

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Mejoramiento de la validación de muestras de un proyecto
INFILL, basado en la aplicación de un sistema QA/QC**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Gilber Mike Garay Sarmiento

 [0009-0008-6576-9845](https://orcid.org/0009-0008-6576-9845)

Asesor

M.Sc. Carlos Alberto Rojas Leon

 [0009-0004-0770-4104](https://orcid.org/0009-0004-0770-4104)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Garay Sarmiento [1]
Referencia/Reference	[1] G. Garay Sarmiento, " <i>Mejoramiento de la validación de muestras de un proyecto INFILL, basado en la aplicación de un sistema QA/QC</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Garay, 2025)
Referencia/Reference	Garay, G. (2025). <i>Mejoramiento de la validación de muestras de un proyecto INFILL, basado en la aplicación de un sistema QA/QC</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres, por siempre estar conmigo, por la confianza depositada en mí y el apoyo incondicional.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional, así también agradezco a todos los catedráticos de la escuela de Geología de la UNI, porque han aportado mucho en mi formación profesional y como ser humano.

Resumen

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivo analizar el impacto de la implementación del sistema de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC) en la validación de muestras compuestas (compositos) dentro de un proyecto INFILL, y cómo esta implementación influye en la confiabilidad del modelo geológico generado.

La metodología aplicada consideró el análisis de datos geoquímicos obtenidos a partir de duplicados, estándares y blancos insertados en los batch de compositos, tanto en el laboratorio primario como en el laboratorio secundario, así como ensayos interlaboratorio y validaciones mediante el método de regresión RMA. Los resultados demostraron que el laboratorio primario alcanzó altos niveles de precisión, exactitud y control de contaminación, lo que se traduce en resultados consistentes y confiables. Asimismo, el laboratorio secundario mostró un desempeño igualmente sólido, con sesgos analíticos dentro de rangos aceptables, ausencia de contaminación significativa y buena repetibilidad de los resultados.

Además, los análisis interlaboratorio realizados para MgO evidenciaron que el laboratorio secundario obtuvo la mejor exactitud entre los laboratorios evaluados. Por otro lado, las evaluaciones gráficas como CuT vs CuSum, CuT vs Cu ponderado y CuT vs Cu ICP confirmaron que los procedimientos analíticos del laboratorio primario fueron correctamente ejecutados, logrando una recuperación efectiva del cobre y resultados geoquímicos coherentes.

En conjunto, se concluye que la implementación del sistema QA/QC no solo permitió establecer un control riguroso sobre los procesos de muestreo, preparación, análisis y validación, sino que también tuvo un impacto directo y positivo en la confiabilidad del modelo geológico del proyecto INFILL.

Palabras clave — QA/QC, exactitud, precisión, control de contaminación, verificación interlaboratorio.

Abstract

The objective of this professional sufficiency project is to analyze the impact of implementing a Quality Assurance and Quality Control (QA/QC) system on the validation of composite samples within an INFILL project, and how this implementation influences the reliability of the resulting geological model.

The applied methodology included the analysis of geochemical data obtained from duplicates, standards, and blanks inserted in composite sample batches, both in the primary and secondary laboratories, as well as interlaboratory tests and validations using the Reduced Major Axis (RMA) regression method. The results demonstrated that the primary laboratory achieved high levels of precision, accuracy, and contamination control, leading to consistent and reliable results. Likewise, the secondary laboratory showed equally solid performance, with analytical biases within acceptable ranges, no significant contamination, and good repeatability of results.

Additionally, interlaboratory analyses for MgO revealed that the secondary laboratory achieved the best accuracy among the laboratories evaluated. Furthermore, graphical evaluations such as CuT vs CuSum, CuT vs Weighted Cu, and CuT vs Cu ICP confirmed that the primary laboratory's analytical procedures were properly executed, resulting in effective copper recovery and consistent geochemical results.

In conclusion, the implementation of the QA/QC system not only established rigorous control over sampling, preparation, analysis, and validation processes, but also had a direct and positive impact on the reliability of the INFILL project's geological model.

Keywords — QA/QC, accuracy, precision, contamination control, interlaboratory verification.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Descripción del problema de investigación	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Hipótesis	2
1.4 Variables	2
1.4.1 Variable independiente (V.I.)	2
1.4.2 Variable dependiente (V.D.)	2
1.5 Antecedentes referenciales	3
1.5.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.5.2 Antecedentes nacionales	5
1.5.3 Antecedentes locales	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	8
2.1 Marco Teórico	8
2.1.1 Precisión de ensayos químicos	8
2.1.2 Aseguramiento de calidad (QA) en muestreo	15
2.1.3 Control de calidad (QC) en el muestreo.....	18
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Calidad de datos geológicos.....	21
2.2.2 Aseguramiento de la calidad (QA).....	21
2.2.3 Control de calidad (QC).....	22
2.2.4 Muestreo	22
2.2.5 Precisión	22
2.2.6 Exactitud	22

2.2.7	Materiales de control	22
2.2.8	Sesgo	23
2.2.9	Cadena de custodia.....	23
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		24
3.1	Unidad de estudio	24
3.1.1	Metodología de la investigación.....	24
3.2	Aseguramiento de calidad (QA).....	27
3.2.1	Perforación diamantina.....	27
3.2.2	Certificación de materiales de referencia o estándares (MRC)	28
3.2.3	Elección de laboratorios	31
3.2.4	Generación de compositos	34
3.2.5	Generación de los batch.....	37
3.2.6	Aprobación y falla de resultados de análisis	40
3.3	Compositos	45
3.3.1	Laboratorio primario	46
3.3.2	Laboratorio secundario.....	51
3.3.3	Laboratorio arbitral (terciario)	53
3.4	Control de calidad (QC).....	55
3.4.1	Laboratorio primario	55
3.4.2	Laboratorio secundario.....	73
3.5	Alcances y limitaciones	86
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		87
4.1	QC inter laboratorio de compositos (laboratorio primario y secundario).....	87
4.1.1	RMA de compositos	88
4.2	QC inter laboratorio de compositos (laboratorio terciario)	91
Conclusiones		94
Recomendaciones		97
Referencias bibliográficas		98

Anexos	101
--------------	-----

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	3
Tabla 2 : Resumen de valores promedio de leyes para blanco fino obtenidos	30
Tabla 3 : Resumen de valores promedio de leyes para blanco grueso (caliza)	30
Tabla 4 : Número de posiciones de los equipos según tipo de análisis de Inspectorate.	38
Tabla 5 : Resumen de número de muestras enviados a análisis de verificación.....	40
Tabla 6 : Resumen de compositos preparados y muestras de control insertados	49
Tabla 7 : Resumen códigos de análisis para compositos empleados por Inspectorate ..	50
Tabla 8 : Resumen de valores promedio obtenido de los 1853 compositos analizados .	51
Tabla 9 : Compositos y muestras de control analizados	52
Tabla 10: Resumen códigos de análisis para compositos empleados por Certimin	53
Tabla 11: Resumen de valores promedio obtenido de los 107 compositos analizados ...	53
Tabla 12: Resumen comparativo de valores promedio obtenido de los 107 compositos analizados.....	55
Tabla 13: Resumen de muestras de control insertados a los compositos enviados a análisis químico.....	55
Tabla 14: Resultados de CuT vs CuSum obtenidos por laboratorio primario	56
Tabla 15: Resultados de CuT vs Cu Ponderado obtenidos por laboratorio primario	57
Tabla 16: Resultados de CuT vs Cu Ponderado obtenidos por laboratorio primario	58
Tabla 17: Resultados de duplicados de pulpa de compositos obtenidos por laboratorio primario.....	60
Tabla 18: Resultados de MRs obtenidos por laboratorio primario	65
Tabla 19: Resumen de blanco fino de laboratorio primario para compositos	68
Tabla 20: Resultados de CuT vs Cu ponderado obtenidos por laboratorio secundario ...	74
Tabla 21: Resultados de CuT vs Cu ICP obtenidos por laboratorio secundario	75
Tabla 22: Resultados de duplicados de pulpa de compositos obtenidos por laboratorio .	77
Tabla 23: Resultados de MRs obtenidos por laboratorio secundario.....	80

Tabla 24: Resumen de blanco fino de laboratorio secundario para compositos.....	83
Tabla 25: Resultados obtenidos por RMA de compositos entre laboratorio primario y secundario	88
Tabla 26: Resultados de MgO obtenido comparando entre laboratorios.....	91
Tabla 27: Resumen de Muestras de Control de Programa QA/QC	91

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Relación entre exactitud y precisión.....	9
Figura 2 : Límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LC)	10
Figura 3 : Ubicación del proyecto.....	24
Figura 4 : Diagrama de flujo del proceso de QA/QC	26
Figura 5 : Detalle de calizas cortadas longitudinalmente , para muestras de blanco grueso	31
Figura 6 : Diagrama de flujo de preparación de compositos.....	47
Figura 7 : Separación de compositos en dos sobres.....	48
Figura 8 : Sobres de compositos reetiquetados para envío a análisis químico.....	49
Figura 9 : Resumen de PETS de análisis químicos realizados por Inspectorate.....	50
Figura 10: Resumen de PETS de análisis químicos realizados por Certimin	52
Figura 11: CuT vs CuSum de los resultados obtenidos por laboratorio primario	56
Figura 12: CuT vs Cu ponderado de los resultados obtenidos por laboratorio primario...	57
Figura 13: CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos por laboratorio primario.....	59
Figura 14: Resultados de análisis de Cu de ICP obtenidos por laboratorio primario	61
Figura 15: Resultados de análisis de CuT obtenidos por laboratorio primario	61
Figura 16: Resultados de análisis de CuS obtenidos por laboratorio primario.....	62
Figura 17: Resultados de análisis de CuCN obtenidos por laboratorio primario.....	62
Figura 18: Resultados de análisis de CuRES obtenidos por laboratorio primario.....	63
Figura 19: Resultados de análisis de CuSum obtenidos por laboratorio primario.....	63
Figura 20: Resultados de análisis de Flúor obtenidos por laboratorio primario.....	64
Figura 21: Resultados de análisis de Magnesio obtenidos por laboratorio primario	64
Figura 22: Resultados de análisis de Hierro obtenidos por laboratorio primario.....	65
Figura 23: Exactitud global de estándares de CuT obtenido por laboratorio primario.....	66
Figura 24: Gráfica de estándar bajo de CuT obtenido por laboratorio primario	67
Figura 25: Gráfica de estándar medio de CuT obtenido por laboratorio primario	67

Figura 26: Gráfica de estándar alto de CuT obtenido por laboratorio primario	68
Figura 27: Blanco fino para Cu de ICP de compositos obtenido por laboratorio primario	69
Figura 28: Blanco fino para CuT de compositos obtenido por laboratorio primario.....	70
Figura 29: Blanco fino para CuS de compositos obtenido por laboratorio primario	70
Figura 30: Blanco fino para CuCN de compositos obtenido por laboratorio primario.....	71
Figura 31: Blanco fino para CuRES de compositos obtenido por laboratorio primario.....	71
Figura 32: Blanco fino para Flúor de compositos obtenido por laboratorio primario	72
Figura 33: Blanco fino para Magnesio de compositos obtenido por laboratorio primario .	72
Figura 34: Blanco fino para Hierro de compositos obtenido por laboratorio primario.....	73
Figura 35: CuT vs. Cu ponderado de los resultados obtenidos por laboratorio secundario	75
Figura 36: CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos por laboratorio secundario	76
Figura 37: Resultados de análisis de Cu de ICP obtenidos por laboratorio secundario ...	78
Figura 38: Resultados de análisis de CuT obtenidos por laboratorio secundario	78
Figura 39: Resultados de análisis de Magnesio obtenidos por laboratorio secundario....	79
Figura 40: Resultados de análisis de Hierro obtenidos por laboratorio secundario	79
Figura 41: Exactitud global de estándares de CuT obtenido por laboratorio secundario .	81
Figura 42: Gráfica de estándar bajo de CuT obtenido por laboratorio secundario.....	81
Figura 43: Gráfica de estándar medio de CuT obtenido por laboratorio secundario.....	82
Figura 44: Gráfica de estándar alto de CuT obtenido por laboratorio secundario.....	82
Figura 45: Blanco fino para Cu de ICP de compositos obtenido por laboratorio secundario.....	84
Figura 46: Blanco fino para CuT de compositos obtenido por laboratorio secundario	84
Figura 47: Blanco fino para Magnesio de compositos obtenido por laboratorio secundario.....	85
Figura 48: Blanco fino para Hierro de compositos obtenido por laboratorio secundario ..	85
Figura 49: Laboratorio primario vs secundario para Cu de ICP en compositos	89
Figura 50: Laboratorio primario vs secundario para CuT en compositos.....	89

Figura 51: Laboratorio primario vs secundario para Magnesio en compositos	90
Figura 52: Laboratorio primario vs secundario para Hierro en compositos.....	90
Figura 53: Laboratorio primario vs terciario para MgO en compositos	93
Figura 54: Laboratorio secundario vs terciario para MgO en compositos	93

Introducción

En la industria minera, la confiabilidad de los modelos geológicos es un pilar fundamental para la adecuada planificación y evaluación de recursos. Estos modelos se sustentan, en gran medida, en la calidad de los datos geoquímicos obtenidos durante las campañas de perforación, por lo que implementar un sistema riguroso de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC, por sus siglas en inglés) es esencial para garantizar resultados precisos, exactos y representativos. En el contexto específico de los proyectos INFILL —diseñados para aumentar la densidad de información en zonas ya mineralizadas—, la validación de las muestras compuestas o compositos cobra especial relevancia, pues cualquier error en la calidad de los datos podría comprometer directamente la interpretación del modelo geológico.

El presente trabajo de suficiencia profesional se centra en la implementación del sistema QA/QC para la validación de muestras de un proyecto INFILL, evaluando su impacto directo en la confiabilidad del modelo geológico generado.

El Capítulo I aborda el planteamiento del problema, los objetivos, hipótesis, variables e importantes antecedentes referenciales que sustentan la necesidad de un sistema QA/QC bien estructurado.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual, incluyendo fundamentos sobre la precisión de ensayos químicos, principios de aseguramiento de calidad durante el muestreo, y controles aplicables en los diferentes niveles del proceso.

En el Capítulo III se describe la metodología utilizada, comenzando por la unidad de estudio y los procedimientos de recolección, preparación y análisis de datos. Se detallan los mecanismos de aseguramiento de calidad implementados, como la certificación de materiales de referencia, la elección de laboratorios, y la generación de compositos y batches analíticos. Además, se analiza el rol de los laboratorios primario, secundario y terciario, así como los distintos controles de calidad aplicados en cada uno de ellos.

El Capítulo IV presenta el análisis de los resultados obtenidos mediante controles interlaboratorio y validaciones con el método de regresión RMA. Se evalúa el desempeño de los laboratorios en términos de precisión, exactitud y control de contaminación, permitiendo una interpretación clara del impacto que tiene el sistema QA/QC sobre los datos geoquímicos y, por ende, sobre el modelo geológico del proyecto.

Finalmente, se exponen las conclusiones alcanzadas y se plantean recomendaciones prácticas para reforzar la calidad de los datos en futuras campañas INFILL. Este trabajo busca contribuir a la mejora continua de los procedimientos analíticos en minería, promoviendo modelos geológicos más sólidos, realistas y técnicamente respaldados.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Descripción del problema de investigación

En la industria minera, la confiabilidad de los modelos geológicos depende directamente de la calidad de los datos que los sustentan, particularmente de los resultados analíticos de las muestras geológicas recolectadas en los programas de exploración y delineación, como los proyectos INFILL. A pesar de la existencia de estándares internacionales reconocidos —como el código JORC (2012) y la norma NI 43-101 (2011)—, que establecen lineamientos rigurosos para el aseguramiento y control de calidad (QA/QC) en el muestreo y análisis geoquímico, muchas operaciones mineras, tanto en países desarrollados como en América Latina, muestran deficiencias en la implementación efectiva de estos programas, especialmente en el control de precisión de muestras ordinarias y compósitos.

En países con una tradición minera consolidada como Chile, Argentina y Perú, el índice de atractivo para la inversión minera es alto; sin embargo, los programas QA/QC frecuentemente presentan falencias en el tratamiento y análisis de duplicados, que son esenciales para evaluar la repetibilidad y confiabilidad de los datos geoquímicos (Stedman et al, 2020). En el caso del Perú, y particularmente en la región Junín, operaciones de larga trayectoria como la mina Yaro han implementado programas QA/QC para el control de muestras ordinarias y compósitos. No obstante, se ha identificado una atención insuficiente al análisis de la precisión en las diferentes etapas del muestreo, preparación y análisis de laboratorio (Canchaya, 2020).

En muchas operaciones, la prioridad suele estar centrada en controlar la exactitud mediante el uso de materiales de referencia certificados (standards) y la contaminación mediante blancos, descuidando el análisis riguroso de la precisión. Esta práctica ha llevado a ignorar las alertas generadas por resultados inconsistentes en duplicados, a realizar escaso seguimiento sobre el peso y representatividad de las submuestras, y a mantener protocolos sin ajustes incluso cuando se identifican resultados anómalos (Simón, 2013;

Long, 2003). Además, la inserción de duplicados es insuficiente — en algunos casos representa solo el 2% del total de muestras, cuando se recomienda al menos un 20% — y persiste una falta de claridad en la definición, clasificación y propósito de los diferentes tipos de duplicados, lo cual impide una evaluación adecuada de la precisión en cada etapa del proceso (Canchaya, 2020; Gómez, 2019).

Como consecuencia, estas deficiencias en el análisis de precisión afectan directamente la calidad del modelo geológico, especialmente en proyectos INFILL, donde se requiere una alta resolución de datos para reducir la incertidumbre entre perforaciones existentes. La falta de control adecuado puede conllevar decisiones erróneas en la estimación de recursos, planificación de mina y evaluación económica del yacimiento, generando costos adicionales por remuestreo, retrasos operativos y menor confiabilidad en las estimaciones. Por lo tanto el problema que se plantea es el siguiente:

- ¿En qué medida la implementación del sistema QA/QC para la validación de compósitos influye en la confiabilidad de los modelos geológicos en un proyecto INFILL?

1.2 Objetivo

Analizar el impacto de la implementación del sistema QA/QC para la validación de compósitos en la confiabilidad del modelo geológico en un proyecto INFILL.

1.3 Hipótesis

La implementación adecuada del sistema QA/QC, con énfasis en el control de precisión de compósitos, mejorará significativamente la confiabilidad del modelo geológico en un proyecto INFILL.

1.4 Variables

1.4.1 Variable independiente (V.I.)

X: Implementación del sistema QA/QC

1.4.2 Variable dependiente (V.D.)

Y: Confiabilidad del modelo geológico

Tabla 1*Matriz de consistencia*

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES
			Independiente	Dependiente	
¿En qué medida la implementación del sistema QA/QC para la validación de muestras influye en la confiabilidad de los modelos geológicos en un proyecto INFILL?	Analizar el impacto de la implementación del sistema QA/QC para la validación de muestras en la confiabilidad del modelo geológico en un proyecto INFILL.	La implementación adecuada del sistema QA/QC, con énfasis en el control de precisión y exactitud de muestras, mejorará significativamente la confiabilidad del modelo geológico en un proyecto INFILL.	X1: Independiente / Causa	Y1: Dependiente / Efecto	Error relativo Sesgo Desviación estándar Media

Fuente: Elaboración propia

1.5 Antecedentes referenciales**1.5.1 Antecedentes internacionales**

Argota, H. y Fernández, A. (2012), Evaluación de la precisión intralaboratorio para la determinación simultánea de ocho elementos en muestras geológicas aplicando la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado. Los autores establecieron como objetivo evaluar la precisión intralaboratorio en el análisis simultáneo de ocho elementos en minerales lateríticos mediante ICP-AES, y compararla con las precisiones límites establecidas. Para ello, realizaron un análisis estadístico de los resultados de determinaciones duplicadas correspondientes a los años 2010 y 2011. Como resultado, se obtuvo una precisión promedio de 2.8%, independiente del elemento o su concentración, dependiendo principalmente del procedimiento y del sistema analítico empleado. Concluyeron que, en análisis multielementales, la precisión debe evaluarse en función del procedimiento general y no individualmente por elemento.

Ortiz, C. (2019), Análisis del QA/QC en la etapa 15 de la unidad minera San Julián, municipio Guadalupe y Clavo, estado de Chihuahua. El autor tuvo como objetivo establecer parámetros de mejora en el proceso de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) en la unidad minera San Julián, a partir del análisis estadístico de muestras de control para

verificar la eficiencia del proceso. La metodología aplicada incluyó la delimitación y recopilación de muestras, análisis de resultados, acciones posteriores, así como una revisión adicional de la base de datos y mejora en los criterios de selección de tercerías. Entre los principales hallazgos, se determinó que el laboratorio interno tenía un desempeño aceptable verificado por un laboratorio externo. Sin embargo, se detectó que el personal del laboratorio identificaba visualmente algunas muestras blanco, lo que condicionaba su tratamiento. Además, se evidenció que parte de los blancos presentaban concentraciones bajas de elementos de interés, por lo que no cumplían su función como material estéril. Como medida correctiva, se recomendó la utilización de material blanco proveniente de nuevas áreas de cantera.

Soto, F. (2009), Estudio estadístico para la validación del muestreo geoquímico en perforaciones de producción, mina aurífera Arenal, Minas de Corrales, Rivera, Uruguay. El objetivo fue desarrollar y probar un sistema de control de calidad en muestreo geoquímico que permitiera evaluar la precisión y calidad de los resultados. La metodología incluyó el muestreo de pozos de voladura con una muestra estándar (5 kg) y una total (80 kg), con análisis químicos de ambas. Se definió la ley “real” como la de la muestra total y la “estimada” como la del estándar. Los resultados mostraron que no hubo diferencia significativa en la precisión analítica entre duplicados, pero sí se observó una mayor diferencia entre original y duplicado para contenidos altos de oro ($Au > 2.00$ ppm), debido al efecto pepita.

Urtubia, R. (2020), Implementación y optimización de actividades de geología de producción, control de calidad mineral en el corto plazo, mina San Antonio, división El Salvador Codelco, región de Atacama, Chile. El objetivo general fue optimizar e implementar técnicas y mejores prácticas en geología de producción orientadas al control de calidad mineral y leyes en la mina a rajo abierto San Antonio Óxidos. La metodología incluyó dos etapas: la primera, de recopilación bibliográfica y análisis mensual de muestreo e información geológica; y la segunda, de propuestas de mejora y revisión de oportunidades. Como resultado, se concluyó que la aplicación continua del sistema QA/QC

en ore control permitió reducir brechas en cobre fino mensual y mejorar la eficiencia productiva.

1.5.2 Antecedentes nacionales

Ccama, J. (2017), Aplicación del QA/QC en el proceso geológico, para validar la estimación de recursos y reservas, de la unidad operativa Chungar. El objetivo general fue aplicar el control y aseguramiento de calidad en todas las etapas del proceso geológico, con el fin de validar la estimación de recursos y reservas. La metodología fue descriptivo-explicativa y empírico-analítica para describir y explicar la aplicación del QA/QC. Los resultados mostraron que mantener la cadena de custodia de muestras es fundamental para asegurar su integridad, ya que los errores mayores ocurren en muestreo, transporte y almacenamiento. La aplicación del programa QA/QC permitió obtener una buena estimación de recursos y reservas con precisiones dentro de parámetros aceptables, con porcentajes de inserción del 6.9% para muestras gemelas, 3.54% para duplicados gruesos y 3.68% para duplicados finos. Se recomendó que todo el personal esté alineado a los protocolos QA/QC.

Guerrero, J. (2015), Aplicación del programa de aseguramiento y control de calidad (QA&QC) en el muestreo geológico de la mina subterránea Raura SA. El objetivo fue determinar el contenido y valor de sustancias metálicas útiles de un depósito mineral, controlar el valor mínimo de los minerales explorados y desarrollar un procedimiento de trabajo permanente para el control de calidad. La metodología consistió en muestreos representativos y proporcionales de labores subterráneas por método de canales cada 2 metros, con control adecuado de contaminación. Entre los resultados, se destacó que la diferencia de costo entre obtener resultados de calidad y malos es mínima comparada con la diferencia en retorno económico, y que los programas QA/QC suelen enfocarse en la preparación y análisis en laboratorio, descuidando el proceso de muestreo, que es la principal fuente de errores.

Rojas. R. (2019), Implementación de programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) para el muestreo de detritos en depósitos tipo pórfido de cobre. El objetivo

principal fue implementar y desarrollar un sistema de aseguramiento y control de calidad para el muestreo de detritos en un yacimiento tipo pórfido de cobre y molibdeno, comparando dos técnicas de muestreo a fin de cumplir con los estándares de la mina Toquepala. La metodología fue de tipo descriptivo, basada en la recopilación y análisis de datos de muestras recolectadas en campo para evaluar el desempeño del sistema QA/QC. Los resultados mostraron que la implementación del programa permitió una mejora significativa en la confiabilidad del muestreo de detritos, siendo el tubo de muestreo más preciso que la pala (3% de error para Cu y 8% para Mo), además de alcanzar niveles aceptables de precisión y exactitud.

Zeballos, J. (2019), Aseguramiento y control de la calidad del muestreo de blastholes y análisis químico del laboratorio primario, mina Constancia – Fase de minado 1 Banco 4260. El objetivo general fue asegurar y controlar la calidad del muestreo de blastholes para prevenir y detectar errores en el muestreo, preparación, análisis y reporte, con el fin de obtener resultados fiables para la estimación de recursos y reservas. La metodología incluyó revisión de información histórica y protocolos, trabajos de campo para toma e inspección de muestras, y trabajos de gabinete con procesamiento y validación estadística de datos. Los resultados mostraron la implementación exitosa del programa QA/QC, con gráficos estadísticos de precisión, exactitud y contaminación, logrando resultados aceptables para la estimación de recursos y reservas. Se validó la técnica de muestreo por incrementos y se recomendó validar este método comparándolo con pruebas de conos completos.

1.5.3 Antecedentes locales

Garay, R. (2013), QA/QC del muestreo de sondajes diamantinos de la campaña 2012 – Proyecto Palma. El objetivo principal fue garantizar la representatividad de cada muestra del yacimiento, asegurando que los resultados obtenidos sean lo más cercanos a la realidad. La metodología consistió en realizar un muestreo representativo de testigos evitando contaminación, envío de muestras al laboratorio ALS Chemex e inserción de muestras de control para monitorear el desempeño del laboratorio en preparación y

análisis. Los resultados indicaron una precisión aceptable para muestras de control gemelas, duplicados gruesos y duplicados finos, con datos procesados aceptables en precisión y exactitud.

Chariarse, C. (2013), Metodología de control de calidad en la producción de Au, aplicado en minería a tajo abierto Mina La Arena. El objetivo principal fue mejorar el control de leyes y mitigar la dilución, evaluando los procesos de control de calidad en la mina La Arena. La metodología incluyó el muestreo de blastholes, donde los detritos se muestrearon en bandejas radiales y luego se redujeron y homogenizaron por cuarteo sucesivo para análisis químico. Los resultados recomendaron realizar pruebas de heterogeneidad, pruebas de desplazamiento de carga por voladura, perforar taladros exclusivos para muestreo para evitar pérdida de finos y diseñar mallas de voladura en rombo cuando la geología sea heterogénea.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Precisión de ensayos químicos*

2.1.1.1 Análisis de errores. El análisis de errores en un sistema de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) es un proceso esencial para evaluar la confiabilidad de los datos generados en las etapas de muestreo, preparación y análisis químico. En minería, especialmente en la caracterización geoquímica, es fundamental identificar y comprender los errores que pueden alterar la interpretación de las leyes de los minerales, el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas (Pérez & López, 2017). El análisis de errores permite diferenciar entre desviaciones aceptables (producto de la variabilidad natural) y errores sistemáticos o aleatorios que deben ser corregidos.

Un error, en términos generales, es toda diferencia entre el valor medido y el valor verdadero o aceptado como referencia. Estas discrepancias pueden originarse en múltiples etapas: desde el diseño del protocolo de muestreo, la recolección de muestras, su manipulación, el análisis en laboratorio, hasta el procesamiento estadístico de los resultados (Carrasco & González, 2014). Por esta razón, en QA/QC se considera indispensable monitorear constantemente los indicadores de calidad, como precisión, exactitud, reproducibilidad y representatividad.

2.1.1.1.1 Error Tipo I – Falso positivo. El error tipo I se produce cuando se rechaza una hipótesis verdadera, es decir, se concluye que existe un problema en los datos o en los procedimientos cuando en realidad no lo hay. En QA/QC, este tipo de error puede generar acciones innecesarias, como repetir análisis válidos, descartar muestras útiles o aplicar correcciones sin justificación técnica (Gómez & Salas, 2018).

2.1.1.1.2 Error Tipo II – Falso negativo. El error tipo II ocurre cuando se acepta una hipótesis falsa, es decir, no se detecta un problema real en los datos. En el contexto QA/QC, implica validar resultados defectuosos, lo que puede traducirse en decisiones

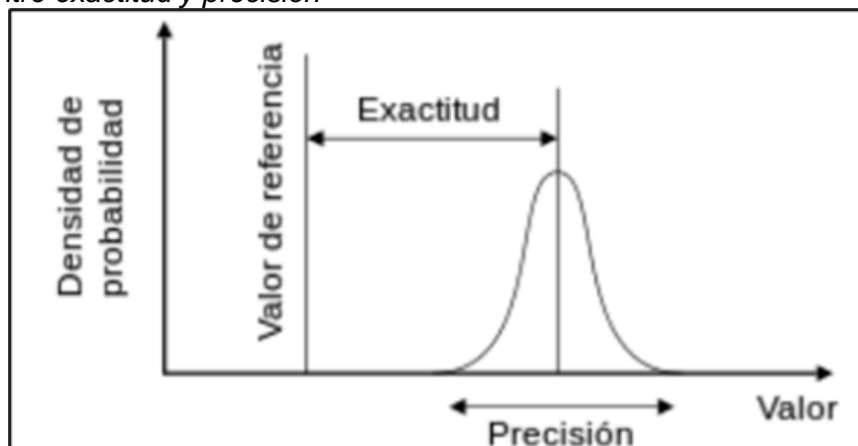
técnicas erróneas, como aceptar datos contaminados o imprecisos para modelamiento geológico o control de leyes (Navarro & Ortega, 2016).

2.1.1.1.3 Error Tipo III – Error de planteamiento. El error tipo III se refiere a resolver correctamente el problema equivocado. En QA/QC, esto implica aplicar soluciones técnicas en áreas donde no está el problema principal, desviando los esfuerzos y recursos. Es común cuando se enfoca el control únicamente en la etapa de análisis químico, ignorando que el mayor error puede encontrarse en el muestreo o en la manipulación de las muestras (Argüello & Romero, 2020).

2.1.1.2 Precisión. La precisión es la capacidad de un método analítico para producir resultados similares al repetir múltiples análisis de una misma muestra, bajo las mismas condiciones. No implica que el resultado sea correcto (eso es exactitud), sino que los valores obtenidos son consistentes entre sí. Es un parámetro clave en QA/QC para garantizar la confiabilidad de los análisis químicos en minería (Pérez & López, 2017). Ver figura 1.

Figura 1

Relación entre exactitud y precisión

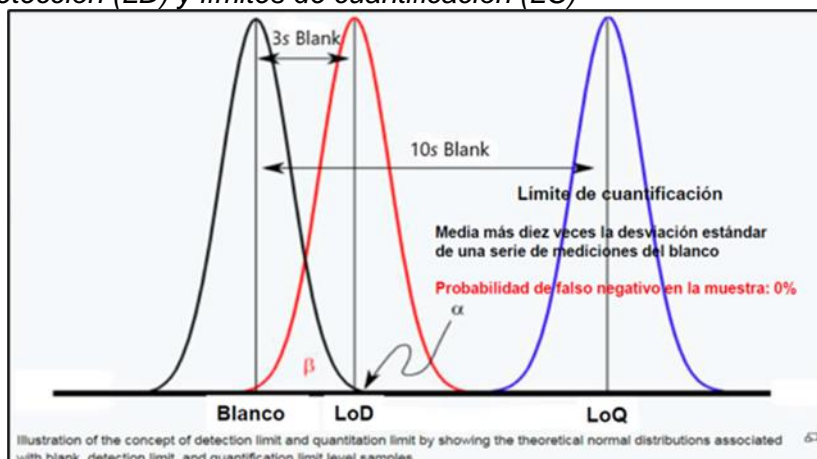


Fuente: Perez y Lopez, 2017

2.1.1.3 Límite de detección. El límite de detección (LOD, por sus siglas en inglés) es la menor cantidad de un elemento o compuesto que puede ser detectada con un nivel de confianza aceptable, pero no necesariamente cuantificada con precisión. En los laboratorios geoquímicos, este parámetro define si un elemento está presente por encima o por debajo de la sensibilidad del equipo analítico (Gómez & Salas, 2018). Ver figura 2

Figura 2

Límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LC)



Fuente: Gomez y Salas, 2018

2.1.1.4 Repetitividad. La repetitividad se refiere a la precisión de los resultados obtenidos cuando se repite un mismo análisis bajo condiciones idénticas: mismo laboratorio, operador, equipo, método, y en un corto periodo de tiempo. Es un componente interno del control de calidad y se evalúa mediante análisis duplicados (Carrasco & González, 2014).

2.1.1.5 Reproducibilidad. La reproducibilidad evalúa la variabilidad entre resultados analíticos obtenidos en diferentes condiciones: distinto laboratorio, operador, tiempo, equipo, o incluso método. Es un indicador más exigente que la repetitividad, ya que refleja la robustez del proceso analítico completo, desde la muestra hasta el resultado final (Navarro & Ortega, 2016).

2.1.1.6 Valor verdadero. El valor verdadero se refiere a la cantidad real o exacta de un elemento o compuesto presente en una muestra, que idealmente es el objetivo final de cualquier análisis químico. En minería y geoquímica, este valor es fundamental para asegurar la calidad de los datos que sustentan decisiones económicas y operacionales, como la estimación de recursos y reservas. Sin embargo, dado que el valor verdadero es generalmente desconocido, se recurre a valores certificados o a estándares de referencia, como materiales certificados (CRM, por sus siglas en inglés), que son muestras con composiciones muy bien caracterizadas (Carrasco & González, 2014). Estos materiales

permiten calibrar los equipos y validar los métodos analíticos para minimizar la desviación entre el valor medido y el valor real.

2.1.1.6.1 Prueba de normalidad. En el contexto de QA/QC, la prueba de normalidad es esencial para validar la aplicación de métodos estadísticos paramétricos en la evaluación de datos. Muchos procedimientos de control de calidad, como el cálculo de intervalos de confianza o la evaluación de precisión, asumen que los datos analíticos siguen una distribución normal (gaussiana). Las pruebas estadísticas más comunes para verificar esta suposición incluyen el test de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, las cuales cuantifican la desviación de la distribución de los datos respecto a una normal (Navarro & Ortega, 2016). Un resultado significativo en estas pruebas indicaría la necesidad de usar técnicas no paramétricas o transformaciones de datos, lo que tiene un impacto directo en la confiabilidad y la interpretación de los controles de calidad.

2.1.1.6.2 Homocedasticidad. La homocedasticidad hace referencia a la propiedad de los errores experimentales o variaciones en los datos de mantener una varianza constante a lo largo de diferentes niveles de concentración. En QA/QC, esta condición es importante para validar la estabilidad y consistencia del método analítico o de muestreo. Cuando la varianza aumenta o disminuye con la concentración, se dice que hay heterocedasticidad, lo que puede indicar problemas en el método o en la preparación de muestras, y puede requerir ajuste en el análisis estadístico o en el procedimiento experimental (Pérez & López, 2017).

2.1.1.6.3 Intervalo de confianza. El intervalo de confianza es un rango estimado dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero de un parámetro, con un nivel de confianza determinado, comúnmente el 95%. Este concepto es clave en QA/QC para comunicar la precisión y la incertidumbre asociada a los resultados analíticos, permitiendo evaluar si un resultado es estadísticamente aceptable o si debe ser revisado o descartado (Gómez & Salas, 2018). El cálculo del intervalo de confianza depende de la desviación estándar de los datos y el tamaño de la muestra, proporcionando una medida cuantitativa del grado de confianza en los resultados obtenidos.

2.1.1.6.4 Valores atípicos. Los valores atípicos o outliers son observaciones que se desvían significativamente del patrón general de los datos y pueden resultar de errores en el muestreo, contaminación, fallas en el análisis o variabilidad natural del material (Gómez & Salas, 2018). En QA/QC, la identificación y el tratamiento adecuado de estos valores es fundamental para evitar sesgos en el análisis estadístico y asegurar la representatividad y confiabilidad de los datos. Se utilizan pruebas estadísticas específicas, como la prueba de Grubbs o Dixon, y técnicas visuales, como diagramas de caja, para detectar estos valores. Tras su identificación, se debe investigar la causa y decidir si el dato se descarta, corrige o mantiene, según el contexto.

2.1.1.7 Cuantificación de la precisión. La precisión es una medida de la consistencia o repetibilidad de un método analítico, es decir, la capacidad de obtener resultados similares en mediciones repetidas bajo condiciones establecidas. En el control de calidad de muestras minerales o geoquímicas, cuantificar la precisión es esencial para asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos en laboratorio.

La cuantificación de la precisión puede realizarse a través de diversos métodos estadísticos que evalúan la dispersión de los datos, como el cálculo de la desviación estándar, el coeficiente de variación o el análisis de varianza.

2.1.1.7.1 Método lineal. El método lineal es una técnica utilizada para evaluar la precisión de un proceso analítico a través del análisis de la relación lineal entre resultados repetidos de un mismo material de referencia o muestra.

Consiste en realizar múltiples mediciones de una misma muestra y graficar los resultados obtenidos. Si la precisión es buena, los puntos deben alinearse aproximadamente en una línea recta con pendiente cercana a 1 y un intercepto próximo a 0.

Concepto básico.

Supongamos que se tienen dos conjuntos de resultados medidos:

- x_i : primera medición del par i .
- y_i : segunda medición del par i .

Se espera que ambos conjuntos de datos reflejen el mismo valor "verdadero" y, por tanto, que estén estrechamente correlacionados.

Pasos del método:

▪ **Recolección de datos**

Se toman n pares de mediciones duplicadas, donde cada par representa dos análisis independientes de la misma muestra.

▪ **Gráfico de dispersión**

Se realiza un gráfico con x_i en el eje horizontal y y_i en el eje vertical. Si la precisión es buena, los puntos deben estar cerca de la línea recta $y = x$.

▪ **Ajuste de regresión lineal simple**

Se ajusta un modelo lineal:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \quad (1)$$

donde:

β_0 : intercepto.

β_1 : pendiente.

ϵ_i : error aleatorio.

▪ **Cálculo de parámetros**

Pendiente:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Intercepto:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (3)$$

Coefficiente de correlación:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

▪ **Interpretación**

- $\hat{\beta}_1 \approx 1$ y $\hat{\beta}_0 \approx 0$: indica alta precisión y ausencia de sesgo sistemático.
- $r \approx 1$: fuerte correlación entre las mediciones.

- Desviaciones importantes indican problemas en el método o en el proceso analítico.

2.1.1.7.2 Método hiperbólico. Es un enfoque gráfico que evalúa la dispersión entre dos mediciones de la misma muestra. En lugar de ajustar una línea de regresión, se representa cada par de mediciones en un gráfico de relación y diferencia, en el cual se traza una curva hiperbólica que permite identificar valores anómalos, sesgos sistemáticos y dispersión.

Pasos para construir el gráfico:

- **Obtener los pares de datos:**

Para cada par de mediciones x_i y y_i , donde ambas provienen del mismo tipo de muestra (por ejemplo, una muestra original y su duplicado).

- **Calcular la media del par:**

$$M_i = \frac{x_i + y_i}{2} \quad (5)$$

Esta representa el valor promedio de la concentración medida.

- **Calcular la diferencia absoluta entre las dos mediciones:**

$$D_i = |x_i - y_i| \quad (6)$$

Esto representa la dispersión del par.

- **Graficar los puntos (Mi, Di):**

- En el eje X: media del par M_i
- En el eje Y: diferencia absoluta D_i

- **Trazar los límites hiperbólicos de aceptación:**

$$D = \frac{K}{M} \quad (7)$$

o una forma más flexible:

$$D = a * \frac{1}{M^b} \quad (8)$$

donde:

D = Diferencia aceptable

M = Media del par

K, a, b = Constantes ajustables según el criterio de precisión aceptado o validado experimentalmente

Estos límites determinan si las diferencias observadas son estadísticamente aceptables para cada nivel de concentración.

Forma de la curva hiperbólica:

La curva hiperbólica es una función inversa, de la forma:

$$D = \frac{K}{M}$$

Esta forma genera una curva que disminuye a medida que aumenta el valor medio M , es decir:

- En bajas concentraciones, se permite mayor dispersión (mayor D), debido a la mayor incertidumbre relativa.
- En altas concentraciones, se exige mayor precisión (menor D), ya que la dispersión relativa debe reducirse.

Características de la curva:

- Tiene forma decreciente.
- No es simétrica: los valores aceptables de dispersión son mayores en concentraciones bajas.
- Define una zona de aceptación por debajo de la curva y una zona de rechazo por encima.

2.1.2 Aseguramiento de calidad (QA) en muestreo

El Aseguramiento de la Calidad (QA) en el proceso de muestreo es una estrategia preventiva que busca garantizar la calidad de los datos desde el momento de la toma de muestra. Se centra en el desarrollo e implementación de políticas, procedimientos y prácticas sistemáticas que aseguren que las muestras recolectadas representen con fidelidad las características físicas y químicas del material que se está evaluando (Pitard,

1993). El QA es una etapa esencial en la cadena de calidad, ya que busca evitar que se introduzcan errores antes de que los datos sean recolectados o utilizados.

Según Carrasco (2010), el QA en muestreo implica el diseño adecuado de protocolos, la capacitación del personal, el control riguroso de las condiciones del entorno de muestreo, y la trazabilidad de las muestras desde el punto de origen hasta el laboratorio, asegurando la integridad de los resultados.

2.1.2.1 Objetivos del QA. El propósito fundamental del QA en muestreo es garantizar la representatividad, exactitud y trazabilidad de las muestras obtenidas para fines geológicos, metalúrgicos, ambientales o de producción. Esto se logra mediante la estandarización de procedimientos y la identificación oportuna de posibles fuentes de error antes de que afecten los resultados.

Dominy, Noppe y Annels (2002) indican que un adecuado sistema de QA en muestreo permite evitar errores de muestreo sistemáticos y aleatorios, mejorar la calidad de los modelos geológicos y minimizar la incertidumbre en la estimación de recursos y reservas. También contribuye a asegurar que las decisiones técnicas y económicas que se tomen basadas en estos datos sean confiables.

2.1.2.2 Componentes del QA. El QA en el muestreo se estructura a partir de varios componentes fundamentales, que garantizan la ejecución controlada y repetible del proceso:

Protocolos estandarizados de muestreo

Son documentos técnicos que especifican cómo debe realizarse la recolección de muestras para asegurar su representatividad y reducir errores sistemáticos y aleatorios.

- Incluyen: métodos de muestreo (canales, testigos, blastholes), tipo de herramientas, frecuencias, orientación, tamaño mínimo y criterios de validación.
- Objetivo: evitar la introducción de sesgos o errores desde el origen del dato.

Protocolos sólidos permiten que cualquier técnico capacitado replique el procedimiento con resultados consistentes (Pitard, 1993).

Capacitación del personal

El recurso humano es una fuente crítica de variabilidad en las etapas de muestreo, preparación y análisis.

- QA requiere: formación continua, manuales operativos y entrenamiento práctico en técnicas de muestreo, preparación de muestras y cadena de custodia.
- Objetivo: reducir la variabilidad introducida por decisiones subjetivas o mal uso de equipos.

El entrenamiento garantiza que las muestras recolectadas sean consistentes, independientes del operador (Dominy et al., 2002).

Cadena de custodia

Proceso documentado que registra el manejo de las muestras desde su toma hasta el análisis en laboratorio.

- Incluye: codificación de muestras, registros de transporte, control de acceso, condiciones de almacenamiento y formularios de envío al laboratorio.
- Objetivo: asegurar la integridad y trazabilidad de cada muestra.

La ausencia de una cadena de custodia clara puede invalidar los resultados analíticos por riesgo de contaminación o mezcla accidental (Carrasco, 2010).

Diseño de inserción de materiales de control

Aunque los materiales de control como CRMs, blancos y duplicados pertenecen al QC, el QA establece cuándo, dónde y cómo deben insertarse.

- Diseño QA incluye:
 - Frecuencias mínimas de inserción (ej. 1:20).
 - Mezcla aleatoria de controles.
 - Ciegos (desconocidos por laboratorio).
 - Niveles múltiples de concentración.

El diseño del sistema de control debe ser definido antes del inicio del muestreo para permitir una evaluación estadística robusta (Dominy et al., 2002).

Auditorías y revisión de procedimientos

El QA debe incluir procesos de auditoría interna y externa para verificar que los procedimientos se cumplan correctamente.

- Incluye: inspecciones en campo y laboratorio, revisión de informes, visitas técnicas y verificación cruzada con laboratorios alternos.
- Objetivo: identificar desviaciones del protocolo y oportunidades de mejora continua.

Las auditorías periódicas ayudan a detectar prácticas inadecuadas que pueden afectar la validez del modelo geológico o estimación de reservas (Carrasco, 2010).

Evaluación estadística y retroalimentación

El QA incluye la planificación de herramientas estadísticas para evaluar resultados del QC y permitir retroalimentación en tiempo real.

- Incluye:
 - Gráficos de control (control charts).
 - Análisis de tendencias.
 - Evaluación de exactitud, precisión y sesgo.
- Objetivo: detectar problemas de calidad antes de que afecten decisiones importantes.

Un sistema QA efectivo permite actuar antes de que los errores tengan un impacto económico o técnico considerable (Pitard, 1993).

2.1.3 Control de calidad (QC) en el muestreo

El Control de Calidad (QC) en el muestreo comprende el conjunto de actividades de verificación y monitoreo que se realizan durante y después de la toma de muestras, con el fin de detectar, cuantificar y corregir posibles errores en los datos recolectados. Mientras el QA (Aseguramiento de la Calidad) se orienta a la prevención, el QC está enfocado en la detección de fallas o desviaciones a través del análisis y comparación de resultados, mediante la inclusión sistemática de materiales de control como estándares certificados, blancos, duplicados y muestras gemelas (Carrasco, 2010).

2.1.3.1 Objetivos del QC. El objetivo principal del QC es evaluar la calidad de las muestras recolectadas y de los análisis químicos, asegurando que los resultados obtenidos sean reproducibles, exactos y confiables. Este control permite establecer límites aceptables de variabilidad, identificar sesgos analíticos o errores sistemáticos, y verificar que los procesos de muestreo estén cumpliendo con los estándares establecidos.

Según Dominy, Noppe y Annels (2002), un sistema de QC bien implementado puede ayudar a mantener la integridad del modelo geológico y de los procesos metalúrgicos, ya que facilita la identificación de problemas en la etapa de campo o laboratorio antes de que afecten significativamente la interpretación o estimación de recursos.

2.1.3.2 Elementos del QC. Los componentes fundamentales del QC incluyen:

- **Estándares certificados (CRMs – Certified Reference Materials)**

Los CRMs son materiales homogéneos con concentraciones conocidas y certificadas de elementos de interés. Se utilizan para evaluar la exactitud del laboratorio, es decir, qué tan cercanos son los resultados obtenidos respecto al valor verdadero del estándar.

- Aplicación: Se insertan de forma ciega dentro del lote de muestras antes del análisis, en una frecuencia definida (usualmente 1 cada 20 muestras).
- Evaluación: Si los resultados analíticos caen dentro de un rango aceptable (generalmente ± 2 desviaciones estándar del valor certificado), se considera que el laboratorio está operando con exactitud.

Los CRMs permiten identificar sesgos sistemáticos en el análisis, lo que puede llevar a decisiones erróneas sobre el valor del recurso (Dominy et al., 2002).

- **Muestras en blanco (Blanks)**

Son materiales inertes, sin presencia del elemento de interés (por ejemplo, arena lavada o sílice pura). Se utilizan para detectar contaminación cruzada durante el muestreo, la preparación o el análisis químico.

- Aplicación: Se insertan en el lote de muestras, en especial después de muestras con altas leyes.
- Evaluación: Si los resultados de los blancos presentan valores significativamente distintos de cero, indica contaminación en el proceso.

El uso de blancos permite establecer controles de calidad en cada etapa crítica del proceso, desde campo hasta laboratorio (Carrasco, 2010).

- **Muestras duplicadas (Duplicados gruesos y duplicados finos)**

Permiten evaluar la precisión o repetitividad del proceso analítico.

- Duplicados gruesos: Se toman dos submuestras del mismo material después de la etapa de trituración. Evalúan la variabilidad de la preparación de muestra.
- Duplicados finos: Se generan después de la pulverización y analizan la reproducibilidad del laboratorio en condiciones homogéneas.
- Evaluación: Se comparan los resultados de ambas muestras. Diferencias pequeñas indican buena precisión.

La comparación entre duplicados permite calcular estadísticas como el Coeficiente de Variación (CV%) o el Error Relativo (RE%), fundamentales para validar procedimientos (Pitard, 1993).

- **Muestras gemelas (Field duplicates o twin samples)**

Son dos muestras independientes recolectadas en el mismo punto o zona del yacimiento, en el mismo momento, pero por duplicado.

- Objetivo: Evaluar la representatividad del muestreo en campo y la variabilidad natural del material.
- Evaluación: Las diferencias entre muestras gemelas permiten medir la variabilidad introducida en la etapa de toma de muestra.

Las muestras gemelas son útiles en yacimientos con alta heterogeneidad mineralógica o efecto pepita, donde pequeñas variaciones pueden impactar las leyes de mineral (Dominy et al., 2002).

▪ **Gráficos de control y análisis estadístico**

Herramientas gráficas y estadísticas permiten interpretar los resultados de los materiales de control.

Tipos comunes:

- Gráficos cuantil-cuantil
- Diagramas de dispersión
- Histogramas
- Gráficos de control de Shewhart
- Análisis de tendencias

Uso:

Permiten visualizar desviaciones sistemáticas o aleatorias, evaluar precisión/exactitud y establecer límites de aceptación.

Todos estos controles permiten cuantificar la incertidumbre asociada al muestreo y al análisis, lo cual es indispensable para una adecuada interpretación de los datos geoquímicos o metalúrgicos (Pitard, 1993).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Calidad de datos geológicos

La calidad de los datos geológicos se refiere al grado de confianza que se puede tener en que los datos recolectados (leyes, ubicaciones, volúmenes, litología, etc.) reflejan fielmente las condiciones reales del yacimiento. La calidad de estos datos es crucial para una correcta estimación de recursos, diseño de mina y decisiones económicas (Dominy et al., 2002).

2.2.2 Aseguramiento de la calidad (QA)

El Aseguramiento de la Calidad (Quality Assurance, QA) es un sistema preventivo de gestión que establece protocolos, prácticas estandarizadas y revisiones periódicas para evitar errores en el proceso de muestreo, preparación y análisis de muestras. Su enfoque

es garantizar que los datos generados sean representativos, confiables y aptos para el uso previsto (Carrasco, 2010).

2.2.3 Control de calidad (QC)

El Control de Calidad (Quality Control, QC) comprende el conjunto de actividades destinadas a detectar errores mediante el uso de materiales de referencia certificados (CRM), blancos, duplicados y otros elementos. Estas herramientas permiten cuantificar la precisión, exactitud y sesgo de los datos, proporcionando evidencia objetiva de su validez (Pitard, 1993).

2.2.4 Muestreo

El muestreo es el proceso de extracción de una fracción representativa de un todo, con el propósito de obtener información sobre las propiedades del cuerpo mineralizado. Es la etapa más crítica, ya que los errores cometidos aquí no pueden corregirse en etapas posteriores (Gy, 1982; Pitard, 1993).

2.2.5 Precisión

La precisión indica el grado de dispersión de un conjunto de resultados analíticos cuando se repite un análisis bajo las mismas condiciones. Es una medida de la consistencia y reproducibilidad, y se evalúa con duplicados, réplicas y gráficos estadísticos (Carrasco, 2010).

2.2.6 Exactitud

La exactitud se refiere a la cercanía entre un valor medido y el valor verdadero o aceptado como referencia. A diferencia de la precisión, un resultado puede ser preciso pero inexacto si hay un sesgo sistemático (Dominy et al., 2002).

2.2.7 Materiales de control

Son muestras preparadas con propiedades químicas conocidas (como CRMs, duplicados, blancos y muestras gemelas), insertadas a lo largo de la cadena de análisis para verificar el desempeño del sistema de muestreo y laboratorio (Pitard, 1993).

2.2.8 Sesgo

El sesgo es una desviación sistemática de los resultados respecto al valor verdadero. Puede originarse en el muestreo, preparación, o análisis, y su detección es esencial para evitar errores en la estimación de recursos (Carrasco, 2010).

2.2.9 Cadena de custodia

Es el sistema de documentación continua y controlada que garantiza la trazabilidad y seguridad de las muestras desde su recolección hasta su análisis en laboratorio. Es fundamental para asegurar la integridad del dato (Dominy et al., 2002).

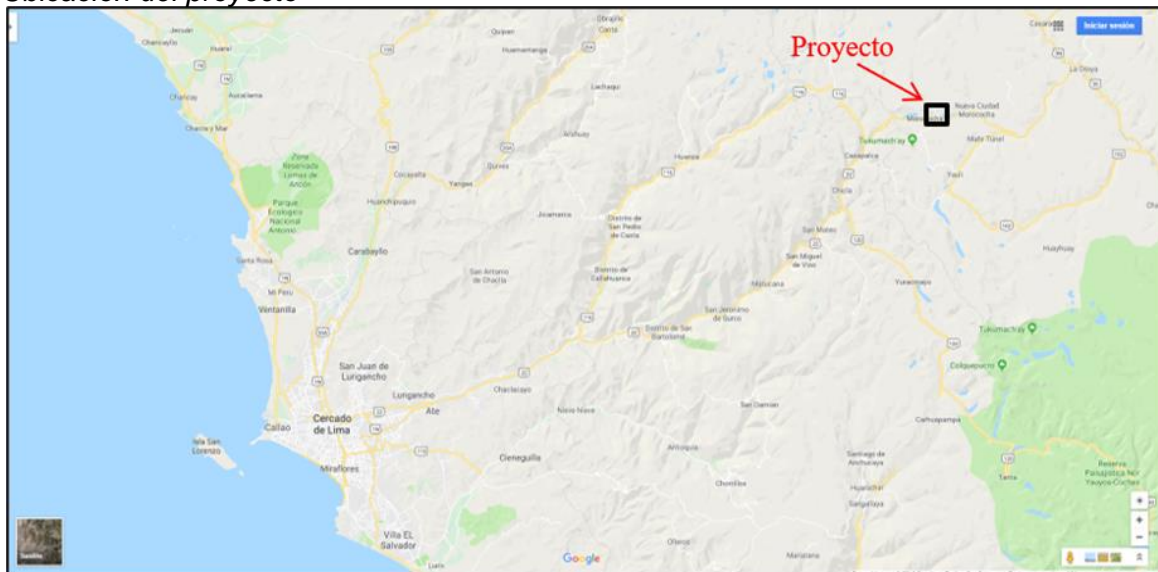
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Unidad de estudio

El proyecto INFILL se encuentra ubicado en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Morococha, operaciones mina Yarowilca (ver figura 3). Yarowilca se localiza al este de Lima, en el flanco oriental de la cordillera occidental de los Andes, entre 4400 y 4800 msnm.

Figura 3

Ubicación del proyecto



Fuente: Google Maps

3.1.1 Metodología de la investigación

El control de calidad del proyecto INFILL se estructuró en tres etapas principales:

Trabajos preliminares:

Antes del inicio del corte y muestreo, se evaluaron aspectos fundamentales como la recuperación de testigos de perforación diamantina, las condiciones del área de corte y muestreo, la ubicación de las muestras ordinarias y de control, así como los protocolos y formatos de trabajo.

Etapas de campo:

Se supervisaron los trabajos de corte, verificando que se respetara la línea de muestreo y el correcto manejo de muestras de densidad, PLT y UCS. También se controló

el cumplimiento de los protocolos de muestreo en muestras continuas, fracturadas o trituradas, así como la correcta toma de duplicados de campo y blancos gruesos. Se supervisó el almacenamiento y preparación de muestras y compositos, además del reetiquetado para preservar el anonimato de los controles.

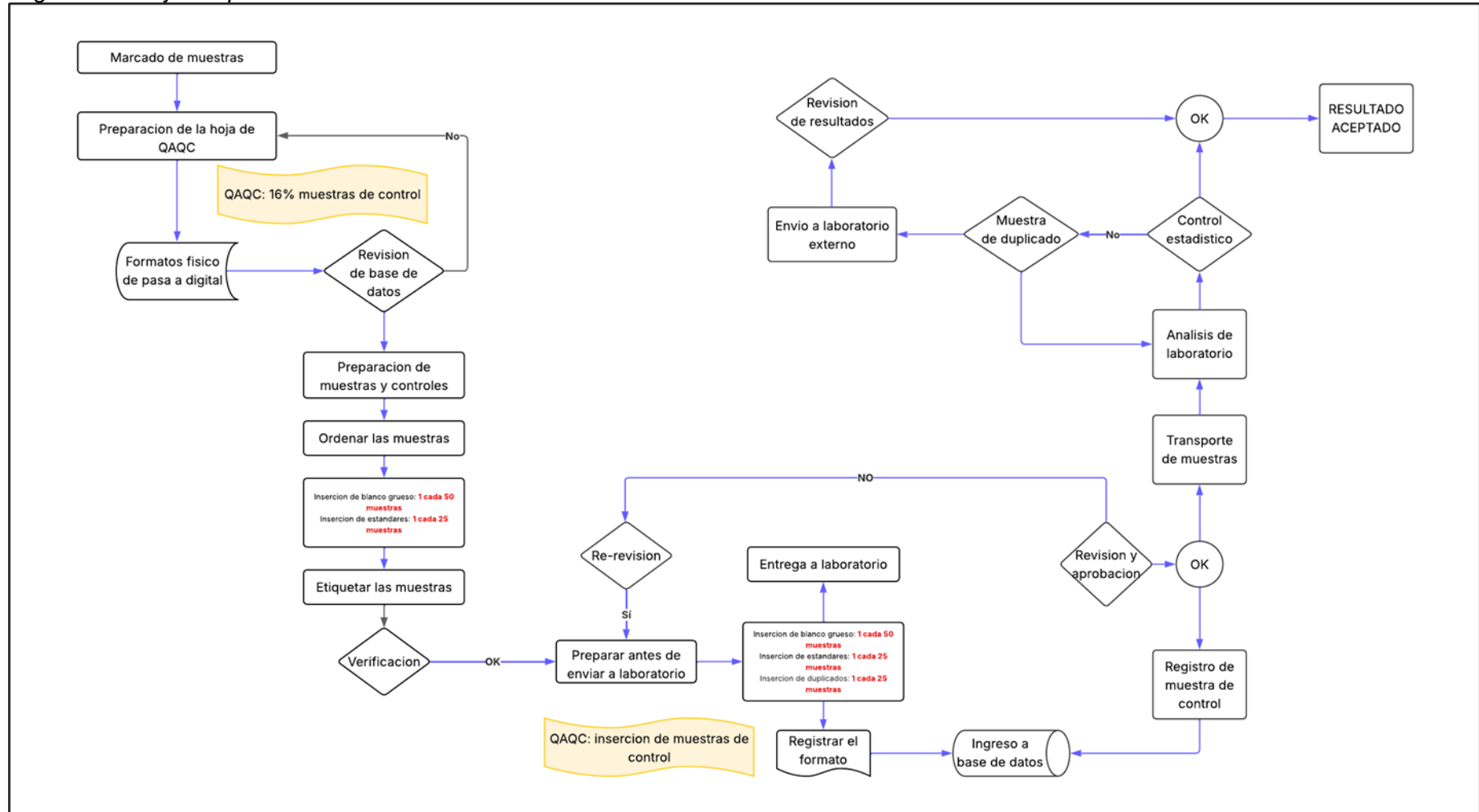
Trabajos de gabinete:

Se elaboraron gráficos de control, reportes de calidad, órdenes de reanálisis e informes, en paralelo al proceso de muestreo. Se aplicó un control constante sobre los resultados entregados por el laboratorio, solicitando reanálisis ante cualquier anomalía en relación con las muestras de control. Finalmente, se elaboró un informe final con las conclusiones y recomendaciones del programa QA/QC.

En la figura 4 se muestra un diagrama de flujo que resume el proceso QA/QC desde campo hasta la obtención de resultados

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de QA/QC



Fuente: Elaboración propia

3.2 Aseguramiento de calidad (QA)

Como parte del aseguramiento de calidad (QA), y previo al inicio de los trabajos, se elaboraron protocolos para cada etapa del proceso: recuperación y muestreo de testigos de perforación diamantina (DDH), codificación, preparación, análisis y envío de muestras desde la mina Yarowilca a laboratorios en Lima. Estas acciones, supervisadas por geología, evidencian que no se puede hablar de QA/QC sin un adecuado control del muestreo.

3.2.1 Perforación diamantina

Los trabajos de perforación diamantina fueron ejecutados por la empresa Xplomine SAC, utilizando cinco máquinas con un rendimiento mensual de 5000 metros, totalizando 27,927.10 metros en 147 pozos ubicados en una malla de 60x60 m dentro del tajo de Yarowilca. El proceso fue supervisado permanentemente por geología Chinalco. El método empleado fue rotativo con sistema wireline, en diámetros HQ (63.5 mm) y ocasionalmente NQ (47.8 mm). Las cajas con testigos eran trasladadas al almacén (Tuctuc), donde se realizaban actividades como recuperación, fotografía, logueo geológico y geotécnico, selección de muestras de densidad y resistencia, corte y muestreo. La empresa Bornav realizó mediciones de desviación con giroscopio. Geología Chinalco verificaba la integridad del material recibido en el almacén.

3.2.1.1 Corte y muestreo. Los trabajos de corte y muestreo fueron adjudicados a la empresa Xplomine SAC, realizándose en las instalaciones del almacén. Antes de iniciar estos trabajos, el equipo de geología del proyecto debía liberar completamente cada sondaje, asegurándose de que contara con logueo geológico y geotécnico, así como con tramos y líneas de muestreo definidos. Las cajas de testigos eran depositadas en un almacén temporal, desde donde Xplomine las trasladaba a la sala de corte para ejecutar el seccionamiento de las muestras.

Posteriormente, las muestras cortadas eran llevadas a la sala de muestreo, donde se realizaba el proceso de muestreo. Completado este trabajo, las cajas con los testigos de respaldo (media muestra) se dejaban a la entrada de la sala de muestreo para ser

trasladadas por el equipo del proyecto hacia los almacenes definitivos. Las muestras ya embolsadas y etiquetadas eran entregadas para su posterior envío a los laboratorios en Lima, donde se llevaría a cabo su preparación y análisis químico.

3.2.1.2 Selección de tramos de muestreo y marcado de línea de corte. Una vez recepcionadas las cajas portatestigos en el almacén, se procedía al logueo geológico y la determinación de los intervalos de muestreo. Se establecieron longitudes entre 0.5 m y 2.0 m, con una longitud estándar de 1.5 m, denominadas “muestras ordinarias”. Se excluyeron de muestreo ciertas litologías como cobertura, relleno, zonas sin recuperación o con recuperación menor al 30%. La línea de corte se marcaba con plumón rojo o crayola biodegradable, trazándose por el eje longitudinal del testigo, asegurando que ambas mitades fueran equivalentes en litología, alteración, estructuras y mineralización. No se permitía el ingreso de cajas a la sala de corte si no se contaban con estas líneas marcadas y las muestras especiales seleccionadas.

3.2.1.3 Selección de muestras SG, PLT y UCS. La selección de muestras de densidad (SG) era responsabilidad del geólogo de logueo geológico. Se realizaba cada 15 m en promedio, o según cambios litológicos; en zonas homogéneas se ampliaba hasta 30 m, y en zonas variables podía reducirse. Cada muestra de SG tenía 10 cm de longitud.

Las muestras para ensayos geotécnicos (PLT y UCS) eran seleccionadas por el geólogo geotecnista de acuerdo con la variabilidad litológica, condiciones de la roca y presencia de tramos adecuados, sin un intervalo definido. Estas muestras medían entre 10 y 15 cm.

Las cajas de testigos no podían avanzar a la etapa de corte sin tener seleccionadas y marcadas las muestras SG, PLT y UCS en todo el sondaje.

3.2.2 Certificación de materiales de referencia o estándares (MRC)

Durante el desarrollo del proyecto INFILL, se llevó a cabo la preparación y certificación de materiales de referencia certificados (MRC) con el objetivo de garantizar un control de calidad confiable en los análisis químicos. Para ello, se elaboraron estándares de tres niveles de ley: baja, media y alta, utilizando muestras representativas

del yacimiento. Estas fueron chancadas, pulverizadas a malla 200, homogeneizadas, y empaquetadas en pulpas individuales de 250 gramos.

Posteriormente, las muestras fueron evaluadas mediante una ronda interlaboratorio en la que participaron múltiples laboratorios, nacionales e internacionales. Esta evaluación incluyó un tratamiento estadístico riguroso para certificar los valores de concentración de los elementos de interés. Se aplicaron criterios para eliminar valores atípicos (como aquellos con valores Z superiores a ± 2 o fuera de ± 3 desviaciones estándar) y se realizó un nuevo procesamiento con los datos depurados.

La clasificación de los resultados se basó en el coeficiente de variación (RSD), siendo considerados como “certificados” los resultados con RSD menor al 5%, “provisionales” aquellos entre 5% y 15%, y “no recomendados” los que superaban el 15%. Este proceso de certificación aseguró la confiabilidad de los estándares utilizados en el control de exactitud de los análisis, permitiendo una evaluación consistente del desempeño del laboratorio durante todo el proyecto.

Los valores de leyes de cada estándar con un intervalo de confianza de 95% y 2SD (desviación estándar) fueron los siguientes:

Finalmente, los estándares fueron entregados empacados al vacío en sobres metálicos de 250 gramos, con el fin de preservar su homogeneidad y evitar segregación durante el almacenamiento y transporte. Para facilitar su identificación en el proceso de muestreo y análisis, se asignaron colores distintos a los tickets de cada tipo de estándar: amarillo para ley baja, mostaza para ley media y verde para ley alta.

3.2.2.1 Certificación de blanco fino. Para el proyecto INFILL, se adquirió una cantidad suficiente de blanco fino (arenisca) como parte del control de calidad analítico. Este material fue evaluado y certificado para asegurar que los contenidos de los elementos de interés (Cu, Ag, Mo, As y Zn) se encontraran por debajo de los límites de detección analítica. La certificación fue realizada mediante el análisis de 20 pulpas enviadas a un laboratorio acreditado, utilizando los métodos Fire Assay AA para oro y digestión total con ICP para un conjunto de 36 elementos. Los resultados confirmaron que el blanco fino

cumplía con los requisitos técnicos para ser empleado como muestra de control. Finalmente, el material fue entregado empacado en sobres metálicos de 250g, listo para su uso en las campañas de QA/QC.

Tabla 2

Resumen de valores promedio de leyes para blanco fino obtenidos

ELEMENTO	Ag	As	Cu	Mo	Zn	Fe
Unidad	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	%
LD	0.3	3	1	1	1	0.01
Método	TD-ICP	TD-ICP	TD-ICP	TD-ICP	TD-ICP	TD-ICP
Valor promedio	<0.3	<3	<1	<1	3.3	0.0415
Nº muestras	20					

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Certificación de blanco grueso. Durante el desarrollo del proyecto INFILL, se utilizaron muestras de caliza procedentes de sondajes previos (campaña 2015) como material de control blanco grueso. Estas calizas, perforadas en línea HQ durante estudios de evaluación de canteras, fueron seleccionadas por su carácter estéril previamente identificado. Al encontrarse almacenadas en las instalaciones del proyecto, se evaluó su idoneidad mediante los análisis realizados a lo largo de la campaña actual. Los resultados obtenidos en 513 análisis confirmaron su bajo contenido en los elementos de interés, validando su uso como muestras de control tipo blanco grueso durante las tareas de muestreo. Esta práctica permitió reforzar el sistema de aseguramiento y control de calidad implementado.

Tabla 3

Resumen de valores promedio de leyes para blanco grueso (caliza)

ELEMENTO	Ag	As	Cu	Mo	Zn
Unidad	Gr/ton	%	%	%	%
LD	0.3	0.001	0.001	0.0005	0.001
Método	4 ácidos-AAS	4 ácidos-AAS	4 ácidos-AAS	4 ácidos-AAS	4 ácidos-AAS
Valor promedio	<0.3	0.002	0.002	<0.0005	0.014
Nº muestras	513				

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Preparación de blanco grueso (caliza). Antes del inicio del corte y muestreo del proyecto INFILL, se seleccionaron 500 metros de calizas perforadas en HQ

durante la campaña 2015, destinadas a ser usadas como blanco grueso. Se eligieron únicamente muestras limpias, sin presencia de venillas con sulfuros y con testigos intactos. Estas fueron separadas y enviadas a corte para su posterior uso como material de control.

Figura 5

Detalle de calizas cortadas longitudinalmente, para muestras de blanco grueso.



Fuente: Elaboración propia

Durante el muestreo, las calizas previamente cortadas fueron utilizadas como muestras de control blanco grueso. Para definir el peso de cada muestra, se tomó como referencia el promedio de peso de las muestras anteriores y posteriores. Dado que estas calizas estaban completas, fue necesario fragmentarlas manualmente con golpes de picota hasta obtener trozos menores a 10 cm, los cuales se colocaban en las bolsas de muestreo para su envío.

3.2.3 Elección de laboratorios

3.2.3.1 Elección de laboratorio primario. La selección del laboratorio primario se realizó entre los seis laboratorios que participaron en la ronda interlaboratorio, eligiéndose el laboratorio Inspectorate con sede en Lima por su capacidad operativa y cumplimiento de estándares técnicos. Este laboratorio fue responsable de la recepción, preparación y análisis químico de aproximadamente 20,000 muestras generadas durante el proyecto INFILL.

Entre sus principales obligaciones estuvieron: recibir y registrar las muestras, secarlas a temperaturas controladas, chancarlas hasta obtener un 90% pasante malla $\frac{1}{4}$ ",

cuartearlas y pulverizarlas hasta 85% pasante malla 200, y fraccionar las pulpas en sobres individuales para análisis, duplicado, composito y respaldo.

Asimismo, debió realizar análisis químicos por absorción atómica (Cu, Ag, Mo, As, Zn), preparar aproximadamente 2,000 muestras compuestas de 15 metros para análisis por ICP-OES/MS y métodos adicionales como flúor por ion selectivo y cobre secuencial. También se incluyó el ensayo de densidad con parafina.

El laboratorio proporcionó un espacio exclusivo para personal técnico del proyecto, donde se realizaron tareas de control de calidad, revisión e inserción de muestras de control. La preparación se organizó en lotes definidos para asegurar una trazabilidad consistente, y se encargó de la devolución clasificada y embalada de los rechazos hacia los almacenes del proyecto.

El alcance incluye la entrega de los siguientes informes por parte del laboratorio:

- Informe de Aseguramiento y Control de Calidad del Laboratorio por cada batch entregado, en el plazo de 7 días después de haber recepcionado las muestras.
- Certificados de los resultados de los análisis de leyes realizados por cada batch entregado al laboratorio, en el plazo de 7 días después de haber recepcionado las muestras.
- Formato digital de los resultados de los análisis de leyes. Por batch entregado al laboratorio, en el plazo de 7 días después de haber recepcionado la muestras.

3.2.3.2 Elección de laboratorio secundario (de verificación). Una parte clave del programa QA/QC es la verificación analítica mediante un laboratorio secundario. Esta selección requiere incluso mayor exigencia técnica que la del laboratorio primario, ya que debe garantizar un trabajo analítico de alta precisión, con el objetivo de incrementar la confianza en la exactitud de los resultados del laboratorio principal.

De los seis laboratorios participantes en la ronda interlaboratorio, se descartó a Inspectorate por ser el laboratorio primario, eligiéndose a Certimin como laboratorio de verificación. Certimin asumió las siguientes responsabilidades:

- Análisis de densidad por método de parafina para 260 muestras, como control de calidad de los resultados obtenidos en Inspectorate.
- Análisis químico de 1219 muestras (pulpas de 250g, pasante 85% malla 200) para Cu, Ag, Mo, As y Zn mediante digestión en cuatro ácidos y AAS. Este lote incluyó 116 muestras de control y 1103 ordinarias, representando el 5% del total de muestras analizadas por el laboratorio primario.
- Verificación de granulometría cada 10 muestras, mediante extracción de 20g de pulpa, debiendo superar el 85% pasante malla 200.
- Análisis de 119 compositos (pulpas de 250g) por ICP OES & MS y cobre total por digestión en cuatro ácidos y AAS en sobrelímites. El lote comprendió 12 muestras de control y 107 compositos, también equivalente al 5% del total trabajado en Inspectorate.
- Reanálisis de muestras ordinarias y compositos en los casos en que QA/QC lo considerara necesario.

Este proceso de verificación permitió evaluar de forma independiente la calidad analítica del laboratorio primario y asegurar la confiabilidad del programa.

3.2.3.3 Elección de almacenes de muestras. Se decidió emplear los ambientes de almacén para guardar lo siguiente:

- Muestras de testigos de perforación como respaldo de mina Yarowilca.
- Pulpas de muestras ordinarias como respaldo de mina.
- Rechazos de muestras ordinarias.
- Pulpas de compositos como respaldo de mina.

Se aseguró que los ambientes sean techados, y en el caso del almacén para pulpas de composito, se aseguró que el ambiente sea además seco.

3.2.3.4 Elección de empresa de transporte de muestras. Para el traslado de muestras desde mina (Almacén) hacia los laboratorios en Lima, se seleccionaron dos empresas con experiencia previa en operaciones de Yarowilca: Cruz del Sur S.A.C. y APM Terminals Inland Services S.A. Ambas fueron responsables tanto del envío como del

retorno de muestras de pulpas y rechazos desde los laboratorios hacia mina, asegurando un servicio confiable y continuo durante todo el proyecto.

3.2.4 Generación de compositos

La generación digital de compositos fue realizada por el área de modelamiento del proyecto INFILL mediante el software MineSight, iniciando cuando el avance del muestreo alcanzaba aproximadamente el 60%. Los compositos fueron definidos para representar bancos de 15.0 m, siguiendo las cotas entregadas por geología de mina, y su finalidad fue aportar al diseño de bancos de minado.

Cada sondaje fue seccionado según estos bancos, y se identificaron las muestras ordinarias dentro de cada tramo. En caso una muestra cruzara dos bancos, su volumen se distribuyó proporcionalmente. Se aseguró que únicamente muestras ordinarias fueran incluidas, empleando los códigos de mina del muestreo realizado en almacén Golf, abarcando un total de 18 468 muestras compositables.

Para cada composito se extrajeron incrementos proporcionales a la longitud de cada muestra, totalizando 1 000 g. La longitud mínima compositable fue de 5.0 m y la máxima de 25.0 m, incluyendo entre 7 y 13 muestras por composito (mediana: 10).

Una vez definidos los tramos, la relación de compositos se enviaba al laboratorio primario (Inspectorate), que utilizaba la pulpa 3 ("Split 2 Client") para su preparación. Se generaron 1 853 compositos, con codificación desde INF001-C01 hasta INF147-C10. Cada composito preparado (1 000 g) fue cuarteado en dos sobres: 250 g para análisis y 750 g como respaldo.

Como control de calidad, se introdujeron 96 duplicados de pulpa (5% del total), y se prepararon tres sobres: uno para análisis (250 g), otro como duplicado (250 g) y uno de respaldo (500 g). Finalmente, se realizó la inserción de muestras de control y el reetiquetado antes del envío a análisis.

Cada batch de 45 compositos incluyó 6 controles: 2 duplicados de pulpa, 3 estándares y 1 blanco fino.

3.2.4.1 Muestras de control. Las muestras de control utilizadas en el proyecto INFILL se basaron en la base de datos de la campaña 2015 elaborada por Golder, manteniéndose los mismos nombres, usos y criterios de ubicación en los batch. El único cambio fue renombrar el “Duplicado de terreno” como “Duplicado de campo (ddh)”, sin alterar su significado ni aplicación.

Para asegurar que cada muestra y su duplicado fueran preparados en el mismo grupo de trabajo del laboratorio (job), se organizaron en bloques diarios de 304 a 342 muestras (8–9 batch de 38 muestras), lo que garantiza coherencia en la preparación.

Las muestras de control se emplearon para evaluar:

- Precisión del laboratorio primario, mediante duplicados de campo, duplicados gruesos y duplicados de pulpa.
- Exactitud del laboratorio primario, mediante estándares certificados y análisis de verificación en laboratorio secundario.
- Contaminación, usando blancos gruesos en preparación y blancos finos en análisis.
- Control del laboratorio secundario, con inserción de duplicados, estándares y blancos finos.

3.2.4.2 Duplicado de campo (ddh). Los duplicados de campo en INFILL son muestras gemelas tomadas bajo las mismas condiciones y tiempo, resultantes de dividir un testigo en cuartos. El primer cuarto es la muestra original y el segundo cuarto es el duplicado de campo, ambos ubicados en el mismo batch para evaluar la precisión del muestreo y preparación en laboratorio. Este duplicado equivale al “Duplicado de Terreno” usado en campañas previas.

3.2.4.3 Duplicado grueso (rechazo). El duplicado grueso se obtiene del homogenizado y cuarteo tras el chancado primario (90% pasante malla $\frac{1}{4}$ ”), representando la fracción rechazada de la muestra. Se ubica aleatoriamente en batch, preferentemente en tramos de ley media a alta. Se usa para evaluar la precisión en la etapa de chancado y reducción de peso, incluyendo la varianza de preparación y submuestreo del material grueso.

3.2.4.4 Duplicado pulpa. El duplicado pulpa es una porción no usada de la pulpa original (pulverizada, >85% pasante malla 200), también ubicada en el mismo batch que su original. Evalúa la precisión durante el análisis químico y la etapa de pulverizado y cuarteo de la pulpa, estimando la varianza analítica y la del submuestreo. En INFILL, Inspectorate preparó 4 sobres de pulpas por muestra, usando la pulpa 1 como original y la pulpa 2 como duplicado, codificados consecutivamente para control.

3.2.4.5 Materiales de referencia certificados (MRC). Los MRC se ubican aleatoriamente en los batch y contienen concentraciones conocidas y certificadas de elementos, con tres niveles de ley: baja, media y alta, representativos del yacimiento. Se usan para evaluar la exactitud del laboratorio en análisis químico.

Características de los estándares en INFILL:

- Preparados cuidadosamente con muy baja heterogeneidad y sin problemas de asimetría, con peso controlado y sin distribución log-normal.
- Matriz idéntica a las muestras de INFILL, fabricados con 2100 kg de material de mina.
- Se utilizan para controlar la exactitud en laboratorios primario y secundario mediante digestión en 4 ácidos y AAS para Cu, Ag, Mo, As y Zn.
- Estándares de ley baja (Cu 0.2288%), media (Cu 0.3865%) y alta (Cu 0.935%) para monitorear rangos representativos del depósito.
- Controlan elementos económicos (Cu, Ag, Mo) y contaminantes penalizables (As, Zn).
- Empacados al vacío en sobres plateados de 250g, igual que las pulpas ordinarias, para preservar anonimato.
- Para mantener anonimato, los estándares fueron transferidos a sobres comunes idénticos a los de pulpas ordinarias antes del análisis.

3.2.4.6 Blanco grueso (caliza). Es una muestra estéril de caliza fragmentada insertada durante el muestreo en campo y codificada junto con las muestras ordinarias. Se usa para monitorear contaminación durante la preparación (chancado primario y

secundario) y análisis, colocándose preferentemente después de un blanco fino para identificar el origen de contaminación. Revela contaminación por polvo, mala limpieza o intercambio de muestras.

En INFILL se usó caliza de sondajes antiguos con contenidos de Cu, Ag, Mo, As y Zn por debajo del límite de detección, mimetizada para ser similar a las muestras ordinarias.

3.2.4.7 Blanco fino. Muestra estéril de granulometría fina (pasante 90% malla 200) de arenisca, insertada tras la preparación en laboratorio, codificada y etiquetada antes del análisis. Sirve para detectar contaminación durante el análisis. Fue adquirida certificada por Target Rocks, libre de elementos económicos y contaminantes por debajo del límite de detección.

Para mantener anonimato, se transfirió del sobre original plateado a sobres comunes idénticos a los de muestras ordinarias.

3.2.4.8 Muestras de verificación. Se seleccionaron muestras pulverizadas (pasante 85% malla 200) cada 20 posiciones de las analizadas en laboratorio primario, evitando muestras de control. Se insertaron muestras de control en al menos un 10% para análisis en laboratorio secundario, y se recodificaron para evitar cruces de información.

Estas muestras se usaron para evaluar la exactitud analítica del laboratorio primario.

Para análisis de verificación, se utilizó la pulpa 2 ("Split Client") de los 4 sobres preparados por Inspectorate para cada muestra. En compositos, se enviaron las mismas pulpas analizadas inicialmente, recodificadas y reetiquetadas tras la inserción de controles.

3.2.5 Generación de los batch

Los batch se generaron antes de iniciar los trabajos de corte y muestreo. Su objetivo principal es asegurar que un grupo de muestras se analice bajo las mismas condiciones y en un solo proceso.

3.2.5.1 Batches para laboratorio primario. Para definir el tamaño de los batch, se consultó al laboratorio primario (Inspectorate) sobre la cantidad de posiciones o espacios disponibles en sus equipos de análisis.

Tabla 4

Número de posiciones de los equipos según tipo de análisis de Inspectorate

Tipo muestra	Análisis	Nº posiciones total	Control interno laboratorio				Nº controles laboratorio	Nº posiciones libre
			BK	Replicas	MRC	Adicional		
Composito	Cobre secuencial	64	2	2	3	1	8	56
	Ion selectivo (flúor)	54	2	2	3	1	8	46
	Análisis multielemental ICP OES&MS	54	2	2	3	1	8	46
Ordinarias	Digestión 4 ácidos – AAS	54	2	2	5	1	10	44
	Digestión 4 ácidos – AAS-sobrelímites	54	2	2	5	1	10	44

Fuente: Elaboración propia

Según la capacidad de los equipos del laboratorio Inspectorate, se definieron los siguientes tamaños de batch:

- Muestras ordinarias: Batch de 43 muestras. Aunque había 44 posiciones disponibles, se dejó una libre para posible inserción de un control adicional, como en el caso de molibdeno. Se ordenó expresamente que las posiciones libres no fueran usadas para muestras de otro batch.
- Muestras compositos: Batch de 45 muestras. Se eligió esta cantidad en base al límite inferior de 46 posiciones libres disponibles, dejando una libre para un control adicional, bajo las mismas restricciones que con las muestras ordinarias.
- Criterios para la ubicación de las muestras de control en los batch:
- Duplicado de campo: Ubicado preferentemente en tramos de mineralización media a alta, evitando el inicio del batch. Su muestra original es la precedente.
- Duplicado grueso: Posición aleatoria, preferentemente en mineralización media a alta. Su muestra original es la precedente.
- Duplicado pulpa: Ubicado de forma aleatoria en zonas de mineralización media a alta. Su muestra original es la precedente.

- Blanco grueso: Insertado después de una muestra de alta ley y posterior a un blanco fino.
- Blanco fino: Insertado luego de una muestra de alta ley y antes de un blanco grueso.
- En ambos casos de gruesos y finos la tasa de inserción es de 2.33%, autores como A. Simon y F. Pitard recomiendan una tasa de 2%. Por lo que se está bastante cerca de las recomendaciones internacionales.
- Estándares (MRC): Insertados aleatoriamente dentro del batch.
- Criterios para la generación de los batch de muestras compositos:
- Duplicado pulpa: Ubicado preferentemente en zonas de mineralización media a alta, asegurando que esté en el mismo batch que su muestra original (ubicada previamente).
- Estándares (MRC): Insertados aleatoriamente, procurando distribuirlos así: uno en las primeras 10 muestras, otro en la parte media, y el tercero en las últimas 10. Se intentó incluir los tres tipos de estándar (baja, media y alta ley) en cada batch.
- Blanco fino: Colocado inmediatamente después de una muestra de ley alta.

3.2.5.2 Batches para laboratorio secundario. El laboratorio secundario (Certimin) indicó que sus equipos de análisis disponen de 54 posiciones, de las cuales 9 se usan para controles (BK, réplicas, MRC), quedando 44 disponibles. Por ello, se definió que los batches para análisis en Certimin sean de:

- Muestras ordinarias: Batch de 43 muestras.
- Muestras compositos: Batch de 43 muestras.

Criterios para selección de muestras para verificación:

- Muestras ordinarias: Se seleccionó el 5% del total de muestras analizadas en el laboratorio primario (5% de 22,059 = 1,103 muestras). La selección fue cada 20va muestra, evitando elegir controles (ajustando una o dos posiciones si era necesario). Se agregaron 116 muestras de control (10.5%), totalizando 1,219 muestras para enviar al laboratorio secundario.

- Muestras compositos: Se seleccionó el 5% de 2,141 muestras (equivalente a 107 compositos). La selección fue cada 20vo composito, también evitando controles. Se agregaron 12 muestras de control (11%), totalizando 119 compositos enviados a análisis en Certimin.

Tabla 5

Resumen de número de muestras enviados a análisis de verificación

Tipo de muestra	N° muestras Lab primario	% muestras Lab secundario	N° muestras Lab secundario (5%)	Muestras control Lab secundario		Total muestras Lab secundario
				Porcentaje	Número de controles	
Muestras ordinarias	22059	5.00%	1103	10.50%	116	1219
Muestras composito	2141	5.00%	107	11.00%	12	119

Fuente: Elaboración propia

Criterios para la generación de batch de muestras compositos para laboratorio secundario:

- Duplicado pulpa: Ubicado preferentemente en zonas de mineralización media a alta, asegurando que el duplicado y su muestra original estén en el mismo batch. La muestra original precede al duplicado.
- Estándares (MRC): Colocados de forma aleatoria, procurando ubicar el primer estándar entre las primeras 20 muestras y el segundo entre las últimas 20 del batch.
- Blanco fino: Posicionado inmediatamente después de una muestra con ley alta.

3.2.6 Aprobación y falla de resultados de análisis

Primero se debe validar la información proporcionada por el laboratorio para cada batch, y luego revisar y graficar los resultados de las muestras de control insertadas en cada batch, ya sean de muestras ordinarias o compositos.

3.2.6.1 Materiales de Referencia Certificados (MRC) o estándares:

- Los MRC se evalúan mediante gráficas Shewhart, considerando fallido o "outlier" cualquier valor que exceda los límites externos definidos por el "mejor valor" (MV) ± 3 desviaciones estándar (SD). Esto implica aplicar acciones correctivas obligatorias.

- Existe también un límite interno de $MV \pm 2SD$; si se supera con frecuencia y de forma consecutiva, también se requieren acciones correctivas.

- El sesgo individual se calcula con la fórmula:

$$S (\%) = (M / MV) - 1,$$

donde M es la media de los resultados (excluyendo valores atípicos).

Sesgo bueno (5%), Sesgo aceptable (5% - 10%) y Sesgo inaceptable (>10%).

- Además, se construyen gráficas de exactitud (M vs MV) para cada elemento y todos los MRC utilizados, lo que permite calcular el sesgo global (Sg) como:

$$Sg (\%) = mRRL - 1,$$

donde mRRL es la pendiente de la recta de regresión lineal de los valores medidos (M) frente al valor certificado (MV).

3.2.6.2 Duplicados.

- Se usaron gráficas scatterplot y el método lineal para evaluar duplicados, aplicando la fórmula del error relativo absoluto (ER):

$|A - B| / (0.5 \times (A + B))$, donde A es el valor original y B el duplicado.

- Criterios de aceptación (90% de pares deben cumplir):
 - Duplicados de campo (DDH): $ER < 0.3$
 - Duplicados gruesos (rechazo): $ER < 0.2$
 - Duplicados de pulpa: $ER < 0.1$
- Si no se cumple, el valor se considera “outlier” o fallido.
- Para casos donde $0.5 \times (A + B) < 15 \times LD$ (límite de detección):
 - Pulpa: se aprueba si $|A - B| \leq 2LD$
 - Rechazo: se aprueba si $|A - B| \leq 3LD$
- Alternativamente, puede usarse el límite de detección práctico (LDP) o un nuevo límite ($NL = 10LD$) si está por debajo del cut off. Si $cut\ off < 15NL$, se debe revisar el método analítico.

- El LDP se estima gráficamente (media vs. ER), aunque para el proyecto INFILL se prefirió no aplicar correcciones, sino evaluar directamente todos los resultados.
- Finalmente, se usó la clasificación HARD (Half Absolute Relative Difference) para categorizar errores entre pares de duplicados.

3.2.6.3 Blancos. En blanco grueso se considera “outlier” o “fallido” cuando el valor obtenido por laboratorio es mayor de 5 veces el límite de detección (LD), y en blanco fino se considera “outlier” cuando el valor obtenido por laboratorio excede en 3 veces LD. Graficar todos los blancos gruesos y finos. Adicionalmente, el valor medio de blanco grueso y blanco fino, no deberán exceder 3 y 5 veces LD respectivamente.

3.2.6.4 Cobre sumado (CuSum), Cu ICP, Cu ponderado y CuT – Aplicable sólo a Compositos. Se evalúan distintas formas de cobre en muestras composito:

- CuSum = CuS + CuCN + CuRes (todas en %).
- CuT: Cobre total.
- Cu ICP: Cobre por análisis ICP (máx. 1%).
- Cu ponderado: Promedio ponderado de Cu de las muestras ordinarias que forman el composito (según masa y longitud de muestra).

Evaluación de precisión: Se usa el Error Relativo (ER):

$$ER = \frac{2*(CuT-CuX)}{CuT+CuX} \quad (9)$$

donde CuX puede ser CuSum, Cu ICP o Cu ponderado.

Criterios de aceptación (CuT vs CuX):

- Aceptable: $-5\% < ER < +5\%$
- Tolerable: $-10\% < ER < +10\%$
- Inaceptable: ER fuera de ese rango → revisar TE.

TE (Tasa de Error) = % de muestras fuera del rango:

- Si TE < 5%, se acepta.
- Si TE > 5%, se reanalizan 5 compositos (con el “fallido” en posición aleatoria).
- Si hay error grosero, reanalizar el batch completo.

Antes de enviar a reanálisis una cierta cantidad de muestras, e incluso un batch completo, se debe evaluar los siguientes puntos:

- Confirmar que los códigos reportados por laboratorio coincidan con la base de datos.
- Verificar que las leyes estén correctamente ubicadas (sin cruces entre elementos).
- Validar el orden correcto de las muestras.
- Verificar etiquetas (códigos de preparación vs. análisis).
- Confirmar la correcta inserción de muestras de control y duplicados.
- Evaluar el comportamiento de muestras vecinas.
- Revisar posibles errores en solicitudes o reportes.
- Considerar el comportamiento del laboratorio en el Round Robin.

Una vez descartados los puntos anteriores, se envía a reanálisis en los siguientes casos:

- Estándares superan $3SD$ o tienen sesgo $>10\%$ (si difiere del Round Robin).
- Blancos (fino/grueso) tienen $>5\%$ outliers.
- Si ocurre error grosero → reanalizar todo el batch.

En caso los duplicados no cumplen los parámetros indicados, generalmente no se envía a reanálisis, pero se debe realizar lo siguiente:

- Verificar etiquetado y errores humanos.
- Evaluar venillas o variabilidad natural.
- Confirmar que los valores estén $>10 \times LD$ (evita errores instrumentales).
- Revisar protocolos de muestreo, preparación y análisis.
- Implementar correcciones si se detectan fallas.
- Si todos los duplicados de un batch fallan, se reanaliza el batch completo, aun si estándares y blancos están correctos.

3.2.6.5 Evaluación de exactitud del laboratorio primario por laboratorio secundario. Método estadístico empleado: RMA (Reducción al Eje Mayor) — Agterberg (1974), Davis (1986). Utilizado para evaluar exactitud entre dos laboratorios sin asumir cuál

de los dos tiene resultados correctos, permite diferencias en varianzas entre ambas series y trata ambos conjuntos de datos como independientes.

Cálculo del sesgo ($S_p - s$ %): se utiliza la siguiente formula.

$$S_p - s = 1 - mRMA \quad (10)$$

Donde:

$$mRMA = SDY / SDX$$

SDY = Desviación estándar del laboratorio secundario (eje Y)

SDX = Desviación estándar del laboratorio primario (eje X)

El intercepto b de la recta:

$$Y = mRMA * X + b \quad (11)$$

Se obtiene usando los promedios de ambos conjuntos de datos.

Procedimiento gráfico:

- Crear gráficos XY scatterplot, con:
 - Eje X: laboratorio primario
 - Eje Y: laboratorio secundario
- Identificar y excluir outliers (visualmente o con métodos estadísticos).
- Calcular la recta de regresión RMA y el coeficiente de correlación R.
- Mostrar en la gráfica la línea de regresión y resaltar puntos excluidos.

Criterios de evaluación de resultados:

- Criterio de ley promedio (Long, 2003):

La ley promedio de las pulpas del laboratorio secundario debe estar dentro del $\pm 5\%$ de la ley promedio del laboratorio primario.

- Criterio de error relativo (ER):

Menos del 10% de los resultados deben tener $ER > 10\%$.

Acciones según resultados:

- Si se incumplen los criterios:
 - Enviar muestras con mayores discrepancias a un laboratorio arbitral (tercero).

- Revisar y corregir protocolos del laboratorio primario.
- Valores alejados (outliers) deben:
 - Ser identificados y omitidos del cálculo estadístico.
 - Ser enviados a reanálisis en laboratorio secundario.
 - Si persisten, también se deben reenviar al laboratorio primario.
 - Registrar la frecuencia de reanálisis en laboratorio primario:
 - No debe exceder el 5% del total de muestras.
 - Si se excede, se deben corregir los protocolos para reducir errores tipo I.

3.2.6.6 Tratamiento de valores inferiores o superiores al Límite de Detección (LD).

- Valores menores al LD (ej. Cu <0.01%): Se reemplazaron por la mitad del LD (ej. 0.005%) para poder usarlos en análisis estadístico.
- Valores mayores al LD sin análisis de sobrelímites (ej. Ag >1000 g/t): Se reemplazaron por el valor del LD (ej. 1000 g/t), eliminando el símbolo ">".
- Objetivo: Convertir todos los datos en valores numéricos válidos para permitir su uso en programas de análisis estadístico, que no reconocen los símbolos "<" o ">".

3.3 Compositos

El objetivo principal de los compositos fue contribuir en el desarrollo del plan de minado del tajo en bancos de 15.0 m. Para ello, geología mina entregó a geólogos de INFILL las cotas de cada uno de los bancos de 15.0 m, generadas en el programa MineSight, las cuales se proyectaron a cada uno de los sondajes del proyecto.

Una vez proyectados los bancos a los sondajes, y considerando un mínimo de altura de banco de 5.0 m y un máximo de 25.0 m, se procedió a preparar los compositos con las muestras contenidas en cada banco.

Si una muestra ordinaria se encontraba en dos compositos, se dividía proporcionalmente según su longitud. En todos los casos, la suma de pesos de las

muestras ordinarias por banco debía ser de 1000 g, distribuido proporcionalmente a la longitud de cada muestra.

Fueron compositados 18,468 muestras ordinarias correspondientes a 147 sondajes del proyecto, con lo cual se generaron 1,853 compositos.

La preparación y análisis estuvo a cargo del laboratorio primario Inspectorate, mientras que los análisis de verificación fueron realizados por el laboratorio secundario Certimin. La relación de análisis realizados a los compositos incluye:

- Cobre total (CuT).
- Cobre secuencial: Cu soluble en 10% H₂SO₄ (CuSolH+), Cu soluble en 5% NaCN (CuCN-), cobre residual (CuRes), y cobre sumado (CuS+CuCN+CuRes = CuSum).
- Ion selectivo para flúor (F).
- Análisis multielemental por ICP OES&MS: Inspectorate analizó 47 elementos y Certimin 35.
- Sobrelímites por Fe, Mg y S.

3.3.1 Laboratorio primario

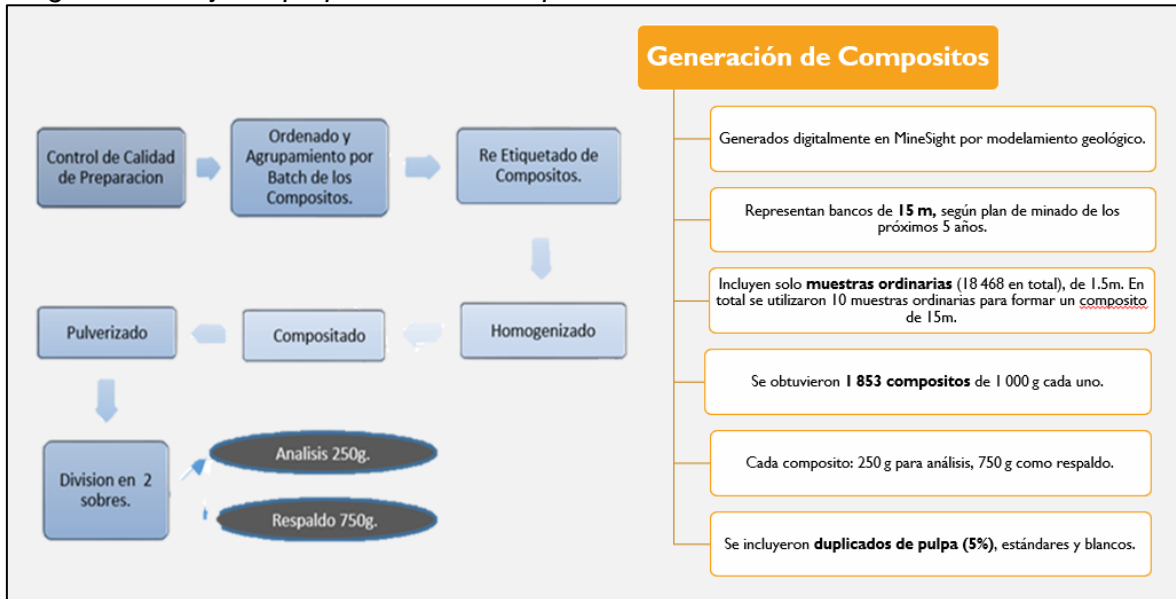
Como se ha indicado anteriormente, el laboratorio primario fue Inspectorate. Una vez culminado los compositos por sondaje, en programa MineSight, la relación de compositos fue enviado a Inspectorate para proceder a la preparación. El encargado de enviar la relación de compositos a Inspectorate, fue el geólogo QA/QC del proyecto.

Una vez concluido la preparación, los compositos fueron reetiquetados y enviados a análisis.

3.3.1.1 Preparación de compositos. En la figura 6, se muestra el diagrama de flujo seguido en preparación de compositos.

Figura 6

Diagrama de flujo de preparación de compositos



Fuente: Elaboración propia

La preparación de los compositos fue llevada a cabo de la siguiente manera:

Paso 1:

Revisar la relación de compositos.

Paso 2:

Seleccionar y disponer sobre la mesa las muestras correspondientes a un composito. Se empleó la pulpa 3, denominada por Inspectorate como “Split 2 Client”.

Paso 3:

Homogenizar cada muestra y extraer con una paleta la masa indicada por el geólogo QA/QC del proyecto. La masa extraída se colocaba en una bandeja, se pesaba, y luego se acumulaba en un sobre. Para evitar contaminación, se limpiaban las herramientas tras manipular cada muestra.

Paso 4:

Una vez extraída la masa total del composito (aproximadamente 1000 g), se homogenizaba y cuarteaba para obtener dos pulpas:

- Una pulpa de 250 g para análisis químico.
- Una pulpa de 750 g como respaldo para mina.

En caso de duplicado de pulpa, se preparaban tres pulpas: dos de 250 g y una de 500 g como respaldo (ver figura 7).

Paso 5:

Cada pulpa era colocada en un sobre, registrando sus pesos y códigos en el formato de Registro de preparación de compositos.

Paso 6:

Finalmente, los compositos eran entregados al personal de mina para inserción de muestras, recodificado y reetiquetado.

Figura 7

Separación de compositos en dos sobres



Fuente: Elaboración propia

Sobre de la izquierda de 750g como respaldo de mina, sobre de la derecha de 250g para análisis químico.

3.3.1.2 Inserción de muestras de control y reetiquetado de compositos. Una vez concluida la preparación de un composito, este era entregado al personal de mina asignado para supervisar los trabajos en Inspectorate.

El personal de mina se encargaba de insertar las muestras de control, recodificar y reetiquetar los compositos para su envío a análisis químico. Para ello, se preparaban batch

de 45 compositos, de los cuales 39 eran compositos y 6 muestras de control. En total, se agruparon 2141 compositos en 48 batch, siendo el batch 48 el único con solo 26 muestras.

A continuación, en la Tabla 6, se presenta un resumen de las muestras de control insertadas en los compositos enviados a análisis en Inspectorate.

Tabla 6

Resumen de compositos preparados y muestras de control insertados

ÍTEM	PARCIAL	TOTAL
Total metros compositados y analizados	27512.20	27512.20
Total compositos preparados	1853	
Total blancos finos insertados	48	2141
Total duplicados de pulpa insertados	96	
Total estándares insertados	144	

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra los sobres de compositos reetiquetados.

Figura 8

Sobres de compositos reetiquetados para envío a análisis químico



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.3 Análisis de compositos. Cada de compositos fue sometido a diversos análisis químicos, cuya relación se muestra a continuación en la figura 9.

Figura 9

Resumen de PETS de análisis químicos realizados por Inspectorate

Análisis químico para Compositos	Código de análisis Insp	Analitos	Descripción	PETS
Cobre Total	MA402	CuT	0.50g de muestra llevada a 25mL, digestión en 4 ácidos (HNO ₃ , HCl, HClO ₄ , HF), luego muestra es llevada a medio con HCl. Cuantificación por AAS.	Procedimiento Multi elemento AAS - Cuatro ácidos (MA405_CLL, MA402_CLL).
Cobre Secuencial	LHSEQ	CuS, CuCN, CuRES, CuSum	0.25g de muestra preparada en tres procesos: Primero muestra es lixiviado en 5% H ₂ SO ₄ por 60 minutos, luego muestra es lixiviado en 10% HCN por 30 minutos, finalmente el residuo es digerado por HNO ₃ , HCl, HClO ₄ y HF, y analitos son cuantificados por AAS.	Procedimiento cobre secuencial AAS-Cuatro ácidos (LHSEQ_CLL)
Ión Selectivo (Flúor)	GC841	F	0.10g de la muestra se funde con hidróxido de sodio, luego es disuelto en ácido acético concentrado (CH ₃ COOH) a pH regulado y llevado a 100ml, luego se filtra y se hace medición al potenciómetro con el electrodo para fluoruros.	Determinación de fluoruros por fusión con hidróxido de sodio (GC841_CLL)
Análisis Multielemental ICP OES&MS	MA200	47 elementos (propuesto 35 elementos)	0.25g de muestra son digerados en H ₂ O, HNO ₃ , HClO ₄ y HF, luego 50% HCl es agregado y la solución es calentado y enfriado. Analito es cuantificado por ICP-ES&MS.	Geoquímica digestión cuatro ácidos (ICP-ES&MS)
Sobrelímite (Fe)	MA402	Fe >15%	Digestión en 4 ácidos (HNO ₃ , HCl, HClO ₄ , HF), analito cuantificado por AAS.	Procedimiento Multi elemento AAS - Cuatro ácidos (MA405_CLL, MA402_CLL).
Sobrelímite (Mg)	MA370	Mg >15%	Muestras son digerados en H ₂ O, HNO ₃ , HClO ₄ y HF, luego HCl es agregado y solución es calentado y enfriado. Analito es cuantificado por ICP-ES.	Multi acid digestion (ICP-ES)
Sobrelímite (S)	TC000	S >10%	El flujo de inducción se agrega a la muestra preparada y luego se enciende en un horno de inducción. Un gas portador barre el carbono liberado para ser medido por adsorción en una celda espectrométrica infrarroja. Los resultados son totales y se atribuyen a la presencia de carbono y azufre en todas sus formas.	Carbon and sulphur analysis by Leco (Leco carbon-sulphur analyser)

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se muestra un resumen de los códigos de análisis de compositos (y límites de detección) empleados por Inspectorate, fueron seleccionados sólo los análisis de elementos más importantes para el proyecto.

Tabla 7

Resumen códigos de análisis para compositos empleados por Inspectorate

MA200	CU %	Cobre de ICP
MA402	CuT % 0.001	Cobre total por digestión de 4 ácidos y AAS
LHSEQ	CuS % 0.001	Cobre soluble en ácido sulfúrico
LHSEQ	CuCN % 0.001	Cobre soluble en cianuro
LHSEQ	CuRES % 0.001	Cobre residual
LHSEQ	CuSum % 0.001	Suma de valores de CuS, CuCN y CuRES
GC841	F ppm 100	Flúor por ion selectivo
MA370	Mg % 0.01	Magnesio por ICP (incluido sobrelímites)
MA402	Fe % 0.01	Fierro inicial por ICP y sobrelímite por AAS

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.4 Entrega de resultados de análisis de compositos. Luego de una semana, laboratorio Inspectorate hacía la entrega de los resultados de análisis.

Se reviso minuciosamente que todos los datos de leyes estuviesen correctos, que los elementos estuviesen ordenados, con LD según contrato, con las unidades definidas

en el contrato, que los datos de número de batch y job fuesen los correctos, y que las muestras del batch estén completas. En caso hubiera un error de formato, o que el orden de los elementos o leyes fuese el incorrecto, trasposición de códigos de muestras o unidades de reporte incorrectos, los reportes eran devueltos de manera inmediata a Inspectorate para su revisión y corrección.

El promedio de leyes obtenidas, de 1853 muestras compositos (descontando muestras de control) por cada elemento (sólo los de interés), se muestran a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8

Resumen de valores promedio obtenido de los 1853 compositos analizados

ELEMENTO	UNIDADES	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
Cu (ICP)	%	0.0053	>1.00	0.3960
CuT	%	0.0070	7.5510	0.4327
CuS	%	0.0010	0.6290	0.0380
CuCN	%	0.0020	2.3100	0.1070
CuRES	%	0.0030	4.8720	0.2860
CuSum	%	0.0060	7.5610	0.4310
F	Ppm	142.000	7614.000	1473.000
Mg	%	0.1400	19.1600	4.1400
Fe	%	1.1200	47.6500	7.3100

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Laboratorio secundario

Como se indicó anteriormente, el laboratorio secundario fue Certimin. La selección de muestras composito para análisis de verificación se realizó siguiendo el criterio descrito anteriormente.

El objetivo del análisis de verificación en Certimin fue evaluar la exactitud analítica del laboratorio primario Inspectorate. Certimin analizó 107 pulpas de compositos, lo cual representa el 5% del total de 2141 compositos analizados por Inspectorate. A estas 107 muestras se añadieron 12 muestras de control para evaluar la exactitud y control de contaminación de Certimin, totalizando 119 muestras composito enviadas al laboratorio secundario.

Una vez seleccionados los compositos para verificación, se insertaron las muestras de control, fueron recodificados y reetiquetados antes de su envío a análisis, agrupados en 3 batch de 43 muestras cada uno (excepto el batch 3, que tuvo solo 33 muestras). Dentro de las 119 muestras se incluyeron las 12 muestras de control. Ver Tabla 9.

Tabla 9

Compositos y muestras de control analizados

ÍTEM	PARCIAL	TOTAL
Total metros compositados y analizados	27512.20	27512.20
Total compositos preparados	107	
Total blancos finos insertados	3	119
Total duplicados de pulpa insertados	3	
Total estándares insertados	6	

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.1 Análisis de verificación de compositos. Los compositos seleccionados para análisis de verificación, fueron analizados por Cobre total, ICP de 35 elementos, Mg, y sobrelímites por Mg-Fe-S; cuyo resumen de análisis y los procedimientos empleados por Certimin, se muestran a continuación en la figura 10.

Figura 10

Resumen de PETS de análisis químicos realizados por Certimin

Análisis químico para Compositos	Código de análisis Cert	Análitos	Descripción	PETS
Cobre Total	G0039	CuT	0.25g de muestra, digestión en 4 ácidos (HNO ₃ , HCl, HClO ₄ , HF), secar, luego muestra es llevada a medio con 25% HCl y se afora. Cuantificación AAS.	Muestra Tipo Menas: Determinación Multi elemental por AAS - Digestión Multiácida (HF, HClO ₄ , HNO ₃ y HCl).
Análisis Multi elemental ICP OES&MS	G0153	35 elementos	0.20g de muestra son digeridos en H ₂ O, HNO ₃ , HClO ₄ y HF, luego 25% HCl es agregado y la solución es calentado y enfriado. Analito es cuantificado por ICP-ES&MS.	Muestra de Exploracion Geoquímica: Determinación Multi elemental por ICP-OES - Digestión Multiácida (HF, HClO ₄ , HNO ₃ y HCl)
Sobrelímite (Fe)	G0052, y G0415	Fe >15%, y Fe >30%	Digestión en 4 ácidos (HNO ₃ , HCl, HClO ₄ , HF), analito cuantificado por AAS. Fe >30% es obtenido por método volumétrico.	
Sobrelímite (Mg)	G0153	Mg >15%	0.20g de muestra son digeridos en H ₂ O, HNO ₃ , HClO ₄ y HF, luego 25% HCl es agregado y la solución es calentado y enfriado. Analito es cuantificado por ICP-ES&MS.	Muestra de Exploracion Geoquímica: Determinación Multi elemental por ICP-OES - Digestión Multiácida (HF, HClO ₄ , HNO ₃ y HCl)
Sobrelímite (S)	G0084	S >10%	Azufre total.	

Fuente: Elaboración propia

Los códigos de análisis empleados por Certimin, para los elementos de interés del proyecto, se muestran a continuación en la tabla 10.

Tabla 10*Resumen códigos de análisis para compositos empleados por Certimin*

G0153	Cu % 0.00005	Cobre de ICP
G0039	CuT % 0.01	Cobre total por digestión de 4 ácidos y AAS
G0153	Mg % 0.01	Magnesio por ICP (incluido sobrelímites)
G0415	Fe % 0.01	Fierro inicial por ICP y sobrelímite por AAS hasta 30%, mayor a 30% análisis por volumetría

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Entrega de resultados de análisis de verificación de compositos.

Luego de una semana, laboratorio Certimin hacía la entrega de los resultados de análisis.

Se reviso minuciosamente que todos los datos de leyes estuviesen correctos, que los elementos estuviesen ordenados, con LD según contrato, con las unidades definidas en el contrato, que los datos de número de batch y job fuesen los correctos, y que las muestras del batch estén completas. En caso hubiera un error de formato, o que el orden de los elementos o leyes fuese el incorrecto, trasposición de códigos de muestras o unidades de reporte incorrectos, los reportes eran devueltos de manera inmediata a Inspectorate para su revisión y corrección.

El promedio de leyes obtenidas, de 107 muestras compositos (descontando muestras de control) por cada elemento (sólo los de interés), se muestran a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11*Resumen de valores promedio obtenido de los 107 compositos analizados*

ELEMENTO	UNIDADES	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
Cu (ICP)	%	0.0218	>1.00	0.4277
CuT	%	0.0230	1.9260	0.4626
Mg	%	0.2300	13.5600	4.0600
Fe	%	1.3500	41.7600	8.2000

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Laboratorio arbitral (terciario)

Sólo para el caso de Mg, se envió a un tercer laboratorio arbitral el análisis de verificación. El tercer laboratorio fue SGS, y los valores de Mg fueron reportados como %MgO.

Para realizar la comparación con los valores de MgO obtenidos por SGS, los valores de %Mg obtenidos por Inspectorate y Certimin fueron convertidos a valores de %MgO, multiplicando por la constante 1.657.

Fueron enviados a SGS 107 muestras de compositos para análisis arbitral. Los 107 compositos seleccionados para análisis arbitral, fueron las mismas pulpas que habían sido analizados previamente por Certimin.

A continuación se resume el procedimiento seguido por SGS para realizar el análisis de las muestras compositos por MgO:

Paso 1, pesar aproximadamente 0.25g de muestra en un vaso de teflón.

Paso 2, adicionar aproximadamente 5 mL HNO₃ y 2 mL HClO₄, llevar a plancha hasta sequedad. Añadir gotas de agua para humedecer el residuo y adicionar aproximadamente 2 mL de HF, colocar en plancha suave hasta completa sequedad.

Paso 3, retomar con aproximadamente 10 mL de HCl, calentar suavemente hasta disolver las sales. Retirar y enfriar.

Paso 4, trasvasar a fiola aforado de 200 mL de vidrio, conteniendo aproximadamente 20 mL de solución de lantano al 10%, llevar a volumen con agua y homogenizar.

Paso 5, en función del nivel esperado realizar dilución 10x. Agregar HCl y solución de lantano que represente el 10% de la capacidad del fiola aforado, llevar a volumen con agua y homogenizar.

Paso 6, llevar a lectura por equipo de AA.

A continuación, en la Tabla 12, se muestra un cuadro comparativo de los valores para MgO obtenidos por Inspectorate, Certimin y SGS. Como se observa en dicha tabla, los promedios y valores mínimos y máximos obtenidos por los tres laboratorios son muy similares; aunque en general se cumple la siguiente regla:

%MgO (Inspectorate) <%MgO (Certimin) <%MgO (SGS)

Tabla 12*Resumen comparativo de valores promedio obtenido de los 107 compositos analizados*

MgO	Inspectorate	Certimin	SGS
Mínimo (%)	0.365	0.381	0.420
Máximo (%)	22.088	22.469	23.940
Promedio (%)	6.491	6.733	6.966
Total muestras	107		

Fuente: Elaboración propia

3.4 Control de calidad (QC)**3.4.1 Laboratorio primario**

A las 1853 muestras de compositos del proyecto, le fueron insertados 288 muestras de control (96 duplicados, 48 BF y 144 estándares), que representa una tasa de inserción de 13.45% respecto del total de compositos enviados a análisis (2141) al laboratorio primario.

Tabla 13*Resumen de muestras de control insertados a los compositos enviados a análisis químico*

COMPOSITOS DEL PROYECTO	TOTAL DE MUESTRAS
Compositos preparados en laboratorio	1853
Estándar alto	62
Estándar medio	40
Estándar bajo	42
Blanco fino	48
Duplicado de pulpa	96
Total de compositos enviados para análisis químico	2141

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1 CuT vs CuSum, CuT vs Cu ponderado, y CuT vs Cu ICP. Como parte del control de exactitud de los resultados de análisis de compositos, se realizaron gráficas y tablas resúmenes de CuT vs CuSum, CuT vs Cu ponderado y CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos del laboratorio primario. El objetivo de estas comparaciones fue evaluar la exactitud analítica.

A continuación, en la tabla 14, se muestra un cuadro resumen de los resultados de la comparación CuT vs CuSum. Se quitaron del cálculo las muestras de control.

Tabla 14

Resultados de CuT vs CuSum obtenidos por laboratorio primario

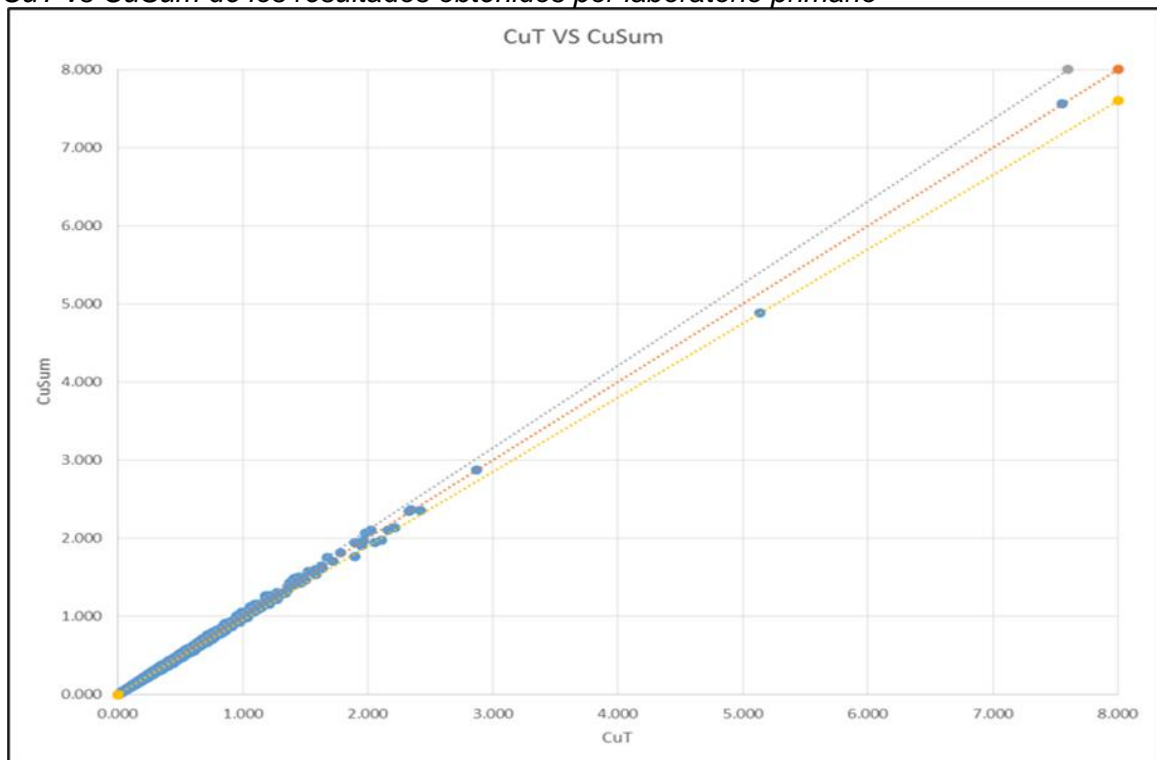
CuT vs CuSum		
Descripción	X	Y
45°	0.000	0.000
Limite grafico	8.000	8.000
Dupl. = 1.05 * original	0.000	0.000
	7.600	8.000
Dupl. = 0.95 * original	0.000	0.000
	8.000	7.600
Nº de muestras	1853	
Coef. De correlación	0.999	
Nº de outliers (> 0.05)	257	
% outliers (> 0.05)	13.87	
Nº de outliers (> 0.1)	1	
% outliers (> 0.1)	0.05	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, se muestra una gráfica CuT vs CuSum. En la figura la línea central es $X = Y$, la línea superior es a +5% y línea inferior es a -5%.

Figura 11

CuT vs CuSum de los resultados obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 15, se muestra un cuadro resumen de los resultados de la comparación CuT vs Cu ponderado. Se quitaron del cálculo las muestras de control.

Tabla 15

Resultados de CuT vs Cu Ponderado obtenidos por laboratorio primario

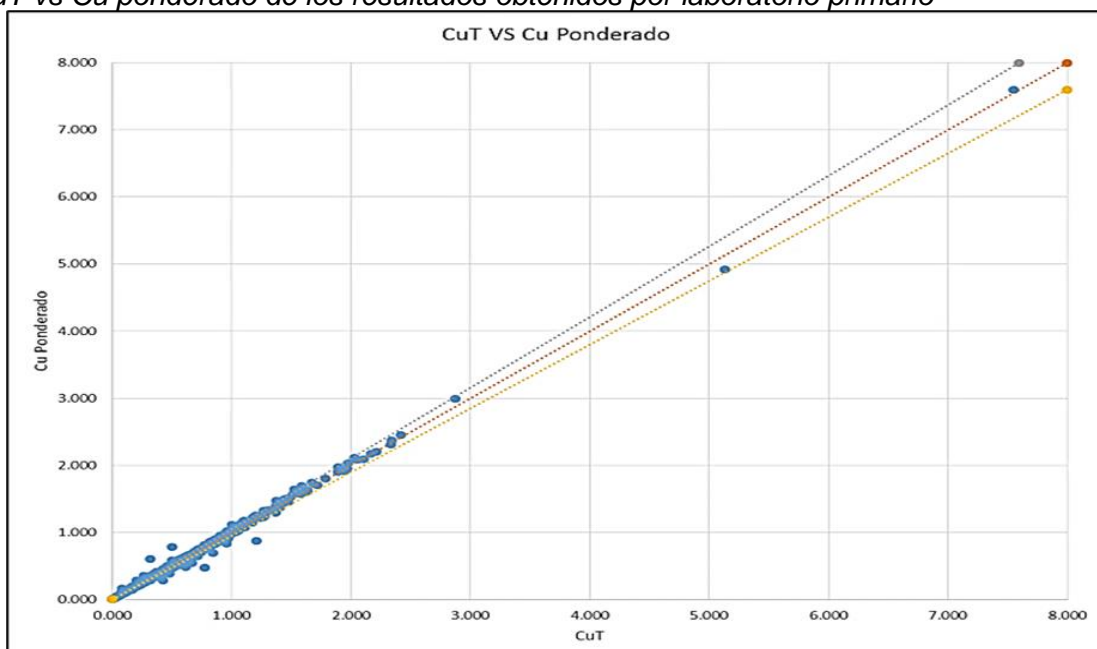
CuT vs Cu ponderado		
Descripción	X	Y
45°	0.000	0.000
Limite grafico	8.000	8.000
Dupl. = 1.05 * original	0.000	0.000
	7.600	8.000
Dupl. = 0.95 * original	0.000	0.000
	8.000	7.600
N° de muestras	1853	
Coef. De correlación	0.958	
N° de outliers (> 0.05)	230	
% outliers (> 0.05)	12.41	
N° de outliers (> 0.1)	26	
% outliers (> 0.1)	1.40	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se muestra una gráfica CuT vs Cu ponderado. En la figura la línea central es $X = Y$, la línea superior es a +5% y línea inferior es a -5%.

Figura 12

CuT vs Cu ponderado de los resultados obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 16, se muestra un cuadro resumen de los resultados de la comparación CuT vs Cu ICP. Se quitaron del cálculo las muestras de control, y también fueron extraídos las leyes de Cu reportados por ICP >1.0%, debido a que el límite máximo de detección de leyes de Cu de ICP fue de 1.0%, haciendo estas operaciones, al final quedaron 1763 muestras de composito de Cu de ICP para procesar.

Tabla 16

Resultados de CuT vs Cu Ponderado obtenidos por laboratorio primario

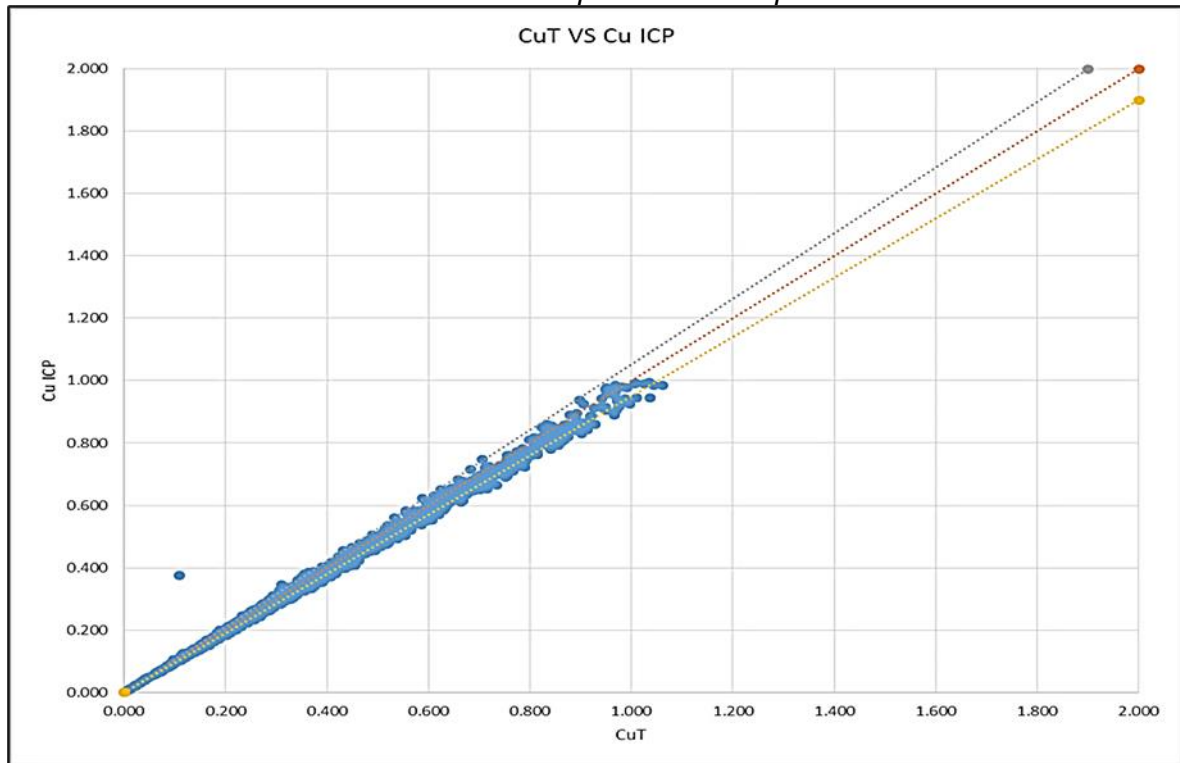
CuT vs Cu ICP		
Descripción	X	Y
45°	0.000	0.000
Limite grafico	8.000	8.000
Dupl. = 1.05 * original	0.000	0.000
	7.600	8.000
Dupl. = 0.95 * original	0.000	0.000
	8.000	7.600
Nº de muestras	1763	
Coef. De correlación	0.998	
Nº de outliers (> 0.05)	535	
% outliers (> 0.05)	30.35	
Nº de outliers (> 0.1)	8	
% outliers (> 0.1)	0.45	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se muestra una gráfica CuT vs Cu ICP. En la figura la línea central es $X = Y$, la línea superior es a +5% y línea inferior es a -5%.

Figura 13

CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

De las comparaciones realizadas, en resumen se tiene:

- CuT vs CuSum: Con un coeficiente de correlación de 0.999, que demuestra una buena similitud de los valores de cobre total CuT y CuSum. Con 1 outlier con $ER > 0.1$, TE 0.05%, se considera tolerable, por lo que se concluye que ha tenido buena exactitud analítica en análisis de cobre secuencial.
- CuT vs Cu Ponderado: Con un coeficiente de correlación de 0.998, que demuestra una buena similitud de los valores de cobre total CuT y Cu ponderado. Cu ponderado es resultado de promediar leyes de Cu de cada muestra ordinaria presente en un composito. Con 26 outliers con $ER > 0.1$, TE 1.40%, se considera tolerable, por lo que se concluye que ha tenido buena exactitud analítica en análisis de cobre total.
- CuT vs Cu ICP: Con un coeficiente de correlación de 0.998, que demuestra una buena similitud de los valores de cobre total CuT y Cu ICP. Con 8 outliers con

ER>0.1, TE 0.45%, se considera tolerable, por lo que se concluye que ha tenido buena exactitud analítica en análisis de Cu de ICP.

3.4.1.2 Precisión de compositos. La precisión de análisis de compositos, de laboratorio primario, fue realizado mediante la inserción de 96 duplicados de pulpa, que representa una tasa de inserción de 4.48% respecto del total de compositos analizados: 2141.

A continuación, en la Tabla 17, se muestra un resumen de los resultados obtenidos por los duplicados de pulpa insertados y procesados mediante método lineal.

Tabla 17

Resultados de duplicados de pulpa de compositos obtenidos por laboratorio primario

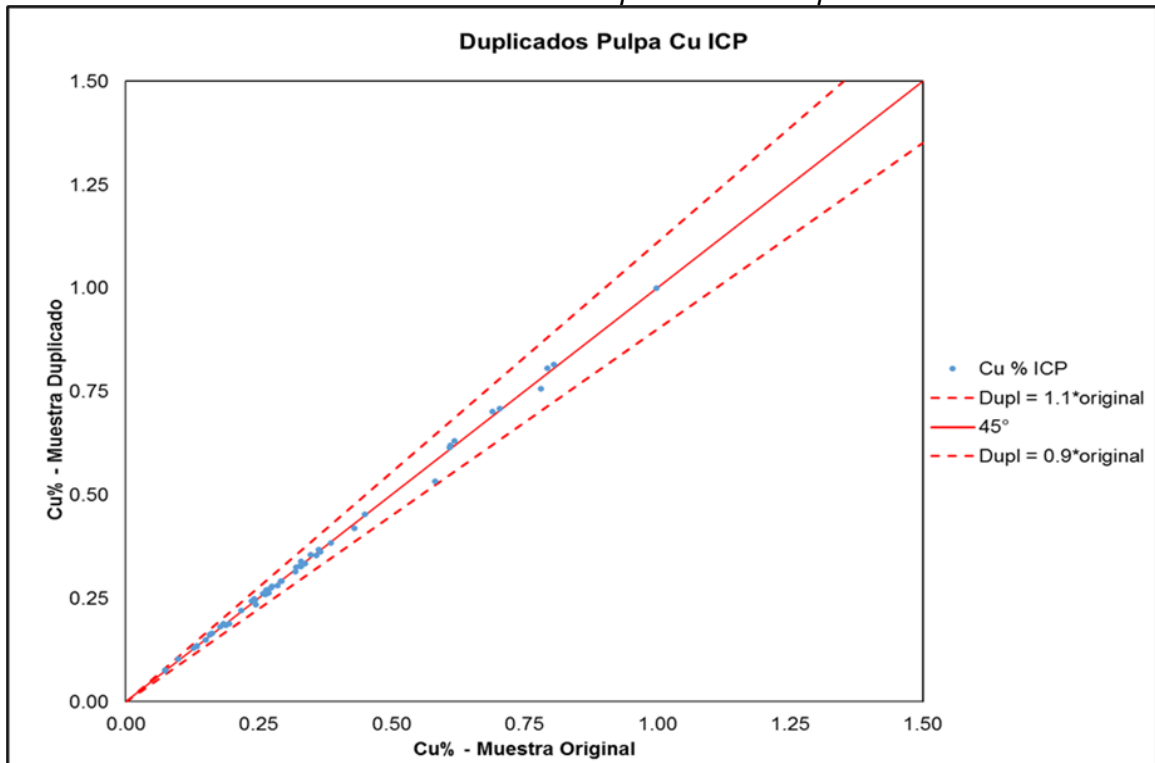
ELEMENTO	DUPLICADO DE PULPA		
	PARES	FALLOS	TASA DE ERROR (%)
Cu % ICP	96	0	0.00 %
CuT %	96	0	0.00 %
CuS %	96	9	9.38 %
CuCN %	96	12	12.50 %
CuRES %	96	2	2.08 %
CuSum %	96	0	0.00 %
F ppm	96	6	6.25 %
Mg %	96	0	0.00 %
Fe %	96	0	0.00 %

Fuente: Elaboración propia

El criterio de aceptación de duplicados de pulpa de compositos, refiere a que el 90% de los pares de muestras deberán tener un error relativo menor al 10%, o que la tasa de error (TE) no exceda el 10%. Del total de datos, hasta batch 48, y tomando en cuenta los valores obtenidos con el método lineal (ver Tabla 20) se tiene: Las tasas de error oscilaron entre 0.00% para Cu y 12.50% para CuCN. Todos los elementos analizados se encuentran con TE <10%, lo que indica una excelente precisión del laboratorio primario, excepto para CuCN. Algunas de las gráficas obtenidas por método lineal, se pueden ver a continuación.

Figura 14

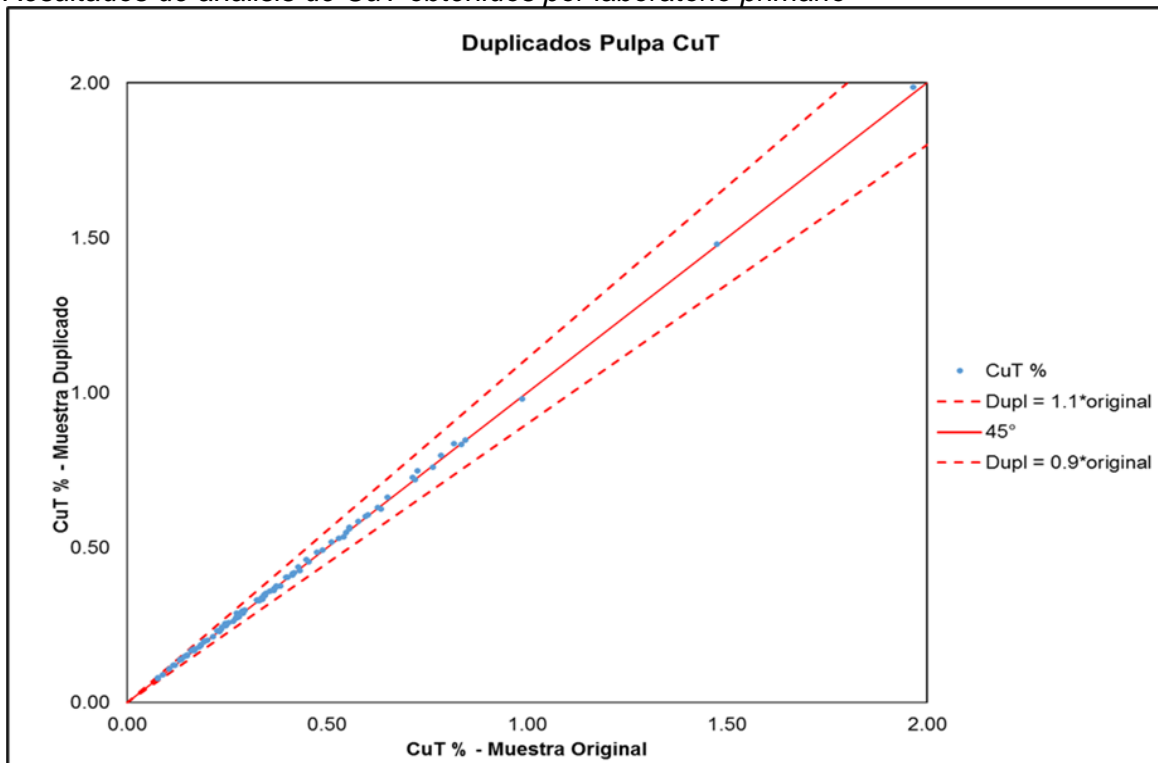
Resultados de análisis de Cu de ICP obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

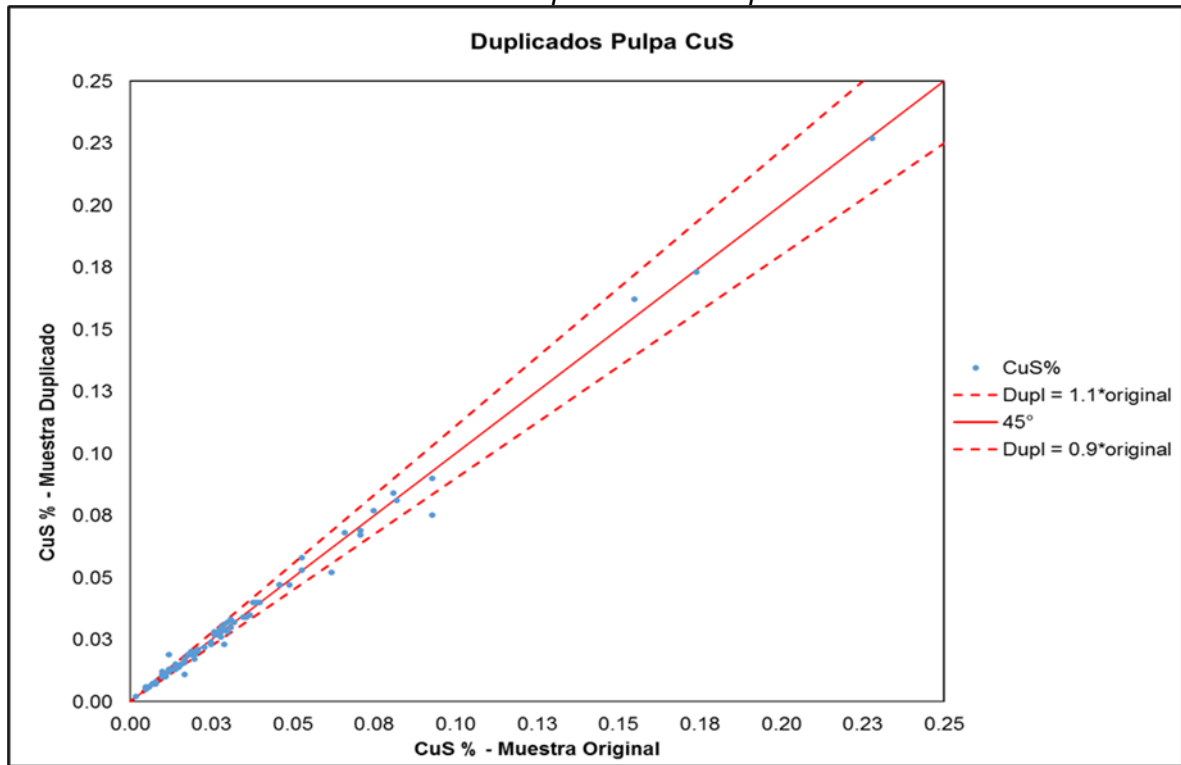
Resultados de análisis de CuT obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

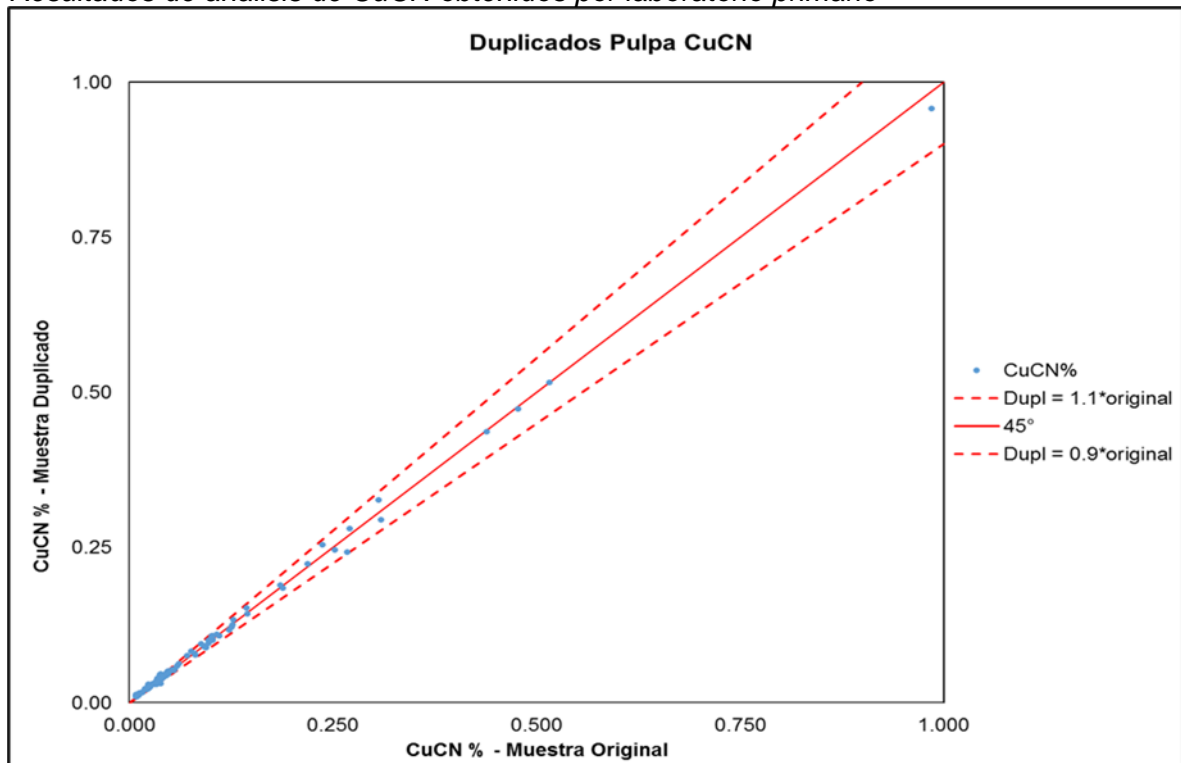
Resultados de análisis de CuS obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

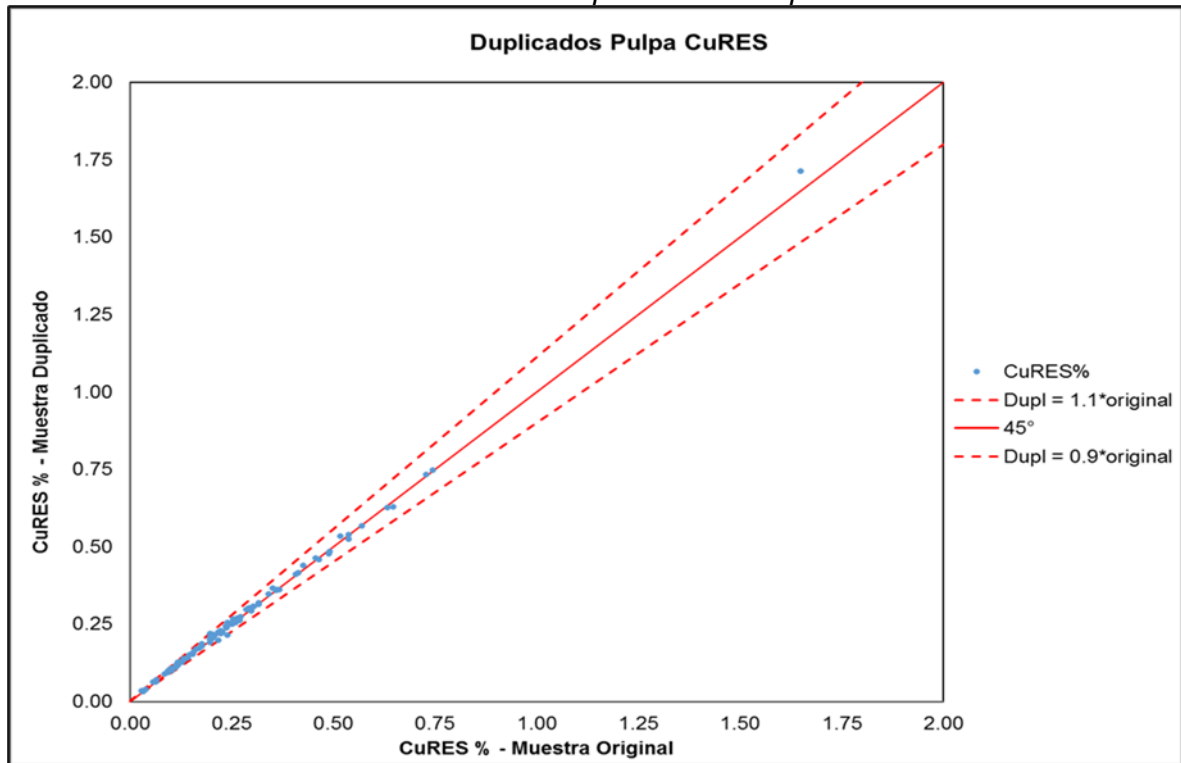
Resultados de análisis de CuCN obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 18

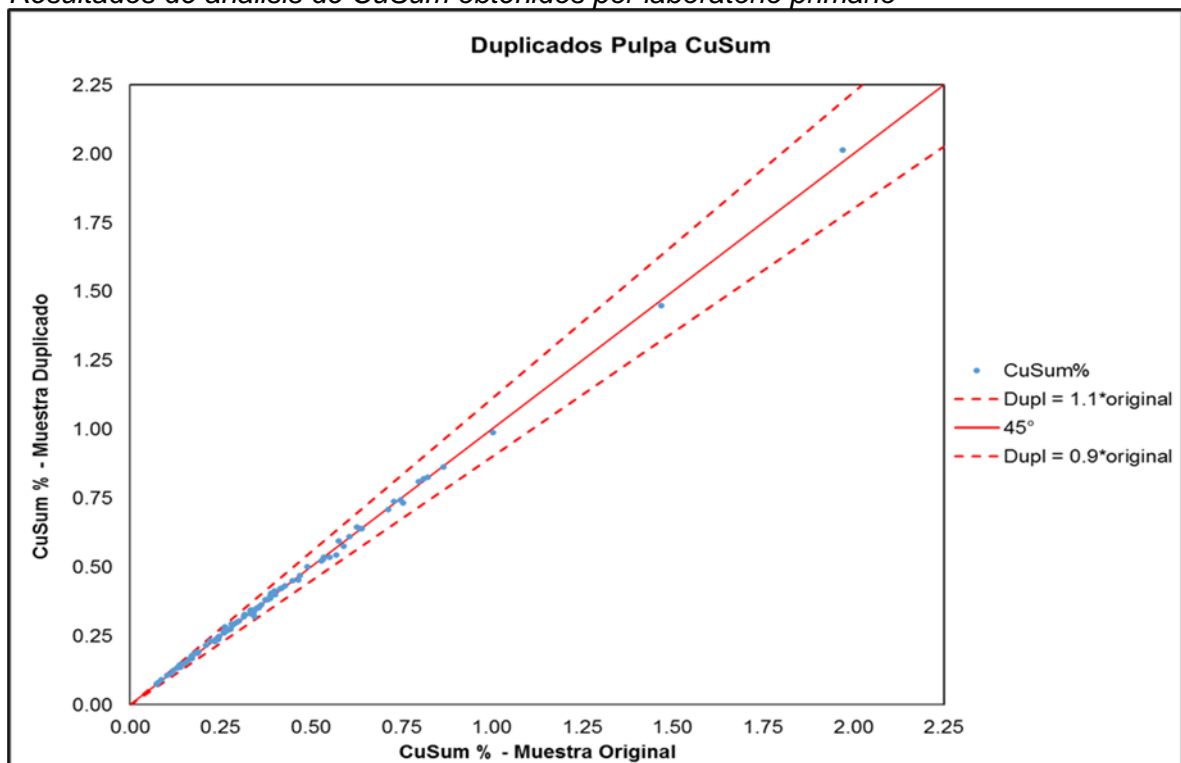
Resultados de análisis de CuRES obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 19

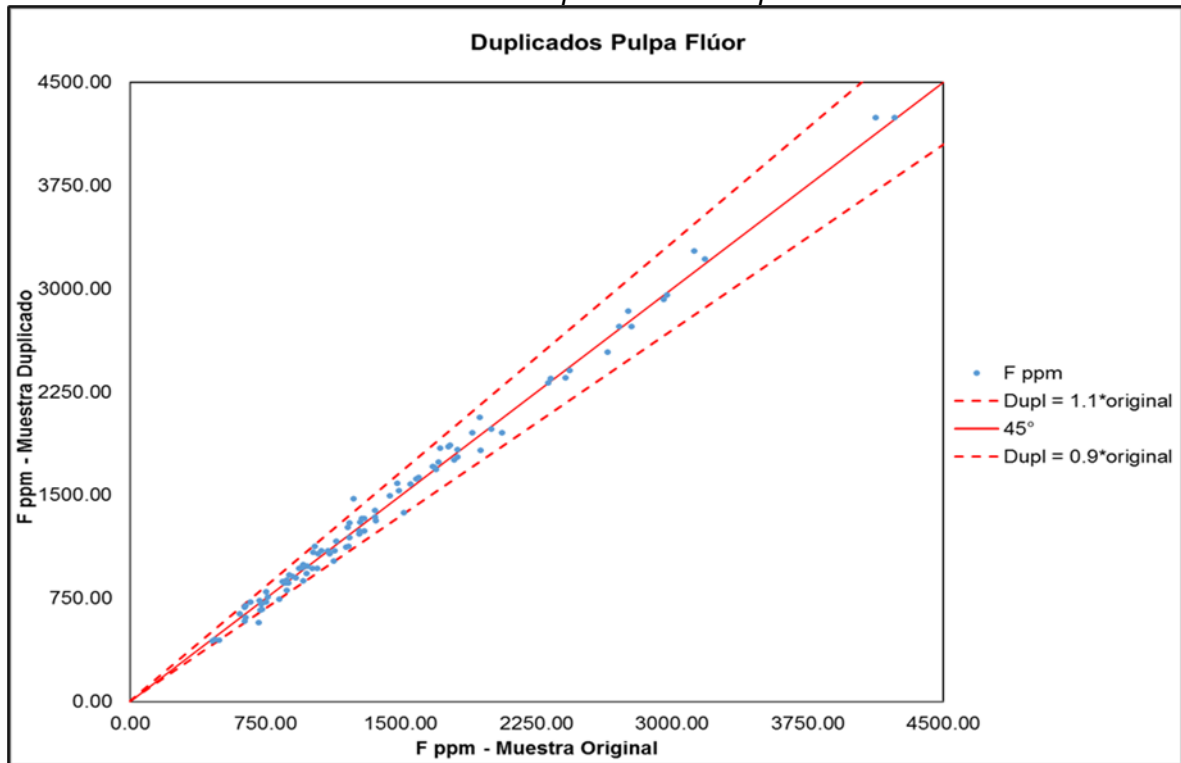
Resultados de análisis de CuSum obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 20

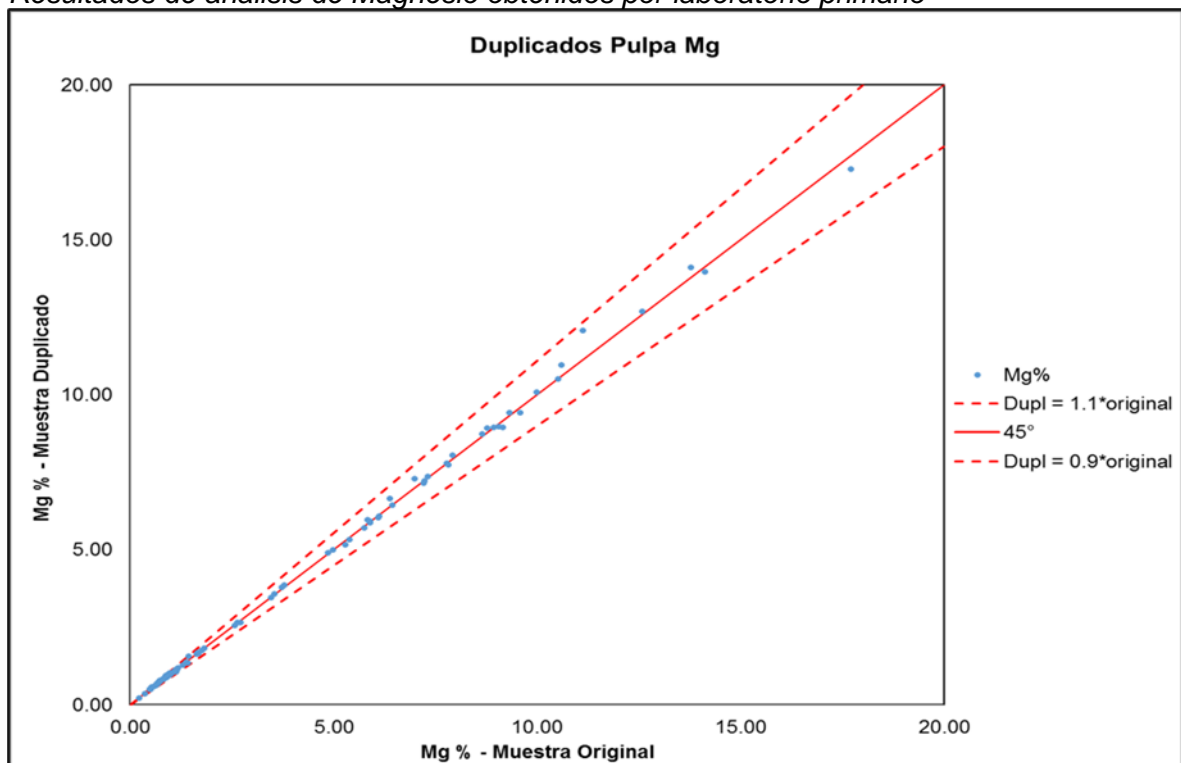
Resultados de análisis de Flúor obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 21

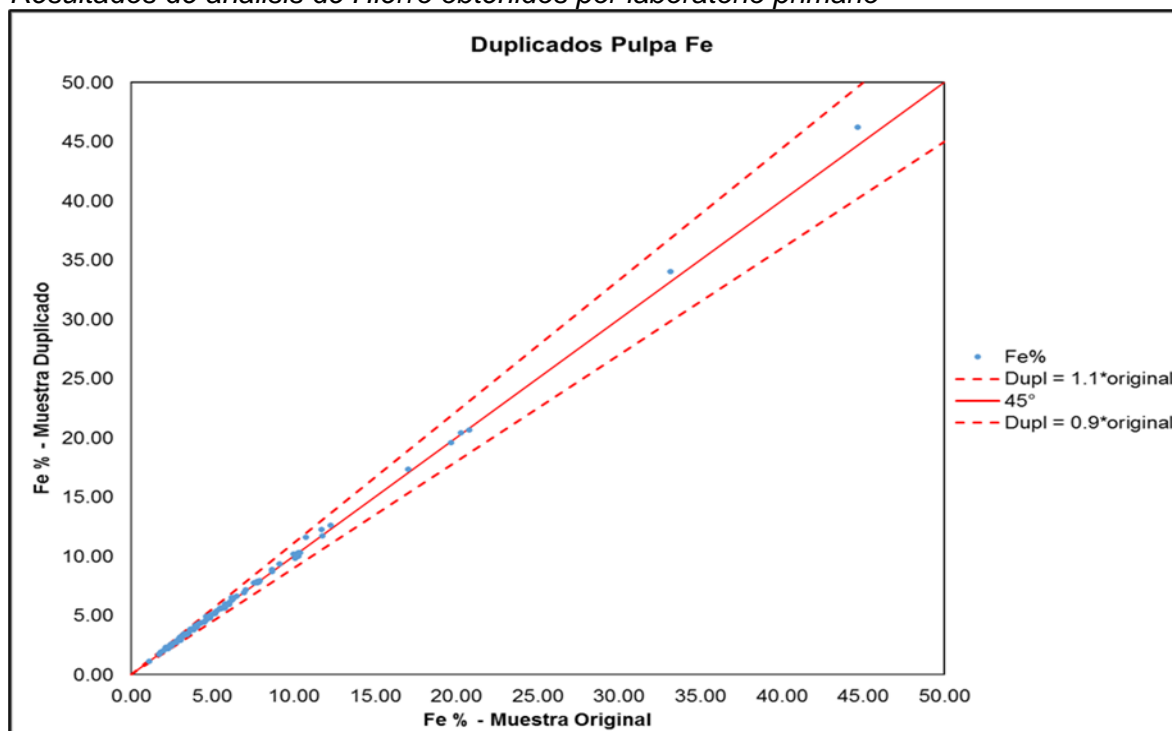
Resultados de análisis de Magnesio obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Resultados de análisis de Hierro obtenidos por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 Exactitud de compositos. Para evaluar la exactitud de resultados de análisis de CuT de compositos obtenidos por laboratorio primario, se realizó la inserción de 144 estándares, que representa una tasa de inserción de 6.73% respecto del total de compositos analizados: 2141.

En la Tabla 18 se muestra un resumen de los resultados obtenidos por laboratorio primario para los MRs insertados en compositos. Los sesgos encontrados están entre -0.39% para estándar alto de CuT y 2.33% para estándar medio de CuT, es decir, los sesgos obtenidos son buenos ya que son menos de 5%.

Tabla 18

Resultados de MRs obtenidos por laboratorio primario

Estándar	Elemento	Valor esperado		Nº análisis	Valor obtenido		Resultados			Límites de aceptación	
		Media	Std. Dev.		Media	Std. Dev.	Sesgo %	CV (RSD)	Nº outlier	Mínimo (-3SD)	Máximo (+3SD)
CHNB-04		0.2288	0.0070	42	0.2310	0.0049	0.95	0.021	0	0.2079	0.2494
CNHM-05	CuT (%)	0.3865	0.0076	40	0.3955	0.0065	2.33	0.016	0	0.3638	0.4092
CHNA-06		0.9650	0.0240	62	0.9314	0.0162	-0.39	0.017	0	0.8630	1.0070

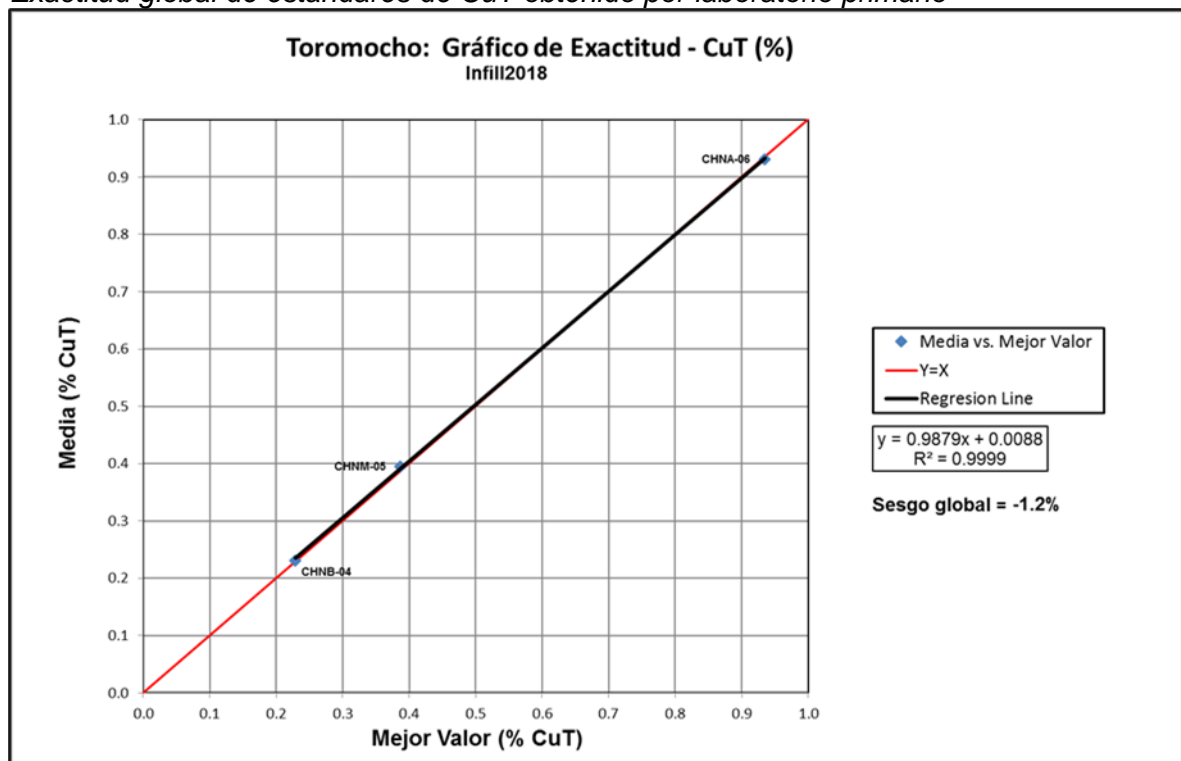
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se consideran dentro de los límites aceptables de exactitud (buena: sesgo de 0 a $\pm 5\%$; aceptable o cuestionable: sesgo de +5 a +10% o de -5% a -10%; inaceptable: sesgo superior a 10% o inferior a -10%).

Se ha realizado una gráfica de exactitud de cada uno de los estándares para CuT. De dicha figura se observa que la exactitud para CuT es buena, con un sesgo global de -1.2%. Para mayor detalle ver figura 23.

Figura 23

Exactitud global de estándares de CuT obtenido por laboratorio primario

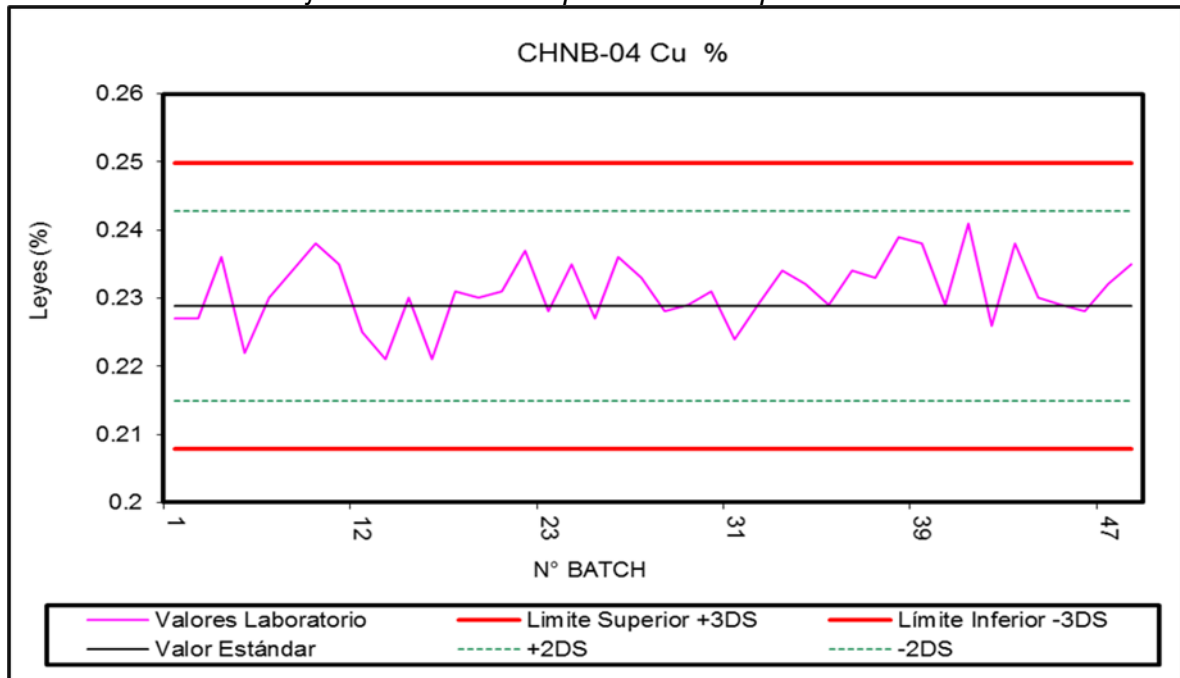


Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran algunas gráficas de control de calidad de los materiales de referencia para CuT.

Figura 24

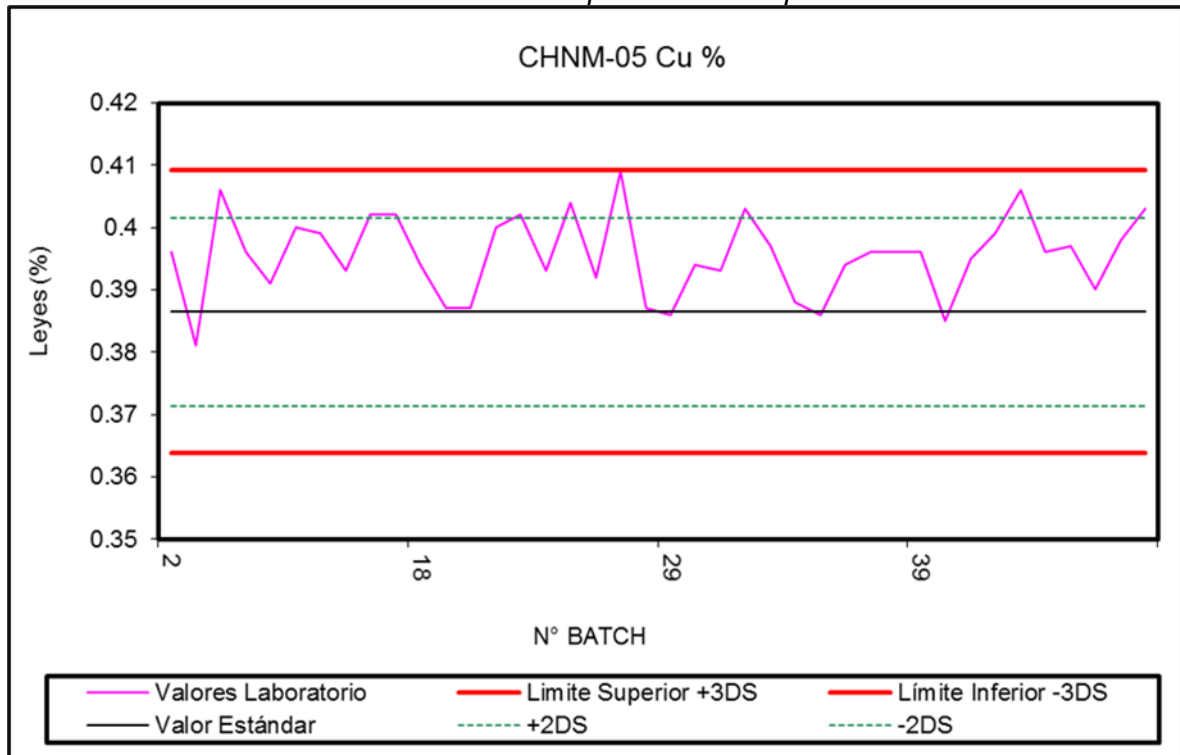
Gráfica de estándar bajo de CuT obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

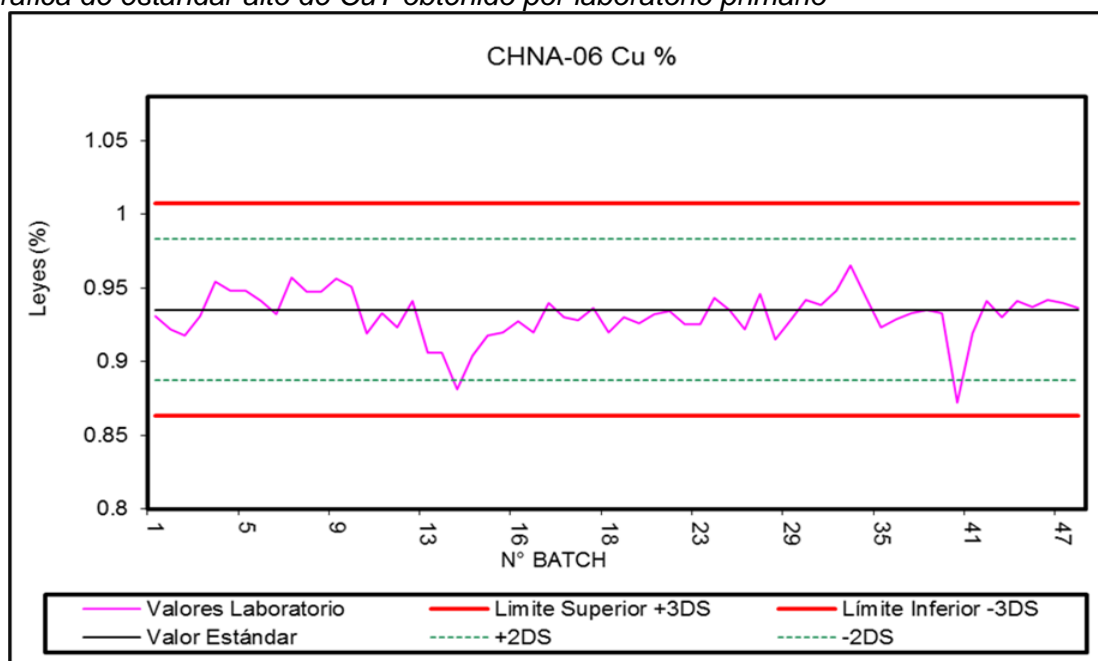
Gráfica de estándar medio de CuT obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Gráfica de estándar alto de CuT obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 Contaminación de compositos. Para evaluar el control de contaminación en resultados de análisis de compositos, obtenidos por laboratorio primario, se realizó la inserción de 48 blancos finos (BF), que representa una tasa de inserción de 2.24% respecto del total de compositos analizados.

En la Tabla 19 se muestra un resumen de los blanco finos insertados en muestras de compositos enviados a análisis.

Tabla 19

Resumen de blanco fino de laboratorio primario para compositos

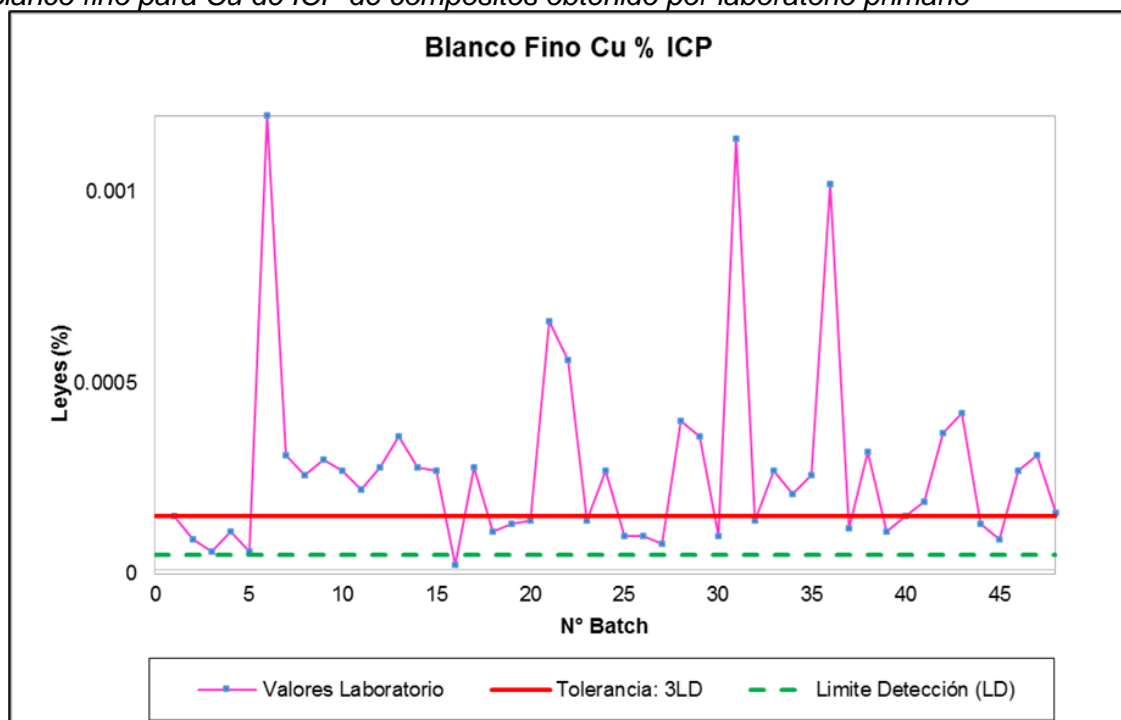
	Cu % ICP	CuT %	CuS %	CuCN %	CuRES %	F ppm	Mg %	Fe %
Limite Detección (LD)	0.00005	0.001	0.001	0.001	0.001	100	0.01	0.01
Tolerancia: 3 LD	0.00015	0.003	0.003	0.003	0.003	300	0.03	0.03
Nº análisis	48	48	48	48	48	48	48	48
Mínimo	0.00003	0.00050	0.00050	0.00050	0.00050	54.00000	0.00500	0.01000
Máximo	0.00120	0.00300	0.00050	0.00200	0.00200	140.00000	0.00500	0.05000
Media	0.00028	0.00058	0.00050	0.00057	0.00061	51.87500	0.00500	0.02727
Mediana	0.00024	0.00050	0.00050	0.00050	0.00050	50.00000	0.00500	0.03000
Nº de outlier	28	0	0	0	0	0	0	7
% fuera de tolerancia	58.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.58

Fuente: Elaboración propia

Los blancos finos están debajo de 3LD, por lo que hay un buen control de contaminación en el laboratorio. Sin embargo, merecen especial atención Cu y Fe de ICP ya que tienen porcentaje de outliers grandes, el primero tiene 28 outliers y 58.33% de fallidos, el segundo tiene 7 outliers y 14.58% de fallidos. Es decir, Cu y Fe de ICP se alejan del 5% de fallidos permitidos como máximo para blancos finos. Pero tal como fue desarrollado en capítulo 3.2.2.1 – Certificación de blanco fino, de la Tabla 2, se observa que en promedio los valores de Cu fueron $<0.0001\%$ (1 ppm), sin embargo el límite de detección para Cu de ICP fue definido por Inspectorate en 0.00005% (0.5 ppm); es decir, LD de Inspectorate se encuentra por debajo del certificado por Target Rocks, y por tanto se aceptan los 58.33% de outliers de blanco fino para Cu de ICP. En el mismo capítulo, se observa que Fe fue certificado con media de 0.0415% por Target Rocks, pero el LD para Fe fue definido por Inspectorate en 0.01% y 3LD sería 0.03% ; es decir, la media obtenida por Target Rocks está por encima de 3LD de Inspectorate, por tanto los valores de Fe de 14.58% de outliers en blanco fino se consideran aceptables. A continuación se muestran gráficas de control de calidad de muestras de control blanco fino.

Figura 27

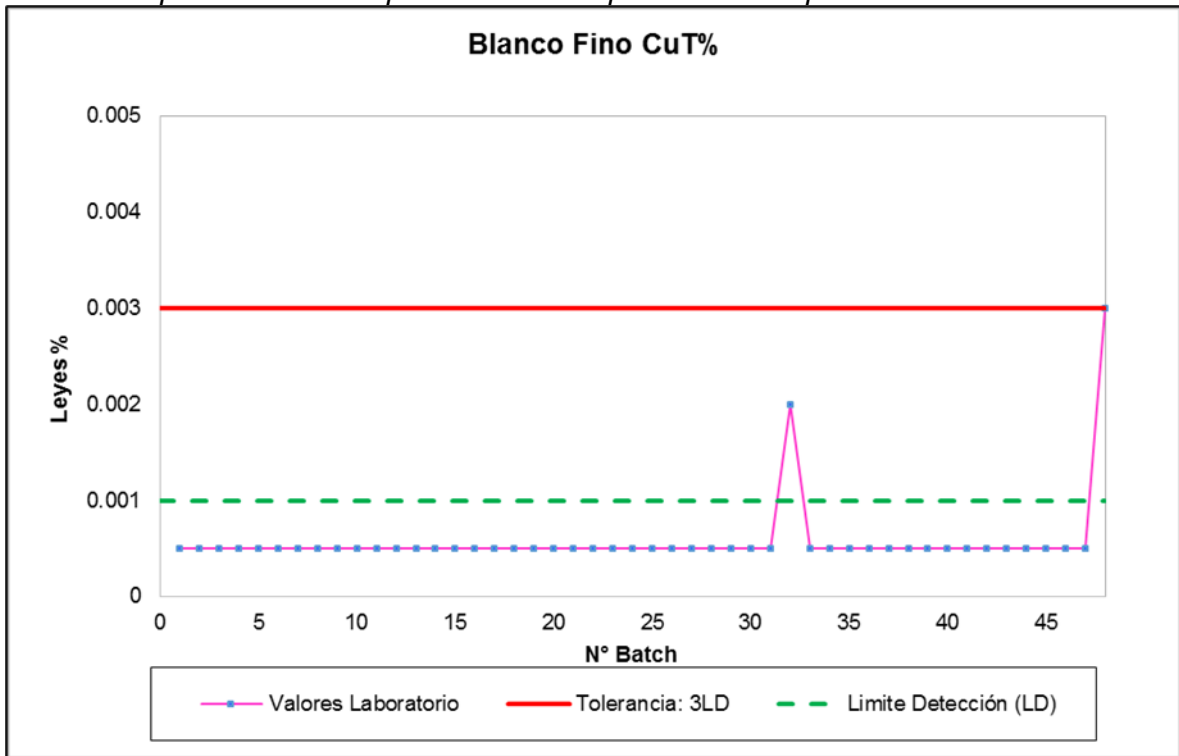
Blanco fino para Cu de ICP de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

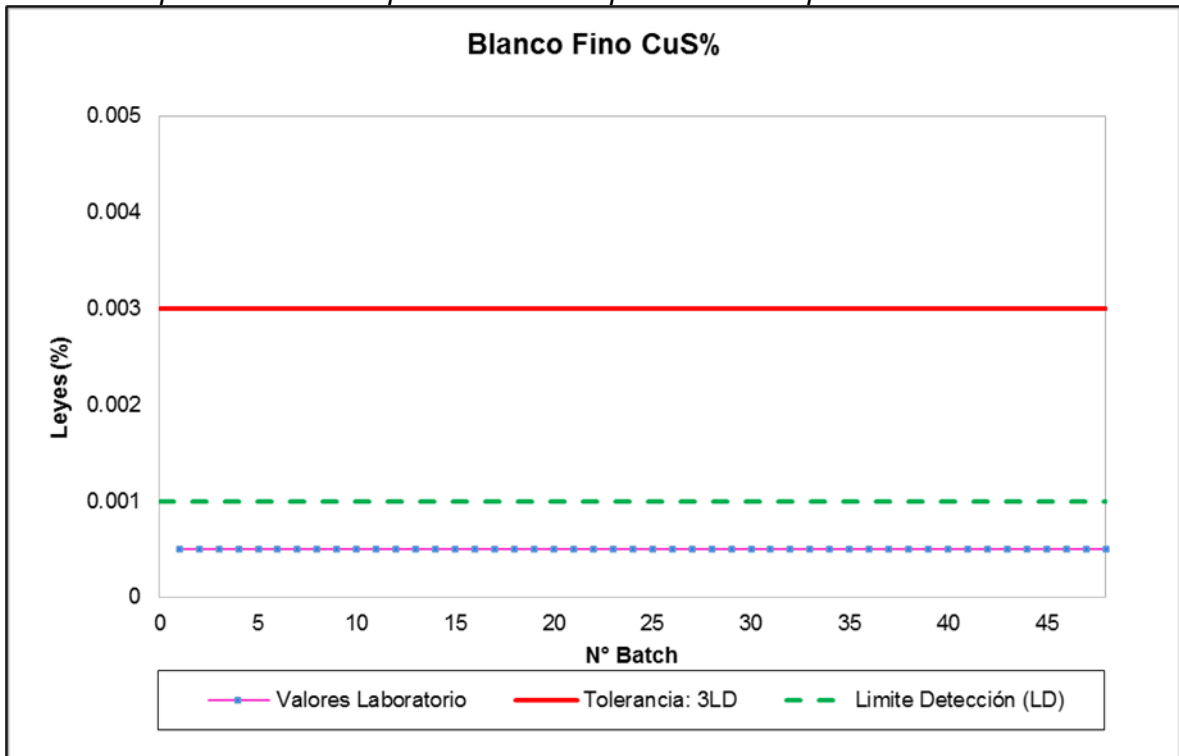
Blanco fino para CuT de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 29

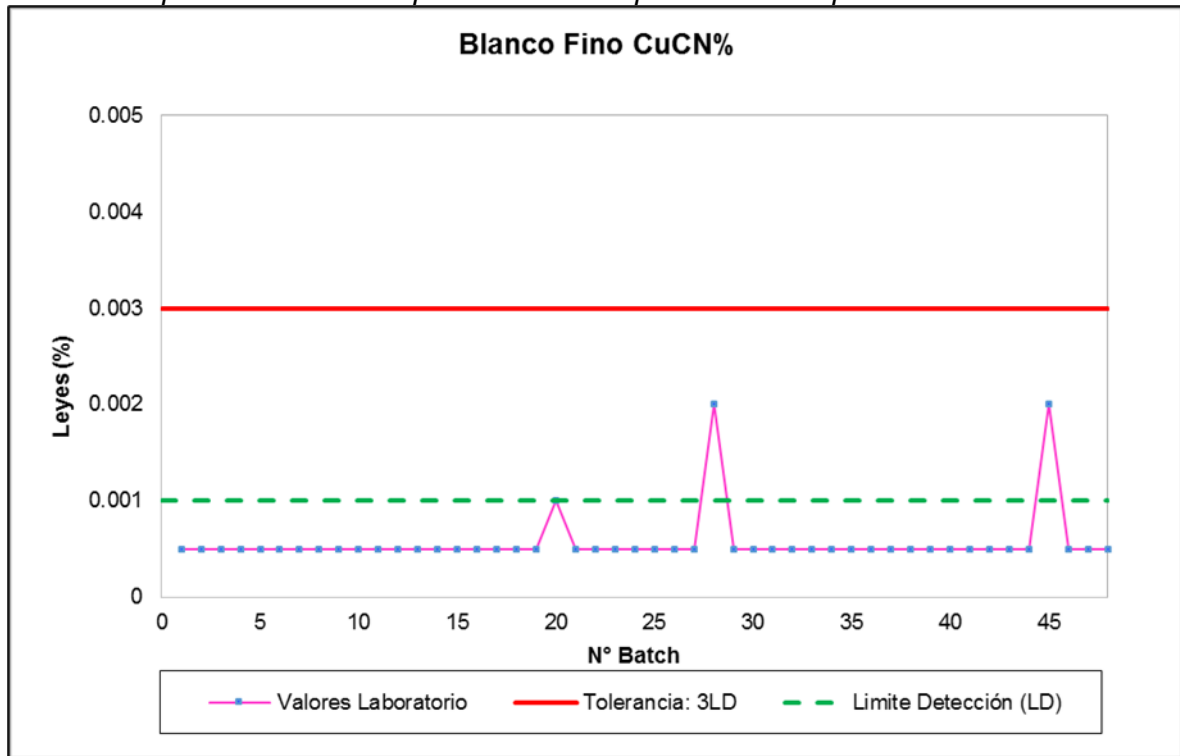
Blanco fino para CuS de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

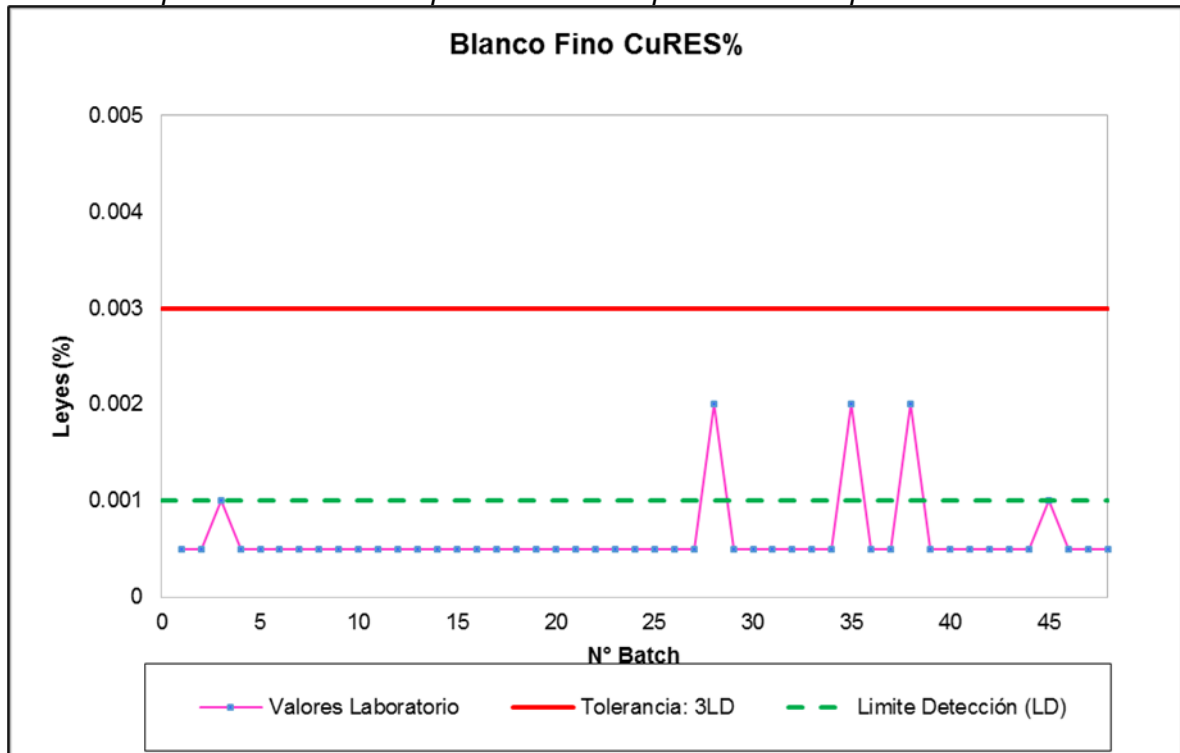
Blanco fino para CuCN de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

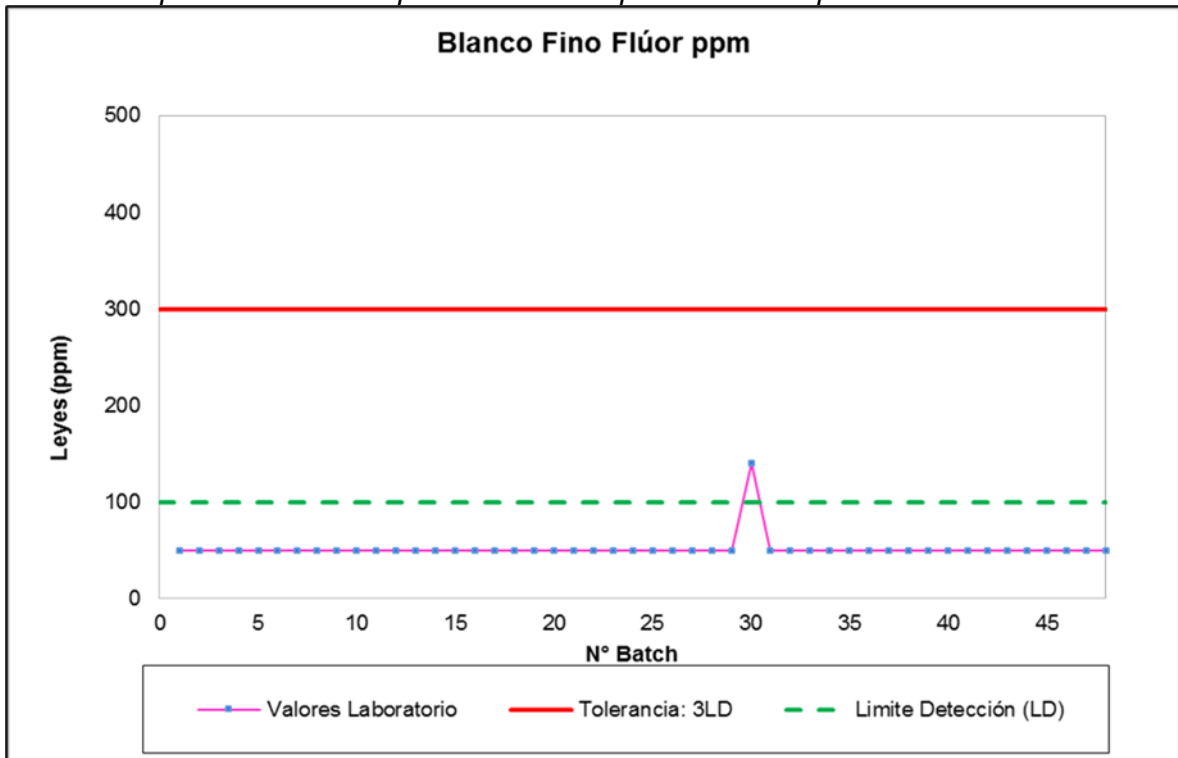
Blanco fino para CuRES de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

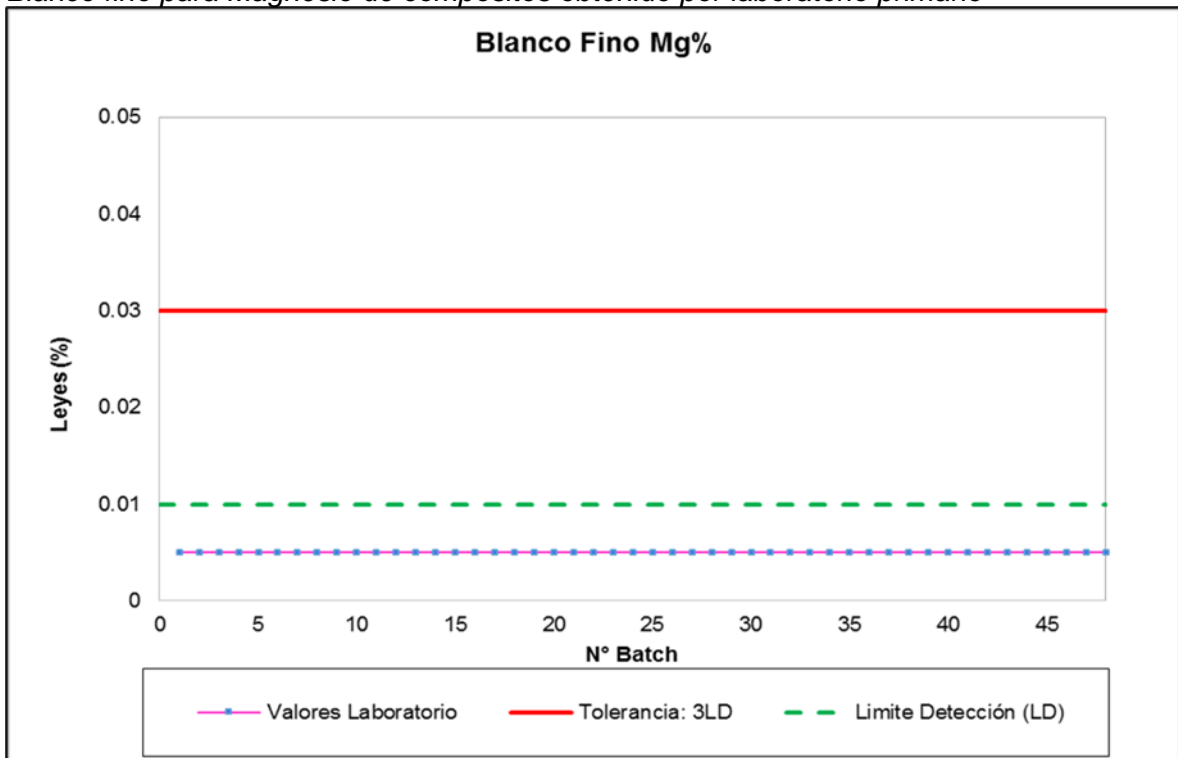
Blanco fino para Flúor de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

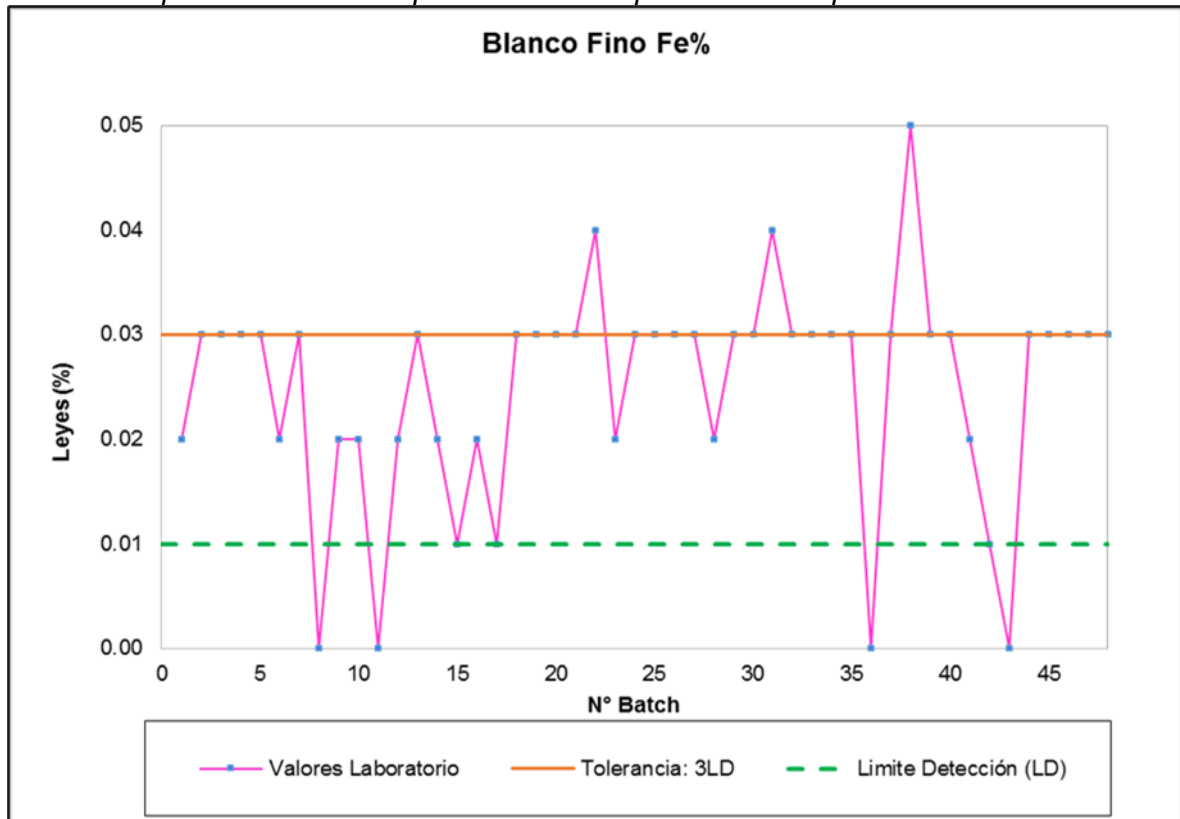
Blanco fino para Magnesio de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Blanco fino para Hierro de compositos obtenido por laboratorio primario



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Laboratorio secundario

Fueron enviados 107 compositos a análisis de verificación, siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.2.4.8. Los 107 compositos enviados a análisis de verificación representa el 5% del total de compositos analizados por laboratorio primario.

A las 107 compositos, le fueron agregados 12 muestras de control para evaluar precisión, exactitud, y contaminación en laboratorio secundario. Las 12 muestras insertadas representan una tasa de inserción de 10.08% del total de compositos enviados a análisis de verificación: 119. Las 12 muestras de control consistieron en:

- 3 duplicados de pulpa: Para evaluar precisión.
- 3 blancos finos: Para evaluar contaminación.
- 6 estándares: 2 estándar bajo, 2 estándar medio y 2 estándar alto. Para evaluar exactitud del laboratorio.

3.4.2.1 CuT vs Cu ponderado, y CuT vs Cu ICP. Como parte del control de exactitud de los resultados de análisis de composites, se realizaron gráficas y tablas resúmenes de CuT vs Cu ponderado y CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos por laboratorio secundario. El objetivo de estas comparaciones fue evaluar la exactitud analítica del laboratorio primario.

A continuación, en la Tabla 20, se muestra un cuadro resumen de los resultados de la comparación CuT vs Cu ponderado. Se quitaron del cálculo las muestras de control.

Tabla 20

Resultados de CuT vs Cu ponderado obtenidos por laboratorio secundario

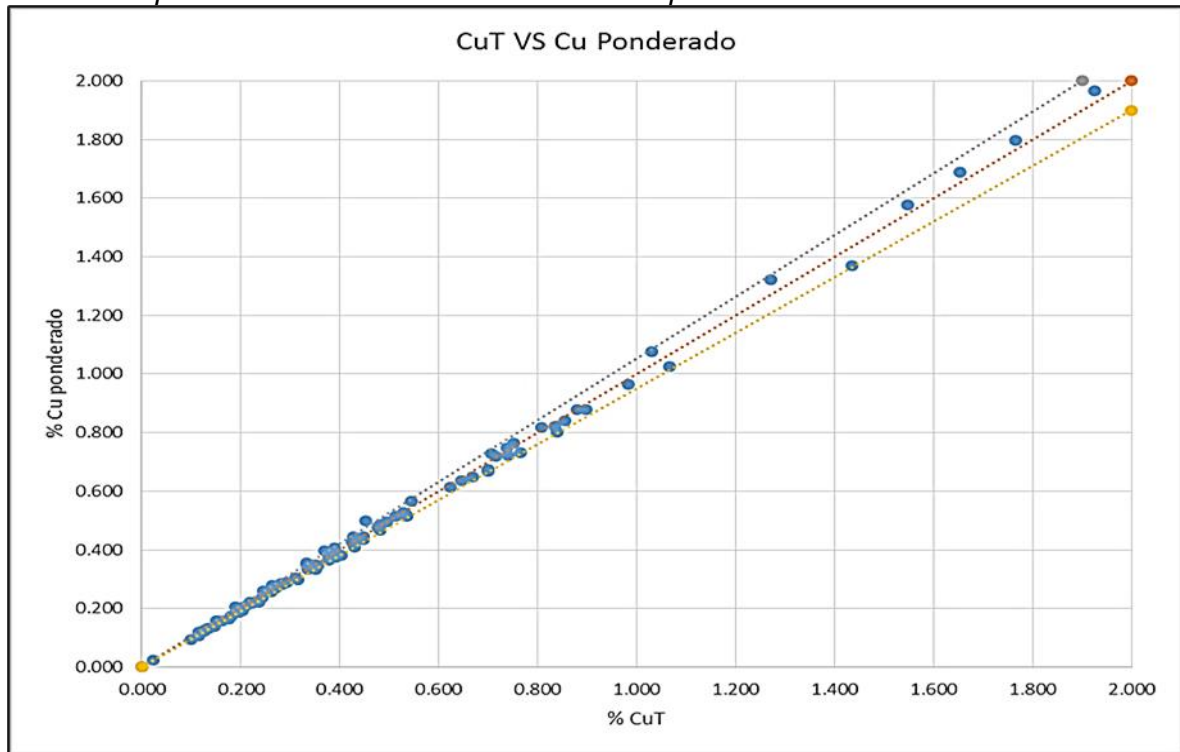
CuT vs Cu ponderado		
Descripción	X	Y
45°	0.000	0.000
Limite grafico	2.000	2.000
Dupl. = 1.05 * original	0.000	0.000
	1.900	2.000
Dupl. = 0.95 * original	0.000	0.000
	2.000	1.900
N° de muestras	107	
Coef. De correlación	0.999	
N° de outliers (> 0.05)	13	
% outliers (> 0.05)	12.15	
N° de outliers (> 0.1)	0	
% outliers (> 0.1)	0.00	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se muestra una gráfica CuT vs Cu ponderado. En la gráfica la línea central es $X = Y$, la línea superior es a +5% y línea inferior es a -5%.

Figura 35

CuT vs Cu ponderado de los resultados obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 21, se muestra un cuadro resumen de los resultados de la comparación CuT vs Cu ICP. Se quitaron del cálculo las muestras de control, y también fueron extraídos las leyes de Cu reportados por ICP >1.0%, debido a que el límite máximo de detección de leyes fue de 1.0%. Al final quedaron 99 muestras para procesar.

Tabla 21

Resultados de CuT vs Cu ICP obtenidos por laboratorio secundario

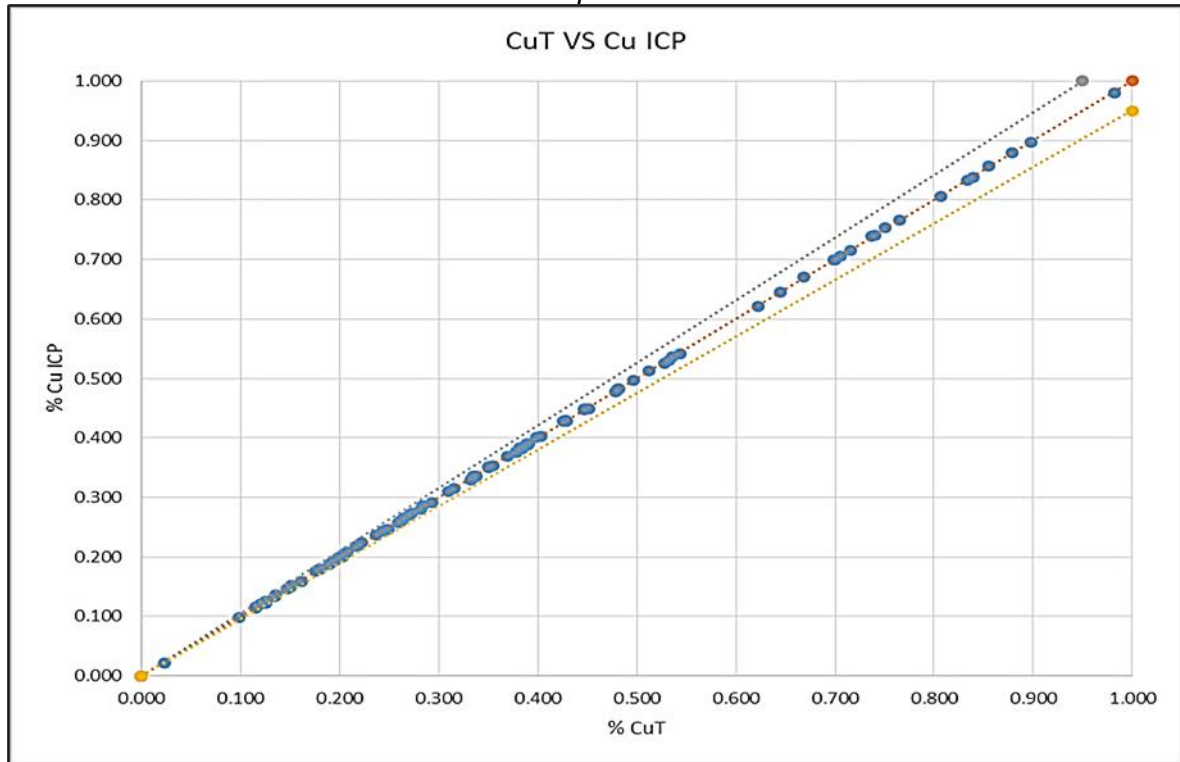
CuT vs Cu ponderado		
Descripción	X	Y
45°	0.000	0.000
Limite grafico	2.000	2.000
Dupl. = 1.05 * original	0.000	0.000
	1.900	2.000
Dupl. = 0.95 * original	0.000	0.000
	2.000	1.900
N° de muestras	9	
Coef. De correlación	1.000	
N° de outliers (> 0.05)	1	
% outliers (> 0.05)	1.01	
N° de outliers (> 0.1)	0	
% outliers (> 0.1)	0.00	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se muestra una gráfica CuT vs Cu ICP. En la gráfica la línea central es $X = Y$, la línea superior es a +5% y línea inferior es a -5%.

Figura 36

CuT vs Cu ICP de los resultados obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

De las comparaciones realizadas, en resumen se tiene:

- CuT vs Cu Ponderado: Con un coeficiente de correlación de 0.999, que demuestra una buena similitud de los valores de cobre total CuT y Cu ponderado. Cu ponderado es resultado de promediar leyes de Cu de cada muestra ordinaria presente en un composito. Con 13 outliers con $ER > 0.05$, TE 12.15%, y sin ningún outlier para $ER > 0.1$, se considera aceptable, por lo que se concluye que ha tenido buena exactitud analítica en análisis de cobre total.
- CuT vs Cu ICP: Con un coeficiente de correlación de 1.000, que demuestra una perfecta correlación de los valores de cobre total CuT y Cu ICP. Con 1 outlier con $ER > 0.05$, TE 1.01%, y sin ningún outlier para $ER > 0.1$, se considera aceptable, por lo que se concluye que ha tenido buena exactitud analítica en análisis de Cu de ICP.

3.4.2.2 Precisión de compositos. La precisión de análisis de compositos, de laboratorio secundario, fue realizado mediante la inserción de 3 duplicados de pulpa, que representa una tasa de inserción de 2.52% respecto del total de compositos analizados: 119.

A continuación, en la Tabla 22, se muestra un resumen de los resultados obtenidos por los duplicados de pulpa insertados y procesados mediante método lineal.

Tabla 22

Resultados de duplicados de pulpa de compositos obtenidos por laboratorio secundario

ELEMENTO	DUPLICADO DE PULPA		
	PARES	FALLOS	TASA DE ERROR (%)
Cu % ICP	3	0	0.00 %
CuT %	3	0	0.00 %
Mg %	3	0	0.00 %
Fe %	3	0	0.00 %

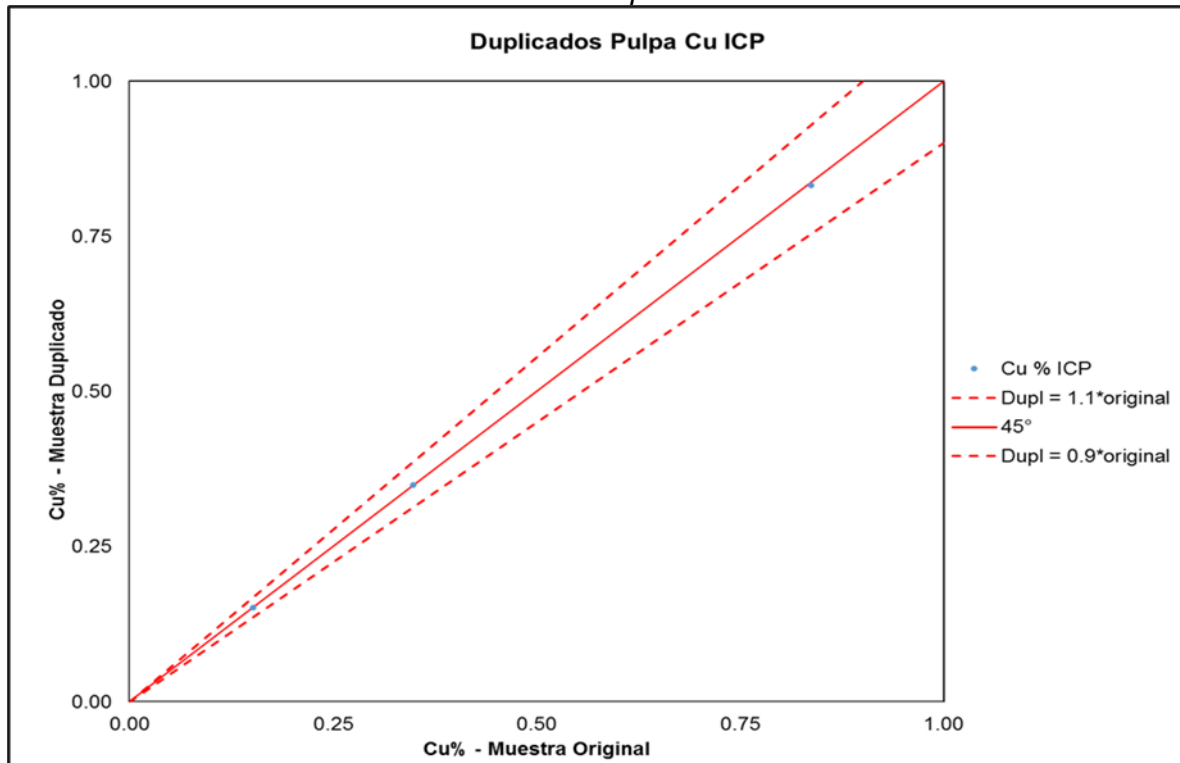
Fuente: Elaboración propia

El criterio de aceptación de duplicados de pulpa de compositos, refiere a que el 90% de los pares de muestras deberán tener un error relativo menor al 10%, o que la tasa de error (TE) no exceda el 10%. Del total de datos, hasta batch 3, y tomando en cuenta los valores obtenidos con el método lineal (ver Tabla 22) se tiene: Las tasas de error fueron de 0.00% en todos los casos.

Todos los elementos analizados se encuentran con TE <10%, lo que indica una excelente precisión del laboratorio secundario. Algunas de las gráficas obtenidas por método lineal, se pueden ver a continuación.

Figura 37

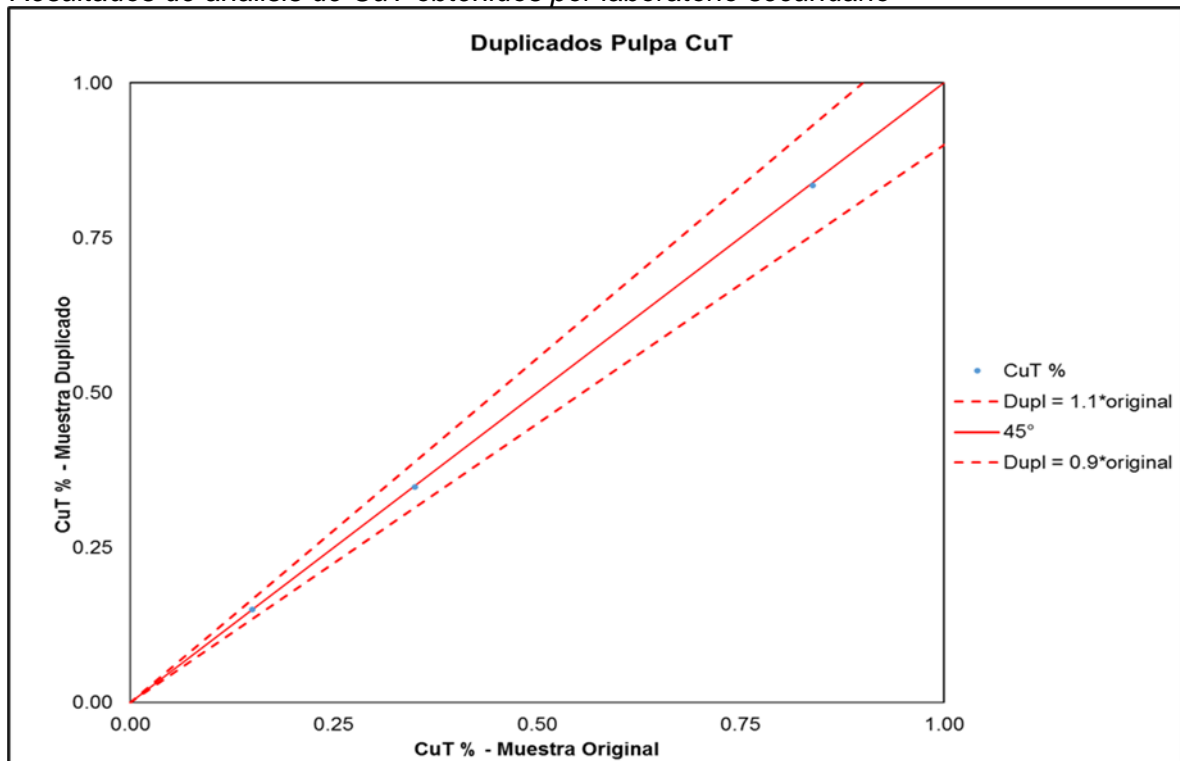
Resultados de análisis de Cu de ICP obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 38

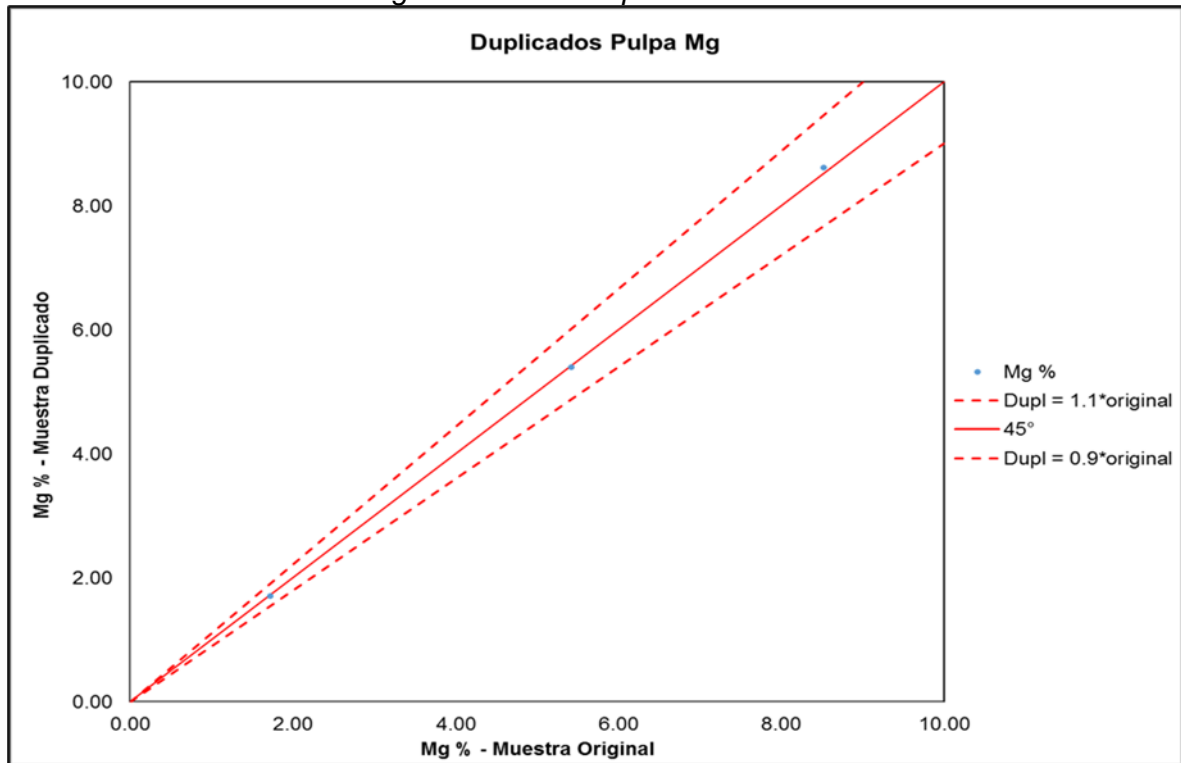
Resultados de análisis de CuT obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 39

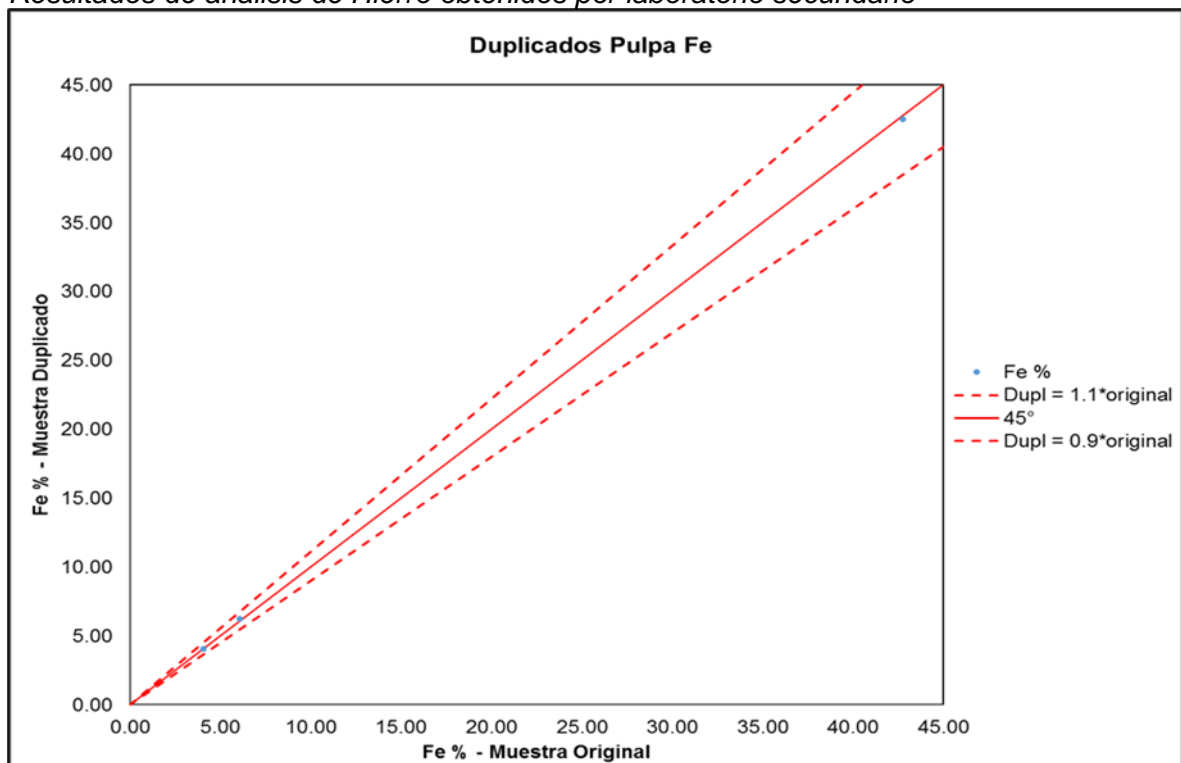
Resultados de análisis de Magnesio obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Resultados de análisis de Hierro obtenidos por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3 Exactitud de compositos. Para evaluar la exactitud de resultados de análisis de CuT de compositos obtenidos por laboratorio secundario, se realizó la inserción de 6 estándares, que representa una tasa de inserción de 5.04% respecto del total de compositos analizados.

En la Tabla 23 se muestra un resumen de los resultados obtenidos por laboratorio secundario para los MRs insertados en compositos. Los sesgos encontrados están entre +0.86% para estándar alto de CuT y 3.57% para estándar bajo de CuT, es decir, los sesgos obtenidos son buenos ya que son menores de 5%.

Tabla 23

Resultados de MRs obtenidos por laboratorio secundario

Estándar	Elemento	Valor esperado		Nº análisis	Valor obtenido		Resultados			Límites de aceptación	
		Media	Std. Dev.		Media	Std. Dev.	Sesgo %	CV (RSD)	Nº outlier	Mínimo (-3SD)	Maximo (+3SD)
CHNB-04		0.2288	0.0070	2	0.2370	0.0000	3.57	0.000	0	0.2079	0.2494
CNHM-05	CuT (%)	0.3865	0.0076	2	0.3940	0.0071	1.95	0.018	0	0.3638	0.4092
CHNA-06		0.9650	0.0240	2	0.9430	0.0085	0.86	0.009	0	0.8630	1.0070

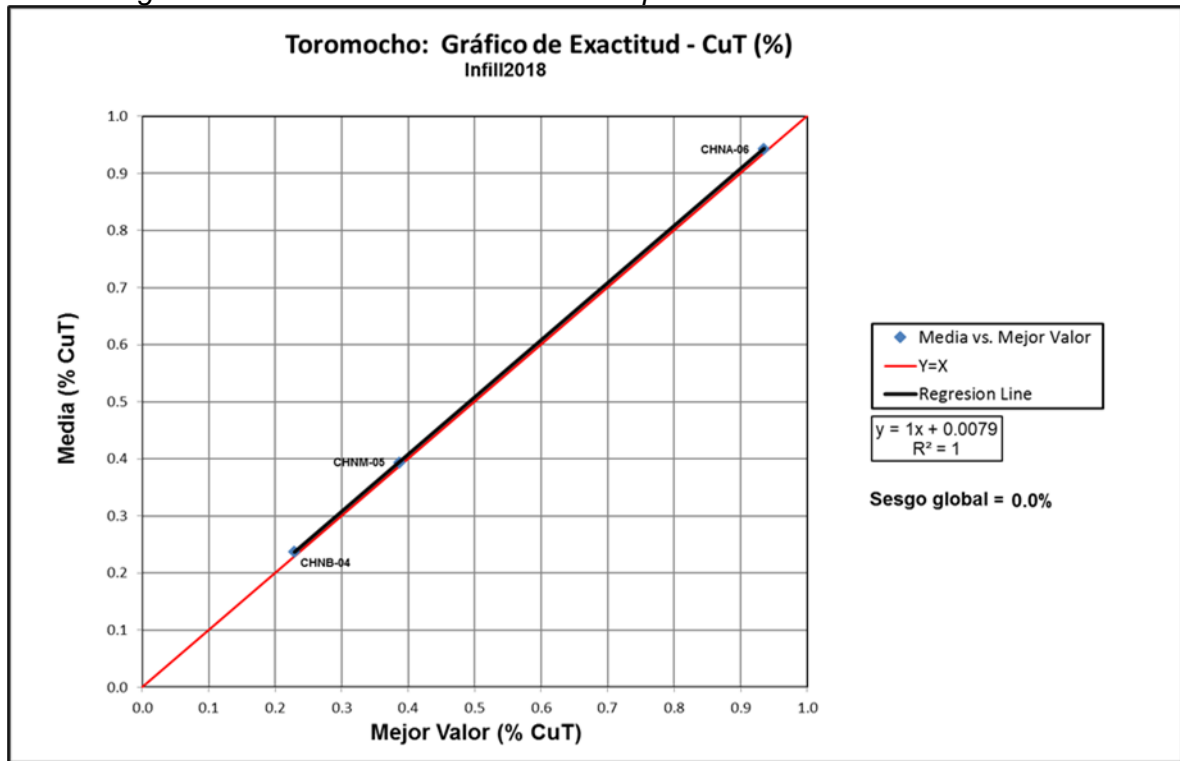
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se consideran dentro de los límites aceptables de exactitud (buena: sesgo de 0 a $\pm 5\%$; aceptable o cuestionable: sesgo de +5 a +10% o de -5% a -10%; inaceptable: sesgo superior a 10% o inferior a -10%).

Se ha realizado una gráfica de exactitud de cada uno de los estándares para CuT. De dicha gráfica se observa que la exactitud para CuT es buena, con un sesgo global de 0.0%. Para mayor detalle ver figura 41.

Figura 41

Exactitud global de estándares de CuT obtenido por laboratorio secundario

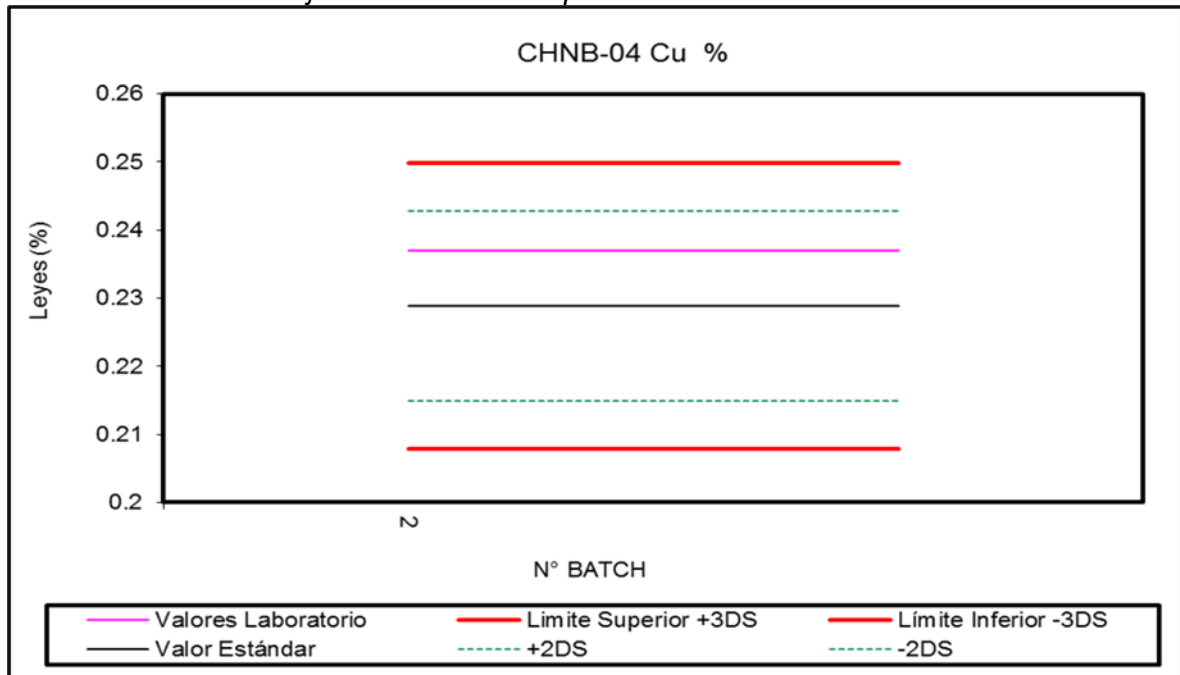


Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestran algunas gráficas de control de calidad de los materiales de referencia para CuT.

Figura 42

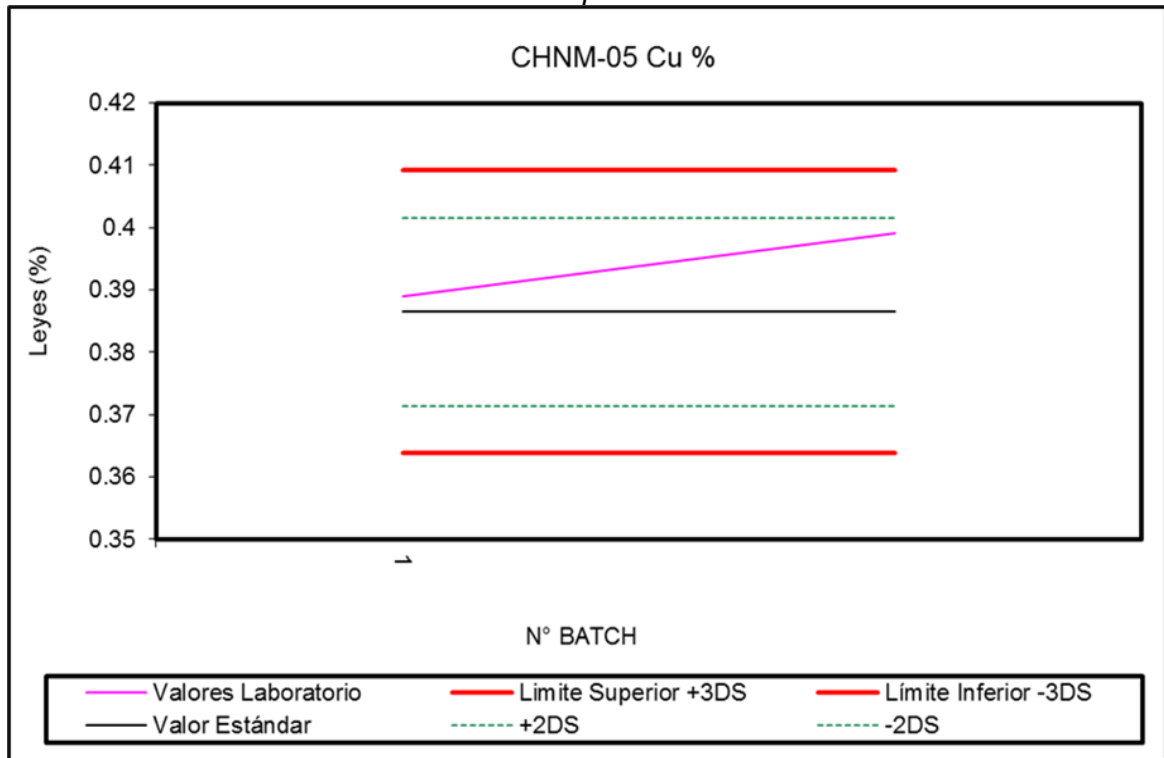
Gráfica de estándar bajo de CuT obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 43

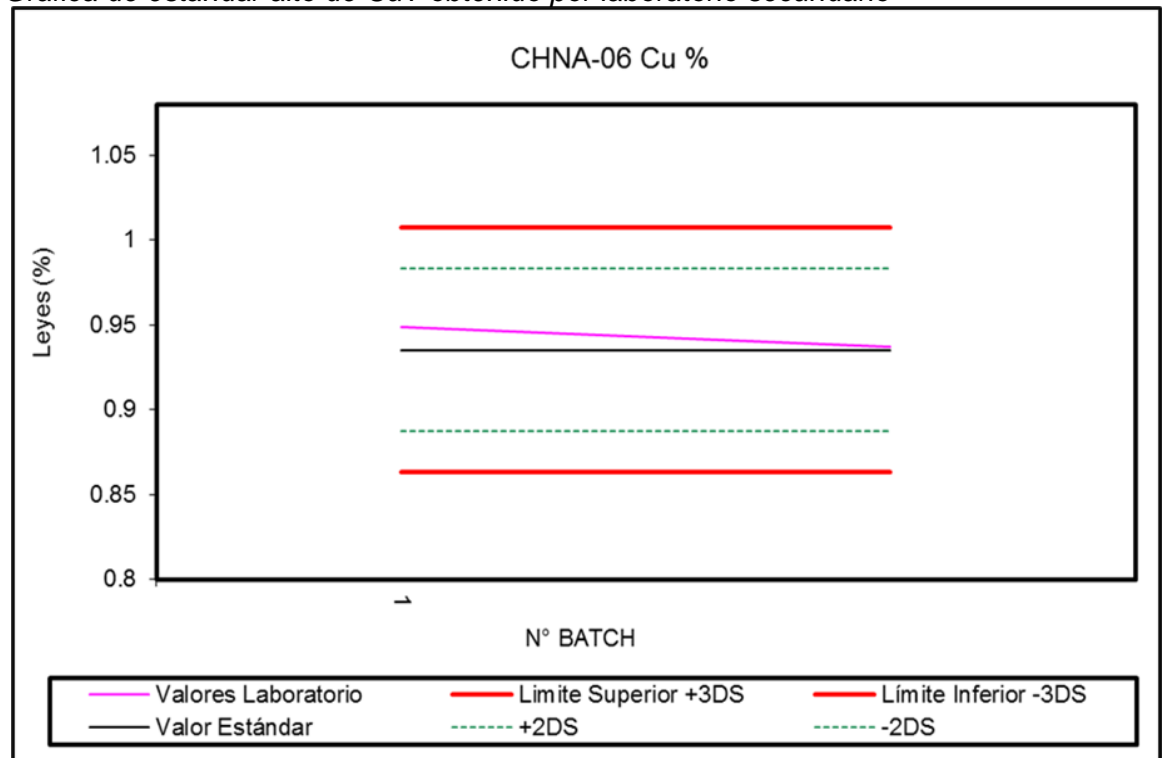
Gráfica de estándar medio de CuT obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Gráfica de estándar alto de CuT obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

3.4.2.4 Contaminación de compositos. Para evaluar el control de contaminación en resultados de análisis de compositos, obtenidos por Certimin, se realizó la inserción de 3 blancos finos (BF), que representa una tasa de inserción de 2.52% respecto del total de compositos analizados.

En la Tabla 24 se muestra un resumen de los blanco finos insertados en muestras de compositos enviados a análisis.

Tabla 24

Resumen de blanco fino de laboratorio secundario para compositos

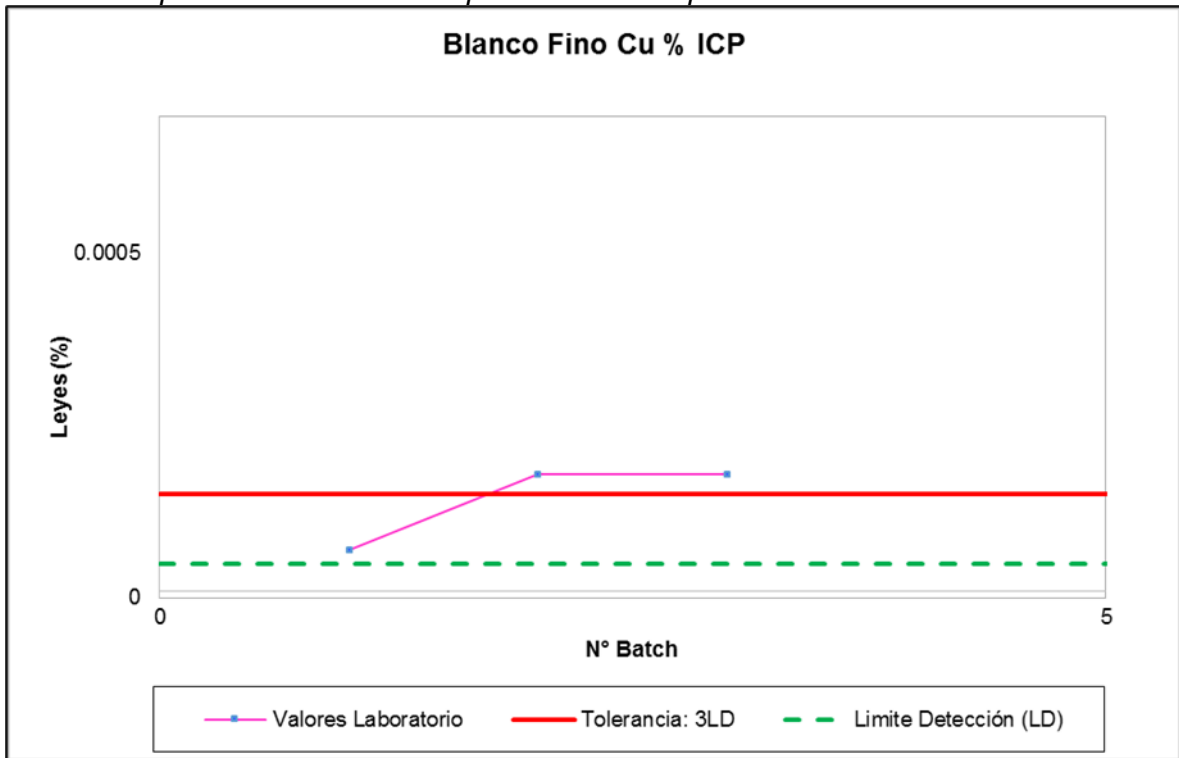
	Cu % ICP	CuT %	CuS %	CuCN %	CuRES %	F ppm	Mg %	Fe %
Limite Detección (LD)	0.00005	0.001	0.001	0.001	0.001	100	0.01	0.01
Tolerancia: 3 LD	0.00015	0.003	0.003	0.003	0.003	300	0.03	0.03
Nº análisis	3	3	3	3	3	3	3	3
Mínimo	0.00007	0.00500	0.00100	0.00100	0.00050	10.00000	0.00500	0.01000
Máximo	0.00018	0.00500	0.00100	0.00100	0.00050	26.00000	0.00500	0.04000
Media	0.00014	0.00500	0.00100	0.00100	0.00050	18.66667	0.00500	0.03000
Mediana	0.00018	0.00500	0.00100	0.00100	0.00050	20.00000	0.00500	0.04000
Nº de outlier	2	0	0	0	0	0	0	2
% fuera de tolerancia	66.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.67

Fuente: Elaboración propia

Los blancos finos están debajo de 3LD, por lo que hay un buen control de contaminación en el laboratorio. Sin embargo, merecen especial atención Cu y Fe de ICP ya que tienen porcentaje de outliers grandes, ambos tienen 2 outliers y 66.67% de fallidos. Es decir, Cu y Fe de ICP se alejan del 5% de fallidos permitidos como máximo para blancos finos. Pero tal como fue desarrollado en capítulo 3.2.2.1 – Certificación de blanco fino, de la Tabla 2, se observa que en promedio los valores de Cu fueron <0.0001% (1 ppm), sin embargo el límite de detección para Cu de ICP fue definido por Inspectorate en 0.00005% (0.5 ppm); es decir, LD de Certimin se encuentra por debajo del certificado por Target Rocks, y por tanto se aceptan los 66.67% de outliers de blanco fino para Cu de ICP. En el mismo capítulo, se observa que Fe fue certificado con media de 0.0415% por Target Rocks, pero el LD para Fe fue definido por Certimin en 0.01% y 3LD sería 0.03%; es decir, la media obtenida por Target Rocks está por encima de 3LD de Inspectorate, por tanto los valores de Fe de 66.67% de outliers en blanco fino se consideran aceptables. A continuación se muestran gráficas de control de calidad de muestras de control blanco fino

Figura 45

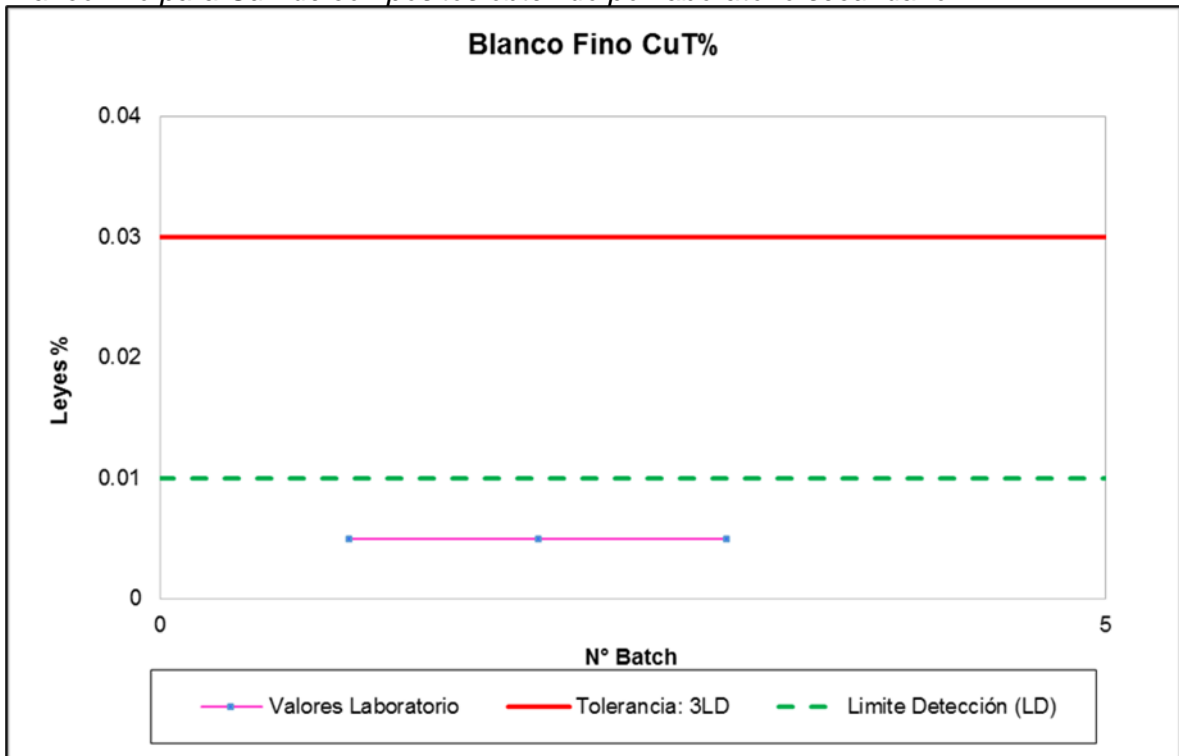
Blanco fino para Cu de ICP de compositos obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 46

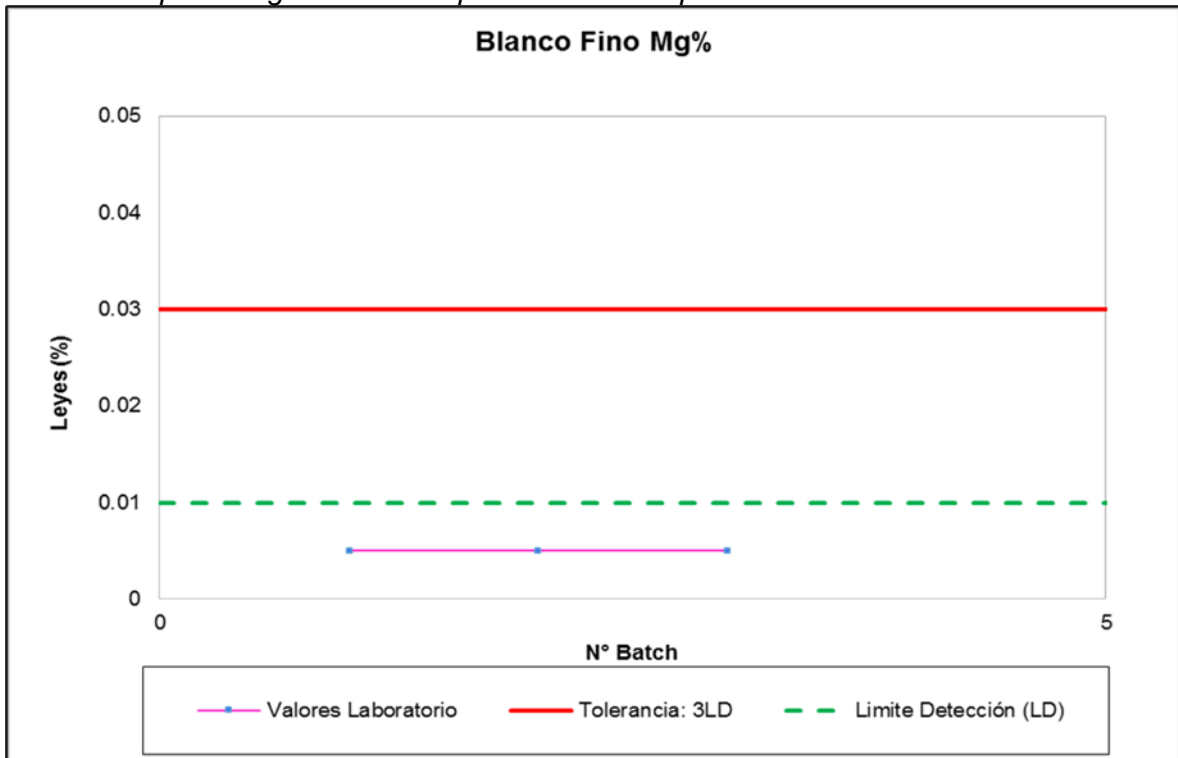
Blanco fino para CuT de compositos obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 47

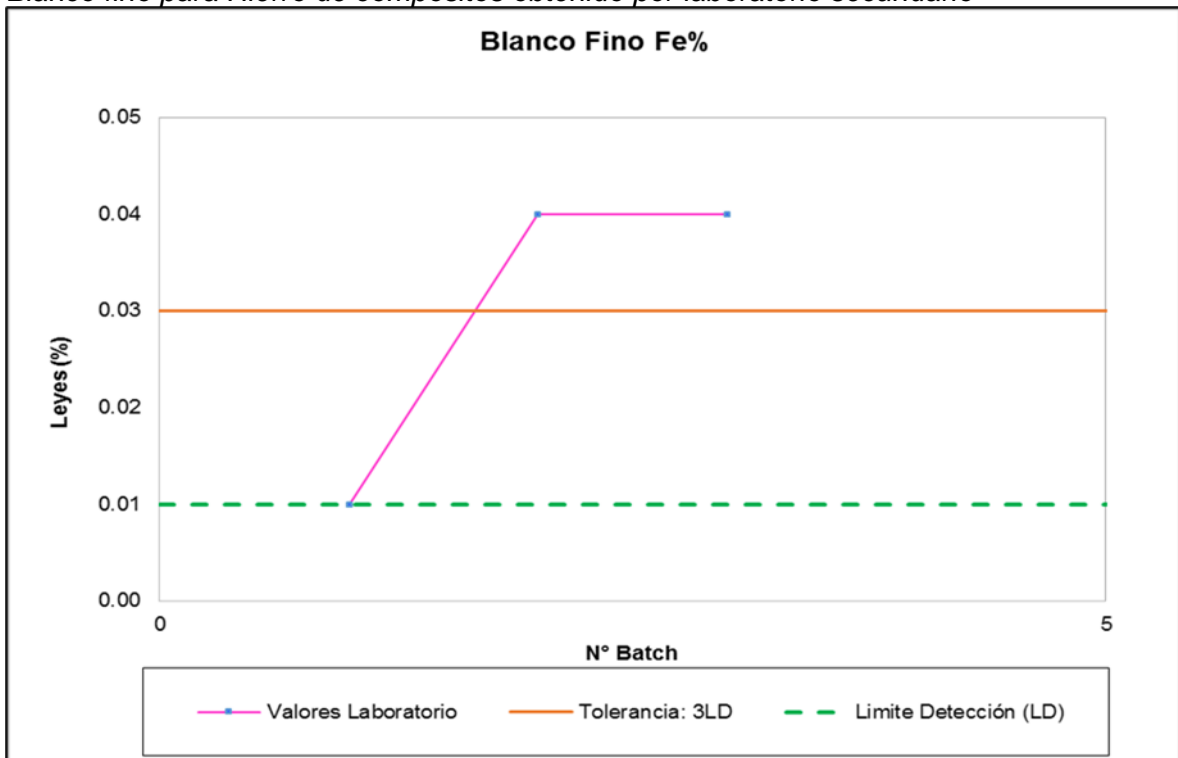
Blanco fino para Magnesio de compositos obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

Figura 48:

Blanco fino para Hierro de compositos obtenido por laboratorio secundario



Fuente: Elaboración propia

3.5 Alcances y limitaciones

¿Qué tan representativos son los 1 853 compósitos generados?

Con énfasis en el análisis de 1 853 compósitos generados a partir de muestras ordinarias. Estos compósitos abarcan la totalidad de los bancos de minado de 15 metros interceptados por los sondajes diamantinos, asegurando una representación integral del yacimiento en las áreas evaluadas.

¿Podría haber sesgos por tamaño de muestra o heterogeneidad del yacimiento?

El muestreo fue realizado siguiendo protocolos internacionales estandarizados, como los propuestos por Armando Simón, los cuales buscan minimizar los errores sistemáticos y asegurar la reproducibilidad de los resultados. Asimismo, para abordar el desafío que representa la heterogeneidad litológica del yacimiento, se elaboró el nomograma de Pierre Gy específico para el proyecto INFILL. Lo que permitió validar que las condiciones de muestreo se ubicaron dentro de la zona segura, reduciendo el riesgo de sesgo asociado al tamaño de muestra y a la variabilidad del material. Para más detalle ver anexo 9.

¿Cuál es el impacto de posibles variaciones en la calibración de equipos entre laboratorios?

En cuanto a las posibles variaciones derivadas de la calibración de equipos entre los distintos laboratorios intervinientes, estas han sido consideradas dentro del diseño del sistema QA/QC. El comportamiento de los materiales de referencia certificados (estándares), duplicados y blancos demostró que los laboratorios operaron dentro de márgenes aceptables de precisión y exactitud. Por tanto, se espera que las incertidumbres propias de la calibración se hayan compensado mutuamente, sin impactar significativamente en los resultados globales del proyecto.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

Habiéndose detallado los procedimientos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) aplicados en la validación de muestras del proyecto INFILL, en el siguiente capítulo se presentan los resultados del control de calidad interlaboratorio de composites, comparando el desempeño analítico entre el laboratorio primario y el laboratorio secundario.

4.1 QC inter laboratorio de composites (laboratorio primario y secundario)

Las 107 muestras de composites enviadas a análisis de verificación en lab. secundario (119 incluyendo controles), fueron comparadas con sus valores originales obtenidos por el lab. primario.

Para comparar los valores obtenidos para la misma muestra, tanto por lab. primario como por secundario, se realizó el método RMA. Se eligió este método ya que es ampliamente recomendado en la actualidad, entre ellos los investigadores A. Simón y F. Pitard, además permite un análisis insesgado entre los valores obtenidos por el laboratorio primario (original) y el laboratorio secundario (duplicados de control). El intervalo de confianza empleado fue de 95%, con alfa de 5% que es nivel de significancia.

En la Tabla 25 se muestra un resumen de los resultados obtenidos por método RMA. Se observa que para Cu ICP, CuT, Mg, y Fe la Media de los valores obtenido por laboratorio secundario se encuentra dentro de Media $\pm 5\%$ obtenidos por laboratorio primario para los composites enviados a análisis de verificación. También se observa que el sesgo en todos los casos es menor de 5%, entre -0.28% para CuT y -3.29% para Mg, valores que indican un sesgo bueno.

Sin embargo, analizando los composites como duplicados de pulpa, considerando como original los resultados del lab. primario y duplicado los resultados de lab. secundario, se observa que se cumple para todos $TE < 10\%$ con $ER < 0.1$, excepto para Mg que tiene $TE = 15.89\%$. Esto es debido a la variabilidad y dispersión de los valores (SD relativamente elevados) causado por la alta movilidad de Mg.

Por tanto, se aprueba los resultados de RMA de primario vs secundario, en pocas palabras, se comprueba que el laboratorio primario tiene buena exactitud analítica.

Tabla 25

Resultados obtenidos por RMA de compositos entre laboratorio primario y secundario

Elemento	Laboratorio primario			Laboratorio secundario		Sesgo	N° outliers (ER>0.1)	% outliers (ER>0.1)
	Media	5% Media	Media $\pm 5\%$	Media	Media dentro de Media $\pm 5\%$ de lab. primario			
Cu ICP	0.419	0.0209	0.398 – 0.44	0.428	Cumple	-0.62	1	0.93
CuT	0.463	0.0232	0.44 – 0.486	0.463	Cumple	-0.28	1	0.93
Mg	3.917	0.1959	3.722 – 4.113	4.063	Cumple	-3.29	17	15.89
Fe	8.070	0.4035	7.666 – 8.473	8.196	Cumple	1.88	8	7.48
N° pares comparados			107					

Fuente: Elaboración propia

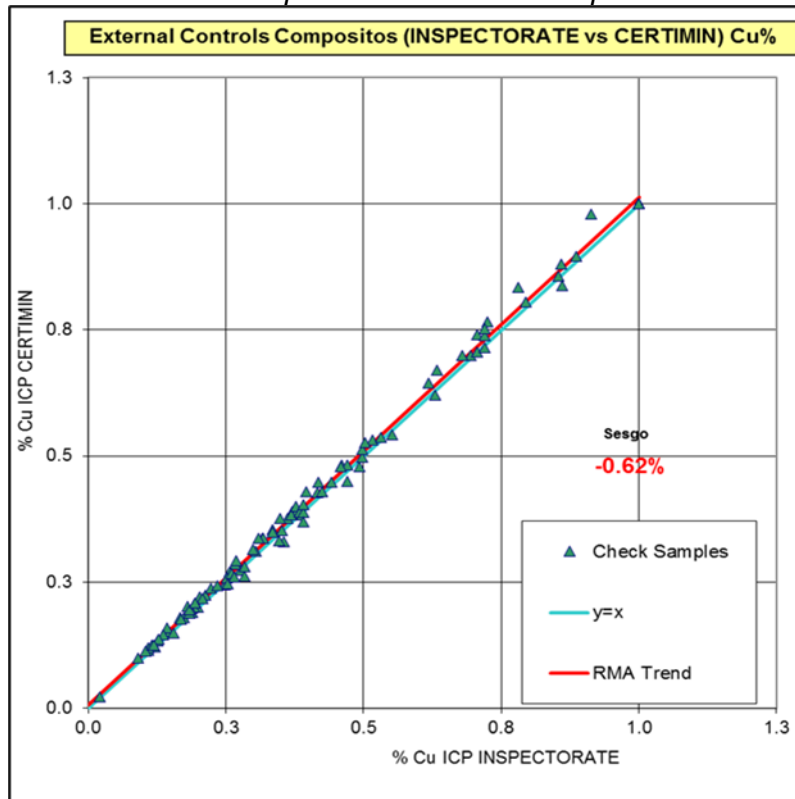
4.1.1 RMA de compositos

De los resultados obtenidos por método RMA, se concluye que lab. primario ha tenido buena exactitud analítica durante el análisis de muestras compositos de la campaña del proyecto INFILL. Con las medias de los compositos enviados a análisis de verificación dentro de Media $\pm 5\%$ del laboratorio primario, y sesgo entre -0.28% para CuT y -3.29% para Mg, que son sesgos buenos. Tratando los compositos como duplicados de pulpa, se cumple para todos $TE < 10\%$ para $ER < 0.1$, la excepción es Mg con $TE = 15.89\%$ (17 outliers) debido a su variabilidad reflejado en la moderada dispersión de los datos y desviación estándar (SD).

A continuación se muestra las gráficas obtenidas por método RMA, donde en el eje Y se encuentran los valores de lab. Secundario, y en el eje X los valores de lab. Primario.

Figura 49

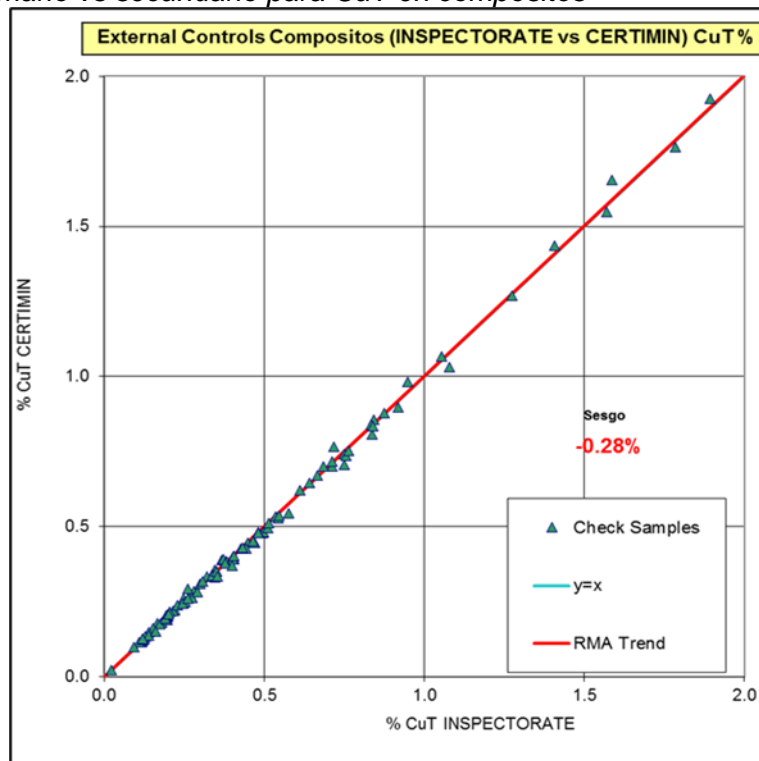
Laboratorio primario vs secundario para Cu de ICP en compositos



Fuente: Elaboración propia

Figura 50

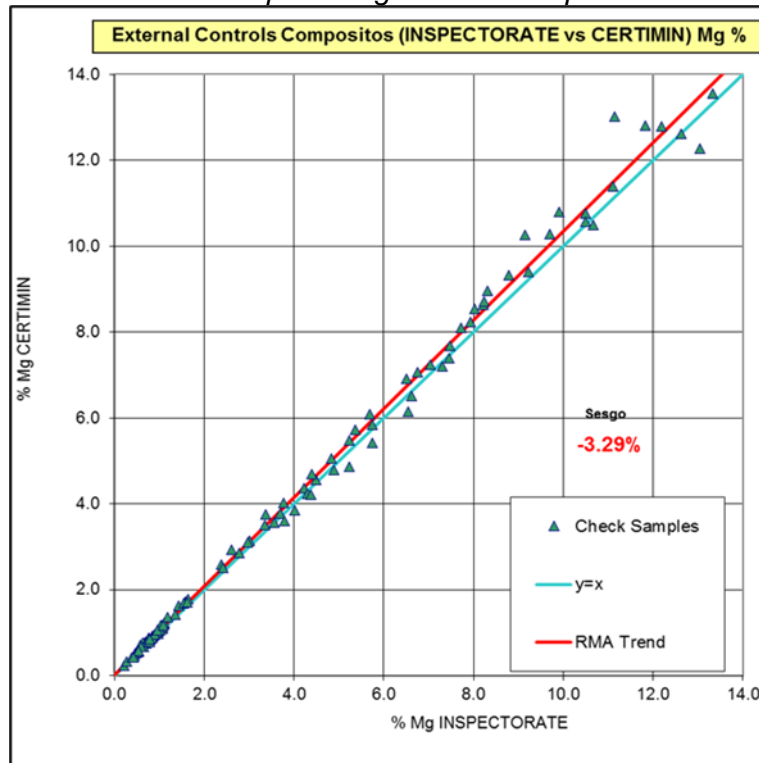
Laboratorio primario vs secundario para CuT en compositos



Fuente: Elaboración propia

Figura 51

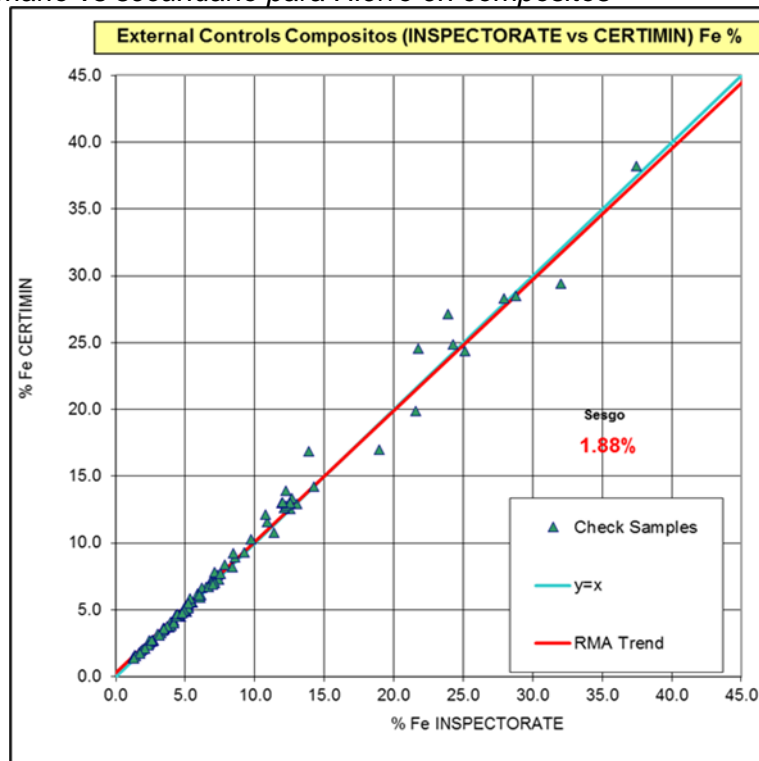
Laboratorio primario vs secundario para Magnesio en compositos



Fuente: Elaboración propia

Figura 52

Laboratorio primario vs secundario para Hierro en compositos



Fuente: Elaboración propia

4.2 QC inter laboratorio de compositos (laboratorio terciario)

Adicionalmente, los 107 compositos enviados a laboratorio secundario, fueron nuevamente enviados a un tercer laboratorio (arbitral). El laboratorio arbitral contratado cuantificó Mg por método de absorción atómica, y reportó valores de %MgO, por lo cual los valores de %Mg de lab. Primario y Secundario fueron convertidos a %MgO, para ello se multiplicó por el factor 1.657.

A continuación, en la Tabla 26, se muestra un resumen de los resultados obtenidos al comparar valores de lab. Primario vs Secundario, lab. Primario vs terciario, y lab. Secundario vs terciario.

Tabla 26

Resultados de MgO obtenido comparando entre laboratorios

Elemento	Laboratorio primario			Laboratorio secundario		Sesgo	N° outliers (ER>0.1)	% outliers (ER>0.1)
	Media	5% Media	Media ±5%	Media	Media dentro de Media ±5% de lab. primario			
MgO	6.491	0.3246	6.167 – 6.816	6.733	Cumple	-3.29	17	15.89
N° pares comparados			107					

Elemento	Laboratorio primario			Laboratorio terciario		Sesgo	N° outliers (ER>0.1)	% outliers (ER>0.1)
	Media	5% Media	Media ±5%	Media	Media dentro de Media ±5% de lab. primario			
MgO	6.491	0.3246	6.167 – 6.816	6.966	No cumple	-8.29	44	41.12
N° pares comparados			107					

Elemento	Laboratorio secundario			Laboratorio terciario		Sesgo	N° outliers (ER>0.1)	% outliers (ER>0.1)
	Media	5% Media	Media ±5%	Media	Media dentro de Media ±5% de lab. secundario			
MgO	6.733	0.3366	6.396 – 7.069	6.966	Cumple	-4.85	7	6.54
N° pares comparados			107					

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se observa buena correlación entre lab. Primario vs Secundario y lab. Secundario vs Terciario; sin embargo se observa pobre correlación entre lab. Primario y Terciario, esto se debe a que se cumple la siguiente regla:

$$\%MgO (\text{lab. Primario}) < \%MgO (\text{lab. Secundario}) < \%MgO (\text{lab. Terciario})$$

Los sesgos se encuentran entre -3.29% de lab. Primario vs Secundario, y -8.29% de lab. Primario vs Terciario. Es decir, los sesgos son aceptables.

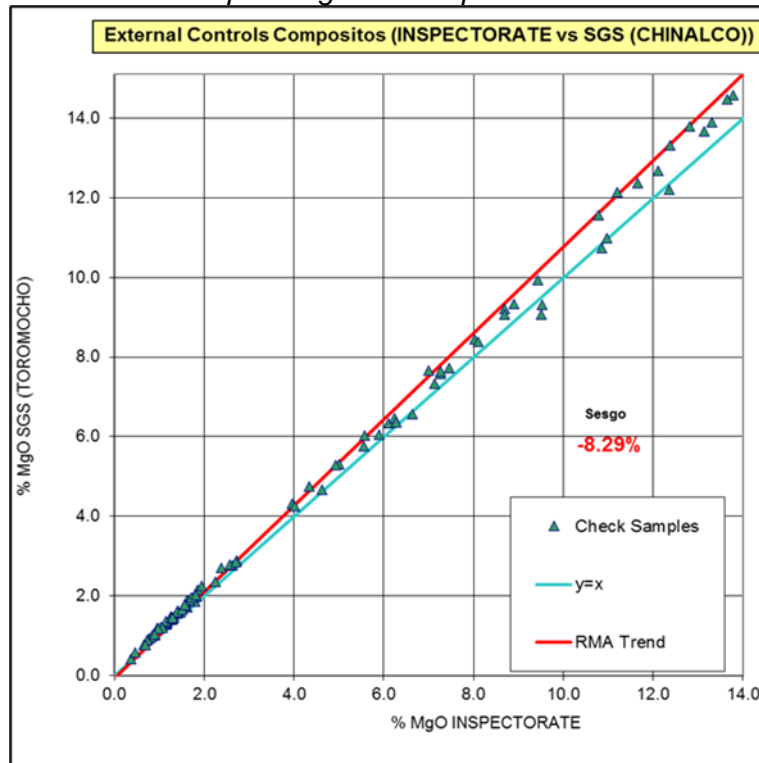
Media de %MgO de lab. Secundario se encuentra dentro de Media $\pm 5\%$ de lab. Primario, y también media de %MgO de lab. Terciario se encuentra dentro de Media $\pm 5\%$ de lab. Secundario, sin embargo media de %MgO de lab. Terciario se encuentra fuera de Media $\pm 5\%$ de lab. Primario.

Adicionalmente se observa que la condición de $TE < 10\%$ para $ER < 10\%$ sólo se cumple para lab. Secundario vs Terciario, no se cumple para lab. Primario vs Secundario (explicado anteriormente) y para lab. Primario vs Terciario. Especial atención merece lab. Primario vs Terciario, ya que el número de outliers es 44 ($TE = 41.12\%$), la cual es una TE de fallidos excepcionalmente elevado.

De los párrafos anteriores, se concluye que, en resultados de %MgO la mejor exactitud analítica la tiene el lab. Secundario, cuyos valores se encuentran en medio de %MgO de lab. Primario y %MgO de lab. Terciario. Los valores de %MgO de lab. Primario y del lab. Terciario se encuentran alejados, motivo por el cual no hay buena correlación entre ambos laboratorios, con media del lab. Terciario alejado de media $\pm 5\%$ de lab. Primario, por tanto se concluye que exactitud analítica de lab. Primario en %MgO disminuye ligeramente. Para mayor detalle, ver a continuación las figuras 53 y 54.

Figura 53

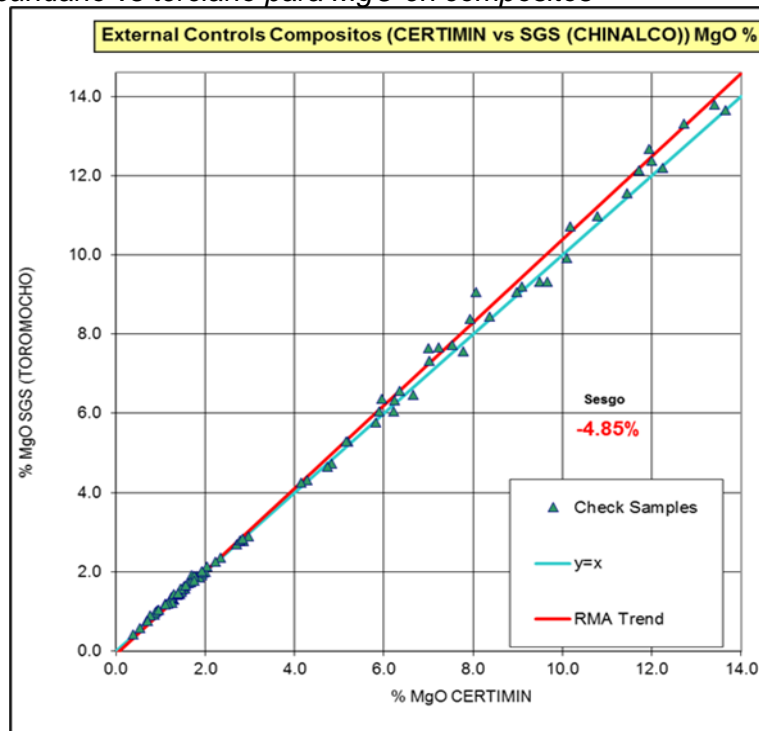
Laboratorio primario vs terciario para MgO en compositos



Fuente: Elaboración propia

Figura 54

Laboratorio secundario vs terciario para MgO en compositos



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La implementación del sistema QA/QC permitió establecer un control riguroso sobre los procesos de muestreo, preparación, análisis y validación de los datos geoquímicos del proyecto INFILL. Esto aseguró que los resultados analíticos sean representativos, precisos y confiables.

Los duplicados insertados en los batch de compositos permitieron concluir que el laboratorio primario ha mantenido una buena precisión analítica, reflejando consistencia en los resultados obtenidos.

Los estándares insertados en dichos batch evidencian que el laboratorio primario ha demostrado buena exactitud analítica, validando la confiabilidad de sus procedimientos analíticos.

Los blancos utilizados en los batch de compositos indican que el laboratorio primario ha mantenido un adecuado control de contaminación, garantizando la limpieza y trazabilidad durante el proceso.

En el caso del laboratorio secundario, los duplicados insertados también reflejan buena precisión analítica, sustentando la repetibilidad de los resultados.

Los estándares insertados para el laboratorio secundario confirman una alta exactitud analítica, con sesgos dentro de rangos aceptables, lo cual refuerza su fiabilidad.

Asimismo, los blancos utilizados en el laboratorio secundario muestran que se ha ejercido un buen control de contaminación, sin interferencias significativas en los análisis.

Los análisis de verificación de compositos, realizados por el laboratorio secundario y evaluados mediante el método RMA, permitieron validar que el laboratorio primario ha sostenido una exactitud analítica confiable durante el tratamiento de los compositos.

En cuanto a los ensayos interlaboratorio de MgO, realizados entre los laboratorios primario, secundario y terciario, se concluye que el laboratorio secundario presentó la mejor exactitud analítica, destacándose sobre los demás.

Las gráficas CuT vs CuSum evidencian que el laboratorio primario ejecutó de forma adecuada los procesos de lixiviación con H_2SO_4 al 10% y NaCN al 5%, así como el tratamiento del Cu residual mediante digestión con agua regia (HCl , HNO_3 , $HClO_4$ y HF), logrando una recuperación completa del cobre contenido en los compositos.

A partir de las gráficas CuT vs Cu ponderado, se confirma que el laboratorio primario alcanzó buena exactitud en los análisis de cobre total, reforzando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Las gráficas CuT vs Cu ICP respaldan que el laboratorio primario mantuvo una alta exactitud analítica en los ensayos por espectrometría ICP, asegurando la validez del modelo geoquímico generado.

En futuros proyectos INFILL, ante la presencia de alta heterogeneidad en el yacimiento, incrementar la proporción de duplicados de pulpa (duplicados finos) a un rango del 10 al 15% permite fortalecer la evaluación de la precisión analítica y mejorar la confiabilidad de los resultados geoquímicos.

Los resultados de ensayos geoquímicos han sido comparados con el logueo geológico, y se ha observado el comportamiento esperado de los analitos ensayados para las alteraciones skarn de serpentina, skarn de magnetita masiva, skarn de actinolita tremolita, hornfels, intrusivos con alteración potásica, e intrusivos con alteración fílica. Observando que, en promedio, los mayores valores de Cu (>0.40%) se encuentran en los skarn, pero a su vez también presentan mayores contenidos de contaminantes como F, FE y MgO; y valores menores de Cu (<0.50%) se encuentra en los intrusivos, pero que a su vez son más libres de contaminantes.

El desempeño de calidad de los laboratorios primario y secundario se encuentran dentro de los rangos esperados, esto principalmente debido a que los dos laboratorios fueron seleccionados luego de hacer un ranking de entre los laboratorios participantes del "round robin" o ronda interlaboratorio, que fue realizado durante el proceso de certificación de estándares (MRC) utilizados en el proyecto. En dicho ranking, tanto el laboratorio primario como secundario quedaron entre los primeros 4 lugares en precisión y exactitud

(veracidad), de un total de 7 laboratorios participantes, esto por recomendación de Scot Long (2003).

A partir de lo mencionado anteriormente, detallamos el resumen de muestras de control del programa QA/QC:

Tabla 27

Resumen de Muestras de Control de Programa QA/QC

Taza de inserción muestras ordinarias		
Control	%	
Estándares (MRC)	4.7%	
Duplicado de campo	2.3%	
Duplicado de grueso rechazo	2.3%	
Duplicado de pulpa	2.3%	
Blanco grueso	2.3%	
Blanco fino	2.3%	
Muestras de verificación	5.0%	
Total	21.3%	

Taza de inserción muestras composito		
Control	%	
Estándares (MRC)	7.8%	
Duplicado de pulpa	5.2%	
Blanco fino	2.6%	
Muestras de verificación	5.0%	
Total	20.5%	

Muestras Infil 2018		Total muestras
Muestras Mina	Muestras Preparadas en Laboratorio	19494
	Estandar Alto	364
	Estandar Medio	376
Muestra de Control Insertadas en Laboratorio	Estandar Bajo	289
	Blanco Fino	510
	Duplicado de Pulpa	513
	Duplicado de Rechazo	513
Muestras Analizadas	Total de Muestras enviadas para Analisis Químico	22059

Item	Parcial	Total
Total metros compositados y analizados	27512.20	27512.20
Total compositos preparados	1853	2141
Total blancos finos insertados	48	
Total duplicados de pulpa insertados	96	
Total estándares insertados	144	

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones

Continuar aplicando el sistema QA/QC con la misma rigurosidad implementada durante la campaña INFILL, asegurando su actualización periódica conforme a estándares internacionales y nuevas metodologías analíticas.

Continuar con los ensayos interlaboratorio de elementos clave como MgO y Cu, promoviendo una cultura de mejora continua entre laboratorios y permitiendo una verificación externa de los procedimientos.

Verificar periódicamente la estabilidad y certificación de los materiales de referencia (MRs), especialmente aquellos clasificados como provisionales, para garantizar su representatividad en los controles de calidad.

Asegurar la correcta conservación y trazabilidad de las pulpas de respaldo, tanto para el laboratorio primario como para el secundario, a fin de facilitar reanálisis en caso de auditorías, reclamos o controles adicionales.

Estandarizar un protocolo de entrenamiento para el personal involucrado en el muestreo de campo, a fin de asegurar la aplicación uniforme de los procedimientos y garantizar la consistencia y representatividad de las muestras recolectadas a lo largo del proyecto.

Referencias bibliográficas

- Argota, H. y Fernández, Á. (2012). *Evaluación de la precisión intralaboratorio para la determinación simultánea de ocho elementos en muestras geológicas aplicando la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado*.
- Argüello, M. y Romero, P. (2020). *Errores críticos en la interpretación de datos de control de calidad en minería*. Revista de Geometalurgia Aplicada, 12(1), 23–34.
- Canchaya, F. (2020). *Taller de campo de muestreo y QA/QC*. Sampling OK SAC. Lima.
- Carrasco, O. (2010). *Control y aseguramiento de la calidad de los procesos de muestreo en minería*. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile.
- Carrasco, R., & González, J. (2014). *Fundamentos del aseguramiento y control de calidad en exploración minera*. Editorial Técnica Minera.
- Ccama, J. (2017). *Aplicación del QA/QC en el proceso geológico, para validar la estimación de recursos y reservas, de la unidad operativa Chungar*.
- Chariarse, C. (2013). *Metodología de control de calidad en la producción de Au, aplicado en minería a tajo abierto Mina La Arena*.
- Currie, L. (1995). *Nomenclature in evaluation of analytical methods including detection and quantification capabilities*. Pure and Applied Chemistry, 67(10), 1699–1723.
- Dominy, S., Noppe, M. y Annels, A. (2002). *Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation: The importance of getting it right*. Exploration and Mining Geology.
- Garay, R. (2013). *QA/QC del muestreo de sondajes diamantinos de la campaña 2012 – Proyecto Palma*.
- Gómez, L. y Salas, M. (2018). *Estadística aplicada al aseguramiento de la calidad de datos geoquímicos*.
- Gómez, R. (2019). *Buenas prácticas en QA/QC y su impacto en la estimación de recursos minerales*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Guerrero, J. (2015). *Aplicación del programa de aseguramiento y control de calidad (QA&QC) en el muestreo geológico de la mina subterránea Raura S.A.*
- Gy, P. (1982). *Sampling of Particulate Materials: Theory and Practice*. Elsevier.
- Horwitz, W. y Albert, R. (1997). *The Horwitz ratio (HorRat): A useful index of method performance with respect to precision*. Journal of AOAC International, 80(5).
- JORC. (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code)*. Joint Ore Reserves Committee.
- Long, T. (2003). *Sampling Quality Control in Mining: Theory and Practice*. Society of Economic Geologists Short Course.
- Navarro, A. y Ortega, D. (2016). *Gestión de la calidad en proyectos geológicos y mineros*. Revista Minería y Desarrollo, 8(2), 45–58.
- NI 43-101. (2011). *Standards of Disclosure for Mineral Projects*. Canadian Securities Administrators.
- Ortiz, C. (2019). *Análisis del QA/QC en la etapa 15 de la unidad minera San Julián, municipio Guadalupe y Clavo, estado de Chihuahua*.
- Pérez, C. y López, D. (2017). *Control de calidad y validación de datos en estimaciones geoestadísticas*. Boletín Científico de Minería, 10(3), 78–89.
- Pitard, F. (1993). *Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice: Heterogeneity, Sampling Correctness, and Statistical Process Control*. CRC Press.
- Rojas, R. (2019). *Implementación de programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) para el muestreo de detritos en depósitos tipo pórfido de cobre*.
- Simón, H. (2013). *Control de calidad de muestreo en minería: exactitud, precisión y representatividad*. Revista Minería y Geología, 29(3), 15–22.
- Soto, F. (2009). *Estudio estadístico para la validación del muestreo geoquímico en perforaciones de producción, mina aurífera Arenal, Minas de Corrales, Rivera, Uruguay*.
- Stedman, A., Yunis, J. y Aliakbari, E. (2020). *Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies 2019*. Fraser Institute.

- Taylor, J. (1987). *Quality Assurance of Chemical Measurements*. Lewis Publishers.
- Thompson, M. y Ellison, S. (2000). *Quality assurance and quality control in analytical chemistry*. *Pure and Applied Chemistry*, 72(9), 1653–1660.
- Thompson, M., Ellison, S. y Wood, R. (2002). *Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis*. *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 835–855.
- Urtubia, R. (2020). *Implementación y optimización de actividades de geología de producción, control de calidad mineral en el corto plazo, mina San Antonio, división El Salvador Codelco, región de Atacama, Chile*.
- Zeballos, J. (2019). *Aseguramiento y control de la calidad del muestreo de blastholes y análisis químico del laboratorio primario, mina Constancia – Fase de minado 1 Banco 4260*.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Resumen comparativo de trabajos del laboratorio primario, proyectado (contratado inicial más adenda) vs ejecutado.....	1
Anexo 2: Resumen comparativo de trabajos del laboratorio secundario, proyectado vs ejecutado.....	2
Anexo 3: Detalle del batch 512 de 36 muestras originales (sin ningún tipo de control)	3
Anexo 4: Detalle del batch 512 de 38 muestras (con dos controles insertados en campo) tomado como base para muestreo en mina.....	4
Anexo 5: Detalle del batch 512 de 43 muestras para laboratorio Lima, incluyendo las 5 muestras de control insertados en Lima y enviado a análisis	5
Anexo 6: Detalle del batch 47 de 45 muestras de compositos para análisis	6
Anexo 7: Detalle del batch 28 de 43 muestras ordinarias para análisis de verificación en laboratorio secundario	7
Anexo 8: Detalle del batch 2 de 43 muestras compositos para análisis de verificación en laboratorio secundario	8
Anexo 9: Nomograma Gy del proyecto INFILL.....	9

Anexo 1: Resumen comparativo de trabajos del laboratorio primario, proyectado (contratado inicial más adenda) vs ejecutado

Item	Servicio	Específico	Descripción	Rango	Unidad	Cantidad Proyectada	Cantidad Ejecutada	
1	Preparación de muestras ordinarias	Preparación	Preparación de rocas, secado hasta 100°, chancado 90% malla 1/4", cuarteo y chancado controlado a 100% malla N° 10 ASTM, homogenizado y cuarteado a 1Kg y pulverizado a 85% malla #200. Obtención de 4 pulpas de 250g.	Hasta 12 Kg	Muestra	20000	19494	
			Digestión	Multiácida -AAS (digestión en 4 ácidos)	-	Muestra	22200	22059
	Análisis por Absorción Atómica muestras ordinarias		Cu	Multiácida -AAS	0.001-2.5%	Muestra	22200	22059
			Ag	Multiácida -AAS	0.3-100 g/ton	Muestra	22200	22059
			Mo	Multiácida -AAS	0.0005-1%	Muestra	22200	22059
			As	Multiácida -AAS	0.001-2.5%	Muestra	22200	22059
Zn	Multiácida -AAS	0.001-2.5%	Muestra	22200	22059			
2	Preparación de Compositos, análisis de Cu Secuencial, ICP OES& MS, y flúor por Ión Selectivo	Preparación	Compositos de pulpas hasta 10 muestras.	Hasta 2.5 Kg	Muestra	2000	1853	
		Análisis Cu Secuencial	Cu Total	-	Muestra	2500	2141	
			Cu Soluble en 5% H2SO4	-	Muestra	2500	2141	
			Cu Soluble en 10% NaCN	-	Muestra	2500	2141	
		Cu Residual	-	Muestra	2500	2141		
		Análisis por Ión Selectivo	Análisis de Fluor	-	Muestra	2500	2141	
Análisis Multielemental	Digestión multiácida e ICP OES &MS (35 elementos), ejecutado 47 elementos.	Según req. Cliente	Muestra	2500	2141			
3	Análisis sobre límites (muestras ordinarias Cu-Ag-Mo-As-Zn, y compositos Fe-Mg-S)	Cu	Multiácida -AAS	>2.5%	Muestra	80	179	
		Ag	Multiácida -AAS	>100g/ton	Muestra	80	94	
		Mo	Multiácida -AAS (adicional)	>1%	Muestra	0	1	
		As	Multiácida -AAS	>2.5%	Muestra	80	13	
		Zn	Multiácida -AAS	>2.5%	Muestra	80	243	
		Fe	Multiácida -AAS	>15%	Muestra	80	187	
		Mg	Multiácida -AAS	>15%	Muestra	80	16	
		S	Multiácida -AAS	>10%	Muestra	80	177	
4	Pruebas de gravedad específica - parafina	Gravedad específica	Sólidos por parafina - Método hidrostático	-	Muestra	2000	1038	
ADICIONALES	Preparación duplicado grueso (rechazos)	Preparación	Preparación de duplicado grueso, rechazo de malla 1/4"	-	Muestra	0	1026	
	Desparafinado muestras de densidad	Desparafinado	Quitado de parafina de muestras de densidad, luego del análisis.	-	Muestra	0	1038	
	Reanálisis 1 elemento	Cu	Análisis sobrelímite sólo por Cu.	-	Muestra	0	12	
	Reanálisis 5 elementos	Cu, Ag, Mo, As, Zn	Reanálisis por errores observados en los estándares insertados (no inc. batch 031).	-	Muestra	0	50	
	Almacenaje	Almacenaje	Por ambiente prestado para inserción de muestras de control en laboratorio.	-	Muestra	0	3102	
5	Embalaje y carguío en plataforma, para la devolución de muestras en general (Rechazos, pulpas y/o otros). Considerar mas de 1 viaje. La plataforma y los traslados son por cuenta de MCP.				Viaje	4	6	

Anexo 2: Resumen comparativo de trabajos del laboratorio secundario, proyectado vs ejecutado

Item	Servicio	Específico	Descripción	Rango	Unidad	Cantidad Proyectada	Cantidad Ejecutada	
1	Se entregara sobres de pulpa de 250 gr							
	Análisis por Absorción Atómica	Digestion	multiácida - AAS digestión 4 ácidos	-	muestra	1220	1219	
		Cu	multiácida - AAS	0.001 - 2.5%	muestra	1220	1219	
		Ag	multiácida - AAS	0.3 - 100g/ton	muestra	1220	1219	
		Mo	multiácida - AAS	0.0005 - 1%	muestra	1220	1219	
		As	multiácida - AAS	0.001 - 2.5%	muestra	1220	1219	
Zn	multiácida - AAS	0.001- 2.5%	muestra	1220	1219			
2	Se entregara sobres de compositos de pulpa de 750 gr los cuales deberan partir en un sobre de 250 para los analisis y deberan devolvemos sobres de 500 gr							
	Análisis por ICPOES &MS Análisis Cu Secuencial		Fluor			110	119	
		Multielemental	Multiácida ICPOES & MS (35 elementos)	-	muestra	110	119	
		Análisis Cu Secuencial	Cu Total		-	muestra	110	119
			Cu soluble en 5% H2SO4		-	muestra	110	119
			Cu soluble en 10% NaCN		-	muestra	110	119
Cu Residual		-	muestra	110	119			
3	Análisis Sobre límites (muestras ordinarias)	DIGESTIÓN	multiácida - AAS digestión 4 ácidos	-	muestra	0	20	
		Cu	multiácida - AAS	>2.5%	muestra	50	3	
		Ag	multiácida - AAS	>100g/Ton	muestra	50	3	
		As	multiácida - AAS	>2.5%	muestra	50	0	
		Zn	multiácida - AAS	>2.5%	muestra	50	16	
	Análisis Sobre límites (muestras compositos)	DIGESTIÓN	multiácida - AAS digestión 4 ácidos	-	muestra	0	21	
		Fe	multiácida - AAS	>15%	muestra	50	13	
		Mg	multiácida - AAS	>15%	muestra	50	0	
		S	multiácida - AAS	>10%	muestra	50	21	
Fe	Volumetría (adicional)	>30%	muestra	0	3			
4	Pruebas de gravedad específica - parafina. Testigos de 15 cm de largo	Gravedad específica	sólidos con parafina - metodo hidrostático	-	muestra	250	260	

Anexo 3: Detalle del batch 512 de 36 muestras originales (sin ningún tipo de control)

		HOJA DE MUESTRAS ORIGINALES				REG01-GEOFILL-01/V00			
						Geoquímica			
Proyecto:	Proyecto INFILL 2018				Supervisor QAQC	Gilber Garay			
Enviado por:	Gilber Garay				Fecha fin de logueo:				
N° Lote:	001-513				Fecha de entrega:				
Sondaje:	All				Fecha de envío corte:				
Programa:	QAQC				Fecha de envío analisis:				
N°	Taladro	From	To	Intervalo de metraje	SampleID	Zona de mineral	Core	Comentarios	N° Batch
18397	IF18-147-8	40.50	42.00	● 1.50					512
18398	IF18-147-8	42.00	43.50	● 1.50					512
18399	IF18-147-8	43.50	45.00	● 1.50					512
18400	IF18-147-8	45.00	46.50	● 1.50					512
18401	IF18-147-8	46.50	48.00	● 1.50					512
18402	IF18-147-8	48.00	49.50	● 1.50					512
18403	IF18-147-8	49.50	51.00	● 1.50					512
18404	IF18-147-8	51.00	52.50	● 1.50					512
18405	IF18-147-8	52.50	54.00	● 1.50					512
18406	IF18-147-8	54.00	55.50	● 1.50					512
18407	IF18-147-8	55.50	57.00	● 1.50					512
18408	IF18-147-8	57.00	58.50	● 1.50					512
18409	IF18-147-8	58.50	60.00	● 1.50					512
18410	IF18-147-8	60.00	61.50	● 1.50					512
18411	IF18-147-8	61.50	63.00	● 1.50					512
18412	IF18-147-8	63.00	64.50	● 1.50					512
18413	IF18-147-8	64.50	66.00	● 1.50					512
18414	IF18-147-8	66.00	67.50	● 1.50					512
18415	IF18-147-8	67.50	69.00	● 1.50					512
18416	IF18-147-8	69.00	70.50	● 1.50					512
18417	IF18-147-8	70.50	72.00	● 1.50					512
18418	IF18-147-8	72.00	73.50	● 1.50					512
18419	IF18-147-8	73.50	75.00	● 1.50					512
18420	IF18-147-8	75.00	76.50	● 1.50					512
18421	IF18-147-8	76.50	78.00	● 1.50					512
18422	IF18-147-8	78.00	79.50	● 1.50					512
18423	IF18-147-8	79.50	81.00	● 1.50					512
18424	IF18-147-8	81.00	82.50	● 1.50					512
18425	IF18-147-8	82.50	84.00	● 1.50					512
18426	IF18-147-8	84.00	85.50	● 1.50					512
18427	IF18-147-8	85.50	87.00	● 1.50					512
18428	IF18-147-8	87.00	88.50	● 1.50					512
18429	IF18-147-8	88.50	90.00	● 1.50					512
18430	IF18-147-8	90.00	91.50	● 1.50					512
18431	IF18-147-8	91.50	93.00	● 1.50					512
18432	IF18-147-8	93.00	94.50	● 1.50					512

Anexo 4: Detalle del batch 512 de 38 muestras (con dos controles insertados en campo)
 tomado como base para muestreo en mina

1	Batch	Taladro	Prof. Inicial	Prof. Final	Intervalo (m)	Muestra de Mina	Peso (kg)	Saco
19420	512	IF18-147-8	40.50	42.00	1.50	19419	4	5233
19421	512	IF18-147-8	42.00	43.50	1.50	19420	5.6	5233
19422	512	IF18-147-8	43.50	45.00	1.50	19421	5.5	5233
19423	512	IF18-147-8	45.00	46.50	1.50	19422	5.3	5233
19424	512	IF18-147-8	46.50	48.00	1.50	19423	5.4	5234
19425	512	IF18-147-8	48.00	49.50	1.50	19424	4.5	5234
19426	512	IF18-147-8	49.50	51.00	1.50	19425	4	5234
19427	512	IF18-147-8	51.00	52.50	1.50	19426	4.8	5234
19428	512	IF18-147-8	52.50	54.00	1.50	19427	4.7	5234
19429	512	IF18-147-8	54.00	55.50	1.50	19428	5.1	5235
19430	512	IF18-147-8	55.50	57.00	1.50	19429	4.9	5235
19431	512	IF18-147-8	57.00	58.50	1.50	19430	4.9	5235
19432	512	IF18-147-8	58.50	60.00	1.50	19431	2.4	5235
19433	512	Duplicado Campo (ddh)			1.50	19432	2.4	5235
19434	512	IF18-147-8	60.00	61.50	1.50	19433	6.8	5236
19435	512	IF18-147-8	61.50	63.00	1.50	19434	5.2	5236
19436	512	IF18-147-8	63.00	64.50	1.50	19435	5.3	5236
19437	512	IF18-147-8	64.50	66.00	1.50	19436	5.3	5236
19438	512	IF18-147-8	66.00	67.50	1.50	19437	5.4	5237
19439	512	IF18-147-8	67.50	69.00	1.50	19438	5.7	5237
19440	512	IF18-147-8	69.00	70.50	1.50	19439	5.8	5237
19441	512	IF18-147-8	70.50	72.00	1.50	19440	5.7	5237
19442	512	IF18-147-8	72.00	73.50	1.50	19441	5.3	5238
19443	512	IF18-147-8	73.50	75.00	1.50	19442	5.3	5238
19444	512	IF18-147-8	75.00	76.50	1.50	19443	6.2	5238
19445	512	IF18-147-8	76.50	78.00	1.50	19444	5.8	5238
19446	512	IF18-147-8	78.00	79.50	1.50	19445	5.3	5239
19447	512	IF18-147-8	79.50	81.00	1.50	19446	5.9	5239
19448	512	IF18-147-8	81.00	82.50	1.50	19447	4.8	5239
19449	512	IF18-147-8	82.50	84.00	1.50	19448	5.7	5239
19450	512	IF18-147-8	84.00	85.50	1.50	19449	5.5	5240
19451	512	IF18-147-8	85.50	87.00	1.50	19450	5.1	5240
19452	512	IF18-147-8	87.00	88.50	1.50	19451	6.1	5240
19453	512	IF18-147-8	88.50	90.00	1.50	19452	6.3	5240
19454	512	IF18-147-8	90.00	91.50	1.50	19453	4.6	5241
19455	512	IF18-147-8	91.50	93.00	1.50	19454	6.8	5241
19456	512	Blanco Grueso (Caliza)			1.00	19455	5.8	5241
19457	512	IF18-147-8	93.00	94.50	1.50	19456	5	5241

Anexo 5: Detalle del batch 512 de 43 muestras para laboratorio Lima, incluyendo las 5 muestras de control insertados en Lima y enviado a análisis

1	MUESTRA FINAL	Batch	Posicion	QAQC	QAQC1	Taladro	Prof. Inicial	Prof. Final	cod	Muestra de Mina
21975	2021973	512	1	512-1	0	IF18-147-8	40.50	42.00	1	19419
21976	2021974	512	2	512-2	0	IF18-147-8	42.00	43.50	1	19420
21977	2021975	512	3	512-3	0	IF18-147-8	43.50	45.00	1	19421
21978	2021976	512	4	512-4	0	IF18-147-8	45.00	46.50	1	19422
21979	2021977	512	5	512-5	0	IF18-147-8	46.50	48.00	1	19423
21980	2021978	512	6	512-6	0	IF18-147-8	48.00	49.50	1	19424
21981	2021979	512	7	512-7	0	IF18-147-8	49.50	51.00	1	19425
21982	2021980	512	8	512-8	0	IF18-147-8	51.00	52.50	1	19426
21983	2021981	512	9	512-9	0	IF18-147-8	52.50	54.00	1	19427
21984	2021982	512	10	512-10	0	IF18-147-8	54.00	55.50	1	19428
21985	2021983	512	11	512-11	0	IF18-147-8	55.50	57.00	1	19429
21986	2021984	512	12	512-12	0	IF18-147-8	57.00	58.50	1	19430
21987	2021985	512	13	512-13	Duplicado Pulpa	Duplicado Pulpa			0	19430
21988	2021986	512	14	512-14	0	IF18-147-8	58.50	60.00	1	19431
21989	2021987	512	15	512-15	Duplicado Campo (ddh)	Duplicado Campo (ddh)	0.00	0.00	1	19432
21990	2021988	512	16	512-16	0	IF18-147-8	60.00	61.50	1	19433
21991	2021989	512	17	512-17	0	IF18-147-8	61.50	63.00	1	19434
21992	2021990	512	18	512-18	0	IF18-147-8	63.00	64.50	1	19435
21993	2021991	512	19	512-19	0	IF18-147-8	64.50	66.00	1	19436
21994	2021992	512	20	512-20	0	IF18-147-8	66.00	67.50	1	19437
21995	2021993	512	21	512-21	0	IF18-147-8	67.50	69.00	1	19438
21996	2021994	512	22	512-22	0	IF18-147-8	69.00	70.50	1	19439
21997	2021995	512	23	512-23	0	IF18-147-8	70.50	72.00	1	19440
21998	2021996	512	24	512-24	0	IF18-147-8	72.00	73.50	1	19441
21999	2021997	512	25	512-25	Estándar Media	CHNM-05			0	19441
22000	2021998	512	26	512-26	0	IF18-147-8	73.50	75.00	1	19442
22001	2021999	512	27	512-27	Duplicado Grueso (Rechazo)	Duplicado Grueso (Rechazo)			0	19442
22002	2022000	512	28	512-28	0	IF18-147-8	75.00	76.50	1	19443
22003	2022001	512	29	512-29	Estándar Baja	CHNB-04			0	19443
22004	2022002	512	30	512-30	0	IF18-147-8	76.50	78.00	1	19444
22005	2022003	512	31	512-31	0	IF18-147-8	78.00	79.50	1	19445
22006	2022004	512	32	512-32	0	IF18-147-8	79.50	81.00	1	19446
22007	2022005	512	33	512-33	0	IF18-147-8	81.00	82.50	1	19447
22008	2022006	512	34	512-34	0	IF18-147-8	82.50	84.00	1	19448
22009	2022007	512	35	512-35	0	IF18-147-8	84.00	85.50	1	19449
22010	2022008	512	36	512-36	0	IF18-147-8	85.50	87.00	1	19450
22011	2022009	512	37	512-37	0	IF18-147-8	87.00	88.50	1	19451
22012	2022010	512	38	512-38	0	IF18-147-8	88.50	90.00	1	19452
22013	2022011	512	39	512-39	0	IF18-147-8	90.00	91.50	1	19453
22014	2022012	512	40	512-40	0	IF18-147-8	91.50	93.00	1	19454
22015	2022013	512	41	512-41	Blanco Fino	Blanco Fino			0	19454
22016	2022014	512	42	512-42	Blanco Grueso (Caliza)	Blanco Grueso (Caliza)	0.00	0.00	1	19455
22017	2022015	512	43	512-43	0	IF18-147-8	93.00	94.50	1	19456

Anexo 6: Detalle del batch 47 de 45 muestras de compositos para análisis

COMPOSITO FINAL	Batch	Posicion	QAQC	QAQC1	Taladro	Prof. Inic	Prof. Fin	cod	Composito mina	Muestra mina des	Muestra mina has	Muestra Lima des	Muestra Lima has	Ley promedio pon comp Cu (%)
2102070	47	1	47-1	0	IF18-142-8	69.96	84.96	1	INF142-C06	18888	18898	2021373	2021384	0.427
2102071	47	2	47-2	0	IF18-142-8	84.96	99.96	1	INF142-C07	18898	18909	2021384	2021397	0.506
2102072	47	3	47-3	Duplicado Pulpa	Duplicado Pulpa			0	INF142-C07					
2102073	47	4	47-4	0	IF18-142-8	99.96	114.96	1	INF142-C08	18909	18919	2021397	2021407	0.488
2102074	47	5	47-5	Estándar Alta	CHNA-06			0						
2102075	47	6	47-6	0	IF18-142-8	114.96	129.97	1	INF142-C09	18919	18931	2021407	2021421	0.261
2102076	47	7	47-7	0	IF18-142-8	129.97	144.97	1	INF142-C10	18931	18942	2021421	2021433	0.000
2102077	47	8	47-8	0	IF18-142-8	144.97	159.98	1	INF142-C11	18942	18952	2021433	2021443	0.000
2102078	47	9	47-9	0	IF18-142-8	159.98	174.98	1	INF142-C12	18952	18962	2021443	2021456	0.000
2102079	47	10	47-10	0	IF18-142-8	174.98	189.98	1	INF142-C13	18962	18972	2021456	2021467	0.382
2102080	47	11	47-11	0	IF18-143-8	0.00	7.59	1	INF143-C01	18973	18978	2021468	2021473	0.268
2102081	47	12	47-12	0	IF18-143-8	7.59	24.27	1	INF143-C02	18978	18991	2021473	2021488	0.295
2102082	47	13	47-13	0	IF18-143-8	24.27	40.87	1	INF143-C03	18991	19002	2021488	2021501	0.529
2102083	47	14	47-14	0	IF18-143-8	40.87	57.49	1	INF143-C04	19002	19014	2021501	2021515	0.306
2102084	47	15	47-15	Estándar Media	CHNM-05			0						
2102085	47	16	47-16	0	IF18-143-8	57.49	74.06	1	INF143-C05	19014	19025	2021515	2021527	0.220
2102086	47	17	47-17	0	IF18-143-8	74.06	90.66	1	INF143-C06	19025	19037	2021527	2021541	0.345
2102087	47	18	47-18	Duplicado Pulpa	Duplicado Pulpa			0	INF143-C06					
2102088	47	19	47-19	0	IF18-143-8	90.66	107.23	1	INF143-C07	19037	19049	2021541	2021556	0.349
2102089	47	20	47-20	0	IF18-144-8	0.00	7.36	1	INF144-C01	19051	19055	2021558	2021562	0.252
2102090	47	21	47-21	0	IF18-144-8	7.36	22.36	1	INF144-C02	19055	19065	2021562	2021574	0.333
2102091	47	22	47-22	0	IF18-144-8	22.36	37.36	1	INF144-C03	19065	19076	2021574	2021585	0.329
2102092	47	23	47-23	0	IF18-144-8	37.36	52.36	1	INF144-C04	19076	19087	2021585	2021598	0.348
2102093	47	24	47-24	0	IF18-144-8	52.36	67.36	1	INF144-C05	19087	19097	2021598	2021609	0.803
2102094	47	25	47-25	Blanco Fino	Blanco Fino			0						
2102095	47	26	47-26	0	IF18-144-8	67.36	82.36	1	INF144-C06	19097	19107	2021609	2021620	0.439
2102096	47	27	47-27	0	IF18-144-8	82.36	97.36	1	INF144-C07	19107	19117	2021620	2021631	0.521
2102097	47	28	47-28	0	IF18-144-8	97.36	112.36	1	INF144-C08	19117	19127	2021631	2021643	0.375
2102098	47	29	47-29	0	IF18-144-8	112.36	127.36	1	INF144-C09	19127	19139	2021643	2021657	0.478
2102099	47	30	47-30	0	IF18-145-8	0.70	15.11	1	INF145-C01	19142	19151	2021661	2021670	0.286
2102100	47	31	47-31	0	IF18-145-8	15.11	30.11	1	INF145-C02	19151	19161	2021670	2021681	0.557
2102101	47	32	47-32	0	IF18-145-8	30.11	45.11	1	INF145-C03	19161	19171	2021681	2021691	0.369
2102102	47	33	47-33	0	IF18-145-8	45.11	60.11	1	INF145-C04	19171	19182	2021691	2021705	0.472
2102103	47	34	47-34	0	IF18-145-8	60.11	75.11	1	INF145-C05	19182	19193	2021705	2021717	0.572
2102104	47	35	47-35	0	IF18-145-8	75.11	90.11	1	INF145-C06	19193	19203	2021717	2021729	0.643
2102105	47	36	47-36	0	IF18-145-8	90.11	105.11	1	INF145-C07	19203	19214	2021729	2021741	0.523
2102106	47	37	47-37	0	IF18-145-8	105.11	120.12	1	INF145-C08	19214	19225	2021741	2021753	0.453
2102107	47	38	47-38	0	IF18-145-8	120.12	135.12	1	INF145-C09	19225	19236	2021753	2021766	0.307
2102108	47	39	47-39	0	IF18-145-8	135.12	150.12	1	INF145-C10	19236	19245	2021766	2021776	0.356
2102109	47	40	47-40	0	IF18-145-8	150.12	165.12	1	INF145-C11	19245	19256	2021776	2021787	0.288
2102110	47	41	47-41	0	IF18-145-8	165.12	170.50	1	INF145-C12	19256	19259	2021787	2021790	0.158
2102111	47	42	47-42	Estándar Baja	CHNB-04			0						
2102112	47	43	47-43	0	IF18-146-8	1.50	19.27	1	INF146-C01	19262	19272	2021794	2021807	0.106
2102113	47	44	47-44	0	IF18-146-8	19.27	34.27	1	INF146-C02	19272	19284	2021807	2021820	0.043
2102114	47	45	47-45	0	IF18-146-8	34.27	49.27	1	INF146-C03	19284	19294	2021820	2021832	0.097

Anexo 7: Detalle del batch 28 de 43 muestras ordinarias para análisis de verificación en laboratorio secundario

Muestra Lab Cert	Batch	Posicion	QAQC	QAQC1	Taladro	Prof. Inic ¹	Prof. Fin ¹	cod	Muestra Lab Insp	Muestra Mina	Cu (%) In	Ag (g/t) Ins	Mo (%) In	As (%) In	Zn (%) In
2201160	27	43	27-43	0	IF18-140-8	186.00	187.50	1	2021059	18611	0.326	1.500	0.01590	0.002	0.004
2201161	28	1	28-1	0	IF18-140-8	211.50	213.00	1	2021079	18629	0.379	1.900	0.03250	0.002	0.004
2201162	28	2	28-2	0	IF18-140-8	235.50	237.00	1	2021099	18646	0.409	1.900	0.02350	0.002	0.004
2201163	28	3	28-3	0	IF18-140-8	262.50	264.00	1	2021120	18666	0.306	2.200	0.00025	0.002	0.013
2201164	28	4	28-4	0	IF18-141-8	4.50	6.00	1	2021139	18682	0.469	2.300	0.01760	0.001	0.009
2201165	28	5	28-5	0	IF18-141-8	30.00	31.50	1	2021159	18699	0.707	3.100	0.04110	0.001	0.005
2201166	28	6	28-6	0	IF18-141-8	57.00	58.50	1	2021181	18719	0.831	3.500	0.04230	0.001	0.007
2201167	28	7	28-7	0	IF18-141-8	81.00	82.50	1	2021200	18735	0.755	2.300	0.03540	0.002	0.011
2201168	28	8	28-8	0	IF18-141-8	103.50	105.00	1	2021219	18751	0.193	0.700	0.01600	0.001	0.003
2201169	28	9	28-9	0	IF18-141-8	132.00	133.50	1	2021239	18770	0.277	0.900	0.04560	0.001	0.003
2201170	28	10	28-10	Estándar Alta	CHNA-06			0							
2201171	28	11	28-11	0	IF18-141-8	157.50	159.00	1	2021260	18789	0.383	1.600	0.04020	0.001	0.009
2201172	28	12	28-12	0	IF18-141-8	181.50	183.00	1	2021279	18806	0.196	1.500	0.02500	0.001	0.029
2201173	28	13	28-13	0	IF18-141-8	207.00	208.50	1	2021299	18823	0.286	1.500	0.05610	0.001	0.007
2201174	28	14	28-14	0	IF18-142-8	6.90	8.30	1	2021319	18841	0.298	2.400	0.00570	0.001	0.027
2201175	28	15	28-15	0	IF18-142-8	29.50	30.30	1	2021339	18859	0.336	2.900	0.02340	0.002	0.023
2201176	28	16	28-16	0	IF18-142-8	51.50	53.00	1	2021359	18876	0.587	4.300	0.00230	0.001	0.224
2201177	28	17	28-17	0	IF18-142-8	76.00	77.50	1	2021379	18893	0.281	1.900	0.05740	0.001	0.008
2201178	28	18	28-18	0	IF18-142-8	101.50	103.00	1	2021399	18911	0.447	1.900	0.03490	0.001	0.020
2201179	28	19	28-19	0	IF18-142-8	127.00	128.50	1	2021420	18930	0.566	1.800	0.05060	0.001	0.023
2201180	28	20	28-20	0	IF18-142-8	152.70	154.50	1	2021439	18948	0.376	2.000	0.19570	0.001	0.034
2201181	28	21	28-21	0	IF18-142-8	178.50	180.00	1	2021460	18965	0.569	2.500	0.08180	0.001	0.007
2201182	28	22	28-22	0	IF18-143-8	16.50	18.00	1	2021479	18984	0.233	2.500	0.01480	0.001	0.081
2201183	28	23	28-23	Estándar Media	CHNM-05			0							
2201184	28	24	28-24	0	IF18-143-8	37.50	39.00	1	2021499	19000	0.250	2.100	0.03230	0.001	0.040
2201185	28	25	28-25	0	IF18-143-8	63.00	64.50	1	2021519	19018	0.167	1.500	0.00600	0.001	0.021
2201186	28	26	28-26	0	IF18-143-8	87.00	88.50	1	2021539	19035	0.374	5.500	0.00350	0.001	0.284
2201187	28	27	28-27	0	IF18-144-8	1.60	3.10	1	2021559	19052	0.085	0.800	0.00150	0.001	0.014
2201188	28	28	28-28	0	IF18-144-8	28.50	30.00	1	2021579	19070	0.297	2.500	0.00025	0.002	0.022
2201189	28	29	28-29	0	IF18-144-8	53.00	55.00	1	2021599	19088	0.147	1.200	0.00190	0.001	0.016
2201190	28	30	28-30	0	IF18-144-8	79.50	81.00	1	2021619	19106	0.357	3.300	0.00870	0.001	0.046
2201191	28	31	28-31	0	IF18-144-8	108.00	109.50	1	2021641	19125	0.447	5.100	0.02900	0.008	0.039
2201192	28	32	28-32	0	IF18-144-8	127.50	128.90	1	2021659	19140	0.432	1.900	0.03430	0.001	0.020
2201193	28	33	28-33	0	IF18-145-8	27.50	29.00	1	2021680	19160	0.783	40.900	0.01270	0.326	0.385
2201194	28	34	28-34	Blanco Fino	Blanco Fino			0							
2201195	28	35	28-35	0	IF18-145-8	51.50	53.00	1	2021700	19177	0.167	1.200	0.04210	0.003	0.009
2201196	28	36	28-36	0	IF18-145-8	77.00	78.50	1	2021719	19195	0.374	18.800	0.02020	0.100	0.329
2201197	28	37	28-37	0	IF18-145-8	102.50	104.00	1	2021740	19213	0.321	1.300	0.01130	0.001	0.005
2201198	28	38	28-38	0	IF18-145-8	126.50	128.00	1	2021760	19230	0.344	0.900	0.04830	0.001	0.006
2201199	28	39	28-39	0	IF18-145-8	153.50	155.00	1	2021779	19248	0.280	1.300	0.02590	0.001	0.046
2201200	28	40	28-40	0	IF18-146-8	7.50	9.00	1	2021799	19265	0.033	3.700	0.00960	0.006	0.017
2201201	28	41	28-41	Estándar Baja	CHNB-04			0							
2201202	28	42	28-42	0	IF18-146-8	31.50	33.00	1	2021819	19283	0.044	1.100	0.00330	0.001	0.002
2201203	28	43	28-43	0	IF18-146-8	57.00	58.50	1	2021839	19300	0.046	0.500	0.01700	0.002	0.002
2201204	29	1	29-1	0	IF18-146-8	81.00	82.50	1	2021859	19317	0.175	0.500	0.07230	0.001	0.002

Anexo 8: Detalle del batch 2 de 43 muestras compositas para análisis de verificación en laboratorio secundario

Composito Lab Cert	Batch	Posicion	QAQC	QAQC1	Taladro	Prof. Inic ¹	Prof. Fin ¹	cod	Composito Lab Insg	Composito Mina	Muestra mina desi	Muestra mina has	Muestra Lima desi	Muestra Lima has	Ley promedio pond comp Cu (%)
2300042	1	43	1-43	0	IF18-048-8	179.24	194.24	1	2100780	INF048-C13	07059	07069	2007987	2007998	0.444
2300043	2	1	2-1	0	IF18-049-8	210.11	225.11	1	2100799	INF049-C15	07233	07244	2008183	2008196	0.480
2300044	2	2	2-2	0	IF18-050-8	149.87	164.87	1	2100819	INF050-C11	07415	07426	2008389	2008402	0.157
2300045	2	3	2-3	0	IF18-051-8	210.17	225.25	1	2100839	INF051-C15	07600	07610	2008599	2008612	0.335
2300046	2	4	2-4	0	IF18-053-8	104.77	119.77	1	2100860	INF053-C08	07772	07782	2008795	2008805	0.376
2300047	2	5	2-5	0	IF18-055-8	0.00	15.33	1	2100879	INF055-C01	07940	07950	2008984	2008994	0.521
2300048	2	6	2-6	0	IF18-056-8	74.66	89.66	1	2100899	INF056-C06	08134	08144	2009203	2009213	0.118
2300049	2	7	2-7	0	IF18-057-8	179.54	194.54	1	2100920	INF057-C13	08339	08349	2009437	2009447	0.964
2300050	2	8	2-8	Estándar Alta	CHNA-06			0							
2300051	2	9	2-9	0	IF18-058-8	194.67	200.00	1	2100939	INF058-C14	08514	08517	2009634	2009637	0.877
2300052	2	10	2-10	0	IF18-060-8	14.02	29.02	1	2100960	INF060-C02	08676	08686	2009819	2009829	0.166
2300053	2	11	2-11	0	IF18-061-8	165.08	180.08	1	2100979	INF061-C12	08852	08862	2010014	2010026	0.193
2300054	2	12	2-12	0	IF18-063-8	134.85	149.85	1	2101000	INF063-C10	09046	09057	2010235	2010247	0.840
2300055	2	13	2-13	0	IF18-065-8	14.99	30.36	1	2101019	INF065-C02	09226	09237	2010439	2010451	0.385
2300056	2	14	2-14	0	IF18-066-8	74.78	89.78	1	2101039	INF066-C06	09403	09413	2010638	2010651	0.193
2300057	2	15	2-15	0	IF18-068-8	135.82	150.92	1	2101059	INF068-C10	09588	09598	2010847	2010859	0.139
2300058	2	16	2-16	0	IF18-070-8	5.72	21.01	1	2101079	INF070-C02	09769	09779	2011054	2011064	0.106
2300059	2	17	2-17	0	IF18-072-8	29.70	44.70	1	2101099	INF072-C03	09948	09958	2011257	2011267	0.350
2300060	2	18	2-18	0	IF18-073-8	46.97	62.47	1	2101120	INF073-C04	10141	10151	2011473	2011486	0.095
2300061	2	19	2-19	0	IF18-074-8	150.38	165.43	1	2101139	INF074-C11	10286	10297	2011640	2011651	0.803
2300062	2	20	2-20	Duplicado Pulpa	Duplicado Pulpa			0	2101139	INF074-C11					
2300063	2	21	2-21	0	IF18-076-8	0.00	17.00	1	2101159	INF076-C01	10493	10503	2011872	2011882	0.614
2300064	2	22	2-22	0	IF18-077-8	135.31	152.19	1	2101179	INF077-C09	10718	10728	2012127	2012138	0.349
2300065	2	23	2-23	0	IF18-078-8	195.45	210.51	1	2101199	INF078-C14	10893	10903	2012324	2012336	0.648
2300066	2	24	2-24	0	IF18-080-8	30.51	45.53	1	2101219	INF080-C03	11086	11096	2012543	2012555	0.820
2300067	2	25	2-25	0	IF18-081-8	59.10	74.17	1	2101240	INF081-C05	11280	11292	2012764	2012779	0.516
2300068	2	26	2-26	0	IF18-082-8	80.87	97.17	1	2101260	INF082-C06	11467	11479	2012975	2012988	0.676
2300069	2	27	2-27	0	IF18-083-8	149.98	165.05	1	2101279	INF083-C11	11644	11656	2013175	2013190	1.798
2300070	2	28	2-28	0	IF18-084-8	195.29	210.29	1	2101299	INF084-C14	11836	11846	2013393	2013404	1.323
2300071	2	29	2-29	Blanco Fino	Blanco Fino			0							
2300072	2	30	2-30	0	IF18-085-8	196.44	211.50	1	2101319	INF085-C14	12003	12012	2013582	2013592	0.878
2300073	2	31	2-31	0	IF18-086-8	179.75	194.75	1	2101339	INF086-C13	12188	12199	2013789	2013803	0.722
2300074	2	32	2-32	0	IF18-087-8	210.67	225.67	1	2101359	INF087-C15	12376	12387	2014002	2014015	1.369
2300075	2	33	2-33	0	IF18-088-8	168.86	184.19	1	2101379	INF088-C12	12558	12569	2014208	2014222	0.747
2300076	2	34	2-34	0	IF18-089-8	108.61	120.70	1	2101399	INF089-C08	12751	12756	2014427	2014434	0.223
2300077	2	35	2-35	0	IF18-091-8	89.44	104.44	1	2101419	INF091-C07	12913	12924	2014612	2014623	0.193
2300078	2	36	2-36	0	IF18-092-8	47.29	62.55	1	2101439	INF092-C04	13094	13105	2014816	2014829	0.133
2300079	2	37	2-37	Estándar Baja	CHNB-04			0							
2300080	2	38	2-38	0	IF18-094-8	61.93	77.45	1	2101459	INF094-C05	13281	13291	2015026	2015036	0.527
2300081	2	39	2-39	0	IF18-096-8	75.67	90.72	1	2101479	INF096-C06	13462	13472	2015232	2015245	0.255
2300082	2	40	2-40	0	IF18-097-8	211.60	226.80	1	2101500	INF097-C15	13655	13665	2015451	2015462	0.500
2300083	2	41	2-41	0	IF18-099-8	33.52	50.13	1	2101519	INF099-C03	13832	13843	2015651	2015662	0.279
2300084	2	42	2-42	0	IF18-101-8	14.60	29.63	1	2101539	INF101-C02	14029	14040	2015873	2015887	0.332
2300085	2	43	2-43	0	IF18-101-8	285.08	300.00	1	2101559	INF101-C20	14221	14230	2016092	2016102	1.688
2300086	3	1	3-1	0	IF18-102-8	243.49	258.73	1	2101579	INF102-C17	14403	14413	2016297	2016308	0.764

Anexo 9: Nomograma Gy del proyecto INFILL

