

# GEOMET2016

3<sup>rd</sup> International Seminar on Geometallurgy

## Espectrometría FTNIR semi-cuantitativa, herramienta principal para implementar la data geometalúrgica



Bch, Ing, MSc. Samuel Canchaya  
SAMPLING OK SAC - Perú



[www.gecamin.com/geomet](http://www.gecamin.com/geomet)



Universidad de Concepción



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DEL PERU

**GECAMIN**  
Conferences for Mining

## Planteamiento del problema

- ❑ Para implementar un modelo geometalúrgico de bloques se requiere gran volumen de data cuantitativa, que sea resultado de muestreo y análisis sistemáticos.
- ❑ Considerando los métodos analíticos más usados actualmente, tenemos:

Método	Entregables	Tiempo por muestra	20,000 muestras
Espectrometría NIR	Mineralogía semi-cuantitativa de ARCs, oxisales, micas, etc.	Decenas de segundos	15 días
Difracción de Rayos-X	Mineralogía cuantitativa "Bulk"	Decenas de minutos	417 días
Microscopía óptica con Software Automatizado	Análisis modal mineralógico de menas y gangas, intercrecimientos, grado de liberación, etc.	Varias decenas de minutos	515 días
LMA - QEMSCAN	Análisis mineralógico, intercrecimientos, grado de liberación, etc. totalmente automatizado	Horas	850 días

GEOMET2016 | 3<sup>rd</sup> International Seminar on Geometallurgy



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATOLICA  
DEL PERU

**GECAMIN**  
Conferences for Mining

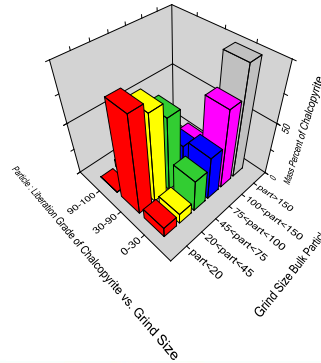
# Sistema Qemscan

(Quantitative Evaluation of Mineralogy by Scanning Electron Microscopy)



Libre	Mixto simple	Mixto complejo

Analizador Químico - Mineralógico – Microtextural Automático (Combinación de SEM + EDS) de cualquier tipo de muestra sólida). Análisis Mineralógico Modal, Grado de Liberación, Definición de Tipos Geo-Metalúrgicos de Mineral, comportamiento de los Elementos y Minerales durante los procesos, Estimación de la Recuperación, Análisis Cuantitativo Textural, etc.



## Microscopía óptica con SAAS: Software Analizador Automático de Imágenes

1. Seleccionar los colores que consideren para los conteos  
 seleccionar el tamaño y pinchar dentro del grano en la foto  
 mover los rangos para la mejor selección de todos los granos en la barra, tanto izquierda como derecha

Herramienta manual

Seleccionar el tipo de medición: Área, Longitud, área, perímetro

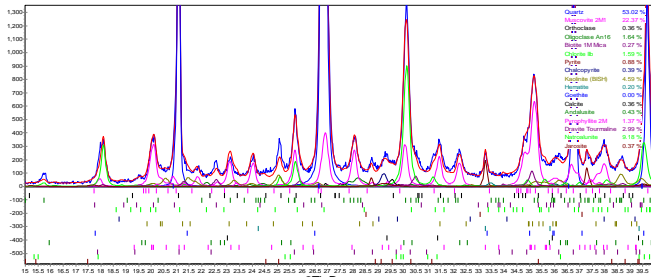
Area Distribution

Seleccione el tipo de medición: Área, Perímetro, tamaño, etc.

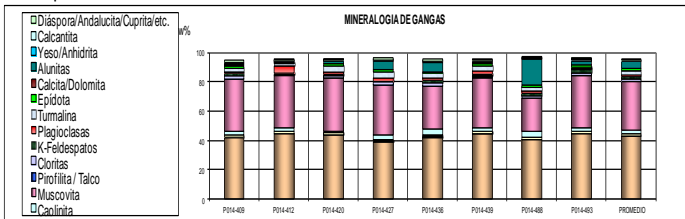
Source	PixelID	Count	Area	Equivalent	Circularity	Perimeter	
1	0	9	38	34.68	0.887	280.97	
2	0	1	5	12	128.48	0.381	1006.84
3	0	1	9	38	48.99	0.452	204.62
4	0	1	11	38	25.41	0.883	88.39
5	0	1	12	38	46.04	0.537	228.72
6	0	1	13	38	51.79	0.540	234.92
7	0	1	14	38	48.19	0.483	224.89
8	0	1	15	38	32.96	0.538	178.32
9	0	1	16	38	32.36	0.725	45.22
10	0	1	17	42	31.31	0.899	24.23
11	0	1	18	34	44.61	0.801	208.88



## Difracción de Rayos – X (DRX)



Se irradia la muestra con rayos-x primarios, un detector analiza los rayos "reflejados" que cumplen con la Ley de Bragg (difractograma característico para cada mineral); los cuales son analizados por el método de Refinamiento de Rietveld.

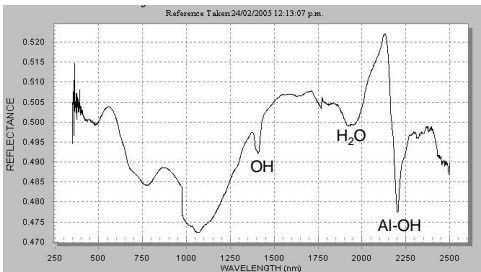


## Espectrometría de Infrarrojo cercano: NIR



Un equipo muy útil y práctico, basado en la espectroscopía molecular, que aprovecha los fenómenos de Transmitancia y/o Absorción para detectar y/o cuantificar los más importantes minerales de ganga:

- (Hidro)Oxidos Fe-Mn
  - Tierras raras
- Micas
  - Arcillas
  - Carbonatos
  - Cloritas
  - Epidotas
  - Alunitas
  - Jarosita
  - Yeso, etc.
- Cuarzo
  - Feldespatos
  - Piroxenos
  - Granates, etc.



Se irradia la muestra en polvo; luego el software analiza los espectros vibracionales resultantes que sirven para identificar y cuantificar las especies presentes

**Rendimiento: Análisis en segundos**

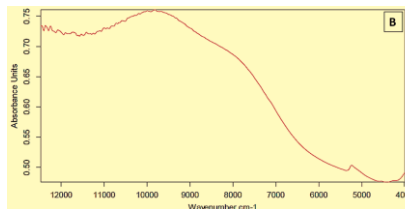


## ESPECTROMETRÍA FTNIR: Detalles y condiciones instrumentales

- Marca Bruker. Modelo Matrix-I
- Portamuestra de base de cuarzo IN311-S (50mm de diámetro)
- Técnica de reflectancia difusa usando una esfera de integración.
- Tecnología de Transformadas de Fourier permite alta resolución, mejor sensibilidad y mayor precisión.
- Fuente de energía: lámpara LASER

### CONDICIONES EXPERIMENTALES DE MEDICIÓN:

- Resolución:  $32 \text{ cm}^{-1}$
- Escaneos: 128



### CARACTERÍSTICAS GENERALES

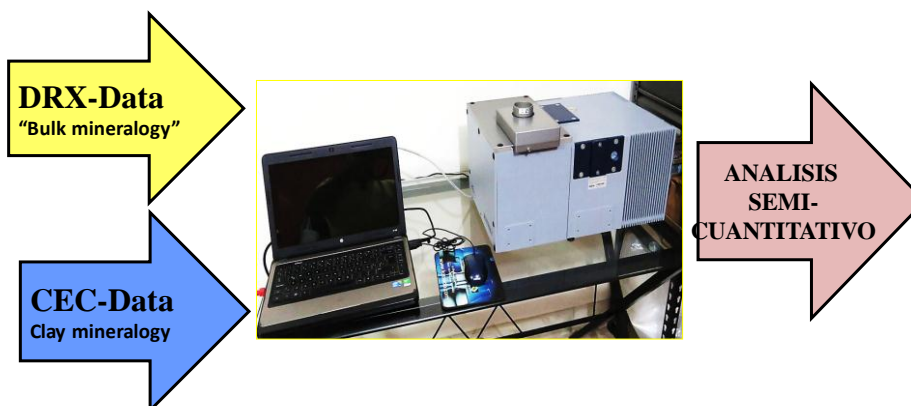
- No destructivo
- No usa reactivos químicos
- Sin contaminación ambiental
- No usa energías ionizantes



GEOMET2016 | 2ª Internacional Simposio  
de Geoquímica



## Calibración del Espectrómetro para determinaciones semi-cuantitativas sistemáticas



La calibración se debe realizar con muestras representativas del dominio a estudiar. Se requiere cientos de muestras analizadas por Difracción de Rayos-X; así como analizadas por arcillas por CEC (Cation Exchange Capacity).

GEOMET2016 | 2ª Internacional Simposio  
de Geoquímica



## Cation Exchange Capacity: CEC

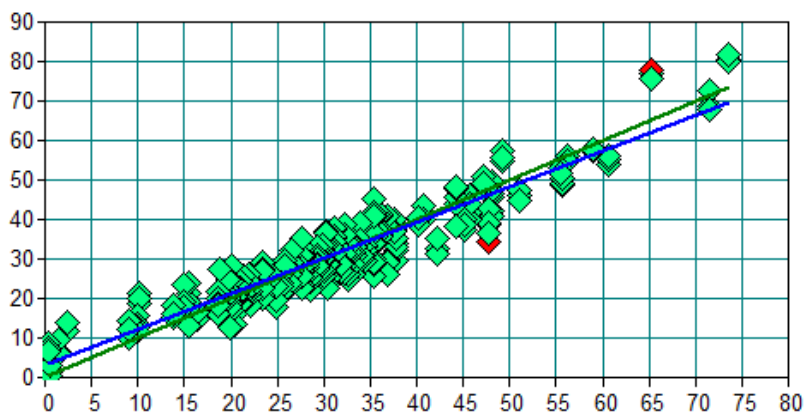
La mejor técnica para la determinación cuantitativa de arcillas, principalmente las esmectíticas.



GEOMET2016 2<sup>nd</sup> International Seminar  
on Geochemistry

## Calibración de Siderite

Prediction vs True / Siderite [%] / Cross Validation



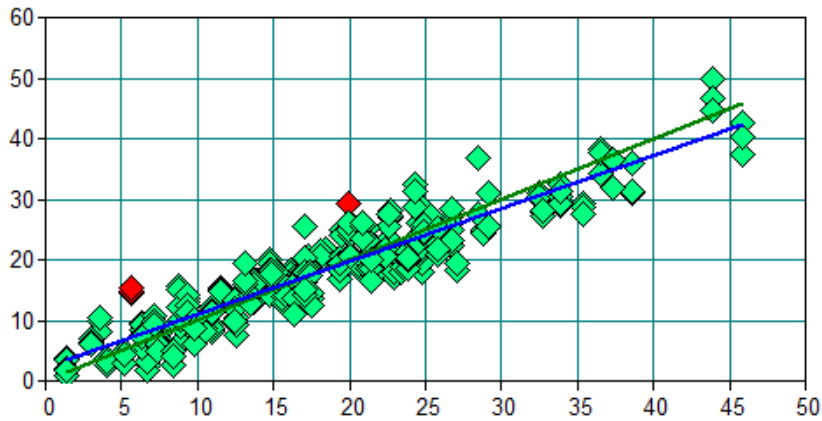
Offset: 3.034    Slope: 0.905    Corr. Coeff.: 0.9447  
Rank: 8     $R^2 = 89.23$     RMSECV = 4.66    Bias: -0.0486    RPD: 3.05

GEOMET2016 2<sup>nd</sup> International Seminar  
on Geochemistry



## Calibración de FeS<sub>2</sub> (pirita+marcasita)

Prediction vs True / FeS2 [%] / Cross Validation



Offset: 2.186    Slope: 0.873    Corr. Coeff.: 0.926  
 Rank: 10    R<sup>2</sup> = 85.71    RMSECV = 3.5    Bias: 0.0777    RPD: 2.65

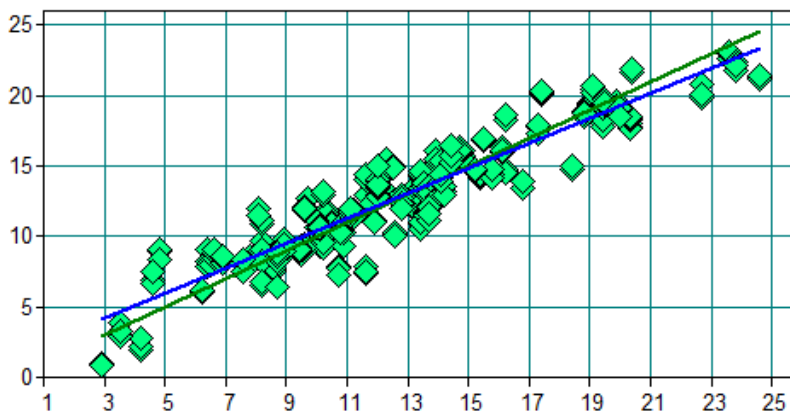
GEOMET2016 | International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Confederación Española  
de Minería

## Calibración de "Swelling Clay"

Prediction vs True / SwellingClay [%] / Cross Validation

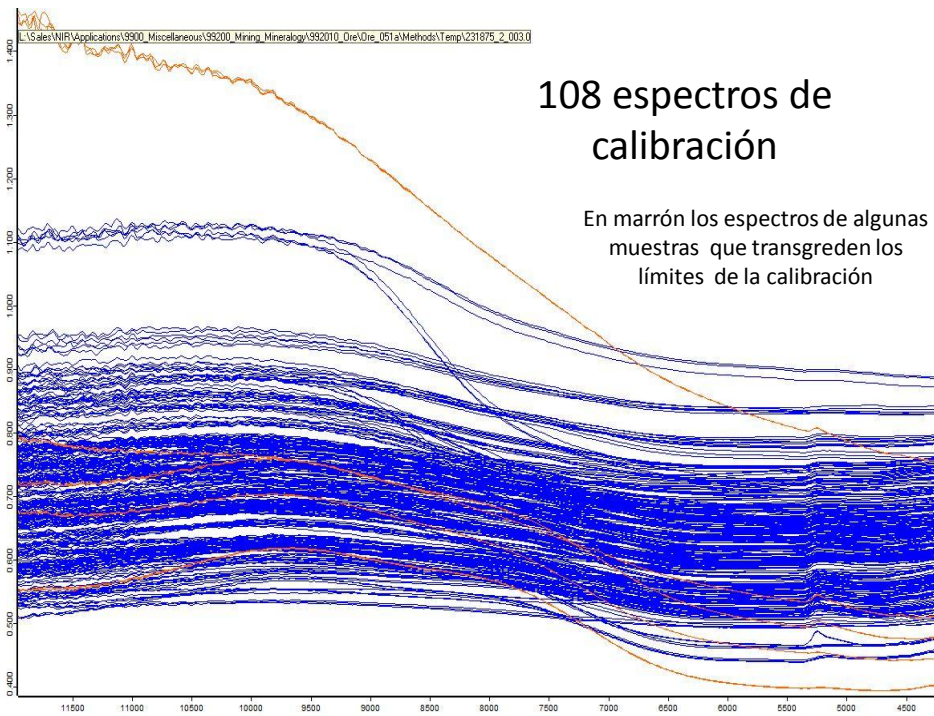


Offset: 1.542    Slope: 0.885    Corr. Coeff.: 0.9321  
 Rank: 7    R<sup>2</sup> = 86.84    RMSECV = 1.69    Bias: -0.0597    RPD: 2.76

GEOMET2016 | International Seminar  
on Geochemistry

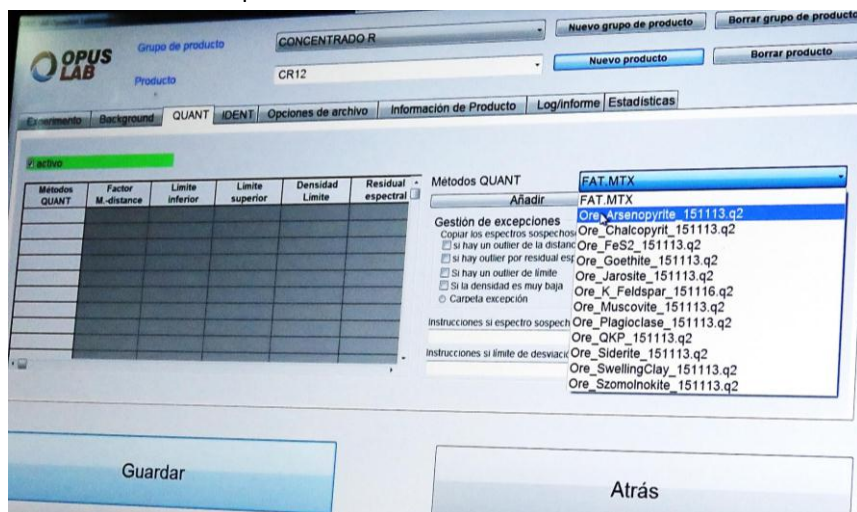


GECAMIN  
Confederación Española  
de Minería



## Ventana del software OPUS del espectrómetro MATRIX de Bruker

Se muestra pestaña "Quant" donde se realiza la calibración





## EJEMPLO DE APLICACIÓN

Yacimiento complejo de Au-Cu-Ag  
Mantos en calizas y cuerpos en borde de brecha de diatrema de tipo mesotermal de baja oxidación y sulfuración



S. Canchaya

GEOMET2016 | 2<sup>o</sup> International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Confederación del Minerío

### Procedimiento de análisis

1. Limpieza del cup portamuestra
2. Registro de la muestra
3. Homogenización de la muestra
4. Carguío del "cup" de medición, aproximadamente a la mitad de su capacidad
5. Maniobra para asentar la muestra y minimizar espacios libres en el "cup"
6. Colocación del "cup" en la cavidad de lectura
7. Verificación de la señal verde indicando operatividad del equipo
8. Procedimiento de obtención y medición de tres espectros por muestra a través de las facilidades del software OPUS.
9. Generación automática de los espectros (en formato OPUS) direccionado a un subdirectorio determinado.
10. Compilación de los 3 espectros para generar los correspondientes espectros en pdf y los correspondientes archivos txt. Traslado al archivo final en excel.



GEOMET2016 | 2<sup>o</sup> International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Confederación del Minerío



## Muestras analizadas y resultados

Se ha realizado centenares de determinaciones, incluyendo:

- mediciones de estándares
- duplicados
- 108 muestras de calibración

Depth	Interval	SampleID	Siderite	FeS2	SwellingClay	Jarosite	Muscovite	Goethite	Arsenopyrite	Szomolnokite	Q/P
200.20	1.30	127985	47.73	15.62	4.34	7.62	0.01	0.03	0.00	10.30	14.36
201.70	1.50	127986	42.65	13.27	5.92	7.97	0.37	0.35	0.00	12.16	17.11
80.40	2.00	129052	51.95	10.90	4.74	3.82	0.33	0.00	0.00	9.12	19.15
82.40	2.00	129053	42.85	13.28	5.02	4.67	0.26	0.00	0.00	12.34	21.58
84.40	2.00	129054	47.59	10.49	5.18	4.64	0.36	0.00	0.00	10.26	21.48
86.40	2.00	129055	43.87	7.83	6.29	5.22	0.47	0.00	0.00	11.18	25.15
170.70	2.00	129106	49.09	6.48	8.03	3.94	0.60	1.36	0.00	7.93	20.41
172.70	2.00	129107	51.58	7.99	6.75	3.38	0.32	1.00	0.00	7.86	20.92
174.70	2.00	129108	39.68	3.58	12.96	3.15	0.88	2.43	0.00	10.11	27.21
176.70	2.00	129110	38.29	2.04	13.61	3.72	0.94	2.89	0.00	8.24	30.26
178.50	1.80	129111	38.37	4.85	12.31	4.62	0.94	2.21	0.29	9.29	27.02
180.10	1.60	129112	28.19	8.15	13.88	5.05	0.94	2.85	0.00	11.73	29.22
181.30	1.20	129113	28.06	1.45	16.16	3.38	1.15	4.24	0.00	10.37	35.18
183.30	2.20	129114	39.14	4.00	11.19	4.35	0.78	1.99	0.00	9.39	29.16
185.30	2.00	129115	35.29	2.11	13.62	4.24	0.97	2.29	0.00	9.00	32.48
187.30	2.00	129116	35.26	3.87	11.46	4.09	0.80	2.62	0.00	11.56	30.34
189.30	2.00	129117	34.21	3.48	13.55	3.99	0.95	2.73	0.00	9.99	31.10
190.80	1.30	129118	35.84	5.87	11.37	4.20	0.71	2.83	0.00	8.83	30.34
191.50	0.70	129119	43.92	9.52	7.88	3.76	0.57	1.70	0.00	10.23	22.41
195.00	2.00	129121	36.99	9.34	9.61	2.28	0.64	2.20	0.00	12.19	26.74
197.00	2.00	129122	34.23	5.72	11.55	2.21	0.76	2.37	0.00	12.49	30.67
211.60	2.30	129131	42.60	10.08	7.54	3.48	0.47	1.58	0.00	10.60	23.65
213.60	2.00	129132	40.18	3.22	7.71	3.85	0.49	1.34	0.00	12.68	28.34

GEOMET2016

2<sup>nd</sup> International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Comisión Nacional de Minería



## ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC)

- 79 mediciones de estándares
- 102 duplicados
- No blancos

GEOMET2016

2<sup>nd</sup> International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Comisión Nacional de Minería

## Aseguramiento de la calidad (QA)

- Acondicionamiento del ambiente de trabajo.- Instalación de equipo de aire acondicionado, para asegurar una temperatura entre 18°C y 20°C, que es la recomendable para minimizar los efectos, en las mediciones analíticas, por temperatura alta o por variaciones bruscas de la temperatura.
- Instalación de un ventilador ad hoc al costado del equipo; así como un termómetro sensible para verificar constantemente la temperatura.
- Instalación de un equipo extractor de humedad, para mantener el ambiente con baja humedad para minimizar sus efectos durante las mediciones; aparte de alargar el cambio del gel deshidratante que viene instalado en el interior del equipo.
- Selección de 4 analistas (a partir de 17 postulantes geólogos de las mejores universidades del País), capacitación y entrenamiento de varias semanas.
- Capacitación especializada de dos operadores en diciembre del 2015 dictado por P. Patapovas.
- Pruebas de R&R con los operadores, con resultados aceptables para un IC de 95%.
- Supervisión permanente

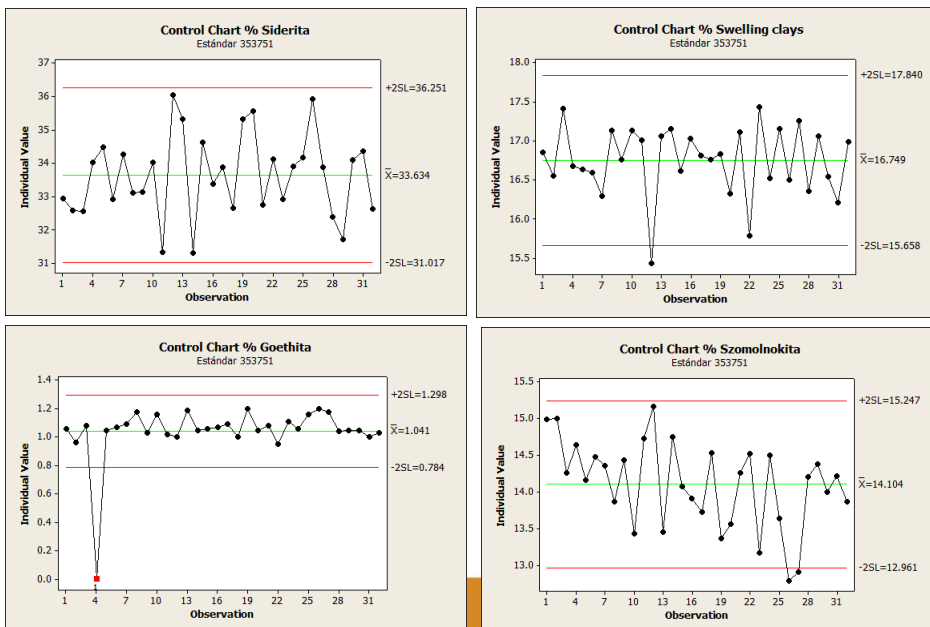
GEOMET2016

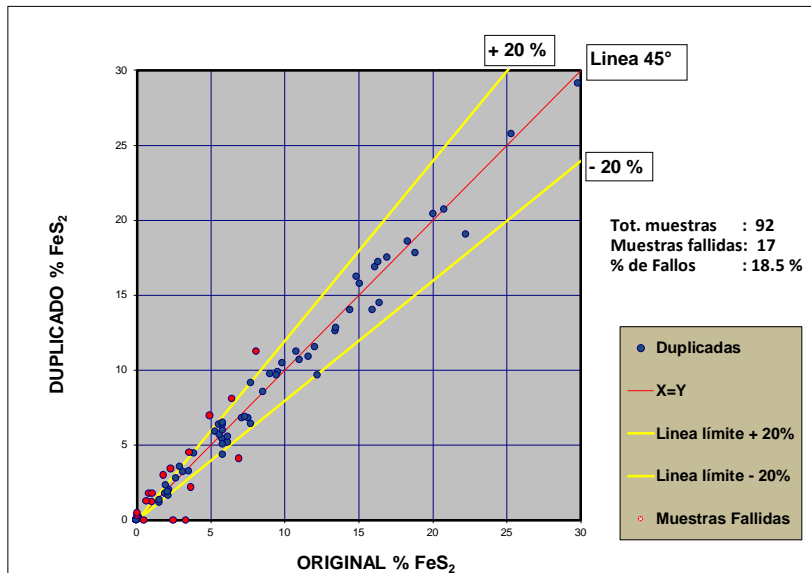
2<sup>o</sup> International Seminar  
on Geochemistry



GECAMIN  
Comisión de Minería

## “Control charts” del estándar: 353751

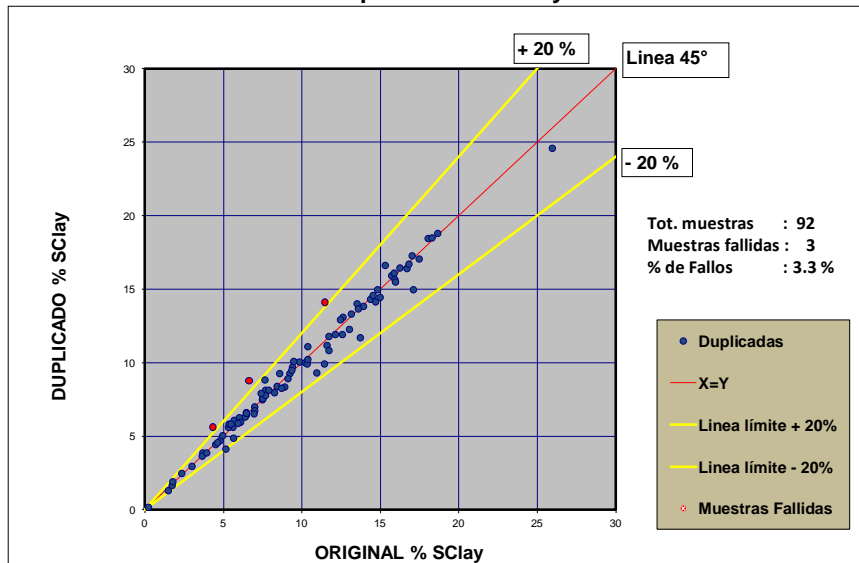


QC Duplicados de FeS<sub>2</sub>

GEOMET2016 2<sup>nd</sup> International Seminar on Geochemistry



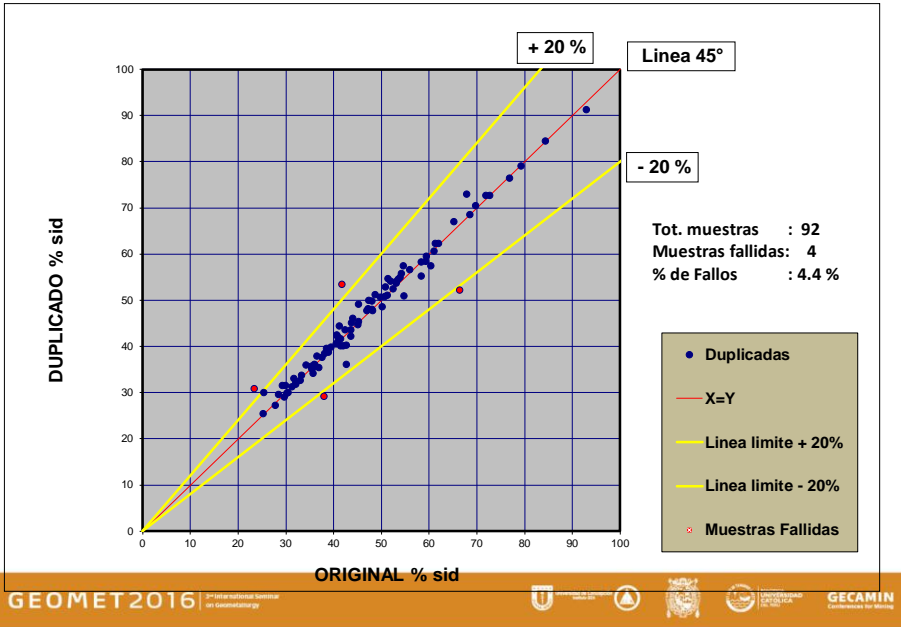
## QC Duplicados de SClay



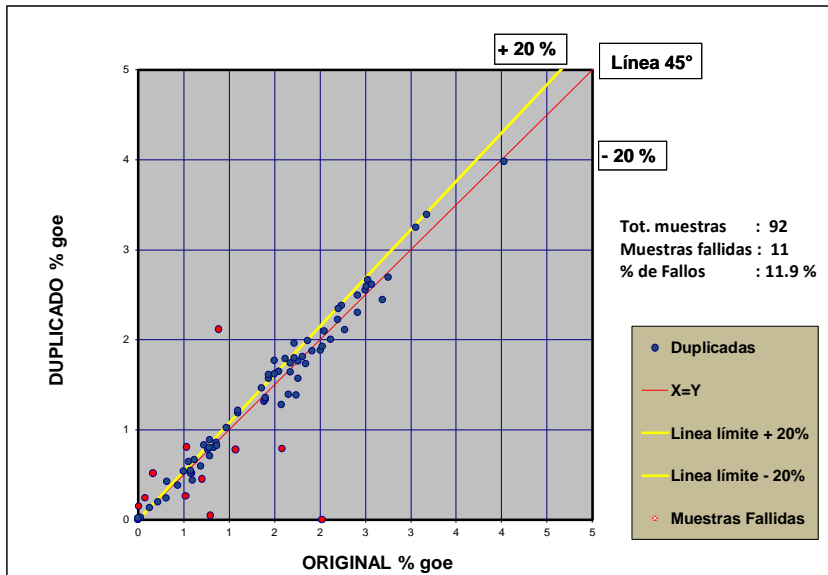
GEOMET2016 2<sup>nd</sup> International Seminar on Geochemistry



QC Duplicados de siderita



QC Duplicados de goethita

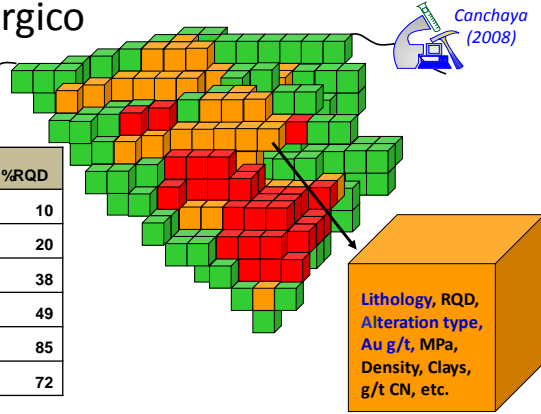


# El Modelo Geometalúrgico de Bloques



## Data para el Modelo Geológico

Este	Norte	Cota	Au gr/t	Alt	Lito	%RQD
655600	8834567	4509	0.52	4	12	10
655675	8835772	4484	1.23	4	12	20
655750	8836977	4459	1.01	4	12	38
655825	8838182	4434	0.56	4	12	49
655900	8839387	4409	1.08	2	12	85
655975	8840592	4384	0.45	2	12	72

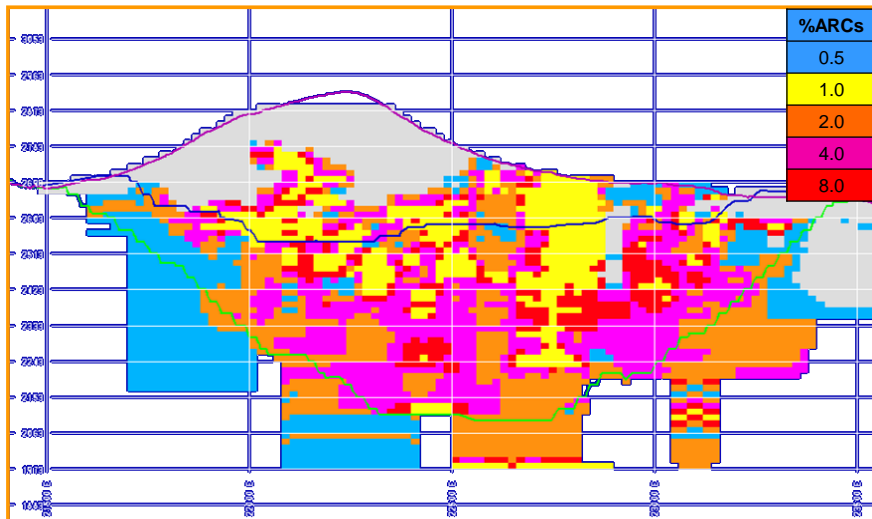


## Data para el Modelo Geometalúrgico de Bloques

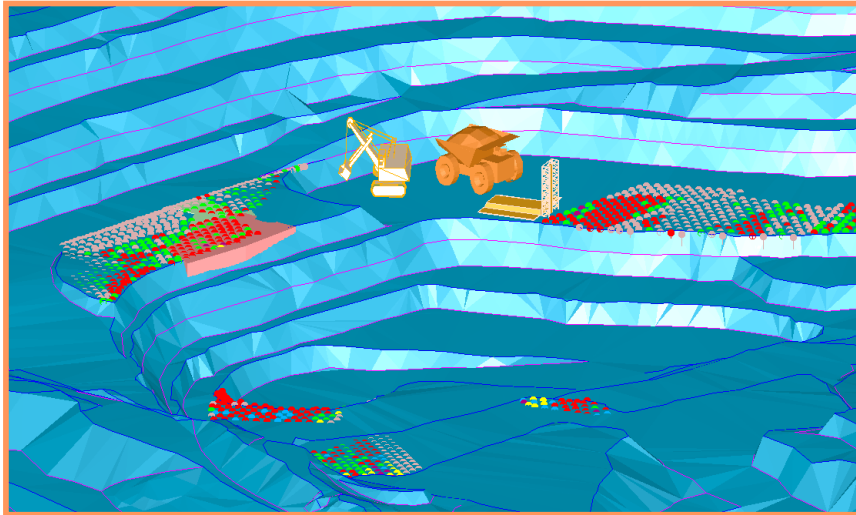
Este	Norte	Cota	Au gr/t	Alt	Lito	RQD %	MPa	Densid.	mc	ARCs	C <sub>org</sub>	Bi	As	Au R
								gr/cm <sup>3</sup>	%	%	%	ppb	ppm	g/t
655600	8834567	4509	0.52	4	12	10	33	5.5	3.29	5.5	1.22	32	122	0.12
655675	8835772	4484	1.23	4	12	20	56	3.3	2.33	2.3	0.76	345	23	0.32
655750	8836977	4459	1.01	4	12	38	124	7.6	1.02	7.6	0.55	123	34	0.20
655825	8838182	4434	0.56	4	12	49	156	2.6	0.98	0.6	1.01	876	65	0.87
655900	8839387	4409	1.08	2	12	85	250	2.5	0.33	0.5	0.23	34	765	0.08
655975	8840592	4384	0.45	2	12	72	200	2.3	0.45	2.3	0.07	222	13	0.15

## Ejemplo de Modelado de Arcillas

a partir de data semi-cuantitativa con Espectrómetro FTNIR



## Modelado de Arcillas en muestras de Blast-Holes a partir de análisis con Espectrómetro FTNIR



GEOMET2016 27 | 2<sup>o</sup> International Seminar  
on Geochemistry



## Conclusiones

- Para implementar un modelo geometalúrgico de bloques se requiere de gran volumen de data cuantitativa, que sea resultado de muestreo y análisis sistemáticos.
- De los métodos analíticos más conocidos actualmente, el de espectrometría FTNIR es el más indicado

Método	Entregables	Tiempo por muestra	20,000 muestras
Espectrometría NIR	Mineralogía semi-cuantitativa de ARCs, oxisales, micas, etc.	Decenas de segundos	15 días
Difracción de Rayos-X	Mineralogía cuantitativa "Bulk"	Decenas de minutos	417 días
Microscopía óptica con Software Automatizado	Análisis modal mineralógico de menas y gangas, intercrecimientos, grado de liberación, etc.	Varias decenas de minutos	515 días
LMA - QEMSCAN	Análisis mineralógico, intercrecimientos, grado de liberación, etc. totalmente automatizado	Horas	850 días

GEOMET2016 27 | 2<sup>o</sup> International Seminar  
on Geochemistry



## Referencias

- ❑ **Canchaya S.** (2008) *El Modelo Geometalúrgico*.- XIV Congreso Peruano de Geol y XIII Congreso Latinoamericano de Geología; 29Set-30Oct Lima, 6p.
- ❑ **Canchaya S.** (2012 y 2013) *Density and mechanical competence, main physical and mechanical variables in Geometallurgical Models*. GEOMET 2012, Sgo. de Chile Dic. 2012 y GEOMIN 2013 Sgo. de Chile Jul. 2013.
- ❑ **Canchaya S.** (2013) *Sampling of Variables with Proportional Effect*.- 6<sup>th</sup> World Conference on Sampling and Blending: 6WCSB; 19 al 21 de Nov. del 2013 en Lima.
- ❑ **Canchaya S.** (2014) *El Modelo Geometalúrgico Strictu Sensu*.- XVII Congreso Peruano de Geol; Oct Lima, 4p.
- ❑ **Canchaya S. & R. Baumgartner & A. Gaibor & A. Trueman** (2013) *Sampling of Variables with Proportional Effect* y *Bulk Density for Resource Estimation and Geometallurgical Purposes – Canahuire Au-Cu-Ag Deposit, Southern Peru* ; 6<sup>th</sup> World Conference on Sampling and Blending: 6WCSB; 19 al 21 de Nov. del 2013 en Lima.
- ❑ **Canchaya S. & R. Baumgartner & A. Gaibor & A. Trueman** (2013) *Bulk Density for Resource Estimation and Geometallurgical Purposes – Canahuire Au-Cu-Ag Deposit, Southern Peru*.- 6<sup>th</sup> World Conference on Sampling and Blending: 6WCSB; 19 al 21 de Nov. del 2013 en Lima.

# Sampling OK S.A.C.

MUESTREO y QA/QC & GEOESTADÍSTICA & GEOMETALURGIA  
[samplingok@gmail.com](mailto:samplingok@gmail.com); [www.sampling-ok.com](http://www.sampling-ok.com)



**M. Sc. Samuel Canchaya Moya**  
51-1-2579636; 51-988021992  
[canmoysa@gmail.com](mailto:canmoysa@gmail.com)