

## TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	1
1.1.	Motivación del trabajo.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo General.....	3
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	3
1.3.	Alcances.....	3
2.	Antecedentes.....	4
2.1.	Antecedentes Generales.....	4
2.2.	Definiciones básicas de Geoestadística [2][3][11].....	4
2.2.1.	Variable Regionalizada.....	4
2.2.2.	Función Aleatoria.....	4
2.2.3.	Variografía.....	6
2.2.3.1.	Modelamiento de variogramas.....	8
2.2.4.	Kriging.....	9
2.3.	Calidad de los Datos [2].....	12
2.4.	Manejo de datos atípicos [2] [11].....	13
2.4.1.	Capping o Truncación [5].....	14
2.5.	Metodología de Truncación mejorada.....	14
3.	Metodología.....	16
3.1.	Metodología Caso Sintético.....	16
3.2.	Metodología Caso Real.....	17
4.	Desarrollo de metodología: Caso de estudio I, Base de datos sintética.....	19
4.1.	Creación Base de Datos.....	19
4.1.1.	Creación de grilla.....	19
4.1.2.	Simulación de variable Gaussiana.....	20
4.1.3.	Paso a variable lognormal.....	20
4.2.	Muestreo.....	20
4.3.	Estudio Exploratorio.....	20
4.4.	Elección valores de truncación.....	21
4.5.	Cálculo de Residuos.....	21
4.6.	Correlogramas cruzados.....	22
4.7.	Estimación Tradicional.....	22
4.8.	Estimación con Truncación.....	23
4.9.	Estimación con Truncación mejorada.....	23

4.10. Resultados y Análisis.....	24
5. Desarrollo de metodología: Caso de estudio II, Base de datos Yacimiento las Pascualas....	27
5.1. Yacimiento [8] .....	27
5.2. Estudio Exploratorio de Datos.....	28
5.2.1. Cobre .....	28
5.2.2. Molibdeno.....	31
5.2.3. Correlación .....	34
5.3. Elección valores de truncación .....	34
5.3.1. Cobre .....	34
5.3.2. Molibdeno.....	35
5.4. Cálculo de Residuos.....	36
5.4.1. Cobre .....	36
5.4.2. Molibdeno.....	36
5.5. Estimación Tradicional .....	36
5.6. Estimación con Truncación .....	37
5.7. Estimación con Truncación mejorada.....	37
5.8. Resultados y Análisis.....	38
5.8.1. Cobre .....	38
5.8.2. Molibdeno.....	40
6. Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	46
Anexos .....	47
Anexo A: Caso Sintético .....	48
Anexo B: Caso Real .....	54
Estudio Exploratorio cobre.....	54
Estudio Exploratorio molibdeno.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de un proyecto minero .....	1
Figura 2. Etapas en la evaluación de recursos .....	2
Figura 3. Tipos de tolerancia: <i>I - Construcción según tolerancia angular en torno a la dirección de acimut <math>\theta</math>; II - Según ancho de banda; III- Según tolerancia en la distancia; IV - Área de tolerancia final.</i> .....	7
Figura 4. Modelo de variograma anidado, que consta de un modelo pepítico y dos esféricos .....	9
Figura 5. Diagrama explicativo exactitud y precisión: <i>a) Caso poco exacto y poco preciso. B) Caso muy exacto, poco preciso; c) Caso poco exacto, muy preciso; d) Caso muy exacto, muy preciso.</i> .....	13
Figura 6. Leyes truncadas se definen dando el valor z a las leyes mayores a z, consideradas leyes "normales". El exceso es tratado de forma separada. Fuente: Chilès and Delfiner (2012) .....	15
Figura 7. Esquema metodología caso sintético .....	17
Figura 8. Esquema metodología caso real .....	18
Figura 9. Esquema creación de base de datos sintética .....	19
Figura 10. Histograma distribución de leyes en séptima realización del caso sintético.....	21
Figura 11. Variograma modelado para el caso sin truncar .....	23
Figura 12. Variogramas modelados para caso sin truncar y truncado en 1%.....	26
Figura 13. Distribución de cola pesada, donde la “cola” está respresentada por el color amarillo.....	26
Figura 14. Cinturón Cu-Mo de inicios del Paleoceno al Eoceno y chimeneas de brechas de turmalina en el norte de Chile y sur de Perú. Fuente: “The Geology Of Chile”, p.184 [8] .....	27
Figura 15. Histograma de leyes de cobre .....	29
Figura 16. Mapa de Cobre en dirección Norte-Este .....	29
Figura 17. Mapa de Cobre en dirección Elevación-Este .....	30
Figura 18. Mapa de Cobre en dirección Elevación-Norte .....	30
Figura 19. Mapa de Cobre en 3D .....	31
Figura 20. Histograma de leyes de molibdeno .....	32
Figura 21. Mapa de Molibdeno en dirección Norte-Este .....	32
Figura 22. Mapa de Molibdeno en dirección Elevación-Este .....	33
Figura 23. Mapa de Molibdeno en dirección Elevación-Norte .....	33
Figura 24. Mapa de Molibdeno 3D .....	34
Figura 25. Radio de búsqueda para estimaciones en caso real (validación cruzada) .....	37
Figura 26. Correlograma residuos cobre truncado en 2% .....	38
Figura 27. Correlograma cruzado residuo-cobre truncado en 2% .....	39
Figura 28. Correlograma cruzado residuo-indicador, para el cobre truncado en 2% .....	39
Figura 29. Correlograma residuos para molibdeno truncado en 600 ppm .....	41
Figura 30. Correlograma cruzado residuo-molibdeno truncado en 600ppm.....	41
Figura 31. Correlograma cruzado residuo-indicador, para el molibdeno truncado en 600 ppm... ..	42
Figura 32. Box plot para el cobre en caso sintético.....	48
Figura 33. Boxplot Cu .....	54
Figura 34. Ley media vs. Ley de corte Cu.....	55
Figura 35. Contenido de metal vs. fracción de tonelaje sobre ley de corte Cu .....	55
Figura 36. Boxplot Mo .....	56
Figura 37. Ley media vs. Ley de corte Mo.....	57
Figura 38. Contenido de metal vs. fracción de tonelaje sobre ley de corte Mo .....	57
Figura 39. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 4% .....	58
Figura 40. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 5% .....	59

Figura 41. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 6% .....	60
Figura 42. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 7% .....	61
Figura 43. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 8% .....	62
Figura 44. Correlogramas Cruzados residuos-cobre truncado, residuos-indicador. Ley 9% .....	63
Figura 45. Correlogramas cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 400 ppm.....	64
Figura 46. Correlogramas Cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 500 ppm.....	65
Figura 47. Correlogramas Cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 700 ppm.....	66
Figura 48. Correlogramas Cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 900 ppm.....	67
Figura 49. Correlogramas Cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 900 ppm.....	68
Figura 50. Correlogramas Cruzados residuos-molibdeno truncado, residuos-indicador. Ley 1000 ppm.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para creación de la grilla.....	19
Tabla 2. Estadísticas básicas de la muestra .....	20
Tabla 3. Exceso promedio por ley de truncación (de todas las realizaciones) .....	22
Tabla 4. Resumen de errores promedio, pendiente e intercepto para ley 1%.....	24
Tabla 5. Resumen de errores promedio, pendiente e intercepto para ley 1.5%.....	24
Tabla 6. Resumen de errores promedio, pendiente e intercepto para ley 2%.....	25
Tabla 7. Estadísticas básicas de la ley de cobre .....	28
Tabla 8. Estadísticas básicas del molibdeno.....	31
Tabla 9. Matriz de correlación Cu-Mo .....	34
Tabla 10. Leyes de truncación para el cobre y porcentaje del yacimiento .....	35
Tabla 11. Leyes de truncación para el molibdeno y porcentaje del yacimiento.....	35
Tabla 12. Exceso promedio por ley de truncación para el cobre.....	36
Tabla 13. Exceso promedio por ley de truncación para el molibdeno .....	36
Tabla 14. Resumen errores promedio para el cobre truncado en 2% .....	40
Tabla 15. Resumen de errores promedio para el molibdeno truncado en 600ppm .....	42
Tabla 16. Excesos promedio para caso I .....	49

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Definición Distribución Espacial .....	4
Ecuación 2: Esperanza Matemática .....	5
Ecuación 3: Varianza.....	5
Ecuación 4: Covarianza .....	5
Ecuación 5: Correlograma .....	6
Ecuación 6: Variograma .....	6
Ecuación 7: Variograma teórico y experimental .....	6
Ecuación 8: Variograma modelado .....	9
Ecuación 9: Estimador de <i>kriging</i> simple.....	9
Ecuación 10: Ponderadores del <i>kriging</i> .....	10
Ecuación 11: Varianza de <i>kriging</i> simple.....	10
Ecuación 12: Sistema de <i>kriging</i> ordinario.....	10
Ecuación 13: Varianza de <i>kriging</i> ordinario.....	11
Ecuación 14: Descomposición propuesta en metodología mejorada .....	14
Ecuación 15: Función Indicador.....	14
Ecuación 16: Descomposición del Exceso .....	14
Ecuación 17: Estimación metodología mejorada .....	15
Ecuación 18: Función exponencial a aplicar .....	16
Ecuación 19: Ecuación exponencial para paso a variable lognormal.....	20