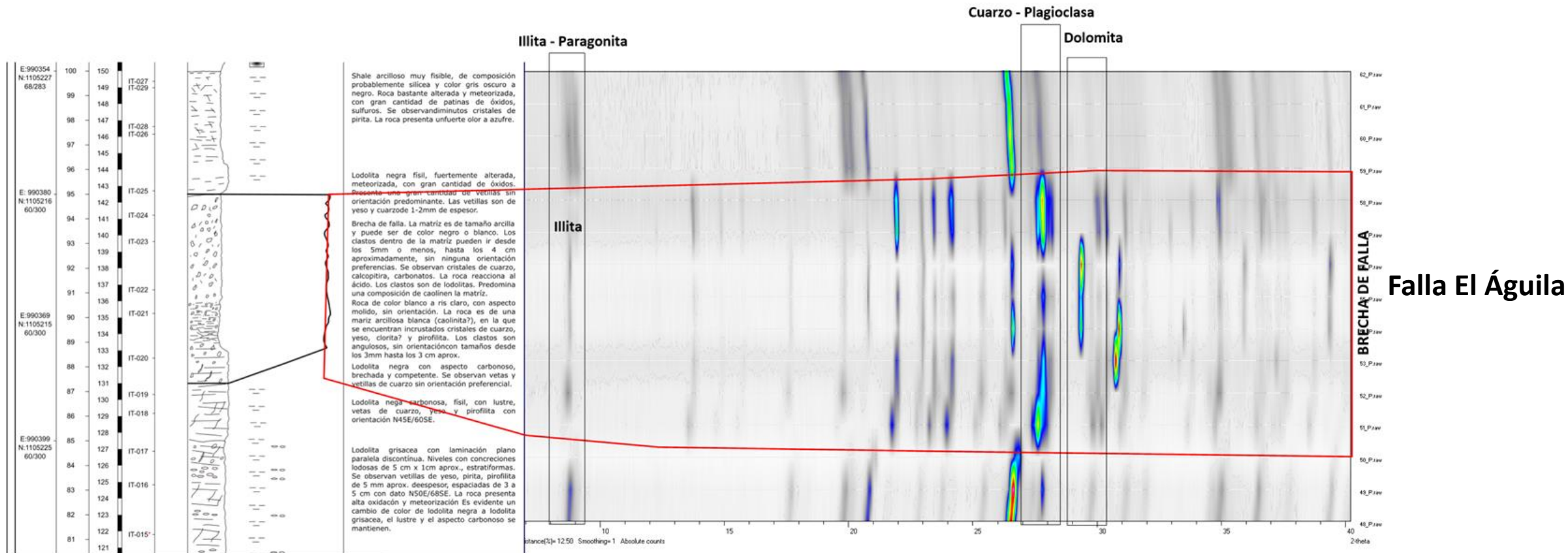




COLUMNA RÍO ITOCO

Mineralogía dominante.

Cuarzo, Albite, Microclina, pirita, calcopirita, Illita-Paragonita



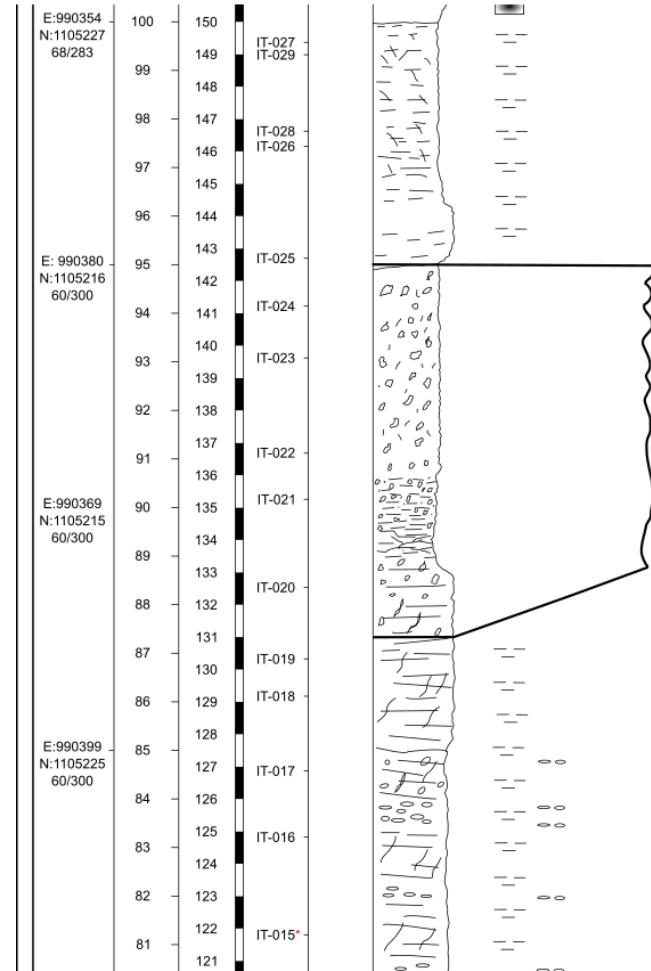


COLUMNA RÍO ITOCO

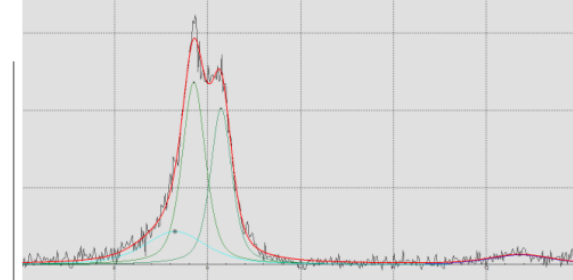
Mineralogía dominante.

Cuarzo, Albita, Microclina, pirita, calcopirita, Illita-Paragonita

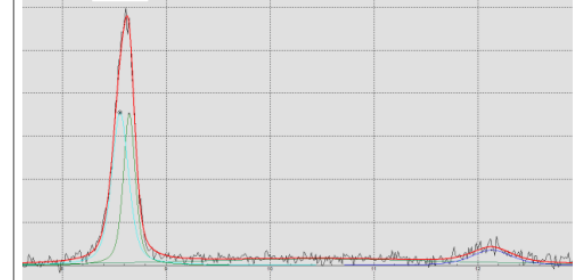
En la zona de alteración, se presenta una transformación de los minerales arcillosos, pérdida de paragonita, ganancia de illita (2M1) y recrecimiento de plagioclasas.



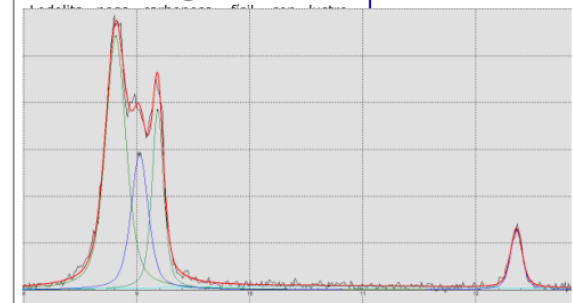
Illita - Paragonita



Lodolita negra fisil, fuertemente alterada, meteorizada, con gran cantidad de óxidos. Presenta una gran cantidad de vetillas sin orientación dominante. Las vetillas son de yeso y cuarzo de 1-2mm de espesor.



Lodolita negra con aspecto carbonoso, brechada y competente. Se observan vetas y vetillas de yeso y cuarzo preferencial.

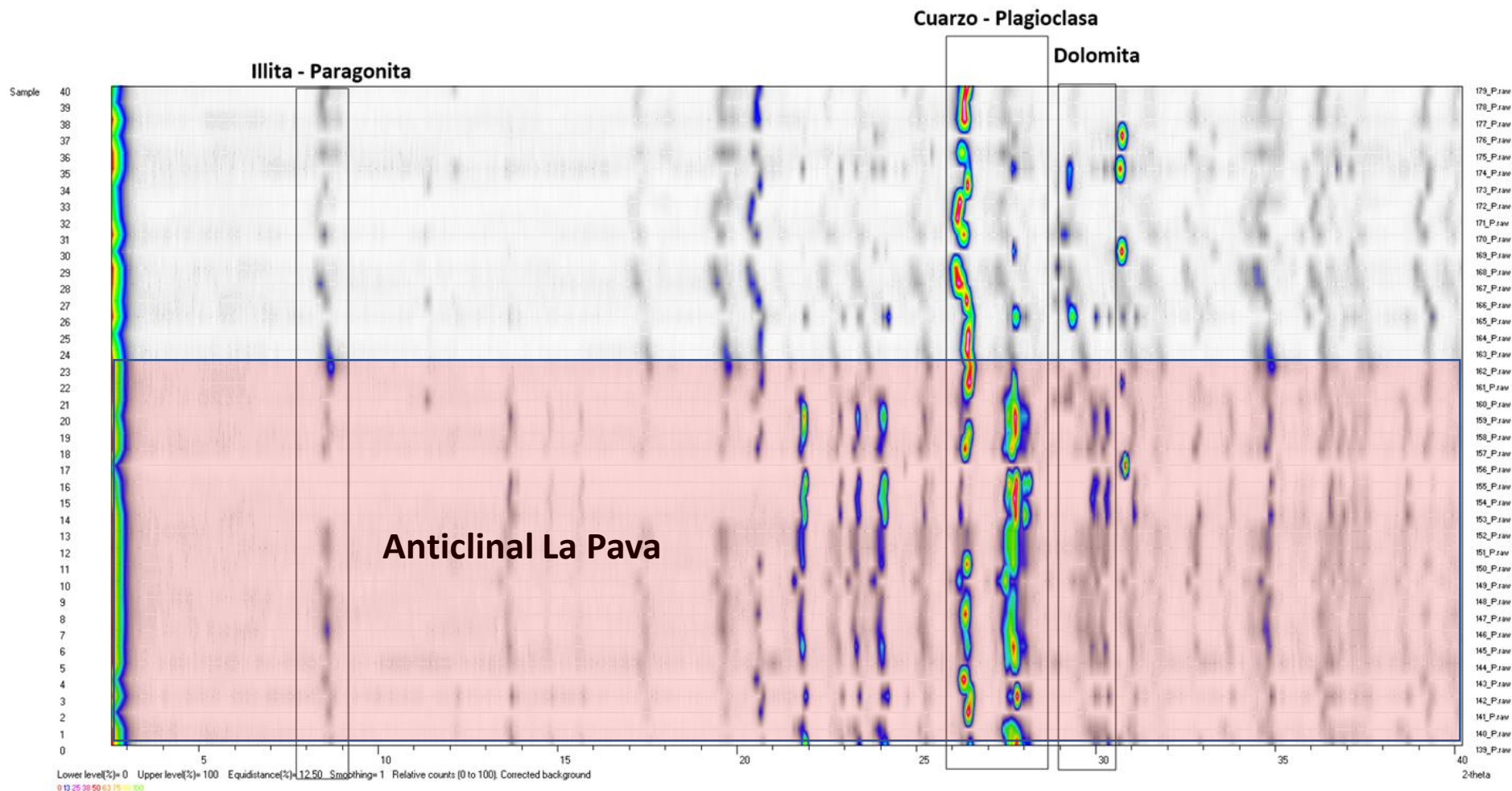


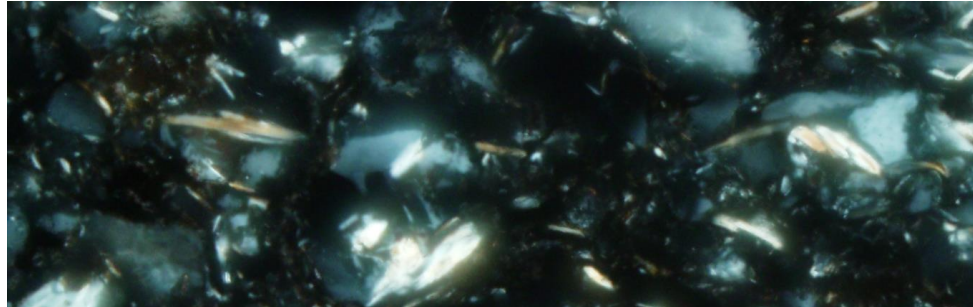


COLUMNA QUEBRADA LA PAVA

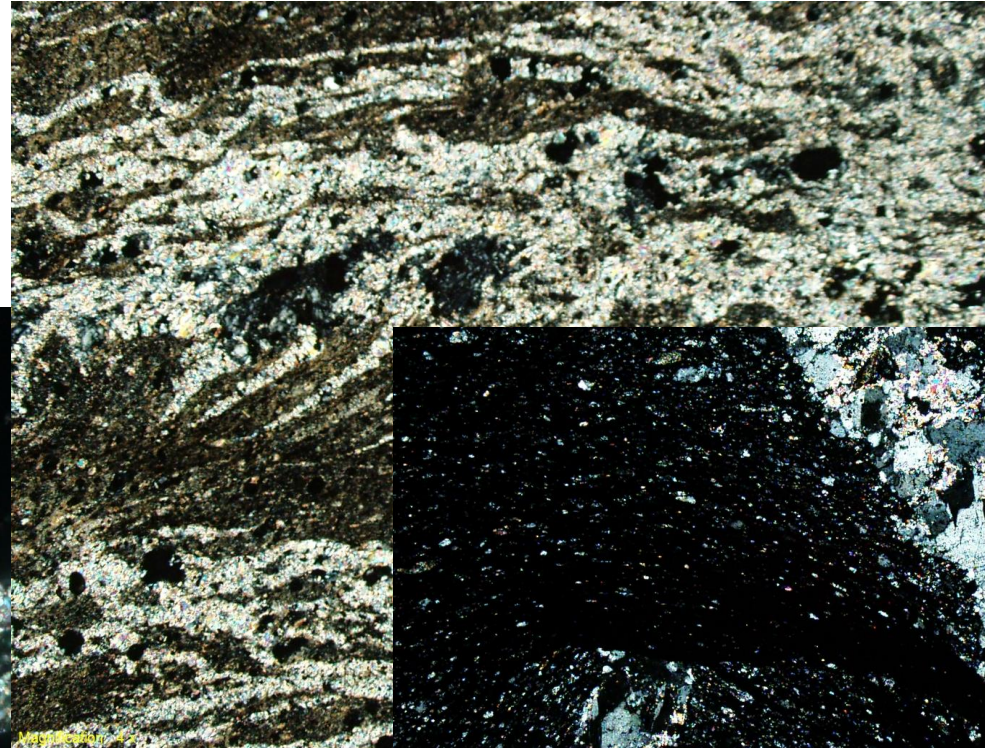
Mineralogía dominante.
Cuarzo, Albita,
Microclina, pirita,
calcopirita, Illita-
Paragonita

En la zona de alteración,
se presenta una
transformación de los
minerales arcillosos,
pérdida de paragonita,
ganancia de illita (2M1)
y recrecimiento de
plagioclasas.

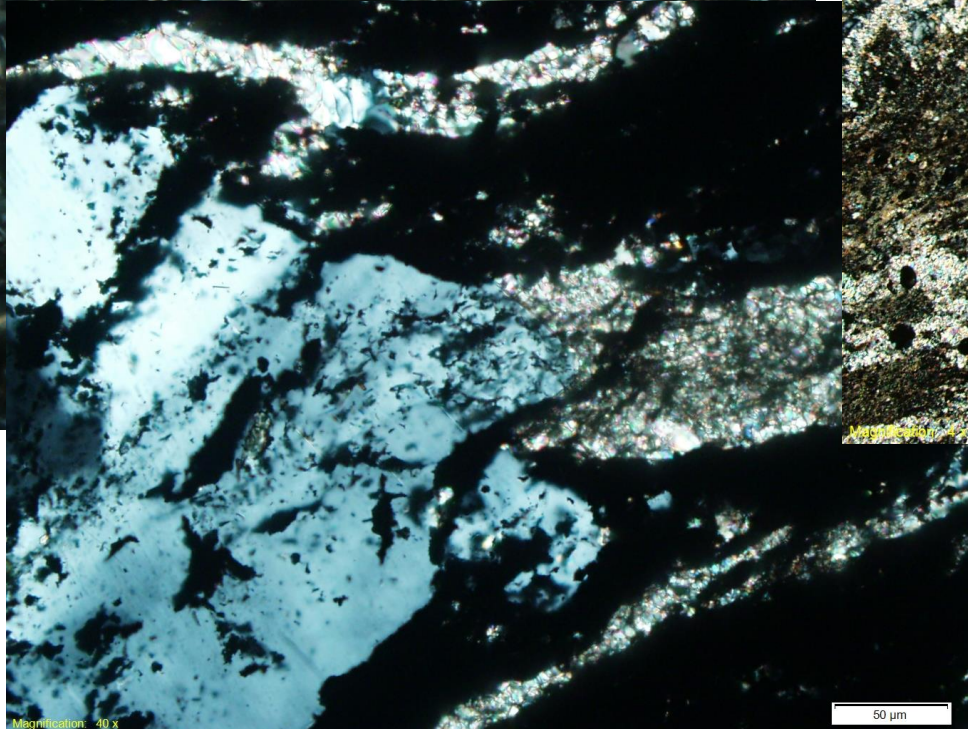




Magnification: 40 x



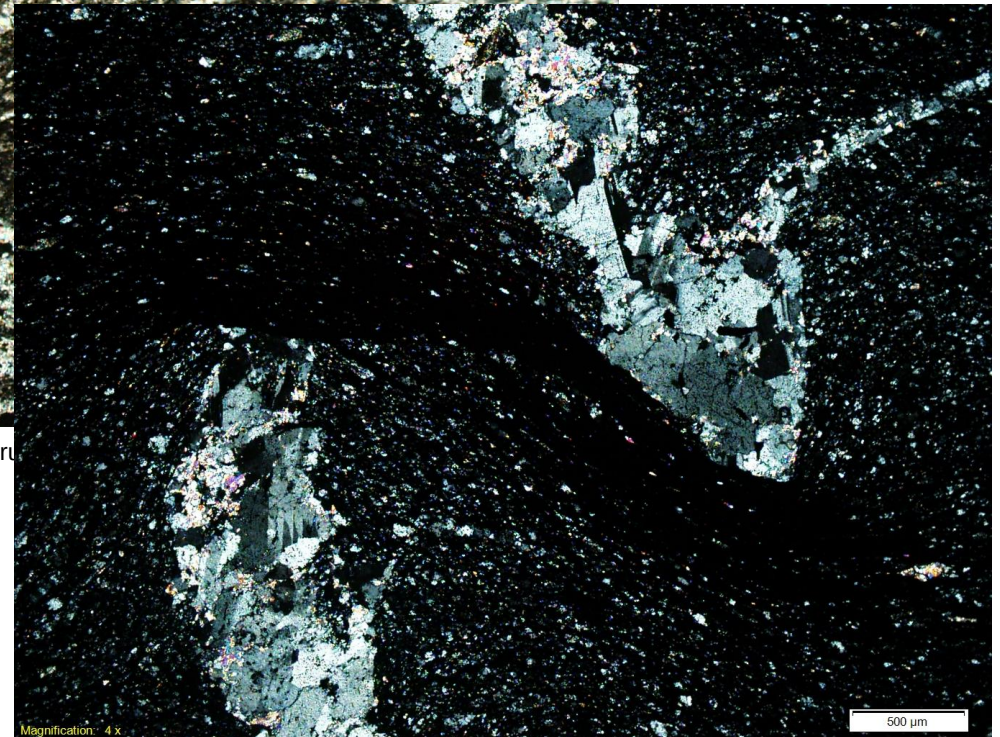
Magnification: 40 x



Magnification: 40 x

50 µm

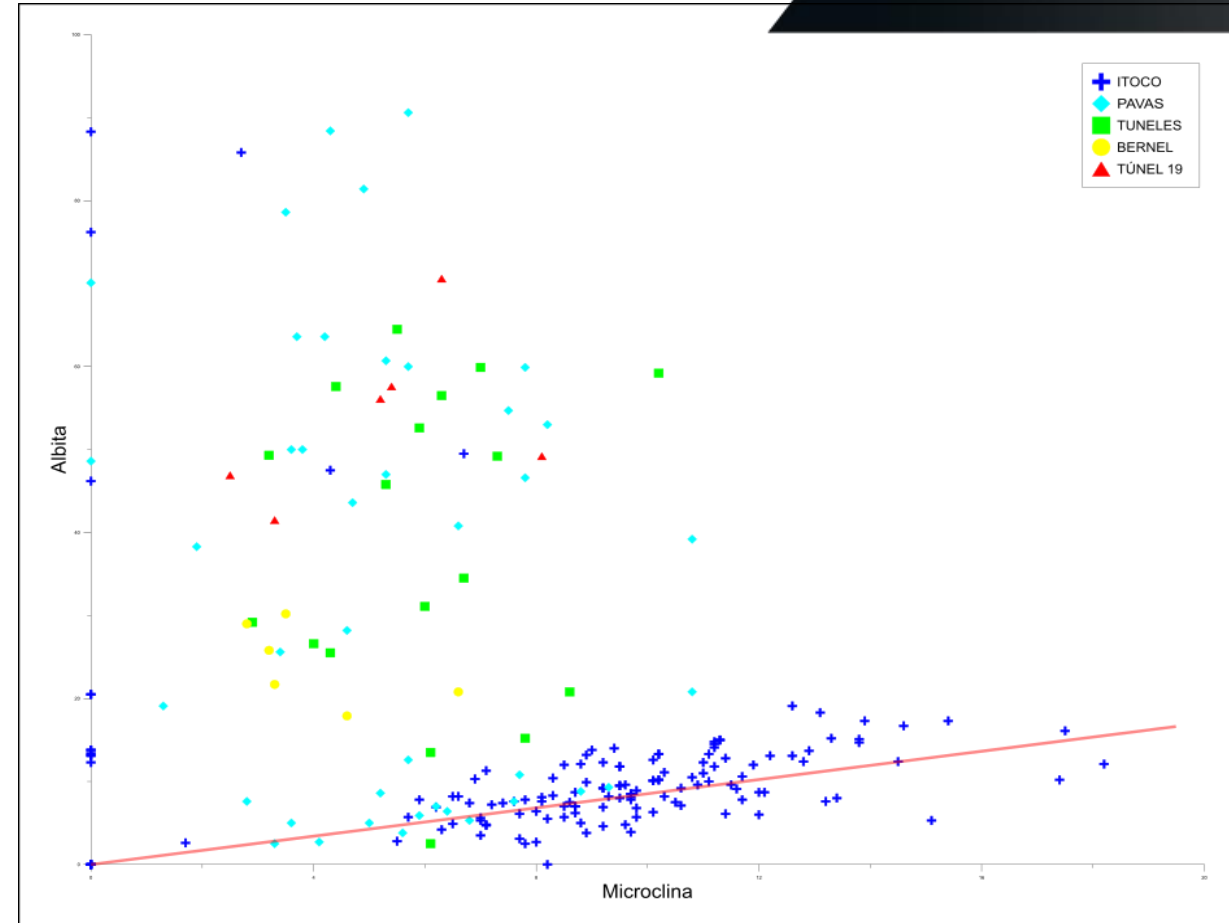
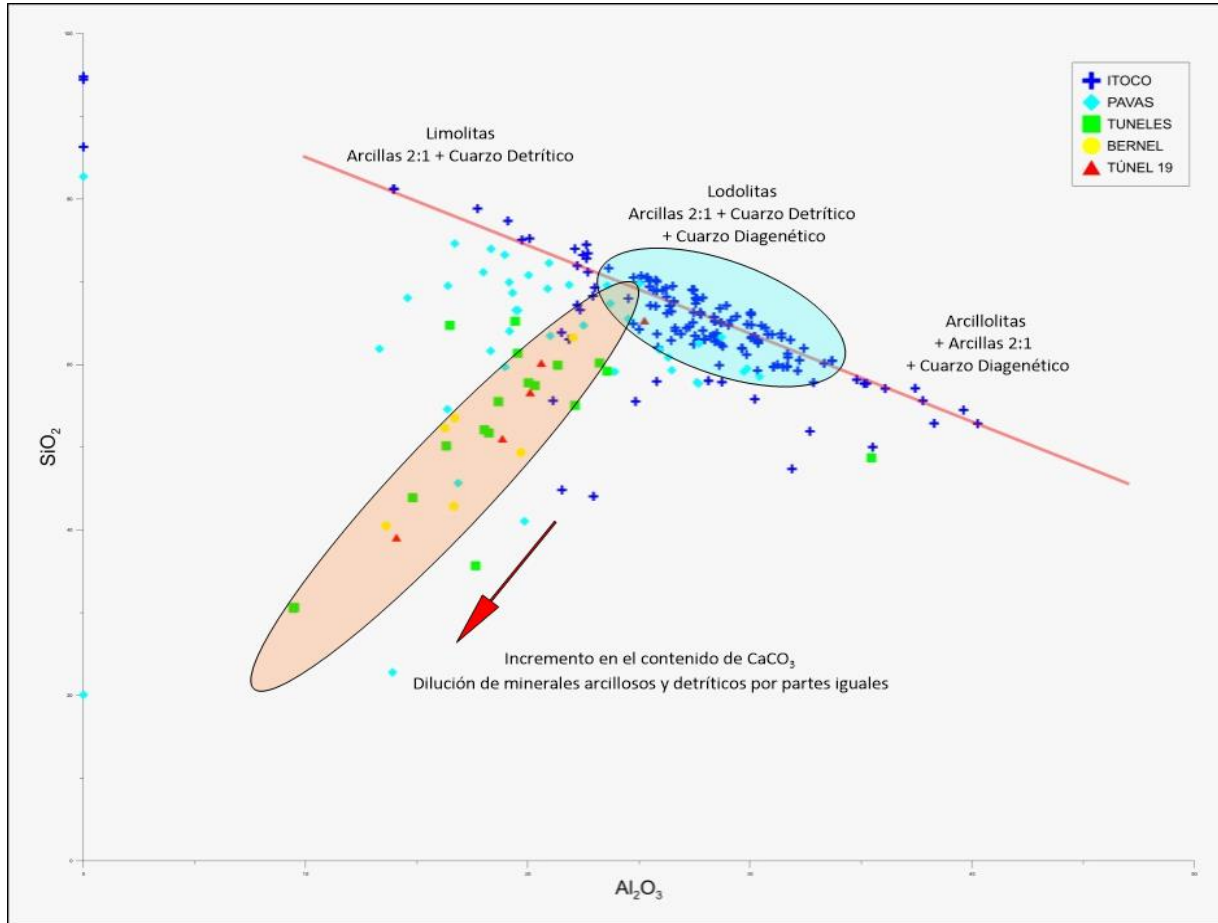
Tomada con nicoles cruzados

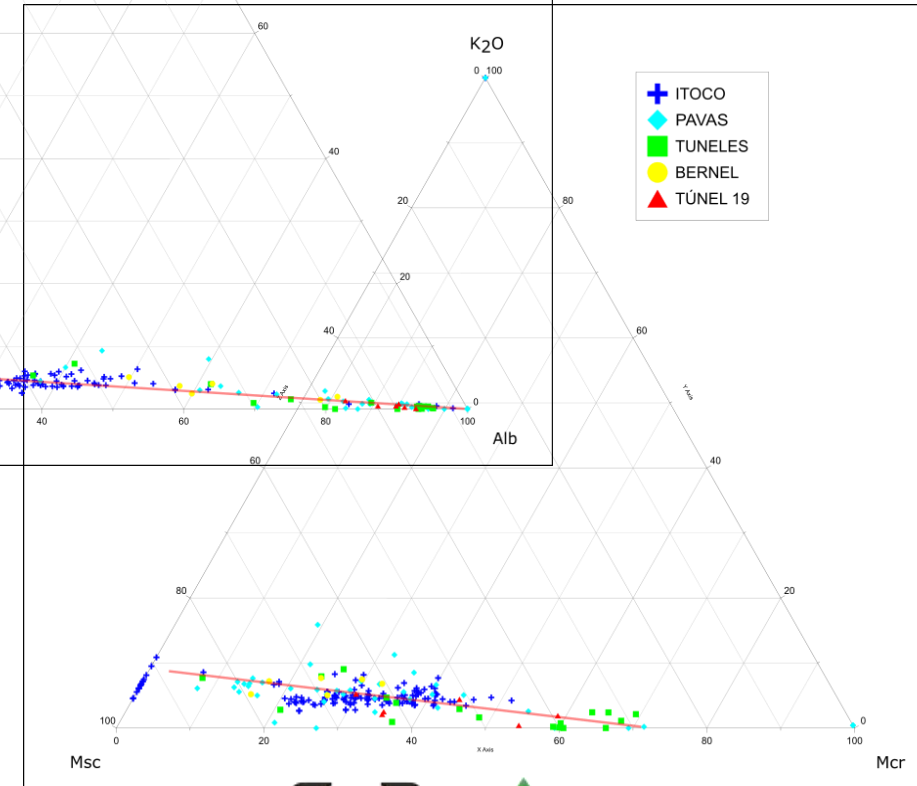
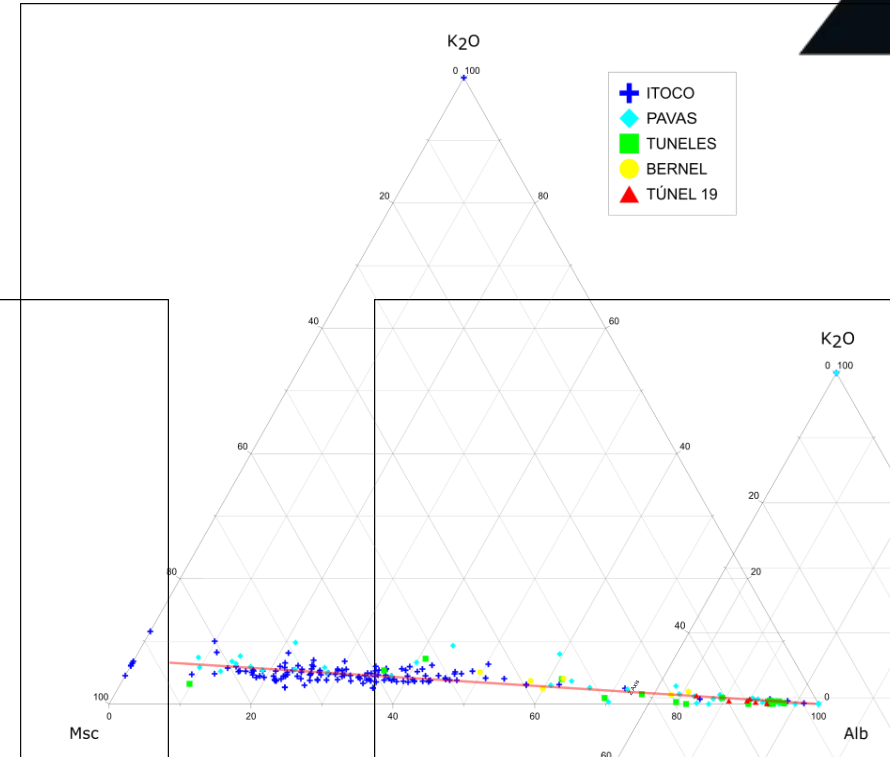
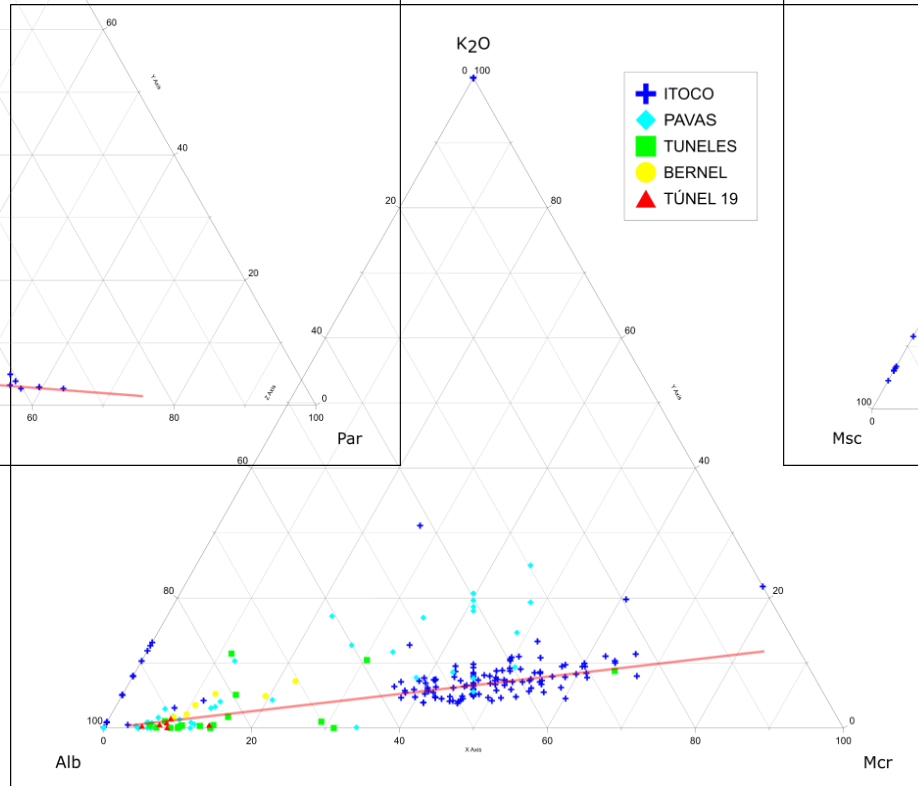
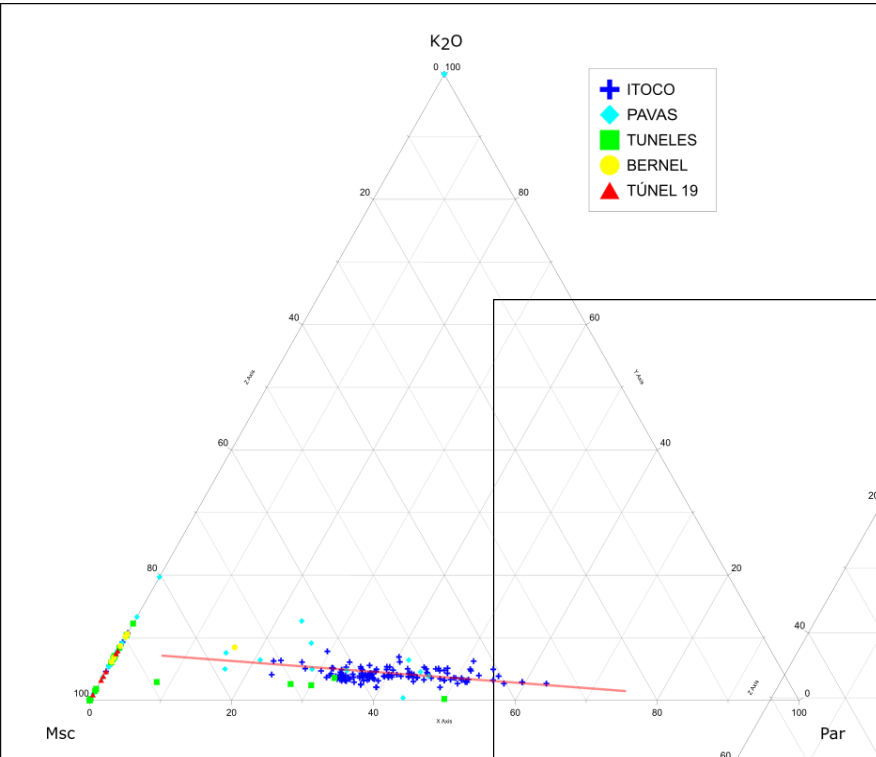


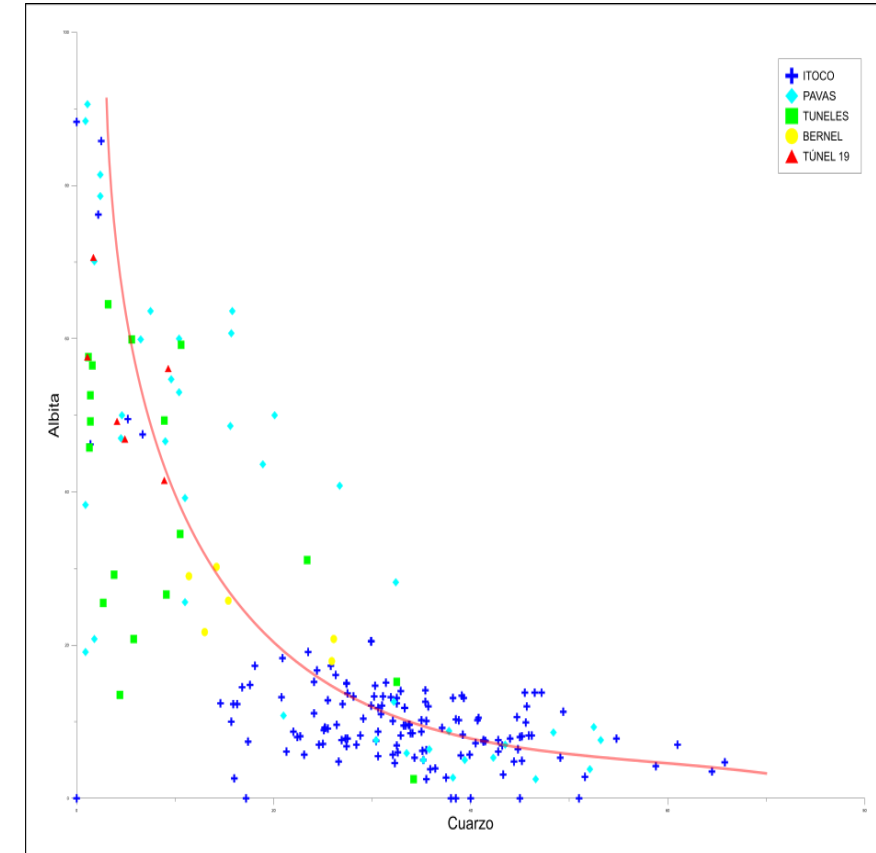
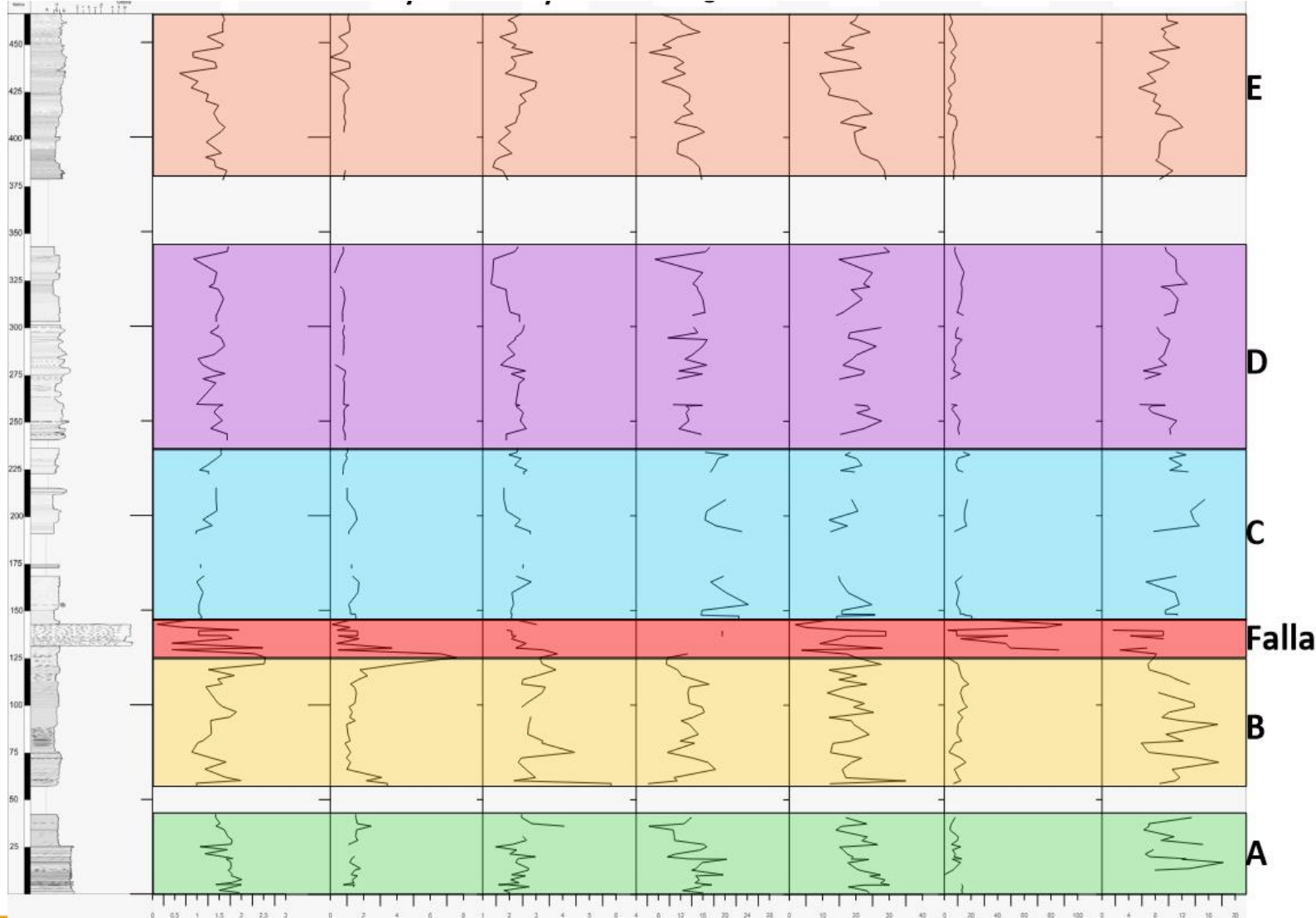
Magnification: 4 x

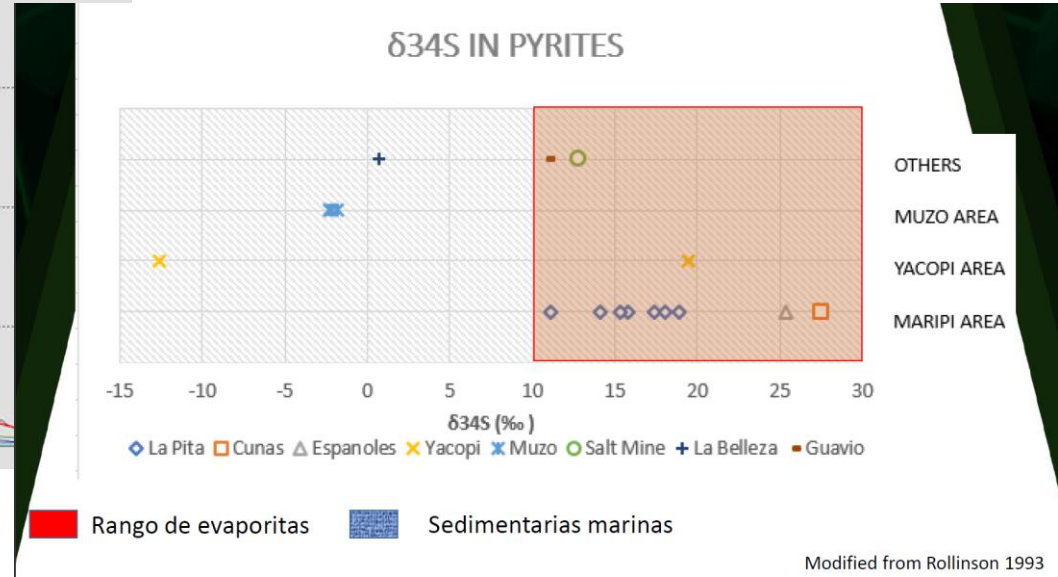
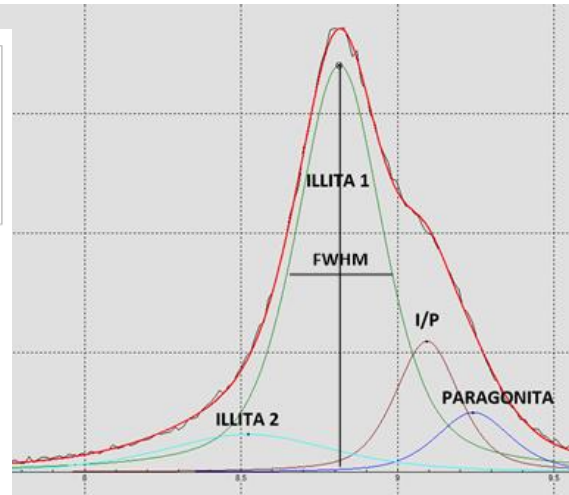
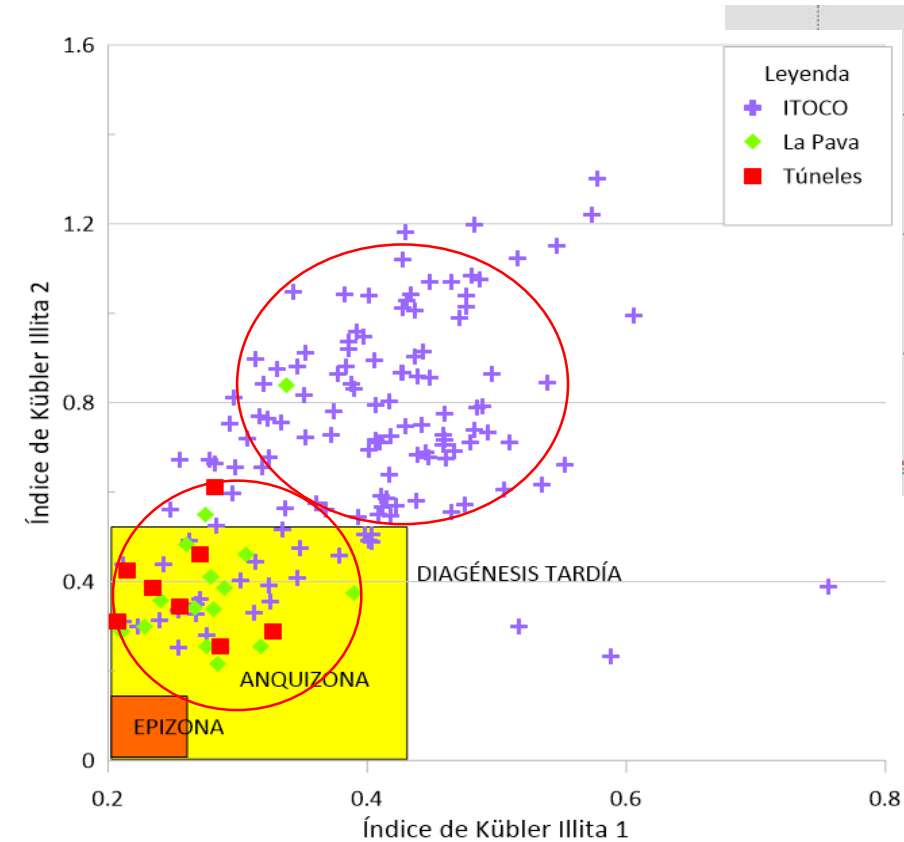
500 µm

Imagen de plagioclasa y carbonato con materia orgánica de la muestra Pv 17 + 1.2



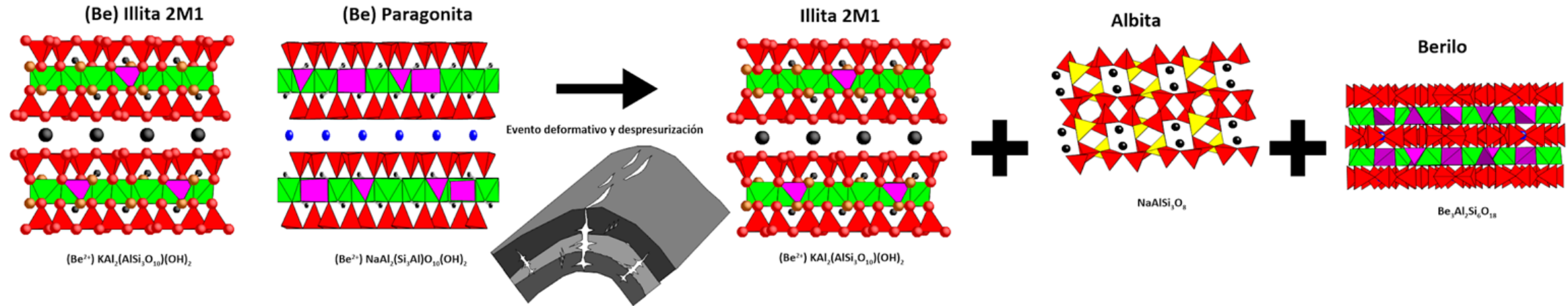






Felipe Niño en 2017 define la naturaleza de los fluidos responsables en las mineralizaciones de esmeraldas a partir de análisis de isotopos estables, **concluye que estos son de tipo sedimentario y metamórfico.**

Análisis de cristalinidades de Illitas definen rangos de temperatura alrededor de los **250°C** y estados diagenéticos desde la **diagénesis tardía** hasta el **metamorfismo de muy bajo grado**.



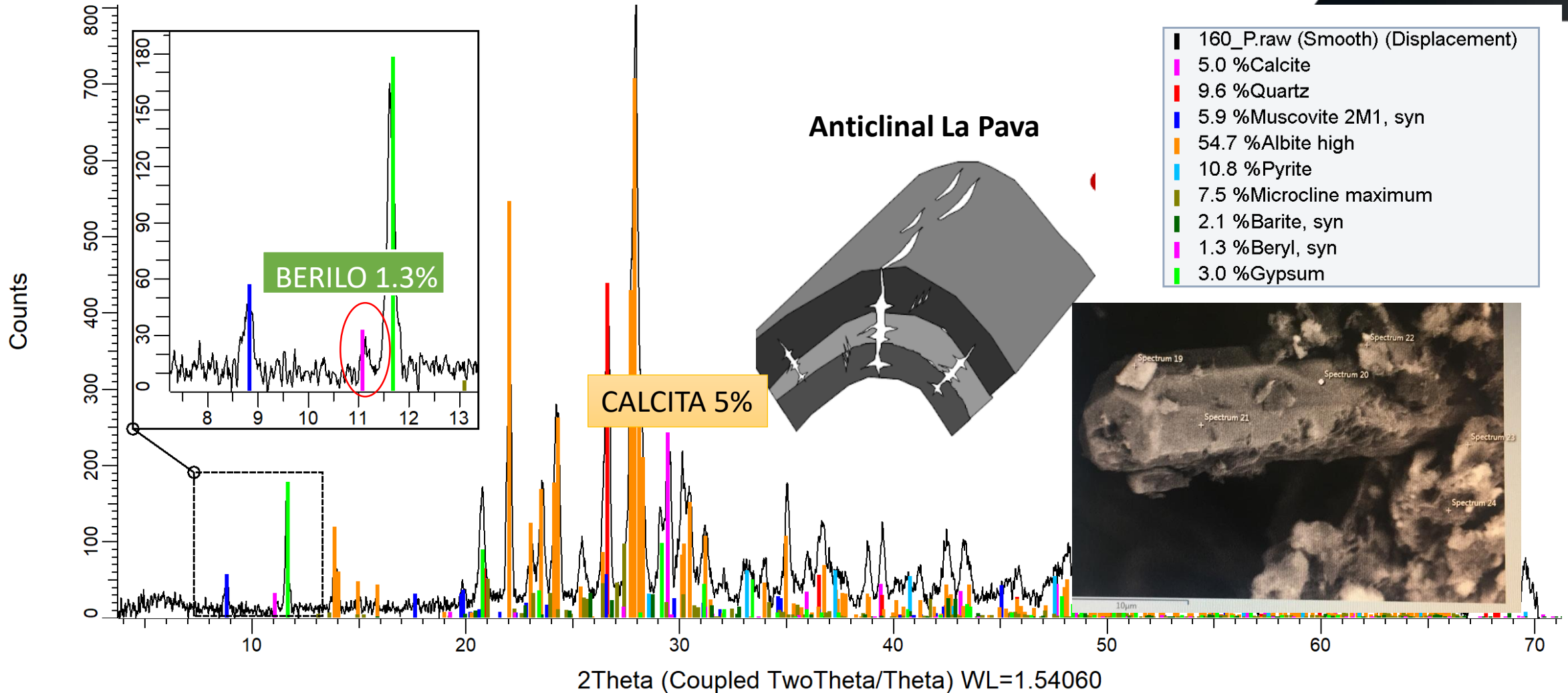
Ujueta (1994), tomó 26 cristales de esmeraldas de San Antonio de Yacopí, Cosquez, Muzo, Pacho y Chivor, por medio de medidas microtermométricas en inclusiones fluidas, determinó las condiciones termobarométricas de su formación, obteniendo valores de entre 900 y 1000 bares, así como temperaturas de entre 300°C y 350°C.

La estabilidad de la Paragonita se presenta a presiones superiores a los 2,5 Kbar. (BLENCOE *et al*, 1993)

Banks *et al.* 2007 realiza la siguiente revisión bibliográfica: Kozlowski 1988, Ottaway 1994 y Cheilletz 1994, muestran que el Be (berilio) se mueve de los black shales durante la alteración hidrotermal. Ottaway 1994 sugiere que el Be reside con el Cr y el V en la parte orgánica del shale, y es liberado durante la reducción termoquímica de la materia orgánica a sulfato. **Cheilletz 1994 encontró 3.2 ppm Be, 208 ppm Cr y 892 ppm V, en las k - micas, y sugiere que el Be, Cr y V, se incorporó en un inicio a las k - micas precipitadas en los márgenes de las venas.**

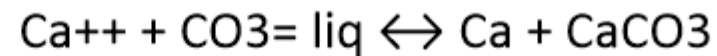
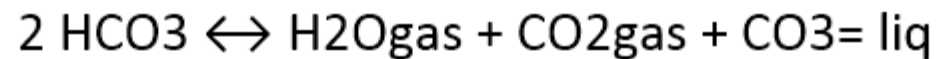
Ottaway 1994, sugiere que el Be se transporta con complejos de OH^- , pero Wood 1991, 1992, mostró que el la fluorita o la mezcla fluorita - carbonato, es mucho más eficiente transportando Be.

En el estudio de Banks *et al.* 2007, sugieren que Na - Cl es el fluido responsable del transporte de Be. Sugieren que la mezcla del fluido rico en Ca con el fluido Na - Cl, causa precipitación de - fluorita y parisita, lo que lleva a la desestabilización de los complejos de Be - F y el crecimiento de esmeraldas.

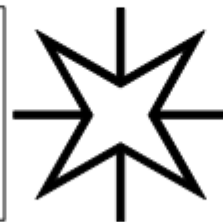
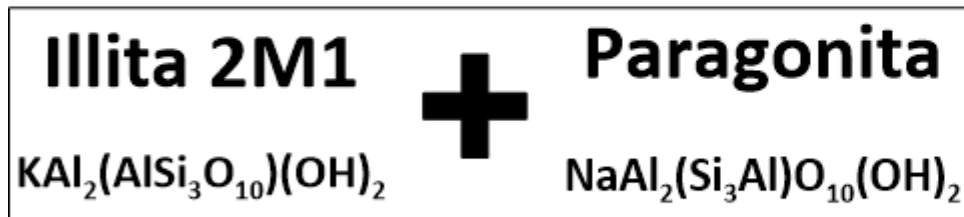




- Sucesión sedimentaria con características particulares heredadas del medio de depósito y de los procesos diagenéticos.
- Diferenciación de capas asociadas a las particularidades de los procesos mencionados anteriormente.
- Eventos deformativos (pliegues y fallas) producto del levantamiento de la Cordillera Oriental generando cambios en las condiciones de presión del sistema (< 2,5 Kbar).
- Despresurización y cambio de fase de minerales arcillosos como la paragonita en albita y precipitación de carbonatos por procesos de “Boiling”.



Diagénesis + sobrepresión de fluidos



Telogénesis + despresurización de fluidos



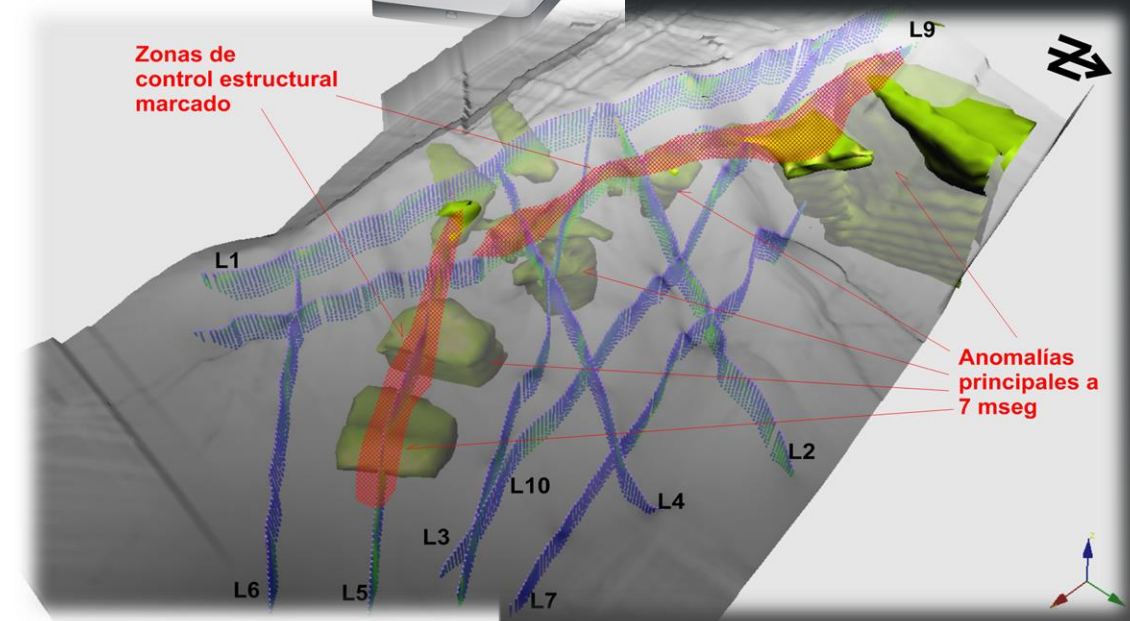
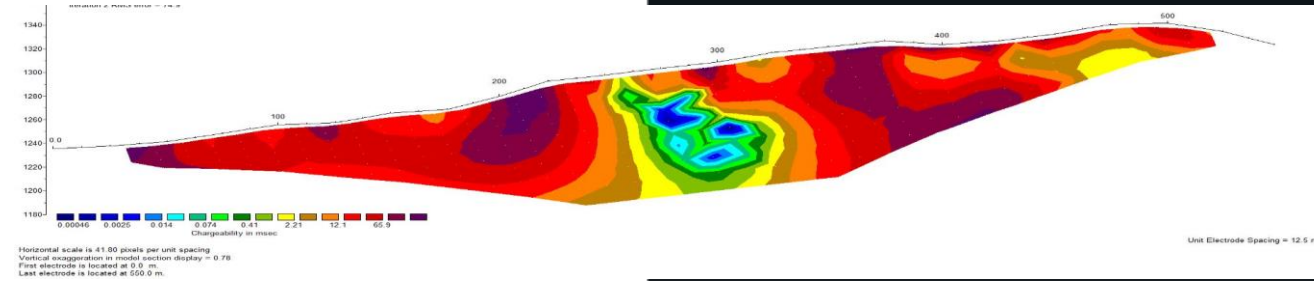
Evento deformativo
y despresurización



- Si la receta es la correcta, ¡Eureka!, se precipitan Berilos asociados.

EXPLORANDO

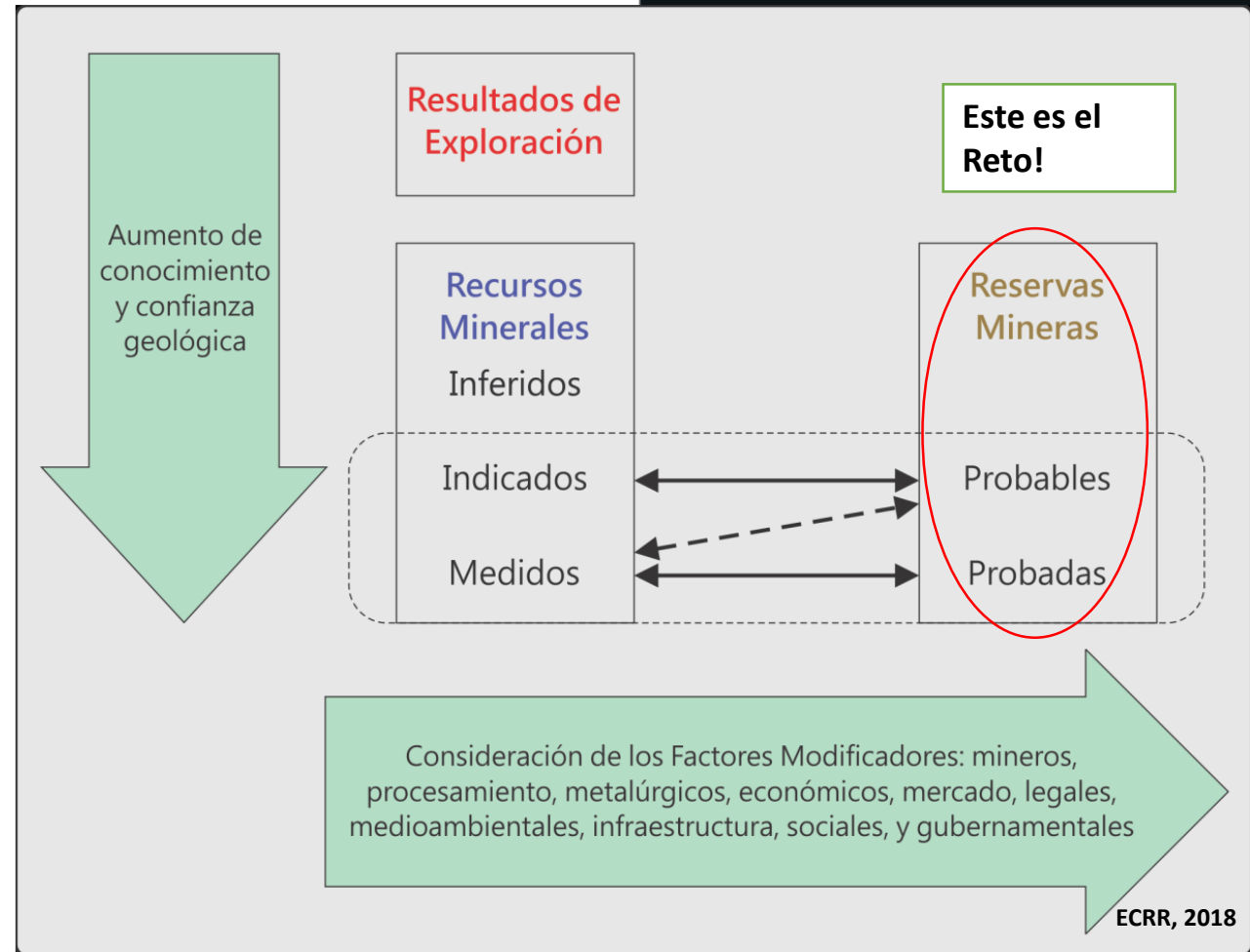
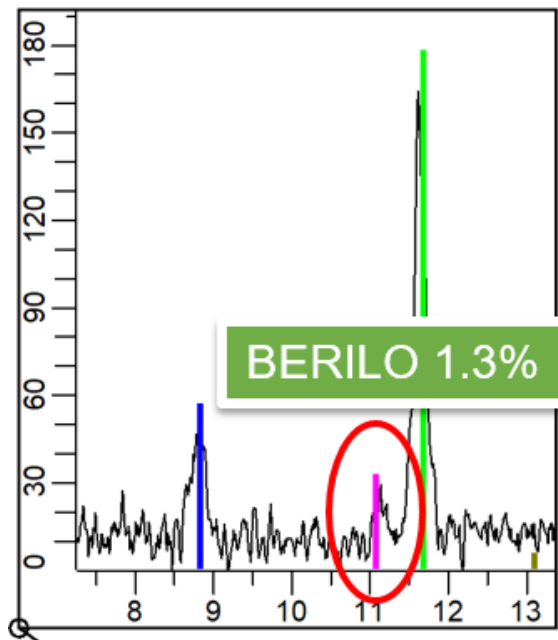
- Levantamientos estratigráficos de detalle, que tipos y como están organizadas las capas sedimentarias en cada proyecto.
- Levantamientos estructurales, definición de pliegues y fallas.
- Control mineralógico y geoquímico en superficie, identificación de procesos de pérdida de presión.
- Diseño de un programa geofísico que genere medio de contraste asociado a los cambios mineralógicos y geométricos identificados.
- Ubicación de anomalías y diseño de un programa de perforación.
- Control geológico, mineralógico y geoquímico de los testigos de perforación que permitan generar un modelo apropiado de yacimiento.





- ¿Podemos definir recursos?

R/ ¡Claro que sí!, se puede realizar un control mineralógico de los núcleos perforados de manera que se puede calcular un % de Berilos en peso, controlando la incertidumbre entre los valores medidos y asociado a las geometrías definidas en el modelo geológico, es posible realizar estimaciones validables.





SOMETIMES
SCIENCE IS
MORE ART
THAN SCIENCE,
MORTY.