



Evolución de la tecnología MineSight para la Evaluación de Recursos Minerales en MinePlan

John Estano – Senior MinePlan Specialist

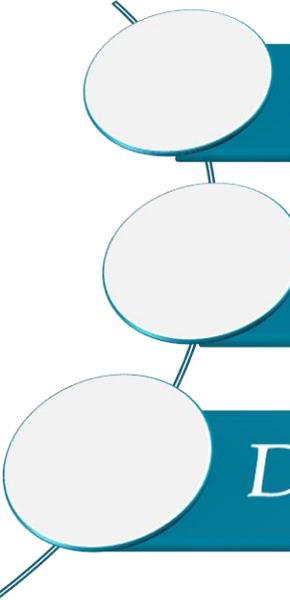
RESUMEN

- Los principales activos de una empresa minera, además de su equipo humano, son sus RECURSOS y sus RESERVAS.
- Los RECURSOS estimados que no cumplan metodologías de validación como control de calidad pueden llevar a una empresa a la ruina.

OBJETIVO

- Conocer metodologías que ayuden en la Estimación de Recursos minerales, para asegurar la calidad de resultados del Modelo Geológico.

PROCESO DE ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES (interpolación)



Antes de la interpolación

Durante la interpolación

Después de la interpolación

Reconciliación

PROCESO DE ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES (interpolación)



ANTES DE LA INTERPOLACION

QAQC

Modelo Geológico

Estadística / Numérica

QAQC

Revisar el QAQC de preparación de muestra

- *Protocolo*
- *Muestras de control*

Revisar el QAQC de Análisis químico

- *Muestras de control*

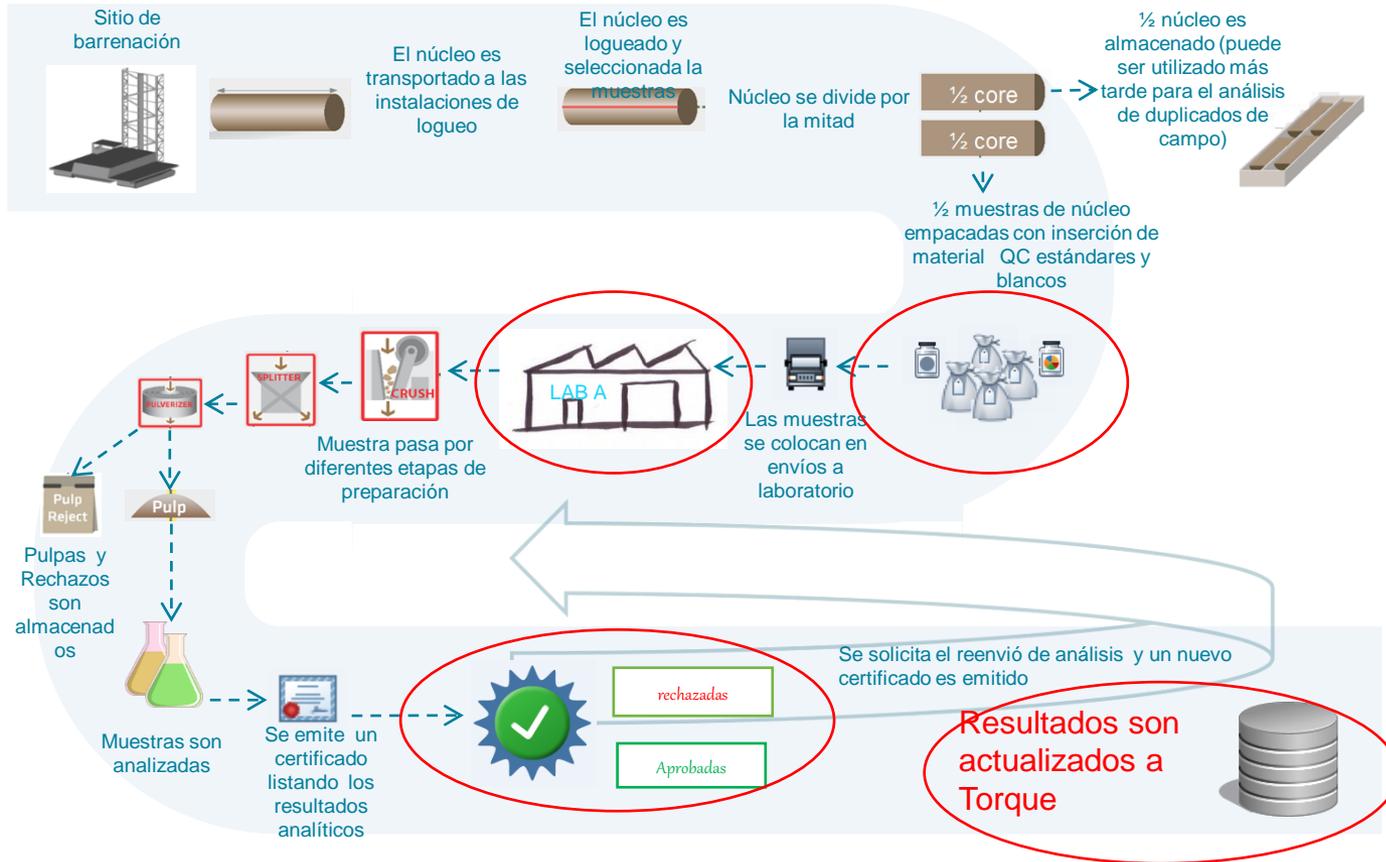
Revisar Densidades

QAQC

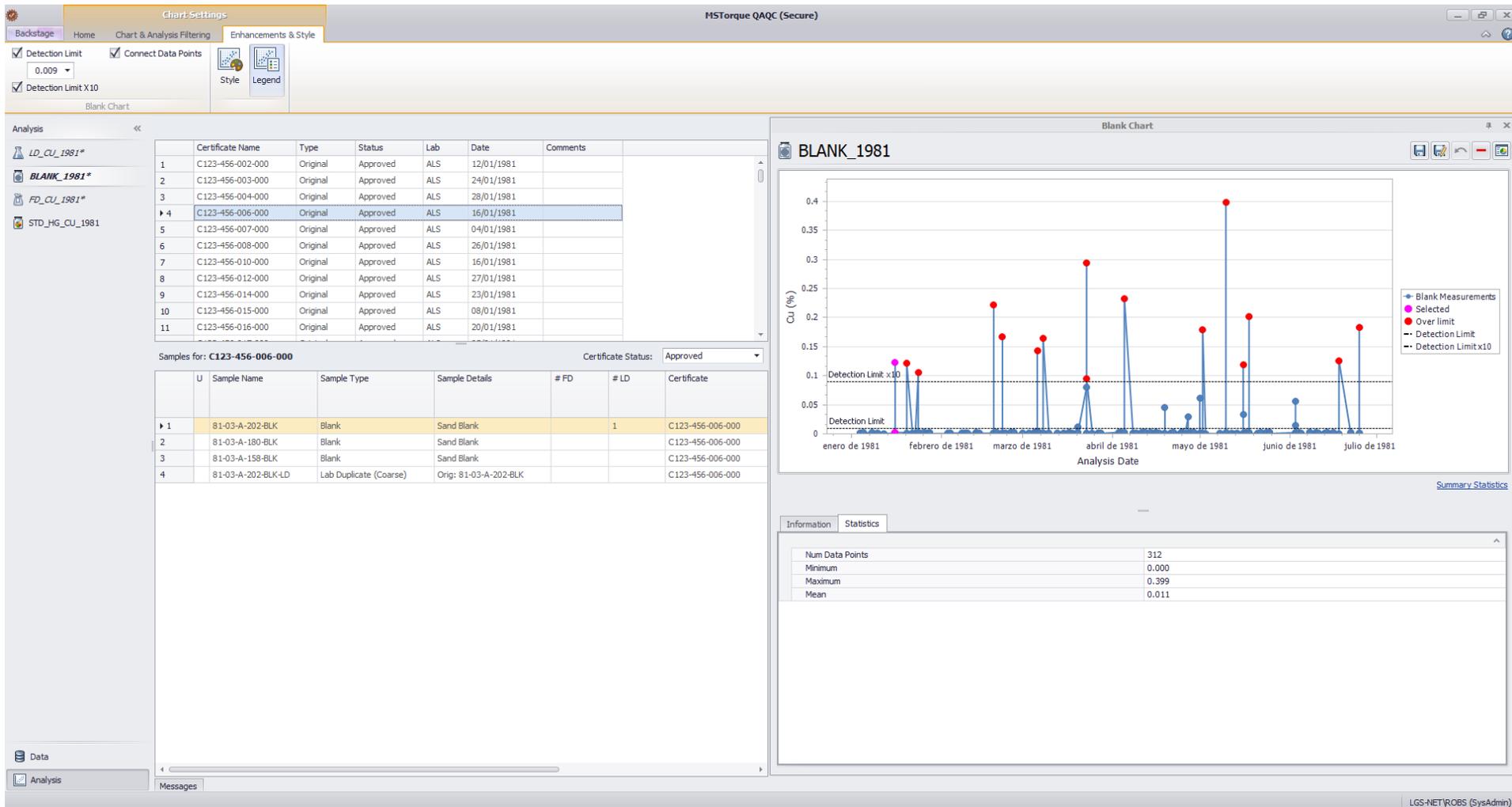
Tasa ideal de Inserción de Muestras de control

TIPO DE MUESTRA	TASA DE INSERCIÓN %
Muestras Gemelas	2
Duplicado Grueso	2
Duplicado Preparación	2
Estandar ley Baja	6
Estandar ley Media	
Estandar ley Alta	
Blanco Brueso	2.5
Blanco Fino	2.5
Checkeo externo	5
TOTAL	22

QAQC



BLANCO



DUPLICADO

Chart Settings MStorque QAQC (Secure)

Backstage Home Chart & Analysis Filtering Enhancements & Style

Period Start: 01/01/1981 Period End: 31/12/1981 Certificate Status: All States Laboratory: ALS Lab Methods (original): ALS-AA Category: No Filtering Primary Field Duplicate Attribute: Cu

Analysis

Certificate Name	Type	Status	Lab	Date	Comments
1 C123-456-002-000	Original	Approved	ALS	12/01/1981	
2 C123-456-003-000	Original	Approved	ALS	24/01/1981	
3 C123-456-004-000	Original	Approved	ALS	28/01/1981	
4 C123-456-006-000	Original	Approved	ALS	16/01/1981	
5 C123-456-007-000	Original	Approved	ALS	04/01/1981	
6 C123-456-008-000	Original	Approved	ALS	26/01/1981	
7 C123-456-010-000	Original	Approved	ALS	16/01/1981	
8 C123-456-012-000	Original	Approved	ALS	27/01/1981	
9 C123-456-013-000	Original	Approved	ALS	21/01/1981	
10 C123-456-015-000	Original	Approved	ALS	08/01/1981	
11 C123-456-016-000	Original	Approved	ALS	20/01/1981	

Samples for: C123-456-006-000 Certificate Status: Approved

U	Sample Name	Sample Type	Sample Details	# FD	# LD	Certificate	Cu % ALS-AA	Cu % ALS-ICP
1	81-03-A-182	Field Sample		1		C123-456-006-000	0.510	
2	81-03-A-157	Field Sample		1		C123-456-006-000	0.060	
3	81-03-A-182-FD	Field Duplicate	Orig: 81-03-A-182		1	C123-456-006-000	0.447	
4	81-03-A-157-FD	Field Duplicate	Orig: 81-03-A-157			C123-456-006-000	0.596	

Field Duplicate Chart: FD_CU_1981

Legend: Duplicate Measurements (blue dots), Selected (pink dots), Failed pairs (red dots), Cutoff (dashed line)

Information Statistics Analysis Control Limits

Control Limit Type	y = mx + b
Tolerance %	30.0
Detection Limit	0.009
Maximum Value	5.913
Slope (m)	1.43
Intercept (b)	0.270
Number of Failed Pairs	30 (11.9%)

ESTANDAR

MSTorque QAQC (Secure)

Chart Settings: Backstage, Home, Chart & Analysis Filtering, Enhancements & Style

Standard Chart

Analysis

- LD_CU_1981*
- BLANK_1981*
- FD_CU_1981*
- STD_HG_CU_1981***

Certificate Name	Type	Status	Lab	Date	Comments
1	C123-456-004-000	Original	Approved	ALS	28/01/1981
2	C123-456-005-000	Original	Approved	ALS	17/01/1981
3	C123-456-006-000	Original	Approved	ALS	16/01/1981
4	C123-456-007-000	Original	Approved	ALS	04/01/1981
5	C123-456-008-000	Original	Approved	ALS	26/01/1981
6	C123-456-009-000	Original	Approved	ALS	11/01/1981
7	C123-456-010-000	Original	Approved	ALS	16/01/1981
8	C123-456-012-000	Original	Approved	ALS	27/01/1981
9	C123-456-013-000	Original	Approved	ALS	21/01/1981
10	C123-456-015-000	Original	Approved	ALS	08/01/1981
11	C123-456-016-000	Original	Approved	ALS	20/01/1981

Samples for: C123-456-012-000 Certificate Status: Approved

U	Sample Name	Sample Type	Sample Details	# FD	# LD	Certificate	Cu % ALS-AA	Cu % ALS-ICP
1	81-07-A-402-STD	Standard	SRM-High			C123-456-012-000	0.303	
2	81-07-A-387-STD	Standard	SRM-High			C123-456-012-000	0.305	
3	81-07-A-417-STD	Standard	SRM-High			C123-456-012-000	0.287	

Standard Chart: STD_HG_CU_1981

Summary Statistics

Information	Statistics	Analysis
Num Data Points	324	
Minimum	0.027	
Maximum	0.627	
Mean	0.292	
Standard Deviation	0.039	
Variance	0.001	
Num Points > 1 Std Dev	136	
Num Points > 2 Std Dev	46	
Num Points > 3 Std Dev	16	

Modelo Geológico

Revisar los volúmenes de los cuerpos geológicos

Revisar geología - Taladros vs Sólidos

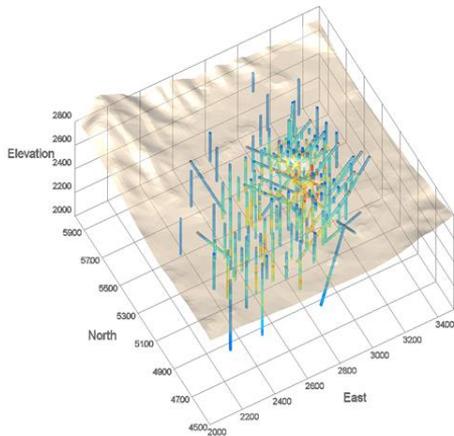
Secciones / vistas de planta del modelo y taladros

Revisar la orientación de Mineralización

Modelo Geológico

Description of the Dataset

- Drilling data consists of 138 drillholes



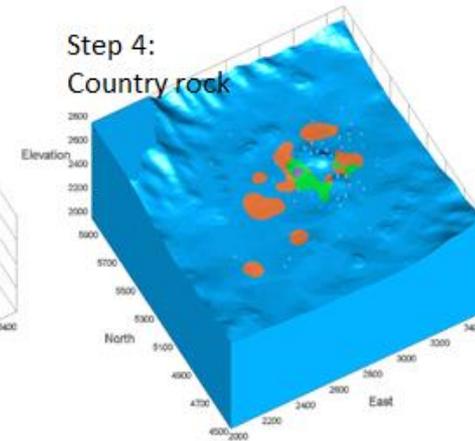
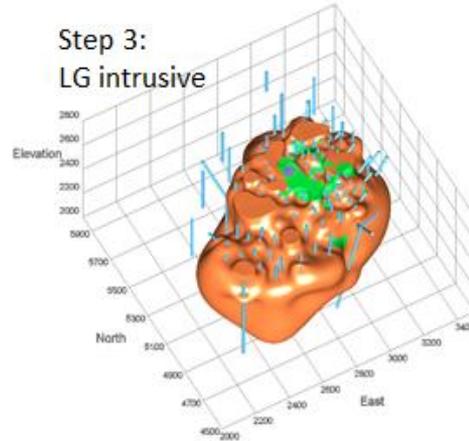
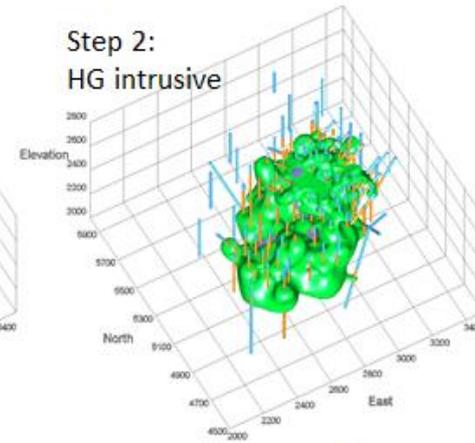
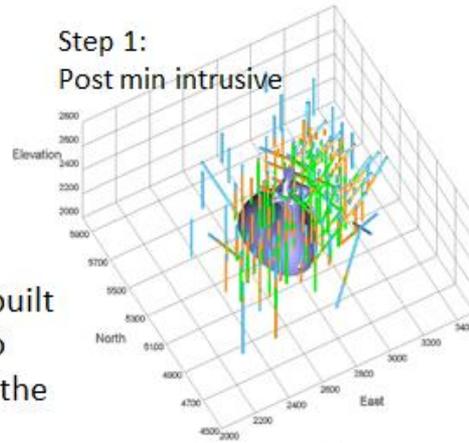
Items:

- CU: Total copper content (%)
- ROCK: Rock type (four rock codes)
 1. High grade porphyry
 2. Low grade porphyry
 3. Country rock
 4. Post mineralization intrusive

DB	Name	Long Name	Abbr.	Data Type	Min	Max	Prec.	Unit	Enums.	A	G	O	DP	3D 1	3D 2
✓	Alter	Alteration Code	Altr	Small Integer	10	99		None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Cat1	Cat1	Cat1	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Cobre	Copper	Cu	Small Real	0.00	10.00	2	Percent	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Code	CODE	CODE	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Cuidw	CUIDW	CUIDW	Small Real			2	None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	CuKrg	CUKRG	CUKRG	Small Real			2	None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	CuNS	Cu Normal Score	CUNS	Small Real			3	None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	CuPV	Cu Point Validation	CUPV	Small Real			2	None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	FlagR1	Flag para Rock 1	FlagR1	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	FlagR2	Flag para Rock 2	FlagR2	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	FlagR3	Flag para Rock 3	FlagR3	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	FlagR4	Flag para Rock 4	FlagR4	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Ind1	Indicadores Rock	IND1	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Ind2	Indicadores Cutoff	IND2	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Moly	Molybdenum	Mo	Small Real	0.000	1.000	3	Percent	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	Rock	Lithology Code	Rock	Small Integer	0	10		None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	RockX	Litologia corregida	SolidCode	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	RockY	Rock Validation by Backflag	RockY	Small Integer				None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓	WDeclust	Weigth Declustered	WDeclust	Small Real			2	None	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

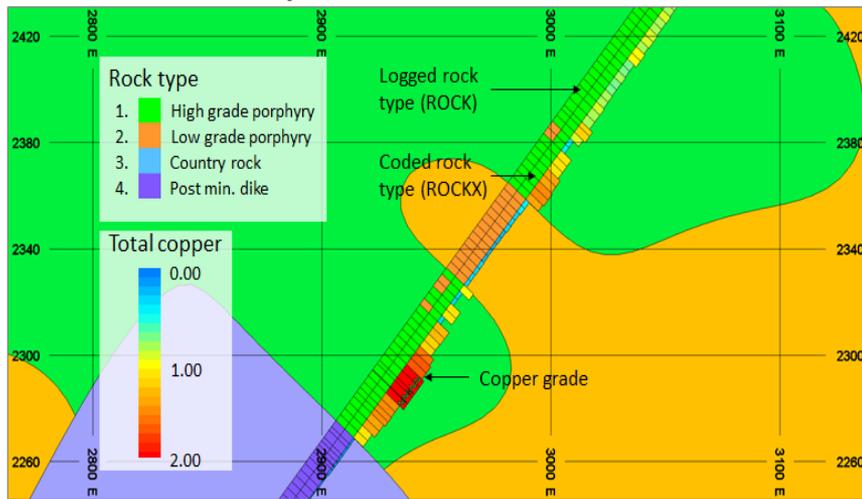
Modelo Geológico

The geologic model is built sequentially taking into account the genesis of the deposit.

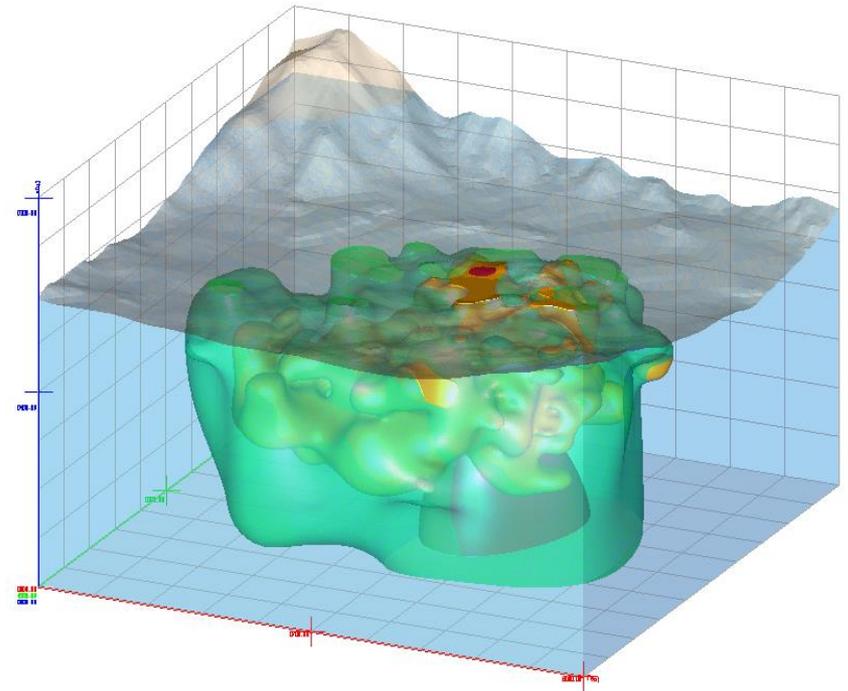


5

Modelo Geológico

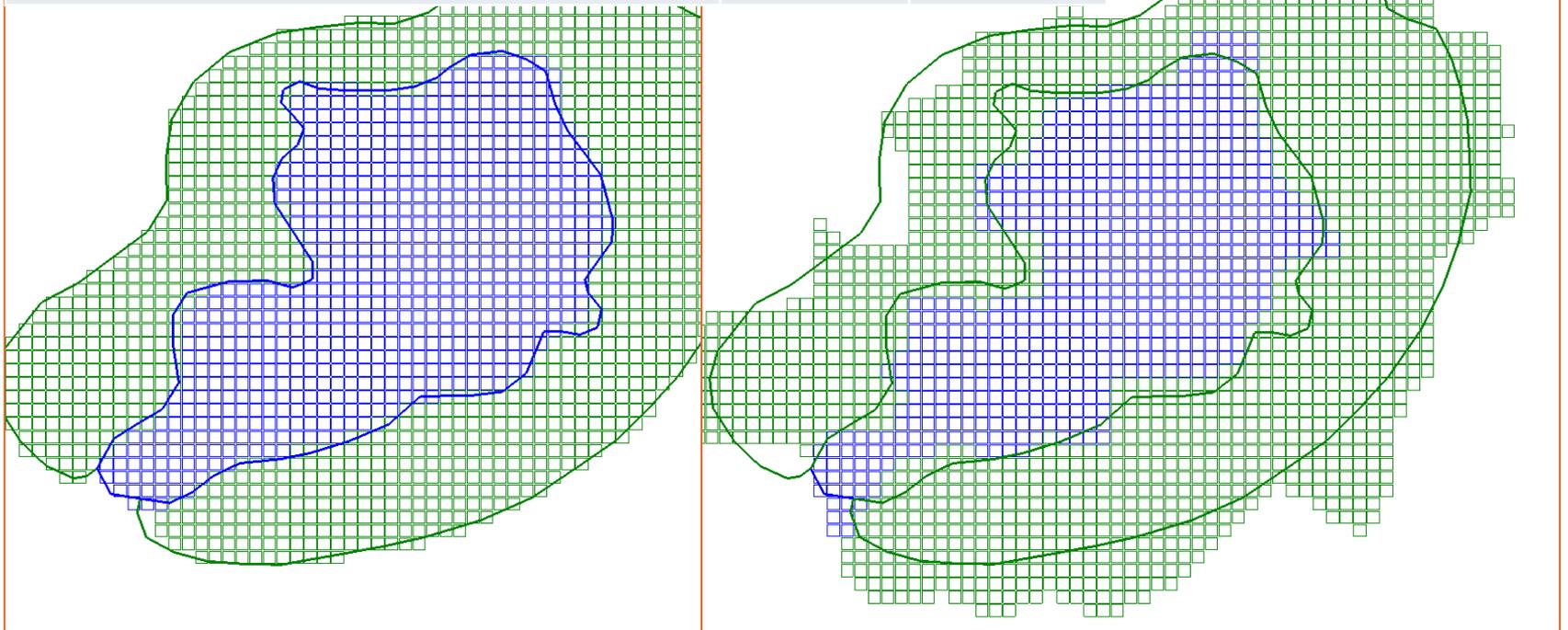


- The geologic model does not honor logged intervals.
- This eventually leads to a loss of information in the block model.

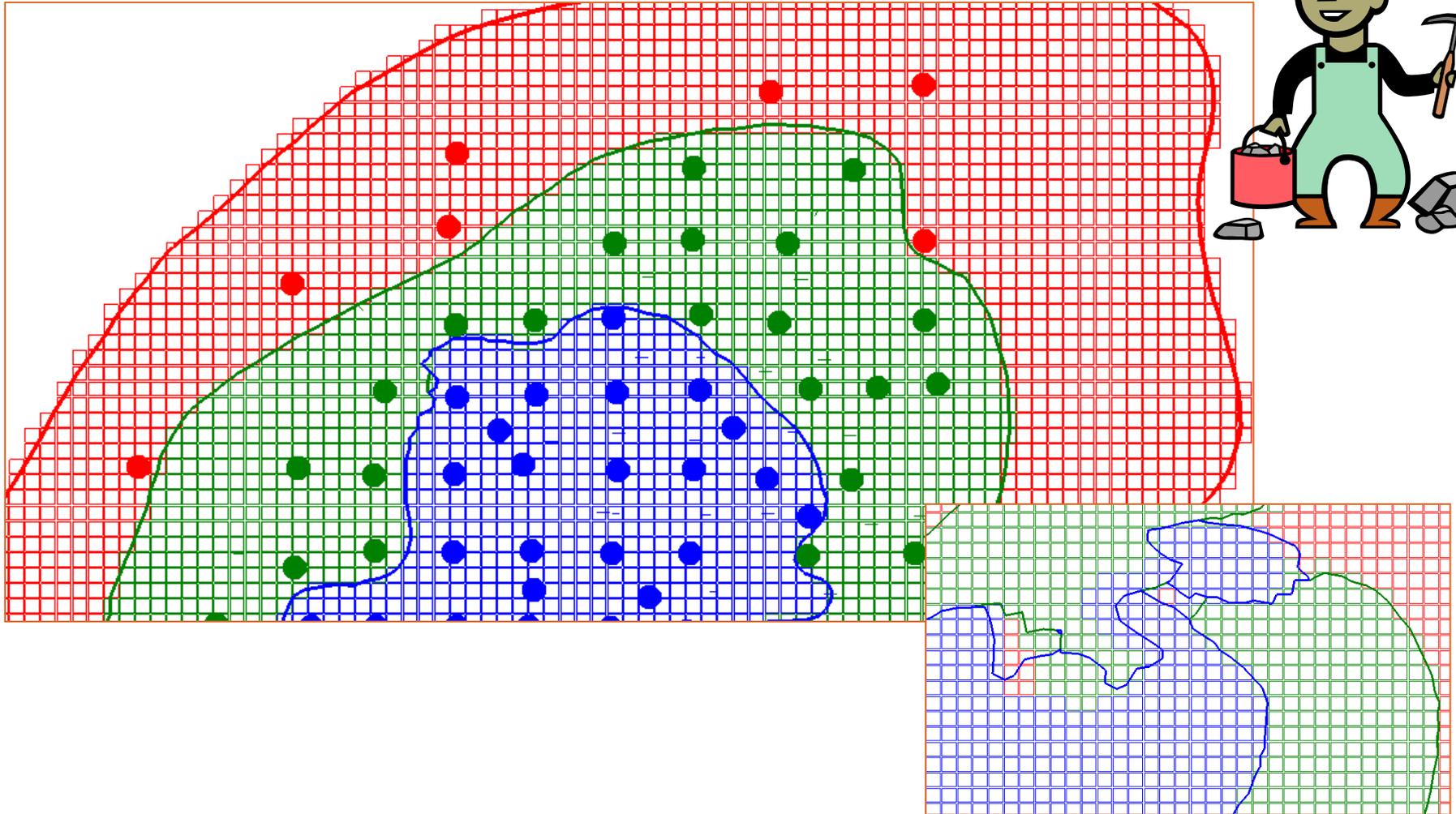


Volumenes de los cuerpos geológicos

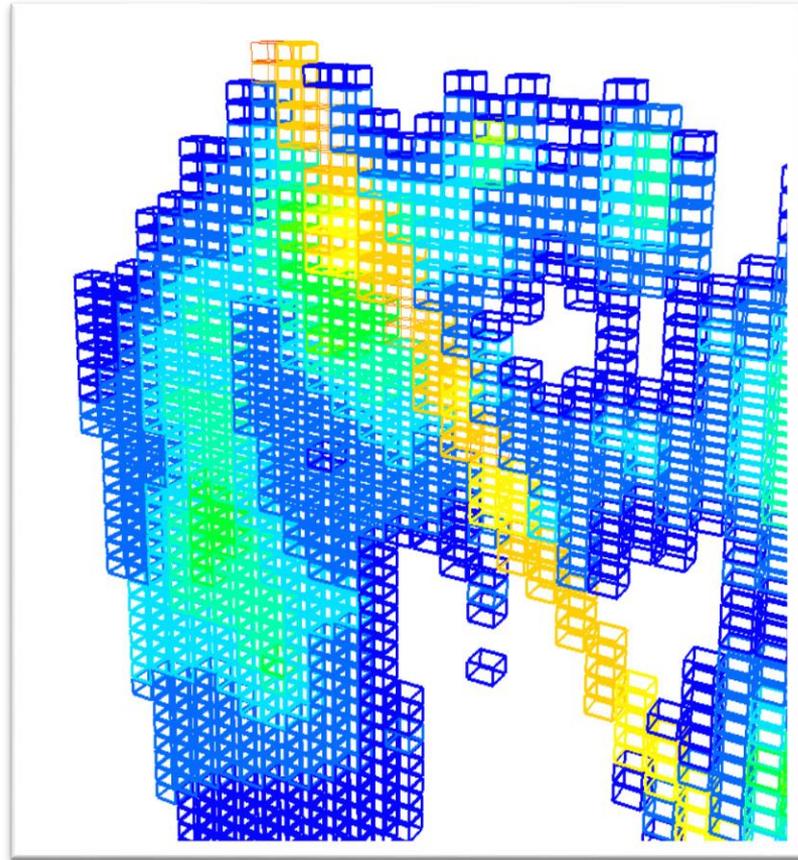
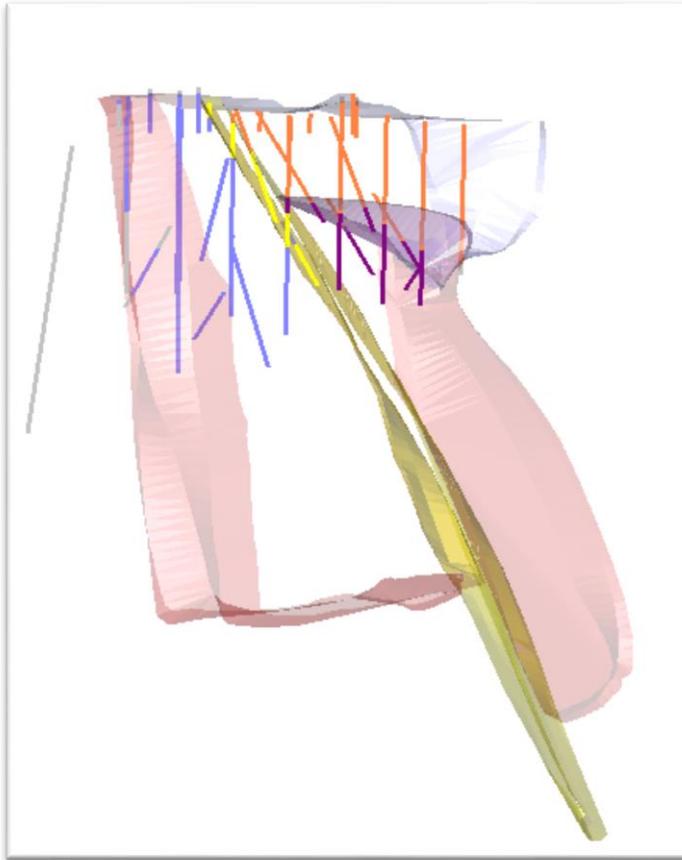
Rock type	1	2
Modelo Determinístico	45%	55%
Modelo Probabilístico Kriging de Indicadores Simulación de Indicadores SIS	42%	58%



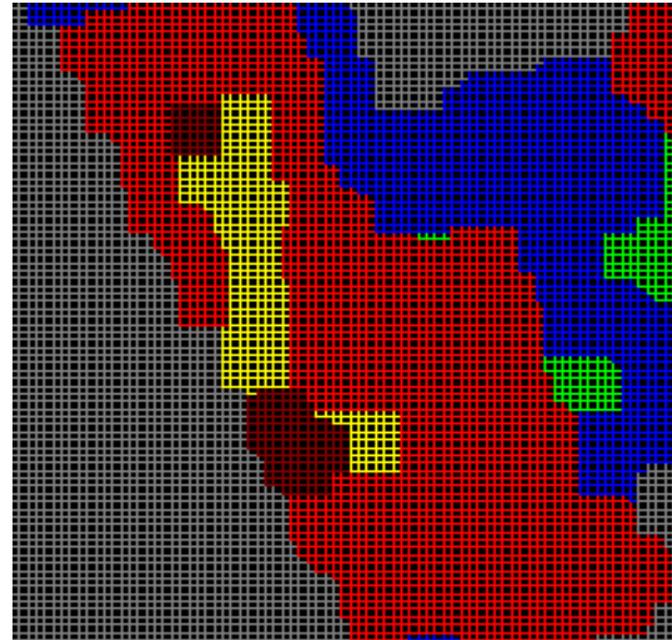
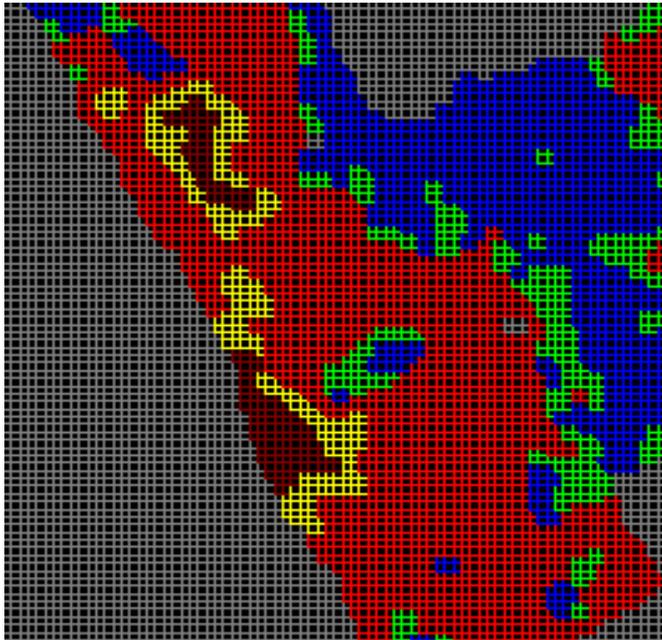
Geología - Taladros vs Sólidos



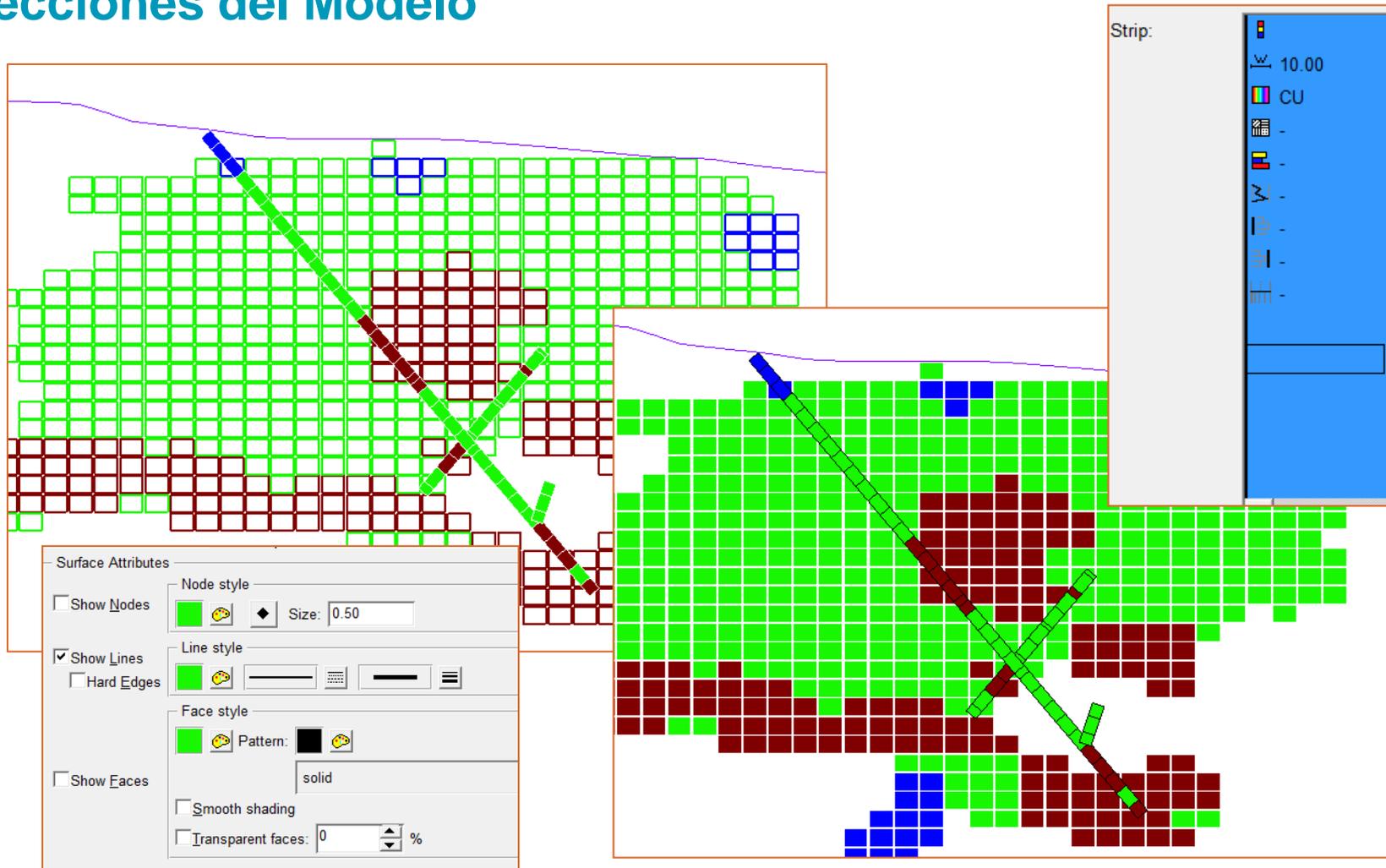
Modelo subbloqueado



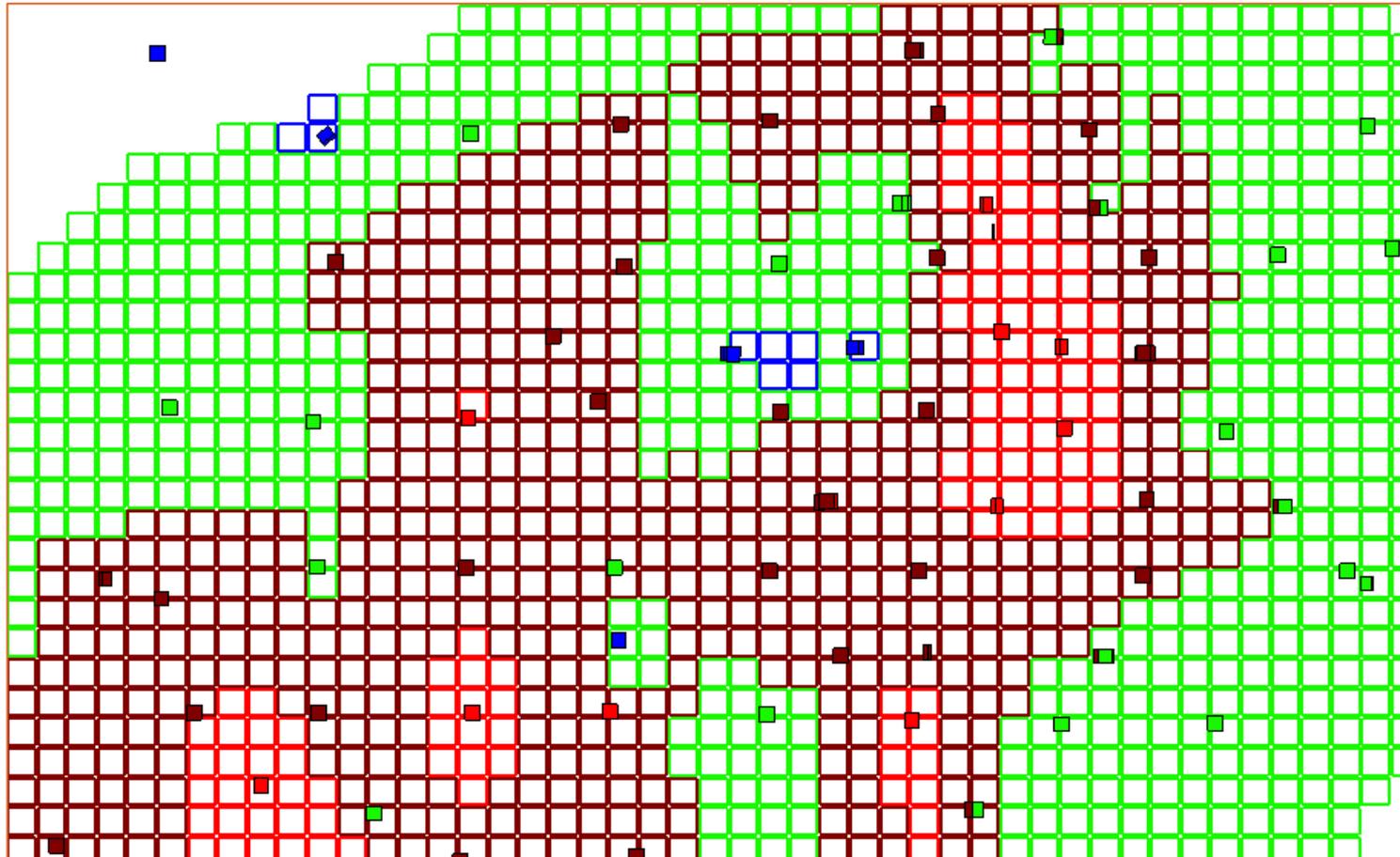
Modelo subbloqueado



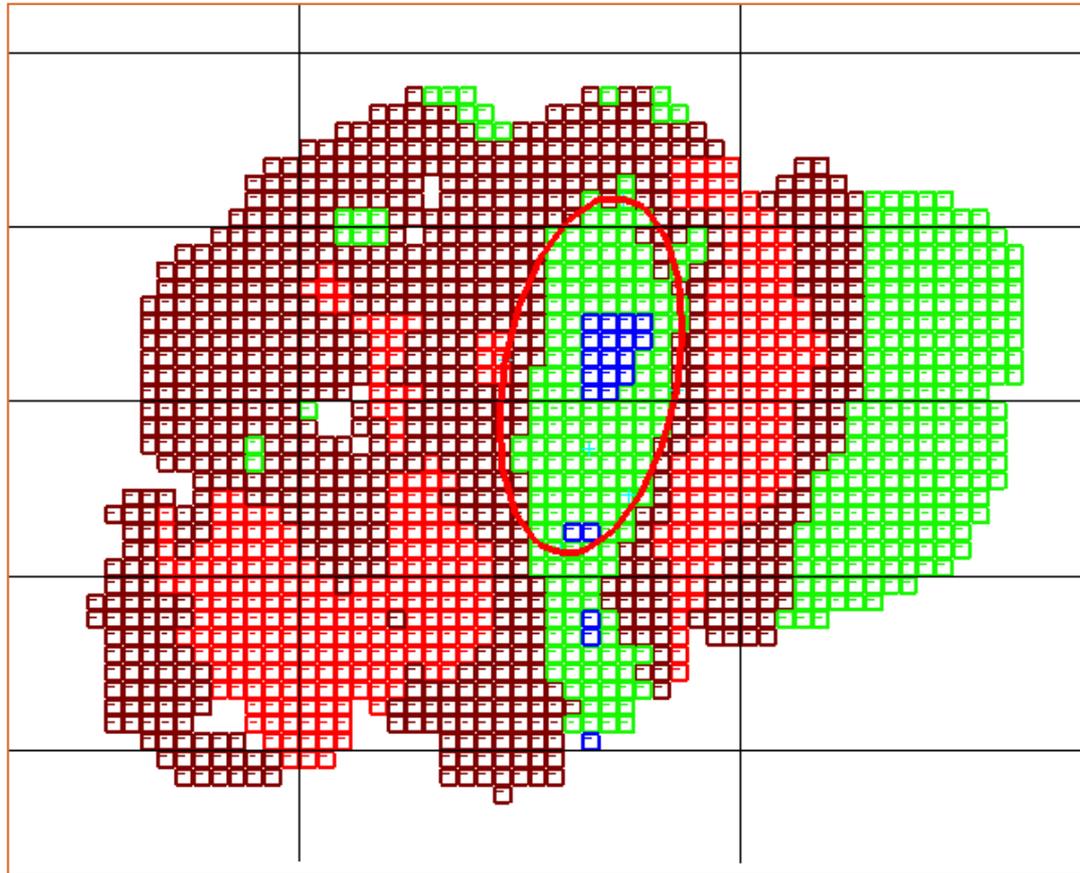
Secciones del Modelo



Vista de Planta del Modelo



Orientación de Mineralización



Estadística

Estadísticas de comparación - Proporciones
Modelo de bloques/ Compósito

Estadísticas de comparación - Replicar
Modelo de bloques/ Compósito

Estadísticas
Modelo de bloques/ Compósito

Estadísticas de comparación - Replicar

RockX - Roca Modelada

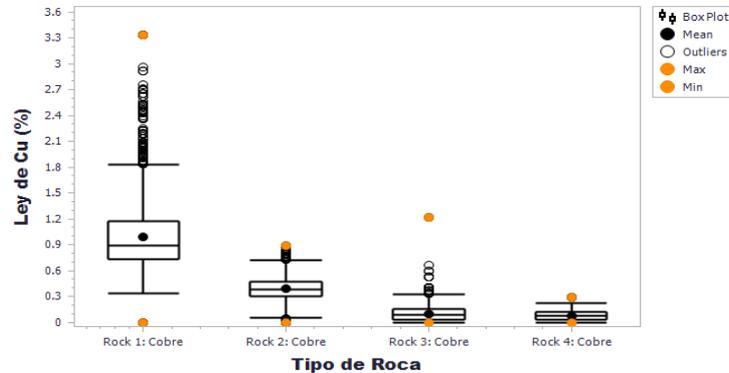
Rock.

Logueada

	1	2	3	4	Total
1	94.9%	3.4%	0.0%	2.4%	31.8%
2	4.7%	96.6%	0.0%	0.6%	38.7%
3	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	26.4%
4	0.4%	0.0%	0.0%	97.0%	3.1%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

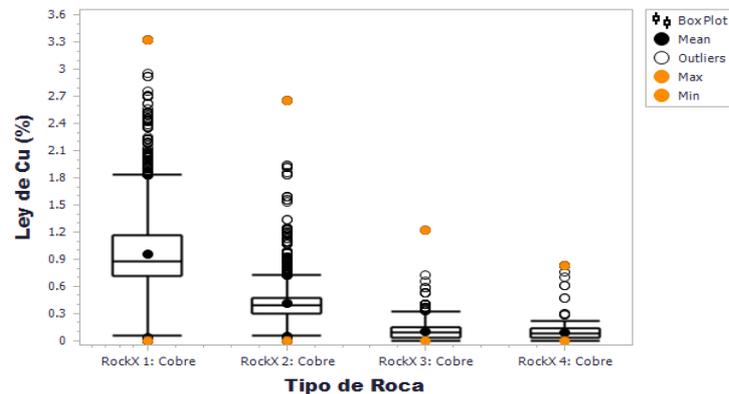
Estadísticas de comparación - Replicar

Assays Cu (%) - Roca Logueada



Statistics	Rock 1: Cobre	Rock 2: Cobre	Rock 3: Cobre	Rock 4: Cobre
Valid Data	3902	4742	3133	386
Total Data	3902	4742	3133	386
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	3.33	0.89	1.22	0.29
Mean	0.99	0.39	0.10	0.08
Variance	0.13	0.01	0.01	0.00
Standard Deviation	0.37	0.12	0.08	0.06
Coefficient Of Variation	0.37	0.31	0.82	0.72
First Quartile (Q1)	0.73	0.30	0.03	0.03
Median (Q2)	0.89	0.38	0.09	0.07
Third Quartile (Q3)	1.17	0.47	0.15	0.12
Upper Outlier Limit	1.83	0.72	0.32	0.22
Lower Outlier Limit	0.34	0.05	0.00	0.00

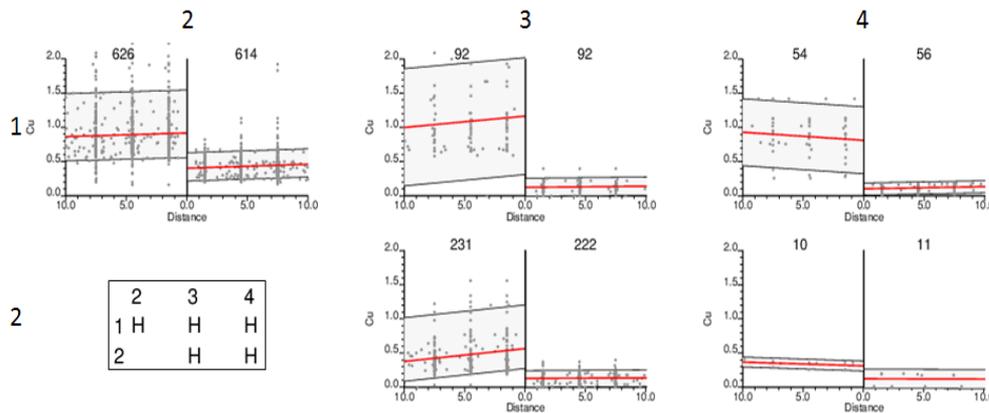
Assays - Cu (%) Roca Codificada



Statistics	Rock X 1: Cobre	Rock X 2: Cobre	Rock X 3: Cobre	Rock X 4: Cobre
Valid Data	3936	4715	3132	380
Total Data	3936	4715	3132	380
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	3.33	2.66	1.22	0.83
Mean	0.96	0.41	0.10	0.09
Variance	0.15	0.03	0.01	0.01
Standard Deviation	0.38	0.17	0.08	0.11
Coefficient Of Variation	0.40	0.41	0.83	1.17
First Quartile (Q1)	0.71	0.30	0.03	0.03
Median (Q2)	0.87	0.39	0.09	0.08
Third Quartile (Q3)	1.16	0.47	0.15	0.13
Upper Outlier Limit	1.83	0.72	0.32	0.22
Lower Outlier Limit	0.05	0.05	0.00	0.00

Análisis de Contactos

Verify relationship between domains:



In presence of soft-contacts, either sub-domaining or trend modeling needs to be considered.

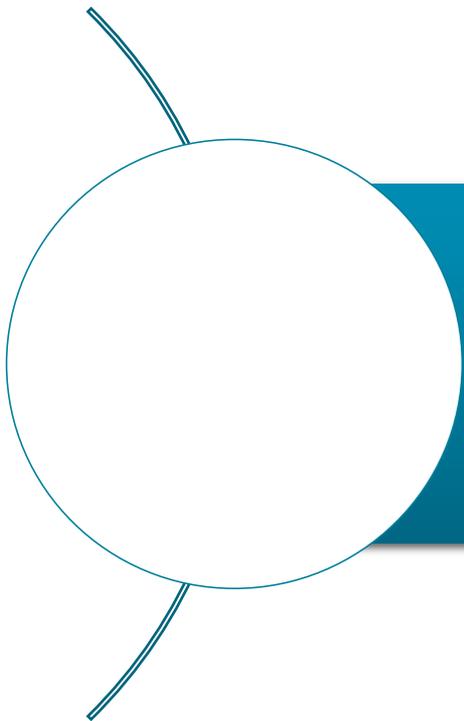
Se puede hacer una matriz. Dónde:

1=Contacto duro,

0=Contacto blando,

Dist= Contacto Firme

	1	2	3	4	5
1	0	50	1	1	1
2	50	0	1	1	1
3	1	1	0	25	1
4	1	1	25	0	50
5	1	1	1	50	0



Durante la interpolación

DURANTE LA INTERPOLACION

Estadística EDA

Variografía

Validación Cruzada

Interpolador

- *Kriging (Ordinario, Simple, Universal, CoKriging); Unfolding; IDW*

Estadística descriptiva

Medidas de ubicación:

- Promedio o Media (mean)
- Mediana (median)
- Moda (mode)
- Mínimo, Máximo
- Cuartiles
- Percentiles

Medidas de dispersión:

- Varianza
- Desviación Estándar
- Rango Intercuartil

Estadística descriptiva

Varianza

$$S^2 = 1/n \sum_{i=1, \dots, n} (x_i - m)^2$$

- Sensitivo a valores altos, o leyes altas (outliers)
- Nunca es negativo

Desviacion Estandar

$$s = \sqrt{s^2}$$

- Es expresado en las mismas unidades que la variable
- Nunca es negativo

Medidas Descriptivas

Medidas de Forma:

- Sesgo (skewness)
- Tendencia de la curva a ser puntiaguda (peakedness, kurtosis)
- Coeficiente de variacion

Coeficiente de Variación

$$CV = s/m$$

- No tiene unidades
- Desviacion estandar dividido por el promedio
- Puede ser util para comparar la dispersion relativa de valores entre distribuciones diferentes
- $CV > 1$ indica una variabilidad alta

Sigma

- Histograma
- Probability plots
- Box plots
- Scatter plots
- QQPlot
- Reportes a medida
- Ver metadata

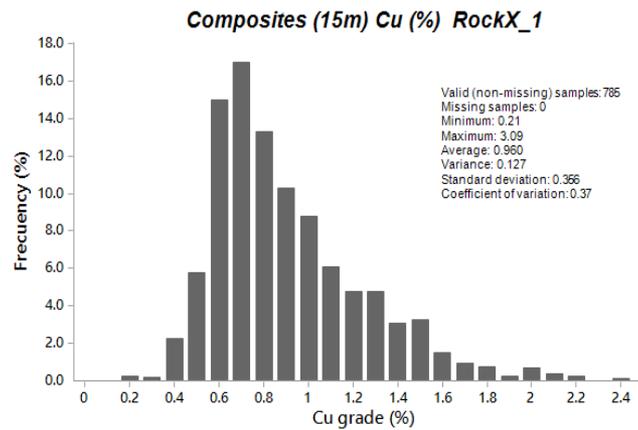
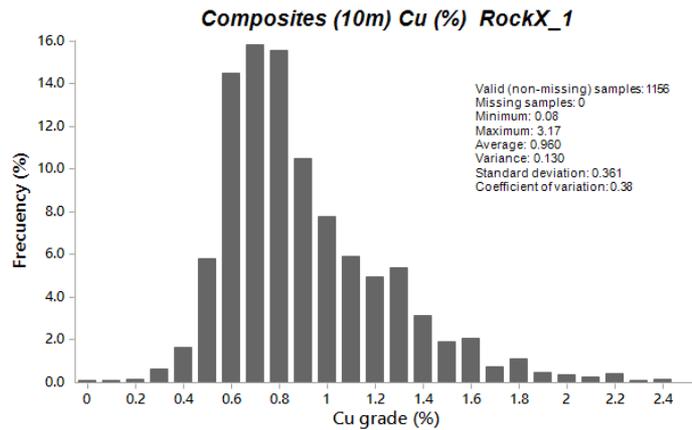
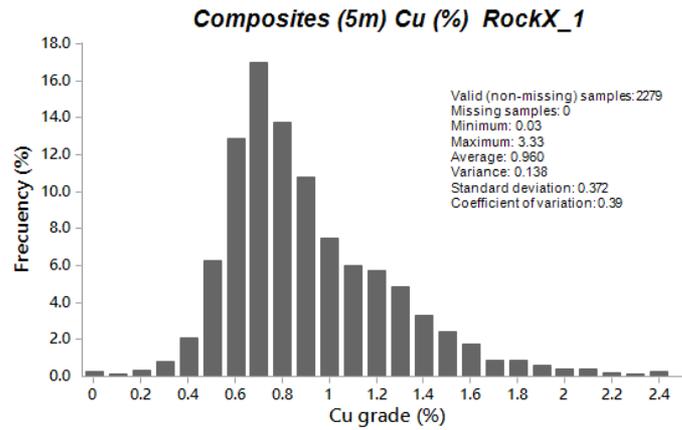
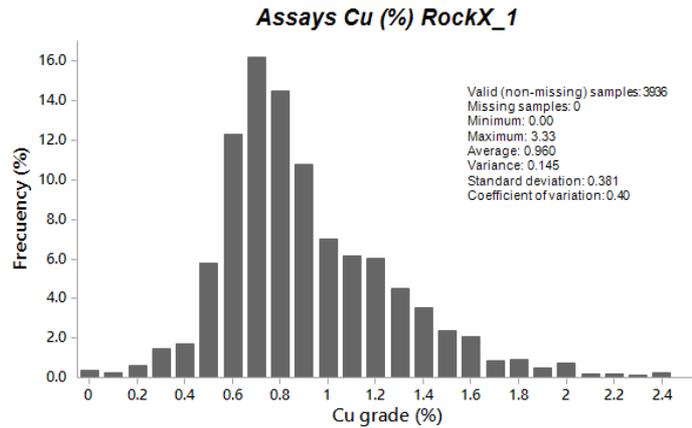


"That's what I want to say. See if you can find some statistics to prove it."

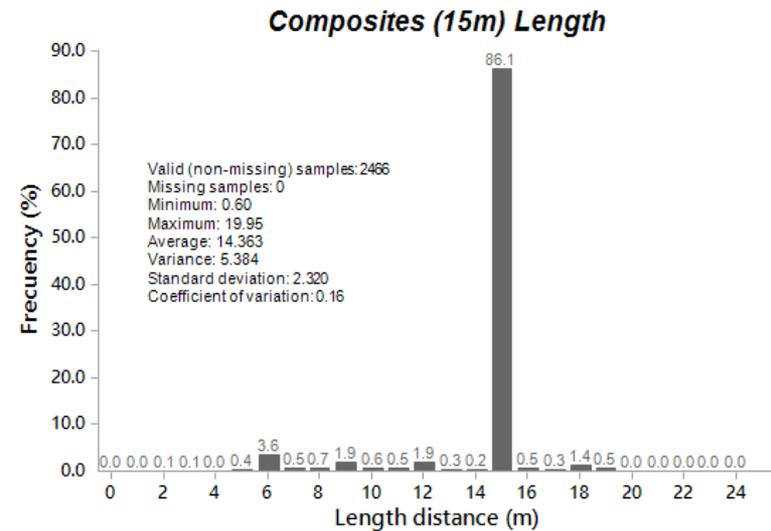
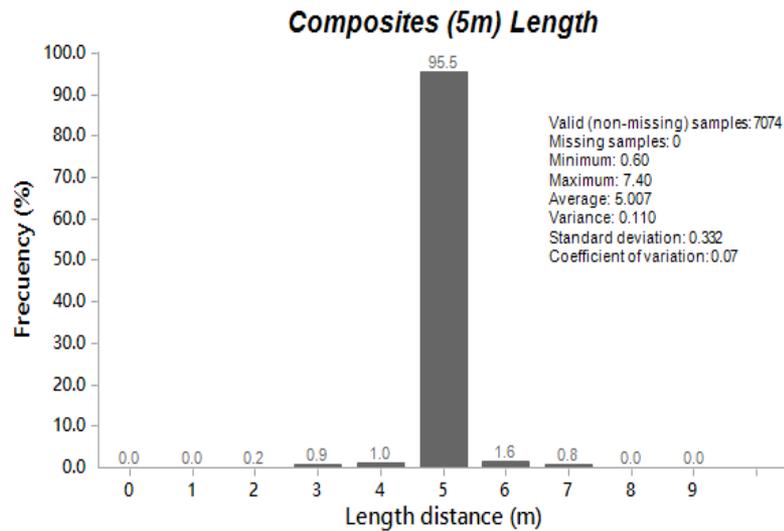
Histograma

- Despliegue visual de la información y su distribución.
- Permite detectar una o más poblaciones
- Detección de valores anómalos para leyes altas o “outliers”
- Variabilidad

Histograma



Histograma



Tablas de Frecuencia Acumulada

Cutoff statistics Rock 1-2

Cutoff (CU)		Weight	Percent	Average	Standard Deviation
0.000	CU	35419.70	100.00	0.523	0.502
	MO	35419.70	100.00	0.0597	0.0666
0.050	CU	31449.95	88.79	0.587	0.498
	MO	31449.95	88.79	0.0663	0.0674
0.100	CU	28842.00	81.43	0.634	0.494
	MO	28842.00	81.43	0.0707	0.0676
0.150	CU	26887.20	75.91	0.671	0.490
	MO	26887.20	75.91	0.0746	0.0680
0.200	CU	25083.90	70.82	0.708	0.488
	MO	25083.90	70.82	0.0787	0.0684
0.250	CU	23257.75	65.66	0.746	0.486
	MO	23257.75	65.66	0.0832	0.0689
0.300	CU	21433.25	60.51	0.787	0.485
	MO	21433.25	60.51	0.0880	0.0694

Gráficos de Probabilidad

- Muestra si la distribución es normal o log-normal
- Se detectan poblaciones múltiples
- Determinar la presencia de (outliers) para leyes altas

Gráficos de Probabilidad

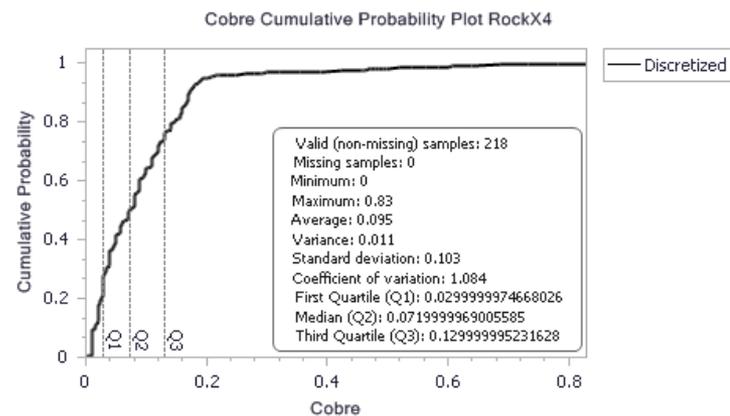
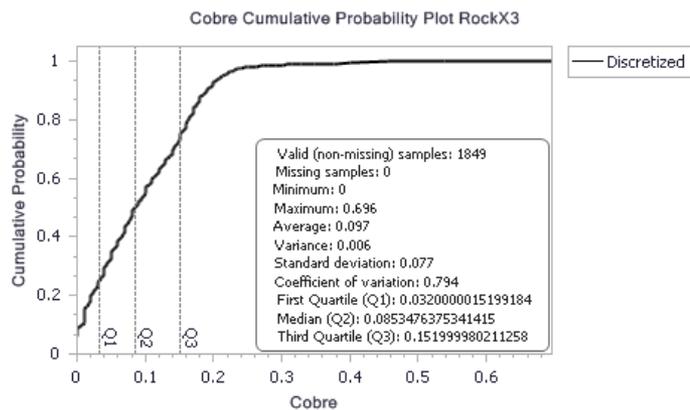
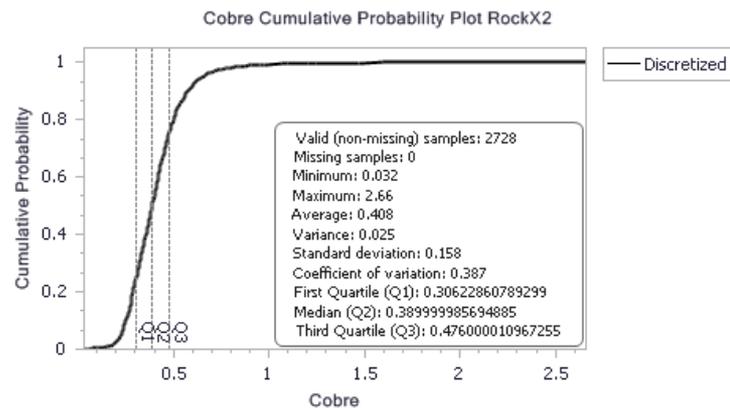
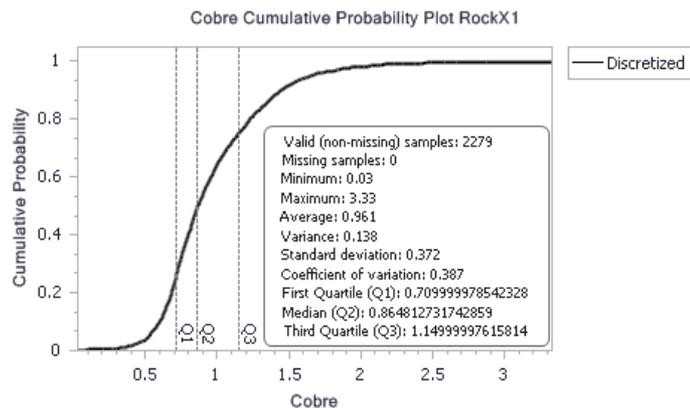


Diagrama de Caja - BoxPlot

- Representación grafica de datos numéricos a través de un solo eje divididos en 5 cuantiles:
- -Observación pequeña escala
- -Primer cuartil (Q1)
- -Mediana
- -tercer cuartil (Q3)
- -Observación a gran escala
- También indica que observaciones, si las hubiese, deberán ser consideradas extremas.

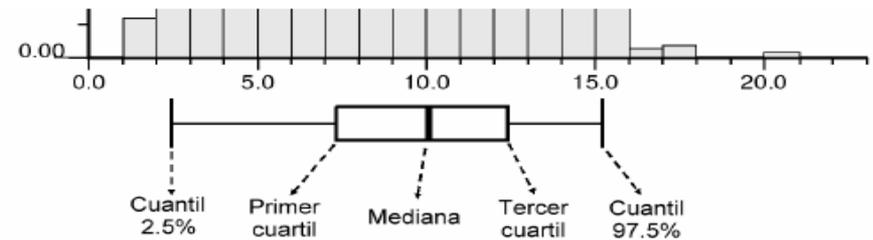
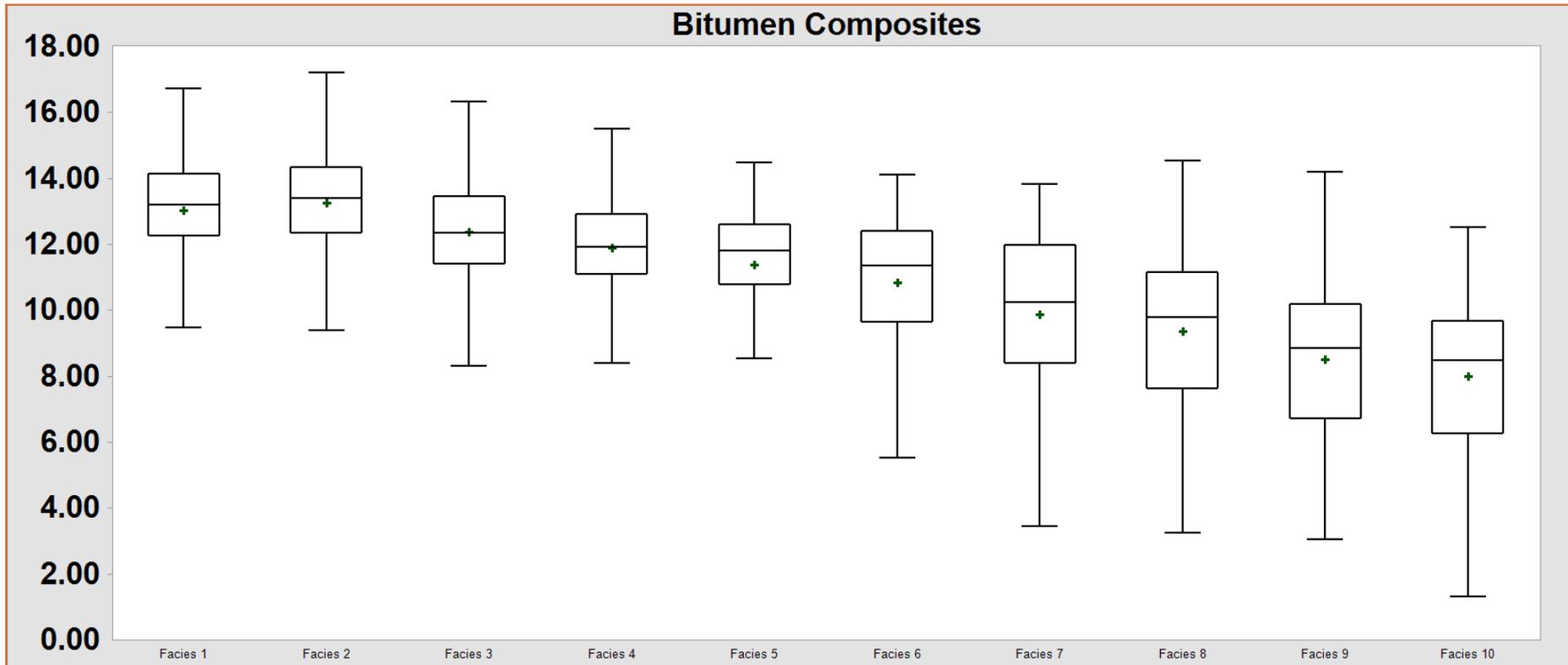
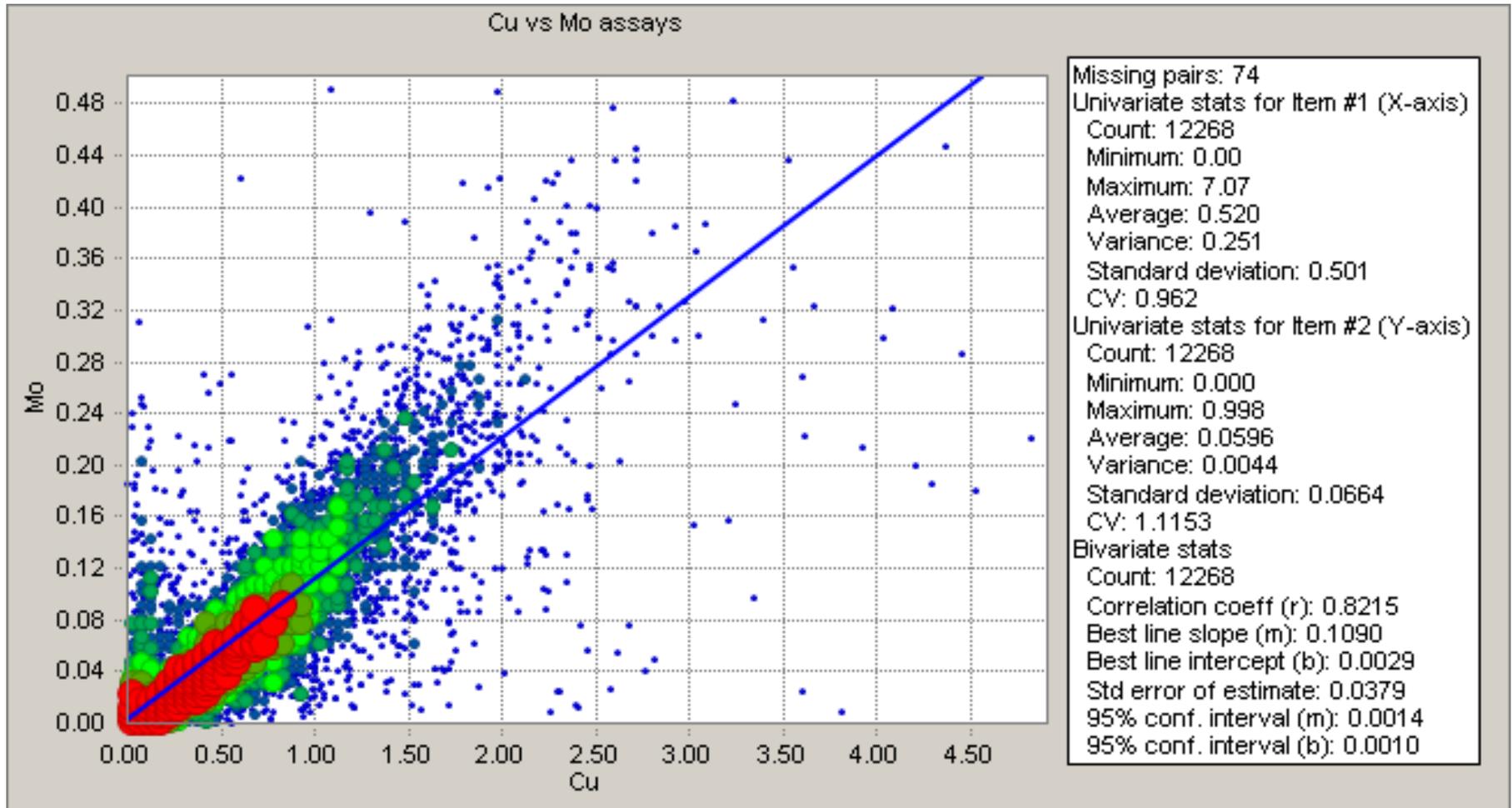


Diagrama de Caja – Box-Plot



Gráficos de dispersión Scatter-plots



Regresión Lineal

- $y = ax + b$

donde:

a = pendiente de la recta

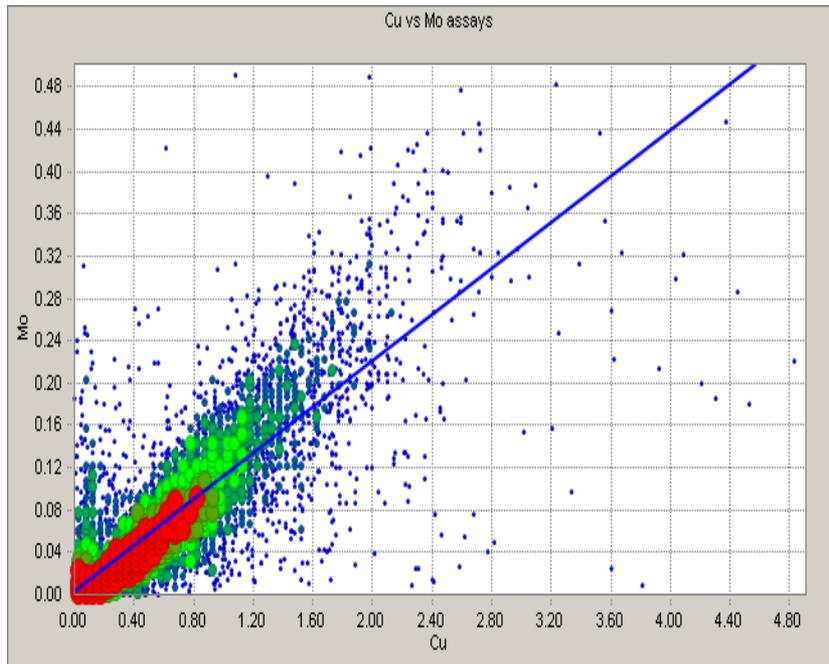
$$a = r (\sigma_y / \sigma_x)$$

b = constante

$$b = m_y - a m_x$$

Regresión Lineal

- Diferentes rangos de datos pueden ser descritos de forma adecuada por diferentes regresiones

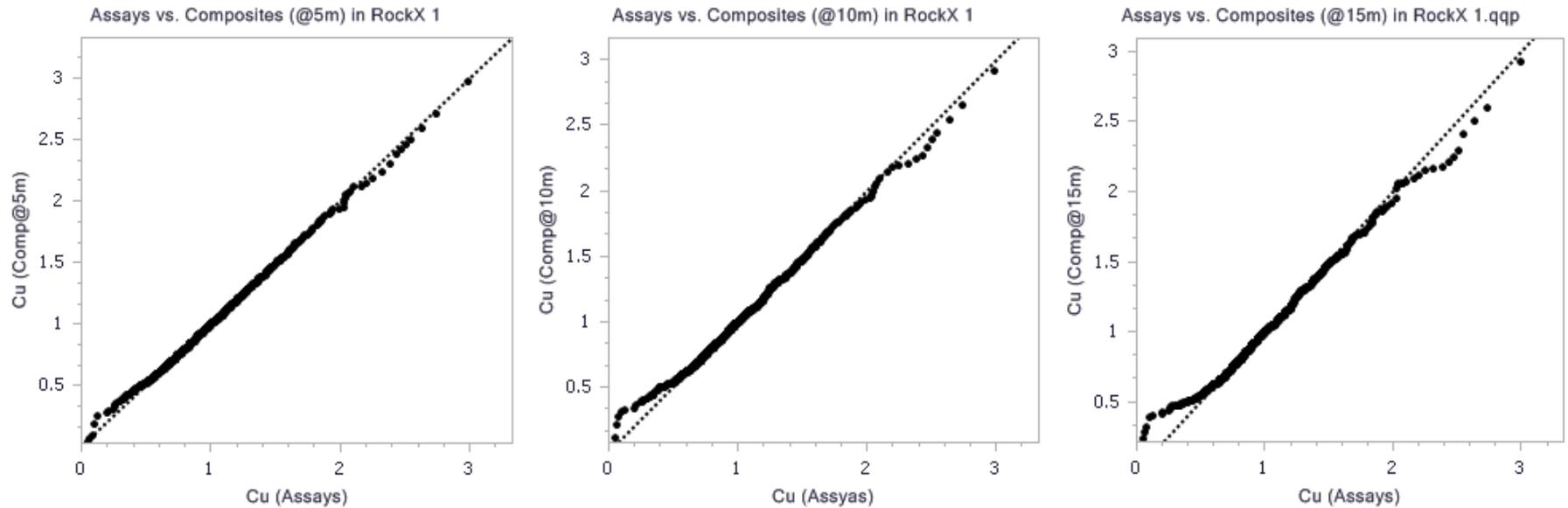


$$\text{Cu} < 5, \text{ Mo} < 0.5 \quad \rho = 0.8215$$
$$y = 0.109x + 0.0029$$

Gráficos Q-Q Plot

- Gráficos Cuantil contra Cuantil
- Una línea recta indica que las dos distribuciones tienen la misma forma
- Una línea a 45 grados indica que los promedios y las variaciones son las mismas

Gráficos Q-Q Plot



Reporte

	Valid	Rejected	Minimum	Maximum	Mean	Median	Std. Devn.	Variance	Co. of Variation
1 Porfirítico de ley	2,279	0	0.030	3.330	0.960	0.865	0.372	0.138	0.387
2 Porfirítico de ley	2,728	0	0.032	2.660	0.408	0.390	0.158	0.025	0.388
3 Roca encajonante	1,849	0	0.000	0.696	0.097	0.085	0.077	0.006	0.795
4 Intrusivo	218	0	0.000	0.830	0.095	0.072	0.103	0.011	1.081
Total	7,074	0	0.000	3.330	0.493	0.400	0.418	0.175	0.847

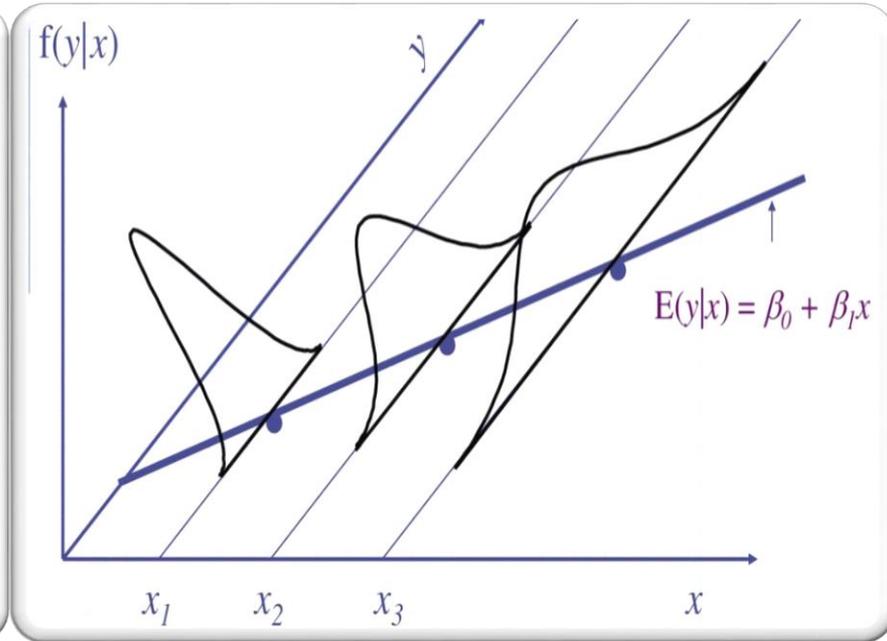
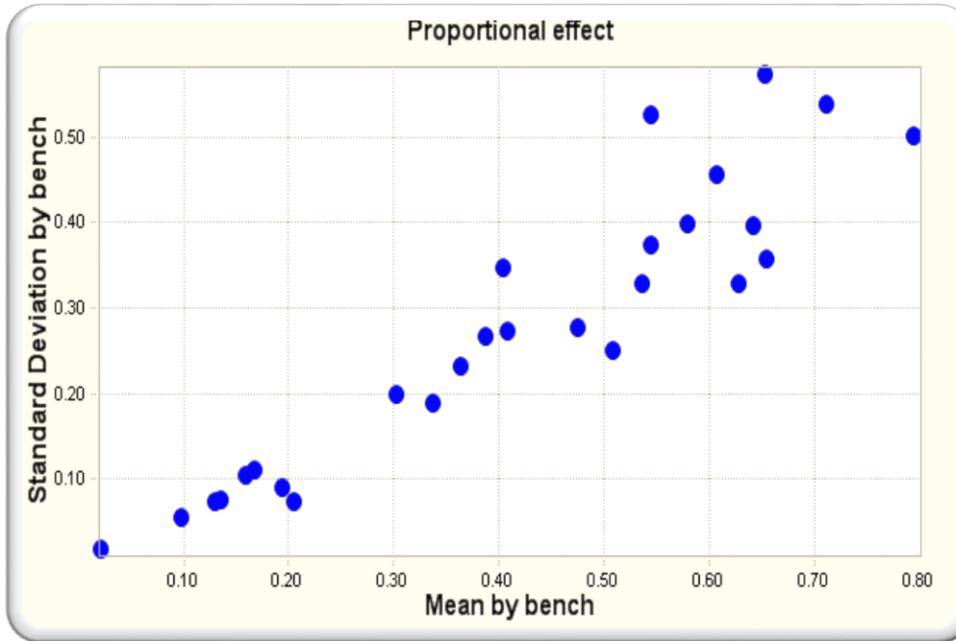
Estadística de Ventana Móvil

- Se divide el área de estudio en áreas mas pequeñas, todas de un mismo tamaño
- Se calculan las estadísticas para cada una de las áreas pequeñas
- Útil para investigar si hay anomalías en el promedio y en la varianza.

Efecto Proporcional

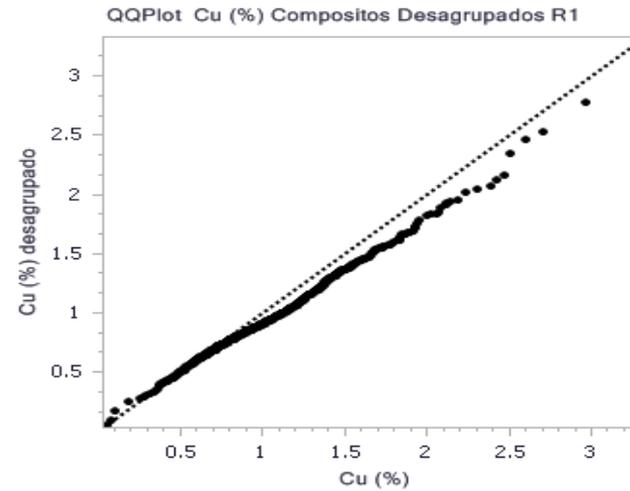
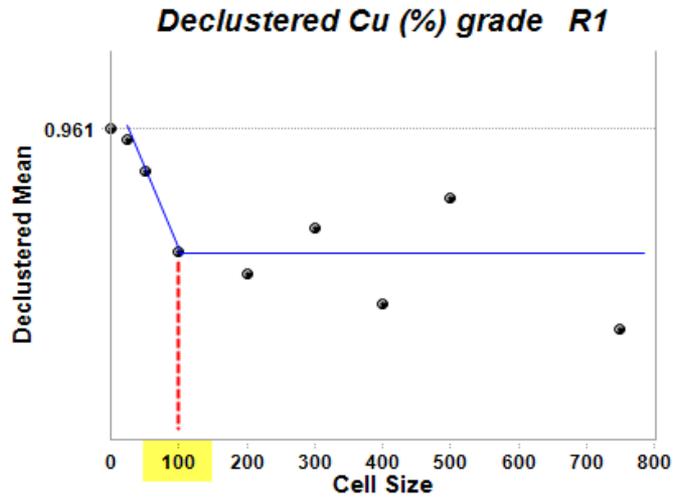
- El promedio y la varianza son constantes
- El promedio es constante, la varianza fluctúa
- El promedio varia, la varianza es constante
- Ambos indicadores varían

Efecto Proporcional



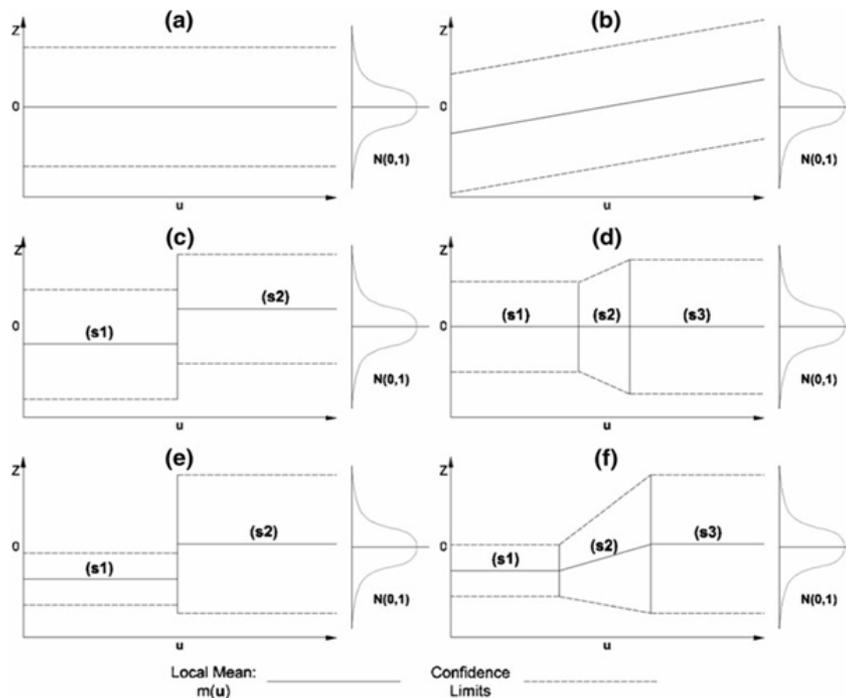
Predecir un re-escalamiento de la varianza relativa

Desagrupamiento



Estacionariedad de segundo orden

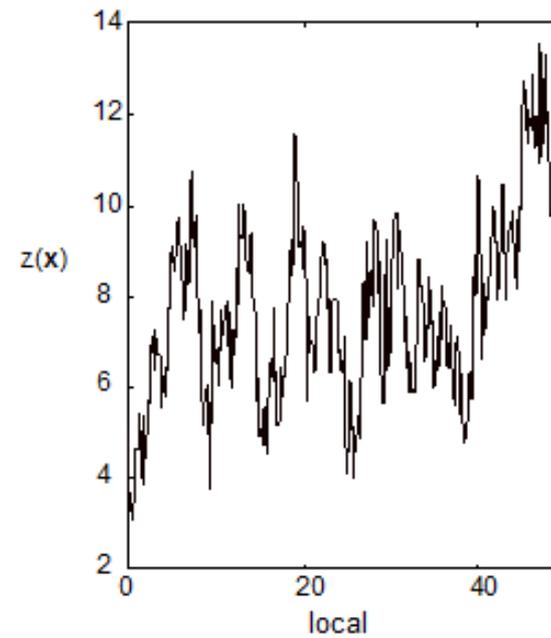
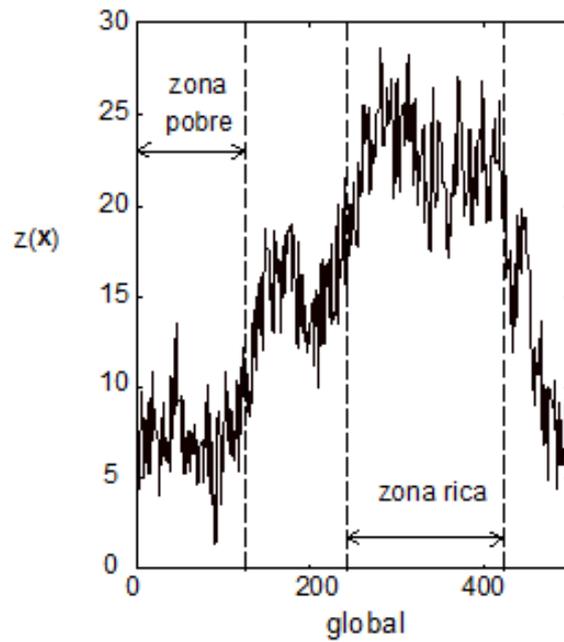
MEDIA, VARIANZA y VARIOGRAMA



- a) Constant mean and variance.
- b) Linear mean and constant variance.
- c) Two sub-regions with different constant mean and constant variance.
- d) Two sub-regions with constant mean but different variance and transition zone.
- e) Two sub-regions with different constant mean and different variance.
- f) Two sub-regions with different constant mean and different variance and transition zone.

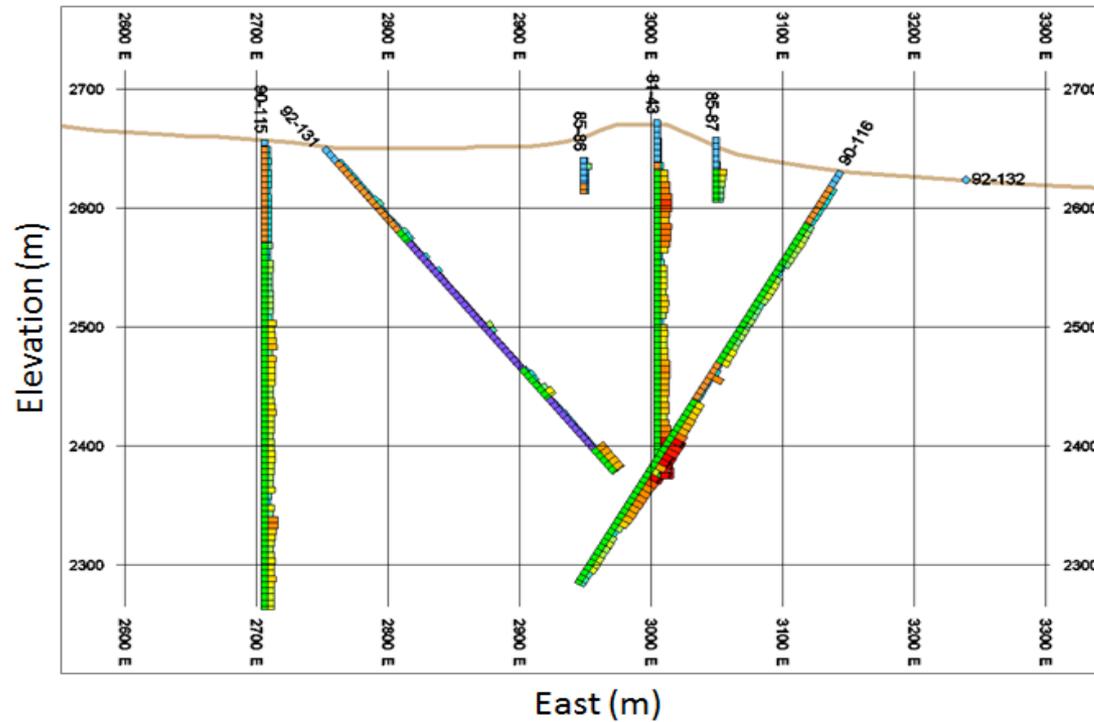
Estacionariedad

MEDIA, VARIANZA y VARIOGRAMA



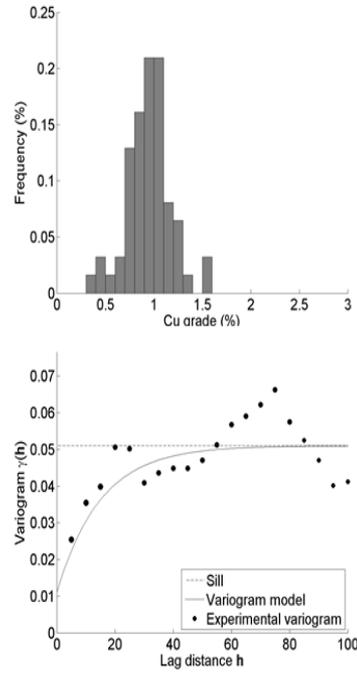
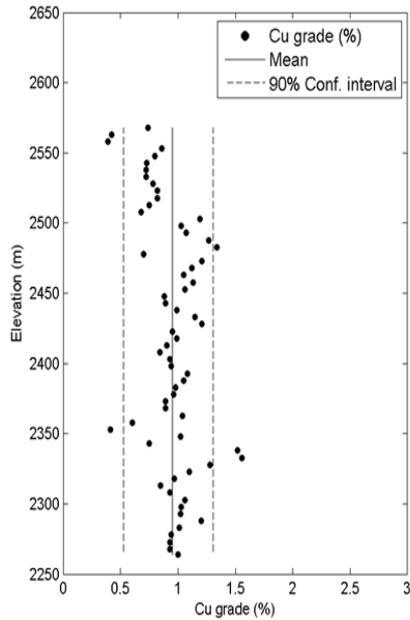
Estacionariedad

MEDIA, VARIANZA y VARIOGRAMA



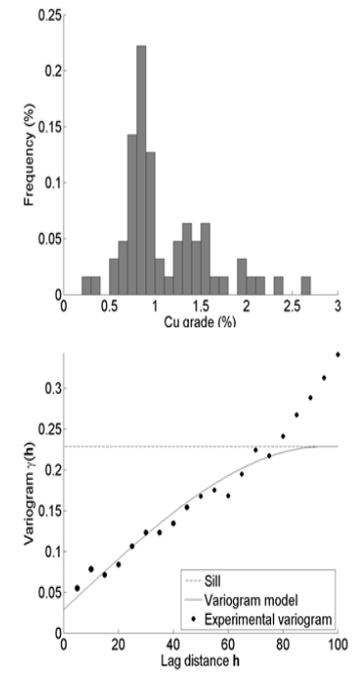
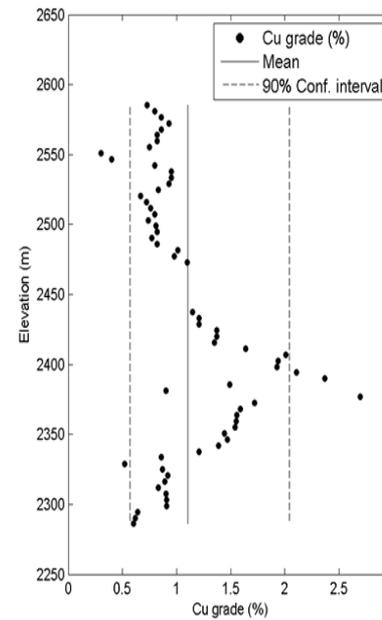
Estacionariedad

- Stationary-like case (drillhole 90-115):



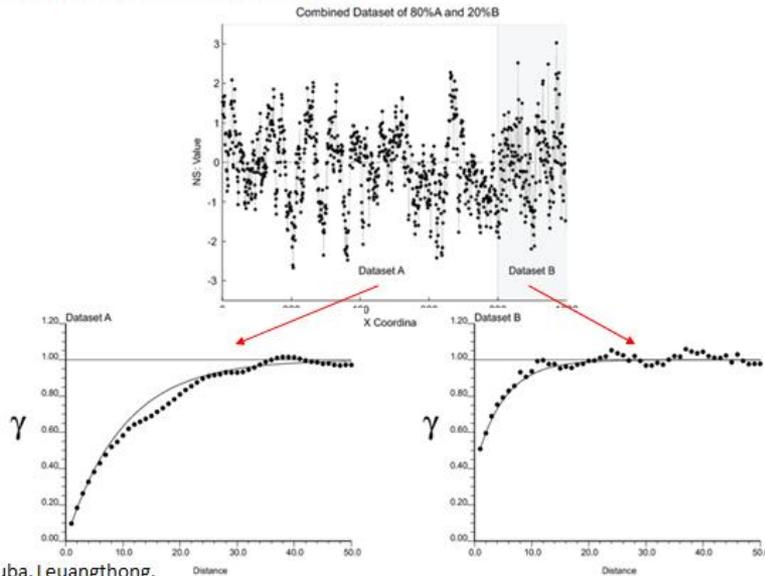
27

- Non stationary case (drillhole 90-116):



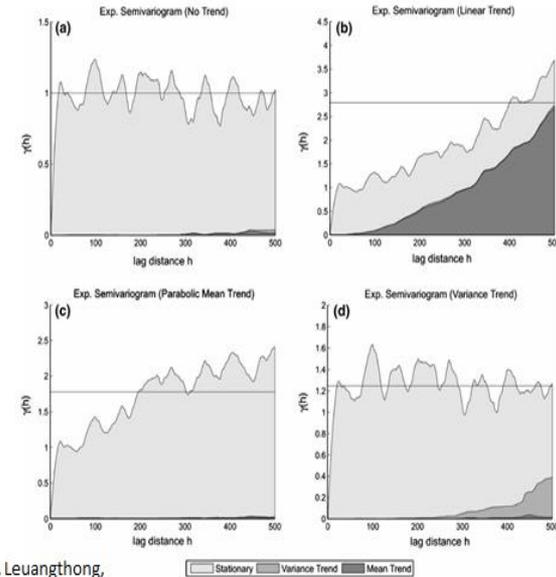
Estacionariedad - Modelo Neutral

- Trend in the variogram.
- Can be detected via neutral models



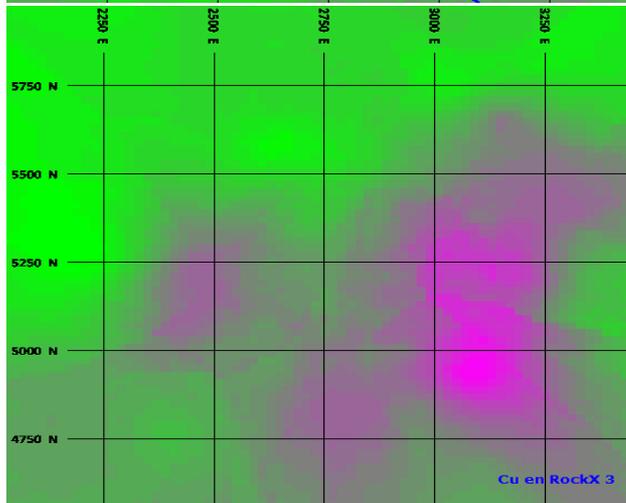
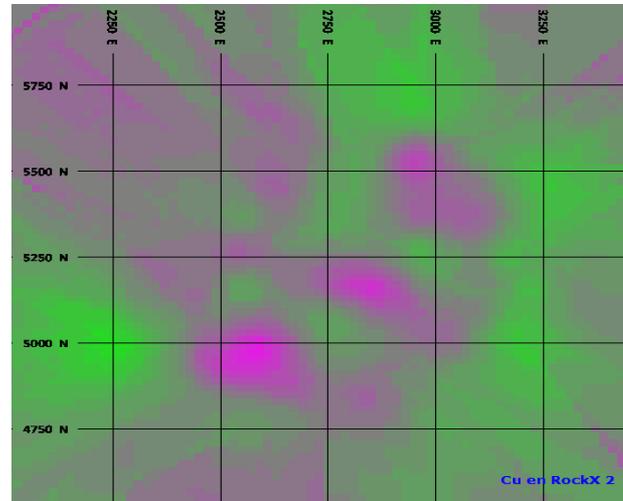
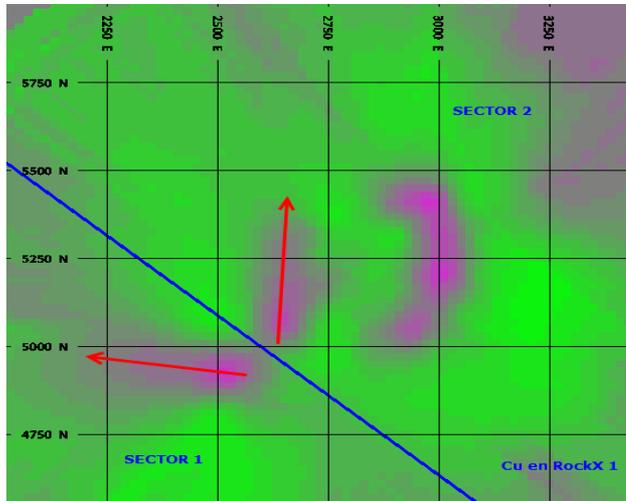
Source: Cuba, Leuangthong, and Ortiz 2012

- Trend in the mean and variance:
- Can be detected via calculation of experimental variograms and neutral models

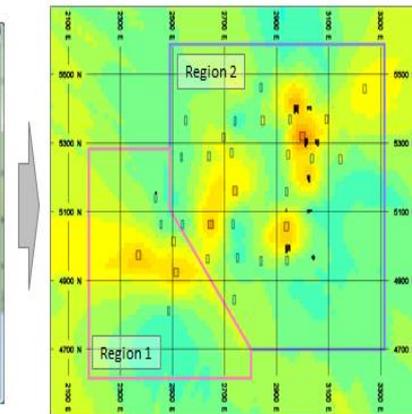
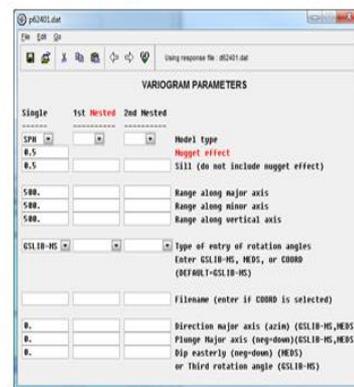


Source: Cuba, Leuangthong, and Ortiz 2012

Modelo Neutral – RockX1

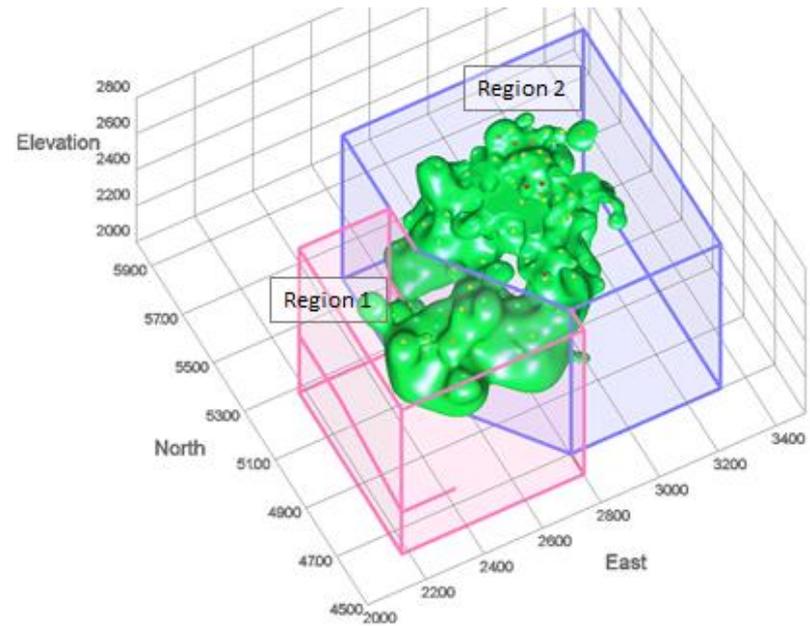
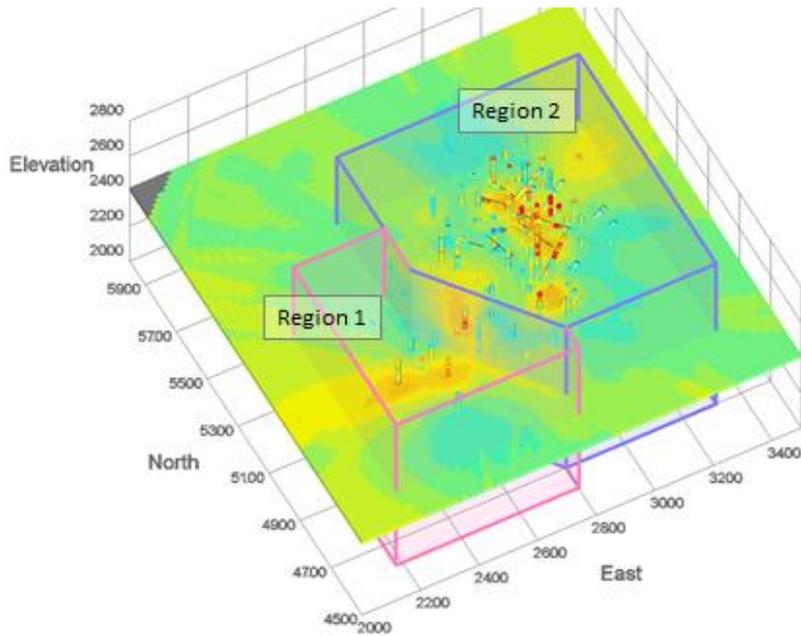


Neutral models

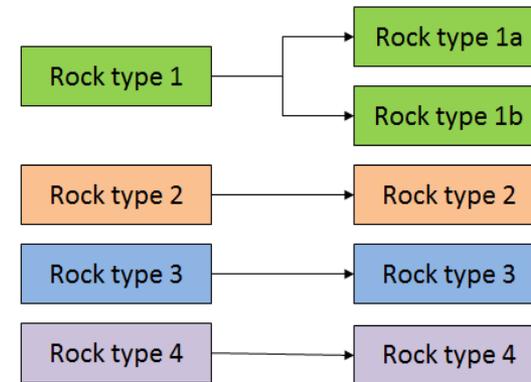
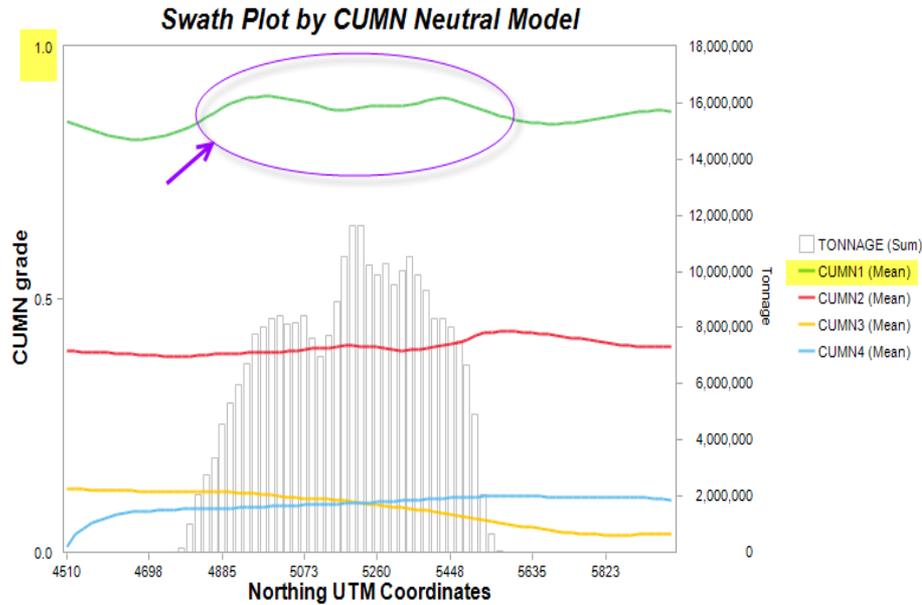


- Smoothness can be imposed by specifying a large nugget.
- Two regions of preferential spatial continuity can be identified.

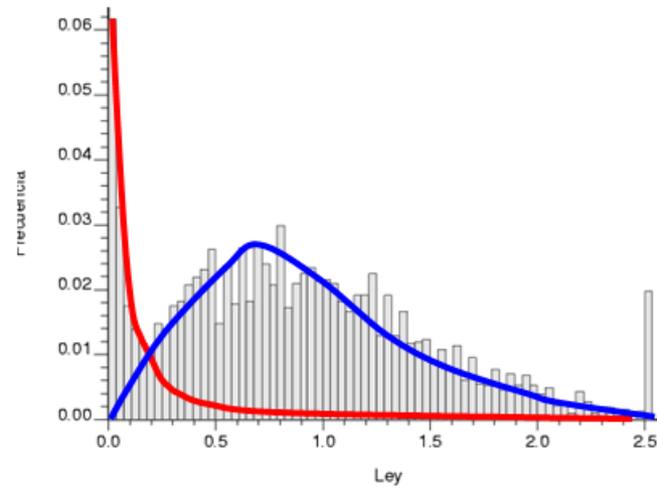
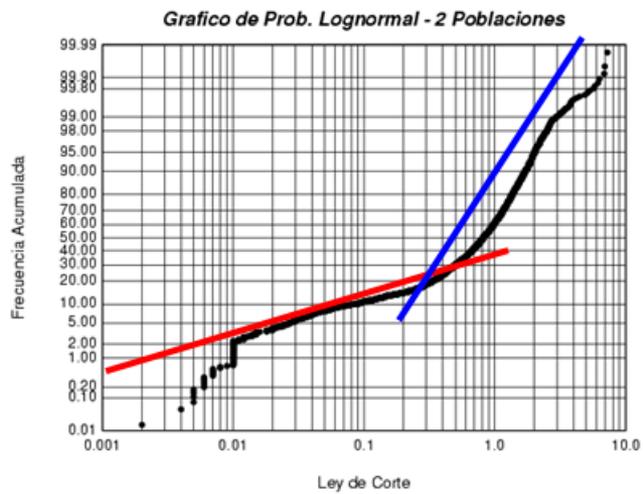
Modelo Neutral – RockX1



Modelo Neutral – RockX1



Estacionariedad



Análisis de espaciamento

Max. Search Distance: PAR4 = 200.0
 Max. No. of Data Points = 256

Item used: Cobre

NRO. DE COMPOSITOS

BANCOS
SEGUN
EL PCF

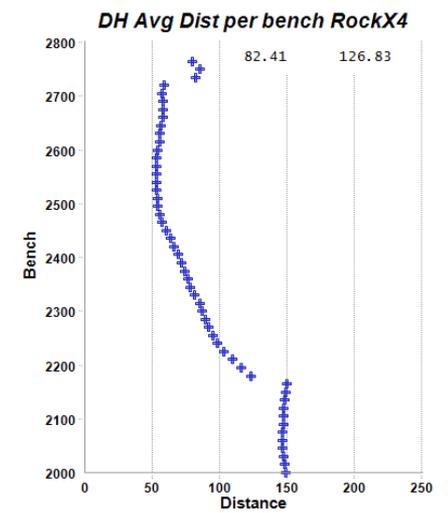
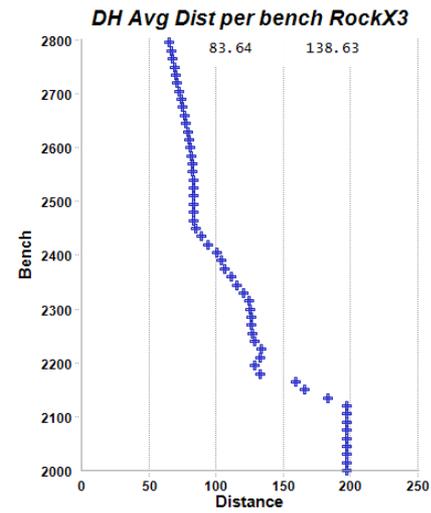
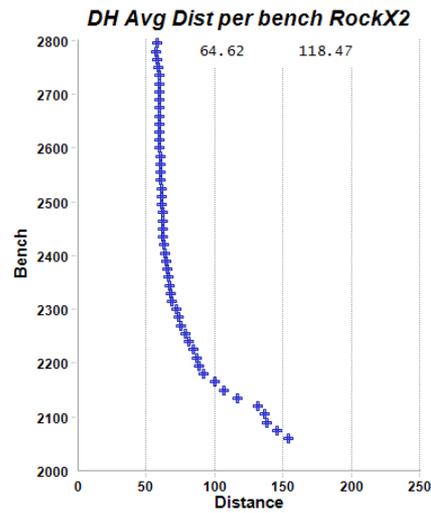
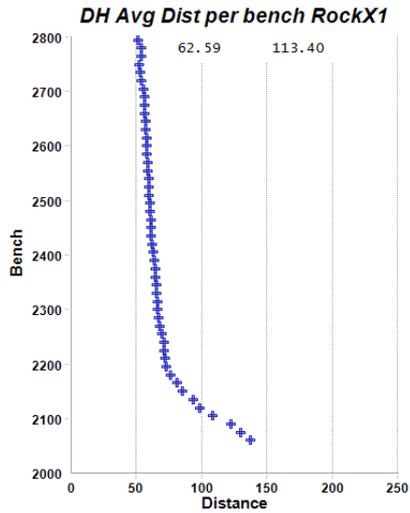
PROMEDIO DE
DISTANCIAS
MAS CARCANAS
DE CADA
COMPOSITO

PROMEDIO DE
DISTANCIAS DE
LOS PROMEDIOS
DE CADA
COMPOSITO

Available Data					Distance Analysis	
Bank Toe	No. of Data	Item Average	Weight1 Average	Weight2 Average	Nearest Distance	Average Distance
2645.0	2	1.132	1.132	1.132	155.59	155.59
2630.0	17	1.053	1.018	1.039	66.99	131.31
2615.0	28	1.227	1.181	1.206	68.87	125.88
2600.0	21	1.078	1.085	1.076	69.92	132.07
2585.0	26	0.983	0.921	0.968	71.15	132.15
2570.0	30	0.930	0.941	0.927	77.24	134.73
2555.0	27	0.858	0.870	0.856	73.45	125.90
2540.0	34	0.898	0.894	0.895	65.60	126.88
2525.0	37	0.989	0.960	0.980	75.49	131.38
2510.0	32	0.940	0.938	0.933	82.49	133.42
2495.0	41	0.912	0.892	0.908	76.40	133.07
2480.0	41	0.961	0.958	0.947	73.24	125.26
2465.0	40	0.933	0.897	0.920	68.94	123.39
2450.0	40	0.879	0.871	0.868	68.24	124.77
2435.0	37	0.942	0.937	0.939	72.47	121.17
2420.0	35	0.964	0.935	0.952	80.39	128.96
2405.0	43	1.017	0.978	1.000	77.18	126.04
2390.0	41	1.046	0.960	1.024	71.41	127.91
2375.0	40	1.038	0.958	1.015	73.37	123.30
2360.0	29	0.914	0.919	0.923	88.85	127.38
2345.0	19	1.024	1.029	1.030	117.98	143.20
2330.0	16	1.010	1.038	1.035	88.41	122.39
2315.0	19	0.933	0.950	0.940	92.28	132.32
2300.0	14	0.850	0.862	0.857	95.34	137.14
2285.0	14	0.877	0.913	0.891	109.92	146.03
2270.0	7	0.901	0.940	0.919	119.87	155.07
2255.0	2	0.895	0.895	0.895	141.88	141.88
TOTAL	732	0.969	0.950	0.961	77.79	129.09

DISTANCIA PROMEDIO PESADA ENTRE EL
NUMERO DE DATOS O COMPOSITOS

Análisis de espaciamiento



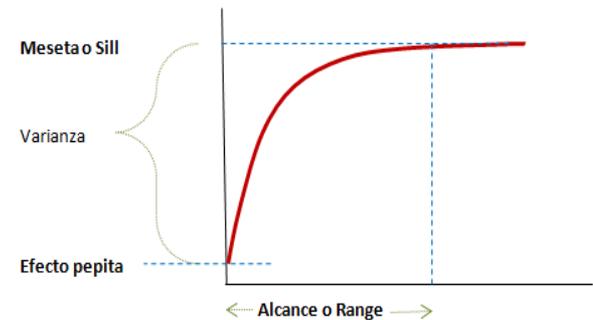
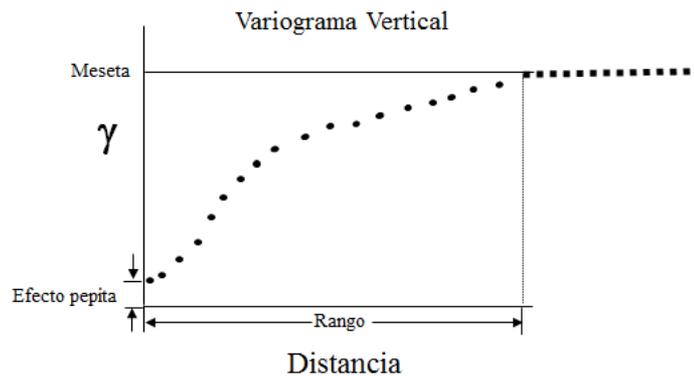
Variografía

- ▣ Mide la correlación entre muestras en el espacio

$$\gamma(h) = 1 / 2n \sum [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$

- ▣ El semi-variograma será referido como **Vario-grama** para mayor conveniencia

Interpretación de variogramas experimentales



- Meseta = la varianza (1.0 si los datos están estandarizados)
- Alcance = la distancia a la cual el variograma alcanza la meseta (95%)
- Efecto pepita = suma de variabilidad debida a microestructuras geológicas y error de medición
 - Cualquier error en la medición del valor o la posición asignada a la medida se traduce en un efecto pepita mas alto.
 - Cuando los datos son escasos el efecto pepita aparece más alto de lo esperado

Variografía

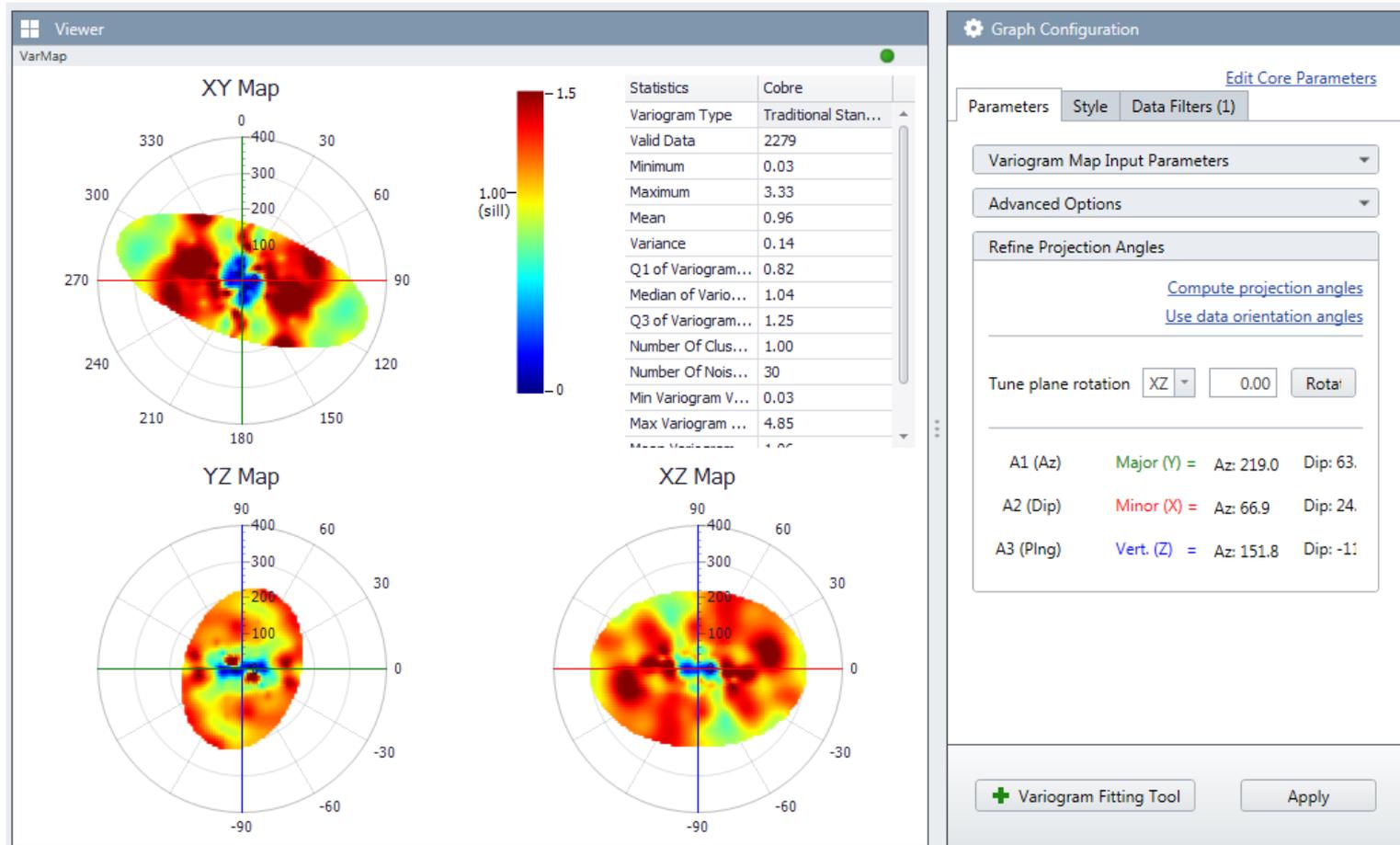
Variograma Normalizado

```
Variogram model parameters created by MSDA.  
0.1000  
1 0.4000 86.0 90.0 40.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB  
1 0.5000 180.0 120.0 50.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB  
0
```

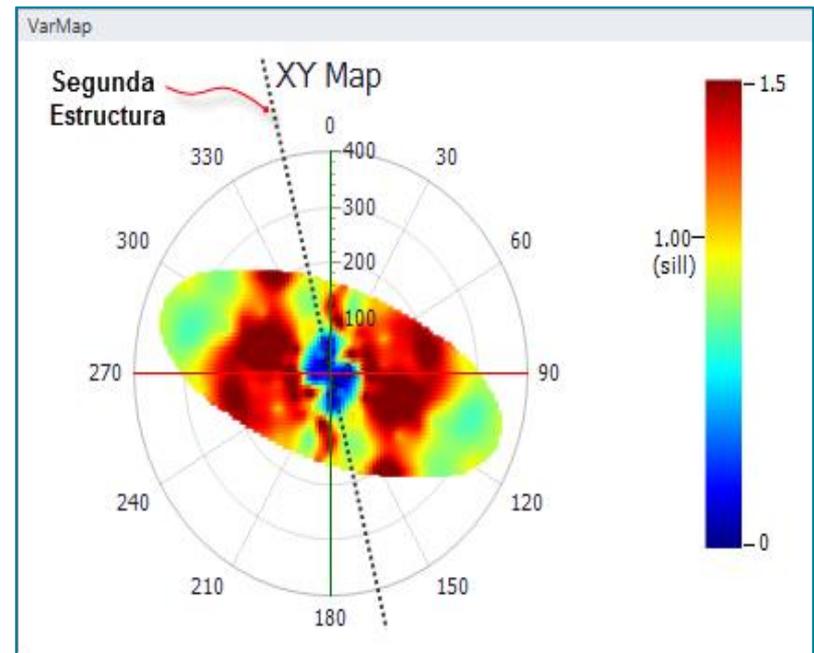
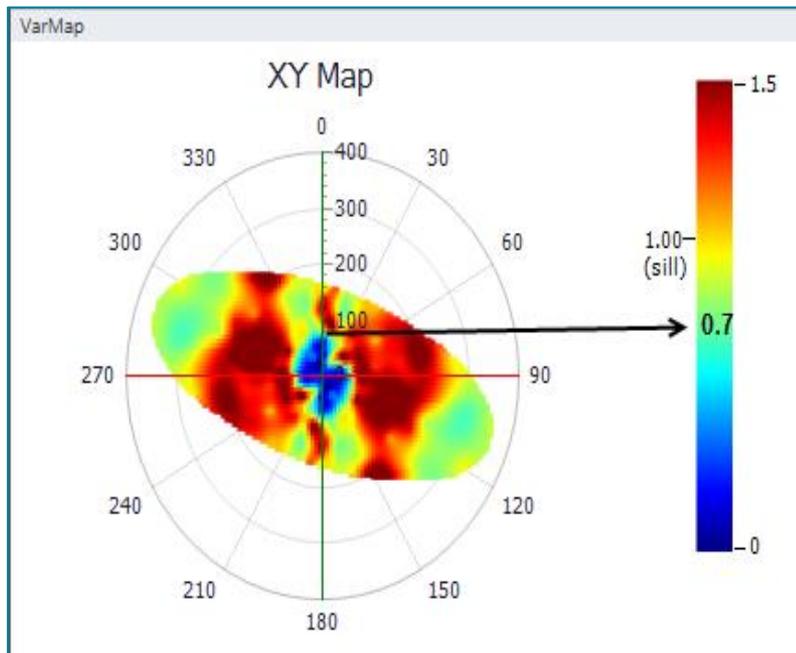
Variograma **NO** Normalizado

```
variogram model parameters created by MSDA.  
0.0101  
1 0.0404 86.0 90.0 40.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB  
1 0.0505 180.0 120.0 50.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB  
0
```

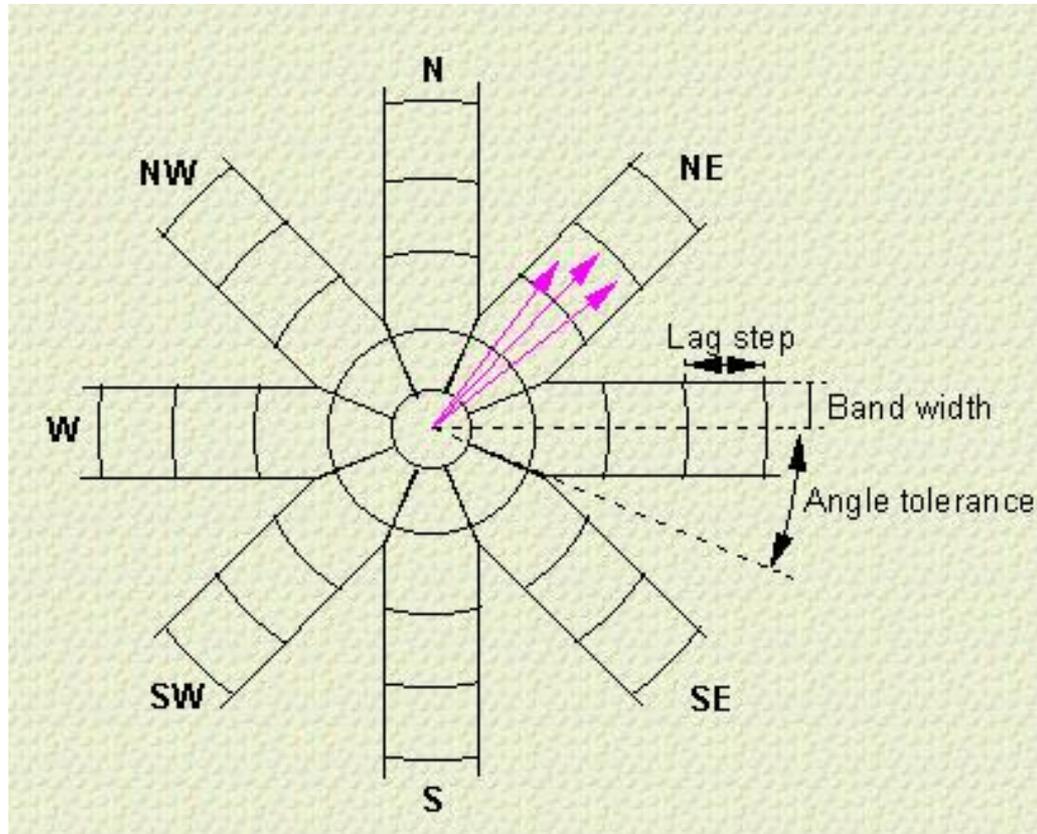
Mapa Variográfico



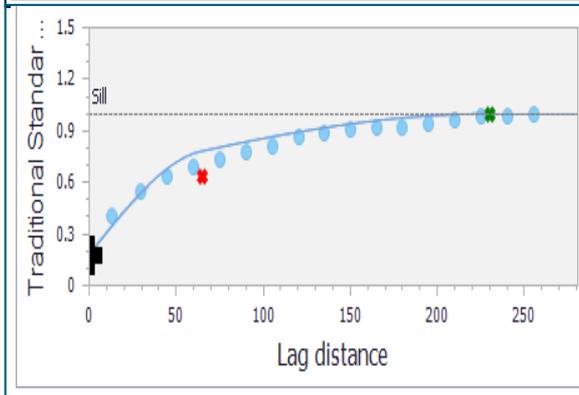
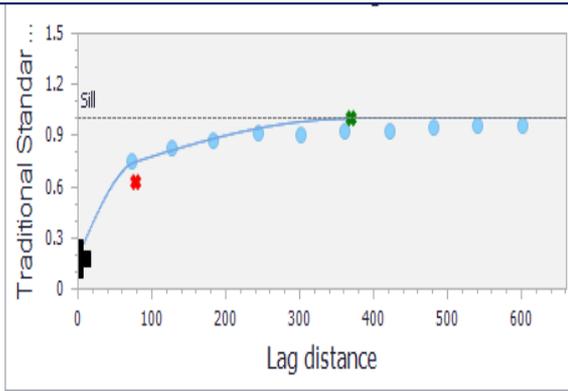
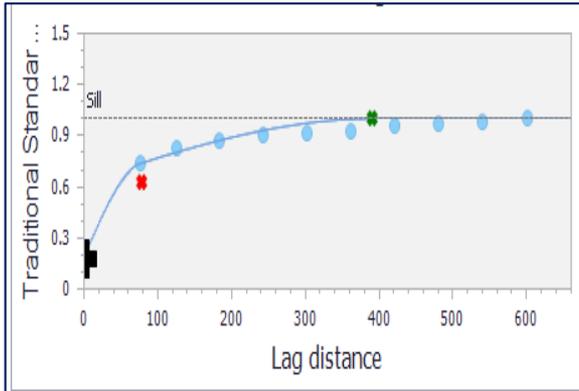
Mapa Variográfico



Paso, tolerancias angulares y anchos de Banda para múltiples direcciones



Variogramas Experimentales - Modelo



Variogram Fit File

Name 4VF

Variograms for Fitting

Name	Az	Dip	Lag Dist. Limit	Sill
1Major	-30.00	10.00	660.68	1.00
2Minor	-59.10	4.90	660.97	1.00
3vertical	-56.70	78.80	280.69	1.00

Fitting Parameters

* Total Sill

Nugget

	Struct 1	Struct 2	Struct 3
Type	Spherical	Spherical	
Contribution	0.450	0.370	0.000
Range 1	80.000	450.000	0.000
Range 2	75.000	300.000	0.000
Range 3	65.000	230.000	0.000
Angle 1	-30.000	-30.000	0.000
Angle 2	-10.000	-10.000	0.000
Angle 3	5.000	5.000	0.000

Tip: While dragging the Structure control points hold CTRL to modify only the Range or hold ALT to modify only the Contribution.

Modelos para Variogramas

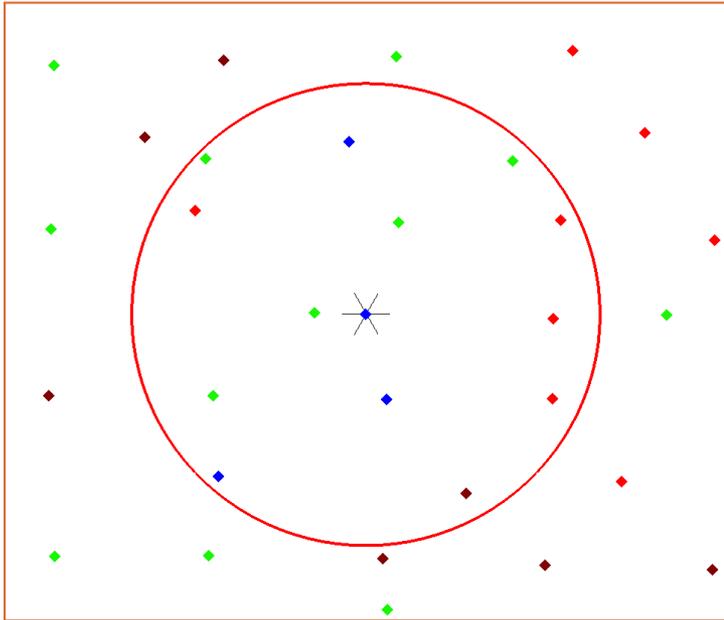
- Esférico (Spherical)
- Lineal
- Exponencial
- Gaussian
- Efecto de Hoyo (Hole-Effect)

Tipos de Variogramas

- General / Estandarizado
- Relativo
- Logarítmico
- Función de Covariancia (Covariance Function)
- Correlogramas
- Variogramas de Indicadores
- Variogramas cruzados

Validación Cruzada

Estimación de un valor conocido y análisis de vecindad de kriging



		Valid	Maximum	Mean	Variance
RockX 1	MAE	2,279	1.242	0.093	0.013
RockX 2	MAE	2,728	1.746	0.044	0.008
RockX 3	MAE	1,831	0.555	0.017	0.001
RockX 4	MAE	218	0.546	0.034	0.005

Variograma Para RockX1 – CuR1.var

```
0.0101
1 0.0404 86.0 90.0 40.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB
1 0.0505 180.0 120.0 50.0 140.0 -55.0 -80.0 GSLIB
0
```

- **MAE:** Error Medio Absoluto
- **MSE:** Error medio al cuadrado
- ***Coficiente de correlación***
- ***Pendiente***

Validación Cruzada

Estimación de un valor conocido y análisis de vecindad de kriging

POINT INTERPOLATION

Cobre Label of item for point kriging
(REQUIRED)

200 Search distance from point on Eastings (REQUIRED)
200 Search distance from point on Northings (REQUIRED)
200 Search distance from point on Elevations (DEFAULT=0.1)

200 Maximum 3-D distance to accept points

1 Min. # of composites for interpolation (DEFAULT=1)
?03 Max. # of composites for interpolation (DEFAULT=15)

OPTIONAL PARAMETERS

If you have already set up a variogram parameter file:

CuR1.var Name of variogram parameter file

If left blank, then you will be asked to enter the variogram parameters on the next panel.

OPTIONAL DATA SELECTION FOR POINT INTERPOLATION

Item Label	Keyword Range/Omit	Minimum	Maximum
RockX	RANGE	1.	1.

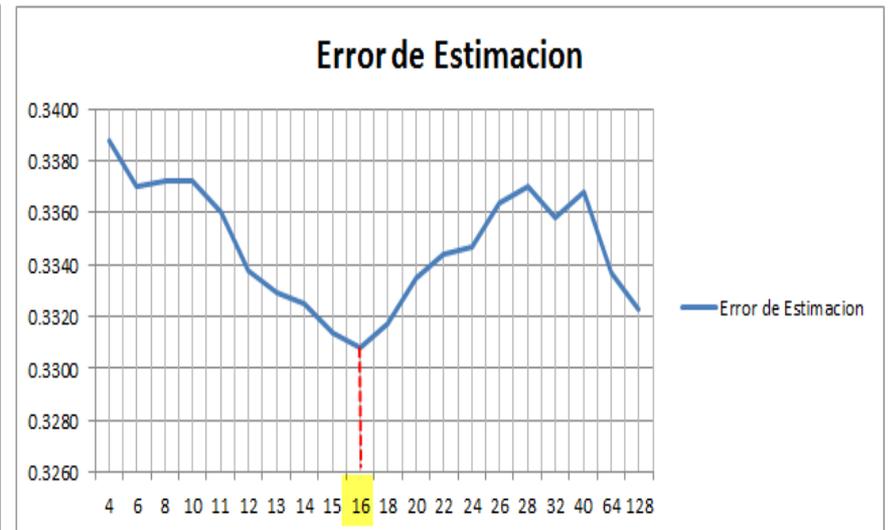
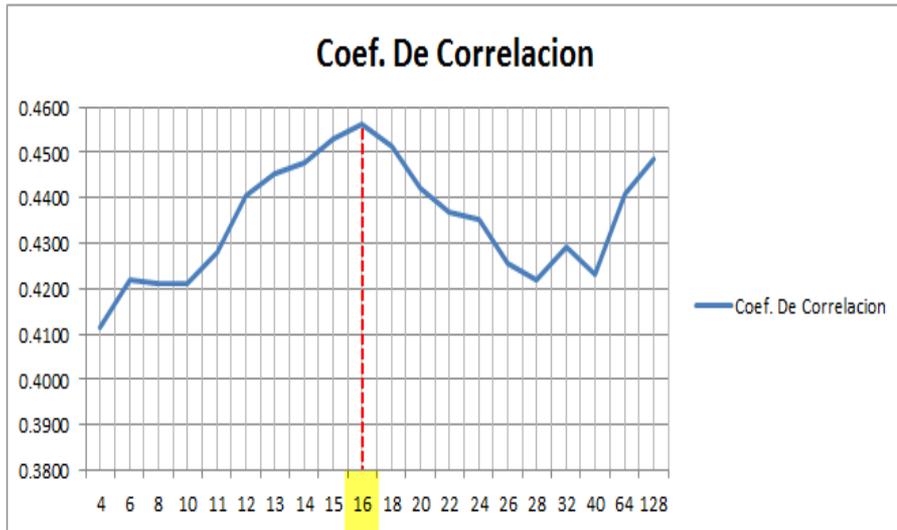
+-> Blank out label to deactivate checking

Validación Cruzada

Estimación de un valor conocido y análisis de vecindad de kriging

dist= 200

Realizacion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nro. Compositos	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	32	40	64	128
Coef. de Correlac	0.4114	0.4220	0.4212	0.4213	0.4278	0.4404	0.4453	0.4476	0.4530	0.4561	0.4513	0.4421	0.4367	0.4353	0.4254	0.4221	0.4292	0.4233	0.4408	0.4486
Nro. Muestras	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279
Error Estimac	0.3388	0.3370	0.3372	0.3372	0.3360	0.3338	0.3329	0.3325	0.3314	0.3308	0.3317	0.3335	0.3344	0.3347	0.3364	0.3370	0.3358	0.3368	0.3337	0.3323

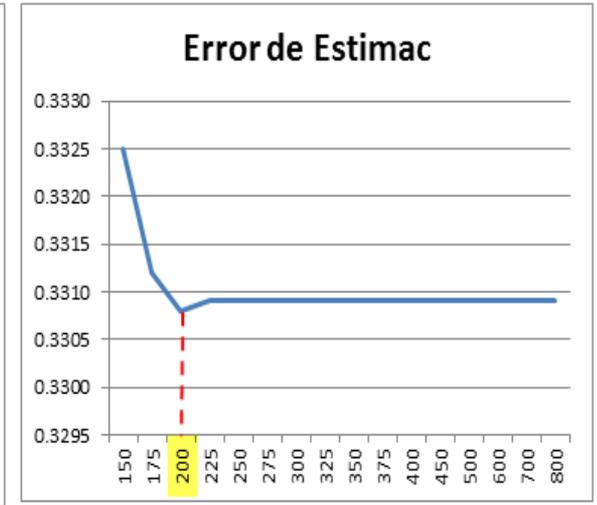
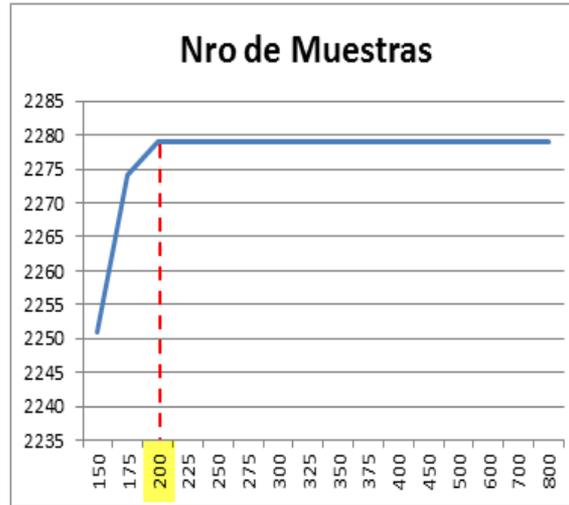
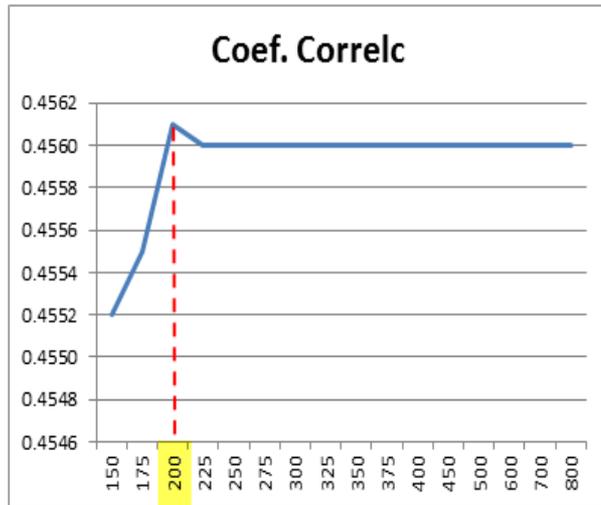


Validación Cruzada

Estimación de un valor conocido y análisis de vecindad de kriging

nro comp 16

Realizacion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Distancia	150	175	200 ✓	225	250	275	300	325	350	375	400	450	500	600	700	800
Coef. de Correlac	0.4552	0.4555	0.4561	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560
Nro. Muestras	2251	2274	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279	2279
Error Estimac	0.3325	0.3312	0.3308	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309	0.3309



Validación Cruzada

Estimación de un valor conocido y análisis de vecindad de kriging

Coeficiente de Correlacion		Distancias de Búsqueda (PAR1, PAR2, PAR3 y PAR4)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Nro. Max. de Compositos		150	175	200	225	250	300	350	400
		1	4	0.4121	0.4113	0.4114	0.4110	0.4110	0.4110
2	6	0.4229	0.4219	0.4220	0.4221	0.4221	0.4220	0.4221	0.4220
3	8	0.4227	0.4216	0.4212	0.4220	0.4212	0.4220	0.4220	0.4212
4	10	0.4221	0.4213	0.4213	0.4217	0.4213	0.4216	0.4217	0.4213
5	12	0.4402	0.4400	0.4404	0.4405	0.4405	0.4404	0.4405	0.4404
6	16	0.4552	0.4555	0.4561	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560	0.4560
7	20	0.4408	0.4420	0.4421	0.4421	0.4421	0.4421	0.4421	0.4421
8	32	0.4240	0.4297	0.4292	0.4291	0.4291	0.4291	0.4291	0.4291
9	64	0.4281	0.4418	0.4408	0.4474	0.4473	0.4474	0.4474	0.4472

Métodos de Estimación

Propiedades Deseadas

Características deseables de un estimador:

1. Error promedio = $E(Z - Z^*) = 0$ (Condición de insesgo)

donde Z^* es el valor estimado y Z es el valor verdadero de la variable aleatoria

2. La varianza del error (amplitud) es pequeña

$$\text{Var}(Z - Z^*) = E(Z - Z^*)^2 = \text{pequeña}$$

3. Robusto
4. Estacionario (De segundo orden)

Métodos de Estimación

Tradicionales:

- Poligonal
- Triangulación
- Inverso a la Distancia

Geoestadístico:

- Kriging Ordinario
- Kriging Simple
- CoKriging
- Kriging de Indicadores
- Kriging Universal

Kriging Ordinario

- ▣ B.L.U.E. por *best linear unbiased estimator* (el mejor estimador lineal imparcial)
- ▣ Lineal porque sus estimaciones son combinaciones lineales de los datos disponibles.
- ▣ Imparcial puesto que la suma de los pesos ponderados es 1.
- ▣ Insesgado porque el error de estimación tendrá una media igual a 0
- ▣ Es el mejor en el sentido del error de varianza mínima para un modelo dado de covarianza / variograma

Estimador con Kriging

$$z^* = \sum w_i z(x_i) \quad i = 1, \dots, n$$

donde

z^* es la estimación de la ley de un bloque o de un punto, el $z(x_i)$ se refiere la ley de la muestra, w_i es el peso correspondiente asignado a $z(x_i)$, y n es el número de muestras.

Varianza del Error

Utilizando el modelo de Funciones Aleatorias, la varianza del error se puede expresar en función de los parámetros de una Función Aleatoria:

$$\sigma^2_R = \sigma^2_z + \sum \sum (\lambda_i \lambda_j C_{i,j}) - 2 \sum \lambda_i C_{i,o}$$

donde

σ^2_z es la varianza de la muestra

$C_{i,j}$ es la covarianza entre las muestras

$C_{i,o}$ es la covarianza entre muestras y el punto a estimar

Para mas detalles, revisar Isaaks and Srivastava paginas 281-284

Interpolación MIT

Save | Open | New | Export for Compass | Data Setup | Interpolation Method: Inverse distance | Report | Grid View/Multirun | Reset Layout

Composites | Primary Search

Primary Search *

- Selection Rules
- Octant Search
- Geologic Rules
- Filters

Calculations

- Item Mapping*
- Store Items
- Method Options

Model Limits

- Model Range
- Block Limiting

Advanced

- Outliers

Spherical Search

Ellipsoidal Search

* 173.9 Major range

* 41 Minor range

* 16.5 Vertical range

Se puede multiplicar estas distancias de búsqueda por 2, 3 o más para poder coger compositos

Coordinate Transformation

None Dynamic Unfolding Relative Transform

Ellipse rotation settings

Relative to Project Model

70.2 41.4 4.4

1st 2nd 3rd

For maximum distance to closest composite and in IDW calculation use

True distances

Adjusted distances based on anisotropy

Se utiliza solo para IDW y con esto le da anisotropía a las distancias de los compositos usados

Pero a veces la elipse no alcanza a ningún composito (por su forma) y en este caso hay que aumentar las distancias de búsqueda

Run One Block... | Clear selected model items first | Run

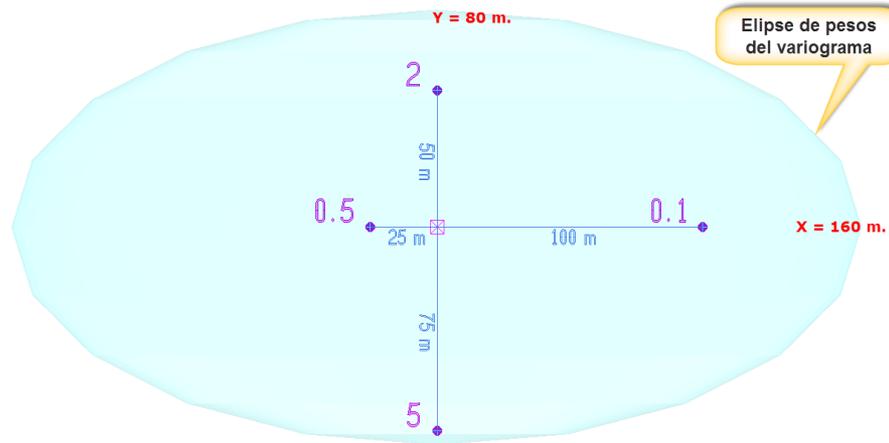
Spherical Search

Ellipsoidal Search

* 250 Search Radius

Coordinate Transformation

None Dynamic Unfolding Relative Transform



Single

Model Type: Spherical

Nugget effect: 0

*Sill: 1

*Major Range: 80

*Minor Range: 160

*Vertical Range: 10

Rotation: OFF

Sub-blocks

Zone: 2 (1 - 3)

Item	Value	SB
TOPO	100	
CUPLY	-	<input checked="" type="checkbox"/>
CUIDW	0.668	<input checked="" type="checkbox"/>
CUKRG	0.688	<input checked="" type="checkbox"/>
CUP1	0.250	<input checked="" type="checkbox"/>
CUI1	0.396	<input checked="" type="checkbox"/>
CUK1	0.361	<input checked="" type="checkbox"/>
CUP2	0.250	<input checked="" type="checkbox"/>
CUI2	0.395	<input checked="" type="checkbox"/>
CUK2	0.360	<input checked="" type="checkbox"/>

Single

Model Type: Spherical

Nugget effect: 0.999

*Sill: 0.001

*Major Range: 80

*Minor Range: 160

*Vertical Range: 10

Rotation: OFF

Sub-blocks

Zone: 1 (1 - 3)

Item	Value	SB
TOPO	100	
CUPLY	-	<input checked="" type="checkbox"/>
CUIDW	0.668	<input checked="" type="checkbox"/>
CUKRG	1.899	<input checked="" type="checkbox"/>
CUP1	1.110	<input checked="" type="checkbox"/>
CUI1	0.847	<input checked="" type="checkbox"/>
CUK1	0.833	<input checked="" type="checkbox"/>
CUP2	1.112	<input checked="" type="checkbox"/>
CUI2	0.846	<input checked="" type="checkbox"/>
CUK2	0.833	<input checked="" type="checkbox"/>



Después de la
interpolación

DESPUES DE LA INTERPOLACION “VALIDACION”

Visual

Estadística / Numérica

Otra

- *Reportes antiguos, RECONCILIACIÓN.*

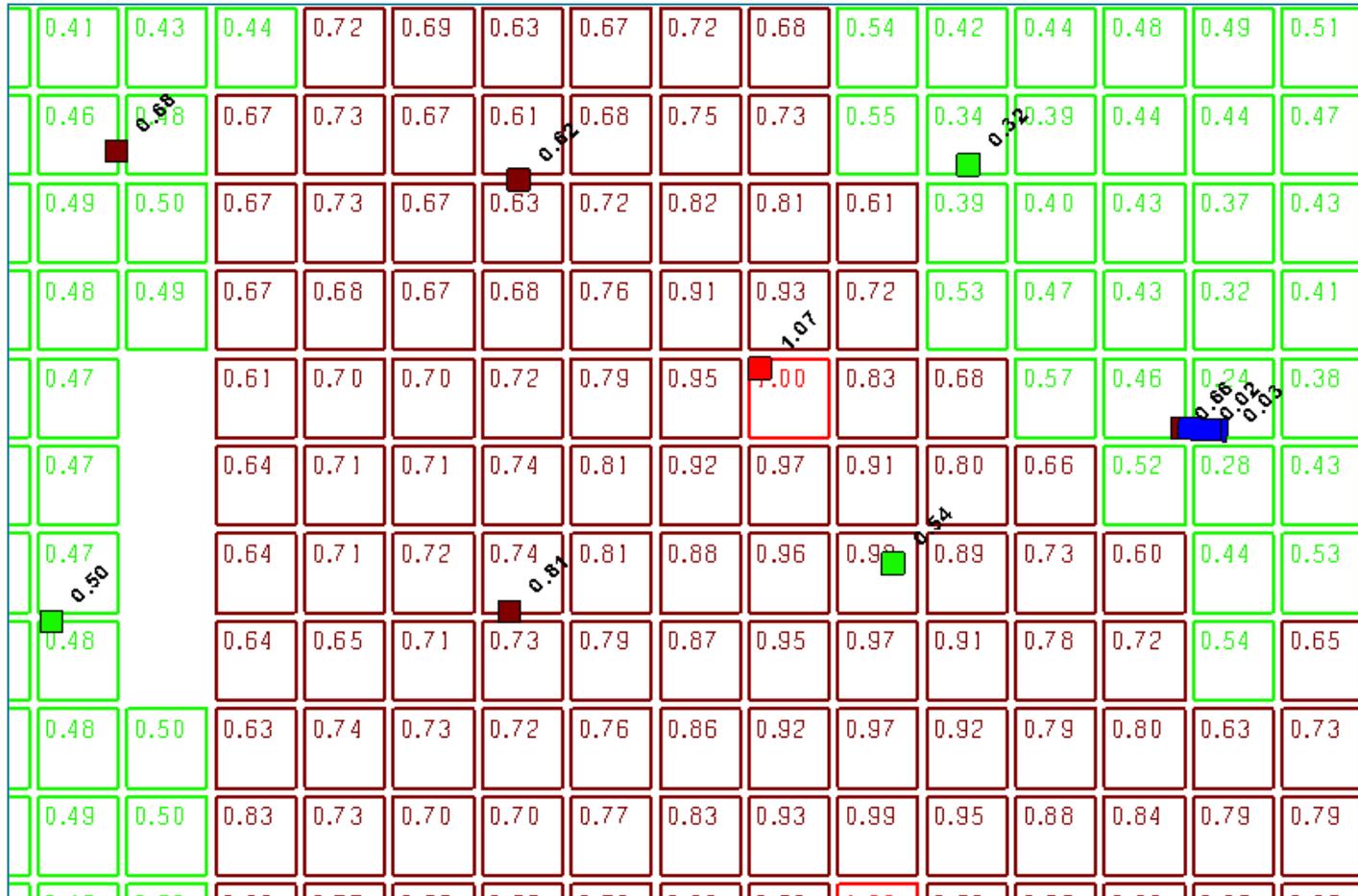
Validacion Visual

Revisar las Leyes. Secciones / vistas de planta del modelo y sondajes

Comparar Solidos de ley con leyes de sondajes

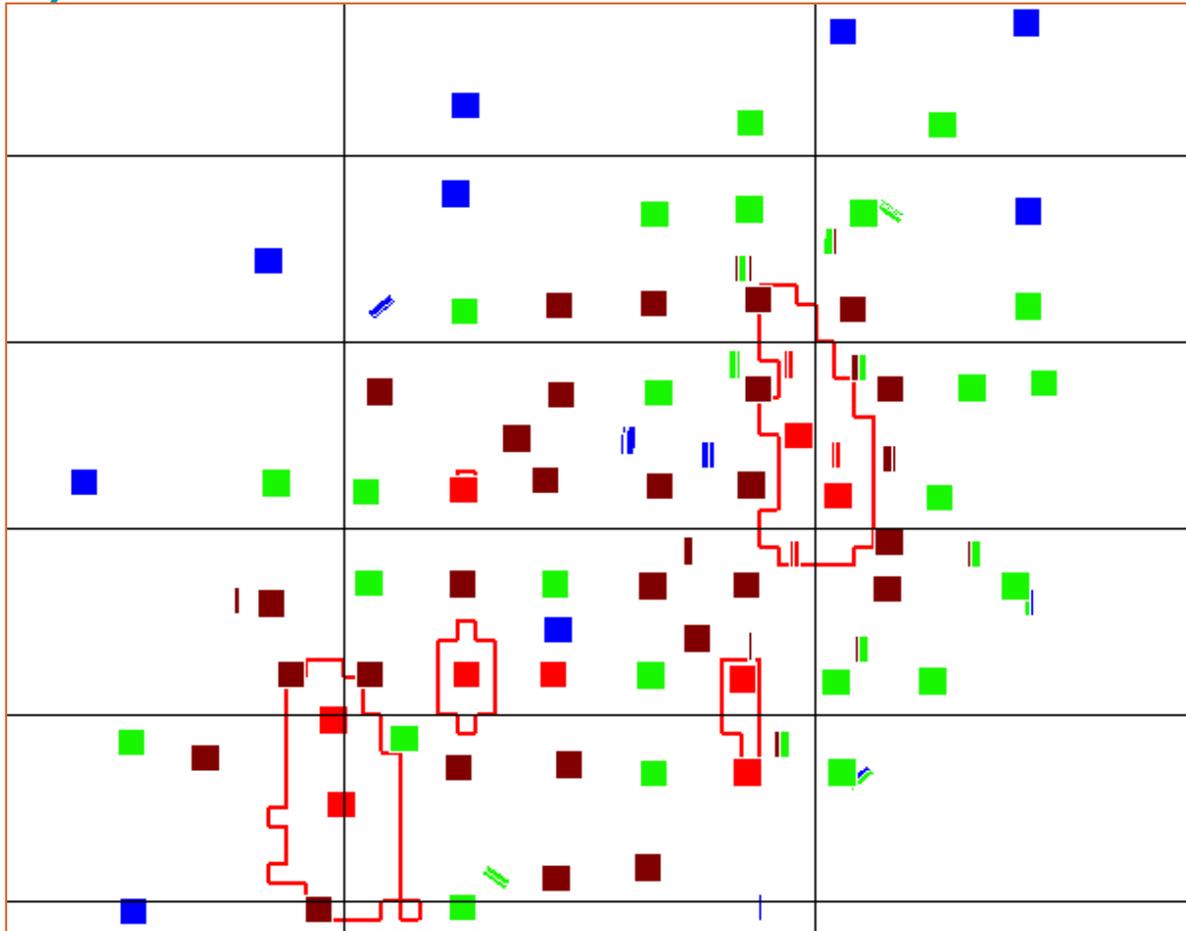
Comparar la orientación de Mineralización y la orientación de Búsqueda

Revisar las Leyes. Secciones / plantas

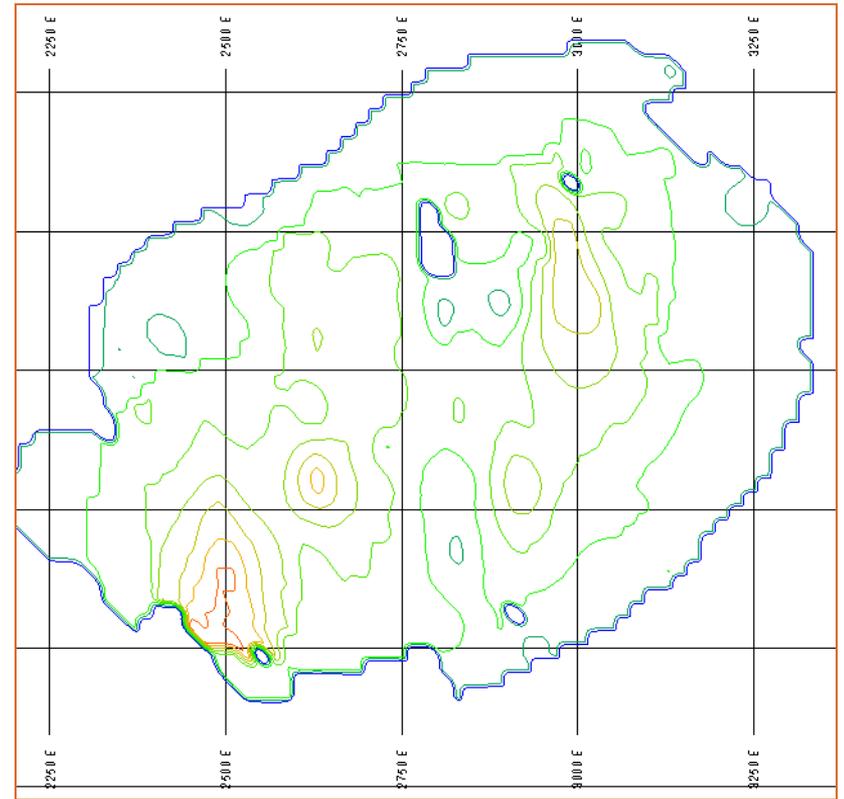
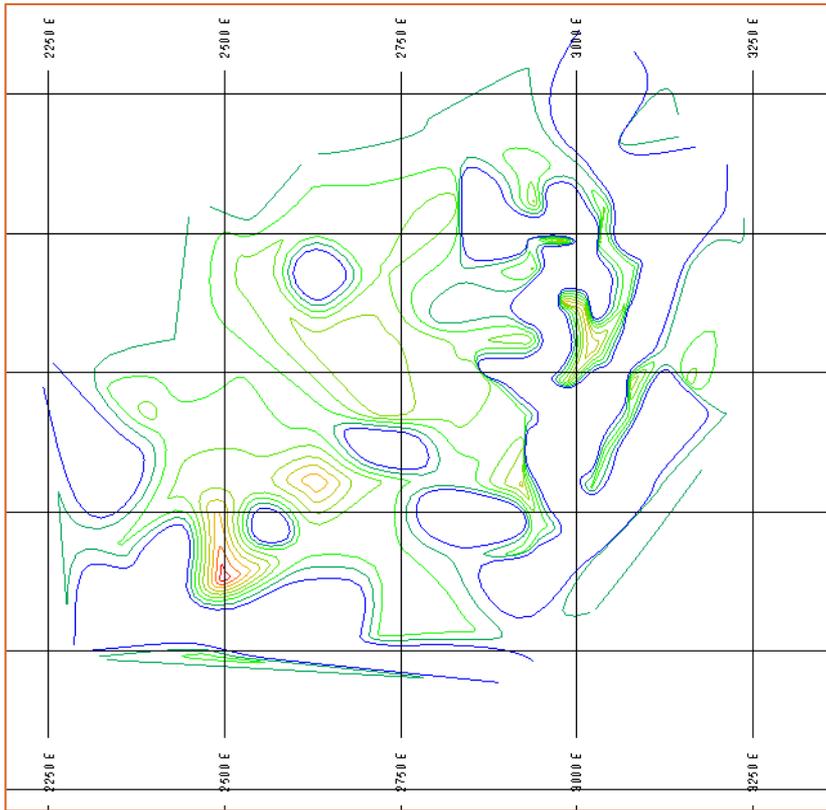


Comparar Solidos de ley con leyes de sondajes

(grade shells)



Comparar la orientación de Mineralización y la orientación de Búsqueda



Validación Estadística

Validación Global - Análisis de sesgo Global

Validación Local - Análisis de sesgo Local

Corrección de Volumen Varianza (SMU)

Intervalos de Confianza - SGS

Validación Global

Distribución de compósitos desagrupados (Declustered)

- Revisar estadísticas de compósito desagrupado (declustered).

Estadísticas del Modelo

- Estadísticas desagrupadas vs el modelo. Histogramas del Modelo, gráficos, curvas tonelaje-ley, ploteo probabilístico, reportes / tablas.

Metal en Riesgo (Acotamientos de ley)

- Revisar gráficos de probabilidad – Valores extremos (outliers)

Distribución de compósitos desagrupada

Blocks	Mean
Rock 1	0.658
Rock 2	0.420

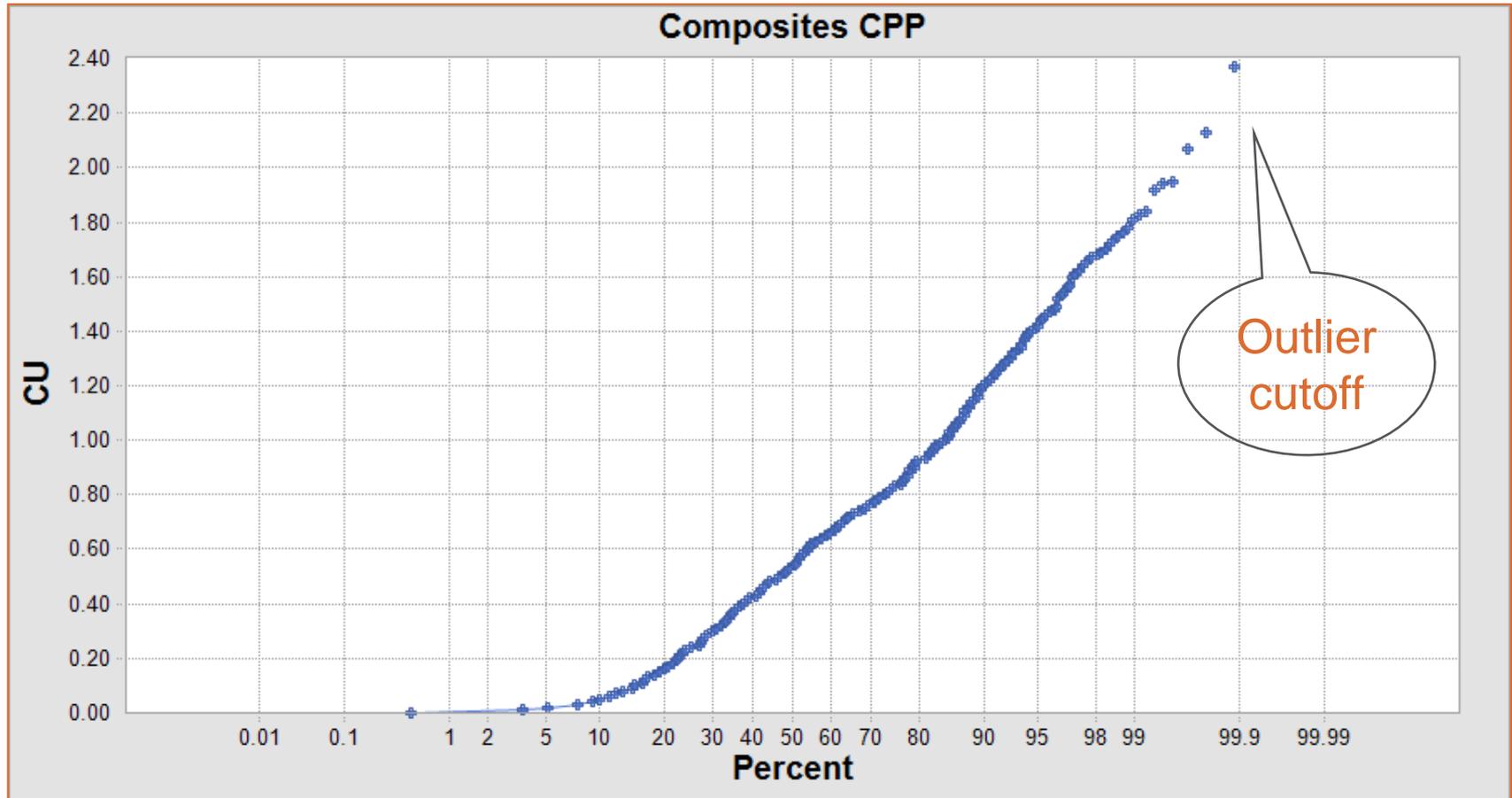
Composites	Mean
Rock 1	0.699
Rock 2	0.445

Blocks	Decluster Mean
Rock 1	0.661
Rock 2	0.432

Estadísticas del Modelo

	IDW	Kriging	Polygonal
Num Samples	47857	47857	47857
Max	3.09	2.57	4.52
Mean	0.549	0.549	0.537
First quartile	0.310	0.310	0.230
Median	0.490	0.500	0.440
Third quartile	0.740	0.740	0.750
SD	0.318	0.311	0.408
CV	0.580	0.566	0.760
Skewness	0.907	0.819	1.509

Metal en Riesgo – Simulación de Montecarlo



Validación local

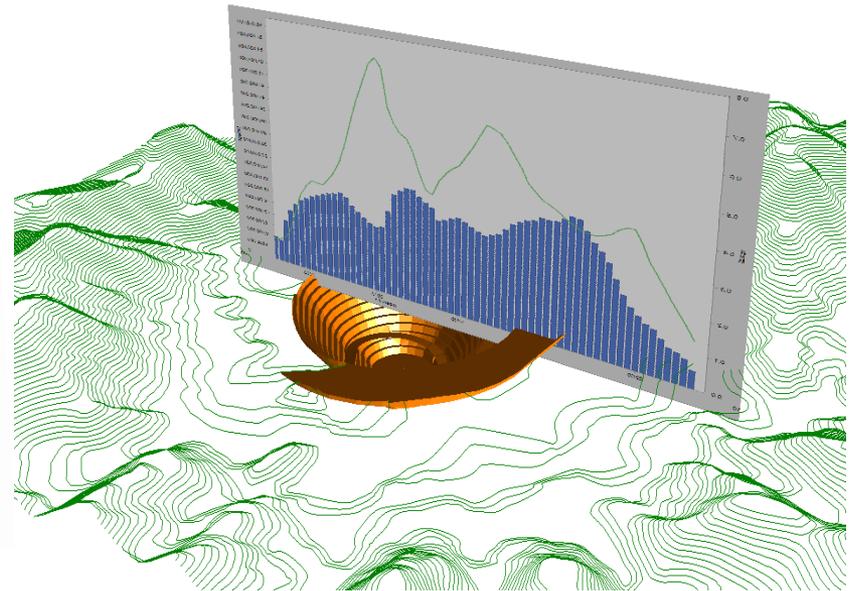
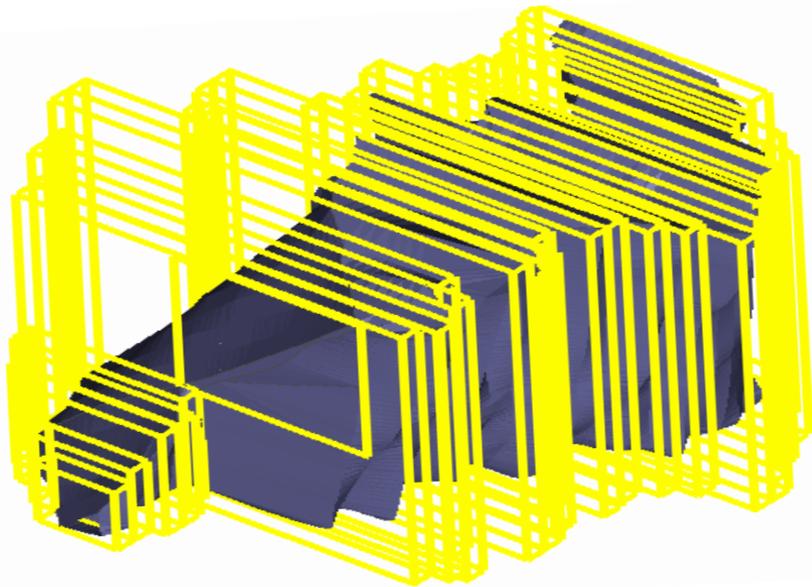
Análisis de Deriva – Swath Plot

- Revisar estadísticas de compósito desagrupado (declustered), por secciones con el modelo.

Estadística Local del bloque

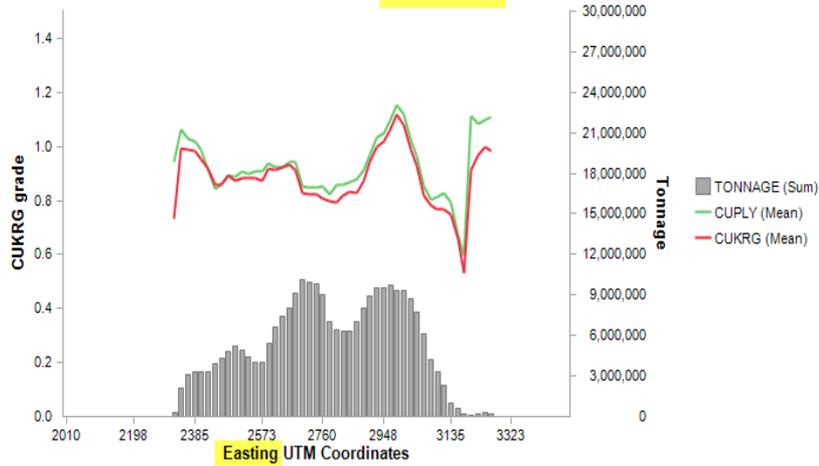
- Revisar si la interpolación esta replicando el valor del punto cuando pasa por el punto, revisión bloque a bloque. Verificar que no existe Sesgo Puntual.

Análisis de deriva – SwathPlots. Por secciones: EW - NS - Bancos

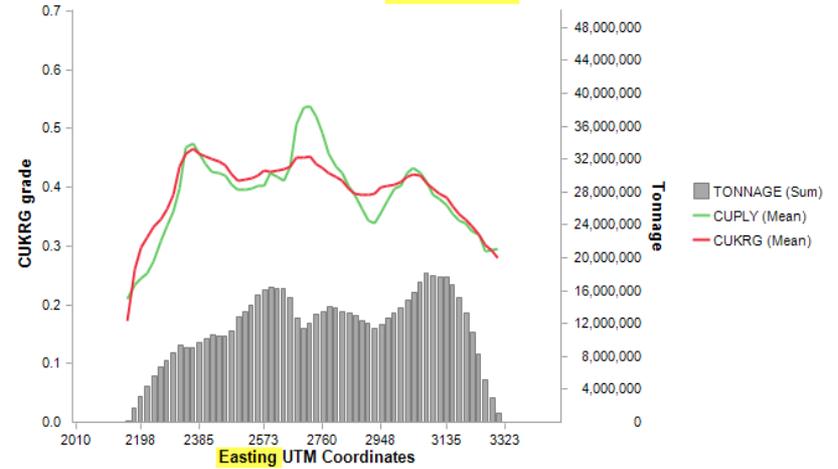


SwathPlots

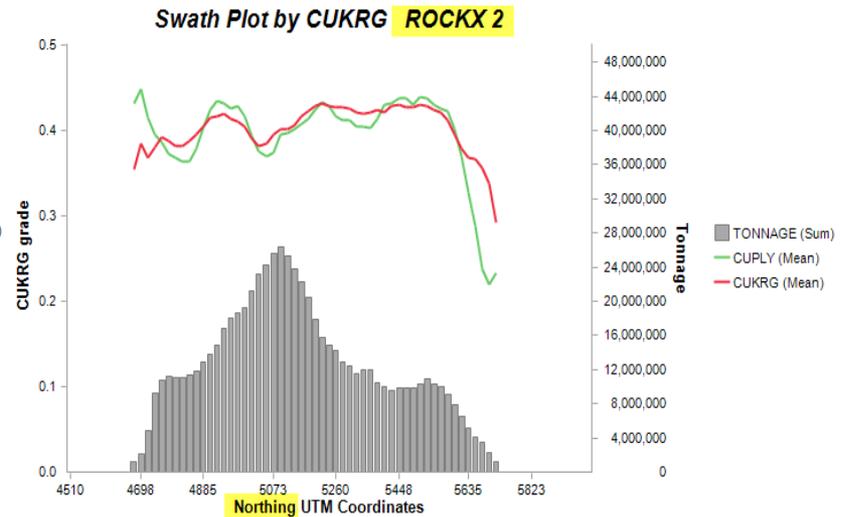
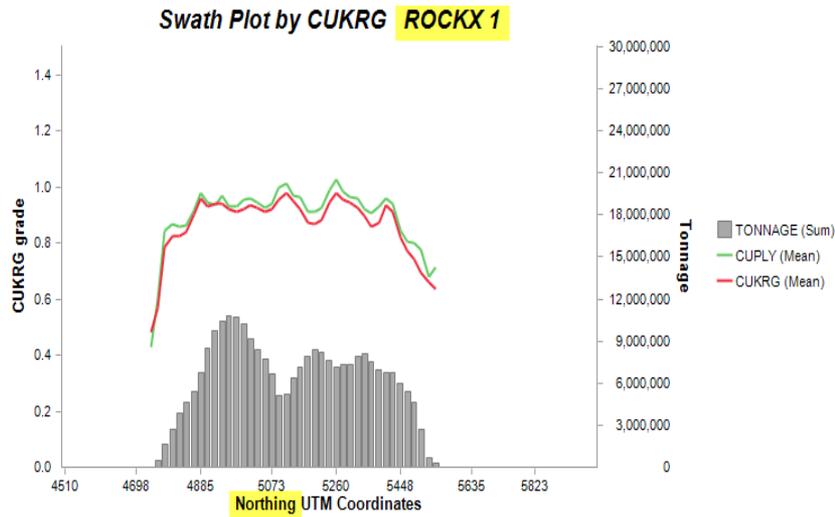
Swath Plot by CUKRG **ROCKX 1**



Swath Plot by CUKRG **ROCKX 2**

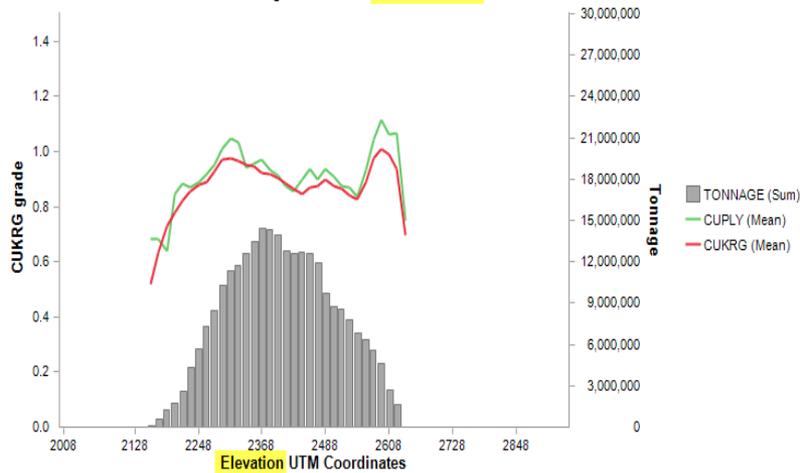


SwathPlots

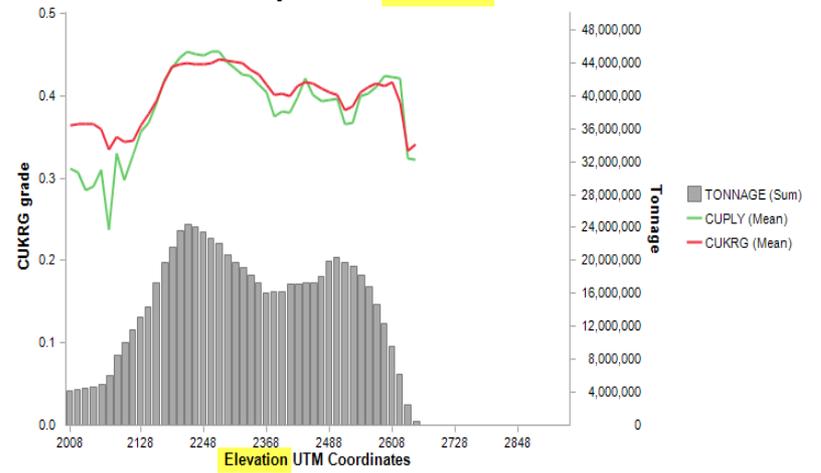


SwathPlots

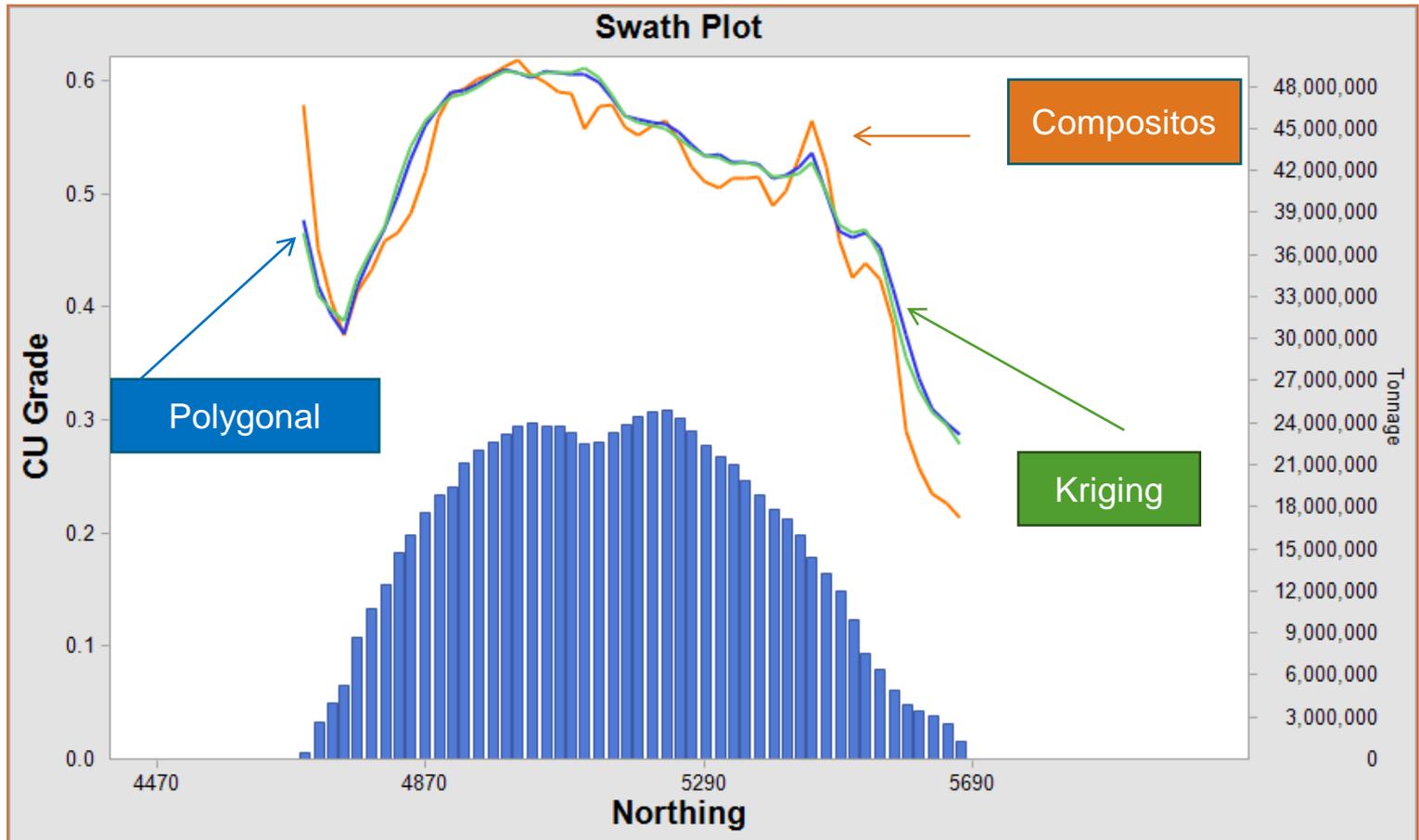
Swath Plot by CUKRG **ROCKX 1**



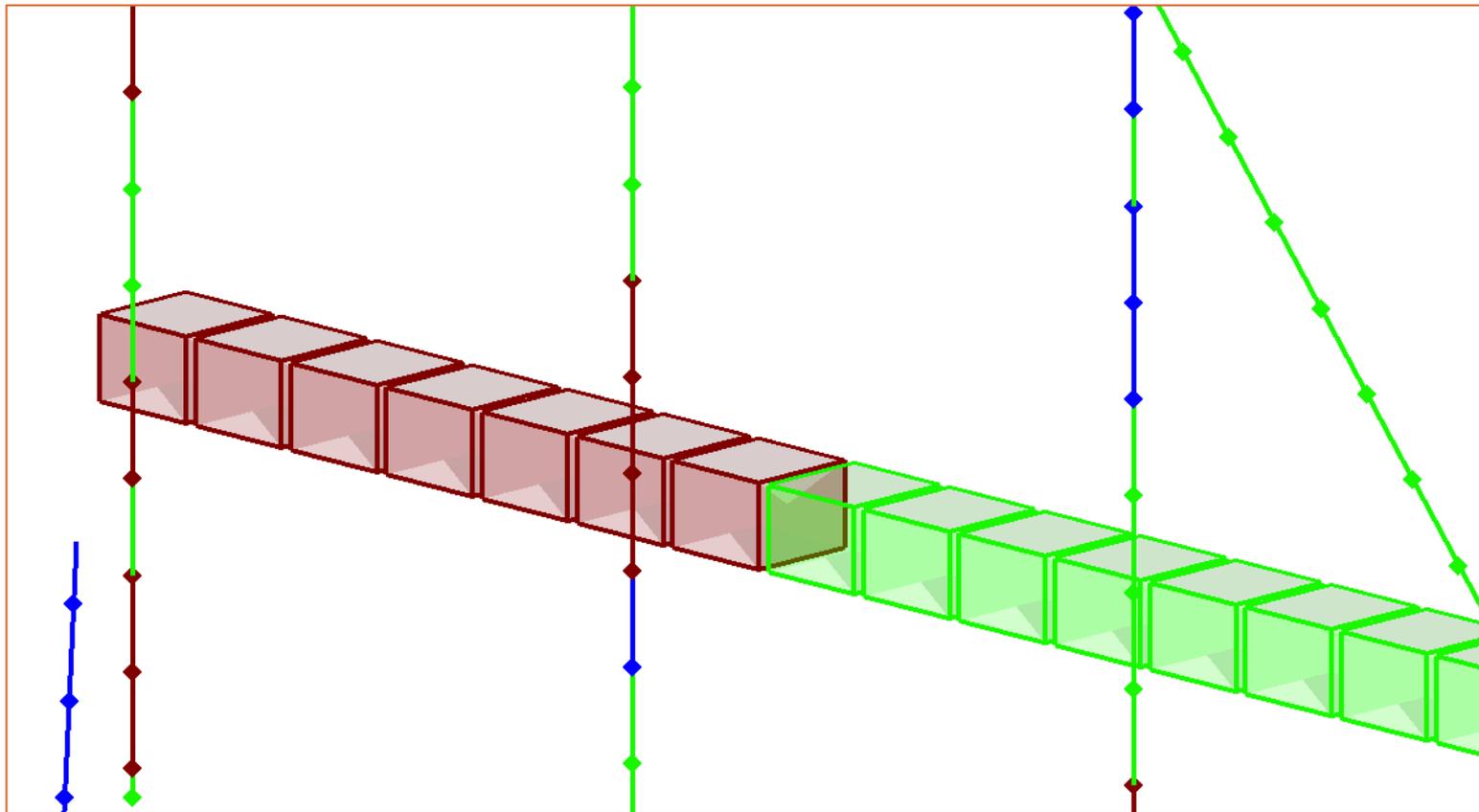
Swath Plot by CUKRG **ROCKX 2**



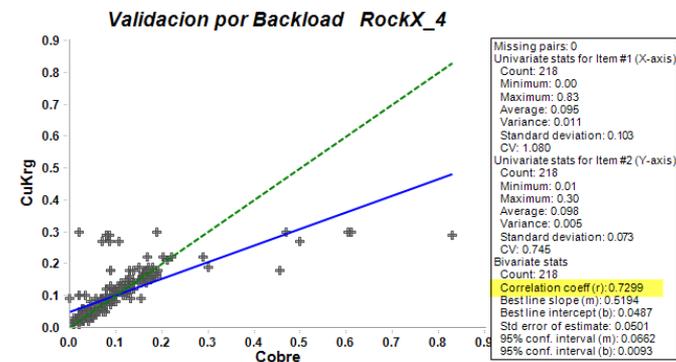
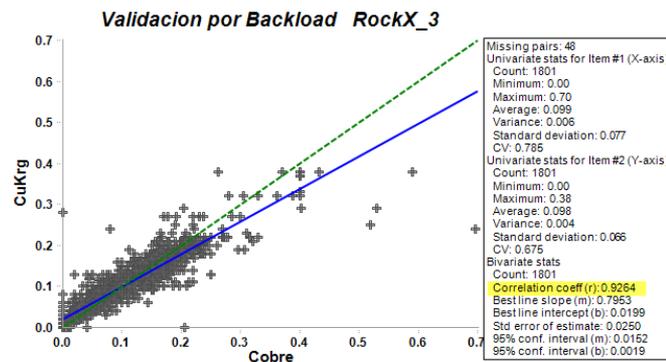
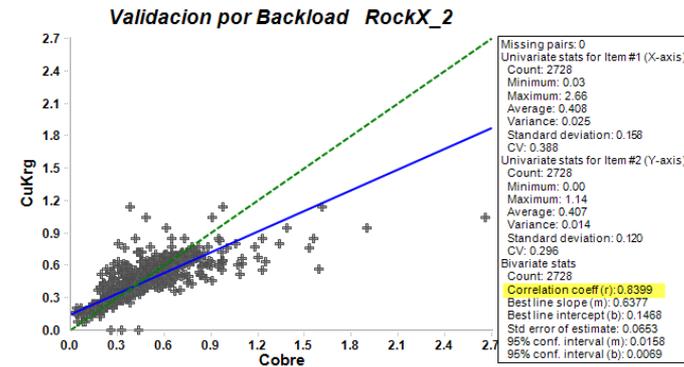
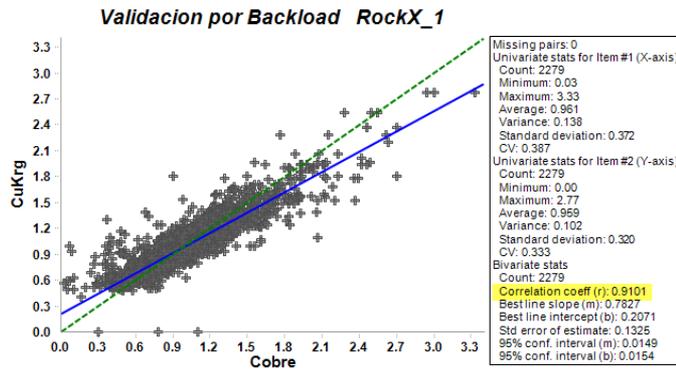
SwathPlots:



Estadística Local del bloque

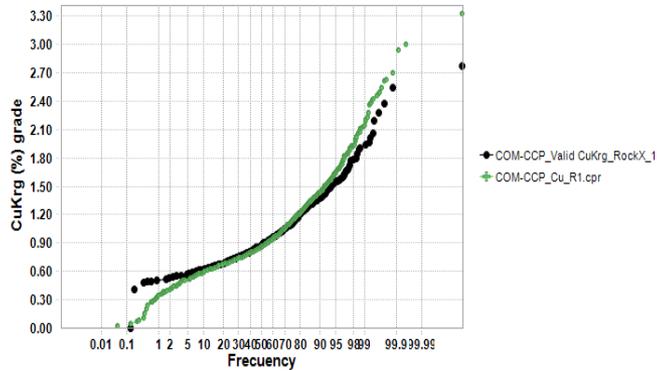


Estadística Local del bloque

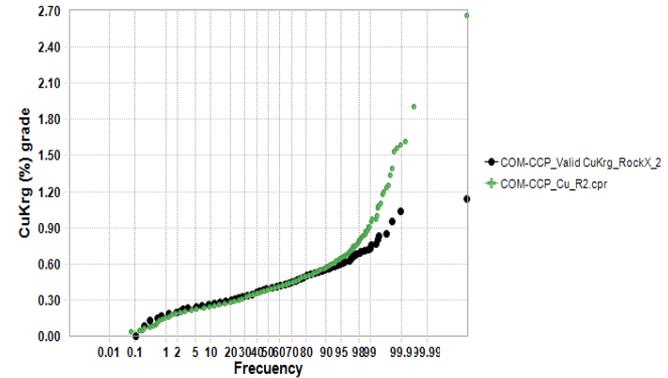


Estadística Local del bloque

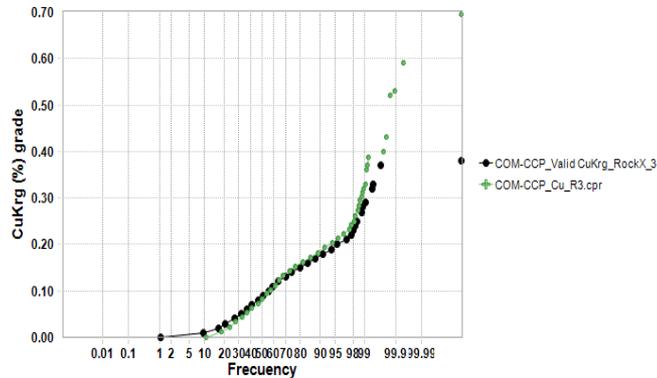
CPP by CuKrg - Cobre RockX_1



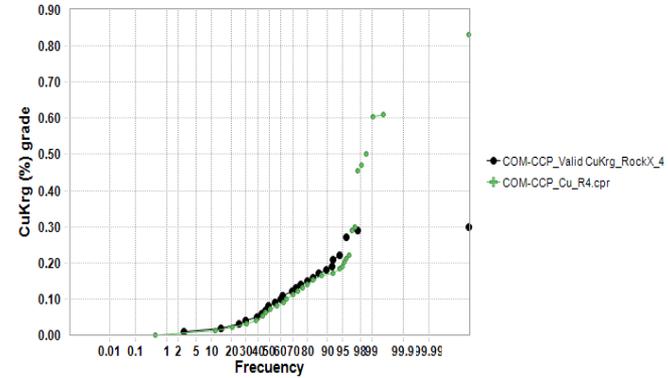
CPP by CuKrg - Cobre RockX_2



CPP by CuKrg - Cobre RockX_3



CPP by CuKrg - Cobre RockX_4



Métodos de Corrección de Volumen Varianza

Corrección Afine

Corrección Indirecta Log normal

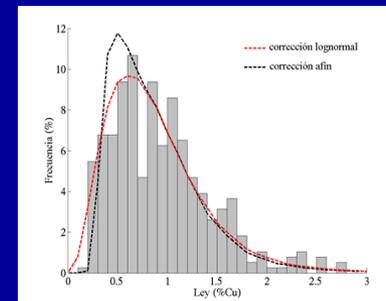
Corrección Gaussiana Discreta

Efecto de soporte en el histograma

- Existen distintos **modelos** para tratar de estimar el histograma regularizado a partir del histograma puntual, de modo de poder evaluar los recursos recuperables sobre determinadas leyes de corte al soporte de las unidades de selección mineras:
 - Corrección afín
 - Corrección lognormal directa
 - Corrección lognormal indirecta
 - Corrección Gaussiana discreta
 - ...

Ejemplo

- Dos modelos de distribución de leyes de bloques 25m × 25m, obtenidos a partir de la distribución puntual por corrección afín y corrección lognormal



→ es importante escoger un modelo de cambio de soporte adecuado

Aspectos prácticos

- **Determinar el histograma de las leyes puntuales** (media, varianza, forma)
 - irregularidades de muestreo: desagrupamiento
 - cuidado con el modelamiento de los valores extremos
- **Determinar la varianza de las leyes de bloques**
 - mediante el variograma modelado de las leyes puntuales
- **Escoger un modelo de cambio de soporte** (por ejemplo, la corrección afín) y deducir el histograma de los bloques. Esta decisión va más allá del modelamiento del variograma

Curvas de selectividad

- Las **curvas de selectividad** son herramientas alternativas al histograma para visualizar la distribución de los valores de una variable. Entre ellas, las más importantes son:
 - **tonelaje - ley de corte:** indica la proporción de valores (fracción del tonelaje total) que supera una ley de corte
 - **ley promedio - ley de corte:** indica la media de los valores que superan una ley de corte
 - **ley promedio - tonelaje**
 - **cantidad de metal - ley de corte:** la cantidad de metal se define como el producto de la ley promedio por el tonelaje
 - **cantidad de metal - tonelaje**

Corrección de Volumen Varianza (SMU).

BLOCK VARIANCE ANALYSIS

Variogram parameter file used: CuR1.var

Variogram model parameters created by MSDA.

Nugget effect= 0.01010

TYPE	STR#	SILL	RANG1	RANG2	RANG3	ROTN	DIPN	DIPE
1	1	0.04040	86.0	90.0	40.0	140.0	-55.0	-84.2
1	2	0.05050	180.0	120.0	50.0	140.0	-55.0	-84.2

Total # of lines read from variogram parameter file = 4

Block dimensions (X,Y,Z) = 20.0 20.0 15.0
Block discretization = 10 10 10

Block variance = 0.06687

Variance of points in the block = 0.03416

Corrección de Volumen Varianza (SMU).

Volume Variance Correction

Variance reduction.

$$D^2(v, A) = D^2(v, V) + D^2(V, A)$$

The variance of small blocks (v) in the area (A) is the variance of small blocks within big blocks (V) plus the variance of big blocks in the area.

3-D COMPOSITE DATA STATISTICAL ANALYSIS

0. Value of the first frequency interval (usually 0)
0.2 Size of the frequency class intervals
0. Minimum value of the base item (CU)
20 Number of frequency intervals (DEFAULT=20, MAX=100)

Don't report the first item?
 Don't accumulate frequency intervals?
NOTE: IF the first item is not reported, the sums within the frequency intervals will not be accumulated.

Perform LOG transformation?
 Change of support?

tmp Run file extension (DEFAULT=a)
tmp Extension for report and summary files (REQUIRED)
 File name for "spreadsheet" format output (NO DEFAULT)
(if blank, this file will not be created)

Create deferred plot of histogram? (output to DEFAB2.*)
 Plot a Banner Line along the left edge of the plot? (DEFAULT=No)

CHANGE OF SUPPORT PARAMETERS

Use this panel only for change of support output.

IF requested, a volume/variance adjustment made to input data to produce block or SMU grades.

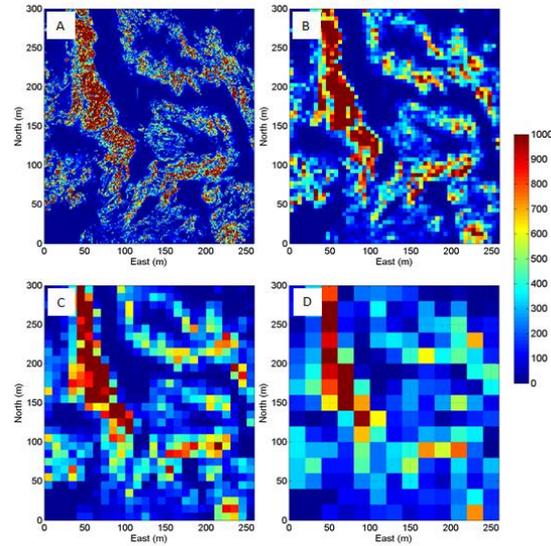
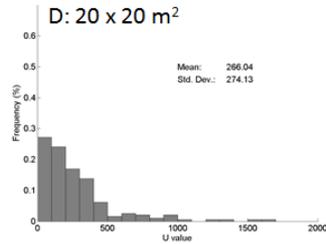
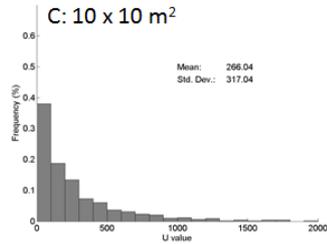
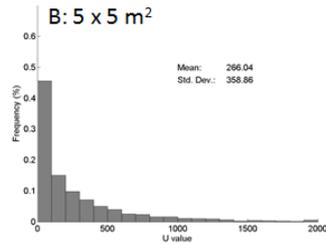
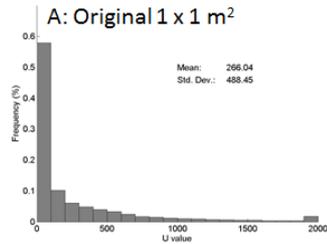
The method used is the Hermite Polynomials and the multivariate normal model.

block.txt Name of ASCII output data file.
This file contains theoretical block grades.

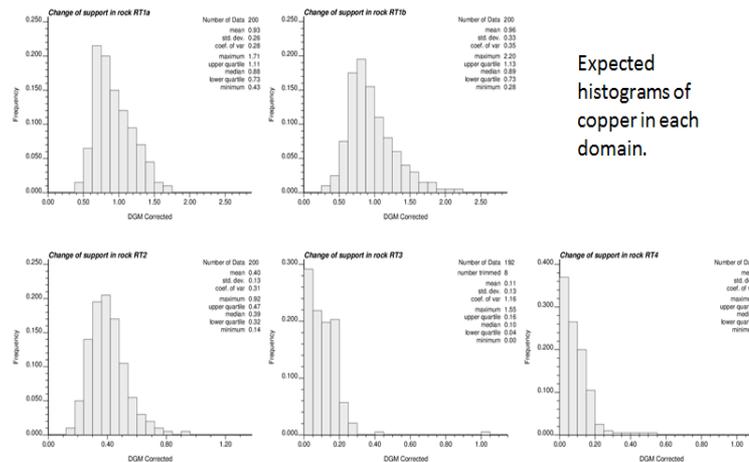
0.02 Block variance.
This can be obtained from kriging program.
It should be less than the variance of input data.

Use weighted data? (if weight item is being used)

Corrección de Volumen Varianza (SMU).

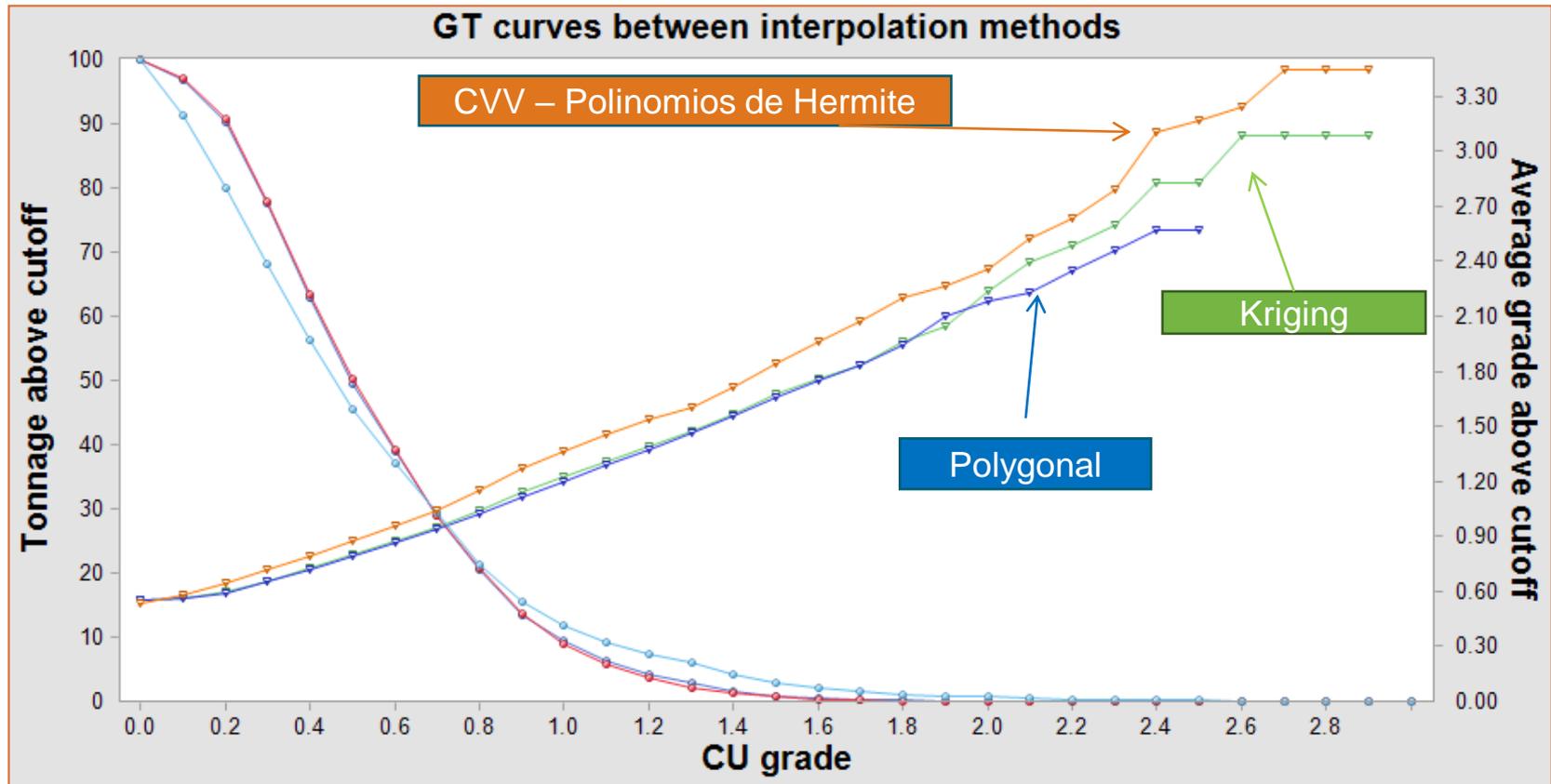


- Model upscaling cases:
- A. Original 1 x 1 m²
(assumed point scale)
 - B. 5 x 5 m²
 - C. 10 x 10 m²
 - D. 20 x 20 m²



Expected histograms of copper in each domain.

Corrección de Volumen Varianza (SMU).



Clasificación de Recursos

Kriging variance



Distancia al compósito mas cercano



Cantidad de compositos usados



Distancia promedio al bloque



Cantidad de sondajes utilizados



Pass number



Relative variability index (using Combined Variance)



Intervalos de confianza



Regression slope

Categorización de recursos

Intervalos de Confianza

- **La varianza de kriging ideal es la de un bloque (Un mes de producción) para determinar el grado de incertidumbre al 90% de limite de confianza.**

- **La varianza de kriging para un bloque es**
- **Entonces la varianza de kriging anual es**
- **El limite de confianza al 90%**

$$V^2_{m,}$$

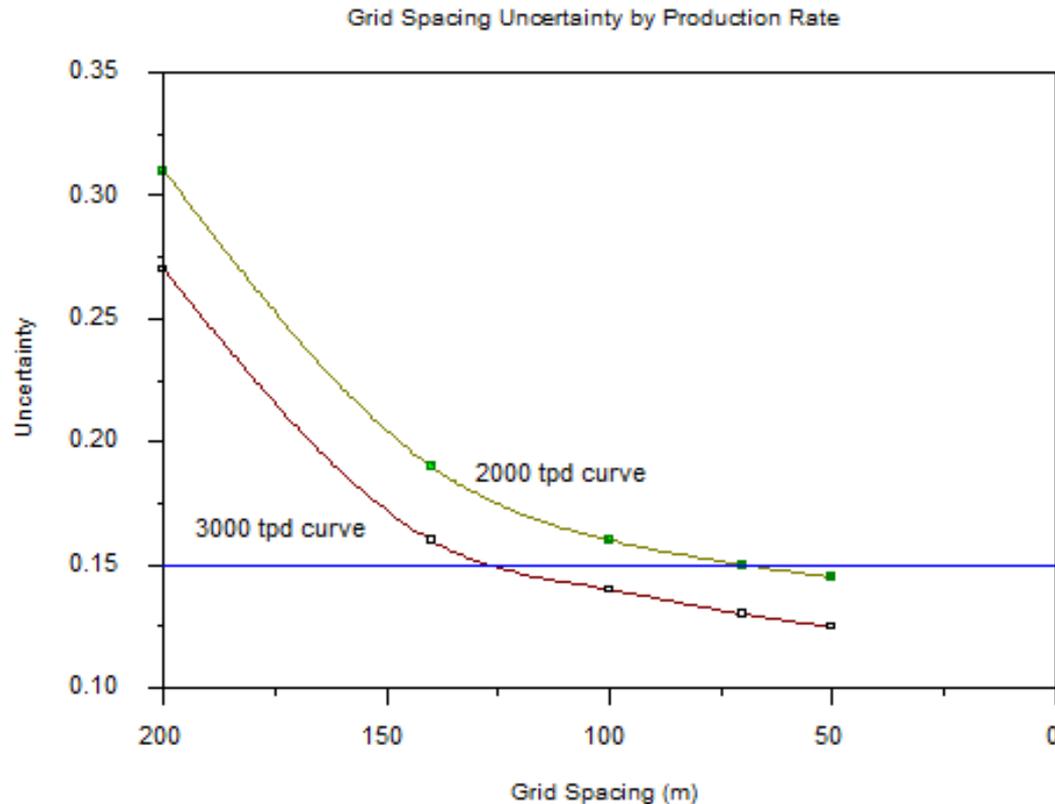
$$V^2_y = V^2_m/12$$

$$C.L. = \pm 1.645 \times V_y$$

(B.Davis SME preprint 1997)

- **Esto se analiza en diferentes grillas de sondajes y los resultados son graficados.**

Intervalos de Confianza



Este ejemplo muestra los resultados de dos tasas de producción proyectadas

Intervalos de Confianza

One Month Block								Grid Size (m)	No. of Pts
X	Y	Z		X	Y	Z	Tonnes		
5	20	1	A	125	500	10	1,562,500	25	100
7	7	1	B	245	245	10	1,500,625	35	49
5	5	1	C	250	250	10	1,562,500	50	25
3	3	1	D	250	250	10	1,562,500	75	11
2	3	1	E	200	300	10	1,500,000	100	6

Monthly Tonnes:	1,350,000	1,600,000
Annual Tonnes:	16,200,000	19,200,000

Data						Monthly	Quarterly	Annually
Mean	Std Dev	C.V.	Kr Var	Rel. Var.	Rel. Std. Err.	90% C.L.	90% C.L.	90% C.L.
0.83	0.510	0.614	0.0160	0.006	0.078	12.8%	7.4%	3.7%
0.83	0.510	0.614	0.0224	0.008	0.092	15.1%	8.7%	4.4%
0.83	0.510	0.614	0.0363	0.014	0.117	19.3%	11.1%	5.6%
0.83	0.510	0.614	0.0977	0.037	0.192	31.6%	18.2%	9.1%
0.83	0.510	0.614	0.1564	0.059	0.243	40.0%	23.1%	11.5%

Categorización de recursos

Limite de Confianza Relativa

Índice RCB= $0.5 \times (\text{Limite de Conf. Superior} - \text{Limite de Conf. Inferior}) / \text{Ley Promedio del Bloque}$

(Arik, A. APCOM 1999)

Límite de Conf. Inferior en términos log $\alpha_L = \alpha - 2 / (\beta^2/n)$

Límite de Conf. Superior en términos log $\alpha_u = \alpha + 2 / (\beta^2/n)$

Donde α y β^2 son la media y varianza de la distribución lognormal, y n es el número de compósitos usados para estimar el bloque. La media logarítmica (α) y la varianza (β^2) del bloque pueden ser calculados usando la ley krigada (Z) y la varianza combinada (σ_{CV}) como:

$$\alpha = \log Z - \beta^2/2;$$

$$\beta^2 = \log [1 + (\sigma_{CV} / Z)^2]$$

Los límites finales de confianza superior e inferior transformados a normal son calculados usando las siguientes formulas:

$$\text{Límite de Conf. Inferior} = \exp (\alpha_L + 1/2 \beta^2);$$

$$\text{Límite de Conf. Superior} = \exp (\alpha_u + 1/2 \beta^2)$$

Categorización de recursos

Limite de Confianza Relativa

El índice RCB para cada bloque es luego determinado por la siguiente formula:

RCB = 0.5 X (Upper Conf. Limit – Lower Conf. Limit) / Ley de Bloque Krigeadó

$$\text{Intervalo de confianza} = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} * (\sigma / \sqrt{n}) = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} * \sqrt{(\sigma^2 / n)}$$

$$Z \pm 2 * \sqrt{(\sigma^2_{cv} / n)}$$

95 Percent Confidence Desired (Default=90)

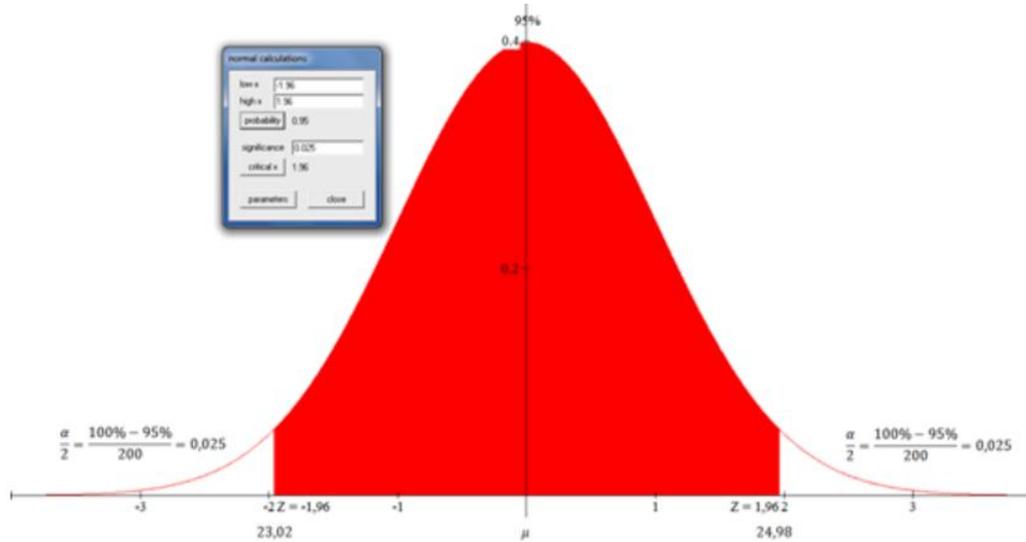
Si consideramos un porcentaje de confianza de 95%, entonces tendríamos:

$$\text{Intervalo de confianza Inferior} = Z - 1.96 * \sqrt{(\sigma^2_{cv} / n)}$$

$$\text{Intervalo de confianza Superior} = Z + 1.96 * \sqrt{(\sigma^2_{cv} / n)}$$

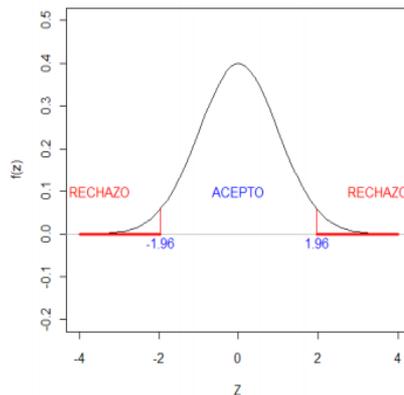
Categorización de recursos

Limite de Confianza Relativa



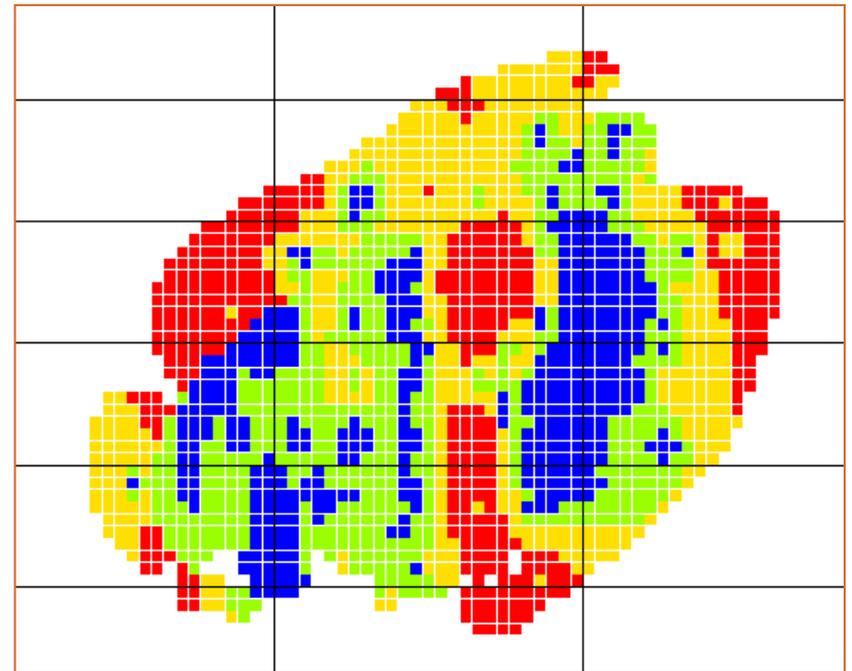
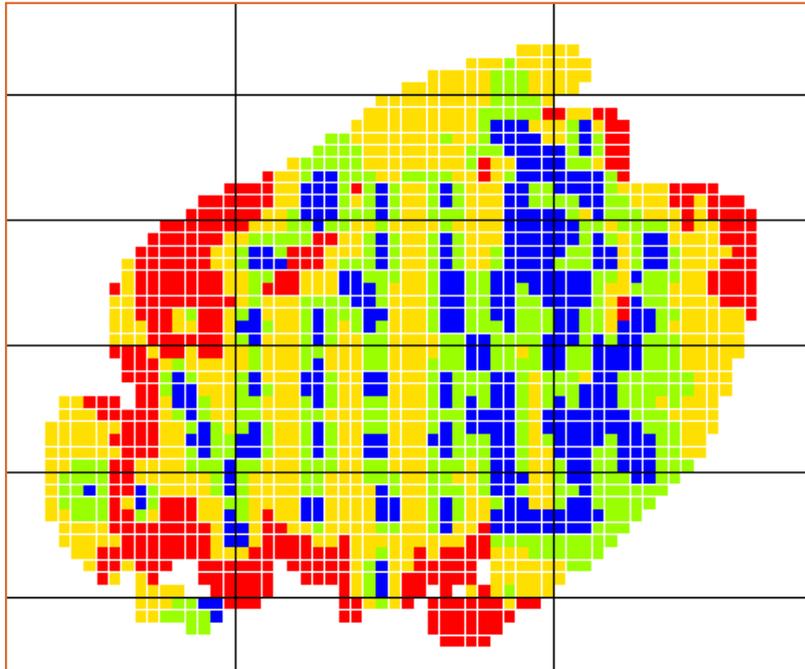
Nivel de confianza (1- α)	Valor critico de Z
90%	1.64
95%	1.96
99%	2.58

Contraste de hipótesis con alfa 5%

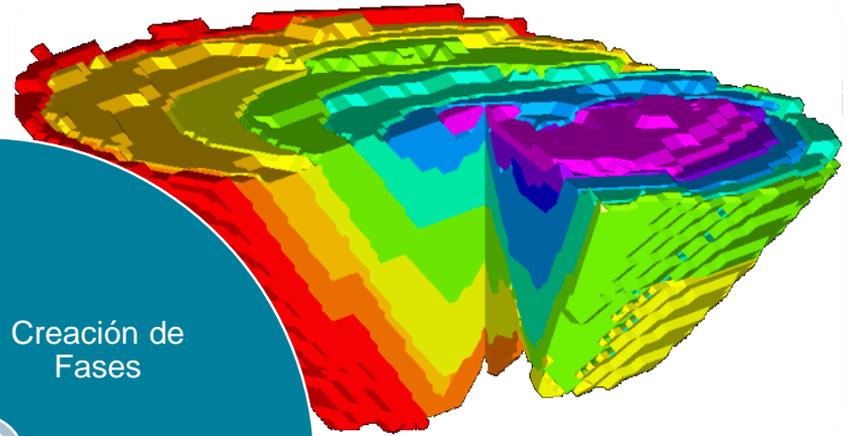
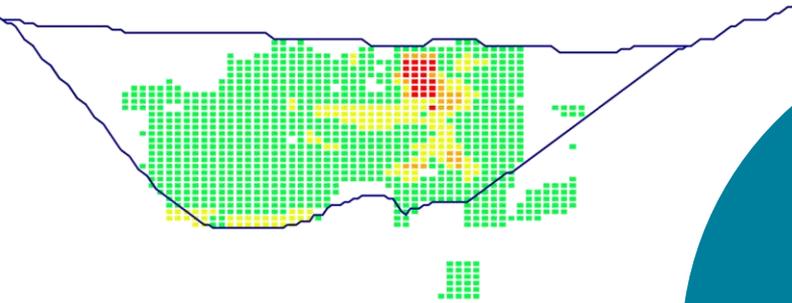


Varianza de Kriging

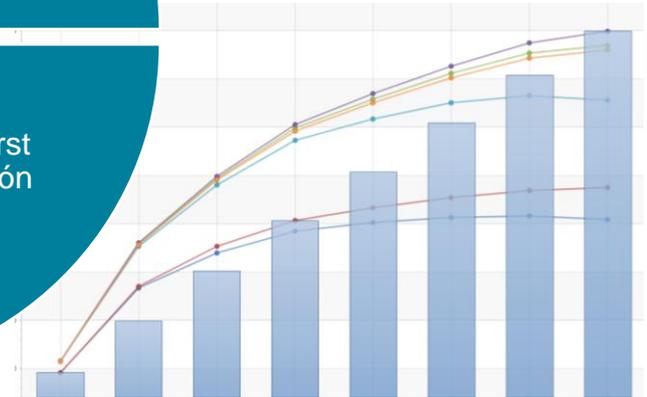
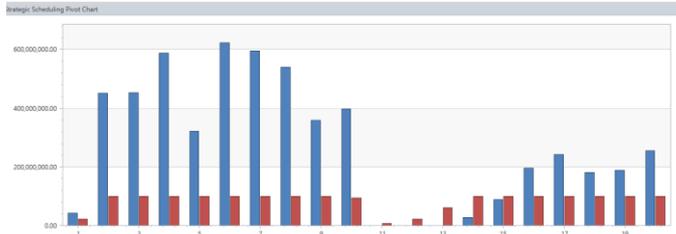
Kriging variance



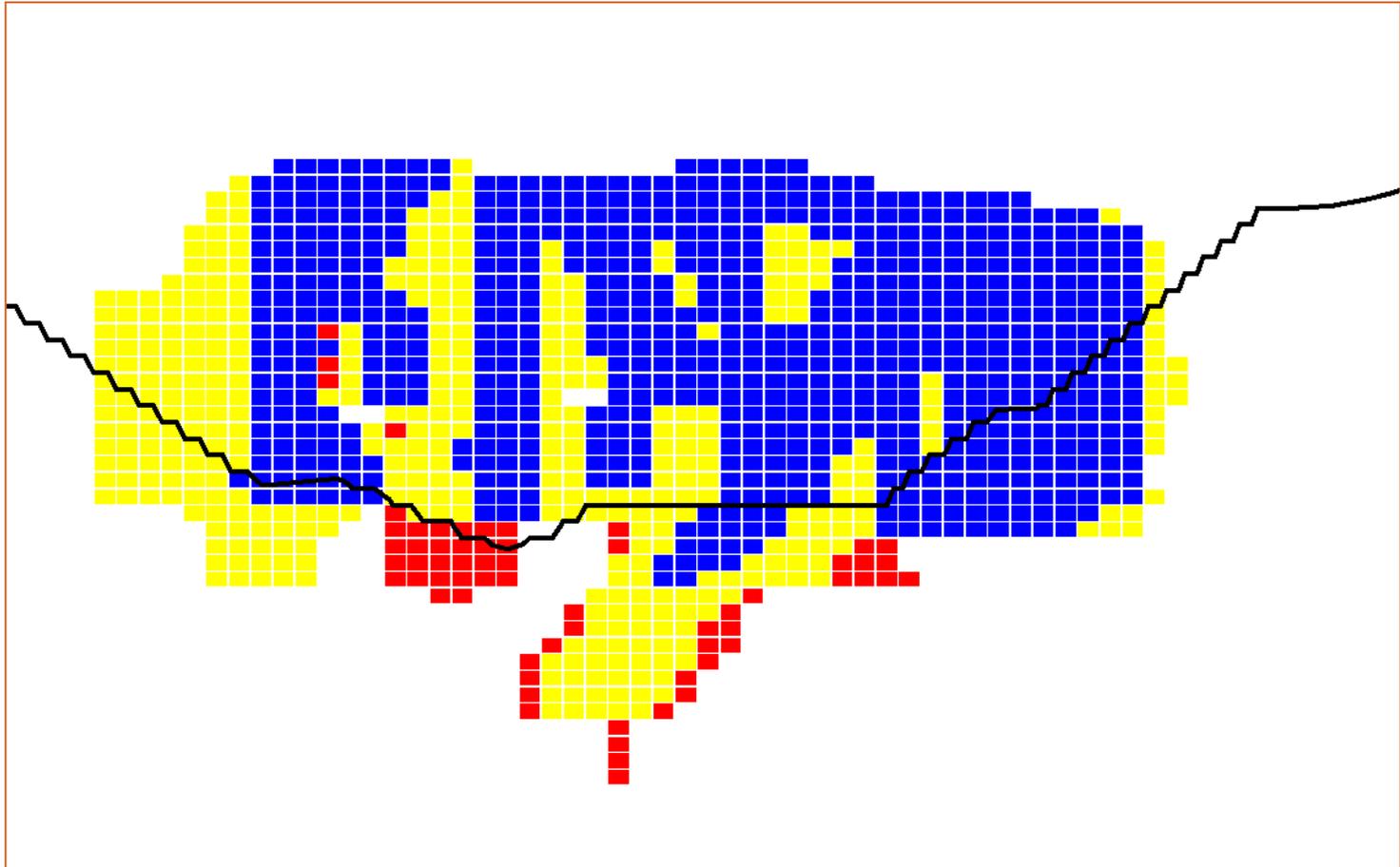
MinePlan Project Evaluator



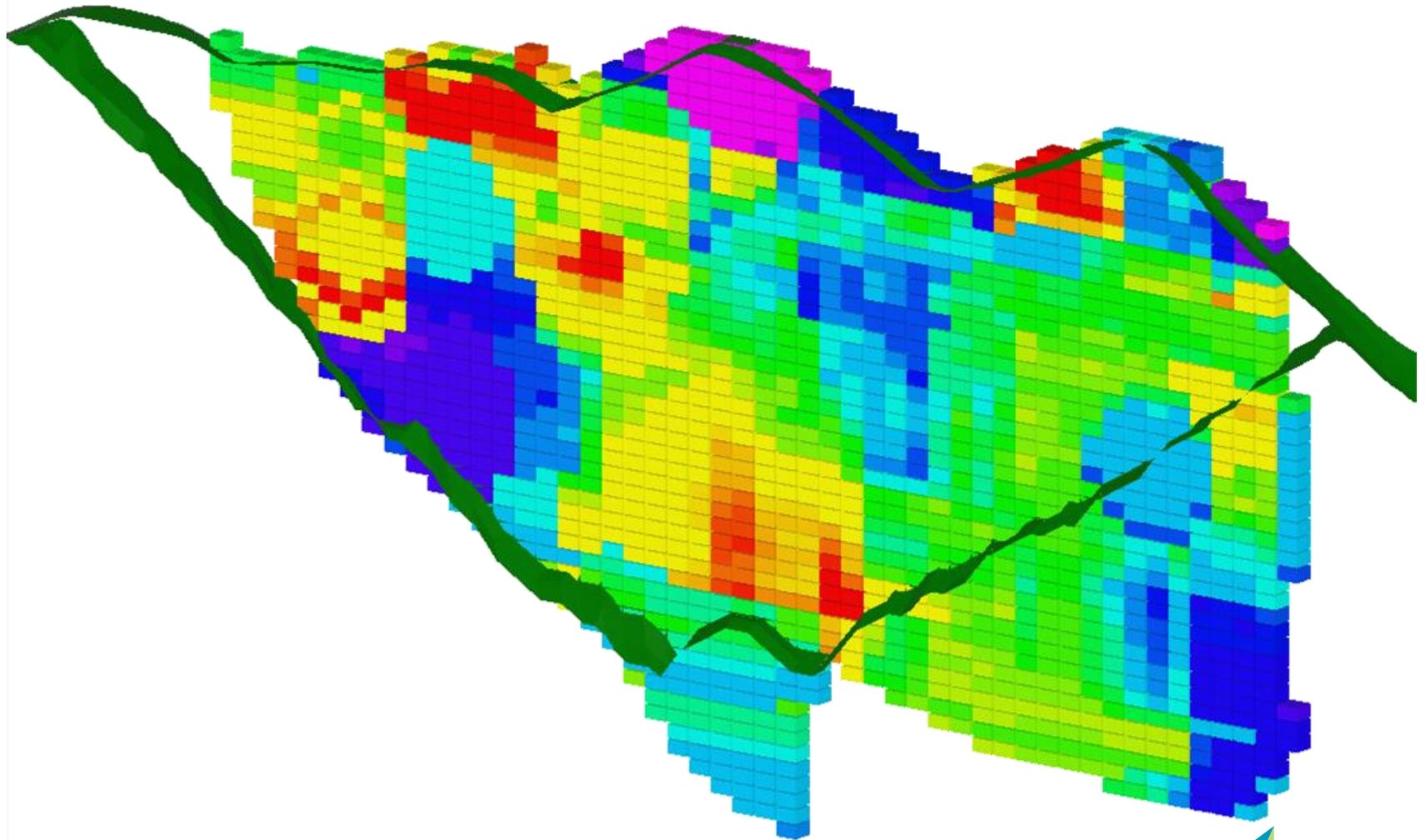
Period	Net Present Val.	CULBS	Gross Revenue	Mining Cost	Processing Cost	Total Mining
8	126,569,077	434,105,764,054	539,185,511,132	106,378,539	115,105,814	100,000,000,000
9	82,547,540	398,178,956,152	338,125,325,26	104,042,514	113,864,480	100,000,000,000
10	72,295,850	438,564,481,361	397,142,474,12	97,794,756	120,557,450	94,828,106,61
11	-2,720,657	0,000	0,000	7,401,113	0	7,401,112,50
12	-7,185,944	913,152,370	87,260,051	21,522,850	35,437	21,522,525,38
13	-18,375,959	20,484,466,530	712,340,78	60,918,822	258,941	60,758,347,03
14	-22,383,353	114,827,901,080	27,148,558,27	99,173,369	6,026,463	99,040,208,28
15	-10,402,450	272,040,689,081	87,919,556,02	101,522,237	28,147,344	100,000,000,000
16	8,881,150	305,473,681,420	195,910,893,71	100,389,852	60,177,343	100,000,000,000
17	13,041,017	345,453,433,133	241,987,438,71	102,415,659	76,724,078	100,000,000,000
18	4,137,559	338,164,891,482	180,779,026,12	102,042,958	56,802,149	100,000,000,000
19	8,738,060	328,510,827,030	188,646,478,102	101,498,473	49,348,714	100,000,000,000



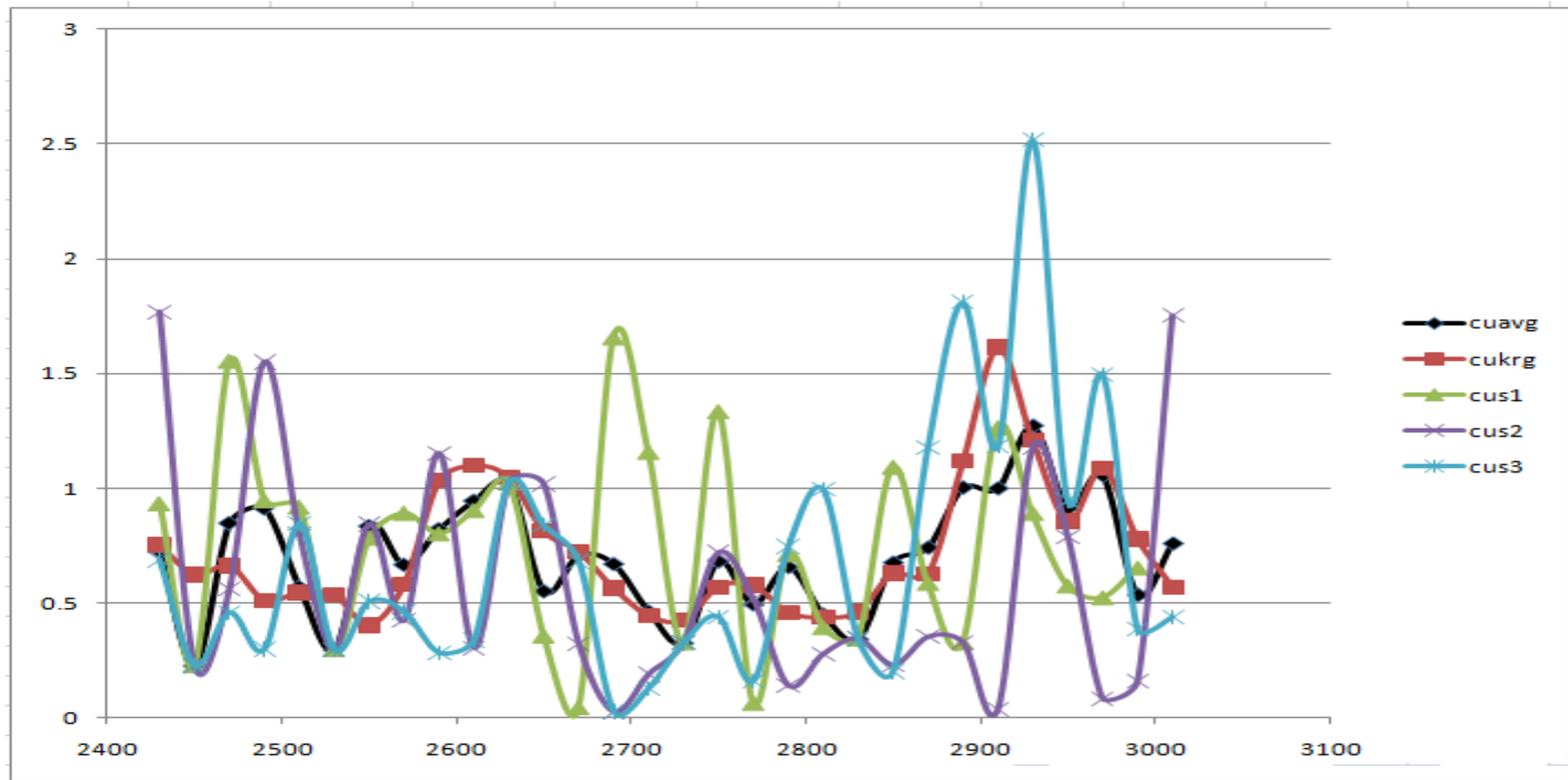
Clasificación de Recursos



Clasificación de Recursos



Simulación Condicional secuencial Gaussiana

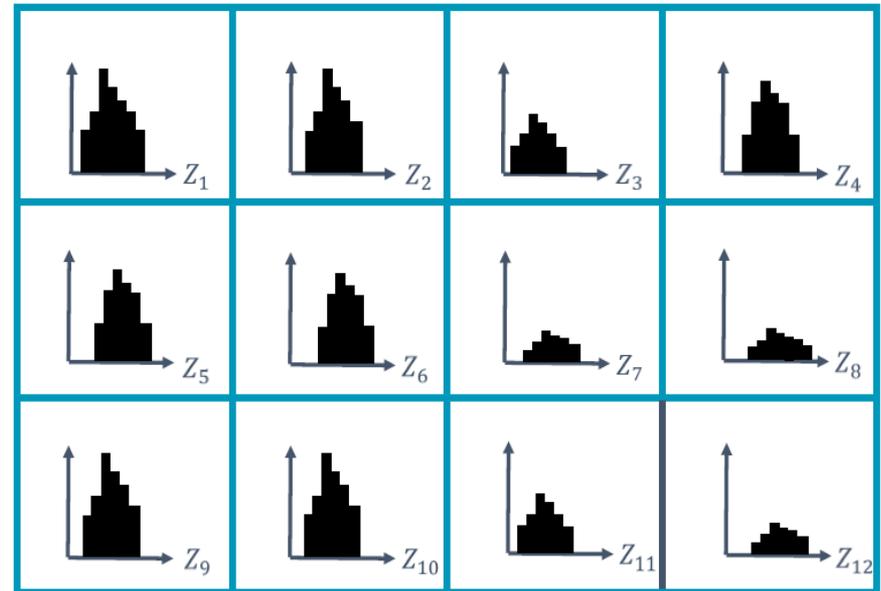


Estimación versus Simulación

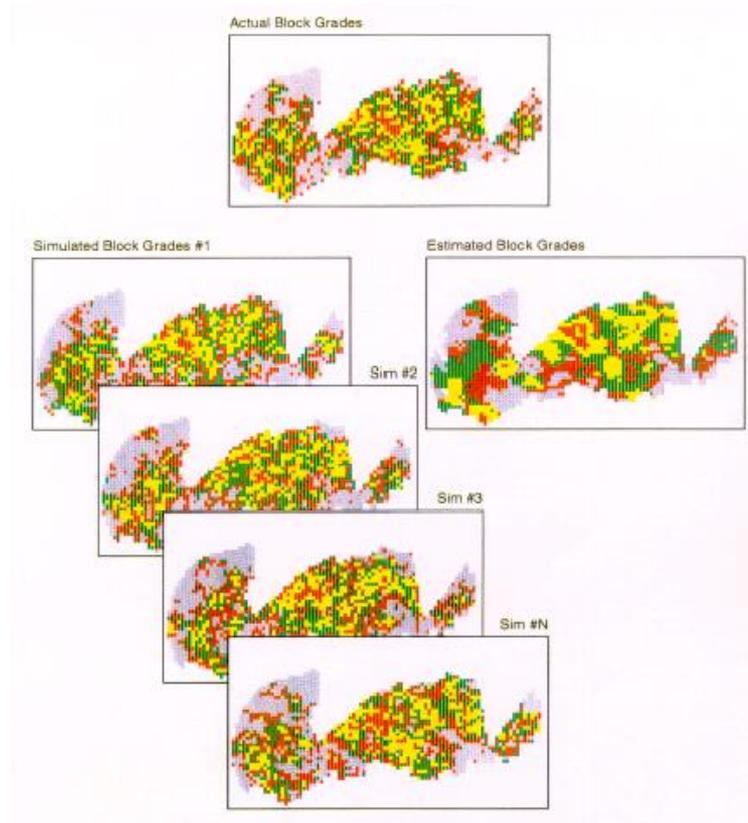
Estimación

Z_1 ●	Z_2 ●	Z_3 ●	Z_4 ●
Z_5 ●	Z_6 ●	Z_7 ●	Z_8 ●
Z_9 ●	Z_{10} ●	Z_{11} ●	Z_{12} ●

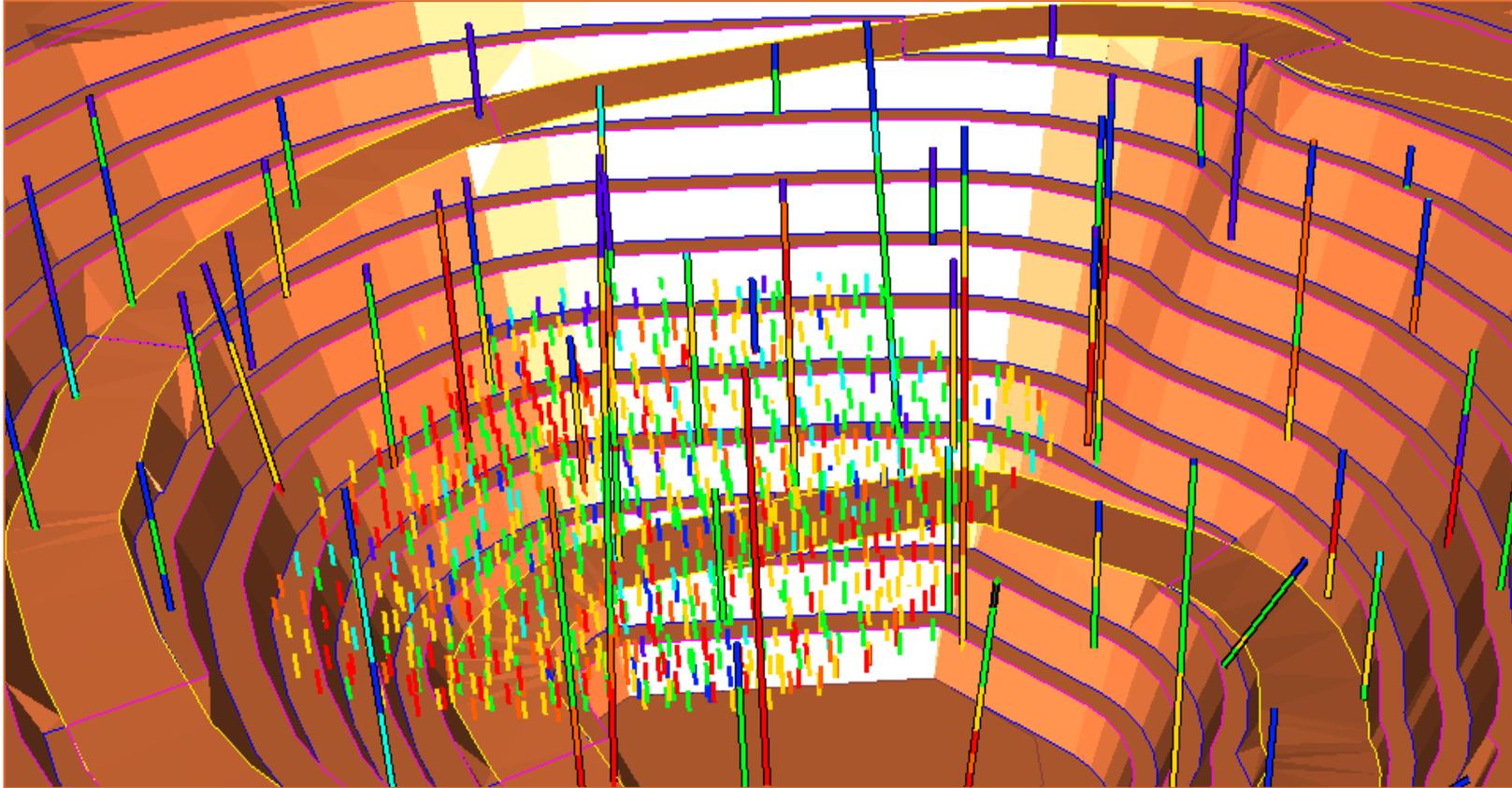
Simulación



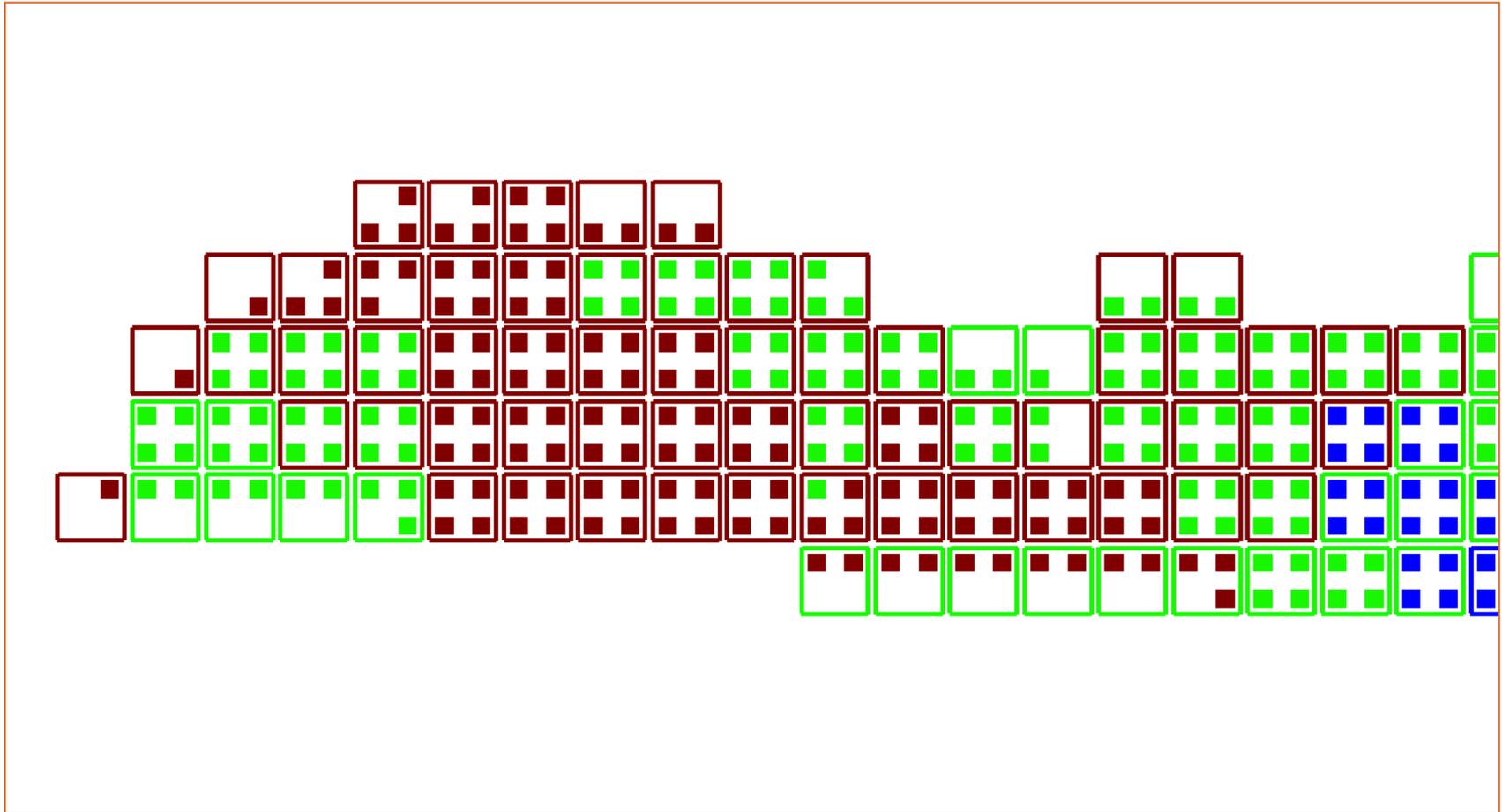
Simulación Condicional secuencial Gaussiana



Reconciliación (blastholes)



Reconciliación



Procedimientos básicos de reconciliación

1. Reportar las variaciones, basados en volúmenes (banco por banco, tajo por tajo) o periodos (mensual, trimestral, anual).
2. Asegurar que haya reuniones interfuncionales de reconciliación para discutir resultados y desarrollar planes de acción.
3. Graficar las variaciones (o factores) en cada parámetro para determinar tendencias.
4. Analizar y explicar las diferencias. Modificar los parámetros de entrada sistemáticamente para reducir futuras diferencias en la reconciliación.

Reconciliación: F1, F2 y F3

Harry Parker (2012) proporciona una solución para muchos problemas de reconciliación, según definiciones:

$$F1 = \frac{\text{ORE CONTROL}(\text{PRODUCCIÓN})}{\text{RESERVAS DE MINERAL}(\text{PREDICCIÓN})}$$

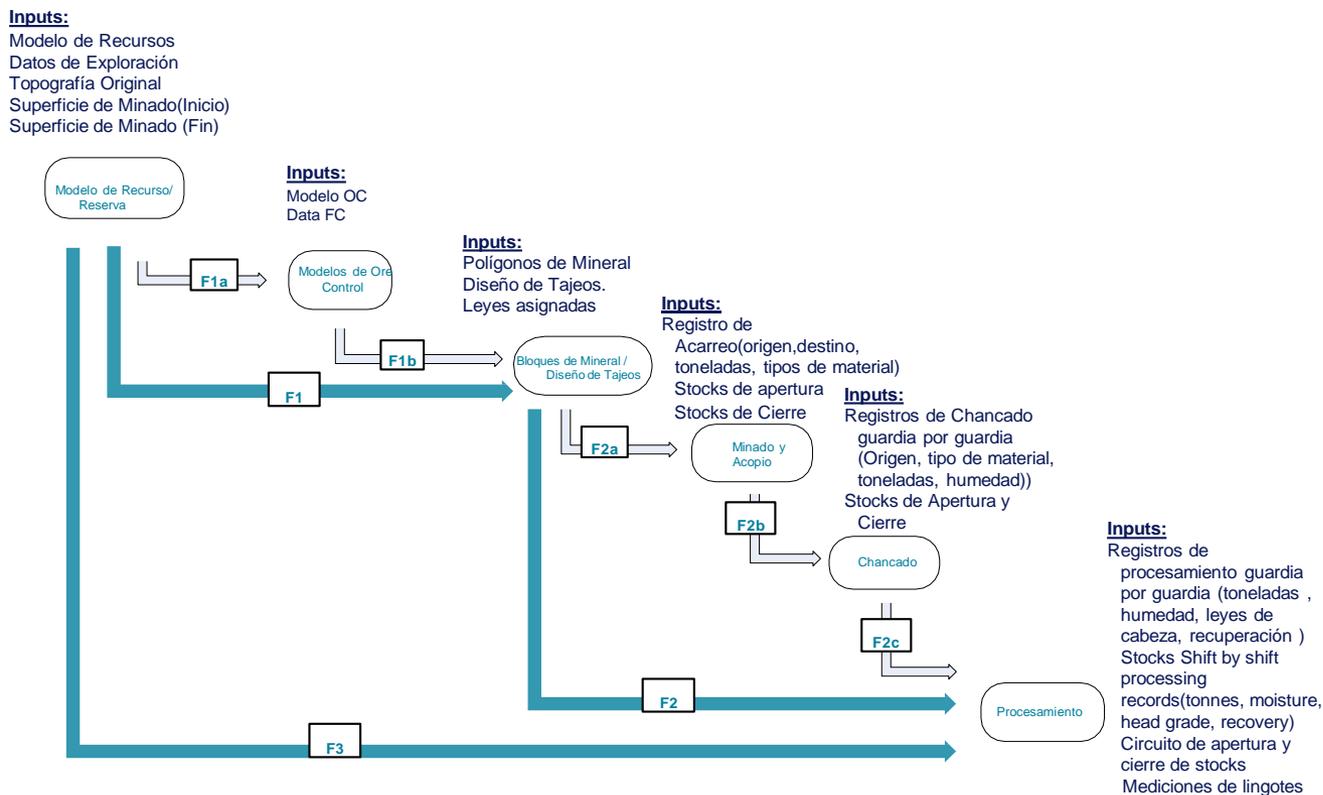
$$F2 = \frac{\text{PLANTA}(\text{PRODUCCIÓN})}{\text{ORE CONTROL}(\text{PREDICCIÓN})}$$

$$F2 = \frac{\text{PLANTA}(\text{PRODUCCIÓN})}{\text{CONTROL DE LEY}(\text{PREDICCIÓN})}$$



$$F3 = F1 * F2$$

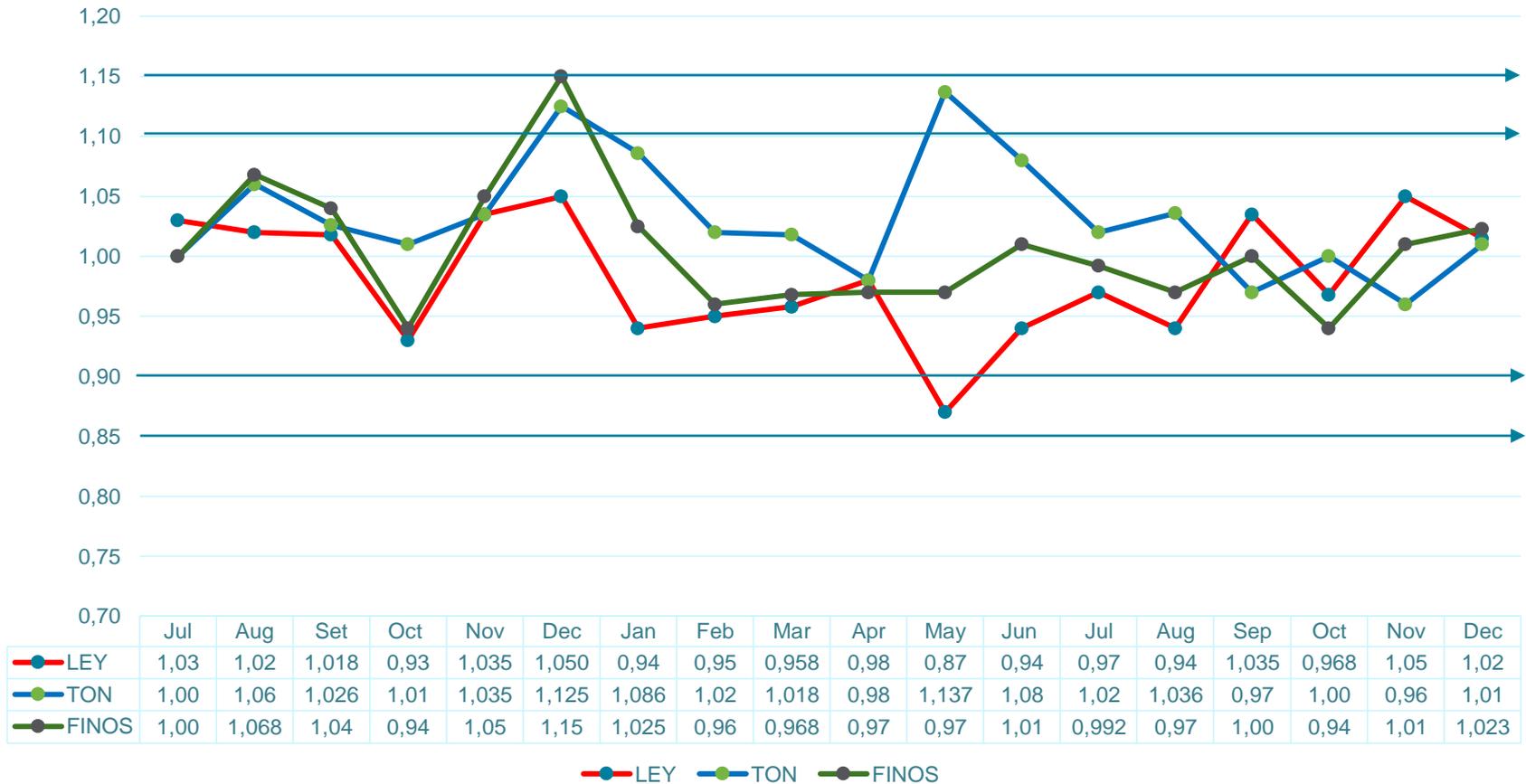
Inputs para los factores de reconciliación



Shaw, W.J., Weeks, A., Khosrowshahi, S., Godoy M. 2013. Reconciliation – Delivering on Promises. 36th APCOM Applications of Computers and Operations Research in the Mining Industry, Porto Alegre, Brazil

Reconciliación

Reconciliación F1: Ore control – Reservas (Predicción)



El Desafío en el Ore Control de Mineral

Monitoreo de desplazamiento en voladura

Control de Leyes

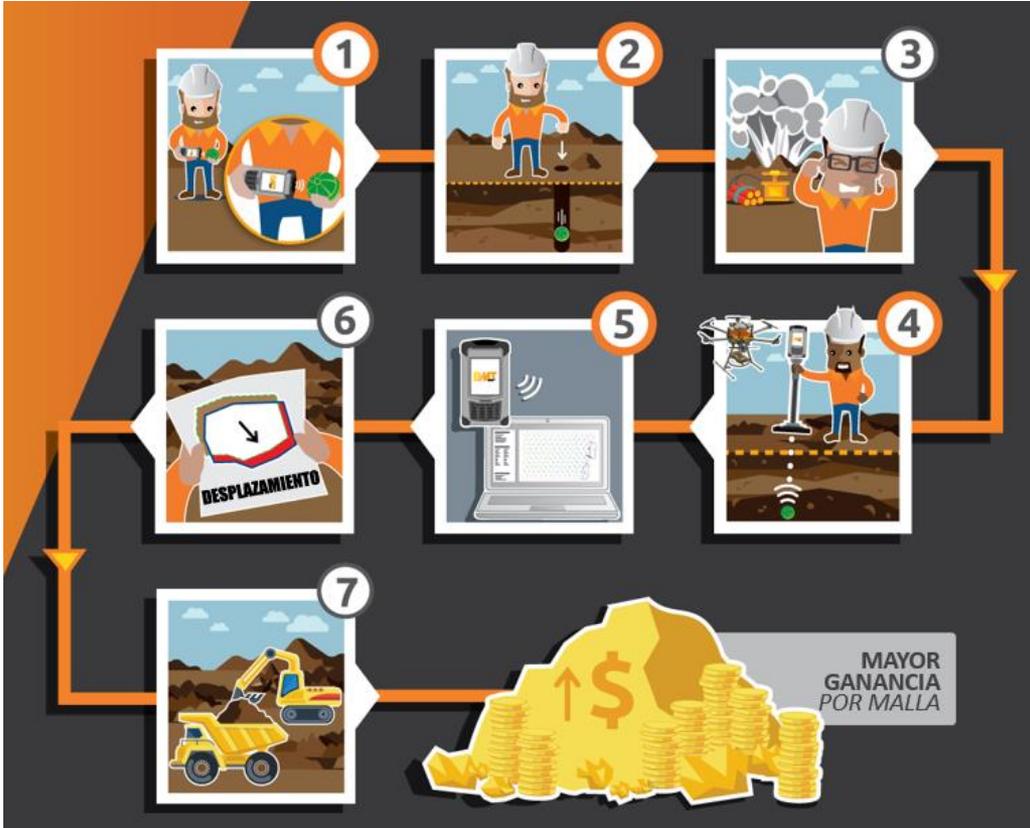
- Perforación
- Ensayos
- Análisis
- Modelo

Producción

- Minado
- Transporte
- Chancado/molienda
- Procesamiento



La Solución BMT



Ejemplo – Mina Pine Cove – Canadá (Au)

Año	Reconciliación F2
2013	85%
2014	77%
Sistema BMM implementado	
2015	109%
2016	101.1%
2017	104.3%
2018	103.9%

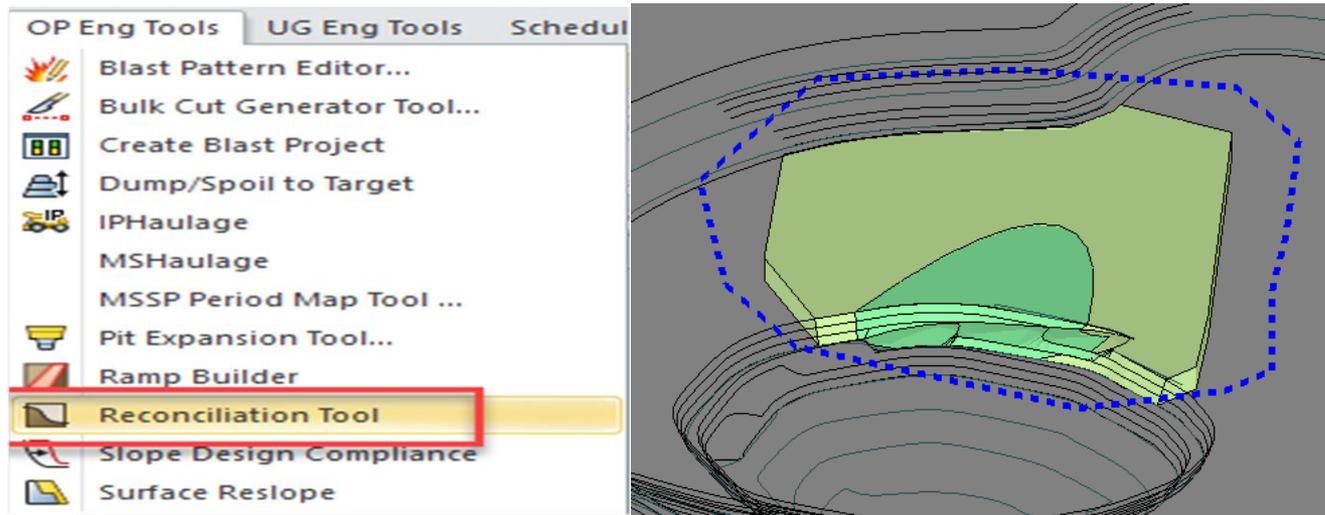


“Recuperamos bolsones más pequeños de mineral llevando al aumento de las toneladas totales recuperadas. Sin el sistema BMM, la mina no intentaría recuperar los bolsones pequeños debido al desplazamiento.”

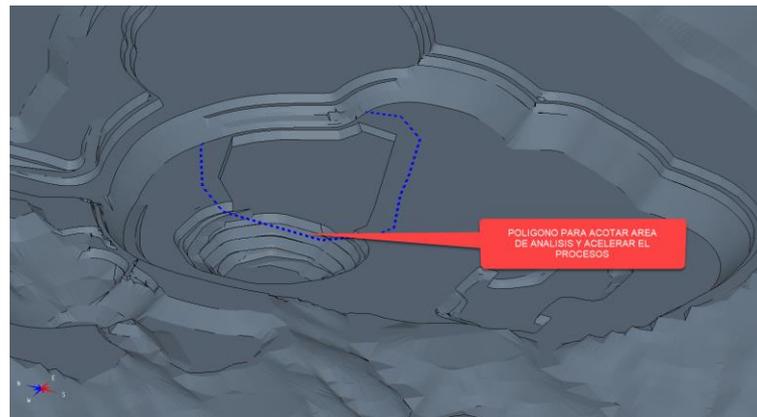
Gordana Slepcev, COO

Mineplan – Reconciliacion

- Topo Inicio
- Topo Real Avance
- Topo Programada avance Esperada



Mineplan – Reconciliación



Mineplan – Reconciliación

3D Reconciliation Tool

Folder name * D:\Hexagon\DEMO\04_DemoPlaneacionCompleta_msresources\001 Reconciliation

Object Name

Start date * 6/8/2020 15 End date * 6/9/2020 15

Object name * \$StartDate-\$EndDate_R1
[This field supports wildcards.](#)

Preview object name 6-8-2020-6-9-2020_R1

Carpeta de Resultados y Objeto donde se guardan los resultados

Next

Mineplan – Reconciliación

3D Reconciliation Tool

Input Geometry

Input Surfaces

Top surface * \001 Reconciliation\01_Topo design F18.msr : [unnamed surface] **TOPO INICIO**

Use prior reconciliation bottom surface

Bottom surface * \001 Reconciliation\03_TOPO Contour para Trim.msr : [unnamed surface] **TOPO REAL AVANCE**

Planned surface \001 Reconciliation\02_Topo programada.msr : [unnamed surface] **TOPO PROGRAMADA DE AVANCE**

Preview surfaces in Viewer

Limit by Polygon

Limiting polygon Limiting polygon optional **POLIGONO PARA ACOTAR AREA A ESTUDIAR Y ACELERAR EL PROCESO**

Options

Specific Gravity * 2.70 tonnes/cu.m

Remove solids with volume smaller than 1.000 cu. m

Decimation maximum average offset from co-planar * 0.100 m

Despiking maximum wall thickness * 0.100 m

Auto-verify and repair solids generated

Back Next

Conclusiones

Revise

Ispeccione

Compare

Vuelva a revisar