

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



**“ESTIMACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA
EN EL PROYECTO COROCCOHUAYCO - TINTAYA -
CUSCO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR
PABLO CESAR CUEVA RODRIGUEZ**

**ASESOR
ING. JORGE HUMBERTO PAREDES ANGELES**

**LIMA - PERU
2014**

DEDICATORIA

A mis padres Lucina y Marcelo, por todos los años de esfuerzo inigualable, sacrificio y dedicación que han puesto en mi formación como persona y profesional. A mis hermanos y tíos por creer en mí, por estar siempre conmigo.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores universitarios, gracias por las enseñanzas y por sus consejos de vida, que me guiaron durante los años de estudios y que de manera directa afectaron a mi desarrollo personal y profesional.

RESUMEN

El objetivo de este estudio, es evaluar y clasificar de manera más precisa la calidad del material a minar y un parámetro importante es la Gravedad Específica, por lo cual la importancia de conocer la mejor distribución de la Gravedad Específica en el modelo de bloques del proyecto Coroccohuayco.

El proyecto Coroccohuayco tiene una geología compleja y tiene gran variabilidad de los valores en Gravedad Específica en los respectivos dominios de estimación.

Este estudio se realizó usando información de muestras de testigos de perforación, se revisó y modifico el muestreo sistemático de la determinación de la Gravedad Específica por cada dominio de estimación (se consideró la litología, alteración y mineralización), los métodos de determinación de la Gravedad Específica (método Jolly y Parafinas) y el aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).

Para realizar la etapa de estimación de la Gravedad Específica, se contó con una base de datos y modelo litológico, validados respectivamente. Se realizó un análisis de datos (EDA), para conocer la distribución y comportamiento de la Gravedad Específica, que es controlada principalmente por la litología del yacimiento, y en forma secundaria la alteración y mineralización. Con los resultados del EDA, se definió los dominios de estimación, que se usaron en este estudio.

Se realizó el análisis y modelamiento variografico, (se usó correlogramas) para cada uno de los dominios de estimación. Este proceso se realizó mediante el uso del software Supervisor V8.1.

También se definió los tipos de interpoladores que se usó para cada dominio de estimación (inverso a la distancia y kriging ordinario), se usó el software Minesight.

Los tipos de validaciones usados fueron validación visual, corrección volumen, varianza y gráficos de deriva.

Con los resultados obtenidos, se conoce la correcta distribución de la Gravedad Específica en el modelo de bloques del proyecto Coroccohuayco por cada dominio de estimación.

Los valores de la Gravedad Específica por bloques, producto de la estimación, ayuda a que los modelos geometalúrgicos, que considera parámetros principales como roca, tonelaje, ley y dureza sean más confiables, ya que la Gravedad Específica es un parámetro importante para la geometalurgia.

Los valores de tonelaje que se obtienen de los diferentes tipos de materiales a minar, son más cercanos a la real, por ende el reporte de estimación de recursos en tonelaje - ley y el reporte del valor de Cu fino que se emitirán serán más reales y confiables. Esta estimación de la Gravedad Específica ayuda a la Oficina de Planeamiento, a tener resultados más cercanos a la realidad en las diferentes etapas de planificación del proyecto Coroccohuayco.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate and classify more accurately the quality of material and undermine an important parameter is the Specific Gravity, so the importance of knowing the best distribution of Specific Gravity in the block model project Coroccohuayco.

The Coroccohuayco project has a complex geology and has great variability in Specific Gravity values in the respective domains of estimation.

This study was conducted using data from samples of drill core, was revised and modified the systematic sampling of determining the Specific Gravity for domain estimation (considered lithology, alteration and mineralization), methods of determination of Gravity Specific (Jolly and Paraffin method) assurance and quality control (QA / QC).

To perform the step of estimating the Specific Gravity is included a database and lithology model, validated respectively. Data analysis (EDA) was performed to determine the distribution and behavior of Specific Gravity, which is mainly, controlled by the lithology of the reservoir, secondarily alteration and mineralization. With the results of EDA estimation domains, which were used in this study was defined.

Variographic analysis and modeling was performed (correlogramas was used) for each of the domains of estimation. This process is performed by using the Supervisor V8.1 software.

Types of interpolators which was used for each estimation domain (inverse distance and ordinary kriging), the software was used Minesight was also defined. The types of variance were used validations visual validation, correction and graphics drift volume.

With the results obtained, the correct distribution of the Specific Gravity of the block model for each domain, Coroccohuayco project estimation is known.

The values of the Specific Gravity of blocks, product estimation, helps geometallurgical models that considered key parameters as rock, tonnage, grade and hardness more reliable as the Specific Gravity is an important parameter for geometallurgy.

Tonnage values obtained from the different types of material to mine are closer to the real, thus reporting tonnage resource estimate - law and report the value of refined copper to be issued will be more real and reliable. This estimate of the Specific Gravity assists the Office of Planning to be closer to reality at different stages of project planning Coroccohuayco results.

INDICE

INTRODUCCION	16
CAPITULO I: GENERALIDADES	18
1.1. Ubicación	18
1.2. Objetivos	20
CAPITULO II: GEOLOGIA REGIONAL	21
2.1. Estratigrafía	24
2.2. Batolito Andahuaylas – Yauri	27
2.3. Marco Estructural	28
2.4. Alteración – Mineralización	29
CAPITULO III: GEOLOGIA LOCAL	30
3.1. Estratigrafía	30
3.2. Fases de Intrusión	31
3.3. Geología Estructural	33
3.4. Alteración	38
3.5. Mineralización	41
CAPITULO IV: METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA	43
4.1. Muestreo sistemático para determinación de la Gravedad Específica	43
4.2. Comparación de métodos de determinación de la Gravedad Específica	44
4.3. Aseguramiento y control de la calidad (QA/QC)	48

CAPITULO V: ESTIMACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA	49	
5.1. Base de datos	49	
5.2. Modelo litológico y validación	51	
5.3. Análisis estadístico de datos (EDA)	54	
5.3.1. Estadística descriptiva	54	
5.3.2. Dominios de estimación	61	
5.3.3. Análisis de contacto	64	
5.4. Análisis y modelamiento de variogramas	64	
5.5. Elaboración del plan de interpolación	75	
5.6. Validación de estimación	80	
5.6.1. Comparación estadística modelo de bloques vs sondajes	81	
5.6.2. Validación visual del modelo de bloques	98	
5.6.3. Gráficos de deriva	98	
5.6.4. Validación por corrección volumen – varianza	105	
CONCLUSIONES	110	
RECOMENDACIONES	112	
BIBLIOGRAFIA	113	
ANEXOS	115	
Anexo I	Procedimientos usados del software Leapfrog Mining	115
Anexo II	Procedimientos usados del software Supervisor 8.1	117
Anexo III	Procedimientos usados del software Minesight 5.5	119
Anexo IV	Reporte de Gravedad Específica por el método Jolly	122
Anexo V	Reporte de Gravedad Específica con Parafina	123
Anexo VI	Cuadro de codificación y de colores de los diferentes dominios de litología	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Ubicación del proyecto Coroccohuayco	18
Figura 1.2.	Vías de acceso al proyecto Coroccohuayco	19
Figura 2.1.	Plano geológico regional de Tintaya	22
Figura 2.2.	Sección del Alto estructural Cusco Puno	23
Figura 2.3.	Columna estratigráfica regional de Tintaya	24
Figura 2.4.	Vista panorámica de Tintaya	26
Figura 2.5.	Evolución magmática del batolito Andahuaylas – Yauri	28
Figura 3.1.	Plano de dominios lito-estructurales de Tintaya	34
Figura 3.2.	Plano de dominios lito-estructurales de Coroccohuayco	36
Figura 4.1.	Materiales para la determinación de la Gravedad Específica (método Jully)	44
Figura 4.2.	Foto de medición de la Gravedad Específica (método Jully)	45
Figura 4.3.	Foto de medición de la Gravedad Específica (con parafina)	47
Figura 5.1.	Gráfico de espaciamiento promedio de sondajes por bancos	49
Figura 5.2.	Plano de distribución de sondajes diamantinos	50
Figura 5.3.	Modelo litológico del proyecto Coroccohuayco	53
Figura 5.4.	Comportamiento estadístico de la Gravedad Específica discriminado por litología	55
Figura 5.5.	Gráfico comparativo de la probabilidad acumulada para la Gravedad Específica discriminada por litología	56
Figura 5.6.	Gráfico comparativo de “box plot” para la Gravedad Específica discriminado por litología	57
Figura 5.7.	Comportamiento estadístico de la Gravedad Específica discriminado por litología	59
Figura 5.8.	Gráfico comparativo de la probabilidad acumulada para la Gravedad Específica discriminado por litología	59
Figura 5.9.	Gráfico comparativo de “box plot” para la Gravedad	

	Específica discriminado por litología	60
Figura 5.10.	Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación exoskarn (71)	61
Figura 5.11.	Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación diorita (51)	62
Figura 5.12.	Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación brecha magmática hidrotermal (78)	62
Figura 5.13.	Grafico comparativo de “box plot” para la Gravedad Específica discriminado por litología	63
Figura 5.14.	Gráfico de los parámetros y planos usados en los correlogramas experimentales	66
Figura 5.15.	Correlogramas para el plano horizontal en el exoskarn (71)	68
Figura 5.16.	Correlogramas para el plano perpendicular al rumbo en el exoskarn (71)	68
Figura 5.17.	Correlogramas para el plano de buzamiento en el exoskarn (71)	69
Figura 5.18.	Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica en el exoskarn (71)	69
Figura 5.19.	Correlogramas para el plano horizontal en la diorita (51)	70
Figura 5.20.	Correlogramas para el plano perpendicular al rumbo en la diorita (51)	71
Figura 5.21.	Correlogramas para el plano de buzamiento en la diorita (51)	71
Figura 5.22.	Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica en la diorita (51)	72
Figura 5.23.	Correlogramas para el plano horizontal en la brecha magmática hidrotermal (78)	73
Figura 5.24.	Correlogramas para el plano perpendicular al rumbo en la brecha magmática hidrotermal (78)	73
Figura 5.25.	Correlogramas para el plano de buzamiento en la	

	brecha magmática hidrotermal (78)	74
Figura 5.26.	Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica en la brecha magmática hidrotermal (78)	74
Figura 5.27.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el exoskarn (71)	82
Figura 5.28.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la diorita (51)	83
Figura 5.29.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el endoskarn en diorita (61)	84
Figura 5.30.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el pórfido monzonítico horbléndico (52)	85
Figura 5.31.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62)	86
Figura 5.32.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el pórfido monzonítico biotítico (54)	87
Figura 5.33.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el mármol (42)	88
Figura 5.34.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el hornfels (49)	89
Figura 5.35.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la brecha magmática hidrotermal (78)	90
Figura 5.36.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64)	91
Figura 5.37.	Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64)	91
Figura 5.38.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la latita (56)	92
Figura 5.39.	Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la latita (56)	93
Figura 5.40.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la andesita (58)	94
Figura 5.41.	Comparación de los QQ plots de la Gravedad	

	Específica para la andesita (58)	94
Figura 5.42.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la caliza (41)	95
Figura 5.43.	Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la caliza (41)	96
Figura 5.44.	Comparación de los histogramas de la Gravedad Específica para la cuarcita (50)	97
Figura 5.45.	Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la cuarcita (50)	97
Figura 5.46.	Gráficos de validación visual sección 400	99
Figura 5.47.	Gráficos de validación visual sección 1300	100
Figura 5.48.	Gráficos de validación visual planta 3815	101
Figura 5.49.	Gráficos de deriva para el exoskarn (71)	102
Figura 5.50.	Gráficos de deriva para la diorita (51)	103
Figura 5.51.	Gráficos de deriva para la brecha magmática hidrotermal (78)	104
Figura 5.52.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del exoskarn (71)	105
Figura 5.53.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje de la diorita (51)	106
Figura 5.54.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del endoskarn en diorita (61)	106
Figura 5.55.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del pórfido monzonítico horbléndico (52)	107
Figura 5.56.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62)	107
Figura 5.57.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del pórfido monzonítico biotítico (54)	108
Figura 5.58.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del mármol (42)	108
Figura 5.59.	Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje del hornfels (49)	109

Figura 5.60. Gráficos de Gravedad Específica – Tonelaje
de la brecha magmática hidrotermal (78)

109

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1.	Vías de accesibilidad	19
Tabla 3.1.	Sistemas de fallas, del proyecto Coroccohuayco	37
Tabla 4.1.	Parámetros para el muestreo de la Gravedad Específica	43
Tabla 4.2.	Valores de Gravedad Específica por litologías	48
Tabla 5.1.	Codificación de la litología	51
Tabla 5.2.	Validación de la interpretación	52
Tabla 5.3.	Estadística descriptiva para la Gravedad Específica discriminado por litología	55
Tabla 5.4.	Principales poblaciones y GE promedio	56
Tabla 5.5.	Estadística descriptiva para la Gravedad Específica a compósitos (5m) discriminado por litología	58
Tabla 5.6.	Diferencia de muestras sin compositar y muestras compositadas	58
Tabla 5.7.	Dominios de estimación para la Gravedad Específica	64
Tabla 5.8.	Parámetros de variografía para la Gravedad Específica	75
Tabla 5.9.	Descripción final de compósitos (5m)	76
Tabla 5.10.	Descripción de parámetros del modelo de bloques	77
Tabla 5.11.	Descripción de parámetros de estimación	79
Tabla 6.1.	Gravedades Específicas en los dominios de estimación	110
Tabla 6.2.	Leyes máximos y mínimos en los dominios de estimación	111

INTRODUCCION

Se sabe la importancia de la Gravedad Específica de las rocas en las etapas de vida de un proyecto, que abarca desde la etapa de concepto, pre factibilidad, factibilidad, ingeniería, construcción y hasta la etapa de operación. En cada una de estas etapas es muy importante, conocer el valor más cercano a lo real de la Gravedad Específica en cada material o dominio litológico, ya que ayudará a tomar decisiones acerca de las características del material que se quiere extraer.

El proyecto Coroccohuayco, se encuentra en la etapa de pre factibilidad, para pasar a la etapa de factibilidad, se necesita conocer la Gravedad Específica y otros parámetros con un nivel alto de confianza, ya que la inversión de la empresa es alta. El proyecto Coroccohuayco, es un yacimiento tipo Porfido – Skarn (Cu-Au), muy complejo ya que se encuentra afectado por cinco eventos de intrusiones, el control principal de alteración y mineralización es estructural, por lo expuesto existe una variabilidad fuerte de la Gravedad Específica.

Se realizó un análisis estadístico, para conocer la variabilidad de los valores de la Gravedad Específica y sus respectivos controles, concluyéndose que el control principal es la litología y de forma secundaria la alteración y mineralización. La alteración que se encuentra en el proyecto Coroccohuayco es débil, salvo la alteración exoskarn y endoskarn, que son consideradas como un tipo de litología. La mineralización por ser diseminada y con valores promedio bajos (0.15% Cu), no afecta de forma directa al valor de la Gravedad Específica.

Anteriormente se asignaba la Gravedad Específica de forma directa al modelo de bloques y eran los valores promedios de las Gravedades Específica obtenidas de los sondeos de perforación, discriminados por tipos de litologías. Se realiza este informe de suficiencia para conocer el valor más cercano a lo real de la Gravedad Específica para cada bloque del modelo, con el objetivo de evaluar y clasificar de manera precisa la calidad del material a minar y la mejor distribución de la Gravedad Específica en el modelo de bloques del proyecto Coroccohuayco.

Los valores de la Gravedad Específica por bloques, producto de la estimación, ayuda a que los modelos geometalúrgicos, que considera parámetros principales como roca, tonelaje, ley y dureza, sean más confiables y reales, ya que la Gravedad Específica es un parámetro importante para la geometalurgia.

Los valores de tonelaje que se obtienen de los diferentes tipos de materiales a minar, son más cercanos a la real, por ende el reporte de estimación de recursos en tonelaje - ley y el reporte del valor de Cu fino que se emitirán serán más reales y confiables. Esta estimación de la Gravedad Específica ayuda a la Oficina de Planeamiento, a tener resultados más cercanos a la realidad en las diferentes etapas de planificación del proyecto Coroccohuayco.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Ubicación

El proyecto Coroccohuayco, políticamente se encuentra ubicado 25km al SE del campamento minero de Tintaya, distrito de Yauri, provincia de Espinar y departamento del Cusco.

Geográficamente (figura 1.1.), según las coordenadas UTM PSAD'56, zona 19S, se encuentra entre las coordenadas: 256750E / 8345500N / Altitud: 4000 – 4100 m.s.n.m.

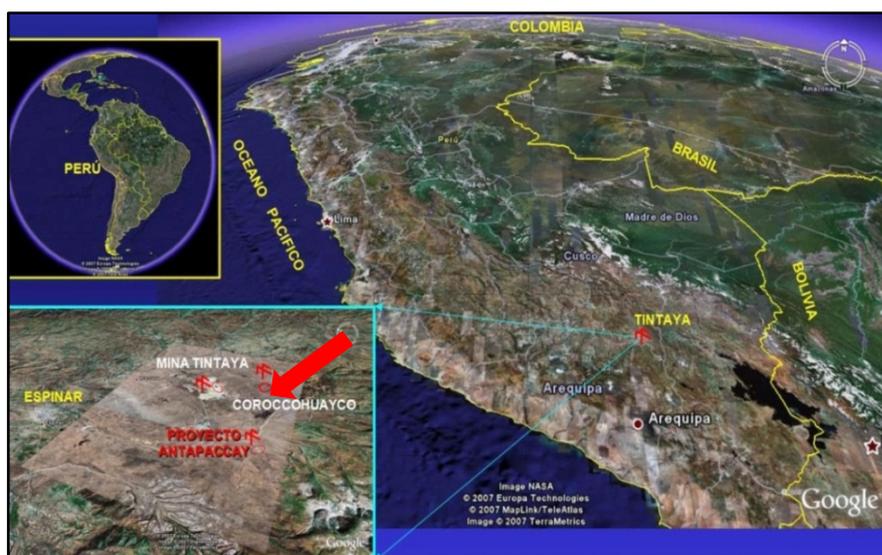


Figura 1.1. Ubicación del proyecto Coroccohuayco.

Geológicamente, se encuentra ubicado en el extremo SE de la franja de skarn - pórfido de Cu (Mo – Au) del SE del Perú asociados al batolito Andahuaylas – Yauri de edad Eoceno – Oligoceno y a rocas clásticas y calcáreas cuyas edades están comprendidas entre el Jurásico superior y Terciario inferior.

La accesibilidad al proyecto desde la ciudad de Lima, es mediante dos vías; ambas se realizan mediante vía aérea y terrestre (figura 1.2.):

Tabla 1.1. Vías de accesibilidad.

Ruta	Vía aérea	Vía terrestre	Tiempo
1	Lima-Arequipa	Arequipa – Imata – Condoroma – Tintaya – Coroccohuayco	6.5 hr
2	Lima-Cusco	Cuzco – Sicuani – Espinar – Tintaya– Coroccohuayco	7.0 hr



Figura 1.2. Vías de acceso al proyecto Coroccohuayco.

1.2. Objetivos

- Presentar y sustentar el Informe de Suficiencia para obtener el grado profesional de Ingeniero Geólogo en la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Evaluar y clasificar de manera más precisa y exacta la calidad del material a minar, usando la Gravedad Específica, ya que este parámetro está relacionado directamente con el tonelaje del material que será minado, también se usa para perforación, voladura, transporte y molienda.

CAPITULO II

GEOLOGIA REGIONAL

El proyecto Coroccohuayco se encuentra ubicado en el extremo SE de la franja del batolito Andahuaylas-Yauri, emplazado en rocas clásticas y calcáreas, cuyas edades están comprendidas entre el Jurásico superior y el Cretácico, formando cuerpos de mineralización en skarn y/o pórfidos de Cu del SE del Perú.

La franja Eocena-Oligocena Andahuaylas-Yauri se localiza a una distancia de 250 a 300km al oeste de la actual fosa Perú – Chile. Se encuentra sobre una gruesa capa de corteza siálica (50 a 60km; James, 1971), en la zona de transición entre el régimen de subducción plana del centro del Perú y el régimen de subducción normal del sur del Perú y norte de Chile, inmediatamente al SE de la deflexión de Abancay.

La franja Eocena-Oligocena Andahuaylas-Yauri consiste de una gruesa secuencia sedimentaria cretácica plegada durante las deformaciones andinas y ampliamente intruída por stocks, sills y diques del batolito Andahuaylas – Yauri, cubierta por depósitos lacustrinos y volcánicos cenozoicos y depósitos cuaternarios. Ver figura 2.1.

Las rocas de esta edad corresponden principalmente a secuencias sedimentarias cretácicas depositadas en un marco paleogeográfico dominado por las cuencas marinas Occidental y Oriental del sur del Perú, separadas por el alto estructural denominado Umbral Cuzco – Puno. Ver figura 2.2.

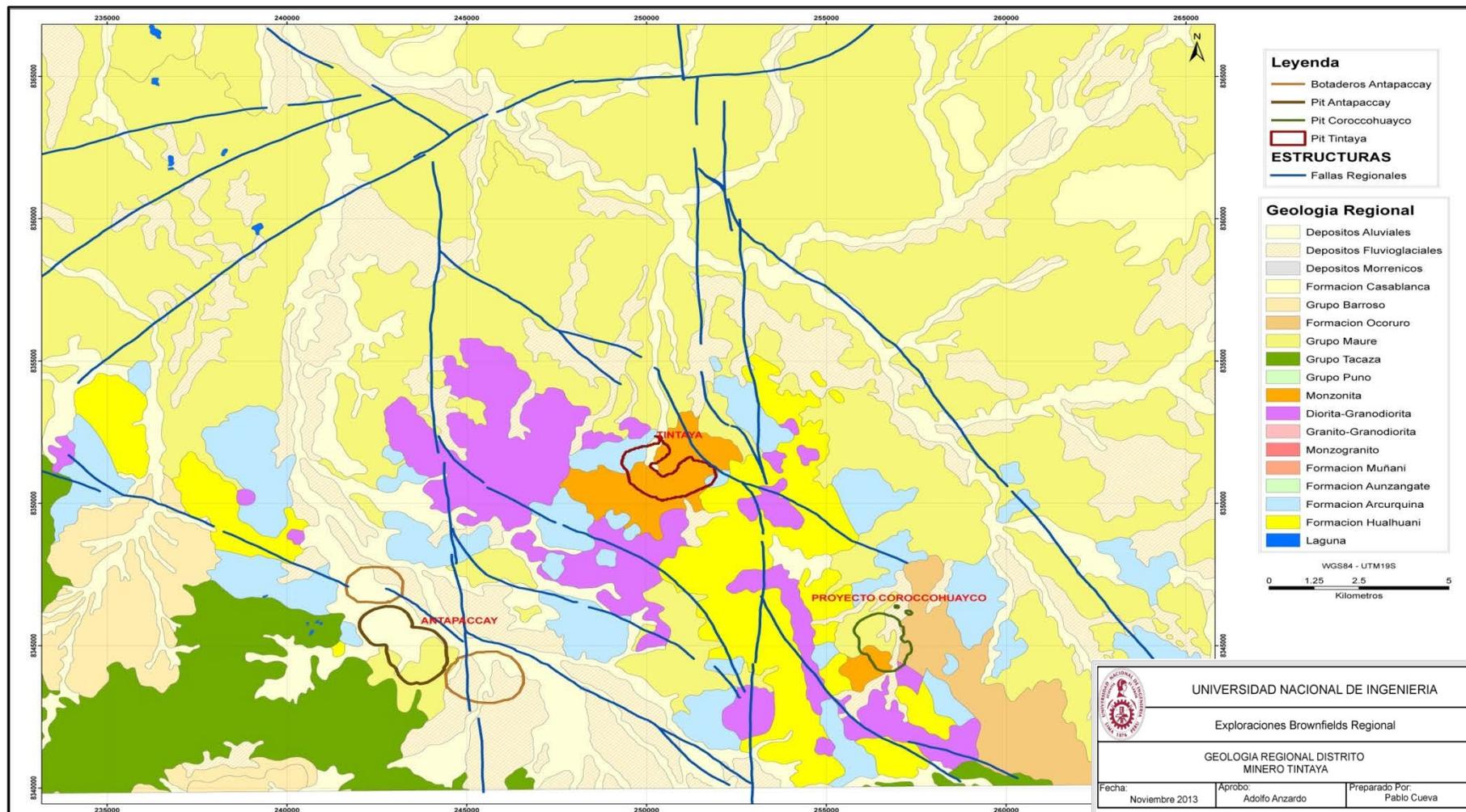


Figura 2.1. Plano geológico regional del distrito minero de Tintaya y ubicación de principales proyectos.

Este alto recibe una sedimentación poco espesa, principalmente continental y está controlado al SO por el sistema de fallas NW-SE denominado Cusco-Lagunillas-Mañazo (C-L-M) (Carlotto et al, 2003) que separa al alto de la Cuenca Occidental. Ver figura 2.2.

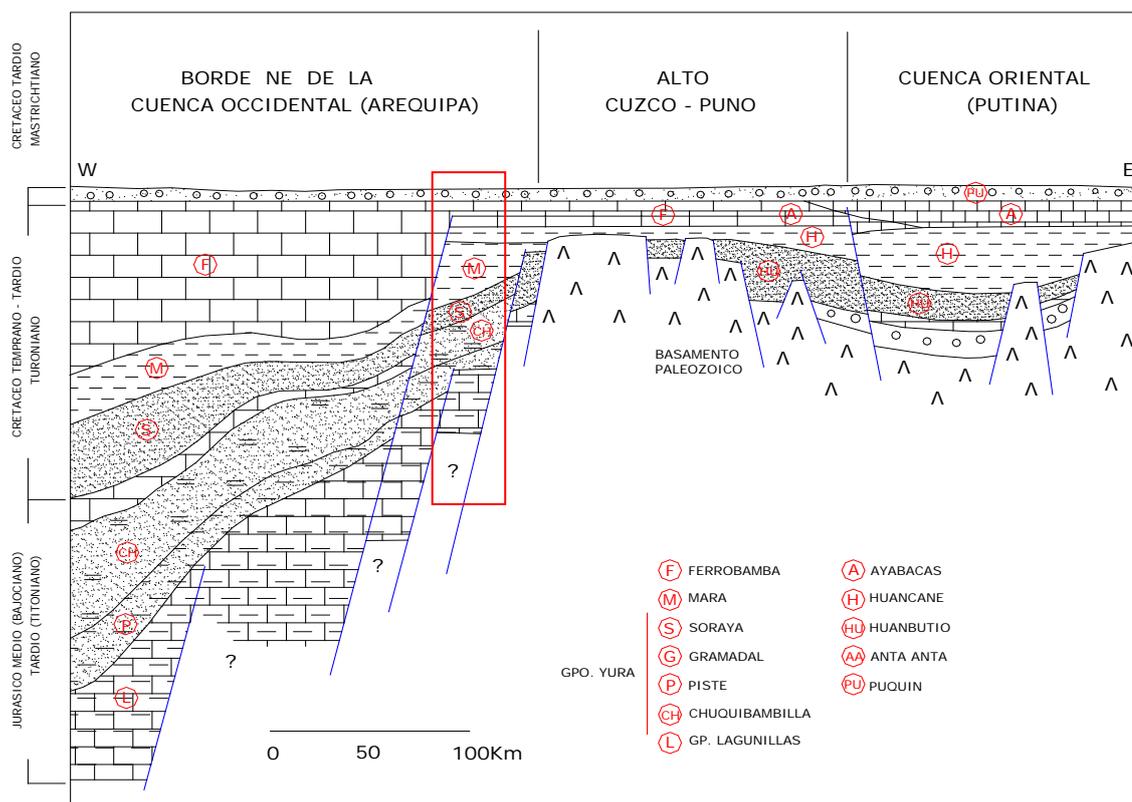


Figura 2.2. Sección del Alto estructural Cusco Puno, el proyecto Corocoma se encuentra al O del umbral, indicado por el rectángulo rojo.

El sistema de fallas NW-SE Cusco-Lagunillas-Mañazo durante el Mesozoico tuvo un comportamiento normal controlando la sedimentación y actualmente se le sigue por más de 400 km, (Carlotto et al., 2003). Ver figura 2.2.

La cuenca Occidental, también conocida como cuenca Arequipa, corresponde actualmente a la Cordillera Occidental, que contiene una secuencia sedimentaria de aproximadamente 4,500 m de espesor estando la parte inferior constituida por turbiditas, la parte media por cuarcitas y la superior por abundantes calizas. El límite NE de esta cuenca coincide con la región Andahuaylas-Yauri.

2.1. Estratigrafía

En la zona de estudio afloran varias unidades estratigráficas constituidas principalmente por unidades de naturaleza clástica y no clástica, se describirán brevemente a partir del Cretácico, ya que hay muy pocos afloramientos de las secuencias inferiores.

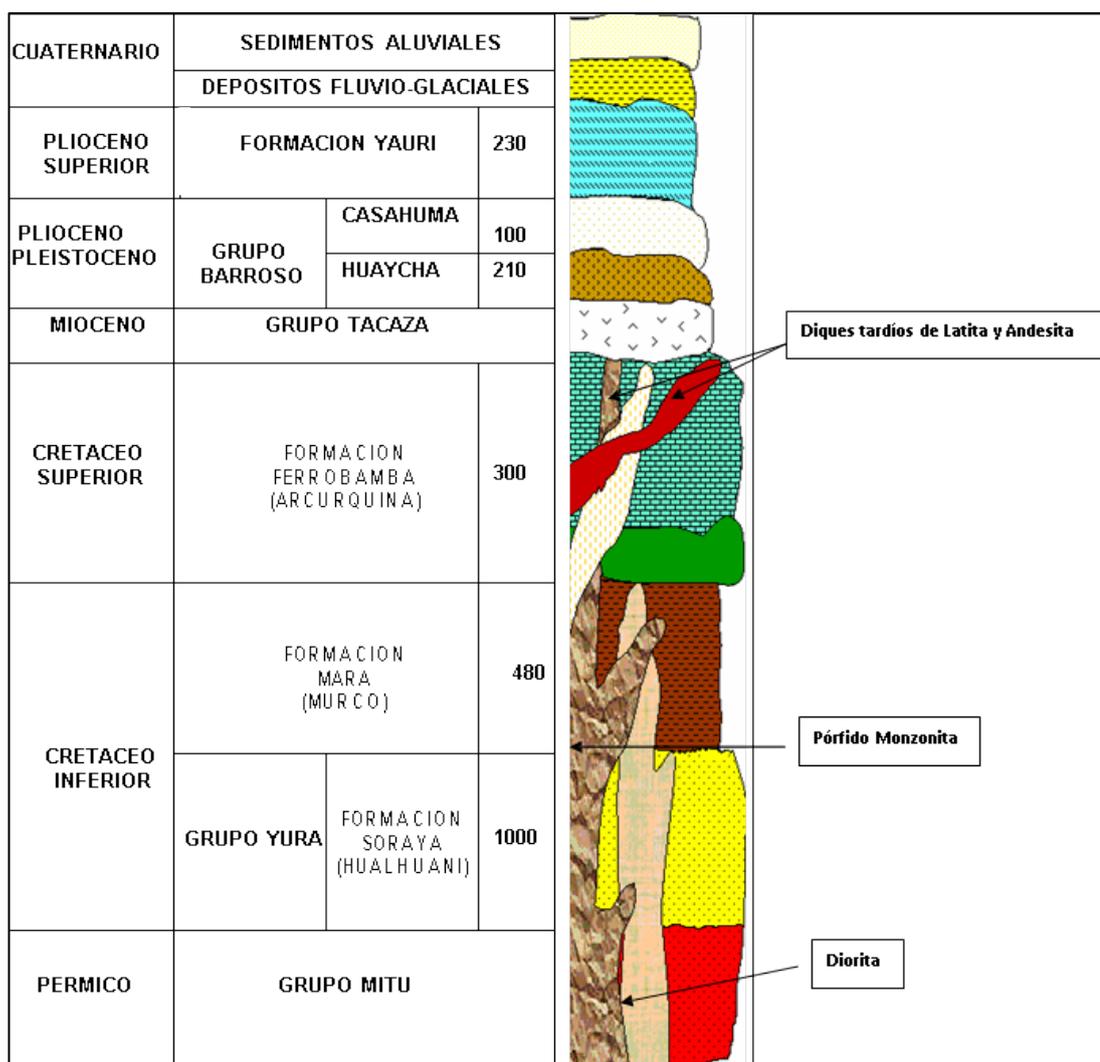


Figura 2.3. Columna estratigráfica regional del distrito minero de Tintaya.

2.1.1. Formación Soraya

La Formación Soraya corresponde a la secuencia sedimentaria más antigua en el área, presenta comportamiento dúctil y muestra una gran tendencia al fracturamiento y consecuentemente alta permeabilidad secundaria (Maldonado, 2006). Presenta un

espesor de 800m a 100m, está constituida por bancos de cuarzoarenisca blancos amarillentos de grano medio a fino, intercalados con arenisca gris y lutitas rojas. Se le asigna una edad Neocomiano inferior - Cretácico inferior.

2.1.2. Formación Mara

Los afloramientos de la Formación Mara se extienden desde Apurímac en dirección SE y fue reconocida en el Distrito de Tintaya a través de sondajes, consisten en lutitas de grano fino y areniscas que fueron metamorfozadas a hornfels de biotita y cuarcita respectivamente.

Su espesor es variable entre los 50m y los 500m. Se le atribuye una edad Neocomiano - Aptiano (Carlotto; 2003).

2.1.3. Formación Ferrobamba

La Formación Ferrobamba constituye una unidad estratigráfica de calizas que representa el periodo Albiano-Turoniano y se presenta en el borde NE de la Cordillera Occidental del sur del Perú, en las regiones de Apurímac y Cusco.

La Formación Ferrobamba está constituida predominantemente por calizas negras a grises oscuras. Las calizas son masivas y estratificadas en bancos de 0.3 - 2.0m.

2.1.4. Grupo Maure (Formación Yauri)

El Grupo Maure está constituido por cuatro unidades, las dos intermedias (Maure 2 y Maure 3) fueron reconocidas en el distrito minero de Tintaya y son conocidas como Formación Yauri. La unidad Maure 2 está constituida por areniscas y limoarcillitas de coloración marrón claro a rojizo alcanzando espesores de más de 200m. La unidad Maure 3 suprayace a la anterior y está constituida por limoarcillitas y dolomitas de coloración beige a gris blanquecina con abundante contenido de diatomeas, alcanzando espesores mayores a 400m.

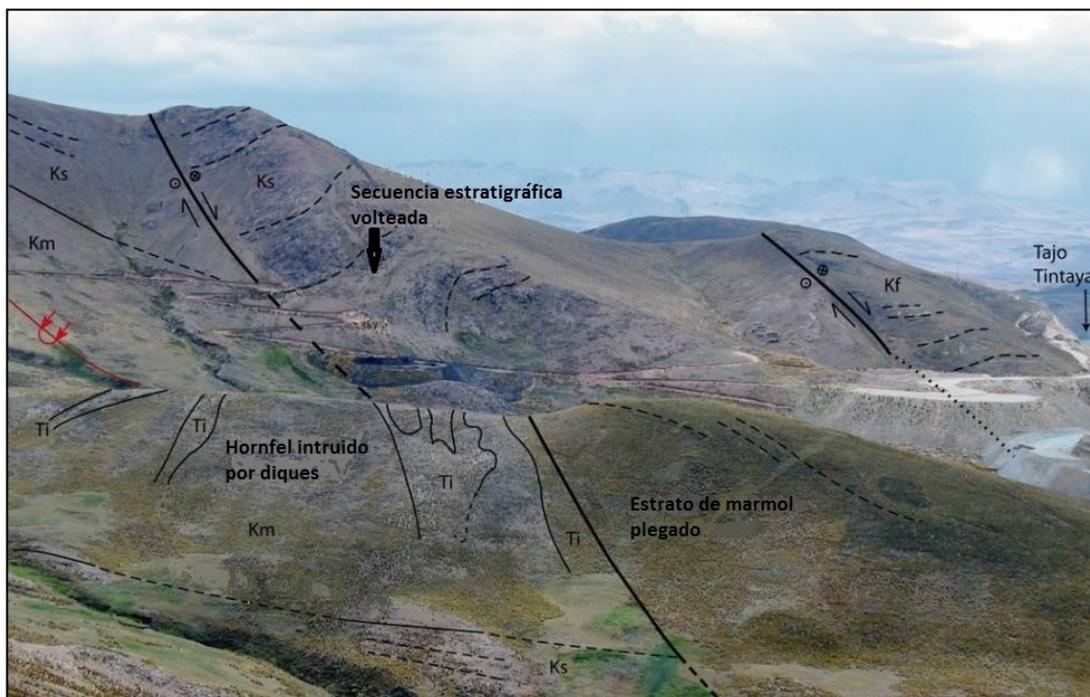


Figura 2.4. Foto con la secuencia sedimentaria cretácica fuertemente plegada y fallada. Fm. Soraya (Ks), Fm. Mara (Km) y Fm. Ferrobamba (Kf). Vista NE.

2.1.5. Grupo Barroso

Está constituido por rocas volcánicas, principalmente por lavas y piroclastos de naturaleza andesíticas, traquítica y traquiandesítica, con un espesor de 200m aproximadamente. Se diferencian dos miembros: Barroso inferior, constituido por la alternancia de tufos y lavas con predominio de los primeros. Estos tufos predominantemente, son de un color gris plomizo, de composición ácida, de grano fino. En el Barroso superior se hace muy conspicua la serie de lavas oscuras de composición andesíticas, variando en algunos casos a basálticas.

2.1.6. Depósitos Recientes

En el proyecto Coroccohuayco se encuentran morrenas y depósitos fluvio-glaciares que se detallan seguidamente.

Morrenas

Constituyen depósitos mayormente de arenas, arcillas, en menor proporción conglomerados en forma de pequeñas colinas alargadas y en forma de media luna

cuando son frontales. Se encuentran en las partes altas siendo más jóvenes las más cercanas al nevado, las mismas que se encuentra encima de los depósitos antiguos.

Depósitos Fluvioglaciares

Constituyen extensas secuencias de arenas, arcillas, materiales como bloques y fragmentos angulosos a subangulosos, acarreados por las antiguas corrientes de deshielo. Los depósitos fluvioglaciares constituyen una delgada capa de depósitos clásticos destacando sus cantos subangulares. Estos depósitos forman extensas llanuras.

Depósitos Aluviales

Los depósitos aluviales están constituidos por gravas y cantos redondeados y angulosos, dentro de una matriz areno-arcillosa, presentan una variada estratificación, que se acuña entre capas de arenas y arcillas. El grosor estimado es de unos pocos metros a 150m.

2.2. Batolito Andahuaylas – Yauri

Esta importante unidad ígnea, ha sido producto de varios eventos magmáticos ocurridos entre el Eoceno y Oligoceno; las diferentes fases de intrusión que lo conforman, presentan una composición que varía de ultrabásica, básica a intermedia. Las diferentes fases de intrusión se caracterizan por presentar composición, textura, tamaño de grano y formas de emplazamiento muy variables.

En la zona de estudio son reconocidos cinco pulsos magmáticos en el batolito Andahuaylas-Yauri. La primera es una unidad de gabro-diorita-cuarzo diorita- (representa el 80% de rocas intrusivas en el área). El segundo es representado por pequeñas ocurrencias de gabro-monzogabro-cuarzo monzogabro. El tercero es una intrusión de cuarzo monzonita porfirítica. El cuarto pulso es una monzonita porfirítica localizada al sur del cuarzo monzonita. Al suroeste del pórfido Tintaya, un pórfido dacítico es emplazado como el quinto y último pulso del batolito, contemporáneo con volcánicos del Mioceno y Plioceno.

En la figura 2.5. se muestra los cinco eventos de intrusión.

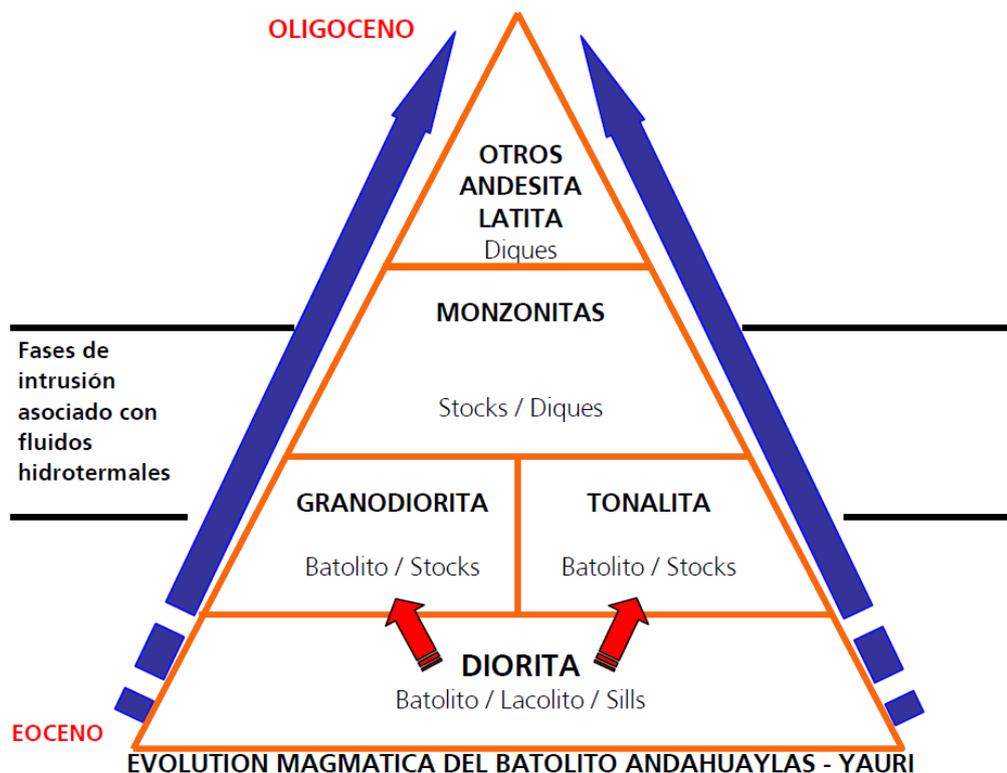


Figura 2.5. Evolución magmática del batolito Andahuaylas – Yauri.

2.3. Marco Estructural

Esta importante franja productiva, presenta un marco tectónico muy complejo, producto de diferentes procesos orogénicos. En gran parte del territorio peruano la Cordillera de los Andes tiene una dirección NO – SE. Hay un gran cambio entre las latitudes $12^{\circ} 30' S$ y $14^{\circ} 30' S$, la dirección de los Andes es O – E. Este importante cambio o segmento estructural es conocido como la “Deflexión de Abancay”. La forma que presenta la zona de deflexión, podría representar una “zona de dilación” de alcance regional, que favoreció el emplazamiento del batolito de Andahuaylas – Yauri así como las diferentes fases de mineralización en la franja. Esta deformación o cambio del rumbo del lineamiento andino se ve reflejada desde las unidades del Paleozoico hasta las unidades del Terciario inferior, producto de un esfuerzo de compresión de dirección SE a NO, que ha originado una zona de dilación entre las latitudes antes mencionadas. Dentro de la franja, los principales lineamientos, ejes de pliegues y fracturas presentan dirección NO – SE (rumbo andino). Los ejes de pliegues en la zona

de deflexión presentan un ligero cambio, similar a la dirección de los Andes. Otros sistemas importantes en la franja son las fracturas de dirección NE – SO (transandina), NNE – S SO y algunos lineamientos de dirección NO O – SE E. De estos sistemas de fractura los que están más relacionados con la mineralización dentro de la franja, son los de dirección andina y transandina.

2.4. Alteración – Mineralización

Los principales depósitos que existen en la franja son del tipo skarn, skarn – pórfido y pórfido. Los depósitos que existen en la franja se caracterizan por presentar en su mayoría, mineralización de Cu (Mo-Au). Los depósitos de skarn y los sistemas del tipo pórfido presentan algunas diferencias en los ensambles de alteración y mineralización.

Existen algunas áreas dentro de la franja con desarrollo de cuerpos de magnetita que se han desarrollado en el contacto de la diorita con las calizas cretácicas. En los últimos años estos posibles depósitos de Fe han sido explorados de manera intensa, siendo el área de mayor interés, el proyecto ubicado cerca de la ciudad de Andahuaylas en Apurímac y otros ubicados cerca del distrito de Colquemarca, provincia Chumbivilcas departamento de Cusco. La mayor parte de estos cuerpos se presentan en forma de roof pendant sobre la diorita y con afloramientos muy limitados en superficie.

La mayor parte de los depósitos mineralizados que se encuentran en la franja se encuentran emplazados en rocas sedimentarias del Jurásico –Cretácico así como en fases de intrusión de edad Eoceno – Oligoceno. En los dos últimos años de exploración regional (2012-2013) se ha identificado una pequeña franja de mineralización de Cu en rocas volcánicas, así como en unidades clásticas del Terciario inferior que se encuentran ubicadas al este del megadistrito minero de Tintaya.

CAPITULO III

GEOLOGIA LOCAL

En el distrito minero de Tintaya (proyecto Coroccohuayco) se han identificado dos segmentos importantes de mineralización de Cu, que se han clasificado en base a sus características litológicas y mineralógicas, además estos dos segmentos están controlados por lineamientos estructurales de dirección andina y trans-andina. Una de las características más importantes de estos segmentos, es la presencia de rocas reactivas o rocas cajas favorables (clásticos, caliza y diorita) para la mineralización y las diferentes fases de intrusión asociados con la mineralización de Cu. Fuera de estos dos segmentos no existen fases de intrusión asociados con la mineralización de Cu. Esta interpretación se obtiene a raíz de un trabajo de cartografiado geológico realizado en 1999 desde Antapaccay hasta Tintaya y se corrobora con la información de sondajes y su interpretación en secciones realizados recientemente en el proyecto Coroccohuayco.

3.1. Estratigrafía

El área del yacimiento de Coroccohuayco presenta en la base una secuencia netamente clástica constituida principalmente por areniscas gris claras que corresponden a la Formación Soraya, seguido por una secuencia clástico calcárea (en los niveles superiores) constituida por horizontes delgados de areniscas con intercalación de limolitas y con algunos horizontes calcáreos hacia la zona de transición, esta unidad está identificada como la Formación Mara. La Formación Mara pasa a una unidad

superior de forma transicional constituida por una gruesa secuencia de calizas masivas, calizas con chert, calizas bioclásticas y calizas contaminadas con clásticos finos (textura laminada), esta unidad está identificada como la Formación Ferrobamba.

Al norte del área se encuentra la cuenca lacustrina de Yauri constituida por horizontes delgados de conglomerados, areniscas y limolitas tufáceas de color crema o blanco amarillentos. Los sedimentos fluvio-aluviales se encuentran cubriendo parte de las colinas y las zonas de depresión.

3.2. Fases de Intrusión

En Coroccohuayco se presentan diversos tipos de intrusivos ígneos como diorita, pórfidos monzoníticos y diques post-minerales. A continuación se describen las principales características petrológicas.

3.2.1. Diorita

Roca premineral considerada como un sill debido a su emplazamiento dentro de las estratificaciones de la Formación Ferrobamba, presenta una textura equigranular, con variaciones texturales transicionales de una diorita de grano grueso con porcentajes de hornblenda de grano fino a una leucodiorita de grano grueso pobre en máficos con textura aplítica. La mineralización existente en la diorita es calcopirita acompañada de pirita en forma de venas como también diseminada. Es muy probable que la fuente de magma esté al sur del depósito, donde el espesor y abundancia de este cuerpo es mucho mayor.

3.2.2. Monzonita hornbléndica-biotítica

Este intrusivo es considerado como la segunda fase de intrusión en Coroccohuayco. Se caracteriza por presentar una cantidad abundante de hornblenda con respecto a la biotita. La relación de fenocristales y matriz varía de 70-85%/15-30%. Los minerales ferromagnesianos están en el orden de 5-10%, con presencia de magnetita fina. Presenta una textura porfirítica producida por plagioclasas tabulares subhedrales y en menor cantidad anhedrales, con tamaños promedios de 2.5mm.

La mineralización está caracterizada por la presencia de calcopirita, bornita, calcosita en venas y diseminada con presencia de escasa pirita; en zonas cercanas a la superficie se puede encontrar óxidos de cobre como tenorita, cuprita y el silicato crisocola.

Los mayores afloramientos se encuentran cerca del poblado de Paccopata (flanco derecho de la quebrada Coroccohuayco). A partir de Paccopata la monzonita hornbléndica-biotítica se extiende en forma de diques o pequeños apófisis hacia el NO.

3.2.3. Monzonita biotítica

Considerada como la tercera fase de intrusión en Coroccohuayco, la monzonita biotítica se caracteriza por presentar fenocristales de biotita en proporciones similares que hornblenda y plagioclasas; como minerales accesorios la titanita y la magnetita en porcentajes promedio de 0.5-1.5%. La relación de fenocristales y la matriz es de 65-75%/25-35%. Presenta una textura porfirítica a moderadamente seriada, donde las plagioclasas presentan formas tabulares cortas, subhedrales en mayor cantidad que anhedrales con tamaños promedio de 2x2mm, las hornblendas son prismáticas y aciculares. Las alteraciones predominantes de esta fase intrusiva son la potásica en forma de venas de cuarzo con halos de feldespatos potásicos con presencia de sulfuros y en menor proporción en la matriz, presencia de biotita secundaria debido a la alteración de la biotita y hornblenda. La mineralización generalmente es de baja ley, presentando trazas de calcopirita y pirita, principalmente en venas.

Se presenta en forma de diques cuyos afloramientos siguen la misma dirección de emplazamiento de la fase anterior, NO – SE y NE – SO.

3.2.4. Latita

Es la cuarta fase post mineral de intrusión en Coroccohuayco. La latita tiene escasa biotita y pequeños cristales de hornblenda y magnetita. Presenta una textura porfirítica débilmente seriada a bimodal con plagioclasas grandes aisladas de hábito tabulares cortos, euhedrales y subhedrales con tamaño promedio de 1x0.5mm.

Generalmente se puede observar que la hornblenda se altera a clorita. Se presenta también pirita diseminada.

Los afloramientos son en forma de diques que intruyen a los otros intrusivos y tienen una dirección NO – SE.

3.2.5. Andesita porfirítica

Representa la quinta y última fase de intrusión en Coroccohuayco. Es una roca de grano fino con una textura porfirítica, hipocristalina, de grano fino, con una relación fenocristales y matriz del 10-15% / 85-90%. Los escasos cristales de plagioclasa tienen formas tabulares cortas, son anhedrales y con tamaño promedio de 2x1mm. Las hornblendas con formas prismáticas, son subhedral y anhedral con tamaño promedio de 0.5x0.3mm. La biotita con forma laminar, anhedrales con tamaño promedio de 0.5x0.5mm.

Generalmente esta roca se encuentra cloritizada o argilizada. Esta intrusión por ser la última, corta todas las litologías presentes en el área, en ocasiones presenta xenolitos de exoskarn mineralizado, dando un falso contenido de cobre en esta roca. Se presenta en forma de diques con una dirección aproximada NO – SE.

3.3. Geología Estructural

El proyecto Coroccohuayco se ubica en el dominio estructural (I-NE), que corresponde al extremo NE del distrito minero de Tintaya (ver figura 3.1.).

Las rocas calcáreas de la Formación Ferrobamba afloran en el C° Chapi y C° Fito al norte del proyecto Coroccohuayco, con pliegues abiertos cuyos ejes están orientados al NO, en las fotos aéreas se logra seguir sus trazos por 200m.

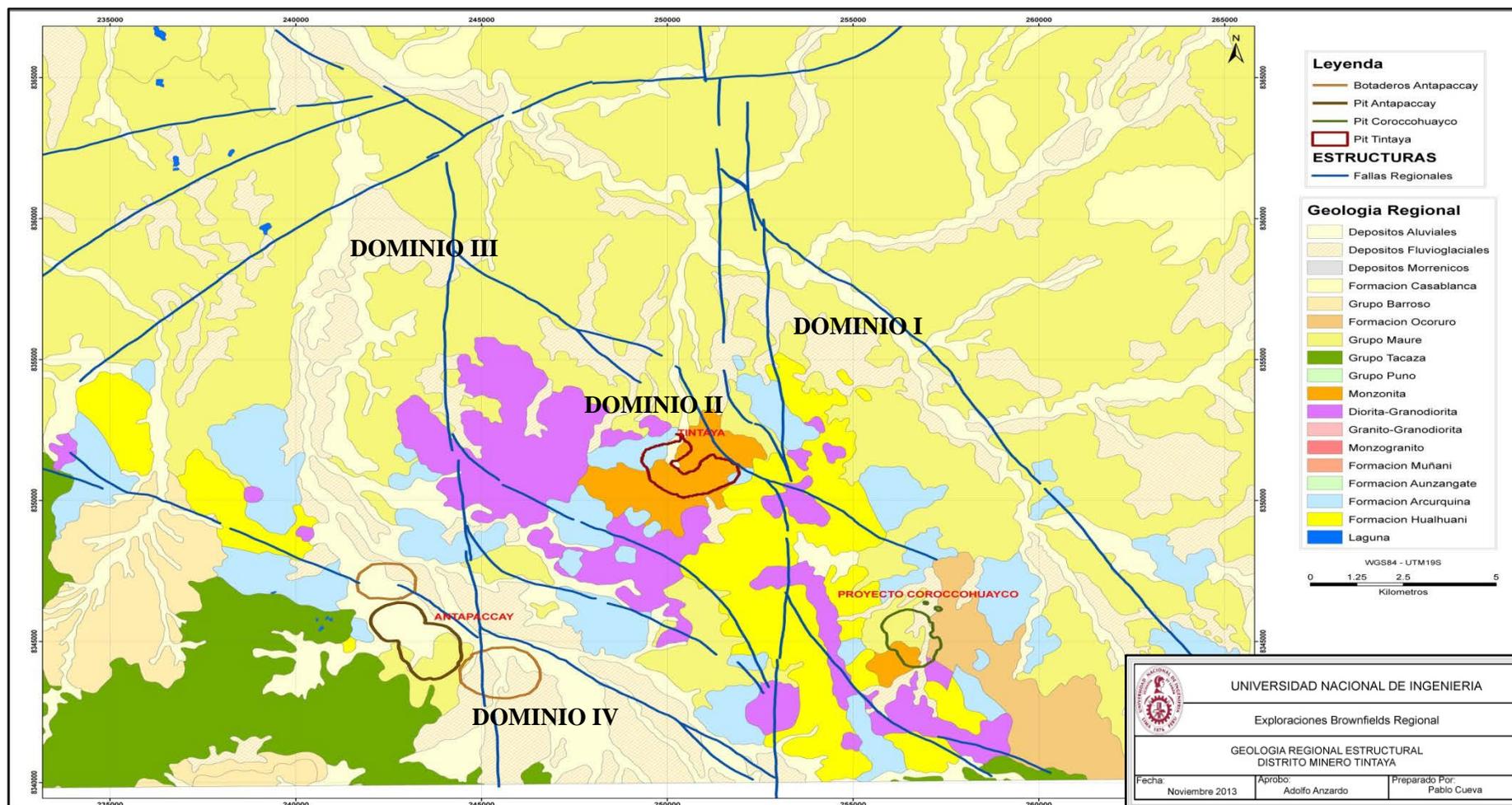


Figura 3.1. Plano geológico del distrito minero de Tintaya, mostrando los dominios lito-estructurales utilizados en la descripción y análisis geométrico de estructuras (Villon G. 2009).

En general, los afloramientos de calizas de la Formación Ferrobamba presentan estratos masivos de 1m de espesor predominantemente de color gris-azulados y con presencia de venas entrecruzadas de calcita. Entre el C° Chapi y la quebrada Ccaccamayo se forma un anticlinal cilíndrico recumbente, con eje NNO, con estratos invertidos y normales que forman flancos con suave curvatura.

Un pliegue recumbente del C° Chapi es cortado por la quebrada Ccaccamayo con morfología rectilínea, dislocando la charnela en ambos costados, el pliegue tiene una extensión de aproximadamente 50m, sugiriendo la existencia de una falla vertical de 1km de trazo. Sin embargo la superficie de falla no se observa, pudiendo ser corroborada por el fuerte fracturamiento que genera familia de juntas asociadas, que desarrollan frecuencias de fracturamiento superiores a 20m.

La falla localizada en el lado este del C° Fito es inaccesible, sin embargo se puede inferir una orientación NE y movimiento inverso. La falla expone una superficie de 150m de extensión cortando los estratos, parcialmente se observan estratos plegados. En el C° Fito las familias de fracturas NS, NO, NE y EO de orientación media, muestran trazos parcialmente expuestos, con superficies planas a ligeramente onduladas, con frecuencias de fracturamiento de 2 a 4m.

En la zona de trabajo se han identificado fallas que se han agrupado en tres sistemas de fallas en función a la orientación del trazo de falla. Estos sistemas de fallas se relacionan a los eventos de los intrusivos, como se puede observar en la figura 3.2.

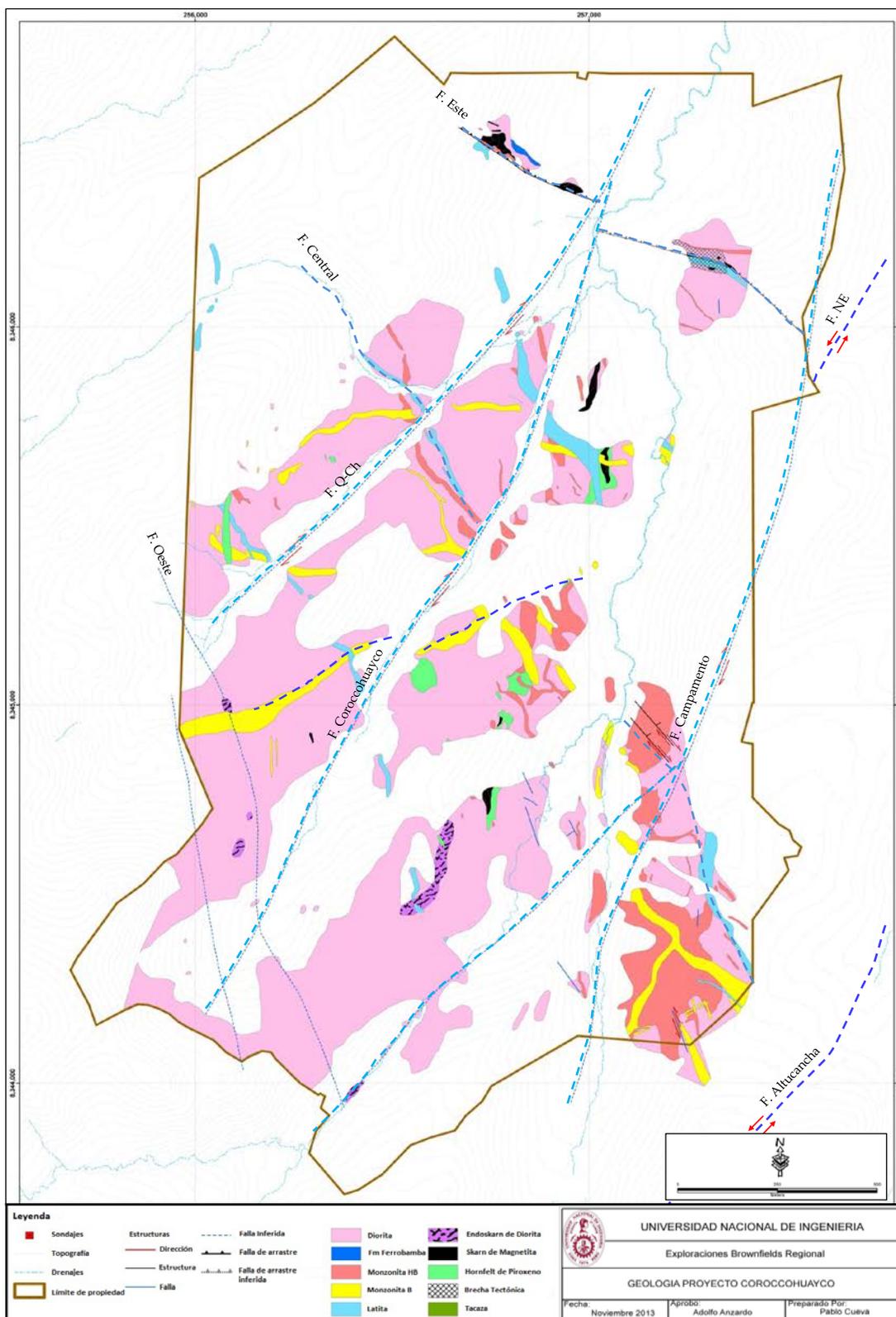


Figura 3.2. Plano lito-estructural del proyecto Corocochuayco. Se observan los tres sistemas de fallas asociados a los afloramientos de diorita (SFIII), MZHB (SFII) y MZB (SFI).

Tabla 3.1. Sistemas de fallas del proyecto Coroccohuayco.

Sistemas de Fallas		
SFI	SFII	SFIII
Falla Altucancho	Falla Central	Falla Campamento
Falla NE	Falla Oeste	Falla Coroccohuayco
	Falla Este	Falla Q-Ch

La diorita de Coroccohuayco fue datada en 41 Ma (U-Pb por LA-ICP-MS en zircones) y corresponde a la roca intrusiva más antigua, tal como en el resto del distrito (Tintaya, Antapaccay y Quechuas). La distribución espacial de la diorita está relacionada a la traza del SFIII (NNE) en el centro del proyecto, mientras que más al sur donde el afloramiento es mayor, se alinean con el trazo del SFI (NE, Falla Altucancho). Se infiere que en esta etapa primaria, la intrusión de la diorita fue controlada por las fallas con trazos NNE y NE, con buzamiento al NO (Falla Q-Ch, Falla Coroccohuayco, Falla Campamento y Falla Altucancho). Además se considera que el juego del sistema de Fallas Cañipia - Salado presentaba movimiento dextral (normal). Los afloramientos de los intrusivos principales (37-35 Ma, MZHB y MZB), presentan un fuerte control estructural siendo la orientación predominante NO-SE con buzamiento al SO. Al igual que en el caso de la diorita los afloramientos hacia el sur se hacen mayores en la interacción de las Fallas Campamento (SFIII) y Altucancho (SFI). El emplazamiento de MZHB a lo largo del SFII (Falla Central), respondería a un juego sinistral de las fallas NE-SO con rotación horaria de bloques en el sur favoreciendo el ensanchamiento del cuerpo intrusivo. La MZB se emplaza cortando los afloramientos de la MZHB con lineamientos estructurales similares lo que correspondería a una reactivación del sistema. Una segunda orientación (NE-SO) está asociada a la MZB (SFI) que se emplaza a lo largo del SFI (Falla NE) evidenciando una reactivación de las fallas que controlaron el emplazamiento de la diorita.

Los afloramientos de diques tardíos (traquita) siguen la orientación NO (SFII), que confirma la ocurrencia cíclica de eventos repetitivos de reactivación de estas fallas en cortos periodos de tiempo (~1 Ma). Se postula el desarrollo de una cuenca pull-apart en la región durante el Eoceno medio. Debido a la distribución del complejo intrusivo y de las rocas sedimentarias (Formación Arcurquina y Murco), se infiere que las fallas

con orientación NNE (buzamiento al O), modificaron la arquitectura del entorno y ayudaron a delinear la topografía final.

3.4. Alteración

En el proyecto Coroccohuayco se han definido 9 tipos de alteración hidrotermal, con asociaciones mineralógicas que demuestran una zonación típica para depósitos tipo Pórfido de Cu relacionado a skarn, dichas alteraciones son importantes para la clasificación y mineralización del yacimiento mineral.

3.4.1. Alteración argílica supérgena

Este dominio de alteración se encuentra limitado a la topografía actual entre los primeros 0-40m de perforación. Se considera dicha alteración cuando el contenido de arcillas de la roca meteorizada es mayor o igual al 10% del tramo en estudio. El halo argílico ha sido originado por la lixiviación principalmente de la pirita en superficie formando un encape de óxidos de fierro y de jarosita.

Esta alteración tardía se presenta con un estilo pervasivo-selectivo y con una intensidad de alteración moderada a fuerte. Caracterizada por la degradación a arcillas del tipo caolín. Esta alteración argílica se presenta como una superposición en alteraciones más tempranas como: potásica, endoskarn, exoskarn, silicificación, propílica, clorita-arcilla y calcosilicato.

3.4.2. Alteración clorita – arcilla

Este dominio de alteración está conformado por clorita como componente principal, puede contener arcillas en menor cantidad, calcita y sericita como componentes secundarios.

Esta alteración tardía se presenta con un estilo selectivo y con una intensidad de alteración débil a moderada y ocasionalmente fuerte. Caracterizada por un ensamble de clorita, arcilla, calcita y sericita, este ensamble se presenta diseminado, en venillas y rellenando fracturas.

3.4.3. Alteración propílica

Corresponde a una alteración más externa en niveles intermedios a profundos de sistemas porfídicos. Se encuentra conformada por el ensamble: epidota, clorita, calcita y pirita, siendo el componente principal la epidota y la clorita para definir la alteración propílica, sin embargo como minerales secundarios hay óxidos como la magnetita (después hematita) y comúnmente la plagioclasa.

Esta alteración tardía se presenta con un estilo selectivo y con una intensidad de débil a moderada.

3.4.4. Alteración silicificación

Esta alteración se presenta principalmente en litologías con un enjambre de venas de cuarzo mayor al 15% tipo stockwork. Estas venas pueden tener un estadio temprano o tardío de alteración.

La silicificación está caracterizada por un enjambre de venas (cuarzo y sulfuros) que alteran la matriz del protolito ígneo en forma selectiva.

3.4.5. Alteración potásica

Se han identificado dos tipos de alteración potásica en el proyecto Coroccohuayco.

3.4.5.1. Alteración potásica 1

Esta alteración se encuentra conformada por el ensamble de magnetita, biotita secundaria, feldespato potásico, cuarzo y anhidrita. La mineralogía de esta alteración indica que es de alta temperatura ($>500^{\circ}\text{C}$). Se presenta de forma selectiva y con intensidad débil a moderada, muy ocasionalmente pervasiva-selectiva.

3.4.5.2. Alteración potásica 2

Se encuentra caracterizada por el ensamble biotita secundaria, feldespato potásico y cuarzo. Respecto a la alteración potásica 1, esta alteración es de menor temperatura. Se presenta de forma selectiva y con intensidad débil a moderada, ocasionalmente

pervasiva-selectiva. La biotita secundaria se presenta en forma de venillas y coágulos, el feldespato potásico y el cuarzo en forma de halos en matriz y en venas.

3.4.6. Alteración exoskarn

El exoskarn presenta alteración de forma pervasiva y con intensidad de fuerte a muy fuerte.

La alteración prógrada se caracteriza por la formación de minerales de granate y piroxeno por acción de fluidos de derivación magmática a altas temperaturas (400 - > 600°C). Los calcosilicatos se presentan en forma de cuerpos masivos de forma lenticular, a veces preservando la laminación original del protolito sedimentario.

La alteración retrógrada y de baja temperatura (<400 - >250°C), se manifiesta localmente por el reemplazo intenso y casi completo del granate y del piroxeno por la magnetita masiva que puede exceder los 10m verticalmente. Se presentan en forma de cuerpos masivos, a veces, preservando la laminación original del protolito sedimentario.

La mineralización económica se encuentra constituida por sulfuros primarios como la bornita, calcopirita y sulfuros secundarios como la calcosita.

3.4.7. Alteración endoskarn

Esta alteración se presenta con un estilo pervasivo y con una intensidad de alteración fuerte a muy fuerte.

La diorita forma endoskarn, especialmente en contacto o cerca de la Formación Ferrobamba y presenta una alteración de calcosilicatos en forma pervasiva muy común. Localmente ocurre una alteración completa de plagioclasa de la matriz a epidota. La secuencia de la alteración del endoskarn (plagioclasa - granate - piroxeno) es común cerca a la base de la Formación Ferrobamba.

Las monzonitas hornbléndicas forman endoskarn, especialmente en contacto o cerca de la Formación Ferrobamba y presenta una alteración de calcosilicatos en forma

pervasiva. La alteración del endoskarn abundante en plagioclasa - granate - piroxeno sugiere que estos intrusivos están relacionados con la alteración prógrada del exoskarn.

3.4.8. Alteración de calcosilicatos

Se considera esta alteración para las calizas o mármoles blancos y/o grises, con un contenido mayor a 10% de calcosilicatos (granate y piroxeno) y magnetita.

3.5. Mineralización

La mineralización de Cu en superficie se encuentra muy localizada, se manifiesta principalmente en los cuerpos del exoskarn, presenta horizontes de magnetita y/o granate con mineralización de Cu así como también horizontes no mineralizados. Por lo general no es uniforme la mineralización en estos cuerpos.

Parte de los afloramientos (cuerpos y diques) de la monzonita hornbléndica-biotítica se encuentran mineralizados, esta mineralización de Cu está mucho más asociada a las venas de cuarzo y en microfisuras, como diseminado es muy pobre.

La mineralización en la diorita generalmente se da en aquellos afloramientos que se encuentran cercanos a los cuerpos o diques de la monzonita hornbléndica-biotítica, se manifiesta en venas de cuarzo y en algunas microfisuras.

La monzonita hornbléndica-biotítica presenta mineralización de Cu en forma de trazas diseminadas y las demás fases no presentan mineralización.

Las mejores leyes de Cu se presentan en los cuerpos del exoskarn y pueden variar entre 0.5 y 2.5% Cu, en la monzonita hornbléndica-biotítica la ley promedio puede ser menor a 0.3% Cu.

3.5.1. Óxidos de Cu

Los óxidos, carbonatos y silicatos de Cu se encuentran en Coroccohuayco distribuidos en todos los afloramientos del exoskarn, generalmente se presenta en forma de manchas en la misma estructura de la roca y en fracturas. Principales minerales: crisocola, malaquita, tenorita y azurita.

Los óxidos de Cu en la monzonita hornbléndica-biotítica están en forma de manchas en venas de cuarzo, en fracturas y en microfisuras.

En la diorita, los óxidos de Cu se presentan de forma similar que en la monzonita hornbléndica-biotítica, solo en afloramientos cercanos a los cuerpos o diques de este último. Existen algunas venas de cuarzo con hematita reemplazando a calcopirita.

Es probable que la profundidad del nivel de oxidación sea mayor en los cuerpos de exoskarn y menor en la monzonita hornbléndica-biotítica y/o diorita. La profundidad promedio de óxidos en los intrusivos mineralizados es menor a 40m.

3.5.2. Sulfuros de Cu

En superficie son visibles principalmente en microfisuras y en las labores artesanales. Los principales minerales son: calcopirita, muy poca bornita y calcosita secundaria. La forma de presentarse es en playas, venillas, microvenillas y disseminación. La mineralización está distribuida principalmente en el exoskarn y de forma secundaria en la monzonita hornbléndica-biotítica. Muy pocos sulfuros de Cu en diorita, en venas de cuarzo y microfisuras.

CAPITULO IV

METODOLOGIA PARA DETERMINAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

En este proceso el objetivo fundamental es determinar el peso unitario del testigo de perforación dividido por el peso unitario del agua, con estos datos se calcula el valor de la Gravedad Específica. El dato de Gravedad Específica es muy importante ya que forma parte del cálculo de los recursos y/o reservas del proyecto Coroccohuayco.

4.1. Muestreo sistemático para determinación de la Gravedad Específica

Se realiza un muestreo sistemático para obtener la muestra para la Gravedad Específica. La muestra tiene que cumplir las siguientes condiciones:

- Se identificará la muestra para la Gravedad Específica de acuerdo al tipo de roca, Ver tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros a considerar para el muestreo de la Gravedad Específica.

Intervalos de Medición			Observaciones
Roca	Condición	Metros	
Intrusivo	Mineralizado	2.5	Realizar una descripción detallada del tipo de mineral.
Otros	No Mineralizado	3.0	
Exoskarn	Mineralizado	2.0	

- Las muestra del testigo de perforación tendrá una longitud 10-15cm y/o peso promedio de 1000gr.

4.2. Comparación de métodos de determinación de la Gravedad Específica

La determinación de la Gravedad Específica, se realiza mediante dos métodos, de acuerdo si es porosa o no porosa, fracturada o compacta: **Método Jolly** y **Método con Parafina**.

4.2.1. Determinación de la Gravedad Específica (GE) bulk (método Jolly)

Este método se utiliza para rocas sin porosidad ni fractura, es decir rocas compactas. El objetivo fundamental es determinar el Peso unitario del testigo en seco dividido entre la diferencia del Peso seco en aire y el Peso sumergido en agua.

4.2.1.1. Procedimiento

Los materiales que se usan son los siguientes: balanza digital (precisión +/- 0.1g), comba de 4lb, contenedor de agua, tamiz #400, guantes de látex y traspaleta. Ver figura 4.1.



Figura 4.1. Foto de materiales para la determinación de la Gravedad Específica (método Jolly).

Los pasos que se realizan son los siguientes:

- Se verifica diariamente que el globo ocular de la balanza este correctamente posicionado.
- Se verifica diariamente que la balanza digital esté calibrada mediante la función de ajuste totalmente automático.
- Se tiene pesas patrón, para verificar una vez a la semana la calibración externa de la balanza digital.
- Se llena el contenedor de agua con 10 lts, se cambia el agua cada 50 muestras y en los cambios litológicos de las muestras.
- El tamiz se sujeta en la parte inferior de la balanza digital, se sumerge en el contenedor de agua para poder sostener la muestra durante el pesado. Se hace limpieza cada vez que se acumulen detritos de las muestras.
- En cada corrida se escoge la muestra más representativa y compacta, sin porosidad ni fracturas de un tamaño 10-15cm. Para conseguir muestra de entre 10 – 15cm, se usa la comba de 4 lb.
- La muestra se pesa primero en seco “Psec (aire)”, luego se sumerge en agua y se pesa nuevamente “Psum (agua)”, ambos datos son registrados y las muestras se colocan en sus respectivas cajas. Ver figura 4.3.



Figura 4.2. Foto de medición de la Gravedad Específica (método Jolly).

- La relación usada para el cálculo manual de la Gravedad Específica, es la siguiente.

$$GE = \frac{P_{sec(aire)}}{P_{sec(aire)} - P_{sum(agua)}}$$

Donde: GE es Gravedad Específica, Psec (aire) es Peso seco en aire y Psum (agua) es Peso sumergido en agua.

4.2.2. Determinación de la Gravedad Específica (GE) (con Parafina)

Este método se utiliza para rocas fracturadas y porosas. El objetivo fundamental es determinar el Peso unitario del testigo en seco, el Peso seco en cera - aire y el Peso sumergido en cera - agua.

4.2.2.1. Procedimiento

Los materiales que se usan son los siguientes: balanza digital (precisión +/- 0.1g), estufa de secado, hornillo eléctrico, contenedor de agua, parafina, canastilla de acero, guantes de látex y traspaleta.

Los pasos que se realizan son los siguientes:

- Se procede a verificar las muestras recepcionadas, confirmando cantidad e identificación individual de acuerdo a la data adjunta en la entrega.
- La información verificada se consignará en el formato de control interno.
- Identificada la muestra se procede al secado en la estufa a temperatura de 105 °C ± 5 °C, por un tiempo de 08 a 20 horas.
- Se enfría a temperatura ambiente luego se pesa y se registra el valor de Peso seco en aire.
- La muestra se sumerge en un baño de parafina fundida retirándose luego para dar paso al enfriamiento y solidificación de la parafina que cubre totalmente la superficie de la muestra.

- Una vez fría la muestra se pesa, se registra este valor de Peso seco cera-aire.
- Se sumerge la misma muestra en la canastilla (siempre suspendida de la balanza) en el contenedor con agua, y se registra este resultado de Peso sumergido cera-aire. Ver figura 4.3.



Figura 4.3. Foto de medición de la Gravedad Específica (con parafina).

- Se consigna la densidad de la parafina suministrada por el proveedor 0.92g/cm^3 .
- La relación usada para el cálculo manual de la Gravedad Específica, es la siguiente.

$$GE = \frac{P_{\text{sec}}(\text{aire})}{((P_{\text{sec}}(\text{cera} - \text{aire}) - P_{\text{sum}}(\text{cera} - \text{aire})) - (P_{\text{sec}}(\text{cera} - \text{aire}) - P_{\text{sec}}(\text{aire}) / 0.92)}$$

Donde: GE es Gravedad Específica, $P_{\text{sec}}(\text{aire})$ es Peso seco en aire, $P_{\text{sec}}(\text{cera-aire})$ es Peso seco cera-aire y $P_{\text{sum}}(\text{cera-aire})$ es Peso sumergido cera-aire.

4.3. Aseguramiento y control de la calidad (QA/QC)

Para el aseguramiento y control de calidad de la Gravedad Específica, se considera los siguientes controles:

- Se verifica que la balanza digital se encuentre debidamente calibrada conforme lo indicado en la Norma Operativa de Calibración de Equipos. Diariamente se realiza una calibración de la balanza.
- Cada 10 muestras se asegura que la balanza proporcione los datos adecuados.
- En la tabla 4.2. de valores de Gravedad Específica, se establece valores máximos y mínimos para cada litología y en caso de que los resultados se encuentren fuera de los valores máximos y mínimos, se realizarán mediciones adicionales de comprobación.

Tabla 4.2. Valores de Gravedad Específica por litologías.

Litología	Media	Media -2SD	Media + 2SD
51	2.789	2.539	3.039
52	2.604	2.43	2.778
54	2.577	2.44	2.714
56	2.567	2.411	2.722
58	2.596	2.269	2.922
61	2.707	2.365	3.049
62	2.718	2.223	3.213
64	2.651	2.234	3.069
71	3.075	2.318	3.833
78	2.73	2.474	2.985
99	2.337	1.64	3.034
41,42,49,50	2.653	2.438	2.868

CAPITULO V

ESTIMACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

5.1. Base de datos

La base de datos del proyecto Coroccohuayco, que se usa en este informe de suficiencia, presenta la información de 464 sondajes, con 165,727.69m de perforación, la información esta validada para cada etapa (QA/QC).

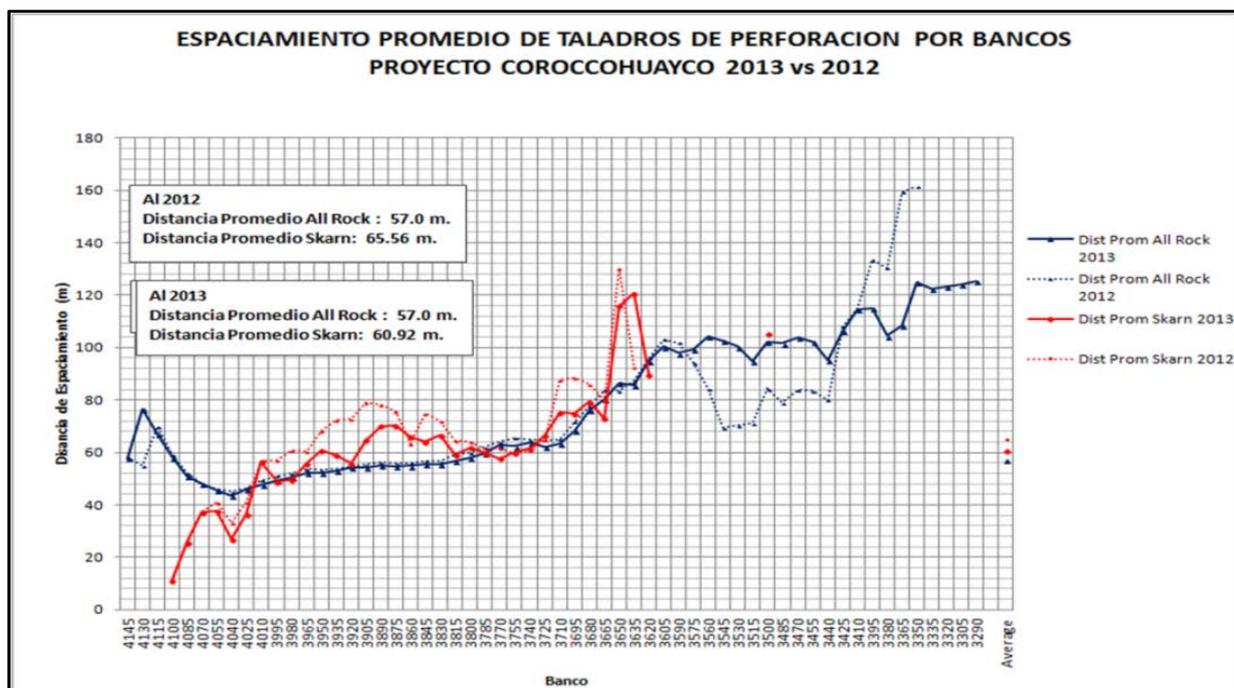


Figura 5.1. Se muestra el espaciamiento promedio de sondajes por bancos diferenciando la litología exoskarn y el resto de litologías, de los años 2012 y 2013.

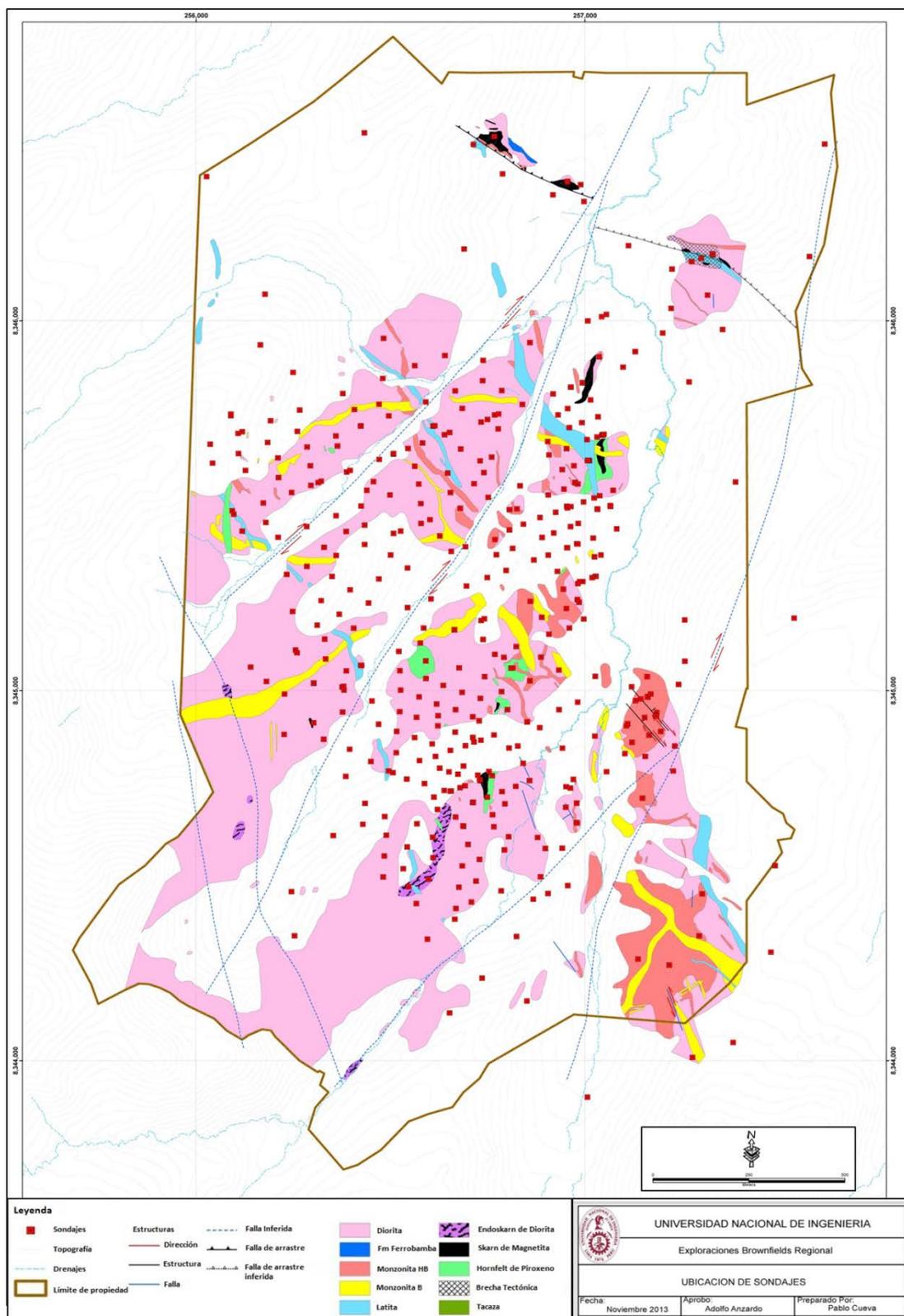


Figura 5.2. Distribución de los 464 sondajes considerados para la estimación de la Gravedad Específica.

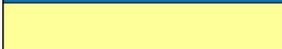
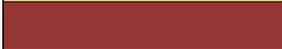
Los sondajes se encuentran distribuidos en secciones non-ortogonales con una orientación preferencial N68°E, en la zona central del depósito los sondajes se encuentran a una distancia promedio de 55m, la mayoría de ellos con inclinación vertical (90°) y los inclinados con buzamientos que varían desde 45° a 80°. La zona central abarca un área de aproximadamente 2km x 1.5km dentro del proyecto. Ver figura 5.2.

Los resultados QA/QC concluyen que la base de datos en Gravedad Específica es lo suficientemente precisa para usarla en la estimación de la Gravedad Específica, dato que se utiliza para el reporte de recursos y reservas.

5.2. Modelo litológico y validación

Se realiza una codificación numérica de la litología para realizar el modelo litológico, análisis de datos, variografía y estimación de la Gravedad Específica. Ver tabla 5.1.

Tabla 5.1. Codificación de la litología.

Color	Código Modelo	Litología Modelo (Lito_P2)
	41	Caliza
	50	Cuarcita
	49	Hornfels
	42	Mármol
	51	Diorita
	52	Pórfido Monzonítico Hornbléndico
	54	Porfido Monzonitico Biotitico
	56	Latita
	58	Andesita
	61	Endoskarn en Diorita
	62	Endoskarn en Pórfido Monzonítico Hornblendico
	64	Endoskarn en Porf. Mz Bt
	71	Exoskarn
	78	Magmática/Hidrotermal.
	99	Cuaternario

El modelo litológico se realizó usando el software Leapfrog Mining, el procedimiento se encuentra en el anexo I. Se realiza un modelamiento en 3D, como se muestra la figura 5.3.

Tabla 5.2. Validación de la interpretación.

Tabla de Validación de la Interpretación del Modelo Geológico en 3D - Coroccohuayco 2013																	
Lit_log	Lit_bt	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78	99	Grand Total
41																	
%		62%	1.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.38%
m		521.7	186.2				4.3							21.9			734.1
42																	
%		7.53%	86%	0.17%	0.35%	0.06%	0.26%	0.09%	0.69%	0.63%	0.37%	0.40%	0.29%	5.43%	0.00%	0.00%	5.89%
m		61.5	9084.5	10.9	12.4	42.3	43.4	11.8	35.7	5.4	27.3	10.6	2.9	941.1			10289.8
49																	
%		3.53%	0.32%	88%	4.75%	0.00%	0.39%	0.57%	2.00%	1.88%	0.00%	0.34%	0.00%	0.30%	0.00%	0.00%	3.65%
m		20.1	35.7	5964.6	123.6	1.6	63.1	87.7	91.3	9.9		5.8		50.7			6454.1
50																	
%		4.00%	0.02%	4.40%	86%	0.00%	0.10%	0.16%	0.44%	0.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	1.80%
m		35	1.3	288.2	2691.8		16.1	27.1	20.5	6.4				6.3			3092.7
51																	
%		0.00%	0.44%	0.08%	0.46%	96%	1.57%	1.81%	9.45%	9.39%	7.66%	0.20%	0.00%	0.34%	0.19%	3.98%	41.05%
m			43.3	4.1	11.6	67611.8	283.5	238.4	460	81.3	623	6.3		59.5	5.7	100.2	69528.7
52																	
%		2.59%	0.87%	2.23%	2.95%	0.78%	94%	0.56%	2.87%	2.09%	0.54%	10.86%	0.00%	0.81%	2.26%	0.38%	12.12%
m		21.2	91.8	112.5	63.2	497.8	18346.2	67.7	137.5	17.8	38.1	263.9		145.2	121.3	10.5	19934.7
54																	
%		1.18%	0.34%	1.67%	1.27%	0.33%	0.31%	94%	2.65%	0.84%	0.10%	0.20%	6.67%	0.83%	1.51%	0.08%	8.53%
m		6.1	33.4	106.2	37	196	63.5	13951.8	127	5.4	10.6	4.7	39.5	143.7	83.8	0.1	14808.8
56																	
%		0.47%	0.53%	0.50%	1.33%	0.28%	0.17%	0.09%	78%	0.63%	0.58%	0.00%	0.00%	0.32%	0.00%	0.15%	2.54%
m		4.7	71.3	36.2	37.4	203.1	32.3	12.3	3966.5	5.5	48.2			57.3		5.9	4480.7
58																	
%		0.24%	0.14%	0.31%	0.64%	0.10%	0.04%	0.16%	0.25%	75%	0.16%	0.00%	0.87%	0.13%	0.28%	0.00%	0.51%
m		1.7	9.6	17.6	15.1	52.5	9	15.3	9.6	575.6	11.9		2	19.8	12.8		752.5
61																	
%		0.24%	0.95%	0.03%	0.46%	1.82%	0.05%	0.15%	1.31%	4.80%	85%	0.00%	0.00%	1.89%	0.00%	0.23%	5.44%
m		2.6	83.7	2.9	14.8	1158.4	7	26.3	60.9	39.9	6913.1			302.7		6.5	8618.8
62																	
%		0.71%	0.88%	1.00%	0.58%	0.06%	1.42%	0.01%	0.04%	0.84%	0.25%	79%	0.00%	1.95%	0.19%	0.00%	1.77%
m		2.6	83.9	54.5	16.8	37.5	258.3	2.3	2.9	6.5	20.2	190580%		310.5	9.7		2711.5
64																	
%		0.24%	0.39%	0.03%	0.00%	0.00%	0.02%	0.94%	0.00%	0.42%	0.00%	0.00%	73%	0.38%	0.00%	0.00%	0.42%
m		0.9	34.2	1.6		0.6	2.4	111.6		3			374.8	55.1			584.2
71																	
%		17.18%	7.68%	1.39%	0.87%	0.09%	0.73%	0.98%	2.03%	1.88%	5.79%	9.24%	19.42%	87%	0.47%	0.54%	11.22%
m		101.2	603	64.9	19.8	45.7	105.6	113.8	78.1	12.9	392	188.1	92.7	13855.1	23	13.6	15709.5
78																	
%		0.00%	0.00%	0.03%	0.12%	0.03%	0.52%	0.32%	0.65%	1.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	95%	0.15%	3.34%
m				2.9	6.1	19.1	98.3	44.1	30.6	12.6				24.1	4864.4	3.3	5105.5
99																	
%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.05%	0.01%	0.04%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	94%	1.34%
m						37.8	6.2	0.1	0.2		3.2			0.6		2769.8	2817.9
Total %		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Total m		779.3	10361.9	6667.1	3049.6	69904.2	19339.2	14710.3	5020.8	782.2	8087.6	2385.2	511.9	15993.6	5120.7	2909.9	165623.5

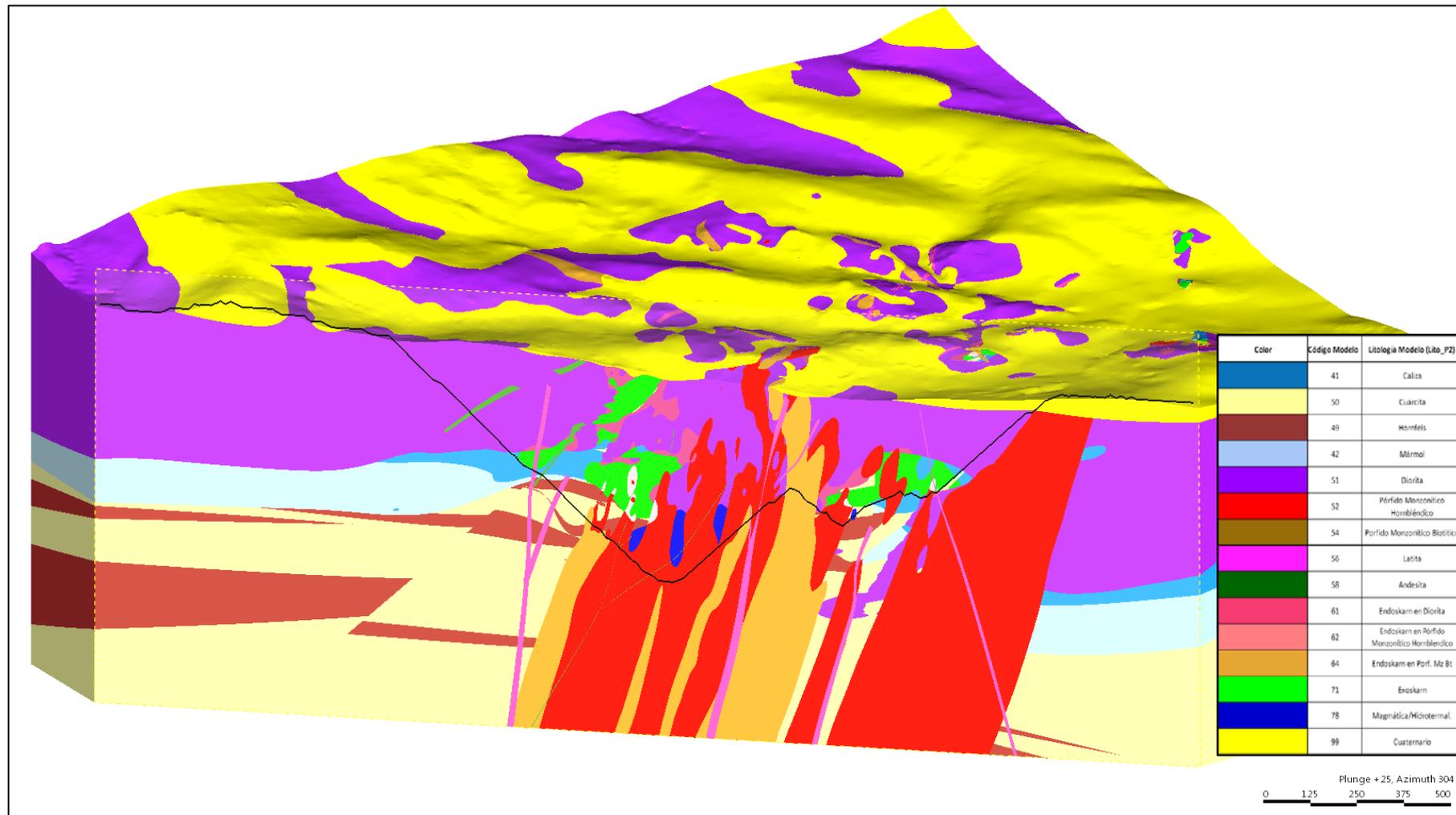


Figura 5.3. Modelo litológico del proyecto Coroccohuayco en Leapfrog Mining.

Es importante señalar que el modelo litológico representa mejor la continuidad espacial de las principales unidades litológicas definidas dentro del proyecto, llegando a una correspondencia mayor al 90% en las principales unidades y en el resto de unidades por encima del 85% (ver tabla 5.2).

Para esta etapa de estimación se usaron todas las muestras dentro de los sólidos interpretados. Los sólidos interpretados se usaran para realizar la estimación de la Gravedad Específica.

5.3. Análisis estadístico de datos (EDA)

Este análisis se realizó en dos etapas:

- La primera etapa consistió en la realización de la estadística descriptiva para la Gravedad Específica en las muestras de la base de datos; se realizó con el objetivo de entender la variabilidad de la Gravedad Específica.
- La segunda etapa consistió en el análisis y definición de los dominios de estimación. Este análisis se realizó con los datos de Gravedad Específica discriminado por litología.

Para realizar el análisis estadístico de datos (EDA) se utilizó el programa Supervisor V8.1, el procedimiento usado en el software Supervisor V8.1 se encuentra en el anexo II.

5.3.1. Estadística Descriptiva

La estadística descriptiva se realizó con los resultados de la Gravedad Específica de la base de datos a tamaño muestra, el análisis se hizo mediante la generación de histogramas, gráficos de probabilidad acumulada, caja con bigotes o diagrama de cajas (box plot) y tablas de los 14 descriptores estadísticos. Para dicho proceso se utilizó el programa Supervisor V8.1.

5.3.1.1. Gravedad Específica (GE)

Se presentan los resultados estadísticos de la Gravedad Específica usando las muestras de la base de datos.

Tabla 5.3. Estadística descriptiva de la Gravedad Específica a tamaño muestra discriminada por litología y el total de litologías.

GE (Kg/m3) por Litología - Principales descriptores estadísticos a tamaño de muestra original																
Litología	Total	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78	99
Nro. De Muestras	69171	301	4493	2341	979	30191	7606	5482	1489	295	3550	1008	178	8249	2823	164
Imported	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171	69171
Minimum	1.07	1.85	1.07	1.58	1.73	1.07	1.31	1.57	1.91	2.04	1.07	1.07	2.12	1.22	1.83	1.52
Maximum	10.21	4.02	5.63	7.51	3.85	8.17	9.16	5.15	4.65	4.19	4.73	3.98	3.7	10.21	5.4	3.15
Media	2.752	2.679	2.676	2.65	2.611	2.788	2.612	2.582	2.577	2.619	2.713	2.726	2.696	3.106	2.731	2.337
Desv. Stan.	0.272	0.167	0.183	0.204	0.132	0.191	0.181	0.14	0.196	0.225	0.247	0.295	0.287	0.455	0.208	0.357
CV	0.099	0.062	0.069	0.077	0.051	0.069	0.069	0.054	0.076	0.086	0.091	0.108	0.106	0.147	0.076	0.153
Variance	0.074	0.028	0.034	0.042	0.017	0.037	0.033	0.02	0.039	0.051	0.061	0.087	0.082	0.207	0.043	0.128

A continuación se presenta histograma y gráficos de probabilidad acumulada.

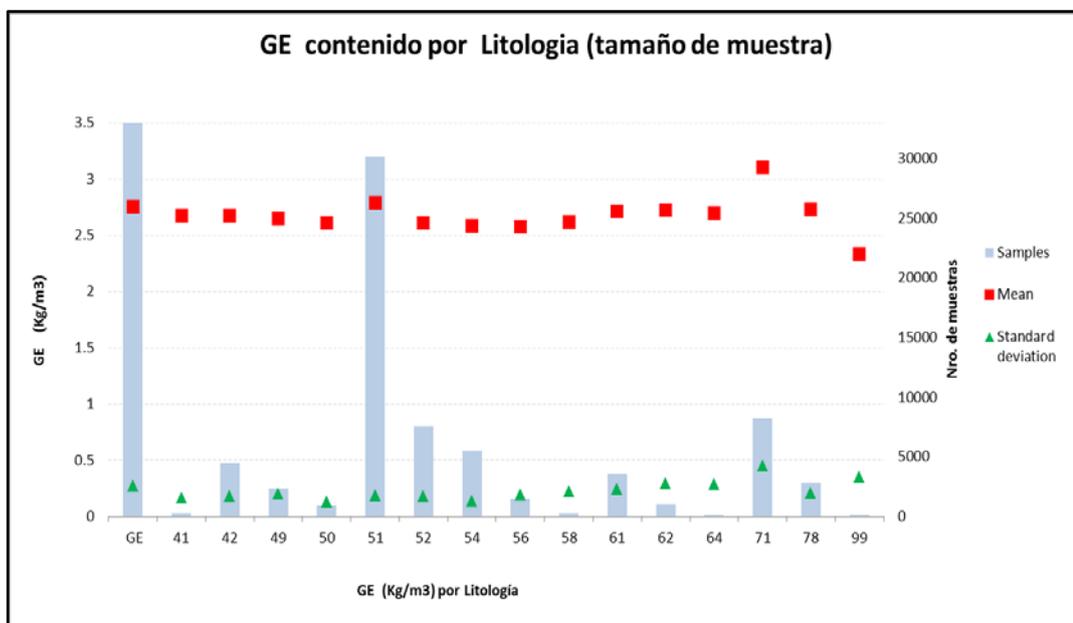


Figura 5.4. Comportamiento estadístico de la Gravedad Específica discriminado por litología.

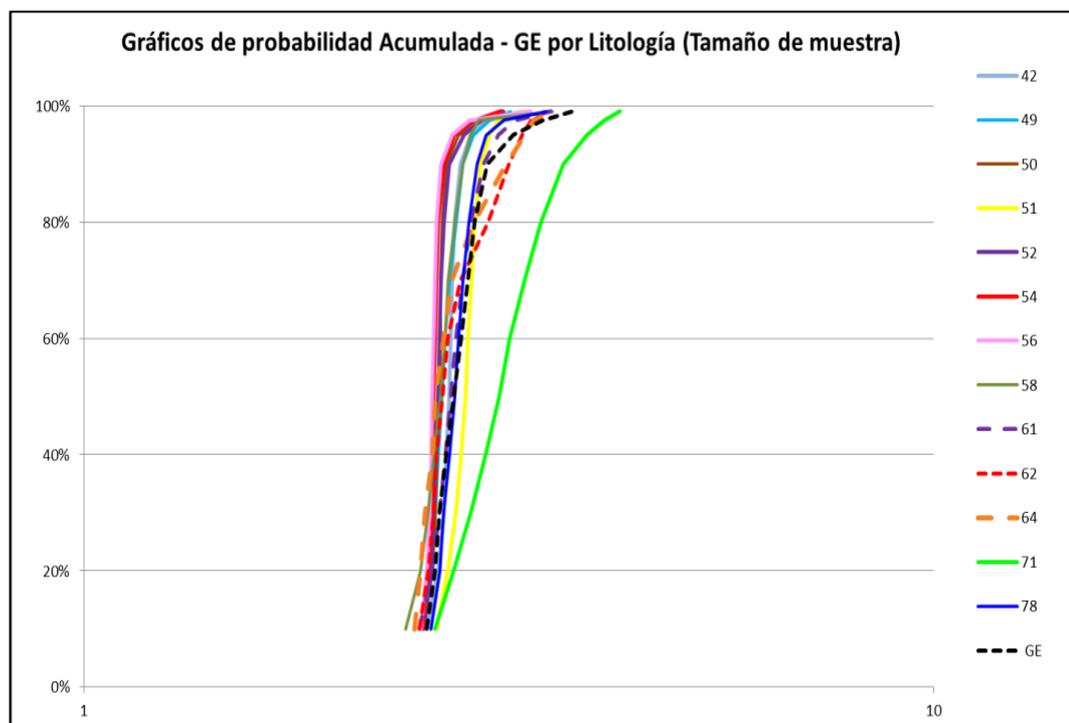


Figura 5.5. Grafico comparativo de la probabilidad acumulada para la Gravedad Específica discriminado por litología.

Desde el punto de vista estadístico (gráficos de probabilidad acumulada y grupo de cajas con bigotes (Box-and-Whisker Plot Group) se reconocen claramente cinco poblaciones diferentes en la distribución de la Gravedad Específica (ver figura 5.6.) que se resume en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Principales poblaciones y GE promedio.

N°	Población Estadística	Valor medio de GE kg/m ³	% Muestras de la base de datos
1	Exoskarn 71	3.077	11.92
2	Diorita 51	2.788	43.64
3	Brecha magmática hidrotermal 78	2.731	4.08
4	Endoskarn 61, 62, 64	2.696 a 2.726	6.84
5	Otras litologías 41, 42, 49, 50, 52	2.337 a 2.679	33.52

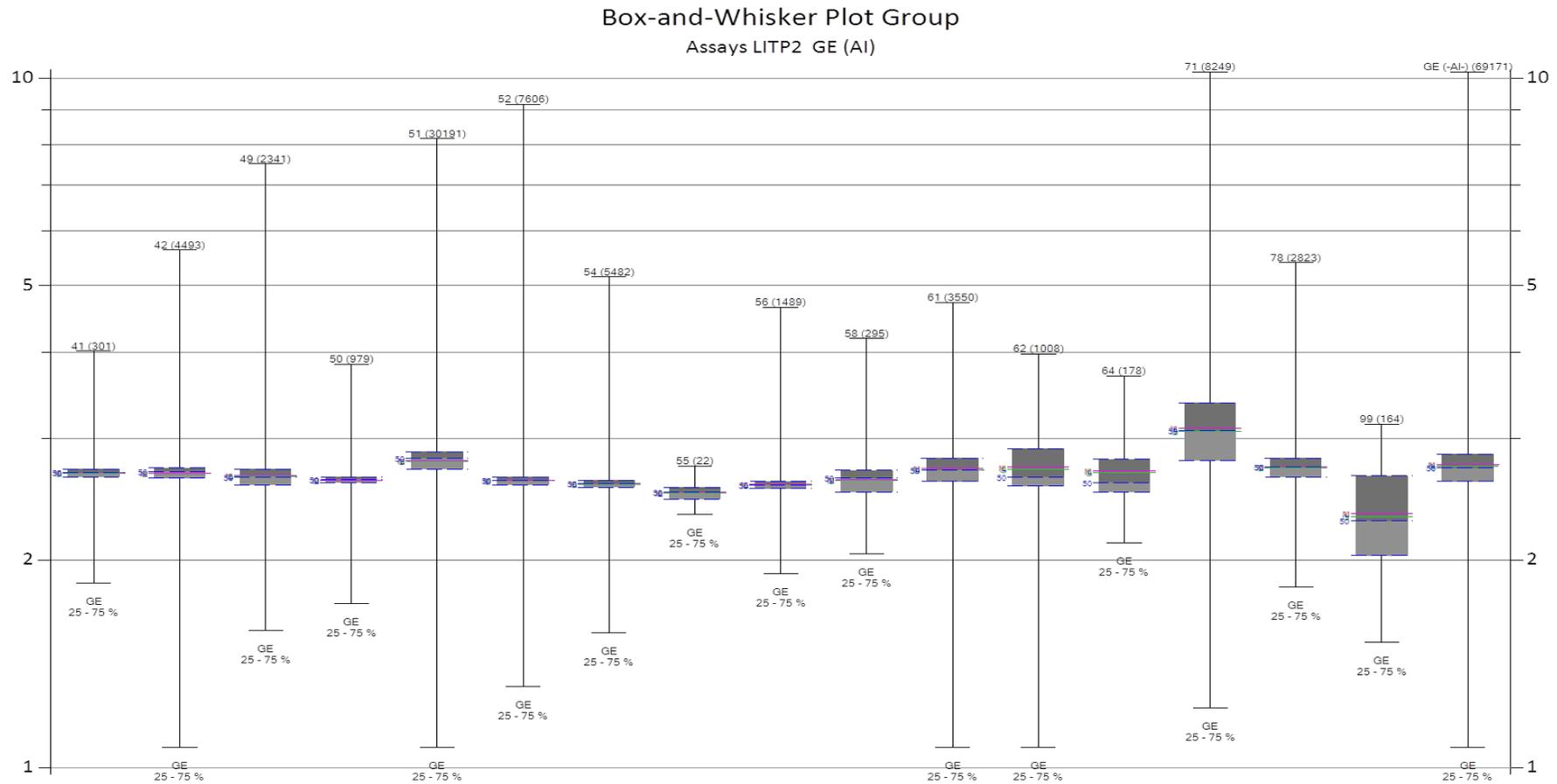


Figura 5.6. Gráfico comparativo “Box-and-Whisker Plot Group” para la Gravedad Específica discriminado por litología (las líneas rojas representan la media de cada distribución, las líneas azules representan la mediana, el rectángulo gris representa los percentiles 25-75% de la distribución estadística y las líneas negras representan los valores extremos. En el eje vertical se encuentran la Gravedad Específica en escala logarítmica y en el eje horizontal las unidades litológicas).

5.3.1.2. Regularización de sondajes (Composición)

Se realizó el proceso de regularización de los sondajes con el objetivo de obtener una base de datos apropiada en términos estadísticos, que permita realizar el análisis variográfico y el proceso de estimación de la Gravedad Específica. El proceso de regularización se hizo para generar compósitos (muestras) del mismo soporte (longitudes iguales), en este caso del mismo volumen, obteniendo así una variable regionalizada aditiva.

El resultado esperado de este proceso es una disminución de la variabilidad (reducción de la varianza) y una variación mínima en el valor medio de la variable analizada, ver tabla 5.5.

Tabla 5.5. Estadística descriptiva para la Gravedad Específica a compósitos (5m) discriminada por litología.

GE (Kg/m3) por Litología - Principales descriptores estadísticos a tamaño de comp 5m																
Litología	Total	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78	99
Nro. De Muestras	26536	136	1899	1042	471	10981	3075	2365	662	188	1334	426	84	2793	987	80
Imported	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536	26536
Minimum	1.07	2.27	1.07	1.58	2.17	1.42	1.91	1.83	2.01	2.15	1.24	1.88	2.39	1.24	2.02	1.69
Maximum	7.07	3.27	4.89	5.14	3.24	5.48	4.29	3.73	4.37	4.19	4.19	3.92	3.7	7.07	4.02	2.92
Media	2.75	2.679	2.675	2.649	2.614	2.786	2.611	2.583	2.578	2.61	2.713	2.735	2.733	3.113	2.728	2.361
Desv. Stan.	0.24	0.124	0.148	0.168	0.105	0.158	0.129	0.102	0.151	0.215	0.22	0.258	0.271	0.382	0.169	0.321
CV	0.087	0.046	0.055	0.064	0.04	0.057	0.049	0.039	0.059	0.082	0.081	0.094	0.099	0.123	0.062	0.136
Variance	0.058	0.015	0.022	0.028	0.011	0.025	0.017	0.01	0.023	0.046	0.048	0.067	0.073	0.146	0.029	0.103

Tabla 5.6. Diferencia de muestras sin compositar y muestras compositadas.

GE (Kg/m3) por Litología - Validacion de Muestras vs Compositos 5m																
Litología	Total	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78	99
Media	Total	0	0.001	0.001	-0.003	0.002	0.001	-0.001	-0.001	0.009	0	-0.009	-0.037	-0.007	0.003	-0.024

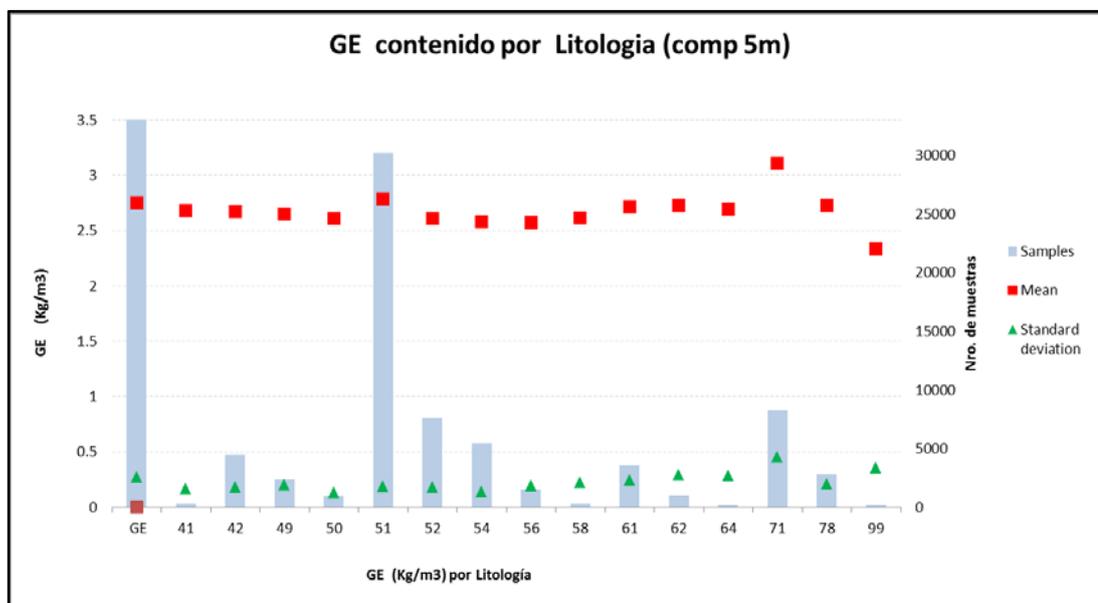


Figura 5.7. Comportamiento estadístico de la Gravedad Específica discriminado por litología.

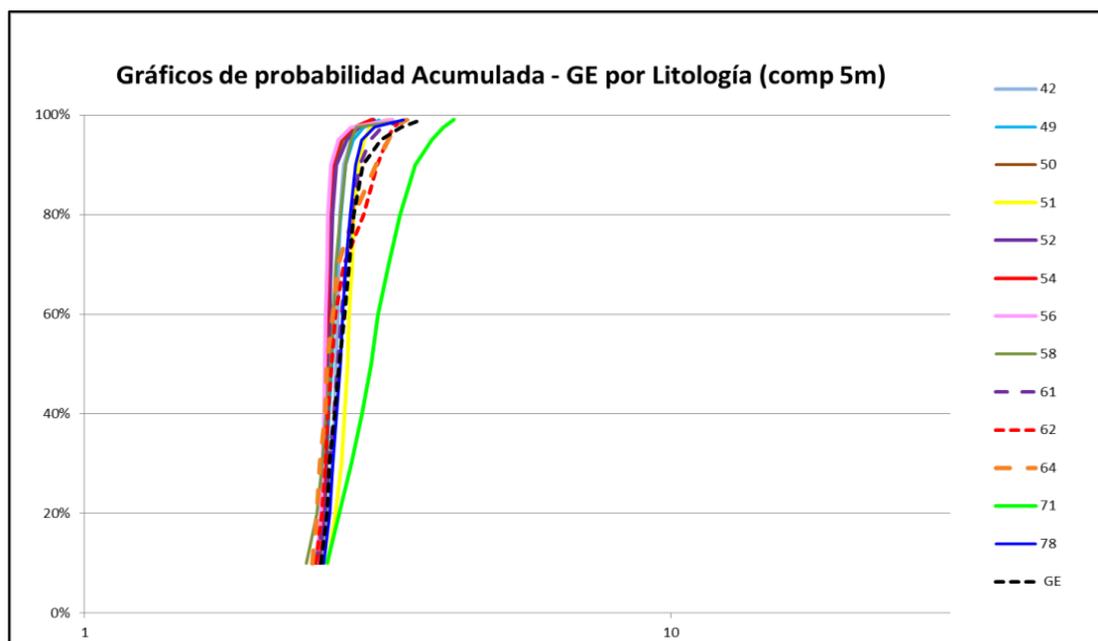


Figura 5.8. Gráfico comparativo de la probabilidad acumulada para la Gravedad Específica discriminado por litología.

Desde el punto de vista estadístico se reconocen claramente las cinco poblaciones que fueron obtenidas en los análisis de muestras sin compositar y con su respectiva variabilidad. Ver figura 5.9.

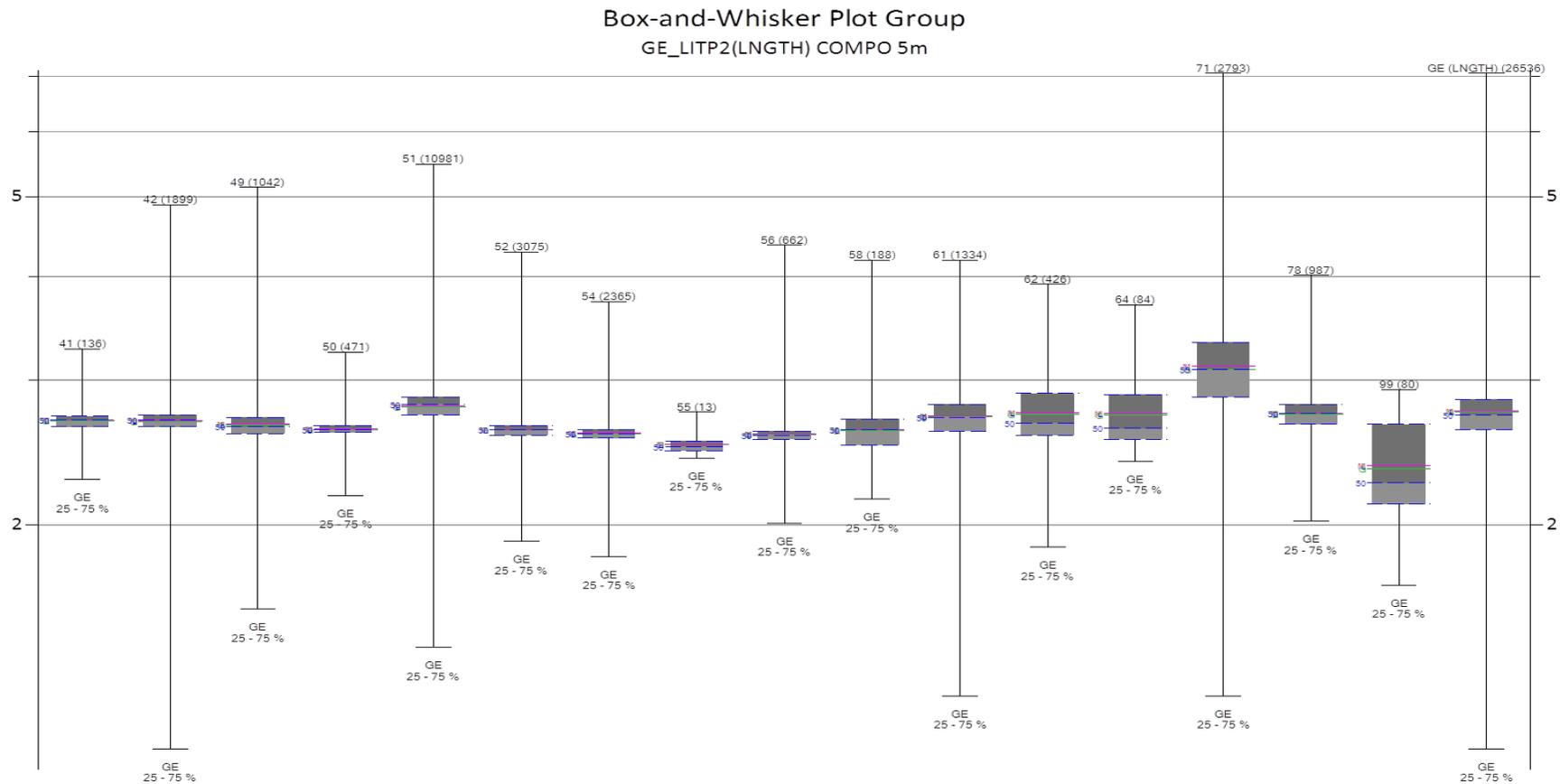


Figura 5.9. Gráfico comparativo de “Box-and-Whisker Plot Group” para la Gravedad Específica discriminado por litología basado en el análisis de las muestras (las líneas rojas representan la media de cada distribución, las líneas azules representan la mediana, el rectángulo gris representa los percentiles 25-75% de la distribución estadística y las líneas negras representan los valores extremos. En el eje vertical se encuentran la Gravedad Específica en escala logarítmica y en el eje horizontal las unidades litológicas).

5.3.2. Análisis y definición de dominios de estimación

Usando como base los resultados obtenidos del análisis estadístico y del proceso de compositación se realizó el análisis exploratorio de los datos, con el objetivo de establecer dominios de estimación donde el comportamiento de las variables analizadas deben presentar un comportamiento estadístico homogéneo y así poder aplicar procesos de interpolación como el kriging ordinario (OK) o el método de inverso a la distancia (IDW).

De los resultados obtenidos previamente (estadística descriptiva) se observa que el comportamiento de la Gravedad Específica, está asociado principalmente a la litología, siendo el exoskarn (71) la unidad de mayor Gravedad Específica y la más representativa dentro del proyecto Coroccohuayco.

El análisis exploratorio de datos en la estimación de recursos del proyecto Coroccohuayco se realizó mediante la generación de histogramas, gráficos de probabilidad acumulada y cajas con bigotes (box plot). A continuación se presentan los resultados obtenidos de este análisis para algunas de las unidades litológicas o dominios de estimación más representativos dentro del proyecto.

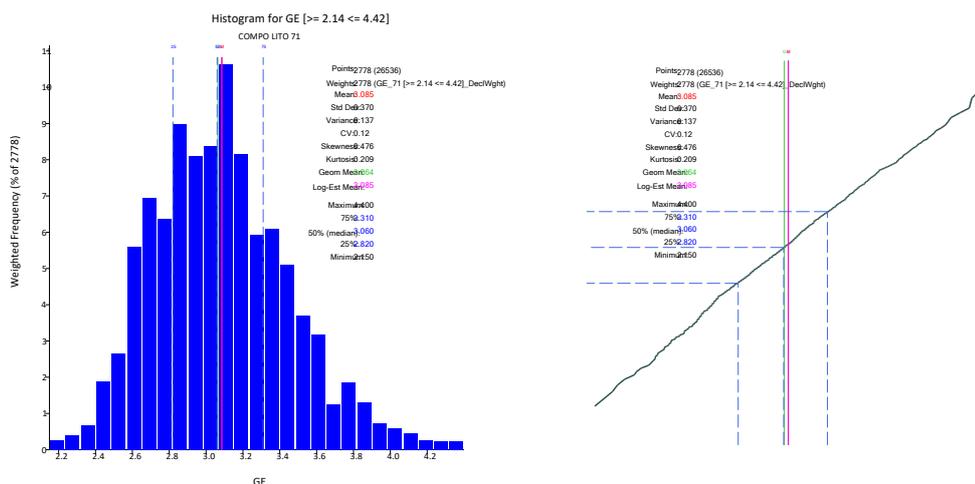


Figura 5.10. Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación exoskarn (71), se observa el histograma y el gráfico de probabilidad acumulada usando los compósitos de 5m.

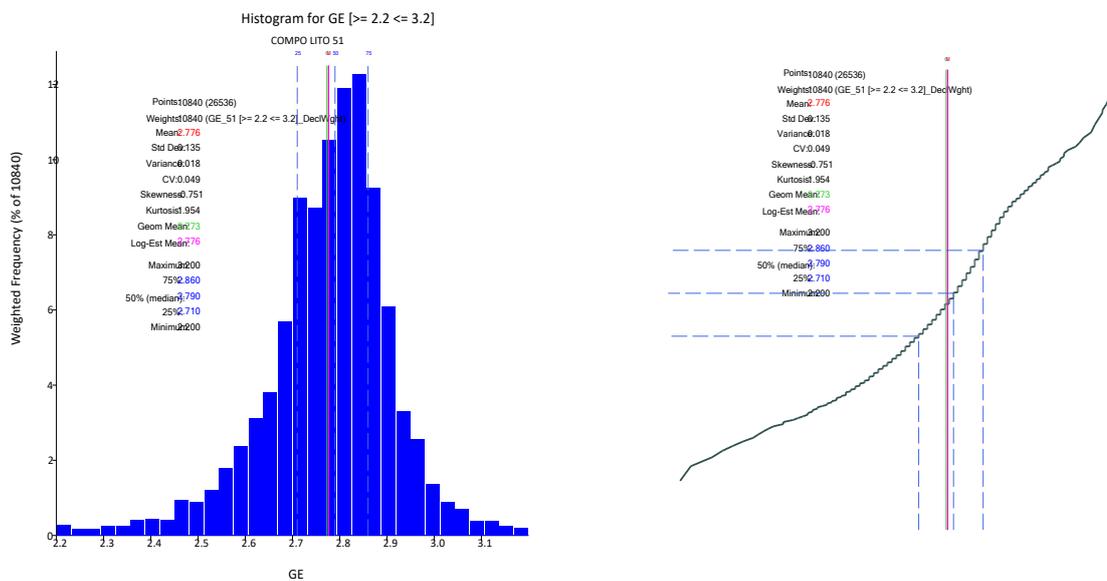


Figura 5.11. Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación diorita (51), se observa el histograma y el gráfico de probabilidad acumulada usando los compósitos de 5m.

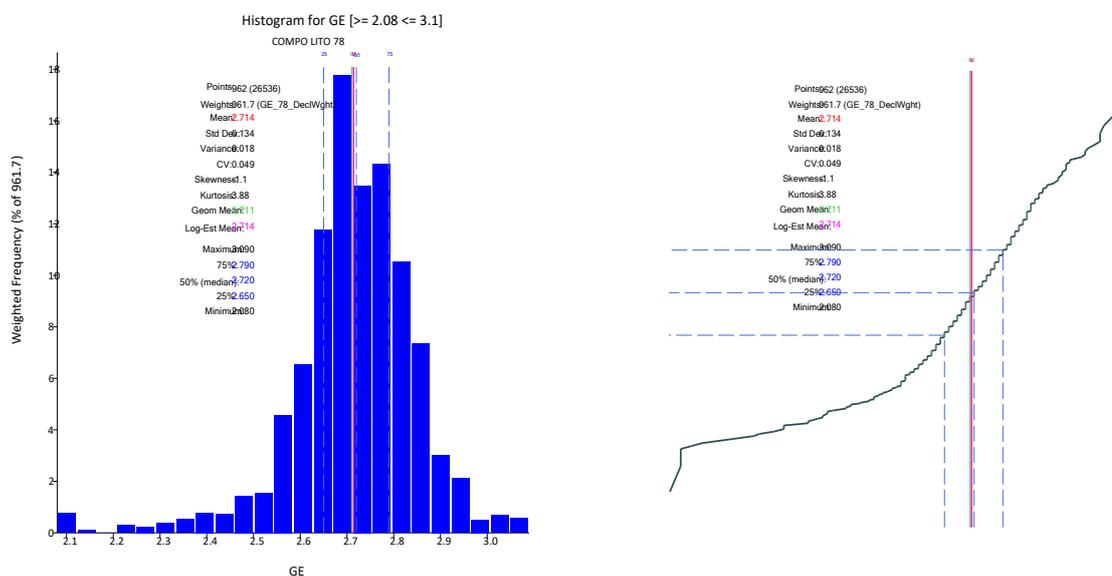


Figura 5.12. Análisis estadístico de datos realizado para la unidad de estimación brecha magmática hidrotermal (78), se observa el histograma y el gráfico de probabilidad acumulada usando los compósitos de 5m.

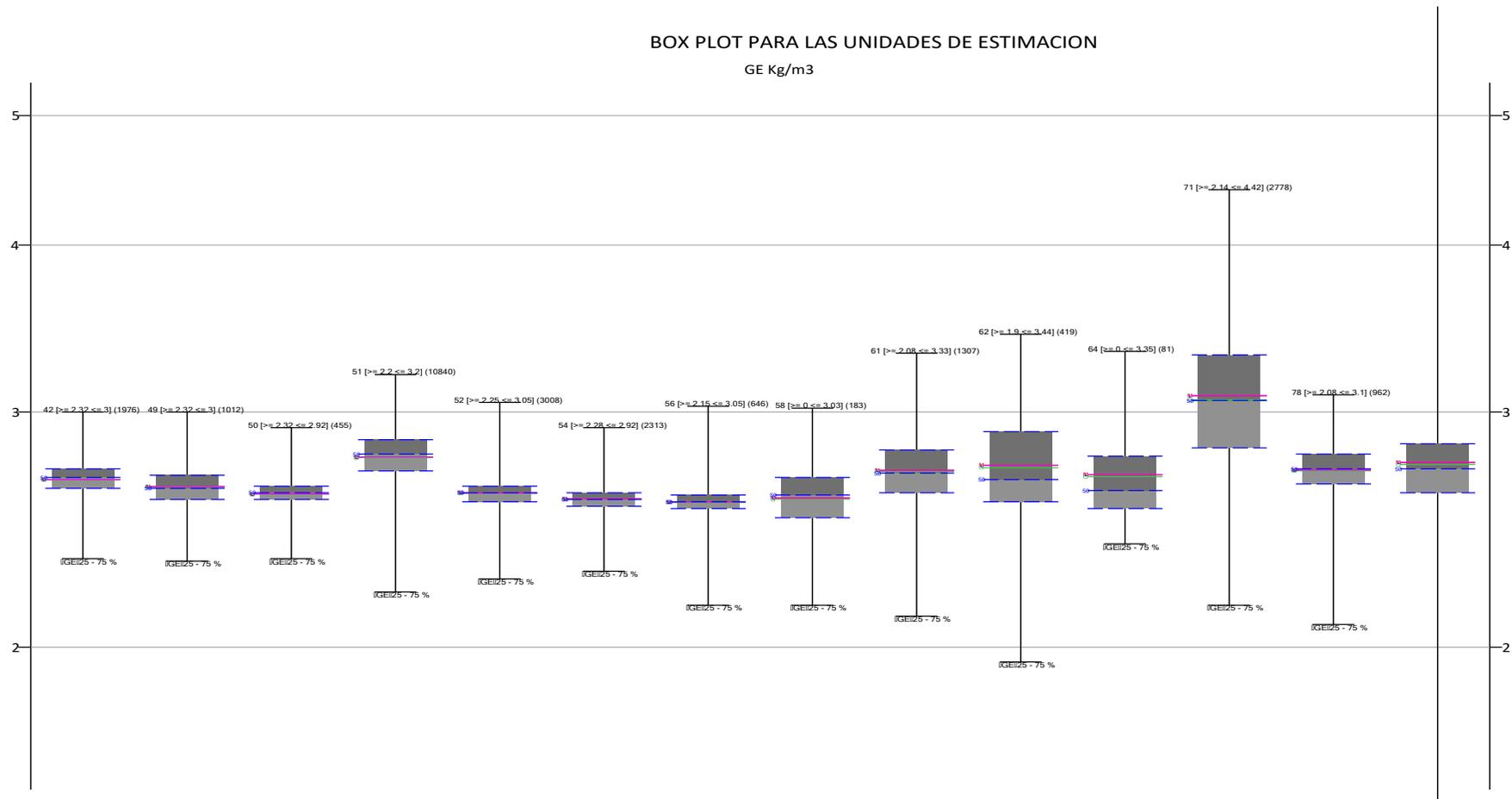


Figura 5.13. Gráfico comparativo “box plot” para la Gravedad Específica discriminado por litología o unidades de estimación (las líneas rojas representan la media de cada distribución, las líneas azules representan la mediana, el rectángulo gris representa los percentiles 25-75% de la distribución estadística y las líneas negras representan los valores extremos. En el eje vertical se encuentran la Gravedad Específica, en escala logarítmica y en el eje horizontal las unidades litológicas).

Como resultado del análisis estadístico de datos realizado para la Gravedad Específica, se obtuvieron 14 dominios de estimación que en general corresponden a las unidades litológicas definidas para el proyecto.

Tabla 5.7 Dominios de estimación para la Gravedad Específica.

Litología Modelo	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78
Dominios de Estimación	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78

5.3.3. Análisis de contacto

Los análisis de contacto son una técnica que permite evaluar el comportamiento de la Gravedad Específica a través de los contactos entre diferentes unidades, estas unidades pueden ser unidades litológicas, de alteración o de estimación. Este análisis busca muestras (en este caso compósitos) que se encuentran a determinada distancia del contacto, calcula la Gravedad Específica media y compara con los valores de Gravedad Específica a diferentes distancias.

Para este estudio se considera contactos duros (no existe continuidad en los valores de Gravedad Específica cuando al contacto de otra litología), para todos los dominios de estimación de la Gravedad Específica, porque la Gravedad Específica es una propiedad de cada litología y por ende de su dominio de estimación.

5.4. Análisis y modelamiento de variogramas (correlogramas)

La continuidad espacial de una variable regionalizada como la Gravedad Específica, puede ser evaluada y medida a partir de un análisis variográfico. El análisis variográfico para el proyecto Corocohuayco se realizó usando correlogramas. De los correlogramas se obtiene una medida de continuidad en diferentes direcciones y para el caso específico del análisis variográfico basado en muestras de sondajes de perforación, el análisis debe ser hecho en tres dimensiones, obteniéndose como resultado un vector en el espacio que representa la dirección y la magnitud de continuidad de la mineralización (isotropía) y otros dos vectores que representan las direcciones y las magnitudes de menor continuidad (anisotropía).

En el proyecto Coroccohuayco la variabilidad espacial fue modelada usando la función de correlograma, que matemáticamente es expresada por la siguiente función:

$$\text{Correlograma}(\rho(h)) = \frac{C(h)}{\sigma_{(x)}\sigma_{(x+h)}} \quad (5.4.1)$$

$$\text{Covarianza}(C(h)) = \frac{1}{N(h)-1} * \sum_{\alpha=1}^{N(h)} (Z(X_{\alpha}) - m_{cola})(z(x_{\alpha} + h) - m_{cabeza}) \quad (5.4.2)$$

*Covarianza entre los primeros y segundos valores separados a una distancia h.

Donde:

- $\sigma(x)$ es desviación estándar en x.
- $\sigma(x+h)$ es desviación estándar en x+h.
- $\rho(h)$ es el correlograma para todas las muestras localizadas en el espacio separado por el intervalo de distancia h.
- N (h), es el número total de pares de muestras separadas por un intervalo de distancia.
- h Z(x) es el valor de la muestra en una localización x.
- Z(x+h) es el valor de la muestra a la distancia de intervalo h desde x.

Los correlogramas experimentales fueron implementados para aquellos dominios de estimación con suficiente número de compósitos que permitían la generación de la función matemática 5.4.1.

También se calcularon los” correlogramas “down hole, que permiten obtener el valor del efecto “pepita” o la variabilidad espacial a pequeña escala.

La figura 5.14. representa los parámetros y planos usados en la generación de los correlogramas experimentales.

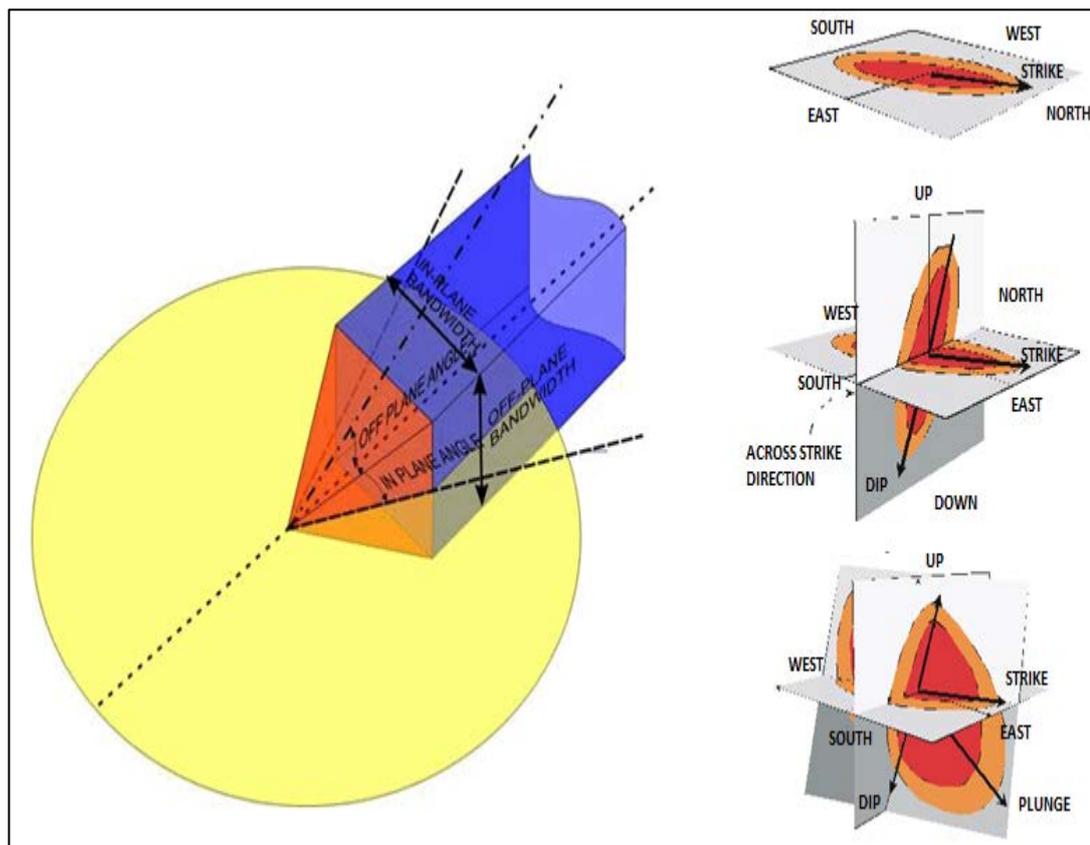


Figura 5.14. Representación gráfica de los parámetros y planos usados en la generación de los correlogramas experimentales. La tolerancia angular es mostrada en la gráfica de la izquierda representada por el ángulo en el plano (in plane angle) y los planos analizados son representados en las figuras a la derecha (plano horizontal - figura superior, plano perpendicular al rumbo – figura en el medio y plano de buzamiento – figura inferior).

El variograma experimental (correlograma) proporciona bastante información del comportamiento espacial de la variable analizada.

Los modelos se ajustaron a los datos de cada correlograma experimental permitiendo establecer los parámetros: (A_0) , el efecto “pepita” (C_0) y la meseta (C_0+C) , que son usados en el proceso de interpolación y que definen el grado y escala de variación espacial.

5.4.1. Variografía de la Gravedad Específica

Un estudio variográfico completo se realiza con el objetivo de obtener nuevos parámetros de interpolación dentro de cada dominio de estimación, este análisis se

realiza para los dominios de estimación que presentan una cantidad suficiente de compósitos para la realización del estudio variográfico. Los compósitos deben representar un volumen importante dentro del depósito y deben corresponder a unidades mineralizadas.

Las unidades en las que se realizó el análisis variográfico fueron el exoskarn (71), el pórfido monzonítico horbléndico (52), el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62), la diorita (51), el endoskarn en diorita (61), el mármol (42), el hornfels (49), el pórfido monzonítico biotítico (54) y la brecha magmática hidrotermal (78). Se utilizó el método kriging ordinario para la interpolación de la Gravedad Específica.

En la andesita (58), la latita (56), el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64), la cuarcita (50) y la caliza (41) se utilizó el método inverso a la distancia para la interpolación de la Gravedad Específica.

Es importante señalar que el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64), también debería tener un análisis variográfico teniendo en cuenta la Gravedad Específica, pero presentan insuficiente número de compósitos (84 compósitos).

A continuación se presentan los correlogramas experimentales y los modelos de variogramas para los principales dominios.

5.4.1.1. Exoskarn (71)

Se realizaron correlogramas experimentales (gráfico de la izquierda), mapas variográficos (gráfico de la derecha), histograma de pares, valor del correlograma cada distancia analizada y número de pares. En los paneles se observan los parámetros utilizados en el cálculo del correlograma para el exoskarn (71), para cada plano analizado.

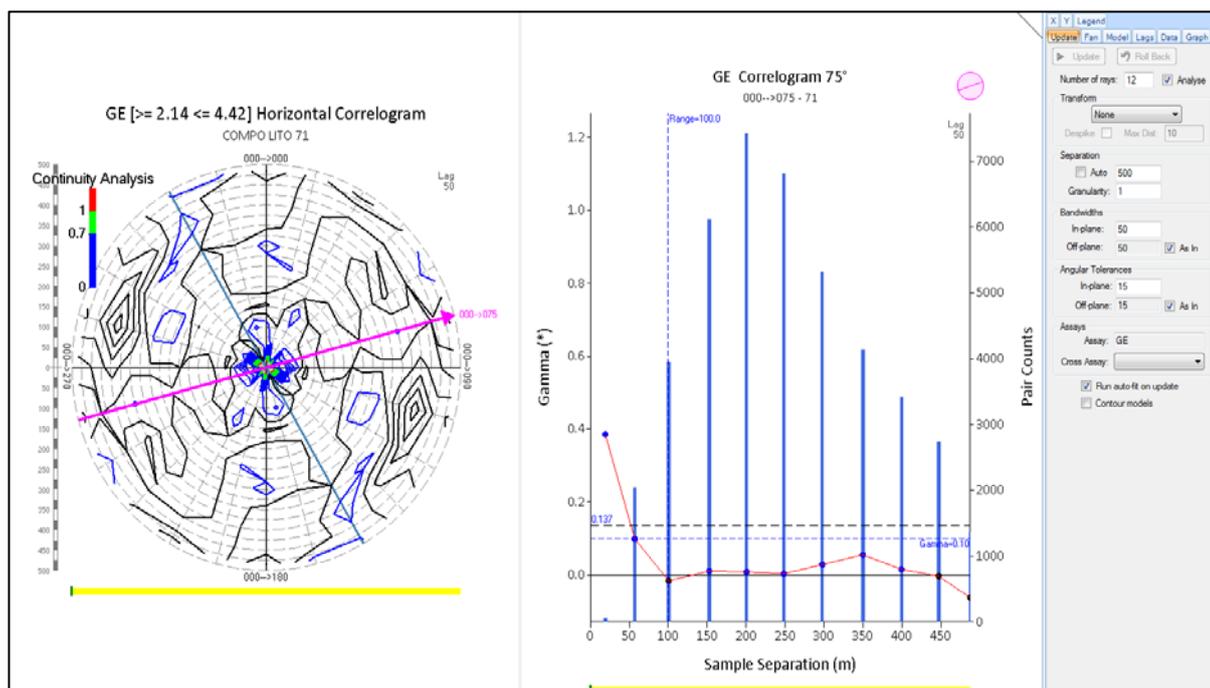


Figura 5.15. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano horizontal, de la Gravedad Específica, calculado para el exoskarn (71).

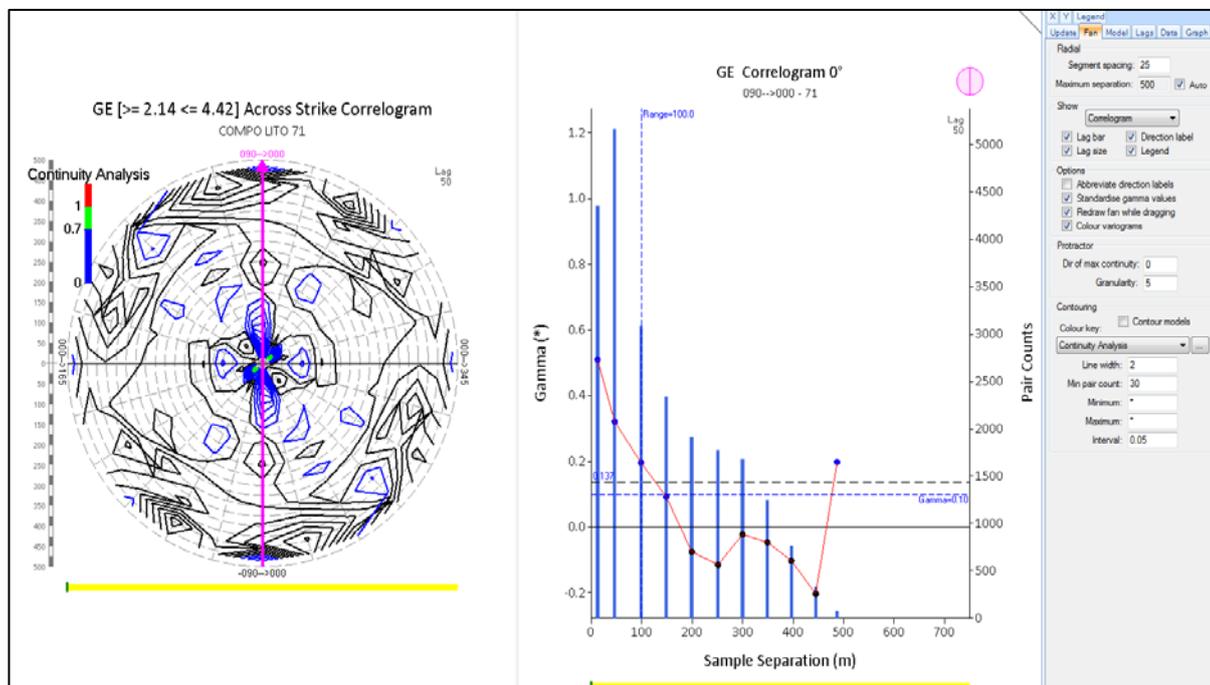


Figura 5.16. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano perpendicular al rumbo, de la Gravedad Específica, calculado para el exoskarn (71).

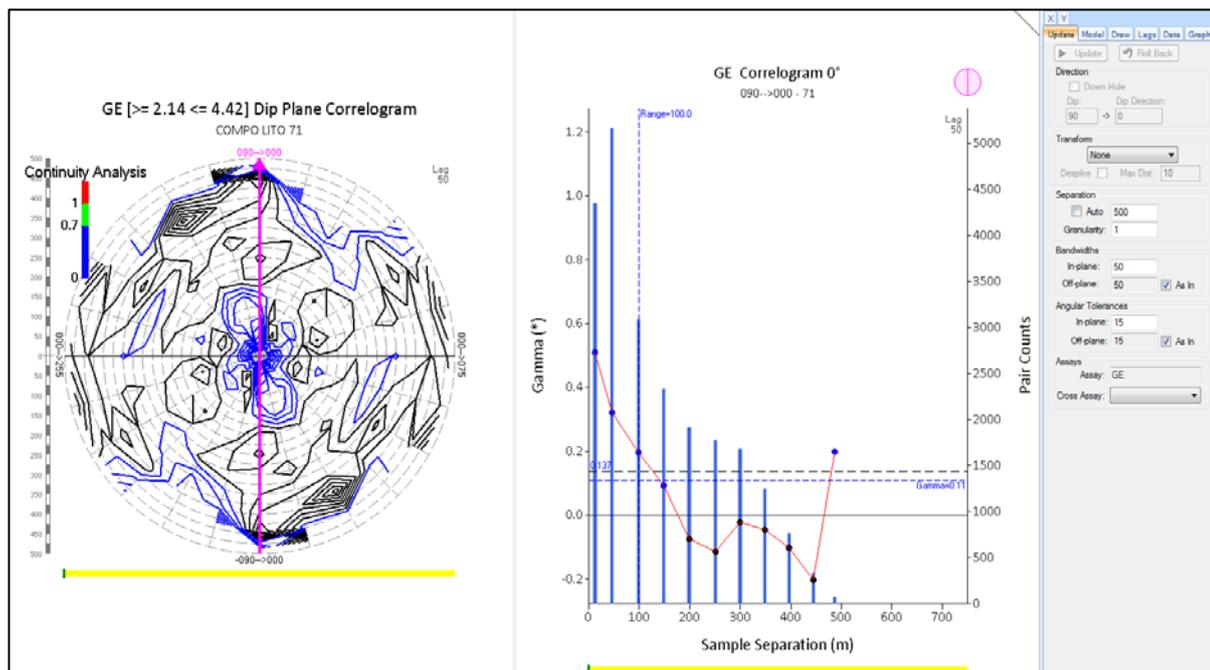


Figura 5.17. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano de buzamiento, de la Gravedad Específica, calculado para el exoskarn (71).

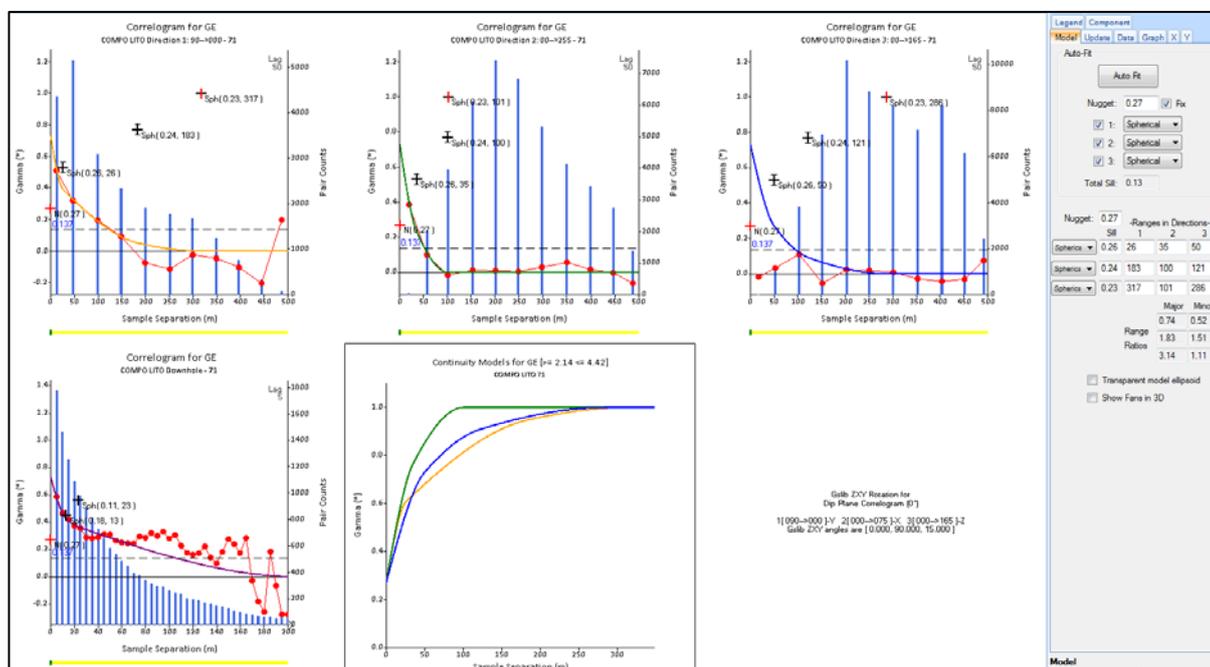


Figura 5.18. Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica en el exoskarn (71). En las gráficas superiores se observa el modelo esférico ajustado a los datos experimentales definidos por correlogramas y en las gráficas inferiores se observa el correlograma “down hole” calculado para definir el efecto “pepita” y el modelo final del variograma. El panel muestra los parámetros definidos en el modelo final de variograma (esférico).

5.4.1.2. Diorita (51)

Se realizaron correlogramas experimentales (gráfico de la izquierda), mapas variográficos (gráfico de la derecha), histograma de pares, valor del correlograma cada distancia analizada y número de pares. En los paneles se observan los parámetros utilizados en el cálculo del correlograma para la diorita (51), para cada plano analizado.

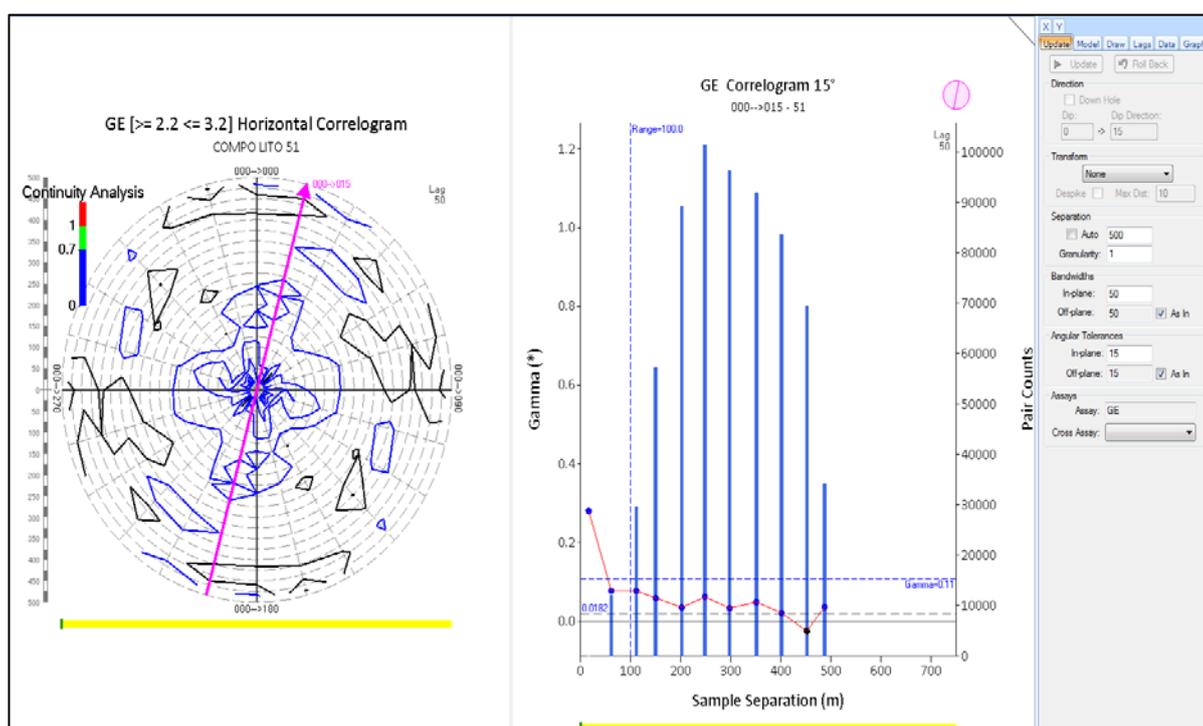


Figura 5.19. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano horizontal, de la Gravedad Específica, calculado para la diorita (51).

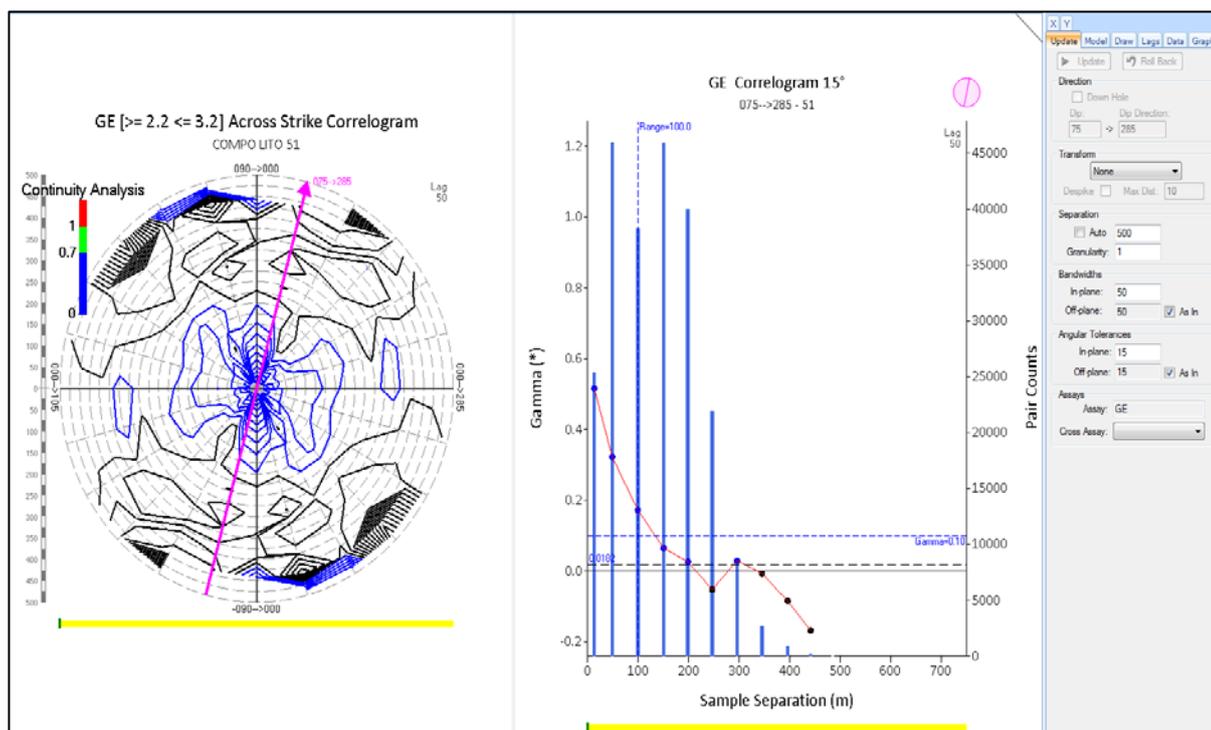


Figura 5.20. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano perpendicular al rumbo, de la Gravedad Específica, calculado para la diorita (51).

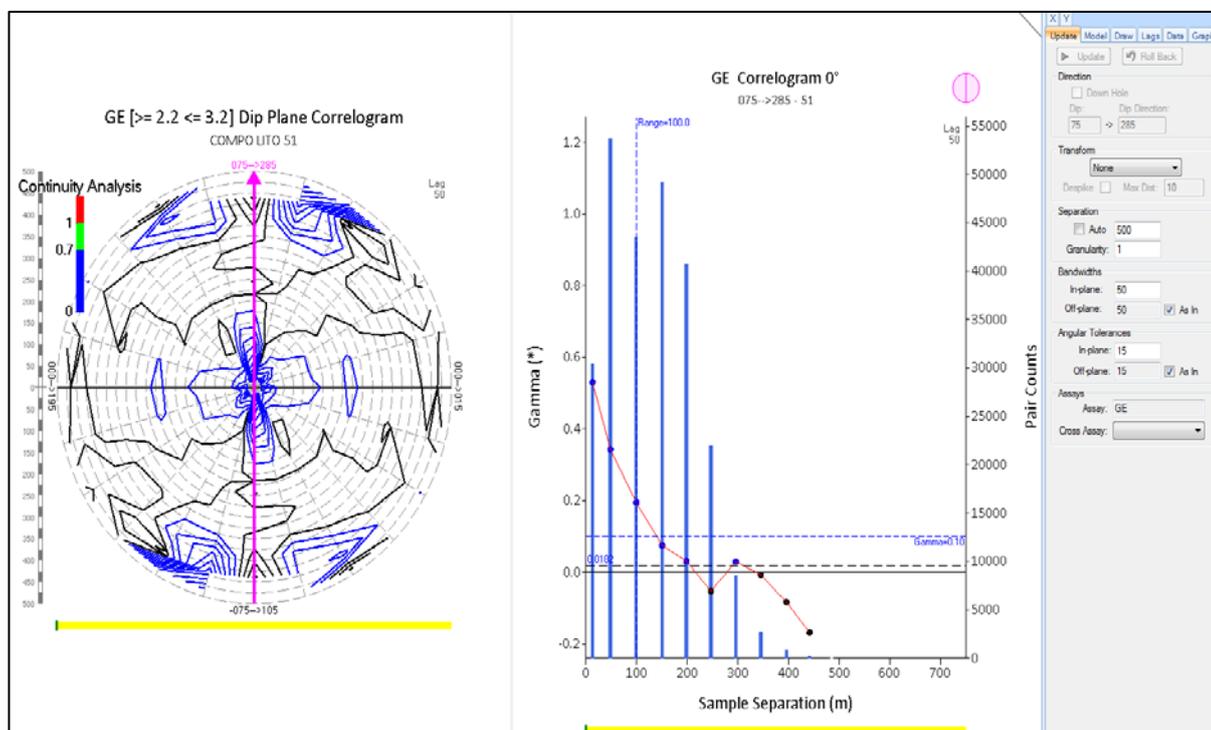


Figura 5.21. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano de buzamiento, de la Gravedad Específica, calculado para la diorita (51).

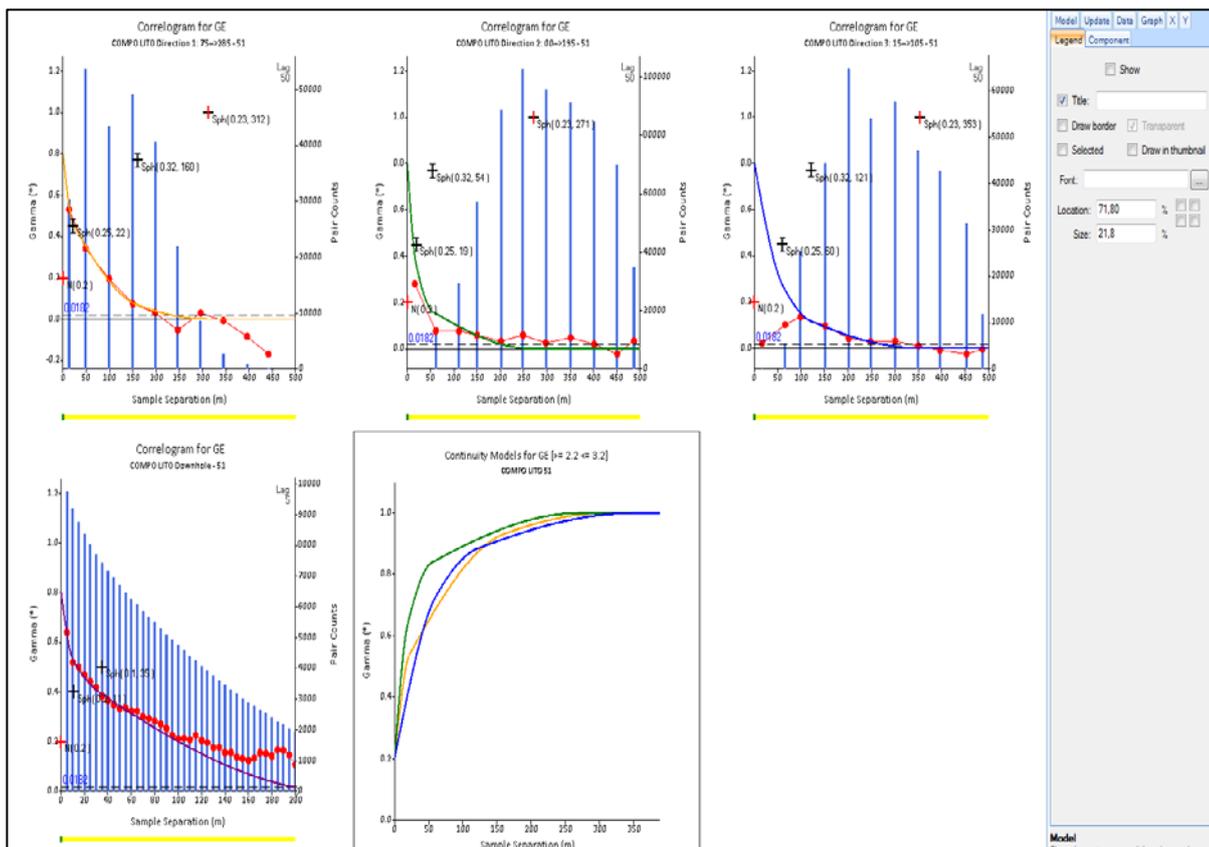


Figura 5.22. Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica, en la diorita (51). En las gráficas superiores se observa el modelo esférico ajustado a los datos experimentales definidos por correlogramas y en las gráficas inferiores se observa el correlograma “down hole” calculado para definir el efecto “pepita” y el modelo final del variograma. El panel muestra los parámetros definidos en el modelo final de variograma (esférico).

5.4.1.3. Brecha magmático hidrotermal (78)

Se realizaron correlogramas experimentales (gráfico de la izquierda), mapas variográficos (gráfico de la derecha), histograma de pares, el valor del correlograma cada distancia analizada y el número de pares. En los paneles se observan los parámetros utilizados en el cálculo del correlograma, calculados para la brecha magmática hidrotermal (78), para cada plano analizado.

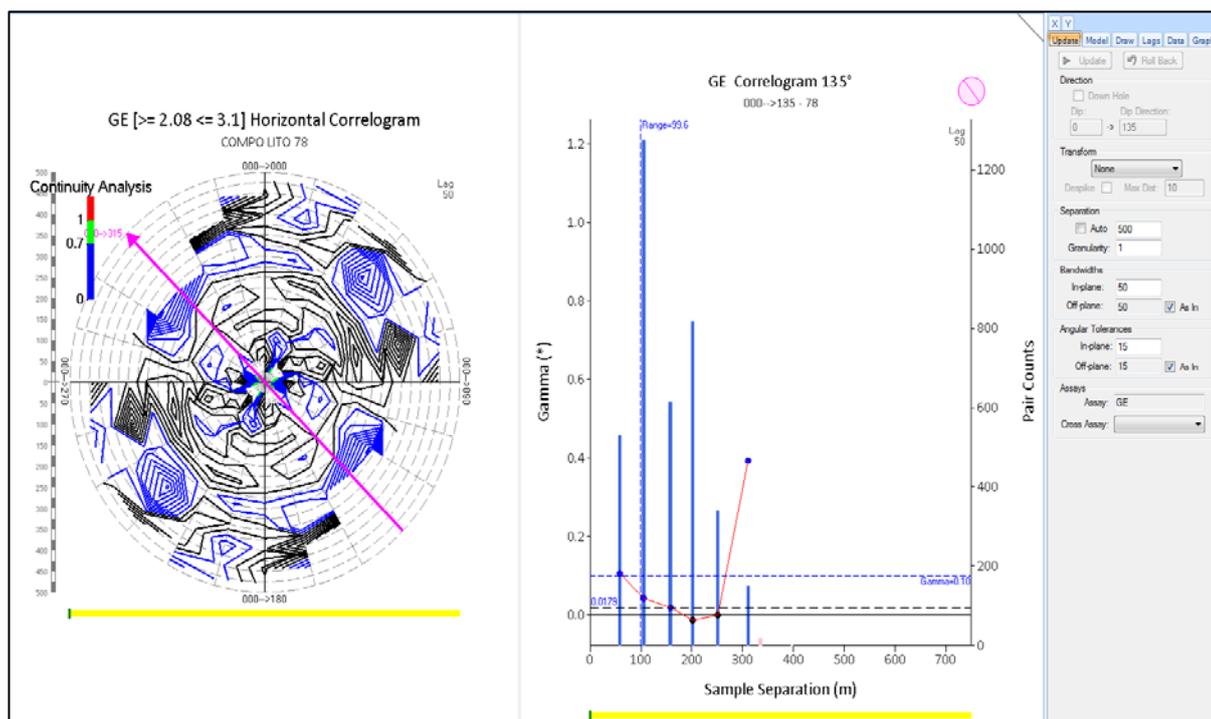


Figura 5.23. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano horizontal, de la Gravedad Específica, calculado para la brecha magmática hidrotermal (78).

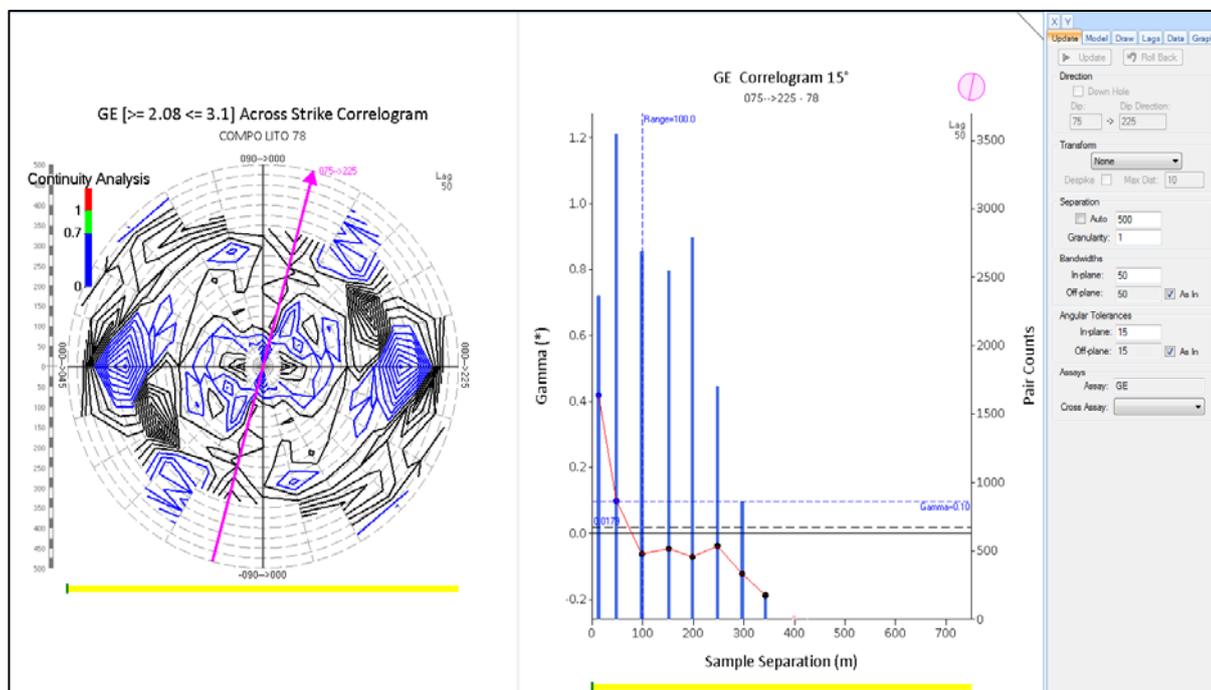


Figura 5.24. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano perpendicular al rumbo, de la Gravedad Específica, calculado para la brecha magmática hidrotermal (78).

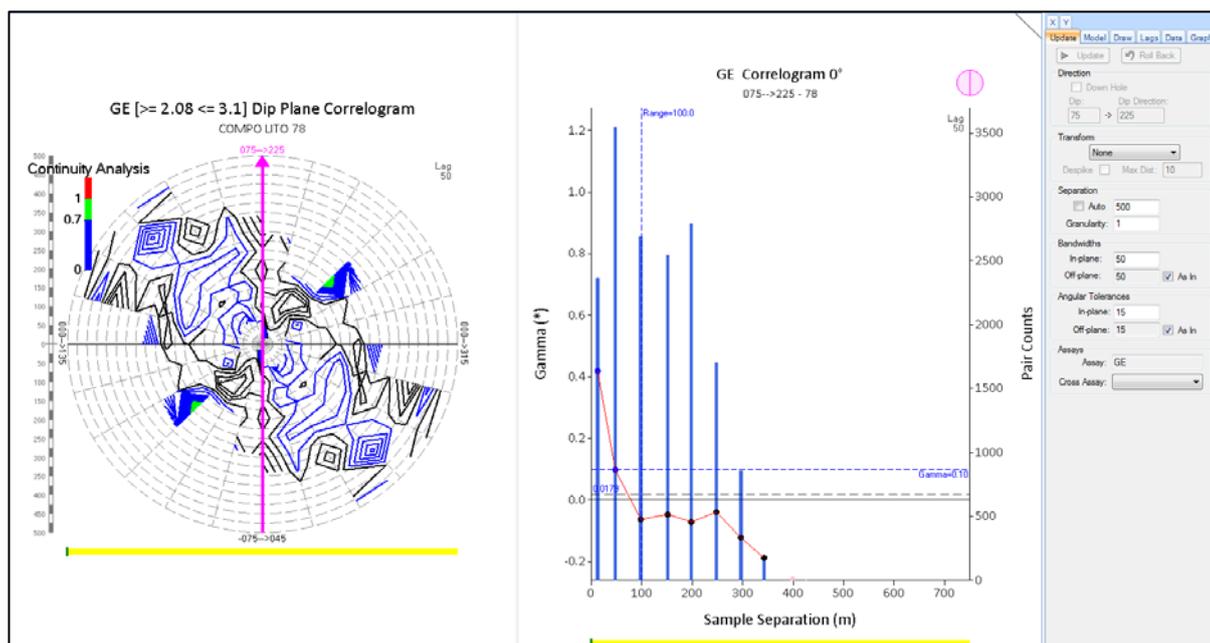


Figura 5.25. Correlograma experimental y mapa variográfico para el plano de buzamiento, de la Gravedad Específica, calculado para la brecha magmática hidrotermal (78).

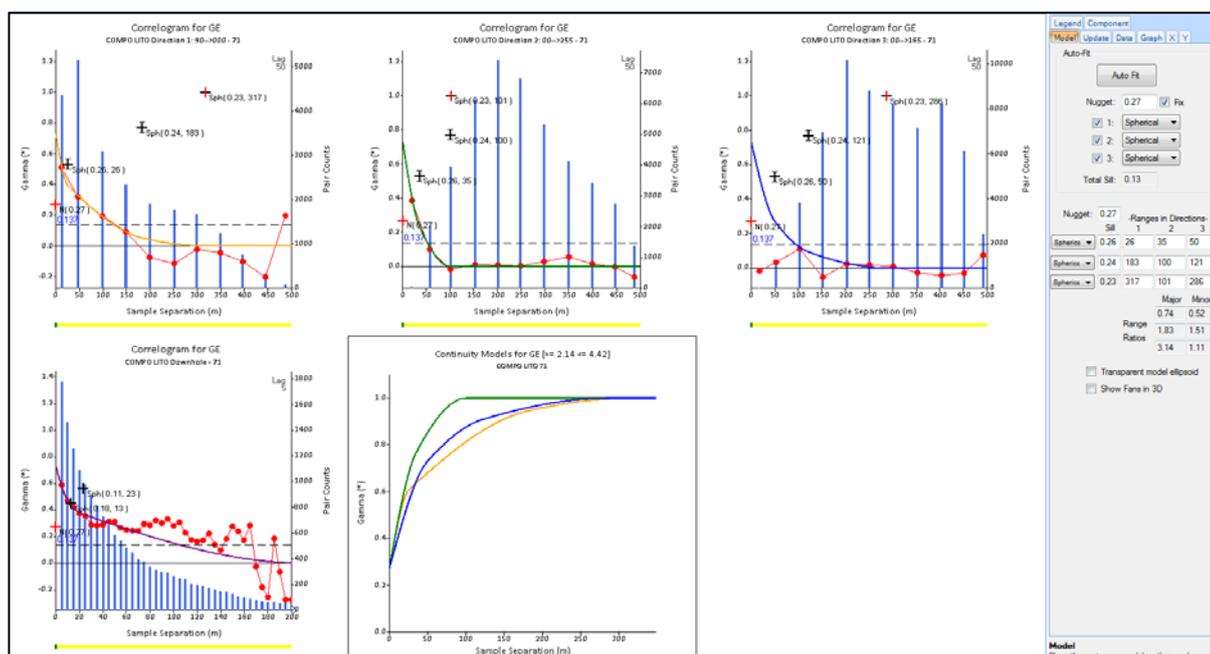


Figura 5.26. Modelo de variograma generado para la Gravedad Específica en la brecha magmática hidrotermal (78). En las gráficas superiores se observa el modelo esférico ajustado a los datos experimentales definidos por correlogramas y en las gráficas inferiores se observa el correlograma “down hole” calculado para definir el efecto “pepita” y el modelo final del variograma. El panel muestra los parámetros definidos en el modelo final de variograma (esférico).

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó a cada una de los dominios de estimación en los que se decidió realizar el análisis variográfico, el pórfido monzonítico horbléndico (52), el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62), el endoskarn en diorita (61), el mármol (42), el hornfels (49) y el pórfido monzonítico biotítico (54).

En la tabla 5.8. se presentan los parámetros de variografía definidos para el exoskarn (71), el pórfido monzonítico horbléndico (52), el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62), la diorita (51), el endoskarn en diorita (61), el mármol (42), el hornfels (49), el pórfido monzonítico biotítico (54) y la brecha magmática hidrotermal (78). La clase de variografía que se uso es esférico (SPH), ya que la variabilidad de los datos se ajusta a esta clase de variografía y se usó el sistema de rotación GSLIB. Estos parámetros variográficos se usaran en el proceso de estimación de la Gravedad Específica, en el software Minesight.

Tabla 5.8. Parámetros de variografía de la Gravedad Específica (GE).

PARAMETROS VARIOGRAFIAS GE - COROCCOHUAYCO 2013																									
DOMINIO	C0	1 th Struct	C1	Range			Rotación (GSLIB)			2 nd Struct	C2	Range			Rotación (GSLIB)			3 ra Struct	C3	Range			Rotación (GSLIB)		
				x	y	z	First	Second	Third			x	y	z	First	Second	Third			x	y	z	First	Second	Third
71	0.27	SPH	0.26	26	35	50	0	90	15	SPH	0.24	183	100	121	0	90	15	SPH	0.23	317	101	286	0	90	15
51	0.2	SPH	0.25	22	19	60	-75	75	0	SPH	0.32	160	54	121	-75	75	0	SPH	0.23	312	271	353	-75	75	0
78	0.24	SPH	0.42	30	44	49	-135	75	0	SPH	0.22	79	89	125	-135	75	0	SPH	0.12	143	258	646	-135	75	0
61	0.37	SPH	0.19	18	57	10	-90	75	0	SPH	0.27	64	140	66	-90	75	0	SPH	0.17	351	398	210	-90	75	0
62	0.21	SPH	0.02	7	41	20	0	90	105	SPH	0.35	14	164	40	0	90	105	SPH	0.42	275	466	283	0	90	105
52	0.33	SPH	0.13	39	53	68	-90	60	0	SPH	0.28	162	144	105	-90	60	0	SPH	0.26	339	309	160	-90	60	0
54	0.29	SPH	0.38	18	27	59	0	90	60	SPH	0.25	72	89	106	0	90	60	SPH	0.08	413	221	124	0	90	60
42	0.21	SPH	0.53	15	67	75	-90	75	0	SPH	0.18	63	132	147	-90	75	0	SPH	0.09	275	155	185	-90	75	0
49	0.24	SPH	0.09	16	20	20	15	75	-180	SPH	0.2	86	40	40	15	75	-180	SPH	0.47	147	212	88	15	75	-180

5.5. Elaboración del plan de interpolación

La estimación de la Gravedad Específica del proyecto Coroccohuayco que se describe en este Informe de Suficiencia corresponde a la etapa de pre-factibilidad.

En las siguientes secciones se describe de manera detallada la información usada, los procedimientos y cálculos utilizados para la estimación de la Gravedad Específica en el proyecto Coroccohuayco, y el procedimiento en Minesight está en el anexo III.

5.5.1. Información de sondajes

La base de datos contiene la información de 26,536 compósitos de 464 sondajes y corresponde a los compósitos de 5m obtenidos a partir del proceso de regularización. Con el programa Minesight se realizó el proceso de regularización y se generó un archivo con los compósitos finales que contiene la información de la Gravedad Específica y la litología.

La tabla 5.9. resume la información de la base de datos.

Tabla 5.9. Tabla final de compósitos (5m).

Tabla Final de Compositos(5m)					
Nombre	Descripción	Numero de Compositos	Minimo	Maximo	Media
DH-ID	Identificador de Sondaje	34870			
MI DX	Coordenada Este	34870			
MI DY	Coordenada Norte	34870			
MI DZ	Cota	34870			
TO	Fin del Intervalo	34870			
LNGHT	Tamaño de Intervalo	34870	0	7.5	4.74
FROM	Inicio del Intervalo	34870			
GE	Gravedad Especifica	26536	1.07	7.07	2.75
LITP2	Código de Litología de Logueo.	34870			
LITBT	Código de Litología de codificación con solidos.	34870			
LITM	Código de Litología despues del proceso "BackFlagging".	34629			

5.5.2. Construcción del modelo de bloques

El modelo de bloques se construyó considerando que las dimensiones permitieran el desarrollo posterior de cualquier pit minero óptimo dentro del volumen considerado, además el tamaño de los bloques (20x20x15m.) usado está acorde con el método de minado propuesto para este depósito.

Para la construcción del modelo se utilizó el software Minesight, se asignó a cada bloque la proporción (en porcentaje del volumen del bloque) de roca, utilizando los sólidos interpretados en el modelo litológico. Las proporciones guardadas son usadas en el cálculo de tonelaje y Gravedad Específica total de cada bloque. En la tabla 5.10. se presentan los parámetros usados para la construcción del modelo de bloques.

Tabla 5.10. Parámetros del modelo de bloques.

Parametros Modelo de Bloques			
Numero de Bloques	1,352,400		
Origen	X	Y	Z
	255400	8343700	3110
Rotación	Bearing	Dip	Plunge
	0	0	0
Tamaño de Bloques (metros)	X	Y	Z
	20	20	15
Numero de Bloques	X	Y	Z
	115	147	80

5.5.3. Estimación de tonelaje

El cálculo de tonelaje se realizó usando los valores de Gravedad Específica obtenidos en este estudio para cada tipo de roca (litología). Se consideró la proporción de cada tipo de litología para el cálculo final del tonelaje de cada bloque, la ecuación usada para el cálculo del tonelaje final se muestra a continuación.

$$\text{Tonelaje(ton)} = D(x) * D(y) * D(z) * (\sum Pp.(i) * GE(i)) \quad (5.5.3.1)$$

Donde:

- D(x), D(y), D(z) son las dimensiones del bloque en metros (para este caso, 20x20x15 m).
- Pp.(i) es la proporción del bloque dentro de cada unidad litológica modelada.
- GE(i) es la Gravedad Específica de cada unidad litológica en su respectivo bloque de modelo.

5.5.4. Construcción de los dominios de estimación

Teniendo en cuenta la información presentada en la sección 5.3.2 (dominios de estimación) y el análisis estadístico de datos, se decidió usar los sólidos litológicos interpretados como base para la construcción de los dominios de estimación dentro del modelo de bloques.

Para la construcción de los dominios de estimación dentro del modelo de bloques se seleccionó los bloques dentro de cada sólido y se les asignó el código correspondiente a cada unidad litológica. Es necesario tener en cuenta que en muchos casos, un bloque

puede pertenecer a varias unidades litológicas debido a la complejidad del depósito, por esta razón, se consideró adecuado asignar la proporción de cada litología dentro del bloque y de esta manera respetar la variabilidad geológica del proyecto Corocchuayco.

5.5.5. Procesos de interpolación

En el proyecto Corocchuayco se usaron los siguientes métodos de estimación: kriging ordinario (OK), inverso a la distancia (IDW) y vecino más cercano (NN). Cada uno de estos métodos se aplicó con diferentes objetivos y su aplicación se decidió de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- El número de datos (compósitos) disponibles.
- Distribución espacial de la Gravedad Específica.
- Importancia de la unidad en términos de metal.
- Distribución estadística de la Gravedad Específica.

El método de estimación más usado fue el kriging ordinario (Journel & Huijbregts, 1978) y se aplicó para estimar la Gravedad Específica dentro de los principales dominios de estimación.

El segundo método de interpolación que se usó en este estudio fue el inverso a la distancia (IDW, por sus siglas en inglés). Este método se aplicó debido a que no necesita un variograma para el cálculo del peso de cada una de las muestras que interviene en el proceso de interpolación, ya que el peso de cada una de las muestras depende exclusivamente de la distancia de la muestra al punto a estimar (en este caso al bloque).

En la tabla 5.11. se resumen los parámetros usados en la estimación de las diferentes unidades del proyecto Corocchuayco.

Tabla 5.11. Parámetros de estimación de Corocchohuayco 2013.

PARAMETROS DE ESTIMACION GE COROCCHOHUAYCO 2013									
DOMINIO	METODO	# PASADA	DISTANCIA BUSQUEDA			MUESTRAS		TALADROS	OUTLIERS CONTROL
			X	Y	Z	MIN	MAX	MIN	
71	OK	1 RA	100	150	150	5	20	4	4.42
		2 DA	70	100	100	3	12	2	4.42
		3 RA	40	50	50	2	8	1	4.42
51	OK	1 RA	250	200	200	4	16	3	3.2
		2 DA	200	150	150	5	20	3	3.2
		3 RA	150	100	100	4	20	3	3.2
		4 TA	100	60	60	4	16	3	3.2
78	OK	1 RA	150	150	100	5	20	4	3.1
		2 DA	80	80	60	2	8	1	3.1
61	OK	1 RA	180	150	100	4	16	3	3.33
		2 DA	150	120	80	5	16	3	3.33
		3 RA	100	90	60	5	20	3	3.33
		4 TA	80	60	40	5	12	4	3.33
62	OK	1 RA	180	200	80	4	20	3	3.34
		2 DA	120	150	60	6	20	4	3.34
		3 RA	80	100	40	3	10	2	3.34
		4 TA	60	80	30	4	12	3	3.34
52	OK	1 RA	100	200	180	3	16	2	3.05
		2 DA	80	150	140	6	20	4	3.05
		3 RA	60	100	100	6	20	4	3.05
		4 TA	40	70	70	4	20	3	3.05
54	OK	1 RA	100	150	100	4	20	3	2.92
		2 DA	80	120	80	6	20	4	2.92
		3 RA	50	70	50	5	12	4	2.92
42	OK	1 RA	100	150	100	4	16	3	3
		2 DA	70	100	70	4	16	3	3
		3 RA	40	60	40	2	8	1	3
49	OK	1 RA	150	100	100	5	20	3	3
		2 DA	100	70	70	4	16	2	3.2
		3 RA	50	40	40	2	8	1	3
56	IDW	1 RA	150	150	150	5	20	3	3.05
		2 DA	100	100	100	4	16	3	3.05
58	IDW	1 RA	50	50	50	3	10	2	3.03
		2 DA	40	40	40	6	20	5	3.03
64	IDW	1 RA	50	50	50	5	16	3	3.35
		2 DA	40	40	40	5	16	4	3.35
41	IDW	1 RA	100	150	100	6	20	4	3
		2 DA	80	120	80	6	16	3	3
		3 RA	60	80	60	3	12	2	3
50	IDW	1 RA	120	200	100	6	12	7	2.92
		2 DA	100	150	80	5	20	3	2.92
		3 RA	80	100	60	4	16	2	2.92

5.5.6. Control de valores altos en la Gravedad Específica

El control de los valores altos (outliers) se llevó a cabo mediante el uso de una práctica común en la industria, que consiste en restringir la influencia de valores atípicos. Así en el proceso de interpolación, si un compósito tiene un valor extremadamente alto, este valor sólo será utilizado en la estimación del bloque más cercano y se excluirá de

la estimación de los otros bloques dentro de la elipse de búsqueda, esto es a consecuencia que los valores altos, se dan por concentraciones locales de minerales con altos valores de Gravedad Específica y su distribución espacial está restringido de forma errática.

En este proceso, la consideración principal es cómo determinar cuándo un valor es anómalo o extremadamente alto. La determinación del umbral de valores altos se realizó usando las curvas de probabilidad acumulada de cada uno de los dominios de estimación y seleccionando el valor correspondiente al percentil 98-99 de la distribución, donde la curva muestra un cambio de pendiente importante.

5.5.7. Calculo final de la Gravedad Específica

Teniendo en cuenta que cada bloque puede pertenecer a una o más litologías, fue necesario realizar un proceso matemático que permitió calcular la Gravedad Específica final de cada bloque de acuerdo a la proporción de cada una de las litologías presentes en el bloque. Este proceso consiste en multiplicar la Gravedad Específica estimada para cada litología por su proporción dentro del bloque y la ecuación presentada a continuación representa este proceso.

$$\text{Gravedad Específica Final (Kg / m}^3\text{)} = \sum (Pp.(i) * GE(i)) \dots (5.5.7.1)$$

Donde:

- Pp. (i) es la proporción o porcentaje del bloque dentro de cada unidad litológica modelada.
- GE(i) es el valor estimado de Gravedad Específica (Kg/m³) para cada dominio de estimación.

5.6. Validación de estimación

Se realizaron diferentes tipos de validaciones para comprobar el proceso de estimación de Gravedad Específica para el proyecto Coroccohuayco que se señalan seguidamente:

- Validaciones estadísticas para verificar si el proceso de estimación reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, se usa histogramas y graficas de probabilidad acumulada.
- Validaciones visuales, se revisan secciones y plantas comparando los bloques estimados contra los compósitos.
- Verificaciones de sesgo, sobre o subestimación y tendencias espaciales de la Gravedad Específica, usando gráficos de deriva.
- Verificaciones geoestadísticas que se realizaron mediante la comparación de las curvas de la Gravedad Específica - Tonelaje del modelo estimado contra la curva teórica obtenida usando el método de la interpolación polinomial de Hermite “HERCO”.

5.6.1. Comparaciones estadísticas modelo de bloques vs sondajes

Se realizó la comparación estadística de los bloques estimados contra la Gravedad Específica en los sondajes para revisar los principales descriptores estadísticos como la media y la desviación estándar y además la forma de la distribución estadística mediante los gráficos de histogramas. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

5.6.1.1. Exoskarn (71)

En la figura 5.27. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

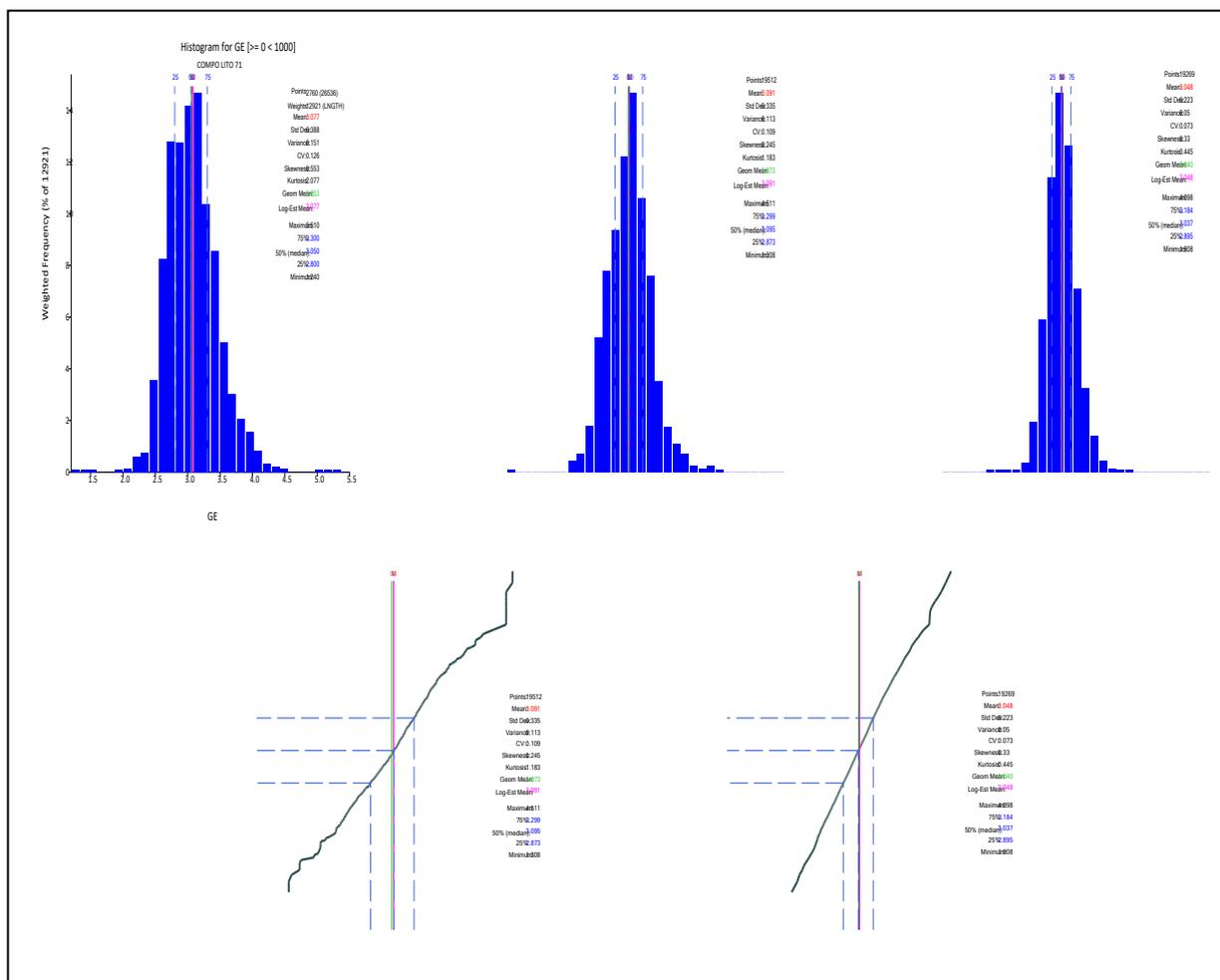


Figura 5.27. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el exoskarn (71). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondeos (izquierda arriba).

5.6.1.2. Diorita (51)

En la figura 5.28. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

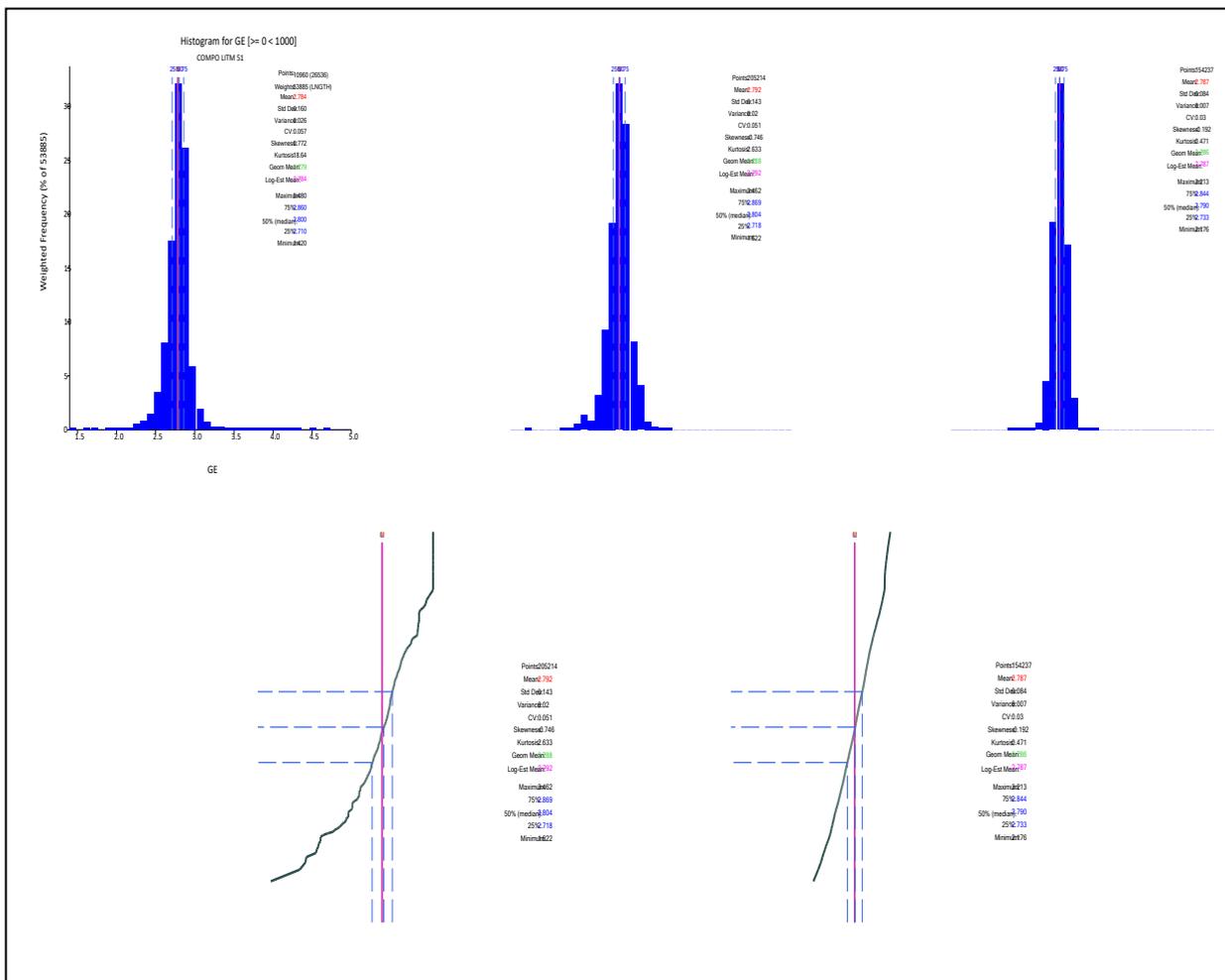


Figura 5.28. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la diorita (51). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.3. Endoskarn en diorita (61)

En la figura 5.29. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

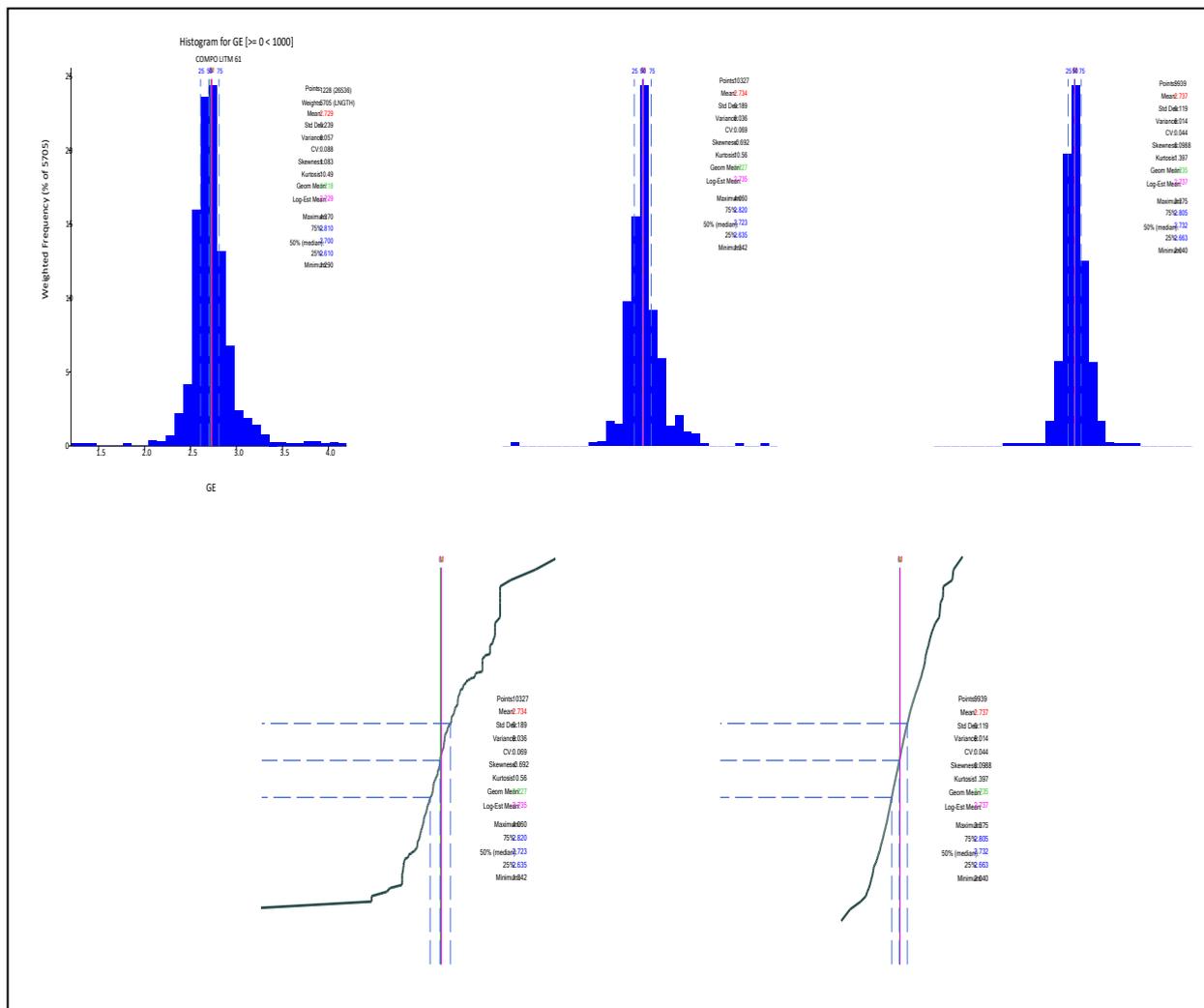


Figura 5.29. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el endoskarn en diorita (61). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.4. Pórfido monzonítico horbléndico (52)

En la figura 5.30. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por krigging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

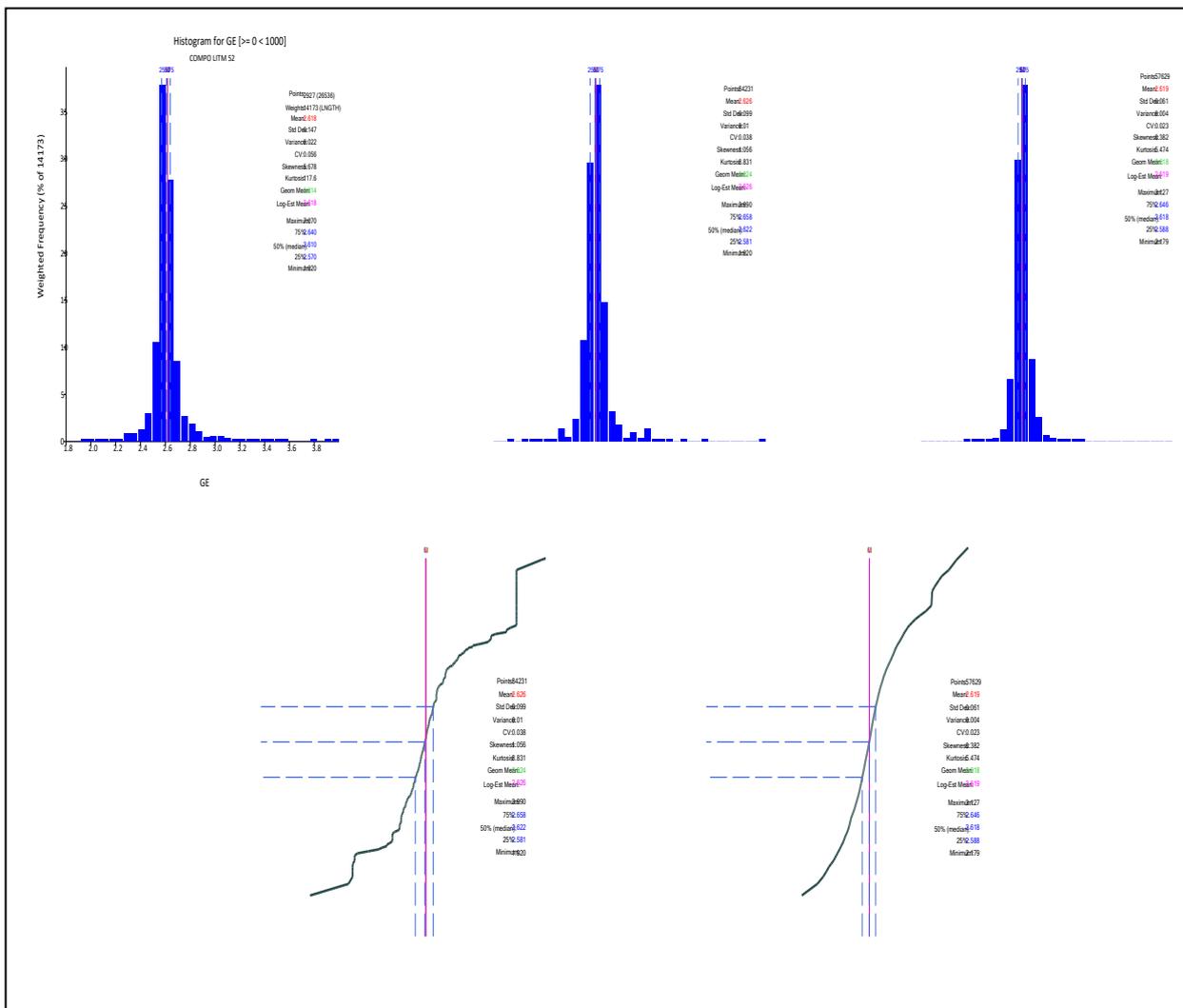


Figura 5.30. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el pórfido monzonítico horbléndico (52). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.5. Endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62)

En la figura 5.31. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por krigging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

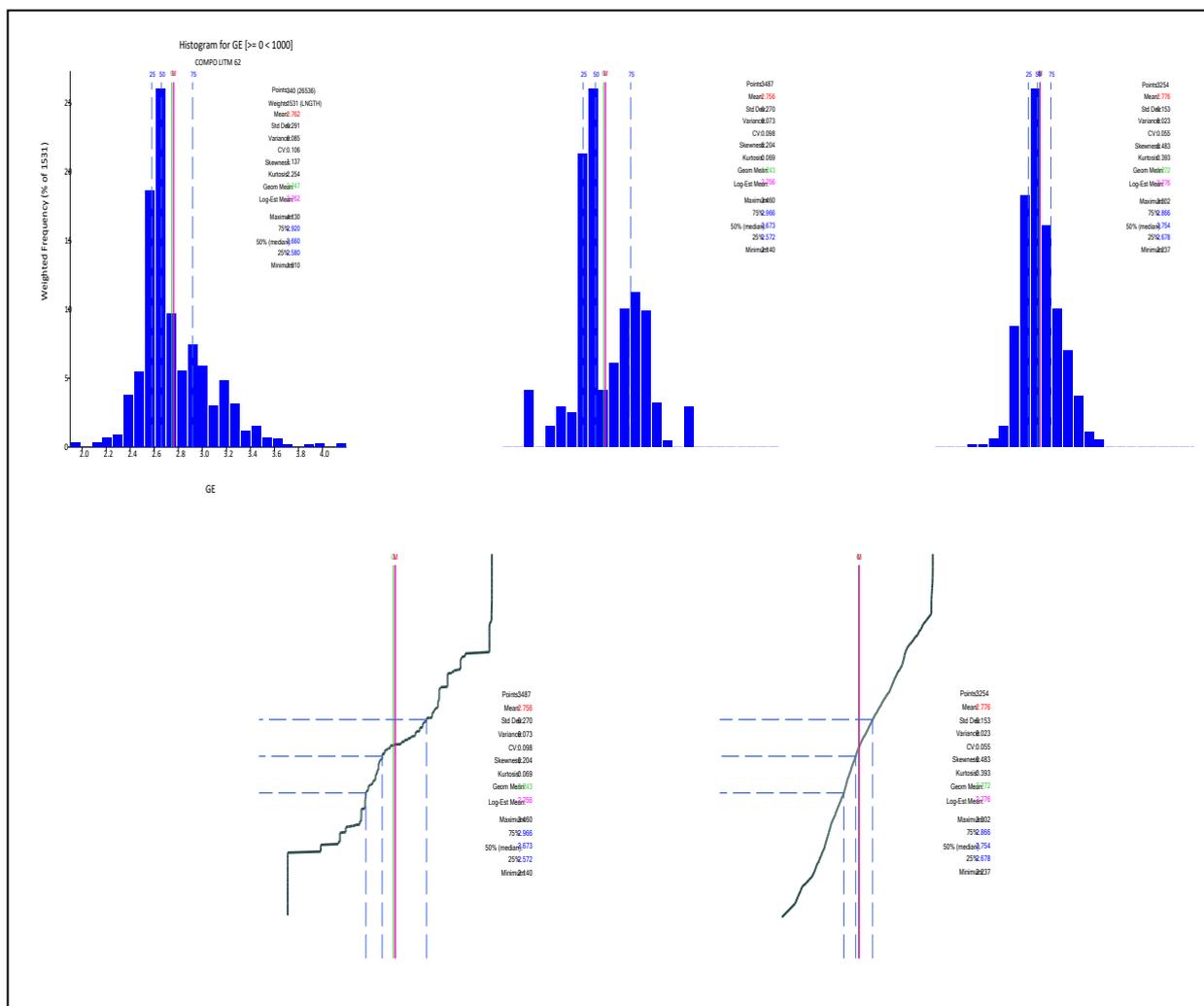


Figura 5.31. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.6 Pórfido monzonítico biotítico (54)

En la figura 5.32. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

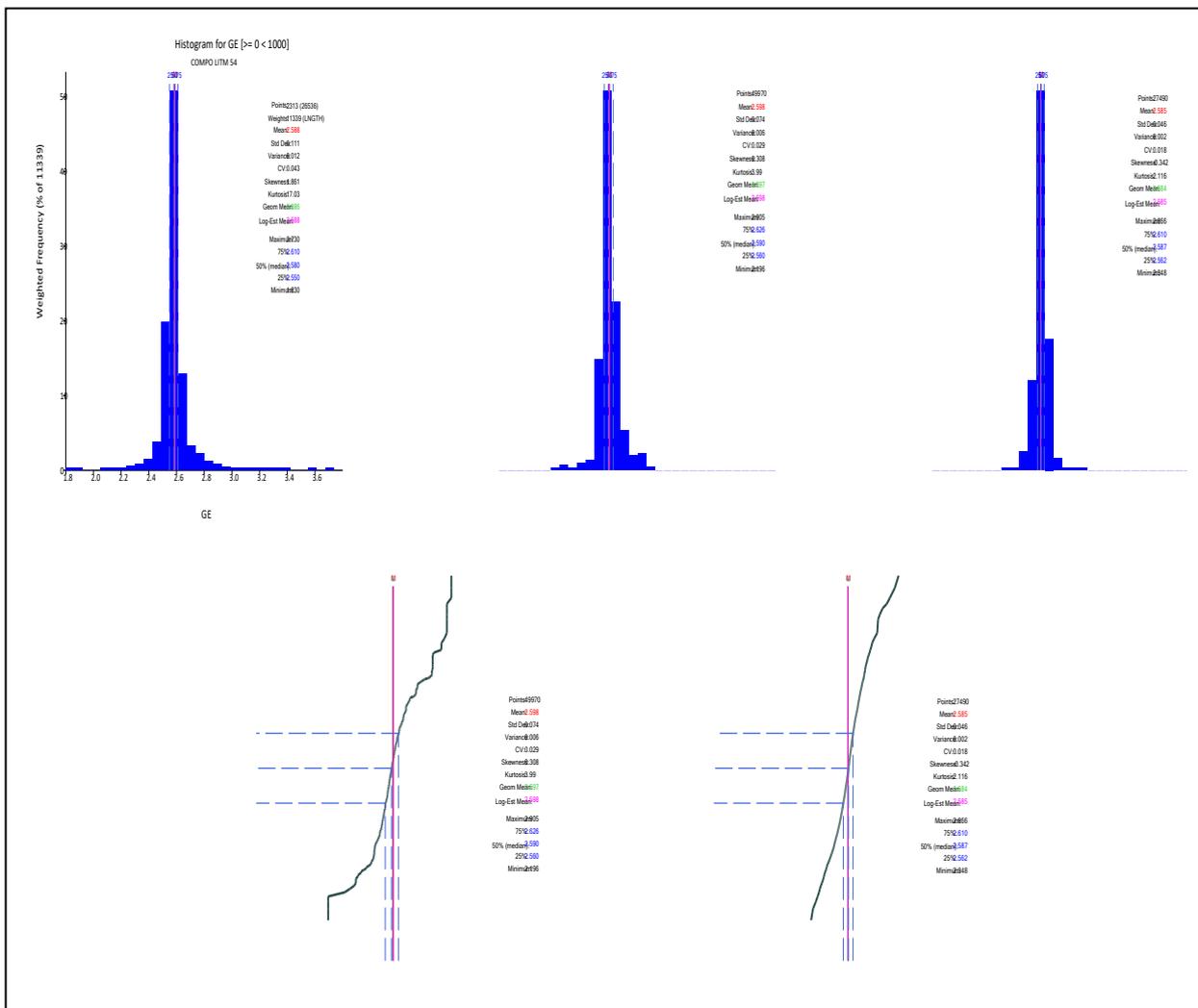


Figura 5.32. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el pórfido monzonítico biotítico (54). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.7. Mármol (42)

En la figura 5.33. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

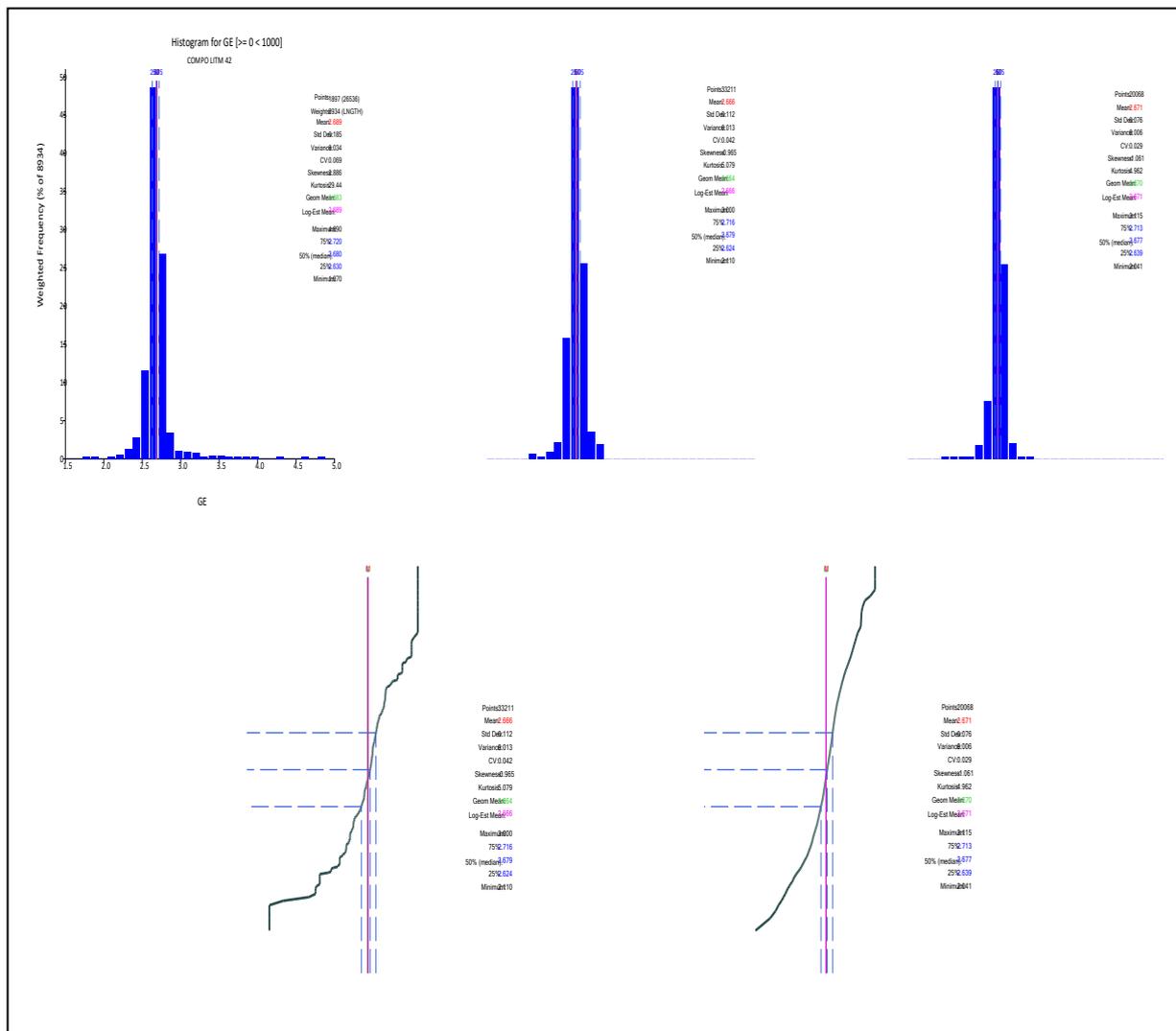


Figura 5.33. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el mármol (42). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondeos (izquierda arriba).

5.6.1.8. Hornfels (49)

En la figura 5.34. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

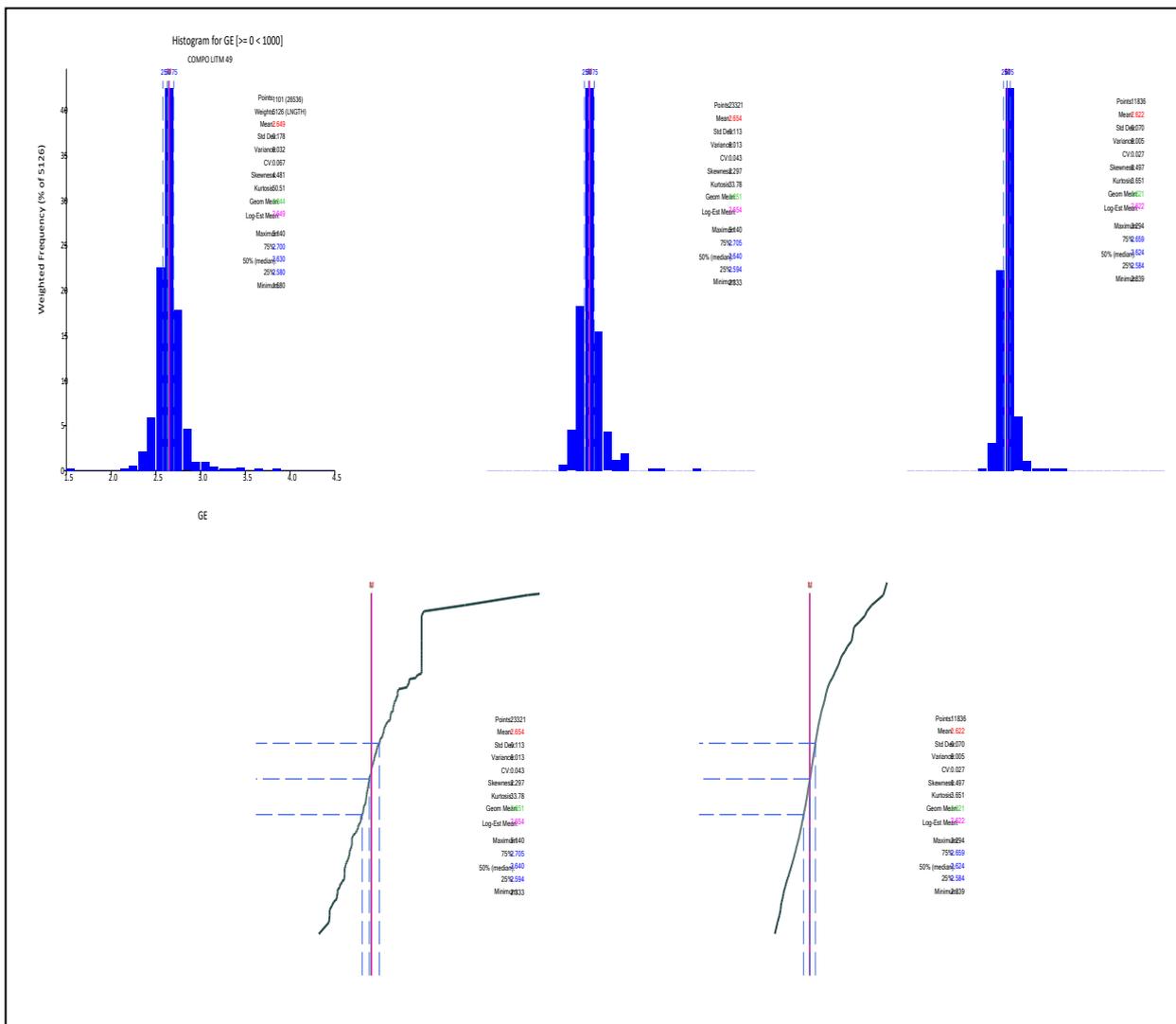


Figura 5.34. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el hornfels (49). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.9. Brecha magmática hidrotermal (78)

En la figura 5.35. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por kriging ordinario (OK) en las gráficas de probabilidad acumulada.

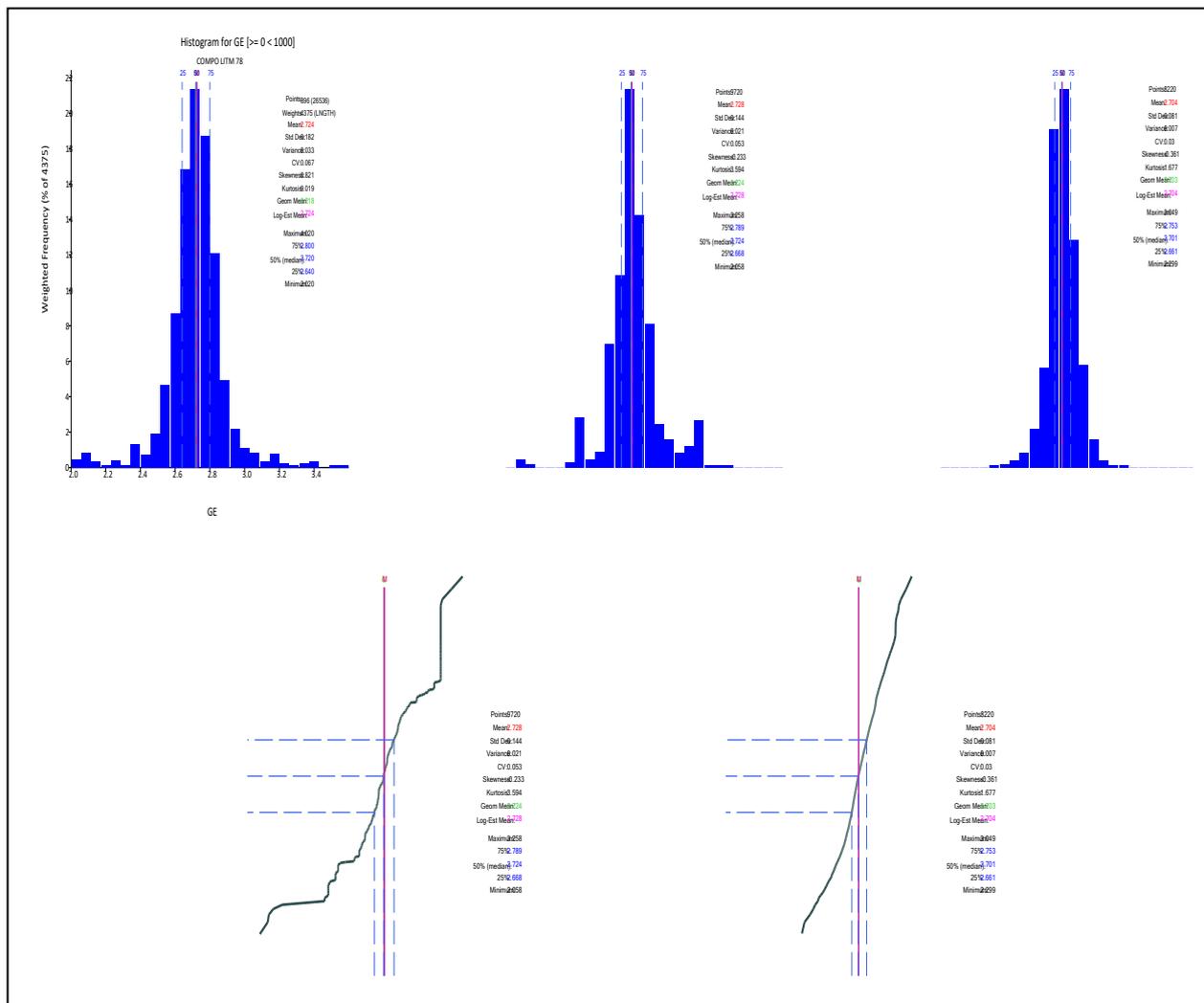


Figura 5.35. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la brecha magmática hidrotermal (78). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por OK (centro arriba), por el "vecino más cercano" (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.10. Endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64)

En la figura 5.36. se muestra que se reprodujo de forma parcial la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan de forma parcial con los datos del "vecino más cercano" y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por "vecino más cercano" (NN) y por inverso a la distancia (IDW) en las gráficas de probabilidad acumulada.

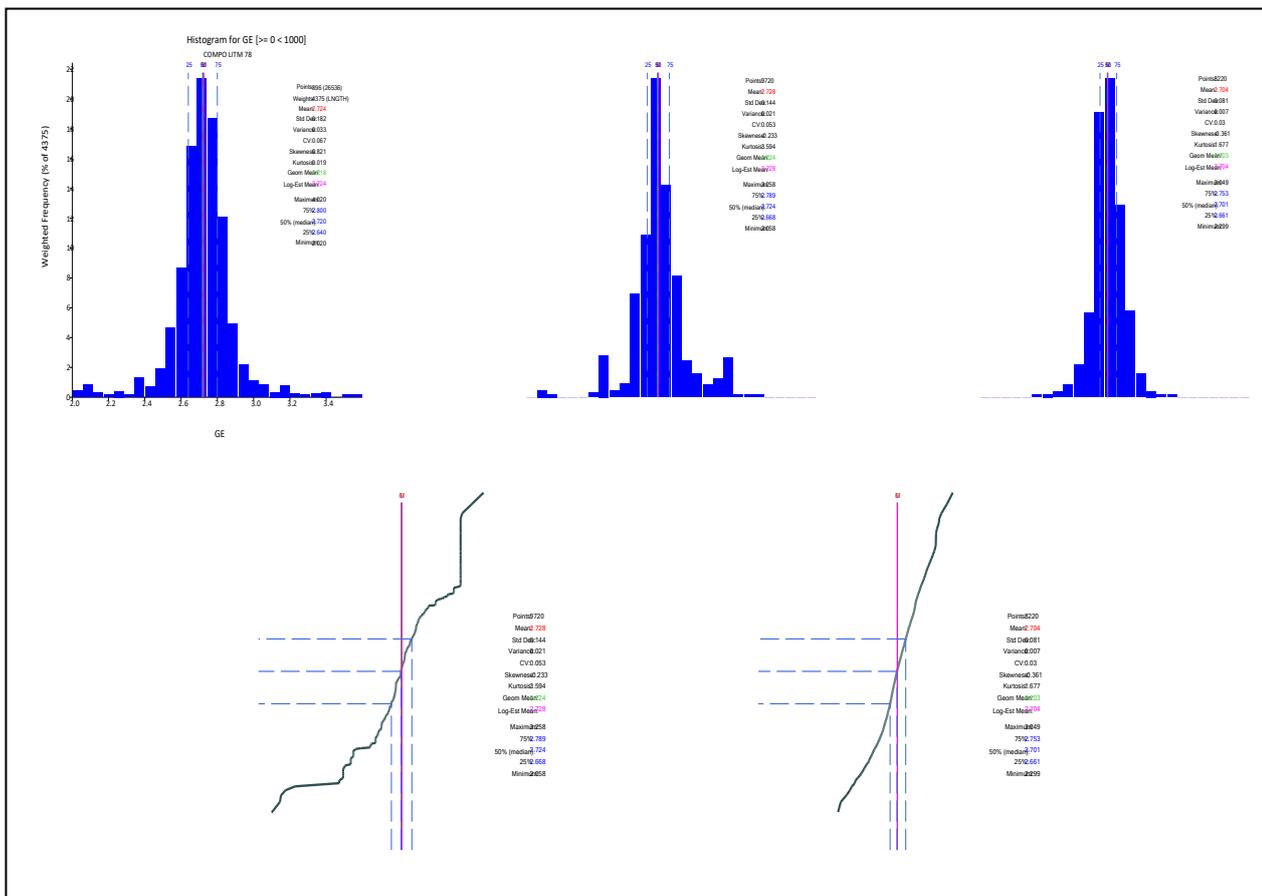


Figura 5.36. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por IDW (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondeos (izquierda arriba).

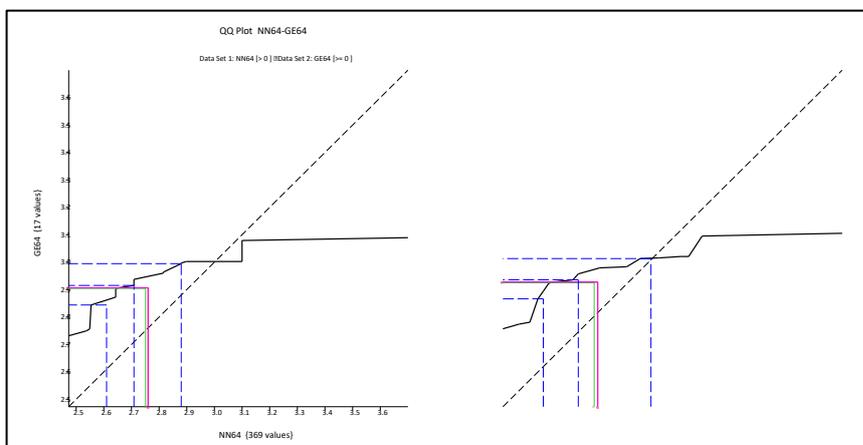


Figura 5.37. Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para el endoskarn en pórfido monzonítico biotítico (64). Se observan las comparaciones del “vecino más

cercano” vs la estimación por IDW (derecha arriba), se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs los compositos en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.11. Latita (56)

En la figura 5.38. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por inverso a la distancia (IDW) en las gráficas de probabilidad acumulada.

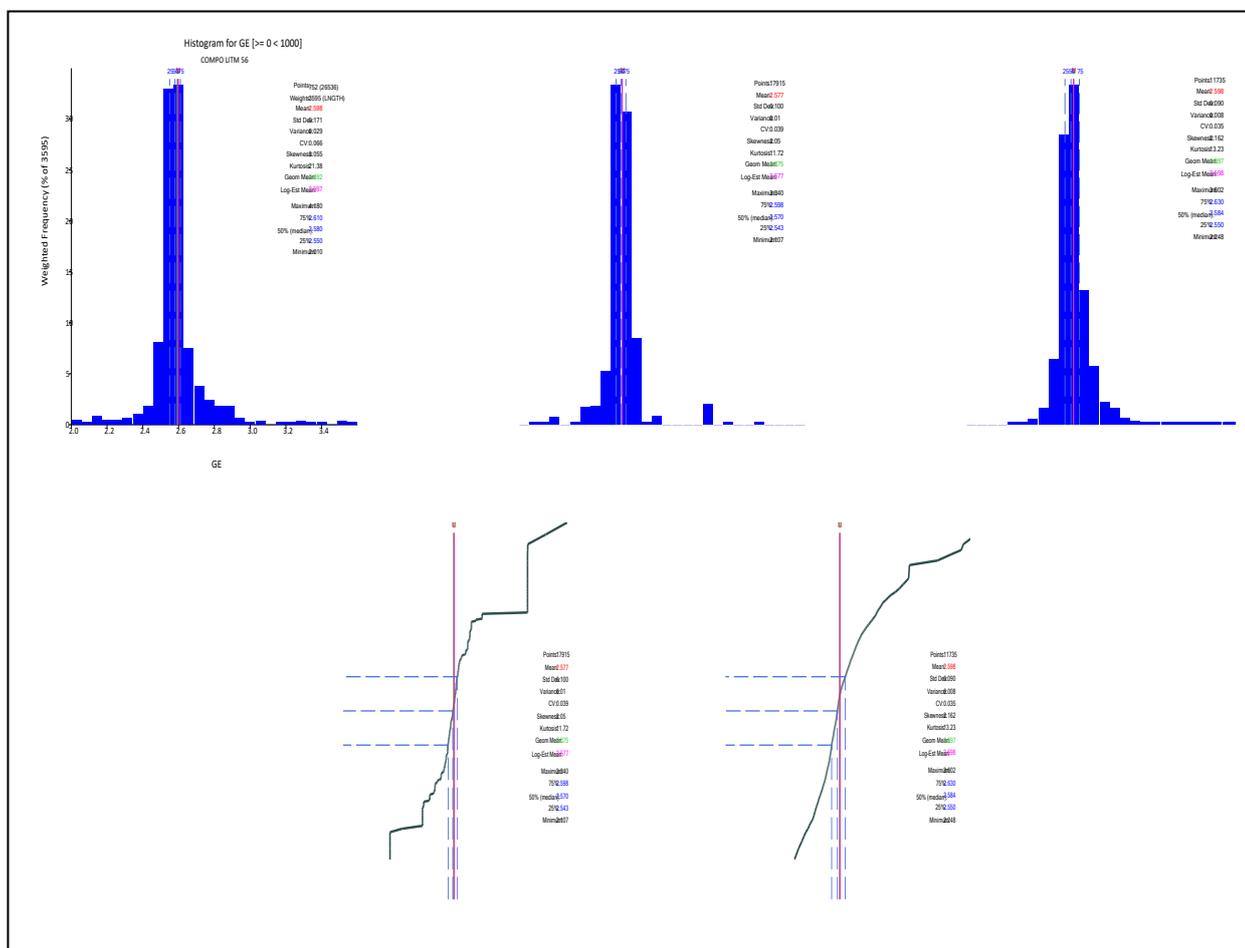


Figura 5.38. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la latita (56). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por IDW (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

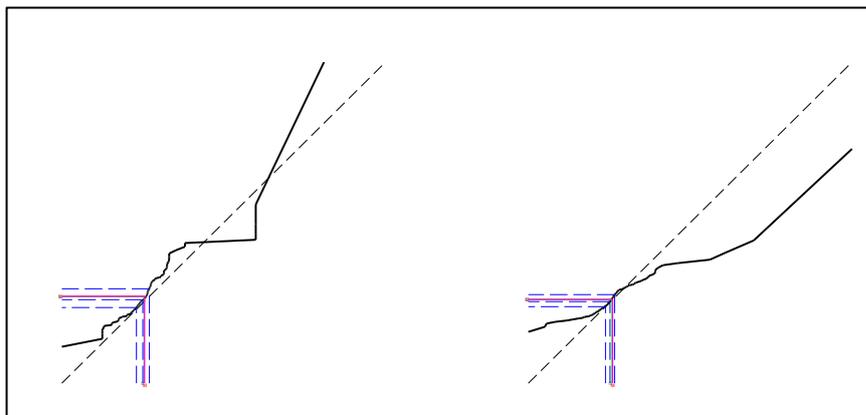


Figura 5.39. Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la latita (56). Se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs la estimación por IDW (derecha arriba), se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs los compositos en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.12. Andesita (58)

En la figura 5.40. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por inverso a la distancia (IDW) en las gráficas de probabilidad acumulada.

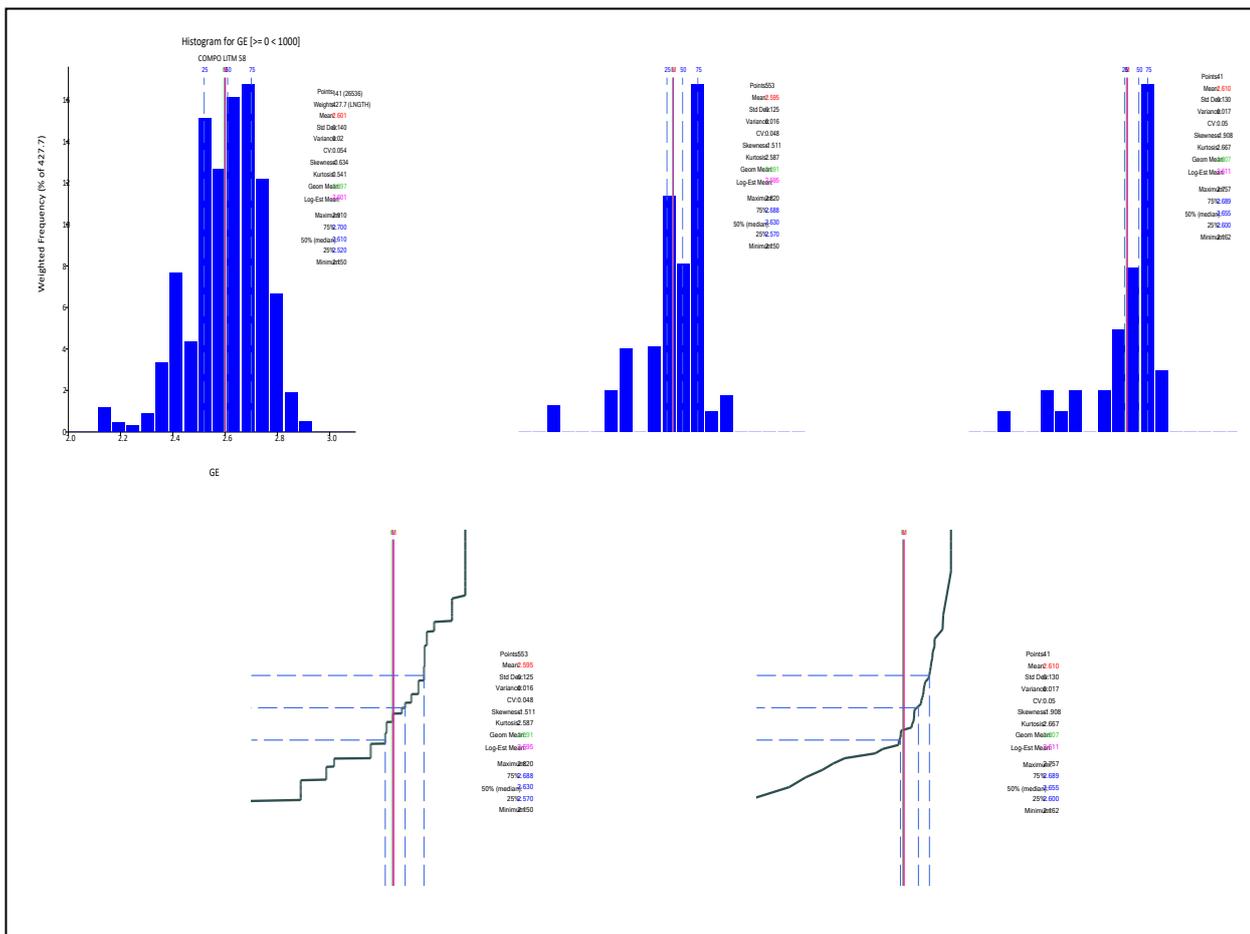


Figura 5.40. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la andesita (58). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por IDW (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

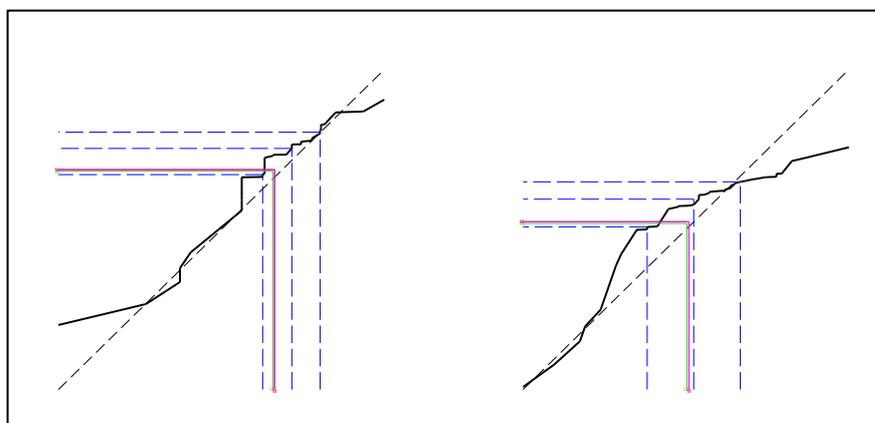


Figura 5.41. Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la andesita (58). Se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs la estimación por

IDW (derecha arriba), se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs los compositos en los sondajes (izquierda arriba).

5.6.1.13. Caliza (41)

En la figura 5.42. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por inverso a la distancia (IDW) en las gráficas de probabilidad acumulada.

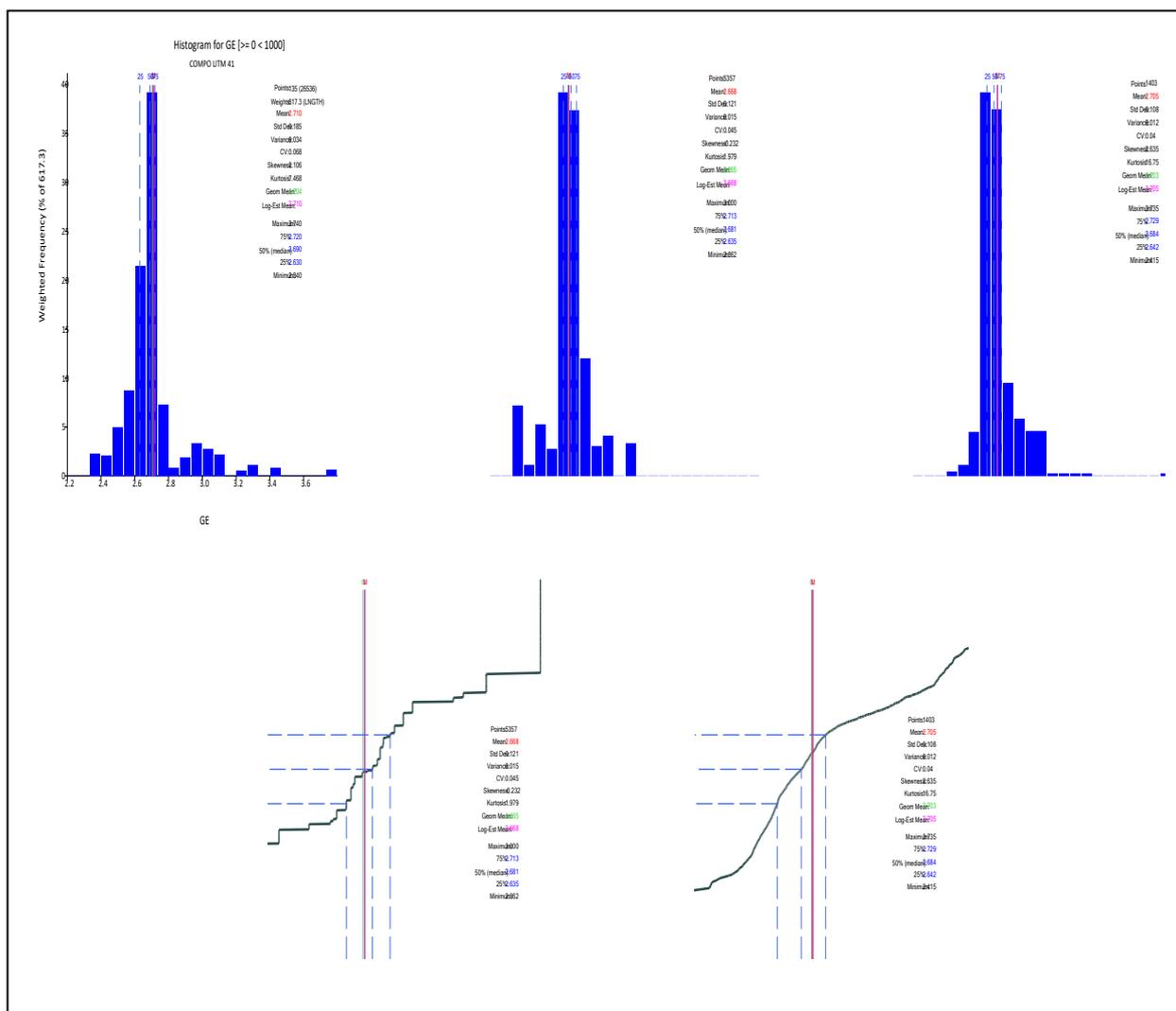


Figura 5.42. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la caliza (41). Se observan las distribuciones

estadísticas obtenidas a partir de la estimación por IDW (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondeos (izquierda arriba).

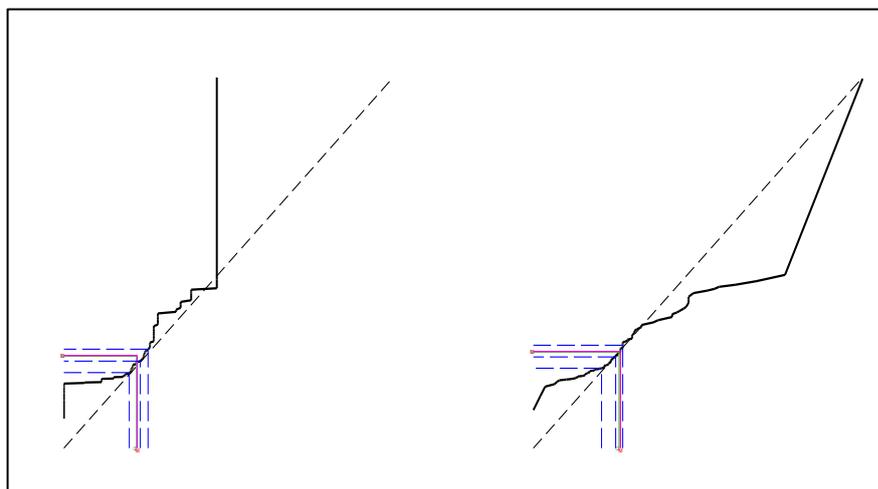


Figura 5.43. Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la caliza (41). Se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs la estimación por IDW (derecha arriba), se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs los compósitos en los sondeos (izquierda arriba).

5.6.1.14. Cuarcita (50)

En la figura 5.44. se muestra que se reprodujo la distribución estadística de la Gravedad Específica, los tres histogramas confirman que los datos estimados concuerdan con los datos del “vecino más cercano” y de los compósitos. También se muestra la comparación entre la estimación por “vecino más cercano” (NN) y por inverso a la distancia (IDW) en las gráficas de probabilidad acumulada.

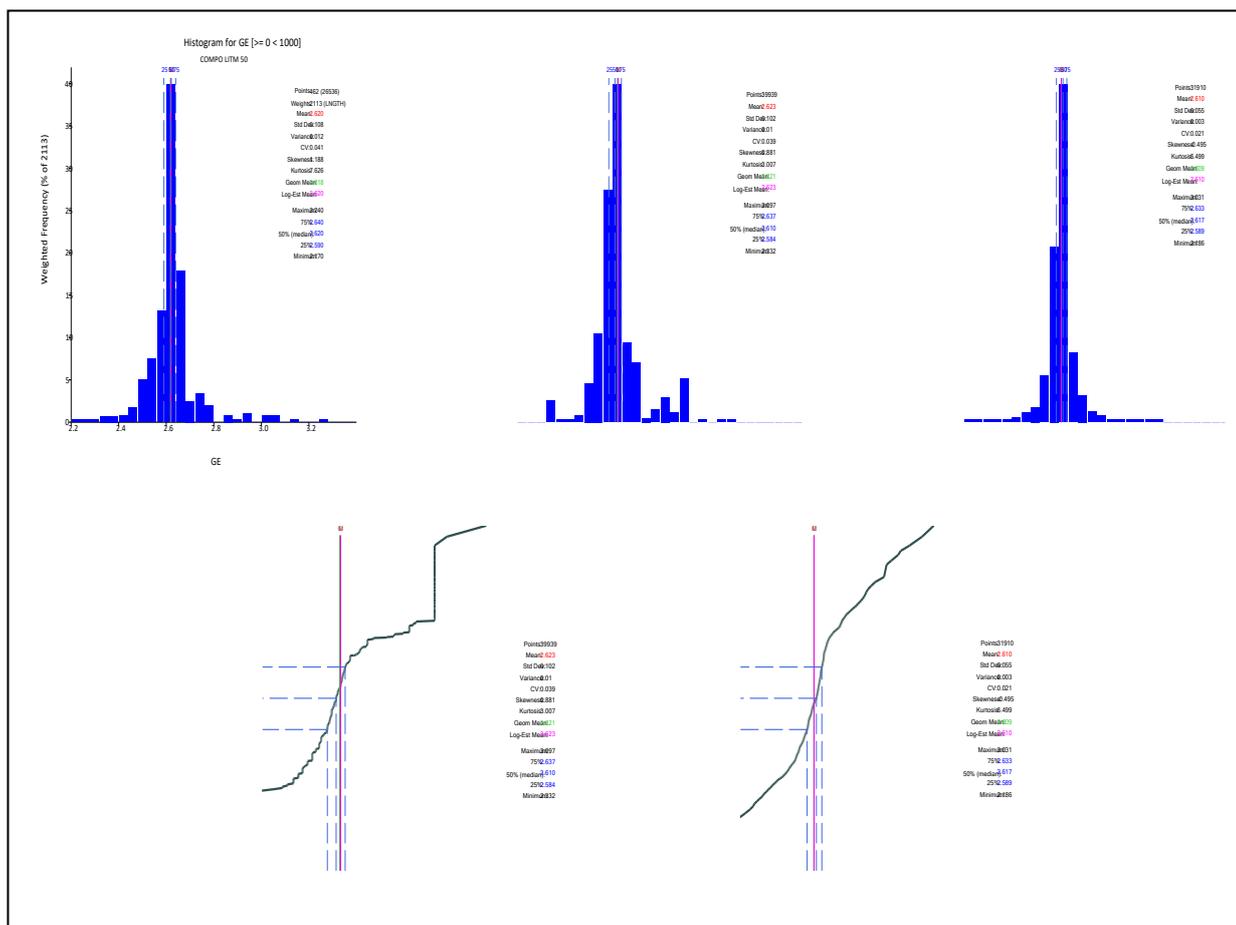


Figura 5.44. Comparación de los histogramas y curvas acumulativas de probabilidad de la Gravedad Específica para la cuarcita (50). Se observan las distribuciones estadísticas obtenidas a partir de la estimación por IDW (centro arriba), por el “vecino más cercano” (derecha arriba) y la distribución de la Gravedad Específica en los sondajes (izquierda arriba).

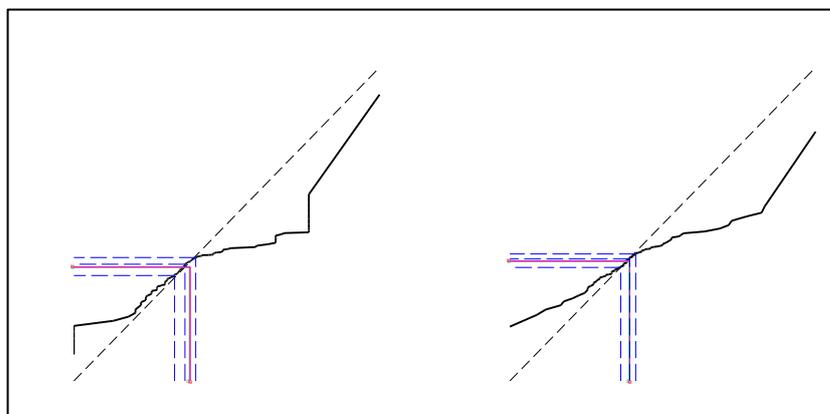


Figura 5.45. Comparación de los QQ plots de la Gravedad Específica para la cuarcita (50). Se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs la estimación por

IDW (derecha arriba), se observan las comparaciones del “vecino más cercano” vs los compósitos en los sondeos (izquierda arriba).

5.6.2. Validación visual del modelo de bloques

La validación visual se realizó mediante la revisión sistemática de secciones N68E y plantas cada 15m donde se comparan los compósitos contra los bloques estimados. Esta revisión se realizó varias veces antes de definir el plan final de estimación de la variable estimada. En la figura 5.46, 5.47 y 5.48. se presentan ejemplos de la validación visual.

5.6.3. Gráficos de deriva

Los gráficos de deriva permiten visualizar si existe algún sesgo, sobre o subestimación en el proceso de estimación. En estos gráficos se comparan los sondeos usados, la estimación por OK, IDW y la estimación del “vecino más cercano”, estos gráficos se realizan durante la etapa de estimación con el fin de refinar la estrategia final a utilizar.

En este estudio se incluyen los gráficos de deriva obtenidos para la estimación total de la Gravedad Específica y también se incluyen los gráficos de deriva realizados para el exoskarn ya que representa la unidad mineralizada más importante en el proyecto Coroccohuayco. Ver figura 5.49, 5.50 y 5.51.

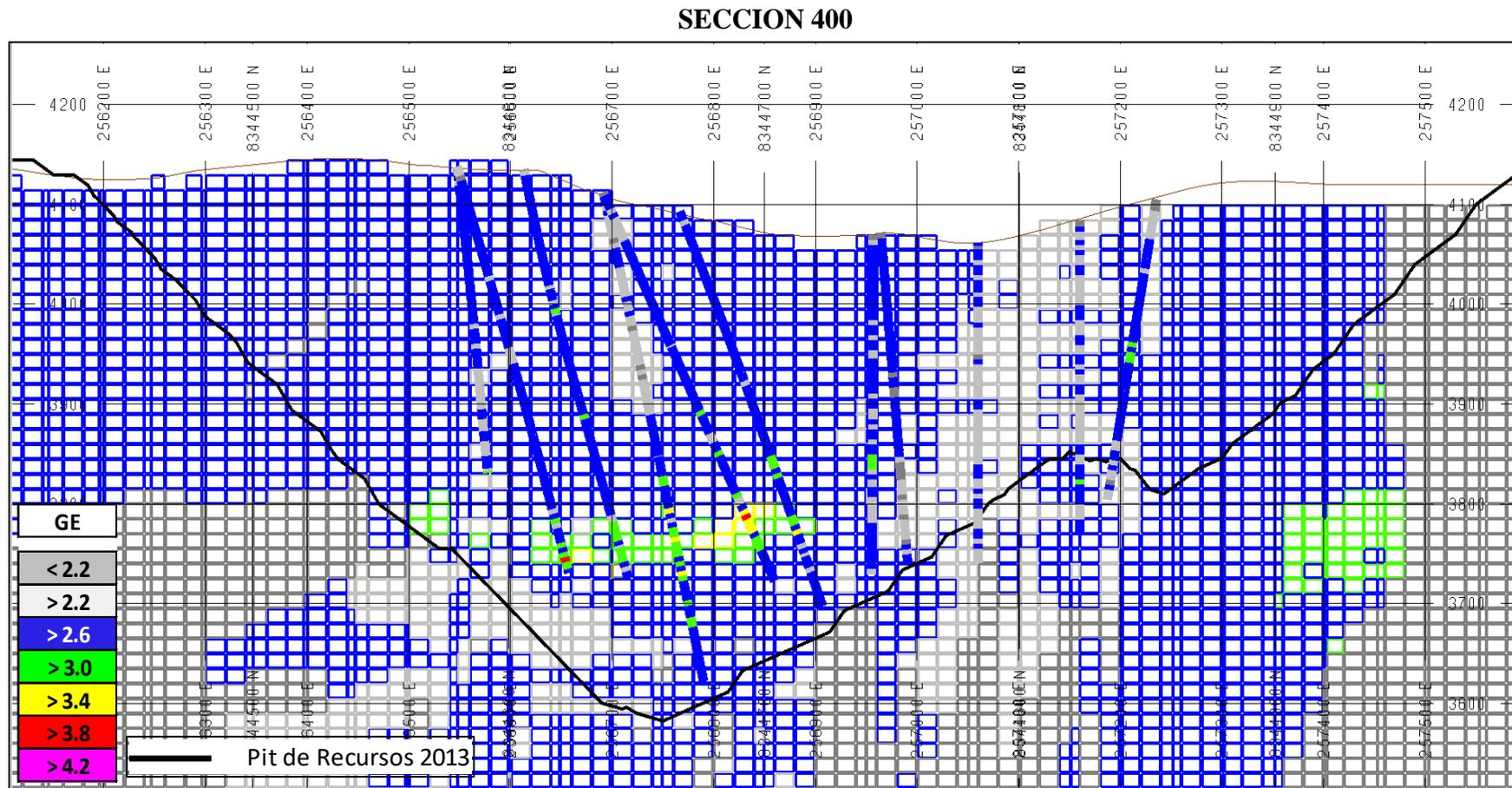


Figura 5.46. Se observa la sección 400, con una vista N68E, usando compósitos a 25m hacia cada lado de la sección.

SECCION 1300

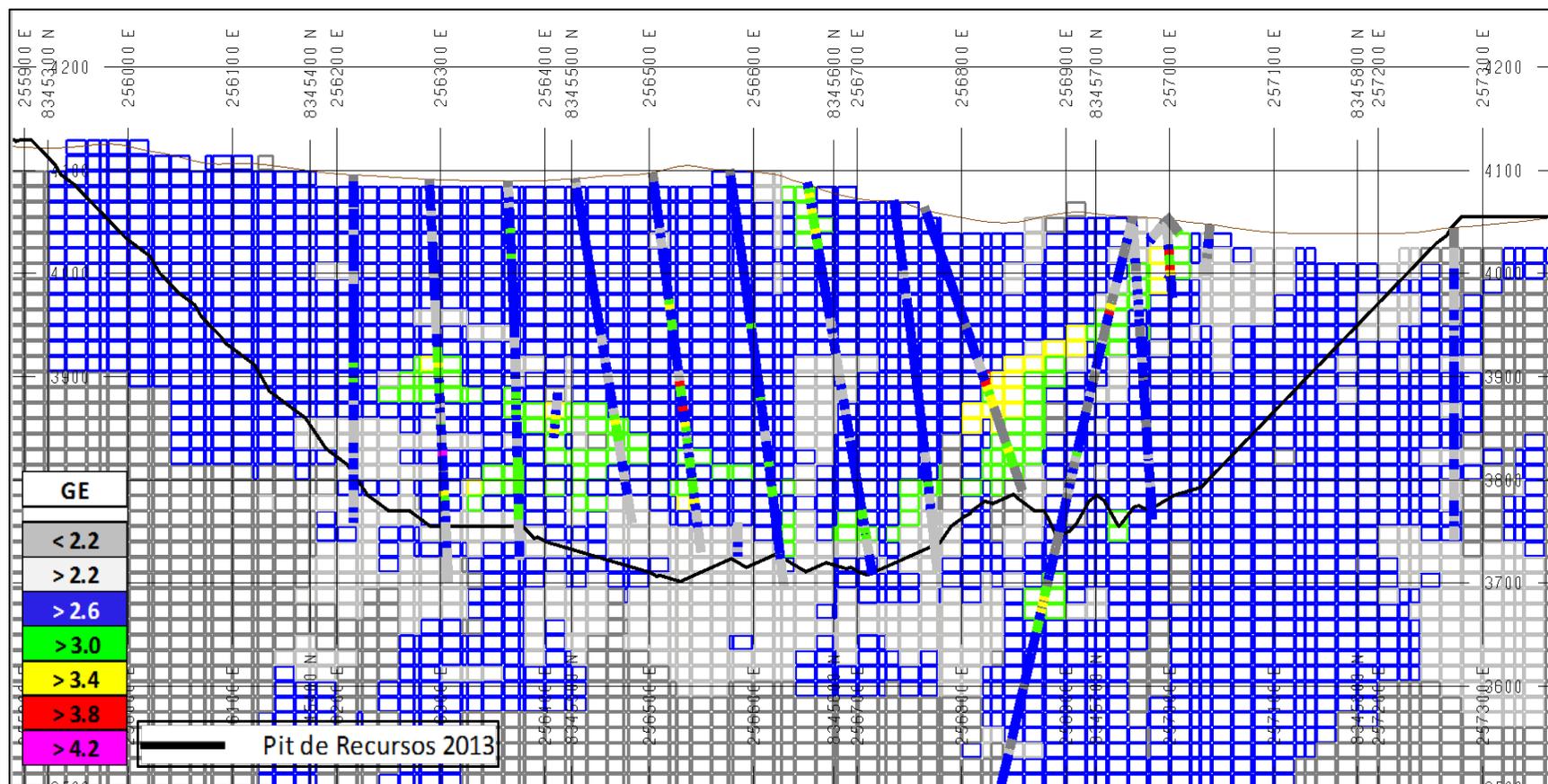


Figura 5.47. Se observa la sección 1300, con una vista N68E, usando compósitos a 25m hacia cada lado de la sección.

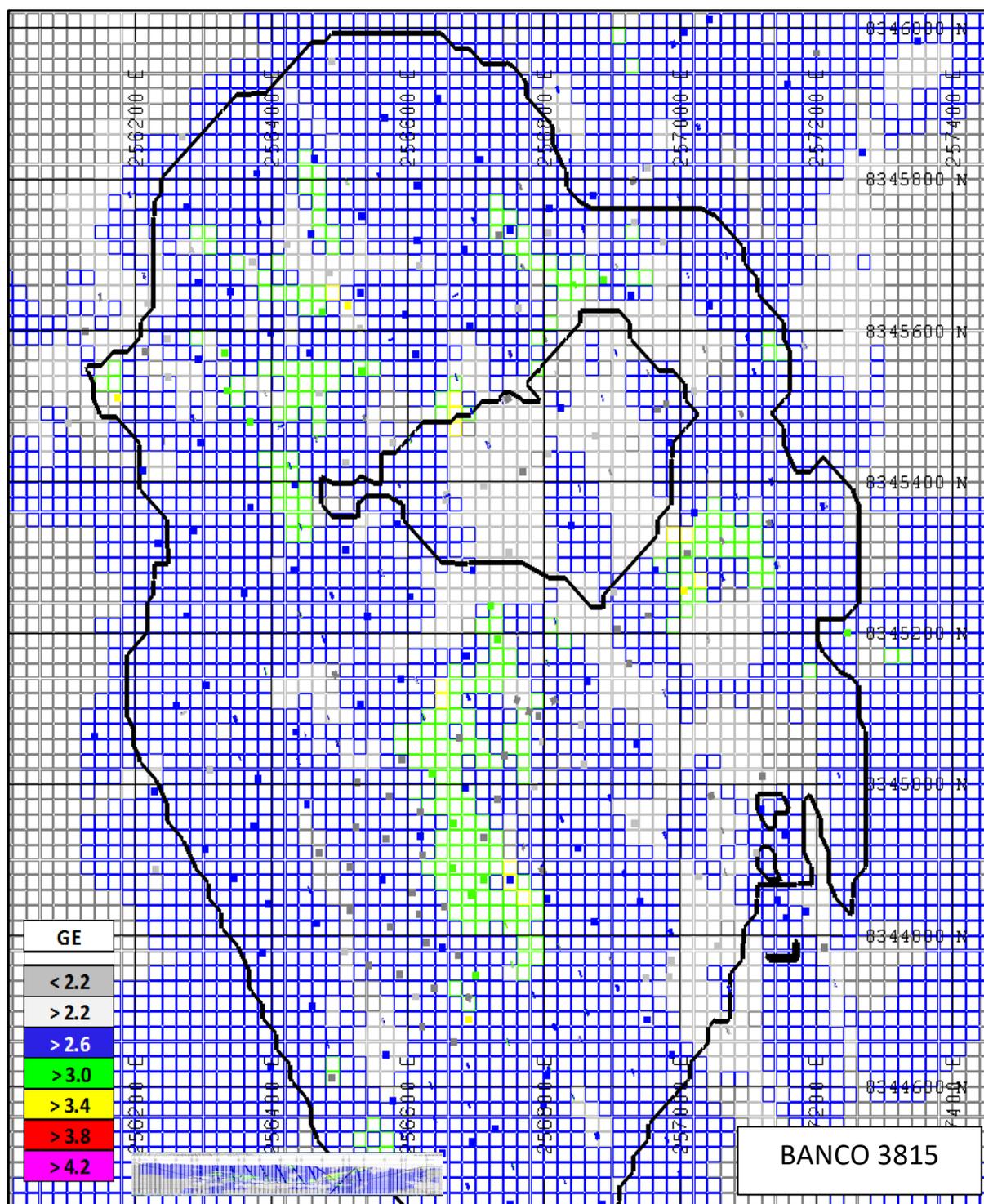


Figura 5.48. Se observa la sección en planta o banco 3815 usando compósitos a 7.5m a cada lado de la sección en planta.

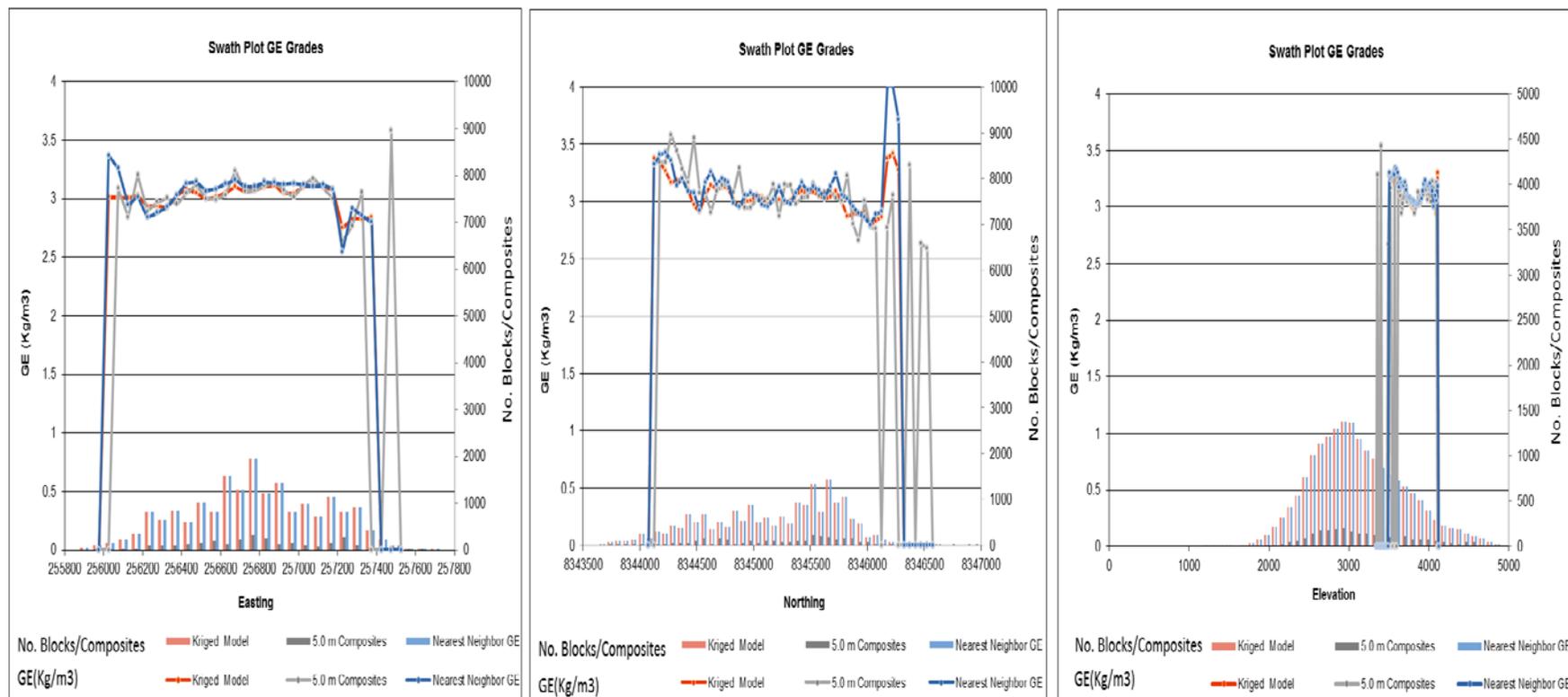


Figura 5.49. Gráficos de deriva para el exoskarn (71), se observa la estimación media de la Gravedad Específica (línea roja), la Gravedad Específica obtenida por el método del “vecino más cercano” (línea azul) y el valor medio de la Gravedad Específica presente en los compósitos (línea gris). Las secciones se realizaron usando intervalos cada 50m y las plantas cada 15m.

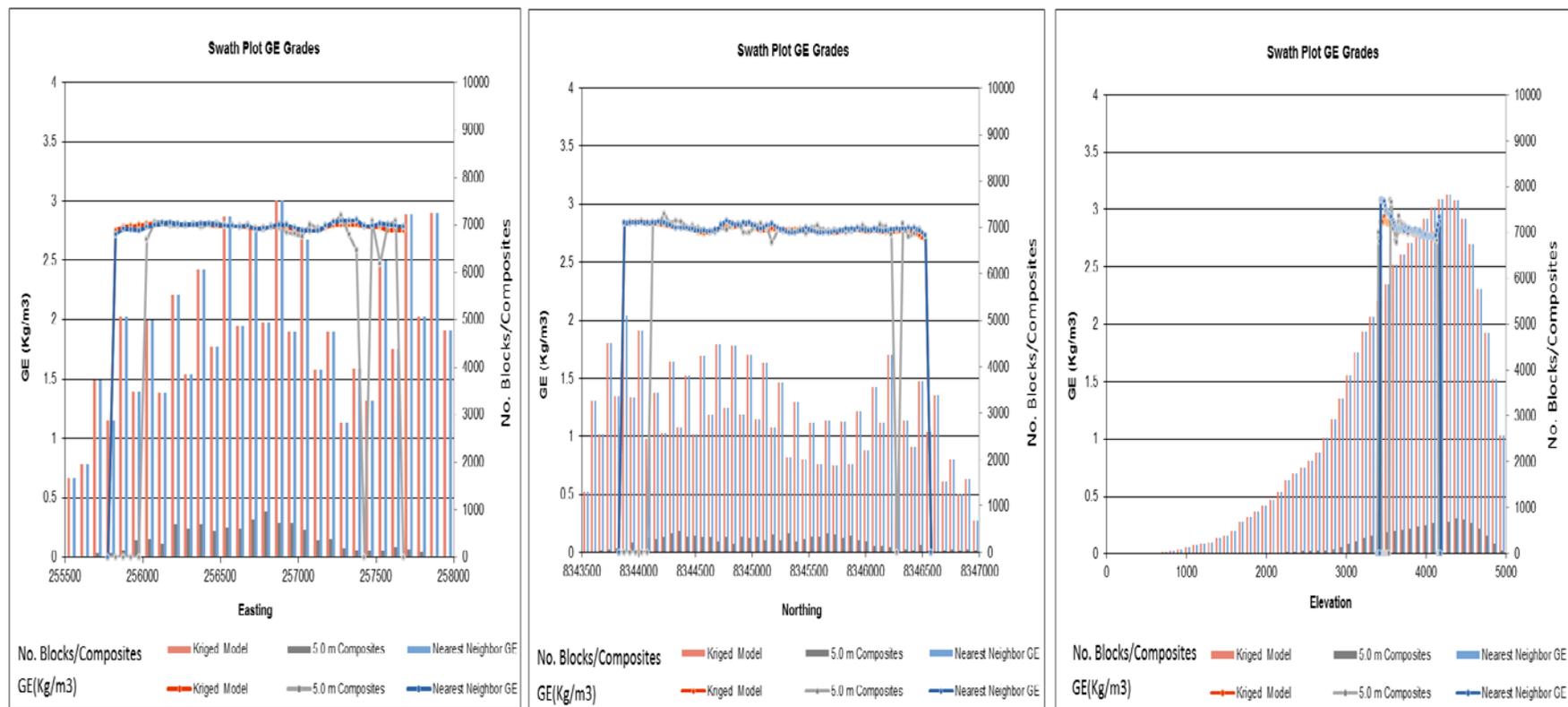


Figura 5.50. Gráficos de deriva para la diorita (51), se observa la estimación media de la Gravedad Específica (línea roja), la Gravedad Específica obtenido por el método del “vecino más cercano” (línea azul) y el valor medio de la Gravedad Específica presente en los compósitos (línea gris). Las secciones se realizaron usando intervalos cada 50m y las plantas cada 15m.

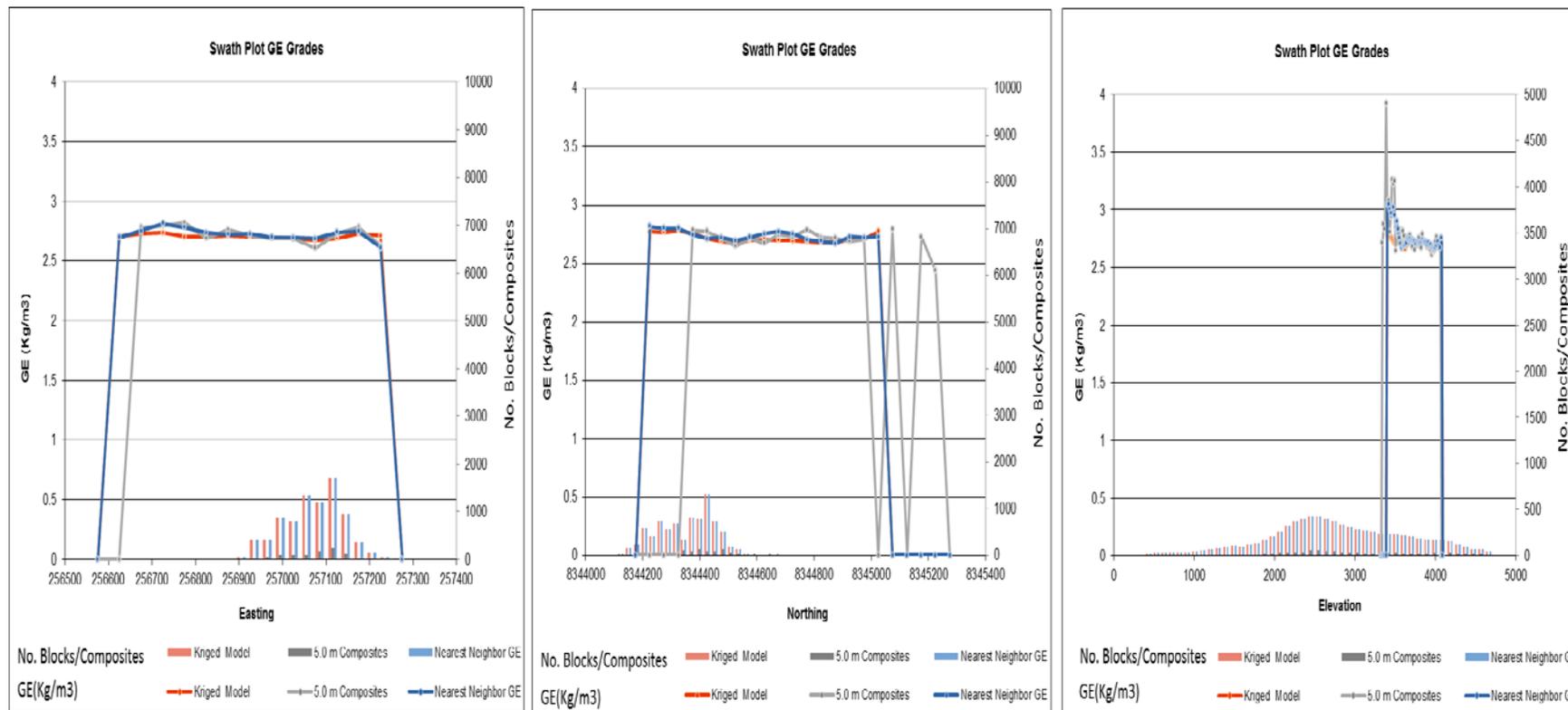


Figura 5.51. Gráficos de deriva para la brecha magmática hidrotermal (78), se observa la estimación media de la Gravedad Específica (línea roja), la Gravedad Específica obtenida por el método del “vecino más cercano” (línea azul) y el valor medio de la Gravedad Específica presente en los compósitos (línea gris). Las secciones se realizaron usando intervalos cada 50m y las plantas cada 15m.

5.6.4. Validación por corrección volumen-varianza (Herco)

Se realizó la validación de la estimación HERCO (Hermite Corrections) comparando las curvas de Gravedad Específica – tonelaje, obtenidas a partir de la estimación y la curva teórica obtenida a partir de la interpolación polinomial de Hermite o “HERCO”. HERCO usa los valores de la varianza de dispersión de los bloques, para generar la corrección de los valores interpolados por el método del “vecino más cercano” usando los polinomios de Hermite. Se generan las curvas teóricas de tonelaje y Gravedad Específica para HERCO, que consideran una selectividad efectiva de acuerdo a la unidad selectiva de minado.

En las siguientes graficas se confirman la validación por corrección volumen-varianza (HERCO), de los diferentes dominios de estimación.

5.6.4.1. Exoskarn (71)

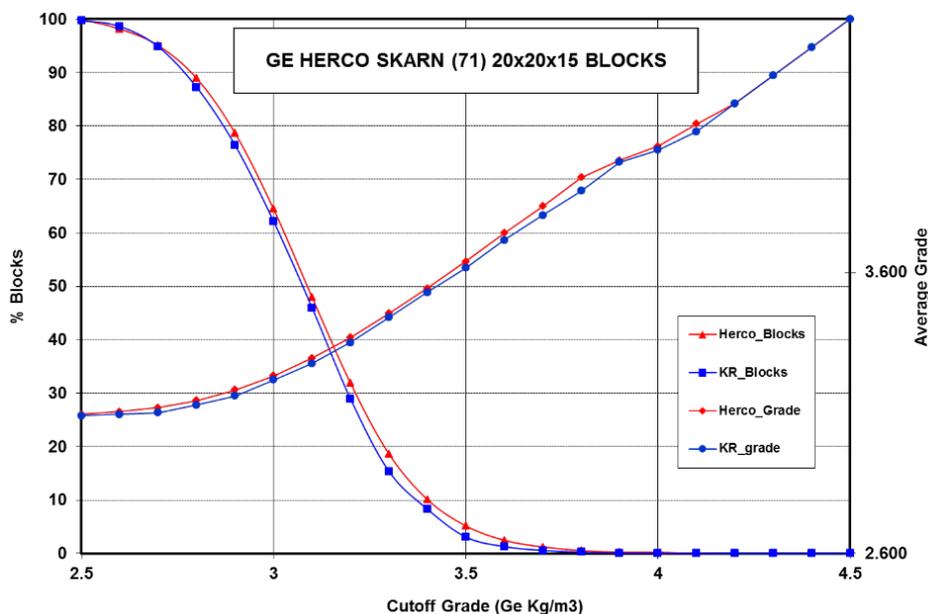


Figura 5.52. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el exoskarn (71) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.2. Diorita (51)

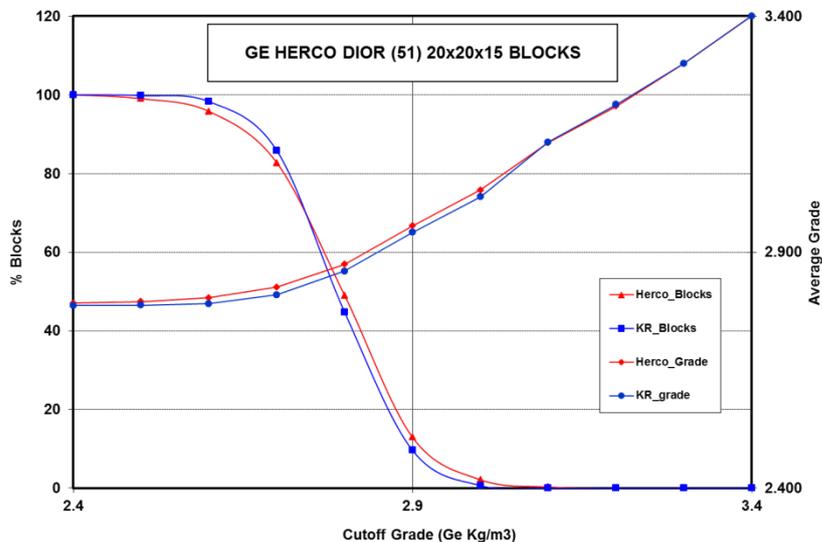


Figura 5.53. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para la diorita (51) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.3. Endoskarn en diorita (61)

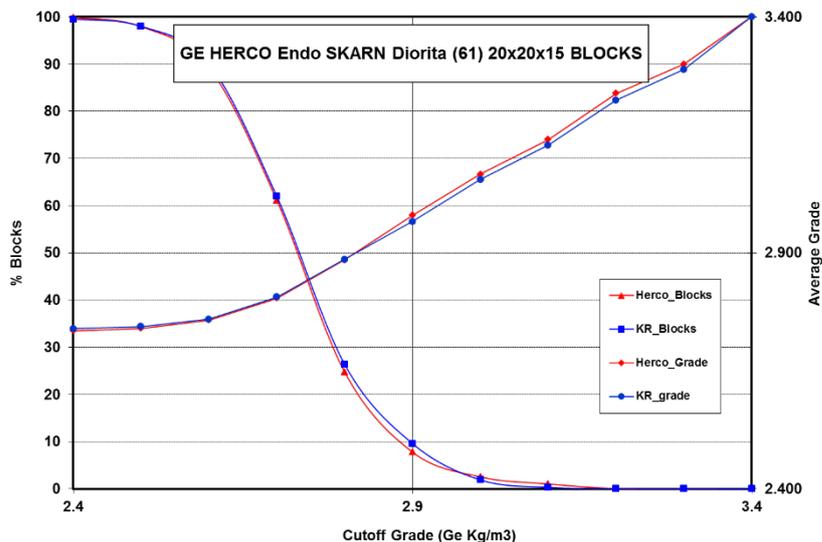


Figura 5.54. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el endoskarn en diorita (61) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.4. Pórfido monzonítico horbléndico (52)

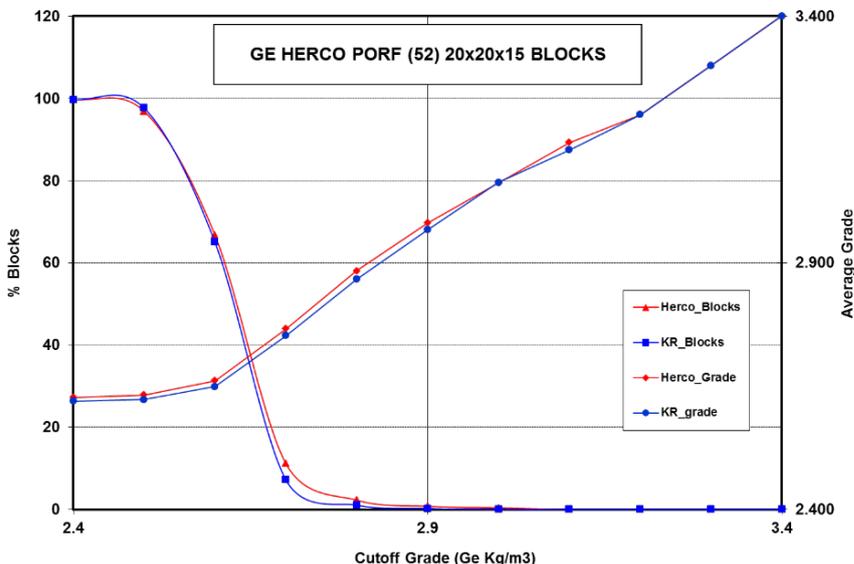


Figura 5.55. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el pórfido monzonítico horbléndico (52) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.5. Endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62)

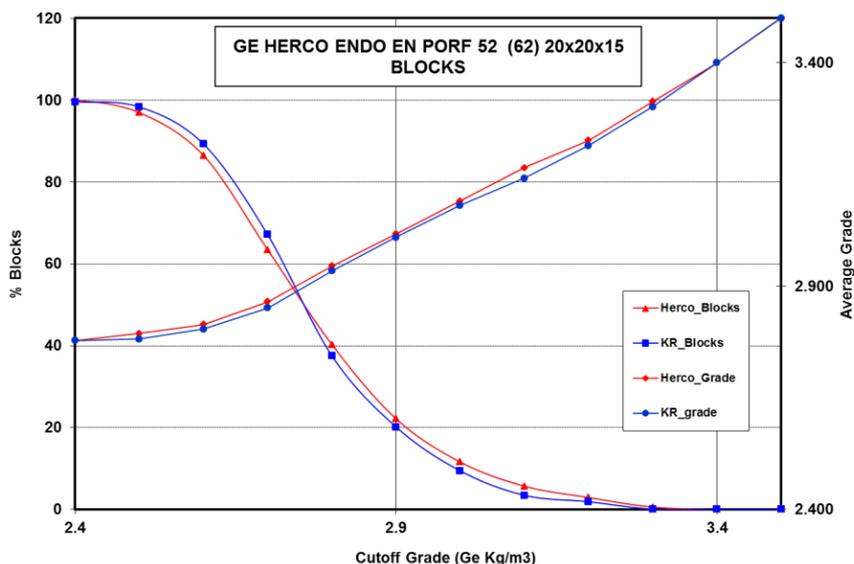


Figura 5.56. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el endoskarn en pórfido monzonítico horbléndico (62) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.6. Pórfido monzonítico biotítico (54)

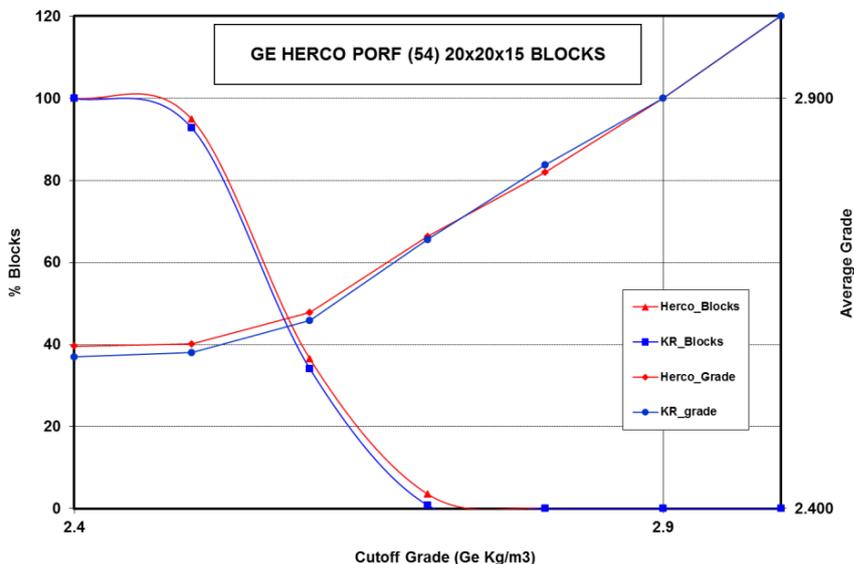


Figura 5.57. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el pórfido monzonítico biotítico (54) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

5.6.4.7. Mármol (42)

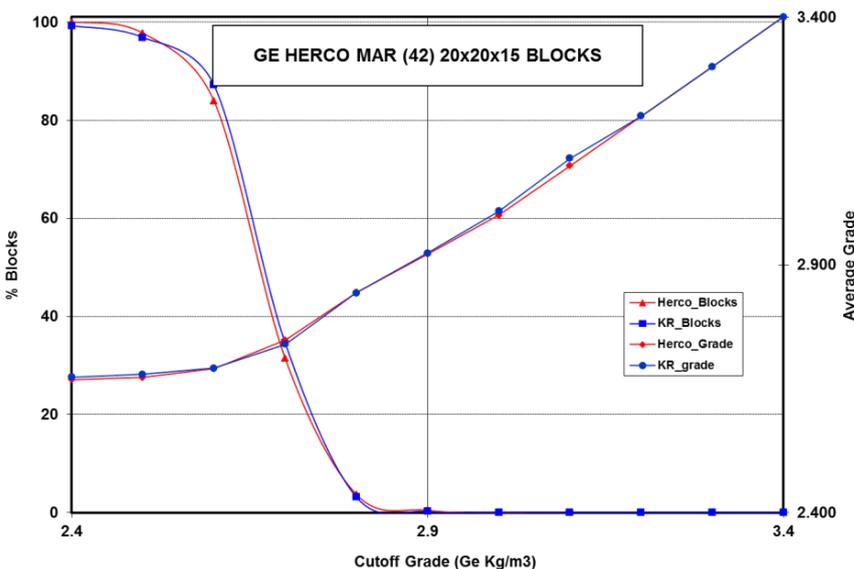


Figura 5.58. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el mármol (42) (líneas azules) para la gravedad Específica.

5.6.4.8. Hornfels (49)

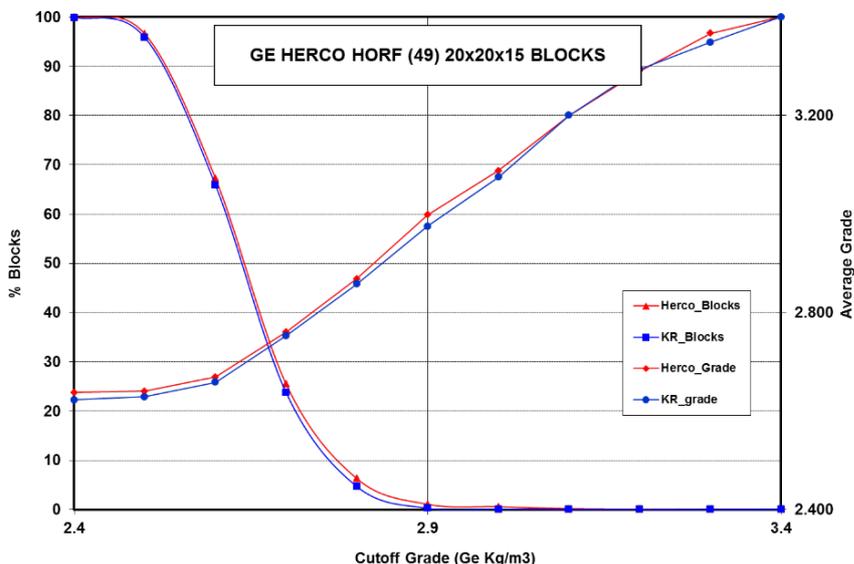


Figura 5.59. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para el hornfels (49) (líneas azules) para la gravedad Específica.

5.6.4.9. Brecha magmática hidrotermal (78)

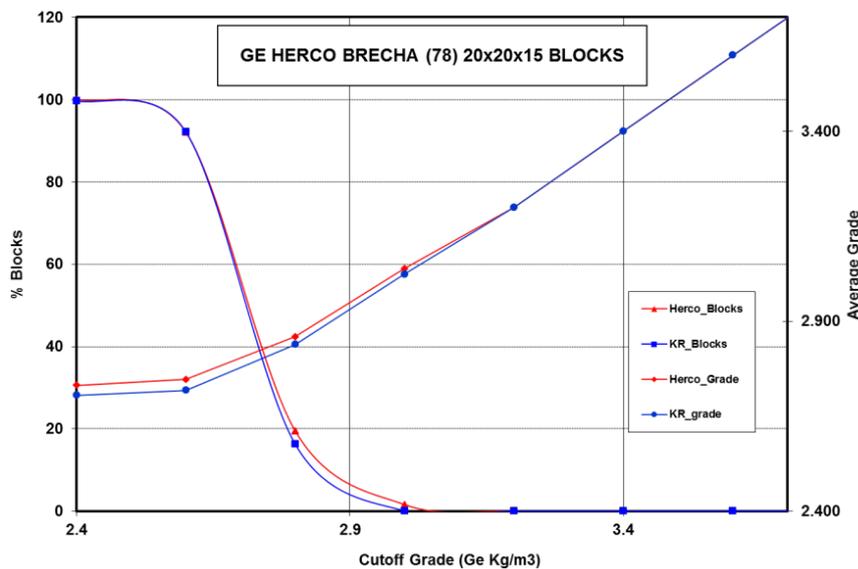


Figura 5.60. Comparación curvas Gravedad Específica – Tonelaje entre el HERCO (líneas rojas) y la estimación realizada para la brecha magmática hidrotermal (78) (líneas azules) para la Gravedad Específica.

CONCLUSIONES

- Se han identificado catorce dominios de estimación para la Gravedad Específica. Todos los dominios excepto el endoskarn (64), tienen un comportamiento normal. El endoskarn (64), tiene una distribución log normal, esto estaría evidenciando que se tiene que definir mejor la litología en el logeo, para evitar esta distribución anómala. En la tabla 6.1. se muestra los valores mínimos y máximos de la Gravedad Específica por cada dominio.

Tabla 6.1. Gravedad Específica de los dominios de estimación.

Dominios	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78
GE Mínima (kg/m ³)	1.85	1.07	1.58	1.73	1.07	1.31	1.57	1.91	2.04	1.07	1.07	2.12	1.22	1.83
GE Máxima (kg/m ³)	4.02	5.63	7.51	3.85	8.17	9.16	5.15	4.65	4.19	4.73	3.98	3.70	10.21	5.40

- Se obtienen los valores de Gravedad Específica para cada bloque en el modelo, producto de la estimación. Así se puede controlar mejor las variaciones locales que existen dentro de un dominio de estimación.
- Los valores de la Gravedad Específica por bloques, producto de la estimación, ayuda a que los modelos geometalúrgicos, que considera parámetros principales como roca, tonelaje y ley, sean más confiables, ya que la Gravedad Específica es un parámetro importante para la geometalurgia. En la tabla 6.2. se muestra los valores mínimos y máximos de las leyes de cobre (%) por cada dominio de estimación.

Tabla 6.2. Leyes máximos y mínimos de los dominios de estimación.

Dominios	41	42	49	50	51	52	54	56	58	61	62	64	71	78
Ley Mínima (%Cu)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ley Máxima (%Cu)	1.47	3.52	4.27	2.46	4.68	6.74	8.92	0.72	3.82	6.69	5.26	2.85	14.64	4.01
Ley Promedio (%Cu)	0.05	0.09	0.12	0.10	0.12	0.20	0.08	0.02	0.08	0.26	0.38	0.25	1.85	0.27

- Los valores de tonelaje que se obtienen de los diferentes tipos de materiales a minar, son cercanos a lo real, por ende el reporte de estimación de recursos en tonelaje - ley y el reporte del valor de Cu fino que se emitirán serán más reales y confiables. Esta estimación de la Gravedad Específica ayuda a la Oficina de Planeamiento, a tener resultados más cercanos a la realidad en las diferentes etapas de planificación del proyecto Coroccohuayco.

RECOMENDACIONES

- Realizar solo ensayos de parafina para la toma de Gravedad Específica y dejar de usar el método de Jolly. Debido al tipo de material existente (fracturado y poroso) y a la calidad de los resultados obtenidos.
- Implementar un mejor programa de aseguramiento y control de calidad QA-QC, para la Gravedad Específica.
- Realizar un análisis estadístico y geoestadístico, para obtener distancias de muestreos idóneos de la Gravedad Específica por cada dominio geoestadístico. Debido que actualmente se está muestreando por cada corrida de muestreo (2.5m).
- Para dominios geoestadísticos con una variabilidad alta en la distribución de sus valores como es el exoskarn y endoskarn, utilizar indicadores como método de interpolación. Debido a que los indicadores controlan mejor la variabilidad alta de datos.

BIBLIOGRAFIA

ALFARO, M. (2007). *Estimación de recursos mineros*. Chile: Instituto de Ingenieros de minas de Chile.

ARKIN H. & COLTON R. (1972). *Métodos Estadísticos*. México: Compañía Editorial Continental S.A., 5ta Edición.

CARLOTTO V., CERPA L., CARLIER G., QUISPE J., CARDENAS J. & ASTETE D., (2006). *Control Estructural de los Pórfidos Eoceno-Oligoceno del Cinturón Andahuaylas-Yauri (Sur Perú) y su relación con la Cordillera de Domeyko (Norte de Chile)*. (Resúmenes Extendidos). Lima: INGEMMET.

CHIRRE A., MOLINA O., NUÑONCCA T. & VILLON G. (2009). *Geología de Corocohuayco*. (Reporte Técnico). Cusco: Tintaya - Perú.

MARIN A. (1999). *Análisis estadístico de correlación de las leyes de Cobre y Oro del Proyecto Michiquillay*. (Reporte Técnico). Lima: Biblioteca de Dataroom de Centromín Perú.

MARIN A. (2000). *Análisis estadístico de la mina Yauricocha de Centromín Perú S.A.* (Reporte Técnico). Lima: Biblioteca de Dataroom de Centromín Perú.

MURRAY R. & SPIEGEL. (1970). *Estadística*. USA: McGraw-Hill INC USA.

MYERS, G. (2001). *Skarn System and Exploration Concepts*. (Informe Técnico). Lima: Seminario Alteraciones Hidrotermales – guías de exploración, Julio 2001, UNI.

PERELLÓ J., CARLOTTO V., ZARATE A., RAMOS P., POSSO H., NEYRA C., CABALLERO A., FUSTER N. & MUHR R. (2003). *Porphyry-style Alteration and mineralization of the Middle*. (Resúmenes Extendidos). Lima: INGEMMET.

ANEXOS

Anexo I: Resumen de procedimientos y descripción de las principales herramientas usadas en el software Leapfrog Mining.

El modelamiento en el software Leapfrog Mining consiste en construir wireframe de las clases de litología, alteración, mineralización y estructural. Los wireframe se construyen para usarlos en la estimación de recursos.

Se realiza el modelamiento en el software Leapfrog Mining siguiendo varias etapas, hasta obtener el producto final que son los wireframe. Las etapas del trabajo se describen a continuación.

Procedimiento

I.1. Base de datos validada: sondajes de perforación, topografía y mapeos

La información collar, survey, litología, alteración, mineralización y estructural se validan.

I.2. Revisión de interpretación geológica – secciones geológicas (litológicas, estructurales y mineralógicas)

Las interpretaciones geológicas en las secciones se validan de acuerdo al modelo genético del yacimiento.

I.3. Modelamiento geológico en 3D

Usando la información de las etapas I.1 y I.2 y teniendo presente el modelo genético del yacimiento y las herramientas del software Leapfrog Mining se realiza la interpretación en 3D.

Para hacer la interpretación en 3D se siguen los pasos que se detallan a continuación:

- Se cargan los archivos, collar, survey, assays, litología, mineralización, alteración y estructural.
- Se importa las imágenes y se georeferencian.

- Se importa la topografía.
- Se define la secuencia de modelamiento por cada litología.
- Se define las tendencias, buzamientos de cada litología. La definición de tendencias ayuda a extraer puntos y realizar la interpolación de los dominios geológicos, ya que se puede obtener parámetros de alcances en las tres dimensiones. Se usa la herramienta **Structural Trend**.
- Se define el método de extracción de puntos. Para realizar este paso se tiene que saber la geometría del cuerpo a interpretar, si es tabular se usa la herramienta **New Interval Selection** y si no es tabular se usa la herramienta **Composite Region**.
- Se define el método de interpolación (**Ordinary kriging, Linear y Quadratic**) con sus respectivos parámetros (alcance, meseta, efecto pepita y ángulos de rotación), para generar las superficies y wireframe de cada litología. Se usa la herramienta **Interpolate Values**.
- Se ajustara los wireframe a las secciones usando polilíneas. Se usa la herramienta **Polylines y Merge Objects**.
- Se genera wireframe para cada litología. Este es el paso final, se tomara en cuenta la secuencia genética del yacimiento, se construirá de lo reciente a lo más antiguo para generar los wireframes. Se usa la herramienta **Domains**.

Anexo II: Resumen de procedimientos y descripción de las principales herramientas usadas en el software Supervisor 8.1.

El análisis estadístico de datos y la variografía se realizó en el software Supervisor 8.1, consiste en la elaboración de gráficos estadísticos, para la definición de dominios de estimación y para la validación de la estimación. Se usó también para la generación y modelamiento de variogramas.

Los análisis estadísticos de datos y la variografía se usan en el proceso de estimación de la Gravedad Específica.

Procedimiento

II.1. Base de datos validada

Se valida la información assays, composito, datos de estimación por kriging ordinario, datos de estimación por vecino más cercano y datos de estimación por inverso a la distancia.

II.2. Análisis estadísticos de datos – definición de dominios de estimación

Para realizar el análisis estadístico de datos y para la definición de dominios de estimación se sigue los siguientes pasos:

- Se importa los assays y compositos, con los parámetros que se realizará el análisis estadístico.
- Con la herramienta **Add**, se elaboran los diferentes gráficos estadísticos (Histogram, QQ Plots, Cumulative Distribution Plot, Box and Whisker Plot, Scatter Plot y Mean and Variance Plot).
- Con los gráficos estadísticos realizados se definen los dominios de estimación.

II.3. Variografía (Correlograma)

Para realizar la elaboración y modelamiento del variograma se sigue los siguientes pasos:

- Se importa los compositos, con los parámetros que se realizará la variografía.
- Con la herramienta **Add**, se realiza el **Decluster** con tamaños de bloques 20x20x15 y celdas de 4x4x3.
- Con la herramienta **Add**, se realiza la **Cumulative Distribution Plot**, para poder definir los valores altos erráticos.
- Con la herramienta **Add**, se realiza la **Horizontal Continuity Fan, Across Strike Correlogram, Dip Plane Correlogram y Continuity Models**, para definir el correlograma.
- El modelamiento de correlograma se realiza de forma manual, de acuerdo al modelo teórico de variografía y el número de estructuras.

II.4. Análisis estadísticos de datos – validación de la estimación

Para realizar el análisis estadístico de datos para la validación de la estimación se siguen los siguientes pasos:

- Se importa los composito, datos de estimación por kriging ordinario, datos de estimación por vecino más cercano y datos de estimación por inverso a la distancia.
- Con la herramienta **Add**, se elaboran los diferentes gráficos estadísticos (Histogram, QQ Plots, Cumulative Distribution Plot, Box and Whisker Plot y Scatter Plot).
- Con los gráficos estadísticos realizados se define la calidad de la validación de estimación.

Anexo III: Resumen de procedimientos y descripción de las principales herramientas usadas en el software Minesight 5.5.

La estimación de la Gravedad Específica se realizó en el software Minesight 5.5, que consiste en generar modelos de bloques, usando interpoladores (kriging ordinario, inverso a la distancia y vecino más cercano) que se basan en información de compositos, modelo litológico, parámetros de los correlogramas y valores de altos erráticos.

Procedimiento

III.1. Base de datos validados.

Tener información validada, como collar, survey y assays.

III.2. Modelos geológicos (litológico) validados.

III.3. Parámetros de los correlogramas.

III.4. Valores de altos erráticos.

III.5. Estimación de la Gravedad Específica.

Para realizar la estimación de la Gravedad Específica se siguen los siguientes pasos:

- Se carga la información de sondajes, haciendo uso de la herramienta **Convert Collar, Survey, Assays files** y **Load ASCII DH Data**.
- Se realiza la composición usando la herramienta **Bench Composites**, a una longitud fija de 5m. Se composita los valores de Gravedad Específica a base de la litología.
- Se realiza la codificación de la litología en el modelo de bloques, usando la herramienta **Code Model** y usando la opción **Total Percent within solid polygon**.

- Se realiza la codificación de la topografía en el modelo de bloques, usando la herramienta **Code Model** y usando la opción **Total Percent between/below surface**.
- Se realiza la interpolación de los valores de la Gravedad Específica por el método **kriging ordinario** usando la herramienta **Ordinary Kriging**, para los dominios que se definieron en el análisis estadístico de datos. Este proceso se realizó mediante una **Multi-run**, en donde se declara variables como distancias de búsqueda, mínimo número de compositos a usar, máximo número de compositos a usar, máximo número de compositos por sondajes, longitud de bloques de discretización, parámetros de los correlogramas, sistema de rotación (GSLIB), tipos de contacto (duros) y valores de altos erráticos. Se realiza para el caso de la estimación de la Gravedad Específica tres pasadas de interpolación a diferentes distancias.
- Se realiza la interpolación de los valores de la Gravedad Específica por el método **inverso a la distancia** usando la herramienta **IDW Interpolation**, para los dominios que se definieron en el análisis estadístico de datos. Este proceso se realizó mediante una **Multi-run**, donde se declaran variables como distancias de búsqueda, mínimo número de compositos a usar, máximo número de compositos a usar, máximo número de compositos por sondajes, longitud de bloques de discretización, parámetros de los correlogramas, sistema de rotación (GSLIB), tipos de contacto (duros) y valores de altos erráticos. Se realiza para el caso de la estimación de la Gravedad Específica dos pasadas de interpolación a diferentes distancias.
- Se realiza la interpolación de los valores de la Gravedad Específica por el método **vecino más cercano** usando la herramienta **IDW Interpolation**, para los dominios que se definieron en el análisis estadístico de datos. Este proceso se realizó mediante una **Multi-run**, donde se declaran variables como distancias de búsqueda, mínimo número de compositos a usar, máximo número de compositos a usar, máximo número de compositos por sondajes, longitud de bloques de discretización, parámetros de los correlogramas, sistema de

rotación (GSLIB), tipos de contacto (duros) y valores de altos erráticos. Se realiza para el caso de la estimación de la Gravedad Específica dos pasadas de interpolación a diferentes distancias.

- Se realiza la exportación de los valores de estimación, en los diferentes métodos, usando la herramienta **Dump Model to ASCII**, para realizar la validación con el software Supervisor 8.1.

Anexo IV: Reporte de Gravedad Específica por el método Jolly.

DDH	FROM	TO	N° Muestra	PESOAIRE	PESOAGUA	GRAVESPEC	Observación 1
CORI-108	0.00	3.00	1				
CORI-108	3.00	6.00	2				
CORI-108	6.00	9.00	3				
CORI-108	9.00	12.05	4				
CORI-108	12.05	15.05	5				
CORI-108	15.05	18.05	6				
CORI-108	18.05	19.80	7				
CORI-108	19.80	21.60	8				
CORI-108	21.60	23.90	9				
CORI-108	23.90	26.40	10	1188.00	785.00	2.9479	Ok
CORI-108	26.40	28.90	11	1631.00	1069.00	2.9021	Ok
CORI-108	28.90	31.40	12	1314.00	840.00	2.7722	Ok
CORI-108	31.40	33.90	13	1463.00	960.00	2.9085	Ok
CORI-108	33.90	36.40	14	1442.00	929.00	2.8109	Ok
CORI-108	36.40	38.90	15	1296.00	822.00	2.7342	Ok
CORI-108	38.90	41.40	16	1190.00	747.00	2.6862	Ok
CORI-108	41.40	43.90	17	1381.00	879.00	2.7510	Ok
CORI-108	43.90	45.15	18				
CORI-108	45.15	46.40	19				
CORI-108	46.40	48.90	20	1811.00	1160.00	2.7819	Ok
CORI-108	48.90	51.85	21				
CORI-108	51.85	54.45	22				
CORI-108	54.45	56.80	23				
CORI-108	56.80	59.55	24	1324.00	847.00	2.7757	Ok
CORI-108	59.55	62.30	25	1831.00	1212.00	2.9580	Ok
CORI-108	62.30	65.10	26	1148.00	757.00	2.9361	Ok
CORI-108	65.10	67.75	27				
CORI-108	67.75	70.25	28	1347.00	891.00	2.9539	Ok
CORI-108	70.25	72.80	29				
CORI-108	72.80	75.30	30	1763.00	1180.00	3.0240	Ok
CORI-108	75.30	77.80	31	1647.00	1090.00	2.9569	Ok
CORI-108	77.80	80.40	32	1575.00	1049.00	2.9943	Ok
CORI-108	80.40	83.00	33	1535.00	1018.00	2.9691	Ok
CORI-108	83.00	85.90	34	1793.00	1198.00	3.0134	Ok
CORI-108	85.90	88.70	35				
CORI-108	88.70	91.55	36				
CORI-108	91.55	94.05	37	1185.00	782.00	2.9404	Ok
CORI-108	94.05	96.40	38	1646.00	1080.00	2.9081	Ok
CORI-108	96.40	98.70	39				
CORI-108	98.70	101.05	40				
CORI-108	101.05	102.20	41				
CORI-108	102.20	103.35	42				
CORI-108	103.35	105.65	43				
CORI-108	105.65	107.95	44				
CORI-108	107.95	110.25	45				
CORI-108	110.25	113.10	46				
CORI-108	113.10	115.95	47				
CORI-108	115.95	118.80	48				
CORI-108	118.80	121.70	49				
CORI-108	121.70	124.50	50				
CORI-108	124.50	127.00	51				
CORI-108	127.00	129.50	52				
CORI-108	129.50	132.00	53	1811.00	1221.00	3.0695	Ok
CORI-108	132.00	134.50	54	1947.00	1251.00	2.7974	Ok
CORI-108	134.50	137.00	55	1436.00	953.00	2.9731	Ok
CORI-108	137.00	139.50	56	1647.00	1107.00	3.0500	Ok
CORI-108	139.50	142.00	57				
CORI-108	142.00	144.50	58	1335.00	895.00	3.0341	Ok
CORI-108	144.50	145.75	59				
CORI-108	145.75	147.00	60	1344.00	903.00	3.0476	Ok
CORI-108	147.00	149.35	61				
CORI-108	149.35	151.70	62	1776.00	1187.00	3.0153	Ok
CORI-108	151.70	154.10	63	1150.00	762.00	2.9639	Ok

Anexo VI: Cuadro de codificación y de colores de los diferentes dominios de litología.

Color	Código Modelo	Litología Modelo (Lito_P2)
	41	Caliza
	50	Cuarcita
	49	Hornfels
	42	Mármol
	51	Diorita
	52	Pórfido Monzonítico Hornbléndico
	54	Porfido Monzonitico Biotitico
	56	Latita
	58	Andesita
	61	Endoskarn en Diorita
	62	Endoskarn en Pórfido Monzonítico Hornblendico
	64	Endoskarn en Porf. Mz Bt
	71	Exoskarn
	78	Magmática/Hidrotermal.
	99	Cuaternario