



QEMSCAN® VERSUS TIMA-X®: COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MINERALOGÍA AUTOMATIZADA POR MEDIO DEL ESTUDIO DE MUESTRAS DE YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO

Paulina Daniella Andaur Robles

Profesional Guía: PhD, Mauricio Ernesto Belmar Urbina
Profesor Guía: MsC. Abraham Elías González Martínez
Profesores Comisión: MsC. Liubow N. González Martínez
Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Resumen

Los sistemas automatizados SEM (Scanning Electron Microscopy) se han estado desarrollando desde los años 70's por lo que, desde sus inicios, la tecnología ha ido avanzando, permitiendo que los análisis sean cada vez más precisos y rápidos, razón por la cual se hace necesario conocer cómo estos avances tecnológicos influyen en los resultados.

El presente estudio compara los resultados obtenidos de muestras caracterizadas en dos diferentes equipos de Mineralogía Automatizada (MA), uno con más de quince años de antigüedad y, el otro, con casi cuatro años. Para esto se realizaron análisis modal de partículas y análisis de fases brillantes en trazas a muestras donde el cobre es la mena principal y el oro se encuentra como subproducto.

Palabras Claves: *Mineralogía Automatizada, QEMSCAN®, TIMA-X®, comparación.*

1 Introducción

Hace, al menos, dos décadas que la mineralogía automatizada se ha convertido en una poderosa herramienta de apoyo para la optimización del procesamiento de minerales (Sutherland y Gottlieb, 1991; Gottlieb et al, 2000; Gottlieb, 2008; Goodall y Butcher, 2012) en la obtención no sólo de Cu, el

metal más explotado a nivel mundial, sino también de Mo, Fe, Pb, Zn, Au, Ag e, incluso, REE.

El presente trabajo compara los resultados obtenidos del análisis de muestras provenientes de yacimientos tipo Pórfido Cuprífero, con oro como subproducto (Perelló y Cabello, 1989) por medio de tecnologías QEMSCAN® (Gottlieb et al. 2000) y TIMA-X® (Hrstka et al. 2018).

El estudio es realizado en las instalaciones de SGS ubicadas en la comuna de Pudahuel (figura 1), Santiago de Chile, en el laboratorio de Mineralogía Automatizada perteneciente al área de Mineralogía Avanzada que cuenta con tres QEMSCAN®, con más de diez años de antigüedad cada uno, y dos TIMA-X®, ambos con más de dos años.



Figura 1. Instalaciones de SGS. Ubicadas en Pudahuel.

En el año 2015, la compañía FEI, dueña de la tecnología QEMSCAN®, cesó sus funciones

terminando con el desarrollo y soporte de estos equipos, por lo que en el corto plazo se dejarán de utilizar, siendo necesario este estudio para visualizar cuánto y cómo varían los resultados de muestras, que tienen un historial de caracterizaciones realizadas en QEMSCAN®, al ser analizadas en TIMA-X®.

1.1 Objetivo General

Comparar análisis realizados en equipos de MA con diferentes tecnologías para comprender de qué manera ésta afecta en los resultados obtenidos por cada uno.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las mismas muestras en equipos QEMSCAN® y TIMA-X® por medio de análisis equivalentes.
- Procesar los datos de manera de obtener las mismas características de las muestras desde cada equipo para que puedan ser comparados.
- Comparación de los resultados arrojados por ambas técnicas.

Quiero agradecer al gerente de Mineralogía Avanzada de SGS por permitirme usar los datos. Un especial agradecimiento a Felipe Martínez por enseñarme todo lo que sé acerca de TIMA-X®, a Melisse Henry, Carolina Moya y Tania Alegría por su constante apoyo técnico y emocional, a todos quienes componen el laboratorio de preparación (Germán Vargas, Ángel Sandoval y al resto de las personas) y a Carolina Estay, quien carga los equipos y se preocupa de que cada análisis se realice en óptimas condiciones; sin todos ellos este estudio jamás podría haberse llevado a cabo.

2 Definición del Problema

El desarrollo constante de nuevas tecnologías ha permitido que los análisis realizados sean cada vez más precisos, exactos y eficientes, lo que lleva a la inevitable interrogante por saber cuánto afecta esto en los resultados.

La tecnología QEMSCAN® ya no cuenta con desarrollo ni soporte por lo que, dentro de poco tiempo, estos equipos tendrán que ser dados de baja y toda la MA tendrá que migrar a TIMA-X en el laboratorio de Mineralogía Automatizada de SGS. Es

por esta razón que conocer cómo impacta una nueva tecnología en los resultados de los tipos de análisis más solicitados, para el estudio de muestras que provienen de procesos metalúrgicos de flotación, se hace tan necesario.

Para obtener las respuestas se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cantidad de partículas analizadas por cada tecnología.
- Determinación y cuantificación de fases minerales.
- Texturas de las partículas.
- Tamaño de partículas analizadas.

3 Metodología

3.1 Introducción a la Mineralogía Automatizada

De cada muestra a caracterizar es necesario preparar briquetas (figura 2) (Gottlieb et al. 2000; Flores, 2006; Hrstka et al. 2018). Las briquetas contienen el material particulado a la granulometría utilizada en el proceso metalúrgico por medio del cual se extrae el elemento de interés, mezclado con grafito a la misma granulometría, lo que permite la separación de las partículas, y resina epoxy que da la forma final a la briketa. La superficie a analizar es pulida y cubierta con una delgada capa de carbono lo que permite la conducción del haz de electrones primarios que impactará sobre cada partícula expuesta.

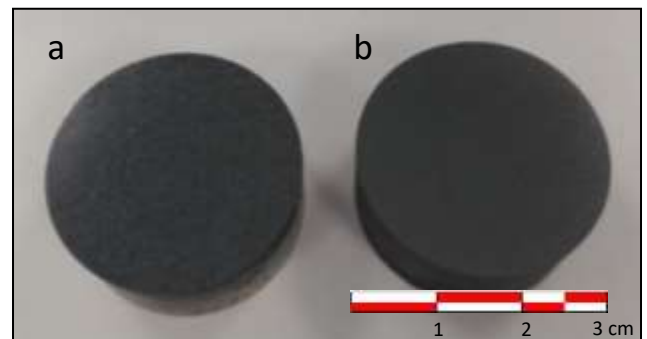


Figura 2. **Briquetas.** Para analizar en QEMSCAN y TIMA-X. (a) Fracción gruesa (b) Fracción fina.

Los equipos de MA son sistemas conformados por un microscopio electrónico de barrido SEM, detectores de energía dispersiva de rayos-X EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometry) y de electrones retrodispersados BSE (Back-Scattered Electrons) (figura 3) dependiendo, estos últimos, del peso atómico promedio de cada mineral.

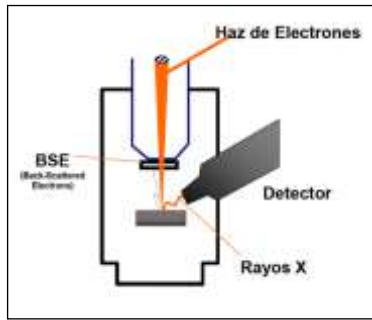


Figura 3. Esquema de las señales. Detectadas durante el análisis. (Modificado de Flores, 2006).

La superficie de la briqueta es escaneada dentro de una cuadrícula que determina el área a caracterizar. El haz recorre rápidamente cada campo generando una imagen BSE (figura 4) diferenciando cada partícula del background (grafito y resina) lo que permite que sólo las primeras sean analizadas por rayos-X. La obtención de estos espectros se realiza punto por punto en las direcciones X e Y con un espaciamiento regular (pixel spacing PS) que se determina previo a la lectura y que depende del tamaño promedio de las partículas. Las señales detectadas en cada punto alimentan una librería que contiene diferentes fases minerales (Flores, 2006), y se clasifican según con la que tengan una mayor coincidencia. Utilizando la fase identificada se construye la imagen de la partícula pixel por pixel, en el caso de QEMSCAN® (Gottlieb et al. 2000) y por segmentos, en el caso de TIMA-X® (Hrstka et al. 2018).



Figura 4. Imagen BSE. Partícula analizada en TIMA-X® (Quintana, 2018).

La figura 5 (fuera de texto) muestra esquemáticamente las diferentes etapas del proceso anteriormente descrito.

3.2 Desarrollo del estudio

Los equipos empleados en el estudio son QEMSCAN® (figura 6), desarrollado por FEI, que utiliza el software iDiscover para el procesamiento de la información, y TIMA-X® (figura 7), creado por Tescan y que emplea el software TIMA.



Figura 6. QEMSCAN®. Equipo de MA desarrollado por FEI.



Figura 7. TIMA-X®. Equipo de MA desarrollado por TESCAN.

En la tabla 1 se resumen las principales características de cada uno de los equipos.

El estudio se llevó a cabo utilizando dos modos de lectura, PMA y TMS en QEMSCAN® (Gottlieb et al.

2000; Goodall et al. 2005) y LA y BPS en TIMA-X® (Hrstka et al. 2018), que son equivalentes.

Tabla 1. Características de cada equipo de MA utilizado en el estudio.

Característica	QEMSCAN®	TIMA-X®
Desarrollado por	FEI	TESCAN
Microscopio	Zeiss	MIRA3
Detectores EDS	2 - Bruker	4 - Edax
Detector BSE	Spot Size 600 nm	Spot Size 100 nm
Tipo de haz	Filamento de W	FEG
Software	iDiscover	TIMA

El PMA (Particle Mineralogical Analysis) y LA (Liberation Analysis) analizan todas las partículas de las briquetas entregando resultados cuantitativos que permiten conocer la mineralogía modal, aporte elemental (por estequiometría), ocurrencia de elementos de interés, grados de liberación de las fases, asociaciones minerales, tamaños de granos e imágenes. El límite de detección de ambos análisis es de 0.1% en masa.

El TMS (Trace Mineral Search) y BPS (Bright Phase Search) son utilizados cuando la fase o fases de interés están presentes en concentraciones traza en la muestra. Se enfoca sólo en analizar los campos que contengan partículas con fases que presenten tanto un brillo BSE alto (Goodall y Scales, 2007; Goodall, 2008) como la presencia de algún elemento de interés (Au, Ag, Co, etc). Se puede obtener la misma información que con un PMA, pero los resultados entregados son calculados sólo en base a las fases encontradas, por lo que los datos serán cuantitativos sólo en función de lo detectado y no de la muestra global, por lo que corresponde a un análisis, más bien, cualitativo.

3.2.1 Estudio por medio de PMA/LA

Se utilizaron cuatro muestras de cabeza provenientes de un depósito tipo pórfido cuprífero. Éstas poseen un p80 de 100# (150 µm), fabricándose una biqueta sobre y otra bajo los 150 µm (figura 2), lo que se realiza por la necesidad de que los parámetros de lectura se adapten de forma correcta a la granulometría de cada muestra. Cada biqueta aporta un porcentaje de la fracción que representa. Estos porcentajes deben ser ingresados al software de cada equipo, con los que se calcula la muestra global, y es en base a ella que se obtienen los resultados a comparar.

Las mismas briquetas fueron analizadas en ambos

equipos, pero con algunas diferencias en los parámetros de lectura (tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de lectura utilizados para analizar las briquetas en cada uno de los equipos.

Equipo	QEMSCAN®		TIMA-X®	
	-212/+150 µm	-150/+3 µm	-212/+150 µm	-150/+3 µm
Fracción				
Tipo de Análisis	PMA	PMA	LA	LA
Modo de Escaneo	Particle Scan	Particle Scan	High Resolution Mapping	High Resolution Mapping
Tamaño de Campo (µm)	2500	1000	2250	1500
Espaciamiento Horizontal (µm)	8	4	6	2
Espaciamiento Vertical (µm)	8	4	6	2

3.2.2 Estudio por medio de TMS/BPS

Para estos análisis se trabajó con una muestra dividida en ocho fracciones (tabla 3) realizando una biqueta para cada rango de tamaño (Quintana, 2018). La muestra pertenece a un yacimiento tipo pórfido cuprífero con oro como sub-producto.

Tabla 3. Fracciones en las que se dividió la muestra para TMS.

Fracción	Rango de Tamaño (µm)
1	+212 µm
2	-212/+150 µm
3	-150/+106 µm
4	-106/+75 µm
5	-75/+53 µm
6	-53/+38 µm
7	-38/+20 µm
8	-20 µm

Los parámetros de lectura utilizados (Quintana, 2018) en cada una de las fracciones se indican en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros de lectura utilizados en cada fracción.

Equipo	QEMSCAN®	TIMA-X®
Análisis	TMS	BPS
Pixel Spacing	2.0 µm	0.5 µm
Tiempo de lectura (biqueta completa)	~60 min	~90 min
Tipo de búsqueda	Por restricción de BSE >126	En base a intensidad de peak

4 Resultados

4.1 Resultados de Análisis PMA/LA

A continuación, la tabla 5 muestra un resumen con la estadística de cada biqueta analizada.

Tabla 5. Estadística de los análisis PMA y LA.

Identification			Measurement Parameters		Measurment Statistic	
Id Muestras	Fracción	Masa (%)	Análisis	Tiempo (h:m:s)	Campos analizados totales	Partículas analizadas totales
TCC-1 MIN	-212/+150 µm	17	QEMSCAN	00:18:03	27	782
	-150/+3 µm	83		01:20:49	189	18100
	-212/+150 µm	17	TIMA-X	00:10:12	30	1358
	-150/+3 µm	83		1:15:26	110	59755
TCC-2 MIN	-212/+150 µm	19	QEMSCAN	00:17:02	27	693
	-150/+3 µm	81		01:23:54	189	20936
	-212/+150 µm	19	TIMA-X	0:12:13	42	1407
	-150/+3 µm	81		1:15:19	110	54354
TCC-3 MIN	-212/+150 µm	12	QEMSCAN	00:15:49	27	720
	-150/+3 µm	88		01:28:54	189	25183
	-212/+150 µm	12	TIMA-X	0:11:25	50	1655
	-150/+3 µm	88		1:25:28	123	69679
TCC-4 MIN	-212/+150 µm	14	QEMSCAN	00:19:09	27	809
	-150/+3 µm	86		01:22:40	189	22462
	-212/+150 µm	14	TIMA-X	0:10:38	40	1721
	-150/+3 µm	86		1:24:09	136	58444

Una vez identificadas las fases minerales, se compara la masa elemental, calculada estequiométricamente, con análisis por fluorescencia de rayos x (FRX) por sistema de dispersión de longitud de onda (WDX) realizados a las muestras globales (sin fraccionar). Estos datos se muestran en las tablas 6 y 7 (fuera de texto) y se comparan en tres gráficos de dispersión con valores QEMSCAN® – FRX, TIMA-X® – FRX y QEMSCAN® – TIMA-X® (figuras 8, 9 y 10).

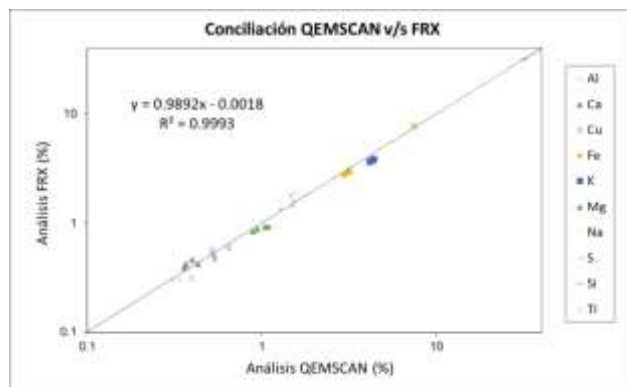


Figura 8. Gráfico de dispersión. Muestra resultados QEMSCAN (eje x) y FRX (eje y).

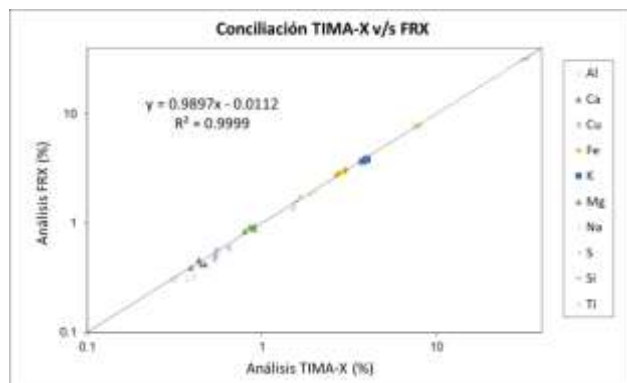


Figura 9. Gráfico de dispersión. Muestra resultados TIMA-X (eje x) y FRX (eje y).

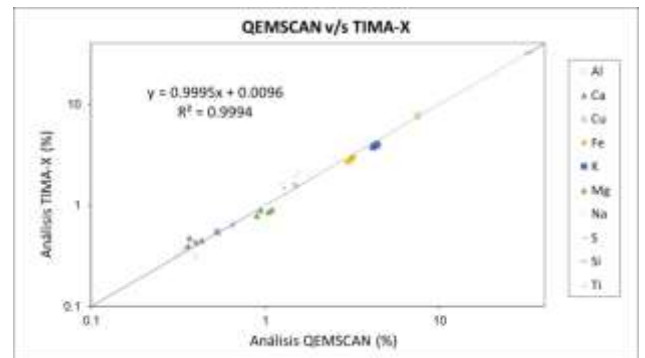


Figura 10. Gráfico de dispersión. Muestra resultados QEMSCAN (eje x) y TIMA-X (eje y).

Luego de la conciliación de las muestras, se extrae la información de la mineralogía identificada y su abundancia (tabla 8, fuera de texto, y figura 11), los minerales que contienen cobre y cuánto aportan (tabla 9, fuera de texto, y figura 12) y los grados de liberación de los sulfuros de cobre (tabla 10, fuera de texto, y figura 13).

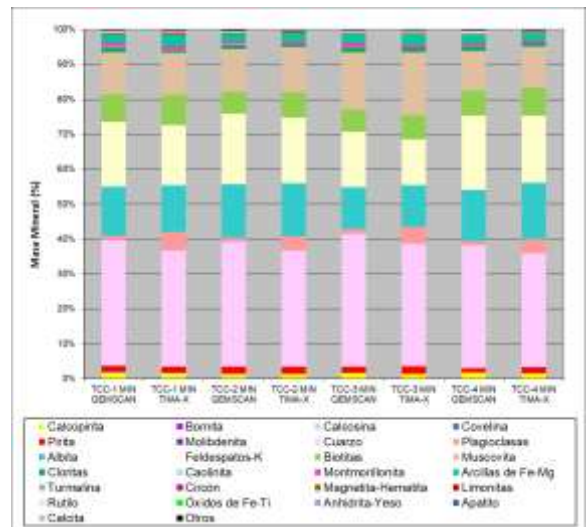


Figura 11. Comparación de la mineralogía modal. Obtenida por ambos equipos.

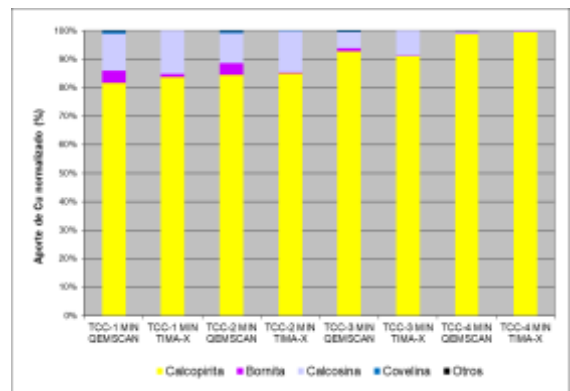


Figura 12. Aporte de cobre. En cada fase mineral,

normalizado.



Figura 13. Grados de liberación. De Sulfuros de Cu.

4.2 Resultados de Análisis TMS/BPS

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de granos de minerales de oro encontrados (Quintana, 2018).

Rangos de Tamaño	QEMSCAN®	TIMA-X®
-1000/+212 μm	0	2
-212/+150 μm	4	8
-150/+106 μm	7	14
-106/+75 μm	5	8
-75/+53 μm	1	7
-53/+38 μm	2	4
-38/+20 μm	3	3
-20/+3 μm	7	9
Total	29	55

En la figura 14 (fuera de texto) se pueden observar las partículas con granos de minerales de oro detectadas por cada equipo en cada briqueta de cada fracción analizada.

5 Discusión

Con respecto a los análisis PMA y LA se puede observar que:

- TIMA-X® puede analizar una mayor cantidad de partículas en menor tiempo.
- La correlación con el FRX es muy cercana a 1 en ambos equipos, aunque en TIMA-X® se aproxima más. La dispersión entre cada sistema es muy baja.
- La mineralogía modal presenta valores muy parecidos, existiendo la mayor diferencia en la plagioclasa, donde TIMA-X® identificó alrededor de 3% más.
- Feldespatos Potásicos, Cloritas y Caolinita se

presentan en menor cantidad en TIMA-X® que en QEMSCAN®.

- Sulfuros de cobre, en general, disminuyeron levemente en TIMA-X® con respecto a QEMSCAN®.
- En los aportes de cobre la Bornita es mayor en QEMSCAN®.
- En TIMA-X® hay un porcentaje mayor de sulfuros de cobre libres y menos ocluidos, en casi todas las muestras.

La diferencia en la cantidad de partículas detectadas se debe a que en TIMA-X® se utilizó un PS menor permitiéndole identificar partículas más pequeñas. Adicionalmente, TIMA-X® posee dos detectores más que QEMSCAN® haciendo más eficiente la detección y caracterización de las partículas.

En QEMSCAN®, la librería utilizada para la identificación de los minerales se llama SIP (Species Identification Profile) y clasifica cada uno de los pixeles, con una señal de bajas cuentas, con los que se va formando la imagen de las partículas. En TIMA-X® se utiliza un CS (Clasification Scheme) que clasifica, en este caso, segmentos conformados de señales EDS similares, de bajas cuentas, pero cuya suma crea espectros cuantificables (de un alto número de cuentas) lo que permite obtener la composición química directamente de la muestra analizada, si fuera necesario (Hrstka et al. 2018). Los segmentos que no coincidan con las definiciones de los espectros del CS quedan como no clasificados. La segmentación evita que se generen definiciones de borde que, en QEMSCAN®, son comunes. Ocurren cuando el haz incide en el contacto de dos fases diferentes obteniendo señales de los elementos de cada una formando un mineral que, realmente, no existe, como feldespatos potásico en el contacto entre cuarzo y muscovita. Esto puede ser corregido en QEMSCAN® durante el procesamiento de los datos, pero no en su totalidad.

QEMSCAN® es un sistema que clasifica todas las señales detectadas durante el análisis con espectros de bajas cuentas y que, dependiendo de los tamaños del pixel y de las partículas, generará más o menos definiciones de borde haciendo que la identificación no sea tan precisa. TIMA-X® permite obtener segmentos con espectros de mayor cantidad de cuentas, pudiendo guardar aquellos que no se encuentren clasificados y cuantificarlos para poder crear una nueva definición cuya composición es

tomada del mineral presente en la muestra. Esto no puede realizarse en QEMSCAN® de manera off line, teniendo que volver a analizar las briquetas y obtener espectros y cuantificación en el equipo.

Estas características son las que influyen a la hora de caracterizar composicional y texturalmente una muestra en cada sistema y explican las diferencias en la reconciliación, mineralogía modal, aporte de cobre y grados de liberación.

Los resultados de TMS y BPS muestran que las diferencias están en la detección de minerales de oro. En todas las briquetas TIMA-X® identificó mayor cantidad de granos. Encontró las mismas partículas que en QEMSCAN® y otras adicionales.

La mejor resolución de un equipo está dada por la disminución del PS ya que, donde QEMSCAN® lee un pixel de 2 µm, TIMA-X® analiza 16 pixeles de 0.5 µm (figuras 15 y 16), pudiendo detectarse granos de menor tamaño.

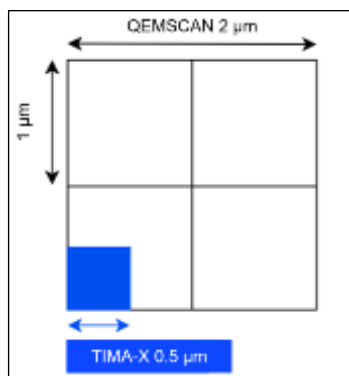


Figura 15. **Resolución.** Tamaño de pixeles de cada equipo (Quintana, 2018).

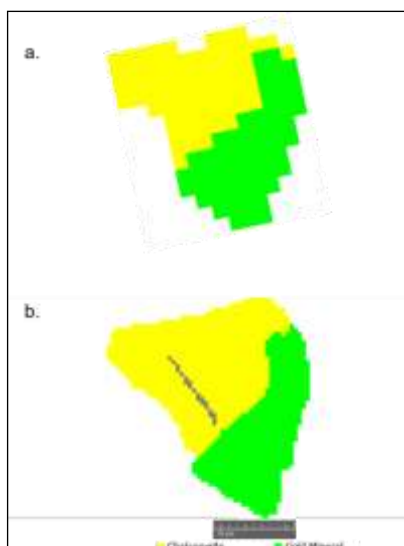


Figura 16. **Resultados.** En (a) QEMSCAN

y (b) TIMA-X (modificado de Quintana, 2018).

6 Conclusiones

QEMSCAN® y TIMA-X® son sistemas de Mineralogía Automatizada que permiten la identificación de especies minerales de manera precisa y representativa pudiendo, según el análisis utilizado, conocer la abundancia de cada mineral identificado, su composición y cómo se encuentran relacionados. El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido que:

- Los tiempos de lectura sean menores pudiendo caracterizarse mayor cantidad de muestras.
- La caracterización sea de mejor calidad, entregando resultados de mayor precisión y exactitud.
- La resolución sea más alta permitiendo observar mayores detalles de las texturas.
- Para el mineralogista, el procesamiento de los datos se hace más preciso y eficiente pudiendo entregar información más detallada y completa.

Con esto se muestra que la migración hacia equipos más modernos (TIMA-X®) tendría un impacto positivo ya que los resultados obtenidos no poseen grandes diferencias con los analizados en QEMSCAN®, pudiendo obtenerse datos más precisos y detallados que agregan valor a toda la información histórica que se tenga.

Para proyectos nuevos, TIMA-X® es un sistema que facilita el procesamiento de los datos a los mineralogistas, pudiendo generar, de una manera amigable, un CS que se vaya ajustando a la mineralogía presente en las muestras de un mismo yacimiento considerando toda la variabilidad que se pueda ir presentando según el sector que se vaya a explotar, confeccionando una librería más completa, detallada y que se adapta mejor al proyecto que se está caracterizando.

Así, el cambio hacia este sistema más moderno se justifica y hace necesario cuando, en el corto plazo, los equipos QEMSCAN® sean dados de baja en su totalidad.

7 Referencias

Flores, L. 2006. QEMSCAN. Evaluación Cuantitativa de

Mineralogía, Imágenes BSE + Energía dispersiva de Rayos X. Generalidades del Método y Bibliografía. Informe (inédito). SGS Minerals S.A., Mineralogía Avanzada: 16 pp. Santiago.

Goodall, W. 2008. Characterization of mineralogy and gold deportment for complex tailings deposits using QEMSCAN. *Mineral Engineering*. Vol. **21** (2008): 518-523.

Goodall, W. y Butcher, A. 2012. Use of QEMSCAN in practical gold deportment studies. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C)*. Vol. **121** (4): 199-204.

Goodall, W. y Scales, P. 2007. An overview of the advantages and disadvantages of the determination of gold mineralogy by automated mineralogy. *Minerals Engineering*. Vol. **20** (2007): 506-517.

Goodall, W; Scales, P. y Butcher, A. 2005. The use of QEMSCAN and diagnostic leaching in the characterization of visible gold in complex ores. *Minerals Engineering*. Vol. **18** (2005): 877-886.

Gottlieb, P. 2008. The Revolutionary Impact of Automated Mineralogy on Mining and Mineral Processing. In: Wang, D; Sun, C; Wang, F; Zhang, L. y Hang, L. (eds) 24th International Mineral Processing Congress. Science Press. 165-174. Beijing

Gottlieb, P; Wilkie, Ge; Sutherland, D; Ho Tun, E; Suthers, S; Perara, K; Jenkins, B; Spencer, S; Butcher, A. y Rayner, J. 2000. Using quantitative electron microscopy for process mineralogy applications, *Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. Microtextural Mineralogy. Testing & Analysis*. Vol. **52** (4): 24-25.

Sutherland, D. N., Gottlieb, P. Application of automated quantitative mineralogy in mineral processing. *Minerals Engineering*, 1991, Vol. **4** (7-11): 753-762.

Hrstka, T; Gottlieb, P; Skala, R; Breiter, Karel. y Motl, D. 2018. Automated mineralogy and petrology – applications of TESCAN Integrated Mineral Analyzer (TIMA). *Journal of Geosciences*. Vol. **63** (2018): 47-63.

Perello, J. y Cabello, J. 1989. Pórfidos cupríferos ricos en oro; una revisión. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **16** (1): 73-92.

Quintana, K; Belmar, M; Henry, M; Martínez, F. y Andaur, P. 2018. Comparación de Técnicas de Mineralogía Automatizada TIMA-X v/s QEMSCAN para el estudio de metales en bajas concentraciones. Caso: Oro como sub-producto en pórfidos de cobre. XV Congreso Geológico Chileno, Actas **1**: 1477. Concepción.

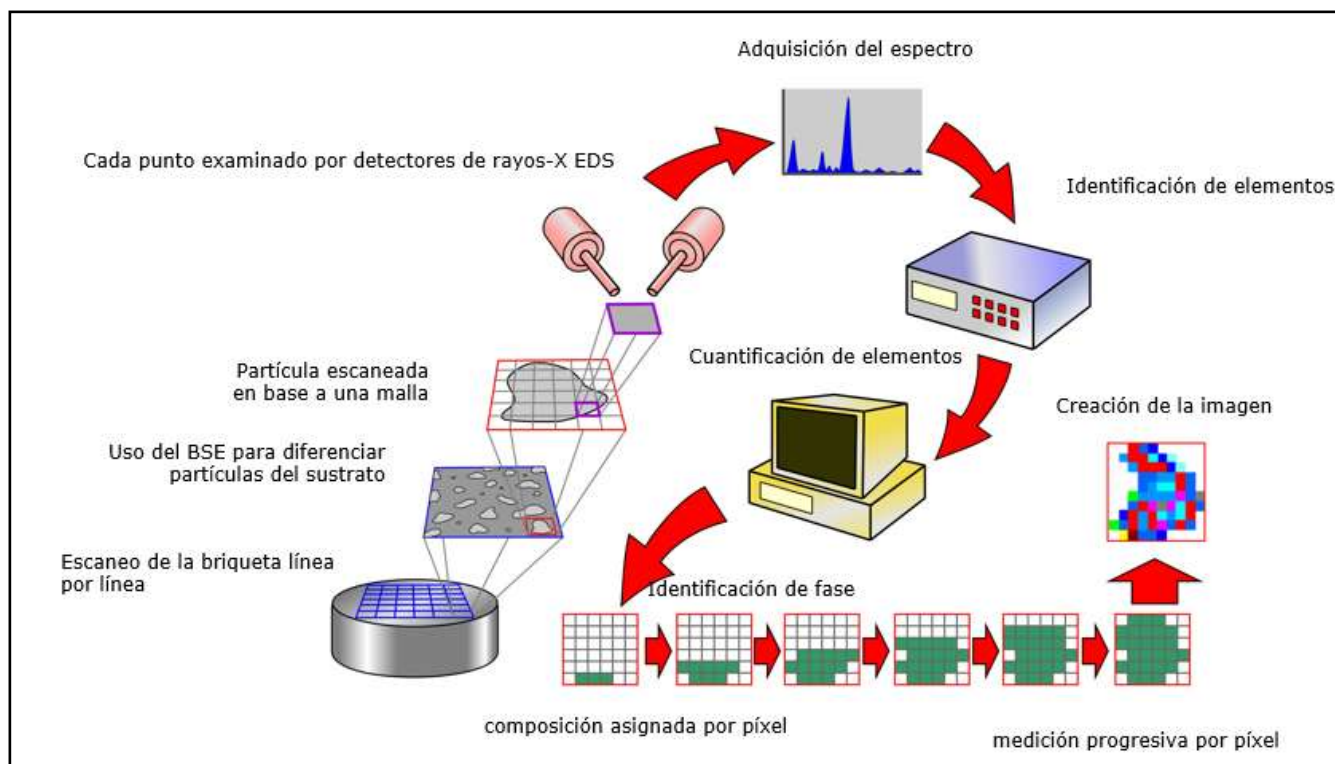


Figura 5. Esquema del proceso de Mineralogía Automatizada (Flores, 2006).

Tabla 6. Valores de Al, Ca, Cu, Fe y K obtenidos en QEMSCAN, TIMA-X y FRX.

Elementos	Al			Ca			Cu			Fe			K		
	Muestra	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA
TCC-1 MIN	7.41	7.56	7.73	0.37	0.47	0.42	0.65	0.64	0.59	3.21	2.98	2.93	4.19	3.82	3.68
TCC-2 MIN	7.40	7.70	7.67	0.36	0.39	0.39	0.52	0.55	0.56	3.08	2.76	2.86	4.32	4.02	3.78
TCC-3 MIN	7.58	8.07	7.79	0.40	0.44	0.46	0.54	0.54	0.47	3.13	3.00	3.08	4.13	3.75	3.62
TCC-4 MIN	7.37	7.66	7.68	0.43	0.45	0.42	0.53	0.54	0.50	2.95	2.68	2.73	4.38	3.97	3.86

Tabla 7. Valores de Mg, Na, S, Si y Ti obtenidos en QEMSCAN, TIMA-X y FRX.

Elementos	Mg			Na			S			Si			Ti		
	Muestra	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA	FRX	QEM	TIMA
TCC-1 MIN	1.09	0.91	0.93	1.47	1.85	1.82	1.46	1.50	1.43	31.84	31.86	31.58	0.39	0.41	0.32
TCC-2 MIN	0.89	0.80	0.84	1.82	1.92	1.80	1.49	1.56	1.56	32.13	32.19	31.81	0.31	0.32	0.30
TCC-3 MIN	0.94	0.90	0.88	1.26	1.62	1.61	1.45	1.63	1.75	32.05	31.74	31.45	0.34	0.37	0.30
TCC-4 MIN	1.04	0.85	0.92	1.53	2.04	1.91	1.26	1.47	1.34	32.03	32.19	31.74	0.40	0.31	0.30

Tabla 10. Grados de Liberación de los sulfuros de Cu en valores absolutos (a) y normalizados (b). Cálculo en base al porcentaje de área y perímetro de las partículas.

a.	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X
Sulfuros de Cu Libres >95%	1.45	1.30	1.07	1.03	1.17	1.18	1.23	1.32
Sulfuros de Cu Liberados > 80%	0.06	0.07	0.09	0.10	0.13	0.03	0.04	0.02
Sulfuros de Cu Mid > 50%	0.11	0.03	0.07	0.05	0.10	0.04	0.18	0.07
Sulfuros de Cu Sub-Mid > 20%	0.09	0.10	0.18	0.08	0.10	0.10	0.08	0.04
Sulfuros de Cu Ocluidos	0.31	0.19	0.17	0.19	0.21	0.11	0.25	0.12
Total	2.02	1.69	1.59	1.46	1.71	1.47	1.79	1.57

b.	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X	TCC-1 MIN QEMSCAN	TCC-1 MIN TIMA-X
Sulfuros de Cu Libres >95%	71.56	76.98	67.33	70.77	68.67	80.36	69.13	84.22
Sulfuros de Cu Liberados > 80%	3.05	4.06	5.55	7.03	7.53	2.35	2.43	1.02
Sulfuros de Cu Mid > 50%	5.56	1.84	4.70	3.42	5.76	2.58	10.35	4.32
Sulfuros de Cu Sub-Mid > 20%	4.60	5.78	11.45	5.71	5.59	7.11	4.33	2.52
Sulfuros de Cu Ocluidos	15.22	11.34	10.98	13.08	12.46	7.60	13.76	7.93
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

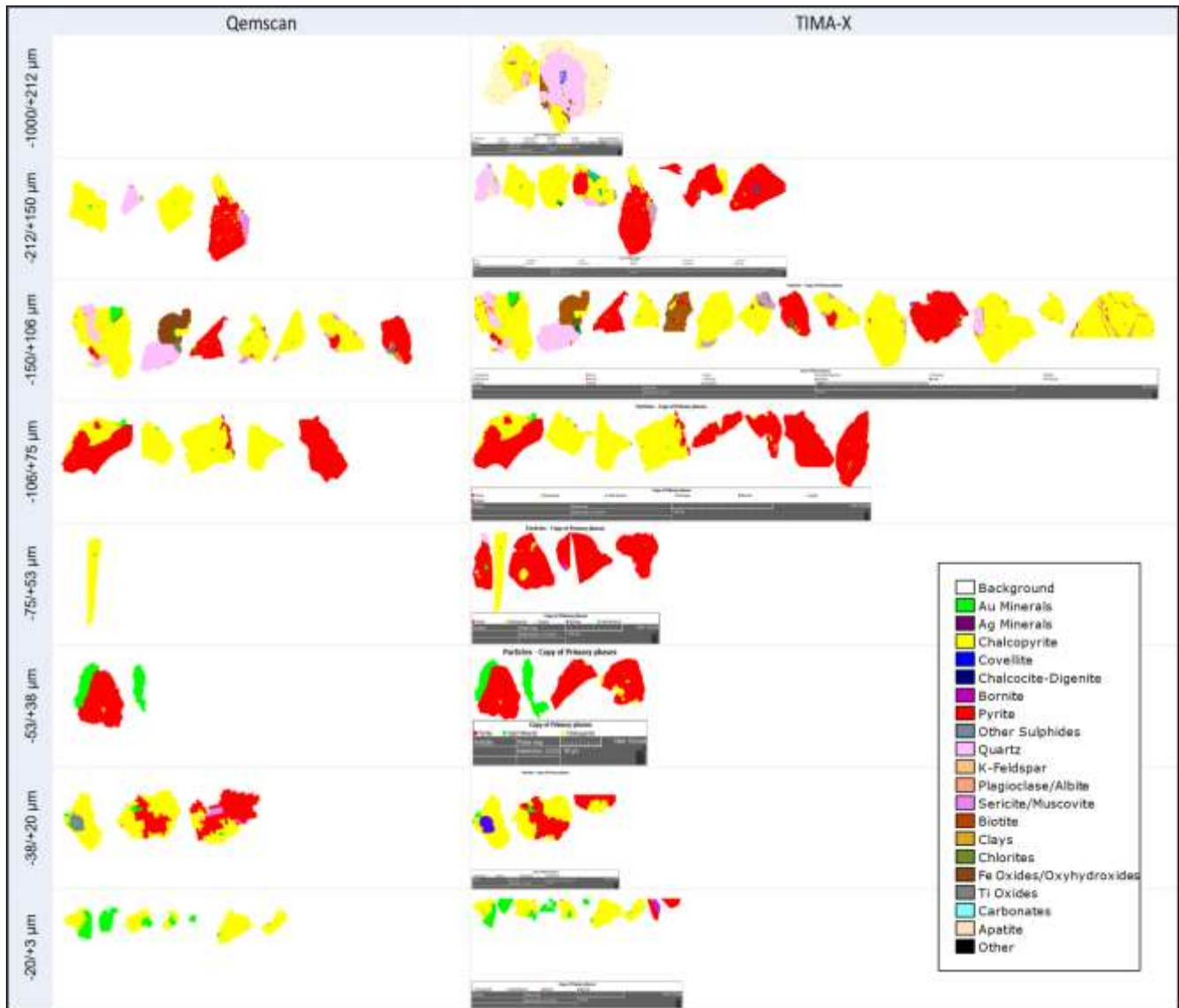


Figura 14. Imágenes en falso color de las partículas con granos de minerales de oro identificadas por cada equipo donde fueron analizadas las briquetas.