



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

**MODELAMIENTO DEL EFECTO DE SOPORTE EN UN CONTEXTO  
MULTIVARIABLE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS**

**LEONARDO NICOLÁS CUEVAS MACHUCA**

**PROFESOR GUÍA:  
XAVIER EMERY**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
MARIO SOLARI MARTINI  
HANS GÖPFERT HIELBIG**

**SANTIAGO DE CHILE  
MARZO 2013**

*Sólo hay felicidad donde hay virtud y  
esfuerzo serio, pues la vida no es un  
juego.*  
**Aristóteles**

## RESUMEN

Encontrar un modelo que se ajuste a la distribución conjunta de varios elementos de interés, dependiendo del soporte en el que se estudie (compósito o bloque), es un problema que atañe a la evaluación de yacimientos polimetálicos. Por este motivo, el presente trabajo busca generalizar un modelo de cambio de soporte (a saber, el modelo Gaussiano discreto) al contexto multivariable, aplicándolo a la estimación global de los recursos recuperables sobre determinadas leyes de corte.

Se cuenta con una base de datos referente a una veta polimetálica con cinco elementos de interés: plata, oro, plomo, zinc y cobre, siendo la variable de mayor interés la plata. Los datos de leyes son transformados a datos de potencia y acumulaciones, con la finalidad de trabajar con variables aditivas, pasando entonces de un estudio tridimensional a un estudio bidimensional en el plano de la veta.

Para validar los resultados obtenidos por el modelo de cambio de soporte, se construye un modelo de referencia, utilizando una cosimulación seguida de un rebloqueo, el que entrega una distribución al mismo soporte que el modelo Gaussiano discreto (bloques de cinco metros de lado). El modelo de referencia es considerado como el escenario real y con ello se tiene un punto de comparación.

Los resultados del modelo de cambio de soporte se estudian por medio de análisis de medias, varianzas, histogramas, nubes de correlación y curvas de selectividad (tonelaje-ley, tonelaje-ley equivalente y fino-tonelaje), obteniendo tonelajes, leyes medias y finos a diferentes leyes de corte del elemento principal (plata) o de una combinación de los diferentes elementos (plata equivalente). Se verifica que el cambio de soporte genera una simetrización de las distribuciones y una disminución de la dispersión, generando leyes medias más bajas, mayor tonelaje y una disminución en la cantidad de finos, indicativo de una pérdida de selectividad. Al considerar una ley de corte de plata equivalente de 1000 [g/t], el modelo indica que la cantidad total de roca a extraer es del orden de las 60.000 toneladas y que las leyes medias son de 2269 [g/t] para la plata, 0,25 [g/t] para el oro, 1,53% para el plomo, 2,18% para el zinc y 1,16% para el cobre.

La explotación minera selecciona bloques de mineral, de tamaño definido para cada método de explotación, por lo que obtener una buena estimación de las distribuciones al soporte de los bloques de selección es trascendente para evaluar los recursos recuperables por sobre determinadas leyes de corte y el beneficio económico asociado. Puesto que las distribuciones concuerdan globalmente con el modelo de referencia, se recomienda el modelo Gaussiano discreto para ser utilizado en etapas preliminares o de prefactibilidad del proyecto minero, debiendo ser completado por estimaciones locales en etapas posteriores.

## ABSTRACT

Finding a model that fits the joint distribution of several elements of interest, depending on the support (composite or block) on which is based the study, is a problem that concerns the evaluation of polymetallic deposits. For this reason, this work aims to generalize a support change model (the discrete Gaussian model) to the multivariable context and to apply it to the global estimation of recoverable resources at specific cutoff grades.

A database from a polymetallic vein is available, with information on five elements of interest: silver, gold, lead, zinc and copper, being silver the variable of main interest. The grade data are transformed into thickness and accumulation data, in order to work with additive variables, converting the study in a three-dimensional space to a study in a two-dimensional space, namely, the plane of the vein.

To validate the results obtained by the change-of-support model, a reference model is constructed using a point-support cosimulation on a dense grid followed by a block averaging, which provides a distribution at the same support as the discrete Gaussian model (blocks with a side length of five meters). The reference model is considered as the real scenario and thus constitutes a point of comparison.

The results of the change-of-support model are studied by analyzing the mean values, variances, histograms, scatter diagrams and selectivity curves (grade-ore tonnage, equivalent grade-ore tonnage and metal tonnage -ore tonnage), obtaining tonnages, mean grades and metal tonnages at different cutoff grades of the main element (silver) or a combination of the different elements (equivalent silver). It is verified that the change of support produces a symmetrization of the distributions and a decrease of dispersion, leading to lower average grades, a higher tonnage and a decrease in the amount of the metal tonnage, indicating a loss of selectivity. When considering a cutoff grade of 1,000 [g/t] of equivalent silver, the model indicates that the total amount of ore is on the order of 60,000 tonnes and that grades are 2269 [g/t] for silver, 0.25 [g/t] for gold, 1.53% for lead, 2.18% for zinc and 1.16% for copper.

Since mining selects mineral blocks of size defined by the mining method, getting accurate estimates of the distributions to the support of block selection is important for assessing the recoverable resources at specific cutoff grades and the associated economic benefit. Because the distributions are globally consistent with the reference model, the discrete Gaussian model is recommended for preliminary or prefeasibility stages of the mining project and should be completed by local estimates at later stages.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco el apoyo de mi familia, a mi madre, Janet Machuca, por quererme y ayudarme a lo largo de mi vida. A mi hermana, Daniela por su apoyo emocional, al Nico (mi sobrino) por su alegría y optimismo y a mi nuevo sobrino, Borja, que le espera toda una vida por delante.

Al subdirector de la escuela, Julio Salas, por su ayuda y confianza puesta en mí.

A mis compañeros de universidad: Hernán, Víctor, Sebastián, Jesús, Gustavo, Luis, Marco, Sergio, Paula, entre muchos. Por acompañarme en mi vida universitaria y por los buenos momentos que compartimos.

Al proyecto FONDECYT 1090013, por financiar el presente trabajo de memoria.

A mis profesores de comisión, en especial a Don Xavier Emery, por su incondicional ayuda, tiempo y comprensión para la realización de mi trabajo de título.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1. Motivación .....	15
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo General.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos .....	16
1.3. Alcances.....	16
2. ANTECEDENTES.....	17
2.1. Antecedentes generales.....	17
2.2. Estudio exploratorio de datos .....	17
2.3. Estudio variográfico.....	18
2.3.1. Variograma experimental .....	19
2.3.2. Variograma modelado .....	19
2.4. Método de estimación local multivariable (cokriging).....	20
2.5. Noción de soporte .....	21
2.6. Simulaciones .....	22
2.7. Modelo Gaussiano discreto de cambio de soporte para estimación global .....	23
3. METODOLOGÍA .....	26
4. CASO DE ESTUDIO.....	30
4.1. Descripción geológica del yacimiento .....	30
4.2. Estudio exploratorio de leyes.....	32
4.2.1. Estadísticas Básicas de leyes (soporte puntual).....	33
4.2.1. Histogramas de leyes (soporte puntual) .....	34
4.2.2. Nubes de correlación de leyes (soporte puntual).....	35
4.2.3. Matriz de correlación de leyes (soporte puntual) .....	36
4.3. Cálculo de potencias y acumulaciones (soporte puntual).....	36
4.4. Estudio exploratorio y variográfico de potencia y acumulaciones (soporte puntual).....	37
4.4.1. Estadísticas básicas (soporte puntual) .....	37

4.4.2.	Histogramas (soporte puntual).....	37
4.4.3.	Nubes de correlación (soporte puntual).....	38
4.4.4.	Matriz de correlación de potencia y acumulaciones (soporte puntual) .....	40
4.4.5.	Variogramas experimentales de potencia y acumulaciones (soporte puntual).....	40
4.4.6.	Variogramas modelados de potencia y acumulaciones (soporte puntual).....	43
4.5.	Definición de bloques en el plano.....	46
4.6.	Cokriging de bloques .....	46
4.6.1.	Mapas de acumulación (cokriging) .....	47
4.7.	Estudio exploratorio y variográfico de variables Gaussianas .....	48
4.7.1.	Estadísticas básicas de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones) .....	48
4.7.2.	Histogramas de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones) .....	48
4.7.3.	Nubes de correlación de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones).....	49
4.7.4.	Matriz de correlación de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones) .....	50
4.7.5.	Variogramas experimentales de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones).....	50
4.7.6.	Variogramas modelados de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones).....	52
4.8.	Cosimulación de variables .....	55
4.8.1.	Estadísticas básicas (cosimulación y rebloqueo).....	55
4.8.2.	Histogramas (cosimulación y rebloqueo).....	55
4.8.3.	Nubes de correlación (cosimulación y rebloqueo) .....	56
4.8.4.	Mapas de acumulaciones (cosimulación y rebloqueo).....	58
4.9.	Cambio de soporte por modelo Gaussiano discreto.....	59
4.9.1.	Matriz de varianza-covarianza (soporte de bloques).....	60
4.9.2.	Estadísticas básicas de potencia y acumulaciones (soporte de bloques).....	60
4.9.3.	Histogramas de potencia y acumulaciones (soporte de bloques). .....	61
4.9.4.	Histograma de Leyes (soporte de bloques).....	62
4.9.5.	Nubes de correlación de potencia y acumulaciones (soporte de bloques) .....	63
4.9.6.	Matriz de correlación de potencia y acumulaciones (soporte de bloques) .....	64
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE SOPORTE.....	65
5.1.	Validación de distribución a soporte de bloques .....	65
5.1.1.	Gráficos cuantiles contra cuantiles (QQ plot) .....	65

5.1.2.	Histogramas .....	66
5.2.	Efecto de soporte .....	67
5.2.1.	Estadísticas Básicas .....	67
5.2.2.	Histogramas .....	69
5.2.3.	Correlación .....	71
5.2.4.	Curvas tonelaje-ley .....	71
5.2.5.	Curva tonelaje – Ley de Ag equivalente .....	76
5.2.6.	Curva metal (fino) vs Ley Ag equivalente .....	80
5.2.7.	Curva metal (fino) vs tonelaje .....	83
5.3.	Comparación de modelos para evaluación global de recursos .....	85
5.3.1.	Mapas de acumulación (Cokriging vs realidad) .....	85
5.3.2.	Curva tonelaje – ley Ag equivalente (compósito, cokriging, modelo Gaussiano discreto vs realidad) .....	86
5.3.3.	Recursos estimados para diferentes leyes de corte .....	89
6.	CONCLUSIONES .....	94
7.	REFERENCIAS .....	95
8.	ANEXOS.....	96
8.1.	Eliminación de duplicados (base de datos de acumulaciones y potencia a soporte puntual) .....	96
8.2.	Variograma experimental de potencia y acumulaciones a soporte puntual .....	97
8.3.	Variograma modelado de potencia y acumulaciones a soporte puntual .....	98
8.4.	Validación cruzada de cokriging .....	99
8.4.1.	Nubes de correlación .....	99
8.4.2.	Nube de correlación de errores estandarizados .....	100
8.4.3.	Histograma de errores estandarizados .....	101
8.5.	Datos utilizados en curva tonelaje-ley .....	102
8.6.	Datos utilizados en curva tonelaje –ley equivalente .....	103
8.7.	Datos utilizados en curva fino-ley equivalente.....	106



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de herramientas geoestadísticas (histograma y nube de correlación).....	18
Figura 2. Histogramas bajo distintos soportes.....	21
Figura 3. Datos condicionantes y cinco realizaciones condicionales de una función aleatoria en una dimensión.....	22
Figura 4. Histograma transformado por anamorfosis puntual.....	23
Figura 5. Histograma transformado por anamorfosis de bloques.....	23
Figura 6. Nube de correlación entre valores Gaussianos.....	24
Figura 7. Modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto). ....	24
Figura 8. Esquema general del objetivo del cambio de soporte en contexto multivariable. ....	27
Figura 9. Esquema de estimación por cokriging ordinario.....	28
Figura 10. Esquema de etapas del modelo Gaussiano discreto. ....	29
Figura 11. Ubicación de la mina Caylloma en Perú. ....	30
Figura 12. Mapa de ubicación de la mina, propiedad de Caylloma. ....	30
Figura 13. Ubicación de sondajes de la veta. ....	31
Figura 14. Vista isométrica de la veta. ....	32
Figura 15. Vista longitudinal de la veta.....	32
Figura 16. Vista transversal de la veta.....	33
Figura 17. Vista en planta de la veta ....	33
Figura 18. Histogramas de leyes de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.....	34
Figura 19. Nubes de correlación de leyes de veta polimetálica.....	35
Figura 20. Histogramas de potencia y acumulaciones a soporte puntual de veta polimetálica.....	38
Figura 21. Nubes de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica. ....	39
Figura 22. (a) Dirección de la veta en N63°E, (b) Dirección vista por coordenadas U, V y W (Sistema rotado).....	40
Figura 23. Variogramas experimentales, simples y cruzados de variables de potencia y acumulaciones a soporte puntual (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E). ....	43
Figura 24. Variogramas modelados simples y cruzados de variables de potencia y acumulaciones a soporte puntual (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E). ....	45

Figura 25. Grilla definida en el plano de la veta, (a) vista longitudinal de la grilla definida en la dirección del plano de la veta, (b) vista en planta de la grilla definida en la dirección del plano de la veta.....	46
Figura 26. Mapas de acumulaciones estimadas por cokriging. ....	48
Figura 27. Histograma aplicable a variables Gaussianas de potencia y acumulaciones. ....	48
Figura 28. Nubes de correlación de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones. ....	50
Figura 29. Variogramas experimentales simples y cruzados de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E).. ....	52
Figura 30. Variogramas modelados simples y cruzados de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E). ....	54
Figura 31. Histogramas a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo).....	56
Figura 32. Nubes de correlación de potencia y acumulaciones a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo). ....	57
Figura 33. Mapas de acumulaciones de elementos de la veta (cosimulación y rebloqueo). ....	59
Figura 34. Histogramas a soporte de bloques (5x5 m) de potencia y acumulaciones, obtenidos por el modelo Gaussiano discreto. ....	61
Figura 35. Histogramas de leyes obtenidos con el modelo Gaussiano discreto. ....	62
Figura 36. Nubes de correlación de potencias y acumulaciones a soporte de bloques 5x5 m obtenidas por el modelo Gaussiano discreto. ....	64
Figura 37. Gráficos Q-Qplot de distribuciones a soporte de bloques (ordenada) y realidad de soporte de bloques (abscisa). ....	65
Figura 38. Comparación de histogramas a soporte puntual, de bloques (modelo Gaussiano discreto) y realidad (cosimulación y rebloqueo). ....	67
Figura 39. Histogramas de potencia y acumulaciones a soporte puntual (izquierda) y de bloque (derecha). ....	70
Figura 40. Curvas tonelaje-ley a soporte puntual. ....	72
Figura 41. Curvas tonelaje-ley a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).....	72
Figura 42. Comparación de tonelaje y leyes medias de Ag obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	73
Figura 43. Comparación de tonelaje y leyes medias de Au obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	73

Figura 44. Comparación de tonelaje y leyes medias de Pb obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	74
Figura 45. Comparación de tonelaje y leyes medias de Zn obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	74
Figura 46. Comparación de tonelaje y leyes medias de Cu obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	75
Figura 47. Curva tonelaje-ley Ag equivalente, a soporte puntual. ....	76
Figura 48. Curva tonelaje-ley Ag equivalente a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto). .....	77
Figura 49. Comparación de leyes medias de Ag equivalente, obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	77
Figura 50. Comparación de leyes medias de Ag, obtenidas a soporte puntual y de bloques. ....	78
Figura 51. Comparación de leyes medias equivalentes de Au, obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	78
Figura 52. Comparación de leyes medias equivalentes de Pb, obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	78
Figura 53. Comparación de leyes medias equivalentes de Zn, obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	79
Figura 54. Comparación de leyes medias equivalentes de Cu, obtenidas a soporte puntual y de bloques.....	79
Figura 55. Comparación de efecto de soporte para finos de Ag. ....	80
Figura 56. Comparación de efecto de soporte para finos de Au. ....	81
Figura 57. Comparación de efecto de soporte para finos de Pb. ....	81
Figura 58. Comparación de efecto de soporte para finos de Zn.....	81
Figura 59. Comparación de efecto de soporte para finos de Cu.....	82
Figura 60. Curva de finos vs tonelaje de Ag. ....	83
Figura 61. Curva de finos vs tonelaje de Au. ....	83
Figura 62. Curva de finos vs tonelaje de Pb. ....	84
Figura 63. Curva de finos vs tonelaje de Zn.....	84
Figura 64. Curva de finos vs tonelaje de Cu.....	84
Figura 65. Comparación de mapas de acumulación obtenida por cokriging y realidad (cosimulación y rebloqueo) en la dirección del plano de la veta.....	86

Figura 66. Comparación de leyes medias de $Ag_{eq}$ y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	86
Figura 67. Comparación de leyes medias de Ag y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	87
Figura 68. Comparación de leyes medias de Au y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	87
Figura 69. Comparación de leyes medias de Pb y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	88
Figura 70. Comparación de leyes medias de Zn y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	88
Figura 71. Comparación de leyes medias de Cu y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging). .....	89
Figura 72. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte $Ag_{eq}$ de 500 [g/t]. .....	91
Figura 73. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte $Ag_{eq}$ de 1000 [g/t]. .....	91
Figura 74. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte $Ag_{eq}$ de 1500 [g/t]. .....	92
Figura 75. Vista matricial de variogramas experimentales simples y cruzados de potencia y acumulaciones de veta polimetálica. ....	97
Figura 76. Variogramas modelados simples y cruzados de potencia y acumulaciones de veta polimetálica. ....	98
Figura 77. Nubes de correlación de validación cruzada cokriging. ....	99
Figura 78. Nubes de correlación de errores estandarizados. ....	100
Figura 79. Histogramas de errores estandarizados obtenidos. ....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticas básicas de leyes de datos puntuales. ....	33
Tabla 2. Matriz de correlación de leyes de veta polimetálica .....	36
Tabla 3. Estadísticas básicas de los nuevos datos. ....	37

Tabla 4. Matriz de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica. ....	40
Tabla 5. Parámetros requeridos en la construcción de variogramas experimentales. ....	41
Tabla 6. Datos de la grilla de bloques en estudio. ....	46
Tabla 7. Estadísticas aplicadas a todas las variables Gaussianas de potencia y acumulaciones. ...	48
Tabla 8. Matriz de correlación de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones. ....	50
Tabla 9. Parámetros requeridos en la construcción de variogramas experimentales de los datos Gaussianos. ....	50
Tabla 10. Estadísticas básicas obtenidas a soporte de bloque (5m x 5m). ....	55
Tabla 11. Matriz de varianza-covarianza. ....	60
Tabla 12. Estadísticas básicas de potencia y acumulaciones a soporte de bloques obtenidas en modelo Gaussiano discreto. ....	60
Tabla 13. Estadísticas básicas de leyes a soporte de bloques obtenidas por el modelo Gaussiano discreto. ....	60
Tabla 14. Matriz de correlación de soporte de bloques de potencia y acumulaciones de veta polimetálica obtenidas con el modelo Gaussiano discreto. ....	64
Tabla 15. Tabla comparativa de medias obtenidas a soporte puntual y de bloques (modelo Gaussiano discreto). En donde SP (soporte puntual) y SB (soporte de bloques). ....	67
Tabla 16. Tabla comparativa de desviaciones estándar a soporte puntual y de bloques, en donde SP (soporte puntual) y SB (soporte de bloques). ....	68
Tabla 17. Comparación de leyes, en donde SP (Soporte Puntual) y SB (soporte de bloques). ....	68
Tabla 18. Matriz de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica (Soporte Puntual). ....	71
Tabla 19. Matriz de correlación de soporte de bloques de potencia y acumulaciones de veta polimetálica obtenidas en modelo Gaussiano discreto. ....	71
Tabla 20. Comparación de tonelaje y leyes medias bajo leyes de corte de 500, 1000 y 1500 [g/t]. ....	75
Tabla 21. Comparación del efecto de soporte generado en tonelaje y leyes medias a tres leyes de corte de la plata equivalente (500, 1000 y 1500 [g/t]). ....	80
Tabla 22. Finos Obtenidos a Distintos Soportes, bajo leyes de corte de la plata equivalente (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 [g/t]). ....	82
Tabla 23. Finos obtenidos a distintos soportes, bajo leyes de corte de la plata equivalente (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 [g/t]). ....	82

Tabla 24. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 500 [g/t].	90
Tabla 25. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 1000 [g/t]. .....	90
Tabla 26. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 1500 [g/t]. .....	90
Tabla 27. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias obtenidas respecto al escenario de referencia a ley de corte $Ag_{eq}$ de 500 y 1000 [g/t].	92
Tabla 28. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias obtenidas respecto al escenario de referencia a ley de corte $Ag_{eq} = 1500$ [g/t].	93
Tabla 29. Leyes medias sujetas a ley de corte de Ag equivalente.	94
Tabla 30. Finos sujetos a ley de corte de Ag equivalente.	94
Tabla 31. Datos referentes a curva tonelaje-ley a soporte puntual.	102
Tabla 32. Datos referentes a curva tonelaje-ley a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto). .....	103
Tabla 33. Parámetros utilizados para obtener Ley de plata equivalente.	103
Tabla 34. Precios comerciales utilizados para el cálculo,	103
Tabla 35. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte puntual.	104
Tabla 36. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).	105
Tabla 37. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente (cokriging).	105
Tabla 38. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo).	106
Tabla 39. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Ag-ley Ag equivalente.	106
Tabla 40. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Au-ley Ag equivalente.	107
Tabla 41. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Cu-ley Ag equivalente.	107
Tabla 42. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Pb-ley Ag equivalente.	108
Tabla 43. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Zn-ley Ag equivalente.	108

## **1. INTRODUCCIÓN**

El tema de memoria propuesto pretende desarrollar y analizar el efecto de soporte del modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto) generalizado al contexto multivariable de una base de datos real, referente a una veta polimetálica de la mina de plata Caylloma ubicada en la república del Perú. Uno de los problemas es determinar la distribución conjunta de los elementos de interés como también el soporte de bloque a considerar, para poder ser aplicado a la estimación global de recursos recuperables por sobre determinadas leyes de corte.

El soporte corresponde al volumen sobre el que se considera la variable en estudio. Tiene importantes consecuencias para la evaluación de yacimientos, debido a que los datos disponibles no tienen el mismo soporte que las unidades que se deben estimar.

La veta se forma generalmente por materia mineral que se deposita en grietas de un cuerpo rocoso. Al contener elementos de interés o mena, puede llegar a ser rentable para un negocio minero dependiendo de su evaluación económica y cómo se presenten los elementos de interés. Dicha evaluación económica, consistente en evaluar el beneficio, se estima por medio de estudio de los recursos y reservas recuperables, que generalmente se analizan por medio de curvas de selectividad [1].

En consecuencia, la estimación de recursos es importante, no sólo para cuantificar y modelar las variables de interés en el espacio, sino también para poder tener la evaluación económica a priori, que indique la viabilidad del proyecto. La estimación de recursos se logra en etapas iniciales de ingeniería de proyectos del sistema minero, gracias al trabajo de muestreo y sondajes, que ayudan a establecer la geometría del recurso, volumen y ley de los minerales.

Las herramientas utilizadas hoy en día para la estimación de variables, son por kriging ordinario (estimación de una variable), cokriging (estimación multivariable), o bien por medio de simulaciones (univariable) o cosimulaciones (multivariable).

### **1.1. Motivación**

No existen modelos que reproduzcan la realidad sin incurrir en error, por lo tanto, se tiene incertidumbre. La incertidumbre se debe a la falta de conocimientos debido a un muestreo no exhaustivo. Entre las técnicas utilizadas en yacimientos para la evaluación de recursos, se encuentran las estimaciones por kriging o por simulaciones. Sin embargo, cuándo se cuenta con un depósito con varios elementos de interés, un análisis multivariable es necesario, esto se realiza por estimaciones por cokriging o cosimulación. Pero el cokriging suaviza los datos, dejando los valores estimados menos dispersos que los valores verdaderos, a diferencia de la cosimulación, que busca construir valores que reproduzcan la variabilidad real de las variables en estudio, dando la posibilidad de analizar varios escenarios equiprobables. Por lo que encontrar un modelo

que mejor se ajuste a la distribución conjunta de los elementos de interés al soporte de estudio, es importante para la evaluación de yacimientos polimetálicos.

## **1.2. Objetivos**

### *1.2.1. Objetivo General*

Diseñar y aplicar modelo de cambio de soporte a una base de datos (generalizado al ámbito multivariable), por medio del modelo Gaussiano discreto en un contexto global.

### *1.2.2. Objetivos Específicos*

- Analizar el efecto que genera el cambio de soporte en contexto multivariable, ya sea en las medias, varianzas, histogramas, nubes de correlación, curvas de selectividad, entre otras.
- Comparar las predicciones del modelo Gaussiano discreto con los resultados de una cosimulación, en vista a validar estas predicciones.

## **1.3. Alcances**

Entre los alcances del trabajo de memoria, se cuenta con:

- Trabajar con base de datos de una veta polimetálica que contiene elementos de cobre, plata, oro, plomo y zinc distribuidos en el espacio.
- Trabajar con los datos acumulados y potencia, en 2 dimensiones (no así con los datos originales de leyes, que se ubican en 3 dimensiones). Aplicando después, a dichas acumulaciones y potencia (que están a soporte puntual), el modelo Gaussiano discreto, en un contexto global, para realizar el cambio de soporte.
- Trabajar con soporte de bloques de 5x5 metros.
- Definir grilla de estudio en la dirección de la veta con rumbo N63°E.
- Utilizar programas de cálculo numérico y geo-estadísticos, tales como MATLAB, Octave, U-Mine, ISATIS, GSLIB y Microsoft Excel entre otros.



- Estar financiado por el proyecto FONDECYT 1090013 para la realización del trabajo de memoria.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes generales

La geoestadística corresponde a una rama de la estadística que se dedica al estudio de las variables regionalizadas, con la finalidad de estimar el comportamiento de dichas variables, distribuidas en el espacio.

En el modelo geoestadístico, la variable regionalizada  $z(x)$  en un sitio  $x$  del dominio  $D$  de interés, se ve como una realización de una variable aleatoria  $Z(x)$ . El conjunto de variables aleatorias  $Z = \{Z(x), x \in D\}$  constituye una función aleatoria. La variable regionalizada es una realización de dicha función aleatoria  $Z$ .

Una función aleatoria  $Z$  se caracteriza por tener una “distribución espacial”, que corresponde a un conjunto de funciones de distribución, para un determinado conjunto de sitios  $x_1, \dots, x_n$  y de umbrales  $z_1, \dots, z_n$ . Se expresa como:

$$F_{x_1, \dots, x_n}(z_1, \dots, z_n) = Prob\{Z(x_1) < z_1, \dots, Z(x_n) < z_n\} \quad \forall z_1, \dots, z_n \in \mathbb{R}$$

### 2.2. Estudio exploratorio de datos

Es importante realizar un estudio exploratorio de los datos disponibles para poder cumplir los siguientes objetivos:

1. Analizar la cantidad, calidad y ubicación de los datos, por medio de herramientas estadísticas simples.
2. Definir las zonas a estudiar. Una división del dominio en varias sub-zonas podría ser relevante si se llega a observar algún cambio abrupto en la distribución de valores, o bien, si la geología lo impone.
3. Anticipar problemas que puedan surgir en la fase de estimación local, como por ejemplo, en el caso de presenciar valores atípicos que se destaquen respecto a los vecinos.

Entre las herramientas con que cuenta el estudio exploratorio, se encuentran:

- Mapas que permiten visualizar la ubicación de los datos en el espacio. Del trabajo en tres dimensiones, se puede ver el mapa en dos dimensiones, por medio de proyecciones (plantas y secciones), o bien, vistas en perspectiva.
- Estadísticas elementales, importantes para conocer la media, mínimos y máximos de los datos (con lo que se tiene conocimiento del rango de la variable en cuestión), como también su desviación estándar.
- Histogramas que representan gráficamente las frecuencias de ocurrencia en función de los valores, visualizando con ello la proporción de datos que se ubican en cada intervalo.
- Matriz de correlación, que entrega la matriz de coeficientes de correlación entre varias variables, logrando con ello destacar variables correlacionadas, como no correlacionadas entre sí.
- Nubes de correlación, para ver la correlación entre variables de forma visual, expresando los valores de una variable en función de otra.

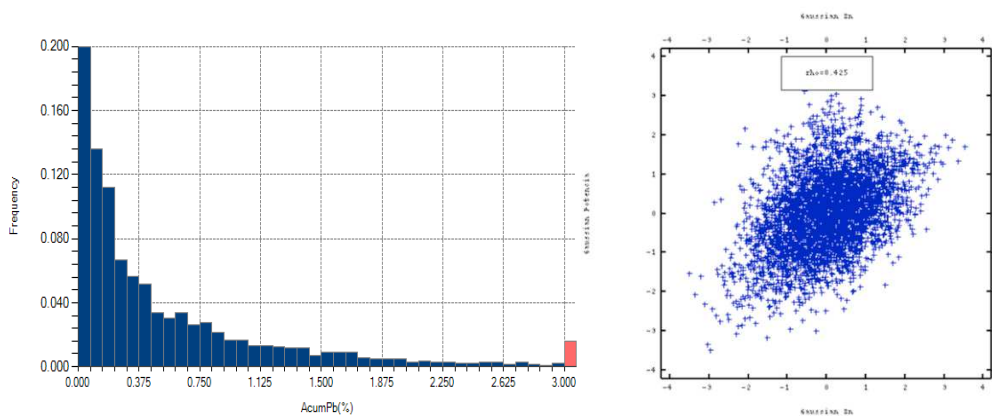


Figura 1. Ejemplo de herramientas geoestadísticas (histograma y nube de correlación).

### 2.3. Estudio variográfico

El variograma tiene el objeto de ver la variabilidad real de una determinada variable en el espacio, de modo que el valor observado en un sitio entrega información sobre los valores vecinos. Se generan con ello:

- Variogramas simples o directos de cada variable, con lo que se describe la continuidad espacial de cada variable.
- Variogramas cruzados para cada par de variables, midiendo la interacción entre dichas variables.

### 2.3.1. Variograma experimental

En el caso univariable, el variograma experimental para un determinado vector  $h$  se define como:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} [z(x_\alpha) - z(x_\beta)]^2$$

Con  $z(x)$ , la variable medida en terreno,  $|N(h)|$  el número de pares de los datos separados por el vector  $h$ , ubicado en  $(x_\alpha, x_\beta)$  tal que  $x_\alpha - x_\beta \cong h$ .

En el caso multivariable, el variograma analiza la continuidad espacial que existe entre dos variables ( $z_i$  y  $z_j$ ), con ello se tiene:

$$\widehat{\gamma}_{ij}(h) = \frac{1}{2|N_{ij}(h)|} \sum_{N_{ij}(h)} [z_i(x_\alpha) - z_i(x_\beta)] \times [z_j(x_\alpha) - z_j(x_\beta)]$$

En donde,  $N_{ij}(h)$  corresponde al número de pares de datos (separados por el vector  $h$ ) considerados para el cálculo del estimador.

### 2.3.2. Variograma modelado

El variograma experimental no se puede utilizar directamente, ya que sólo está definido para ciertas distancias y direcciones, por lo cual éste es incompleto. Además, está sujeto a un número limitado de datos y a parámetros de tolerancia utilizados en el cálculo.

Cómo medida de mejorar la situación anterior, se ajusta un modelo teórico de variograma en torno al variograma experimental.

El variograma modelado multivariable es definido por medio de un conjunto de variogramas modelados, con la condición que éstos se ajusten a los variogramas experimentales simples y

cruzados respectivos. La meseta se define por medio de una matriz, en donde, en la diagonal se ubican las mesetas de los variogramas simples y en el resto, las mesetas de los variogramas cruzados, quedando la ecuación para un modelo de N variables, como sigue:

$$\gamma_{ij}(h) = \sum_{p=1}^S b_{ij}^p \cdot g_p(h) \quad \forall i, j \in [1, N]$$

Matricialmente queda definido a continuación:

$$\Gamma(h) = \sum_{p=1}^S B_p \cdot g_p(h)$$

Con:

$\Gamma(h) = [\gamma_{ij}(h)]_{i,j=1,\dots,N}$  : Matriz de variogramas simples y cruzados.  
 $g_p(h)$  : Modelo básico del variograma  
 $B_p = [b_{ij}^p]_{i,j=1,\dots,N}$  : Matriz de correogionalización, que debe ser simétrica y positiva para obtener resultados válidos.

#### 2.4. Método de estimación local multivariable (cokriging)

Para estimar más de una variable, se encuentran métodos como el cokriging (que corresponde a la extensión multivariable del kriging). El cokriging tiene la función de estimar el valor de una variable considerando los datos de dicha variable y de otras variables correlacionadas. Para ello se requiere tener los modelos variográficos de cada variable, como también el de los variogramas cruzados, para tener la medición de la correlación espacial.

Uno de los métodos de estimación es el cokriging ordinario, que se basa en el supuesto que las medias de las variables son desconocidas.

Ahora bien, entre las propiedades del cokriging se encuentran:

- Suavizamiento: el mapa de los estimadores tiene una menor variabilidad espacial que el mapa de los valores desconocidos.
- Interpolación exacta: el valor estimado en un punto conocido es el valor medido.
- Aditividad: la estimación del valor promedio de un bloque es igual al promedio de las estimaciones puntuales en el bloque.

## 2.5. Noción de soporte

La superficie o volumen sobre el cual se estudia la variable regionalizada, se denomina soporte. Es por ello, que la variable regionalizada se puede definir en un punto en el espacio, en una superficie (bidimensional) o en un volumen (tridimensional). Generalmente, el soporte utilizado en las mediciones es bien pequeño (casi puntual), en contraste con el que interesa que es el de mayor tamaño, como son las unidades de explotación.

El efecto de soporte, corresponde a la dependencia que existe entre el soporte a utilizar y la distribución estadística de los valores. Los soportes voluminosos, tienen una menor cantidad de valores extremos y una mayor cantidad de valores intermedios que los soportes puntuales. Es por ello, que la distribución de valores tiene una dependencia del soporte a utilizar, especialmente la varianza.

Para evitar problemas inherentes al cambio de soporte, se desea que la variable regionalizada sea aditiva, es decir, que el valor de soporte grande es igual a la media de sus valores puntuales. Con ello, el cálculo de un valor promedio sobre un soporte más grande que el soporte de las mediciones tendrá sentido físico.

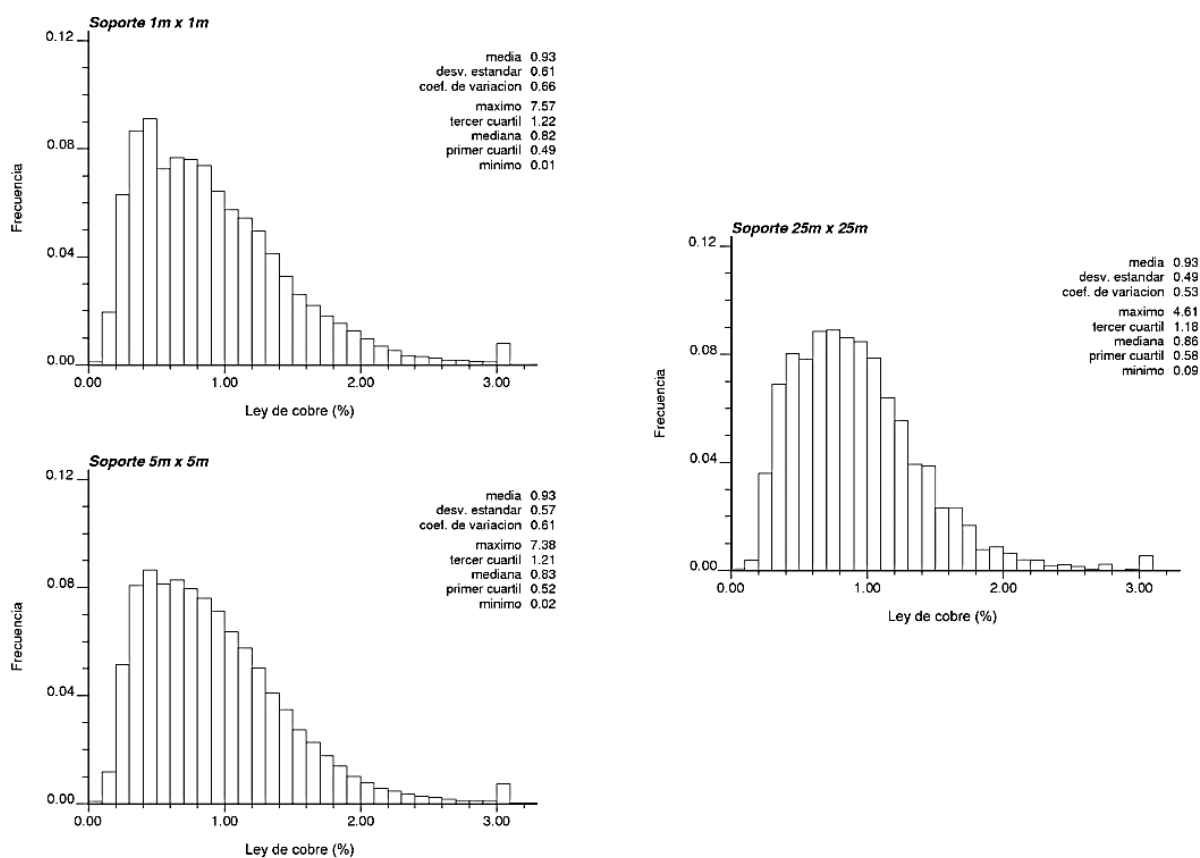


Figura 2. Histogramas bajo distintos soportes.

Como ejemplo de variables aditivas, se tiene a la potencia y ley cabeza de una veta (con el supuesto que la roca tiene densidad constante). Como variables no aditivas se tiene por ejemplo, la recuperación metalúrgica, solubilidad, código de roca, etc.

Las variables aditivas se pueden estimar por medio de kriging de bloques, pero las estimaciones están suavizadas y tienen distribuciones diferentes a las reales. Sin embargo, se puede realizar una correcta predicción de la distribución de variables aditivas, a través de simulaciones condicionales conjuntas (para estimaciones locales) o a través de modelos de cambio de soporte (para estimaciones globales, que son el propósito de este trabajo).

## 2.6. Simulaciones

La simulación es un modelo numérico que consiste en construir una variable regionalizada similar a la que se estudia, reproduciendo su continuidad espacial y los valores medidos en los sitios con datos (simulación condicional). Se recurre a la simulación debido a que es imposible tener un conocimiento exhaustivo de la variable real, ya sea por falta de tiempo, presupuesto, obstáculos naturales, etc. La simulación se apoya en la interpretación de la variable regionalizada como una realización de una función aleatoria y en el modelamiento de su respectiva distribución espacial.

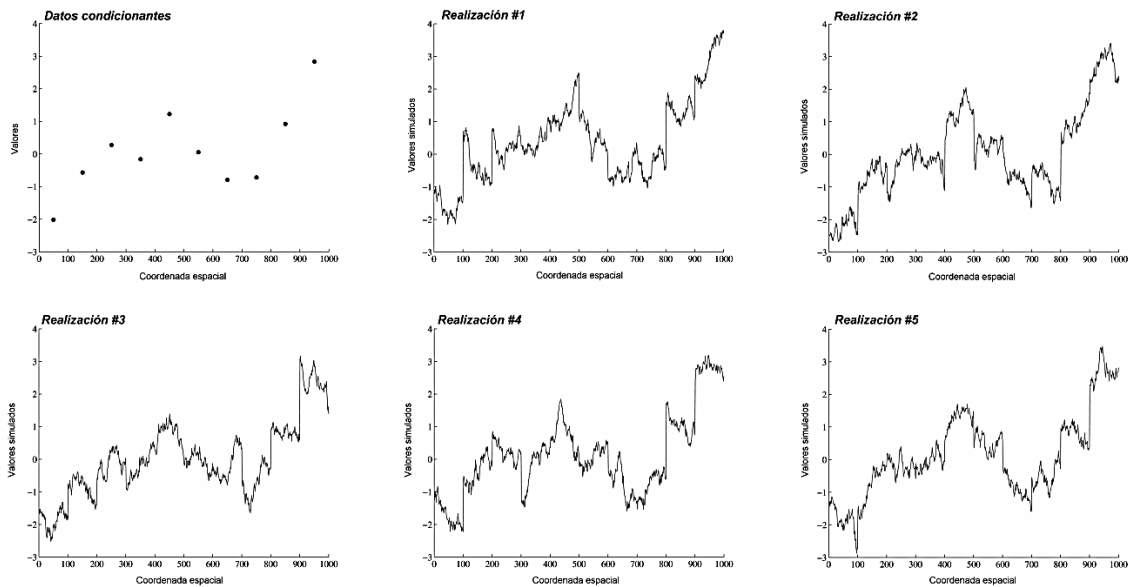


Figura 3. Datos condicionantes y cinco realizaciones condicionales de una función aleatoria en una dimensión.

## 2.7. Modelo Gaussiano discreto de cambio de soporte para estimación global

Se trata de un modelo para predecir el efecto de soporte entre distribuciones de una variable en diferentes soportes. En este modelo, las posiciones de las muestras son uniformemente distribuidas en los bloques (de forma aleatoria), con lo que se ignora su posición exacta en los bloques a los cuales pertenecen.

Se tiene como hipótesis los siguientes puntos:

1. La variable a soporte puntual  $Z(x)$ , tiene una transformación en variable Gaussiana  $Y(x)$  dada por:

$$Z(x) = \phi(Y(x))$$

Con  $\phi$  función de transformación o anamorfosis puntual.

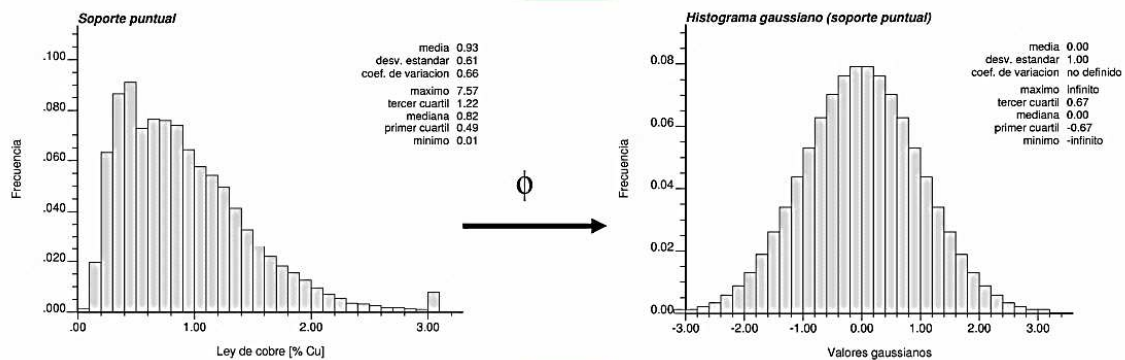


Figura 4. Histograma transformado por anamorfosis puntual.

2. La variable a soporte de bloque  $Z(v)$  tiene una transformación a variable Gaussiana  $Y_v$  dada por:

$$Z(v) = \phi_v(Y_v)$$

Con  $\phi_v$  transformación o anamorfosis de bloques.

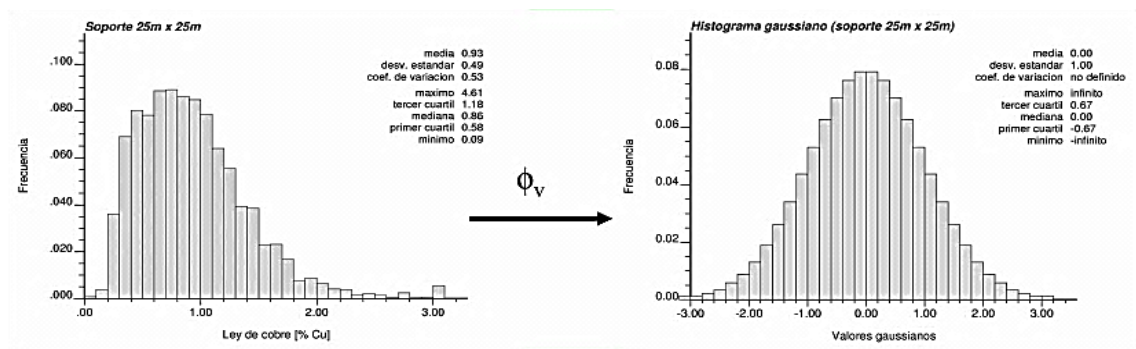


Figura 5. Histograma transformado por anamorfosis de bloques.

Al considerarse un punto  $x$  distribuido aleatoriamente y uniformemente en un bloque  $\upsilon$ , es bi-Gaussiano con coeficiente de correlación  $r$  [1].

Entonces:

$$\forall x \in \upsilon, Y(x) = rY_\upsilon + \sqrt{1 - r^2}T$$

En donde  $T$  es una variable aleatoria Gaussiana independiente de  $Y_\upsilon$

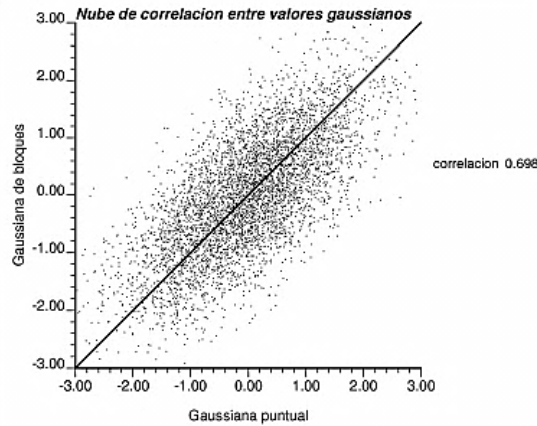


Figura 6. Nube de correlación entre valores Gaussianos

El coeficiente de correlación  $r$  (o coeficiente de cambio de soporte) se relaciona con la disminución de la varianza [2] al pasar de soporte puntual a soporte de bloques, en que para bloques muy pequeños,  $r \approx 1$ , en cambio, para bloques muy grandes,  $r \approx 0$ .

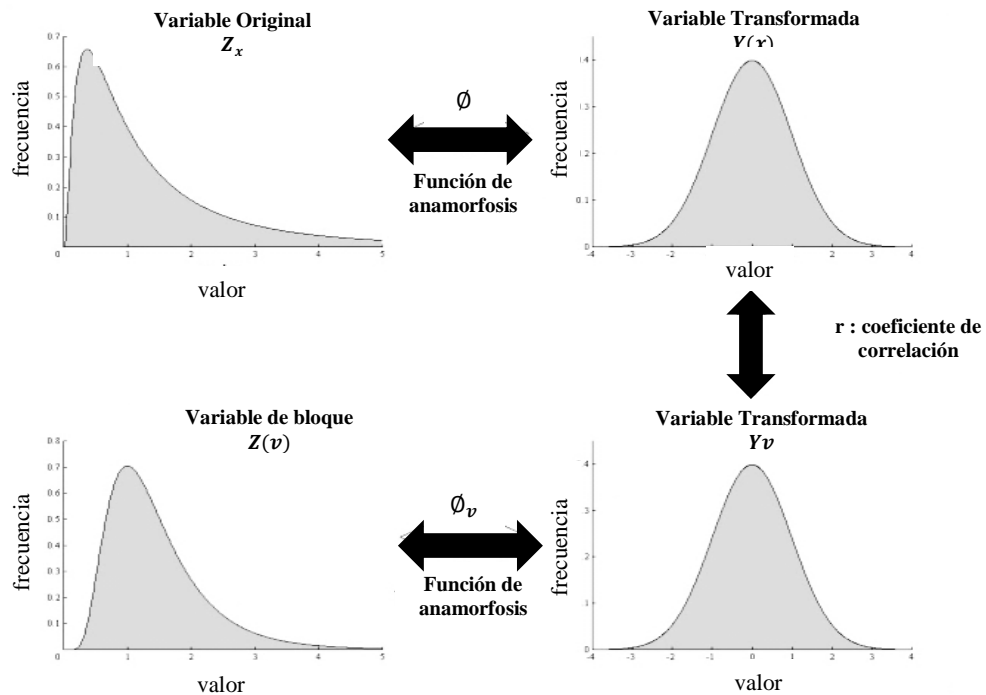


Figura 7. Modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto).



El modelo Gaussiano discreto, es construido para satisfacer la relación de Cartier, que establece que el valor esperado de un dato puntual que es tomado aleatoriamente de un bloque cuyo valor es conocido, es el valor del bloque, es decir [7]:

$$\forall x \in v, Z(v) = E(Z(x)|Z(v))$$

Al utilizar la densidad de probabilidad de la Gaussiana estándar, denotada como  $g(\cdot)$ , se tiene:

$$\phi_v(Y_v) = E(\phi(Y(x))|Y_v) = \int \phi(rY_v + \sqrt{1-r^2}t)g(t)dt$$

Dicha ecuación permite relacionar las funciones de transformación puntual y de bloques, es decir, las distribuciones de variables originales en ambos soportes, entonces:

$$\forall y \in \mathbb{R}, \phi_v(y) = \int \phi(ry + \sqrt{1-r^2}t)g(t)dt$$

El coeficiente de correlación tiene que ser positivo en virtud de que las funciones de transformación sean crecientes. La ecuación anterior puede escribirse con desarrollos en polinomios de Hermite, lo que facilita el cálculo de  $\phi_v$  a partir de  $\phi$  y  $r$  [9]. Es decir:

$$\phi(y) = \sum_{p=0}^{\infty} \phi_p H_p(y)$$

$$\phi_v(y) = \sum_{p=0}^{\infty} \phi_p r^p H_p(y)$$

Finalmente, entre las ventajas y desventajas del modelo Gaussiano discreto, encontramos las siguientes:

Ventajas:

- La distribución se simetriza cuando aumenta el soporte.
- La selectividad disminuye cuando aumenta el soporte.
- Tiene coherencia con el límite central.
- Se adecúa para muchos tipos de distribución puntual, las hipótesis en las que se basa son poco restrictivas.

Desventajas:

- No es adecuado para variables con “efecto cero”, que presentan una proporción importante de valores nulos o casi nulos.

### 3. METODOLOGÍA

El principal objetivo es diseñar y aplicar el modelo de cambio de soporte a los datos de potencia y acumulaciones, aplicando el modelo Gaussiano discreto, para poder evaluar los recursos por medio de análisis de curvas tonelaje-ley, tonelaje-ley equivalente, fino-ley equivalente y fino-tonelaje.

Primero se realiza un estudio exploratorio de los datos originales procedentes de una base de datos real de leyes, que contiene elementos de interés a la plata, oro, plomo, zinc y cobre a soporte puntual. Éstos se filtran para sacar los datos duplicados y atípicos.

Los datos son considerados como puntuales, debido a su obtención en un espacio tan pequeño, como lo son los sondajes para cada ubicación en el espacio.

Las leyes anteriores (5 en total), se transforman a nuevos datos de potencia y acumulaciones de elementos de interés, con la finalidad de trabajar con variables aditivas y así pasar de un estudio tridimensional a uno bidimensional, trabajando en el plano de la veta. La acumulación se define como el producto de la ley por la potencia, a los que se les realiza un estudio exploratorio y variográfico.

La definición de bloques en el espacio se logra definiendo una grilla rotada en la dirección del plano de la veta, requerido para la realización de cokriging y el rebloqueo de una cosimulación (considerado como el escenario de referencia para posteriores comparaciones), generando bloques de 5 [m] de lado.

El cokriging se realiza para obtener información preliminar de la veta, para obtenerlo se requiere definir los parámetros del variograma modelado de potencia y acumulaciones, la grilla y su vecindad.

La cosimulación se realiza por el método de bandas rotantes, sobre una grilla fina de malla 1x1 m, que luego se rebloquea a 5x5 m, para ello se requiere transformar los datos de potencia y acumulaciones a datos Gaussianos por medio de anamorfosis. Los valores Gaussianos se les realiza un estudio variográfico con la finalidad de obtener la matriz de varianza-covarianza, que se logra por regularización de los variogramas modelados a soporte de bloques y por la determinación de las mesetas de variogramas regularizados. Así, una vez obtenida la matriz de varianza-covarianza requerida para el modelo de cambio de soporte, se aplica el modelo Gaussiano discreto generalizado al contexto multivariable, obteniéndose con ello distribuciones a soporte de bloques de 5x5 [m].

Con el modelo Gaussiano discreto se obtiene la distribución a soporte de bloques, sin pasar por cosimulaciones y rebloqueo, el que requiere como parámetros de entrada a los datos puntuales (de potencia y acumulaciones), al grado máximo de polinomios de Hermite, la matriz de varianza-covarianza y el número de realizaciones. Las distribuciones con soporte de bloques obtenidos por modelo, se comparan con los datos puntuales (base de datos original), para ver el efecto de soporte, además de comparar con los datos del rebloqueo de una cosimulación (escenario de referencia), para apreciar qué tanto concuerdan en sus distribuciones.

Con los datos puntuales y a soporte de bloques, se construyen curvas de selectividad, para tener una información preliminar de los recursos a determinadas leyes de corte, importante para etapas de prefactibilidad, viendo así el efecto de soporte aplicado a las curvas de selectividad.

El objetivo general del trabajo de título se resume en el siguiente esquema.

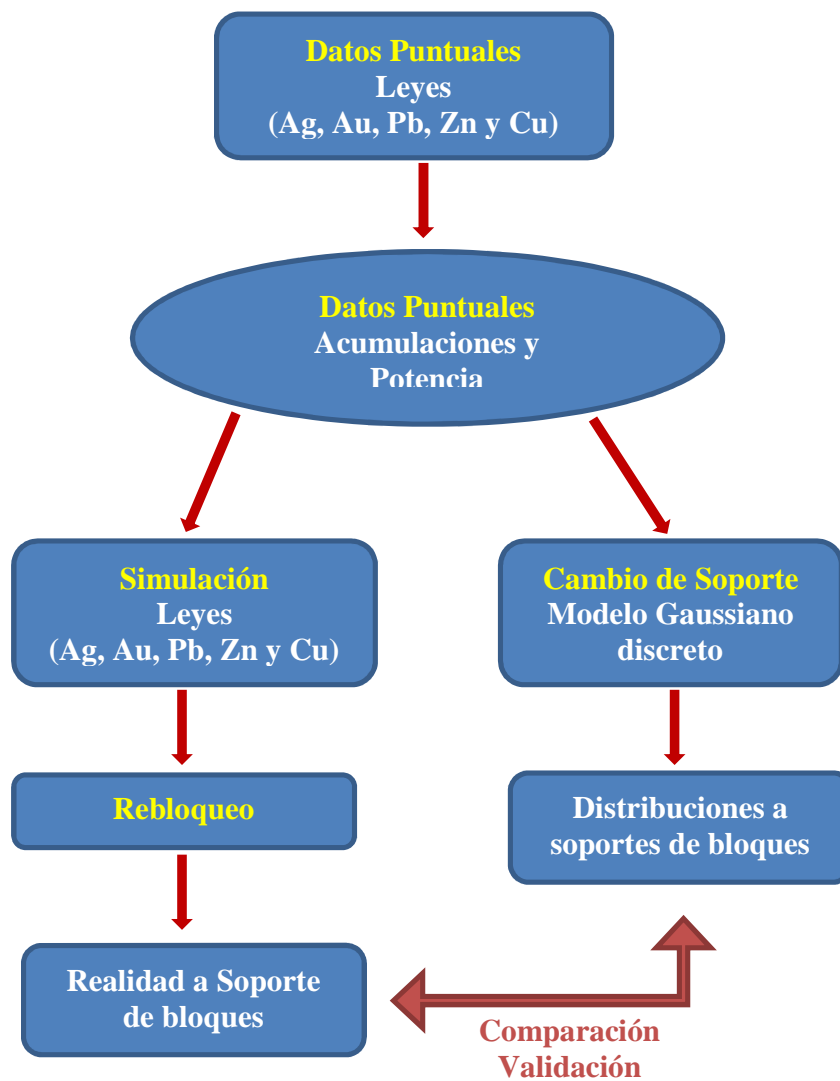


Figura 8. Esquema general del objetivo del cambio de soporte en contexto multivariable.

Un esquema de los pasos requeridos para estimar por medio de cokriging:

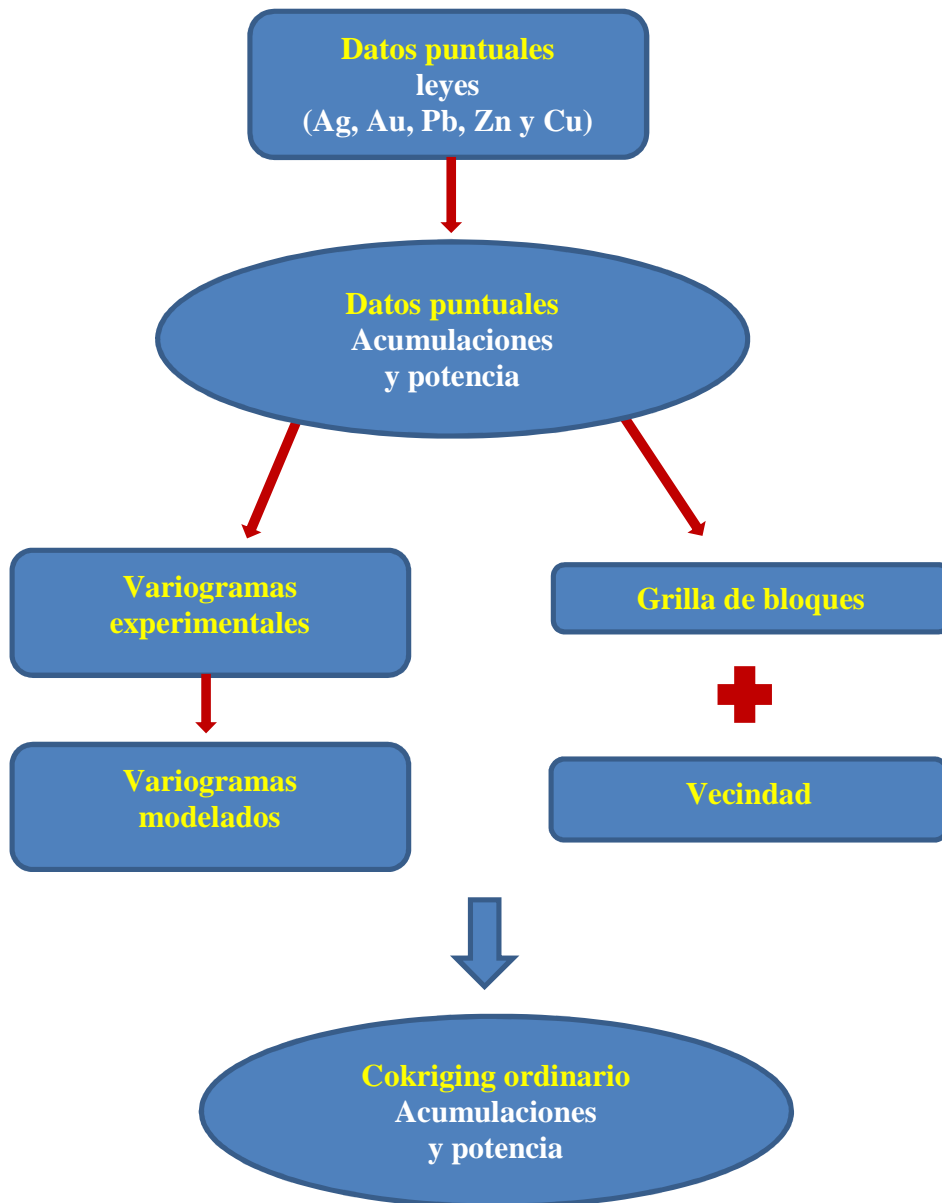


Figura 9. Esquema de estimación por cokriging ordinario.

El esquema de las realizaciones del modelo Gaussiano se aprecia en la siguiente figura.

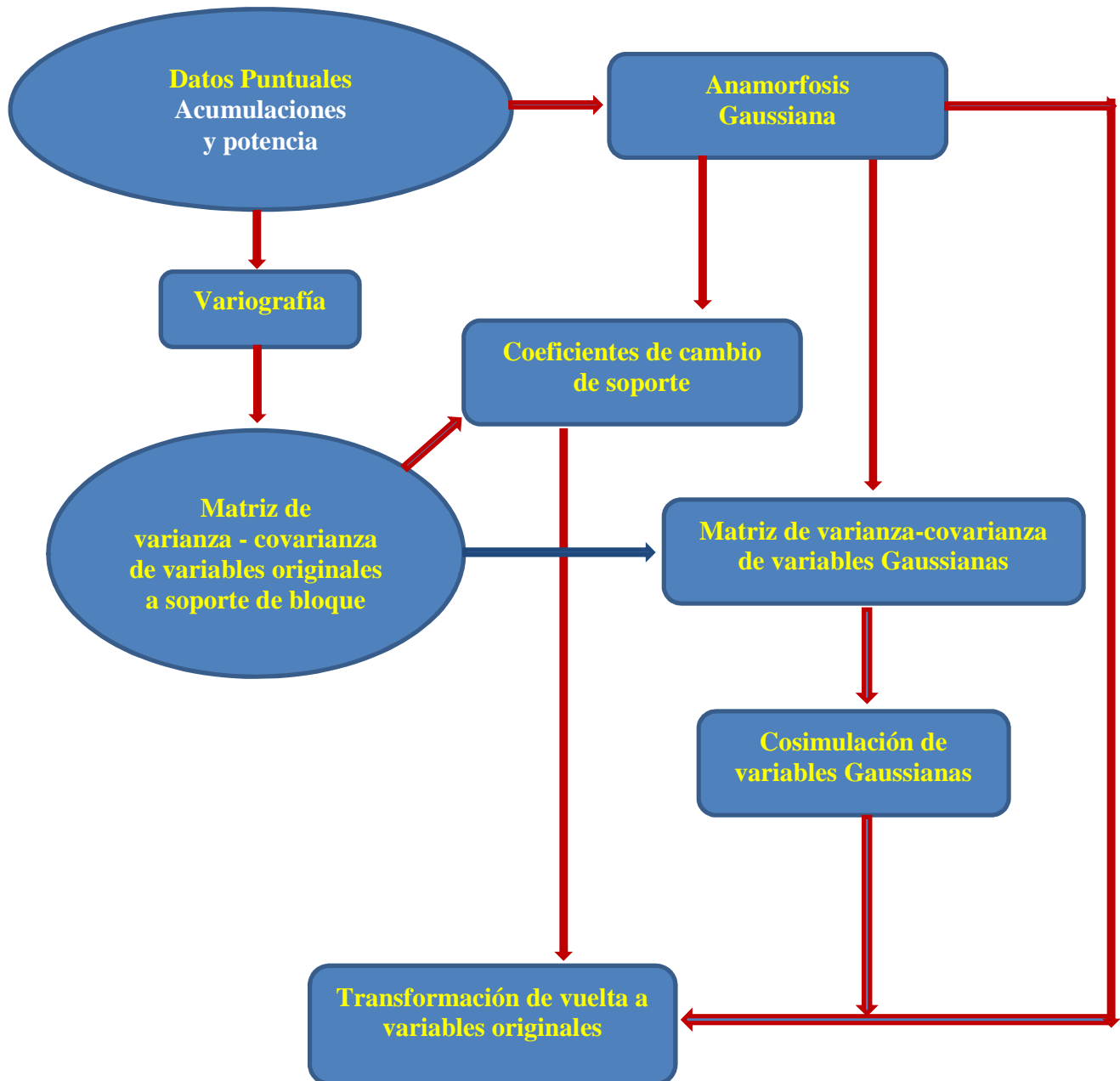


Figura 10. Esquema de etapas del modelo Gaussiano discreto.

## 4. CASO DE ESTUDIO

### 4.1. Descripción geológica del yacimiento

La base de datos reales corresponde a una veta polimetálica que contiene plata, oro, plomo, zinc y cobre respectivamente. Perteneciente a la veta Bateas de la mina de plata de Caylloma S.A. ubicado a 14 km al noroeste de Caylloma de la República del Perú.



Figura 11. Ubicación de la mina Caylloma en Perú.



Figura 12. Mapa de ubicación de la mina, propiedad de Caylloma.

La mineralización de la veta es de tipo epitermal de plata y oro, consistente principalmente de sulfosales y sulfuros de plata, además de sulfuros de Zn-Pb-Cu como metales base. El depósito mineralizado se encuentra en vetas con gangas de cuarzo, calcita y rodonita. La alteración de cajas adyacentes a la veta se encuentra caracterizada por illita y alteraciones propilíticas presentes.

El muestreo es por medio de sondajes y canales. Una descripción de la ubicación de los sondajes se puede apreciar en la siguiente figura:

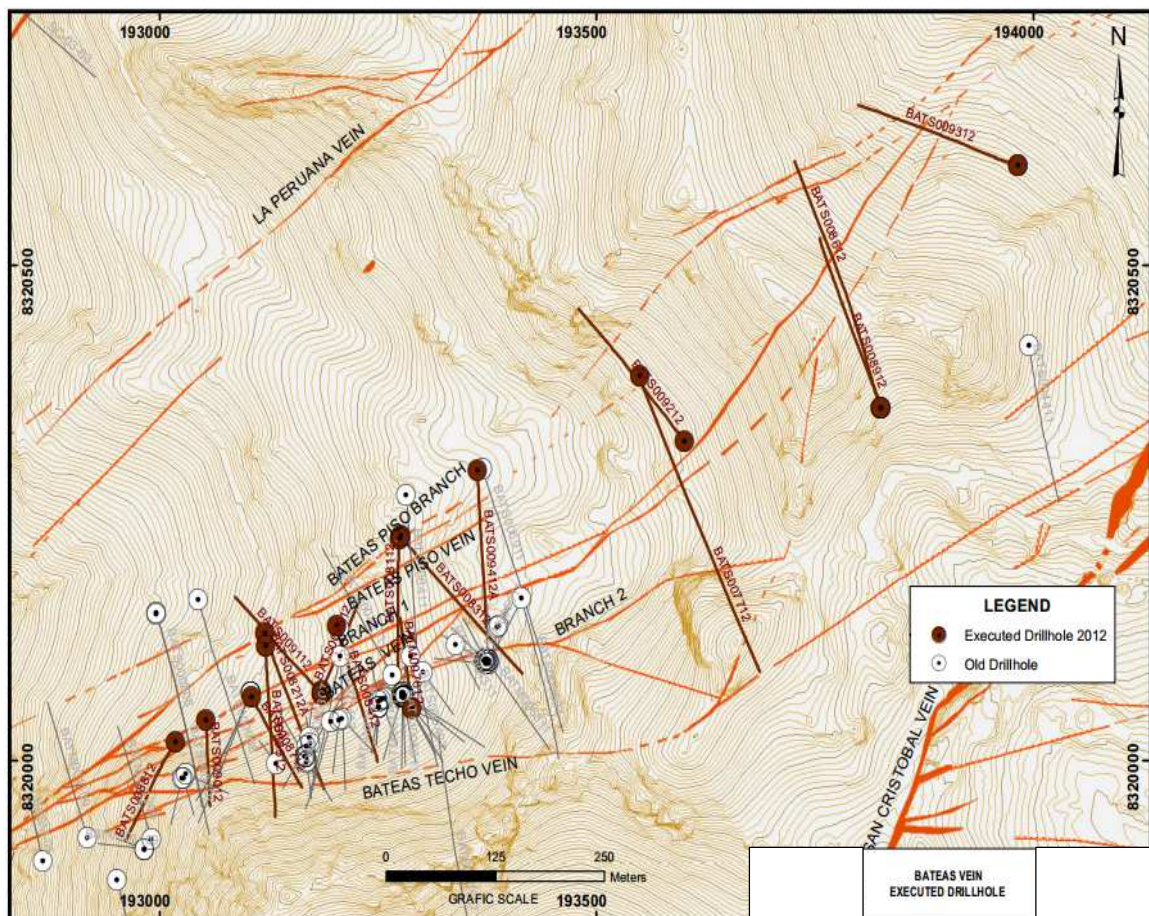


Figura 13. Ubicación de sondajes de la veta.

El muestreo interior mina es por canales, que se realiza en sectores expuestos de la veta (galerías, tajos, chimeneas, estocadas, etc.). Este muestreo es realizado utilizando espaciamiento cada dos metros; el canal tiene entre 20 a 30 centímetros de ancho y dos centímetros de profundidad aproximadamente y cada muestra no supera más de un metro y medio de largo.

#### 4.2. Estudio exploratorio de leyes

Se tiene una base de datos de 5.736 datos, provenientes de sondajes de exploración de la veta. El muestreo considera leyes de plata, oro, plomo, zinc y cobre.

Inicialmente se estudian estas 5 variables, que corresponden a leyes de elementos de interés, para luego trabajar con los datos acumulados y su potencia, que es en definitiva, una forma de caracterizar mejor las variables la veta.

Una vista isométrica, longitudinal, transversal y en planta de la veta en cuestión, se aprecia en las siguientes figuras, cabe apreciar que el manto es vertical.

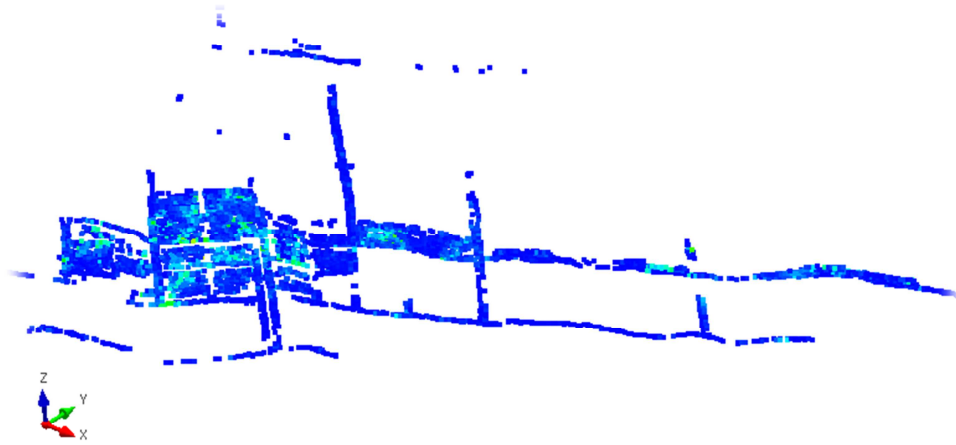


Figura 14. Vista isométrica de la veta.

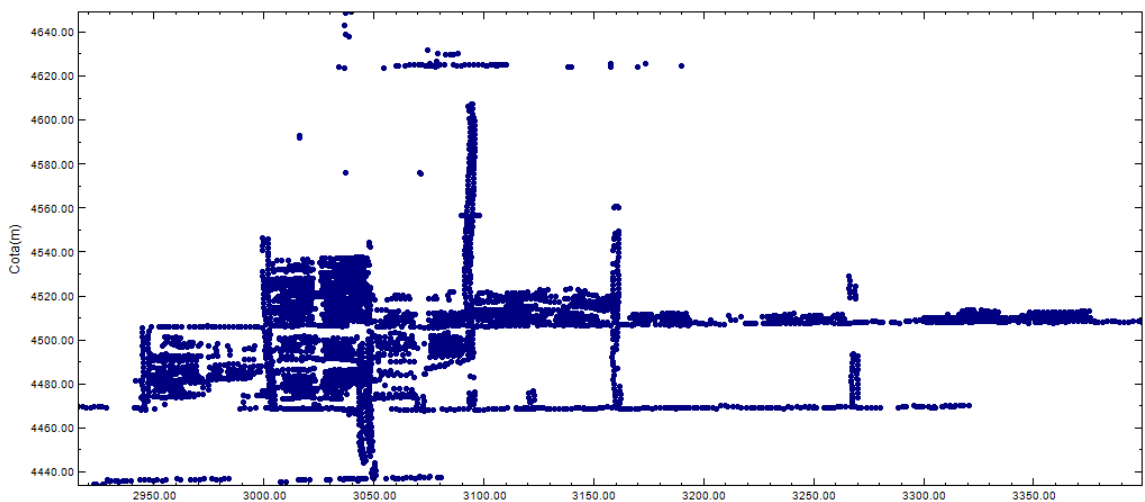


Figura 15. Vista longitudinal de la veta.





Figura 16. Vista transversal de la veta.

Una vista en planta de la veta, se aprecia en la siguiente figura.

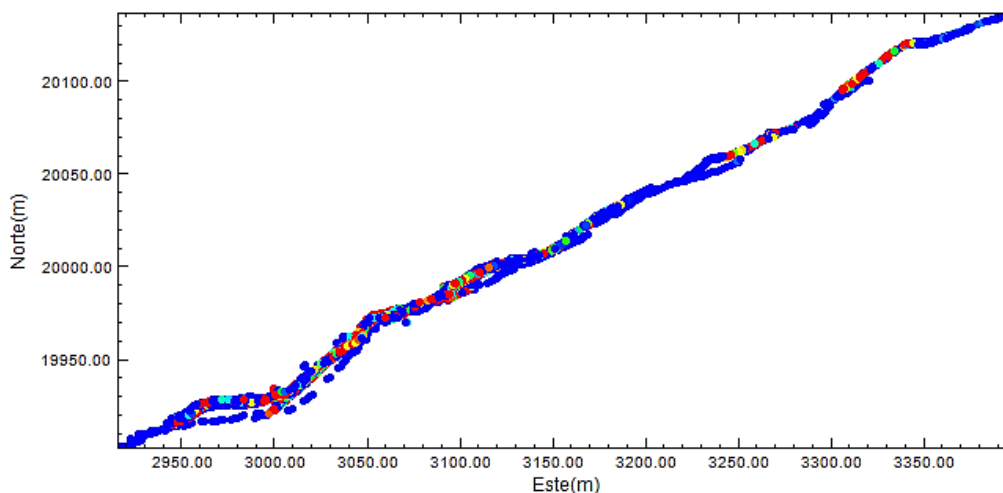


Figura 17. Vista en planta de la veta

#### 4.2.1. Estadísticas Básicas de leyes (soporte puntual)

Las estadísticas básicas de la base de datos de la veta, para las leyes son las siguientes.

VARIABLE	Ley Ag [g/t]	Ley Au [g/t]	Ley Pb [%]	Ley Zn [%]	Ley Cu [%]
Mínimo	2	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	31294	45,67	8,73	13,31	8,88
Media	1093	0,16	0,95	1,37	0,64
Desviación Estándar	2196	1,12	1,12	1,61	0,84

Tabla 1. Estadísticas básicas de leyes de datos puntuales.

Las leyes de plata y oro se expresan en gramos por tonelada [g/t] y las demás leyes en porcentaje [%]. Cabe destacar que la variable de mayor interés es la plata.

#### 4.2.1. Histogramas de leyes (soporte puntual)

Los histogramas de leyes, obtenidos de la base de datos de la veta polimetálica son los siguientes. Todos muestran distribuciones muy asimétricas, con colas largas de valores altos.

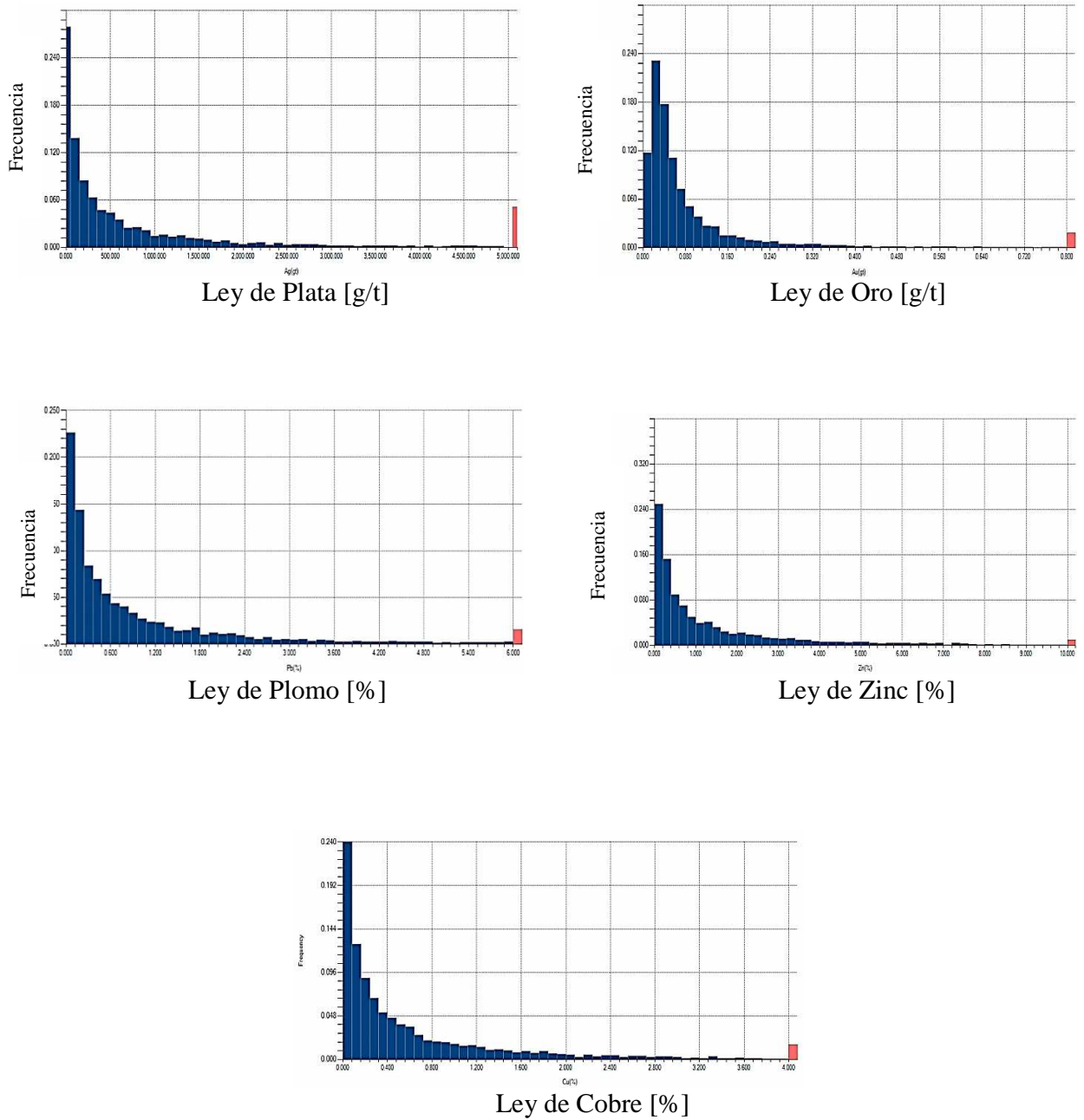


Figura 18. Histogramas de leyes de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.

#### 4.2.2. Nubes de correlación de leyes (soporte puntual)

La relación par a par entre leyes se aprecia en las siguientes nubes de correlación.

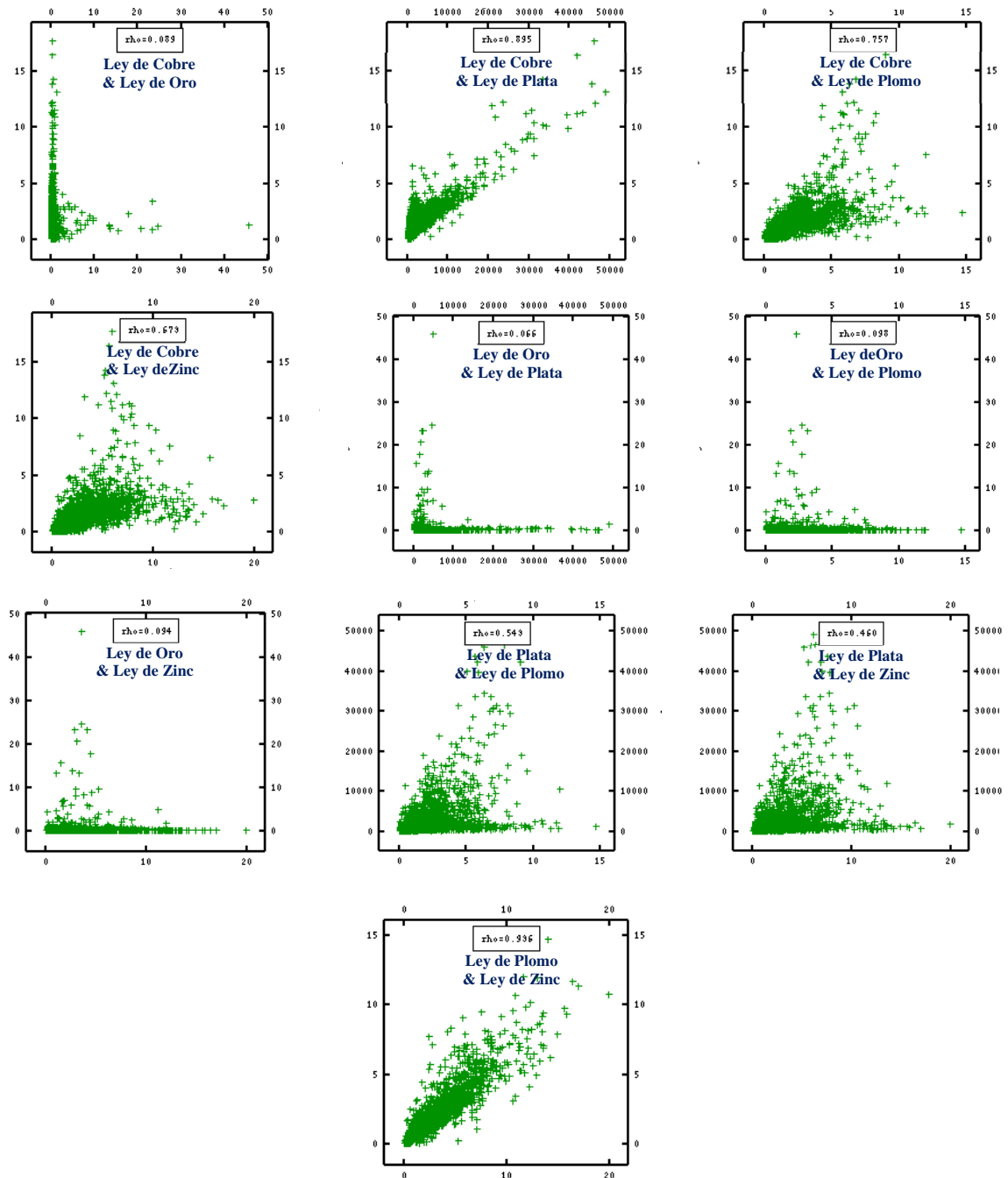


Figura 19. Nubes de correlación de leyes de veta polimetálica.

#### 4.2.3. Matriz de correlación de leyes (soporte puntual)

El resumen de las nubes de correlación anteriores se aprecia en la siguiente matriz de correlación, en donde se aprecia que existe una fuerte correlación entre Ag-Cu, Pb-Cu, Cu-Zn y Pb-Zn.

Ley	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [g/t]	Pb [%]	Zn [%]
Cu [%]	1	0,09	0,89	0,76	0,67
Au [g/t]	0,09	1	0,07	0,1	0,09
Ag [g/t]	0,89	0,07	1	0,54	0,46
Pb [%]	0,76	0,1	0,54	1	0,94
Zn [%]	0,67	0,09	0,46	0,94	1

Tabla 2. Matriz de correlación de leyes de veta polimetálica

#### 4.3. Cálculo de potencias y acumulaciones (soporte puntual)

La base de datos original se transforma en una nueva base de datos de potencia y acumulaciones de elementos (plata, oro, plomo, zinc y cobre). De esta manera, se tiene una información en el plano de la veta.

Para cada sondaje, las nuevas variables de potencia y acumulaciones, quedan definidas por:

$$Potencia = Ancho\ de\ la\ veta\ [m]$$

$$Acumulación_{Ag} = Ley_{Ag} \times Potencia \left[ \frac{g}{t} \times m \right]$$

$$Acumulación_{Au} = Ley_{Au} \times Potencia \left[ \frac{g}{t} \times m \right]$$

$$Acumulación_{Pb} = Ley_{Pb} \times Potencia \left[ \% \times m \right]$$

$$Acumulación_{Zn} = Ley_{Zn} \times Potencia \left[ \% \times m \right]$$

$$Acumulación_{Cu} = Ley_{Cu} \times Potencia \left[ \% \times m \right]$$

La motivación de definir potencias y acumulaciones es poder trabajar con variables aditivas (requisito para el cambio de soporte), considerando que las leyes no cumplen esta condición al estar medidas en muestras de largo variable. Asimismo, permite pasar de 3 a 2 dimensiones y evitar las dificultades relacionadas con el cálculo de variogramas en la dirección perpendicular a la veta (angosta).

#### 4.4. Estudio exploratorio y variográfico de potencia y acumulaciones (soporte puntual)

##### 4.4.1. Estadísticas básicas (soporte puntual)

Se tiene ahora 3.715 datos, a las que se filtra para excluir datos atípicos (56 datos) y duplicados. Para el duplicado, se busca en la distancia mínima de 0,3 [m]. Véase en anexo 8.1, las estadísticas obtenidas del filtro de datos duplicados.

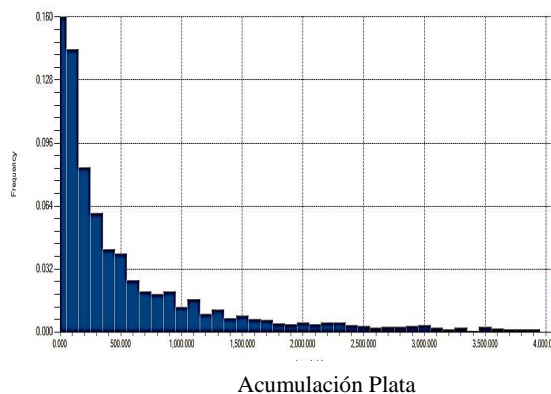
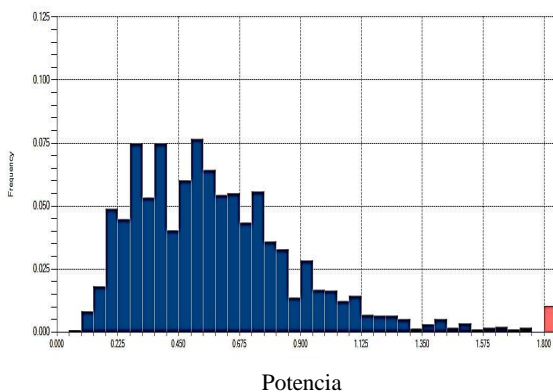
Las estadísticas básicas de los nuevos datos, a soporte puntual son las siguientes.

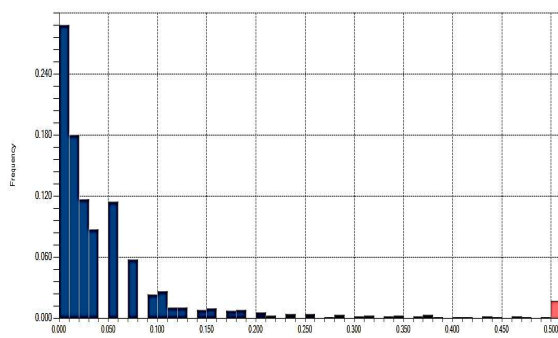
	Acumulación					Potencia
	Ag [ $\frac{g}{t} \times m$ ]	Au [ $\frac{g}{t} \times m$ ]	Pb [% $\times m$ ]	Zn [% $\times m$ ]	Cu [% $\times m$ ]	[m]
<b>Mínimo</b>	0,21	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	19096,5	18,27	8,32	11,48	5,85	3,15
<b>Media</b>	674,6	0,09	0,54	0,80	0,39	0,59
<b>Desviación Estándar</b>	1508,45	0,533	0,713	1,013	0,584	0,328

Tabla 3. Estadísticas básicas de los nuevos datos.

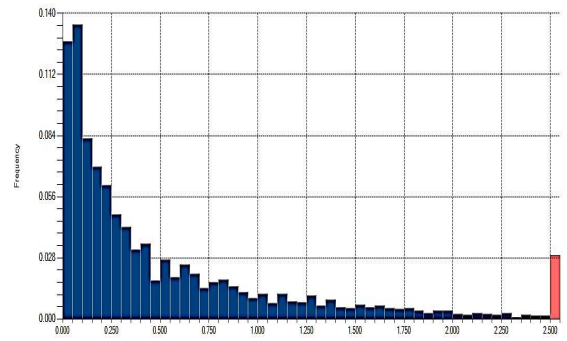
##### 4.4.2. Histogramas (soporte puntual)

A continuación se muestran los histogramas de potencia y acumulaciones (plata, oro, plomo, zinc y cobre) a soporte puntual.

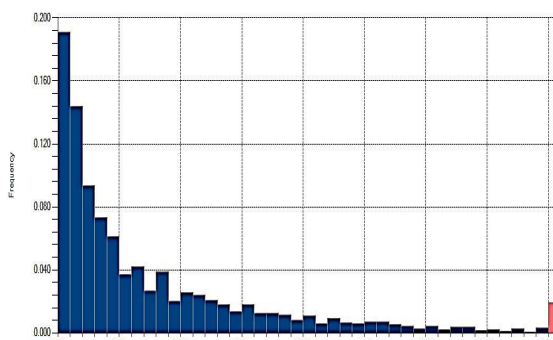




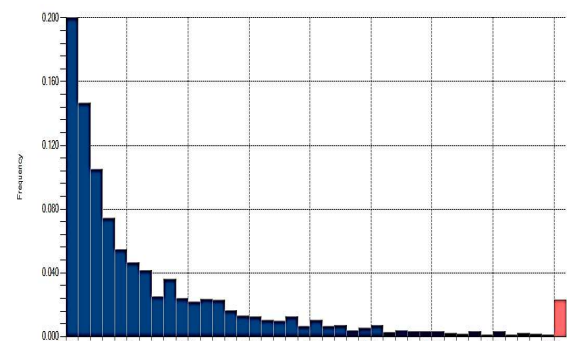
Acumulación Oro



Acumulación Plomo



Acumulación Zinc

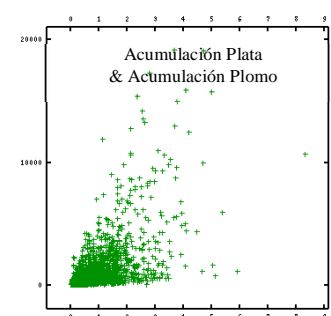
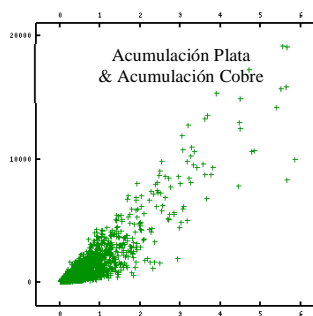
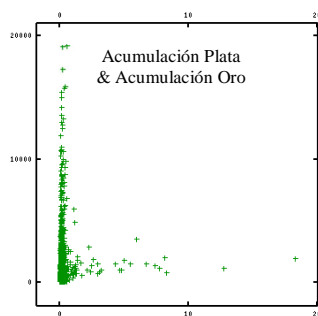


Acumulación Cobre

**Figura 20. Histogramas de potencia y acumulaciones a soporte puntual de veta polimetálica.**

#### 4.4.3. Nubes de correlación (soporte puntual)

La relación par a par entre variables de potencia y acumulación, se aprecia en las siguientes nubes de correlación, las que se encuentran a soporte puntual.



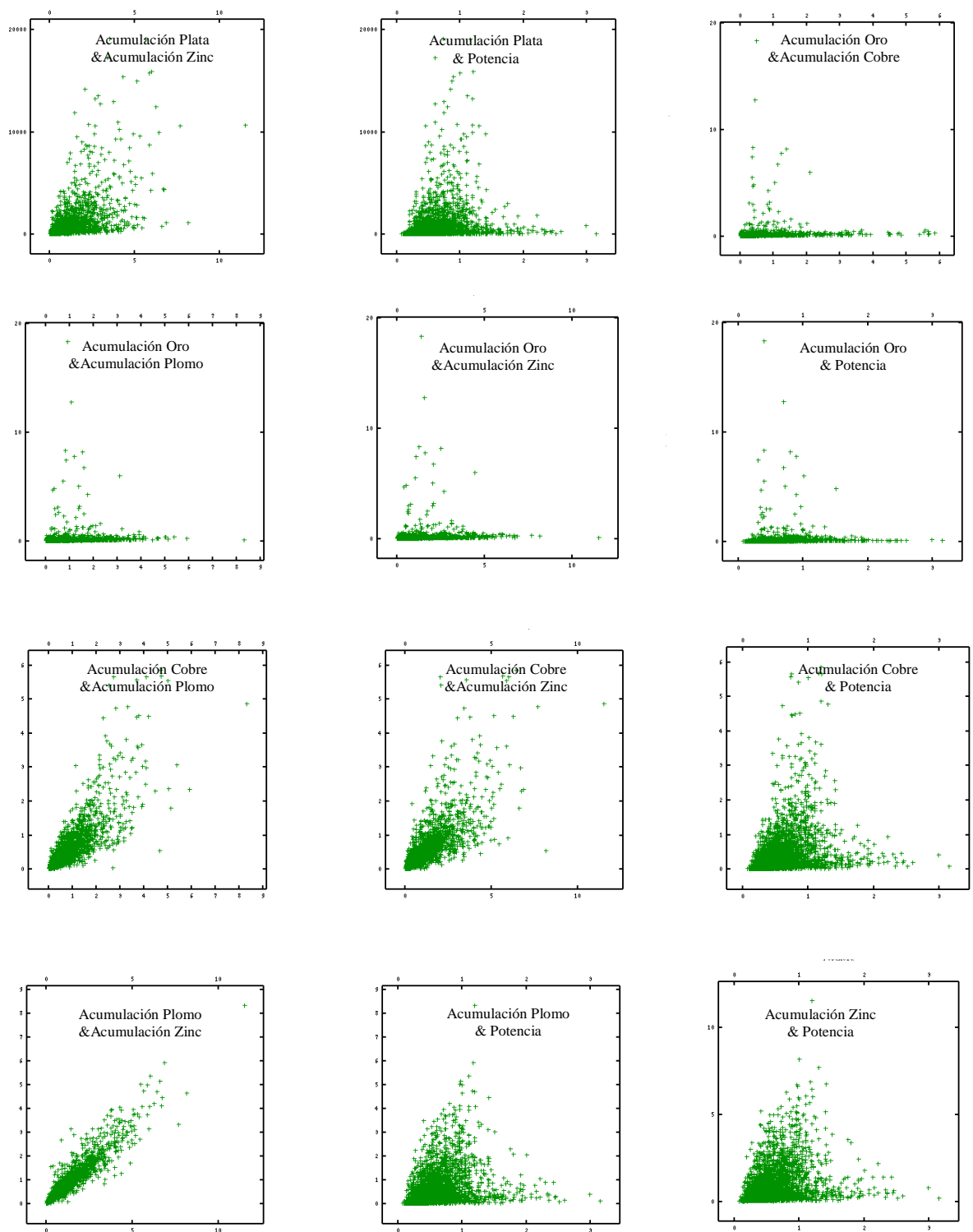


Figura 21. Nubes de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica.

4.4.4. *Matriz de correlación de potencia y acumulaciones (soporte puntual)*

Las correlaciones entre variables a soporte puntual se expresan en la siguiente matriz de correlación, en donde se aprecia una fuerte correlación entre acumulaciones de Ag-Pb, Cu-Pb, Cu-Zn y Pb-Zn.

VARIABLE	Acumulación					Potencia
	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	
Acumulación Ag	1	0,09	0,9	0,65	0,6	0,2
Acumulación Au	0,09	1	0,11	0,13	0,13	0,05
Acumulación Cu	0,9	0,11	1	0,84	0,79	0,28
Acumulación Pb	0,65	0,13	0,84	1	0,95	0,29
Acumulación Zn	0,6	0,13	0,79	0,95	1	0,29
Potencia	0,2	0,05	0,28	0,29	0,29	1

Tabla 4. Matriz de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica.

4.4.5. *Variogramas experimentales de potencia y acumulaciones (soporte puntual)*

Se calcula variogramas para las variables potencia y acumulaciones (Ag, Au, Pb, Zn y Cu), considerando el filtro previo de no tener datos atípicos (56 datos) ni duplicados. Se trabaja siguiendo la dirección de la veta que está en la dirección N63°E, o bien a 27° en contra del sentido del reloj respecto al Este.

La dirección de cálculo a utilizar se aprecia en la siguiente figura.

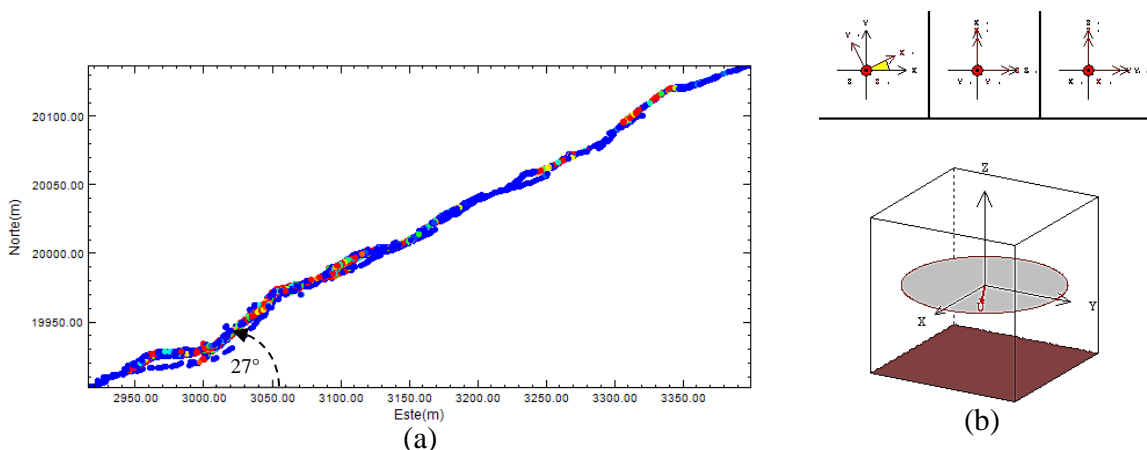


Figura 22. (a) Dirección de la veta en N63°E, (b) Dirección vista por coordenadas U, V y W (Sistema rotado).



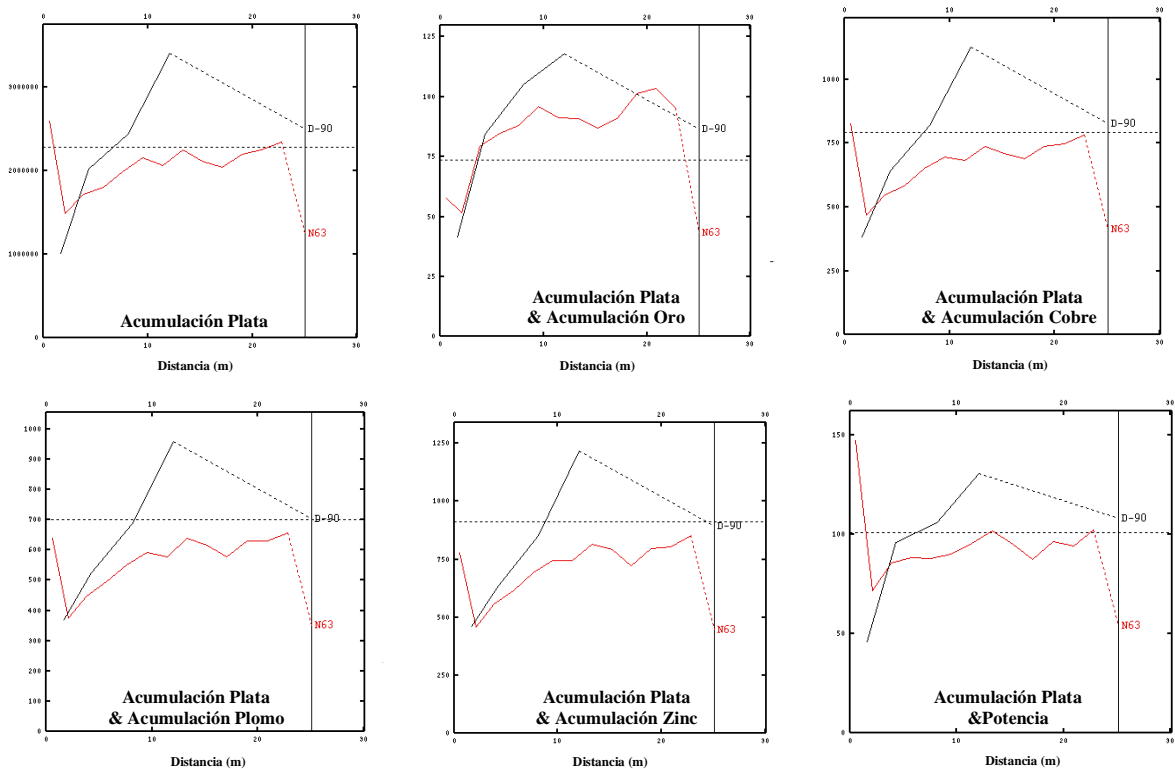
Los parámetros utilizados para la construcción de variogramas experimentales, simples y cruzados, están dados por:

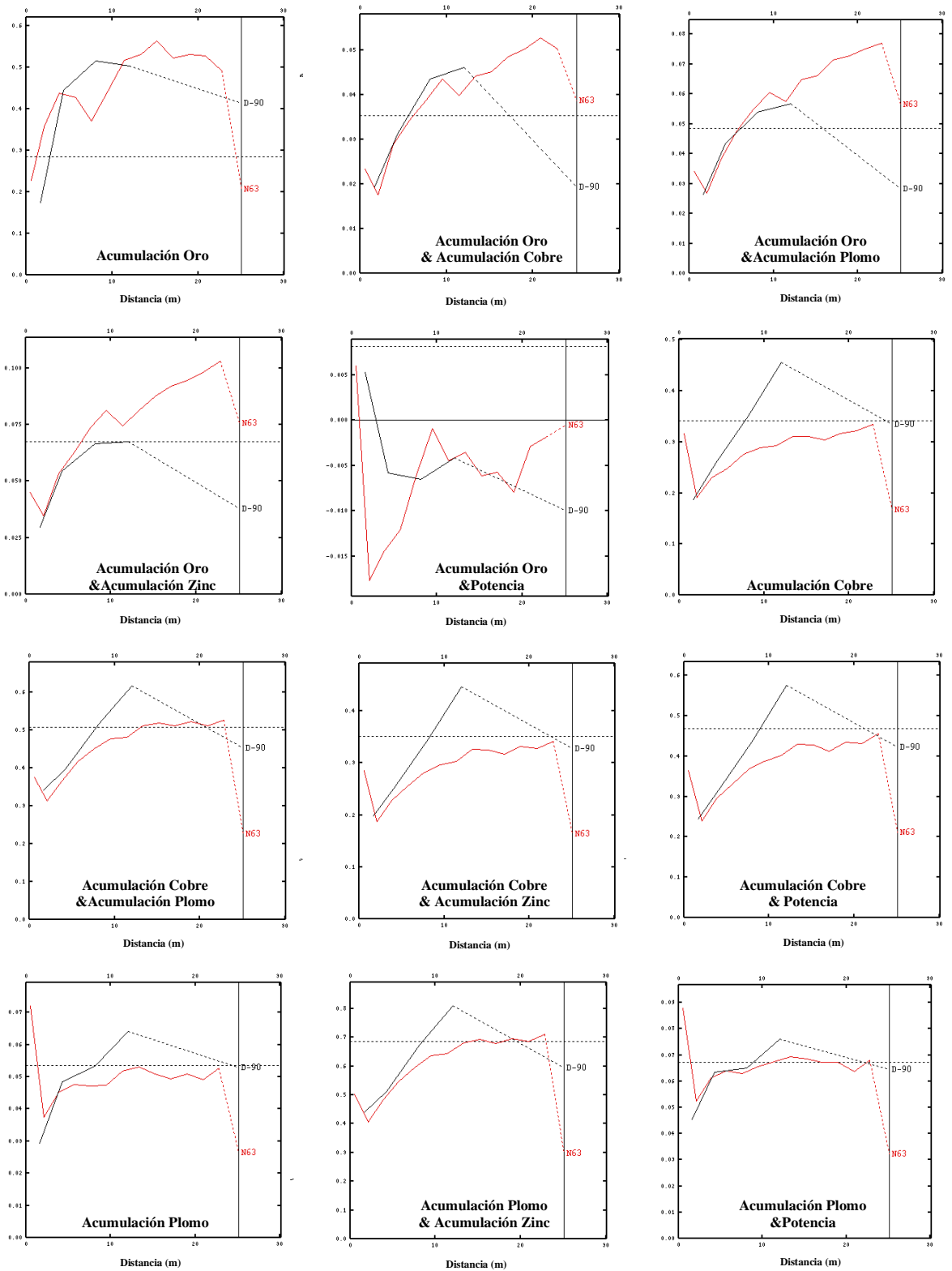
Parámetro	Dirección U	Dirección W
Azimut	N63°E	-
Dip	0°	90°
Tolerancia azimut	90°	20°
Ancho banda [m]	0	0
Tolerancia dip	20°	20°
Alto banda [m]	6	6
Número de pasos	13	4
Tamaño de paso [m]	1,9	4
Tolerancia paso [m]	$\frac{1}{2} \times 1,9 = 0,95$	$\frac{1}{2} \times 4 = 2$

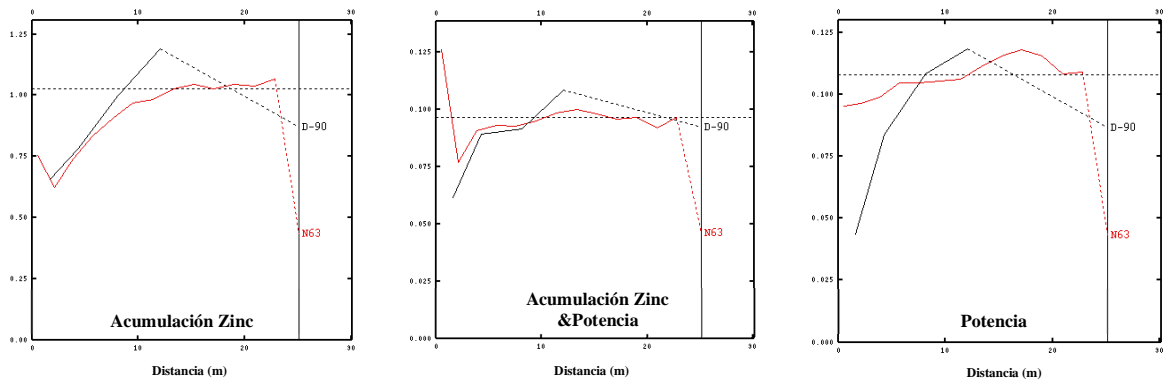
Tabla 5. Parámetros requeridos en la construcción de variogramas experimentales.

Se estudia en la dirección de la veta y la dirección vertical, como lo indica la tabla 5, obteniendo los siguientes variogramas experimentales:

Los variogramas experimentales, simples y cruzados, obtenidos son los siguientes.





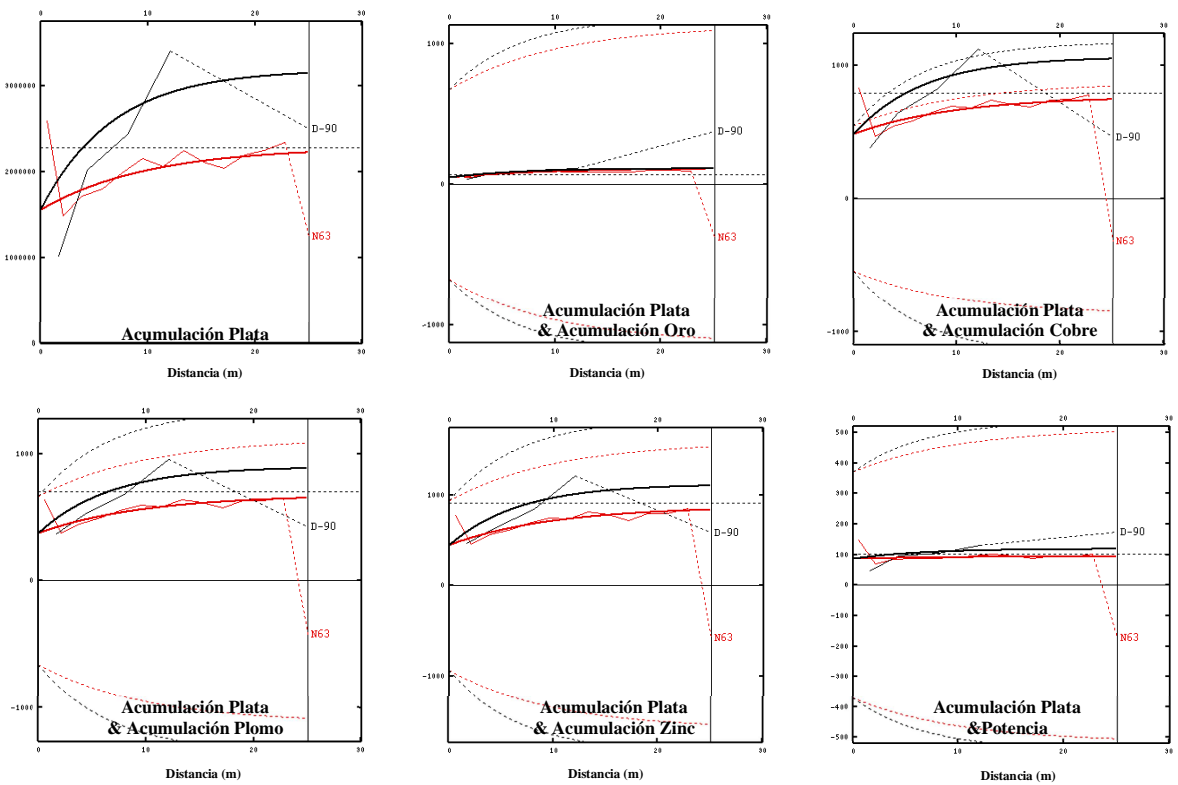


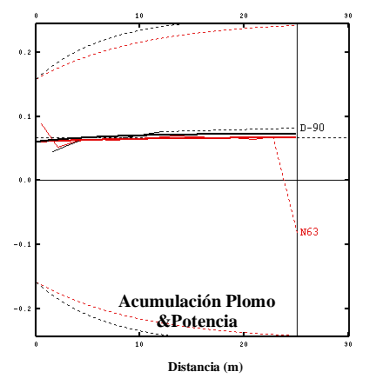
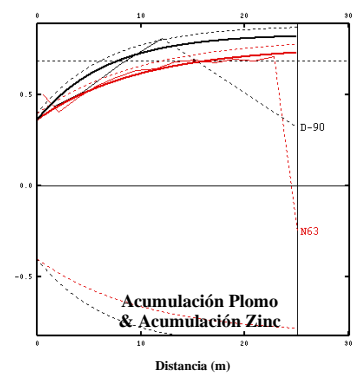
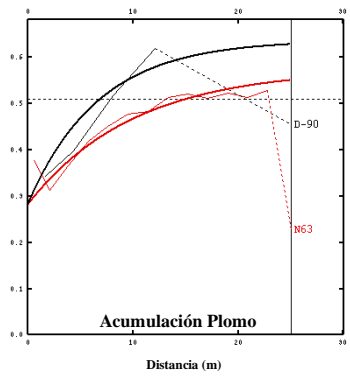
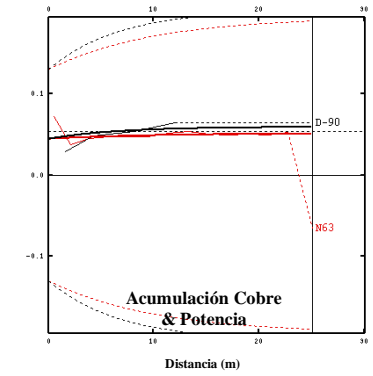
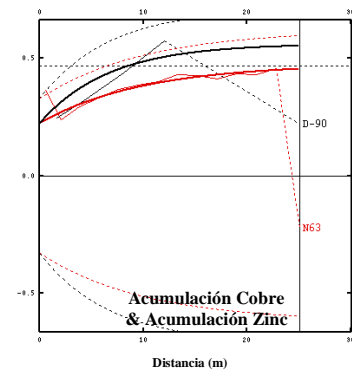
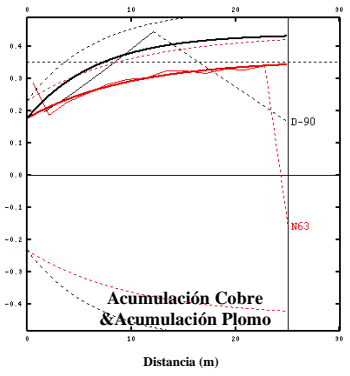
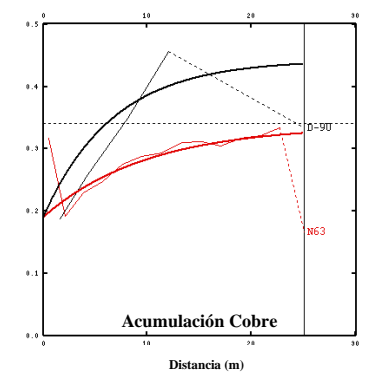
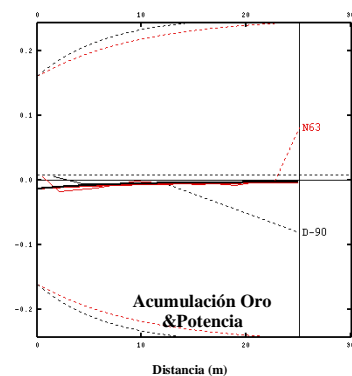
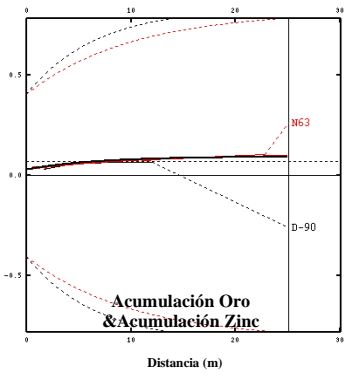
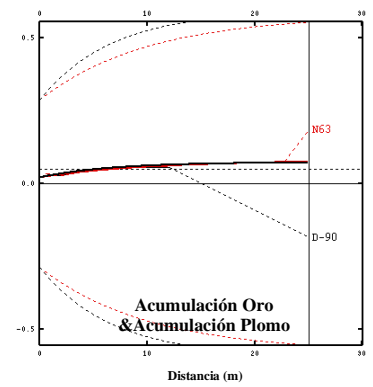
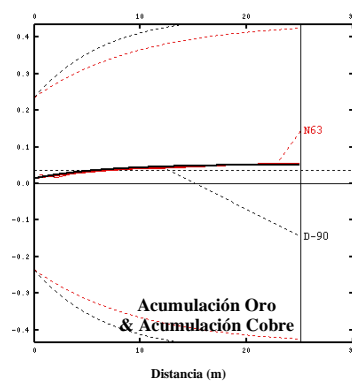
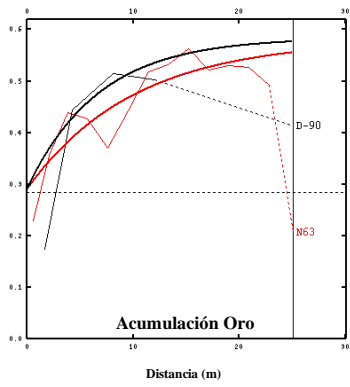
**Figura 23. Variogramas experimentales, simples y cruzados de variables de potencia y acumulaciones a soporte puntual (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E).**

#### 4.4.6. Variogramas modelados de potencia y acumulaciones (soporte puntual)

El ajuste de los variogramas experimentales viene dado por un modelo consistente en efecto pepita y dos exponenciales anidadas.

Los modelos variográficos simples y cruzados obtenidos son los siguientes.





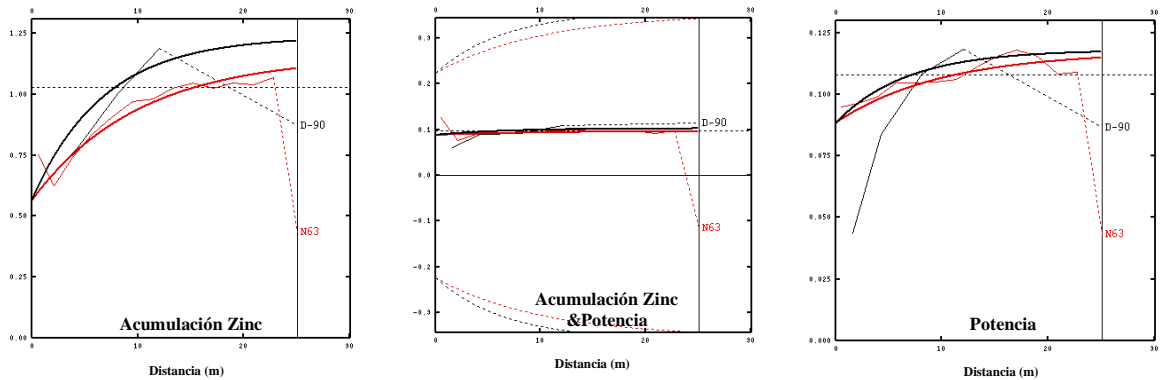


Figura 24. Variogramas modelados simples y cruzados de variables de potencia y acumulaciones a soporte puntual (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E).

Específicamente, el modelo de correionalización multivariable de potencia y acumulaciones es el siguiente.

$$\Gamma(h) = \text{Pepa} \begin{pmatrix} 1331630,04 & 42,312 & 320,307 & 383,638 & 413,813 & 73,738 \\ 42,312 & 0,248 & 0,02 & 0,025 & 0,012 & -0,011 \\ 320,307 & 0,017 & 0,241 & 0,313 & 0,152 & 0,051 \\ 383,638 & 0,025 & 0,313 & 0,484 & 0,192 & 0,075 \\ 413,813 & 0,012 & 0,152 & 0,192 & 0,163 & 0,038 \\ 73,738 & -0,011 & 0,051 & 0,075 & 0,038 & 0,076 \end{pmatrix}$$

$$+ \text{Exponencial} \begin{pmatrix} 30 \\ 20 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 619136,226 & 58,388 & 257,453 & 364,080 & 241,926 & 7,126 \\ 58,388 & 0,246 & 0,049 & 0,062 & 0,037 & 0,009 \\ 257,453 & 0,049 & 0,249 & 0,342 & 0,155 & 0,006 \\ 364,080 & 0,062 & 0,342 & 0,502 & 0,215 & 0,008 \\ 241,926 & 0,037 & 0,154 & 0,215 & 0,125 & 0,006 \\ 7,126 & 0,009 & 0,006 & 0,008 & 0,005 & 0,024 \end{pmatrix}$$

$$+ \text{Exponencial} \begin{pmatrix} +\infty \\ 20 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 766304,044 & -2,807 & 189,000 & 211,339 & 251,774 & 20,874 \\ -2,807 & 0,004 & -0,005 & -0,007 & -0,004 & 0,0003 \\ 189,000 & -0,005 & 0,053 & 0,059 & 0,068 & 0,005 \\ 211,339 & -0,007 & 0,059 & 0,068 & 0,073 & 0,005 \\ 251,774 & -0,004 & 0,068 & 0,073 & 0,090 & 0,007 \\ 20,874 & 0,0004 & 0,005 & 0,005 & 0,007 & 0,001 \end{pmatrix}$$

#### 4.5. Definición de bloques en el plano

Se define la grilla de bloques rotada en el plano de la veta. Las vistas longitudinal y en planta se pueden ver en la siguiente figura.

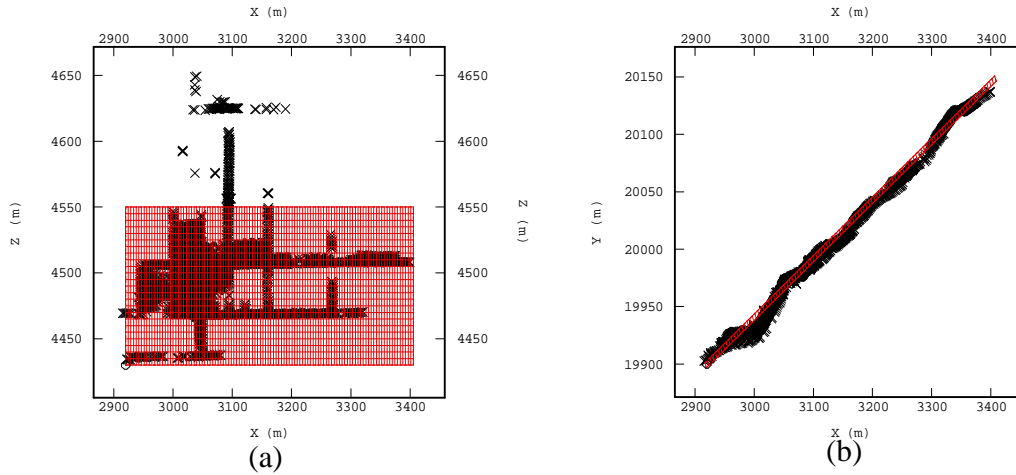


Figura 25. Grilla definida en el plano de la veta, (a) vista longitudinal de la grilla definida en la dirección del plano de la veta, (b) vista en planta de la grilla definida en la dirección del plano de la veta.

Los datos de origen, malla y cantidad de nodos de la grilla rotada, son:

<b>Origen</b>	2.920 [m]	19.900 [m]	4.430 [m]
<b>Malla</b>	5 [m]	5 [m]	5 [m]
<b>Número de Nodos</b>	110	1	25

Tabla 6. Datos de la grilla de bloques en estudio.

#### 4.6. Cokriging de bloques

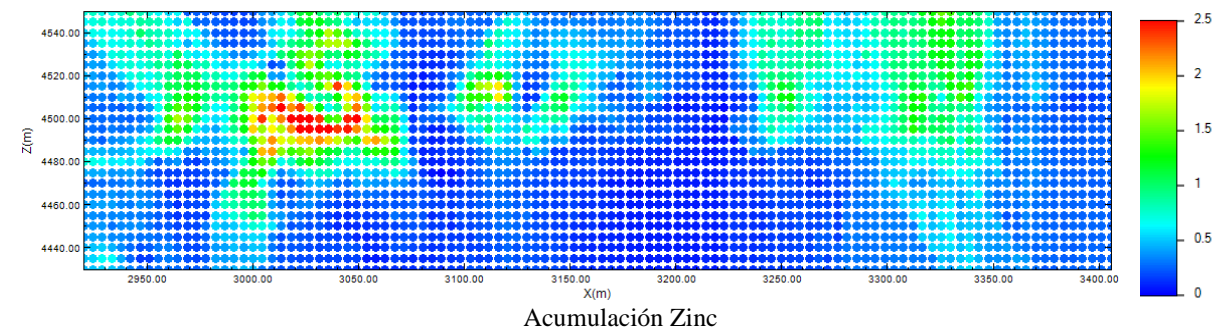
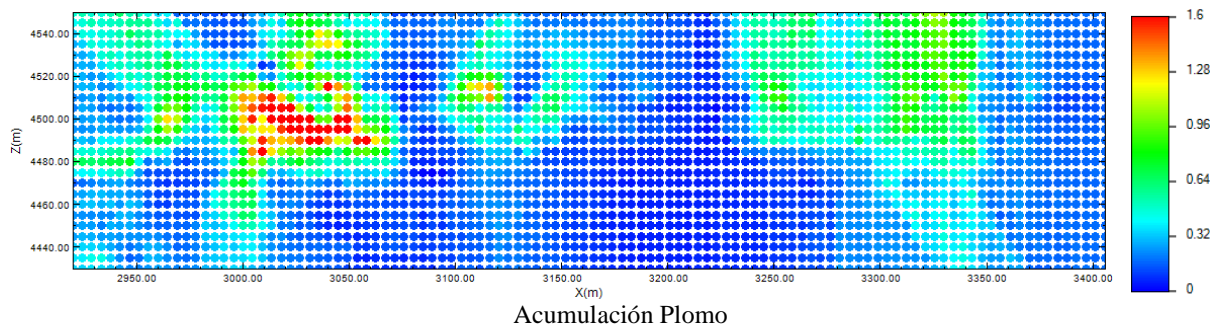
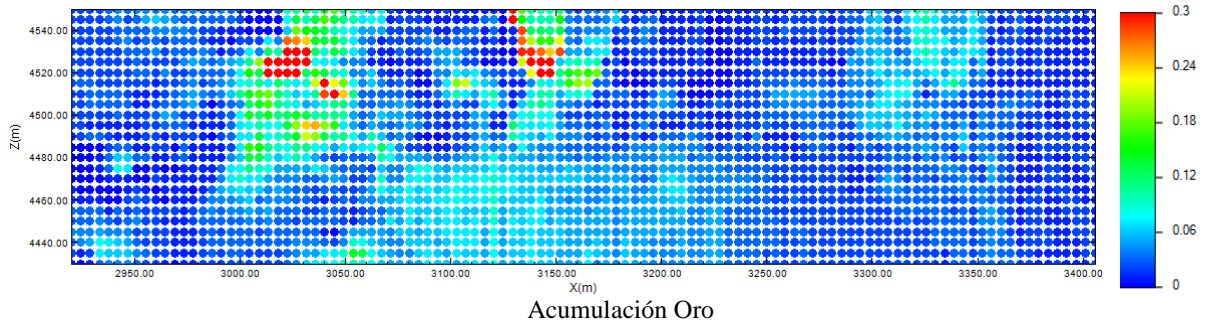
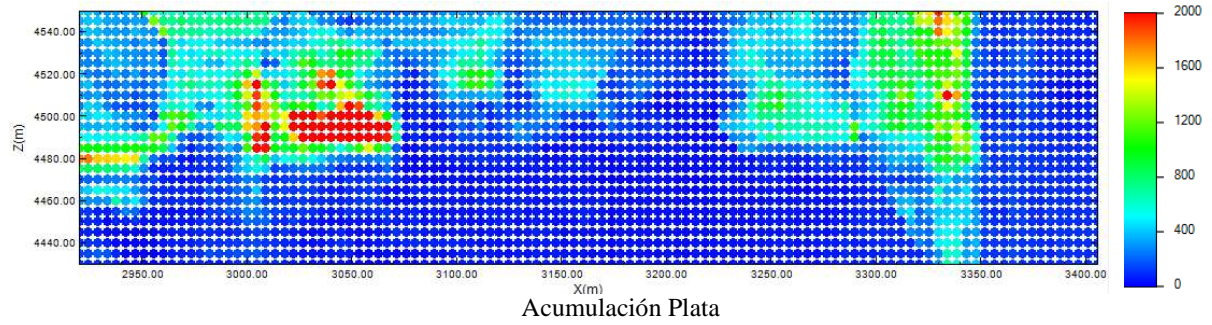
Es importante para el estudio multivariable tener una información preliminar. Para ello se estima la veta original mediante cokriging. Se realiza un cokriging ordinario, que es lo que se generalmente se utiliza, el cual se puede realizar debido a que se ha definido la grilla.

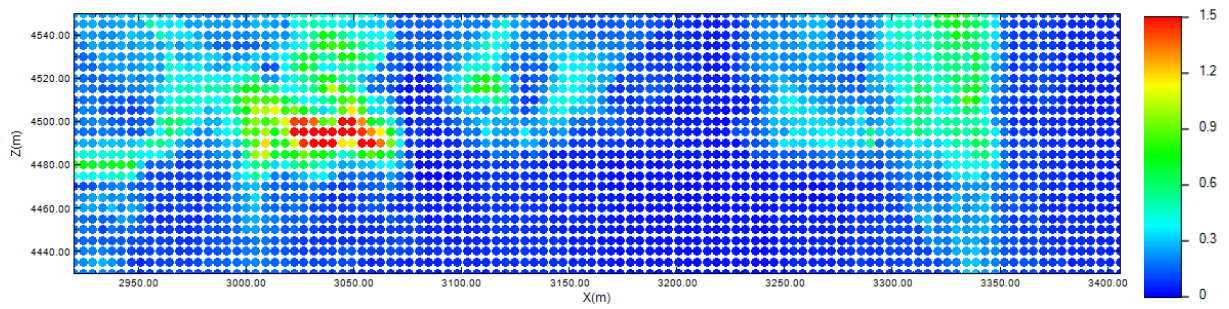
Para la realización del cokriging, se requiere definir una vecindad, la cual se define como una bola de radio 300 [m], con una cantidad máxima de datos igual a 40.

Las acumulaciones estimadas por cokriging, en la dirección del plano de la veta (perfil longitudinal) se presentan a continuación.

#### 4.6.1. Mapas de acumulación (cokriging)

Las acumulaciones estimadas por cokriging en la dirección del plano de la veta, se aprecian en las siguientes figuras.





Acumulación Cobre

Figura 26. Mapas de acumulaciones estimadas por cokriging.

#### 4.7. Estudio exploratorio y variográfico de variables Gaussianas

Se transforma a valores Gaussianos los datos de potencia y acumulaciones, por medio de anamorfosis Gaussianas.

##### 4.7.1. Estadísticas básicas de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)

	Variable Gaussiana
Mínimo	-3,51
Máximo	3,51
Media	0
Desviación Estándar	1

Tabla 7. Estadísticas aplicadas a todas las variables Gaussianas de potencia y acumulaciones.

##### 4.7.2. Histogramas de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)

Los histogramas obtenidos de los datos Gaussianos tienen la siguiente figura.

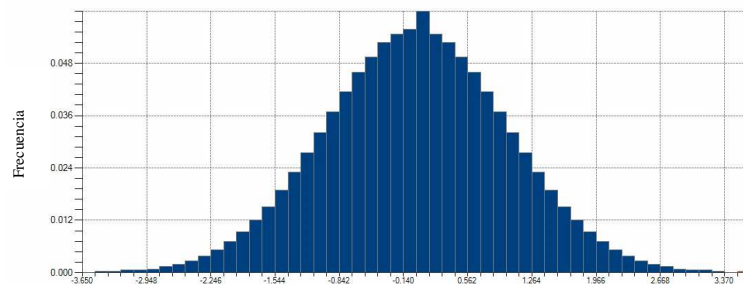
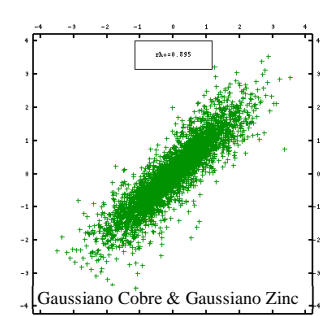
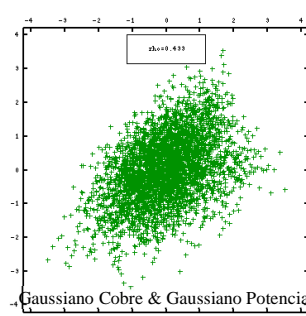
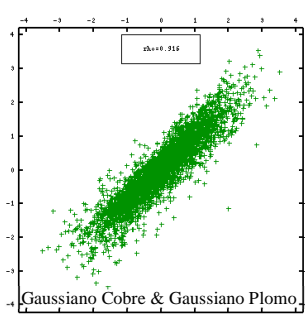
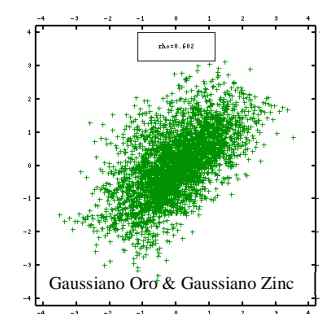
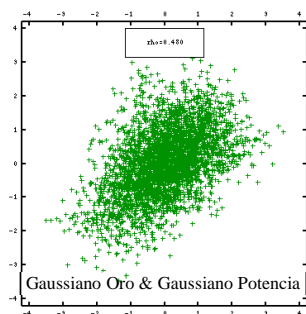
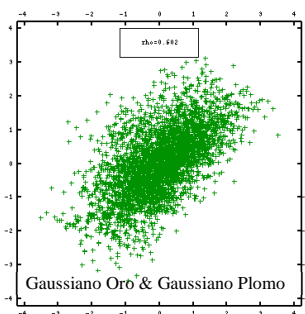
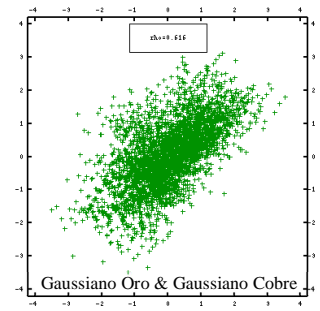
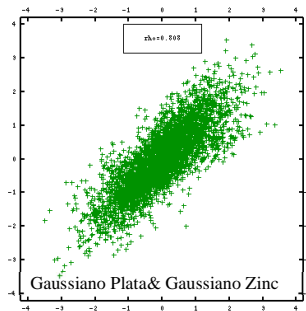
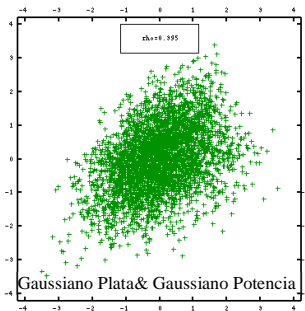
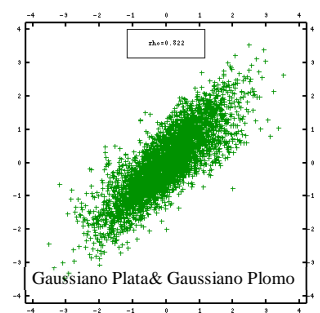
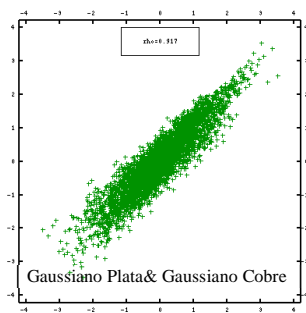
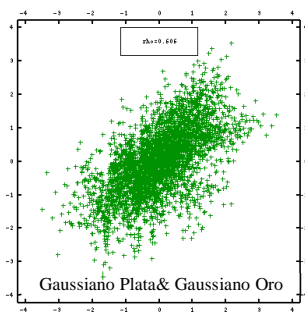


Figura 27. Histograma aplicable a variables Gaussianas de potencia y acumulaciones.



### 4.7.3. Nubes de correlación de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)



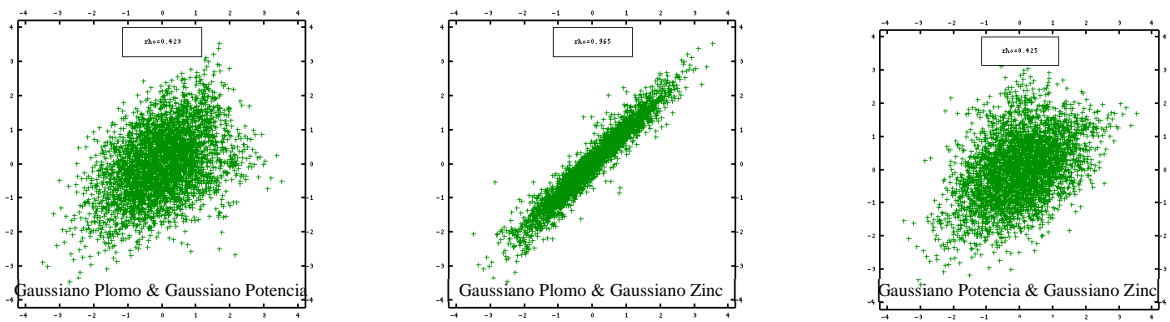


Figura 28. Nubes de correlación de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones.

4.7.4. *Matriz de correlación de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)*

VARIABLES		Variable Gaussianas					
		Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Potencia
Variable Gaussiana	Acumulación Ag	1	0,61	0,92	0,82	0,81	0,39
	Acumulación Au	0,61	1	0,62	0,60	0,60	0,48
	Acumulación Cu	0,92	0,62	1	0,92	0,89	0,43
	Acumulación Pb	0,82	0,60	0,92	1	0,97	0,42
	Acumulación Zn	0,81	0,60	0,89	0,97	1	0,42
	Potencia	0,39	0,48	0,43	0,42	0,42	1

Tabla 8. Matriz de correlación de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones.

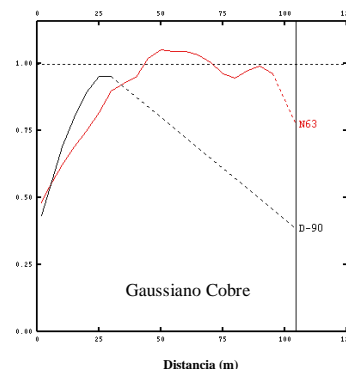
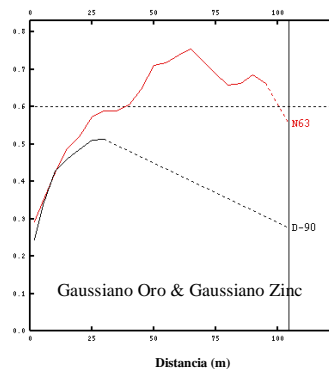
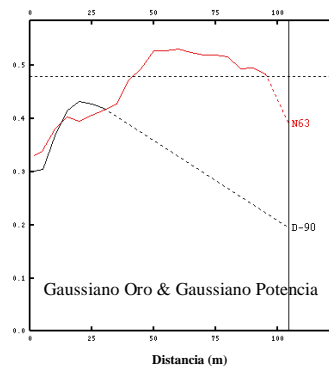
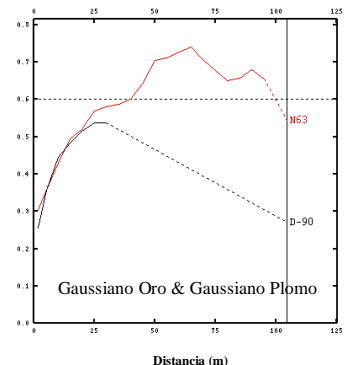
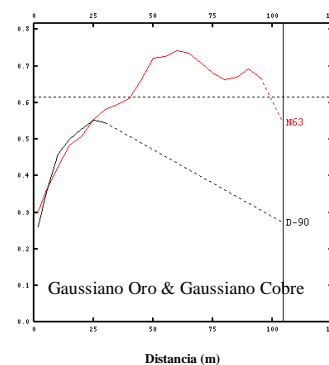
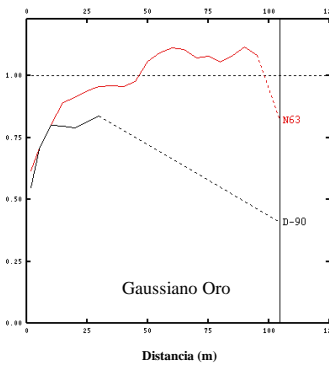
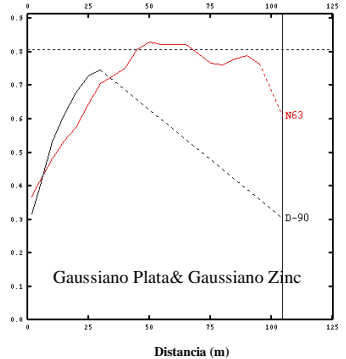
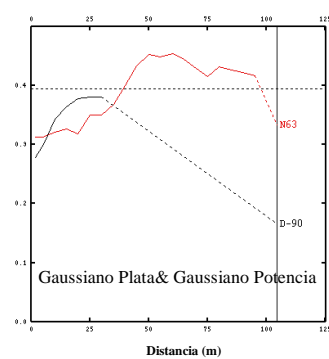
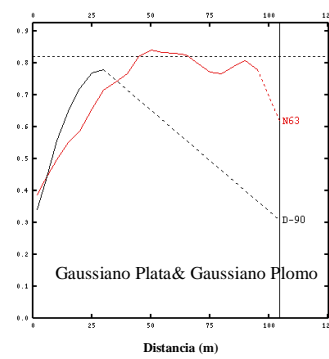
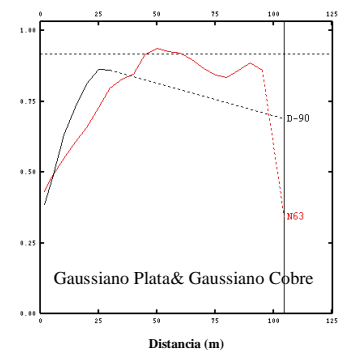
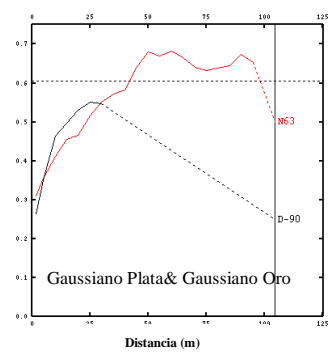
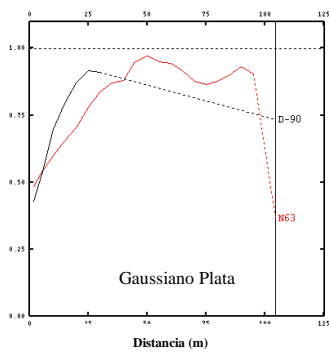
4.7.5. *Variogramas experimentales de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)*

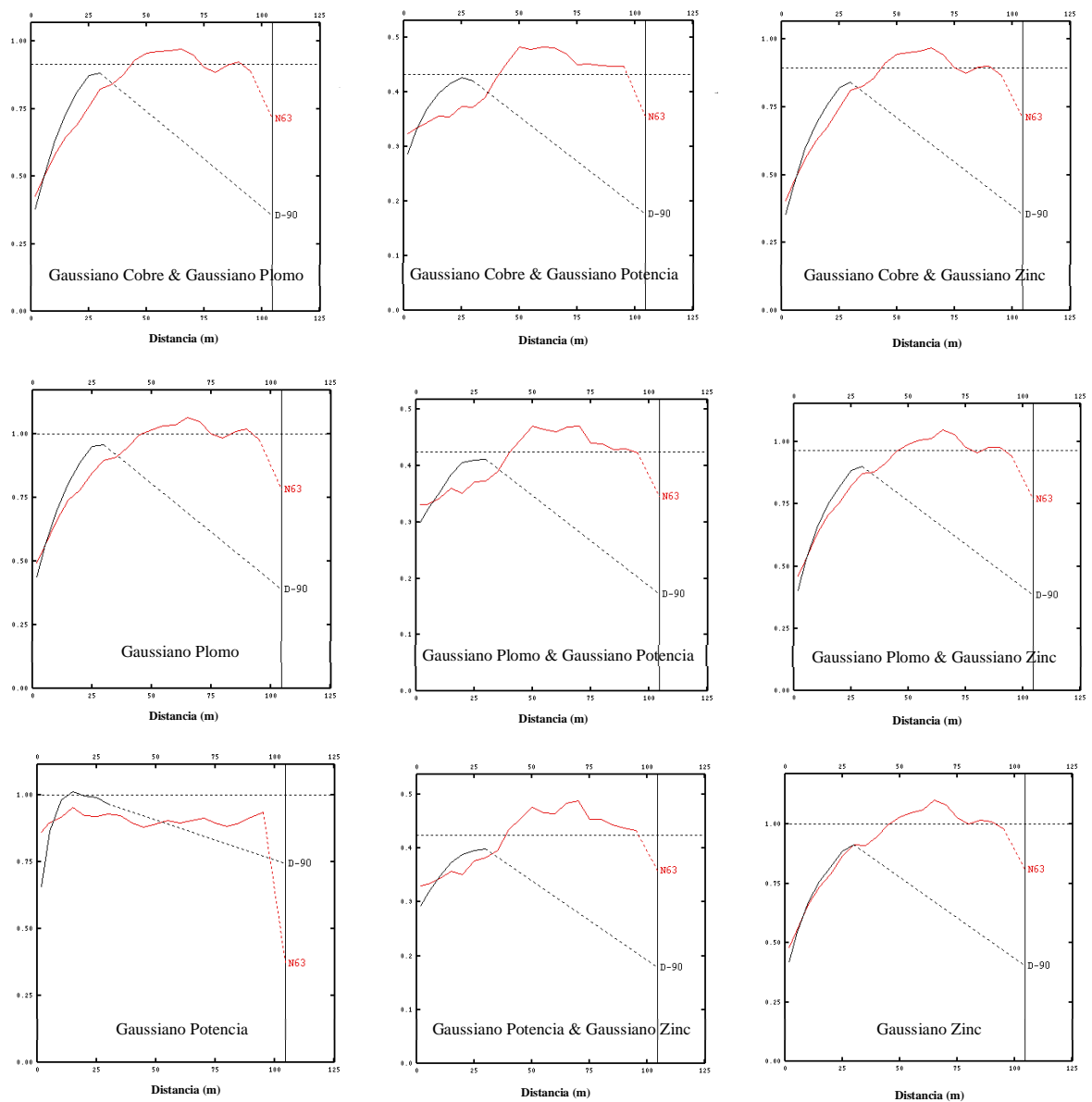
Se calcula variogramas para las variables Gaussianas de potencia y acumulaciones (Ag, Au, Pb, Zn y Cu). Los parámetros para obtener los variogramas experimentales son los siguientes.

Parámetro	Dirección U	Dirección W
Azimut	N63°E	-
Dip	0°	90°
Tolerancia azimut	90°	30°
Ancho banda [m]	0	0
Tolerancia dip	20°	20°
Alto banda [m]	3	3
Número de pasos	20	7
Tamaño de paso [m]	5	5
Tolerancia paso [m]	$\frac{1}{2} \times 5 = 2,5$	$\frac{1}{2} \times 5 = 2,5$

Tabla 9. Parámetros requeridos en la construcción de variogramas experimentales de los datos Gaussianos.

Los variogramas experimentales obtenidos son:

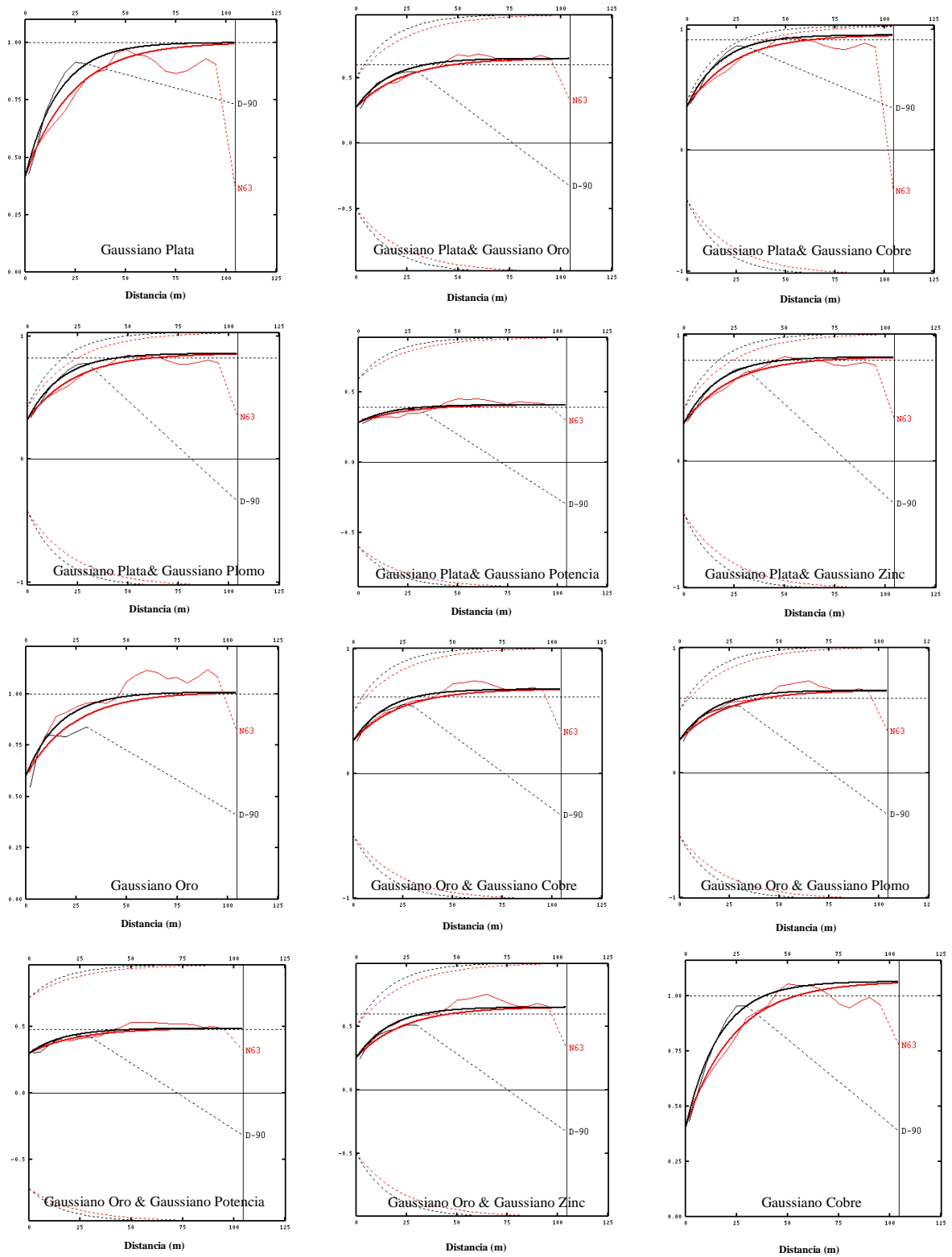


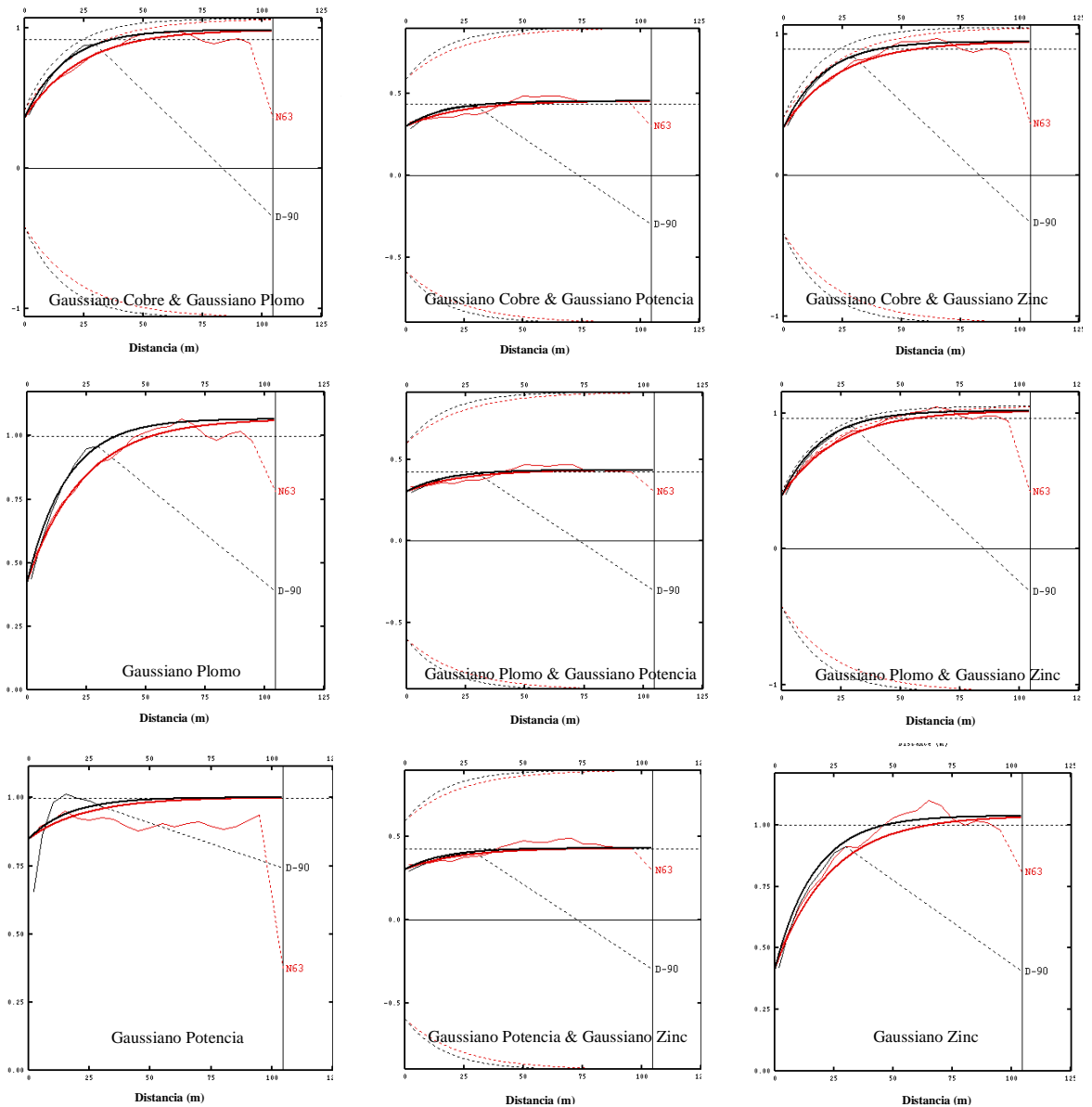


**Figura 29. Variogramas experimentales simples y cruzados de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E)..**

#### 4.7.6. Variogramas modelados de datos Gaussianos (potencia y acumulaciones)

Los variogramas experimentales se modelan utilizando efecto pepa y una exponencial. Los resultados son:





**Figura 30. Variogramas modelados simples y cruzados de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones (negro = dirección vertical, rojo = dirección N63°E).**

Específicamente, el modelo de correionalización multivariable de variogramas modelados de variables Gaussianas de potencia y acumulaciones es:

$$\Gamma(h) = \text{Pepa} \begin{pmatrix} 0,416 & 0,275 & 0,322 & 0,302 & 0,363 & 0,285 \\ 0,275 & 0,603 & 0,268 & 0,257 & 0,266 & 0,298 \\ 0,321 & 0,268 & 0,425 & 0,393 & 0,359 & 0,304 \\ 0,302 & 0,257 & 0,393 & 0,415 & 0,337 & 0,303 \\ 0,363 & 0,266 & 0,359 & 0,337 & 0,405 & 0,299 \\ 0,285 & 0,298 & 0,304 & 0,303 & 0,299 & 0,850 \end{pmatrix}$$

$$+ \text{Exponencial} \begin{pmatrix} 70 \\ 50 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,584 & 0,374 & 0,536 & 0,528 & 0,592 & 0,125 \\ 0,374 & 0,405 & 0,397 & 0,395 & 0,410 & 0,185 \\ 0,536 & 0,397 & 0,642 & 0,624 & 0,624 & 0,131 \\ 0,528 & 0,396 & 0,624 & 0,624 & 0,611 & 0,127 \\ 0,592 & 0,410 & 0,625 & 0,612 & 0,658 & 0,153 \\ 0,126 & 0,186 & 0,131 & 0,128 & 0,153 & 0,151 \end{pmatrix}$$

#### 4.8. Cosimulación de variables

La cosimulación (simulación multivariable) seguida de rebloqueo, se considera como el escenario “real” o de referencia a considerar.

La cosimulación se realiza por el método de bandas rotantes, sobre una grilla fina de malla 1m x 1m, luego se rebloquea a 5m x 5m.

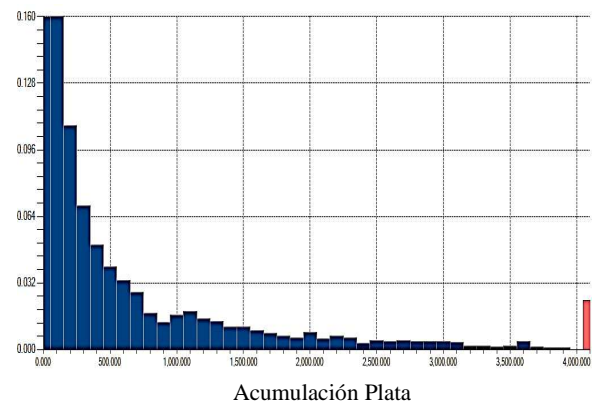
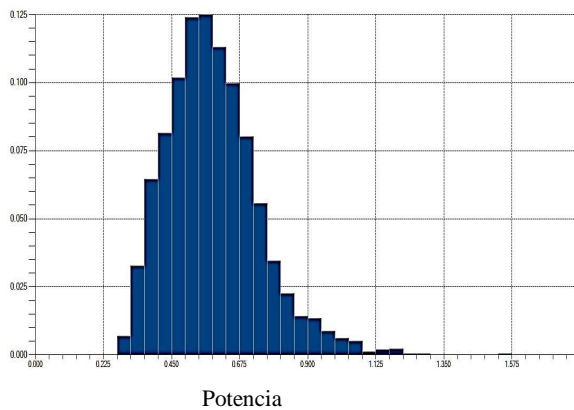
##### 4.8.1. Estadísticas básicas (cosimulación y rebloqueo)

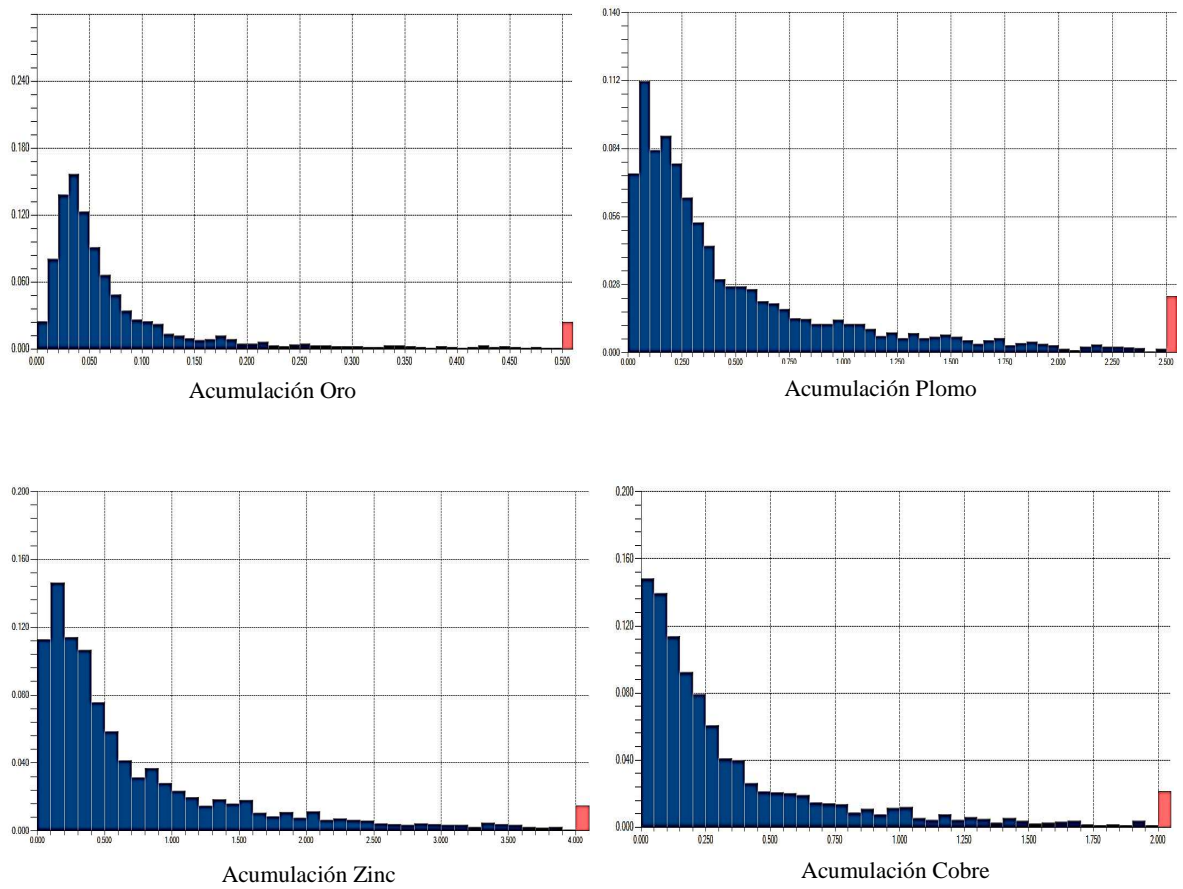
VARIABLE	Acumulación					Potencia [m]
	Ag	Au	Pb	Zn	Cu	
<b>Mínimo</b>	0,24	0,00	0,00	0,01	0,00	0,26
<b>Máximo</b>	6880,79	2,50	4,69	6,92	3,02	1,44
<b>Media</b>	343,78	0,06	0,39	0,53	0,23	0,54
<b>Desviación Estándar</b>	569,06	0,10	0,47	0,66	0,31	0,14

Tabla 10. Estadísticas básicas obtenidas a soporte de bloque (5m x 5m).

##### 4.8.2. Histogramas (cosimulación y rebloqueo)

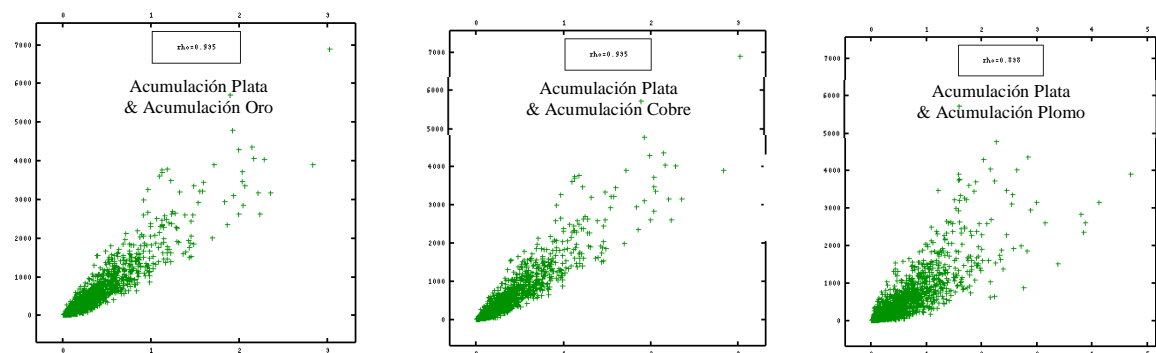
Los histogramas de las acumulaciones y potencia, obtenidos por cosimulación y posterior rebloqueo, son los siguientes.





**Figura 31. Histogramas a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo).**

#### 4.8.3. Nubes de correlación (cosimulación y rebloqueo)





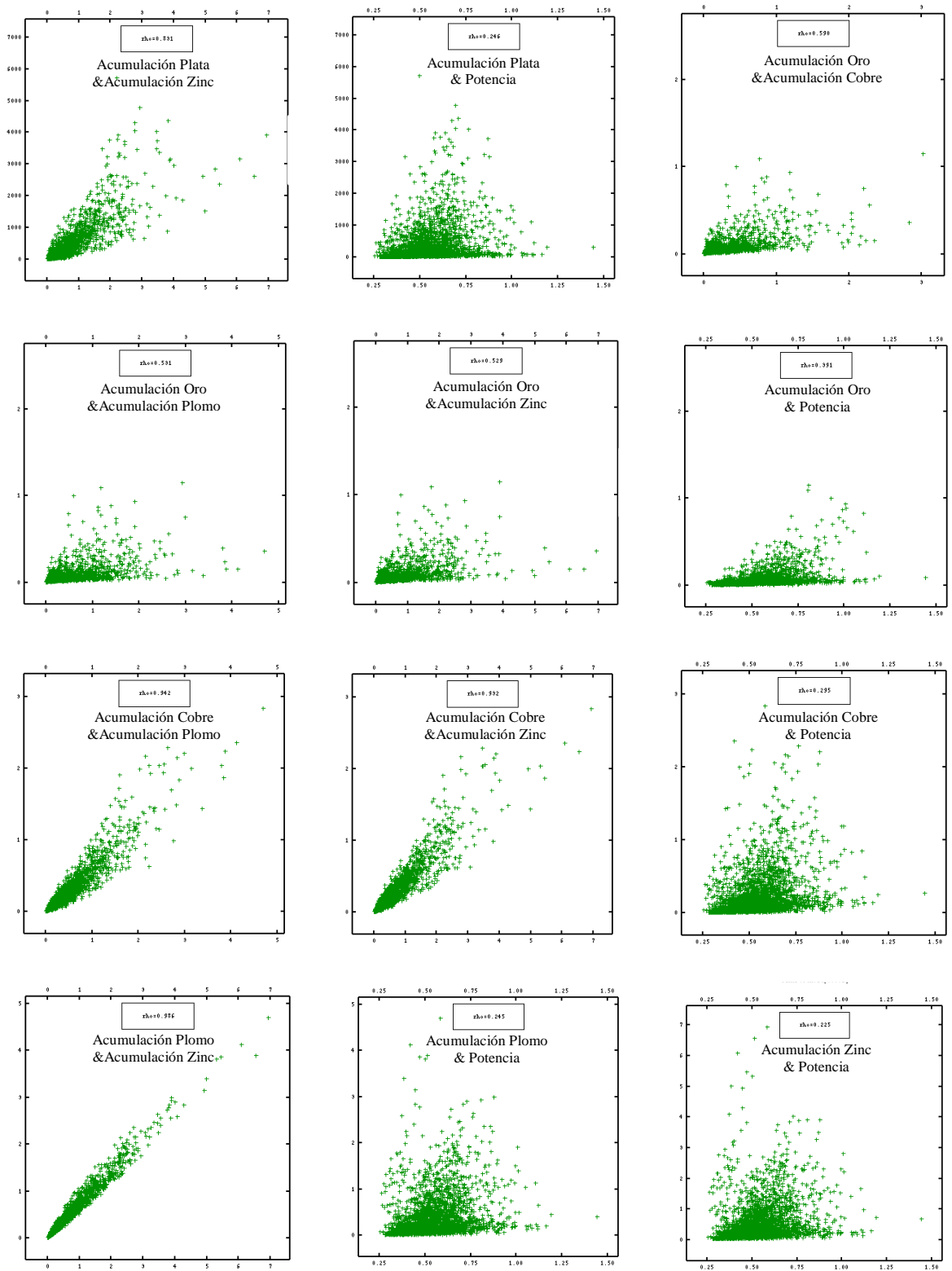
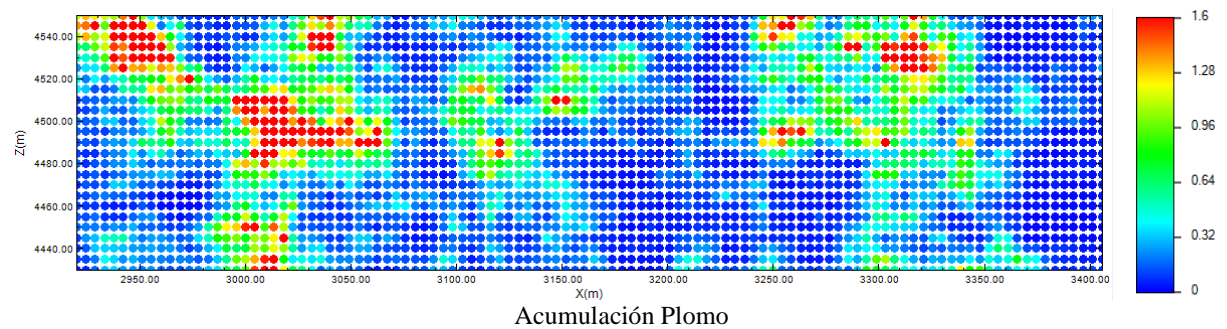
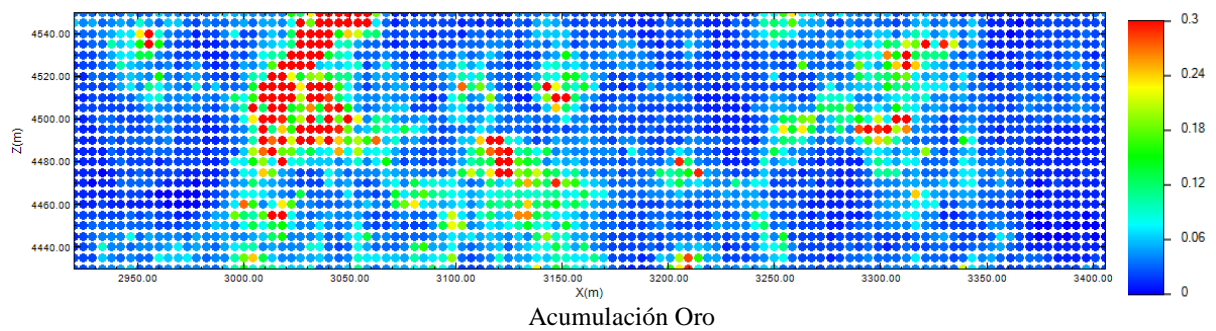
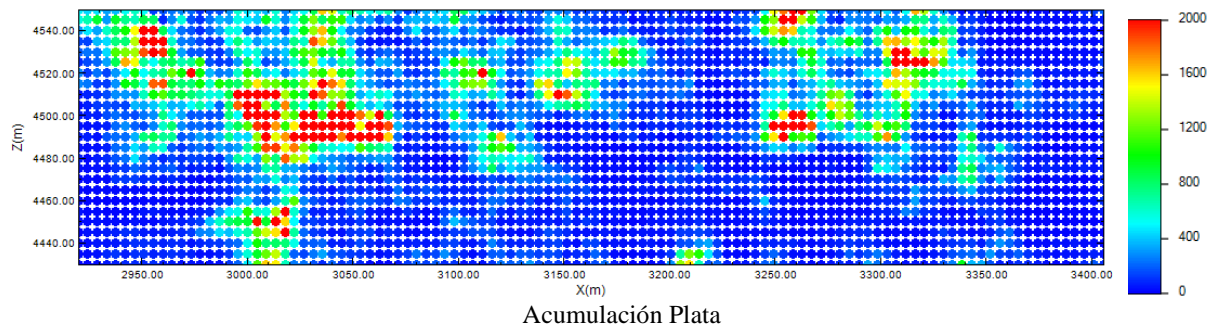


Figura 32. Nubes de correlación de potencia y acumulaciones a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo).

#### 4.8.4. Mapas de acumulaciones (cosimulación y rebloqueo)

Las acumulaciones obtenidas por rebloqueo, en la dirección del plano de la veta, es decir, en la dirección de la grilla de bloques, que tiene rumbo N63°E, se pueden apreciar a continuación.



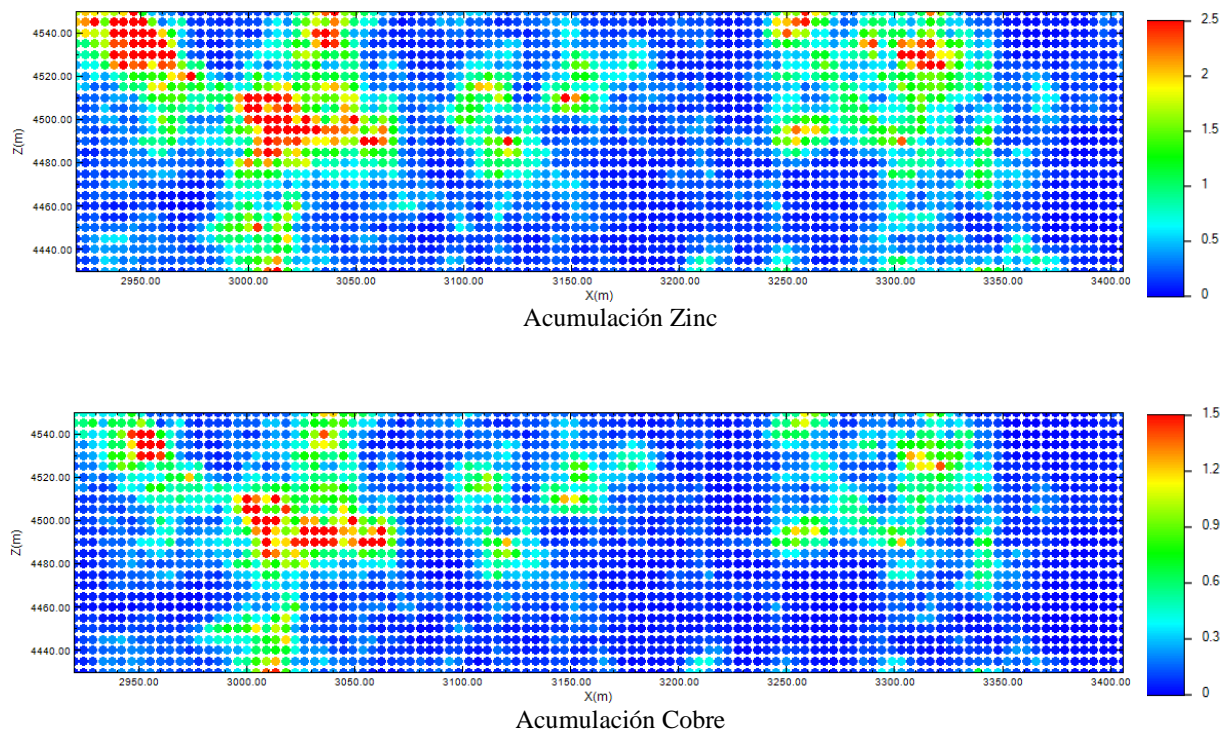


Figura 33. Mapas de acumulaciones de elementos de la veta (cosimulación y rebloqueo).

#### 4.9. Cambio de soporte por modelo Gaussiano discreto

Para lograr obtener la distribución a soporte de bloques sin pasar por cosimulaciones y rebloqueo, se utiliza un modelo de cambio de soporte, a saber el modelo Gaussiano discreto. Éste requiere de los siguientes parámetros de entrada:

- Matriz de Base de datos, con los valores de potencia, acumulación de plata, oro, plomo, zinc y cobre.
- El grado máximo de polinomios de Hermite: sirve para modelar las funciones de anamorfosis Gaussiana; en este trabajo se utilizó un grado máximo de 200.
- Matriz de varianza-covarianza de las variables originales (potencia y acumulaciones) a soporte de bloques. Estos valores se pueden determinar a partir del modelo de correogionalización (variogramas simples y cruzados) de dichas variables y del tamaño de bloque.
- Número de realizaciones: Una vez determinada la distribución conjunta a soporte de bloques, se construye un conjunto de vectores aleatorios con dicha distribución, a partir de los cuales se podrá calcular curvas tonelaje-ley. En este trabajo se considera 10.000 realizaciones.

#### 4.9.1. Matriz de varianza-covarianza (soporte de bloques)

Se obtiene la matriz de varianza-covarianza, obtenidas por regularización de los variogramas modelados a soporte de bloques y determinación de las mesetas de los variogramas regularizados. La matriz obtenida es la siguiente.

VARIABLE	Potencia	Ag	Au	Pb	Zn	Cu
Potencia	0,0225	11,4082	0,0080	0,0067	0,0081	0,0070
Ag	11,4082	744791,0681	52,5768	279,2027	381,6777	279,8137
Au	0,0080	52,5768	0,2254	0,0439	0,0547	0,0326
Pb	0,0067	279,2027	0,0439	0,2397	0,3253	0,1569
Zn	0,0081	381,6777	0,0547	0,3253	0,4740	0,2135
Cu	0,0070	279,8137	0,0326	0,1569	0,2135	0,1351

Tabla 11. Matriz de varianza-covarianza.

#### 4.9.2. Estadísticas básicas de potencia y acumulaciones (soporte de bloques)

De los resultados del modelo Gaussiano discreto (realizaciones generales), se puede determinar experimentalmente las distribuciones estadísticas de las variables potencia y acumulaciones a soporte de bloques.

VARIABLE	Acumulación $\left[\frac{g}{t} \times m\right]$					Potencia [m]
	Ag	Au	Pb	Zn	Cu	
Mínimo	4,498	0,000	0,008	0,009	0,005	0,209
Máximo	15435,055	17,930	4,518	6,112	4,659	1,371
Media	682,827	0,090	0,552	0,795	0,389	0,587
Desviación Estándar	856,635	0,467	0,491	0,685	0,367	0,151

Tabla 12. Estadísticas básicas de potencia y acumulaciones a soporte de bloques obtenidas en modelo Gaussiano discreto.

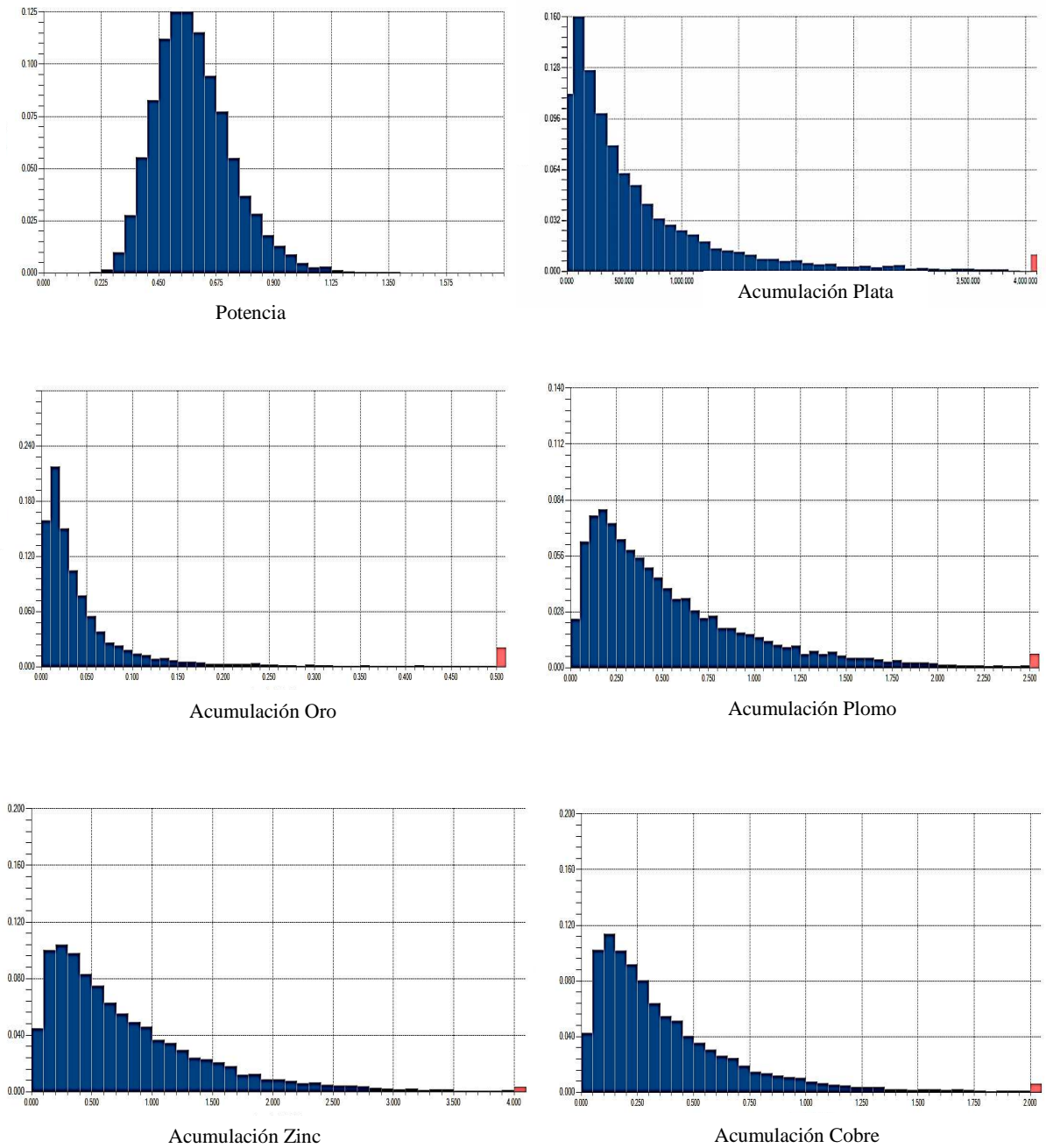
Al dividir las acumulaciones por la potencia en cada realización, también se obtienen valores de leyes cuyas estadísticas se indican a continuación.

VARIABLE	Ley Ag [g/t]	Ley Au [g/t]	Ley Pb [%]	Ley Zn [%]	Ley Cu [%]
Mínimo	7,946	0,000	0,010	0,017	0,009
Máximo	20905,598	19,658	12,747	14,108	8,399
Media	1203,481	0,142	0,982	1,420	0,685
Desviación Estándar	1495,479	0,679	0,906	1,281	0,654

Tabla 13. Estadísticas básicas de leyes a soporte de bloques obtenidas por el modelo Gaussiano discreto.

### 4.9.3. Histogramas de potencia y acumulaciones (soporte de bloques).

Los histogramas obtenidos en el modelo de cambio de soporte son los siguientes.



**Figura 34. Histogramas a soporte de bloques (5x5 m) de potencia y acumulaciones, obtenidos por el modelo Gaussiano discreto.**

#### 4.9.4. Histograma de Leyes (soporte de bloques)

Histogramas obtenidos por el modelo de cambio de soporte:

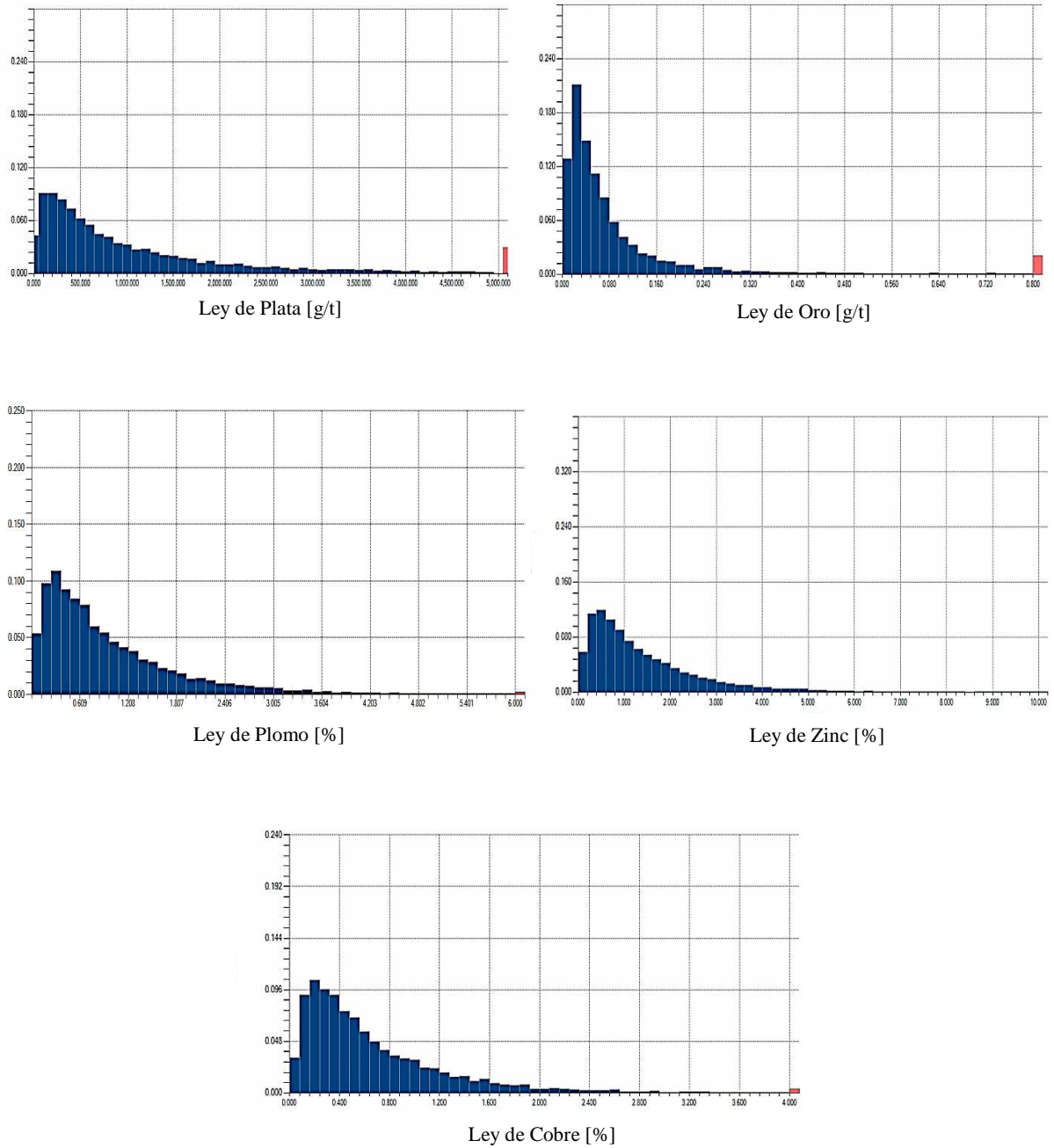
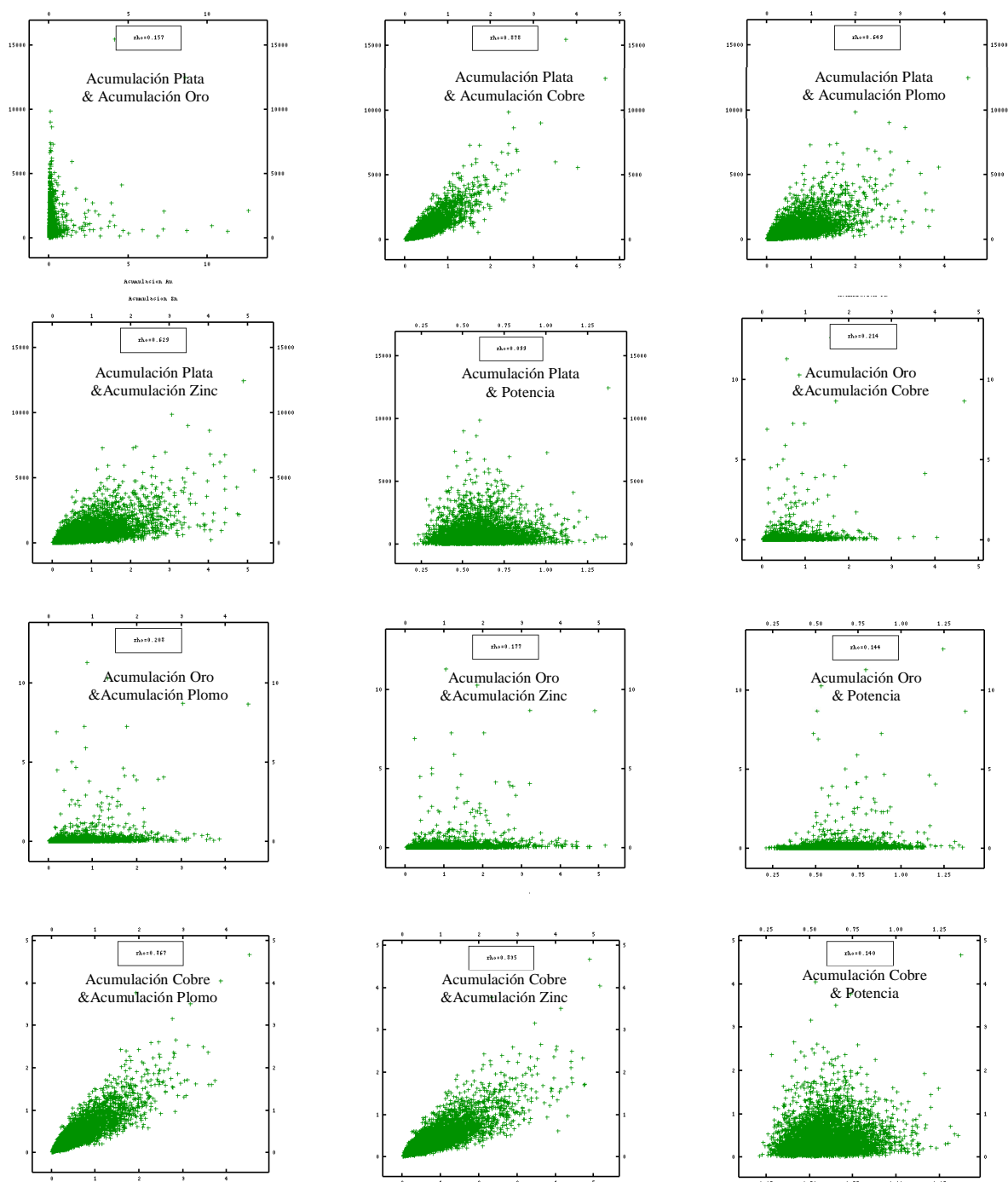
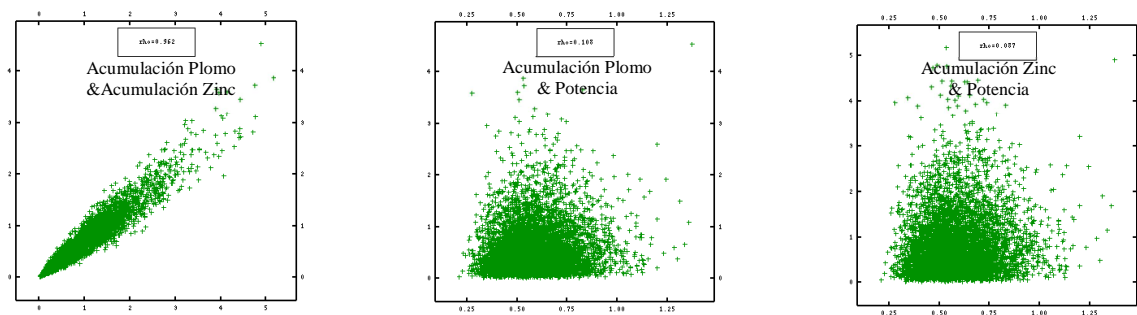


Figura 35. Histogramas de leyes obtenidos con el modelo Gaussiano discreto.

#### 4.9.5. Nubes de correlación de potencia y acumulaciones (soporte de bloques)

Las nubes de correlación que se obtiene al aplicar el modelo de cambio de soporte, son los siguientes. Las formas de las nubes son similares a aquellos de los datos puntuales (Figura 20), aunque con menos dispersión debido al efecto suavizador del cambio de soporte.





**Figura 36. Nubes de correlación de potencias y acumulaciones a soporte de bloques 5x5 m obtenidas por el modelo Gaussiano discreto.**

#### 4.9.6. Matriz de correlación de potencia y acumulaciones (soporte de bloques)

Las correlaciones entre variables a soporte de bloques obtenidas por el modelo Gaussiano discreto se expresan en la siguiente matriz de correlación, en donde se aprecia una fuerte correlación entre las acumulaciones de Ag-Cu, Cu-Pb, Cu-Zn y Pb-Zn.

VARIABLE	Acumulación					Potencia
	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	
Acumulación Ag	1,00	0,16	0,88	0,66	0,64	0,10
Acumulación Au	0,16	1,00	0,22	0,22	0,19	0,15
Acumulación Cu	0,88	0,22	1,00	0,88	0,84	0,15
Acumulación Pb	0,66	0,22	0,88	1,00	0,97	0,12
Acumulación Zn	0,64	0,19	0,84	0,97	1,00	0,10
Potencia	0,10	0,15	0,15	0,12	0,10	1,00

**Tabla 14. Matriz de correlación de soporte de bloques de potencia y acumulaciones de veta polimetálica obtenidas con el modelo Gaussiano discreto.**



## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE SOPORTE

### 5.1. Validación de distribución a soporte de bloques

La validación se realiza comparando la distribución del escenario real (obtenido por rebloqueo de una cosimulación) contra la distribución obtenida por el modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto). Ambas distribuciones están a soporte de bloques de 5x5 m y la validación se ejecuta por medio de análisis de gráficos “cuantil contra cuantil” e histogramas.

#### 5.1.1. Gráficos cuantiles contra cuantiles (QQ plot)

Al comparar distribuciones, se obtiene:

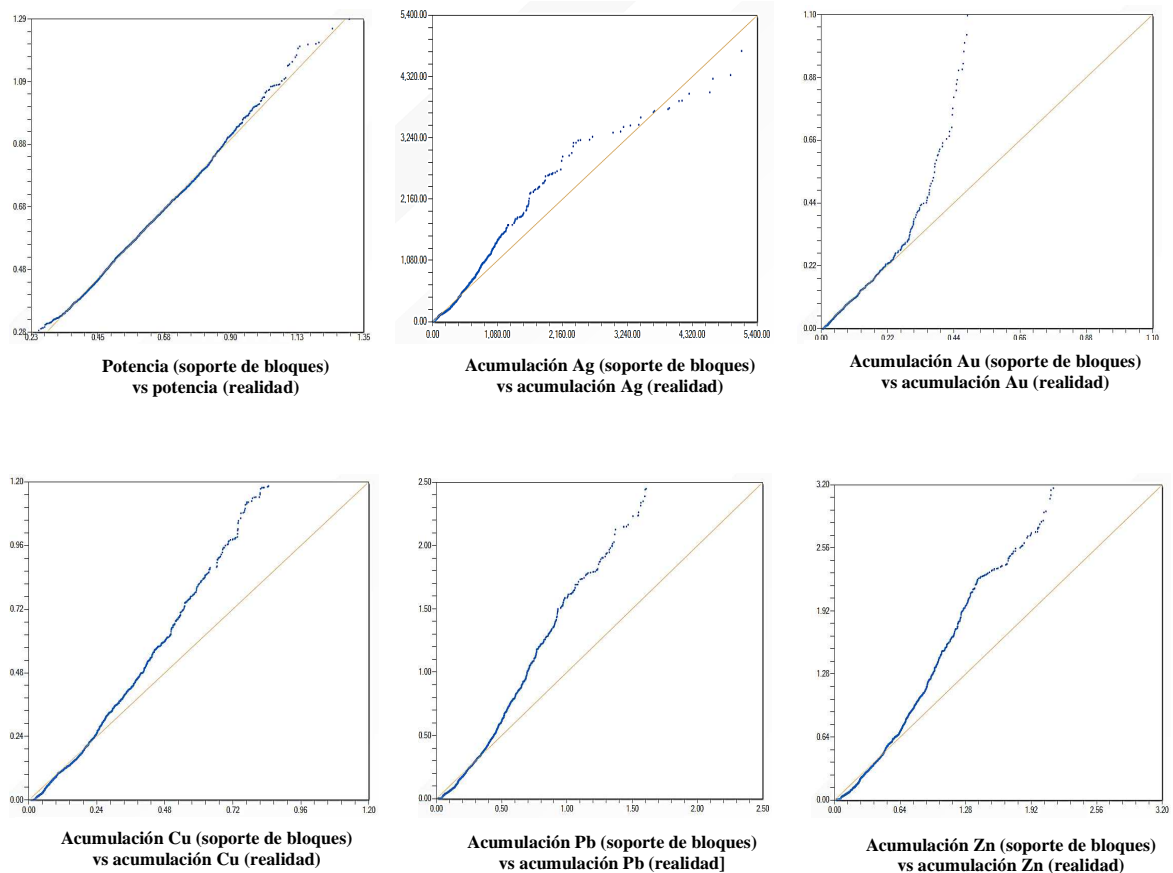


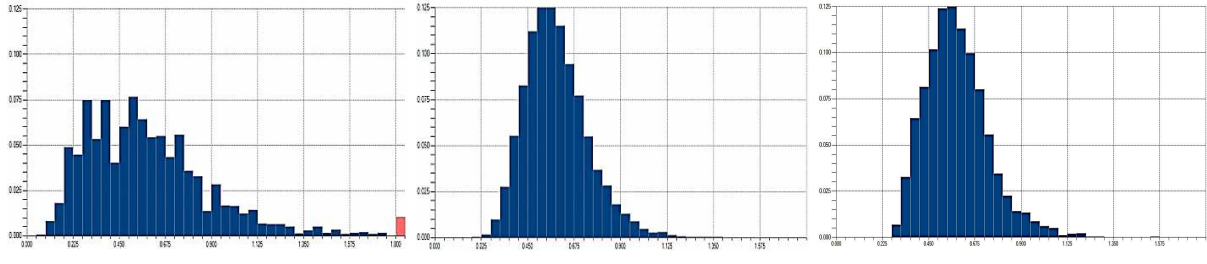
Figura 37. Gráficos Q-Qplot de distribuciones a soporte de bloques (ordenada) y realidad de soporte de bloques (abscisa).

### 5.1.2. Histogramas

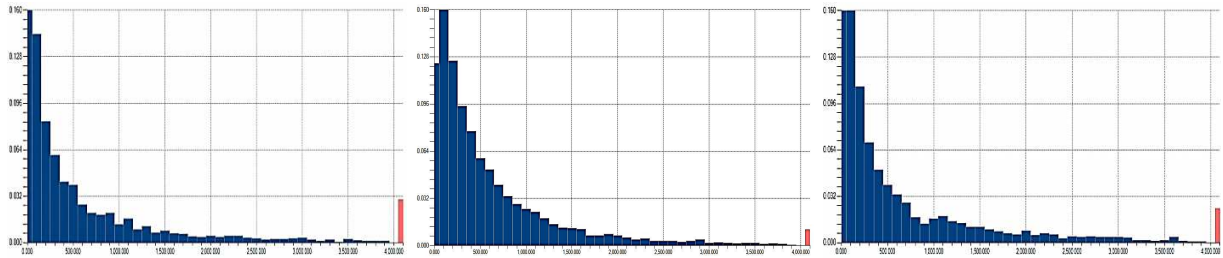
Soporte Puntual

Soporte de bloques  
(modelo Gaussiano  
discreto 5x5 m)

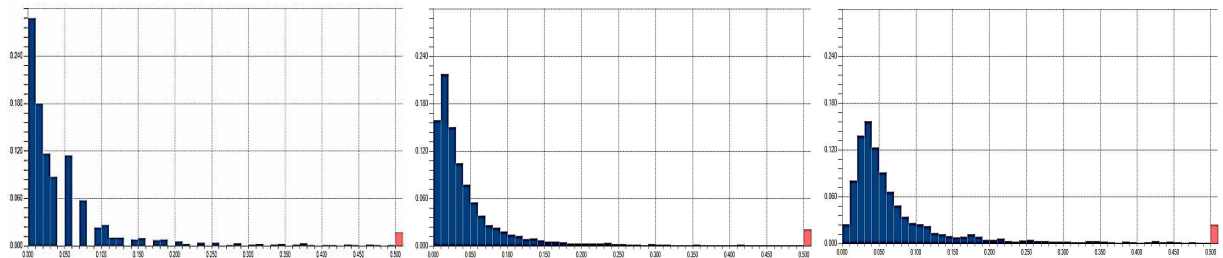
Escenario real  
(rebloqueo de una  
cosimulación)



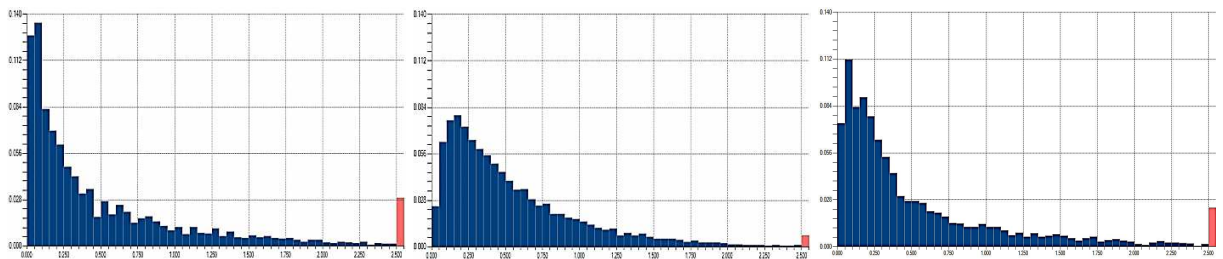
Potencia



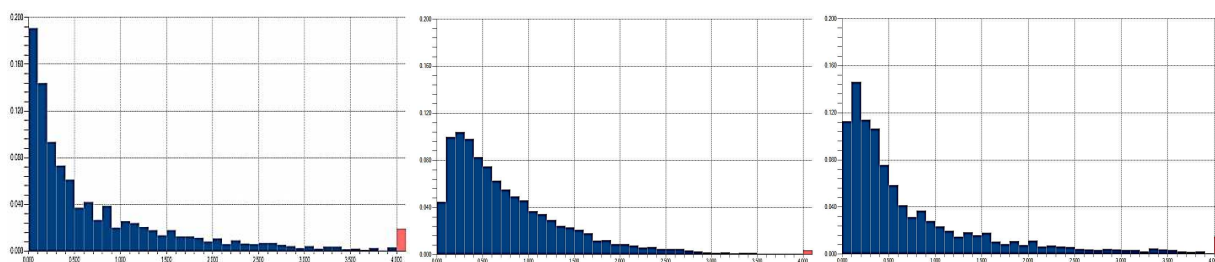
Acumulación Plata



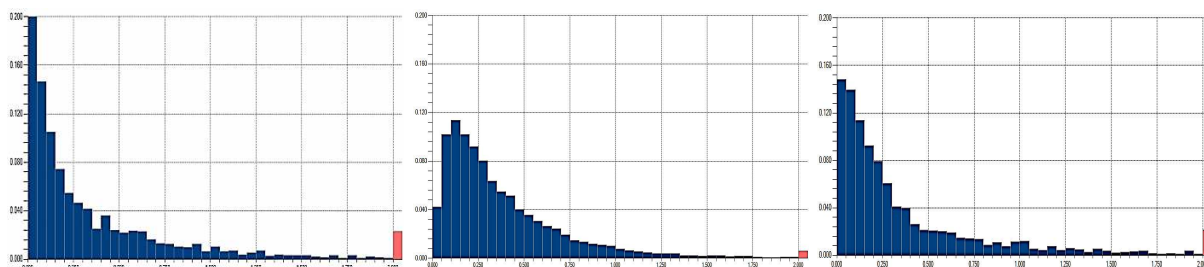
Acumulación Oro



Acumulación Plomo



Acumulación Zinc



Acumulación Cobre

Figura 38. Comparación de histogramas a soporte puntual, de bloques (modelo Gaussiano discreto) y realidad (cosimulación y rebloqueo).

Existen discrepancias entre el modelo Gaussiano discreto y cosimulación del rebloqueo. Sin embargo, las discrepancias son mucho menores que con las distribuciones puntuales, entonces se acepta el modelo.

## 5.2. Efecto de soporte

En este capítulo se observa efecto del cambio de soporte, entre los datos puntuales y las distribuciones obtenidas a soporte de bloques con el modelo Gaussiano discreto.

### 5.2.1. Estadísticas Básicas

De las estadísticas básicas de las acumulaciones y potencia a soporte puntual y de bloque (obtenida por modelo Gaussiano discreto), se desprende que las medias prácticamente no varían con el cambio de soporte. En efecto:

Variable	Acumulación Ag $\left[\frac{g}{t} \times m\right]$	Acumulación Au $\left[\frac{g}{t} \times m\right]$	Acumulación Pb $[\% \times m]$	Acumulación Zn $[\% \times m]$	Acumulación Cu $[\% \times m]$	Potencia $[m]$
Media SP	680,951	0,090	0,548	0,792	0,387	0,587
Media SB	682,827	0,090	0,552	0,795	0,389	0,587

Tabla 15. Tabla comparativa de medias obtenidas a soporte puntual y de bloques (modelo Gaussiano discreto). En donde SP (soporte puntual) y SB (soporte de bloques).

Es decir, la diferencia entre las medias es mínima, con lo que se considera que el cambio de soporte no modifica las medias.

Respecto a la desviación estándar, éstas disminuyen con el cambio de soporte, es decir:

Variable	Acumulación Ag $\left[\frac{g}{t} \times m\right]$	Acumulación Au $\left[\frac{g}{t} \times m\right]$	Acumulación Pb $[\% \times m]$	Acumulación Zn $[\% \times m]$	Acumulación Cu $[\% \times m]$	Potencia $[m]$
Desviación estándar SP	1609,399	0,529	0,727	1,022	0,612	0,330
Desviación estándar SB	856,635	0,467	0,491	0,685	0,367	0,151

Tabla 16. Tabla comparativa de desviaciones estándar a soporte puntual y de bloques, en donde SP (soporte puntual) y SB (soporte de bloques).

Se observa que la desviación estándar disminuye al realizar el cambio de soporte, generando que las variables tengan menos dispersión a soporte de bloques que a puntual.

Las estadísticas básicas de las leyes a soporte puntual y de bloques son:

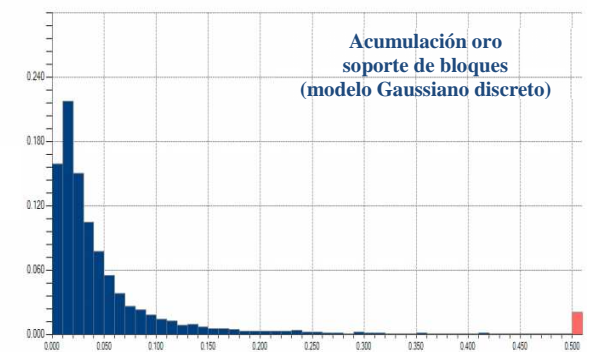
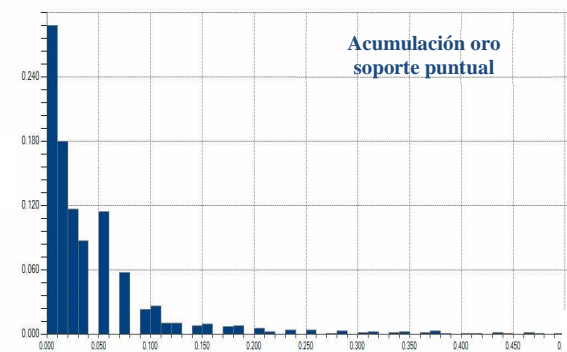
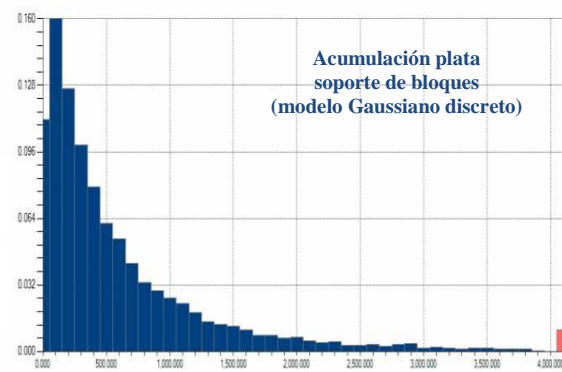
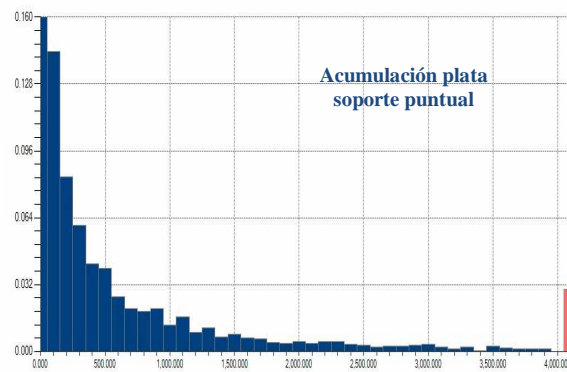
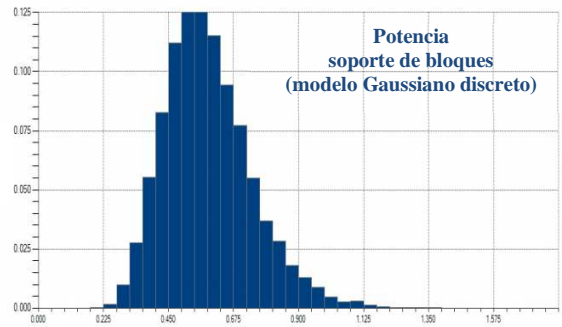
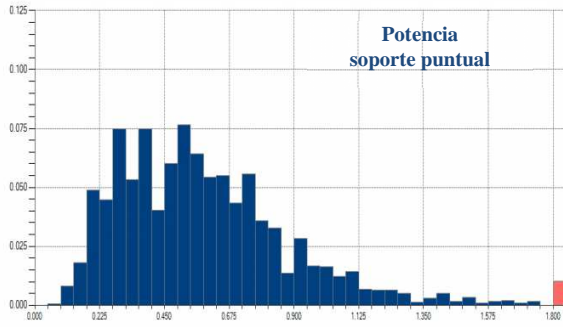
VARIABLE		Ley Ag [g/t]	Ley Au [g/t]	Ley Pb [%]	Ley Zn [%]	Ley Cu [%]
Media	SP	1092,865	0,164	0,945	1,371	0,644
	SB	1203,481	0,142	0,982	1,420	0,685
Mínimo	SP	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	SB	7,946	0,000	0,010	0,017	0,009
Máximo	SP	31294,000	45,675	8,725	13,308	8,878
	SB	20905,598	19,658	12,747	14,108	8,399
Desviación Estándar	SP	2196,356	1,120	1,116	1,606	0,836
	SB	1495,479	0,679	0,906	1,281	0,654

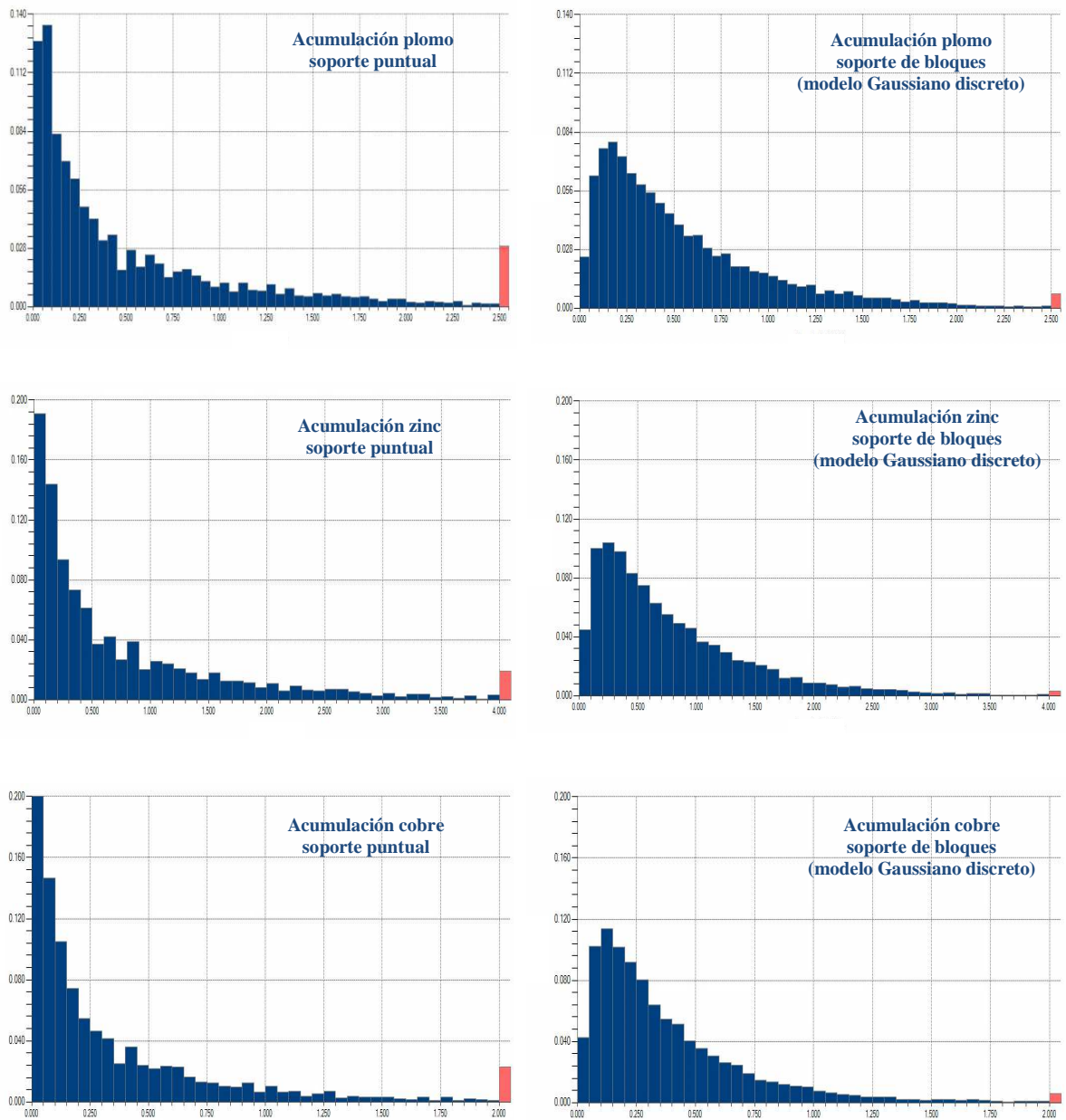
Tabla 17. Comparación de leyes, en donde SP (Soporte Puntual) y SB (soporte de bloques).

La diferencia entre las medias es mínima (no mayor a un 15%), indicativo que el cambio de soporte no varía las medias. La desviación estándar disminuye, lo que genera que las distribuciones a soporte de bloques tengan menos dispersión que los datos puntuales.

### 5.2.2. Histogramas

Los histogramas a soporte puntual y de bloques de las acumulaciones y potencia se aprecian en las siguientes figuras. Se observa que el cambio de soporte tiene un efecto de simetrización de las distribuciones, además de una disminución de la dispersión.





**Figura 39. Histogramas de potencia y acumulaciones a soporte puntual (izquierda) y de bloque (derecha).**

Los histogramas a soporte puntual tienen mayor dispersión respecto a los histogramas con soporte de bloques, esa dispersión se puede ver claramente en la acumulación de oro y potencia, los otros casos se ve en menor medida. El cambio de soporte genera una disminución en el rango y en la dispersión de los histogramas, manteniendo las medias, tal como se pudo ver en las estadísticas básicas.

### 5.2.3. Correlación

De las nubes de correlación obtenidas el capítulo de 4.4.3 (Nubes de correlación de potencia y acumulaciones a soporte puntual) y las del capítulo 4.9.5 (Nubes de correlación de potencia y acumulaciones a soporte de bloques), se observa que el cambio de soporte mejora la correlación. En efecto, al comparar matrices de correlación, se tiene:

VARIABLE	Acumulación					Potencia
	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	
Acumulación Ag	1	0,09	0,9	0,65	0,6	0,2
Acumulación Au	0,09	1	0,11	0,13	0,13	0,05
Acumulación Cu	0,9	0,11	1	0,84	0,79	0,28
Acumulación Pb	0,65	0,13	0,84	1	0,95	0,29
Acumulación Zn	0,6	0,13	0,79	0,95	1	0,29
Potencia	0,2	0,05	0,28	0,29	0,29	1

Tabla 18. Matriz de correlación de potencia y acumulaciones de veta polimetálica (Soporte Puntual).

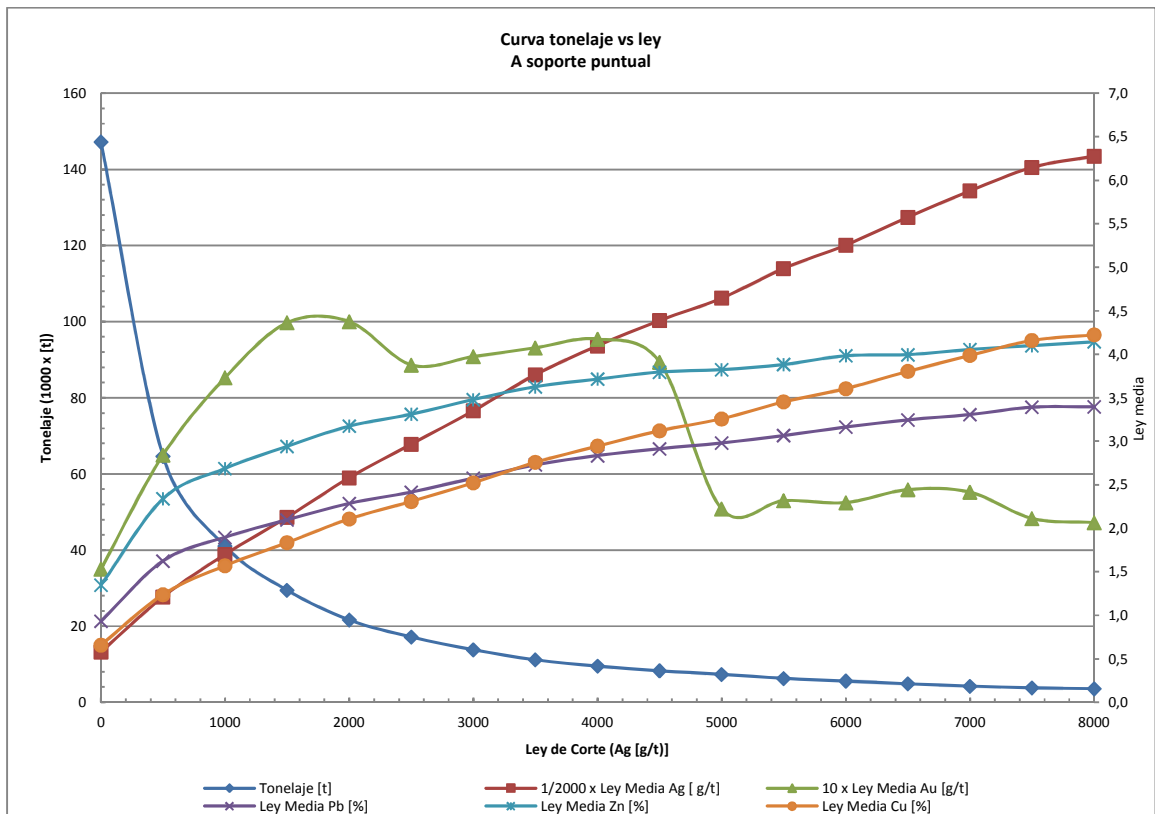
VARIABLE	Acumulación					Potencia
	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	
Acumulación Ag	1	0,16	0,88	0,66	0,64	0,10
Acumulación Au	0,16	1	0,22	0,22	0,19	0,15
Acumulación Cu	0,88	0,22	1	0,88	0,84	0,15
Acumulación Pb	0,66	0,22	0,88	1	0,97	0,12
Acumulación Zn	0,64	0,19	0,84	0,97	1	0,10
Potencia	0,10	0,15	0,15	0,12	0,10	1

Tabla 19. Matriz de correlación de soporte de bloques de potencia y acumulaciones de veta polimetálica obtenidas en modelo Gaussiano discreto.

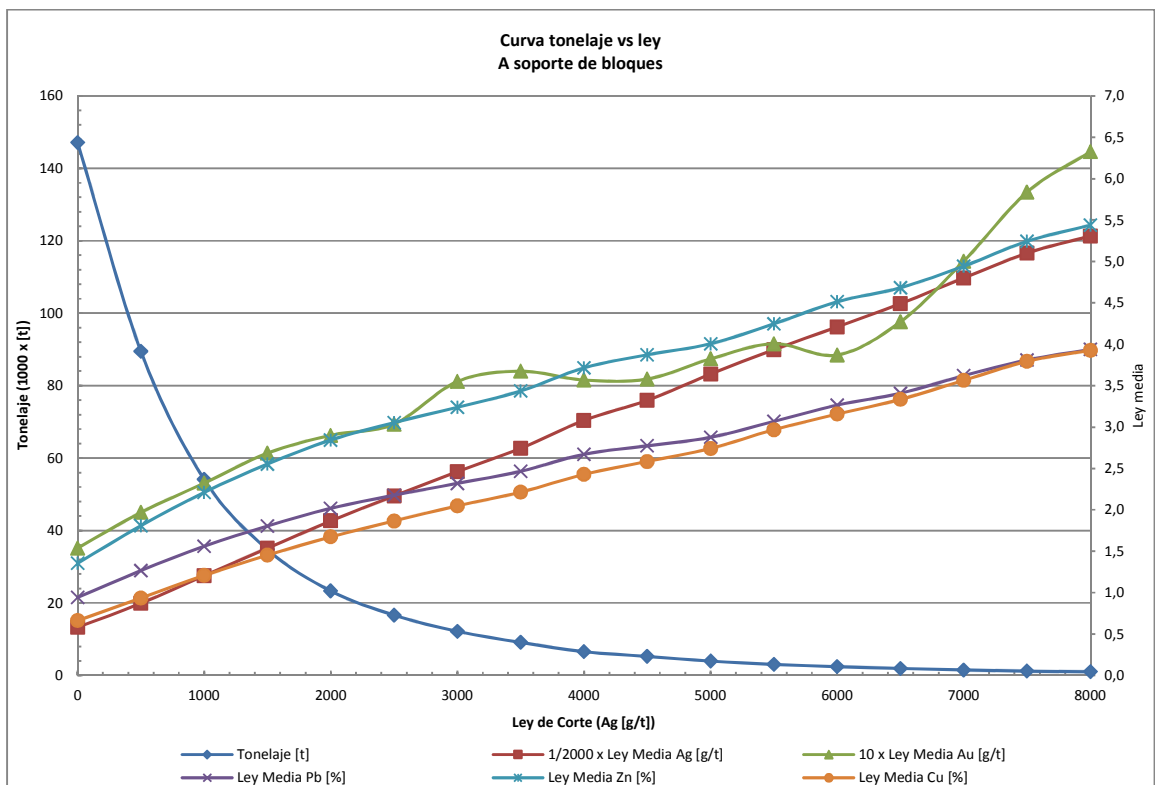
La correlación entre las acumulaciones aumenta al realizar el cambio de soporte, sin embargo la correlación entre potencia y acumulaciones disminuye.

### 5.2.4. Curvas tonelaje-ley

A continuación, se muestran las curvas tonelaje-ley a soporte puntual (datos originales) y de bloques (obtenidas del modelo Gaussiano discreto) para las leyes de los elementos de interés, considerando la ley de plata para la ley de corte. Las curvas obtenidas se detallan a continuación.



**Figura 40. Curvas tonelaje-ley a soporte puntual.**



**Figura 41. Curvas tonelaje-ley a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).**



La comparación de cambio de soporte, se puede visualizar en las siguientes curvas tonelaje-ley, que comparan directamente las leyes medias obtenidas de los datos puntuales, contra las obtenidas por el modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto).

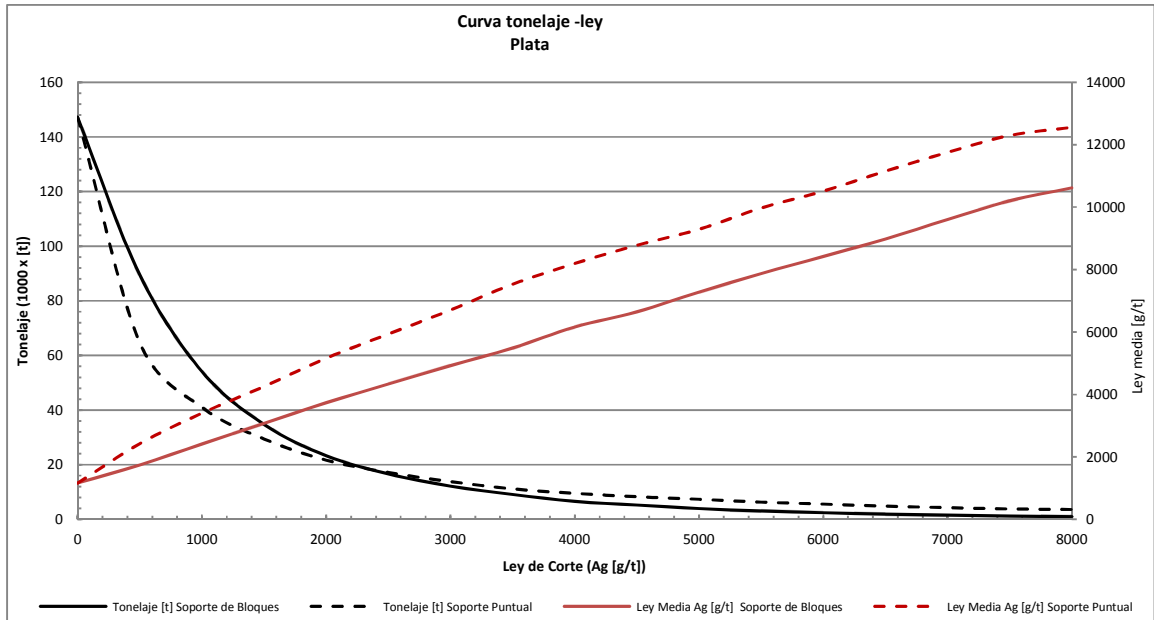


Figura 42. Comparación de tonelaje y leyes medias de Ag obtenidas a soporte puntual y de bloques.

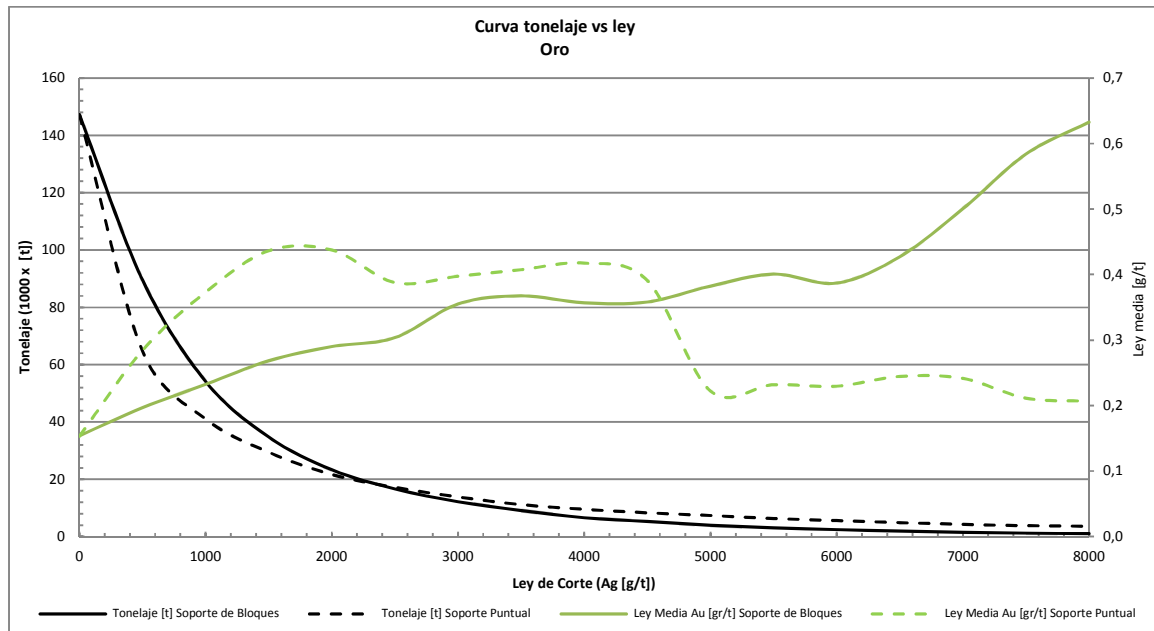
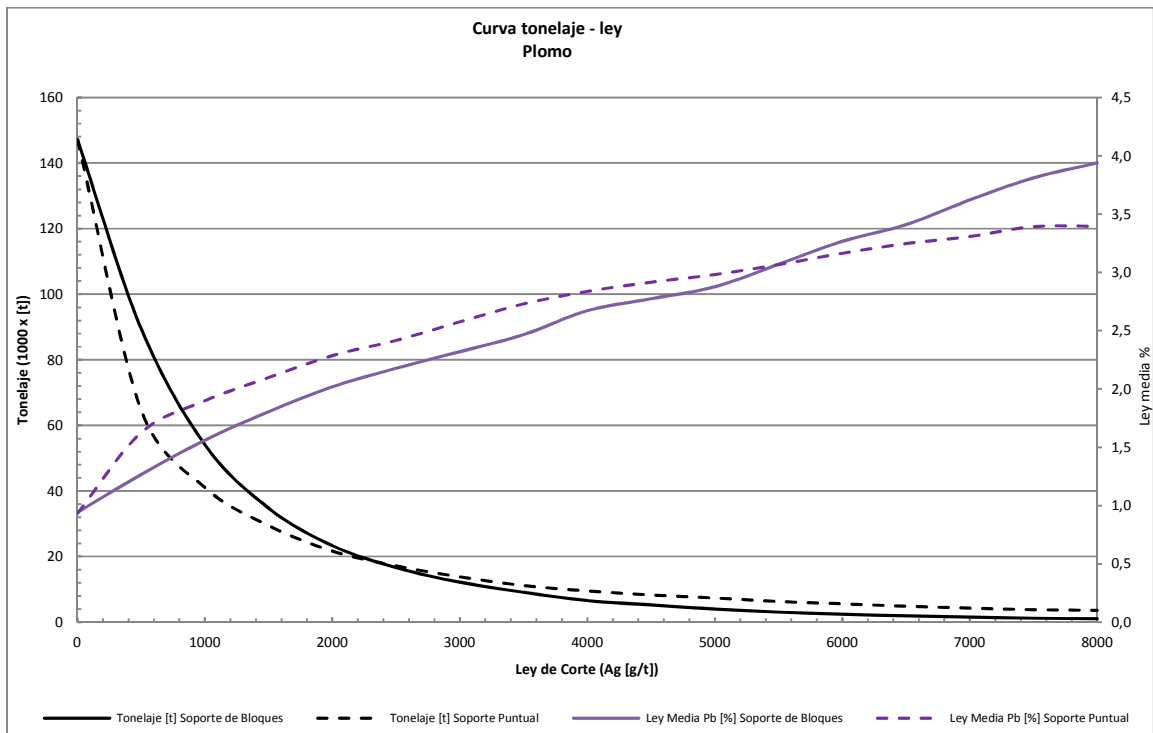
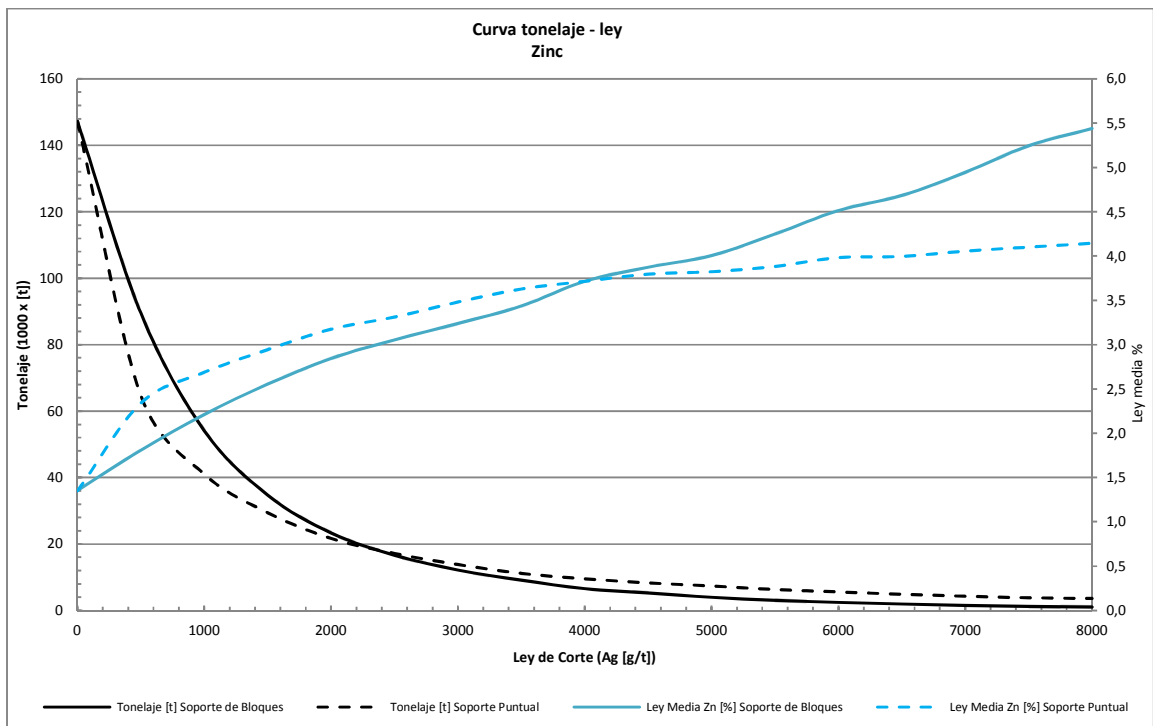


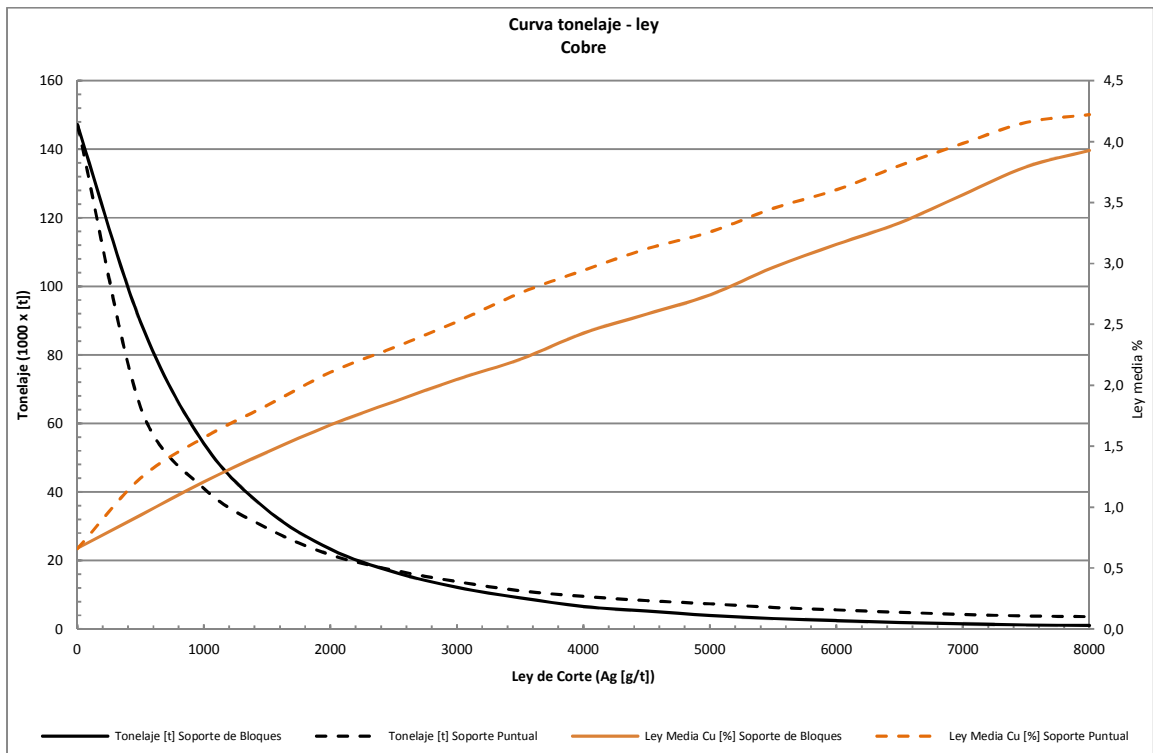
Figura 43. Comparación de tonelaje y leyes medias de Au obtenidas a soporte puntual y de bloques.



**Figura 44. Comparación de tonelaje y leyes medias de Pb obtenidas a soporte puntual y de bloques.**



**Figura 45. Comparación de tonelaje y leyes medias de Zn obtenidas a soporte puntual y de bloques.**



**Figura 46. Comparación de tonelaje y leyes medias de Cu obtenidas a soporte puntual y de bloques.**

Cabe notar que las leyes medias a soporte puntual, tienen una mayor pendiente para leyes de corte baja (cerca del origen), las que a cierta ley de corte crítica, se genera un punto de inflexión, disminuyendo rápidamente el valor de leyes medias. En cambio, las leyes medias obtenidas para soporte de bloques, tienen un comportamiento más lineal, sin cambios bruscos como ocurre con los datos puntuales.

Respecto del tonelaje, se tiene generalmente menos tonelaje a soporte puntual, sin embargo, para leyes de corte altas, el tonelaje a soporte puntual es ligeramente mayor.

Considerando tres leyes de corte de la plata de 500, 1000 y 1500 [g/t] se tiene:

Ley de corte (Ag)	500 [g/t]		1000 [g/t]		1500 [g/t]	
	Puntual	Bloque	Puntual	Bloque	Puntual	Bloque
<b>Tonelaje [t]</b>	64657	89509	41035	54124	29434	34746
<b>Ley Media Ag [g/t]</b>	2420	1740	3400	2420	4260	3080
<b>Ley Media Au [g/t]</b>	0,284	0,197	0,373	0,232	0,436	0,268
<b>Ley Media Pb [%]</b>	1,63	1,27	1,9	1,56	2,1	1,81
<b>Ley Media Zn [%]</b>	2,34	1,81	2,69	2,21	2,94	2,55
<b>Ley Media Cu [%]</b>	1,24	0,94	1,57	1,21	1,84	1,45

**Tabla 20. Comparación de tonelaje y leyes medias bajo leyes de corte de 500, 1000 y 1500 [g/t].**

En la tabla anterior se aprecia el efecto de soporte, en donde a soporte de bloques (obtenida por el modelo Gaussiano discreto) se obtiene un mayor tonelaje y las leyes medias más bajas.

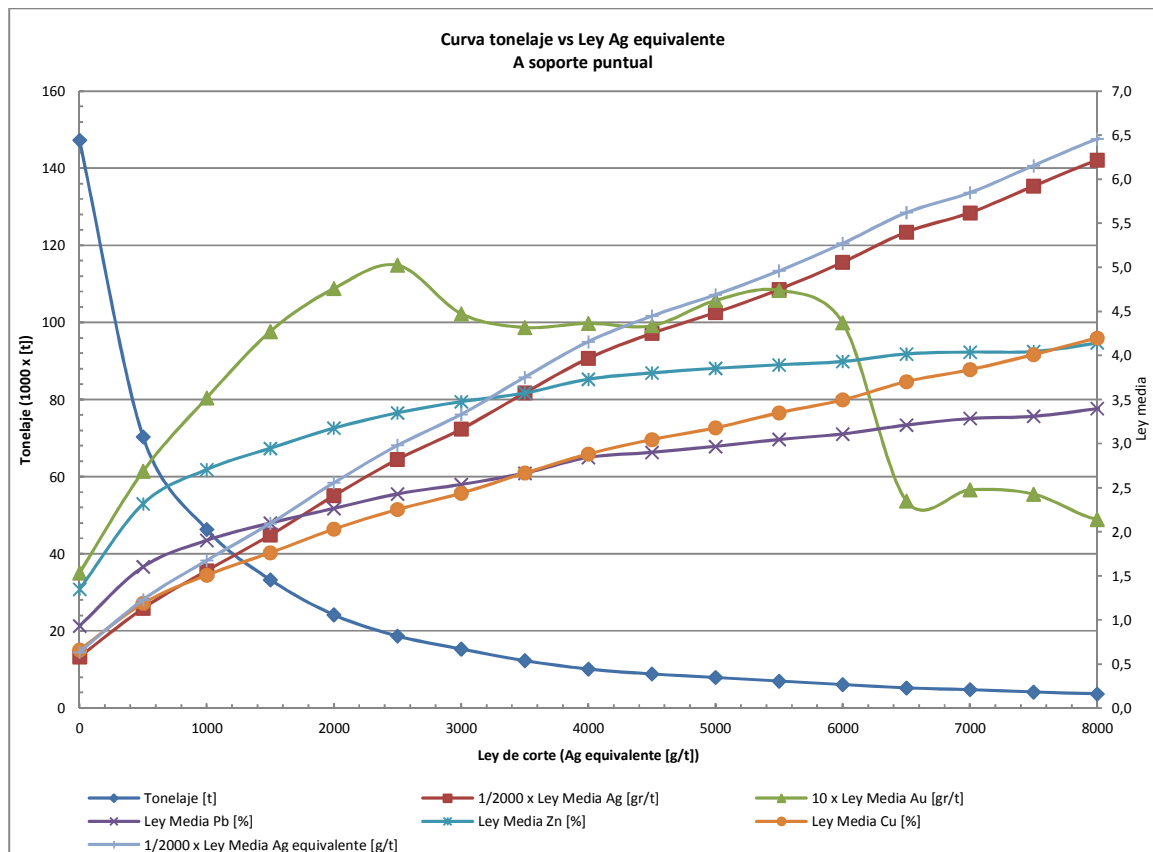
### 5.2.5. Curva tonelaje – Ley de Ag equivalente

La ley de plata equivalente, queda definida como:

$$Ley_{Ag\text{equivalente}} = Ley_{Ag} + 31,16 Ley_{Au} + 34,33 Ley_{Pb} + 255,95 Ley_{Zn} + 61,07 Ley_{Cu}$$

En donde los diferentes coeficientes han sido definidos en base a precios de commodities y costos de procesamiento.

Las curvas al considerar una ley de Ag equivalente como ley de corte, son las siguientes (ver en anexos 8.6 datos y parámetros utilizados).



**Figura 47. Curva tonelaje-ley Ag equivalente, a soporte puntual.**

En la curva tonelaje-ley Ag equivalente anterior, se aprecia las leyes medias de los elementos más la ley media de la plata equivalente.

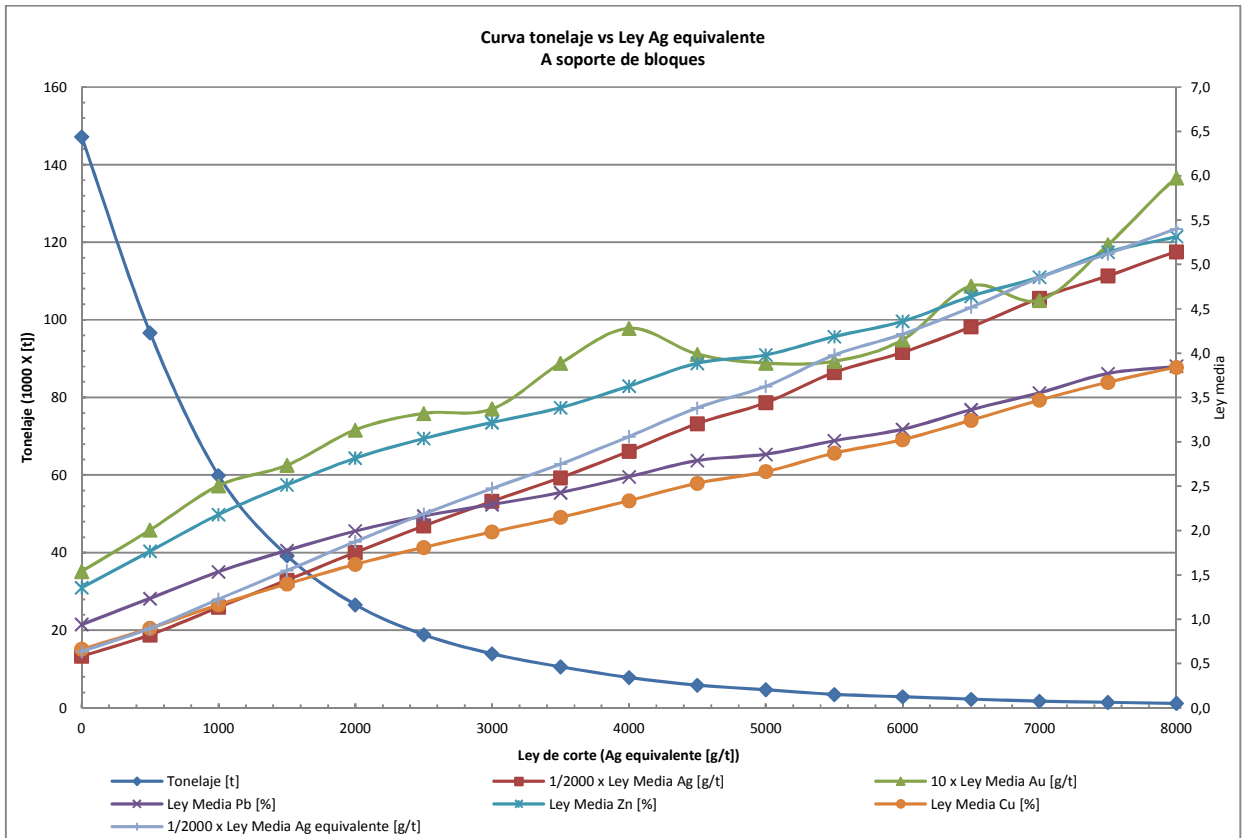


Figura 48. Curva tonelaje-ley Ag equivalente a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).

El efecto de soporte que se genera en las leyes medias y tonelaje de las curvas anteriores, se aprecia en las siguientes figuras.

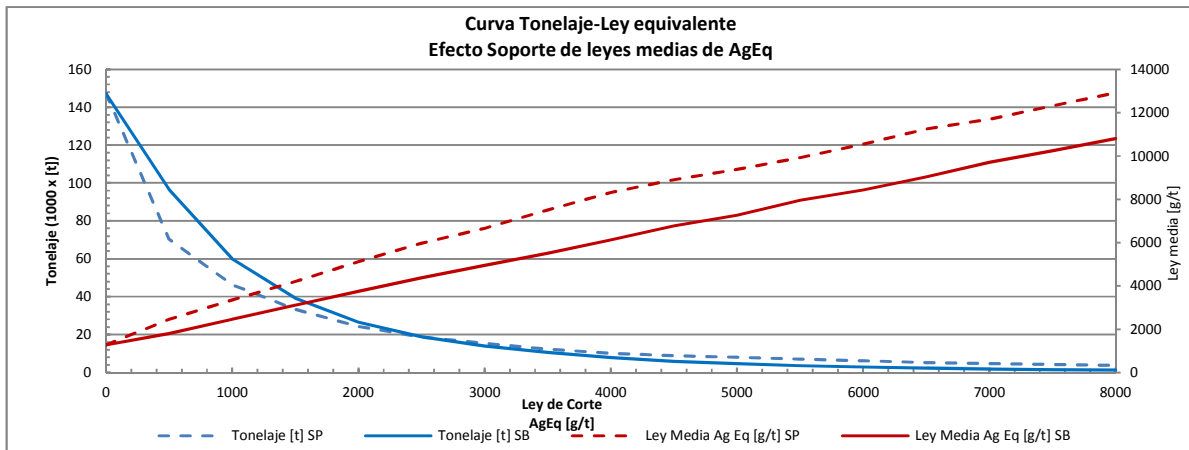
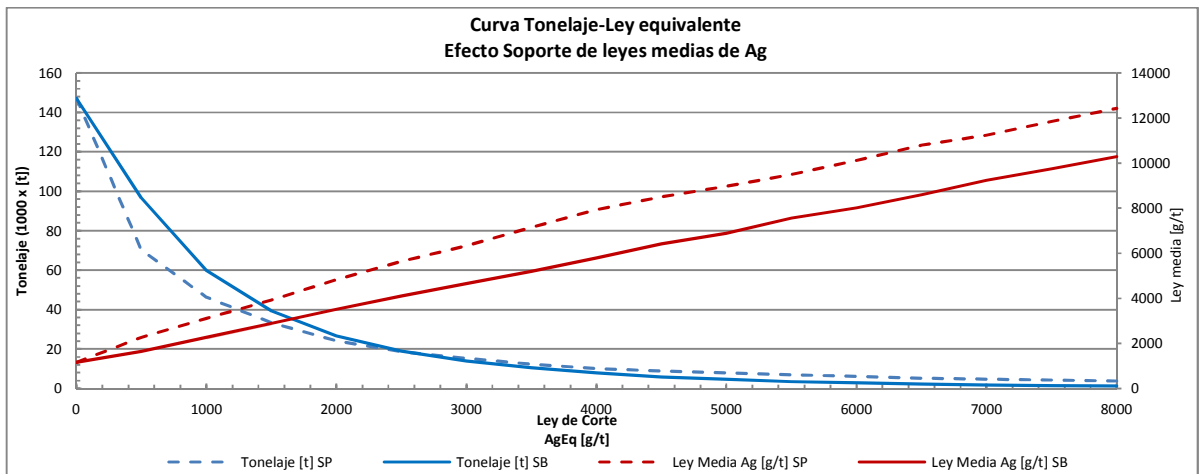
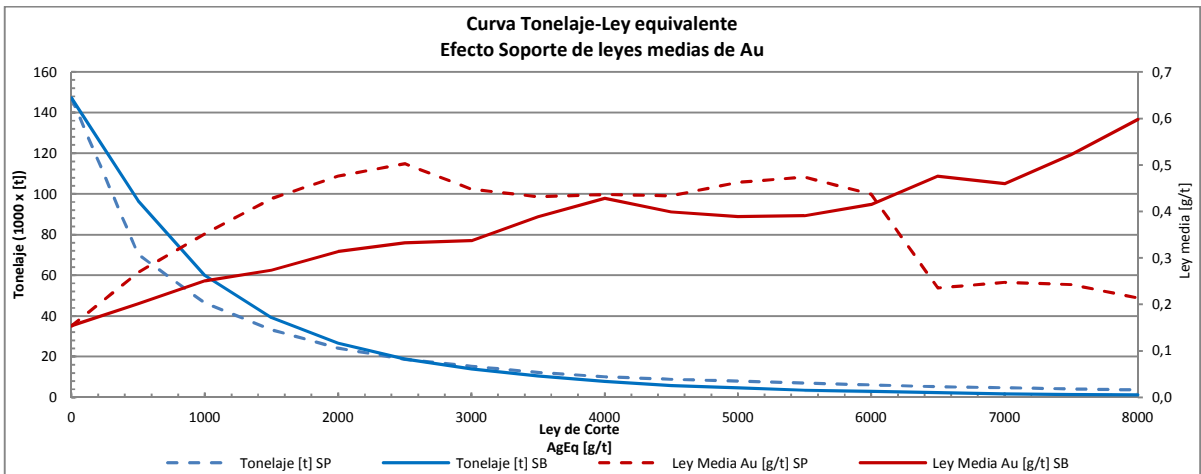


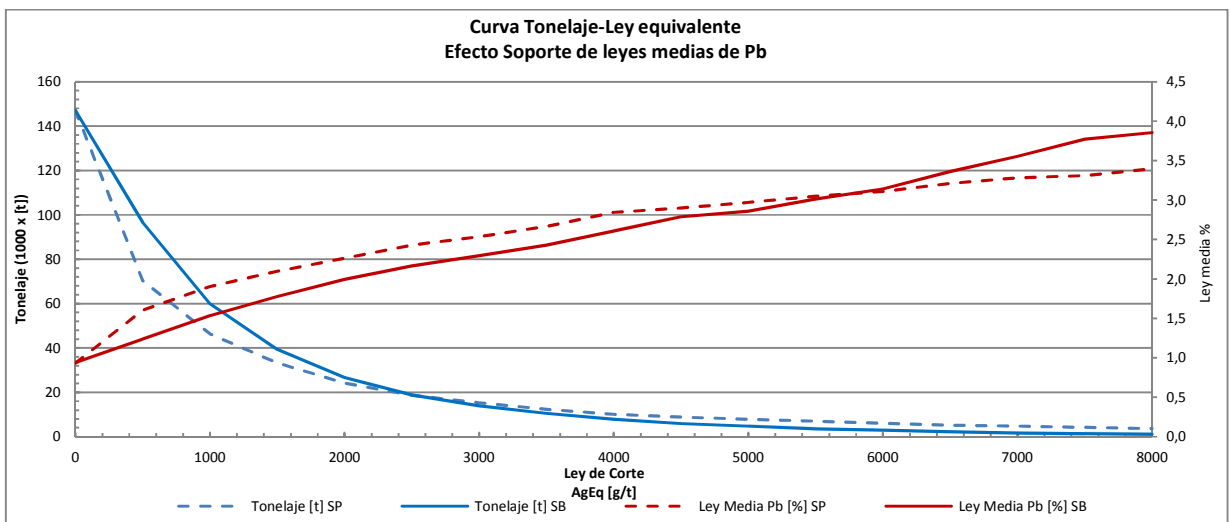
Figura 49. Comparación de leyes medias de Ag equivalente, obtenidas a soporte puntual y de bloques.



**Figura 50. Comparación de leyes medias de Ag, obtenidas a soporte puntual y de bloques.**



**Figura 51. Comparación de leyes medias equivalentes de Au, obtenidas a soporte puntual y de bloques.**



**Figura 52. Comparación de leyes medias equivalentes de Pb, obtenidas a soporte puntual y de bloques.**

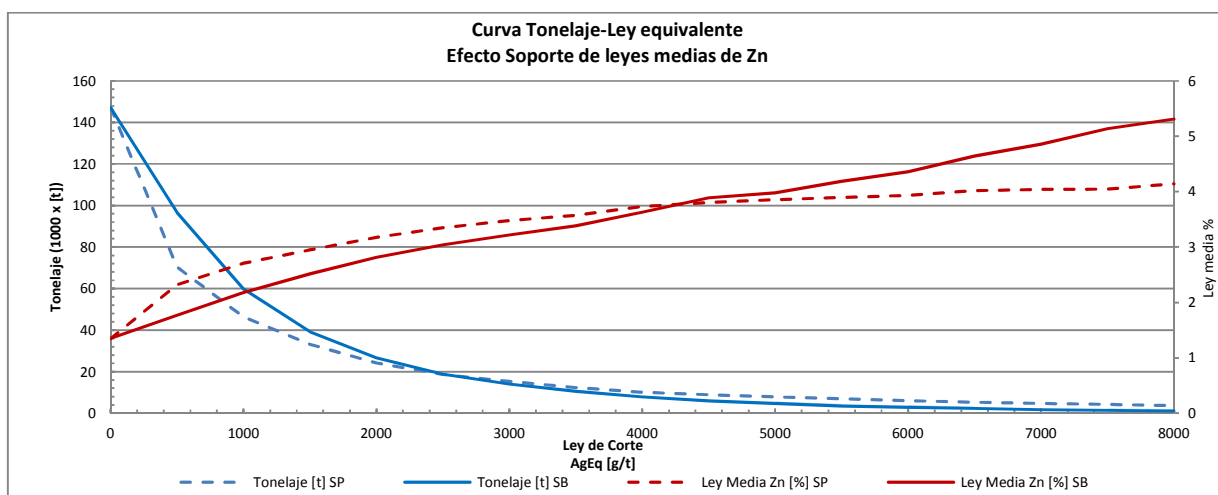


Figura 53. Comparación de leyes medias equivalentes de Zn, obtenidas a soporte puntual y de bloques.

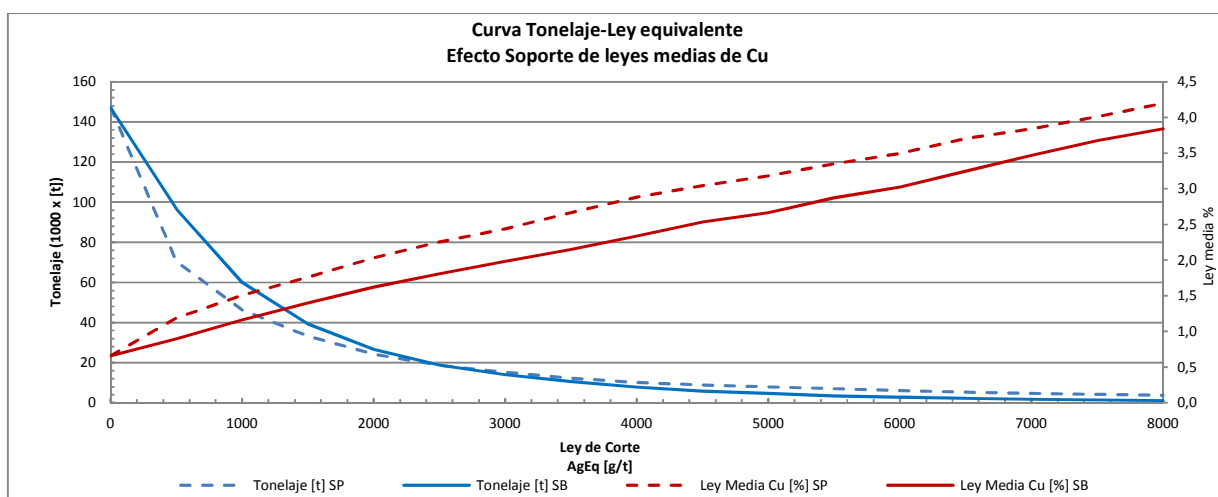


Figura 54. Comparación de leyes medias equivalentes de Cu, obtenidas a soporte puntual y de bloques.

Se tiene los siguientes resultados al considerar tres leyes de corte de plata equivalente: 500, 1000 y 1500 [g/t].

Ley de Corte ( $Ag_{eq}$ )	500 [g/t]		1000 [g/t]		1500 [g/t]	
	Puntual	Bloques	Puntual	Bloques	Puntual	Bloques
<b>Tonelaje [t]</b>	70332	96665	46341	59914	33270	39276
<b>Ley Media Ag Equivalente [g/t]</b>	2456,62	1794,32	3349,69	2453,61	4189,30	3098,06
<b>Ley Media Ag [g/t]</b>	2264,10	1647,71	3115,16	2268,95	3924,22	2881,88
<b>Ley Media Au [g/t]</b>	0,271	0,20	0,35	0,25	0,43	0,27
<b>Ley Media Pb [%]</b>	1,60	1,23	1,90	1,53	2,10	1,78

<b>Ley Media Zn [%]</b>	2,32	1,77	2,71	2,18	2,95	2,51
<b>Ley Media Cu [%]</b>	1,19	0,90	1,51	1,16	1,76	1,40

**Tabla 21. Comparación del efecto de soporte generado en tonelaje y leyes medias a tres leyes de corte de la plata equivalente (500, 1000 y 1500 [g/t]).**

Análogamente al caso anterior (ley de corte Ag) en las curvas tonelaje-ley Ag equivalente, el cambio de soporte genera que las leyes medias tiendan a ser más bajas a soporte de bloques. En donde se observa una mayor pendiente en las leyes medias a soporte puntual en valores cerca del origen, las que rápidamente se estabilizan para tener una tendencia aproximadamente lineal.

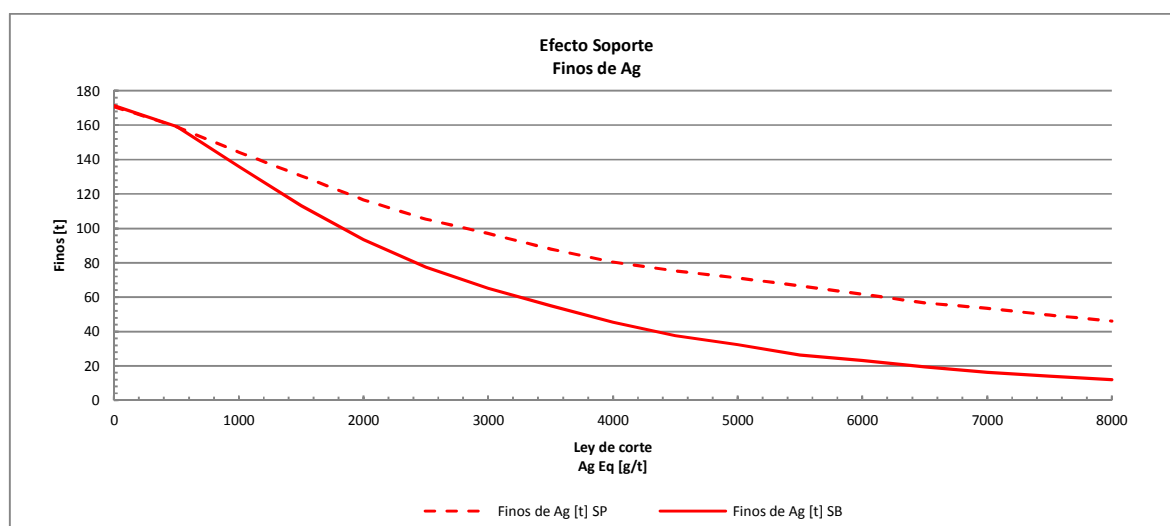
El tonelaje es mayor a soporte de bloques, tendencia que cambia para leyes de corte altas de la plata equivalente (aproximadamente por sobre los 2500 [g/t]).

Se torna importante estudiar el comportamiento de los finos al cambiar de soporte, lo que se verá en el siguiente capítulo.

#### 5.2.6. Curva metal (fino) vs Ley Ag equivalente

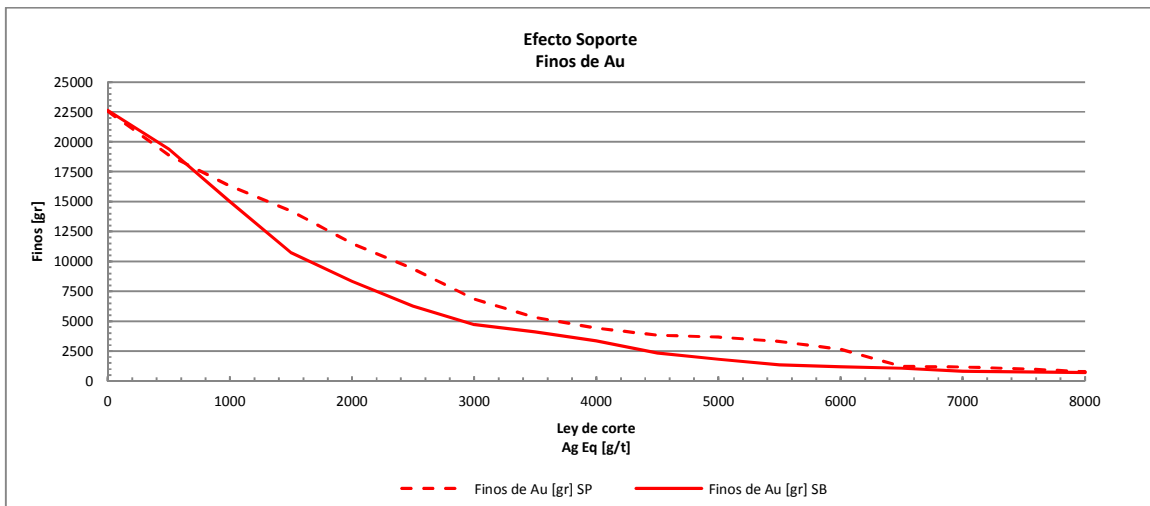
Las curvas tonelaje-ley Ag equivalente, se pueden visualizar considerando finos, que es una medida de comparación directa, para posteriores cálculos económicos, como lo son el beneficio, utilidades, etc.

Los finos se expresan respecto del tonelaje. A modo de ver el efecto soporte que se genera en los finos (ver en anexos 9.8 los datos utilizados), las figuras obtenidas son:

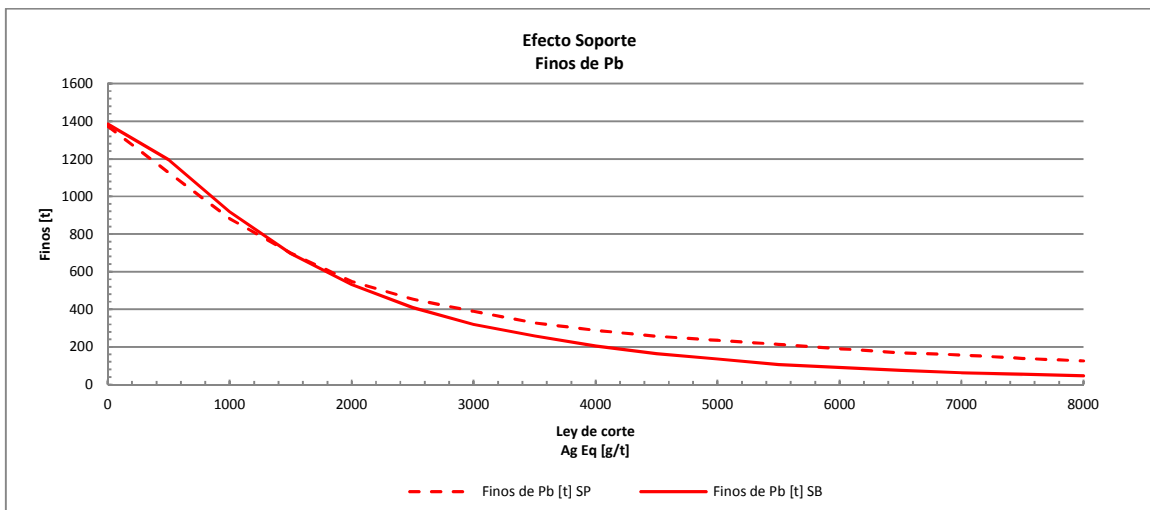


**Figura 55. Comparación de efecto de soporte para finos de Ag.**

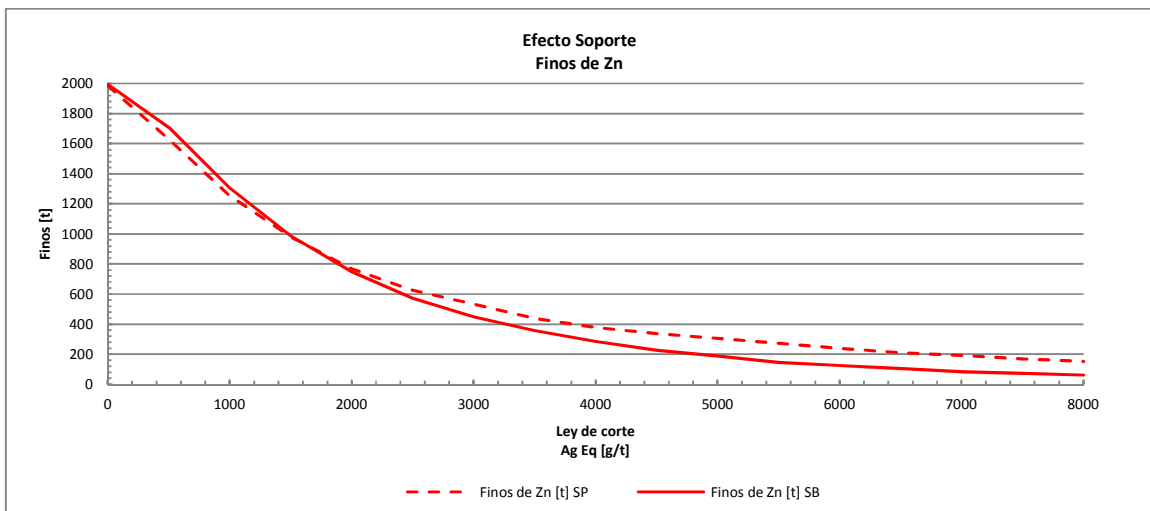




**Figura 56. Comparación de efecto de soporte para finos de Au.**



**Figura 57. Comparación de efecto de soporte para finos de Pb.**



**Figura 58. Comparación de efecto de soporte para finos de Zn.**

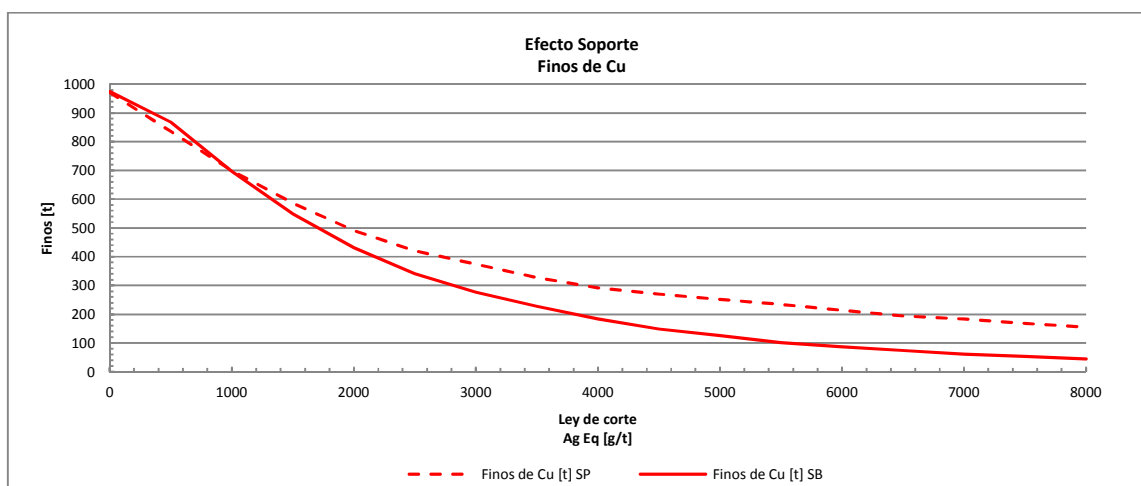


Figura 59. Comparación de efecto de soporte para finos de Cu.

Al considerar varias leyes de corte de plata equivalente (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 [g/t]) se tiene:

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques</b>
<b>Lc Ag eq [g/t]</b>	<b>Fino Ag [t]</b>	<b>Fino Ag [t]</b>	<b>Fino Au [gr]</b>	<b>Fino Au [gr]</b>	<b>Fino Cu [t]</b>	<b>Fino Cu [t]</b>
0	170,76	171,23	22559,85	22640,54	971,11	974,94
500	159,24	159,28	18893,92	19397,29	836,03	868,34
1000	144,36	135,94	16305,97	15006,43	698,92	696,49
1500	130,56	113,19	14216,84	10746,90	586,18	549,00
2000	116,55	93,31	11513,47	8344,21	491,10	431,01
2500	105,38	77,43	9384,52	6265,53	420,86	341,51

Tabla 22. Finos Obtenidos a Distintos Soportes, bajo leyes de corte de la plata equivalente (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 [g/t]).

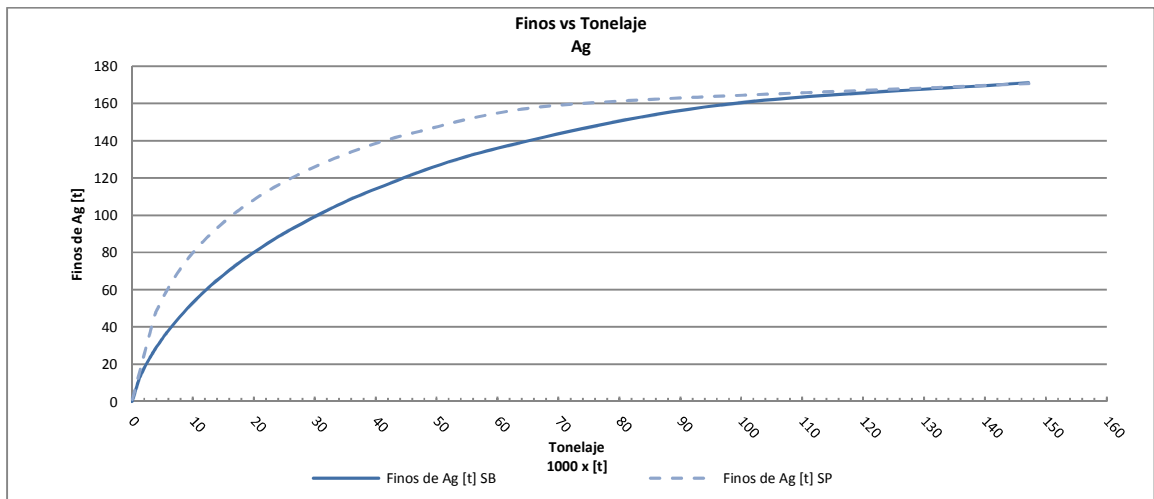
<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques</b>
<b>Lc Ag eq [g/t]</b>	<b>Fino Pb [t]</b>	<b>Fino Pb [t]</b>	<b>Fino Zn [t]</b>	<b>Fino Zn [t]</b>
0	1373,33	1385,00	1985,58	1993,46
500	1126,97	1193,45	1629,72	1708,20
1000	881,91	919,22	1254,28	1306,15
1500	698,31	697,44	980,71	987,64
2000	547,88	530,82	768,14	749,43
2500	453,90	408,16	625,70	573,05

Tabla 23. Finos obtenidos a distintos soportes, bajo leyes de corte de la plata equivalente (0, 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 [g/t]).

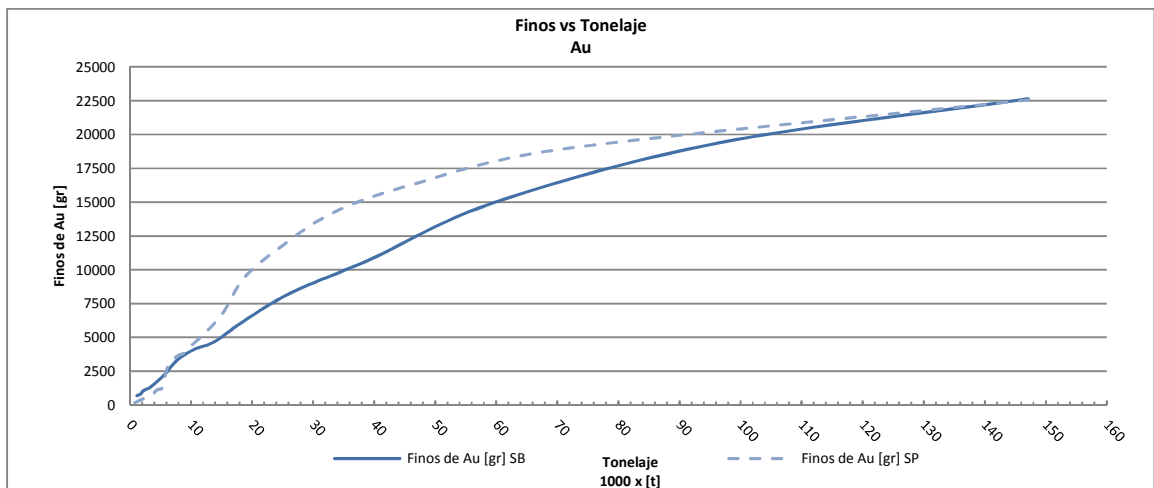
Como se pueden ver en las figuras y tablas anteriores, al considerar una ley de corte de la plata equivalente, el efecto de soporte genera que la cantidad de finos sean, en general, menores a soporte de bloques.

### 5.2.7. Curva metal (fino) vs tonelaje

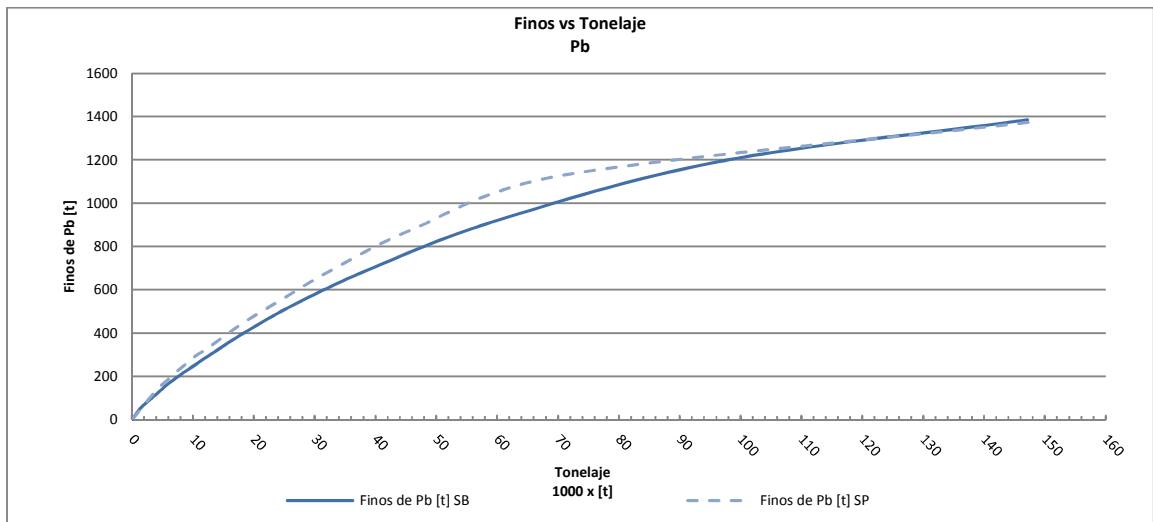
Análogamente a las curvar de finos vs ley Ag equivalente, para las curvas de finos vs tonelaje, se observa que las curva de finos a soporte de bloques está por debajo respecto a soporte puntual. Que es una manifestación del efecto soporte, en el cual se pierde selectividad, es decir, se recupera menos finos a partir del mismo tonelaje, debido a la dilución en los bloques. Esto se aprecia en las siguientes curvas.



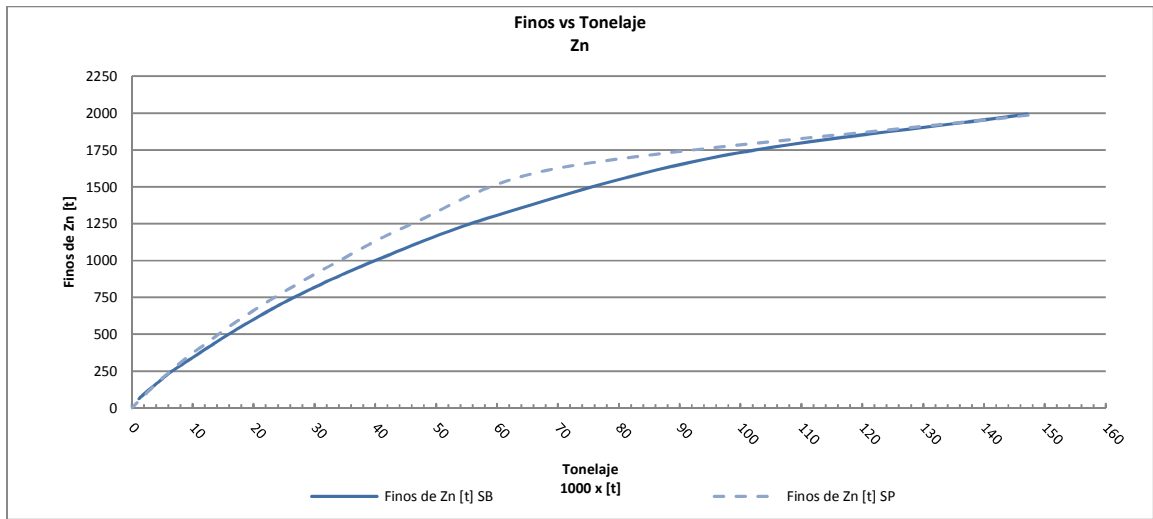
**Figura 60. Curva de finos vs tonelaje de Ag.**



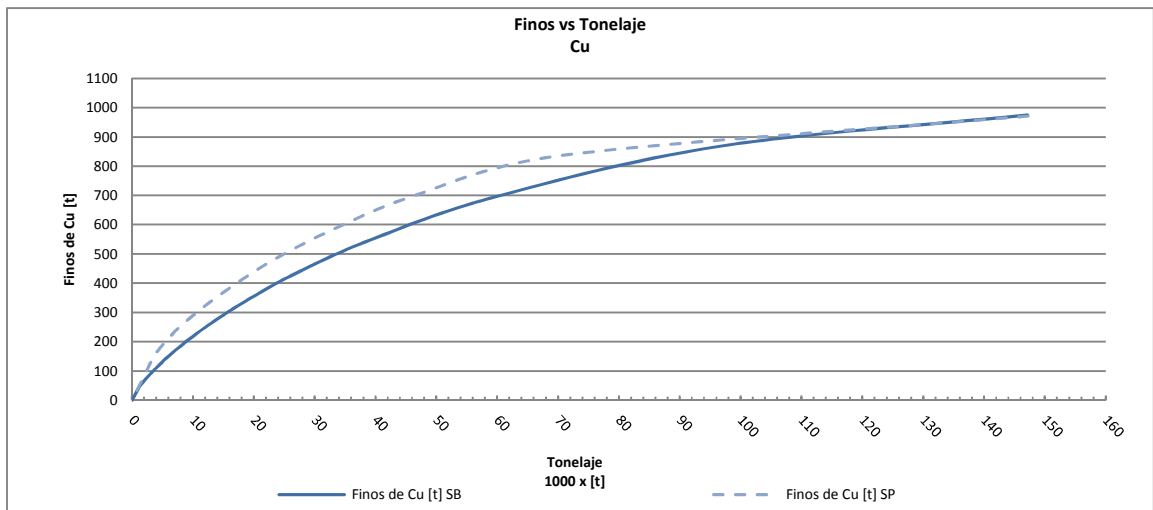
**Figura 61. Curva de finos vs tonelaje de Au.**



**Figura 62. Curva de finos vs tonelaje de Pb.**



**Figura 63. Curva de finos vs tonelaje de Zn.**

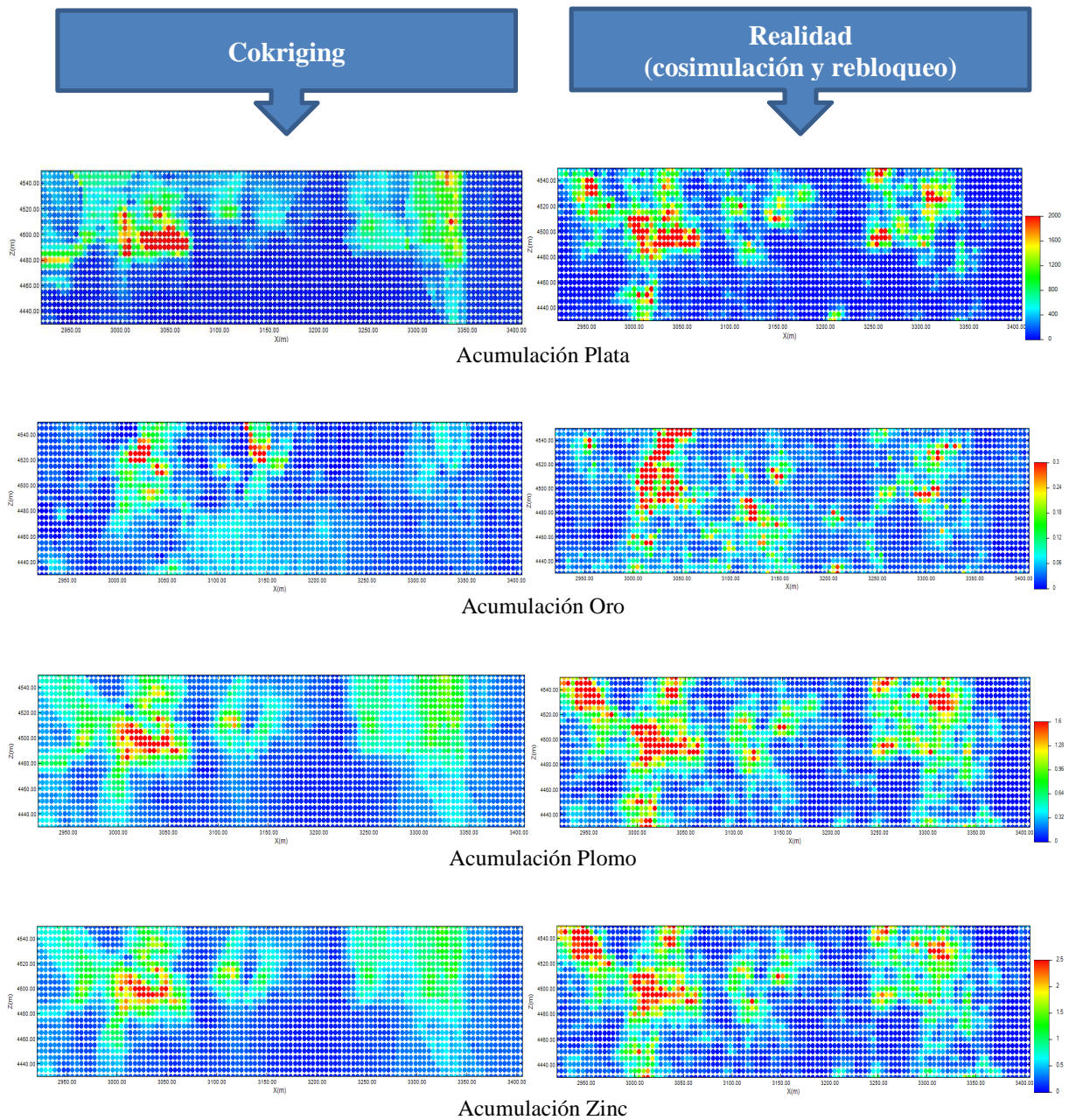


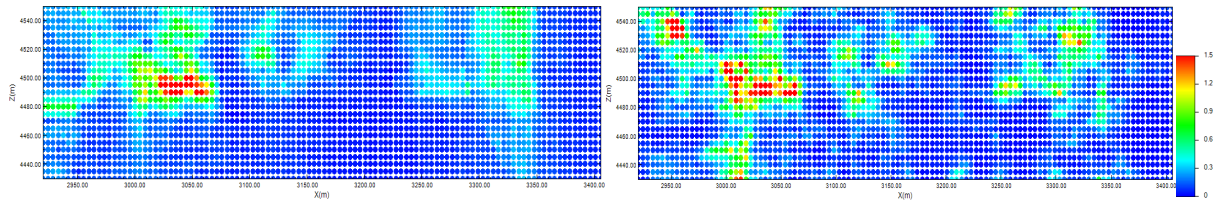
**Figura 64. Curva de finos vs tonelaje de Cu.**

### 5.3. Comparación de modelos para evaluación global de recursos

#### 5.3.1. Mapas de acumulación (Cokriging vs realidad)

Una comparación visual del cokriging respecto a la realidad (cosimulación y rebloqueo) se muestra a continuación. Se aprecia el efecto de suavizamiento del cokriging, el cual entrega distribuciones con menos dispersión que los reales.





Acumulación Cobre

Figura 65. Comparación de mapas de acumulación obtenida por cokriging y realidad (cosimulación y rebloqueo) en la dirección del plano de la veta.

### 5.3.2. Curva tonelaje – ley Ag equivalente (compósito, cokriging, modelo Gaussiano discreto vs realidad)

Las curvas tonelaje-ley Ag equivalente, obtenidos por distintos modelos de estimación (datos puntuales, cokriging, cosimulación & rebloqueo y modelo Gaussiano discreto), siendo la cosimulación y rebloqueo es el escenario de referencia, se pueden comparar (leyes medias de elementos de interés y tonelaje) observando las siguientes curvas. En donde se aprecia que las leyes medias obtenidas por el modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto) se aproximan mejor al escenario de referencia que el cokriging y lo obtenido por compósito (soporte puntual.).

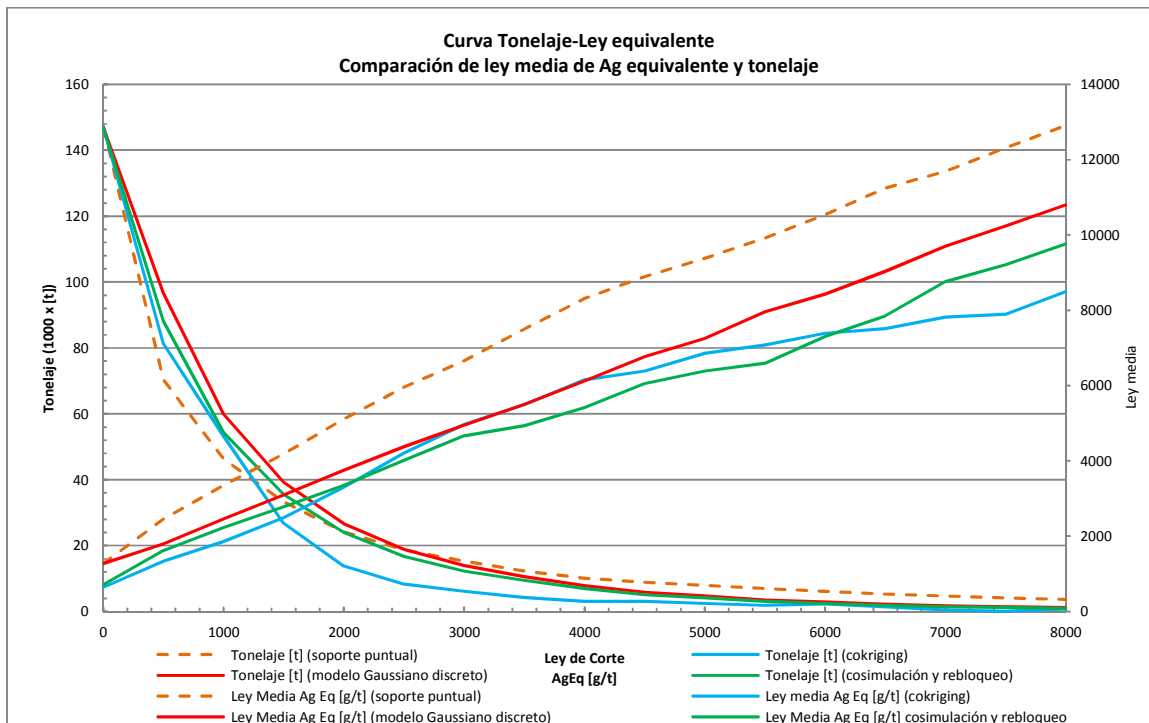


Figura 66. Comparación de leyes medias de  $Ag_{eq}$  y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).

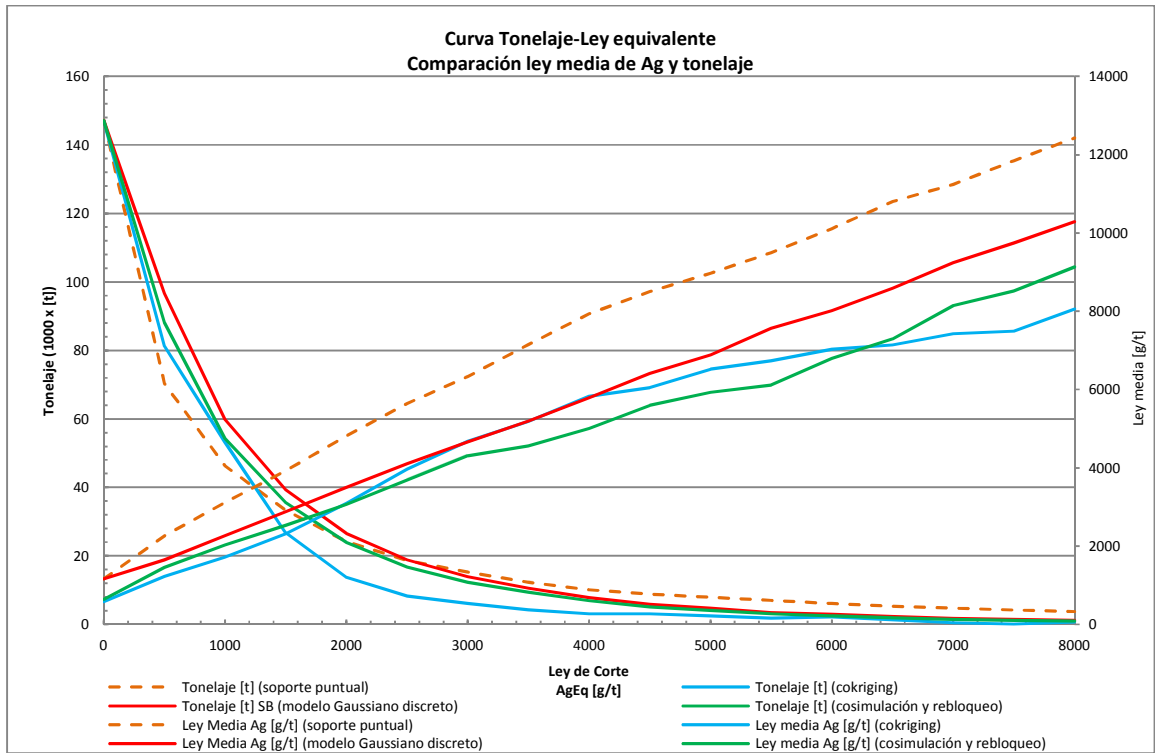


Figura 67. Comparación de leyes medias de Ag y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).

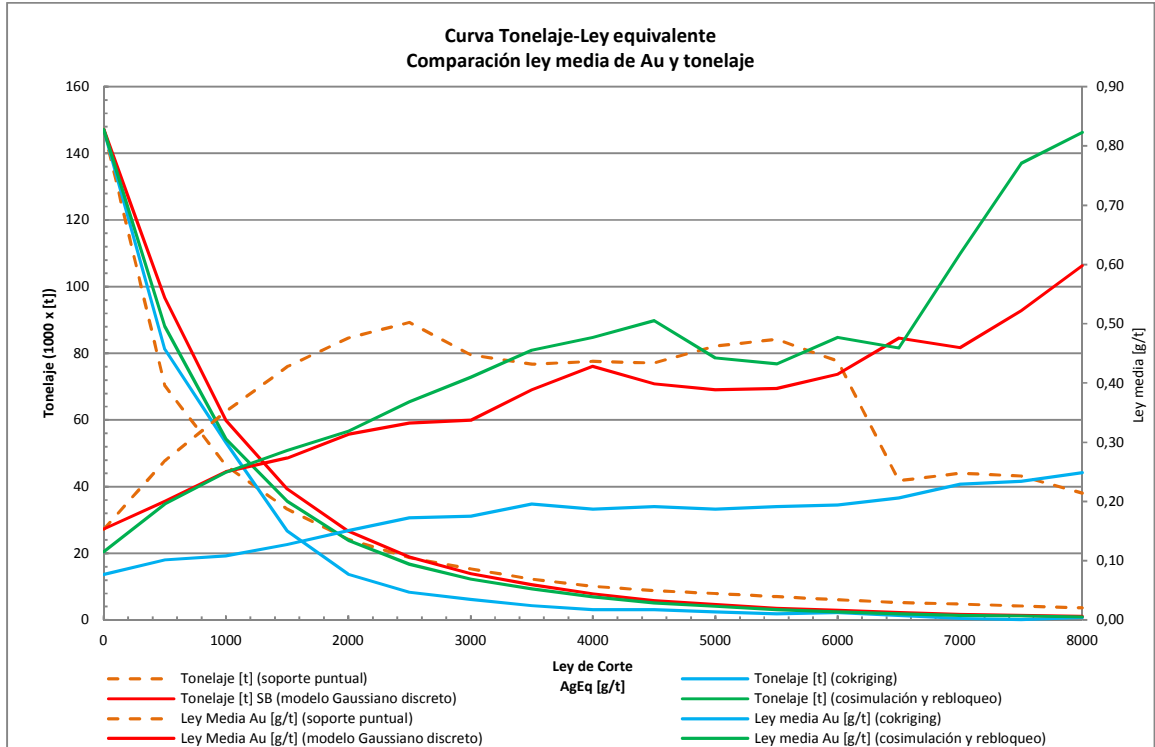


Figura 68. Comparación de leyes medias de Au y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).

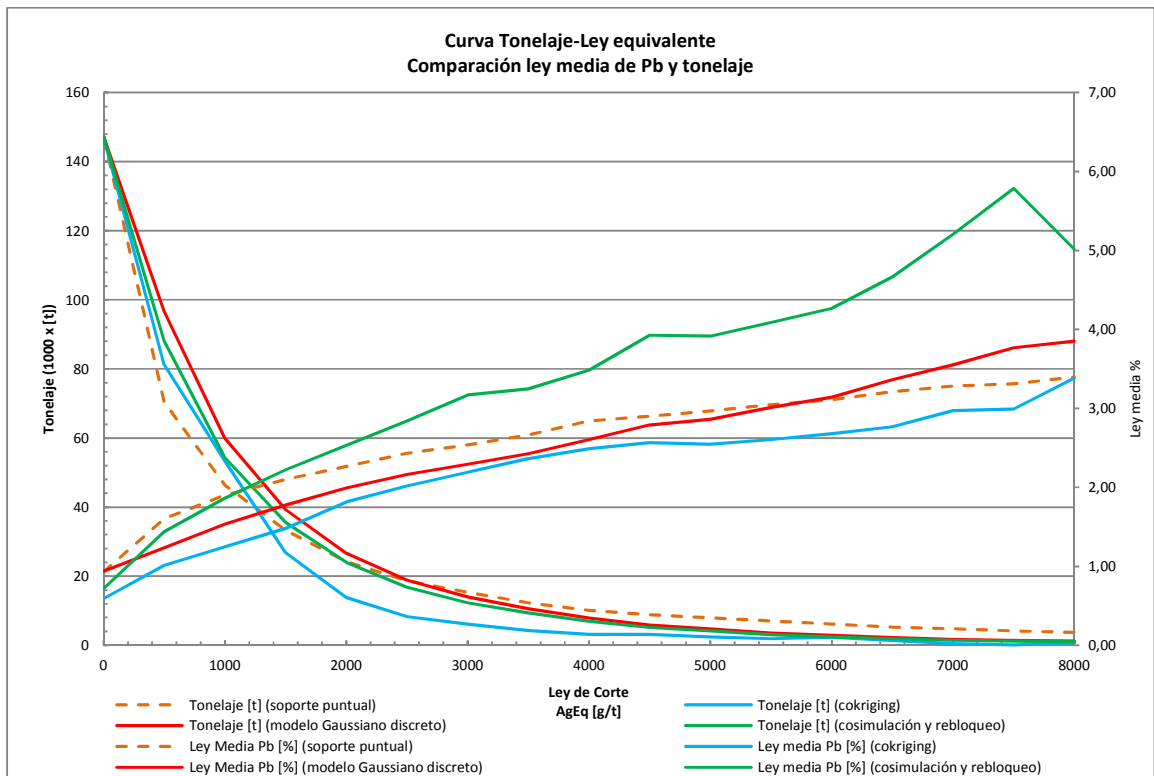


Figura 69. Comparación de leyes medias de Pb y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).

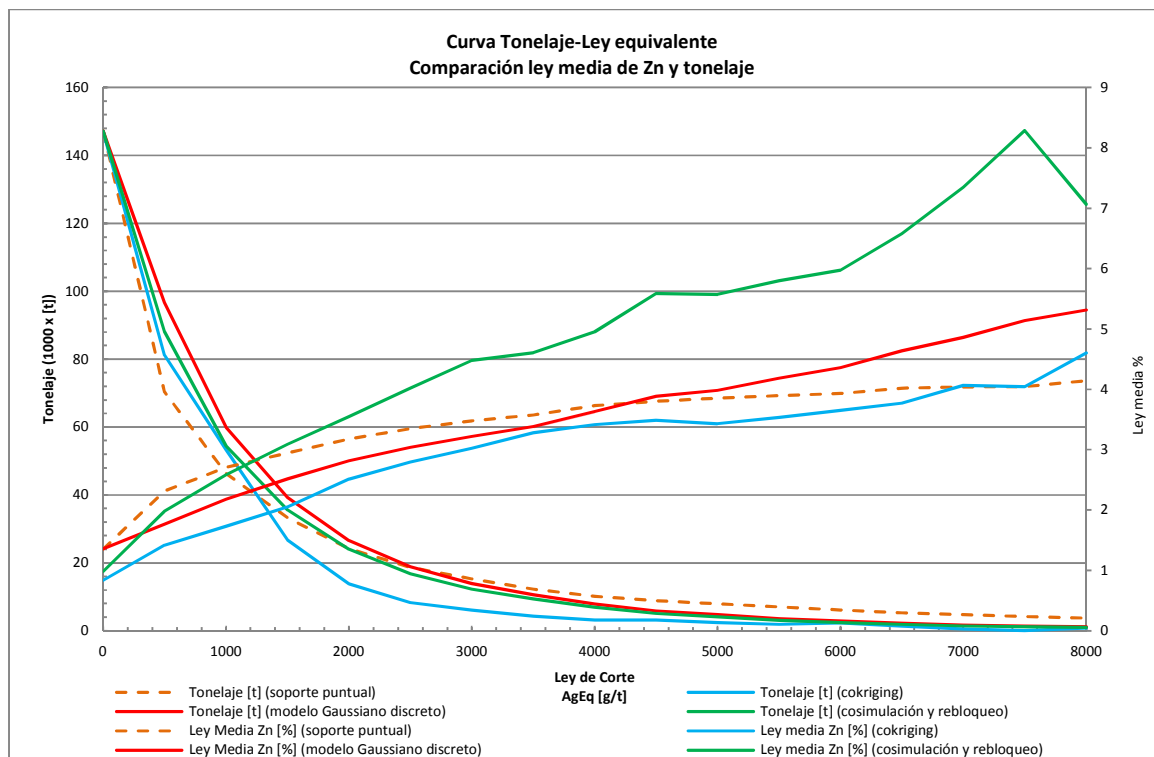


Figura 70. Comparación de leyes medias de Zn y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).



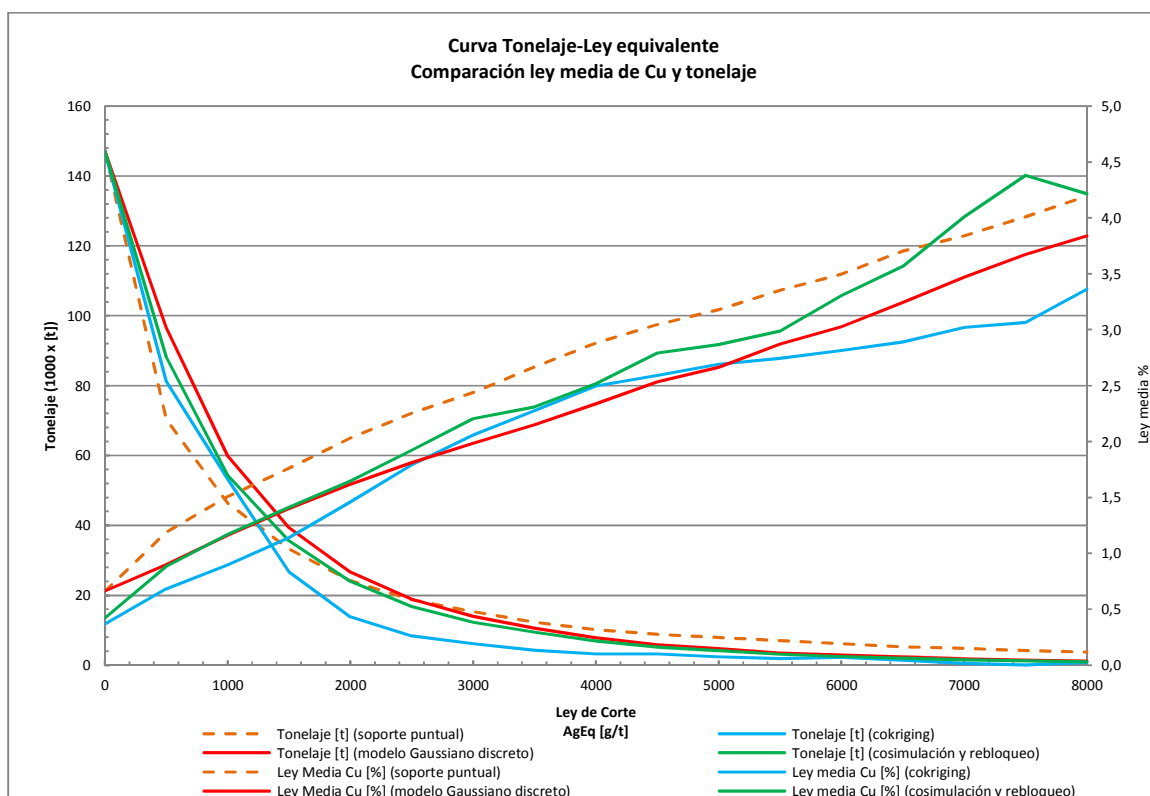


Figura 71. Comparación de leyes medias de Cu y tonelaje obtenidas a soporte puntual y de bloques de 5x5m (modelo Gaussiano discreto, rebloqueo y cokriging).

### 5.3.3. Recursos estimados para diferentes leyes de corte

Al considerar tres leyes de corte de plata equivalente (500, 1000 y 1500 [g/t]), se obtienen los siguientes resultados.

Ley de Corte ( $Ag_{eq}$ )	500 [g/t]			
	Compósito	Modelo Gaussiano Discreto	Cokriging	Cosimulación y rebloqueo "realidad"
Soporte	Puntual	Bloques 5x5	Bloques 5x5	Bloques 5x5
Tonelaje [t]	70332	96665	81212	88148
Ley Media $Ag_{eq}$ [g/t]	2456,62	1794,32	1339,34	1618,82
Ley Media Ag [g/t]	2264,10	1647,71	1225,32	1461,35
Ley Media Au [g/t]	0,271	0,20	0,10	0,20
Ley Media Pb [%]	1,60	1,23	1,01	1,44

<b>Ley Media Zn [%]</b>	2,32	1,77	1,42	1,98
<b>Ley Media Cu [%]</b>	1,19	0,90	0,68	0,88

Tabla 24. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 500 [g/t].

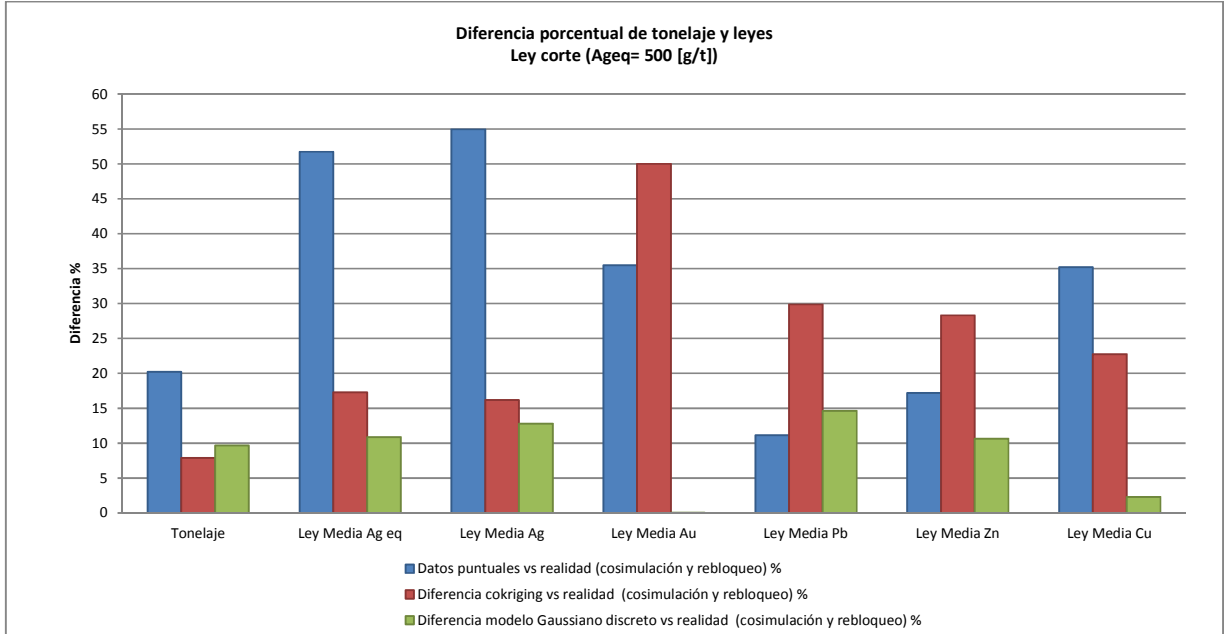
<b>Ley de Corte (A<sub>geq</sub>)</b>	<b>1000 [g/t]</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Compósito</b>	<b>Modelo Gaussiano Discreto</b>	<b>Cokriging</b>	<b>Cosimulación y rebloqueo “realidad”</b>
<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques 5x5</b>	<b>Bloques 5x5</b>	<b>Bloques 5x5</b>
<b>Tonelaje [t]</b>	46341	59914	53272	54338
<b>Ley Media A<sub>geq</sub> [g/t]</b>	3349,69	2453,61	1861,77	2237,37
<b>Ley Media Ag [g/t]</b>	3115,16	2268,95	1718,84	2031,18
<b>Ley Media Au [g/t]</b>	0,35	0,25	0,11	0,25
<b>Ley Media Pb [%]</b>	1,90	1,53	1,25	1,86
<b>Ley Media Zn [%]</b>	2,71	2,18	1,73	2,58
<b>Ley Media Cu [%]</b>	1,51	1,16	0,90	1,17

Tabla 25. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 1000 [g/t].

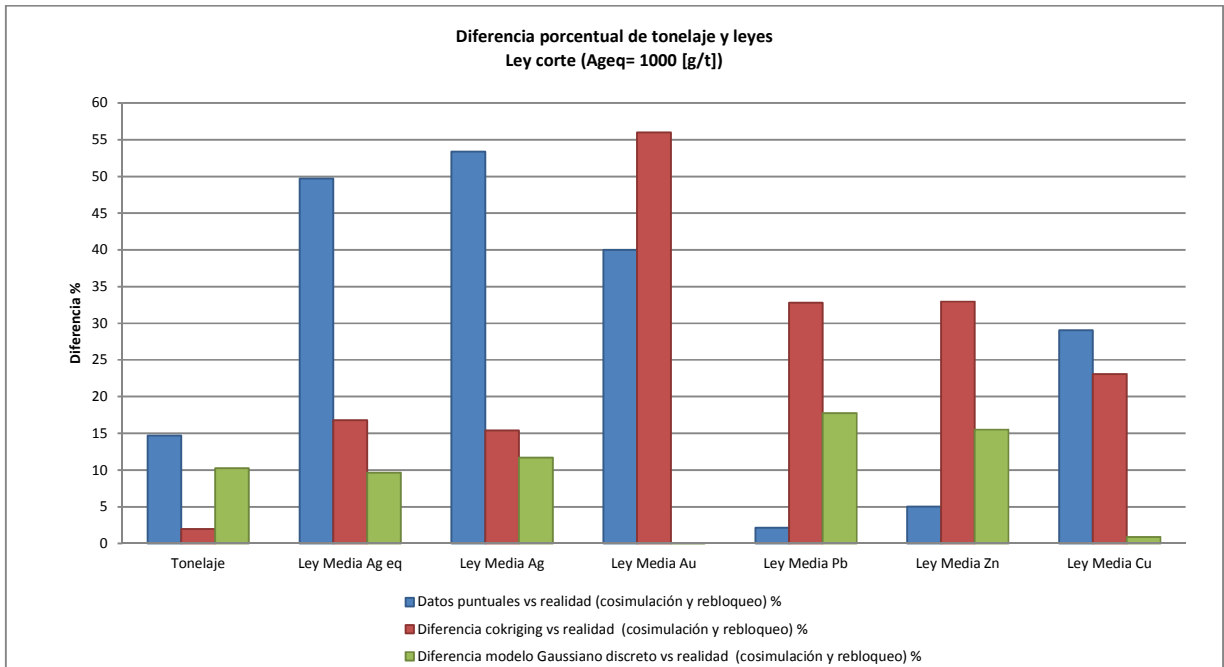
<b>Ley de Corte (A<sub>geq</sub>)</b>	<b>1500 [g/t]</b>			
<b>Modelo</b>	<b>Compósito</b>	<b>Modelo Gaussiano Discreto</b>	<b>Cokriging</b>	<b>Cosimulación y rebloqueo “realidad”</b>
<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques 5x5</b>	<b>Bloques 5x5</b>	<b>Bloques 5x5</b>
<b>Tonelaje [t]</b>	33270	39276	26753	35586
<b>Ley Media A<sub>geq</sub> [g/t]</b>	4189,30	3098,06	2493,86	2775,60
<b>Ley Media Ag [g/t]</b>	3924,22	2881,88	2319,56	2528,98
<b>Ley Media Au [g/t]</b>	0,43	0,27	0,13	0,29
<b>Ley Media Pb [%]</b>	2,10	1,78	1,48	2,22
<b>Ley Media Zn [%]</b>	2,95	2,51	2,05	3,09
<b>Ley Media Cu [%]</b>	1,76	1,40	1,14	1,41

Tabla 26. Tonelaje y leyes medias obtenidas a una ley de corte de Ag equivalente de 1500 [g/t].

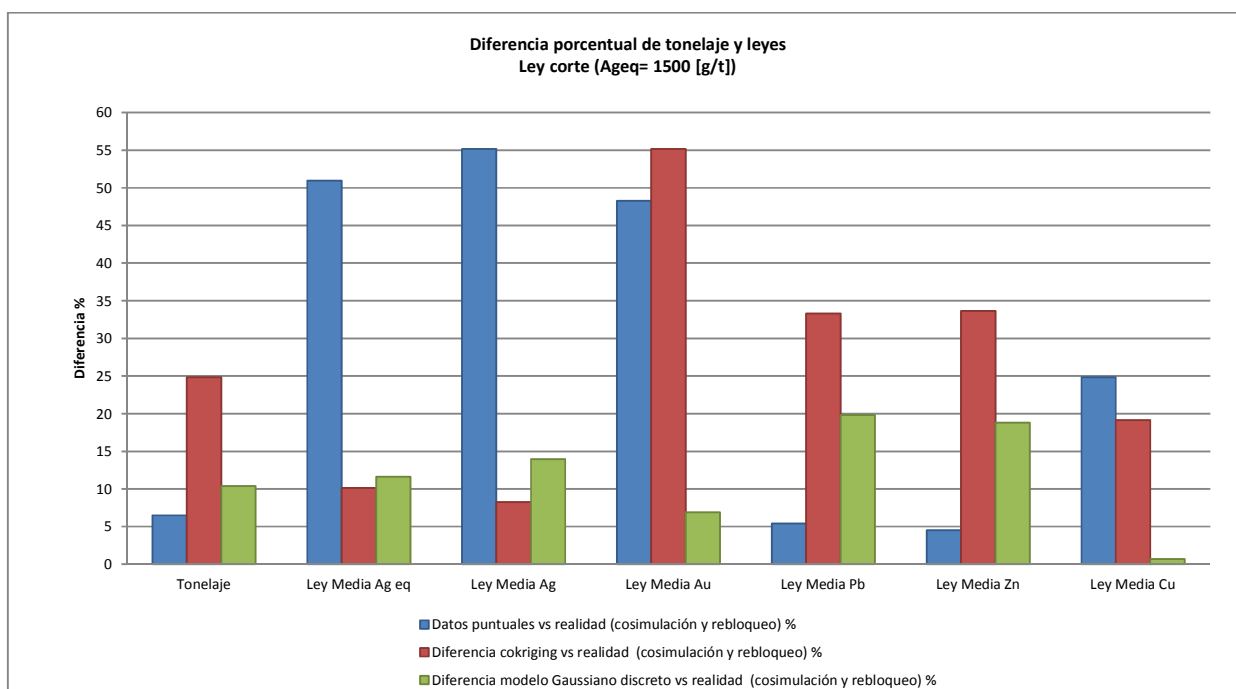
A modo de comparación, se obtiene las siguientes figuras que expresan las diferencias porcentuales respecto al escenario de referencia a diferentes leyes de corte (500, 1000 y 1500 [g/t]).



**Figura 72. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte  $A_{g_{eq}}$  de 500 [g/t].**



**Figura 73. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte  $A_{g_{eq}}$  de 1000 [g/t].**



**Figura 74. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias respecto al escenario de referencia a ley de corte Ageq de 1500 [g/t].**

El detalle de las diferencias se presenta a continuación, a tres leyes de corte (500, 1000 y 1500 [g/t]).

Ley de corte Ageq	500 [g/t]			1000 [g/t]		
	Compósito vs realidad	MGD vs realidad	Cokriging vs realidad	Compósito vs realidad	MGD vs realidad	Cokriging vs realidad
<b>Tonelaje</b>	-20,21 %	9,66 %	-7,87 %	-14,71 %	10,26 %	-1,96 %
<b>Ley Media Ageq</b>	51,75 %	10,84 %	-17,26 %	49,71 %	9,66 %	-16,79 %
<b>Ley Media Ag</b>	54,93 %	12,75 %	-16,15 %	53,36 %	11,71 %	-15,38 %
<b>Ley Media Au</b>	35,50 %	0,01 %	-50,00 %	40,01 %	0,02 %	-56,00 %
<b>Ley Media Pb</b>	11,11 %	-14,58 %	-29,86 %	2,15 %	-17,74 %	-32,80 %
<b>Ley Media Zn</b>	17,17 %	-10,61 %	-28,28 %	5,03 %	-15,50 %	-32,95 %
<b>Ley Media Cu</b>	35,23 %	2,27 %	-22,73 %	29,06 %	-0,85 %	-23,08 %

**Tabla 27. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias obtenidas respecto al escenario de referencia a ley de corte Ageq de 500 y 1000 [g/t].**

<b>Lc Ag<sub>eq</sub> = 1500 [g/t]</b>	<b>Compósito vs realidad</b>	<b>MGD vs realidad</b>	<b>Cokriging vs realidad</b>
<b>Tonelaje</b>	-6,51 %	10,37 %	-24,82 %
<b>Ley Media Ag<sub>eq</sub></b>	50,93 %	11,62 %	-10,15 %
<b>Ley Media Ag</b>	55,17 %	13,95 %	-8,28 %
<b>Ley Media Au</b>	48,28 %	-6,90 %	-55,17 %
<b>Ley Media Pb</b>	-5,41 %	-19,82 %	-33,33 %
<b>Ley Media Zn</b>	-4,53 %	-18,77 %	-33,66 %
<b>Ley Media Cu</b>	24,82 %	-0,71 %	-19,15 %

**Tabla 28. Diferencia porcentual de tonelaje y leyes medias obtenidas respecto al escenario de referencia a ley de corte Ag<sub>eq</sub> = 1500 [g/t].**

Se aprecia de las figuras y tablas anteriores, que al estimar recursos y leyes por medio de los datos puntuales, implica una diferencia mayor que si se llega a estimar por cokriging o por modelo Gaussiano discreto. Siendo el modelo de cambio de soporte el que se aproxima mejor al escenario de referencia mediante las curvas tonelaje-ley Ag equivalente, consistente con la previa validación del modelo Gaussiano discreto descrito en capítulo 5.1. En consecuencia, con la aplicación del modelo Gaussiano discreto se puede obtener una mejor estimación de los recursos recuperables por sobre determinadas leyes de corte y una mejora en la determinación de los beneficios económicos asociados, producto que las distribuciones obtenidas por el modelo se aproximan mejor al escenario de referencia mediante curvas tonelaje-ley.

## 6. CONCLUSIONES

Se trabaja utilizando datos de potencia y acumulaciones obtenidos desde una base de datos real (de leyes corregionalizadas) de una veta polimetálica. Por lo que se cumple con el objetivo de realizar el cambio de soporte a bloques de 5x5 [m] utilizando el modelo Gaussiano discreto en su contexto global, generalizado al caso multivariable. Los resultados se validan comparándolos con escenario de referencia (cosimulación y rebloqueo a 5x5 m), siendo el modelo consistente con la realidad, pareciéndose en sus distribuciones.

De los métodos de estimación estudiados (puntuales, cokriging y modelo Gaussiano discreto), el método Gaussiano discreto provee una muy aceptable aproximación de la realidad. Se observa que a un soporte mayor, las distribuciones se simetrizan, se mantienen las medias, disminuyen las varianzas y mejora la correlación entre las variables. En cuanto a las curvas de selectividad para las leyes de corte consideradas, las leyes medias son más bajas al aumentar el soporte, mientras que se obtiene un mayor tonelaje y una menor cantidad de finos.

Al considerar una densidad de roca constante e igual a 2,7 [t/m<sup>3</sup>], los recursos de la veta estimados por el modelo Gaussiano discreto se indican en las siguientes tablas, imponiendo tres leyes de corte en la plata equivalente (500, 1000 y 1500 [g/t]).

Ley de Corte Ag <sub>Eq</sub> [g/t]	Tonelaje [t]	Ley Media					
		Ag <sub>Eq</sub> [g/t]	Ag [g/t]	Au [g/t]	Pb %	Zn %	Cu %
500	96665	1794,32	1647,71	0,20	1,23	1,77	0,90
1000	59914	2453,61	2268,95	0,25	1,53	2,18	1,16
1500	39276	3098,06	2881,88	0,27	1,78	2,51	1,40

Tabla 29. Leyes medias sujetas a ley de corte de Ag equivalente.

Ley de Corte Ag <sub>Eq</sub> [g/t]	Finos					
	Ag <sub>Eq</sub> [t]	Ag [t]	Au [gr]	Pb [t]	Zn [t]	Cu [t]
500	173,45	159,28	19397,29	1193,45	1708,20	868,34
1000	147,01	135,94	15006,43	919,22	1306,15	696,49
1500	121,68	113,19	10746,90	697,44	987,64	549,00

Tabla 30. Finos sujetos a ley de corte de Ag equivalente.

Como es importante tener una buena estimación de los recursos a soporte de unidades de selección, debido a que con ello se obtiene información de los recursos recuperables por sobre leyes de corte, como también los beneficios económicos asociados. Se recomienda el uso del modelo de cambio de soporte (modelo Gaussiano discreto) para ser utilizado en etapas preliminares o de prefactibilidad del negocio minero, debiendo ser completado por estimaciones locales en etapas posteriores.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Chilès, J.P., Delfiner, P., 2012. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*, Wiley, New York, 699 p.
- [2] Lantuéjoul, C., 1988. *On the importance of choosing a change of support model for global reserves estimation*. *Mathematical Geology*, Vol. 20, no. 8, p. 1001-1019.
- [3] I. Glacken, 1997. *Change of support and use of economic parameters for block selection*. In: *E.Y. Baafi and N.A. Schofield (Eds.), Geostatistics Wollongong'96*, Kluwer, Dordrecht, pp. 811-820.
- [4] Emery, X., 2007. *On Some Consistency Conditions for Geostatistical Change -of- Support Models*. *Mathematical Geology*, Vol 39, no. 2, p. 205-223.
- [5] Emery, X., 2009. *Change -of- support models and computer programs for direct block-support simulation*. *Computers & Geosciences*, Vol. 35, p. 2047-2056.
- [6] Emery X., 2011. *Geoestadística*. Departamento de Ingeniería de Minas, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 149 p.
- [7] Emery, X. and Soto Torres, J. F., 2005. *Models for support and information effects: A comparative study*. *Mathematical Geology*, Vol. 37, no. 1, p. 49-68.
- [8] Matheron, G., 1976. *Forecasting block grade distributions: The transfer functions*. In: Guarascio, M., David, M., and Huijbregts, C.J., eds., *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*. Reidel, Dordrecht, p. 237-251.
- [9] Rivoirard, J., 1994. *Introduction to Disjunctive Kriging and Nonlinear Geostatistics*. Oxford University Press, Oxford, 181 p.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Eliminación de duplicados (base de datos de acumulaciones y potencia a soporte puntual)

Para duplicados de las variables acumulaciones y potencia, se eliminan los datos duplicados, las estadísticas generadas son:

Duplicados bajo una distancia de	:	0,30 [m]
Número total de muestras descartadas	=	62
Número de muestras inicialmente filtradas (Atípicos)	=	2
Número de grupos	=	60
Número de duplicados	=	60
Distancia mínima de agrupación	=	0,06 [m]

#### ESTADÍSTICAS DE DUPLICADOS

Nombre	=	Sin atípico ni duplicado
Total de muestras	=	3715
Muestras a filtrar	=	62
Cantidad de Muestras utilizadas	=	3653



## 8.2. Variograma experimental de potencia y acumulaciones a soporte puntual

Una vista compacta y de forma matricial de los variogramas experimentales obtenidos, para potencia y acumulaciones, se presenta a continuación:

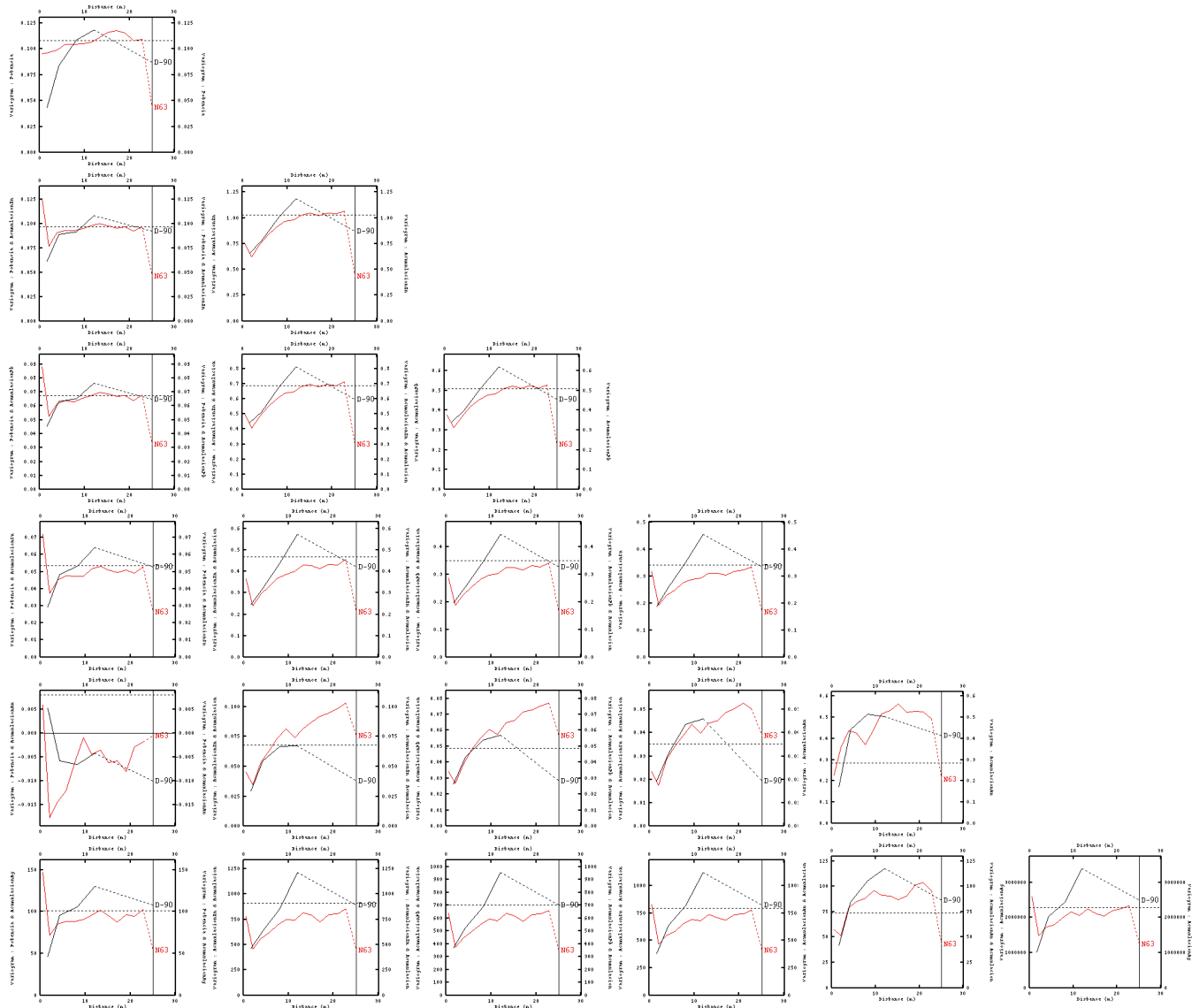


Figura 75. Vista matricial de variogramas experimentales simples y cruzados de potencia y acumulaciones de veta polimetálica.

### 8.3. Variograma modelado de potencia y acumulaciones a soporte puntual

Una vista compacta y de forma matricial de los variogramas modelados obtenidos, para potencia y acumulaciones.

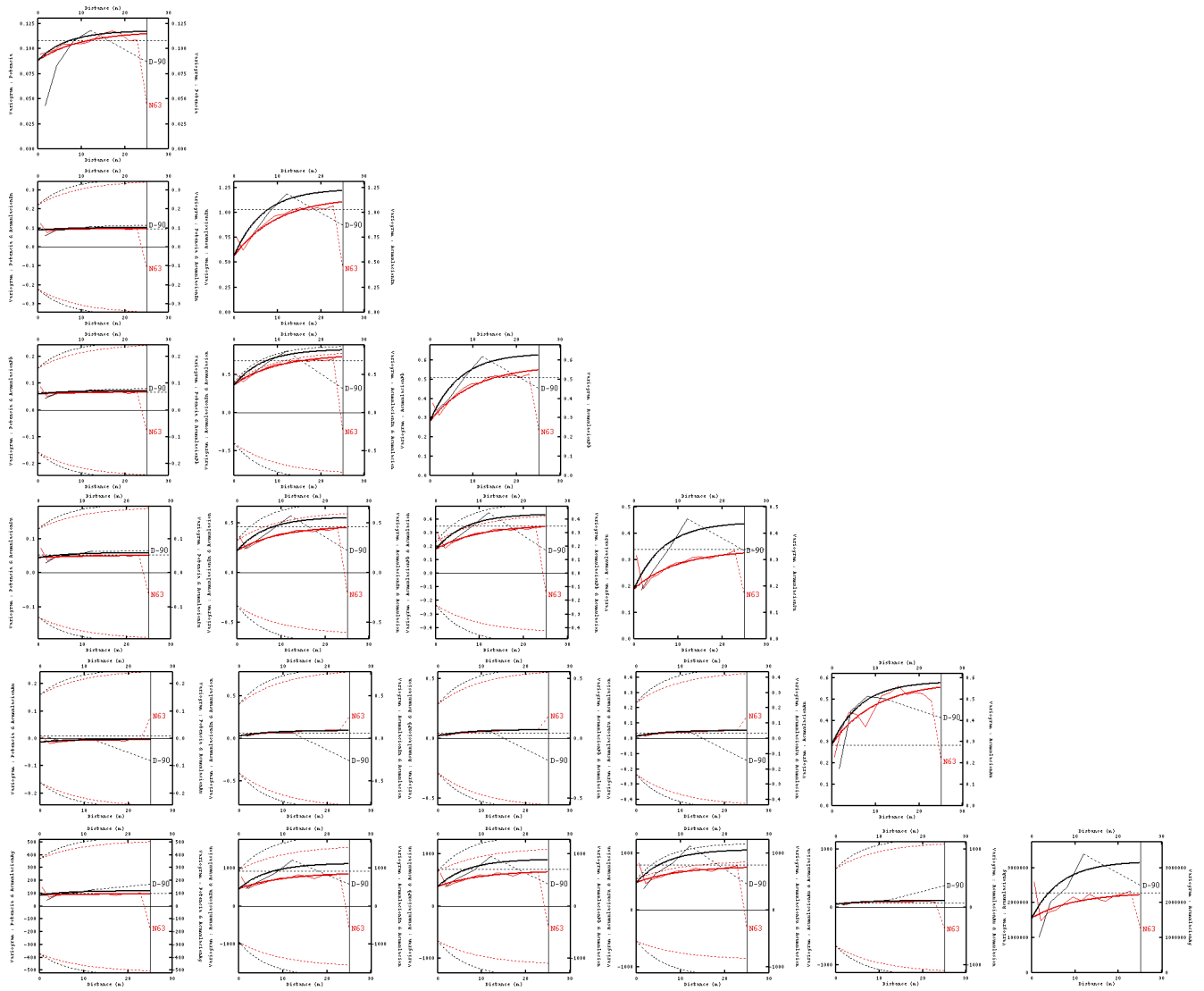


Figura 76. Variogramas modelados simples y cruzados de potencia y acumulaciones de veta polimetálica.

## 8.4. Validación cruzada de cokriging

La validación cruzada del cokriging se acepta analizando los siguientes puntos.

### 8.4.1. Nubes de correlación

Entre datos estimados y reales, se observa poca dispersión respecto a la diagonal.

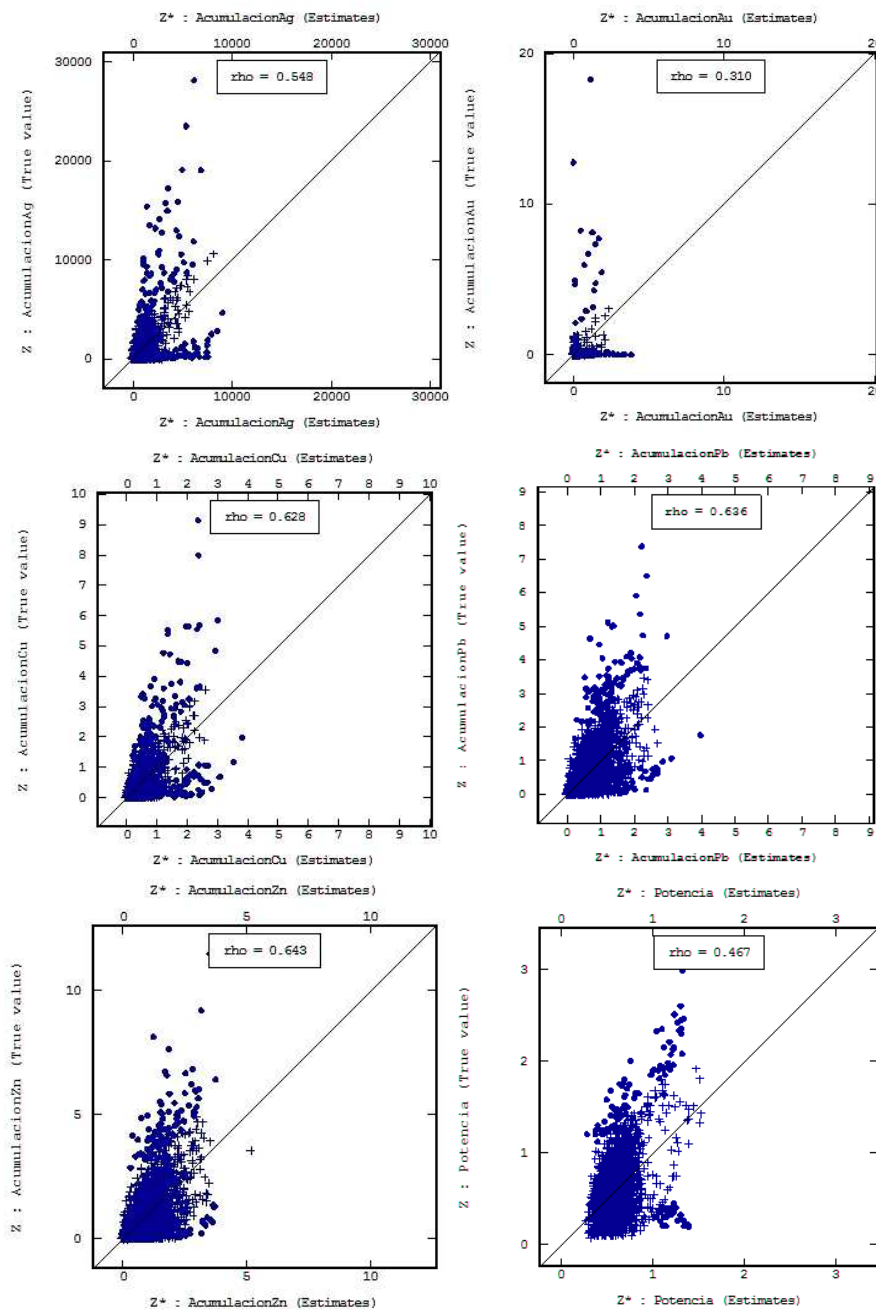


Figura 77. Nubes de correlación de validación cruzada cokriging.

### 8.4.2. Nube de correlación de errores estandarizados

Se observa poca dispersión con respecto a la horizontal, con pendiente próxima a cero.

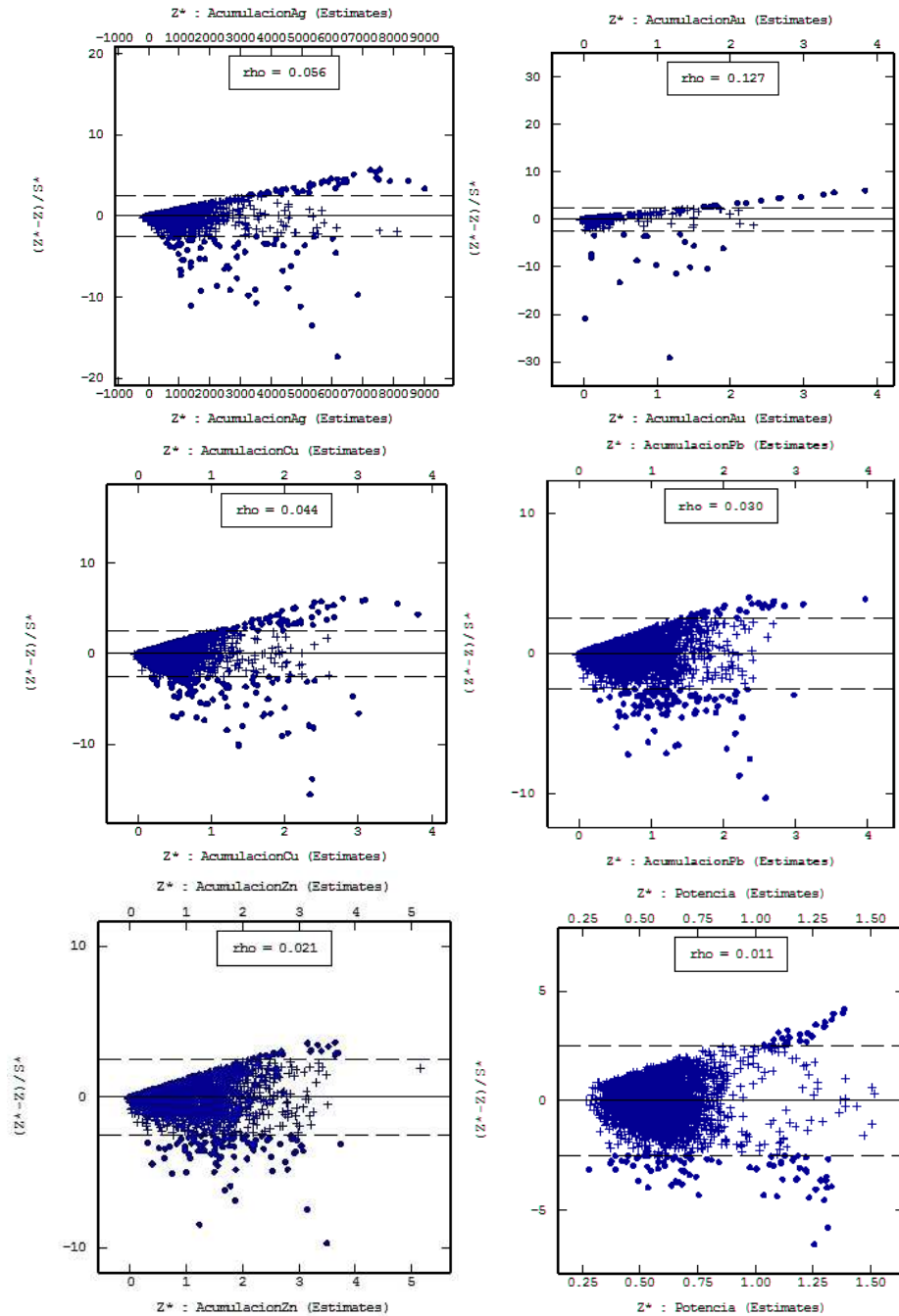


Figura 78. Nubes de correlación de errores estandarizados.

### 8.4.3. Histograma de errores estandarizados

Se ven poco dispersos y centrado en cero.

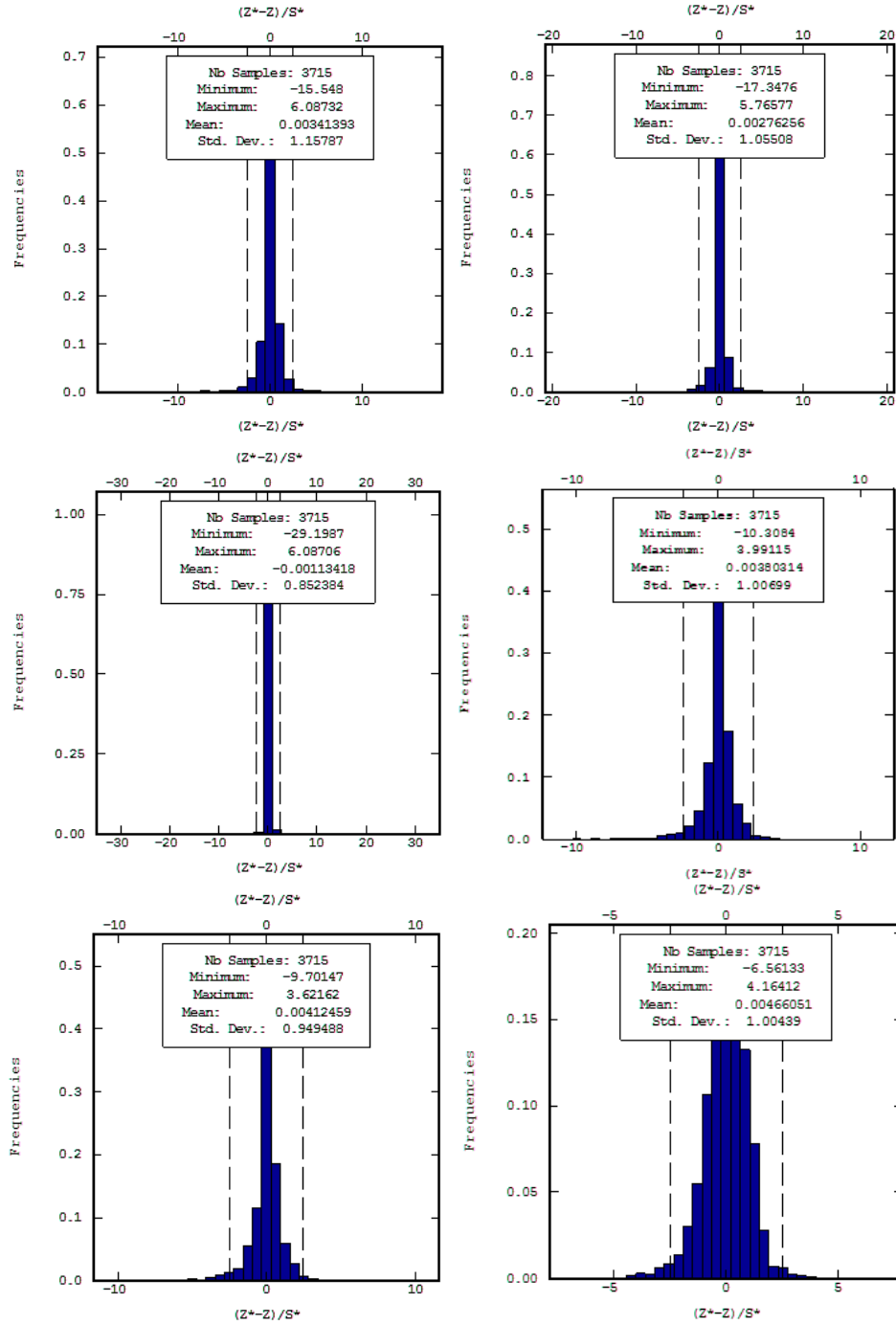


Figura 79. Histogramas de errores estandarizados obtenidos.

### 8.5. Datos utilizados en curva tonelaje-ley

Es la relación gráfica que existe entre un nivel de reservas, recursos, material, etc., que se asocia a una ley media característica y la ley de corte.

Ley de corte Ag	Tonelaje	1/2000 x Ley Media Ag	10 x Ley Media Au	Ley Media Pb	Ley Media Zn	Ley Media Cu
[g/t]	[t]	[g/t]	[g/t]	[%]	[%]	[%]
0	147224	0,58	1,53	0,93	1,35	0,66
500	64658	1,21	2,84	1,63	2,34	1,24
1000	41036	1,70	3,73	1,90	2,69	1,57
1500	29435	2,13	4,36	2,10	2,94	1,84
2000	21664	2,58	4,37	2,29	3,17	2,11
2500	17161	2,97	3,88	2,42	3,31	2,31
3000	13832	3,35	3,97	2,58	3,48	2,52
3500	11162	3,77	4,08	2,73	3,63	2,76
4000	9520	4,10	4,17	2,84	3,71	2,94
4500	8295	4,39	3,91	2,92	3,80	3,12
5000	7362	4,65	2,22	2,98	3,82	3,26
5500	6303	4,99	2,32	3,07	3,88	3,45
6000	5589	5,26	2,30	3,16	3,98	3,61
6500	4862	5,58	2,44	3,25	4,00	3,80
7000	4267	5,88	2,42	3,31	4,06	3,99
7500	3811	6,15	2,11	3,39	4,10	4,16
8000	3612	6,28	2,07	3,40	4,14	4,22

Tabla 31. Datos referentes a curva tonelaje-ley a soporte puntual.

Ley de corte Ag	Tonelaje	1/2000 x Ley Media Ag	10 x Ley Media Au	Ley Media Pb	Ley Media Zn	Ley Media Cu
[g/t]	[t]	[g/t]	[g/t]	[%]	[%]	[%]
0	147141	0,58	1,54	0,94	1,35	0,66
500	89510	0,87	1,97	1,27	1,81	0,94
1000	54124	1,21	2,32	1,56	2,21	1,21
1500	34746	1,54	2,68	1,81	2,55	1,45
2000	23322	1,87	2,90	2,02	2,84	1,67
2500	16650	2,17	3,04	2,18	3,05	1,87
3000	12173	2,46	3,55	2,32	3,24	2,05
3500	9114	2,74	3,67	2,47	3,44	2,21
4000	6576	3,08	3,57	2,67	3,71	2,43
4500	5258	3,32	3,58	2,77	3,87	2,59

5000	3957	3,64	3,82	2,88	4,01	2,74
5500	3066	3,94	4,01	3,07	4,25	2,97
6000	2432	4,21	3,87	3,27	4,51	3,16
6500	1934	4,49	4,27	3,41	4,68	3,33
7000	1519	4,80	5,00	3,62	4,94	3,56
7500	1207	5,10	5,84	3,81	5,24	3,79
8000	1034	5,31	6,33	3,94	5,44	3,93

Tabla 32. Datos referentes a curva tonelaje-ley a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).

### 8.6. Datos utilizados en curva tonelaje –ley equivalente

La ley equivalente se define como:

$$Ley_{Ag_{equivalente}} = \frac{Ley_{Ag} \times RF_{Ag} + Ley_{Au} \times RF_{Au} + Ley_{Pb} \times RF_{Pb} + Ley_{Zn} \times RF_{Zn} + Ley_{Cu} \times RF_{Cu}}{RF_{Ag}}$$

<b><math>RF_{Ag}</math></b>	0,42
<b><math>RF_{Au}</math></b>	13,93
<b><math>RF_{Pb}</math></b>	14,42
<b><math>RF_{Zn}</math></b>	10,75
<b><math>RF_{Cu}</math></b>	25,65

Tabla 33. Parámetros utilizados para obtener Ley de plata equivalente.

Los valores para cada elemento, se calculan tomando en consideración los valores comerciales:

<b><i>Elemento</i></b>	<b><i>Precio</i></b>	<b><i>Unidad</i></b>
<b><i>Ag</i></b>	26,59	US\$/oz
<b><i>Au</i></b>	1279,31	US\$/oz
<b><i>Pb</i></b>	0,96	US\$/lb
<b><i>Zn</i></b>	0,92	US\$/lb
<b><i>Cu</i></b>	3,07	US\$/lb

Tabla 34. Precios comerciales utilizados para el cálculo,

$$Ley_{Ag_{equivalente}} = Ley_{Ag} + 31,16 Ley_{Au} + 34,33 Ley_{Pb} + 255,95 Ley_{Zn} + 61,07 Ley_{Cu}$$

Los valores utilizados para la construcción de las curvas tonelaje-ley Ag equivalente son los siguientes.

<b>Ley de corte Ag<sub>eq</sub></b>	<b>Tonelaje</b>	<b>Ley Media Ag</b>	<b>Ley Media Au</b>	<b>Ley Media Pb</b>	<b>Ley Media Zn</b>	<b>Ley Media Cu</b>	<b>Ley Media Ag<sub>eq</sub></b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[g/t]</b>
0	147224	1159,85	0,15	0,93	1,35	0,66	1269,83
500	70333	2264,10	0,27	1,60	2,32	1,19	2456,62
1000	46341	3115,16	0,35	1,90	2,71	1,51	3349,69
1500	33270	3924,22	0,43	2,10	2,95	1,76	4189,30
2000	24188	4818,54	0,48	2,27	3,18	2,03	5112,84
2500	18680	5641,37	0,50	2,43	3,35	2,25	5960,00
3000	15328	6327,17	0,45	2,54	3,48	2,44	6661,92
3500	12295	7150,89	0,43	2,66	3,57	2,67	7505,83
4000	10118	7935,20	0,44	2,84	3,73	2,88	8313,48
4500	8845	8503,86	0,43	2,90	3,80	3,05	8895,80
5000	7922	8973,51	0,46	2,97	3,85	3,18	9378,06
5500	7004	9499,53	0,47	3,05	3,89	3,35	9918,64
6000	6097	10114,01	0,44	3,11	3,93	3,50	10543,83
6500	5248	10799,00	0,23	3,21	4,02	3,70	11240,29
7000	4770	11239,67	0,25	3,28	4,04	3,84	11692,71
7500	4188	11843,27	0,24	3,31	4,04	4,01	12307,59
8000	3706	12430,24	0,21	3,40	4,14	4,20	12910,44

Tabla 35. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte puntual.

<b>Ley de corte Ag<sub>eq</sub></b>	<b>Tonelaje</b>	<b>Ley Media Ag</b>	<b>Ley Media Au</b>	<b>Ley Media Pb</b>	<b>Ley Media Zn</b>	<b>Ley Media Cu</b>	<b>Ley Media Ag<sub>eq</sub></b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[g/t]</b>
0	147141	1163,69	0,15	0,94	1,35	0,66	1274,32
500	96665	1647,71	0,20	1,23	1,77	0,90	1794,32
1000	59914	2268,95	0,25	1,53	2,18	1,16	2453,61
1500	39276	2881,88	0,27	1,78	2,51	1,40	3098,06
2000	26616	3505,94	0,31	1,99	2,82	1,62	3751,75
2500	18864	4104,93	0,33	2,16	3,04	1,81	4374,21
3000	13955	4661,84	0,34	2,29	3,22	1,98	4950,77
3500	10596	5190,02	0,39	2,43	3,39	2,15	5499,38
4000	7848	5786,26	0,43	2,61	3,63	2,34	6120,42
4500	5851	6411,10	0,40	2,79	3,89	2,53	6768,74
5000	4710	6883,26	0,39	2,86	3,98	2,66	7253,30
5500	3494	7564,79	0,39	3,01	4,19	2,87	7957,78
6000	2880	8017,31	0,42	3,14	4,36	3,02	8429,02



6500	2263	8592,97	0,48	3,36	4,64	3,24	9034,47
7000	1746	9238,82	0,46	3,55	4,86	3,47	9705,39
7500	1435	9742,66	0,52	3,77	5,14	3,67	10237,92
8000	1171	10284,71	0,60	3,85	5,31	3,84	10799,83

**Tabla 36. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte de bloques (modelo Gaussiano discreto).**

<b>Ley de corte A<sub>geq</sub></b>	<b>Tonelaje</b>	<b>Ley Media Ag</b>	<b>Ley Media Au</b>	<b>Ley Media Pb</b>	<b>Ley Media Zn</b>	<b>Ley Media Cu</b>	<b>Ley Media A<sub>geq</sub></b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[g/t]</b>
0	147141	578,39	0,08	0,59	0,84	0,37	643,90
500	75981	1225,32	0,10	1,01	1,42	0,68	1339,34
1000	49628	1718,84	0,11	1,25	1,73	0,90	1861,77
1500	24904	2319,56	0,13	1,48	2,05	1,14	2493,86
2000	12783	3086,20	0,15	1,81	2,51	1,46	3303,38
2500	7628	3961,58	0,17	2,02	2,79	1,79	4213,37
3000	5583	4680,69	0,17	2,19	3,02	2,06	4960,42
3500	3919	5184,84	0,20	2,37	3,28	2,28	5490,95
4000	2879	5830,22	0,19	2,49	3,41	2,50	6156,88
4500	2850	6046,91	0,19	2,57	3,49	2,59	6383,94
5000	2196	6517,58	0,19	2,54	3,43	2,69	6858,48
5500	1713	6733,45	0,19	2,60	3,54	2,74	7082,24
6000	1981	7028,06	0,19	2,68	3,65	2,81	7386,71
6500	1214	7138,90	0,21	2,77	3,77	2,89	7508,36
7000	415	7424,32	0,23	2,97	4,06	3,02	7816,64
7500	74	7493,62	0,23	2,99	4,04	3,06	7888,94
8000	648	8056,71	0,25	3,38	4,60	3,36	8497,70

**Tabla 37. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente (cokriging).**

<b>Ley de corte A<sub>geq</sub></b>	<b>Tonelaje</b>	<b>Ley Media Ag</b>	<b>Ley Media Au</b>	<b>Ley Media Pb</b>	<b>Ley Media Zn</b>	<b>Ley Media Cu</b>	<b>Ley Media A<sub>geq</sub></b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[g/t]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[g/t]</b>
0	147141	634,40	0,12	0,72	0,98	0,42	712,44
500	82471	1461,35	0,20	1,44	1,98	0,88	1618,82
1000	50621	2031,18	0,25	1,86	2,58	1,17	2237,37
1500	33126	2528,98	0,29	2,22	3,09	1,41	2775,60
2000	22220	3062,49	0,32	2,54	3,55	1,65	3346,47
2500	15372	3684,95	0,37	2,84	4,02	1,92	4009,35
3000	11143	4304,36	0,41	3,17	4,48	2,20	4669,52
3500	8612	4560,46	0,46	3,25	4,61	2,31	4939,45
4000	6356	5006,66	0,48	3,49	4,95	2,52	5415,56
4500	4643	5600,87	0,51	3,93	5,59	2,79	6057,93

5000	3742	5930,31	0,44	3,92	5,57	2,87	6389,16
5500	2843	6113,04	0,43	4,09	5,80	2,99	6590,34
6000	2197	6799,71	0,48	4,27	5,98	3,30	7308,21
6500	1686	7295,98	0,46	4,66	6,58	3,57	7848,15
7000	1262	8141,80	0,62	5,20	7,35	4,01	8763,42
7500	1033	8515,33	0,77	5,78	8,29	4,38	9207,20
8000	837	9131,05	0,82	5,02	7,07	4,22	9758,90

Tabla 38. Datos referentes a curva tonelaje-ley equivalente a soporte de bloques (cosimulación y rebloqueo).

### 8.7. Datos utilizados en curva fino-ley equivalente

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques (MGD)</b>	
<b>Ley de corte</b>	<b>Fino Ag</b>	<b>Fino Ag</b>	<b>Diferencia Porcentual</b>
<b>Ag<sub>eq</sub></b>			
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[%]</b>
0	170,8	171,2	-0,25
500	159,2	159,3	-0,50
1000	144,4	135,9	-6,33
1500	130,6	113,2	-13,76
2000	116,6	93,3	-20,36
2500	105,4	77,4	-26,91
3000	97,0	65,1	-33,27
3500	87,9	55,0	-37,78
4000	80,3	45,4	-43,74
4500	75,2	37,5	-50,39
5000	71,1	32,4	-54,64
5500	66,5	26,4	-60,49
6000	61,7	23,1	-62,76
6500	56,7	19,4	-65,87
7000	53,6	16,1	-70,07
7500	49,6	14,0	-71,96
8000	46,1	12,0	-74,00

Tabla 39. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Ag-ley Ag equivalente.

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques (MGD)</b>	
<b>Ley de corte</b>	<b>Fino Au</b>	<b>Fino Au</b>	<b>Diferencia Porcentual</b>
<b>Ag<sub>eq</sub></b>			
<b>[g/t]</b>	<b>[gr]</b>	<b>[gr]</b>	<b>[%]</b>
0	22559,85	22640,54	-0,17
500	18893,92	19397,29	2,12
1000	16305,97	15006,43	-8,45
1500	14216,84	10746,90	-24,81
2000	11513,47	8344,21	-27,91
2500	9384,52	6265,53	-33,59

3000	6858,67	4704,27	-31,77
3500	5309,55	4118,00	-22,85
4000	4415,85	3359,22	-24,33
4500	3836,70	2333,73	-39,49
5000	3662,55	1831,03	-50,27
5500	3319,65	1365,52	-59,08
6000	2664,22	1195,40	-55,37
6500	1233,22	1076,64	-13,16
7000	1180,58	802,42	-32,39
7500	1016,55	749,46	-26,66
8000	793,13	699,87	-12,22

Tabla 40. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Au-ley Ag equivalente.

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques (MGD)</b>	
<b>Ley de corte A<sub>geq</sub></b>	<b>Fino Cu</b>	<b>Fino Cu</b>	<b>Diferencia Porcentual</b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[%]</b>
0	971,11	974,94	-0,14
500	836,03	868,34	3,32
1000	698,92	696,49	-0,87
1500	586,18	549,00	-6,84
2000	491,10	431,01	-12,70
2500	420,86	341,51	-19,28
3000	373,48	276,97	-26,23
3500	327,69	227,80	-30,85
4000	291,61	183,44	-37,42
4500	269,49	148,24	-45,28
5000	251,86	125,50	-50,43
5500	234,70	100,37	-57,46
6000	213,17	87,11	-59,35
6500	194,35	73,40	-62,43
7000	183,11	60,58	-67,09
7500	167,91	52,70	-68,78
8000	155,56	44,98	-71,24

Tabla 41. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Cu-ley Ag equivalente.

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques (MGD)</b>	
<b>Ley de corte A<sub>geq</sub></b>	<b>Fino Pb</b>	<b>Fino Pb</b>	<b>Diferencia Porcentual</b>
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[%]</b>
0	1373,33	1385,00	0,32
500	1126,97	1193,45	5,34
1000	881,91	919,22	3,68

1500	698,31	697,44	-0,65
2000	547,88	530,82	-3,63
2500	453,90	408,16	-10,55
3000	388,82	320,13	-18,10
3500	327,59	257,27	-21,88
4000	287,64	204,57	-29,25
4500	256,53	163,21	-36,71
5000	235,15	134,70	-43,02
5500	213,46	105,25	-50,95
6000	189,63	90,48	-52,54
6500	168,53	76,08	-55,09
7000	156,63	62,03	-60,61
7500	138,62	54,11	-61,17
8000	125,93	45,13	-64,36

Tabla 42. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Pb-ley Ag equivalente.

<b>Soporte</b>	<b>Puntual</b>	<b>Bloques (MGD)</b>	
<b>Ley de corte</b>	<b>Fino Zn</b>	<b>Fino Zn</b>	<b>Diferencia Porcentual</b>
<b>Ag<sub>eq</sub></b>			
<b>[g/t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[t]</b>	<b>[%]</b>
0	1985,58	1993,46	-0,13
500	1629,72	1708,20	4,26
1000	1254,28	1306,15	3,59
1500	980,71	987,64	0,18
2000	768,14	749,43	-2,95
2500	625,70	573,05	-8,90
3000	532,80	449,16	-16,14
3500	439,44	358,73	-18,80
4000	377,53	284,83	-24,95
4500	336,41	227,40	-32,76
5000	305,32	187,46	-38,93
5500	272,81	146,25	-46,68
6000	239,76	125,54	-47,92
6500	210,85	105,01	-50,46
7000	192,64	84,81	-56,21
7500	169,38	73,74	-56,69
8000	153,56	62,22	-56,69

Tabla 43. Datos utilizados para el cambio de soporte en curva fino Zn-ley Ag equivalente..

1