

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

“APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN CONDICIONAL A LOS DOMINIOS DE ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE LA MINA CUAJONE”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GEOESTADÍSTICA APLICADA EN MINERÍA

PRESENTADO POR:

Bach. WALTER NELSON CAHUANA OCHOA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

MENCIÓN: GEOESTADÍSTICA APLICADA EN MINERÍA

HUANCAMELICA, PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **MSc. CANTA CARLOS Paul Percy**, **MG. MEDINA CHAMPE Dedicacion Miguel** y **Mg. SOTO CARBAJAL Demetrio**

Asesor: MSc. ESTEVES PAIRAZAMAN Manuel Emiliano

De conformidad al Reglamento único de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, ratificado con resolución N° 378-2019-CU-UNH.

El Candidato al **GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA GEOLOGICA MENCION: GEOESTADISTICA APLICADA EN MINERIA**

Don, **Walter Nelson, CAHUANA OCHOA** procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado **"APLICACIÓN DE LA SIMULACION CONDICIONAL A LOS DOMINIOS DE ESTIMACION DE RECURSOS DE LA MINA CUAJONE"**

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Con el calificativo: Aprobado ☒ Por:**UNANIMIDAD**.....
Desaprobado ☐

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los cuatro días del mes de octubre del año 2019.

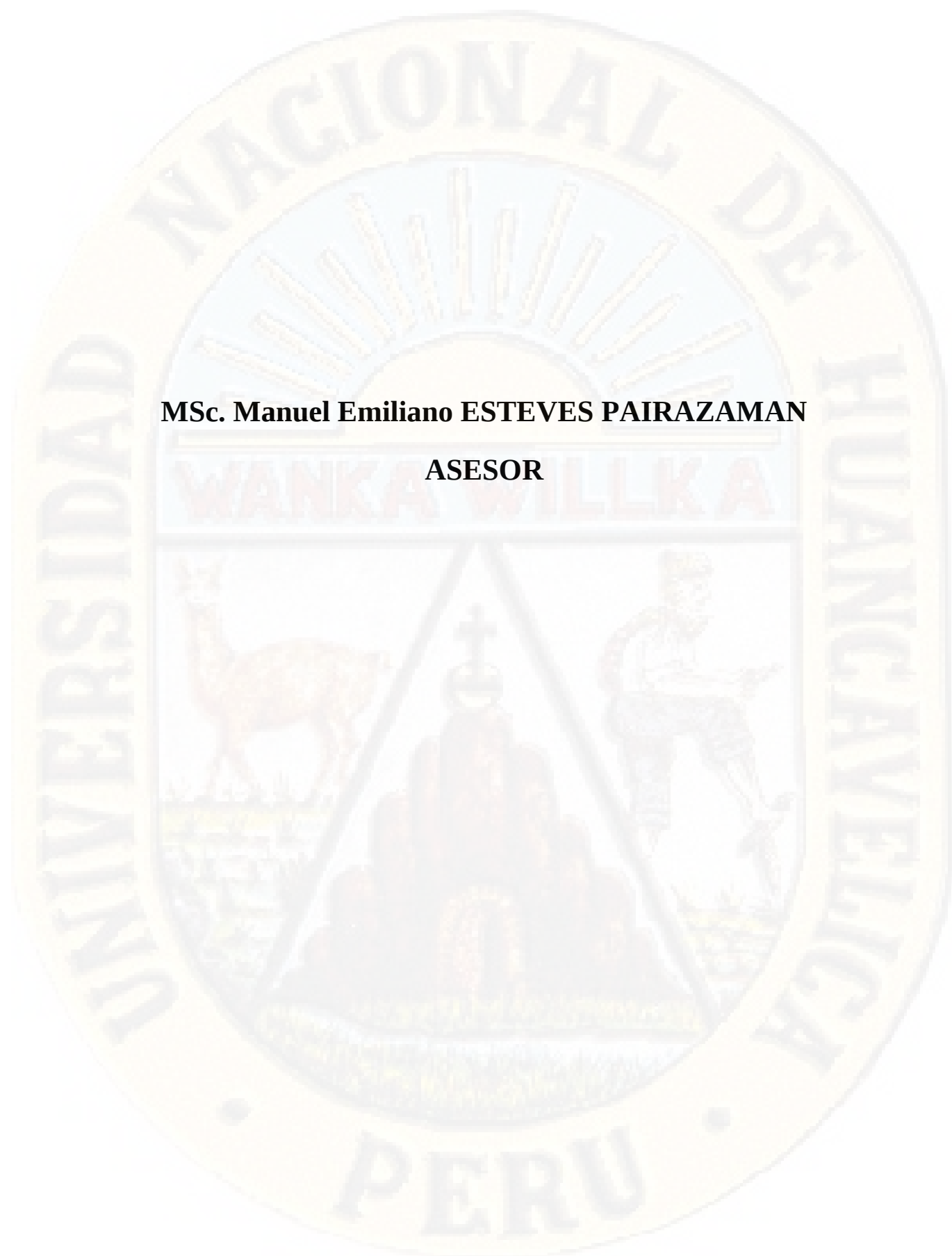
.....
MSc. CANTA CARLOS Paul Percy
Presidente del Jurado.

.....
MG. MEDINA CHAMPE Dedicacion Miguel
Secretario del Jurado

.....
Mg. SOTO CARBAJAL Demetrio
Vocal del Jurado

MSc. Manuel Emiliano ESTEVES PAIRAZAMAN

ASESOR



Dedicatoria

Este proyecto de investigación se lo dedico a mis padres Cristina y José, quienes siempre estuvieron conmigo en cada momento, a mis hermanos Juan Carlos y José Alberto por sus consejos y enseñanzas; como también a mis sobrinas Rayen y Emily con sus sonrisas y travesuras llenan de alegría nuestra casa.

A todas aquellas personas con las que se realizó un trabajo en equipo como Guiselle, Jashira y Nilton así como también a la plana profesional de la Universidad Nacional de Huancavelica; quienes con su asesoría profesional hicieron posible que se materialice y se haga realidad este proyecto, el cual me permitió aprender, conocer y aplicar herramientas innovadoras utilizadas en el rubro minero.

De igual manera a mi centro de trabajo la Empresa Southern Perú Copper Corporation Mina Cuajone y al Departamento de Geología por permitirme realizar este trabajo, el cual contribuye a mi crecimiento como persona y profesional.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana a los doce dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone. Para ello se definió la zona de estudio a topografía original del yacimiento, se comenzó con un análisis exploratorio de datos respecto a las campañas de perforación entre 1942 al 2017, regularizando las muestras a quince metros según la unidad de producción los cuales son los bancos de minado. Los datos son transformados espacio Gaussiano, se elaboran los variogramas con tres estructuras determinando los parámetros de estudio. Estos datos son validados por dominio para proceder a utilizar el proceso de Simulación Condicional para veinte escenarios como una etapa de reconocimiento. Durante el proceso de evaluación se selecciona los escenarios más cercanos a la realidad por ello el término condicional al asumir los datos según se presentan en la naturaleza, al comparar los histogramas con data original. El proceso de Simulación Condicional Gaussiana ha permitido reproducir la distribución de los datos originales para los dominios 400, 401, 405, 406, 407, 412; con un grado de variabilidad menor o aproximado a lo real. Para el caso de los dominios 402, 403, 404 y 408; se tiene variabilidad de resultados de acuerdo a un rango de valores según los resultados de los gráficos validadores. Es importante definir los dominios de estimación para aplicar técnicas geoestadísticas para un yacimiento en producción como por ejemplo Mina Cuajone.

Palabras clave: Simulación Condicional Gaussiana, dominio de estimación, escenarios de evaluación.

Abstract

The purpose of this research work is to apply the Gaussian Conditional Simulation technique to the twelve resource estimation domains of the Cuajone Mine. To this end, the study area was defined to the original topography of the deposit, an exploratory data analysis was started with respect to the drilling campaigns from 1942 to 2017, regularizing the samples to fifteen meters according to the production unit, which are the mined. The data are transformed Gaussian space, the variograms are elaborated with three structures determining the study parameters. This data is validated by domain to proceed to use the Conditional Simulation process for twenty scenarios as a recognition stage. During the evaluation process, the scenarios closest to reality are selected, therefore the conditional term when assuming the data as they occur in nature, when comparing the histograms with original data. The Gaussian Conditional Simulation process has allowed reproducing the distribution of the original data for domains 400, 401, 405, 406, 407, 412; with a degree of variability less or closer to the real. In the case of domains 402, 403, 404 and 408; you have variability of results according to a range of values according to the results of the validating graphs. It is important to define the estimation domains to apply geostatistical techniques for a production site such as Cuajone Mine.

Keywords: Conditional Gaussian Simulation, domain of estimation, evaluation scenarios.

Índice

Portada.....	i
Dedicatoria	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	vii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Justificación e Importancia	5
1.5. Ubicación de la Zona de Estudio	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	7
2.1.1. Aplicaciones Nacionales	7
2.1.2. Aplicaciones Internacionales.....	9
2.2. Bases Teóricas	10
2.3. Formulación de Hipótesis	15
2.4. Definición de Términos	15
2.5. Identificación de Variables	20
2.6. Operacionalización de variables	20
CAPÍTULO III	22
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	22
3.1. Tipo de Investigación	22
3.2. Nivel de Investigación.....	22
3.3. Método de Investigación	22
3.4. Diseño de Investigación	23
3.5. Población, Muestra y Muestreo.....	23
3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	23

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
3.7.1. Técnicas de procesamiento	24
3.7.2. Análisis de datos	25
3.8. Descripción de la prueba de hipótesis	26
CAPÍTULO IV	28
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	28
4.1. Presentación e interpretación de datos	28
4.1.1. Análisis Exploratorio de Datos.....	28
4.1.2. Proceso de Simulación Condicional Gaussiana	34
4.1.2.1. Transformación Gaussiana NSCORE	34
4.1.2.2. Variografía.....	38
4.1.2.3. Validación Cruzada	45
4.1.2.4. Resultados de la Simulación Condicional de los Dominios de Estimación ...	48
4.1.2.4.1. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 400	49
4.1.2.4.2. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 401	53
4.1.2.4.3. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 402	57
4.1.2.4.4. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 403	61
4.1.2.4.5. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 404	65
4.1.2.4.6. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 405	69
4.1.2.4.7. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 406	73
4.1.2.4.8. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 407	77
4.1.2.4.9. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 408	81
4.1.2.4.10. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 409	85
4.1.2.4.11. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 410	89
4.1.2.4.12. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 412	91
4.2. Discusión de Resultados	95
4.3. Proceso de prueba de hipótesis	96
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	109
INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS	110
BASE DE DATOS	110
ARTICULO CIENTÍFICO.....	112

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de Ubicación de la Mina Cuajone, Moquegua – Perú	6
Figura 2. Esquema de los conceptos e hipótesis que sustentan el modelo Geoestadístico.....	11
Figura 3. Escenarios de Simulación Condicional Gaussiana	12
Figura 4. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone del 400 al 403	13
Figura 5. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone del 404 al 409	14
Figura 6. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone 410 y 412	15
Figura 7. Representación de un Variograma	17
Figura 11. Un gráfico Q-Q normal de datos $N(0,1)$ generados aleatoriamente.	18
Figura 10. Representación gráfica del krigeado de un bloque. Tomado de Apuntes de Geoestadística	18
Figura 8. Ecuación del Modelo Esférico	19
Figura 9. Representación del Modelo Esférico	19
Figura 12. Assay - Box Plot por Cobre por Dominio de Estimación	29
Figura 13. Curvas de Probabilidad Acumulada Cobre por Dominio de Estimación.....	29
Figura 14. Compósitos - Box Plot de Cobre por Dominio de Estimación	30
Figura 15. Curvas de Probabilidad Acumulada Cobre por Dominio de Estimación.....	30
Figura 16. Histogramas de los Compósitos de Cobre de los dominios del 400 al 405	32
Figura 17. Histogramas de los Compósitos de Cobre de los dominios del 406 al 410 y 412	33
Figura 18. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 400 al 402.....	34
Figura 19. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 403 al 405.....	35
Figura 20. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 406 al 408.....	36
Figura 21. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 409, 410 y 412.....	37
Figura 22. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 400 y 401 así como su esfera de búsqueda	39
Figura 23. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 402 y 403, así como su esfera de búsqueda	40
Figura 24. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 404 y 405, así como su esfera de búsqueda	41
Figura 25. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 406 y 407, así como su esfera de búsqueda	42

Figura 26. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 408 y 409, así como su esfera de búsqueda	43
Figura 27. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 410 y 412, así como su esfera de búsqueda	44
Figura 28. Validación Cruzada de los dominios de estimación del 400 al 405.....	46
Figura 29. Validación Cruzada de los dominios de estimación del 406 al 410 y 412.....	47
Figura 30. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.072% Cu)	49
Figura 31. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	49
Figura 32. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM7)	49
Figura 33. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	50
Figura 34. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones ..	50
Figura 35. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	50
Figura 36. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	51
Figura 37. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 7 y 17.....	51
Figura 38. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.538% Cu)	53
Figura 39. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	53
Figura 40. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM14 y SIM19)	53
Figura 41. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	54
Figura 42. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones	54
Figura 43. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	54
Figura 44. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	55
Figura 45. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 14, 19 y 15.....	55
Figura 46. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.881% Cu)	57
Figura 47. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	57
Figura 48. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM17, SIM9 y SIM12)	57
Figura 49. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	58
Figura 50. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones	58
Figura 51. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	58
Figura 52. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	59
Figura 53. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 17, 9 y 12.....	59
Figura 54. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.728% Cu)	61

Figura 55. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	61
Figura 56. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM8 y SIM11)	61
Figura 57. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	62
Figura 58. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	62
Figura 59. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	62
Figura 60. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	63
Figura 61. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 8, 11 y 15.....	63
Figura 62. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.554% Cu)	65
Figura 63. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	65
Figura 64. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM5 y SIM8)	65
Figura 65. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	66
Figura 66. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	66
Figura 67. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	66
Figura 68. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	67
Figura 69. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 5, 8 y 9.....	67
Figura 70. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.214% Cu)	69
Figura 71. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	69
Figura 72. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM18 y SIM9)	69
Figura 73. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	70
Figura 74. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	70
Figura 75. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	70
Figura 76. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	71
Figura 77. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 18, 9 y 20.....	71
Figura 78. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.382% Cu)	73
Figura 79. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	73
Figura 80. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM14)	74
Figura 81. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	74
Figura 82. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	74
Figura 83. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	74
Figura 84. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	75

Figura 85. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 14 y 9.....	75
Figura 86. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.761% Cu)	77
Figura 87. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	77
Figura 88. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM17)	77
Figura 89. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	78
Figura 90. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	78
Figura 91. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	78
Figura 92. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	79
Figura 93. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 17 y 8.....	79
Figura 94. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.459% Cu)	81
Figura 95. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional	81
Figura 96. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM13 y SIM18)	81
Figura 97. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	82
Figura 98. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones .	82
Figura 99. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	82
Figura 100. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	83
Figura 101. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 13, 18 y 2.....	83
Figura 102. Representación de los 20 escenarios.....	85
Figura 103. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional.....	85
Figura 104. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM3 y SIM5)	85
Figura 105. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	86
Figura 106. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones	86
Figura 107. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	86
Figura 108. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	87
Figura 109. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 3, 5 y 9.....	87
Figura 110. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional.....	89
Figura 111. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM4)	89
Figura 112. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 4 y 8.....	90

Figura 113. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.682% Cu)	91
Figura 114. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional.....	91
Figura 115. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM15 y SIM8)	92
Figura 116. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total	92
Figura 117. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones	92
Figura 118. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones.....	92
Figura 119. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off	93
Figura 120. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 15, 8 y 6.....	93
Figura 121. Autor del Proyecto Walter Nelson Cahuana Ochoa	102
Figura 122. Histogramas del Dominio 400	103
Figura 123. Histogramas del Dominio 401	103
Figura 124. Histogramas del Dominio 402	104
Figura 125. Histogramas del Dominio 403	104
Figura 126. Histogramas del Dominio 404	105
Figura 127. Histogramas del Dominio 405	105
Figura 128. Histogramas del Dominio 406	106
Figura 129. Histogramas del Dominio 407	106
Figura 130. Histogramas del Dominio 408	107
Figura 131. Histogramas del Dominio 409	107
Figura 132. Histogramas del Dominio 410	108
Figura 133. Histogramas del Dominio 412	108
Figura 134. Vista Tridimensional de los taladros que conforman la Base de Datos – Campaña de Perforación Mina Cuajone	111

Índice de Tablas

Tabla 1. Detalle de los Dominios de Estimación Mina Cuajone (Modelamiento, 2012)	13
Tabla 2. Variables e Indicadores del Proyecto de Investigación	21
Tabla 3. Reporte Estadístico de Cobre por Dominio de Estimación - Assay	28
Tabla 4. Reporte Estadístico de Cobre por Dominio de Estimación – Compósitos	30
Tabla 5. Parámetros Variográficos de los Dominios de Estimación Resultantes	38
Tabla 6. Coeficientes de Correlación de los Dominios de Estimación	45
Tabla 7. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 400	52
Tabla 8. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 401	56
Tabla 9. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 402	60
Tabla 10. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 403	64
Tabla 11. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 404	68
Tabla 12. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 405	72
Tabla 13. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 406	76
Tabla 14. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 407	80
Tabla 15. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 408	84
Tabla 16. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 409	88
Tabla 17. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 410	90
Tabla 18. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 412	94
Tabla 19. Campañas de Perforación Mina Cuajone 1942 al 2017 con Análisis de Cobre	110

Introducción

El método de Simulación Condicional Gaussiana permite representar la variabilidad de la mineralización de los dominios de estimación de recursos. Siendo una herramienta de la Geostatística Avanzada, la cual brinda mayor soporte y es más cercano a la naturaleza de las muestras de la zona de estudio, por medio de la evaluación de escenarios junto con gráficos validadores para disminuir la incertidumbre.

Para ello se ha desarrollado técnicas de Simulación Geoestadística Gaussiana que busca recrear escenarios realistas que reproducen la variabilidad espacial de los atributos de interés aplicado a los resultados de Cobre, rubro principal de la Mina Cuajone. La principal diferencia entre los métodos de estimación (Kriging) y de la Simulación radica en que los primeros pretenden encontrar el valor más cercano al valor real en cada localización mientras que los segundos intentan reproducir la variabilidad espacial de los valores desconocidos, de manera de cuantificar la incertidumbre asociada a estos valores (Goovaerts, 1997).

Elissethe Correa & Emery. Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Tipo Exótico. (Tesis PreGrado) Santiago, Universidad de Chile; 2010 en el que concluyeron en su estudio: “la principal ventaja de las simulaciones condicionales es obtener escenarios como sea necesario, los que reproducen la variabilidad del yacimiento. No obstante, se debe tener precaución con las zonas minerales que posean pocos datos condicionantes, pues la simulación se apoya en la media global de los datos para completar la carencia de información”

Marín Suárez & Mendoza Ayala. La Geoestadística en América con una aplicación reciente del Centro Geoestadístico Peruano. (Trabajo de Investigación) Lima, Universidad Nacional de Ingeniería; 2012 cuyas aplicaciones de las técnicas geoestadísticas determinan que “la técnica de Simulación Condicional permite estimar las leyes de mineral, categorizar recursos mineros, cuantificar la ley de mineral a la entrada de la planta de tratamiento, así como al estudio de riesgo económico de los proyectos mineros, cuantificando la variabilidad de las curva tonelaje – ley de corte.

Las simulaciones condicionales son una herramienta eficaz para cuantificar riesgos. Por ejemplo, se puede ver cuál es el escenario simulado más favorable o el peor para tener una idea de la incertidumbre existente en la cantidad total de recursos. También se puede usar los modelos simulados para definir la cantidad de reservas, para la planificación minera y el control de las leyes (Deraisme, 2001).

Debido a las limitaciones de estimadores geoestadísticos (Kriging), la simulación condicional aparece como una metodología alterna para cuantificar la incertidumbre asociada al desconocimiento de los valores de interés. La simulación es un modelo numérico que busca reproducir la variabilidad real de la variable en estudio mediante la construcción de varias realizaciones que representan escenarios posibles. (Emery, 2007)

Al mismo tiempo dentro de las fuentes de incertidumbre, es la de tipo geológico la que representa un mayor efecto sobre el valor mismo del proyecto, ya que de ésta proviene el estudio sobre los tonelajes y leyes de mineral a considerar en los distintos sectores de la mina. Esta incertidumbre juega un rol importante en el contexto de la planificación minera tanto en minas subterráneas como de cielo abierto.

Los dominios de estimación están en base a la combinación de las unidades litológicas propias de Cuajone con las Zonas Mineralógicas obteniendo once de ellas, para el presente estudios y como prueba de análisis se decidió incluir una zona adicional conformado los doce dominios de estimación. Este proceso se aplica para la estimación de Cobre de las Campañas de Perforación entre 1942 al 2017.

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

A través de los años durante el proceso productivo de la Mina Cuajone se debe de obtener los recursos; los cuales representan el material presente en la mina como; mineral, sulfuro de baja ley, óxidos y desmonte. Estos materiales son determinados por procesos geoestadísticos basados en resultados analíticos de las muestras de las campañas de perforación de la Mina Cuajone, para luego derivar esta información al departamento de Planeamiento y se determine las reservas con un valor económico. Para poder caracterizar la zona de estudio se aplican técnicas geoestadísticas a los dominios de recursos conformados por la combinación de Rocas y Zonas Mineralógicas, para poder representar la mineralización de la Mina Cuajone.

En la actualidad para poder determinar los recursos se recurre a la técnica Geoestadística, entre ellas se tiene la Estimación; la cual suaviza o promedia los datos no permitiendo representar los valores cercanos a la realidad; además de obtener un sólo escenario o modelo para realizar los trabajos de planificación.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito aplicar la técnica Geoestadística denominada Simulación Condicional Gaussiana, para representar los valores de la ley de cobre más cercanos a la realidad, así como la variabilidad de la mineralización según la concentración de este elemento y/o analito en la naturaleza en cada dominio de recursos en base a la conjunción de

las unidades litológicas propias de Cuajone y la zona de mineralización que caracterizan a un yacimiento tipo pórfido cuprífero del sur peruano.

Esta técnica Geoestadística permite obtener diferentes realizaciones y/o escenarios de evaluación, a través de un modelo tridimensional según la zona de estudio, demostrando la verdadera dispersión de los datos y variabilidad de las concentraciones de las leyes de Cobre. Con esta herramienta se podrá contar con diferentes escenarios a elegir para la Planificación Minera, permitiendo a la vez considerar el riesgo y/o incertidumbre en las decisiones para la mejor extracción y procesamiento de los recursos presente en la Mina Cuajone.

Las Campañas de Perforación realizadas en Mina Cuajone, permiten reforzar y dar soporte al modelo de leyes, a través de los resultados analíticos obtenidos y con ello aplicar técnicas geoestadísticas innovadoras; como es el caso de la Simulación Condicional Gaussiana, cuyo aporte a la investigación permitirá evaluar los mejores escenarios posibles, según la mineralización presente en la naturaleza por ello el término condicional.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo aporta la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana comparada con la técnica actual utilizada en Mina Cuajone denominada Estimación y los datos reales, para la evaluación de los dominios de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cómo se han presentado los resultados de leyes de cobre de los doce dominios de recursos en base al análisis exploratorio de datos (EDA) provenientes de las Campañas de Perforación?
- b. ¿Cuál ha sido el procedimiento a seguir para aplicar la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana?
- c. ¿Cuál fue el criterio para elegir el escenario y/o realización al aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al comparar con la técnica de

Estimación y la data real por cada dominio de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la manera de cómo aporta la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al compararla con la técnica actual utilizada en Mina Cuajone denominada Estimación y los datos reales, para la evaluación de los dominios de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a. Realizar el análisis exploratorio de datos (EDA) de los doce dominios de estimación basados en los resultados de Cobre de las Campañas de Perforación.
- b. Desarrollar el procedimiento a seguir para aplicar la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana.
- c. Elegir el mejor escenario y/o realización al aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al comparar con la técnica de Estimación y la data real por cada dominio de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre.

1.4. Justificación e Importancia

El método de Simulación Condicional Gaussiana se aplica porque permite obtener diferentes escenarios más reales de evaluación en comparación a la metodología actual denominada Estimación; que sólo obtiene un sólo escenario para los trabajos en minería de la operación en estudio. Entonces la aplicación de esta técnica serviría para que se mejoré la evaluación de recursos con análisis estadísticos y geoestadísticos; así como para la planificación de la extracción de mineral de acuerdo a los estándares y procedimientos establecidos en la Mina Cuajone entre otros proyectos.

1.5. Ubicación de la Zona de Estudio

La mina a tajo abierto de Cuajone en Moquegua – Perú, es un yacimiento tipo Pórfido de Cobre y Molibdeno de categoría mundial y pertenece a la franja metalogenética de pórfidos del Paleoceno. Se encuentra ubicado en el flanco Occidental de los Andes del Sur entre los 2,950 y 3,880 m.s.n.m., aproximadamente a 45 km al NE de la ciudad de Moquegua, distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. El área de la unidad minera Cuajone está representada por las coordenadas UTM: 317,685E – 8’117,117,350N y 319,515E – 8’115,815N. Zona 19, Banda K (datum WGS-84) perteneciente a la carta topográfica Nacional 35-u correspondiente al cuadrángulo de Moquegua (Boletín N° 015 Serie A-INGEMMET)

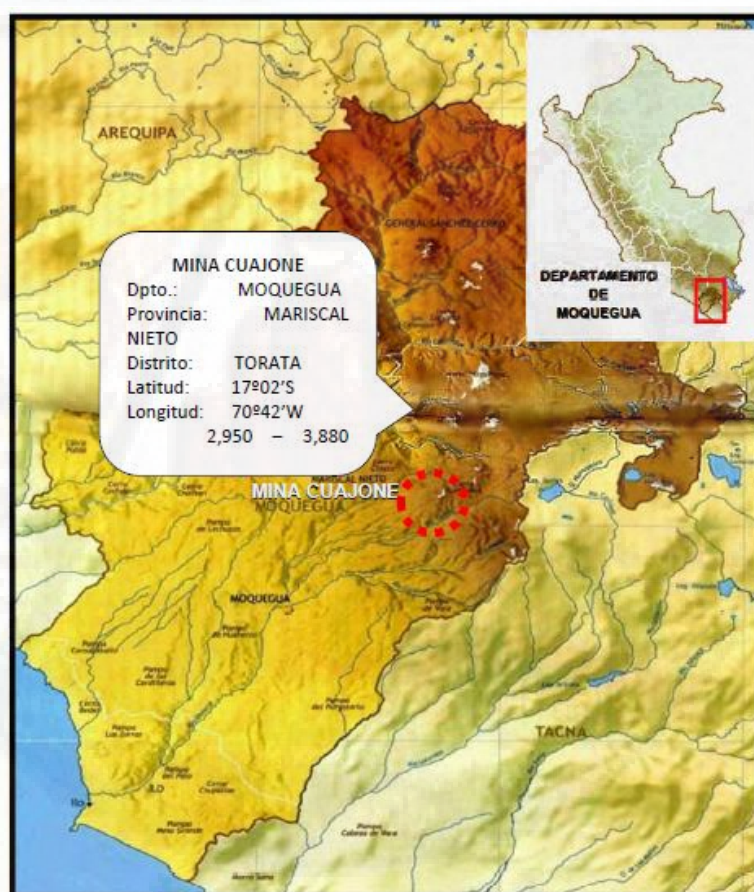


Figura 1. Mapa de Ubicación de la Mina Cuajone, Moquegua – Perú
Tomado del Informe de Recursos (Cuajone, 2017)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

El método de Simulación Condicional ha sido aplicado en nuestro país, así como en el extranjero como, por ejemplo:

2.1.1. Aplicaciones Nacionales

- a. La Geoestadística en América con una aplicación reciente del Centro Geoestadístico Peruano (Marín Suárez & Mendoza Ayala, 2012)

Objetivo

1. Constituir un modelo probabilístico de transporte de mineral conformado por: simulación condicional de recursos al proyecto minero El Porvenir de la empresa Milpo en el año 2012.
2. Este modelo simula las actividades del ciclo de minado y transporte de mineral, identificando factores limitantes para el incremento de su productividad.

A continuación, se detalla los alcances del modelo y/o método Geoestadístico utilizado:

Modelo de Simulación Condicional

Consistió en desarrollar una metodología que reproduzca las características del método de explotación y transporte de mineral utilizado en la Unidad Minera El Porvenir, identificando los cuellos de botella que se genera en el sistema de producción de tal manera se evalúen escenarios para mejorar su

eficiencia y producción de mineral. (Marín Suárez & Mendoza Ayala, 2012, págs. 27-29)

Para ello la metodología contó con este procedimiento:

1. Reconocimiento de campo
 2. Recolección de información
 3. Procesamiento de la información
 4. Formulación del modelo
 5. Programación del modelo
 6. Verificación y validación del modelo
- b. Espaciamiento Óptimo de Taladros aplicando Simulación Condicional en la Mina Tantahuatay (Retto Magallanes & Saenz Rivera, 2013, págs. 3,6)

Objetivo

1. Disminuir el Riesgo de No Clasificar material como Indicado
2. Mejor uso de la inversión en Perforación
3. Mejorar la Reconciliación (comparación entre lo real y lo estimado)

Metodología de Estudio

1. Definición de la Zona de Estudio
 2. Análisis Estadístico
 3. Transformación de datos
 4. Variografía de datos transformados
 5. Simulación, validación y elección
 6. Rebloqueo, extracción y estimación
 7. Selección del mejor espaciamento
- c. Informe de Estimación de Recursos Mina Cuajone (Cuajone, 2017)

Objetivo

1. Determinar los recursos presentes en la mina aplicando Estimación por Kriging.
2. Contar con los controles geológicos y base de datos actualizada para generar el reporte de recursos
3. Aplicar técnicas geoestadísticas para evaluar las leyes por 22 elementos en base a los dominios de estimación

Metodología de Estudio

1. Análisis exploratorio de datos
2. Regularización de compósitos
3. Variografía
4. Evaluación de las leyes con el uso de estimadores geoestadísticos como Kriging Ordinario e Inverso a la Distancia
5. Categorización de recursos

2.1.2. Aplicaciones Internacionales

a. Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Tipo Exótico (Chile)

Los proyectos mineros en sus primeras etapas inician con las campañas de taladros, para interpretar las litologías, definir las zonas minerales y su distribución de leyes para evaluar el yacimiento. (Elissetche Correa & Emery, 2010)

En esta memoria se aplica simulaciones geoestadísticas para cuantificar los recursos minerales de un yacimiento perteneciente a Antofagasta SA (AMSA), el cual fue interpretado en diez dominios y evaluado por kriging. Así como se aplicó Simulación Condicional Gaussiana para obtener modelo de leyes de cobre y cobre soluble. De acuerdo al autor realizaron la validación comparando las realizaciones con los datos originales, el modelo de kriging y el modelo geológico interpretado. Finalmente construyeron curvas de tonelaje-leve para cuantificar los recursos para distintas leyes de corte.

b. Simulación Condicional para la caracterización de recursos y control de leyes (Australia)

La simulación condicional es un conjunto de herramientas geoestadísticas que se está volviendo popular como personal poderoso.

La simulación condicional puede proporcionar varias imágenes equiprobables de un depósito, con una resolución más fina muestra económica o práctica, y eso puede verse limitado por diversos criterios (que pueden ser geológicas, estadísticas y geoestadísticas), para garantizar que las

imágenes representen razonablemente las características del depósito. (Khosrowshahi & Shaw, 2001, pág. 285)

De igual manera esta publicación señala que la simulación condicional es un tipo específico de simulación, por lo que los puntos de datos reales se utilizan en todas las diferentes realizaciones. Se dice que la simulación está condicionada a los datos. Así las variedades de estimación y simulación condicional tienen en común el hecho de que respetan los datos disponibles y consecuentemente, se vuelven más robustos tanto por la cantidad como por la calidad.

La aplicación del Modelo de Simulación Secuencial, se ha convertido en una herramienta común para producir simulaciones condicionales e implica los siguientes pasos: (a) seleccionar una porción representativa del depósito como la base para el modelo de simulación en función de los requisitos del modelo; (b) crear una cuadrícula densa de puntos o nodos desconocidos dentro del modelo de simulación; (c) aplicar restricciones geológicas apropiadas, tales como contactos entre óxido y materiales frescos, geometrías de falla y contactos litológicos; (d) transformar los valores de los datos a una distribución normal; (e) evaluar las imágenes equiprobables y (f) la simulación condicional reproduce la variabilidad de la mineralización. (Khosrowshahi & Shaw, 2001, págs. 285-288)

2.2.Bases Teóricas

La Geoestadística es una rama de la estadística, aplicada en un contexto espacial, que busca estudiar las variables regionalizadas (como la ley de un yacimiento minero), que corresponden a variables numéricas que se distribuyen en el espacio y presentan cierta continuidad espacial (continua, discreta o categórica), aunque escapan a toda representación simple debido a que varían irregularmente. (Osorio, 2015)

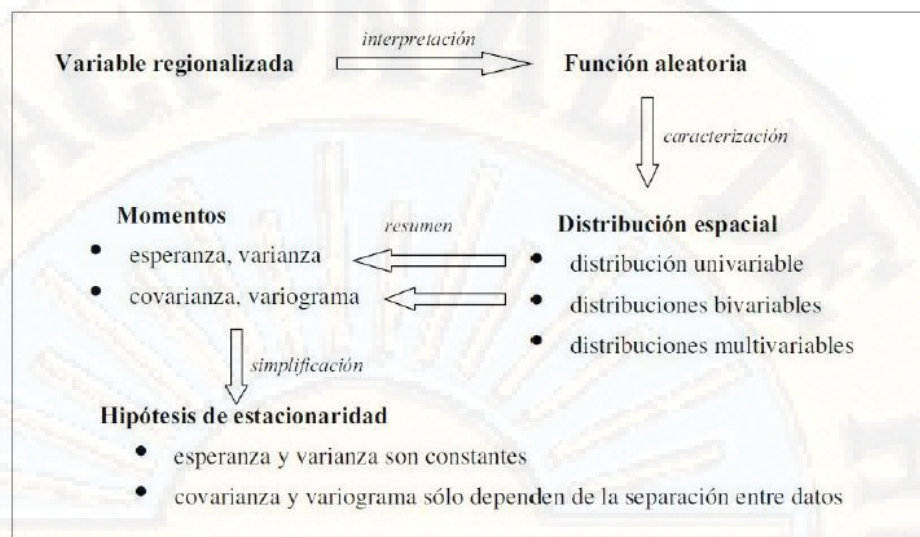


Figura 2. Esquema de los conceptos e hipótesis que sustentan el modelo Geoestadístico
Tomado de Apuntes de Geoestadística (Emery, 2007)

a. Simulación Condicional Gaussiana

La simulación consiste en reproducir la variabilidad real de la variable regionalizada, la idea se basa en la generación de una serie de repeticiones de una misma función aleatoria, para nuestro caso fue de veinte escenarios, partiendo de una lógica de que la variable regionalizada es una realización de esta función. Cada una de estas repeticiones o realizaciones es un escenario posible y permite obtener una imagen cercana a la realidad. (Osorio, 2015)

La simulación condicional tiene las siguientes propiedades: (a) interpolación exacta cuando la simulación es condicional; (b) una función de la variable regionalizada puede ser estimada sin sesgo por la misma función aplicada a los valores simulados; (c) la dispersión de los valores simulados es la misma que la de los valores verdaderos, de esta manera no suaviza y (d) el error entre el valor real y el valor simulado no tiene una varianza mínima. (Emery, 2007)

b. Escenarios de Evaluación de la Simulación Condicional Gaussiana

La elección de esta herramienta geoestadística permite obtener escenarios o realizaciones para poder evaluar el modelo de leyes, comparado con la data real y con peso. Estas realizaciones muestran la distribución de las

leyes en bloques tridimensionales y de esta forma se selecciona los mejores escenario o realizaciones para poder evaluar el riesgo o incertidumbre en el proceso de planificación minera. (Emery, 2007)

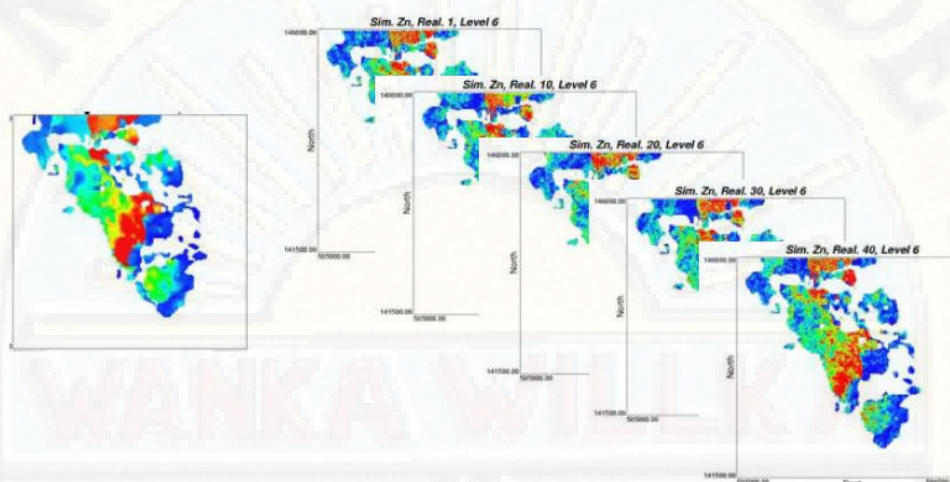


Figura 3. Escenarios de Simulación Condicional Gaussiana
Tomado de Sesiones de Software Minero DataMine (**DataMine, s.f.**)

Para poder cuantificar los recursos se recurren a dos medios: Estimación o Simulación, la característica del primero de ellos es: no incorpora una medida de error, no reproducen la data a través de histogramas y el modelo de continuidad espacial (variograma); caso contrario si es posible en la Simulación donde se refleja mejor la variabilidad de la mineralización al representar la proporción correcta de leyes altas y bajas, la media, varianza. En el caso del modelo de variograma la Simulación describe la complejidad del yacimiento y la conectividad con distintas leyes; al cumplir estas condiciones se puede decir que es Condicional.

c. Dominios de Estimación de Recursos

Conformado por el agrupamiento de las unidades litológicas y las Zonas de Mineralización para caracterizar la Mina Cuajone, para el caso de estudio en la actualidad se tienen 11 dominios, pero por temas de investigación se decidió incluir una zona adicional (412) conformada por la Brecha de Andesita Intrusiva como se puede apreciar en la tabla siguiente y

las gráficas correspondientes por cada Dominio de Estimación para el caso de estudio:

Tabla 1. Detalle de los Dominios de Estimación Mina Cuajone (**Modelamiento, 2012**)

Dominios	Roca	Mineral	Descripción
400	Cualquiera	Lixiviado	Todas las unidades litológicas de Cuajone
401	Cualquiera	Oxido	Todas las unidades litológicas de Cuajone
402	Cualquiera	Enriquecido	Todas las unidades litológicas de Cuajone
403	Cualquiera	Transicional	Todas las unidades litológicas de Cuajone
404	LP	Primario	Latita Porfírica (LP)
405	BLP, RP, DK	Primario	Barren Latita Porfírica (BLP), Riolita Porfírica y Dique
406	BxBLP	Primario	Brecha de BLP
407	BxLP	Primario	Brecha de LP
408	BA, BxBA	Primario	Andesita Basáltica (BA) y Brecha de BA
409	IA	Primario	Andesita Intrusiva (IA)
410	Cualquiera	Desmonte	Todas las unidades litológicas de Cuajone
412	BxIA	Primario	Brecha de IA

Dominio 400



Dominio 401



Dominio 402



Dominio 403

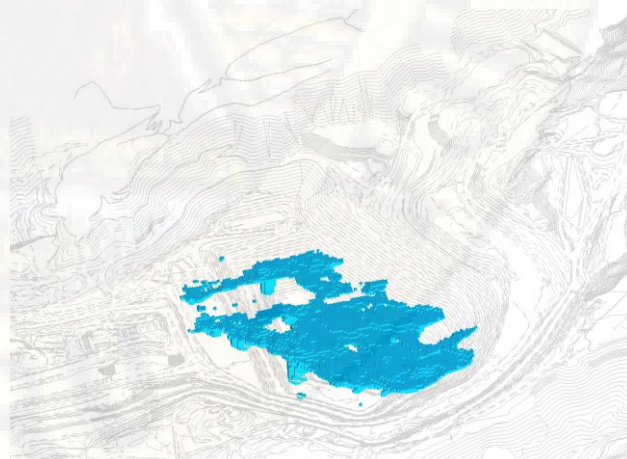


Figura 4. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone del 400 al 403

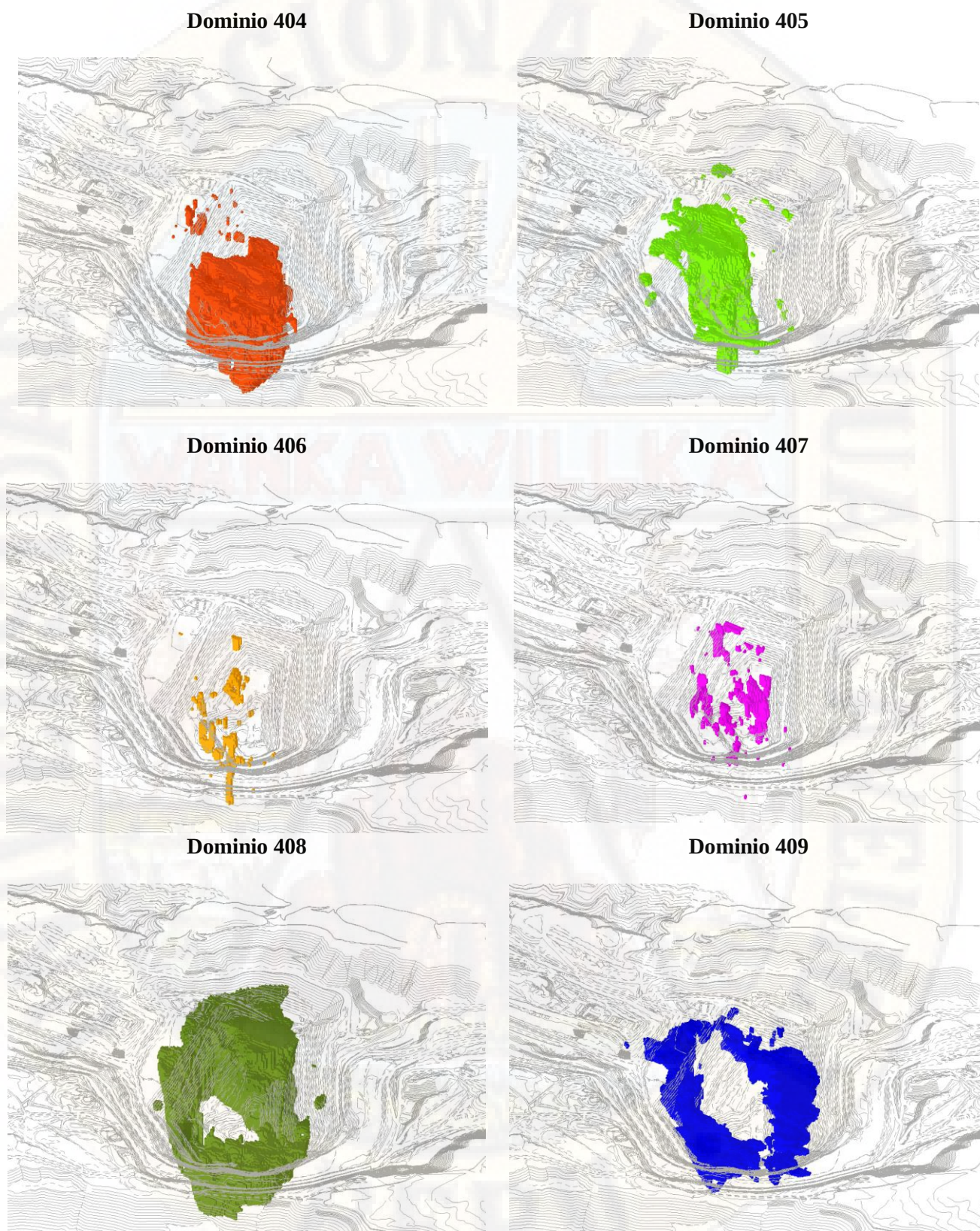


Figura 5. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone del 404 al 409

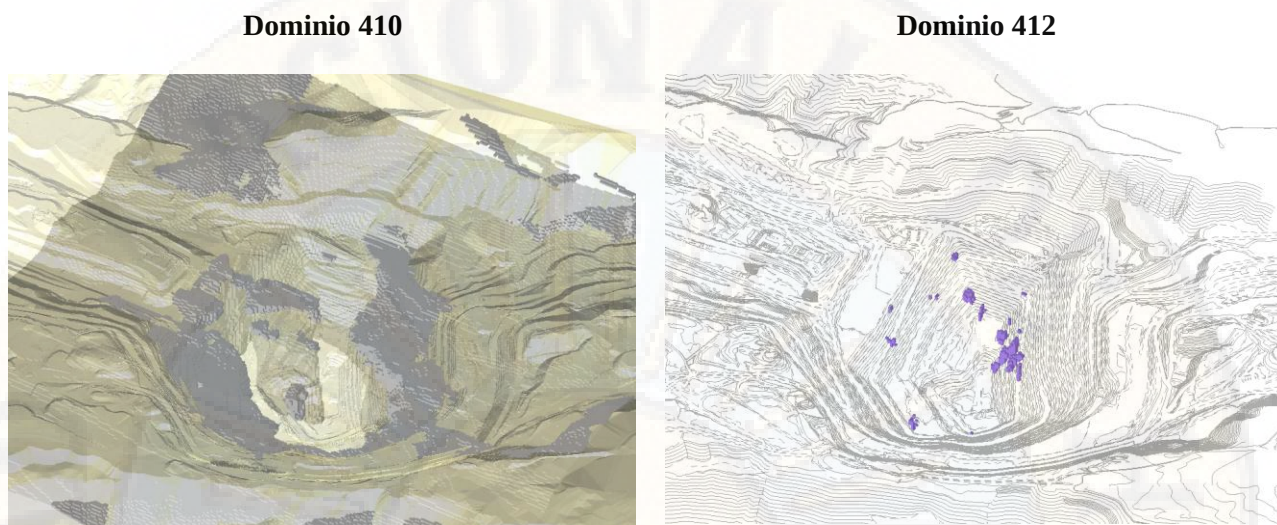


Figura 6. Dominios de Estimación de Recursos Mina Cuajone 410 y 412

2.3. Formulación de Hipótesis

La técnica Geoestadística denominada Simulación Condicional Gaussiana, permite reflejar la naturaleza de la mineralización al representar la proporción de las leyes altas y bajas de los doce dominios de estimación de la Mina Cuajone por ello el término condicional; obteniéndose diversas realizaciones o escenarios representados por modelo de bloques con valores de cobre más cercanos a la realidad. Caso contrario se tiene en la metodología actual como es la Estimación que sólo representa la mineralización de Cuajone en un sólo escenario, donde las leyes están suavizadas o promediadas no permitiendo evaluar la complejidad de las leyes como se presentan en la naturaleza.

2.4. Definición de Términos

A continuación, se considera los siguientes términos:

d. Curva Tonelaje Ley

La curva de Tonelaje Ley es una representación gráfica del inventario de material en términos de tonelaje y ley en leyes de corte específicos. La gráfica es una gráfica bidimensional con un eje x y dos ejes y. Los ejes Y izquierdo y derecho se utilizan para leer el tonelaje y la ley promedio, respectivamente.

e. Decluster o Desagrupamiento

El desagrupamiento o “declustering” se emplea para calcular el histograma y las estadísticas generales corrigiendo los efectos provocados por las irregularidades de la malla de muestreo. La idea central consiste en que las muestras espacialmente cercanas deben ser ponderadas en menor medida que aquellas más aisladas. (Santiago, 2017, pág. 5)

f. Estimación de Kriging

El estimador de kriging como tal es una combinación de variables aleatorias y por tanto una cantidad aleatoria, el área o vecindad donde se realiza la estimación kriging se desarrolla de manera general en zonas de búsqueda sobre todos los nodos de la grilla que cubre el bloque definiéndose la forma y tamaño de vecindad que estará en función a los datos disponibles y la forma en función a la anisotropía de la variable. (Osorio, 2015)

g. Estudio Exploratorio de Datos

Establecer el comportamiento de la variable regionalizada como es el caso de la ley mineral de Cobre, identificar el agrupamiento de datos y en general para prevenir dificultades con el manejo de las bases de datos, como la duplicidad de valores. En el caso de estudio se hizo un tratamiento de datos de assays, compósitos, box plot, histogramas.

h. Estudio variográfico

Tiene como objetivo conocer la continuidad espacial de la variable en estudio, debido a que los valores observados en distintos puntos del espacio pueden estar correlacionados. Para desarrollar este estudio se utiliza una función llamada variograma, el cual representa el análisis de la variabilidad espacial de los valores que toma la variable de estudio. Los parámetros que se deben especificar en la construcción de un variograma experimental son; (a) dirección de interés; (b) distancia de interés paso “Lag”; (c) tolerancia en la dirección, tolerancia angular y ancho de banda y (d) tolerancia en las distancias. (Osorio, 2015)

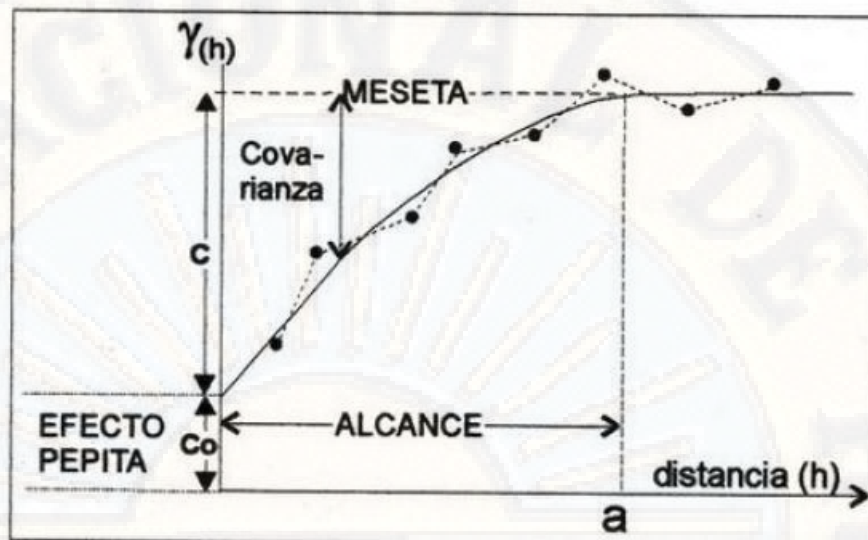


Figura 7. Representación de un Variograma

i. Gráficas de Swath Plot

Permite evaluar sesgos en los diferentes ejes de distribución de las muestras (X, Y y Z), así como validar los métodos de estimación. En nuestro caso se usará para comparar la ley de la data original con la data de los escenarios más cercanos a la real.

j. Gráfica Q-Q Plot

Método gráfico para el diagnóstico de las diferencias de la distribución de probabilidad de la población de lo que se ha extraído de una muestra aleatoria, en nuestro caso se compara la distribución de las muestras con la distribución de las simulaciones para cumplir la hipótesis de similitud. (Cleveland, 1994)

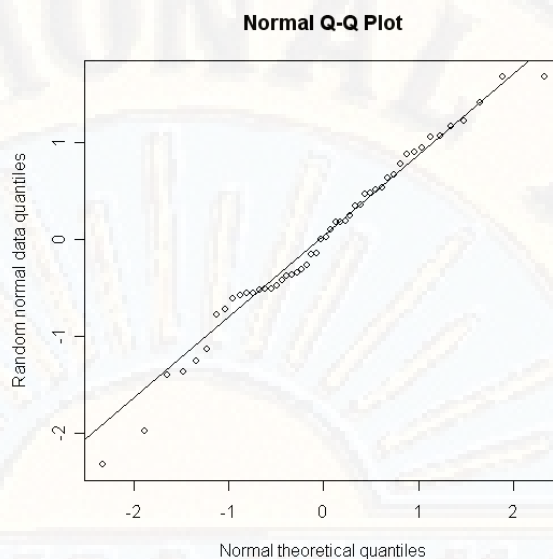


Figura 8. Un gráfico Q-Q normal de datos $N(0,1)$ generados aleatoriamente.

k. Kriging Ordinario

En este método se desconoce el valor promedio de la variable regionalizada caso contrario el variograma $\gamma(h)$, el cual puede o no tener meseta. El considerar el valor de la media como desconocido permite generalizar el estimador a situaciones donde la media no es constante a escala global; la media puede variar de un lugar a otro siempre que sea aproximadamente constante en cada vecindad del Kriging.

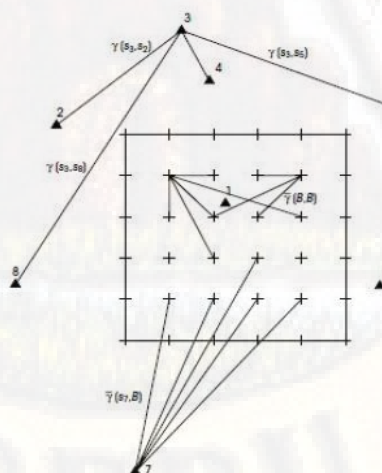


Figura 9. Representación gráfica del krigeado de un bloque. Tomado de Apuntes de Geoestadística
Tomado de Apuntes de Geoestadística (Emery, 2007)

l. Ley de Corte o Cut Off

Ley mínima explotable por lo cual se mide el costo de producción y recuperación económica. En base a este dato se tiene la referencia de mineral al proceso según las características de la operación y tiempo de vida útil de la Concentradora para el chancado y molienda. Para el caso de Cuajone la ley mínima de corte es de 0.3%Cu. (Cuajone, 2017)

m. Modelo esférico

El variograma esférico de alcance “a” y meseta “c” se define:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \begin{cases} C \left\{ \frac{3}{2} \frac{|\mathbf{h}|}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{|\mathbf{h}|}{a} \right)^3 \right\} & \text{si } |\mathbf{h}| \leq a \\ C & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Figura 10. Ecuación del Modelo Esférico

Es un modelo que representa una variable regionalizada continua:

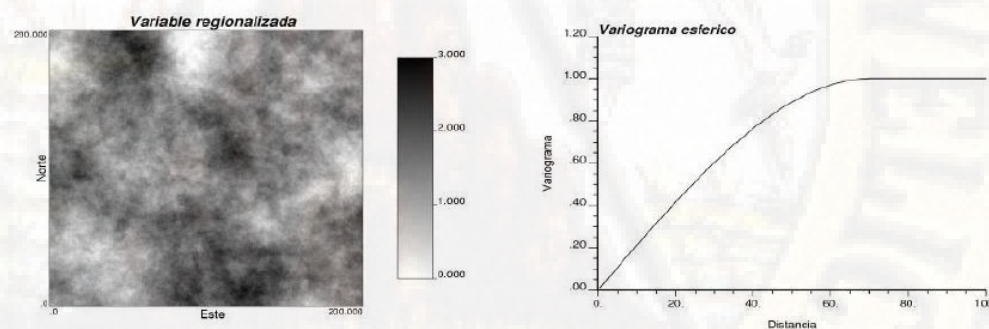


Figura 11. Representación del Modelo Esférico
Tomado de Apuntes de Geoestadística (Emery, 2007)

n. Niveles o bancos de minado

La unidad de minado en Cuajone es en base a los bancos de producción, los cuales tiene una altura de 15 metros. Para el caso de estudio se tomará

bancos de referencia para hacer las comparaciones con modelo de Estimación vs Simulación por cada dominio de estimación. (Cuajone, 2017)

o. Soporte

La superficie o volumen sobre el cual se considera la variable regionalizada se conoce como soporte. En general los soportes representan a las muestras exploratorias, el soporte representa una unidad selectiva de minado; esto es esencial debido a la independencia que existe entre el soporte y la distribución estadística de los valores, que se conoce como efecto soporte. (Osorio, 2015)

p. Variable EType

Referido a la ley promedio bloque a bloque por elemento de análisis de estudio, en el caso de estudio se aplica a las leyes de cobre por cada dominio de estimación. (DataMine, s.f.).

2.5. Identificación de Variables

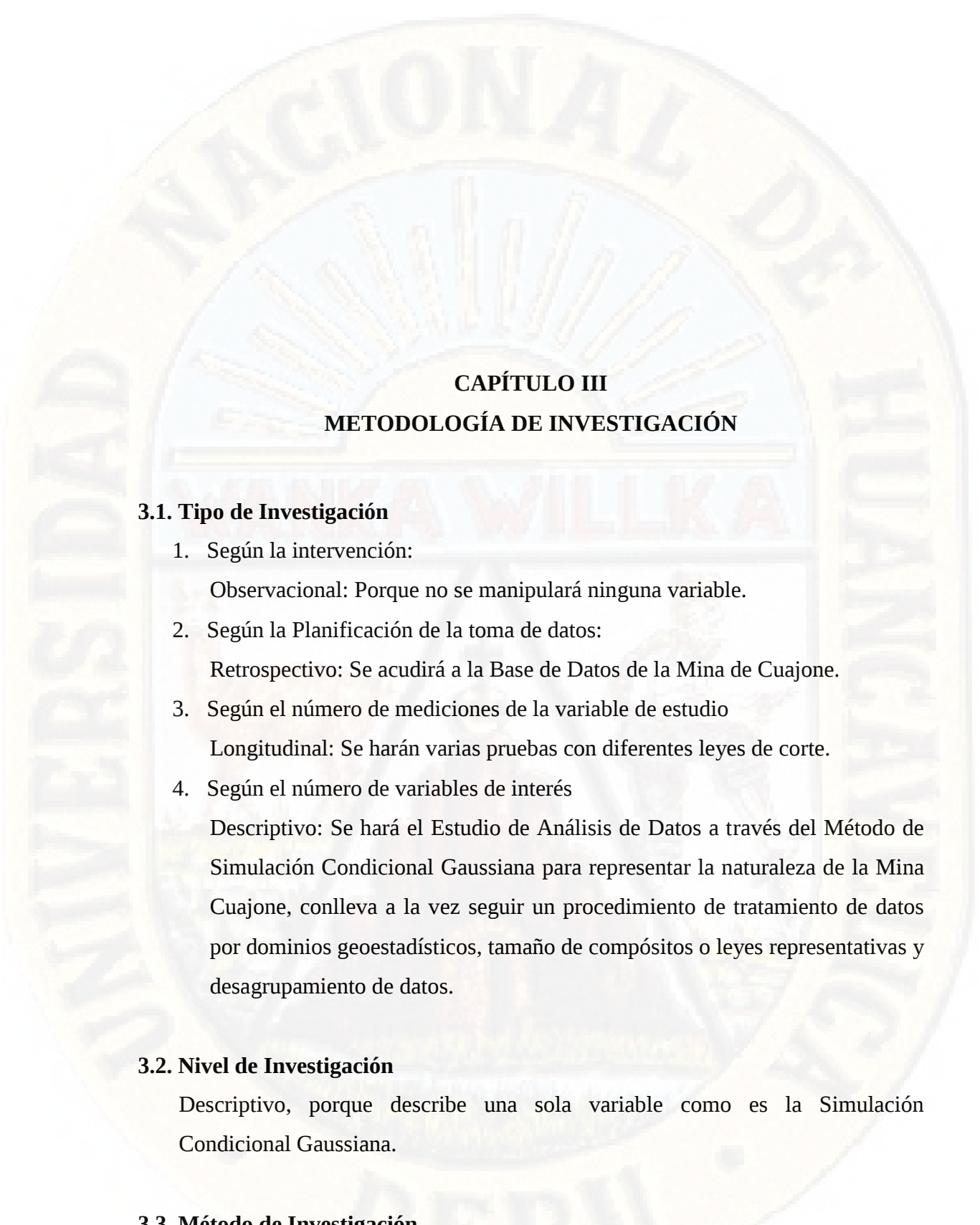
Existe una sola variable, la cual hace referencia a la Simulación Condicional Gaussiana aplicada a los doce dominios de estimación de la Mina Cuajone.

2.6. Operacionalización de variables

A continuación, se menciona la variable que se requiere para realizar este proyecto de investigación:

Tabla 2. Variables e Indicadores del Proyecto de Investigación

Variable Operativa	Indicador	Valor Final	Tipo de Variable
Simulación Condicional Gaussiana: Aplicado a los dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone	Análisis Exploratorio de Datos Assay y Compósitos por Dominios Geoestadísticos:	Histogramas, gráficas de Box Plot y Curva de Probabilidad Acumulada para analizar la distribución de los datos por dominio	Numérica
	Agrupación de unidades litológicas con Zonas de Mineralización	(400,401,402,403,404,405, 406,407,408,409,410 y 412)	
	Proceso de Simulación Condicional Gaussiana Hacer honor a los datos reales de la mineralización	Datos transformados al espacio original y variografía para obtener los alcances por dominio, así como las realizaciones y/o escenarios por ley de Cobre.	Numérica
	Validación de Histogramas, Curva Tonelaje Ley y Swath Plot.	Representación de los veinte escenarios por cada dominio de estimación La medición será al comparar la media regularizada y con peso de la data real vs la media del escenario (s) de la Simulación Gaussiana	Numérica



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

1. Según la intervención:

Observacional: Porque no se manipulará ninguna variable.

2. Según la Planificación de la toma de datos:

Retrospectivo: Se acudirá a la Base de Datos de la Mina de Cuajone.

3. Según el número de mediciones de la variable de estudio

Longitudinal: Se harán varias pruebas con diferentes leyes de corte.

4. Según el número de variables de interés

Descriptivo: Se hará el Estudio de Análisis de Datos a través del Método de Simulación Condicional Gaussiana para representar la naturaleza de la Mina Cuajone, conlleva a la vez seguir un procedimiento de tratamiento de datos por dominios geoestadísticos, tamaño de compósitos o leyes representativas y desagrupamiento de datos.

3.2. Nivel de Investigación

Descriptivo, porque describe una sola variable como es la Simulación Condicional Gaussiana.

3.3. Método de Investigación

Hace referencia al método científico descriptivo, el cual tiene como preocupación primordial dar a conocer las características fundamentales de

fenómenos homogéneos; aplicando criterios sistemáticos para analizar el comportamiento mineralógico de los dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone como objeto de estudio del presente trabajo de investigación por medio de la Simulación Condicional Gaussiana.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño del proyecto tiene las siguientes características:

1. Observacional: Porque no se manipulará ninguna variable.
2. Retrospectivo: En función a la base de datos de la Mina Cuajone.
3. Longitudinal: realizar varias pruebas y/o ensayos según leyes de corte.
4. Descriptivo: Representar y analizar las leyes según como se presenten en la naturaleza considerando los valores como tal para comprender la variabilidad de la mineralización de la zona de estudios determinado por la Simulación Condicional Gaussiana.

3.5. Población, Muestra y Muestreo

Población : Conjunto de resultados producto del análisis químico aplicado a las campañas de perforación en la Mina Cuajone.

Muestra : Las leyes de cobre que están comprendidas dentro de los dominios de estimación.

Muestreo : No Probabilístico, para la evaluación de los escenarios mediante el Método de Simulación Condicional Gaussiana todas las muestras se adecuan y se utilizan todas las muestras en forma intencional para representar la naturaleza de la mineralización de Cuajone.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas

1. Observación y cotejo: Interpretación de datos y pronósticos de la continuidad de mineralización a través de la técnica de Simulación Condicional.

Instrumentos

2. Libreta de apuntes, seguimiento de los resultados obtenidos en todo el proceso, las gráficas son interpretadas por cada dominio de estudio.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se presenta a continuación las diferentes actividades propuestas como método para alcanzar los objetivos propuestos:

3.7.1. Técnicas de procesamiento

- a. Los datos de las leyes de Cobre para los doce dominios de estimación de recursos (400 al 412) comprendidos dentro de la Base de Datos de las campañas de perforación abarcan desde 1942 al 2017. Estos datos son ingresados y tratados en los softwares mineros MinePlan y DataMine (programas de planificación minera), como primer paso se realizó el Análisis Estadístico de Datos (EDA) a través del reporte general de los estadígrafos de posición y dispersión de las muestras iniciales y luego de las muestras promediadas o compósitos. Los datos estadísticos se han representado en las gráficas de Box Plot (media, mediana, cuartiles) por cada dominio. Así como también ha denotado la presencia de valores anómalos o discontinuos mínimos y máximos en cada dominio. Luego se procede a determinar los histogramas por assay y compósitos, utilizando la data de las leyes de cobre; los histogramas de compósitos serán referentes para seleccionar las mejores realizaciones y/o escenarios de los modelos obtenidos en la Simulación Condicional Gaussiana.
- b. Los histogramas de los compósitos de los dominios de estimación son transformados al espacio Gaussiano con media cero y varianza uno para comenzar con el análisis variográfico. Previamente en el caso de la zona de estudio el desagrupamiento de datos se asume la distribución de los taladros dentro de una malla de perforación de 60 x 60 metros. La variable que se obtiene NSCore se utilizará para realizar y modelar los variogramas por dominio con tres estructuras

para conformar el modelo esférico. De esta forma se obtiene los alcances y parámetros para comenzar a realizar la Simulación Condicional Gaussiana para obtener veinte realizaciones o escenarios. Estos variogramas a la vez son validados en DataMine obteniendo el coeficiente de correlación, con estos pasos se ingresará los datos en la aplicación Summit de este software en mención para comenzar con el proceso de Simulación Condicional.

- c. La aplicación de Summit requiere de los datos de Cobre por cada dominio, parámetros de búsqueda y ángulos de rotación que se obtienen de los variogramas modelado, así como el mínimo y máximo muestras para poder obtener las realizaciones y/o escenarios; en nuestro caso se trabajará con veinte realizaciones para poder evaluarlas y determinar aquellas que son más cercanas a la realidad. Esta aplicación a la vez de manera automática genera gráficos estadísticos, Q-Q Plot para ver la correspondencia de datos simulados y reales, los recursos según la ley de corte y el comportamiento de las leyes a distintas distancias en los eje X, Y y Z. para poder comparar los resultados se toma una vista en planta del modelo de bloques determinado por el modelo de Estimación (modelo actual de Cuajone) vs el modelo de Simulación más cercano a la realidad para proceder con la interpretación y evaluación de escenarios y/o realizaciones por dominio de estimación.

3.7.2. Análisis de datos

- a. El Análisis Exploratorio de Datos (EDA) ha permitido explorar la distribución y naturaleza de los datos por cada dominio de estimación tanto en Assay como en Compósitos, representados a la vez en las gráficas de Box Plot y Probabilidad Acumulada. Con esta información se procedió a determinar los histogramas de la data real, las cuales permitirá evaluar las mejores realizaciones y/o modelos según el valor de la media y la distribución de los datos. Por otro lado, la aplicación Summit del software DataMine genera la variable

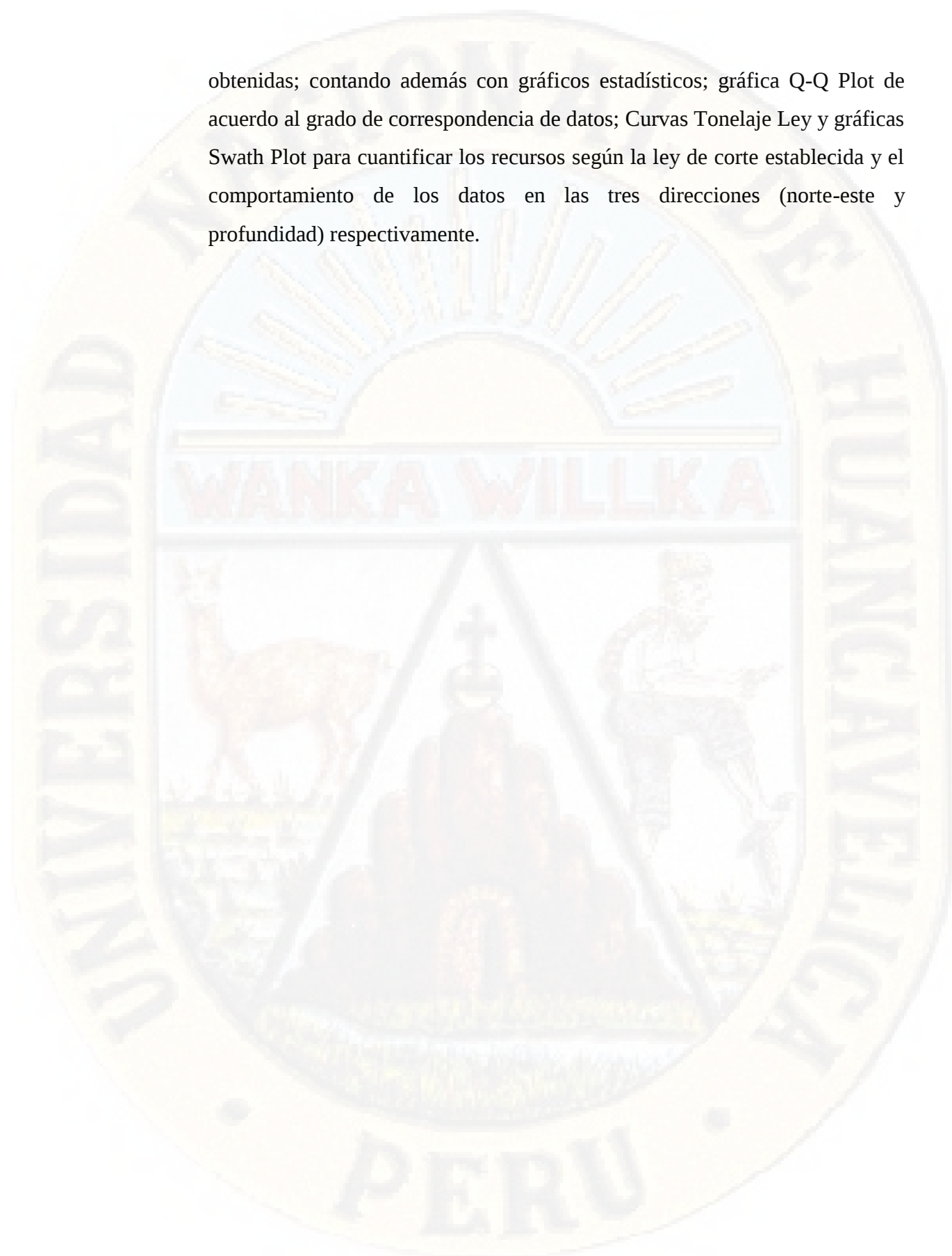
EType; la cual representa la ley promedio bloque a bloque, la cual se considera con un validador para determinar la mejor realización de la distribución de la data real según el dominio de estudio.

- b. Se obtuvo veinte realizaciones en base a las leyes de Cobre por cada dominio de recursos, se elige modelos en secciones en planta representativos por los bancos de minado y se comparó con la distribución de los bloques que se obtuvieron con el método de Estimación por cada dominio de estimación, los bloques se observan según rangos de leyes, así como la distribución de la verdadera distribución de los datos según como se presenten en la naturaleza.
- c. La interpretación abarca las gráficas de Q-Q Plot y Swath Plot así como las Curvas de Tonelaje Ley por cada dominio y se detallará los hallazgos por dominio según el desarrollo del trabajo de investigación.

3.8. Descripción de la prueba de hipótesis

Para poder representar los valores reales de las muestras se debe realizar el Análisis Exploratorio de Datos de los doce dominios de estimación, con ello se indicará los valores de leyes altas y bajas de cobre tal cual se tienen registradas en la base de datos perteneciente a la Mina Cuajone entre 1942 al 2017. Se acompañará con gráficos estadísticos que contribuya con el análisis de datos. Luego de ello los datos son transformados a espacio Gaussiano con media cero y varianza uno para tener un mejor reordenamiento de los valores de cobre. Además de ello se obtendrán los variogramas de modelo esférico con tres estructuras los cuales deben ser modelados y validados para determinar los alcances y distancias de búsqueda para conformar las realizaciones o escenarios ilustrados en base a modelos de bloques que a su vez se comparara con la variable EType (ley promedio bloque a bloque) así como el modelo de Estimación actual, según un nivel o banco de referencia. Seguido de ello se debe de seleccionar las mejores realizaciones o escenarios al comparar la media y distribución de datos de los histogramas de la data real y con peso junto con los histogramas más cercanos a ellos de las realizaciones

obtenidas; contando además con gráficos estadísticos; gráfica Q-Q Plot de acuerdo al grado de correspondencia de datos; Curvas Tonelaje Ley y gráficas Swath Plot para cuantificar los recursos según la ley de corte establecida y el comportamiento de los datos en las tres direcciones (norte-este y profundidad) respectivamente.



CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e interpretación de datos

4.1.1. Análisis Exploratorio de Datos

a. Assay

Referido a las muestras obtenidas cada 3 metros de Cobre comprendidos en los dominios de estimación, donde se considera el Análisis Estadístico de Datos, Box Plot y Curva de Probabilidad Acumulada:

Tabla 3. Reporte Estadístico de Cobre por Dominio de Estimación - Assay

		Valid	Rejected	Lenght	Sum	Minimum	Maximum	Mean	1st Quartile	Median	3rd Quartile	Std. Devn.	Variance	Co. of Variation
400	Cobre	1,714	124	5,345.70	123.753	0.001	6.21	0.0704	0.022	0.05	0.0799	0.1501	0.0225	2.1305
401	Cobre	2,545	85	7,843.73	1,529.05	0.002	7.2	0.6082	0.14	0.325	0.7599	0.7627	0.5817	1.254
402	Cobre	2,040	17	7,127.92	2,031.55	0.02	8.84	0.9906	0.2891	0.671	1.38	0.9567	0.9154	0.9659
403	Cobre	4,239	56	15,899.84	3,326.14	0.013	5.46	0.7652	0.37	0.672	1.0399	0.5405	0.2921	0.7063
404	Cobre	25,674	588	86,353.46	16,089.75	0.01	4.55	0.6308	0.4101	0.57	0.79	0.3189	0.1017	0.5055
405	Cobre	6,356	544	21,606.50	1,515.58	0.003	1.655	0.2374	0.1131	0.18	0.2999	0.1899	0.0361	0.8001
406	Cobre	1,325	12	4,110.27	437.61	0.039	1.51	0.3364	0.176	0.28	0.43	0.2188	0.0479	0.6503
407	Cobre	2,518	64	8,135.72	1,943.97	0.049	7.427	0.7906	0.4201	0.64	0.966	0.6273	0.3936	0.7935
408	Cobre	20,847	311	65,809.14	10,275.03	0.002	3.74	0.5022	0.3	0.44	0.643	0.2934	0.0861	0.5843
409	Cobre	13,565	185	45,887.10	8,610.93	0.005	3.43	0.644	0.335	0.61	0.8959	0.387	0.1498	0.601
410	Cobre	10,822	196	34,479.69	723.634	0.001	2.02	0.0652	0.0301	0.05	0.0799	0.0732	0.0054	1.1233
411	Cobre	62	21	244.39	28.938	0.1	1.247	0.4402	0.22	0.4	0.5099	0.2494	0.0622	0.5665
412	Cobre	360	93	1,219.19	259.259	0.044	2.431	0.734	0.494	0.689	0.997	0.3545	0.1257	0.483

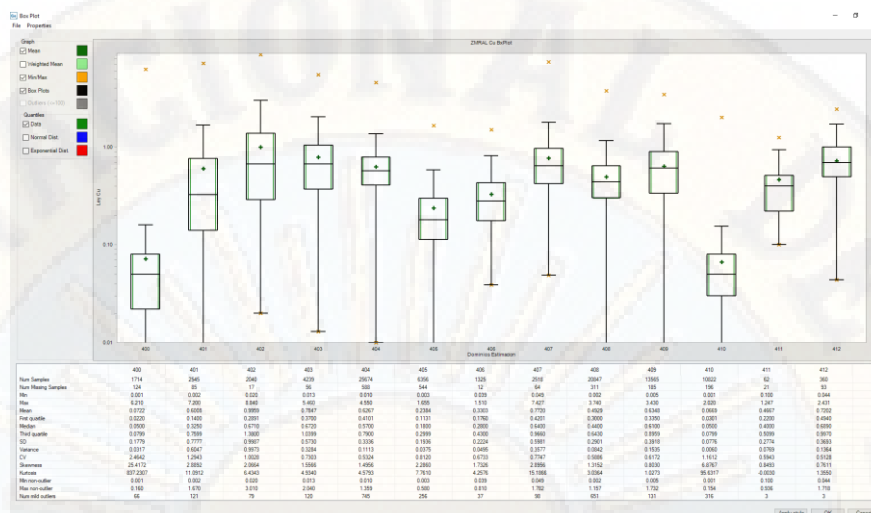


Figura 12. Assay - Box Plot por Cobre por Dominio de Estimación

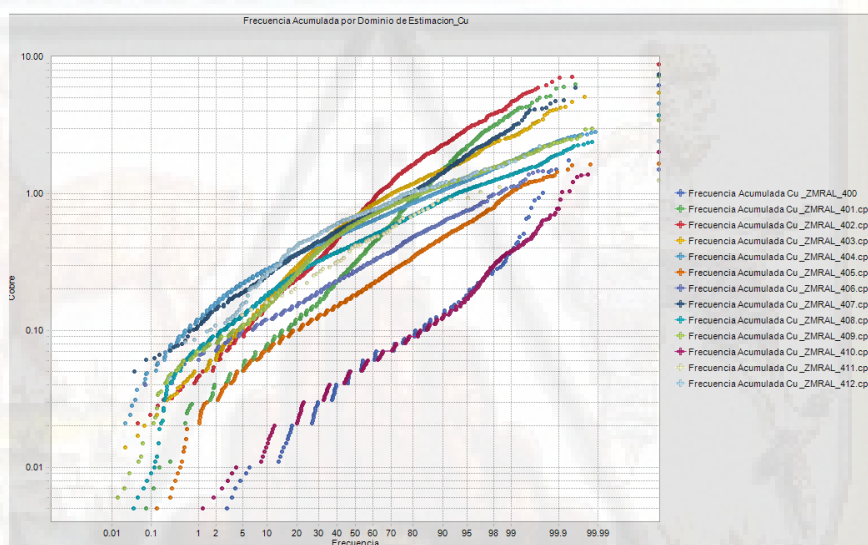


Figura 13. Curvas de Probabilidad Acumulada Cobre por Dominio de Estimación

La gráfica de Box Plot muestra el comportamiento variable en todos los dominios de estimación, influenciado por los valores anómalos presentes en la naturaleza de un yacimiento diseminado de Cobre, al igual las curvas de probabilidad muestran la continuidad de las muestras que pertenecen a un dominio, a la vez el espaciamiento entre las muestras donde se requiere mayor información.

b. Compósitos

Referido a las muestras regularizadas cada 15 metros según la unidad de producción de la Mina Cuajone (bancos de 15 metros):

Tabla 4. Reporte Estadístico de Cobre por Dominio de Estimación – Compósitos

		Valid	Rejected	Lenght	Sum	Minimum	Maximum	Mean	1st Quartile	Median	3rd Quartile	Std. Devn.	Variance	Co. of Variation
400	Cobre	768	270	11,311.10	62.4658	0.0022	0.8653	0.0808	0.0257	0.0553	0.0933	0.1001	0.01	1.2385
401	Cobre	1,154	72	16,352.88	692.344	0.015	5.13	0.6011	0.1747	0.3727	0.7521	0.6605	0.4363	1.0989
402	Cobre	1,004	12	14,570.88	973.976	0.0427	5.1937	0.964	0.3306	0.6782	1.326	0.8629	0.7446	0.8951
403	Cobre	2,214	50	32,000.02	1,712.04	0.0296	5.4047	0.7728	0.4027	0.678	1.0419	0.5363	0.2876	0.694
404	Cobre	11,944	320	172,944.10	7,520.90	0.05	3.8305	0.6306	0.4298	0.5773	0.78	0.2916	0.085	0.4623
405	Cobre	3,112	300	43,288.13	749.4066	0.0033	1.51	0.2369	0.1268	0.192	0.2925	0.166	0.0276	0.7006
406	Cobre	624	4	8,289.16	212.426	0.075	1.064	0.3352	0.196	0.298	0.43	0.1874	0.0351	0.5591
407	Cobre	1,206	34	16,284.86	935.4832	0.1187	7.427	0.7915	0.44	0.646	0.9602	0.5811	0.3377	0.7342
408	Cobre	9,224	216	132,227.40	4,652.69	0.0036	1.7	0.5029	0.322	0.4507	0.6282	0.2665	0.071	0.5299
409	Cobre	6,514	154	92,004.20	4,182.91	0.0193	2.114	0.6427	0.3623	0.6266	0.8819	0.3573	0.1277	0.556
410	Cobre	4,776	150	69,575.40	316.4854	0.002	1.11	0.0663	0.0321	0.0526	0.082	0.0647	0.0042	0.9762
411	Cobre	40	10	488.78	18.0116	0.135	1.0214	0.4402	0.2801	0.4	0.5621	0.2232	0.0498	0.5071
412	Cobre	188	38	2,444.38	136.9769	0.1224	1.4848	0.7333	0.5241	0.711	0.9871	0.304	0.0924	0.4146

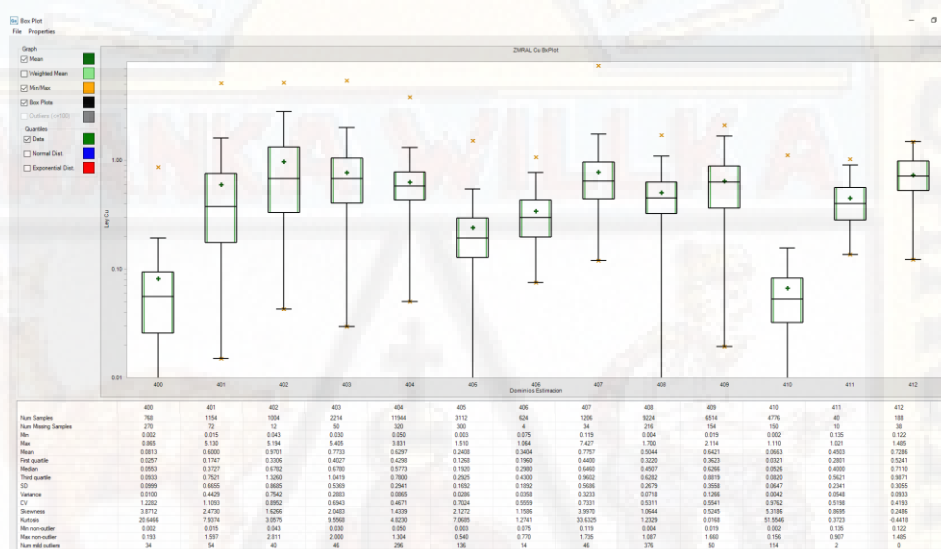


Figura 14. Compósitos - Box Plot de Cobre por Dominio de Estimación

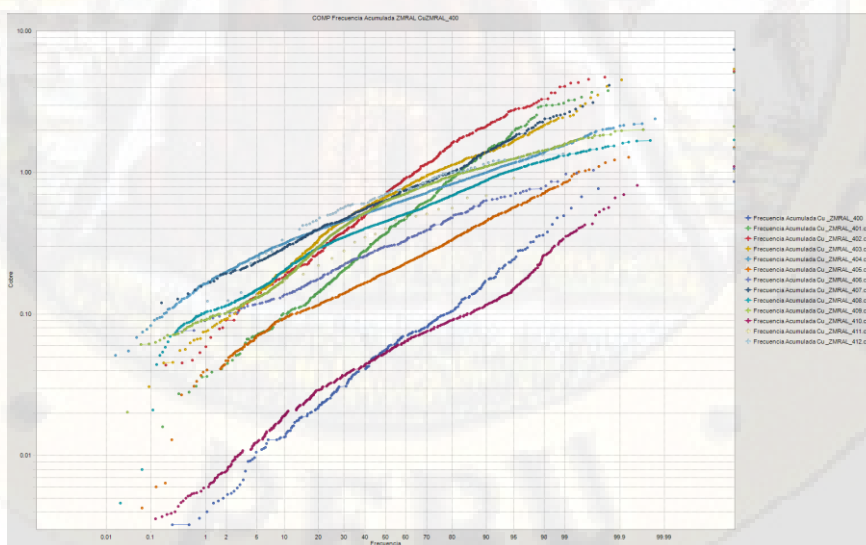


Figura 15. Curvas de Probabilidad Acumulada Cobre por Dominio de Estimación.

La gráfica de Box Plot y curvas de probabilidad acumulada donde se ha regularizado las muestras a 15 metros muestran el ordenamiento de datos en función al soporte, los valores anómalos siempre van a influenciar en los resultados. Para el caso de la simulación condicional se asumen estos datos como tal por ello el término condicional. El dominio 411 no cuenta con suficientes muestras por lo cual será parte del dominio 408; el cual es la zona de mineralización de origen.

c. Histogramas Compósitos por Dominios de Estimación

A continuación, se ha elaborado los histogramas por cada Dominio de Estimación, donde se indica sus estadígrafos de posición y dispersión, la mayoría de ellos muestra un sesgo positivo y asimetría hacia la derecha como se muestra a continuación:

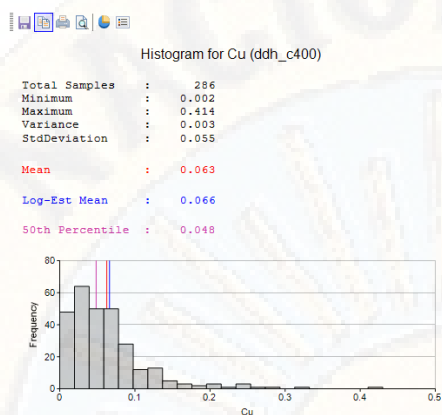
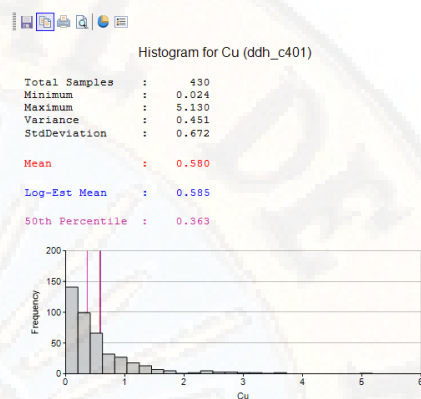
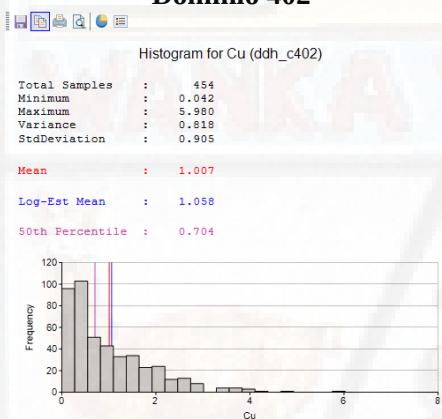
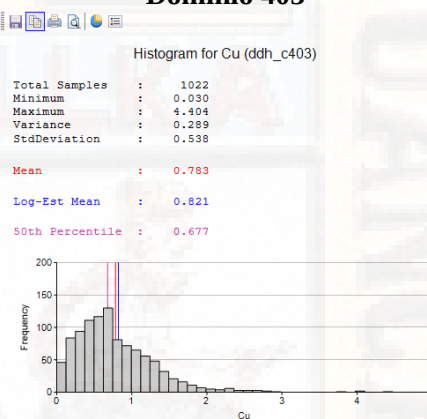
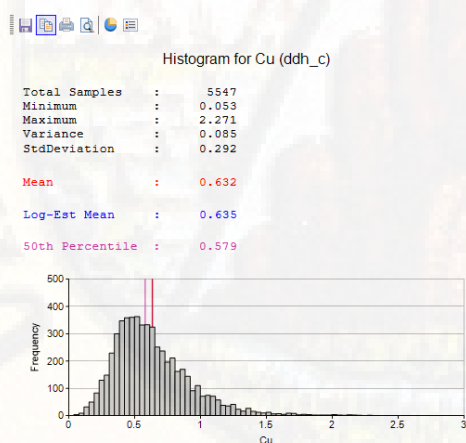
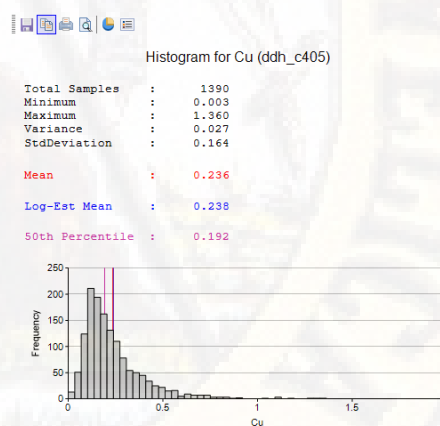
Dominio 400**Dominio 401****Dominio 402****Dominio 403****Dominio 404****Dominio 405**

Figura 16. Histogramas de los Compósitos de Cobre de los dominios del 400 al 405

Dominio 406

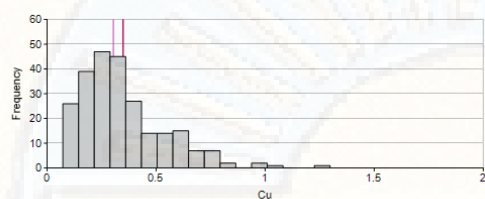
Histogram for Cu (ddh_c406)

Total Samples : 247
 Minimum : 0.093
 Maximum : 1.263
 Variance : 0.038
 StdDeviation : 0.194

Mean : 0.348

Log-Est Mean : 0.348

50th Percentile : 0.303

**Dominio 407**

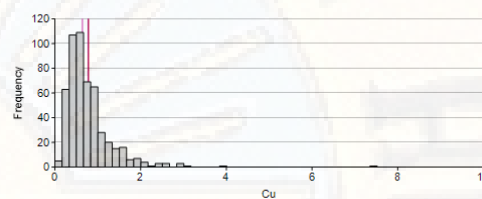
Histogram for Cu (ddh_c407)

Total Samples : 527
 Minimum : 0.111
 Maximum : 7.427
 Variance : 0.337
 StdDeviation : 0.580

Mean : 0.782

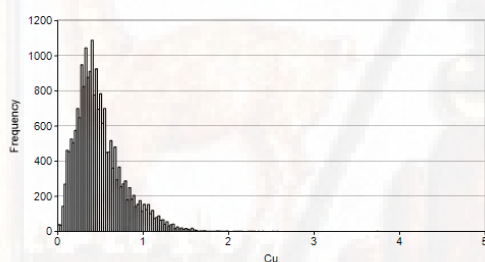
Log-Est Mean : 0.776

50th Percentile : 0.642

**Dominio 408**

Histogram for Cu (WF_408A)

Total Samples : 21165
 Minimum : 0.002
 Maximum : 3.740
 Mean : 0.492
 Variance : 0.084
 StdDeviation : 0.289
 Log Variance : 0.411
 50th Percentile : 0.430

**Dominio 409**

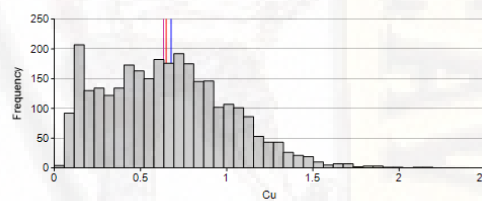
Histogram for Cu (ddh_c409)

Total Samples : 2967
 Minimum : 0.019
 Maximum : 2.138
 Variance : 0.127
 StdDeviation : 0.357

Mean : 0.649

Log-Est Mean : 0.678

50th Percentile : 0.633

**Dominio 410**

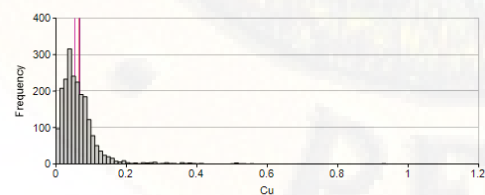
Histogram for Cu (ddh_c410)

Total Samples : 2125
 Minimum : 0.002
 Maximum : 0.931
 Variance : 0.004
 StdDeviation : 0.061

Mean : 0.066

Log-Est Mean : 0.067

50th Percentile : 0.053

**Dominio 412**

Histogram for Cu (ddh_c412)

Total Samples : 76
 Minimum : 0.105
 Maximum : 1.472
 Variance : 0.096
 StdDeviation : 0.309

Mean : 0.734

Log-Est Mean : 0.753

50th Percentile : 0.718

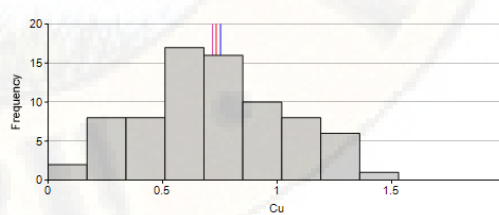


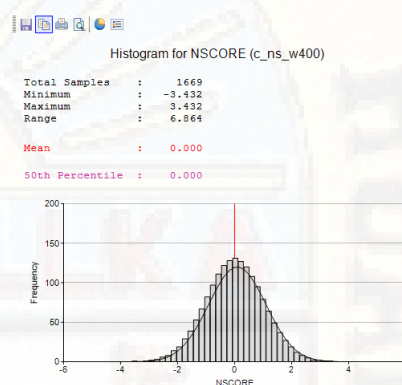
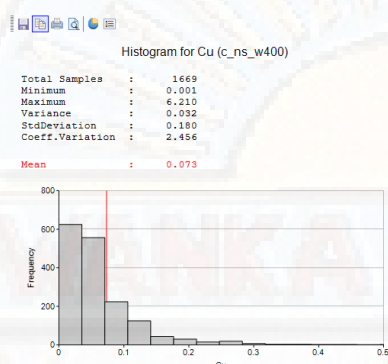
Figura 17. Histogramas de los Compósitos de Cobre de los dominios del 406 al 410 y 412

4.1.2. Proceso de Simulación Condicional Gaussiana

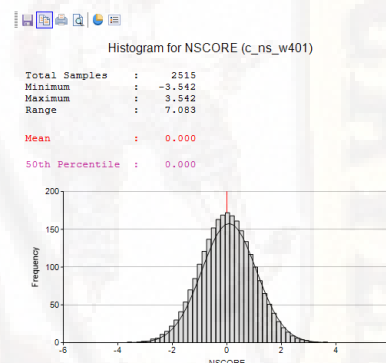
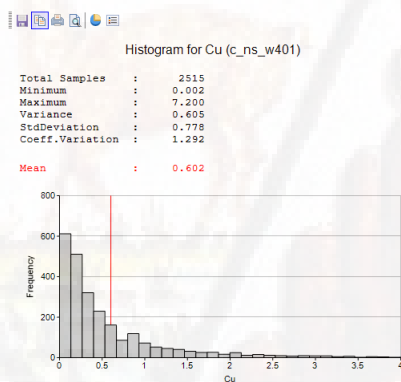
4.1.2.1. Transformación Gaussiana NSCORE

Los compósitos de los Dominios de Estimación han sido desagrupados en una malla regular de 60*60 metros en función a la Malla de Perforación de Cuajone, además con un peso o ponderador. Para la Transformación Gaussiana consiste en un reordenamiento de datos con una media cero y una varianza de uno, como se puede ver en imágenes:

Dominio 400



Dominio 401



Dominio 402

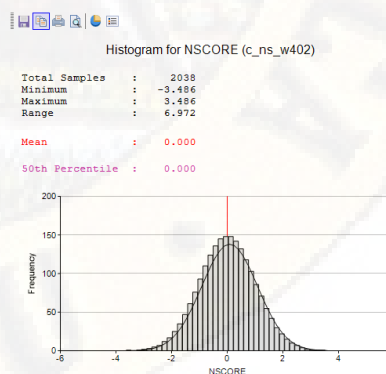
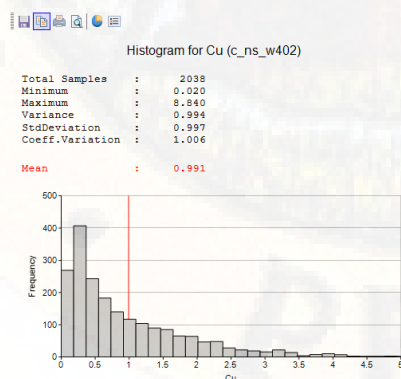
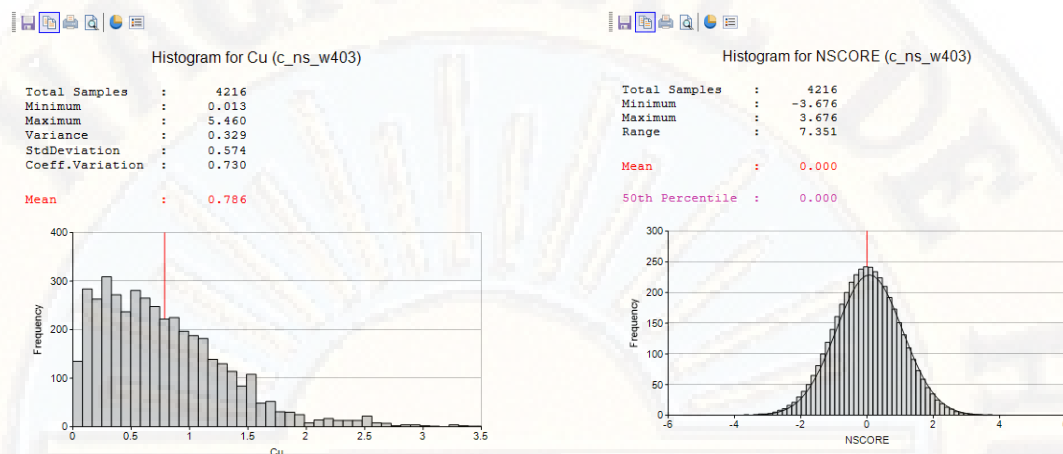
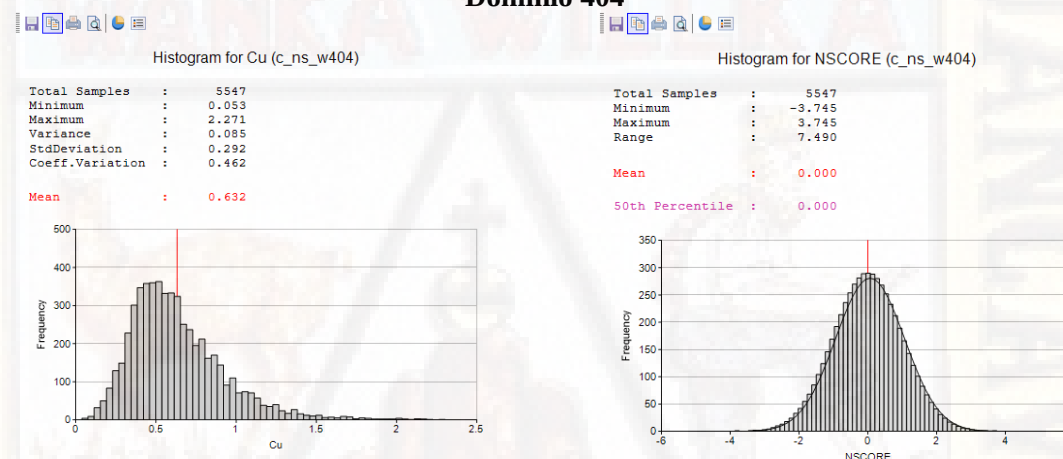


Figura 18. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 400 al 402

Dominio 403



Dominio 404



Dominio 405

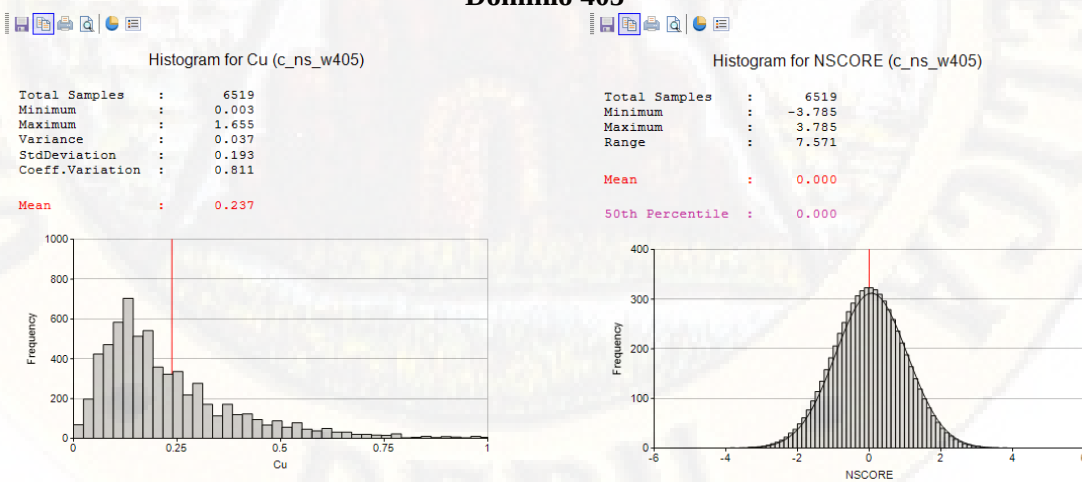
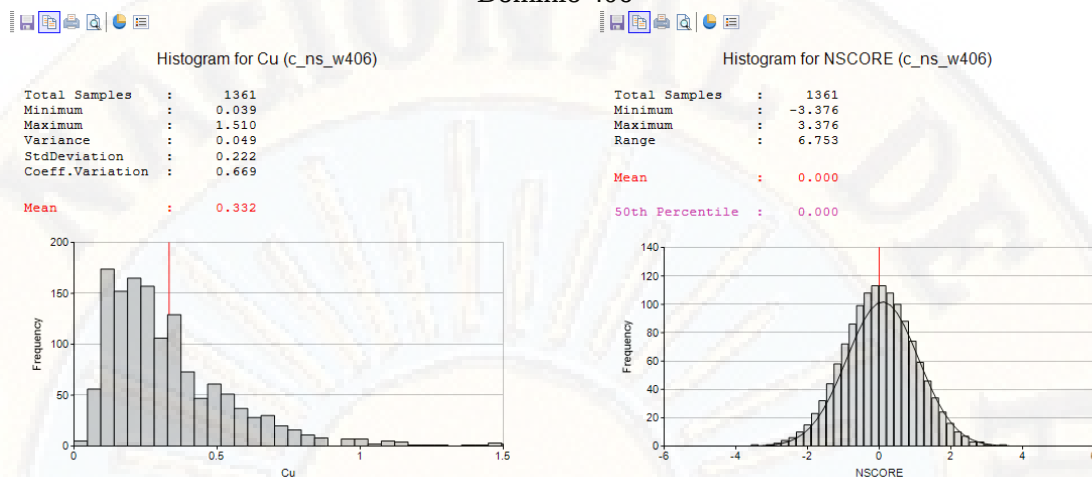
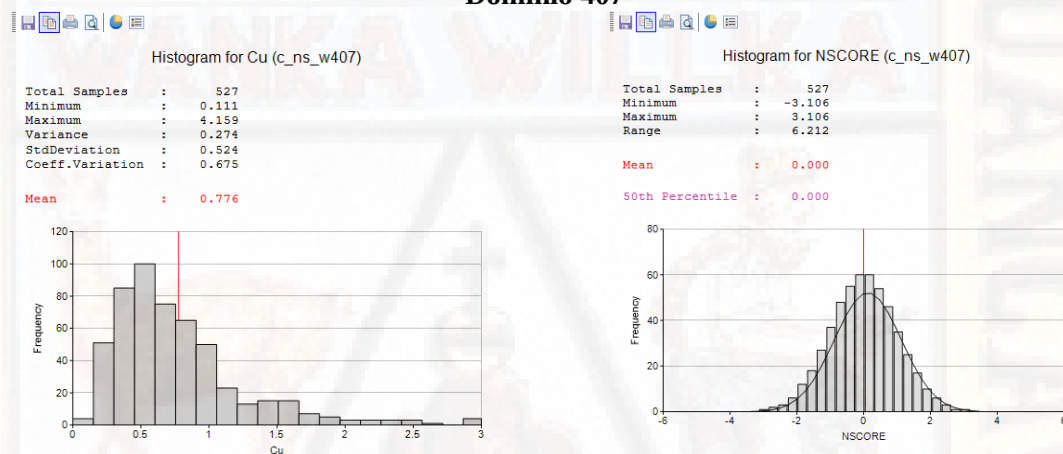


Figura 19. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 403 al 405

Dominio 406



Dominio 407



Dominio 408

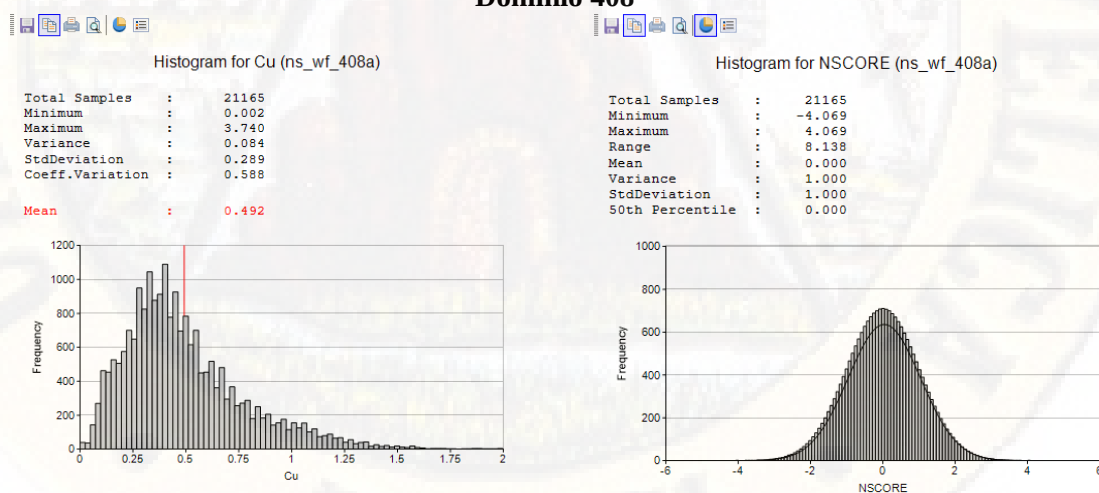


Figura 20. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 406 al 408

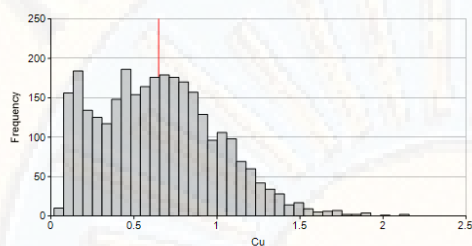
Dominio 409



Histogram for Cu (ddh_c409)

Total Samples : 2967
 Minimum : 0.019
 Maximum : 2.138
 Variance : 0.127
 StdDeviation : 0.357
 Coeff.Variation : 0.550

Mean : 0.649

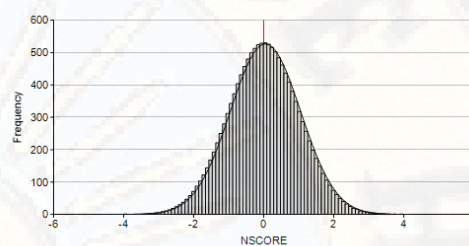


Histogram for NSCORE (c_ns_w409)

Total Samples : 13665
 Minimum : -3.966
 Maximum : 3.966
 Range : 7.931

Mean : 0.000

50th Percentile : 0.000



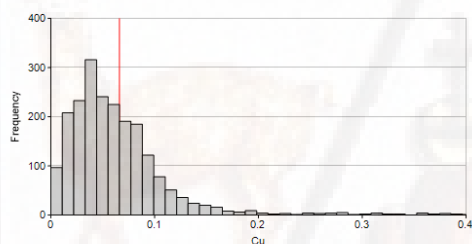
Dominio 410



Histogram for Cu (ddh_c410)

Total Samples : 2125
 Minimum : 0.002
 Maximum : 0.931
 Variance : 0.004
 StdDeviation : 0.061
 Coeff.Variation : 0.921

Mean : 0.066

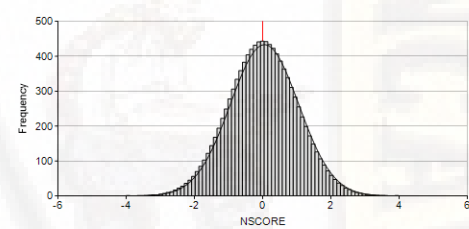


Histogram for NSCORE (c_ns_w410)

Total Samples : 10451
 Minimum : -3.901
 Maximum : 3.901
 Range : 7.803
 Coeff.Variation : 0.000

Mean : 0.000

50th Percentile : 0.000



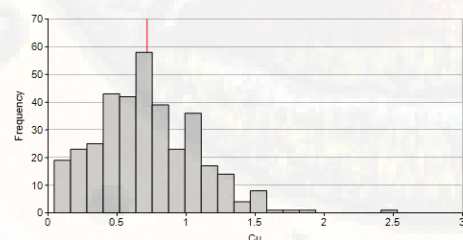
Dominio 412



Histogram for Cu (c_ns_w412)

Total Samples : 355
 Minimum : 0.044
 Maximum : 2.431
 Variance : 0.130
 StdDeviation : 0.360
 Coeff.Variation : 0.502

Mean : 0.717



Histogram for NSCORE (c_ns_w412)

Total Samples : 355
 Minimum : -2.987
 Maximum : 2.987
 Range : 5.974
 Coeff.Variation : 0.000

Mean : 0.000

50th Percentile : 0.000

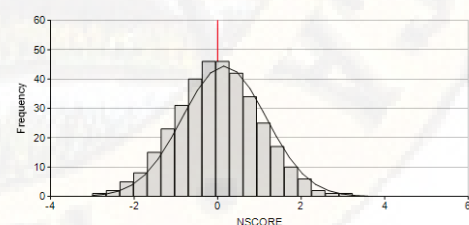


Figura 21. Transformación de muestras al espacio Gaussiano por Dominio de Estimación 409, 410 y 412

4.1.2.2. Variografía

El análisis de la tendencia de las muestras en el espacio en función al efecto de soporte. Los datos son transformados al espacio gaussiano (NSCORE), los variogramas se trabajan en tres estructuras dentro de un modelo esférico para que represente la variable regionalizada continua como es la ley de Cobre en los ejes principales, perpendicular y ortogonal; así como determinar en base al ajuste del variograma experimental el mayor alcance de las muestras; donde se determina el efecto pepita y la esfera de búsqueda por cada Dominio de Estimación, los resultados representan la continuidad de las muestras en el espacio, otras obedecen a la mineralización de Cuajone.

Se recuerda que la disposición y agrupamiento de datos es en base a los dominios de estimación, la simulación condicional considera la incertidumbre y reproduce la variabilidad de los datos según la concepción del agrupamiento de datos. Los datos obtenidos se ingresan para efectuar el proceso de Simulación Condicional en la plataforma de Summit de DataMine por cada dominio de estimación para los veinte escenarios.

Tabla 5. Parámetros Variográficos de los Dominios de Estimación Resultantes

								VARI OGRAM A EXPERIMENTAL								
	PARÁMETROS			3D VARIOGRAM				Seach Volume			Angulos Rotación				Muestras	
Dominios	LAG	TOL	NLAG	Z	X	Y		1	2	3	Z	Y	X		Discretización	Min
400	72	36	25	358	1.22	48	0.304	581	553	492	23	46	-17	1/1/1	2	8
401	72	36	25	252	3.48	101	0.258	350	381	376	18	232	72	1/1/1	2	8
402	72	36	25	187	-5	164	0.100	478	345	434	-13	14	190	1/1/1	2	8
403	72	36	25	16	-3	-0.6	0.275	581	802	785	34	-2	-3	1/1/1	2	8
404	72	36	25	105	9	-15	0.178	465	647	365	143	-7	16	4/4/1	2	8
405	72	36	25	87	57	76	0.435	468	667	490	27	67	70	4/4/1	2	8
406	72	36	25	312	-13	-2	0.125	503	636	349	-48	-2	-13	4/4/1	2	8
407	72	36	25	17	-53	-27	0.233	363	487	735	-5	-16	-56	4/4/1	2	8
408	72	36	25	278	-41	105	0.300	508	481	507	24	30	257	4/4/1	2	8
409	72	36	25	86	-64	-110	0.016	269	348	219	-21	-61	261	4/4/1	2	8
410	72	36	25	165	6	-95	0.001	252	364	336	266	-66	102	1/1/1	2	8
412	72	36	25	7.3	-23	-39	0.318	416	926	307	36	-44	1.95	1/1/1	2	8

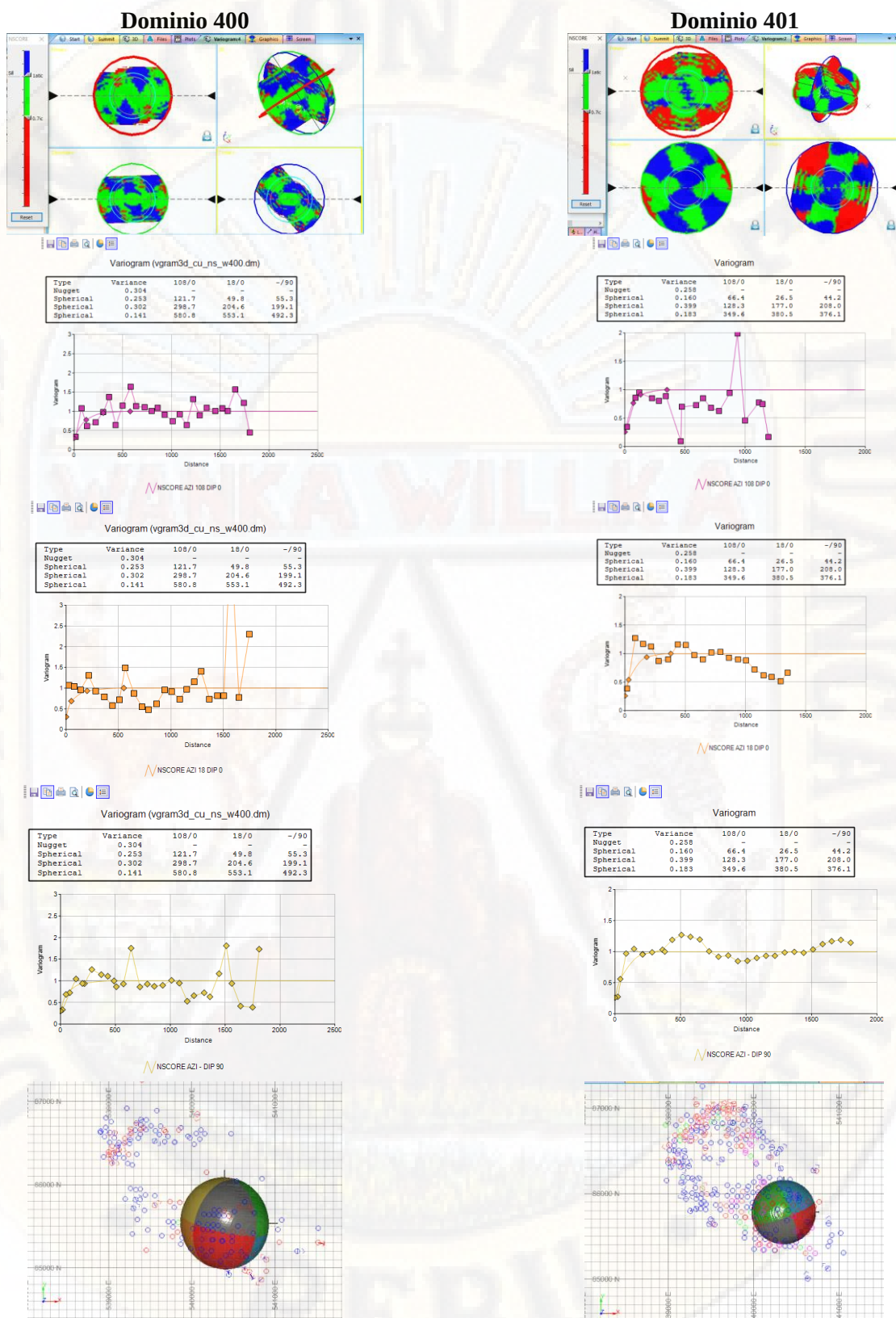


Figura 22. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal) para los dominios 400 y 401 así como su esfera de búsqueda

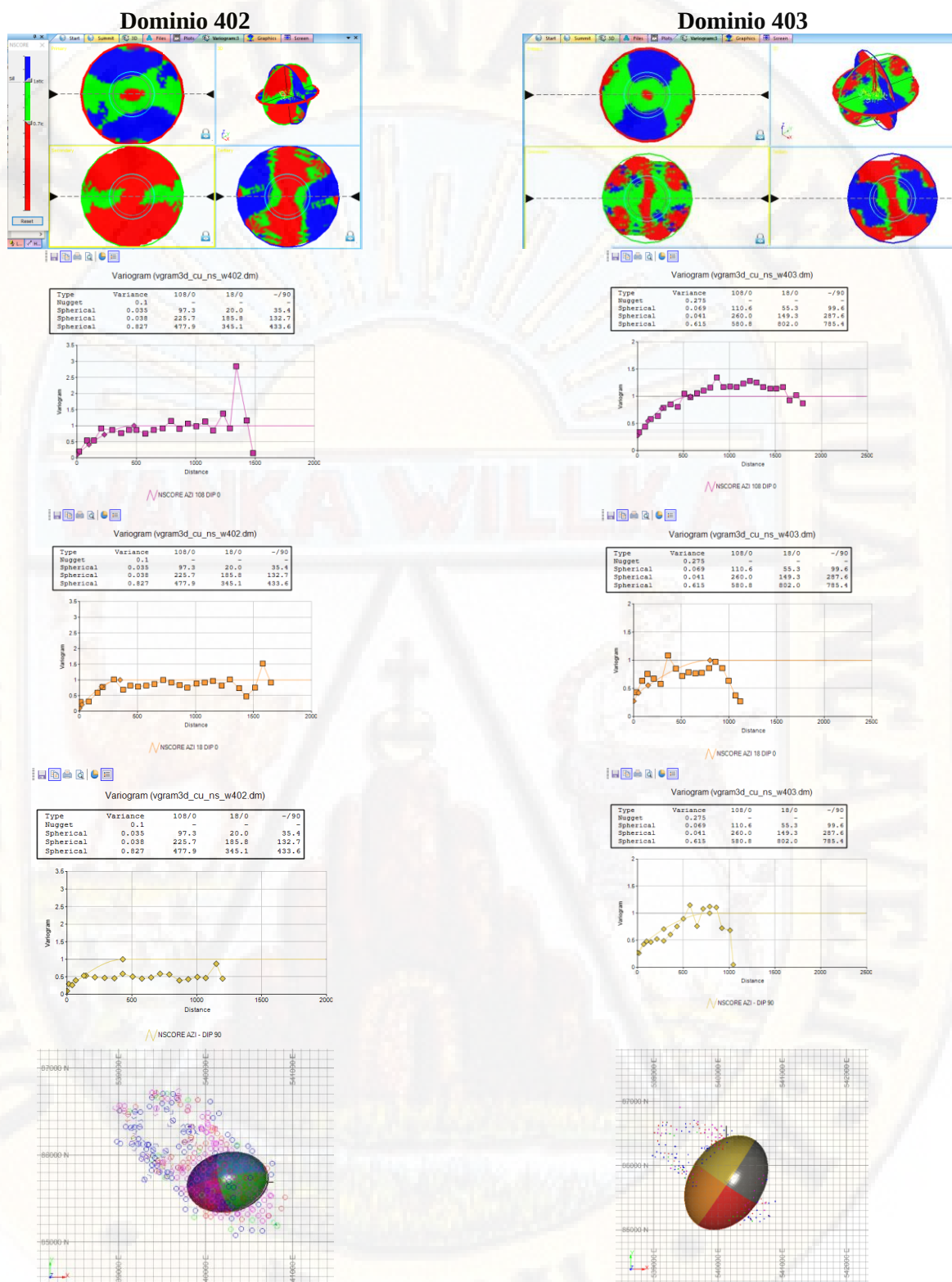


Figura 23. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal) para los dominios 402 y 403, así como su esfera de búsqueda

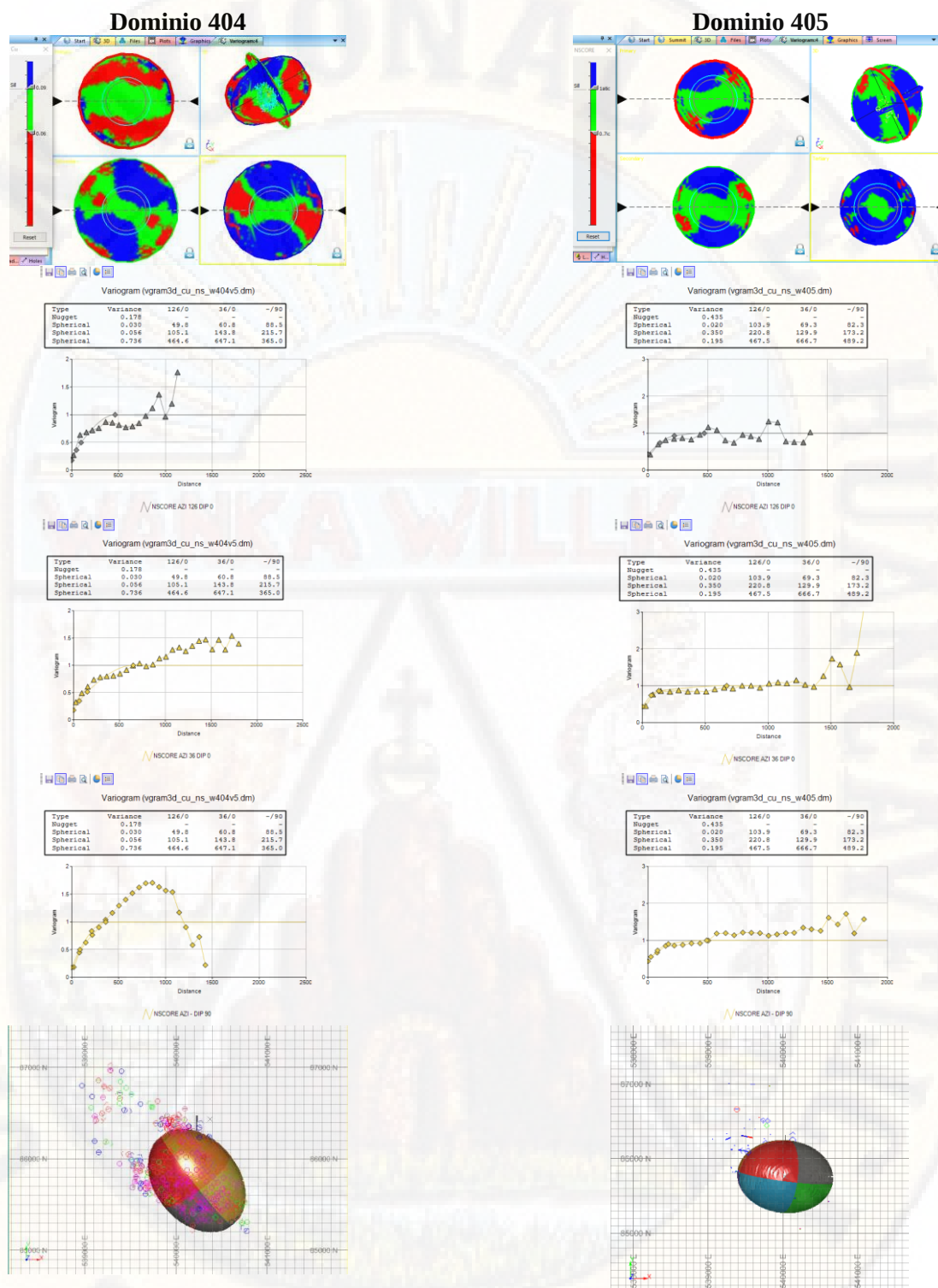


Figura 24. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 404 y 405, así como su esfera de búsqueda

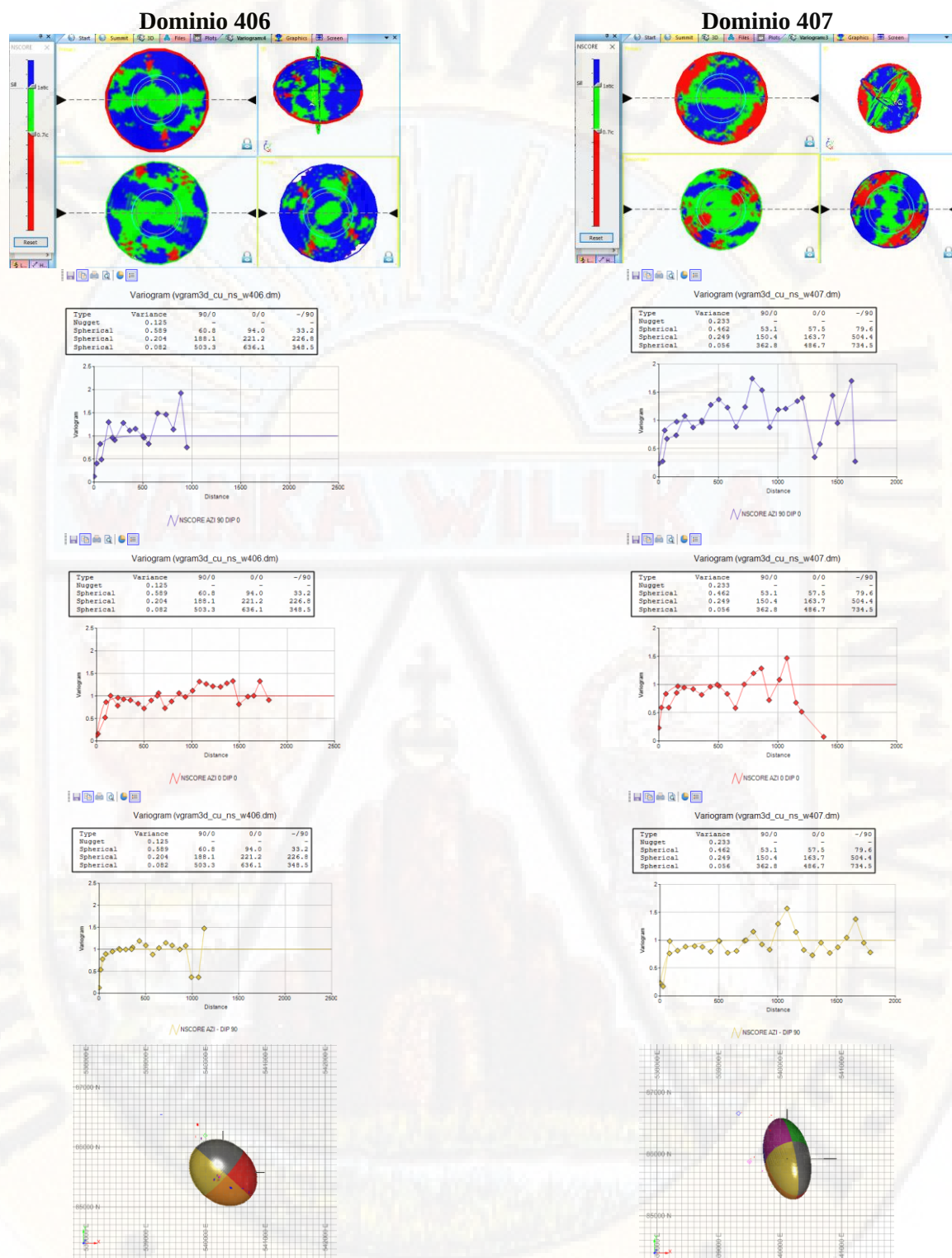


Figura 25. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal) para los dominios 406 y 407, así como su esfera de búsqueda

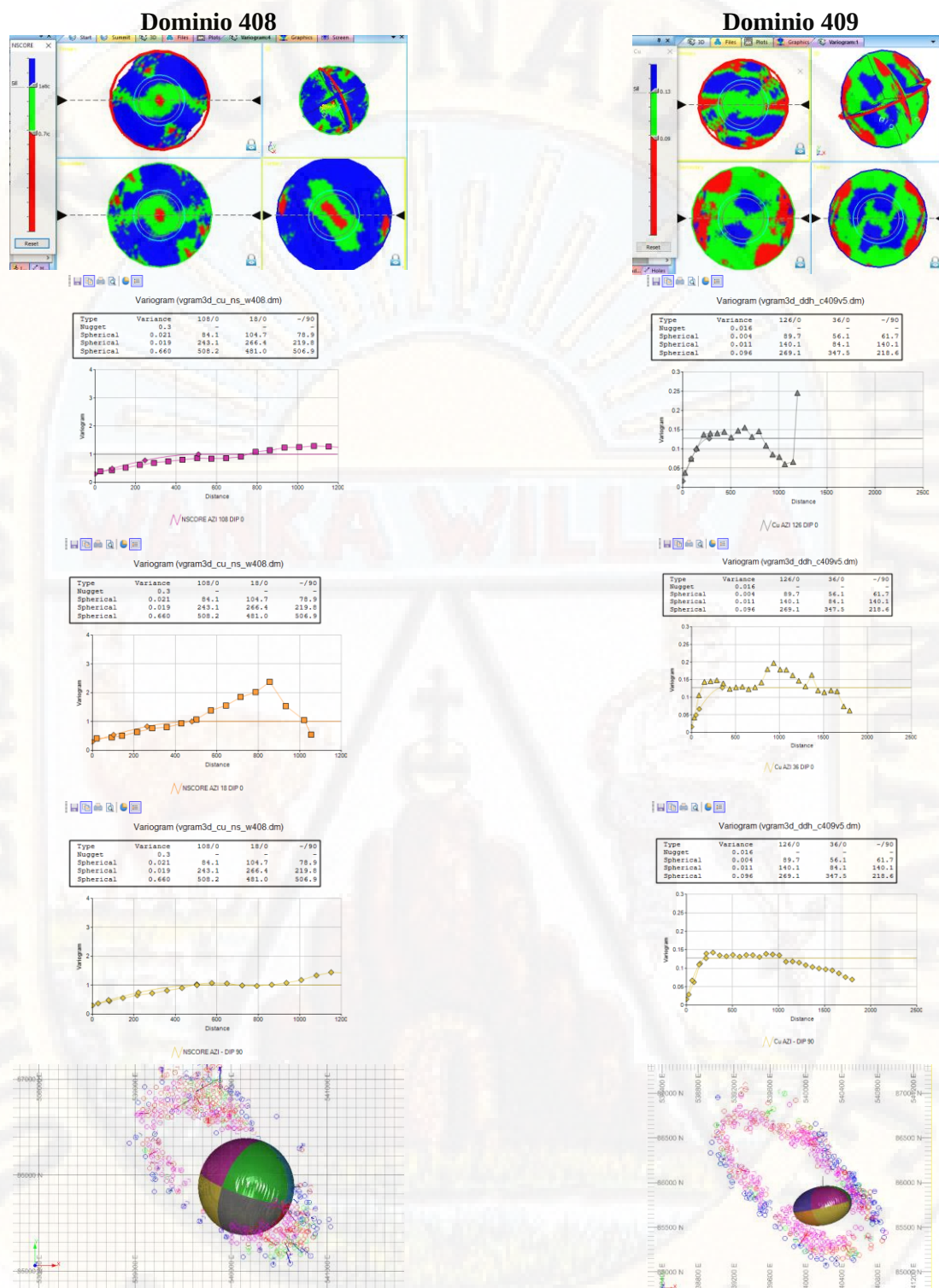


Figura 26. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal) para los dominios 408 y 409, así como su esfera de búsqueda

Figura 27. Mapas Variográficos en sus tres direcciones (principal, perpendicular y ortogonal para los dominios 410 y 412, así como su esfera de búsqueda

4.1.2.3. Validación Cruzada

Los variogramas presentados previamente deben ser validados mediante el Coeficiente de Correlación, en teoría el valor debe estar próximo a uno. De acuerdo a los trabajos de referencia realizados en Mina Cuajone no todos los dominios tienen el valor ideal de uno, puede darse por la cantidad de datos, agrupamiento de dominios o altos erráticos; el detalle de los resultados obtenidos se presenta a continuación:

Tabla 6. Coeficientes de Correlación de los Dominios de Estimación

Dominio de Estimación	Coeficiente Correlación	Comentario
400	0.417	Baja correlación de datos, posible causa los datos son puntuales
401	0.772	Se aprecia valores con correspondencia de datos
402	0.828	Se aprecia valores con correspondencia de datos
403	0.883	Valores aceptables según la cantidad de información
404	0.890	Valores aceptables según la cantidad de información
405	0.809	Se aprecia valores con correspondencia de datos
406	0.693	Se aprecia valores con correspondencia de datos
407	0.808	Se aprecia valores con correspondencia de datos
408	0.904	Valores aceptables según la cantidad de información
409	0.897	Valores aceptables según la cantidad de información
410	0.788	Se aprecia valores con correspondencia de datos
412	0.788	Se aprecia valores con correspondencia de datos

A continuación, se muestran las gráficas de la validación cruzada por cada dominio de estimación para dar soporte a la tabla anterior:

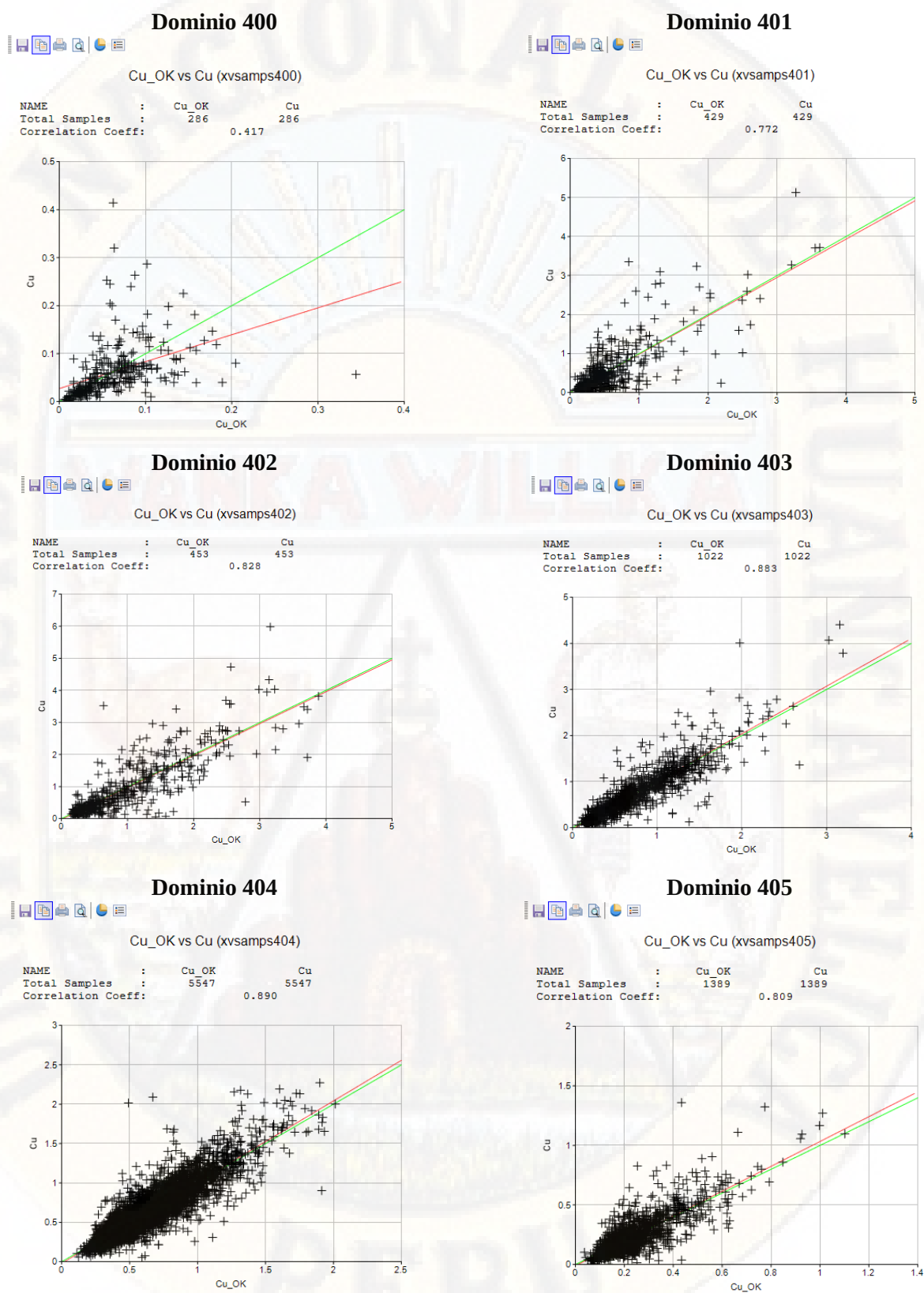


Figura 28. Validación Cruzada de los dominios de estimación del 400 al 405

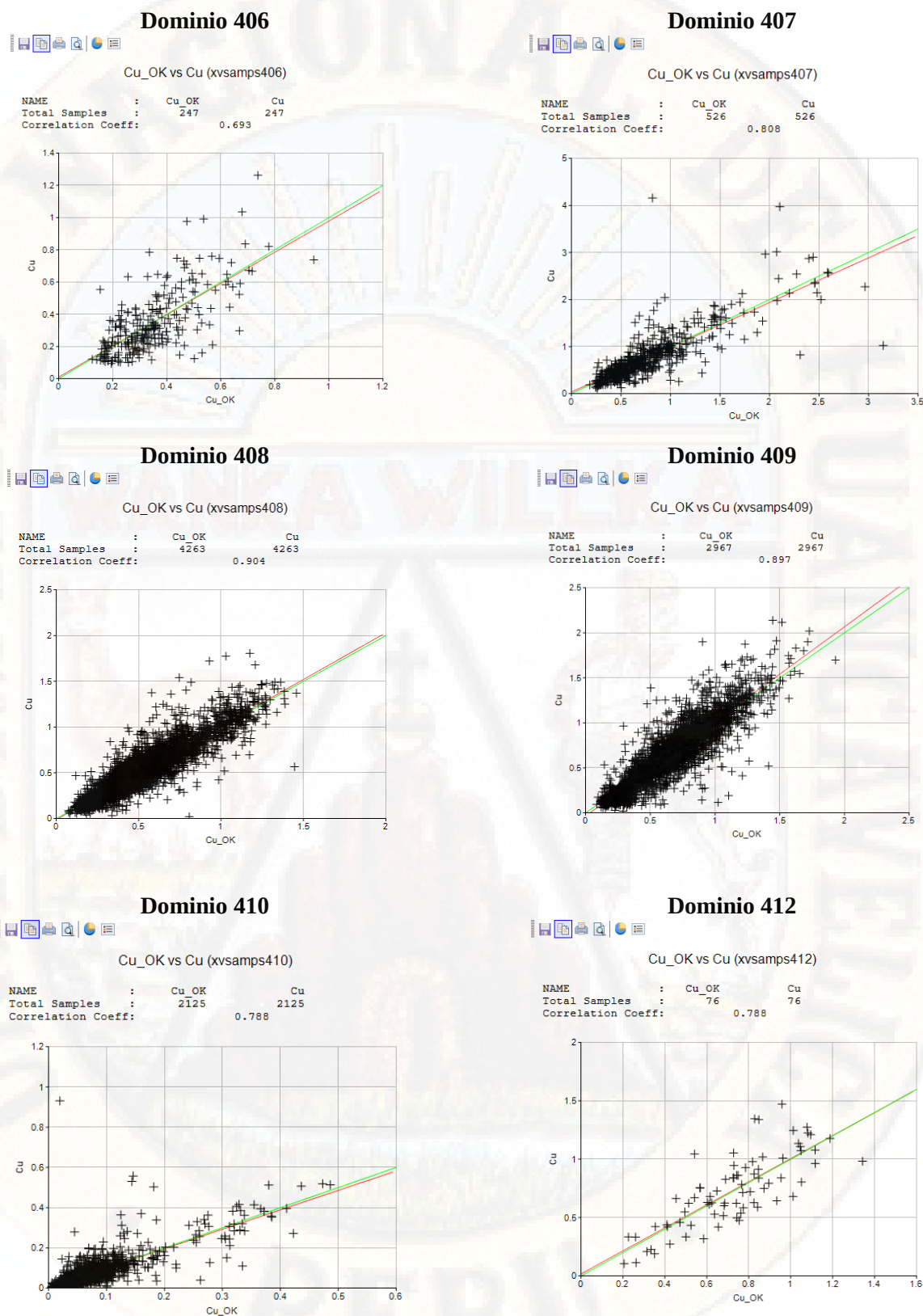


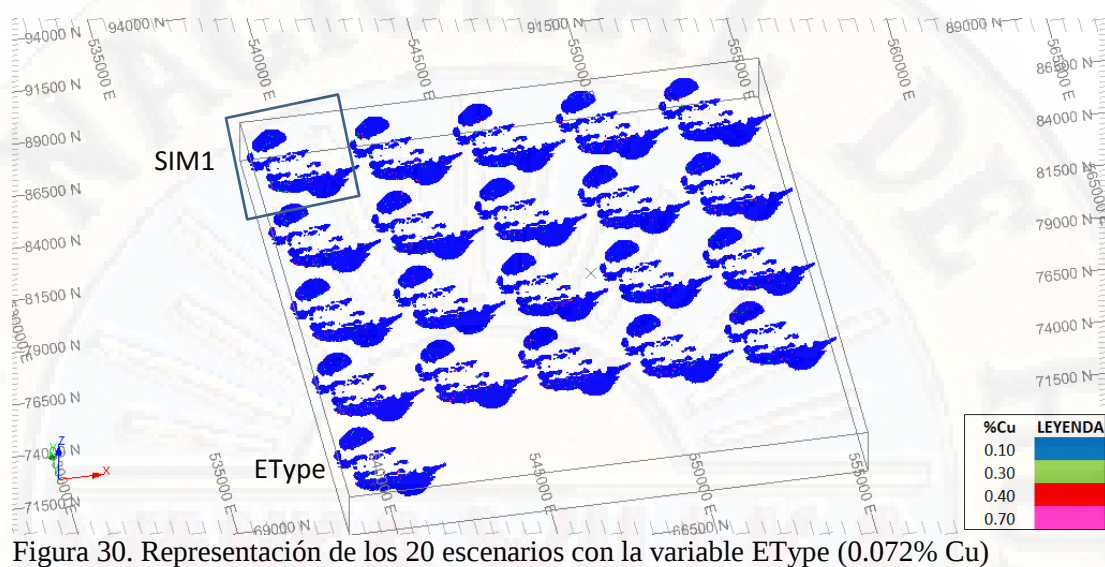
Figura 29. Validación Cruzada de los dominios de estimación del 406 al 410 y 412

4.1.2.4.Resultados de la Simulación Condicional de los Dominios de Estimación

En el siguiente apartado se darán conocer los resultados de la aplicación de esta herramienta Geoestadística Simulación Condicional, que tiene como fin reproducir la variabilidad de los datos, entre los resultados que se verán a continuación se menciona lo siguiente:

1. Modelo de los veinte escenarios de los Dominios de Estimación con la variable EType.
2. Comparación entre el modelo de bloques de Largo Plazo de Cuajone vs Escenario que más se aproxime a los datos originales.
3. Histograma original vs histogramas de los escenarios que más se aproximen a los originales, los histogramas de los veinte escenarios se encuentran en Anexos por cada dominio de estudio.
4. Resumen de Estadística obtenido en la plataforma de Summit de DataMine.
5. Gráfica de la variación de las medias de los veinte escenarios
6. Histograma incremental de los veinte escenarios.
7. Grafica de Q-Q Plot.
8. Curva tonelaje Ley y resumen de datos
9. Validación de datos por medio de Swath Plot

4.1.2.4.1. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 400



Nv. 3505 Original

Escenario SIM1

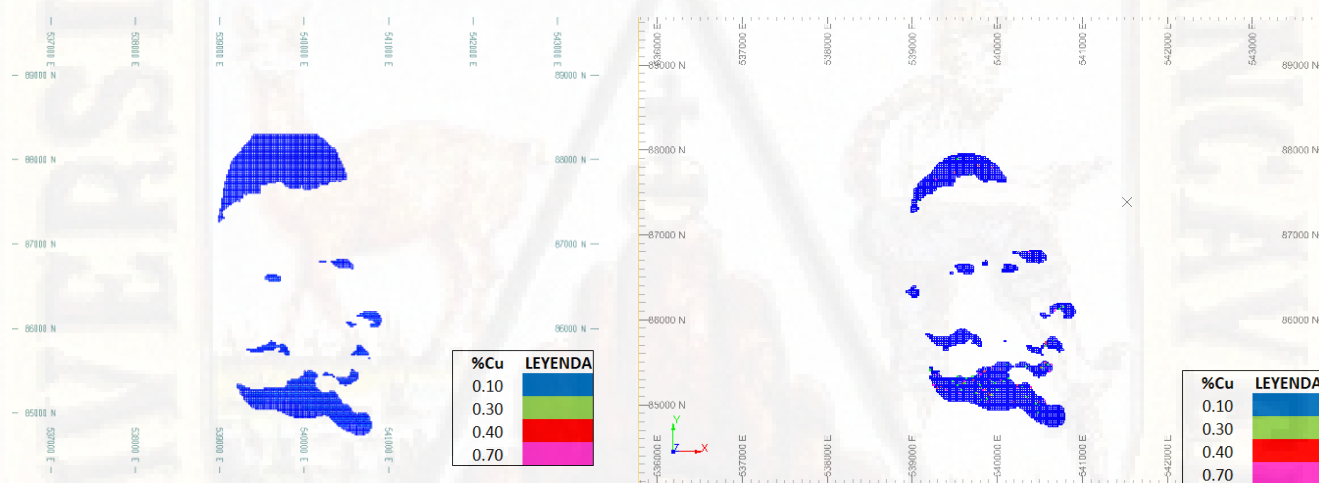


Figura 31. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

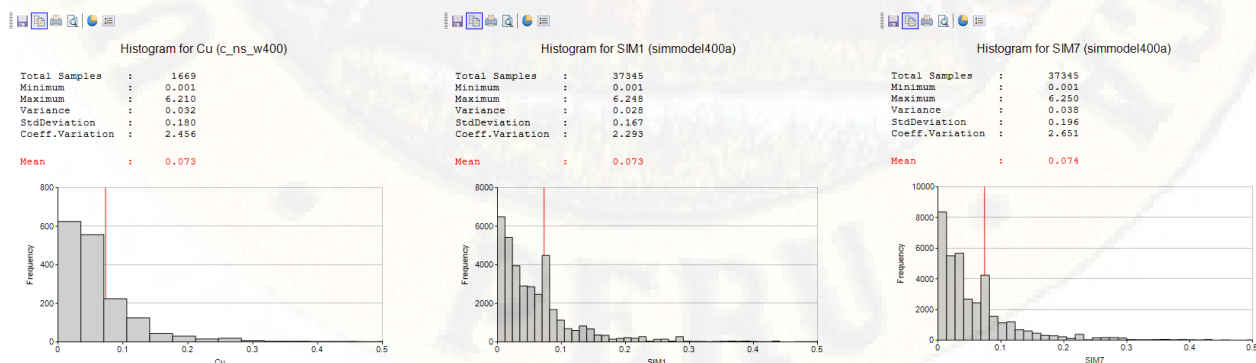


Figura 32. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM7)

SIM400W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	1669	0.00	6.21	0.07	0.02	24.74
Simulated Points	1504480	0.00	6.25	0.07	0.04	19.79
Realizations	20					

Figura 33. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

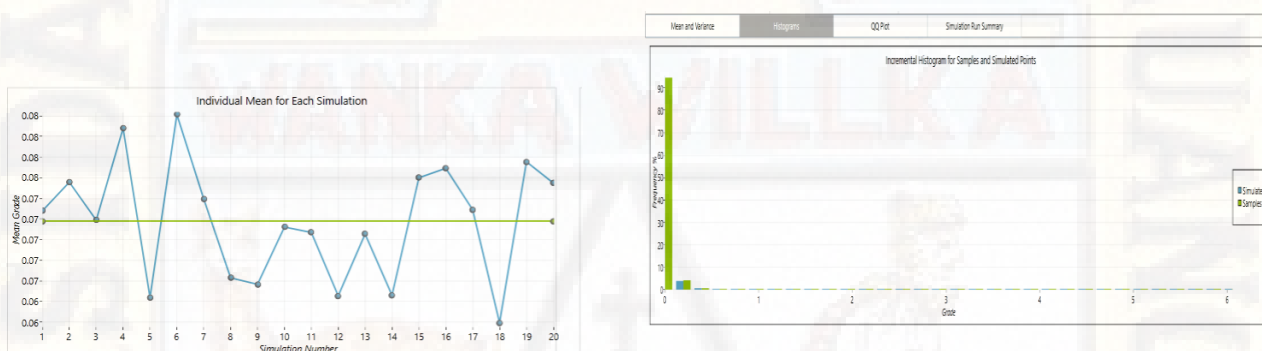


Figura 34. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones



Figura 35. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

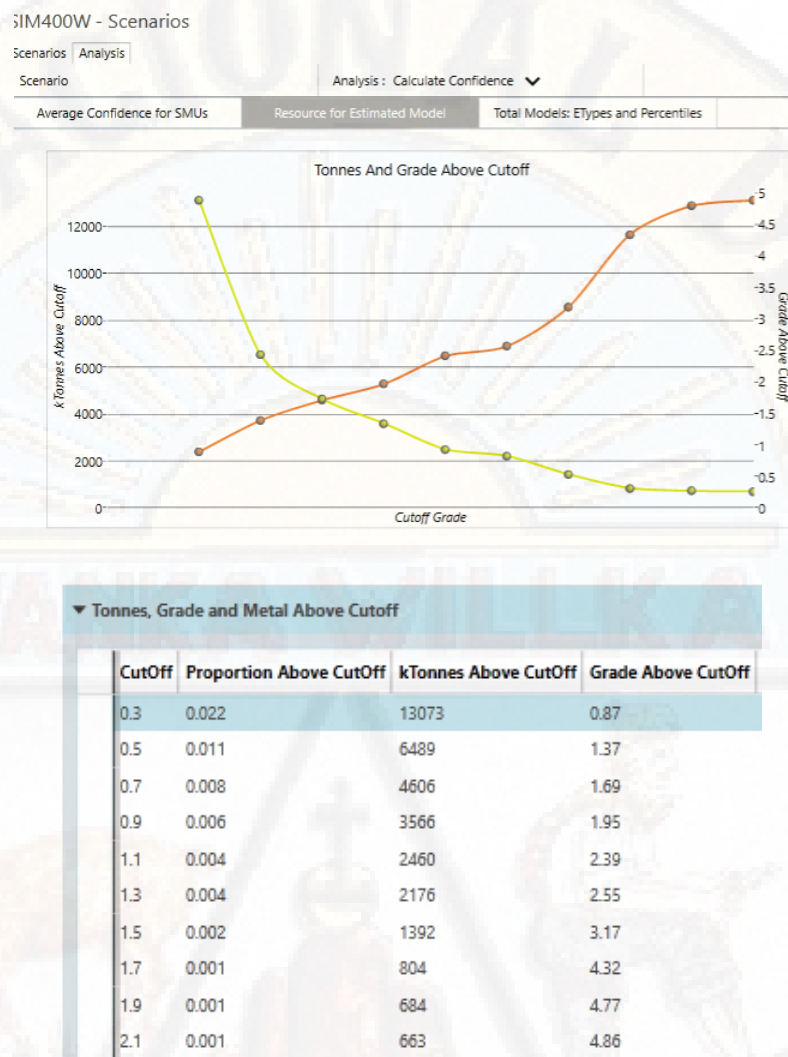


Figura 36. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

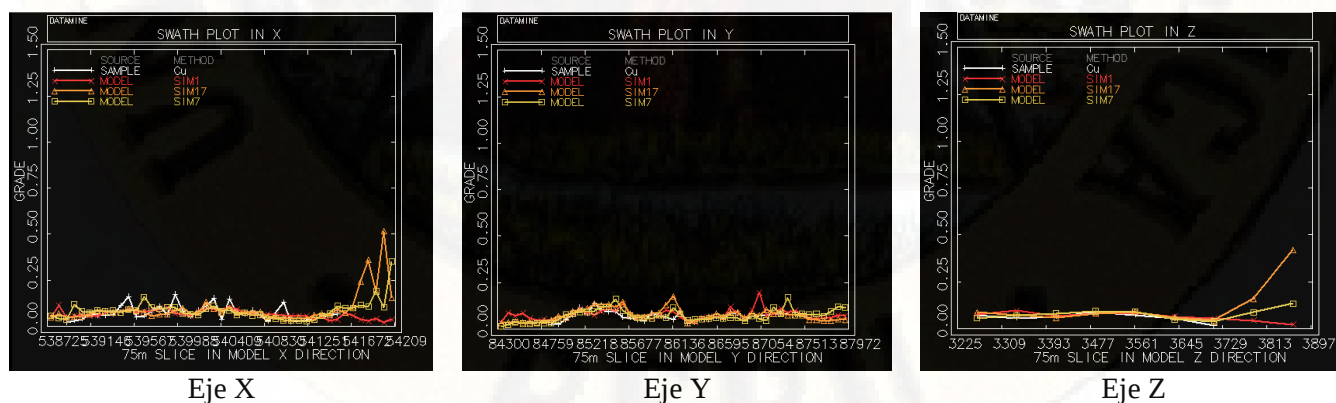


Figura 37. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 7 y 17

Tabla 7. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 400

Dominio	Resultados	Comentarios
Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.072%Cu) que representa la ley bloque a bloque. La Mina de Cuajone tiene como secuencia de minado los bancos de producción, para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3505; donde se puede apreciar el grado de similitud que existe con el escenario más cercano SIM1.	
Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.073%Cu) la cual es un validador para compararlo con las simulaciones más cercanas (SIM1, SIM7, SIM17 $\approx$ 0.0735%Cu) teniendo una variabilidad mínima. En cambio los otros escenarios al tener valores erráticos como se muestra en la figura 34; están ligeramente alejados de la realidad para poderlos considerar.	
Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°	
Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 13,073KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo	
Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en el eje X, respecto a los escenarios SIM1, SIM2 y SIM17; puede referirse al espaciamiento entre las muestras.	

4.1.2.4.2. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 401

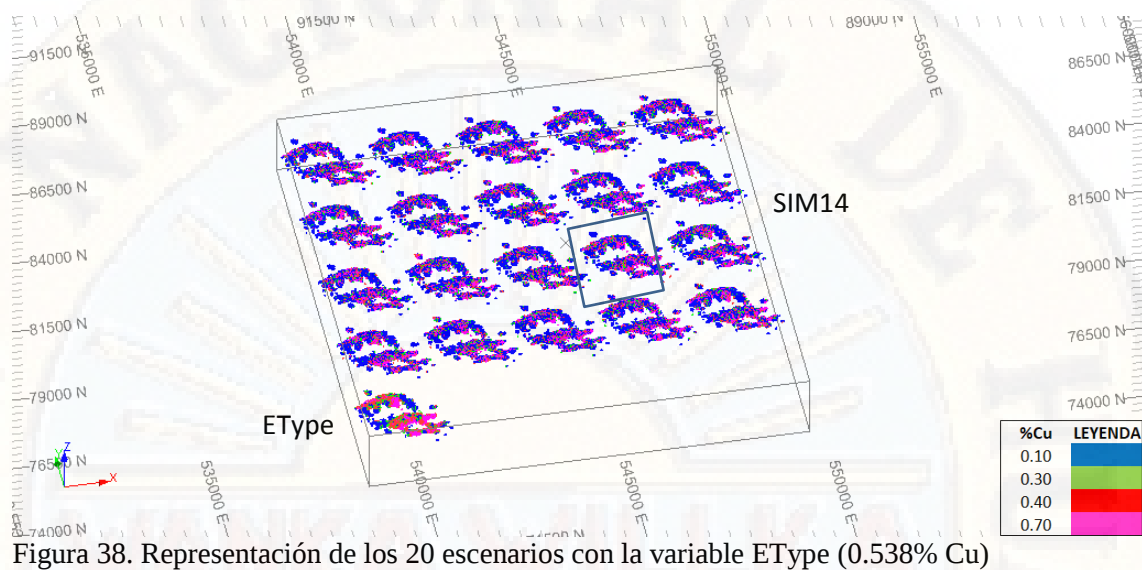


Figura 38. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.538% Cu)

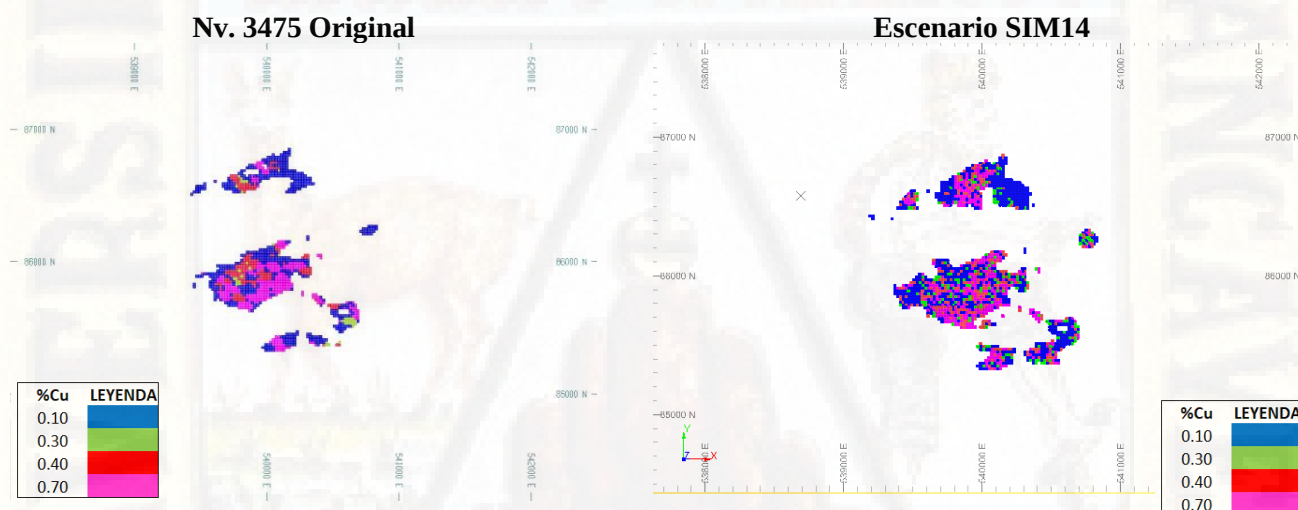


Figura 39. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

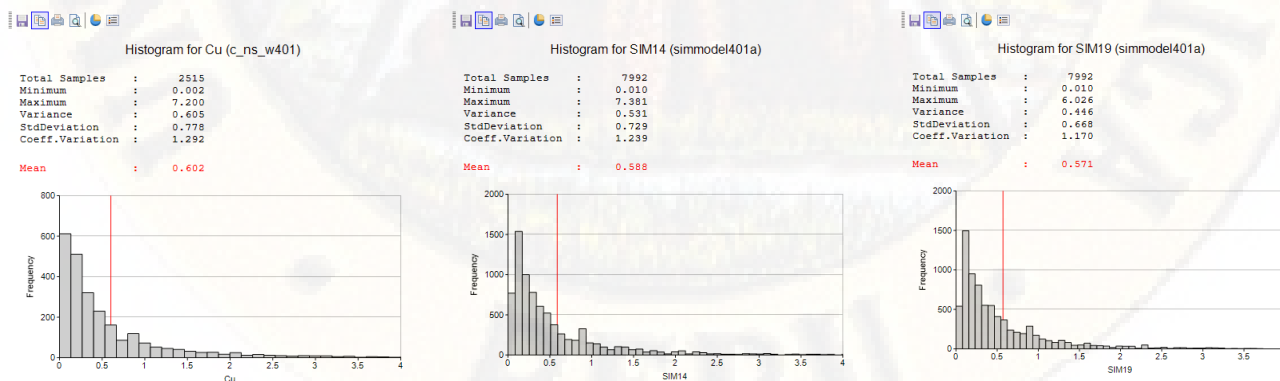


Figura 40. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM14 y SIM19)

SIM401W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis : Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	2511	0.01	7.20	0.56	0.52	3.04
Simulated Points	159840	0.01	7.47	0.54	0.44	3.01
Realizations	20					

Figura 41. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

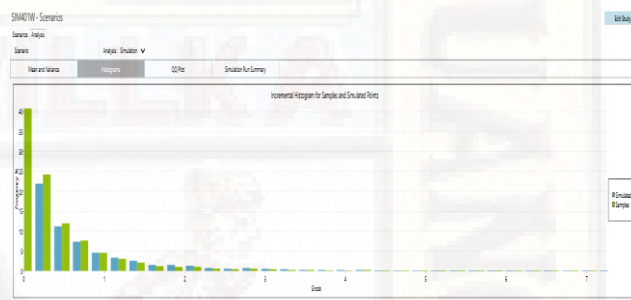
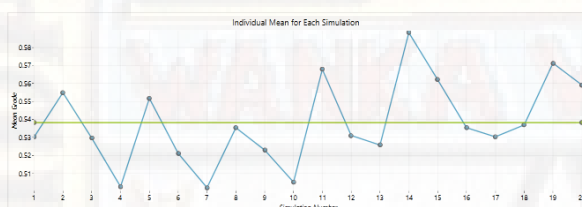


Figura 42. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones

SIM401W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis : Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Edit Study



Figura 43. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM401W - Scenarios

Scenarios Analysis

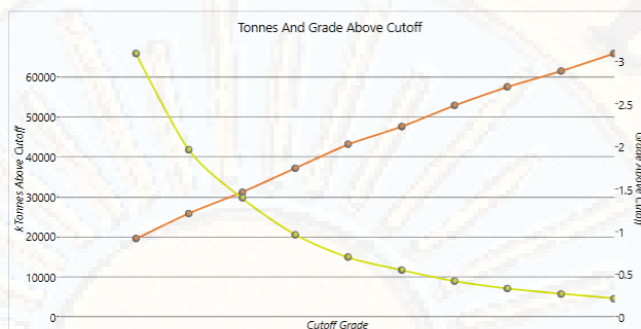
Scenario

Analysis: Calculate Confidence

Average Confidence for SIMUs

Resource for Estimated Model

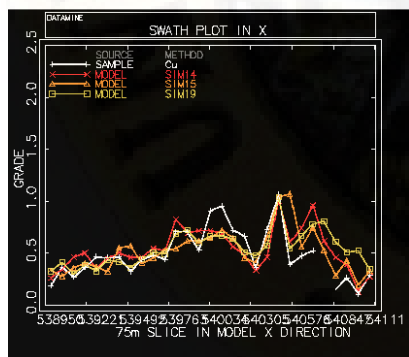
Total Models: ETypes and Percentiles



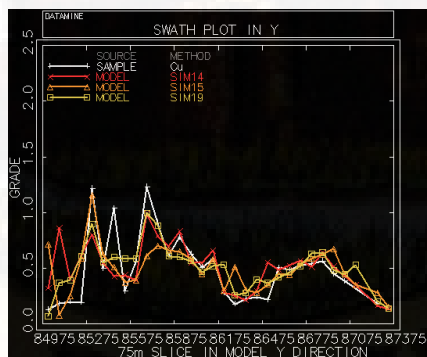
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.511	65611	0.91
0.51	0.324	41507	1.21
0.72	0.230	29483	1.46
0.93	0.159	20394	1.74
1.14	0.114	14680	2.02
1.35	0.090	11531	2.23
1.56	0.068	8767	2.47
1.77	0.054	6921	2.69
1.98	0.044	5651	2.88
2.19	0.035	4496	3.08

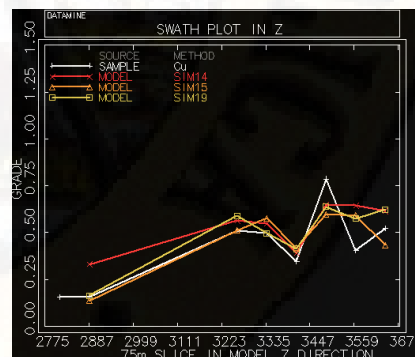
Figura 44. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 45. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 14, 19 y 15

Tabla 8. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 401

Dominio	Resultados	Comentarios
Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.538%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3475; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM14. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en los Óxidos.	
Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.60%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM14, SIM19, SIM15 $\approx$ 0.58%Cu). El rango de la simulación obtenidas ha sido entre 0.50 a 0.588%Cu	
Gráfica de Q-Q Plot	La distribución de las muestras guarda similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras con valores mayores a 7% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.88% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.	
Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 65,611KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo .	
Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y, respecto a los escenarios SIM14, SIM19 y SIM15.	

4.1.2.4.3. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 402

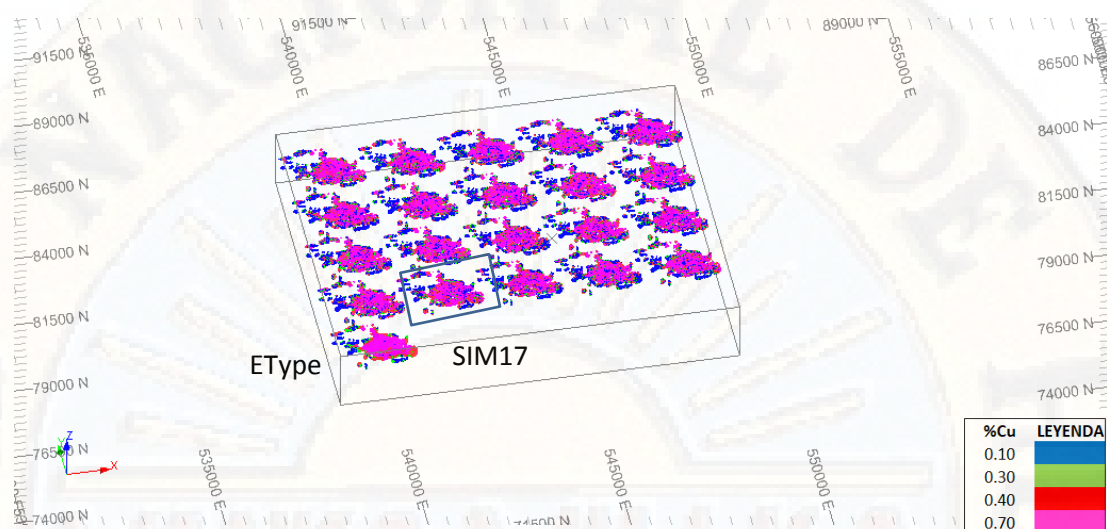


Figura 46. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.881% Cu)

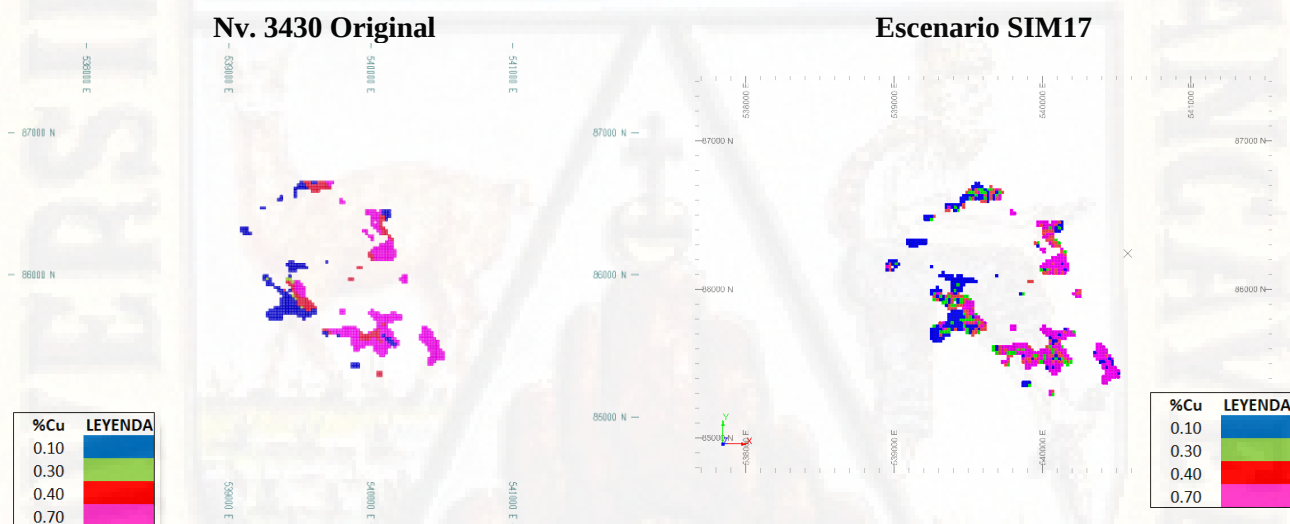


Figura 47. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

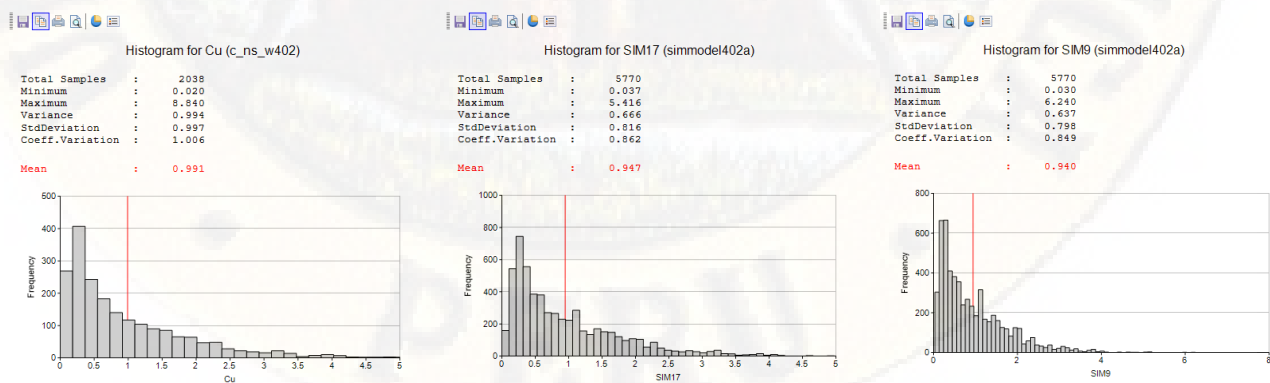


Figura 48. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM17, SIM9 y SIM12)

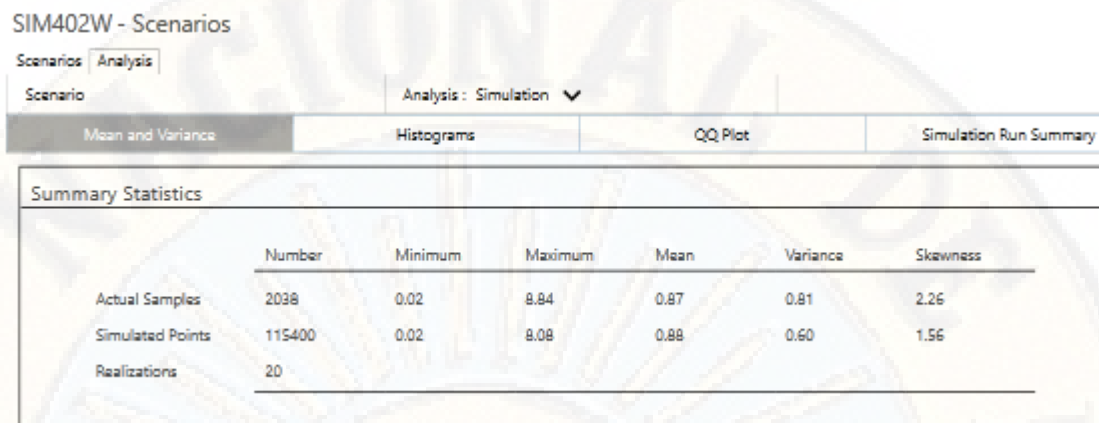


Figura 49. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 50. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones

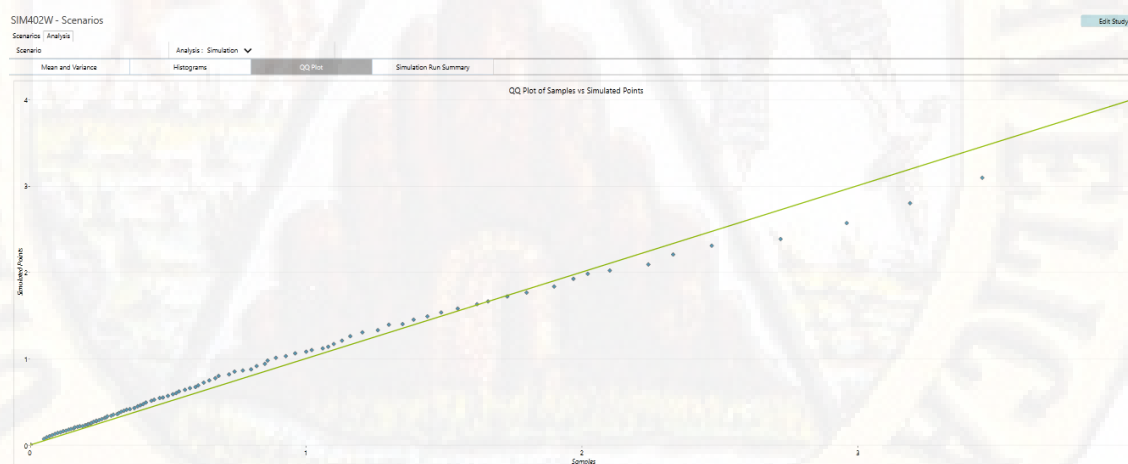


Figura 51. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

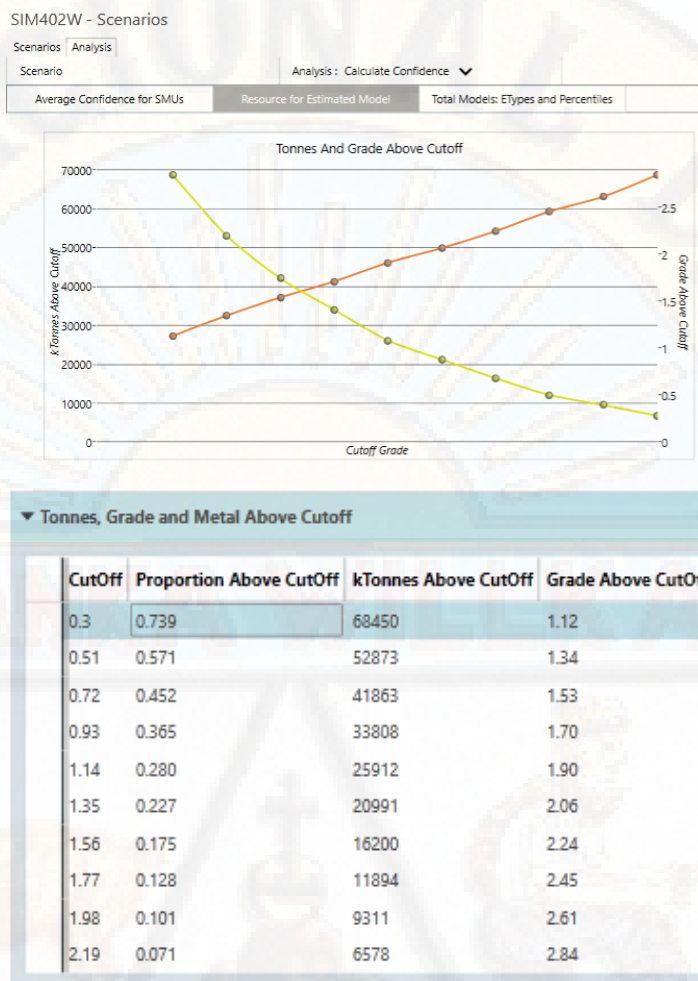


Figura 52. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

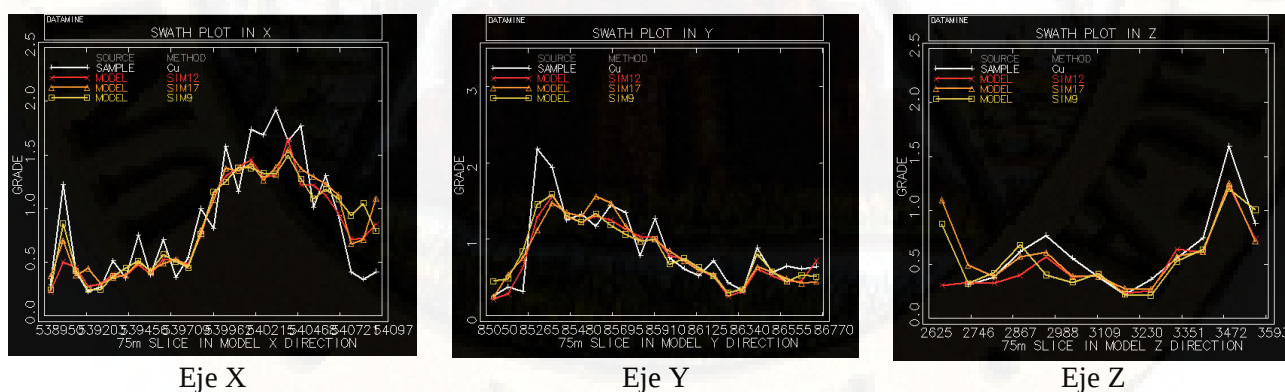


Figura 53. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 17, 9 y 12

Tabla 9. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 402

Dominio	Resultados	Comentarios
Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.881%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3430; donde se puede apreciar diferencias en la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM17. Estos escenarios representan la variabilidad y complejidad de los bloques de material Enriquecido.	
Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.99%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM17, SIM9, SIM12 $\approx$ 0.947%Cu).	
Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras al principio guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras con valores mayores a 8% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.88% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.	
Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 68,450KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo	
Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X, Y y Z respecto a la la ley de Cobre original a los escenarios SIM17, SIM9 y SIM12.	

4.1.2.4.4. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 403

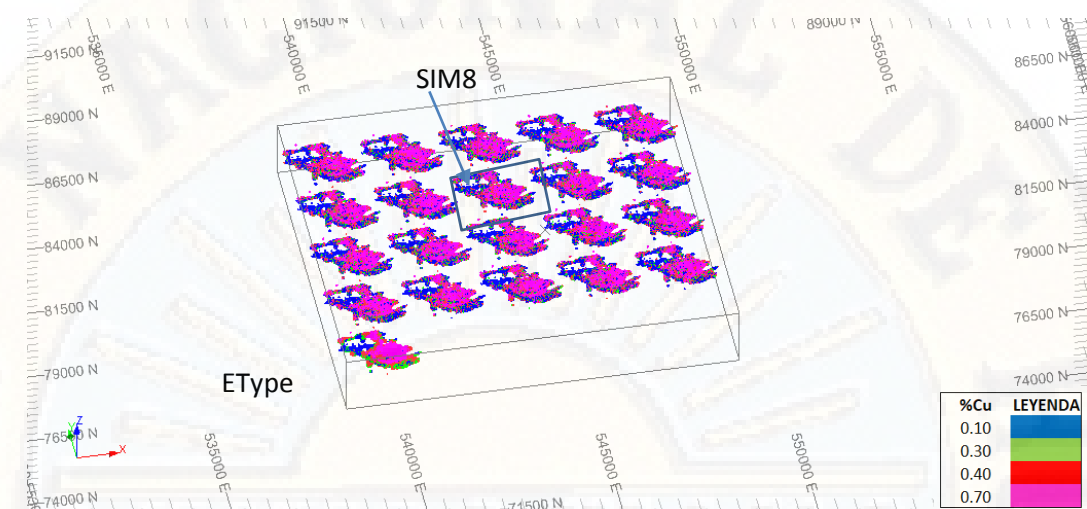


Figura 54. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.728% Cu)

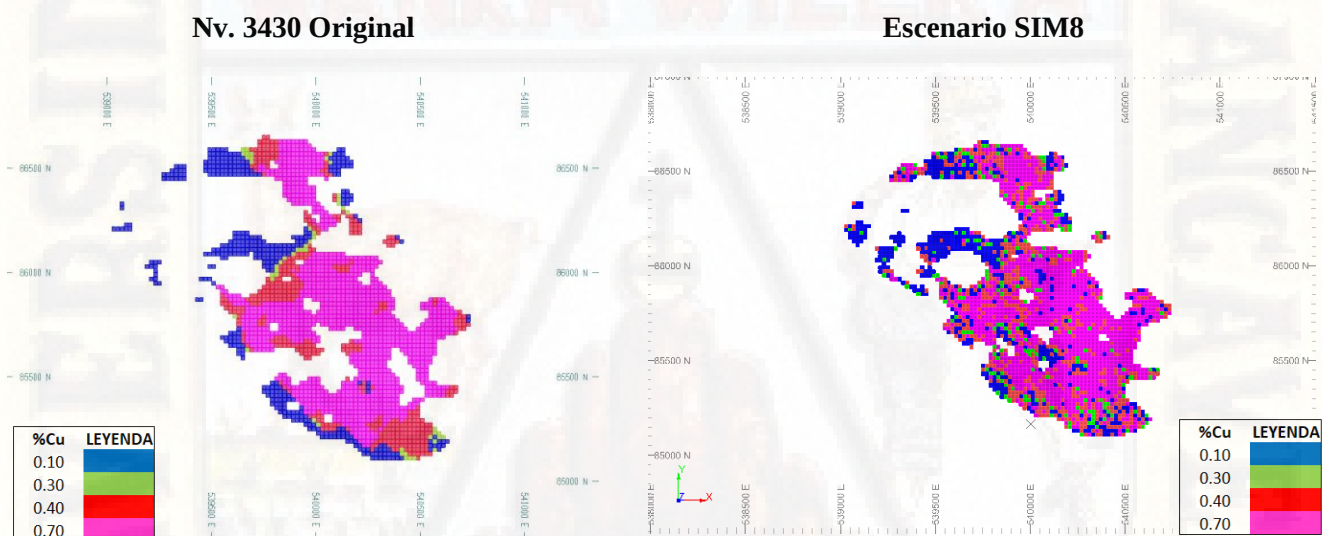


Figura 55. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

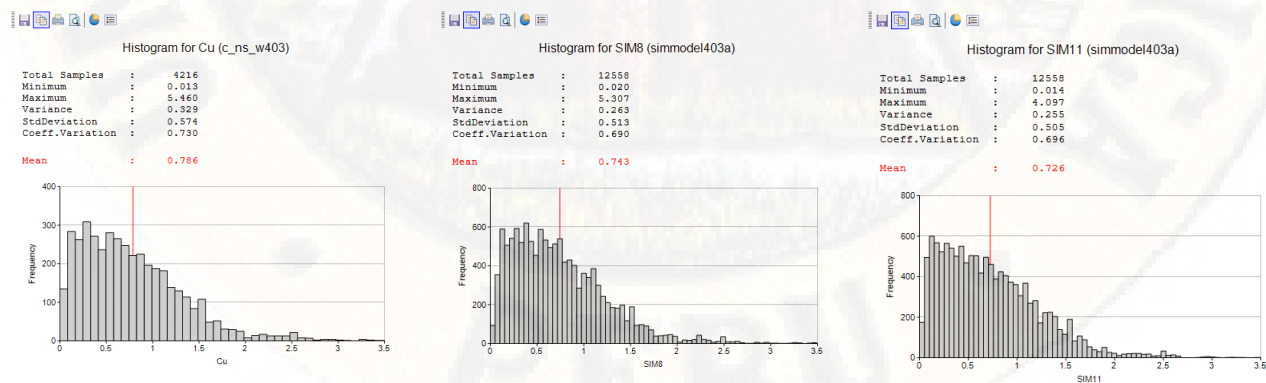


Figura 56. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM8 y SIM11)

SIM403W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	4216	0.01	5.46	0.73	0.28	1.44
Simulated Points	251160	0.01	5.40	0.73	0.25	1.13
Realizations	20					

Figura 57. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

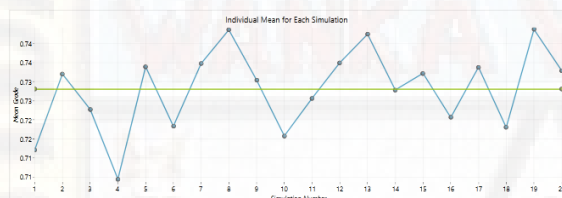


Figura 58. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

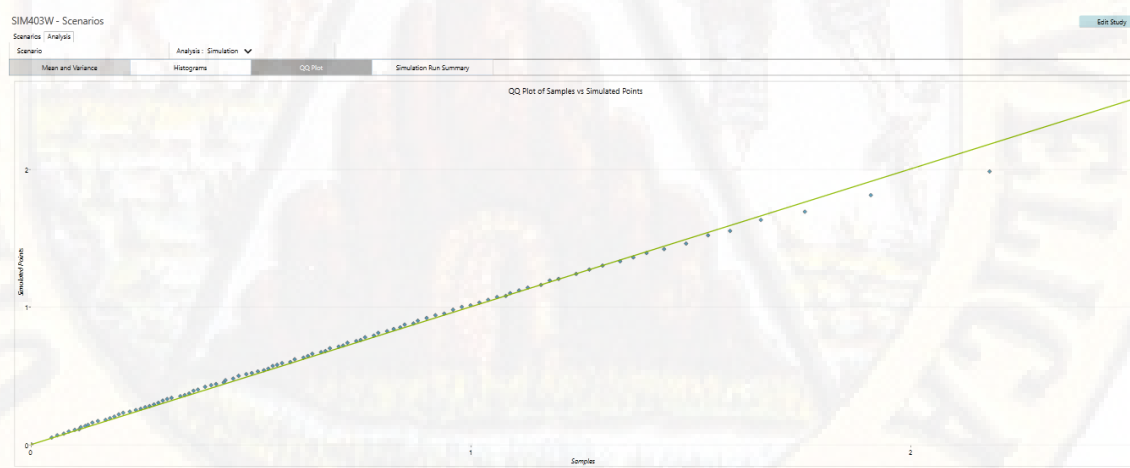


Figura 59. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM403W - Scenarios

Scenarios Analysis

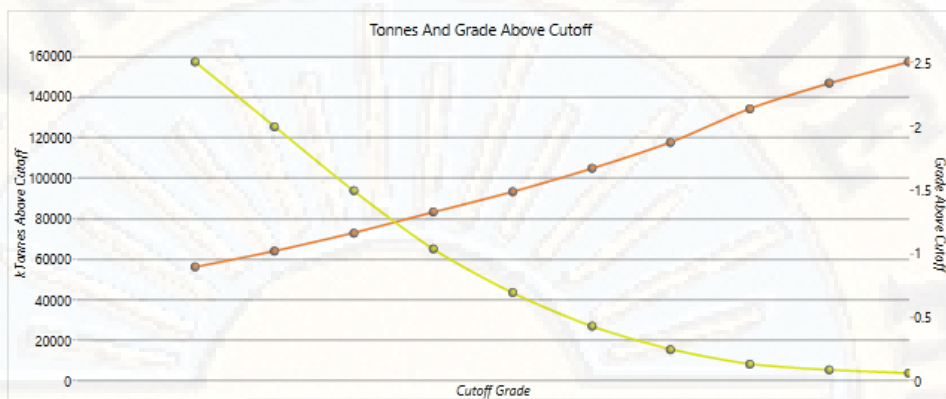
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

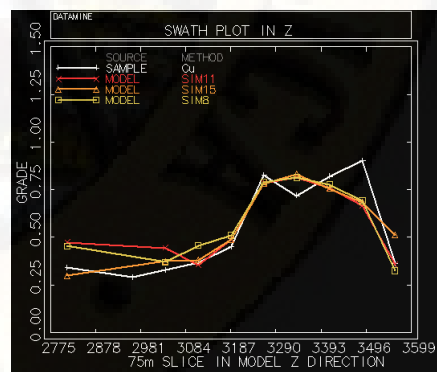
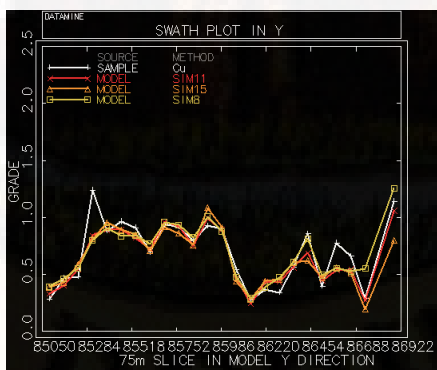
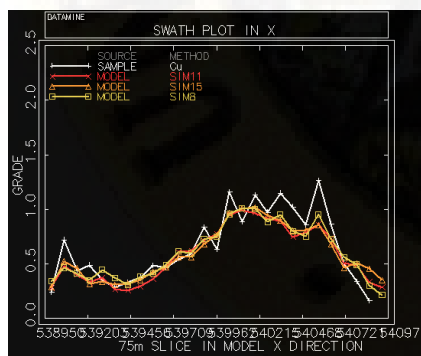
Total Models: ETypes and Percentiles



▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.778	156717	0.89
0.5	0.620	124928	1.01
0.7	0.462	93159	1.16
0.9	0.320	64531	1.32
1.1	0.213	42985	1.48
1.3	0.132	26507	1.66
1.5	0.075	15134	1.87
1.7	0.039	7865	2.13
1.9	0.025	4984	2.33
2.1	0.017	3367	2.50

Figura 60. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X

Eje Y

Eje Z

Figura 61. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 8, 11 y 15

Tabla 10. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 403

Dominio	Resultados	Comentarios
403	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.728%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3430; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución d los bloques que existe con el escenario SIM8. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución multimodal (varias familias de datos), el valor de la media de la data original (0.78%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM8, SIM11, SIM15 $\approx$ 0.73%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 156,717KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos a mayor distancia en el eje X e Y, respecto a los escenarios SIM8, SIM11 y SIM15.

4.1.2.4.5. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 404

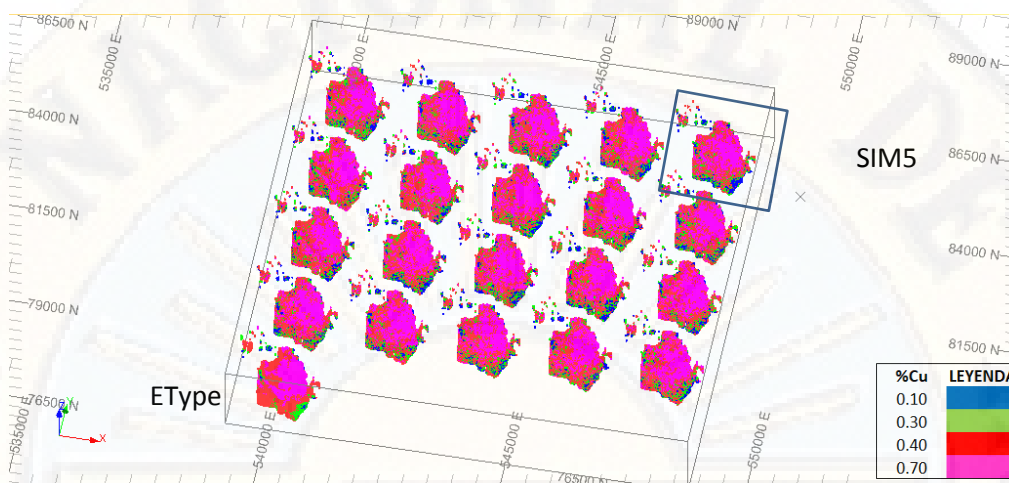


Figura 62. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.554% Cu)

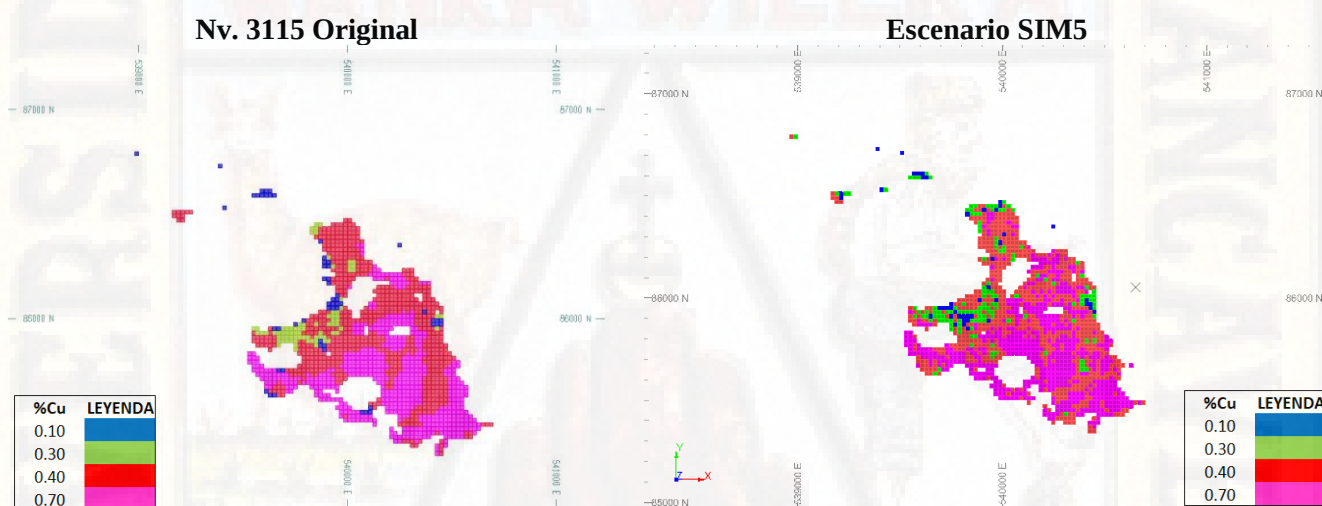


Figura 63. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

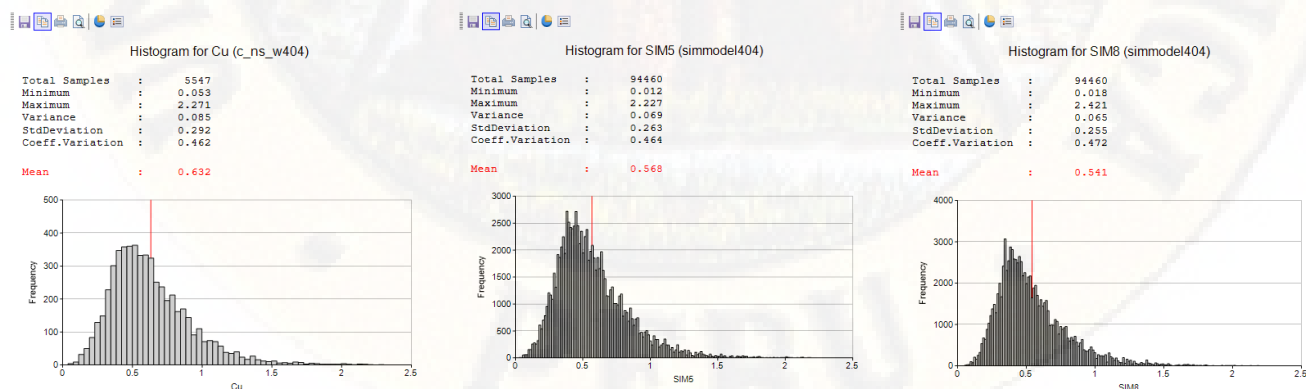


Figura 64. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM5 y SIM8)

SIMLP - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	5547	0.05	2.27	0.63	0.08	1.25
Simulated Points	1889200	0.01	2.47	0.55	0.06	1.32
Realizations	20					

Figura 65. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

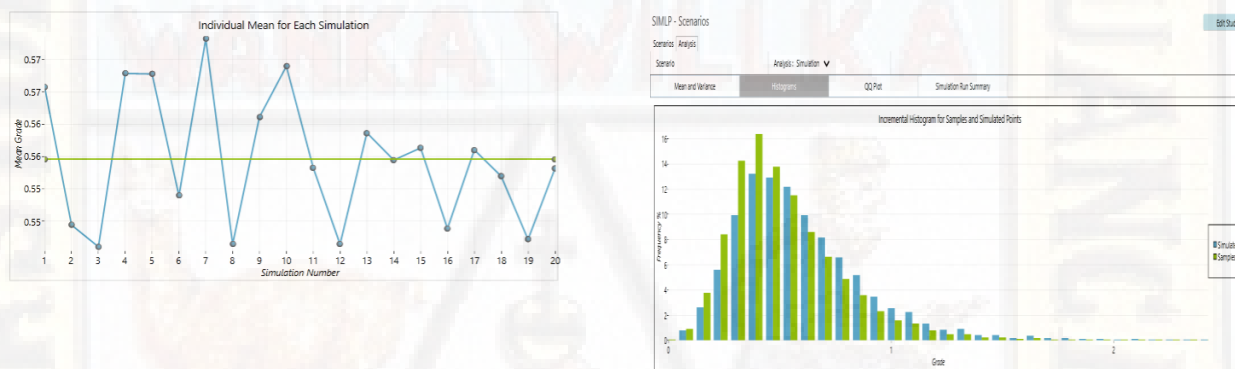


Figura 66. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

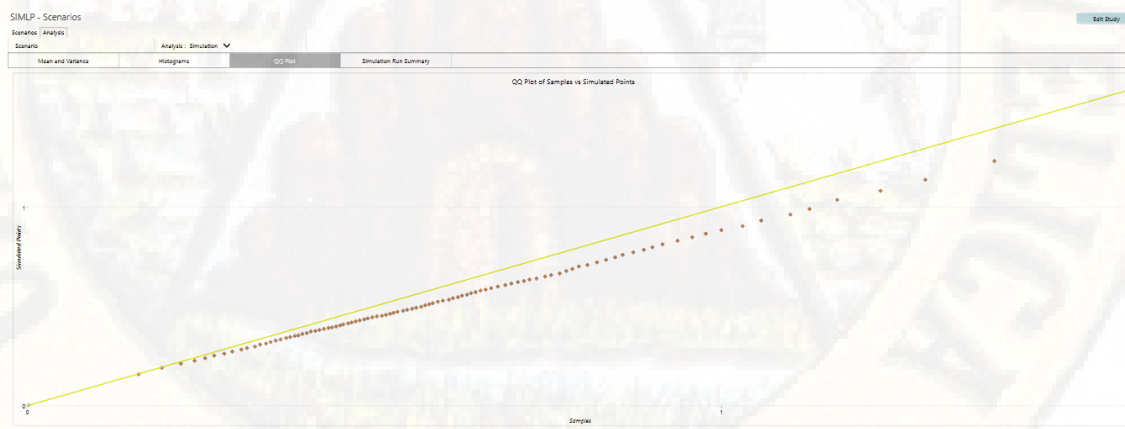


Figura 67. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIMLP - Scenarios

Scenarios Analysis

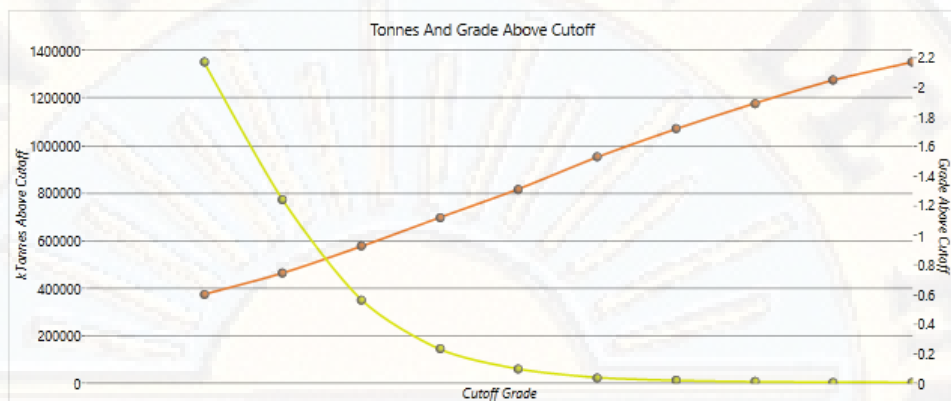
Scenario

Analysis : Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

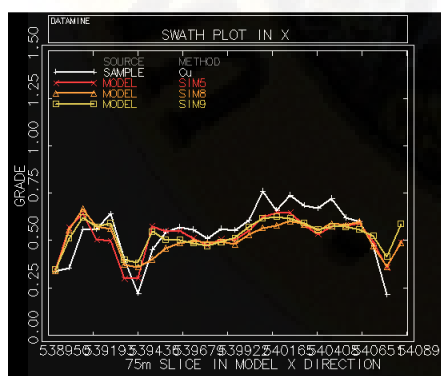
Total Models: ETypes and Percentiles



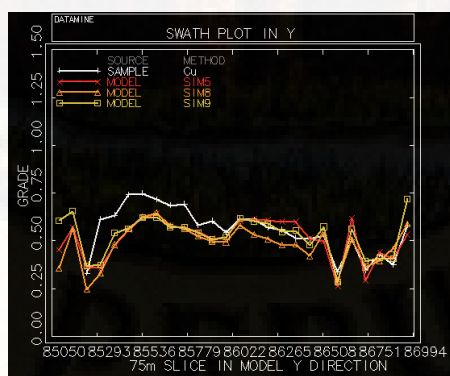
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.888	1345758	0.59
0.5	0.507	768033	0.74
0.7	0.230	348110	0.92
0.9	0.092	139914	1.11
1.1	0.037	56830	1.31
1.3	0.014	21052	1.52
1.5	0.006	8616	1.71
1.7	0.002	3400	1.88
1.9	0.001	1430	2.04
2.1	0.000	380	2.16

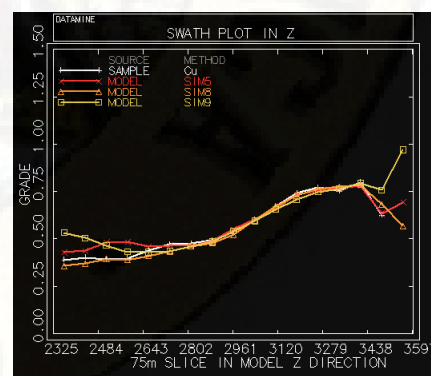
Figura 68. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 69. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 5, 8 y 9

Tabla 11. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 404

Dominio	Resultados	Comentarios
404	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.554%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM5. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en la unidad litológica Latita Porfirítica, principal cuerpo intrusivo que trajo la mineralización de Cuajone.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.63%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM5, SIM8, SIM9 ≈ 0.55%Cu). El rango de la simulación obtenidas que se obtuvo fue de 0.50 a 0.588%Cu
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud moderada a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 1'345,758KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en el eje X e Y con respecto a las leyes de Cobre original como se muestra en la comparación de los histogramas, respecto a los escenarios SIM5, SIM8 y SIM9.

4.1.2.4.6. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 405

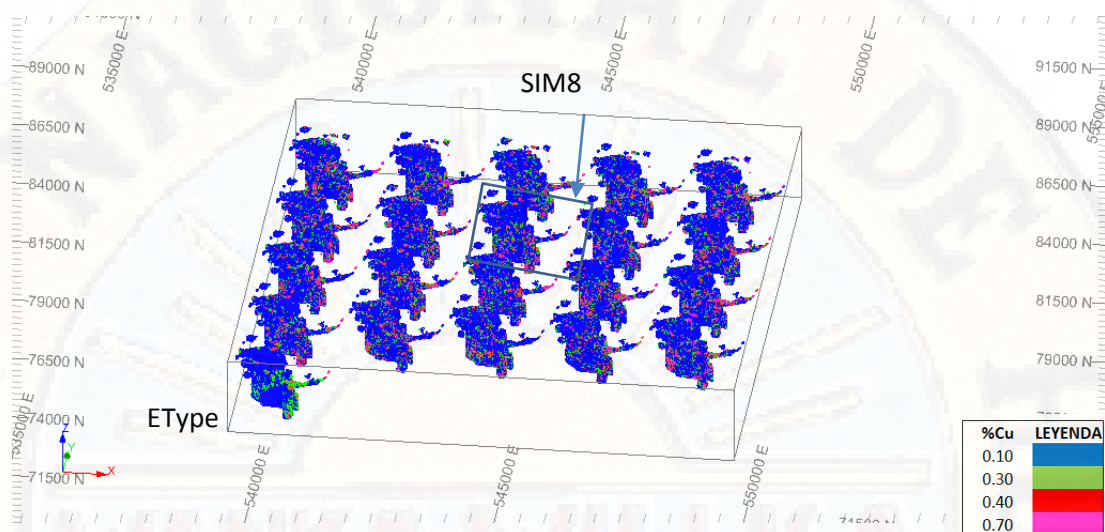


Figura 70. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.214% Cu)

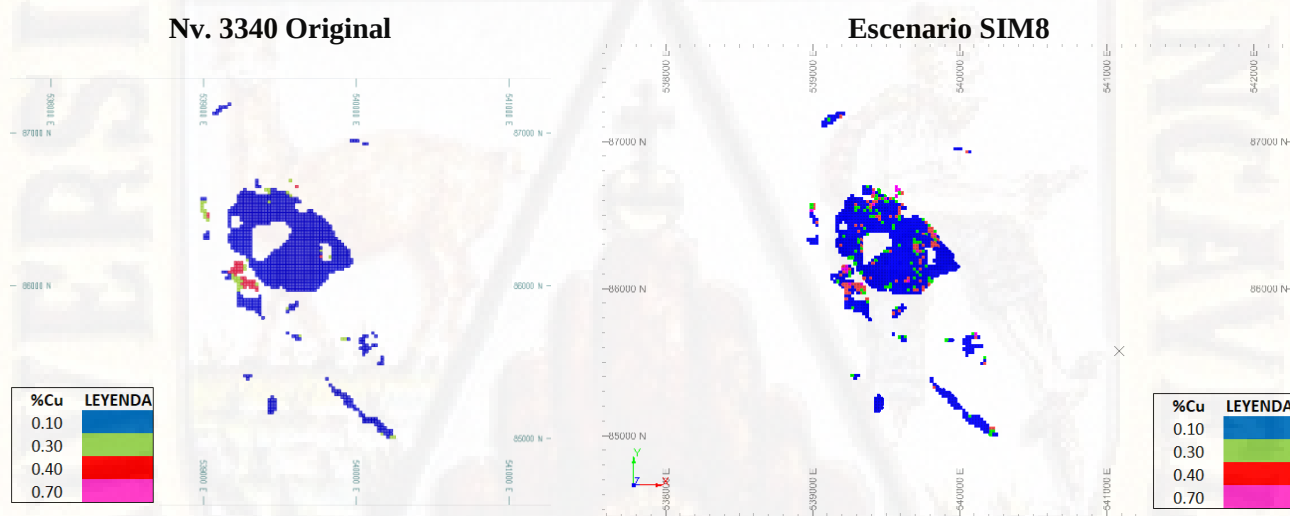


Figura 71. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

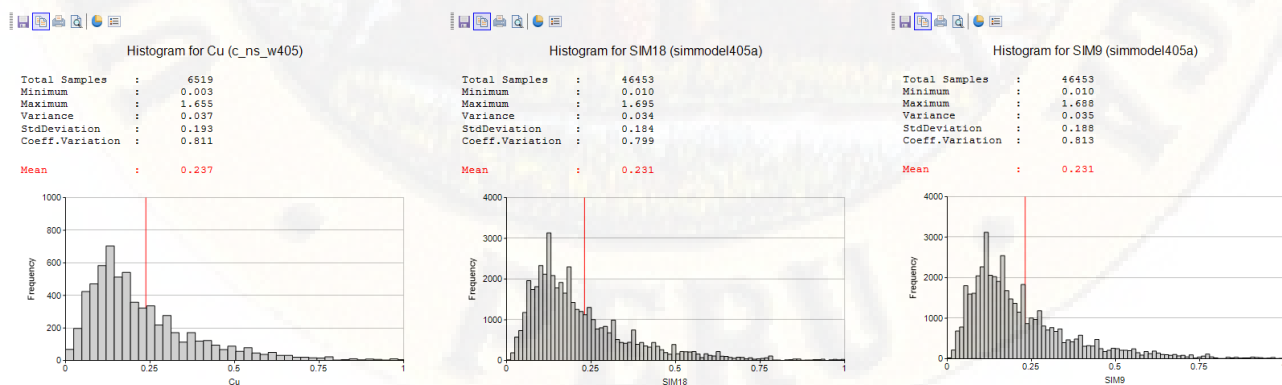


Figura 72. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM18 y SIM9)

SIM405W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	6492	0.01	1.66	0.23	0.03	2.32
Simulated Points	932440	0.01	1.70	0.21	0.03	2.49
Realizations	20					

Figura 73. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

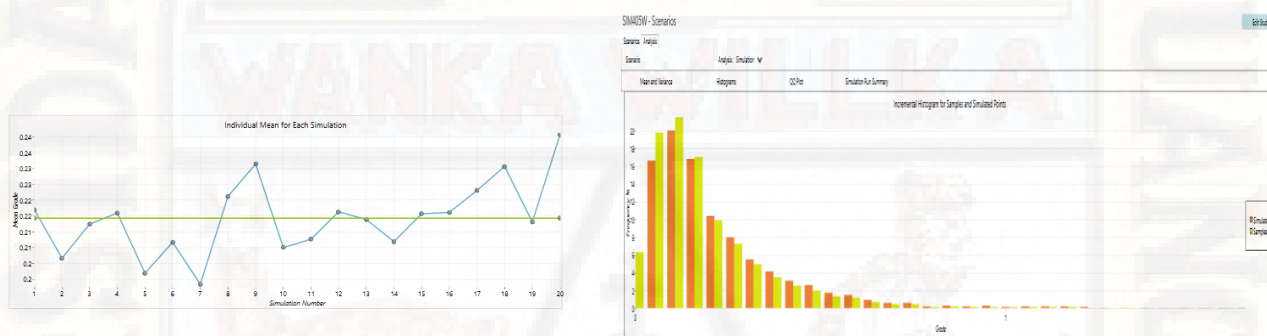


Figura 74. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

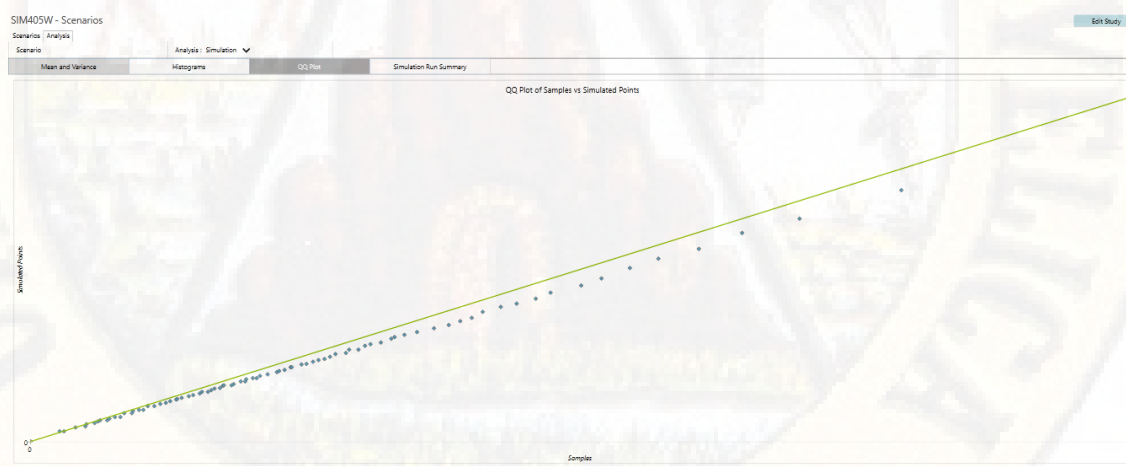


Figura 75. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM405W - Scenarios

Scenarios Analysis

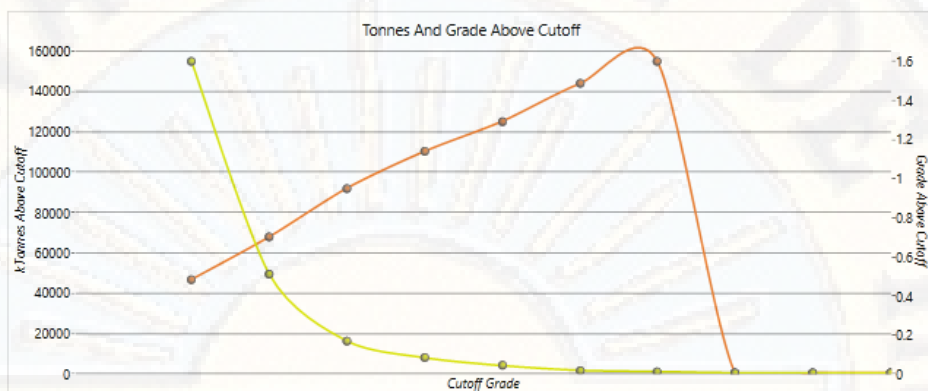
Scenario

Analysis : Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

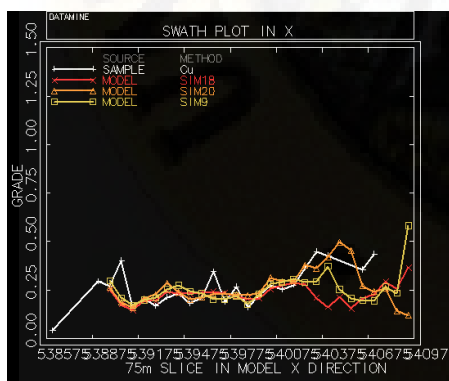
Total Models: ETypes and Percentiles



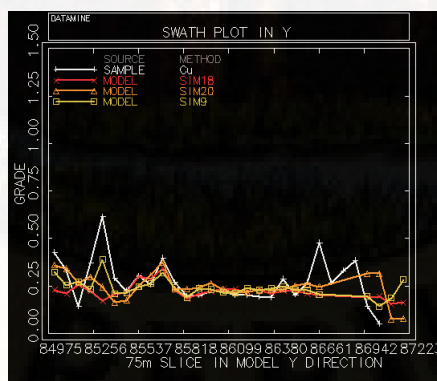
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.207	154131	0.48
0.5	0.066	48943	0.70
0.7	0.021	15812	0.95
0.9	0.010	7524	1.13
1.1	0.005	3607	1.29
1.3	0.002	1277	1.48
1.5	0.001	648	1.59
1.7	0.000	0	0.00
1.9	0.000	0	0.00
2.1	0.000	0	0.00

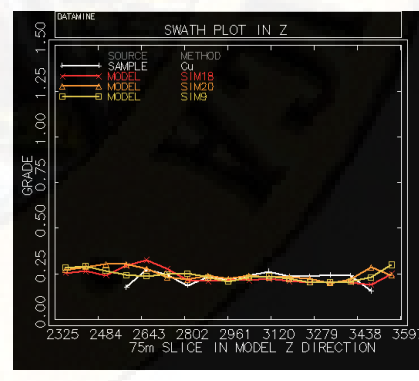
Figura 76. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 77. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 18, 9 y 20

Tabla 12. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 405

Dominio	Resultados	Comentarios
405	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.215%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3340; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM18. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en la Latita Porfirítica LP2, Dique y Rioluta Porfirítica.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.23%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM18, SIM9, SIM20 $\approx$ 0.23%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	Las distribuciones de las muestras al principio guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras que llegan hasta 1.7% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.21% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.
	Swath Plot	Se denota variabilidad puntual en los ejes X e Y, respecto a los escenarios SIM18, SIM9 y SIM20.

4.1.2.4.7. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 406

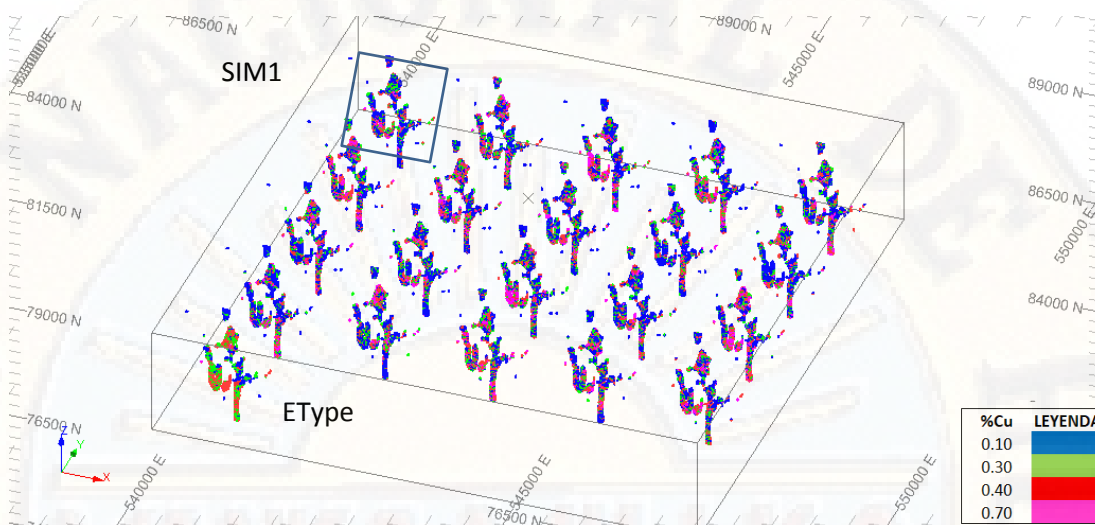


Figura 78. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.382% Cu)



Figura 79. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

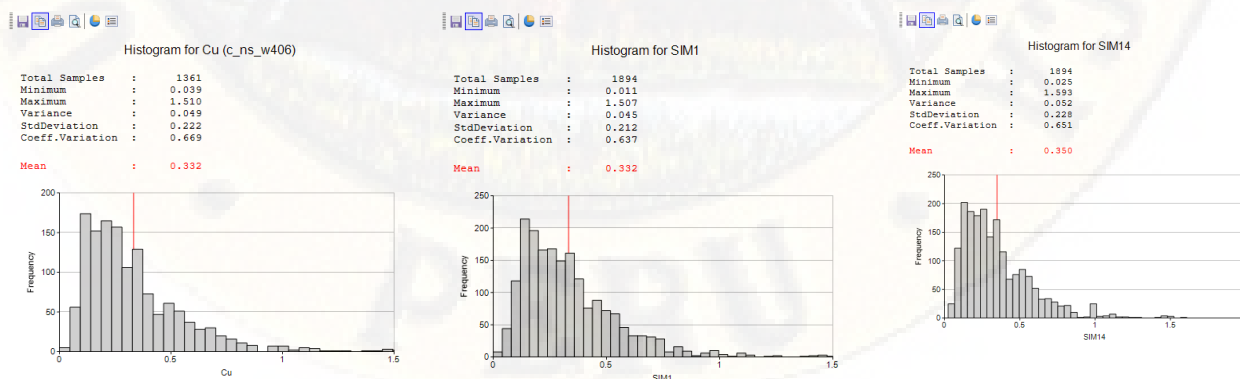


Figura 80. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM14)

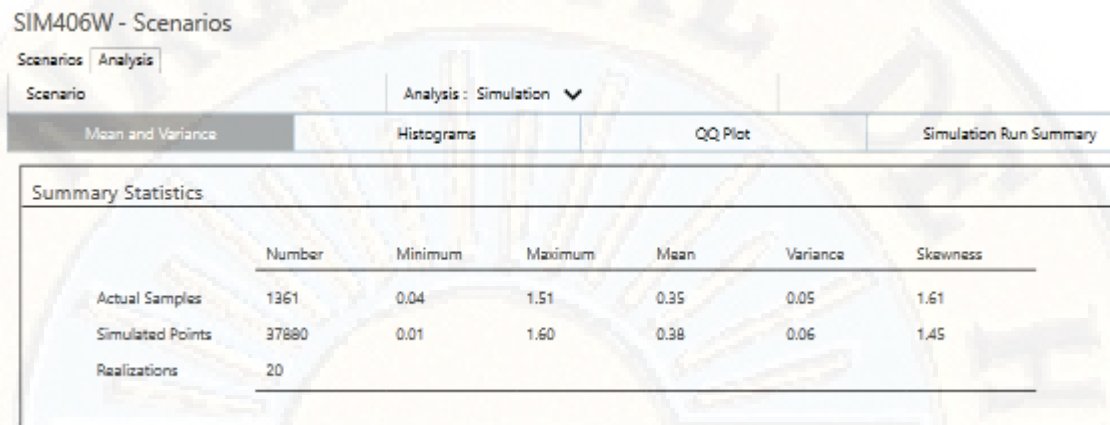


Figura 81. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 82. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones



Figura 83. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM406W - Scenarios

Scenarios | Analysis

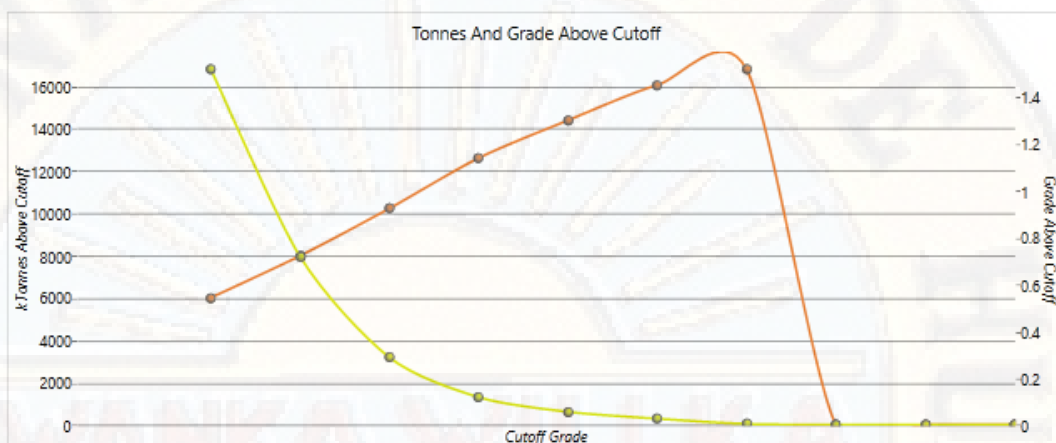
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

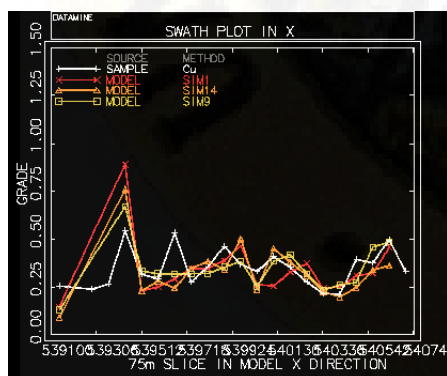
Total Models: ETypes and Percentiles



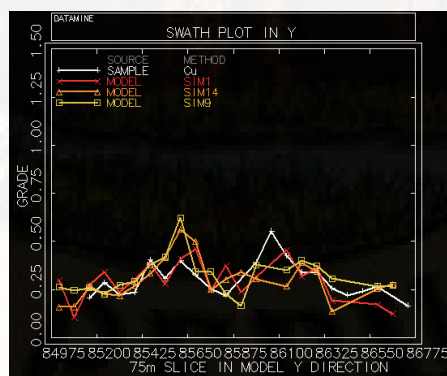
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.552	16765	0.54
0.5	0.261	7925	0.72
0.7	0.104	3172	0.92
0.9	0.043	1298	1.14
1.1	0.020	608	1.30
1.3	0.009	287	1.45
1.5	0.001	39	1.51
1.7	0.000	0	0.00
1.9	0.000	0	0.00
2.1	0.000	0	0.00

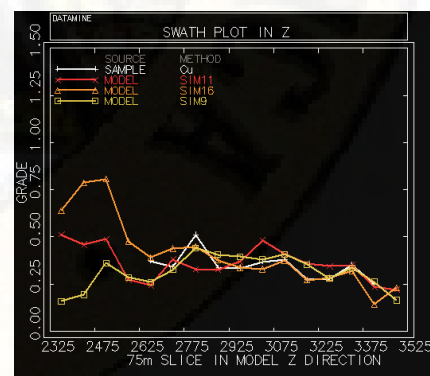
Figura 84. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 85. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 14 y 9

Tabla 13. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 406

Dominio	Resultados	Comentarios
406	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.382%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3475; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM1. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre de la Brecha de Latita Porfirítica LP2.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.33%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM1, SIM14, SIM9 $\approx$ 0.33%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 16,765KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en todos los ejes, el comportamiento de este dominio es discontinuo y heterogéneo al ser una brecha en conjunto con los escenarios SIM1, SIM14 y SIM9.

4.1.2.4.8. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 407

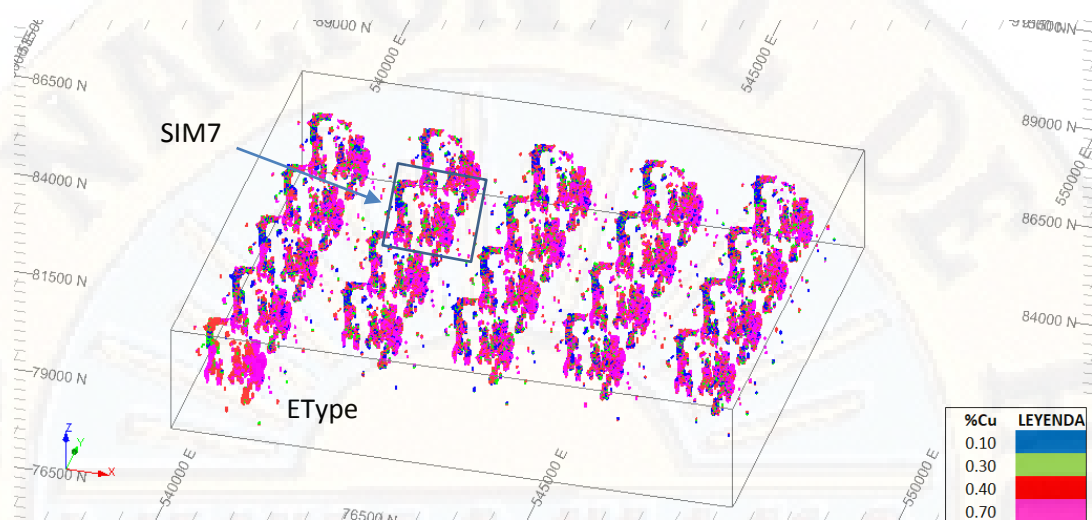


Figura 86. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.761% Cu)



Figura 87. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

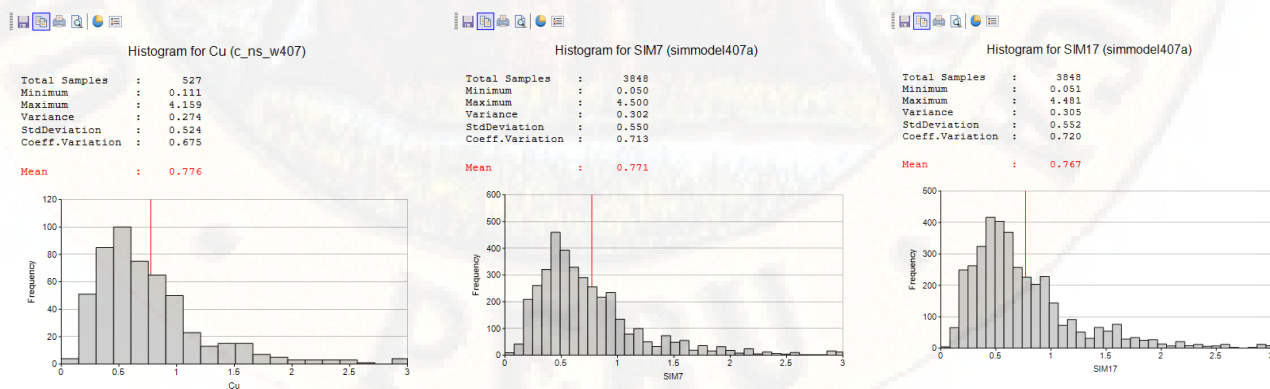


Figura 88. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM17)

SIM407W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	527	0.11	4.16	0.77	0.27	2.27
Simulated Points	76960	0.05	4.50	0.76	0.30	2.34
Realizations	20					

Figura 89. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

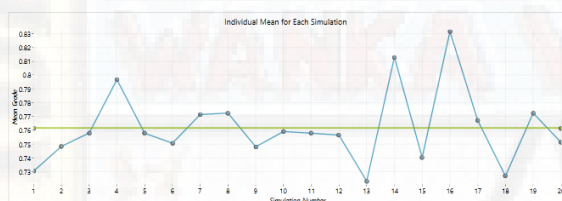


Figura 90. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

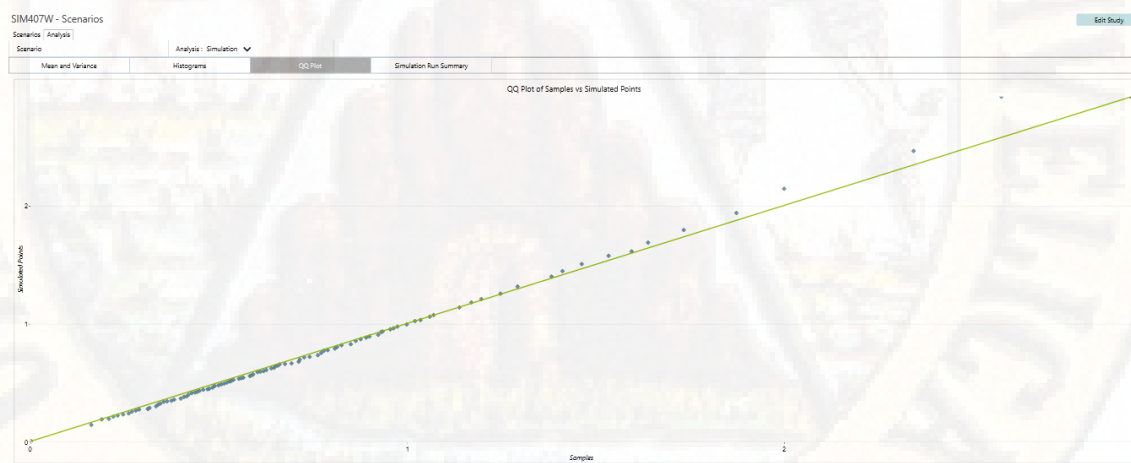


Figura 91. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM407W - Scenarios

Scenarios Analysis

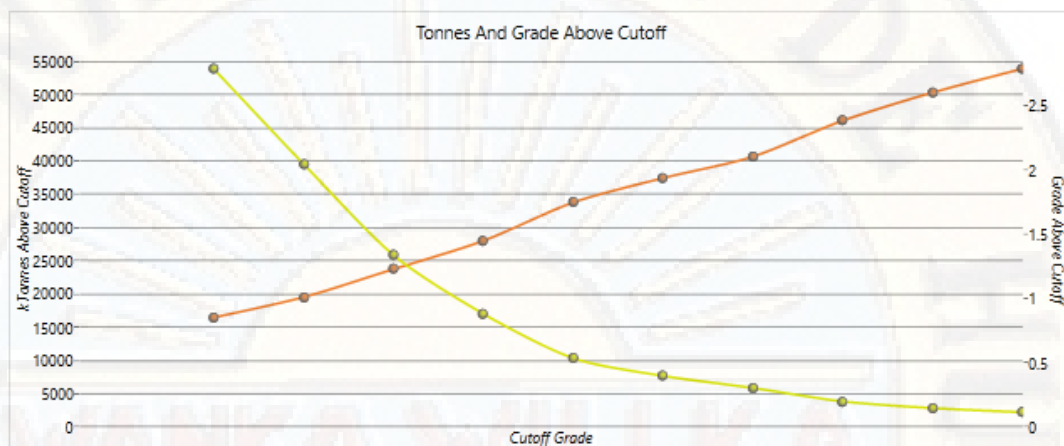
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

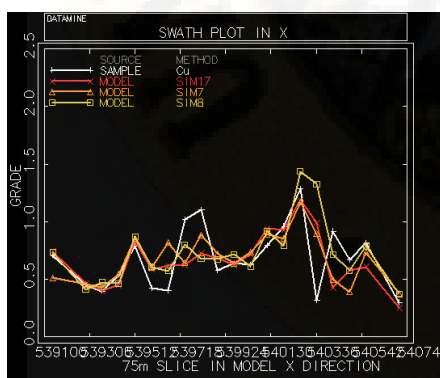
Total Models: ETypes and Percentiles



▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.869	53663	0.84
0.5	0.637	39366	1.00
0.7	0.416	25674	1.22
0.9	0.273	16852	1.44
1.1	0.165	10168	1.74
1.3	0.122	7511	1.93
1.5	0.092	5687	2.09
1.7	0.059	3668	2.37
1.9	0.043	2663	2.59
2.1	0.033	2048	2.78

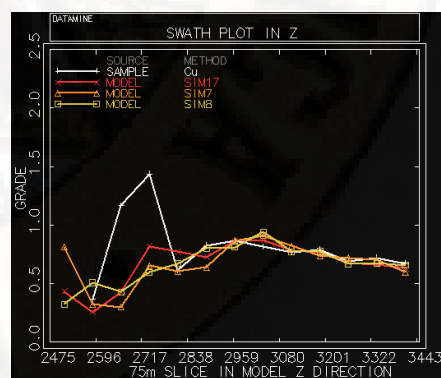
Figura 92. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 93. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 17 y 8

Tabla 14. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 407

Dominio	Resultados	Comentarios
407	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.761%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3100; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM7. Este dominio representa la Brecha de Latita Porfirítica, uno de los eventos donde se tiene leyes considerables de Cobre que llegan hasta 4%Cu, valores aleatorios.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.77%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM7, SIM17, SIM8 $\approx$ 0.76%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple con la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30%Cu por ejemplo se tiene 53,663KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo.
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y, comportamiento propio de las brechas donde las ocurrencias de estos datos son propios por la naturaleza de la roca como se muestra en los escenarios SIM7, SIM17 y SIM8.

4.1.2.4.9. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 408

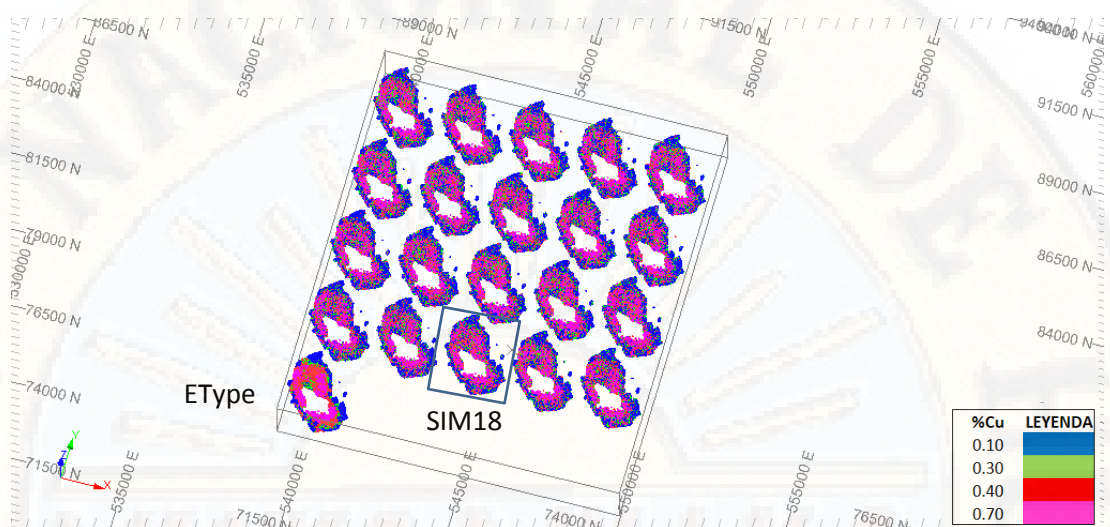


Figura 94. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.459% Cu)

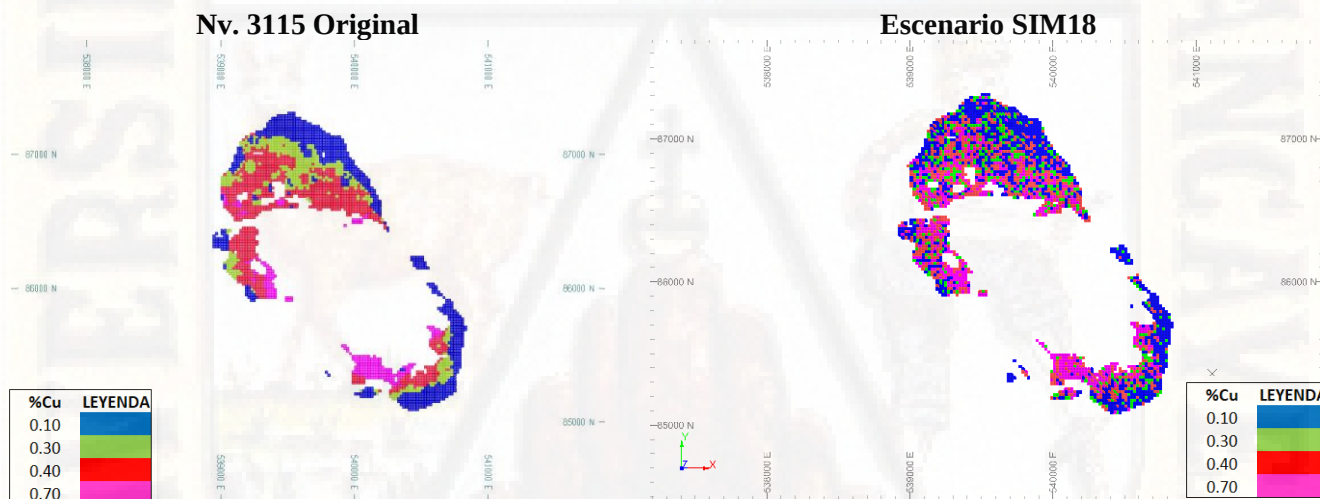


Figura 95. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

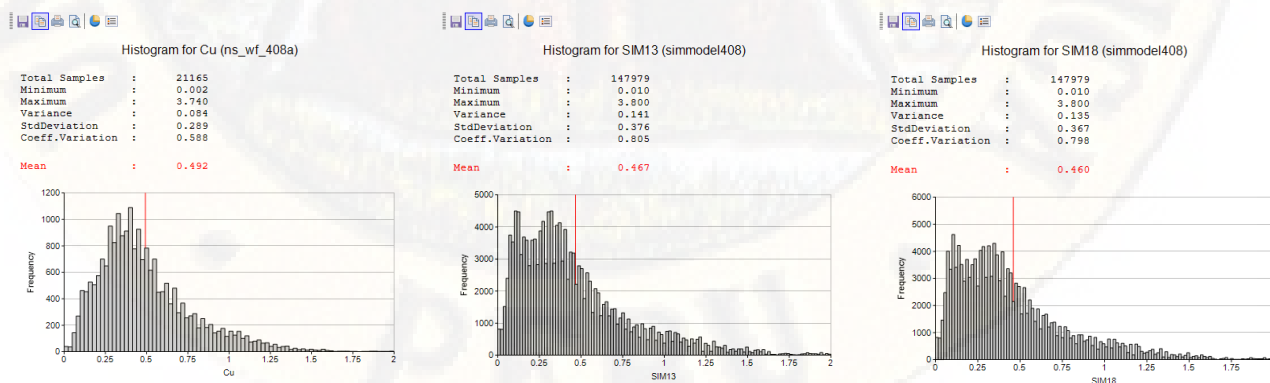


Figura 96. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs. escenarios Simulación Condicional (SIM13 y SIM18)

SIM408W - Scenarios

Scenarios | Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	21140	0.01	3.74	0.48	0.08	1.35
Simulated Points	2960080	0.01	3.80	0.46	0.14	2.09
Realizations	20					

Figura 97. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 98. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

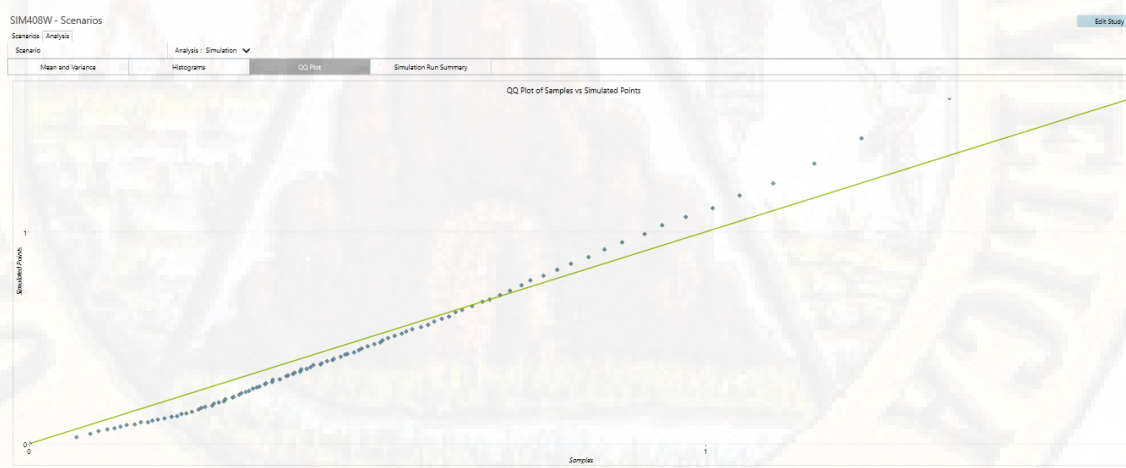


Figura 99. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM408W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

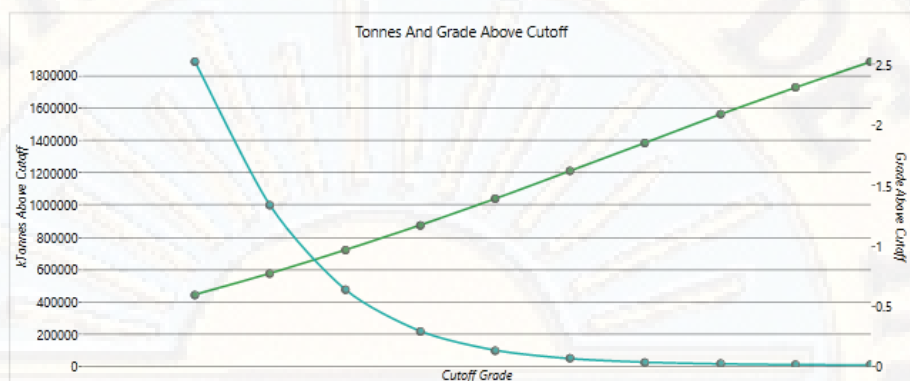
Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

Total Models: ETypes and Percentiles

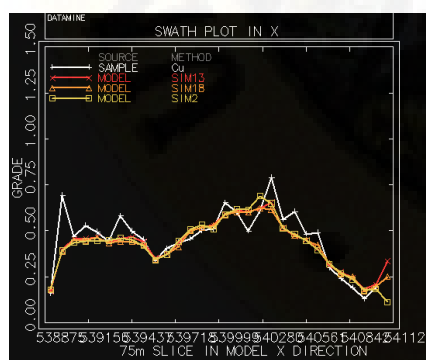
New Data Available



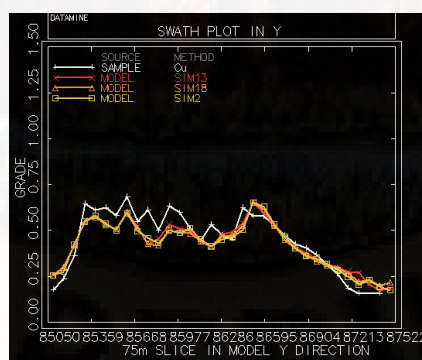
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

	CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
	0.3	0.677	1879088	0.59
	0.5	0.357	990959	0.76
	0.7	0.170	472423	0.96
	0.9	0.077	214626	1.16
	1.1	0.035	95960	1.38
	1.3	0.016	44138	1.61
	1.5	0.008	21746	1.84
	1.7	0.004	11441	2.08
	1.9	0.002	6453	2.30
	2.1	0.001	3854	2.51

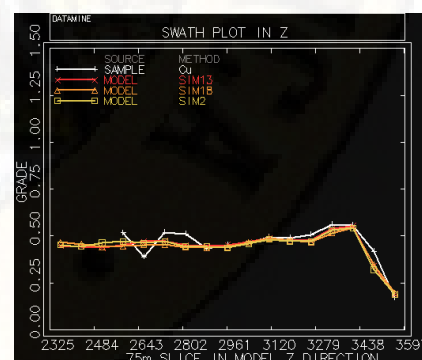
Figura 100. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 101. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 13, 18 y 2

Tabla 15. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 408

Dominio	Resultados	Comentarios
408	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.459%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; donde se puede apreciar la distribución de los bloques guardando cierta semejanza como por ejemplo el escenario SIM13. Estos escenarios representan la roca que alberga la mineralización o roca caja de la Mina Cuajone (andesita basáltica).
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.49%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM13, SIM18, SIM2 $\approx$ 0.46%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan ligera similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 1'879,088KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo.
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y (Este y Norte), ocurrencia de leyes y/o familias esporádicas, límites de contacto con materiales de alta y baja ley con respecto a los escenarios SIM13, SIM18 y SIM2.

4.1.2.4.10. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 409

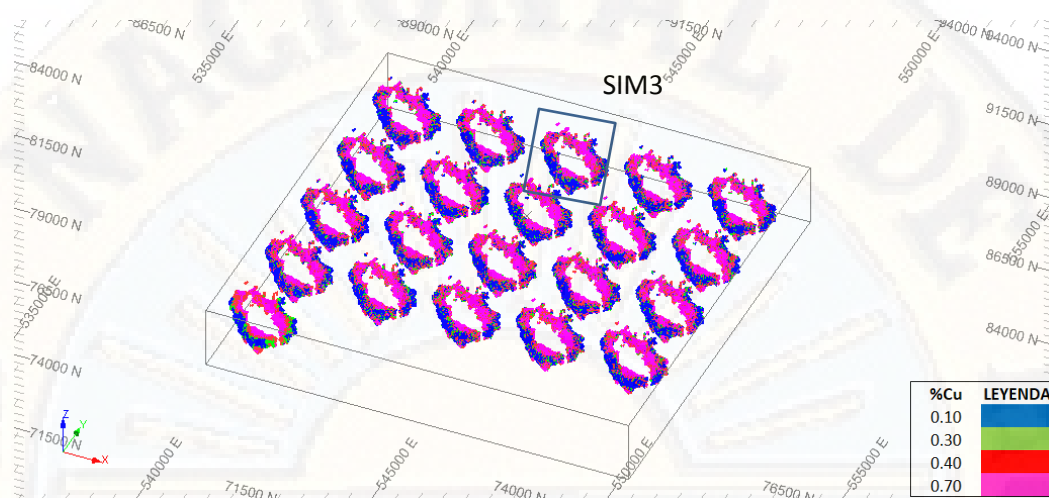


Figura 102. Representación de los 20 escenarios

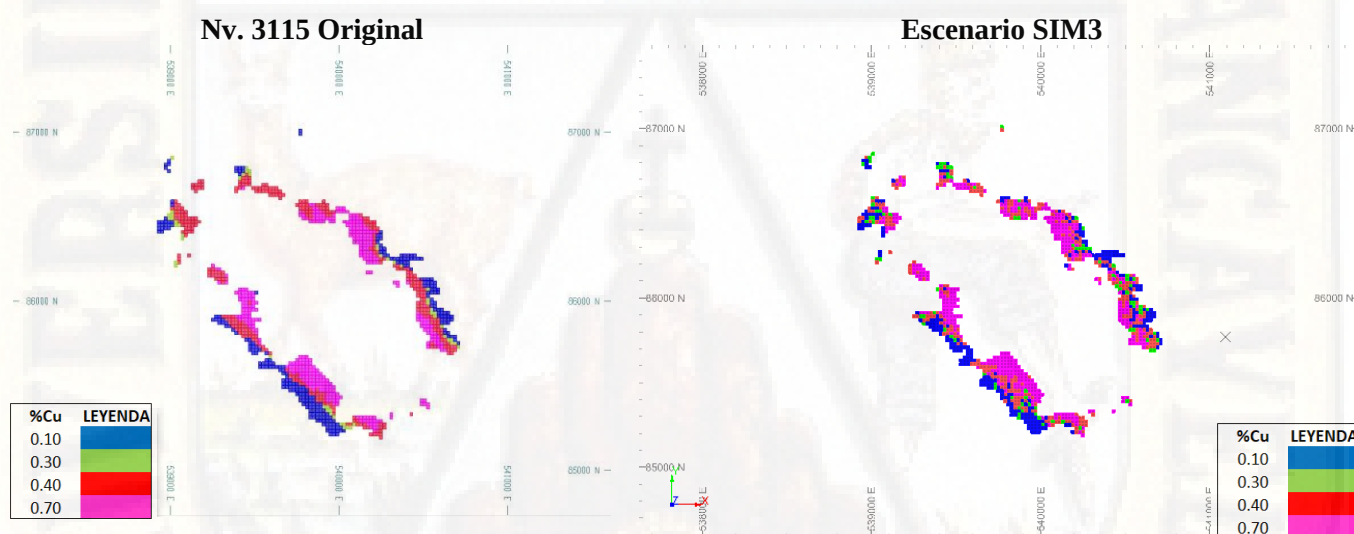


Figura 103. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

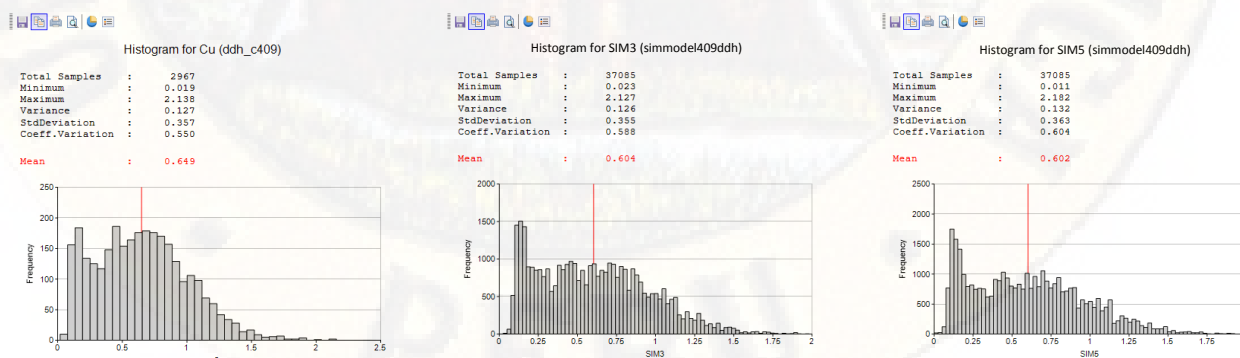


Figura 104. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM3 y SIM5)

SIM_IA - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	2967	0.02	2.14	0.65	0.13	0.48
Simulated Points	742920	0.01	2.19	0.61	0.13	0.48
Realizations	20					

Figura 105. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

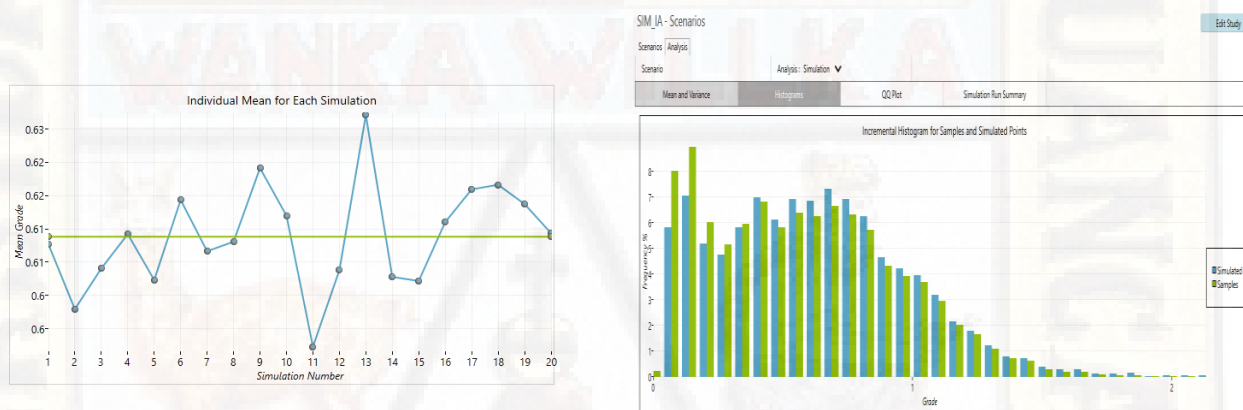


Figura 106. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

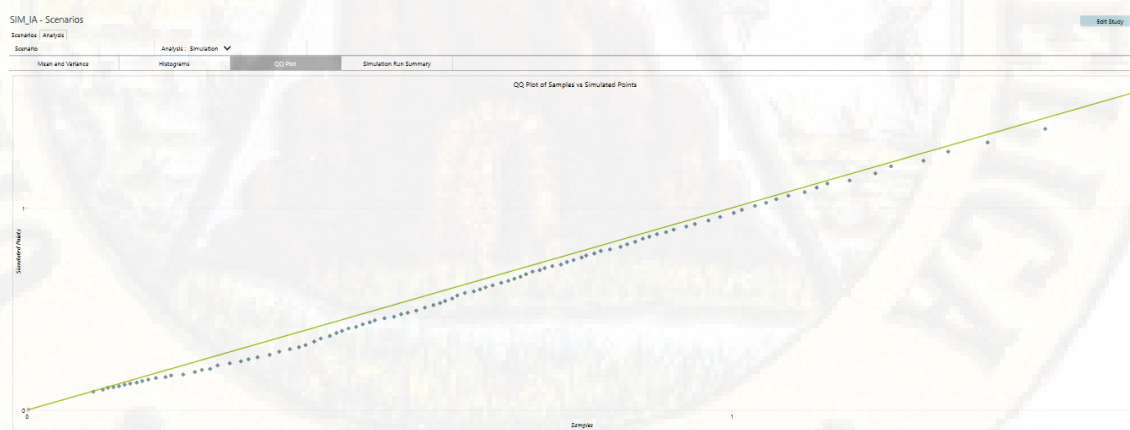


Figura 107. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

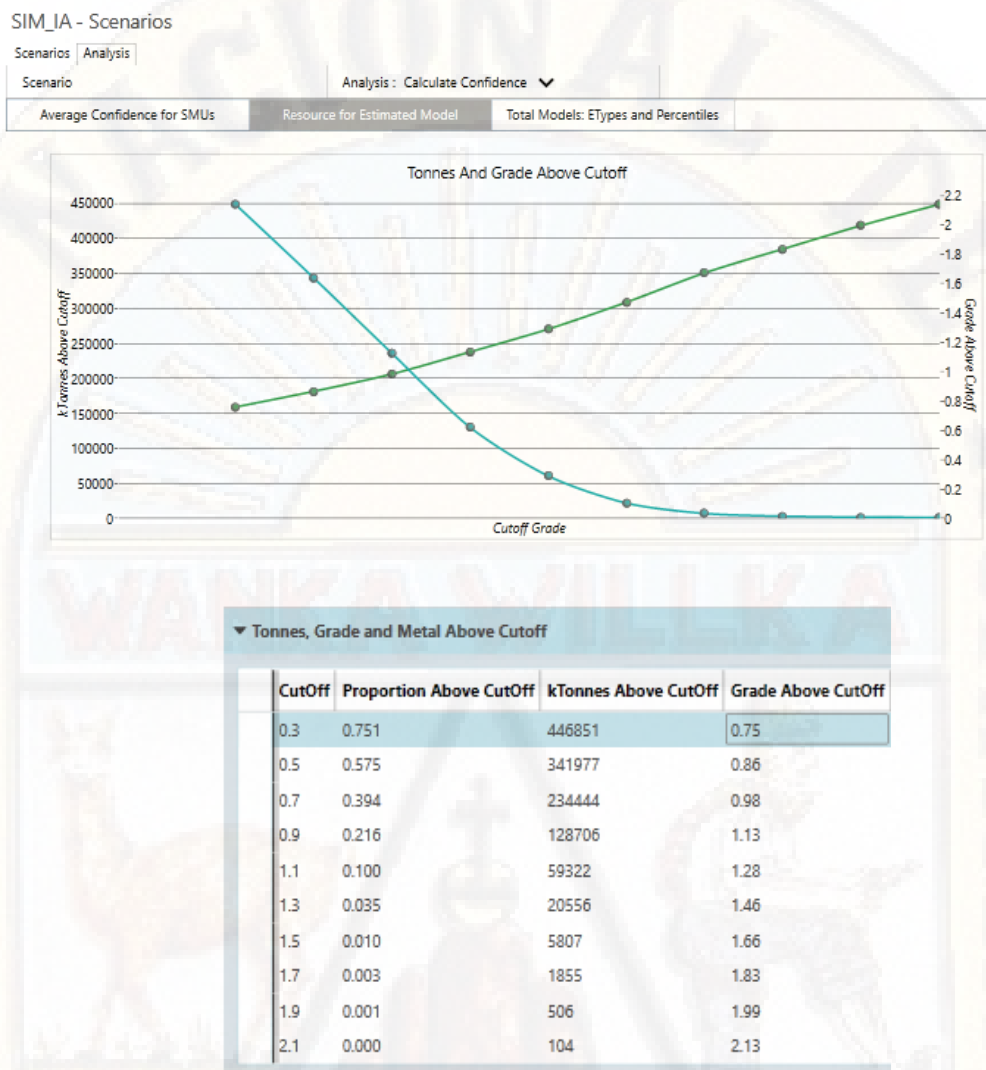


Figura 108. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

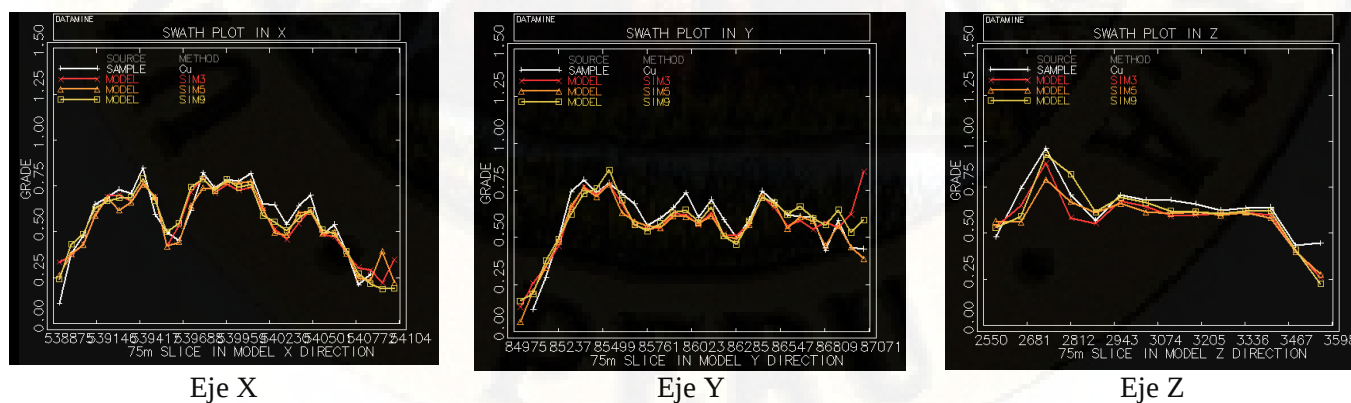


Figura 109. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 3, 5 y 9

Tabla 16. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 409

Dominio	Resultados	Comentarios
409	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Luego de diversas pruebas en este dominio no se pudo obtener resultados con el proceso de Simulación Condicional, al hacer las consultas con personal experto requiere hacer un estudio detallado. Por temas de investigación se decidió evaluar toda la información con la data original para tener una perspectiva del comportamiento de los datos Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; los resultados muestran el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM3. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre que se tienen en este dominio denominado Andesita Intrusiva, formada por presión y temperatura de la Andesita Basáltica (408).
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos multimodal, asociación de varios datos con leyes moderadas, altas, el valor de la media de la data original (0.65%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM3, SIM5, SIM9 $\approx$ 0.60%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple con la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 446, 851KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota ligera variabilidad de los datos en el eje Y, respecto a los escenarios SIM3, SIM5 y SIM9.

4.1.2.4.11. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 410

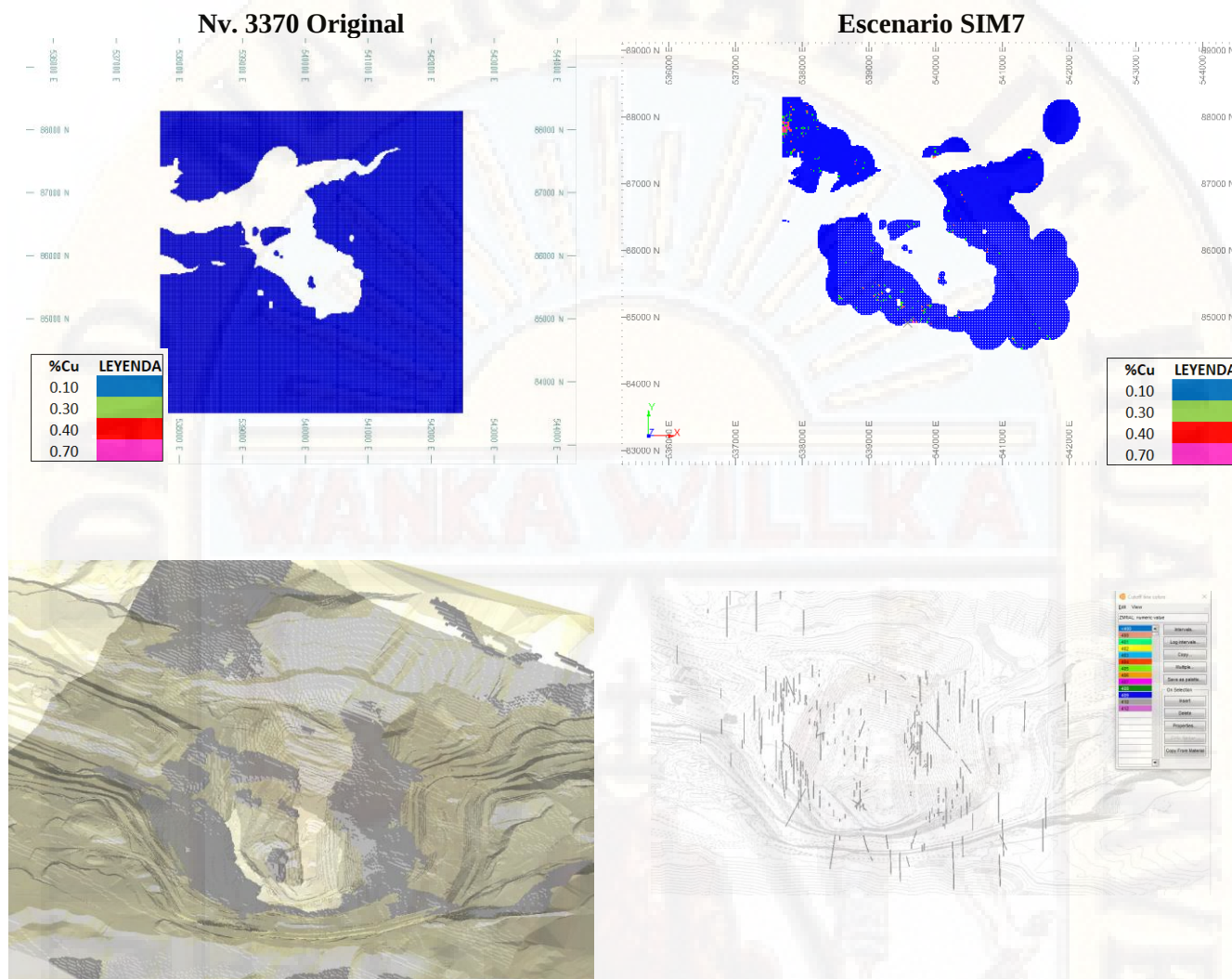


Figura 110. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

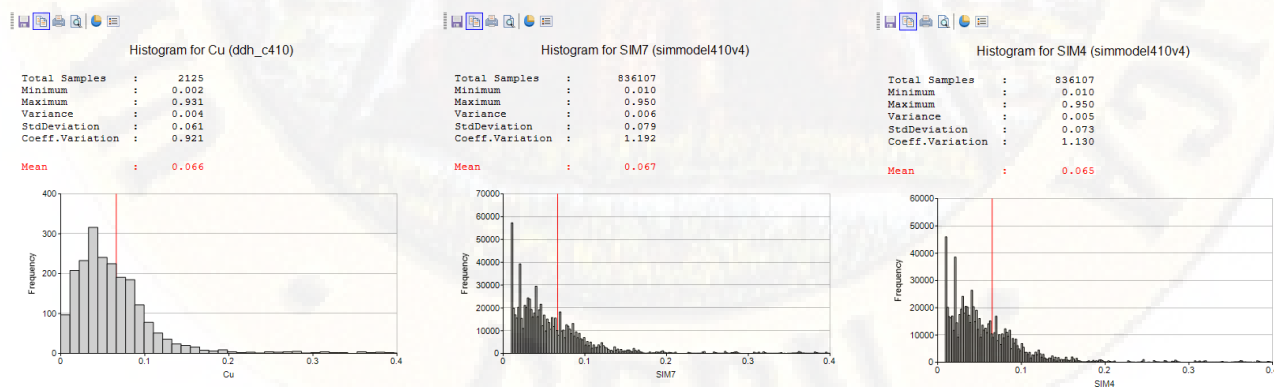
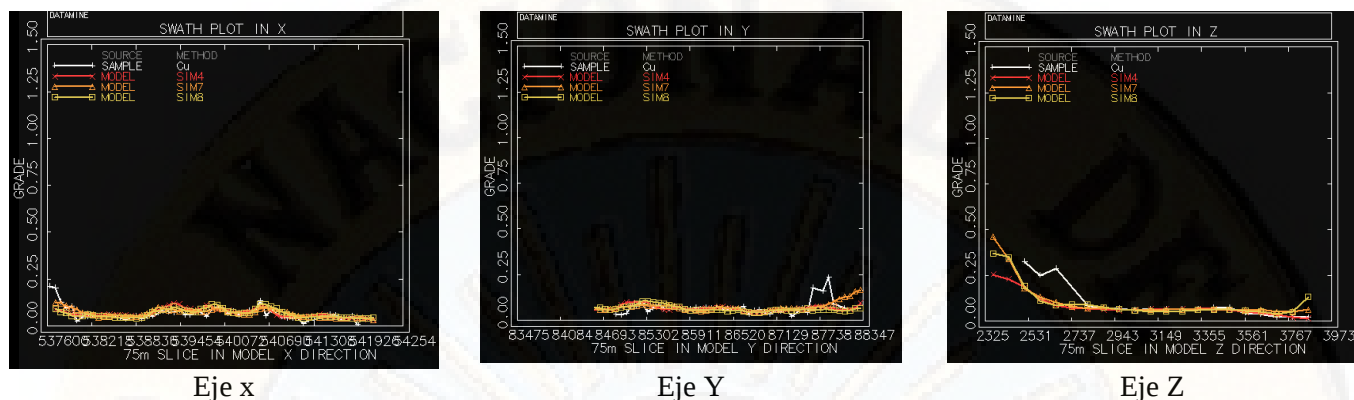


Figura 111. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM4)



Eje x

Eje Y

Eje Z

Figura 112. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 4 y 8

Tabla 17. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 410

Dominio	Resultados	Comentarios
410	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Al igual que el caso anterior se decidió trabajar con la data original con todos los datos disponibles. Para poder hacer comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3370; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM7. Este escenario representa a la zona estéril o desmonte que se encuentra en gran proporción en la zona de estudio.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.066%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM7, SIM4, SIM8 $\approx 0.066\%Cu$).
	Gráfica de Q-Q Plot	Este gráfico no se obtuvo
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 156,717KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota baja variabilidad de datos, respecto a los escenarios SIM7, SIM4 y SIM8

Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 412

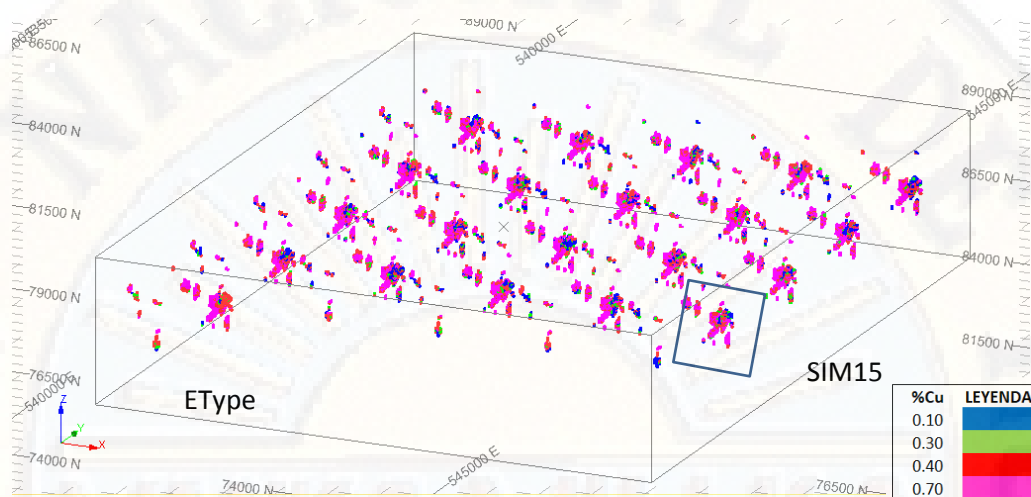


Figura 113. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.682% Cu)

Nv. 3220 Original

Escenario SIM15

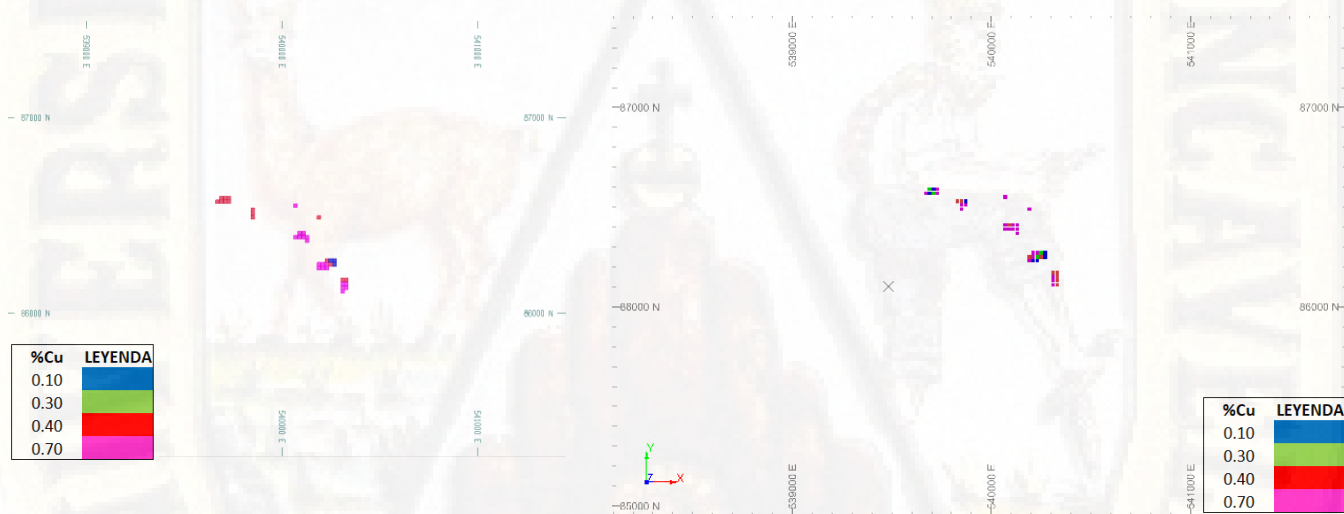


Figura 114. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

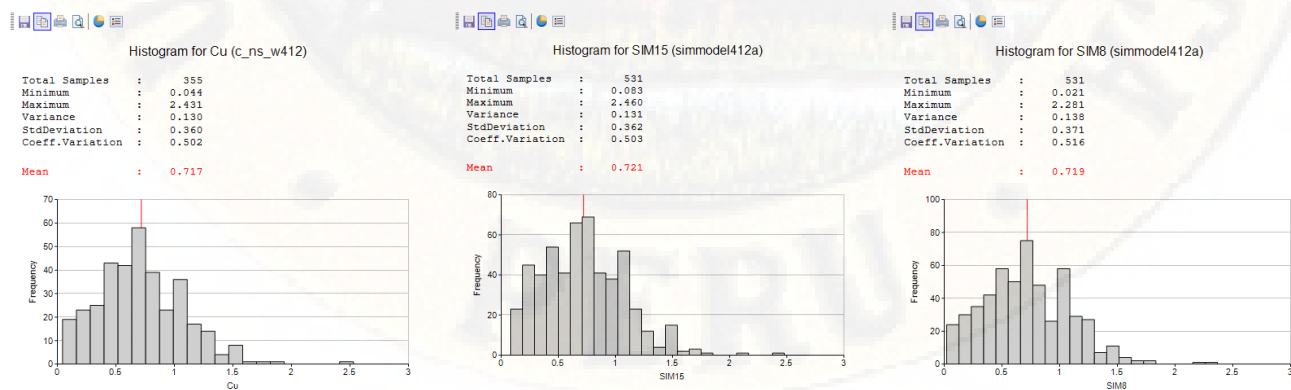


Figura 115. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM15 y SIM8)

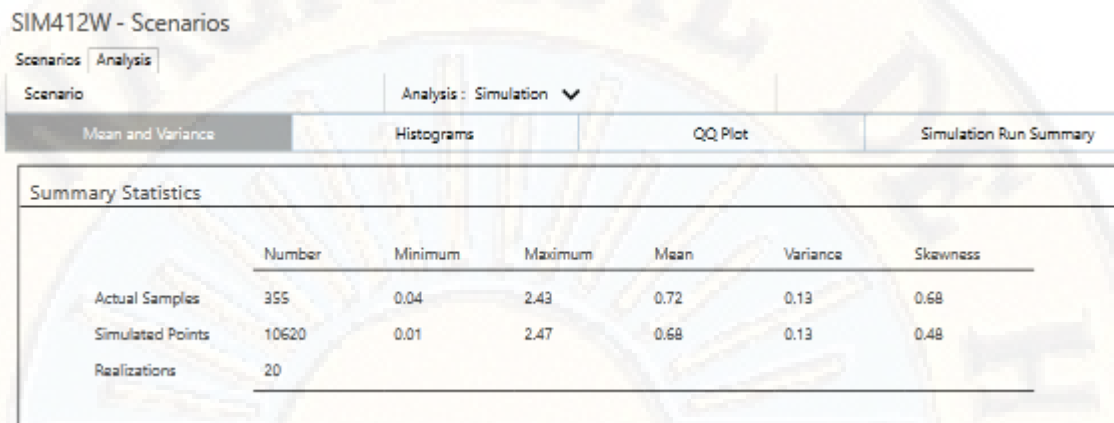


Figura 116. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 117. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

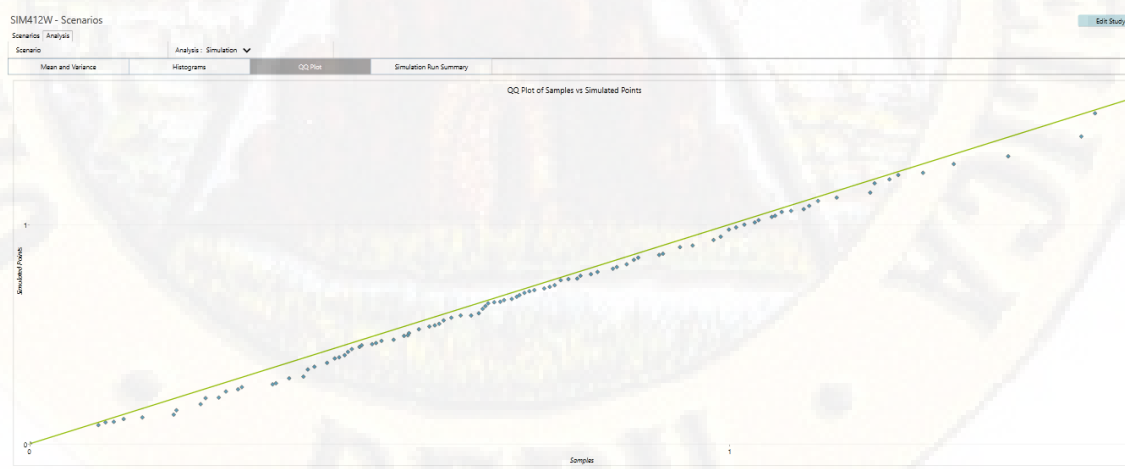


Figura 118. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM412W - Scenarios

Scenarios Analysis

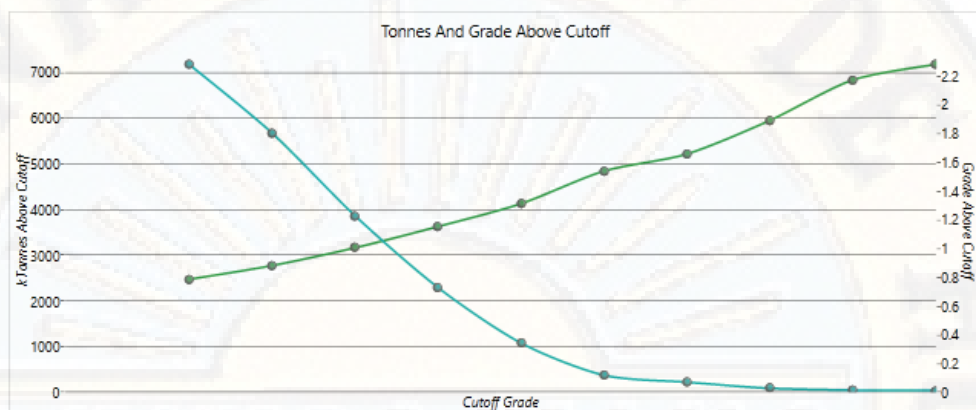
Scenario

Analysis : Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

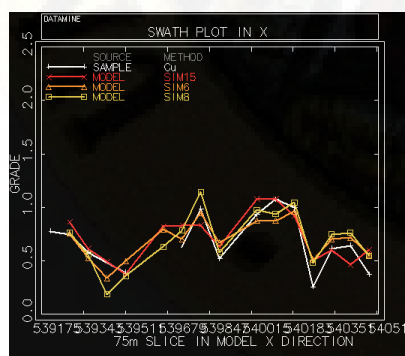
Total Models: ETypes and Percentiles



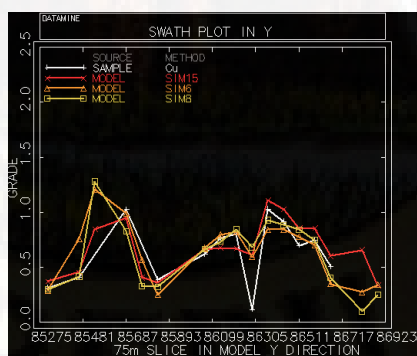
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.839	7150	0.78
0.5	0.663	5649	0.87
0.7	0.450	3838	1.00
0.9	0.266	2268	1.15
1.1	0.124	1055	1.30
1.3	0.041	349	1.53
1.5	0.023	197	1.65
1.7	0.007	63	1.88
1.9	0.002	20	2.17
2.1	0.001	12	2.27

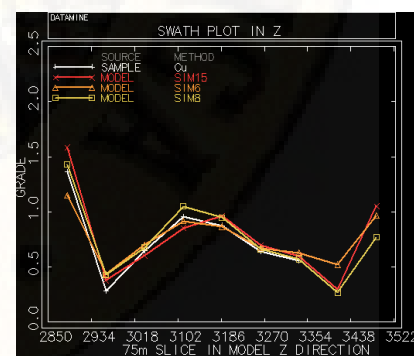
Figura 119. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 120. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 15, 8 y 6

Tabla 18. Presentación e Interpretación de Resultados Dominio Estimación 412

Dominio	Resultados	Comentarios
412	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.682%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3220; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM15. Este escenario por temas de investigación se decidió incluir, pertenecía en un principio como parte del dominio 409; tiene leyes apreciables de Cobre para poderlas evaluar
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución multimodal (varias familias de datos), el valor de la media de la data original (0.72%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM15, SIM8, SIM6 $\approx$ 0.71%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 7,150KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en los tres ejes, respecto a los escenarios SIM15, SIM8 y SIM6, comportamiento propio de las brechas donde se da la ocurrencia de valores anómalos que influyen en el análisis estadística y tratamiento de datos para cualquier proceso.

4.2. Discusión de Resultados

Según los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos específicos planteados durante todo el proceso para llegar a la Simulación Condicional Gaussiana, las diferentes gráficas muestran la variabilidad y/o complejidad del emplazamiento de los valores de Cobre según cada Dominio de Estimación de Recursos, se consideran los valores como tal con o sin valores anómalos; estos datos influyen en el resultado de posición y dispersión de la información que contempla la zona de estudio.

En el proceso de Análisis Exploratorio de Datos se ha indicado los valores altos y bajos de cobre según el dominio de estimación el cual influye en la estadística inicial representado en las gráficas por muestra o assay y regularizadas o composadas según la altura de los bancos de minado. En las gráficas de Box Plot han sido representados los estadígrafos de posición, así como la continuidad y presencia de valores anómalos en las gráficas de probabilidad acumulativa. La distribución de los datos plasmados en los histogramas denota asimetría hacia la derecha y sesgo positivo. Estos datos deben ser reorganizados para comenzar con la simulación condicional gaussiana.

Los datos por dominio son transformados al espacio gaussiano con media cero y varianza uno, la variable NSCORE servirá para la confección de los variogramas; los cuales han sido modelados con tres estructuras y validados. Esto ha permitido obtener los alcances y volúmenes de búsqueda para empezar en la plataforma de Summit DataMine el proceso de las veinte realizaciones por cada dominio de estimación. Dentro de este contexto se obtuvo el modelo de bloques con valores de cobre y la variable EType, que a su vez se comparó con el modelo de Estimación según un banco de referencia. En los casos mostrados se muestra la variabilidad de las leyes reales simuladas vs las estimadas.

Ahora la elección del mejor escenario dentro de las veinte realizaciones obtenidas al aplicar la Simulación Condicional Gaussiana, fue hecho con el criterio de comparar el histograma con data real y con peso vs los histogramas que tuviesen el mismo comportamiento en el valor de la media y distribución de los datos. La comparación realizada por cada dominio de estimación permitió representar y

comprobar las leyes reales en el caso del modelo simulado en conjunto con el modelo de bloques de Largo Plazo que se tiene actualmente; esta última muestra las leyes suavizadas o promediadas dentro de un solo escenario. Las gráficas que a la vez dan soporte a las realizaciones obtenidas denotan los valores donde fluctúan las medias de las leyes de cobre reproducidas, así como el grado de correspondencia de información según la población de datos a trabajar en las gráficas de Q-Q Plot. Por otro lado, de acuerdo a las leyes de corte se tiene cuantificado los recursos según tonelaje ley por cada dominio de estimación. Además, en las gráficas de Swath Plot cuyo objetivo es evaluar el comportamiento de los valores obtenidos en los tres ejes (norte, este y profundidad) así como deducir si se subestima o sobreestima los valores de cobre según el valor real de este analito.

De acuerdo a los cuadros presentados por cada dominio de estimación según los resultados obtenidos, las gráficas obtenidas denotan los recursos presentes según la ley de corte expresado en las gráficas de Curva Tonelaje Ley; evaluado por el método de Simulación Condicional. Así como la comparación de los histogramas con la data real. Este proceso se ha aplicado en el estudio según los antecedentes en un depósito exótico en el país del sur para el modelamiento de recursos. Al igual en la caracterización de recursos y control de leyes en Australia aplicando un conjunto de herramientas geoestadísticas evaluando criterios para obtener imágenes características del depósito como son los modelos o escenarios creados por el uso de la Simulación Condicional Gaussiana, esta técnica asume los datos tal cual se presentan en la naturaleza por ello el término condicional.

4.3. Proceso de prueba de hipótesis

Por medio de la Simulación Condicional Gaussiana se ha podido representar la variabilidad y naturaleza en sí de las leyes de cobre por cada dominio de estimación dentro de las veinte realizaciones obtenidas y escogiendo el mejor escenario al comparar el valor de la media de los histogramas de la data real y con peso vs el o los histogramas que tuviesen el comportamiento más cercano a lo real. Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se ha denotado que al tener un modelo obtenido con Estimación las leyes de cobre están suavizadas o promediadas pero al comparar con el modelo Simulado según la elección del mejor escenario

dentro de un banco representativo por cada dominio de estimación; se observa los verdaderos valores de cobre tal cual se presentan en la naturaleza y registrados en la Base de Datos de las Campañas de Perforación de la Mina Cuajone entre el periodo de 1942 al 2017.

La Simulación Condicional Gaussiana permitió representar la mineralización de la Mina Cuajone con valores anómalos o sin ellos por ello el término condicional, las gráficas estadísticas y multivariadas (Q-Q Plot, Curva Tonelaje Ley y Swath Plot) han permitido evaluar el comportamiento de la población de datos, el registro cuantificado de los recursos presentes en la zona de estudio según la ley de corte establecida, además de la distribución de los datos simulados en direcciones norte, este y profundidad.

Con esta técnica se pueden tener diversas realizaciones o escenarios dependiendo de la cantidad de datos a procesar según el software minero a utilizar. Cabe resaltar que los datos dependen de la conformación de los dominios de estimación, que para nuestro caso se basó en la fusión de unidades litológicas como también agrupadas por zonas de mineralización.

Finalmente, al tener diversas realizaciones o escenarios por medio de la Simulación Condicional Gaussiana; servirá para poder planificar el diseño y extracción de los recursos presentes en la Mina Cuajone, sin afectar su flujo de caja, como también evaluar zonas de riesgo e incertidumbre.

CONCLUSIONES

1. El análisis exploratorio de datos se realizó para cada Dominio de Estimación de Recursos de la Mina Cuajone, donde se muestra la variabilidad y complejidad de las muestras de Cobre que se han obtenido a lo largo del proceso de evaluación de la información propias de las Campañas de Perforación. Para el caso del dominio 401 al 403 la distribución de datos denota valores anómalos que influyen en los estadígrafos de posición, por otro lado, según la naturaleza del dominio 407 que representa a una brecha tiene altas concentraciones de Cobre; la mayor cantidad de datos se tienen en los dominios 404, 408, 409, 410 y 403 con leyes apreciables de Cobre según el reporte de compósitos, curva de probabilidad acumulada y Box Plot.
2. El aporte principal al aplicar la técnica de Simulación Condicional, ha permitido evaluar y reproducir la distribución de los datos originales para los dominios 400, 401, 405, 406, 407, 412; con un grado de variabilidad menor o aproximado a lo real. Para el caso de los dominios 402, 403, 404 y 408; se tiene variabilidad de resultados dentro de un rango de datos esperados. Los gráficos validadores muestran distribución y valores anómalos que distorsionan los datos. Estos datos existen y se asumen dentro de la Simulación Condicional por regla por ello el término “condicional”. Para el caso del dominio 409 y 410, como se mencionó se trabajó con la data original para evaluar en el proceso de Simulación Condicional, donde se obtuvo valores cercanos a la ley promedio original, la naturaleza de este dominio contiene valores apreciables de Cobre.
3. En cada Dominio de Recursos se obtuvo escenarios cercanos a la ley original, la distribución de datos con los histogramas presentados de todos los escenarios obtenidos lo respaldan, al igual las gráficas de Q-Q Plot y Swath Plot muestran correspondencia de los datos originales y simulados con su comportamiento propio de cada unidad de estudio. Las gráficas de Curva Tonelaje Ley igual denotan las cantidades de mineral según los cortes de ley respectivos.

RECOMENDACIONES

1. Se debe de determinar los dominios de estimación, como base fundamental para poder definir los escenarios de estudio, tomándose en cuenta que representan una unidad de minado, los límites y toda la información que abarca son clave para poder estimar los recursos de una mina en producción.
2. La Simulación Condicional representa la variabilidad y la complejidad de la mineralización de la zona de estudio, asume los valores como tal en la naturaleza donde se emplazó. Por tanto, los valores anómalos se consideran siempre y cuando se haya verificado que esos valores existen. Para ello, es fundamental en los procesos recientes contar con el área de control de calidad y evaluar los límites máximos permisibles, aplicar remuestreos si amerita el caso y si se da la recurrencia de valores fuera de lo normal. Puesto que estos datos influyen en el análisis exploratorio de datos y los siguientes procesos geoestadísticos de estimación y simulación condicional.
3. Dentro de los dominios de estimación de recursos; los dominios 409 (IA) y 410 (Waste), en estos dos últimos no se tuvieron buenos resultados al pretender obtener los escenarios de la Simulación Condicional, por ello conlleva a ser análisis más detallados para poder analizar por medio de la simulación condicional u otra herramienta Geoestadística el comportamiento de las muestras. Para el caso del dominio 409 por ejemplo se hizo un ejercicio aparte por medio de Kriging Ordinario y si se logran obtener resultados, pero no es el propósito de este proyecto de investigación.
4. Los resultados de todos los dominios presentados fueron obtenidos a topografía completa, por lo cual se recomienda realizar filtros por topografía y considerar las muestras presenten a la fecha. La Mina Cuajone cuenta con información desde el año 1942 al presente, muchas de las muestras ya han sido minadas y según estudios internos del área de Geología ya no se tiene la suficiente cantidad de muestras para dar soporte a los modelos de estimación. Por ello el principal propósito de las campañas de perforación es obtener información en zona de interés y según los planes de minado de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho, R. &. (2000). Simulación Condicional Aplicado a la Clasificación de Recursos Mineros. *Infomina 2000*, 2-4.
- Castaño Agudelo, A. F., & Vergara Elorza, F. (2004). Simulación Geoestadística aplicado al Modelamiento de Yacimiento de Petróleo, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Medellín, Colombia.
- Cleveland, W. (1994). *The Element de Graphing Data*. Hobart Press ISBN 0-9634884-1-4.
- CODELCO Gerencia de Recursos Humanos. (2016). *Metodología de Clasificación de Recursos y Reservas*. Chile.
- Cortés, A. (2015). Conceptos Relevantes. *Simulación Condicional BSGrupo Diap*. 3-4. Lima, Lima, Perú: Artículo.
- Cuajone, M. (2017). *Informe de Recursos a Julio 2017*. Moquegua.
- DataMine. (s.f.). *Simulación Condicional para la Modelización de Recursos Minerales*. Lima.
- Deraisme, J. (2001). *Geostatistical Interpolation of Rainfall in Mountainous Areas*. Argonne: L'Université Louise Pasteure - France.
- Elissethe Correa, P. N., & Emery, X. (Setiembre de 2010). Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Exótico. Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Emery, X. (2007). *Apuntes de Geostadística*. Santiago: Universidad de Chile.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford: Oxford University Press on Demand.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1988). *Manual de Evaluación Técnico-Económica de Proyectos Mineros de Inversión*. España: Publicación.
- Khosrowshahi, S., & Shaw, W. (2001). Conditional Simulation for Resource Characterisation and Grade Control - Principles and Practice. *Mineral*

Resource and Ore Reserve Estimation - The AusIMM Guide to Good Practice. Victoria, Victoria, Australia.

Marín Suárez, A., & Mendoza Ayala, I. (2012). La Geoestadística en América una aplicación reciente del Centro Estadístico Peruano SIPLAMIN 2012. *Simulación Condicional Proyecto Minero El Porvenir - Milpo.* Lima, Lima, Perú.

Modelamiento, D. G. (2012). *Informe Anual de Recursos Mina Cuajone.* Moquegua.

Olea, P., & Journel, Huijbregts. (1996). *Application of Geoestatistical Simulation in the Characterization of Complex Structures.* Athens: National Technical University of Athens.

Osorio, J. (2015). *Comparación entre métodos de estimación de recursos mineros empleando Métodos Tradicionales y Geoestadísticos en la Planeación Minera de Placeres.* Bogota: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas Medellín.

Retto Magallanes, O., & Saenz Rivera, F. (Mayo de 2013). Espaciamiento Óptimo de Taladros aplicando Simulación Condicional Mina Tantahuatay. Lima, Lima, Perú.

Santiago, U. d. (Setiembre de 2017). Desagrupamiento de Datos. *Evaluación de Yacimientos*, 5. Santiago, Chile.

Soriano Medina, E. (Julio de 2018). Simulación Condicional. *Método Simulación Multigaussiano.* Publicaciones Advertissments.

Universidad Nacional Autónoma de México. (2013). *Evaluación de Yacimientos Minerales.* México.

Vulcan, M. . (2018). Kriging Neighbourhood Analysis. *Nuevos productos.* Chile.

ANEXOS

Figura 121. Autor del Proyecto Walter Nelson Cahuana Ochoa

Vista Panorámica de la Mina Cuajone Southern Perú Copper Corporation

Fuente: Foto propia del autor

Histogramas de las veinte realizaciones por cada Dominio de Estimación

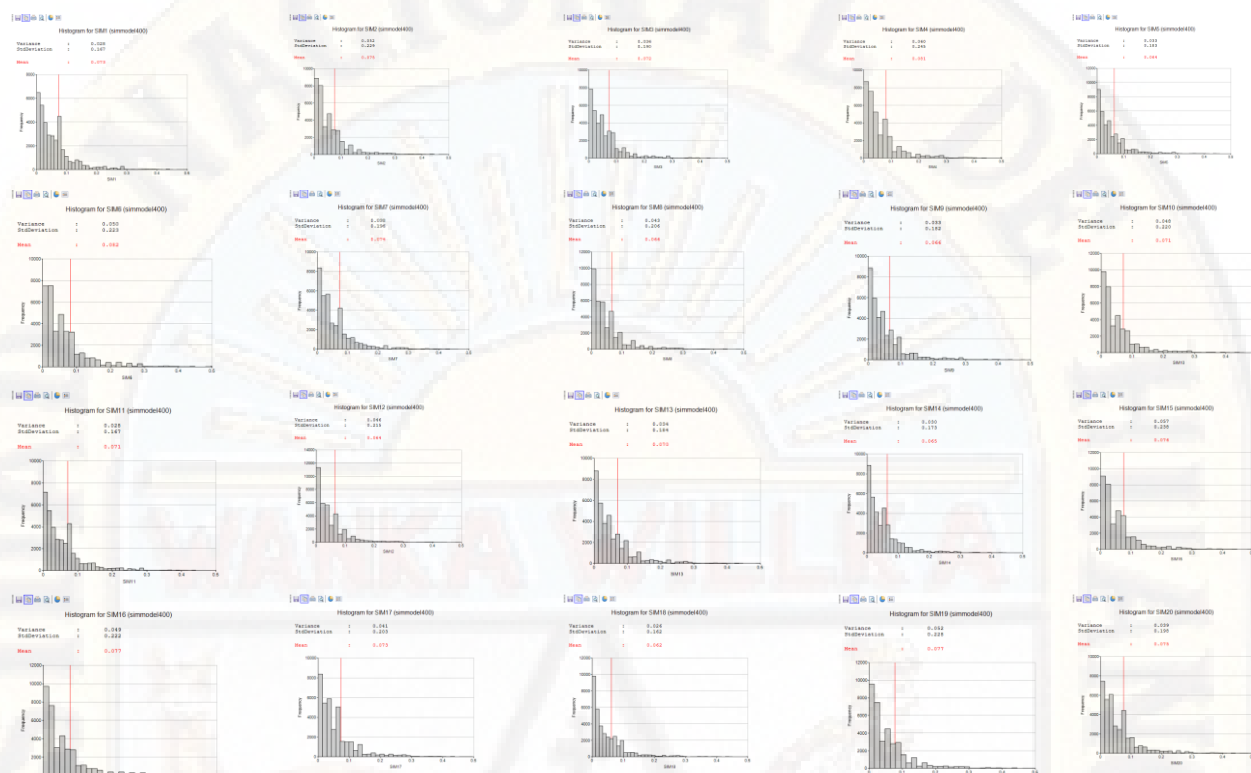


Figura 122. Histogramas del Dominio 400

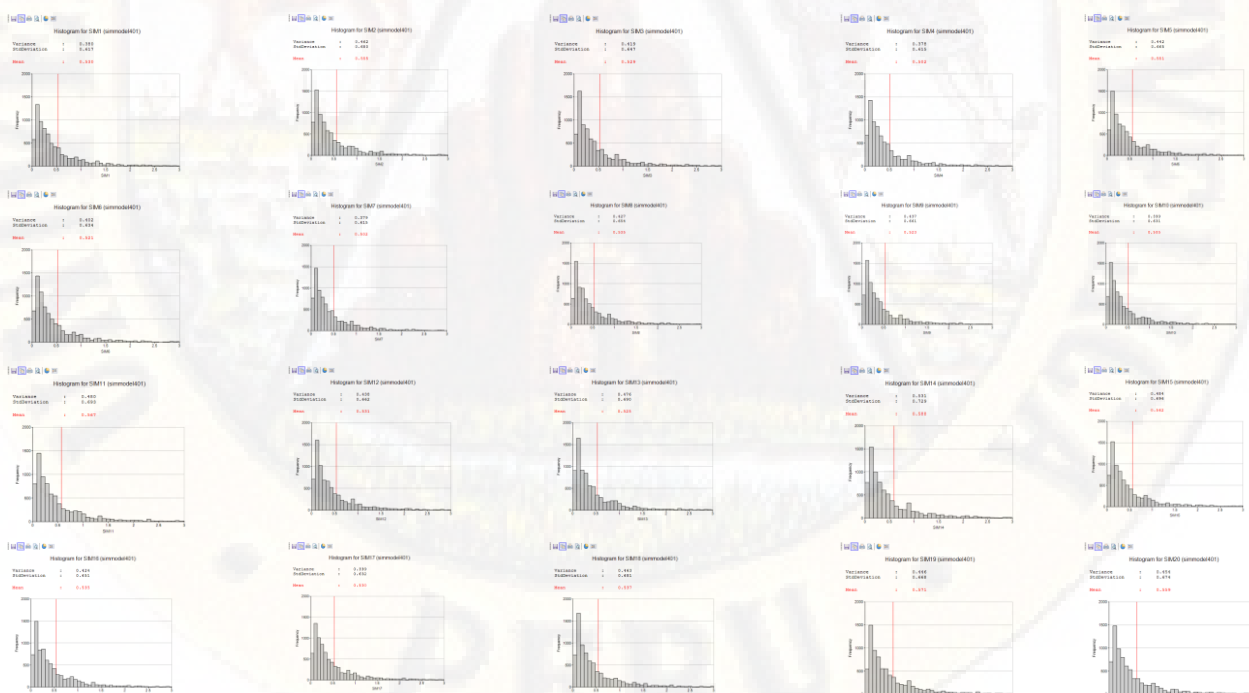


Figura 123. Histogramas del Dominio 401

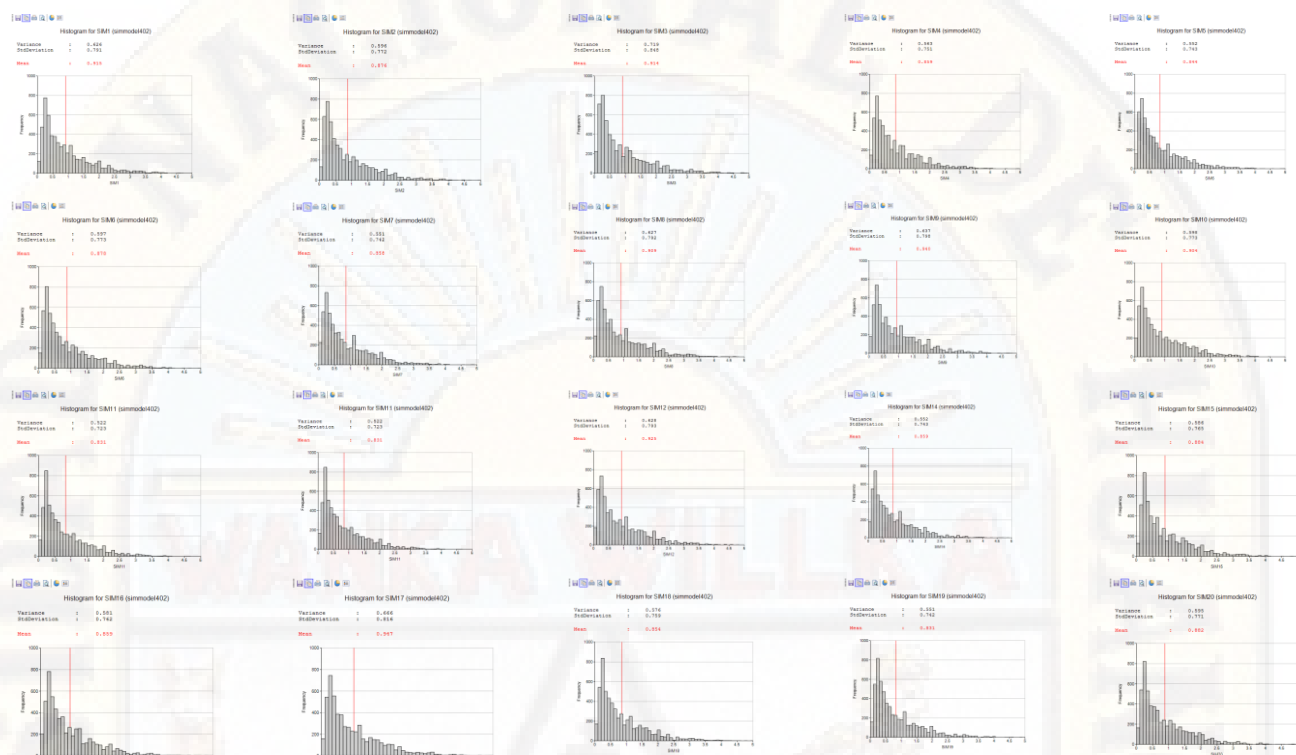


Figura 124. Histogramas del Dominio 402

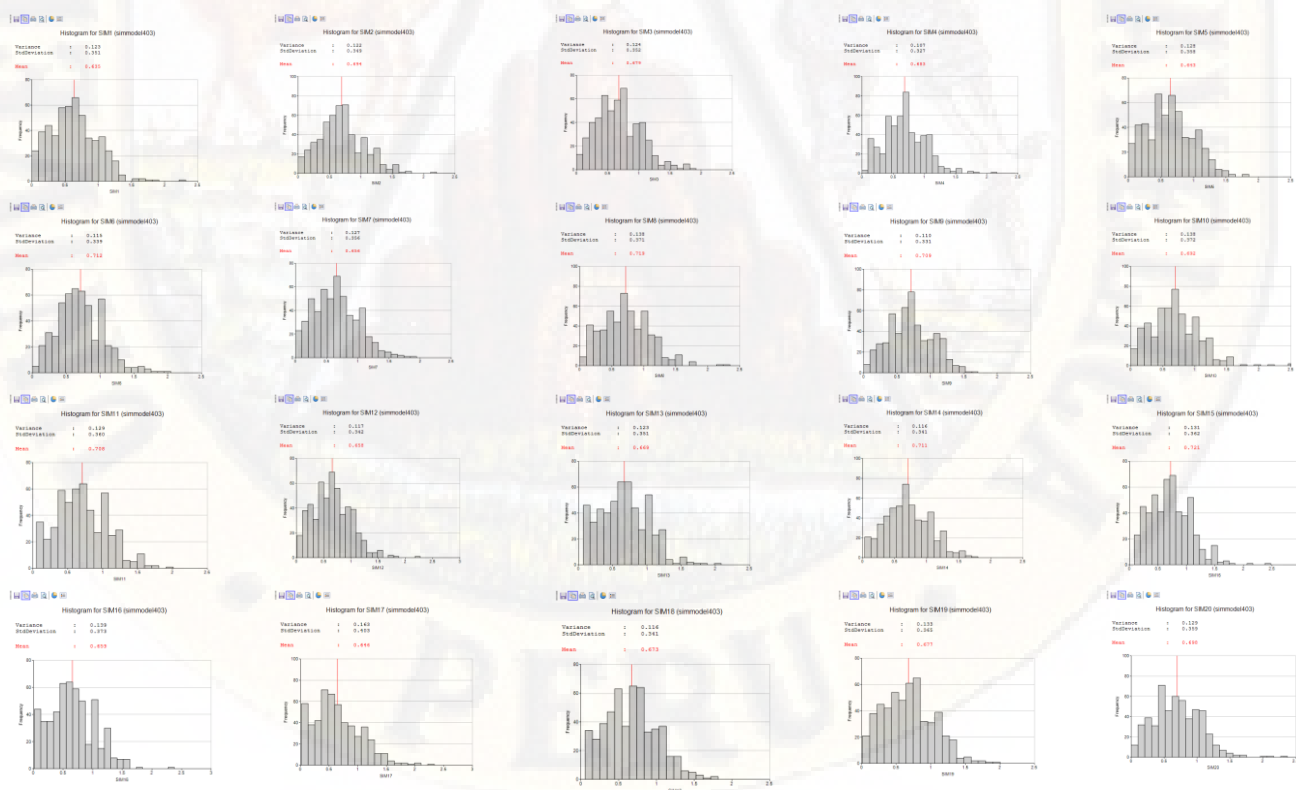


Figura 125. Histogramas del Dominio 403

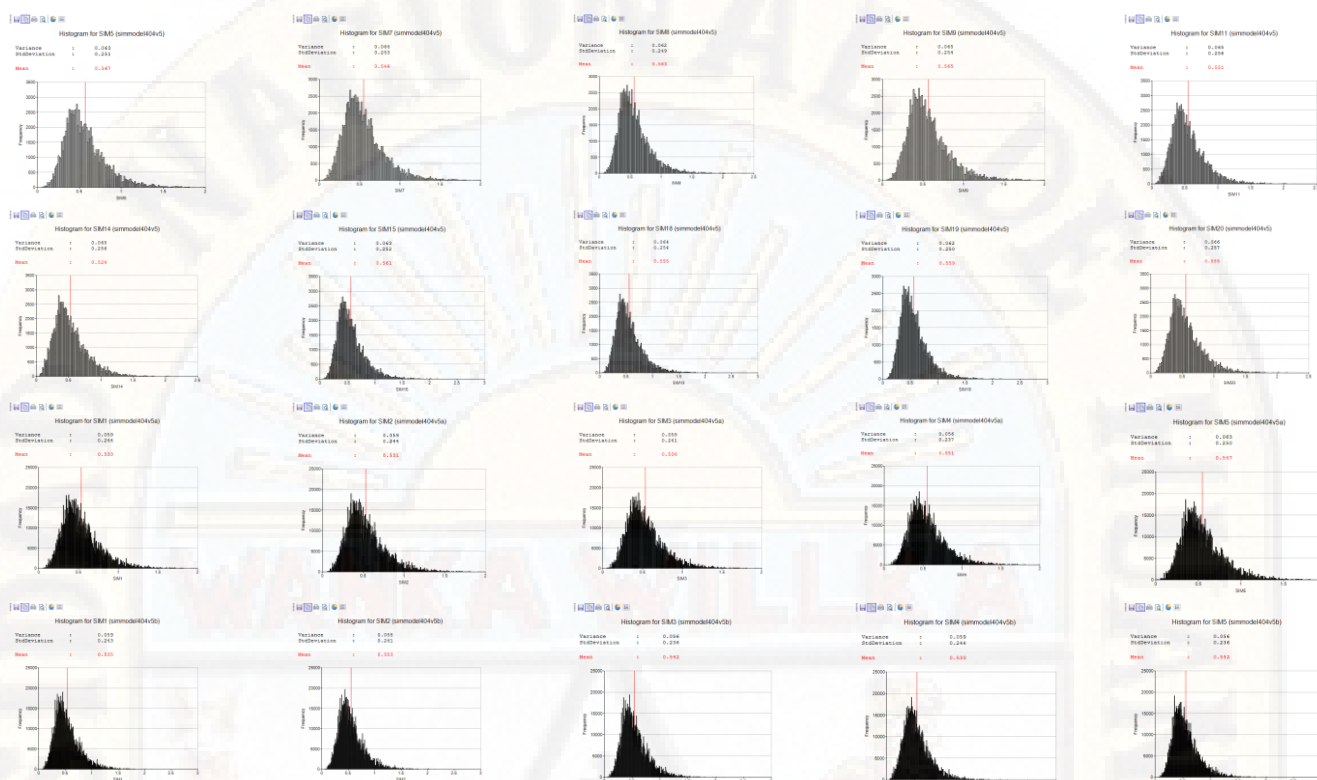


Figura 126. Histogramas del Dominio 404

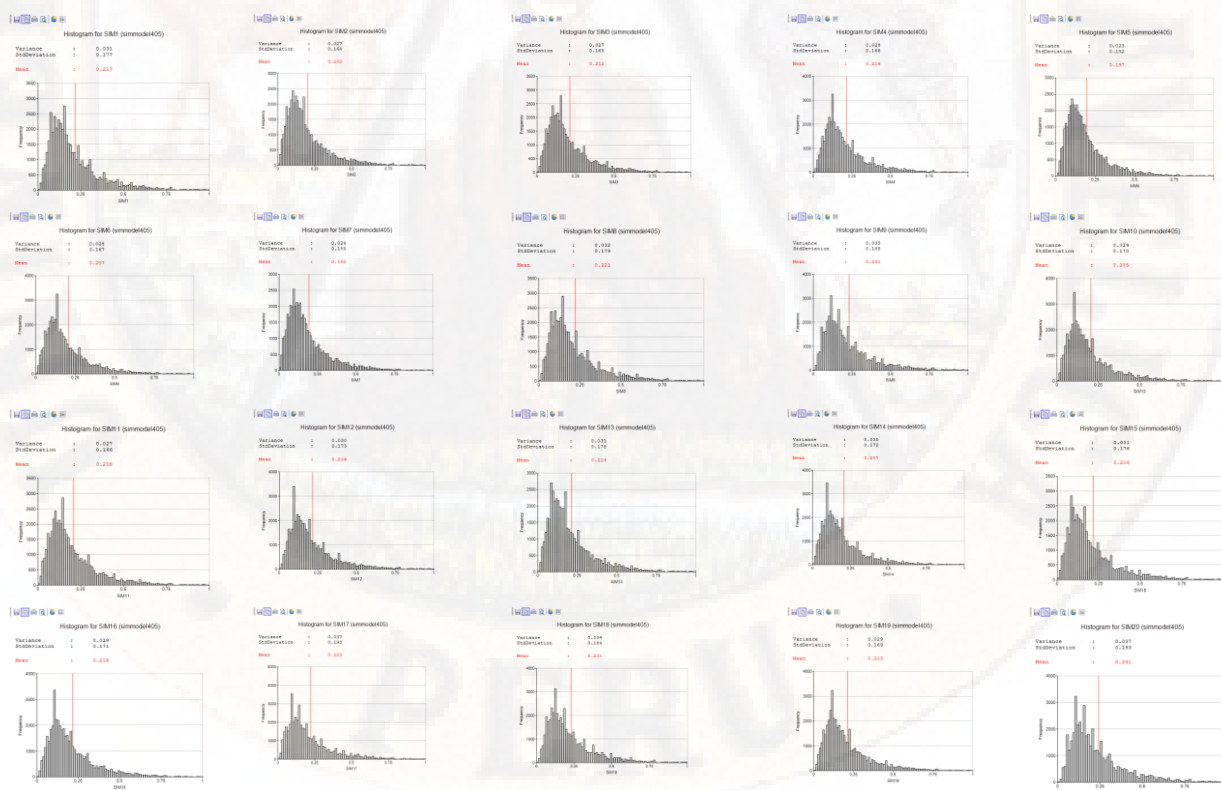


Figura 127. Histogramas del Dominio 405

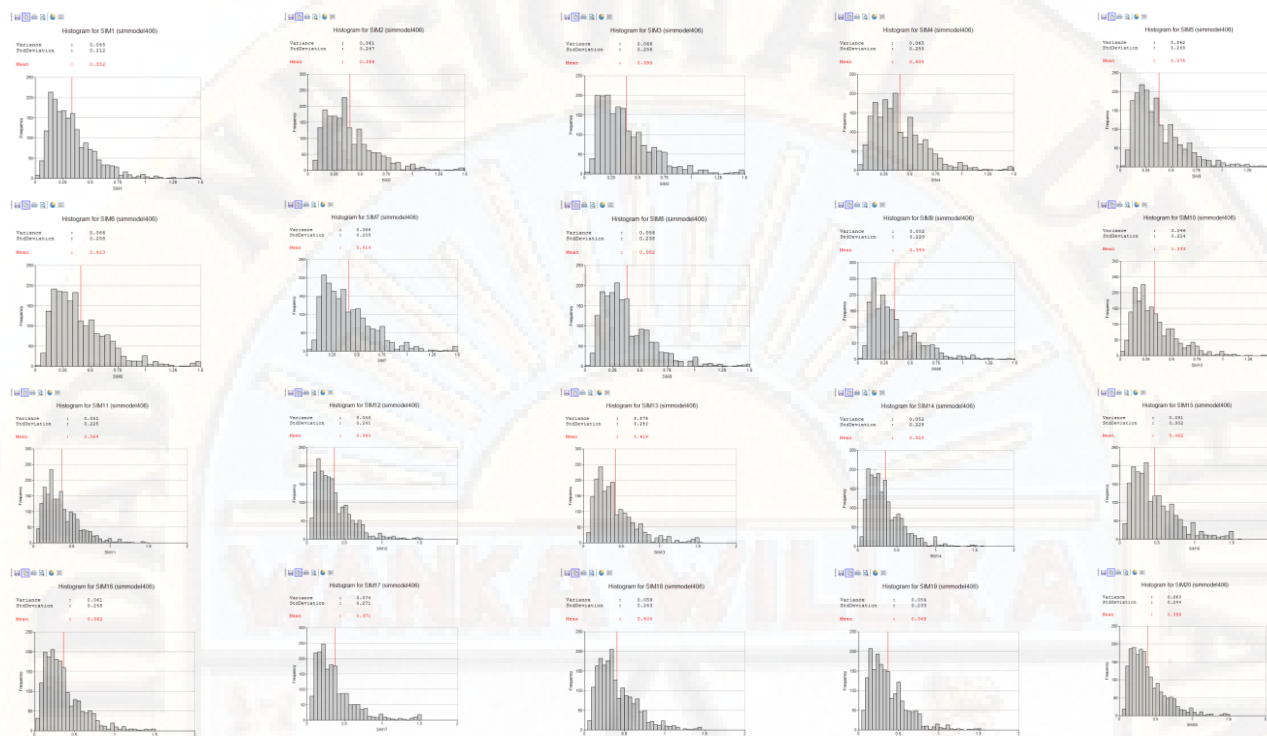


Figura 128. Histogramas del Dominio 406

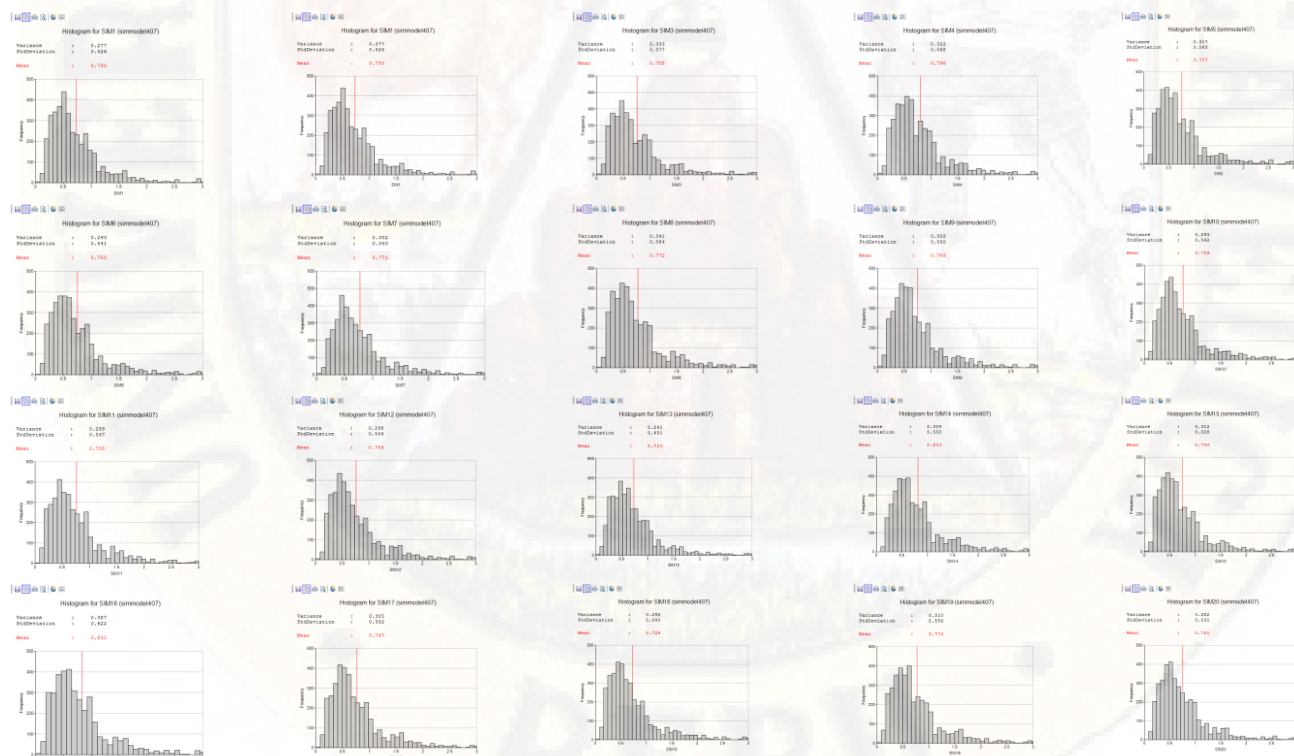


Figura 129. Histogramas del Dominio 407

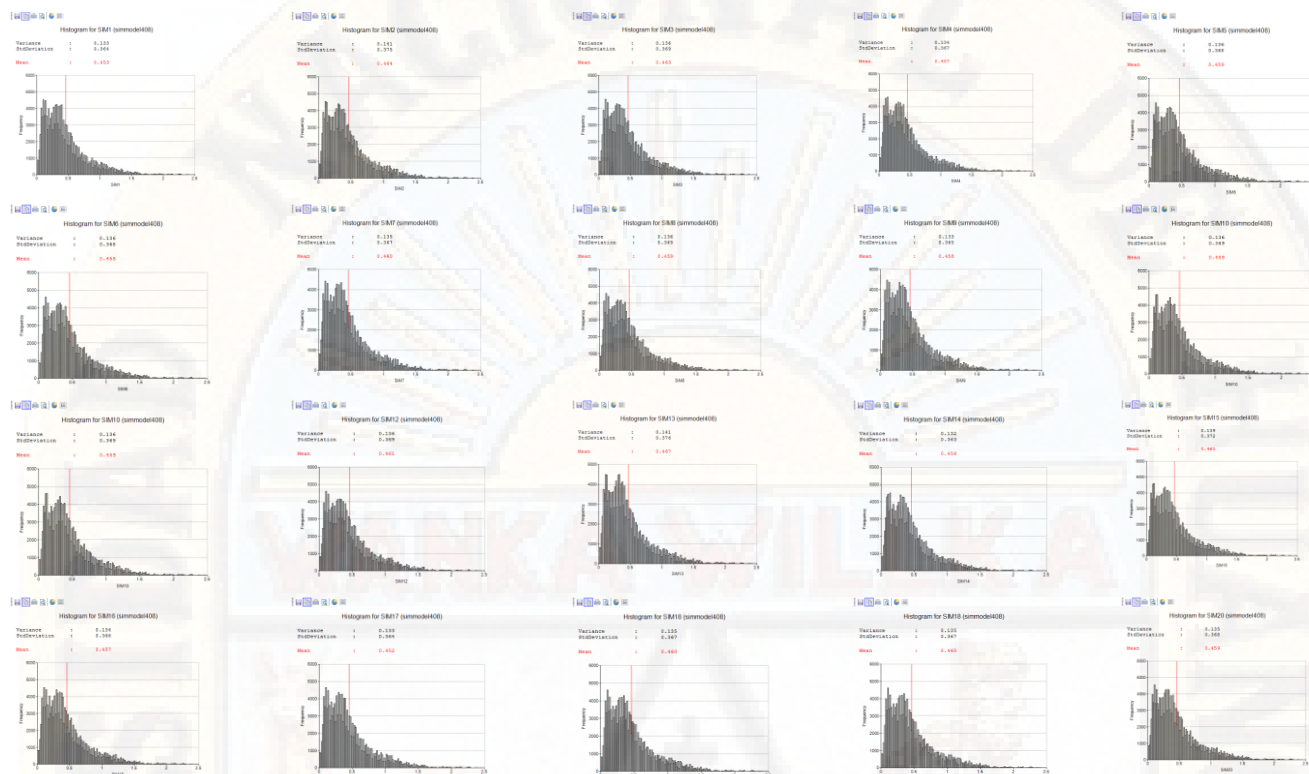


Figura 130. Histogramas del Dominio 408

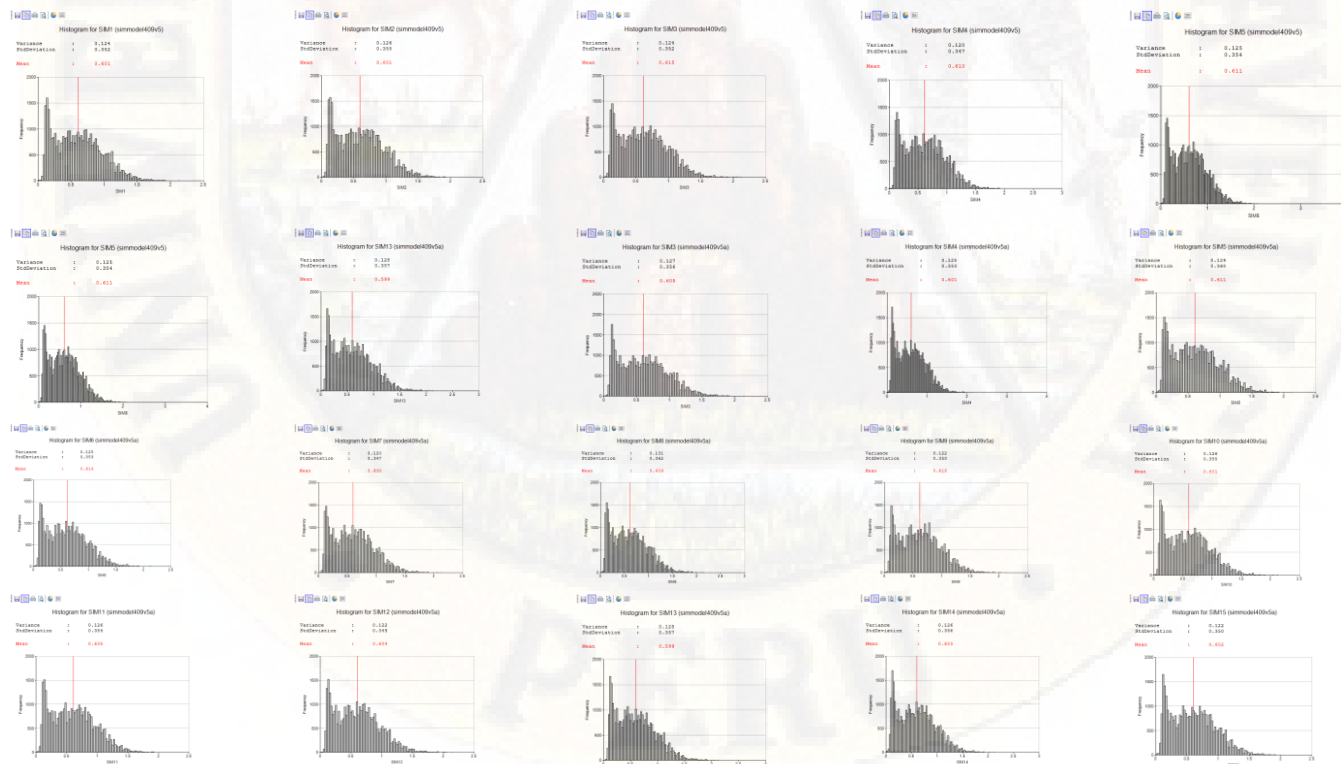


Figura 131. Histogramas del Dominio 409



Figura 132. Histogramas del Dominio 410

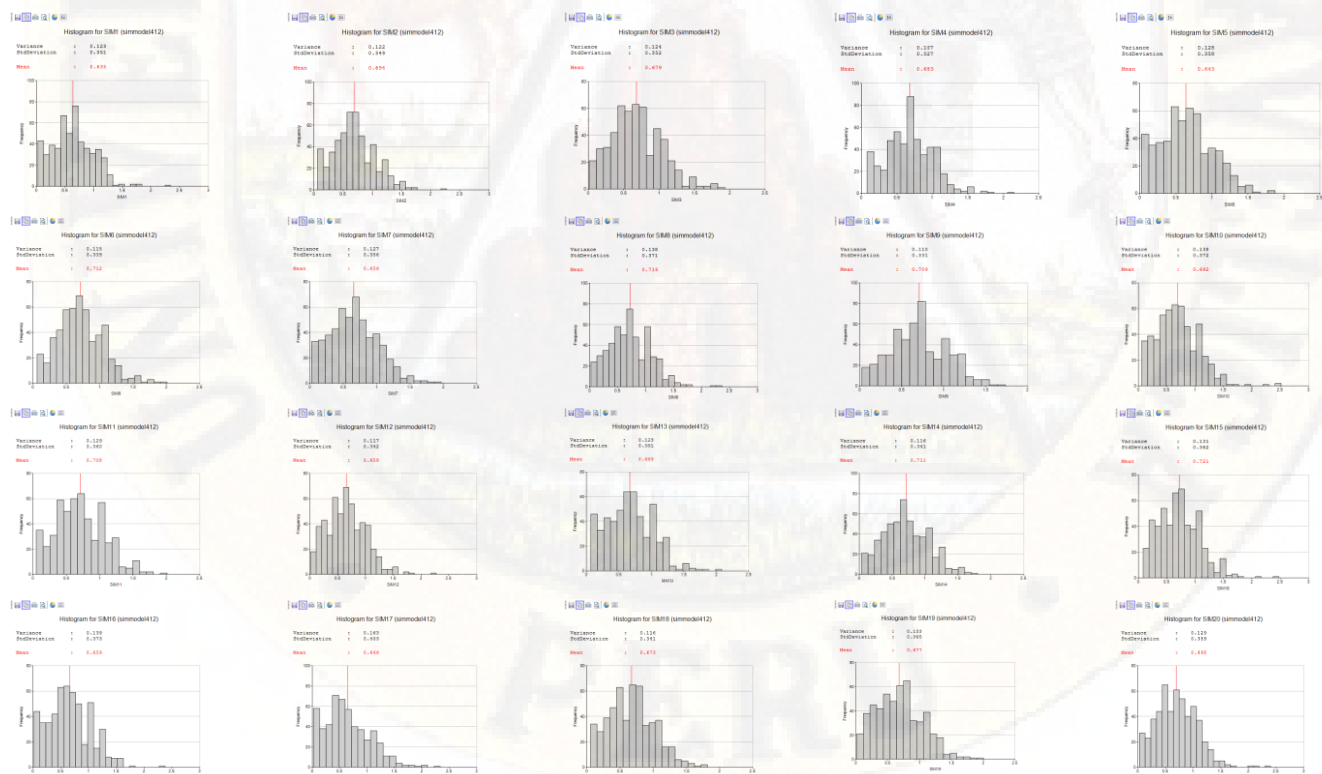


Figura 133. Histogramas del Dominio 412

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN CONDICIONAL A LOS DOMINIOS DE ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE LA MINA CUAJONE”				
AUTOR: Walter Nelson Cahuana Ochoa				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema Principal ¿Cómo aporta la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana comparada con la técnica actual utilizada en Mina Cuajone denominada Estimación y los datos reales, para la evaluación de los dominios de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre? Problemas Específicos Problema 1 ¿Cómo se han presentado los resultados de leyes de cobre de los doce dominios de recursos en base al análisis exploratorio de datos (EDA) provenientes de las Campañas de Perforación? Problema 2 ¿Cuál ha sido el procedimiento a seguir para aplicar la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana? Problema 3 ¿Cuál fue el criterio para elegir el escenario y/o realización al aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al comparar con la técnica de Estimación y la data real por cada dominio de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre?	Objetivo General Determinar la manera de cómo aporta la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al compararla con la técnica actual utilizada en Mina Cuajone denominada Estimación y los datos reales, para la evaluación de los dominios de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre. Objetivos Específicos Objetivo 1: Realizar el análisis exploratorio de datos (EDA) de los doce dominios de estimación basados en los resultados de Cobre de las Campañas de Perforación. Objetivo 2: Desarrollar el procedimiento a seguir para aplicar la técnica Geoestadística de Simulación Condicional Gaussiana. Objetivo 3: Elegir el mejor escenario y/o realización al aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana al comparar con la técnica de Estimación y la data real por cada dominio de recursos según las concentraciones de leyes de Cobre.	El proyecto de investigación es de naturaleza descriptiva. La técnica Geoestadística denominada Simulación Condicional Gaussiana, permite reflejar la naturaleza de la mineralización al representar la proporción de las leyes altas y bajas de los doce dominios de estimación de la Mina Cuajone por ello el término condicional; obteniéndose diversas realizaciones o escenarios representados por modelo de bloques con valores de cobre más cercanos a la realidad. Caso contrario se tiene en la metodología actual como es la Estimación que sólo representa la mineralización de Cuajone en un sólo escenario, donde las leyes están suavizadas o promediadas no permitiendo evaluar la complejidad de las leyes como se presentan en la naturaleza.	Simulación Condicional Gaussiana: Aplicado a los dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone Indicadores: a) Análisis Exploratorio de Datos Assay y Compósitos por dominio Geoestadísticos: agrupación de unidades litológicas con Zonas de Mineralización (400,401,402,403,404,405,406,407,408,409,410 y 412) b) Proceso de Simulación Condicional Gaussiana, hace honor a los datos reales de la mineralización, datos transformados al espacio original y variografía para obtener los alcances por dominio, así como las realizaciones y/o escenarios por ley de Cobre. c) Validación de Histogramas, Curva Tonelaje Ley y Swath Plot, representación de los veinte escenarios por cada dominio de estimación. La medición será al comparar la media regularizada y con peso de la data real vs la media del escenario (s) de la Simulación Condicional Gaussiana.	1.Tipo y Diseño de Investigación Observacional Retrospectivo Longitudinal Descriptivo 2.Nivel de Investigación Descriptivo 3.Método de Investigación Hace referencia al método científico descriptivo, el cual tiene como preocupación dar a conocer las características fundamentales de fenómenos homogéneos; aplicando criterios sistemáticos para analizar el comportamiento mineralógico de los dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone como objeto de estudio del presente trabajo de investigación por medio de la Simulación Condicional Gaussiana. 4.Población Conjunto de resultados químico analíticos aplicado a las Campañas de Perforación de la Mina Cuajone. 5. Muestra Las leyes de cobre que están comprendidas dentro de los dominios de estimación. 6.Muestreo No Probabilístico intencional aplicado a todas las muestras de la población. 7.Técnicas Observación y cotejo 8.Instrumentos Libreta de apuntes

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a) Libreta de apuntes

BASE DE DATOS

Conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto (geológico), propio de las Campañas de Perforación (Códigos de Roca, Alteración y Mineralización) así como resultados de analitos o leyes, en este caso el Cobre.

Tabla 19. Campañas de Perforación Mina Cuajone 1942 al 2017 con Análisis de Cobre

#	Campaña de Perforación	# Taladros
1	1942-1945	40
2	1952-1954	88
3	1965-1970	122
4	1982-1988	119
5	1991-1994	11
6	1994-1997	248
7	1998-1999	51
8	2000-2001	89
9	2004-2006	71
10	2007-2011	100
11	2011-2013	127
12	2012	8
13	2013	13
14	2014	20
15	2015	11
16	2016	12
17	2017	22
		1,152

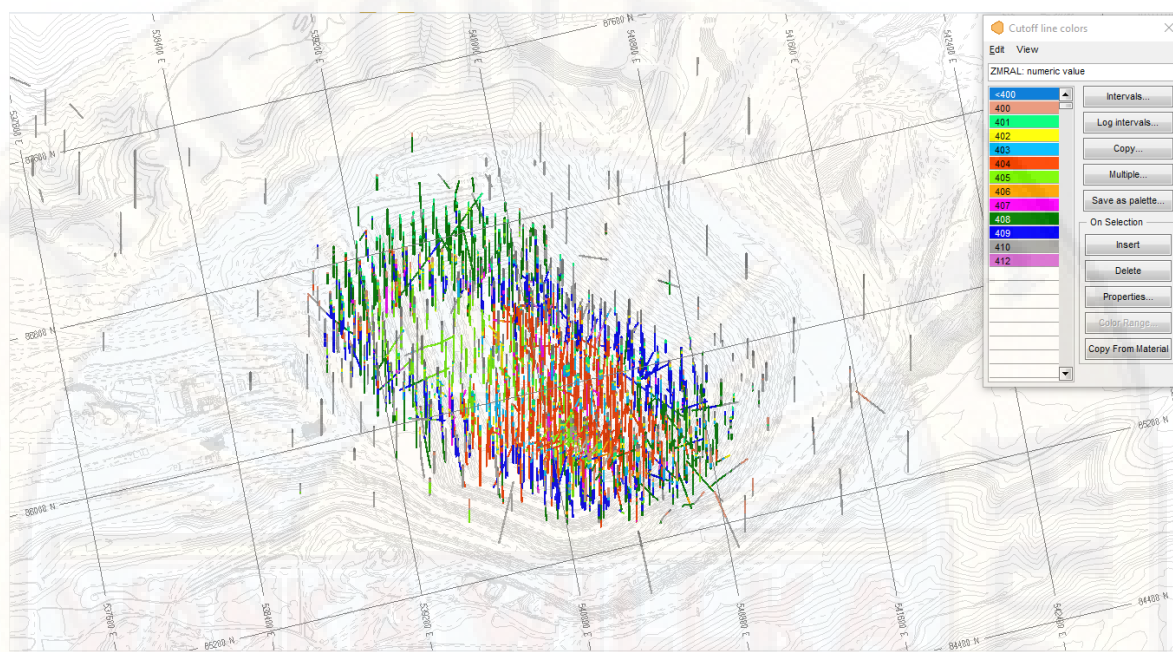


Figura 134. Vista Tridimensional de los taladros que conforman la Base de Datos – Campaña de Perforación Mina Cuajone

ARTICULO CIENTÍFICO

APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN CONDICIONAL A LOS DOMINIOS DE ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE LA MINA CUAJONE

1. Resumen

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad aplicar la técnica de Simulación Condicional Gaussiana a los doce dominios de estimación de recursos de la Mina Cuajone. Para ello se definió la zona de estudio a topografía original del yacimiento, se comenzó con un análisis exploratorio de datos respecto a las campañas de perforación entre 1942 al 2017, regularizando las muestras a quince metros según la unidad de producción los cuales son los bancos de minado. Los datos son transformados espacio Gaussiano, se elaboran los variogramas con tres estructuras determinando los parámetros de estudio. Estos datos son validados por dominio para proceder a utilizar el proceso de Simulación Condicional para veinte escenarios como una etapa de reconocimiento. Durante el proceso de evaluación se selecciona los escenarios más cercanos a la realidad por ello el término condicional al asumir los datos según se presentan en la naturaleza, al comparar los histogramas con data original. El proceso de Simulación Condicional Gaussiana ha permitido reproducir la distribución de los datos originales para los dominios 400, 401, 405, 406, 407, 412; con un grado de variabilidad menor o aproximado a lo real. Para el caso de los dominios 402, 403, 404 y 408; se tiene variabilidad de resultados de acuerdo a un rango de valores según los resultados de los gráficos validadores. Es importante definir los dominios de estimación para aplicar técnicas geoestadísticas para un yacimiento en producción como por ejemplo Mina Cuajone.

Palabras clave: Simulación Condicional Gaussiana, dominio de estimación, escenarios de evaluación.

2. Abstract

The purpose of this research work is to apply the Gaussian Conditional Simulation technique to the twelve resource estimation domains of the Cuajone Mine. To this end, the study area was defined to the original topography of the deposit, an exploratory data analysis was started with respect to the drilling campaigns from 1942 to 2017, regularizing the samples to fifteen meters according to the production unit, which are the mined. The data are transformed Gaussian space, the variograms are elaborated with three structures determining the study parameters. This data is validated by domain to proceed to use the Conditional Simulation process for twenty scenarios as a recognition stage. During the evaluation process, the scenarios closest to reality are selected, therefore the conditional term when assuming the data as they occur in nature, when comparing the histograms with original data. The Gaussian Conditional Simulation process has allowed reproducing the distribution of the original data for domains 400, 401, 405, 406, 407, 412; with a degree of variability less or closer to the real. In the case of domains 402, 403, 404 and 408; you have variability of results according to a range of values according to the results of the validating graphs. It is important to define the estimation domains to apply geostatistical techniques for a production site such as Cuajone Mine.

Keywords: Conditional Gaussian Simulation, domain of estimation, evaluation scenarios.

3. Introducción

El método de Simulación Condicional Gaussiana permite representar la variabilidad de la mineralización de los dominios de estimación de recursos. Siendo una herramienta de la Geostatística Avanzada, la cual brinda mayor soporte y es más cercano a la naturaleza de las muestras de la zona de estudio, por medio de la evaluación de escenarios junto con gráficos validadores para disminuir la incertidumbre.

Para ello se ha desarrollado técnicas de Simulación Geoestadística Gaussiana que busca recrear escenarios realistas que reproducen la variabilidad espacial de los atributos de interés aplicado a los resultados de Cobre, rubro principal de la Mina Cuajone. La principal diferencia entre los métodos de estimación (Kriging) y de la Simulación radica en que los primeros pretenden encontrar el valor más cercano al valor real en cada localización mientras que los segundos intentan reproducir la variabilidad espacial de los valores desconocidos, de manera de cuantificar la incertidumbre asociada a estos valores (Goovaerts, 1997).

Elissethe Correa & Emery. Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Tipo Exótico. (Tesis PreGrado) Santiago, Universidad de Chile; 2010 en el que concluyeron en su estudio: “la principal ventaja de las simulaciones condicionales es obtener escenarios como sea necesario, los que reproducen la variabilidad del yacimiento. No obstante, se debe tener precaución con las zonas minerales que posean pocos datos condicionantes, pues la simulación se apoya en la media global de los datos para completar la carencia de información”

Marín Suárez & Mendoza Ayala. La Geoestadística en América con una aplicación reciente del Centro Geoestadístico Peruano. (Trabajo de Investigación) Lima, Universidad Nacional de Ingeniería; 2012 cuyas aplicaciones de las técnicas geoestadísticas determinan que “la técnica de Simulación Condicional permite estimar las leyes de mineral, categorizar recursos mineros, cuantificar la ley de mineral a la entrada de la planta de tratamiento, así como al estudio de riesgo económico de los proyectos mineros, cuantificando la variabilidad de las curva tonelaje – ley de corte.

Las simulaciones condicionales son una herramienta eficaz para cuantificar riesgos. Por ejemplo, se puede ver cuál es el escenario simulado más favorable o el peor para tener una idea de la incertidumbre existente en la cantidad total de recursos. También se puede usar los modelos simulados para definir la cantidad de reservas, para la planificación minera y el control de las leyes (Deraisme, 2001).

Debido a las limitaciones de estimadores geoestadísticos (Kriging), la simulación condicional aparece como una metodología alterna para cuantificar la incertidumbre asociada al desconocimiento de los valores de interés. La simulación es un modelo numérico que busca reproducir la variabilidad real de la variable en estudio mediante la construcción de varias realizaciones que representan escenarios posibles. (Emery, 2007)

Al mismo tiempo dentro de las fuentes de incertidumbre, es la de tipo geológico la que representa un mayor efecto sobre el valor mismo del proyecto, ya que de ésta proviene el estudio sobre los tonelajes y leyes de mineral a considerar en los distintos sectores de la mina. Esta incertidumbre juega un rol importante en el contexto de la planificación minera tanto en minas subterráneas como de cielo abierto.

Los dominios de estimación están en base a la combinación de las unidades litológicas propias de Cuajone con las Zonas Mineralógicas obteniendo once de ellas, para el presente estudios y como prueba de análisis se decidió incluir una zona adicional conformado los doce dominios de estimación. Este proceso se aplica para la estimación de Cobre de las Campañas de Perforación entre 1942 al 2017.

4. Materiales y Metodología de Investigación

4.1. Materiales

- a. Computador/Laptop
- b. Aplicativos mineros MinePlan, DataMine o Isatis
- c. Trabajos relacionados a la Tesis, donde han sido desarrollados esta técnica de estimación.
- d. Gastos propios

4.2. Tipo de Investigación

- a. Según la intervención:
Observacional: Porque no se manipulará ninguna variable.
- b. Según la Planificación de la toma de datos:
Retrospectivo: Se acudirá a fuente de la Base de Datos de la Mina de Cuajone.
- c. Según el número de mediciones de la variable de estudio
Longitudinal: Se harán varias pruebas con diferentes leyes de corte.
- d. Según el número de variables de interés
Descriptivo: Se hará el Estudio de Análisis de Datos a través del Método de Simulación Condicional Gaussiana para representar la naturaleza de la Mina Cuajone, conlleva a la vez seguir un procedimiento de tratamiento de datos por dominios geoestadísticos, tamaño de compósitos o leyes representativas y desagrupamiento de datos.

4.3. Nivel de Investigación

Descriptivo, porque tiene una sola variable.

4.4. Método de Investigación

Se hace referencia al método científico descriptivo, el cual tiene como preocupación primordial dar a conocer las características fundamentales de fenómenos homogéneos; aplicando criterios sistemáticos para analizar el comportamiento mineralógico de los dominios de estimación de recursos de

la Mina Cuajone como objeto de estudio del presente trabajo de investigación por medio de la Simulación Condicional Gaussiana.

4.5.Diseño de Investigación

El diseño del proyecto tiene las siguientes características:

1. Observacional: De acuerdo a los resultados de la simulación condicional.
2. Retrospectivo: En función a la base de datos de la Mina Cuajone.
3. Longitudinal: realizar varias pruebas y/o ensayos según leyes de corte.
4. Descriptivo: Representar y analizar las leyes según como se presenten en la naturaleza considerando los valores como tal para comprender la variabilidad de la mineralización de la zona de estudios determinado por la Simulación Condicional Gaussiana.

Población, Muestra y Muestreo

Población : Conjunto de resultados producto del análisis químico aplicado a las campañas de perforación en la Mina Cuajone.

Muestra : Las leyes de cobre que están comprendidas dentro de los dominios de estimación.

Muestreo : No Probabilístico, para la evaluación de los escenarios mediante el Método de Simulación Condicional Gaussiana todas las muestras se adecuan y se utilizan todas las muestras en forma intencional para representar la naturaleza de la mineralización de Cuajone.

4.6.Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas

- a. Observación y cotejo: Interpretación de datos y pronósticos de la continuidad de mineralización a través de la técnica de Simulación Condicional.

Instrumentos

Libreta de apuntes, seguimiento de los resultados obtenidos en todo el proceso, las gráficas son interpretadas por cada dominio de estudio.

4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se presenta a continuación las diferentes actividades propuestas como método para alcanzar los objetivos propuestos:

4.7.1. Técnicas de procesamiento

- a. Los datos de las leyes de Cobre para los doce dominios de estimación de recursos (400 al 412) comprendidos dentro de la Base de Datos de las campañas de perforación abarcan desde 1942 al 2017. Estos datos son ingresados y tratados en los softwares mineros MinePlan y DataMine (programas de planificación minera), como primer paso se realizó el Análisis Estadístico de Datos (EDA) a través del reporte general de los estadígrafos de posición y dispersión de las muestras iniciales y luego de las muestras promediadas o compósitos. Los datos estadísticos se han representado en las gráficas de Box Plot (media, mediana, cuartiles) por cada dominio. Así como también ha denotado la presencia de valores anómalos o discontinuos mínimos y máximos en cada dominio. Luego se procede a determinar los histogramas por assay y compósitos, utilizando la data de las leyes de cobre; los histogramas de compósitos serán referentes para seleccionar las mejores realizaciones y/o escenarios de los modelos obtenidos en la Simulación Condicional Gaussiana.
- b. Los histogramas de los compósitos de los dominios de estimación son transformados al espacio Gaussiano con media cero y varianza uno para comenzar con el análisis variográfico. Previamente en el caso de la zona de estudio el desagrupamiento de datos se asume la distribución de los taladros dentro de una malla de perforación de 60 x 60 metros. La variable que se obtiene NSCore se utilizará para realizar y modelar los variogramas por dominio con tres estructuras para conformar el modelo esférico. De esta forma se obtiene los alcances y parámetros para comenzar a realizar la Simulación Condicional Gaussiana para obtener veinte realizaciones o escenarios. Estos variogramas a la vez son validados en DataMine obteniendo el coeficiente de correlación, con estos

pasos se ingresará los datos en la aplicación Summit de este software en mención para comenzar con el proceso de Simulación Condicional.

- c. La aplicación de Summit requiere de los datos de Cobre por cada dominio, parámetros de búsqueda y ángulos de rotación que se obtienen de los variogramas modelado, así como el mínimo y máximo muestras para poder obtener las realizaciones y/o escenarios; en nuestro caso se trabajará con veinte realizaciones para poder evaluarlas y determinar aquellas que son más cercanas a la realidad. Esta aplicación a la vez de manera automática genera gráficos estadísticos, Q-Q Plot para ver la correspondencia de datos simulados y reales, los recursos según la ley de corte y el comportamiento de las leyes a distintas distancias en los eje X, Y y Z. para poder comparar los resultados se toma una vista en planta del modelo de bloques determinado por el modelo de Estimación (modelo actual de Cuajone) vs el modelo de Simulación más cercano a la realidad para proceder con la interpretación y evaluación de escenarios y/o realizaciones por dominio de estimación.

4.7.2. Análisis de datos

- a. El Análisis Exploratorio de Datos (EDA) ha permitido explorar la distribución y naturaleza de los datos por cada dominio de estimación tanto en Assay como en Compósitos, representados a la vez en las gráficas de Box Plot y Probabilidad Acumulada. Con esta información se procedió a determinar los histogramas de la data real, las cuales permitirá evaluar las mejores realizaciones y/o modelos según el valor de la media y la distribución de los datos. Por otro lado, la aplicación Summit del software DataMine genera la variable EType; la cual representa la ley promedio bloque a bloque, la cual se considera con un validador para determinar la mejor realización de la distribución de la data real según el dominio de estudio.
- b. Se obtuvo veinte realizaciones en base a las leyes de Cobre por cada dominio de recursos, se elige modelos en secciones en planta representativos por los bancos de minado y se comparó con la distribución

de los bloques que se obtuvieron con el método de Estimación por cada dominio de estimación, los bloques se observan según rangos de leyes, así como la distribución de la verdadera distribución de los datos según como se presenten en la naturaleza.

- c. La interpretación abarca las gráficas de Q-Q Plot y Swath Plot así como las Curvas de Tonelaje Ley por cada dominio y se detallará los hallazgos por dominio según el desarrollo del trabajo de investigación.

4.8.Descripción de la prueba de hipótesis

Para poder representar los valores reales de las muestras se debe realizar el Análisis Exploratorio de Datos de los doce dominios de estimación, con ello se indicará los valores de leyes altas y bajas de cobre tal cual se tienen registradas en la base de datos perteneciente a la Mina Cuajone entre 1942 al 2017. Se acompañará con gráficos estadísticos que contribuya con el análisis de datos. Luego de ello los datos son transformados a espacio Gaussiano, además de ello se obtendrán los variogramas de modelo esférico y validados para conformar las realizaciones o escenarios, se comparará con la variable EType (ley promedio bloque a bloque) así como el modelo de Estimación actual, según un nivel o banco de referencia. Seguido de ello se debe de seleccionar las mejores realizaciones o escenarios al comparar la media y distribución de datos de los histogramas de la data real.

5. Resultados de la Simulación Condicional de los Dominios de Estimación

La aplicación de la Simulación Condicional comprende lo siguiente:

- a. Modelo de los veinte escenarios de los Dominios de Estimación con la variable EType.
- b. Comparación entre el modelo de bloques de Largo Plazo de Cuajone vs Escenario que más se aproxime a los datos originales.
- c. Histograma original vs histogramas de los escenarios que más se aproximen a los originales, los histogramas de los veinte escenarios se encuentran en Anexos por cada dominio de estudio.
- d. Resumen de Estadística obtenido en la plataforma de Summit de DataMine.
- e. Gráfica de la variación de las medias de los veinte escenarios
- f. Histograma incremental de los veinte escenarios.

- g. Grafica de Q-Q Plot.
- h. Curva tonelaje Ley y resumen de datos
- i. Validación de datos por medio de Swath Plot

5.1. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 400

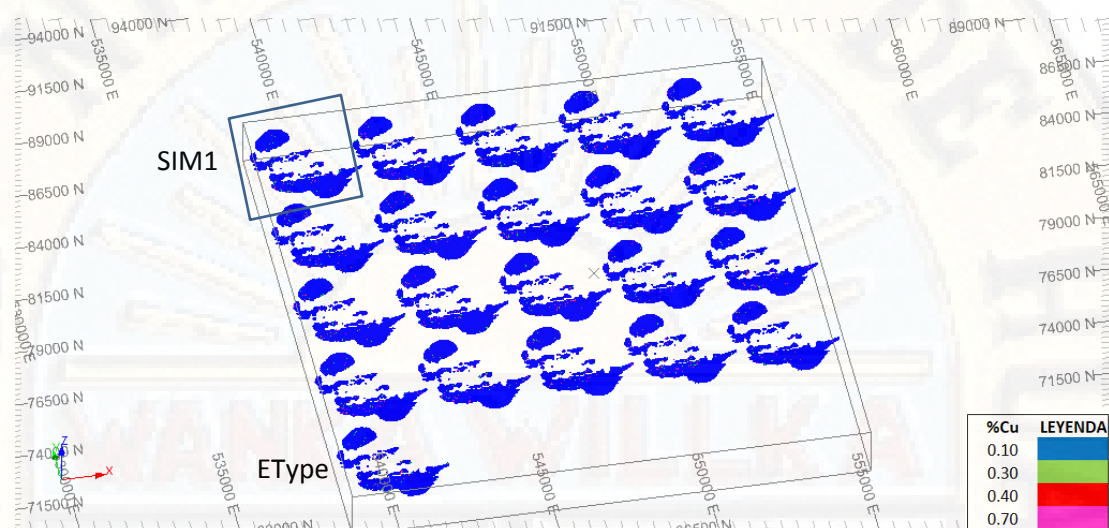


Figura 1. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.072% Cu)

Nv. 3505 Original

Escenario SIM1

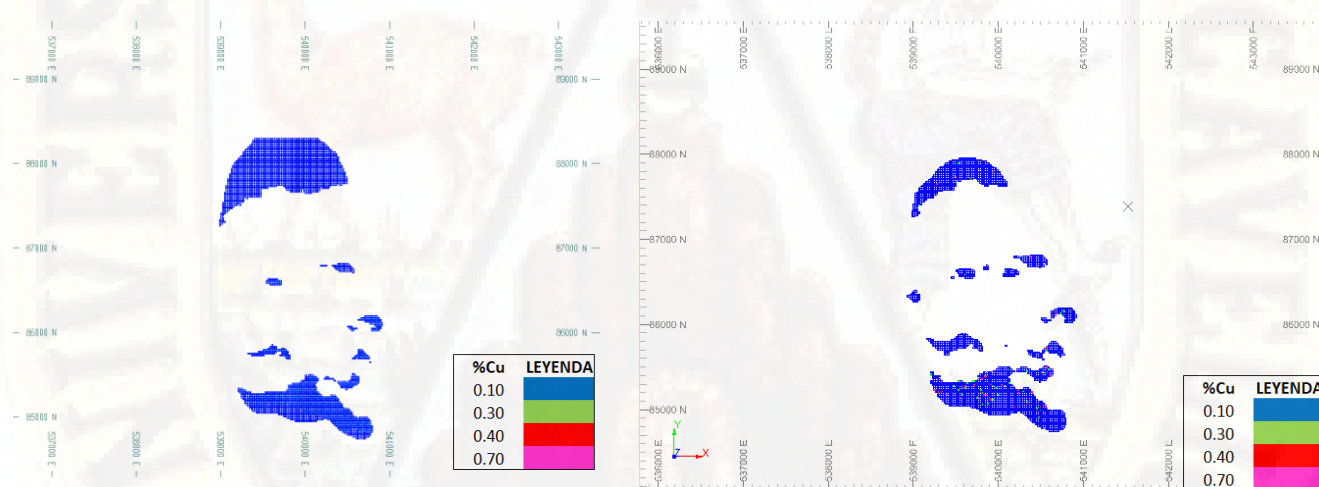


Figura 2. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

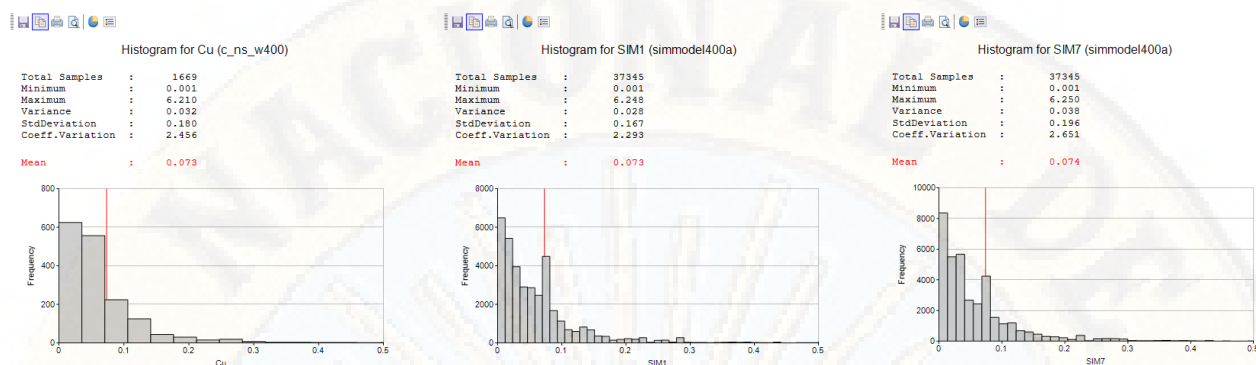


Figura 3. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM7)

SIM400W - Escenarios

Scenarios

Analysis

Scenario

Analysis : Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	1669	0.00	6.21	0.07	0.02	24.74
Simulated Points	1504480	0.00	6.25	0.07	0.04	19.79
Realizations	20					

Figura 4. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 5. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones



Figura 6. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

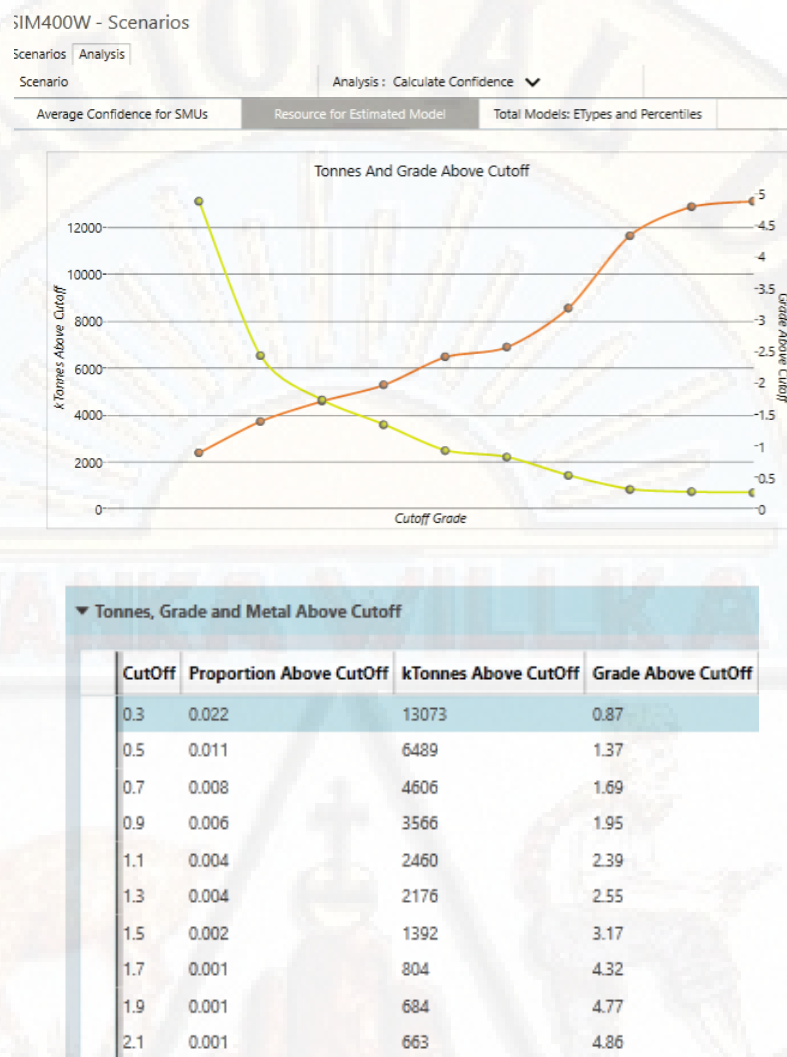


Figura 7. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

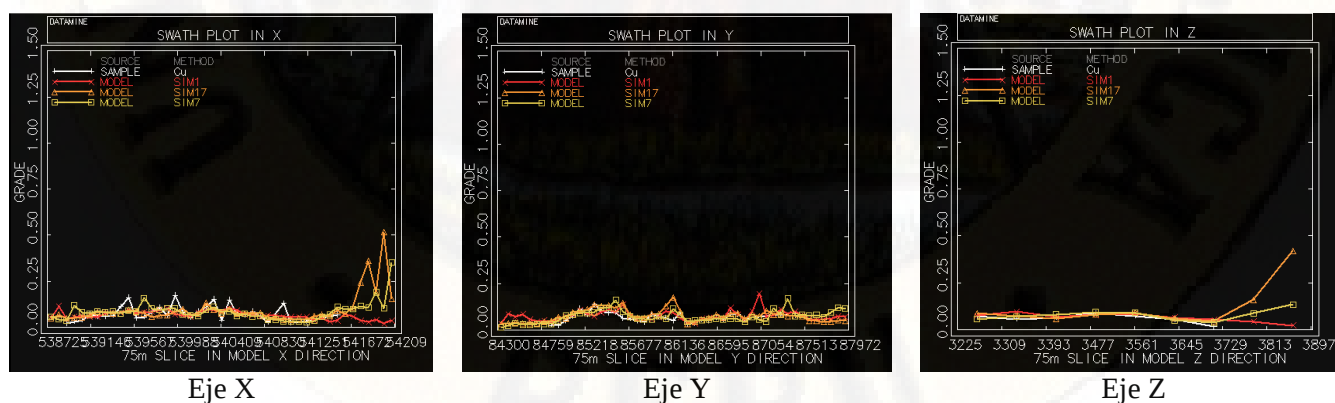


Figura 8. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 7 y 17

Tabla 1. Discusión de Resultados Dominio Estimación 400

Dominio	Resultados	Comentarios
Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.072%Cu) que representa la ley bloque a bloque. La Mina de Cuajone tiene como secuencia de minado los bancos de producción, para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3505; donde se puede apreciar el grado de similitud que existe con el escenario más cercano SIM1.	
Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.073%Cu) la cual es un validador para compararlo con las simulaciones más cercanas (SIM1, SIM7, SIM17 $\approx$ 0.0735%Cu) teniendo una variabilidad mínima. En cambio los otros escenarios al tener valores erráticos como se muestra en la figura 34; están ligeramente alejados de la realidad para poderlos considerar.	
Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°	
Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 13,073KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo	
Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en el eje X, respecto a los escenarios SIM1, SIM2 y SIM17; puede referirse al espaciamiento entre las muestras.	

5.2.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 401

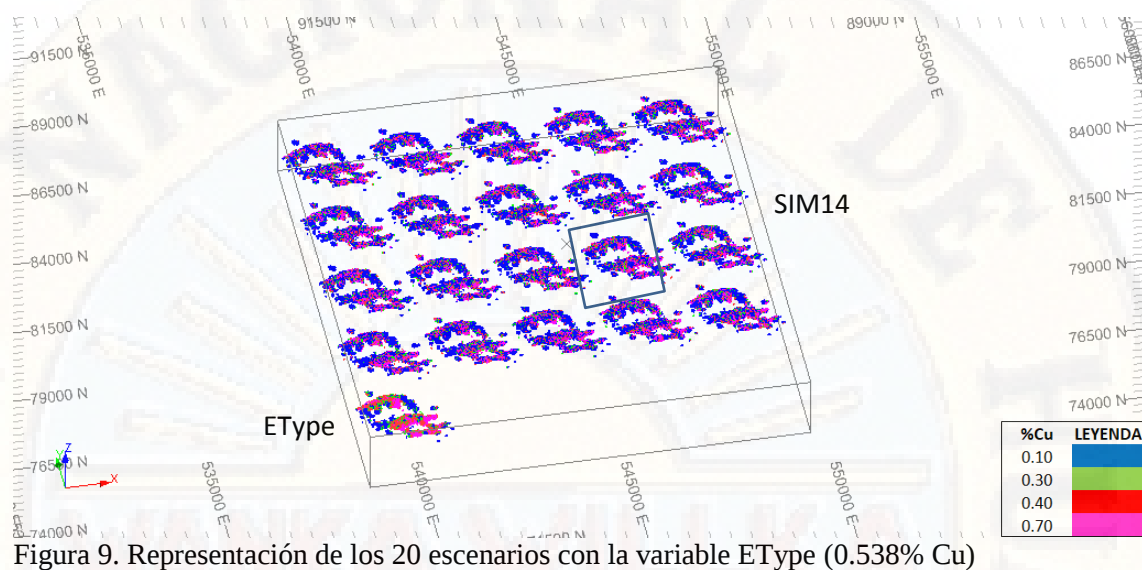


Figura 9. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.538% Cu)

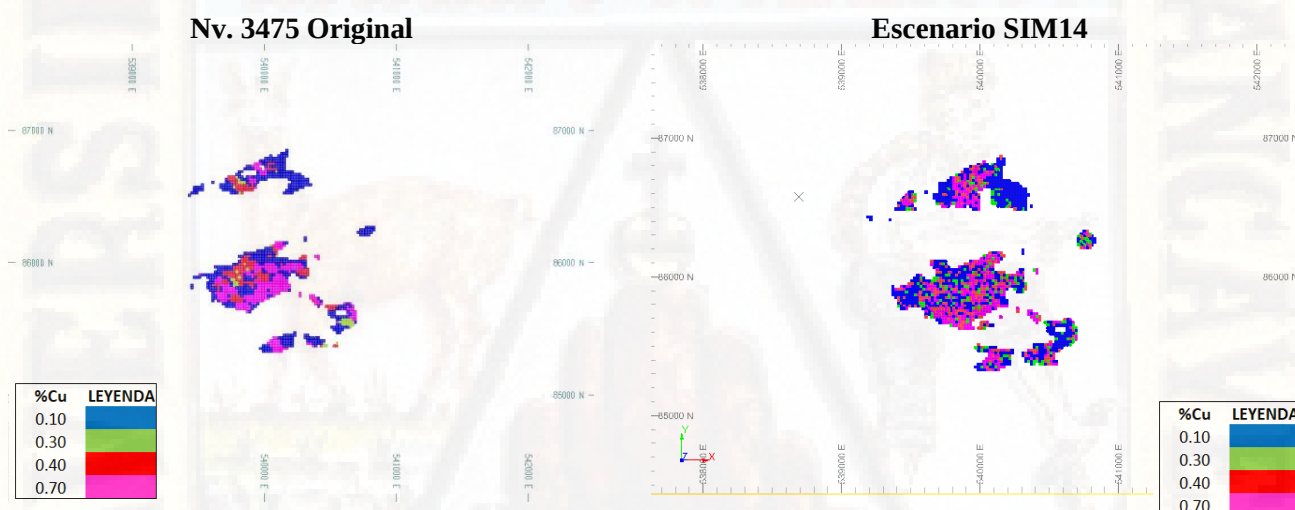


Figura 10. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

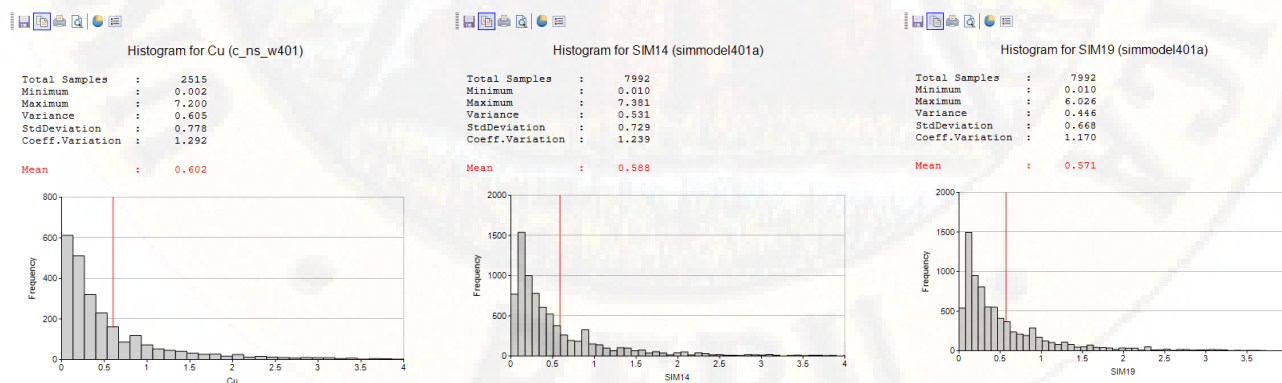


Figura 11. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM14 y SIM19)

SIM401W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	2511	0.01	7.20	0.56	0.52	3.04
Simulated Points	159840	0.01	7.47	0.54	0.44	3.01
Realizations	20					

Figura 12. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

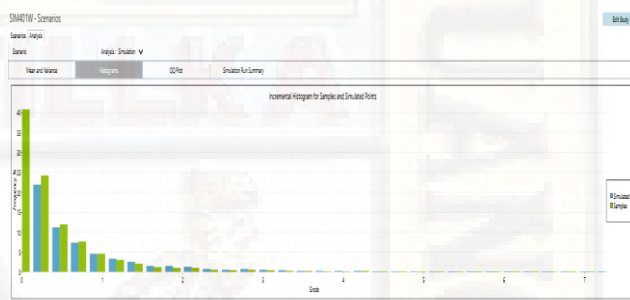
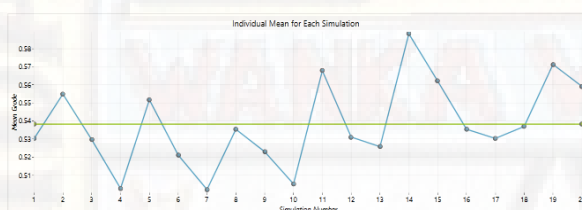


Figura 13. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones

SIM401W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Edit Study



Figura 14. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

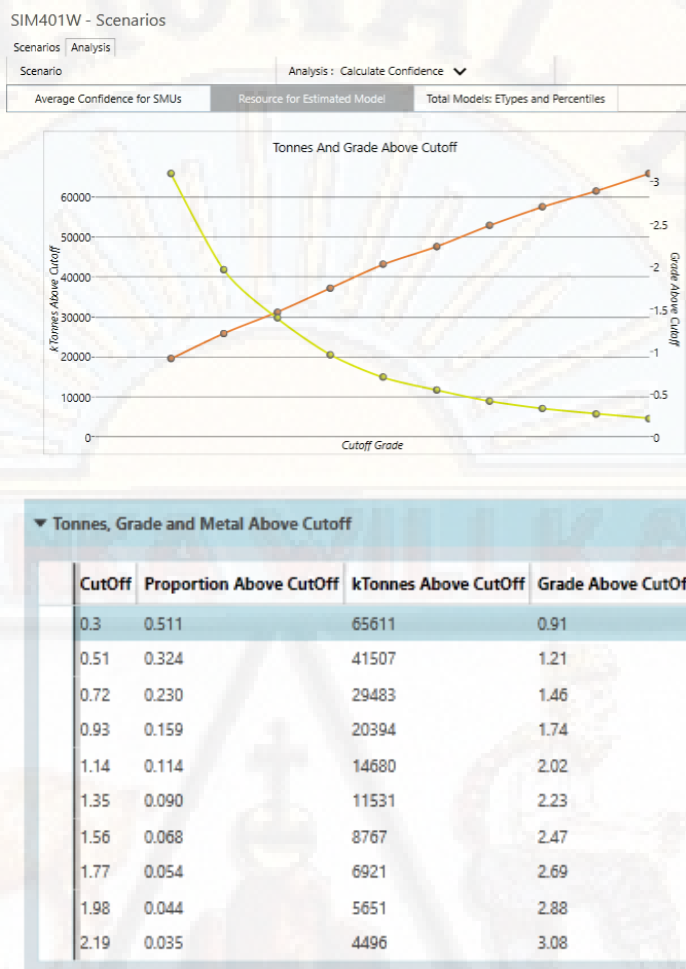
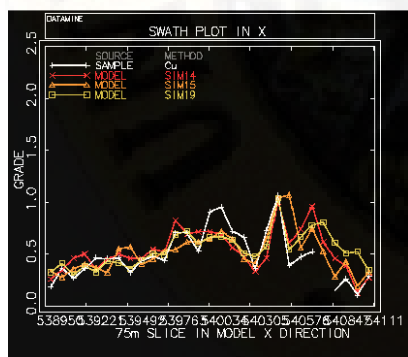
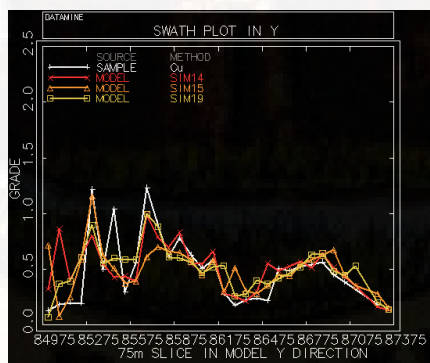


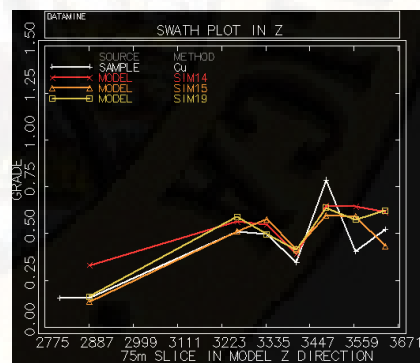
Figura 15. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 16. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 14, 19 y 15

Tabla 2. Discusión de Resultados Dominio Estimación 401

Dominio	Resultados	Comentarios
Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.538%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3475; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM14. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en los Óxidos.	
Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.60%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM14, SIM19, SIM15 $\approx$ 0.58%Cu). El rango de la simulación obtenidas ha sido entre 0.50 a 0.588%Cu	
Gráfica de Q-Q Plot	La distribución de las muestras guarda similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras con valores mayores a 7% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.88% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.	
Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 65,611KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo .	
Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y, respecto a los escenarios SIM14, SIM19 y SIM15.	

5.3.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 402

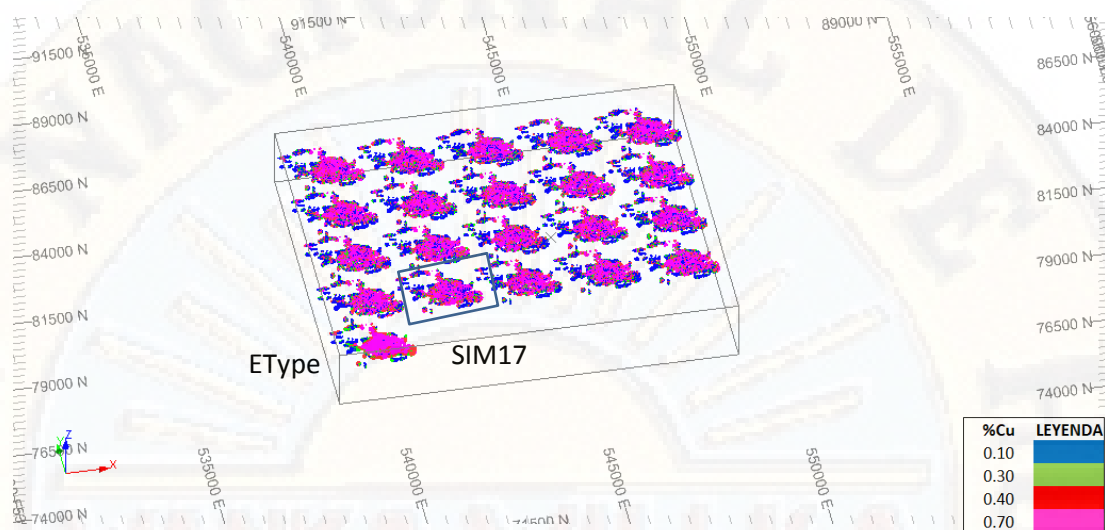


Figura 17. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.881% Cu)

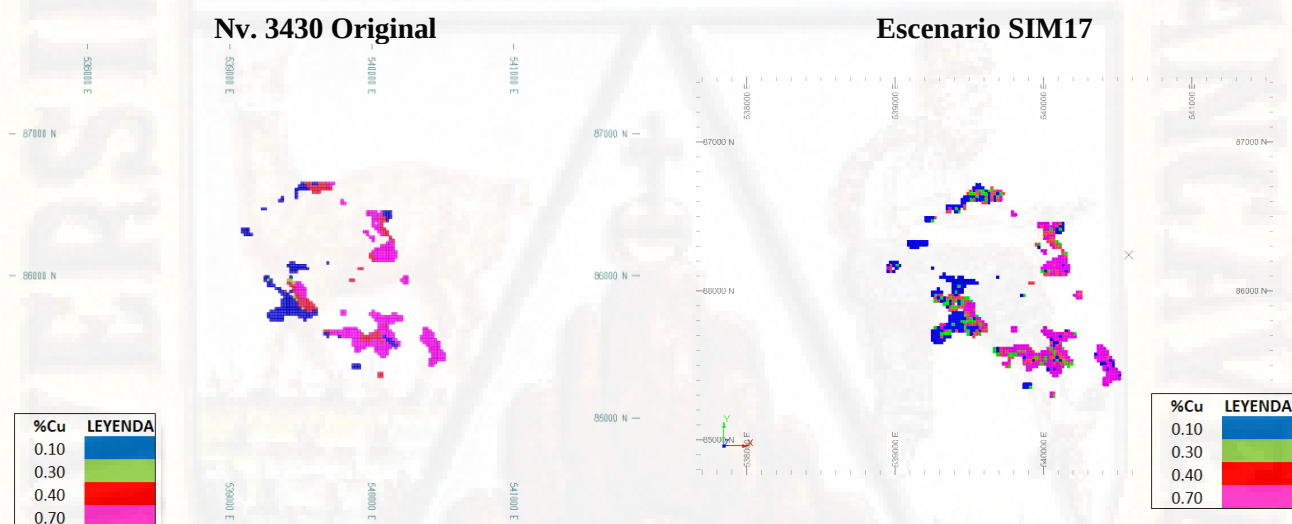


Figura 18. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

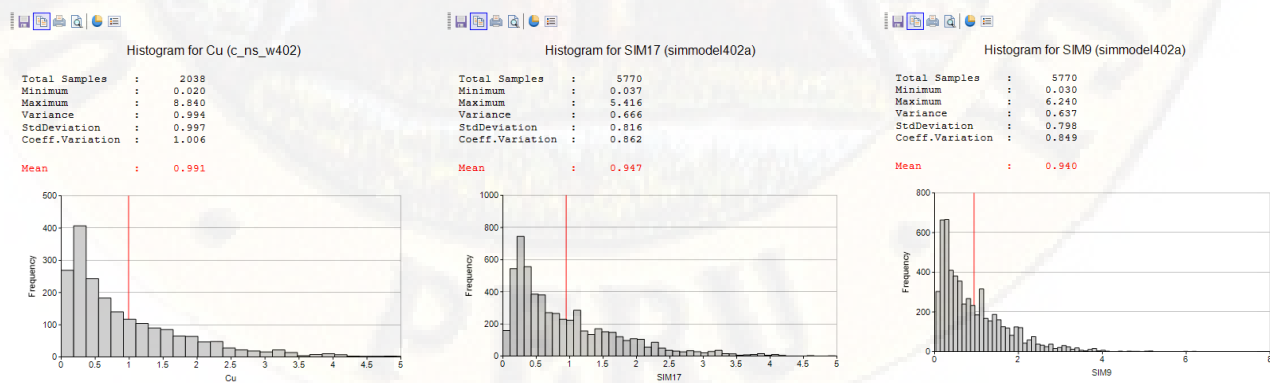


Figura 19. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM17, SIM9 y SIM12)

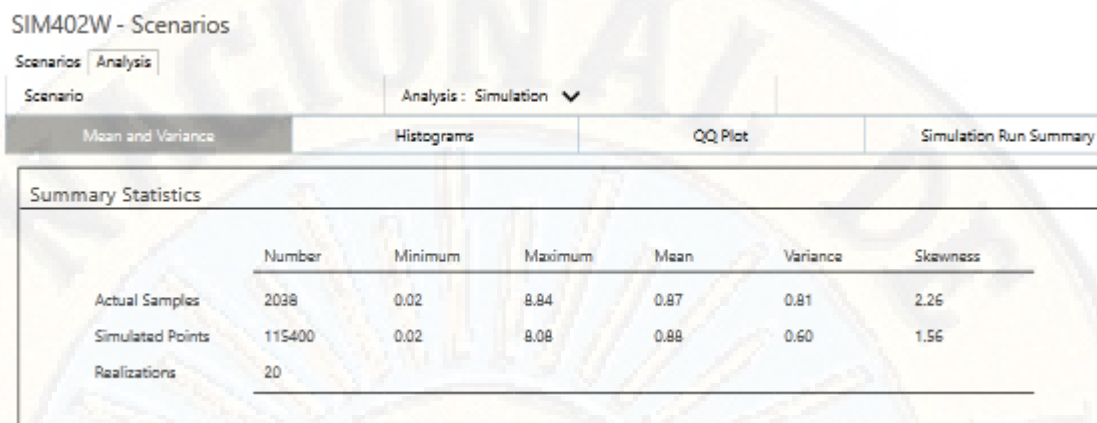


Figura 20. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 21. Media de las 20 Simulaciones e. Histograma Incremental muestras y simulaciones

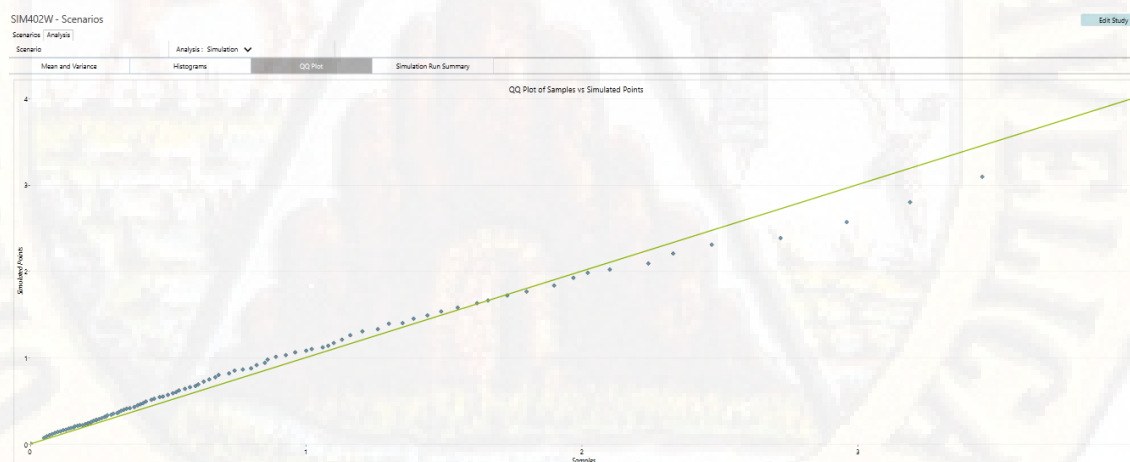


Figura 22. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

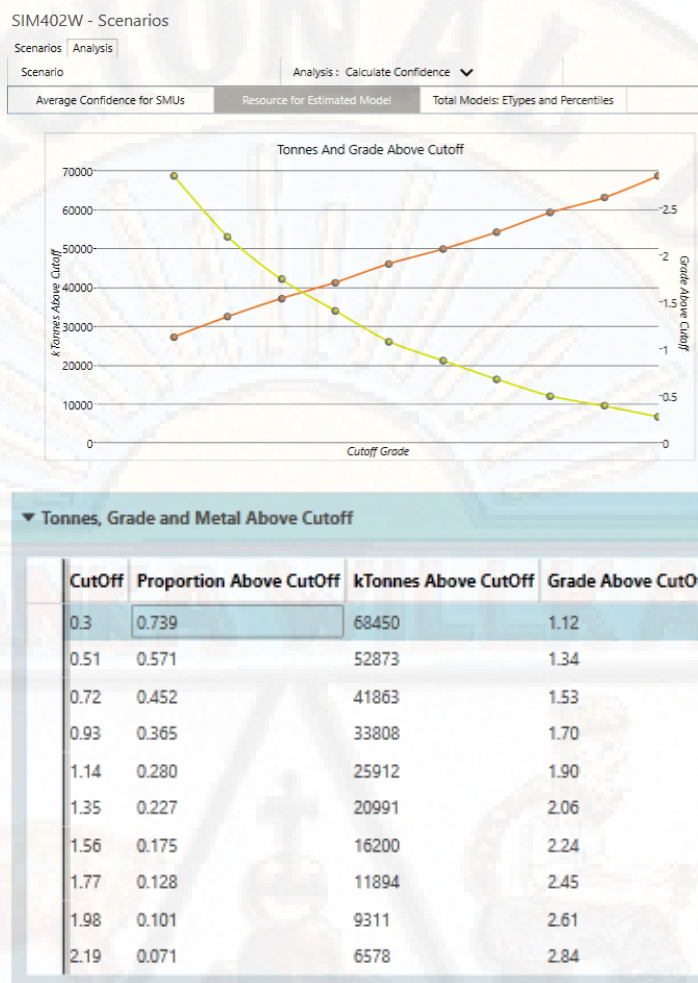


Figura 23. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

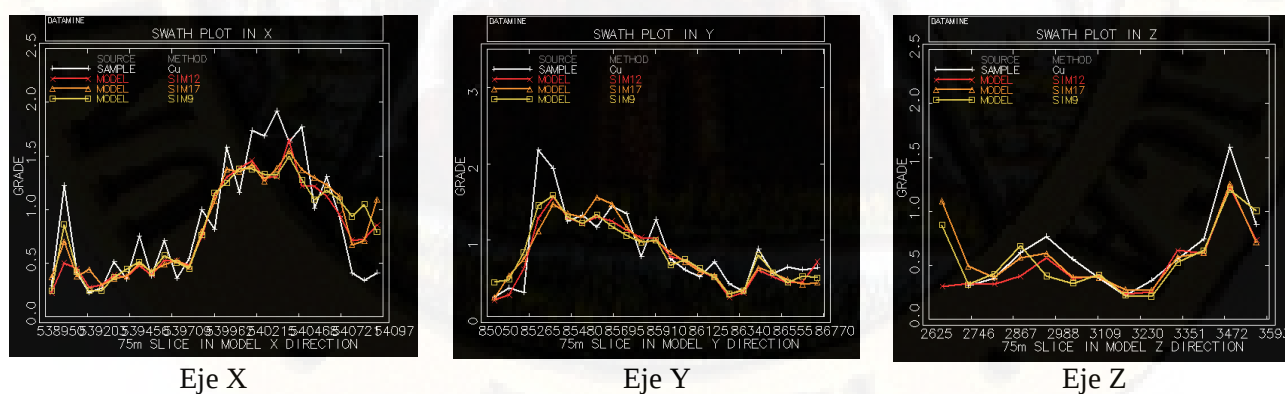


Figura 24. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 17, 9 y 12

Tabla 3. Discusión de Resultados Dominio Estimación 402

Dominio	Resultados	Comentarios
402	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.881%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3430; donde se puede apreciar diferencias en la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM17. Estos escenarios representan la variabilidad y complejidad de los bloques de material Enriquecido.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.99%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM17, SIM9, SIM12 $\approx$ 0.947%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras al principio guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras con valores mayores a 8% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.88% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 68,450KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X, Y y Z respecto a la la ley de Cobre original a los escenarios SIM17, SIM9 y SIM12.

5.4.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 403

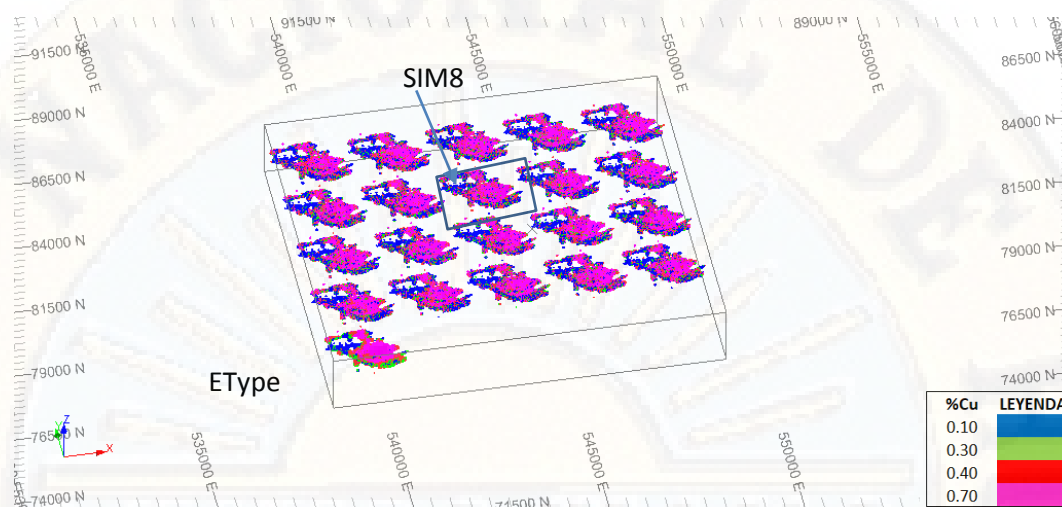


Figura 25. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.728% Cu)

Nv. 3430 Original

Escenario SIM8

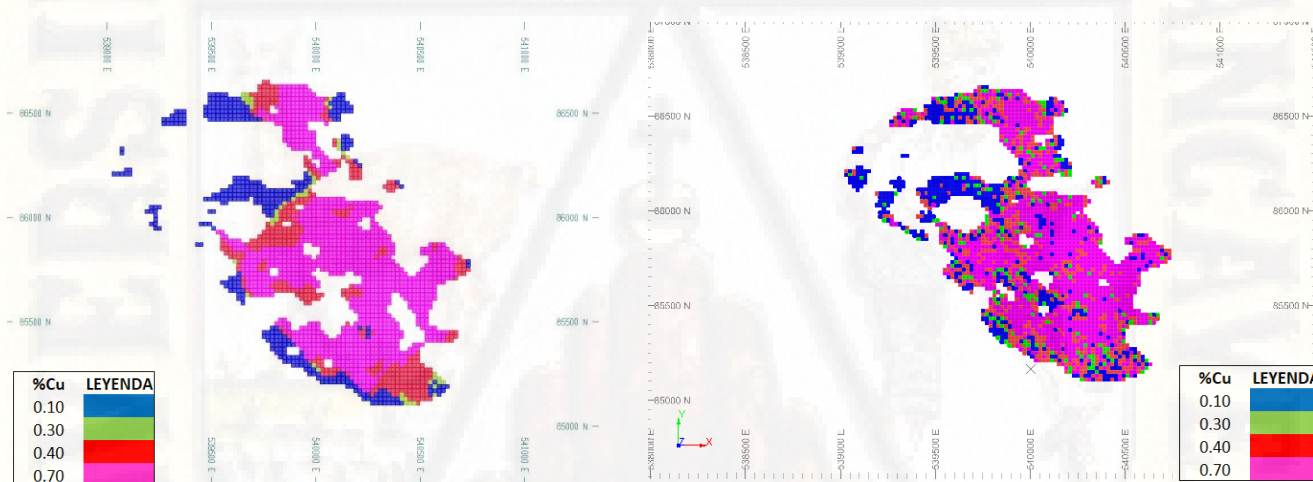


Figura 26. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

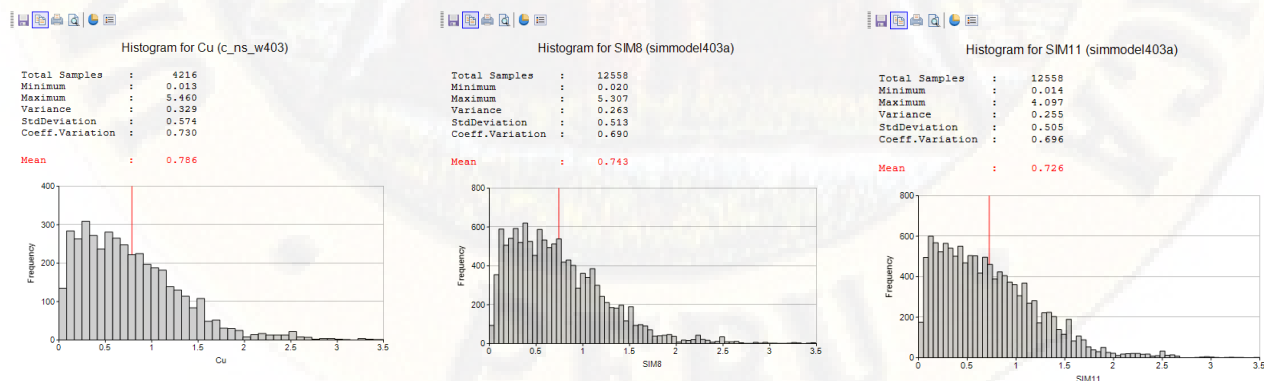


Figura 27. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM8 y SIM11)

SIM403W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	4216	0.01	5.46	0.73	0.28	1.44
Simulated Points	251160	0.01	5.40	0.73	0.25	1.13
Realizations	20					

Figura 28. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

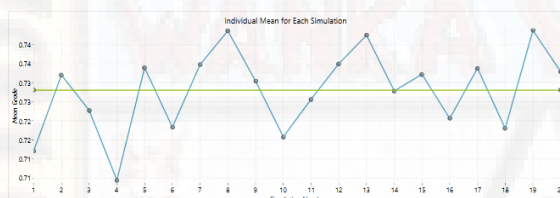


Figura 29. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

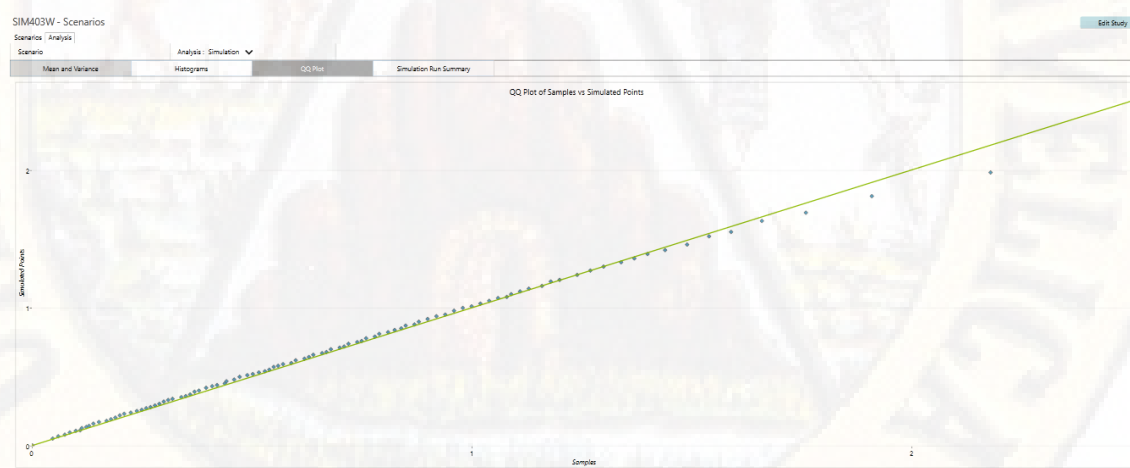


Figura 30. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM403W - Scenarios

Scenarios Analysis

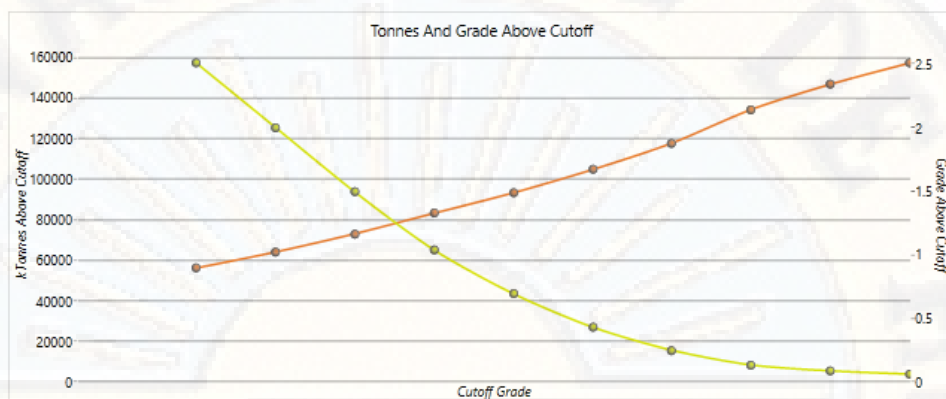
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

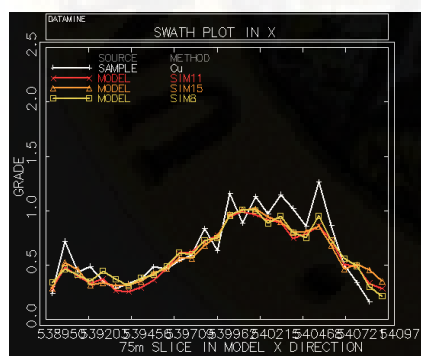
Total Models: ETypes and Percentiles



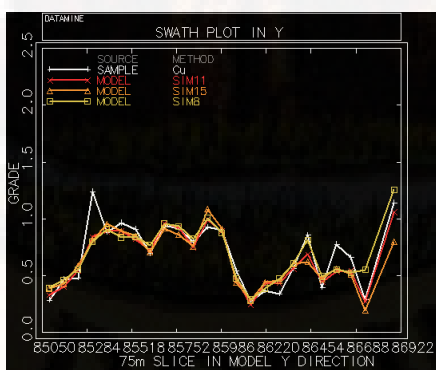
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.778	156717	0.89
0.5	0.620	124928	1.01
0.7	0.462	93159	1.16
0.9	0.320	64531	1.32
1.1	0.213	42985	1.48
1.3	0.132	26507	1.66
1.5	0.075	15134	1.87
1.7	0.039	7865	2.13
1.9	0.025	4984	2.33
2.1	0.017	3367	2.50

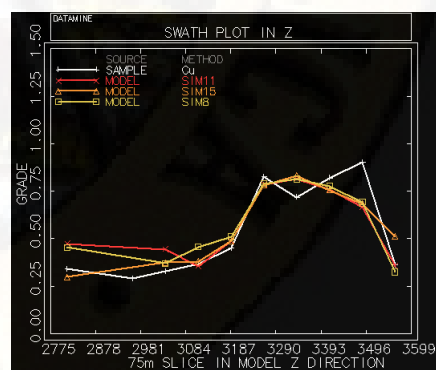
Figura 31. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 32. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 8, 11 y 15

Tabla 4. Discusión de Resultados Dominio Estimación 403

Dominio	Resultados	Comentarios
403	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.728%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3430; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM8. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución multimodal (varias familias de datos), el valor de la media de la data original (0.78%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM8, SIM11, SIM15 $\approx$ 0.73%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 156,717KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos a mayor distancia en el eje X e Y, respecto a los escenarios SIM8, SIM11 y SIM15.

5.5.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 404

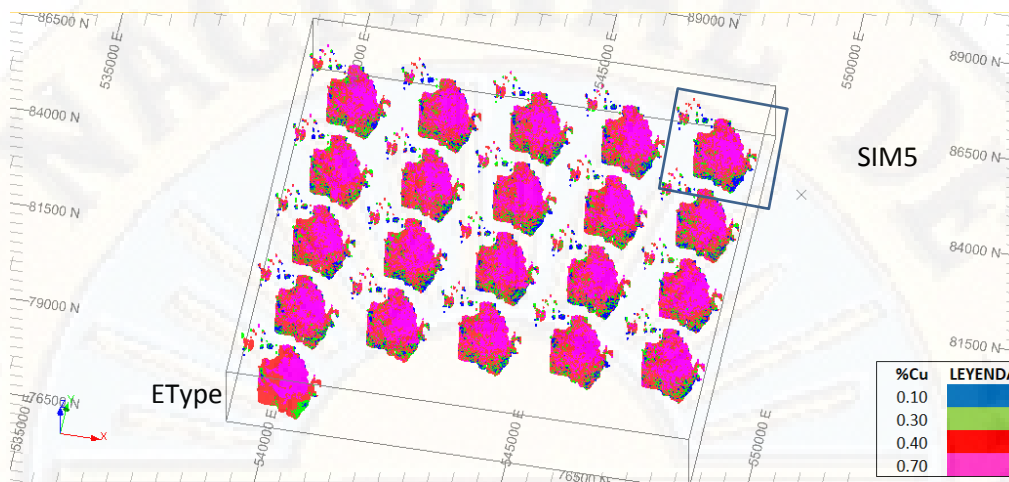


Figura 33. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.554% Cu)

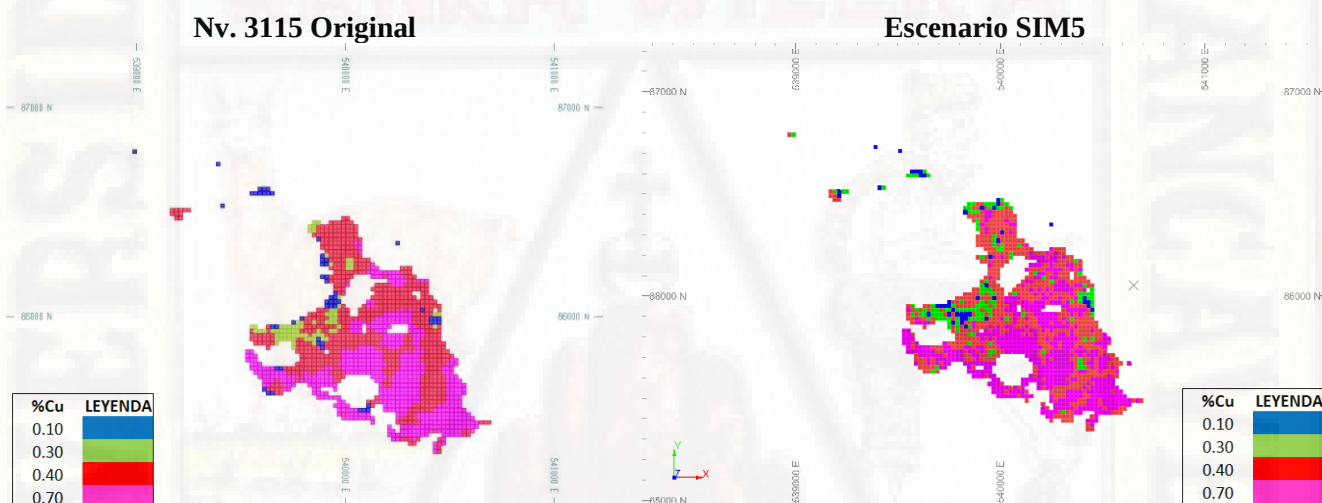


Figura 34. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

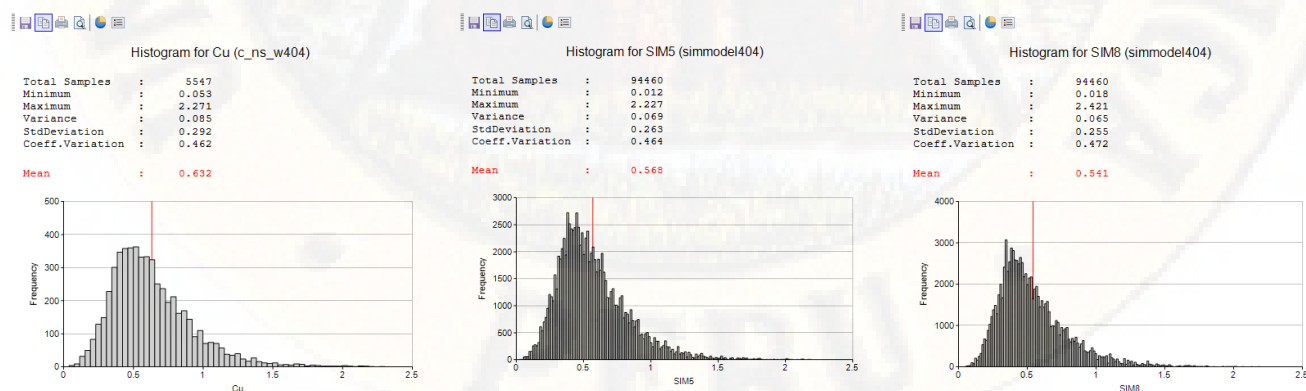


Figura 35. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM5 y SIM8)

SIMLP - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	5547	0.05	2.27	0.63	0.08	1.25
Simulated Points	1889200	0.01	2.47	0.55	0.06	1.32
Realizations	20					

Figura 36. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

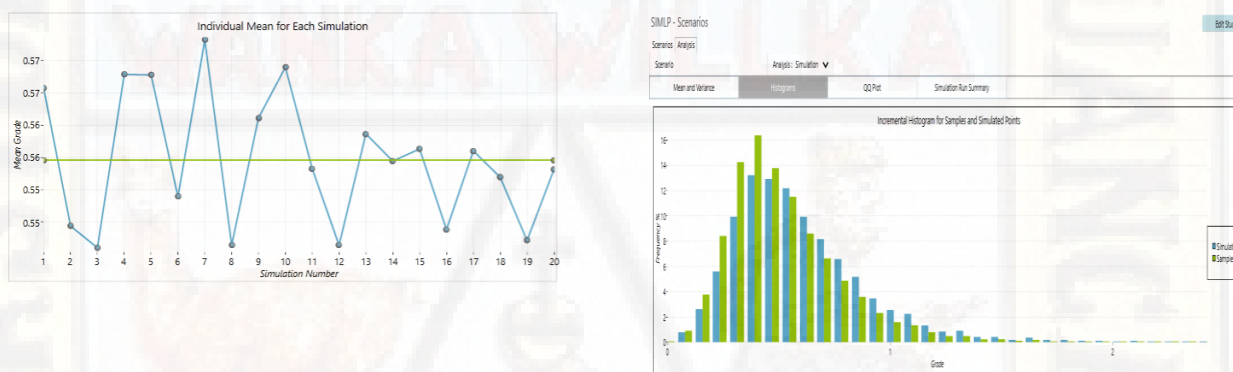


Figura 37. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

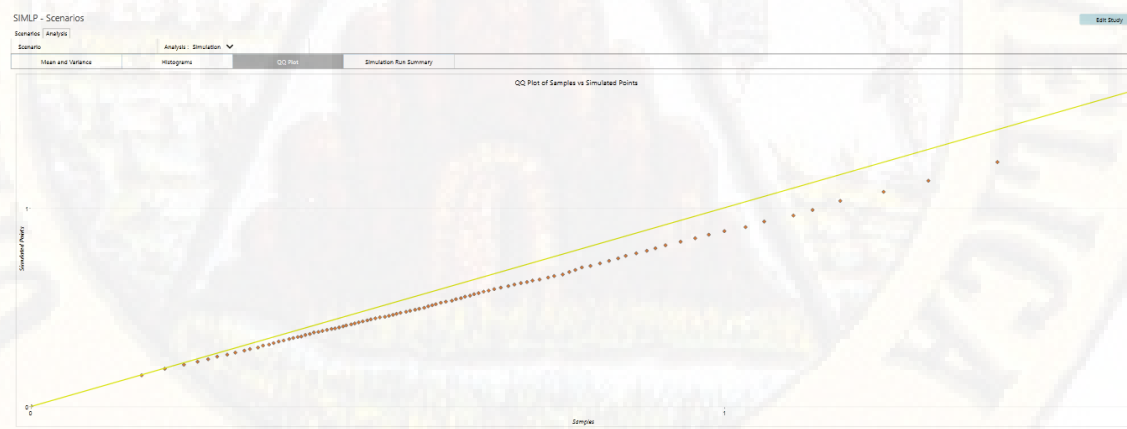


Figura 38. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

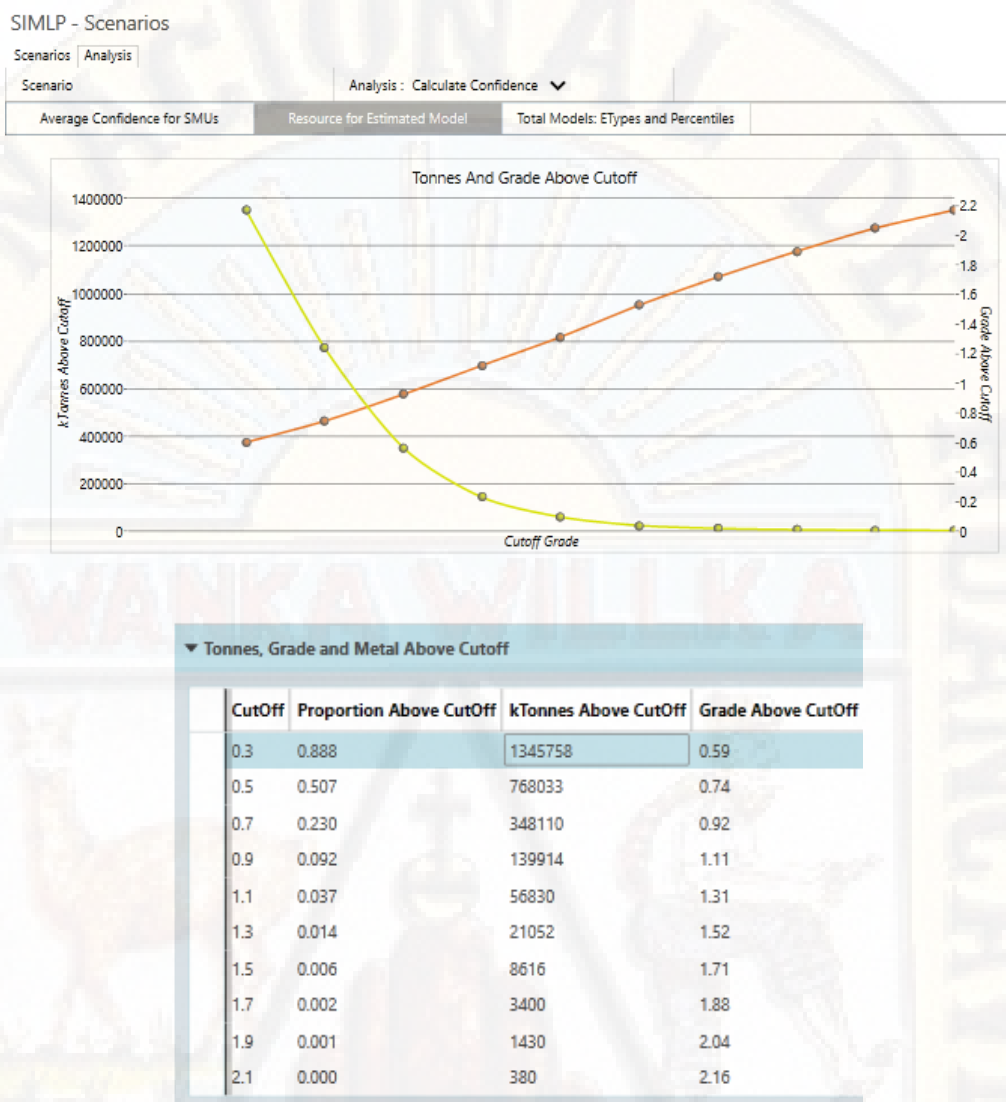
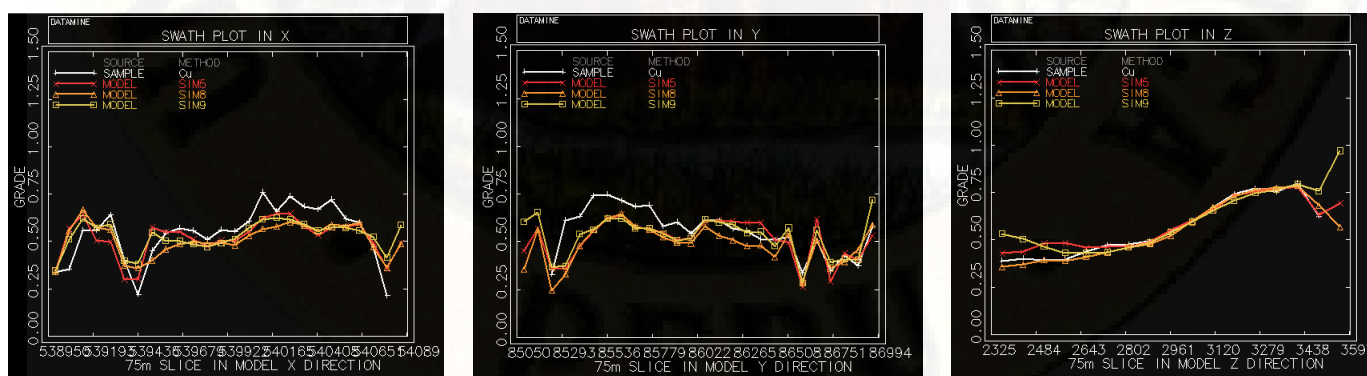


Figura 39. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X

Eje Y

Eje Z

Figura 40. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 5, 8 y 9

Tabla 5. Discusión de Resultados Dominio Estimación 404

Dominio	Resultados	Comentarios
	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.554%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM5. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en la unidad litológica Latita Porfirítica, principal cuerpo intrusivo que trajo la mineralización de Cuajone.
404	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.63%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM5, SIM8, SIM9 $\approx$ 0.55%Cu). El rango de la simulación obtenidas que se obtuvo fue de 0.50 a 0.588%Cu
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud moderada a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 1'345,758KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en el eje X e Y con respecto a las leyes de Cobre original como se muestra en la comparación de los histogramas, respecto a los escenarios SIM5, SIM8 y SIM9.

5.6.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 405

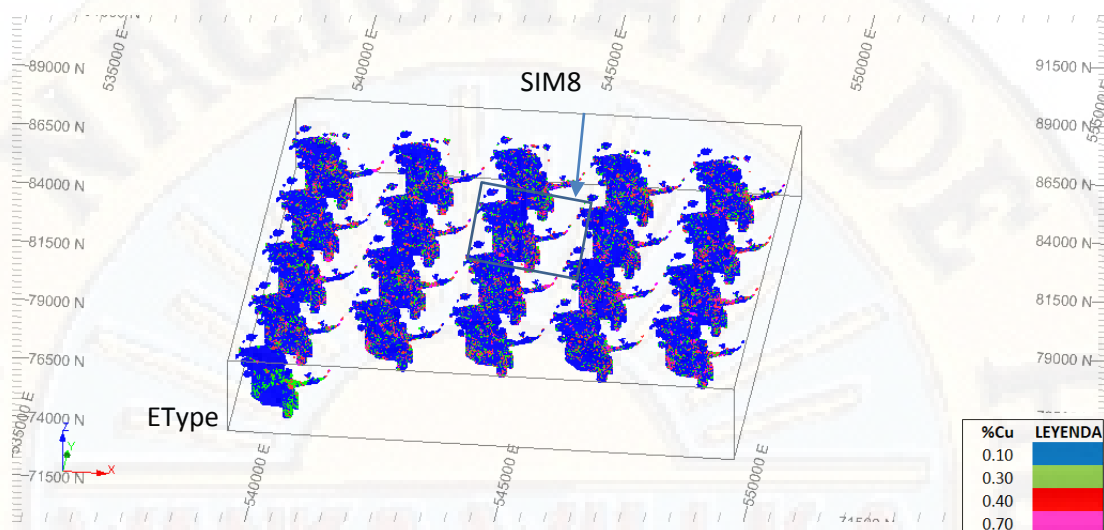


Figura 41. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.214% Cu)

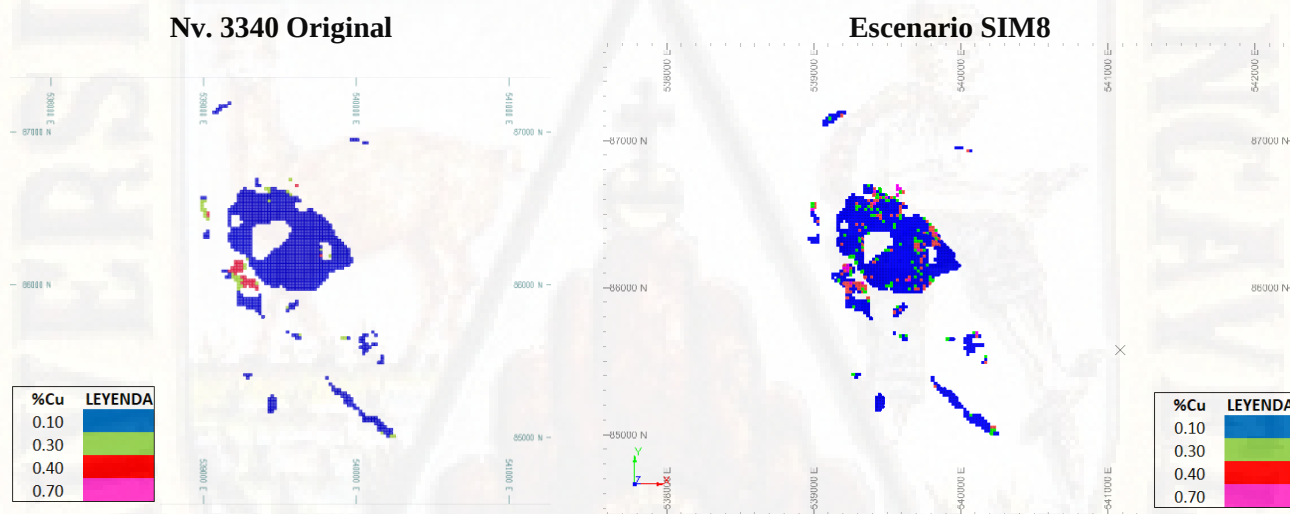


Figura 42. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

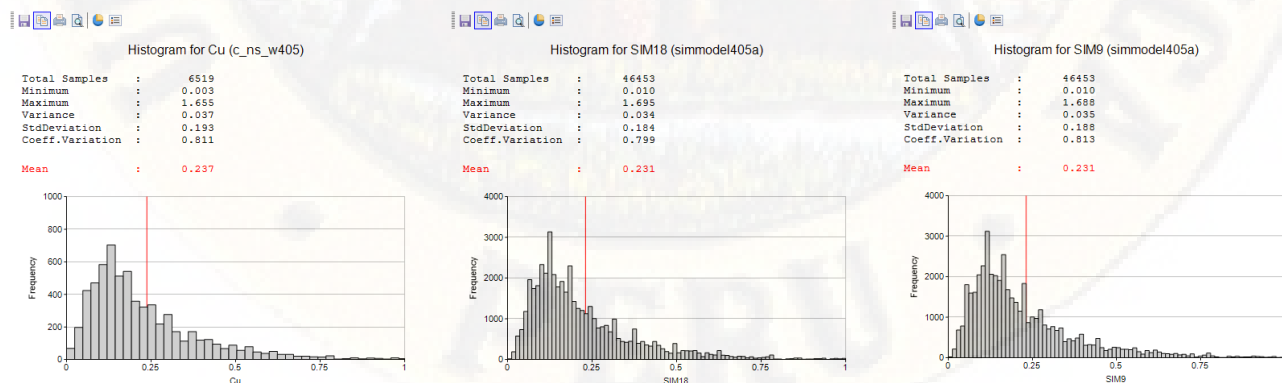


Figura 43. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM18 y SIM9)

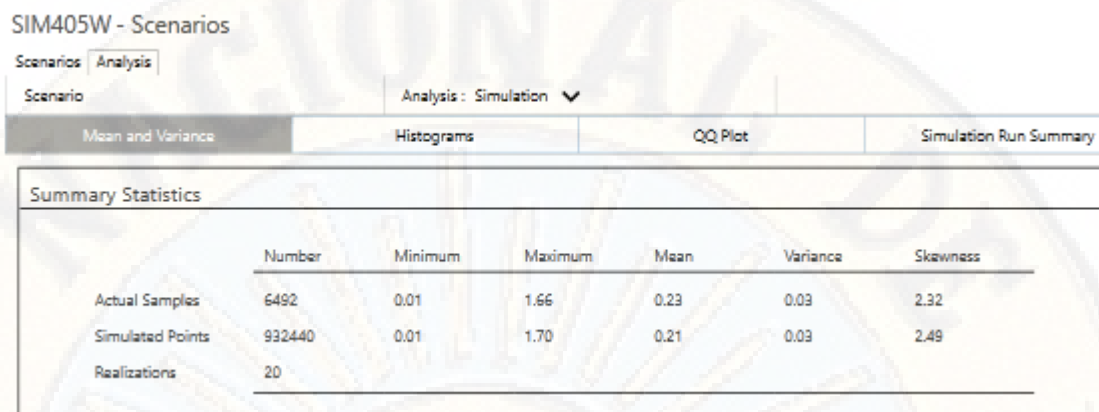


Figura 44. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 45. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

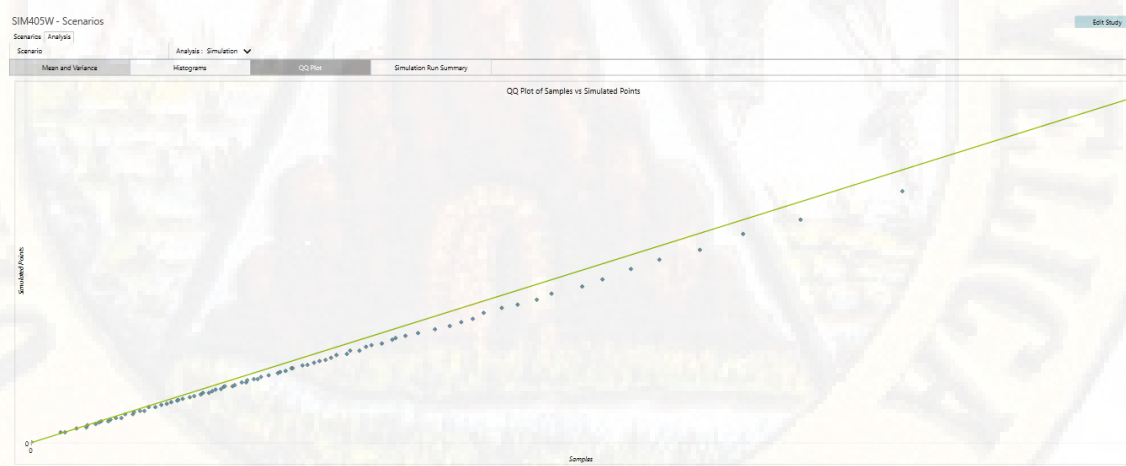


Figura 46. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM405W - Scenarios

Scenarios Analysis

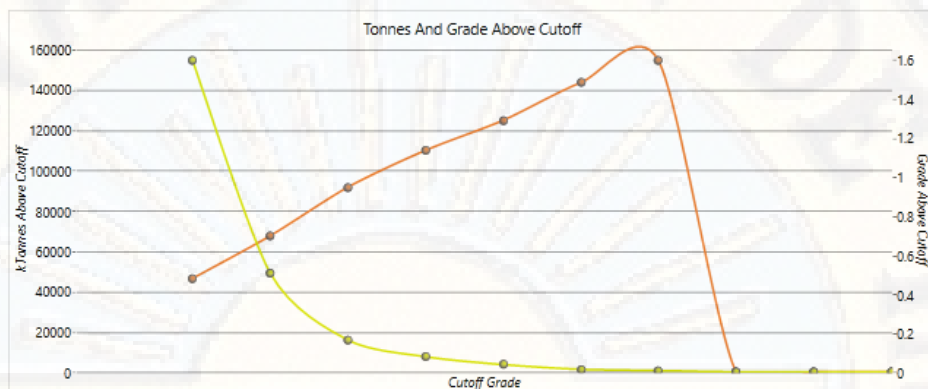
Scenario

Analysis : Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

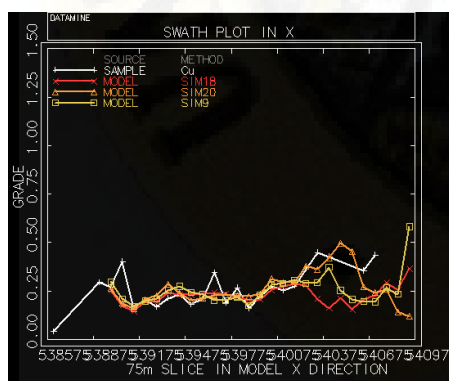
Total Models: ETypes and Percentiles



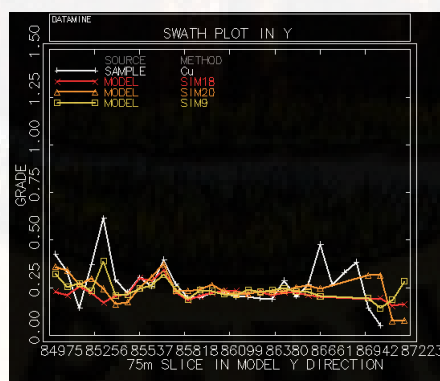
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

	CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
	0.3	0.207	154131	0.48
	0.5	0.066	48943	0.70
	0.7	0.021	15812	0.95
	0.9	0.010	7524	1.13
	1.1	0.005	3607	1.29
	1.3	0.002	1277	1.48
	1.5	0.001	648	1.59
	1.7	0.000	0	0.00
	1.9	0.000	0	0.00
	2.1	0.000	0	0.00

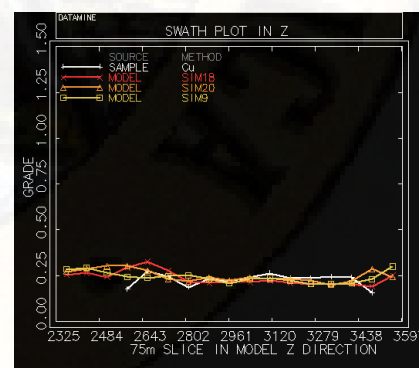
Figura 47. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 48. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 18, 9 y 20

Tabla 6. Discusión de Resultados Dominio Estimación 405

Dominio	Resultados	Comentarios
405	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.214%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3340; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM18. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre en la Latita Porfirítica LP2, Dique y Riolita Porfirítica.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.23%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM18, SIM9, SIM20 $\approx$ 0.23%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	Las distribuciones de las muestras al principio guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, como también existen muestras que llegan hasta 1.7% (de forma puntual) teniendo una media cercana a 0.21% según el resumen estadístico de los 20 escenarios; razón por la cual existen puntos fuera de la línea de normalidad.
	Swath Plot	Se denota variabilidad puntual en los ejes X e Y, respecto a los escenarios SIM18, SIM9 y SIM20.

5.7.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 406

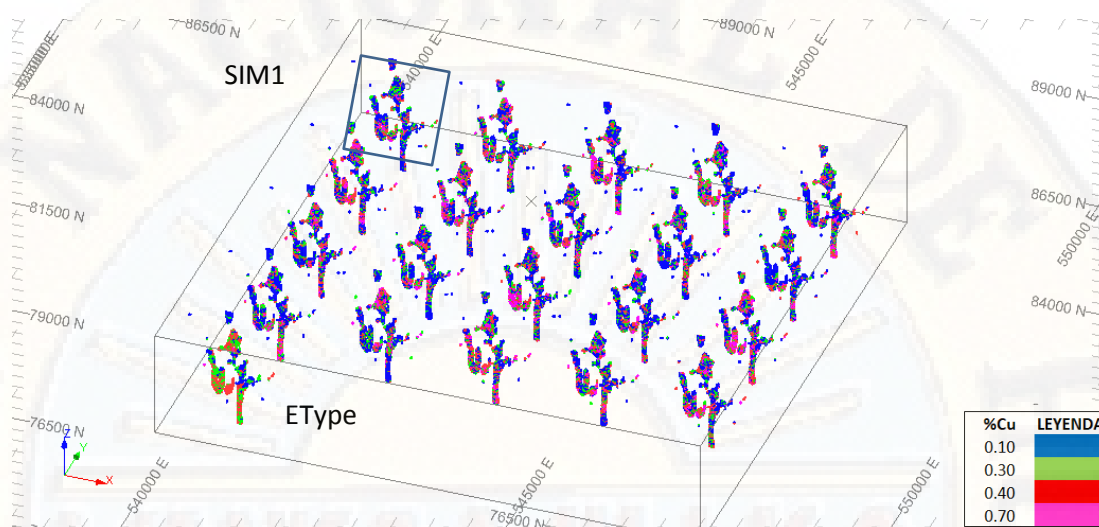


Figura 49. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.382% Cu)

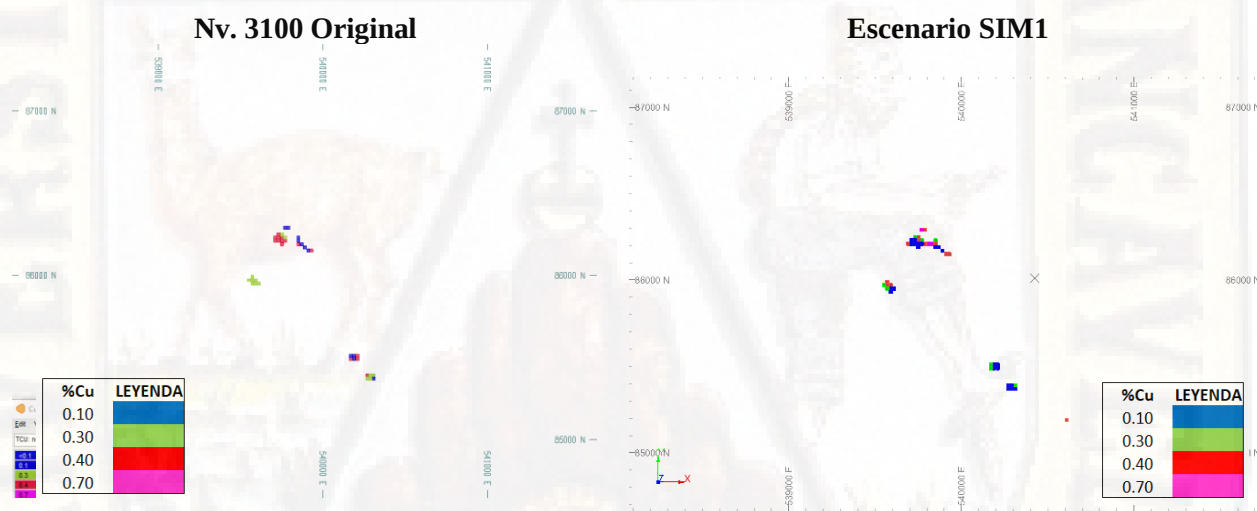


Figura 50. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

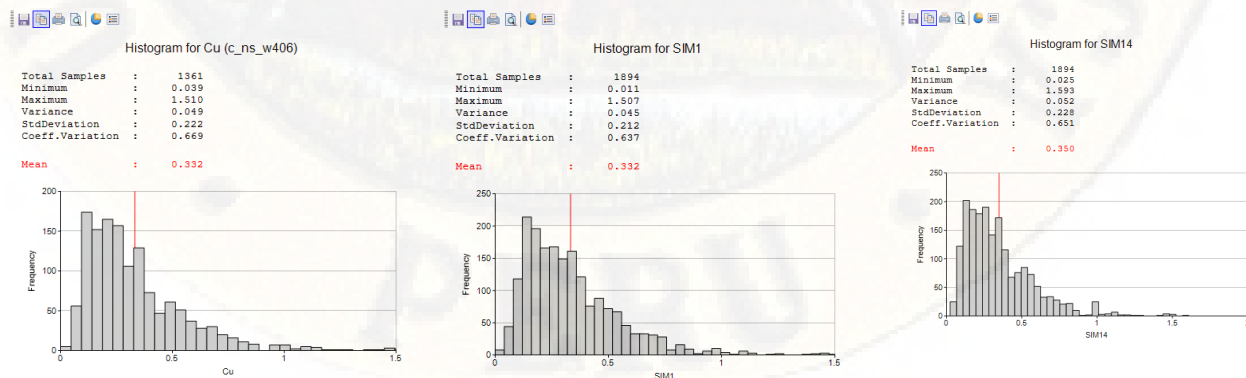


Figura 51. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM1 y SIM14)

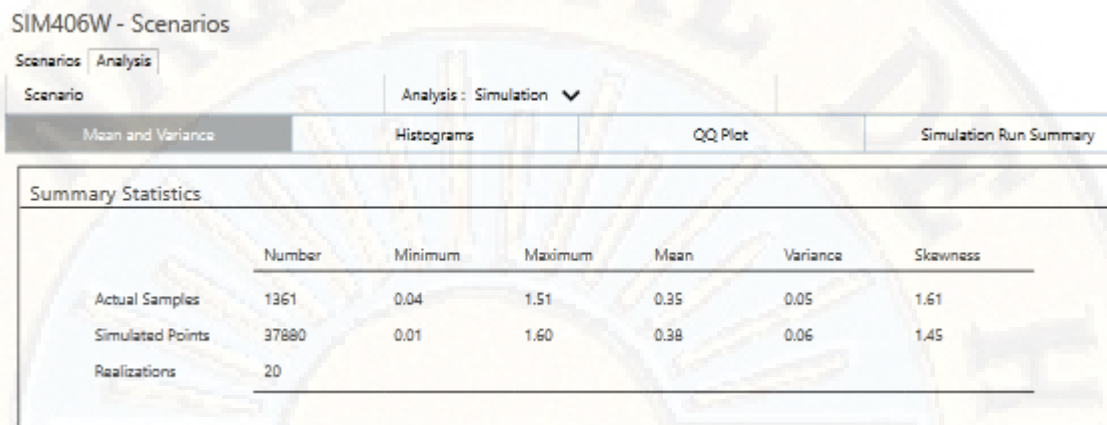


Figura 52. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 53. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

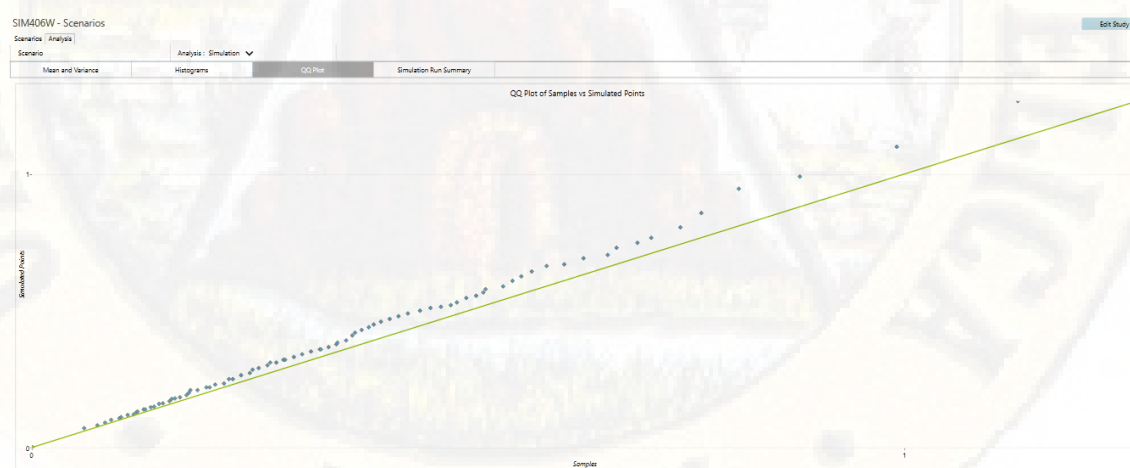


Figura 54. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM406W - Scenarios

Scenarios | Analysis

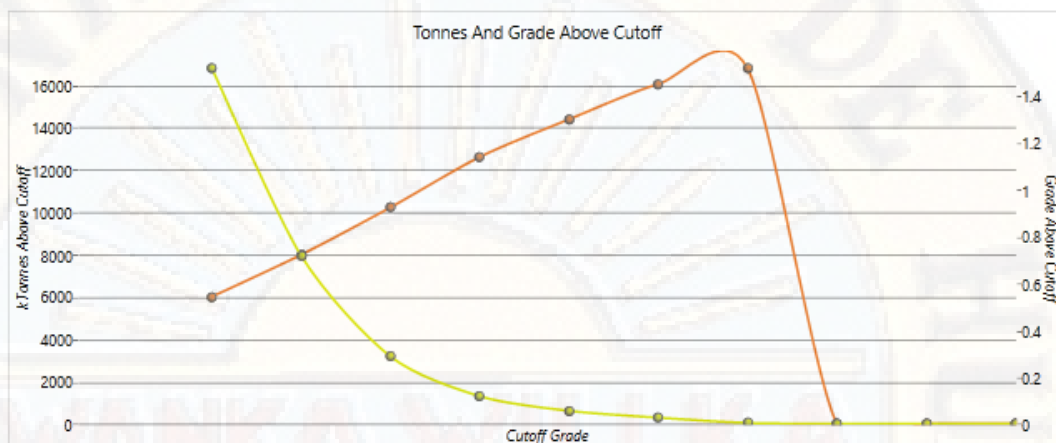
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

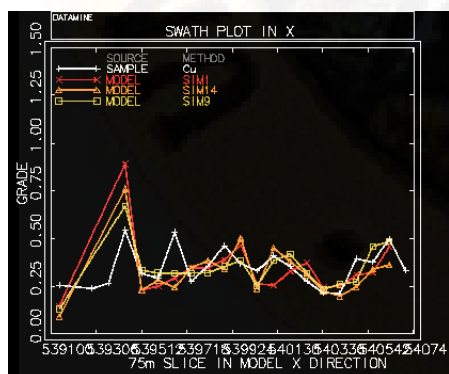
Total Models: ETypes and Percentiles



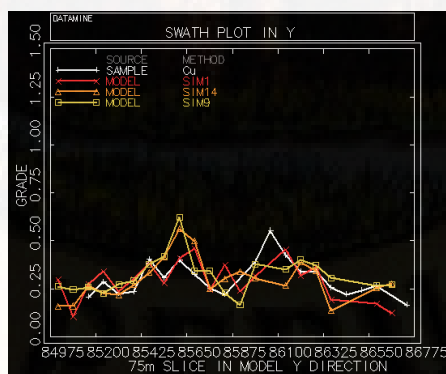
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.552	16765	0.54
0.5	0.261	7925	0.72
0.7	0.104	3172	0.92
0.9	0.043	1298	1.14
1.1	0.020	608	1.30
1.3	0.009	287	1.45
1.5	0.001	39	1.51
1.7	0.000	0	0.00
1.9	0.000	0	0.00
2.1	0.000	0	0.00

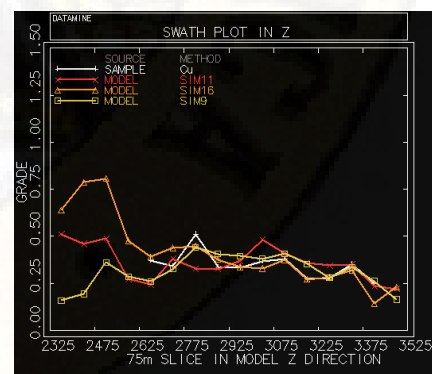
Figura 55. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 56. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 1, 14 y 9

Tabla 7. Discusión de Resultados Dominio Estimación 406

Dominio	Resultados	Comentarios
406	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.382%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3475; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM1. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre de la Brecha de Latita Porfirítica LP2.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.33%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM1, SIM14, SIM9 $\approx$ 0.33%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene por ejemplo 16,765KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en todos los ejes, el comportamiento de este dominio es discontinuo y heterogéneo al ser una brecha en conjunto con los escenarios SIM1, SIM14 y SIM9.

5.8.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 407

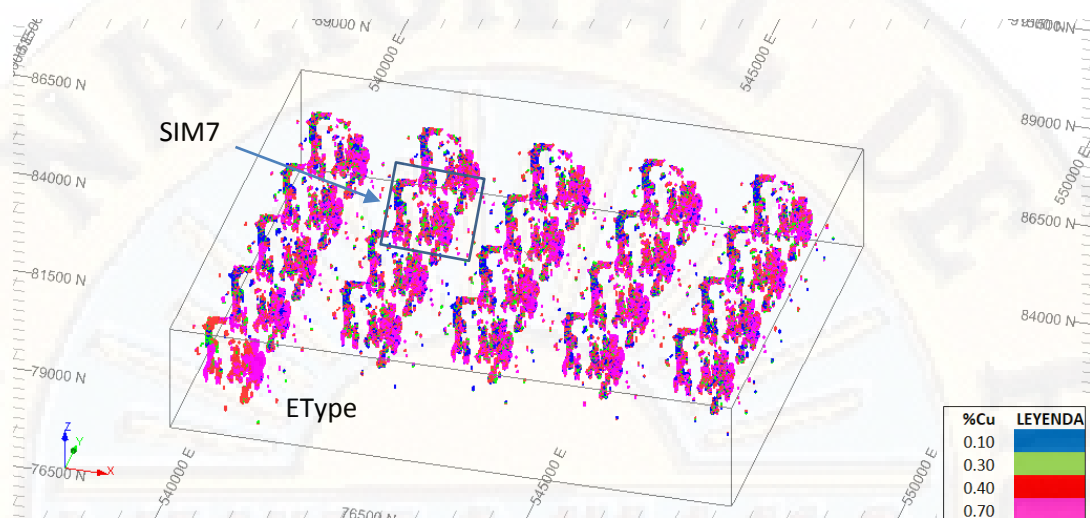


Figura 57. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.761% Cu)



Figura 58. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

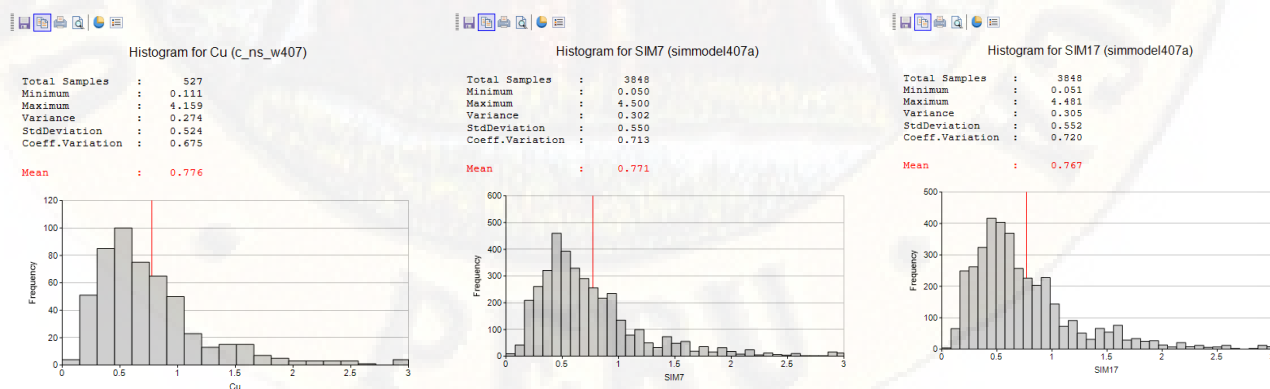


Figura 59. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM17)

SIM407W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	527	0.11	4.16	0.77	0.27	2.27
Simulated Points	76960	0.05	4.50	0.76	0.30	2.34
Realizations	20					

Figura 60. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

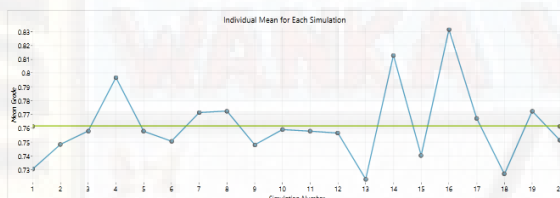


Figura 61. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

SIM407W - Scenarios

Scenarios Analysis

Scenario

Analysis: Simulation

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Edit Study

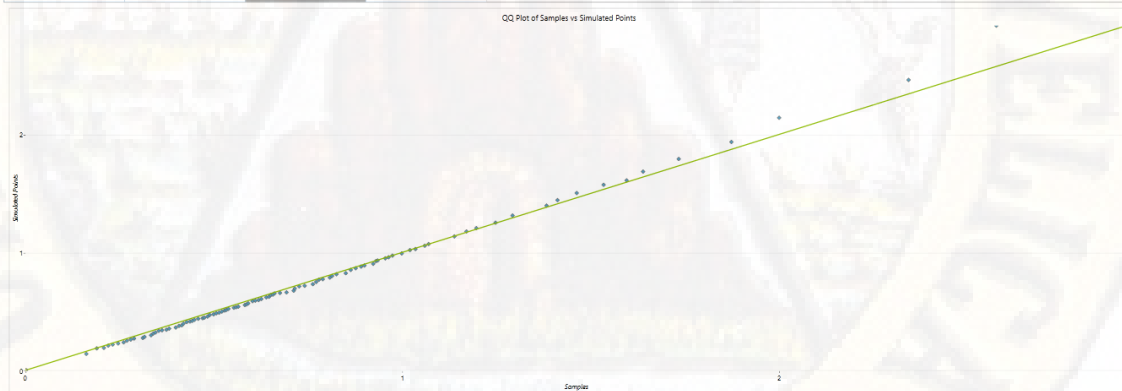


Figura 62. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM407W - Scenarios

Scenarios Analysis

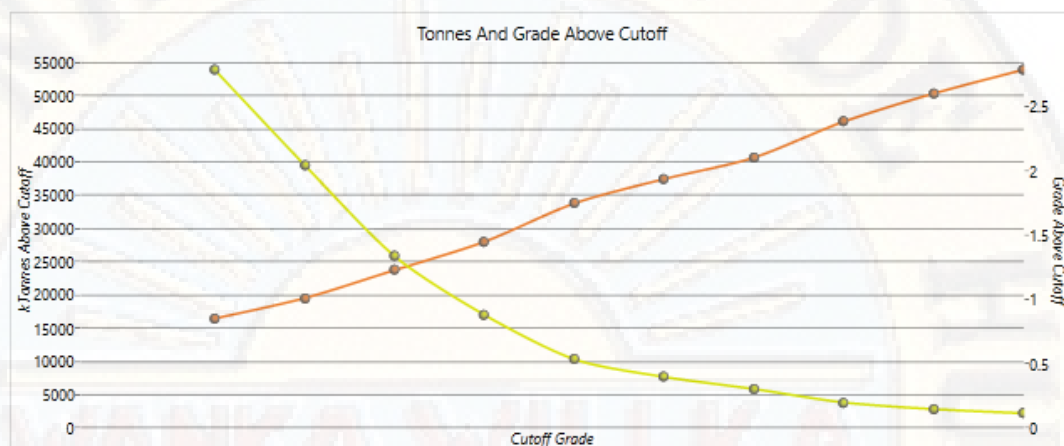
Scenario

Analysis : Calculate Confidence ▼

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

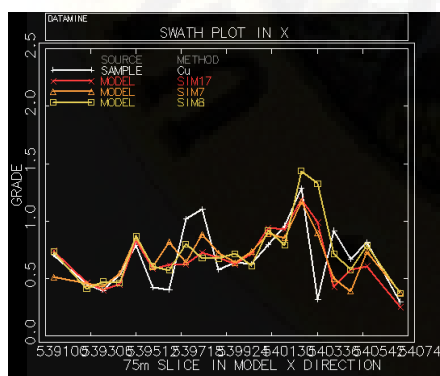
Total Models: ETypes and Percentiles



▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.869	53663	0.84
0.5	0.637	39366	1.00
0.7	0.416	25674	1.22
0.9	0.273	16852	1.44
1.1	0.165	10168	1.74
1.3	0.122	7511	1.93
1.5	0.092	5687	2.09
1.7	0.059	3668	2.37
1.9	0.043	2663	2.59
2.1	0.033	2048	2.78

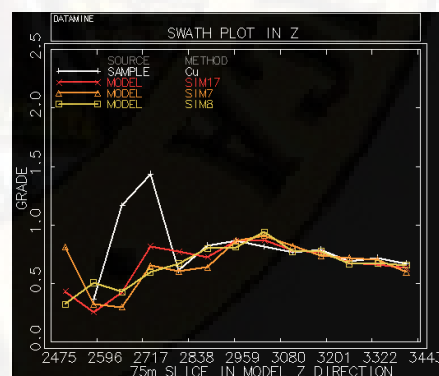
Figura 63. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 64. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 17 y 8

Tabla 8. Discusión de Resultados Dominio Estimación 407

Dominio	Resultados	Comentarios
407	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.761%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3100; donde se puede apreciar el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM7. Este dominio representa la Brecha de Latita Porfirítica, uno de los eventos donde se tiene leyes considerables de Cobre que llegan hasta 4%Cu, valores aleatorios.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.77%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM7, SIM17, SIM8 $\approx$ 0.76%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple con la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30%Cu por ejemplo se tiene 53,663KToneladas, así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo.
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y, comportamiento propio de las brechas donde las ocurrencias de estos datos son propios por la naturaleza de la roca como se muestra en los escenarios SIM7, SIM17 y SIM8.

5.9.Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 408

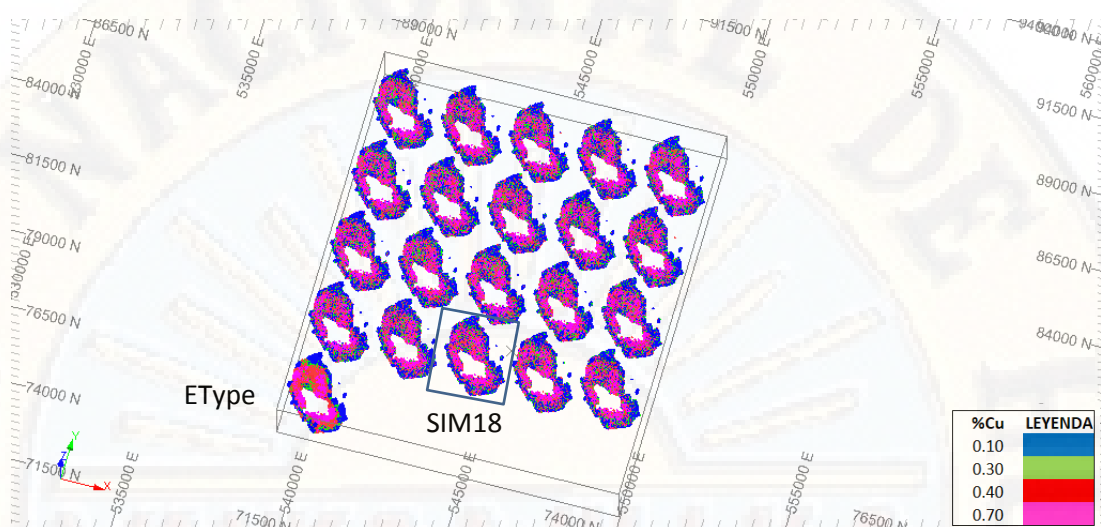


Figura 65. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.459% Cu)

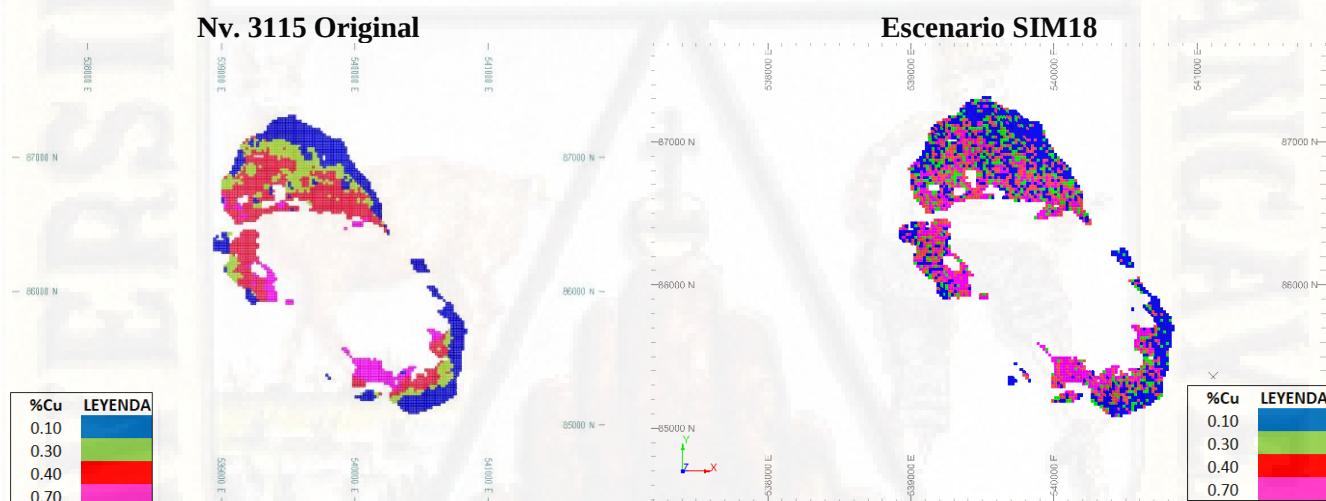


Figura 66. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

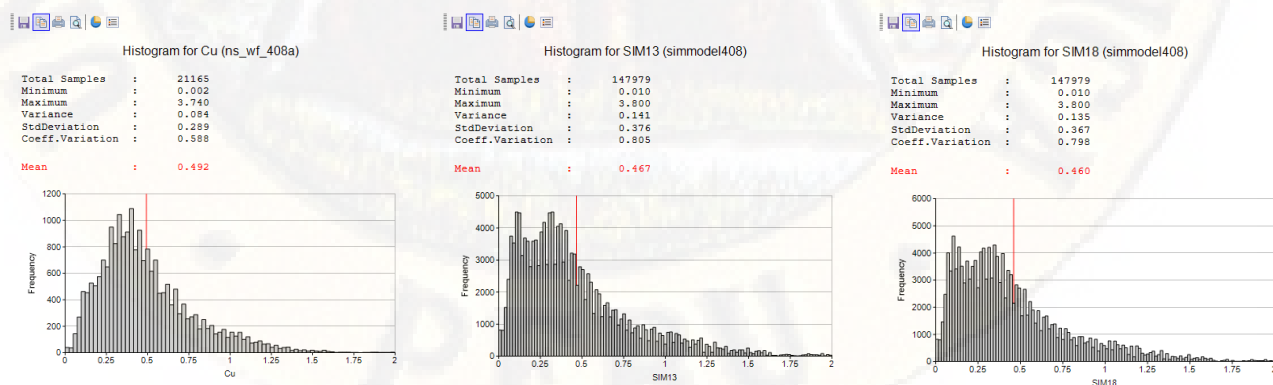


Figura 67. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM13 y SIM18)

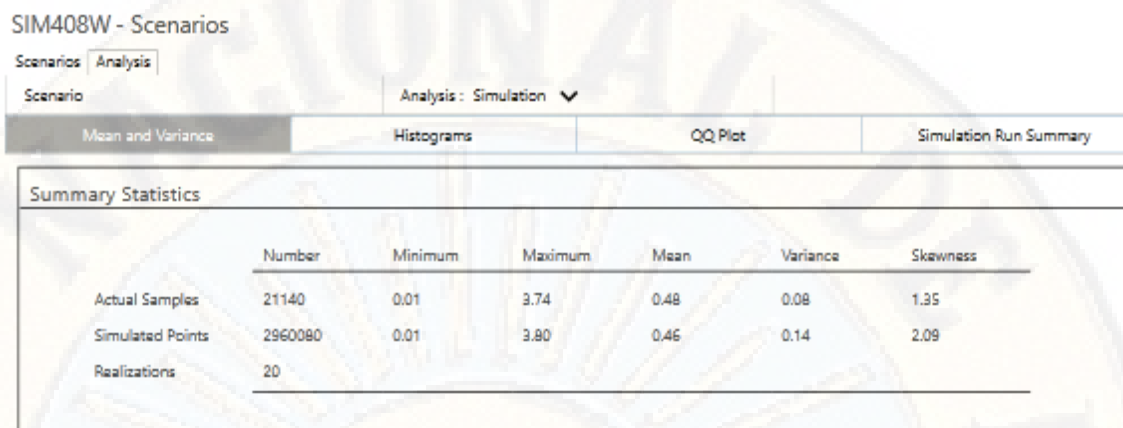


Figura 68. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 69. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

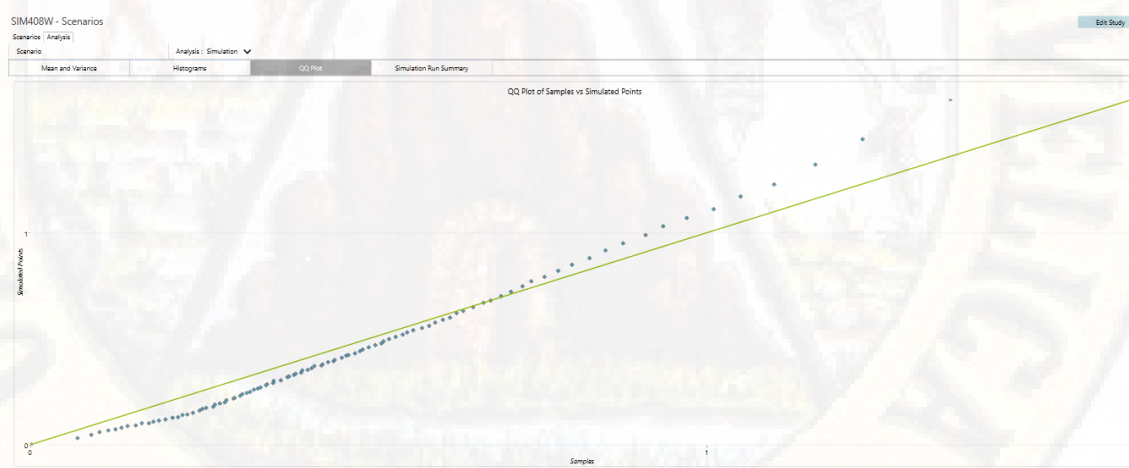


Figura 70. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

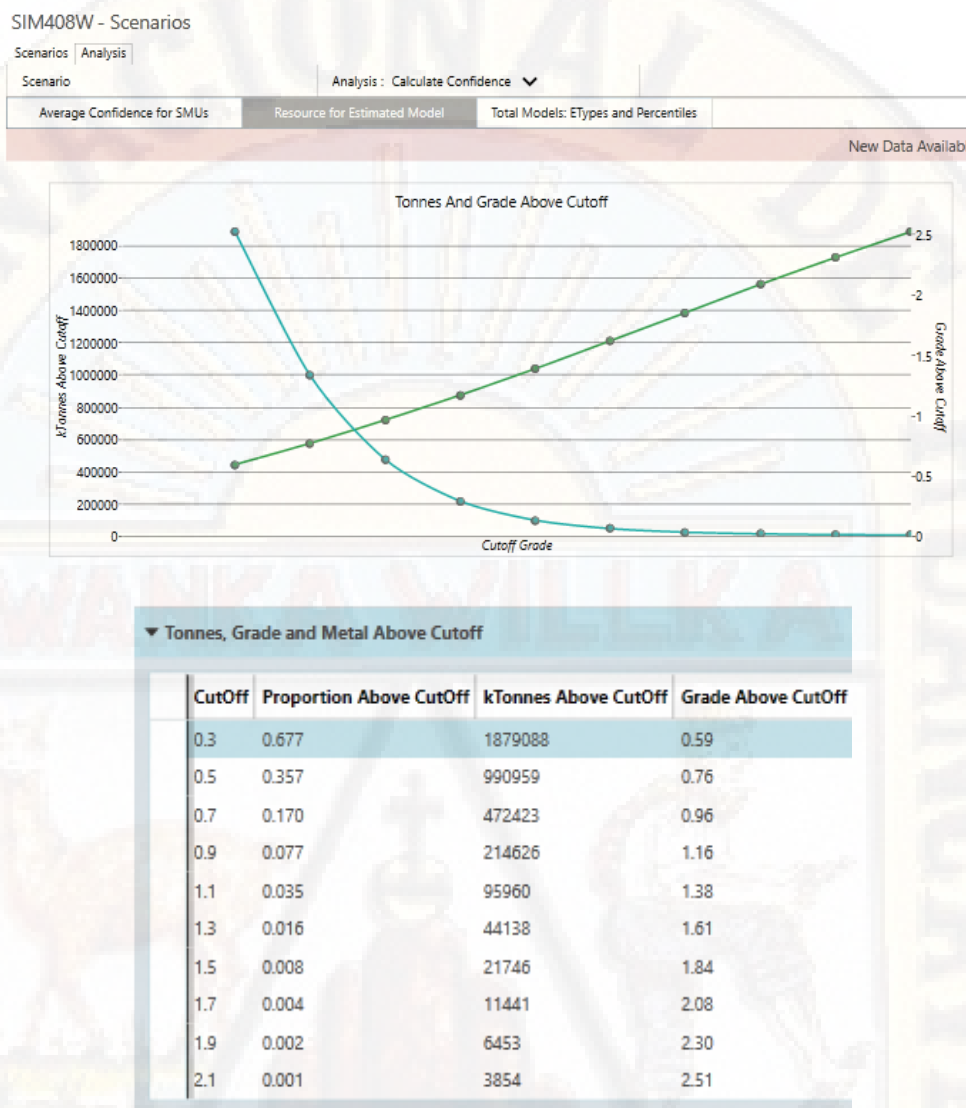


Figura 71. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off

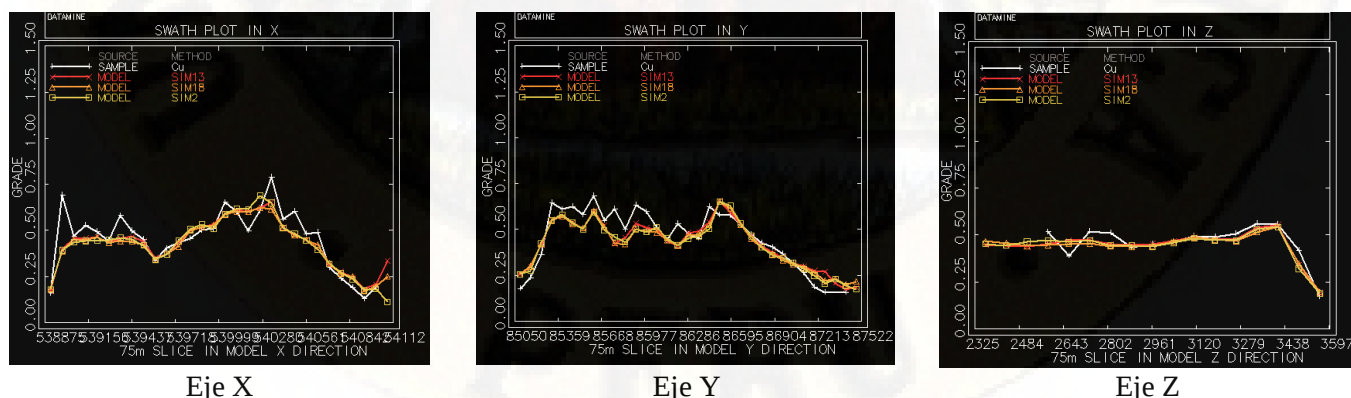


Figura 72. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 13, 18 y 2

Tabla 9. Discusión de Resultados Dominio Estimación 408

Dominio	Resultados	Comentarios
408	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.459%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; donde se puede apreciar la distribución de los bloques guardando cierta semejanza como por ejemplo el escenario SIM13. Estos escenarios representan la roca que alberga la mineralización o roca caja de la Mina Cuajone (andesita basáltica).
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.49%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM13, SIM18, SIM2 $\approx$ 0.46%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan ligera similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 1'879,088KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo.
	Swath Plot	Se denota alta variabilidad de los datos en el eje X e Y (Este y Norte), ocurrencia de leyes y/o familias esporádicas, límites de contacto con materiales de alta y baja ley con respecto a los escenarios SIM13, SIM18 y SIM2.

5.10. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 409



Figura 73. Representación de los 20 escenarios

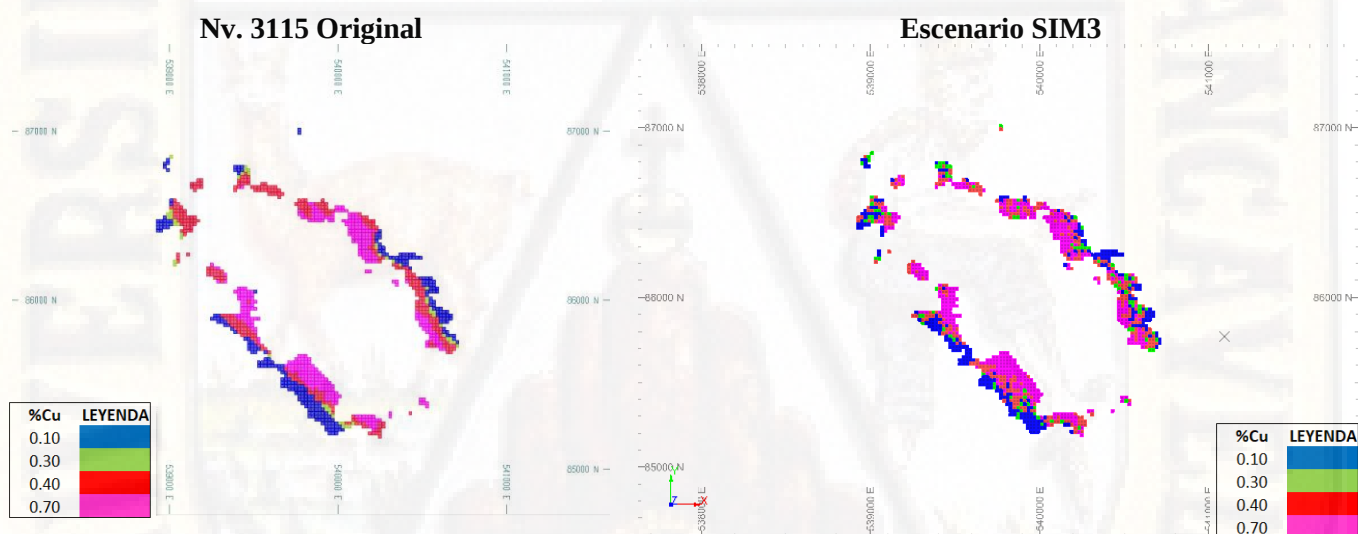


Figura 74. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

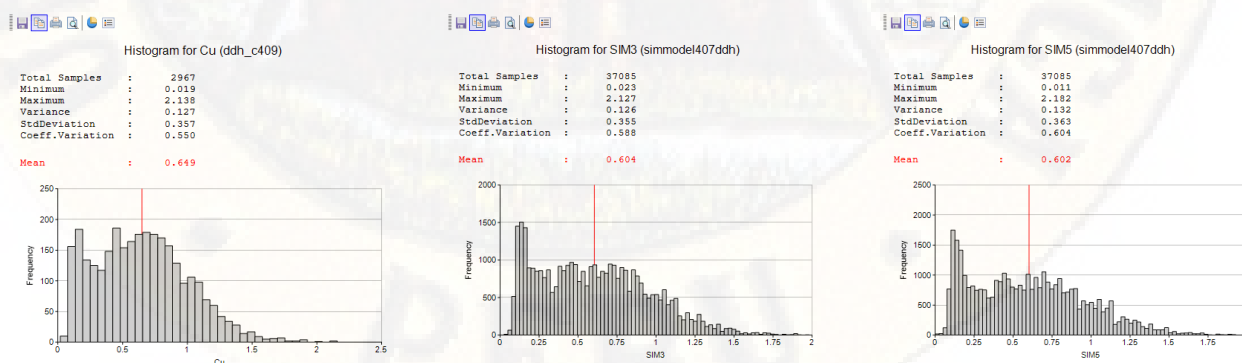


Figura 75. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM3 y SIM18)

SIM_IA - Scenarios

Scenarios | Analysis

Scenario

Analysis : Simulation ▼

Mean and Variance

Histograms

QQ Plot

Simulation Run Summary

Summary Statistics

	Number	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Skewness
Actual Samples	2967	0.02	2.14	0.65	0.13	0.48
Simulated Points	742920	0.01	2.19	0.61	0.13	0.48
Realizations	20					

Figura 76. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total

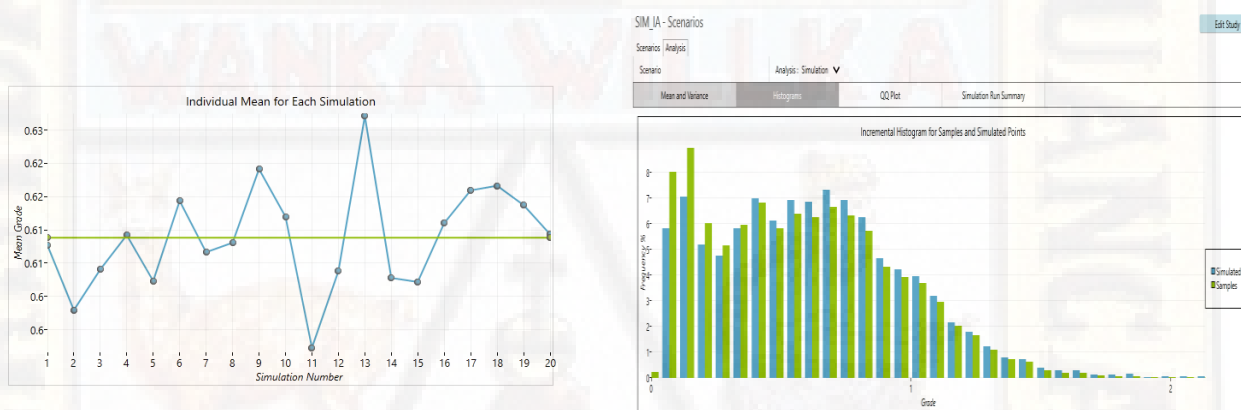


Figura 77. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

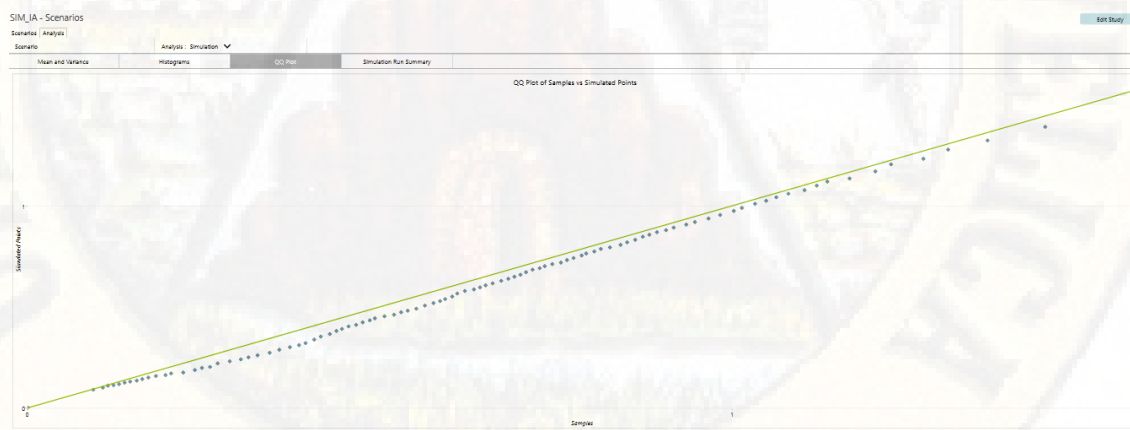


Figura 78. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM_IA - Scenarios

Scenarios Analysis

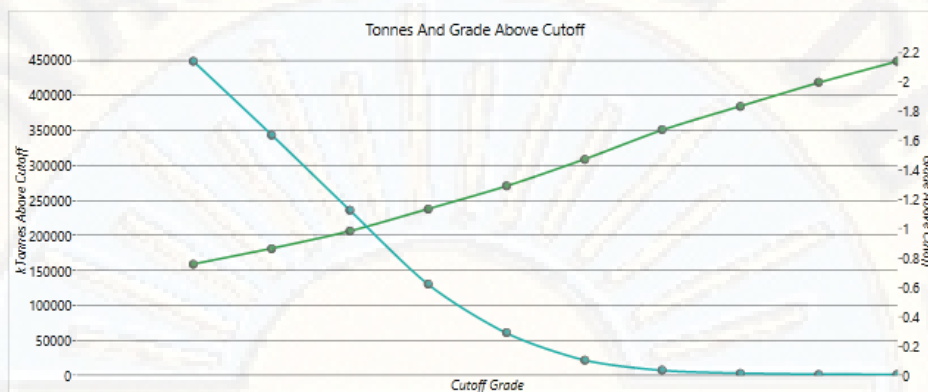
Scenario

Analysis: Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

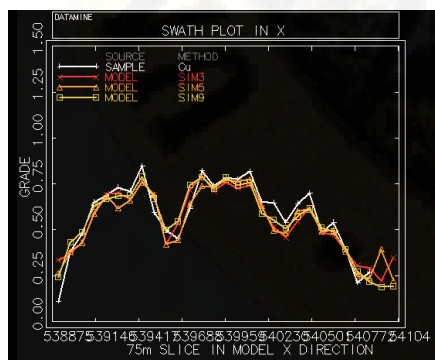
Total Models: ETypes and Percentiles



▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.751	446851	0.75
0.5	0.575	341977	0.86
0.7	0.394	234444	0.98
0.9	0.216	128706	1.13
1.1	0.100	59322	1.28
1.3	0.035	20556	1.46
1.5	0.010	5807	1.66
1.7	0.003	1855	1.83
1.9	0.001	506	1.99
2.1	0.000	104	2.13

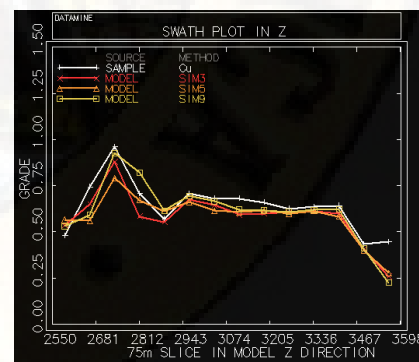
Figura 79. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 80. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 3, 5 y 9

Tabla 10. Discusión de Resultados Dominio Estimación 409

Dominio	Resultados	Comentarios
409	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Luego de diversas pruebas en este dominio no se pudo obtener resultados con el proceso de Simulación Condicional, al hacer las consultas con personal experto requiere hacer un estudio detallado. Por temas de investigación se decidió evaluar toda la información con la data original para tener una perspectiva del comportamiento de los datos Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3115; los resultados muestran el grado de correspondencia según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM3. Estos escenarios representan la variabilidad de los resultados de Cobre que se tienen en este dominio denominado Andesita Intrusiva, formada por presión y temperatura de la Andesita Basáltica (408).
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos multimodal, asociación de varios datos con leyes moderadas, altas, el valor de la media de la data original (0.65%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM3, SIM5, SIM9 $\approx$ 0.60%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Las distribuciones de las muestras guardan similitud a lo largo de la línea de 45° con respecto a la distribución de la simulación, cumple con la hipótesis de similitud.
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 446, 851KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota ligera variabilidad de los datos en el eje Y, respecto a los escenarios SIM3, SIM5 y SIM9.

5.11. Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 410

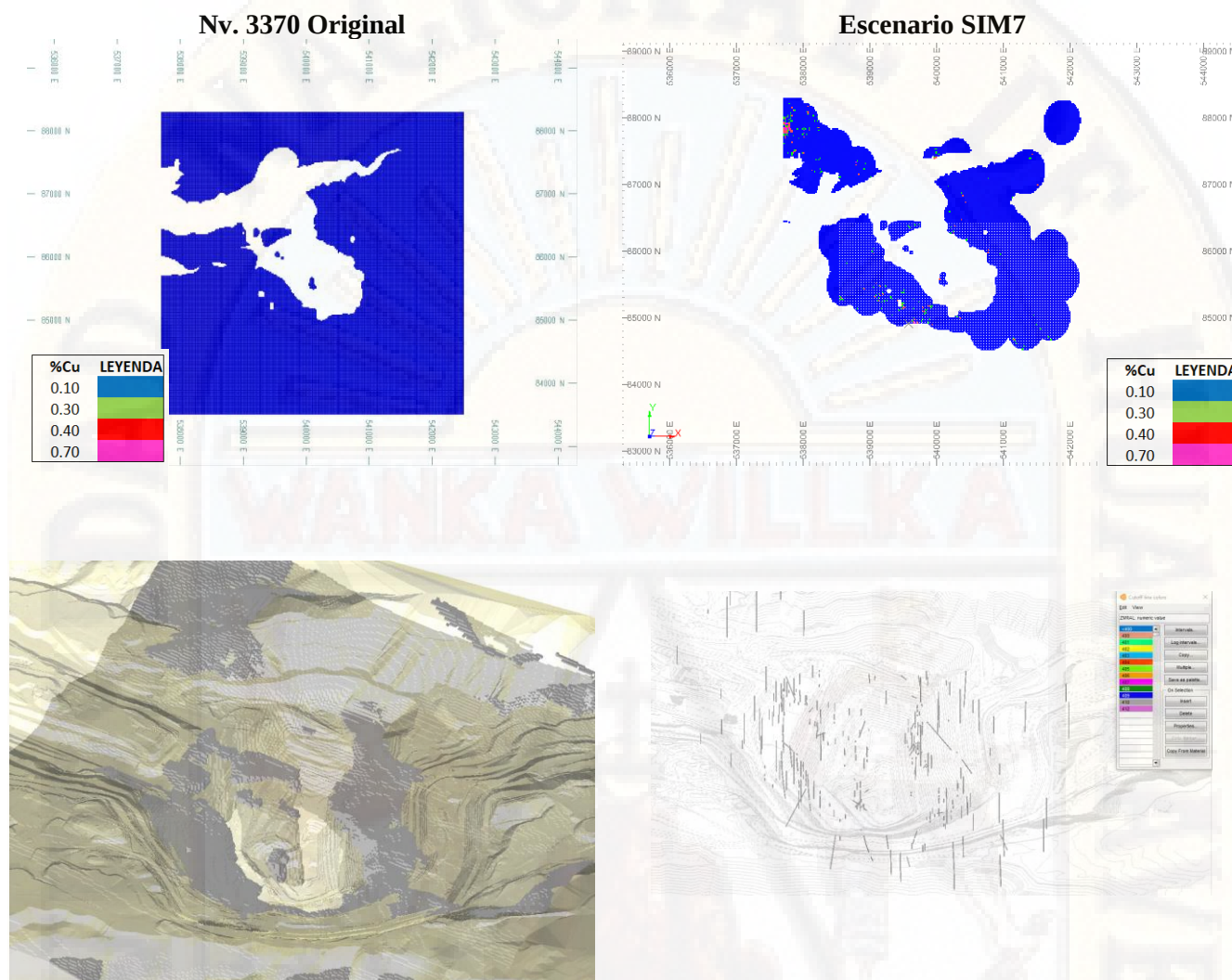


Figura 81. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

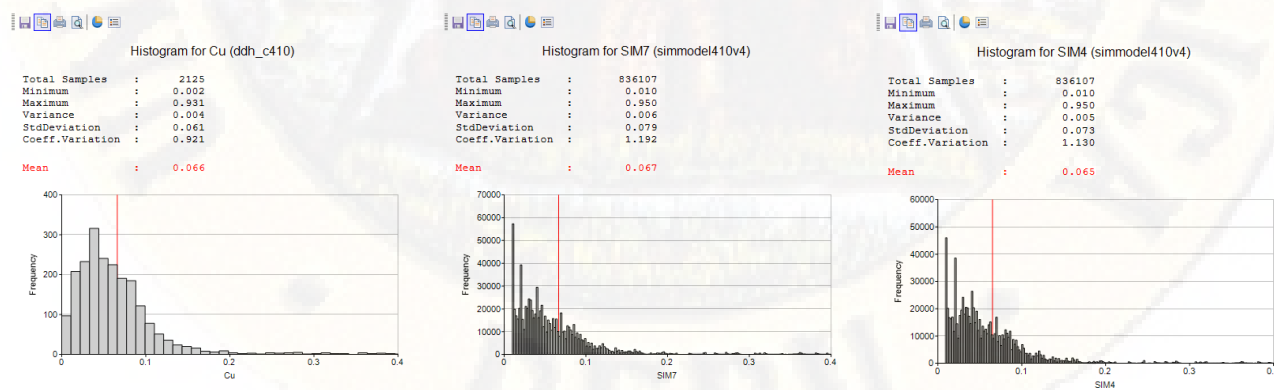
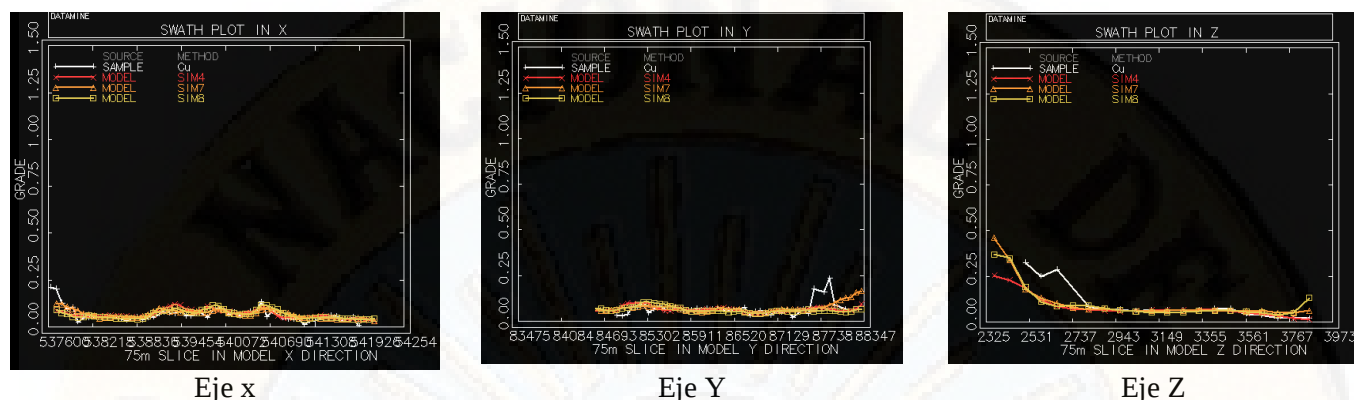


Figura 82. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM7 y SIM4)



Eje x

Eje Y

Eje Z

Figura 83. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 7, 4 y 8

Tabla 11. Discusión de Resultados Dominio Estimación 410

Dominio	Resultados	Comentarios
410	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Al igual que el caso anterior se decidió trabajar con la data original con todos los datos disponibles. Para poder hacer comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3370; donde se puede apreciar cierto grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM7. Este escenario representa a la zona estéril o desmonte que se encuentra en gran proporción en la zona de estudio.
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución de datos a la derecha con sesgo positivo, el valor de la media de la data original (0.066%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM7, SIM4, SIM8 $\approx 0.066\%Cu$).
	Gráfica de Q-Q Plot	Este gráfico no se obtuvo
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 156,717KToneladas así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota baja variabilidad de datos, respecto a los escenarios SIM7, SIM4 y SIM8

Resultados Simulación Condicional Dominio de Estimación 412

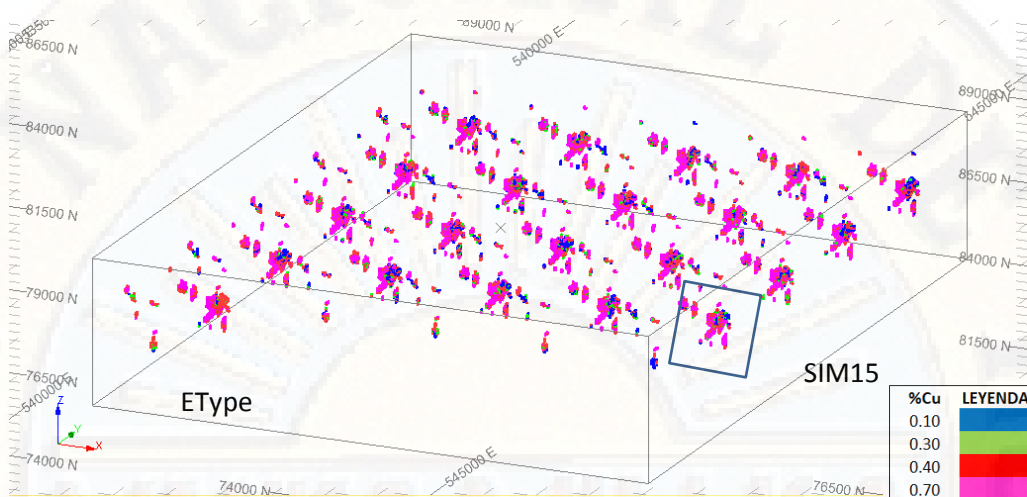


Figura 84. Representación de los 20 escenarios con la variable EType (0.682% Cu)

Nv. 3220 Original

Escenario SIM15



Figura 85. Comparación Modelo de Largo Plazo vs. Escenario Simulación Condicional

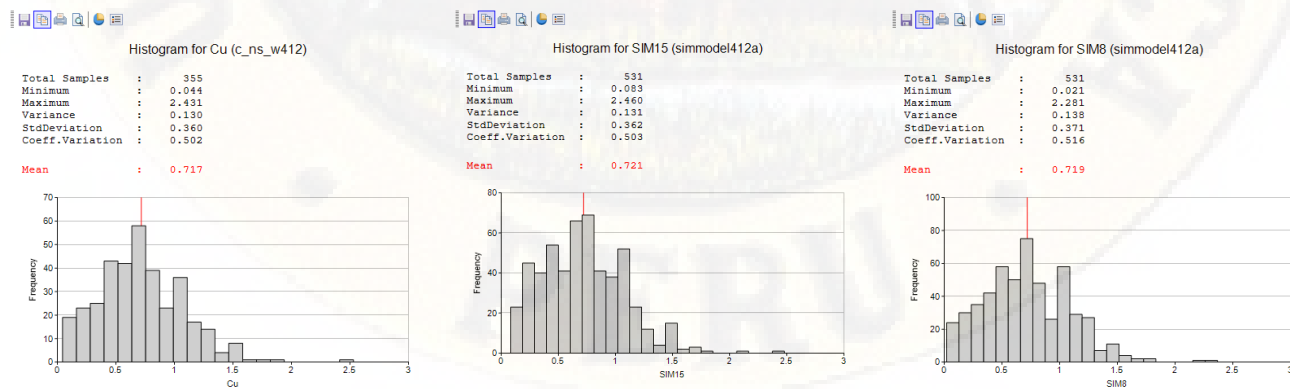


Figura 86. Comparación Histogramas Original (izquierda) vs escenarios Simulación Condicional (SIM15 y SIM8)

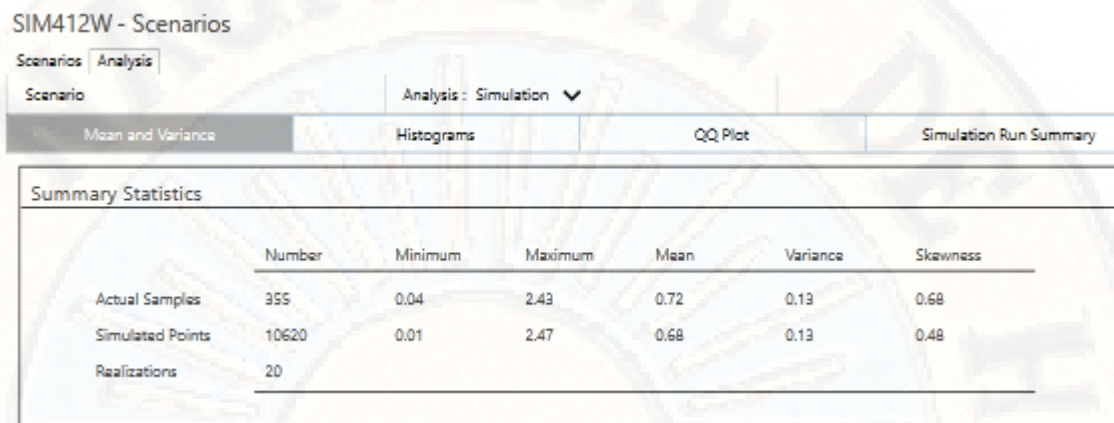


Figura 87. Resumen Estadística de las muestras y simulaciones en total



Figura 88. Media de las 20 Simulaciones e Histograma Incremental muestras y simulaciones

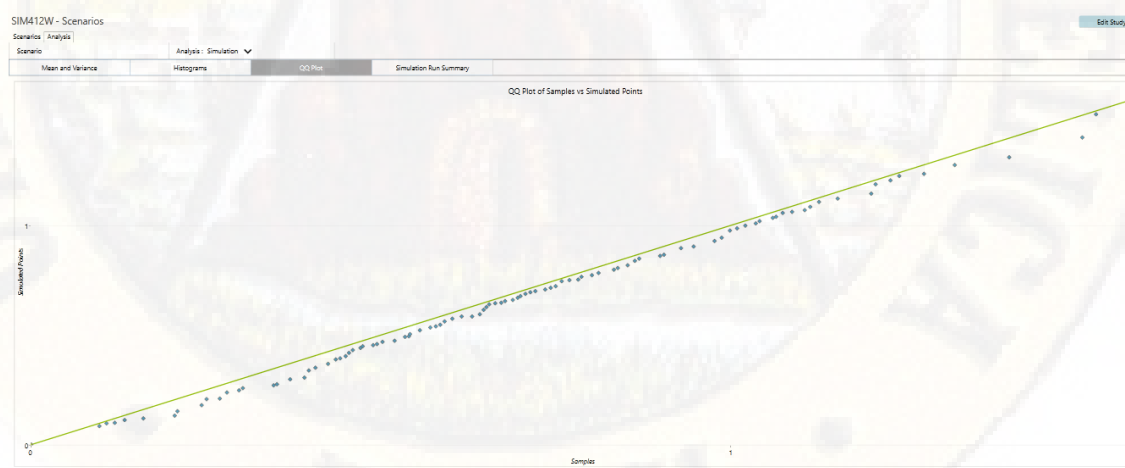


Figura 89. Gráfica de Q-Q Plot muestras vs simulaciones

SIM412W - Scenarios

Scenarios Analysis

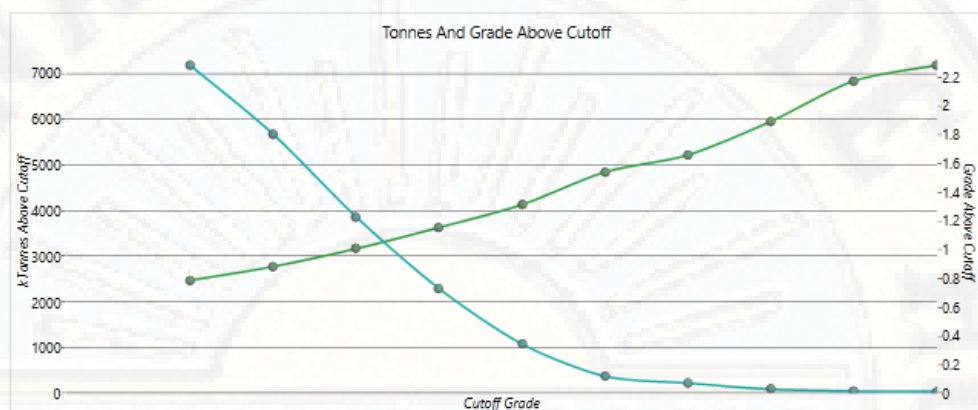
Scenario

Analysis : Calculate Confidence

Average Confidence for SMUs

Resource for Estimated Model

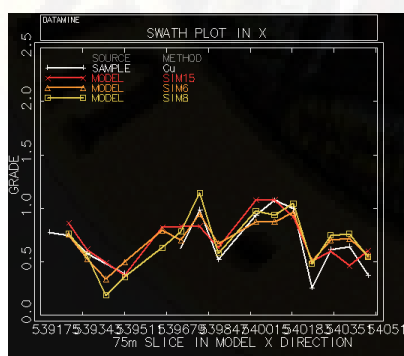
Total Models: ETypes and Percentiles



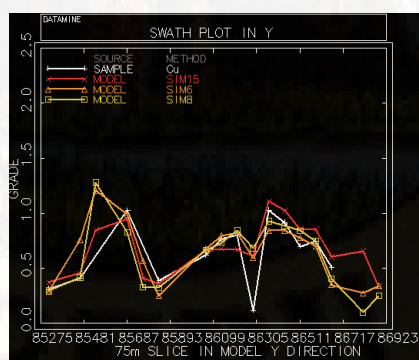
▼ Tonnes, Grade and Metal Above Cutoff

CutOff	Proportion Above CutOff	kTonnes Above CutOff	Grade Above CutOff
0.3	0.839	7150	0.78
0.5	0.663	5649	0.87
0.7	0.450	3838	1.00
0.9	0.266	2268	1.15
1.1	0.124	1055	1.30
1.3	0.041	349	1.53
1.5	0.023	197	1.65
1.7	0.007	63	1.88
1.9	0.002	20	2.17
2.1	0.001	12	2.27

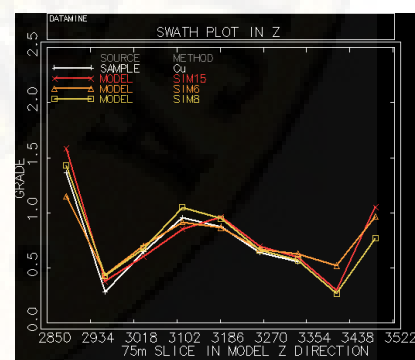
Figura 90. Curva Tonelaje Ley y resumen de datos por Ley de Corte o Cut Off



Eje X



Eje Y



Eje Z

Figura 91. Gráficas de Swath Plot en los ejes X/Y y Z al comparar las muestras vs los resultados de las simulaciones 15, 8 y 6

Tabla 12. Discusión de Resultados Dominio Estimación 412

Dominio	Resultados	Comentarios
412	Representación y elección de Escenarios cercanos tomando como referencia el Modelo de Largo Plazo que cuenta Mina Cuajone	Se obtuvieron 20 escenarios, donde además se contempla la variable EType (0.682%Cu) que representa la ley bloque a bloque. Para poder hacer las comparaciones se eligió un nivel representativo de este dominio por ejemplo Nv. 3220; donde se puede apreciar el grado de similitud según la distribución de los bloques que existe con el escenario SIM15. Este escenario por temas de investigación se decidió incluir, pertenecía en un principio como parte del dominio 409; tiene leyes apreciables de Cobre para poderlas evaluar
	Histogramas, distribución de medias o valores ponderados	Los sets de histogramas de las Simulaciones representan una distribución multimodal (varias familias de datos), el valor de la media de la data original (0.72%Cu) la cual es un validador para compararlo con la de las simulaciones más cercanas (SIM15, SIM8, SIM6 $\approx$ 0.71%Cu).
	Gráfica de Q-Q Plot	Los datos de las muestras y los datos simulados tienen la misma distribución y eso se refleja porque más de la mitad de ellos cae en la línea de 45°
	Curva Tonelaje Ley	En función al Cut Off de 0.30% Cu se tiene 7,150KToneladas por ejemplo así como para diferentes leyes de corte con su tonelaje respectivo
	Swath Plot	Se denota variabilidad de los datos en los tres ejes, respecto a los escenarios SIM15, SIM8 y SIM6, comportamiento propio de las brechas donde se da la ocurrencia de valores anómalos que influyen en el análisis estadística y tratamiento de datos para cualquier proceso.

6. Discusión de Resultados

Según los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos específicos planteados durante todo el proceso para llegar a la Simulación Condicional Gaussiana, las diferentes gráficas muestran la variabilidad y/o complejidad del emplazamiento de los valores de Cobre según cada Dominio de Estimación de Recursos, se consideran los valores como tal con o sin valores anómalos; estos datos influyen en el resultado de posición y dispersión de la información que contempla la zona de estudio.

En el proceso de Análisis Exploratorio de Datos se ha indicado los valores altos y bajos de cobre según el dominio de estimación el cual influye en la estadística inicial representado en las gráficas por muestra o assay y regularizadas o compositas según la altura de los bancos de minado. En las gráficas de Box Plot han sido representados los estadígrafos de posición, así como la continuidad y presencia de valores anómalos en las gráficas de probabilidad acumulativa. La distribución de los datos plasmados en los histogramas denota asimetría hacia la derecha y sesgo positivo. Estos datos deben ser reorganizados para comenzar con la simulación condicional gaussiana.

Los datos por dominio son transformados al espacio gaussiano con media cero y varianza uno, la variable NSCORE servirá para la confección de los variogramas; los cuales han sido modelados con tres estructuras y validados. Esto ha permitido obtener los alcances y volúmenes de búsqueda para empezar en la plataforma de Summit DataMine el proceso de las veinte realizaciones por cada dominio de estimación. Dentro de este contexto se obtuvo el modelo de bloques con valores de cobre y la variable EType, que a su vez se comparó con el modelo de Estimación según un banco de referencia. En los casos mostrados se muestra la variabilidad de las leyes reales simuladas vs las estimadas.

Ahora la elección del mejor escenario dentro de las veinte realizaciones obtenidas al aplicar la Simulación Condicional Gaussiana, fue hecho con el criterio de comparar el histograma con data real y con peso vs los histogramas que tuviesen el mismo comportamiento en el valor de la media y distribución de los datos. La comparación realizada por cada dominio de estimación permitió representar y

comprobar las leyes reales en el caso del modelo simulado en conjunto con el modelo de bloques de Largo Plazo que se tiene actualmente; esta última muestra las leyes suavizadas o promediadas dentro de un solo escenario. Las gráficas que a la vez dan soporte a las realizaciones obtenidas denotan los valores donde fluctúan las medias de las leyes de cobre reproducidas, así como el grado de correspondencia de información según la población de datos a trabajar en las gráficas de Q-Q Plot. Por otro lado, de acuerdo a las leyes de corte se tiene cuantificado los recursos según tonelaje ley por cada dominio de estimación. Además, en las gráficas de Swath Plot cuyo objetivo es evaluar el comportamiento de los valores obtenidos en los tres ejes (norte, este y profundidad) así como deducir si se subestima o sobreestima los valores de cobre según el valor real de este analito

De acuerdo a los cuadros presentados por cada dominio de estimación según los resultados obtenidos, las gráficas obtenidas denotan los recursos presentes según la ley de corte expresado en las gráficas de Curva Tonelaje Ley; evaluado por el método de Simulación Condicional. Así como la comparación de los histogramas con la data real. Este proceso se ha aplicado en el estudio según los antecedentes en un depósito exótico en el país del sur para el modelamiento de recursos. Al igual en la caracterización de recursos y control de leyes en Australia aplicando un conjunto de herramientas geoestadísticas evaluando criterios para obtener imágenes características del depósito como son los modelos o escenarios creados por el uso de la Simulación Condicional Gaussiana, esta técnica asume los datos tal cual se presentan en la naturaleza por ello el término condicional.

7. Proceso de prueba de hipótesis

Por medio de la Simulación Condicional Gaussiana se ha podido representar la variabilidad y naturaleza en sí de las leyes de cobre por cada dominio de estimación dentro de las veinte realizaciones obtenidas y escogiendo el mejor escenario al comparar el valor de la media de los histogramas de la data real y con peso vs el o los histogramas que tuviesen el comportamiento más cercano a lo real. Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se ha denotado que al tener un modelo obtenido con Estimación las leyes de cobre están suavizadas o promediadas

pero al comparar con el modelo Simulado según la elección del mejor escenario dentro de un banco representativo por cada dominio de estimación; se observa los verdaderos valores de cobre tal cual se presentan en la naturaleza y registrados en la Base de Datos de las Campañas de Perforación de la Mina Cuajone entre el periodo de 1942 al 2017.

La Simulación Condicional Gaussiana permitió representar la mineralización de la Mina Cuajone con valores anómalos o sin ellos por ello el término condicional, las gráficas estadísticas y multivariadas (Q-Q Plot, Curva Tonelaje Ley y Swath Plot) han permitido evaluar el comportamiento de la población de datos, el registro cuantificado de los recursos presentes en la zona de estudio según la ley de corte establecida, además de la distribución de los datos simulados en direcciones norte, este y profundidad.

Con esta técnica se pueden tener diversas realizaciones o escenarios dependiendo de la cantidad de datos a procesar según el software minero a utilizar. Cabe resaltar que los datos dependen de la conformación de los dominios de estimación, que para nuestro caso se basó en la fusión de unidades litológicas como también agrupadas por zonas de mineralización.

Finalmente, al tener diversas realizaciones o escenarios por medio de la Simulación Condicional Gaussiana; servirá para poder planificar el diseño y extracción de los recursos presentes en la Mina Cuajone, sin afectar su flujo de caja, como también evaluar zonas de riesgo e incertidumbre.

CONCLUSIONES

1. El análisis exploratorio de datos se realizó para cada Dominio de Estimación de Recursos de la Mina Cuajone, donde se muestra la variabilidad y complejidad de las muestras de Cobre que se han obtenido a lo largo del proceso de evaluación de la información propias de las Campañas de Perforación. Para el caso del dominio 401 al 403 la distribución de datos denota valores anómalos que influyen en los estadígrafos de posición, por otro lado, según la naturaleza del dominio 407 que representa a una brecha tiene altas concentraciones de Cobre; la mayor cantidad de datos se tienen en los dominios 404, 408, 409, 410 y 403 con leyes apreciables de Cobre según el reporte de compósitos, curva de probabilidad acumulada y Box Plot.
2. El aporte principal al aplicar la técnica de Simulación Condicional, ha permitido evaluar y reproducir la distribución de los datos originales para los dominios 400, 401, 405, 406, 407, 412; con un grado de variabilidad menor o aproximado a lo real. Para el caso de los dominios 402, 403, 404 y 408; se tiene variabilidad de resultados dentro de un rango de datos esperados. Los gráficos validadores muestran distribución y valores anómalos que distorsionan los datos. Estos datos existen y se asumen dentro de la Simulación Condicional por regla por ello el término “condicional”. Para el caso del dominio 409 y 410, como se mencionó se trabajó con la data original para evaluar en el proceso de Simulación Condicional, donde se obtuvo valores cercanos a la ley promedio original, la naturaleza de este dominio contiene valores apreciables de Cobre.
3. En cada Dominio de Recursos se obtuvo escenarios cercanos a la ley original, la distribución de datos con los histogramas presentados de todos los escenarios obtenidos lo respaldan, al igual las gráficas de Q-Q Plot y Swath Plot muestran correspondencia de los datos originales y simulados con su comportamiento propio de cada unidad de estudio. Las gráficas de Curva Tonelaje Ley igual denotan las cantidades de mineral según los cortes de ley respectivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho, R. &. (2000). Simulación Condicional Aplicado a la Clasificación de Recursos Mineros. *Infomina 2000*, 2-4.
- Castañó Agudelo, A. F., & Vergara Elorza, F. (2004). Simulación Geoestadística aplicado al Modelamiento de Yacimiento de Petróleo, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Medellín, Colombia.
- Cleveland, W. (1994). *The Element de Graphing Data*. Hobart Press ISBN 0-9634884-1-4.
- CODELCO Gerencia de Recursos Humanos. (2016). *Metodología de Clasificación de Recursos y Reservas*. Chile.
- Cortés, A. (2015). Conceptos Relevantes. *Simulación Condicional BSGrupo Diap*. 3-4. Lima, Lima, Perú: Artículo.
- Cuajone, M. (2017). *Informe de Recursos a Julio 2017*. Moquegua.
- DataMine. (s.f.). *Simulación Condicional para la Modelización de Recursos Minerales*. Lima.
- Deraisme, J. (2001). *Geostatistical Interpolation of Rainfall in Mountainous Areas*. Argonne: L'Université Louise Pasteure - France.
- Elissetche Correa, P. N., & Emery, X. (Setiembre de 2010). Modelamiento de Recursos de un Yacimiento Exótico. Santiago de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Emery, X. (2007). *Apuntes de Geostadística*. Santiago: Universidad de Chile.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford: Oxford University Press on Demand.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1988). *Manual de Evaluación Técnico-Económica de Proyectos Mineros de Inversión*. España: Publicación.
- Khosrowshahi, S., & Shaw, W. (2001). Conditional Simulation for Resource Characterisation and Grade Control - Principles and Practice. *Mineral Resource and Ore Reserve Estiamtion - The AusIMM Guide to Good Practice*. Victoria, Victoria, Australia.

- Marín Suárez, A., & Mendoza Ayala, I. (2012). La Geoestadística en América una aplicación reciente del Centro Estadístico Peruano SIPLAMIN 2012. *Simulación Condicional Proyecto Minero El Porvenir - Milpo*. Lima, Lima, Perú.
- Modelamiento, D. G. (2012). *Informe Anual de Recursos Mina Cuajone*. Moquegua.
- Olea, P., & Journel, Huijbregts. (1996). *Application of Geoestatistical Simulation in the Characterization of Complex Structures*. Athens: National Technical University of Athens.
- Osorio, J. (2015). *Comparación entre métodos de estimación de recursos mineros empleando Métodos Tradicionales y Geoestadísticos en la Planeación MINera de Placeres*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas Medellín.
- Retto Magallanes, O., & Saenz Rivera, F. (Mayo de 2013). Espaciamiento Óptimo de Taladros aplicando Simulación Condicional Mina Tantahuatay. Lima, Lima, Perú.
- Santiago, U. d. (Setiembre de 2017). Desagrupamiento de Datos. *Evaluación de Yacimientos*, 5. Santiago, Chile.
- Soriano Medina, E. (Julio de 2018). Simulación Condicional. *Método Simulación Multigaussiano*. Publicaciones Advertissments.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2013). *Evaluación de Yacimientos Minerales*. México.
- Vulcan, M. . (2018). Kriging Neighbourhood Analysis. *Nuevos productos*. Chile.