



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
SEDE VALLENAR

**PROPUESTAS PARA MINIMIZAR LOS ERRORES OPERACIONALES EN EL
MUESTREO DE SONDAJES DE DIAMANTINA**

Proyecto de titulación en conformidad a los requisitos para obtener el título de Técnico
Universitario en Minas

Profesor Guía: Enrique Andrés Veragua Guerra

Ayelen Monserrat Barrera Rojas
Fernanda Liliana Alejandra Donayde Marin
Dilan Alonso Pizarro Paredes
Monserrat De Jesus Cortes Campillay

Vallenar, Chile 2025.

DEDICATORIA

Ayelen Barrera:

“Este logro se lo dedico a mis padres por su apoyo incondicional; a mis hermanos, sobrinos y familia por creer en mí; a mi pololo por impulsarme siempre; y a mis mascotas, especialmente mi Pukita, que me acompañó tantas noches de estudio y que, aunque ya no esté, vive en mi mente y corazón. También a quienes partieron, mis abuelitos y amigos por su luz en mi camino. Y a mí, por no bajar los brazos en los días más difíciles, por mi resiliencia y por seguir avanzando. Gracias a todos por hacerme sentir que sí se puede.”

Fernanda Donayde:

“A mi abuela, por ser mi guía en cada paso, mi cable a tierra y mi lugar seguro. A ella, que con sus palabras y abrazos me sana y con su ejemplo me enseña a ser mejor persona. Gracias por darme tanto, por ser mi compañía y mi amor más puro, A ella a quien amo con todo lo que soy”.

Dilan Pizarro:

“A mi hermanito, que con su risa, sus preguntas y su manera tan pura de ver el mundo, me recordó todos los días por qué vale la pena seguir adelante. Por ser mi motivación incluso sin saberlo, por acompañarme en silencio mientras estudiaba y por darme fuerzas cuando más las necesitaba.”

Monserrat Cortes:

“A mi mamá, a mi pololo y a mis gatos que los amo con todo el corazón y a Iorsh”

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias por haber sido un apoyo fundamental a lo largo de toda nuestra vida universitaria. Gracias a su paciencia, comprensión y sabios consejos supimos mantener la constancia, la perseverancia y la tolerancia necesaria para alcanzar esta meta final: la obtención de nuestro título de Técnico de nivel superior.

A todos aquellos amigos, académicos, compañeros y personas cercanas que nos alentaron a mantenernos firmes en esta etapa de nuestras vidas, aportando enseñanzas y experiencias que fortalecieron no solo nuestra formación académica, sino también nuestro crecimiento personal y humano.

A todos ustedes, ¡muchas gracias!

INDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Objetivo general	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
1.4 Planteamiento del problema	13
1.5 Antecedentes.....	14
1.6 Justificación.....	15
1.7 Alcance	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Muestreo minero.....	17
2.2 Muestreo por perforación con recuperación de testigo	17
(irgeoconsultores, 2019).....	20
2.3 Tipos de errores	21
2.3.1 Errores humanos.....	21
2.3.2 Errores sistemáticos.....	24
2.3.3 Errores aleatorios.....	26
2.3.4 Errores operacionales técnicos	27
2.4 Control de calidad (QA/QC)	29
2.5 Métodos de control de calidad.....	30
2.5.1 Evaluación de la precisión del laboratorio:	30
2.5.2 Evaluación de la exactitud del laboratorio:	31
2.5.3 Evaluación de la contaminación:.....	31
2.6 Normas y protocolo	32
2.6.1 Trazabilidad.....	33
2.6.2 Completitud	33
2.6.3 Eficiencia Operativa	33
2.6.4 Aplicación Tecnológica.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	34

3.1 Tipo de metodología:.....	34
3.2 Objetivo específico N° 1: Caracterizar las operaciones de muestreo para identificar las etapas críticas de manipulación de testigos.	34
3.3 Objetivo específico N° 2: Analizar los errores de manipulación para clasificarlos en errores humanos, sistemáticos, aleatorios y técnicos.	38
3.4 Objetivo específico número 3: Comparar y revisar las prácticas y procedimientos de muestreo aplicados en diferentes faenas con el propósito de detectar buenas operaciones.	43
3.5 Objetivo específico número 4: Proponer medidas con el fin de ayudar a minimizar errores y así mejorar la precisión de los resultados en el muestreo de sondajes diamantinos.	44
Estructura de la Libreta de Campo	44
La Libreta de Campo se organizó en secciones funcionales destinadas a facilitar el trabajo del personal en terreno.	44
CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	46
4.1 Resultado objetivo específico 1:.....	46
4.2 Resultado objetivo específico número 2.....	74
4.3 Resultado de objetivo específico N° 3	78
4.4 Resultado objetivo específico N°4	81
4.4.2 libreta de campo de apoyo en terreno.....	91
CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES	97
6.1 Conclusión.....	97
6.2 Glosario	100
6.3 Bibliografía.....	104
6.4 Anexos.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Descriptiva de errores humanos	22
Tabla 2. 2 Tabla descriptiva de errores sistematicos	24
Tabla 2. 3 Descriptiva de errores aleatorios	26
Tabla 2. 4 Descriptiva de errores tecnicos	27
Tabla 3. 1 Tabla ilustrativa de cuestionario realizado a trabajadores	34
Tabla 3. 2 Tabla comparativa de procedimientos para validar los errores críticos segun las entrevistas.	37
Tabla 3. 3 Matriz operacional dividida en 3 partes.	41
Tabla 3. 4 Tabla de clasificación de error operacional	42
Tabla 3. 5 Tabla comparativa de procedimientos de muestreo de sondajes diamantinos.	43
Tabla 4. 1 Tabla con respuestas de cuestionario N° 1	46
Tabla 4. 2 Tabla con respuesta de cuestionario N°2	52
Tabla 4. 3 Tabla con respuesta de cuestionario N°3	56
Tabla 4. 4 Tabla con respuesta de cuestionario N°4	60
Tabla 4. 5 Tabla con respuesta de cuestionario N°5	64
Tabla 4. 6 Tabla comparativa para evidenciar etapas críticas según entrevistas	73
Tabla 4. 7 Tabla de clasificación de tipo de error operacional	74
Tabla 4. 8 Tabla comparativa para identificar buenas practicas de empresas IMG Ltda y ATEX	78

INDICE DE FIGURAS E ILUSTRACIONES

Figura 2. 1 Corona de diamante de diferentes diámetros	19
Figura 2. 2 Perforación con recuperación de testigo	19
Figura 2. 3 Testigos de roca	
Figura 2. 4 Medición de un trozo de testigo	23
Figura 2. 5 Sala de fotografía	25
Figura 2. 6 Disco de acero con borde diamantado en sala de corte de testigo	
Figura 2. 7 Control de calidad en empresa IMG Ltda	32
Ilustración 4. 1 Portada de libreta	90
Ilustracion 4. 2 Hoja con QR	91
Ilustración 4. 3 Segundo hoja, desarrollo	93
Ilustracion 4. 4 Tercera hoja de la libreta, recomendaciones.	94

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito proponer soluciones que permitieran minimizar los errores operacionales en la manipulación y extracción de muestras de sondajes en minas de cobre. Estos errores, que pueden generarse por factores humanos, técnicos, sistemáticos y aleatorios, afectan directamente las respuestas y comprometen la representatividad de las muestras, disminuyendo la confiabilidad de los resultados obtenidos y la precisión de la información geológica utilizada en la toma de decisiones.

El estudio se desarrolló mediante la identificación de las etapas críticas del proceso de muestreo, la clasificación de los distintos tipos de errores más frecuentes y el análisis de su impacto en la calidad de los datos. Posteriormente, se revisaron prácticas aplicadas en diferentes faenas y laboratorios, con el fin de establecer comparaciones y detectar deficiencias que puedan ser corregidas.

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que la falta de protocolos estandarizados, la capacitación deficiente del personal y la ausencia de controles de calidad rigurosos son los principales factores que inciden en la generación de errores. En función de este diagnóstico, se propusieron medidas correctivas orientadas a mejorar los procedimientos, reducir riesgos económicos y fortalecer la seguridad de los trabajadores.

En conclusión, la implementación de buenas prácticas y soluciones técnicas en la manipulación y extracción de sondajes contribuye no solo a optimizar la confiabilidad de los datos, sino también a fomentar una minería más eficiente, segura y sostenible.

PALABRAS CLAVE: SONDAJES, MINERIA DE COBRE, ERRORES OPERACIONALES, MUESTREO, CONFIABILIDAD, SOSTENIBILIDAD.

ABSTRACT

The purpose of this research was to propose solutions aimed at minimizing operational errors in the handling and extraction of drill core samples in copper mining operations. These errors arising from human, technical, systematic, and random factors directly affect the representativity of samples, reducing the reliability of the results obtained and compromising the accuracy of the geological information used for decision-making.

The study was conducted through the identification of critical stages in the sampling process, the classification of the most frequent types of errors, and the analysis of their impact on data quality. Subsequently, practices applied in different mining sites and laboratories were reviewed in order to establish comparisons and detect deficiencies that could be corrected.

The results showed that the lack of standardized protocols, insufficient personnel training, and the absence of rigorous quality controls are the main factors contributing to the occurrence of errors. Based on this diagnosis, corrective measures were proposed to improve procedures, reduce economic risks, and strengthen worker safety.

In conclusion, the implementation of good practices and technical solutions in the handling and extraction of drill core samples contributes not only to improving data reliability, but also to fostering more efficient, safer, and sustainable mining operations.

KEYWORDS: DRILLING, COPPER MINING, OPERATIONAL ERRORS, SAMPLING, RELIABILITY, SUSTAINABILITY.

CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

Chile es uno de los principales actores en la producción minera a nivel mundial, y su actividad se concentra principalmente en la zona norte del país. La minería constituye uno de los pilares más sólidos de la economía nacional (Ardiles Rojas & Villalobos Nates, 2021).

Dentro de esta industria existen diversas labores que inciden en el éxito de un proyecto, entre ellas la exploración y la prospección minera. En esta etapa, la obtención de sondajes resulta fundamental, ya que permite adquirir información precisa del suelo a intervenir. Los sondajes exploratorios corresponden a perforaciones de alto costo que se ejecutan en sectores con potencial geológico, con el objetivo de confirmar o delimitar la presencia de un yacimiento mineral. Para su realización se requieren estudios preliminares que respalden la viabilidad del área en términos prospectivos (Tresor, 2024).

Las muestras obtenidas a partir de los sondajes son analizadas en cuanto a su estructura, composición y contenido mineral de interés. Esta información es esencial para la evaluación y desarrollo de un proyecto minero; sin embargo, la confiabilidad de los resultados depende directamente de la correcta manipulación y extracción de dichas muestras.

En la práctica, se ha observado que durante el proceso de extracción de sondajes pueden producirse diversos errores operacionales que afectan la veracidad de las muestras. Estos errores pueden originarse en distintas etapas del procedimiento, ya sea por manipulación inadecuada, fallas sistemáticas o factores humanos. Dichas deficiencias no solo reducen la precisión de los datos, sino que también pueden generar pérdidas económicas significativas e incluso el cierre anticipado de un yacimiento.

Ante esta problemática, la presente tesis, titulada “Propuesta para minimizar los errores operacionales en el muestreo de sondajes de diamantina”, tiene como objetivo analizar las principales fuentes de error en el proceso posterior a la extracción de los sondajes y previo a su recepción en laboratorio. A partir de ello, se proponen soluciones que contribuyan a mejorar la confiabilidad de la información obtenida. Con este trabajo se busca aportar un análisis de valor académico y técnico que respalde el desarrollo profesional en el área de la minería

1.2 Objetivo general

Proponer soluciones técnicas que permitan minimizar los errores operacionales presentes en los procesos de muestreo de sondajes diamantinos en minería de cobre y hierro, con el fin de mejorar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

1.3 Objetivos específicos

1. Caracterizar las operaciones de muestreo de sondajes para identificar las etapas críticas de manipulación.
2. Analizar los errores de manipulación para clasificarlos en errores humanos, sistemáticos, aleatorios y técnicos.
3. Comparar y revisar las prácticas y procedimientos de muestreo aplicados en diferentes faenas con el propósito de detectar buenas operaciones.
4. Proponer medidas con el fin de ayudar a minimizar los errores, y así mejorar la precisión de resultados en muestreo de sondajes diamantinos.

1.4 Planteamiento del problema

En la minería, la exactitud de los datos obtenidos a partir del muestreo de sondajes constituye un factor decisivo para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. Sin embargo, durante la manipulación y extracción de las muestras se cometen errores operacionales que deterioran su representatividad, lo que disminuye la confiabilidad de la información geológica. Cuando estas fallas no son detectadas ni corregidas oportunamente, alteran la veracidad de los datos e impactan negativamente en la estimación de recursos y, en consecuencia, en la toma de decisiones de inversión.

Esta situación se relaciona principalmente con la falta de control en diversas etapas del proceso de muestreo, tales como la insuficiente capacitación del personal, la variabilidad en los procedimientos aplicados y la ausencia de protocolos estandarizados. Estos factores favorecen prácticas inadecuadas que incrementan el riesgo de pérdidas económicas significativas e incluso el cierre anticipado de proyectos mineros.

Considerando que los errores pueden clasificarse en sistemáticos, humanos y técnicos, en muchas faenas aún no se implementan medidas de corrección eficaces que reduzcan la recurrencia de estas prácticas. Frente a ello, surge la necesidad de estudiar de forma detallada el proceso de extracción y manipulación de muestras de sondajes, identificando sus puntos críticos para proponer soluciones que contribuyan a mejorar la confiabilidad del muestreo

1.5 Antecedentes

La Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco, Perú, desde 1967 cuenta con diversas facultades y programas académicos, entre ellos Ingeniería de Minas e Ingeniería Geológica. En los archivos de esta institución se encuentran tesis y trabajos previos que respaldan y fundamentan el presente estudio.

El muestreo, junto con un adecuado aseguramiento y control de calidad, constituye un elemento esencial en todas las etapas de evaluación de un yacimiento mineral. Estos procesos permiten garantizar la mayor confiabilidad posible en las estimaciones de recursos y reservas, dado que la precisión de dichas estimaciones depende directamente de la veracidad y calidad de los datos obtenidos (Almerco Arrieta, 2022).

Cuando ocurren errores durante la recepción de muestras minerales, se generan dificultades en su registro, control y posterior almacenamiento, lo que afecta la trazabilidad y deriva en procesos ineficientes al momento de enviarlas a los laboratorios. Esta situación impacta de manera negativa en la productividad del área y, en consecuencia, en la rentabilidad global de la empresa. Una baja confiabilidad en el proceso de recepción repercute directamente en el rendimiento general y en los márgenes económicos de la operación (Ricra Luis, 2022).

Asimismo, el aseguramiento y control de calidad de los datos del yacimiento es fundamental, ya que influye en todas las actividades mineras posteriores, incluyendo los procesos de muestreo, preparación y análisis en laboratorio. Por ello, las campañas de perforación y muestreo deben contar con protocolos establecidos que aseguren un manejo adecuado y consistente de la información generada (Muñasqui Crisóstomo, 2022).

1.6 Justificación

Chile es reconocido mundialmente por su liderazgo en la industria minera y por la presencia de importantes yacimientos de cobre y hierro de alta ley. En este contexto, la minería no solo constituye un pilar fundamental de la economía nacional, sino que también aporta empleo, innovación y desarrollo regional. Por ello, garantizar la confiabilidad de los procesos de muestreo minero se convierte en una necesidad prioritaria para asegurar decisiones técnicas y económicas adecuadas.

El presente trabajo destaca la relevancia de una correcta práctica de muestreo, apoyándose en el incidente ocurrido en la minera Las Cenizas, relacionado con una mala práctica ejecutada por un muestrero perteneciente a la empresa de Investigaciones Mineras y Geológicas Ltda. (IMG Ltda), dedicada al rubro minero y geológico.

El 19 de julio de 2022 se registró un error en el despliegue del sondaje “DDH24SG09”, lo que derivó en la generación incorrecta de la planilla de secuencia. Esta falla desencadenó diversas consecuencias, entre ellas: errores en la secuencia de muestreo, interrupciones en el diagrama de procesos, retrasos en las etapas de muestreo y análisis, costos adicionales por la necesidad de corregir y rehacer el trabajo, atrasos en el proceso de corte, aumento del estrés del equipo operativo, disminución de la confianza en la precisión de los resultados y un impacto negativo en la reputación de la empresa debido a la falta de rigurosidad en el procedimiento.

En consideración de lo anterior, este informe se justifica en la necesidad de prevenir este tipo de incidentes mediante la implementación de medidas concretas y estandarizadas que permitan mejorar la calidad del muestreo, reducir errores operativos y fortalecer la confiabilidad de los datos obtenidos

1.7 Alcance

El presente trabajo está dirigido a los trabajadores y profesionales vinculados al proceso de muestreo en minería, especialmente a quienes participan directamente en el manejo de testigos de sondaje de diamantina en yacimientos de cobre y hierro. La investigación se enfoca en las etapas comprendidas entre la extracción del testigo desde el macizo rocoso y su posterior envío al laboratorio para análisis.

En este marco, el estudio abarca prácticas operativas clave, tales como: la recepción y organización del testigo; el registro, documentación y registro fotográfico; el corte, muestreo y codificación del material; el envío y control de calidad; además del almacenamiento y resguardo de los testigos. Todas estas actividades resultan fundamentales para asegurar la representatividad y la calidad de las muestras de sondajes, considerando tanto los aspectos técnicos como los procedimientos que influyen en la confiabilidad de los datos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se establecen las fuentes principales de información para el entendimiento del lector, lo cual servirán para el desarrollo de los objetivos propuestos para determinar las causas de los errores en las tomas de muestra de testigos de roca.

2.1 Muestreo minero

Se define muestra como una parte o porción extraída de un conjunto mediante métodos que permiten considerarla representativa del mismo. Por su parte, muestreo corresponde a la acción de recolectar muestras que reflejen las características o condiciones medias de un todo; también se entiende como la técnica empleada en dicha selección o como el procedimiento mediante el cual se elige una fracción estadísticamente determinada para inferir el valor de una o más propiedades del conjunto (Alfaro Sironvalle, 2002).

Es importante señalar que la mayoría de las decisiones relacionadas con un proyecto minero, desde la etapa de exploración hasta el cierre de la mina, se basan en valores obtenidos a partir de material muestreado (Alfaro Sironvalle, 2002)

2.2 Muestreo por perforación con recuperación de testigo

Los testigos corresponden a muestras cilíndricas del macizo rocoso que permiten un análisis directo de la roca atravesada durante la perforación, así como la identificación de mineralizaciones y su potencial de explotación. Este tipo de perforación utiliza un elemento de corte angular con diamantes industriales incrustados, ubicado en el extremo de la sarta de perforación. A medida que este avanza, corta la roca y se obtiene un cilindro que queda alojado en el interior de la sarta.(Gómez & Helbert, 2012)

Este método permite realizar estudios geológicos detallados y obtener volúmenes suficientes de muestras para evaluaciones geoquímicas. Además, posibilita la orientación

de testigos, lo que permite medir estructuras geológicas y reproducir con precisión la posición del testigo en el macizo rocoso.(Gómez & Helbert, 2012)

El testigo recuperado se almacena en los denominados tubos portatestigos que se encuentra situado detrás de la corona de perforación; los cuales pueden desmontarse en el exterior para facilitar su manipulación. Existen diversos tipos de estos tubos, cuyas características han permitido mejorar la recuperación de material en terrenos difíciles. Para evitar que el testigo se caiga, se utiliza un casquillo en forma de cuña conocido como muelle rompe testigo. Las barras de perforación suelen tener longitudes de hasta seis metros, dependiendo del equipo utilizado.(Gómez & Helbert, 2012)

Una vez que la barra se completa con el testigo en su interior, el tubo portatestigo se extrae mediante una mordaza que desciende por la sarta y se ancla a un dispositivo con forma de arpón. En esta posición, la barra queda liberada y puede retirarse al exterior, donde el testigo se extrae fácilmente gracias al diseño desmontable del portatestigo, especialmente beneficioso para testigos altamente fracturados o alterados. Luego de la extracción, el portatestigo se vuelve a ensamblar y se desciende para continuar la perforación.(Gómez & Helbert, 2012)

La perforación con corona de diamante es relativamente lenta y costosa, alcanzando rendimientos de 15 a 20 metros por relevo en buenas condiciones. En términos de costos, se estima que un metro de perforación con corona de diamante equivale al costo de perforar hasta 4 metros con circulación inversa y hasta 20 metros con perforación a rotación.(Gómez & Helbert, 2012)

Los tamaños estándar de testigos varían entre 27 mm y 85 mm de diámetro. Los diámetros más utilizados son: AQ (27 mm), BQ (36,5 mm), NQ (47,6 mm), HQ (63,5 mm) y PQ (85 mm). Desde el punto de vista técnico, los testigos de mayor diámetro ofrecen mejores tasas de recuperación, menor desviación y facilitan los ensayos geoquímicos y la estimación de reservas. No obstante, el costo de perforación aumenta de

manera exponencial con el diámetro del testigo, por lo que es necesario alcanzar un equilibrio entre tamaño y costo (Gómez & Helbert, 2012)

Figura 2. 1 Corona de diamante de diferentes diámetros



(Interempresas, 2019)

Figura 2. 2 Perforación con recuperación de testigo



(jrgeoconsultores, 2019)

Figura 2. 3 Testigos de roca



(jrgeoconsultores, 2019)

2.3 Tipos de errores

En el proceso de muestreo de sondajes, la calidad y confiabilidad de los resultados dependen directamente de la correcta ejecución de cada etapa y del control de los distintos factores que pueden introducir variaciones o sesgos en los datos. Estas variaciones, conocidas como errores de muestreo, pueden originarse por múltiples causas y manifestarse de diferentes formas, afectando la representatividad de las muestras y en consecuencia, la interpretación geológica y la toma de decisiones del proyecto.

Para comprender cómo estos errores impactan en la calidad de la información obtenida, es necesario clasificar y describir sus principales tipos. Entre los más relevantes se encuentran los errores humanos; los errores sistemáticos; los errores aleatorios y los errores técnicos, vinculados al funcionamiento, calibración y limitaciones de los equipos y métodos utilizados.

2.3.1 Errores humanos

Los errores humanos son los más frecuentes y corresponden a fallas originadas por acciones o decisiones del personal, especialmente durante la manipulación, registro y traslado de las muestras.

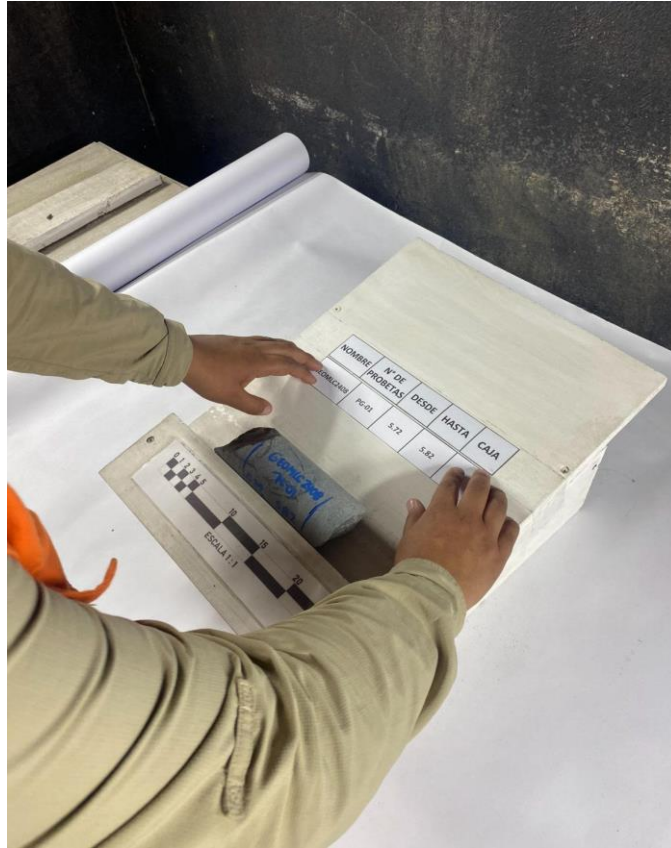
Tabla 2. 1 Tabla descriptiva de errores humanos

Error humano	Descripción técnica	Efecto en el resultado
Falta de capacitación o conocimiento técnico insuficiente	El personal no comprende completamente los protocolos o la importancia de cada etapa del muestreo.	Genera inconsistencias en la toma de muestra, contaminación, pérdida de material o datos mal registrados, afectando directamente la representatividad.
Manipulación inadecuada del testigo o muestra	Golpes, pérdidas de fragmentos, contaminación cruzada o mala división durante el corte.	Afecta la homogeneidad y puede modificar la ley del mineral al analizar material no representativo.
Errores en el registro o etiquetado	Confusión en los códigos de muestra, profundidad o ubicación.	Rompe la trazabilidad, provocando que la muestra no pueda relacionarse correctamente con el punto geológico original.
Falta de limpieza de equipos o herramientas	No se realiza la limpieza adecuada de divisores, canaletas o sierras entre muestras.	Introduce contaminación, generando mezclas no detectadas que alteran la ley y la interpretación geológica.
Manejo incorrecto en el transporte o almacenamiento	Golpeo de cajas, exposición a humedad o mezcla de intervalos	Pueden degradar fácilmente la muestra o alterar su composición, reduciendo su calidad analítica.

(Elaboración propia, 2025)

Los errores humanos representan una de las principales fuentes de incertidumbre en los procesos de muestreo de sondajes, ya que derivan directamente de acciones, decisiones o negligencias del personal técnico y operativo que participa en la cadena de muestreo. Su impacto es acumulativo y puede alterar significativamente la representatividad, exactitud y trazabilidad de las muestras obtenidas, comprometiendo la validez estadística y geológica de los resultados obtenidos.

Figura 2. 4 Medición de un trozo de testigo



(Elaboración propia, 2025)

2.3.2 Errores sistemáticos

Fallas repetitivas que provienen de deficiencias en los procedimientos, métodos o equipos utilizados; no dependen del azar, sino de una causa constante que afecta todo el proceso.

Tabla 2. 2 Tabla descriptiva de errores sistemáticos

Error sistemático	Descripción técnica	Efecto en el resultado
Protocolos mal diseñados o no actualizados	Procedimientos de muestreo desalineados con normas QA/QC no actuales o sin especificar tolerancias precisas.	Genera desviaciones constantes en la cantidad y calidad de las muestras obtenidas.
Uso inadecuado o calibración incorrecta de equipos	Divisores o sierras con calibración incorrecta, balanzas o medidores sin verificación periódica.	Introduce un sesgo constante en las mediciones (por ejemplo, cortes no uniformes o pesos erróneos)
Falta de control de contaminación cruzada en faena	No existe un protocolo formal de limpieza o separación entre intervalos o sondajes.	Contamina sistemáticamente las muestras, distorsionando los análisis químicos.
Deficiencia en la cadena de custodia	Inexistencia de registros claros del traslado o custodia de las muestras.	Afecta la trazabilidad y la credibilidad del muestreo ante auditorías o certificaciones.

(Elaboración propia, 2025)

Los errores sistemáticos son los más peligrosos, ya que no se detectan fácilmente y afectan todas las muestras por igual, generando un sesgo continuo en los resultados. Esto puede llevar a sobrevalorar o subestimar leyes minerales, alterando la interpretación geológica global del yacimiento.

Figura 2. 5 Sala de fotografía



(Elaboración propia, 2025)

2.3.3 Errores aleatorios

Son variaciones impredecibles que ocurren de forma ocasional y no siguen un patrón. Aunque no se pueden eliminar completamente, deben controlarse con un buen diseño estadístico y repetición de ensayos.

Tabla 2. 3 Tabla descriptiva de errores aleatorios

Error aleatorio	Descripción técnica	Efecto en el resultado
Variabilidad natural del material geológico	Diferencias intrínsecas en la distribución del mineral dentro del testigo.	Provoca fluctuaciones en los resultados analíticos incluso si el muestreo es correcto.
Desviaciones en el corte o división	Diferencias mínimas en el punto exacto de corte o división de la muestra.	Introduce pequeñas variaciones en la ley, que sumadas pueden alterar promedios.
Condiciones ambientales	Polvo, humedad o temperatura que afectan el peso o la manipulación de la muestra.	Modifica levemente el contenido de humedad o masa, alterando la consistencia de los resultados.

(Elaboración propia, 2025)

Aunque son inevitables, los errores aleatorios aumentan la incertidumbre estadística del muestreo. Si no se controlan mediante duplicados, blancos o estándares, reducen la precisión de los resultados y complican la validación del control de calidad.

2.3.4 Errores operacionales técnicos

Los errores operacionales técnicos son fallas que ocurren durante la ejecución de una tarea o proceso debido a problemas asociados a equipos, herramientas, instrumentos, software, infraestructura o parámetros técnicos.

No se originan por una mala decisión humana intencional, sino por limitaciones, fallas, mala calibración o uso incorrecto de elementos técnicos. (ISO, 2016)

Tabla 2. 4 Descriptiva de errores tecnicos

Error Técnico	Descripción técnica	Efecto en el resultado
Fallas en la calibración de sierras de corte	Sierra desalineada o con disco en mal estado que no permite un corte uniforme del testigo. (Descrito como fallas técnicas recurrentes)	Produce cortes irregulares, pérdida de representatividad entre ambas mitades del testigo y sesgos en las leyes reportadas.
Fallas en instrumentos de medición (distanciómetros, reglas, instrumentos de registro)	Equipos sin mantenimiento o con daño físico que alteran la precisión del registro de profundidad o geometría. (Parte de los errores técnicos mencionados)	Introduce desviaciones en la posición del intervalo muestreado, comprometiendo la trazabilidad y el análisis geológico.
Ausencia de verificación técnica periódica en equipos	No existen controles técnicos establecidos para revisar estado, desgaste o alineación de los equipos de corte y medición. (Derivado de errores técnicos descritos)	Aumenta la variabilidad técnica del proceso, generando errores repetitivos y sistemáticos que afectan todas las muestras intervenidas.

(elaboración propia, 2025)

Figura 2.6 Disco de acero con borde diamantado en sala de corte de testigo



(Elaboración propia, 2025)

2.4 Control de calidad (QA/QC)

El control de calidad, o Quality Control (QC), se define como el conjunto de procesos y métodos destinados a orientar, supervisar y verificar todas las etapas de un proyecto. (Anchelia Huamanta, 2021)

Por su parte, el aseguramiento de la calidad, Quality Assurance (QA), consiste en la aplicación de procedimientos planificados para demostrar que los datos obtenidos en los ensayos químicos son confiables. Este enfoque busca prevenir errores durante el muestreo, la preparación y el análisis, asegurando que cada etapa esté adecuadamente documentada y se ejecute sin variaciones innecesarias. Mientras el aseguramiento de la calidad se orienta a la prevención, el control de calidad se centra en la detección de posibles problemas. (Guevara Vazquez, 2025)

Dentro del muestreo de sondajes, definir lo que es una etapa crítica es de gran importancia ya que corresponde a cualquier fase del proceso en la que exista una alta probabilidad de introducir errores que afecten la representatividad, precisión o confiabilidad de la muestra. Estas etapas requieren especial atención, seguimiento y estricto cumplimiento de los procedimientos, ya que cualquier desviación puede generar sesgos significativos que se reflejan posteriormente en la caracterización del yacimiento, en los análisis de laboratorio o en la toma de decisiones del proyecto. (Anchelia Huamanta, 2021)

2.5 Métodos de control de calidad

Los métodos de control de calidad en el muestreo de sondajes diamantinos se basan principalmente en la utilización de muestras de control, las cuales permiten evaluar la precisión del proceso de muestreo, la exactitud del laboratorio y la posible existencia de contaminación durante la preparación o el análisis. Estas muestras se insertan de manera programada en los lotes analíticos con el fin de asegurar que los resultados obtenidos sean confiables y representativos. (Muñasqui Crisostomo, 2018)

2.5.1 Evaluación de la precisión del laboratorio:

La precisión se refiere al grado de concordancia entre resultados obtenidos en mediciones repetidas bajo las mismas condiciones. Para su evaluación se emplean distintas clases de duplicados, los cuales corresponden a réplicas de una muestra original identificadas con códigos únicos para asegurar la trazabilidad.

- **Duplicados de campo:** permiten evaluar la precisión del muestreo primario, es decir, la consistencia en la toma de muestras en terreno.
- **Duplicados gruesos:** se utilizan durante las etapas de preparación y cuarteo con el fin de evaluar la precisión del submuestreo.
- **Duplicados de pulpa:** se emplean en la fase final del análisis químico y permiten evaluar la precisión analítica propiamente tal.

Cada tipo de duplicado refleja la variabilidad de una etapa específica del proceso, permitiendo verificar que los procedimientos cumplan con los estándares establecidos. (Muñasqui Crisostomo, 2018)

2.5.2 Evaluación de la exactitud del laboratorio:

La exactitud se refiere al grado de cercanía entre los resultados analíticos obtenidos y el valor real de una muestra. Este aspecto se evalúa mediante:

- **Materiales de referencia certificados (CRM):** poseen concentraciones conocidas y trazables que permiten verificar si los resultados del laboratorio coinciden con los valores verdaderos. Cualquier desviación significativa evidencia la presencia de sesgos o errores sistemáticos.(Muñasqui Crisostomo, 2018)
- **Muestras de verificación en un laboratorio secundario:** consisten en la re-análisis de muestras en un segundo laboratorio para contrastar resultados. La concordancia entre ambas instituciones confirma la exactitud del laboratorio principal; por el contrario, diferencias relevantes indican la existencia de errores que requieren revisión.(Muñasqui Crisostomo, 2018)

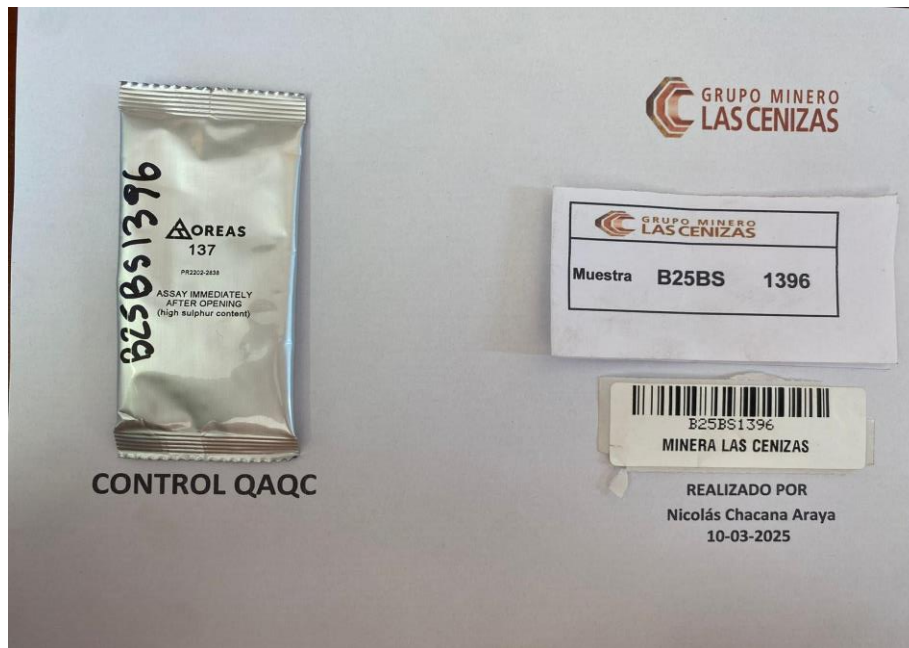
2.5.3 Evaluación de la contaminación:

La contaminación corresponde a la incorporación no deseada de material extraño durante alguna etapa del proceso. Para su detección se emplean blancos, los cuales no deben contener el analito de interés:

- **Blancos gruesos:** permiten identificar contaminación generada durante la recolección y la preparación mecánica de las muestras.
- **Blancos finos:** se utilizan para detectar contaminación introducida durante el análisis químico.

La presencia de valores distintos de cero en los blancos revela contaminación cruzada, residuos o fallas de limpieza del equipo utilizado.(Muñasqui Crisostomo, 2018)

Figura 2. 7 Control de calidad en empresa IMG Ltda



(Elaboración propia, 2025)

2.6 Normas y protocolo

La aplicación de normas y protocolos en el muestreo de sondajes es fundamental para asegurar que los datos generados sean confiables, reproducibles y adecuados para la toma de decisiones en exploración y evaluación de recursos minerales. Estos documentos establecen procedimientos claros y estandarizados que guían cada etapa del proceso, desde la obtención de la muestra hasta su preparación y análisis. Dentro de estos lineamientos destacan conceptos clave como trazabilidad, completitud, eficiencia operativa y aplicación tecnológica, los cuales permiten mantener la integridad del proceso y minimizar los errores asociados al muestreo.

2.6.1 Trazabilidad

La trazabilidad se refiere a la capacidad de reconstruir de manera precisa el recorrido completo de la muestra, desde su origen en el testigo de sondaje hasta su resultado final en el laboratorio. Un protocolo bien diseñado permite registrar cada transferencia, manipulación y decisión realizada sobre la muestra. Esto garantiza transparencia, facilita auditorías, permite identificar puntos críticos del proceso y asegura que no existan pérdidas, intercambios o dudas sobre la identidad de las muestras.

2.6.2 Completitud

La completitud hace referencia al registro íntegro y detallado de toda la información relacionada con el muestreo. Incluye datos de campo, identificación de intervalos, estado del testigo, condiciones del muestreo, procedimientos aplicados, controles QA/QC, entre otros. La completitud evita vacíos de información que podrían comprometer el análisis posterior, permitiendo contar con un conjunto de datos robusto y verificable.

2.6.3 Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa corresponde a la optimización de recursos, tiempos y procedimientos durante el muestreo. Protocolos claros reducen improvisaciones, evitan repeticiones innecesarias y disminuyen el riesgo de errores humanos o técnicos. Además, facilitan el trabajo coordinado entre diferentes equipos y aseguran que las operaciones fluyan de manera consistente, sin sacrificar la calidad del muestreo.

2.6.4 Aplicación Tecnológica

La incorporación de herramientas tecnológicas; como bases de datos digitales, sistemas de codificación (QR/RFID), software de captura en terreno o equipos automáticos de preparación permite mejorar la exactitud del registro de datos, reducir errores por digitación y asegurar la integridad de la información. La tecnología complementa al protocolo, fortaleciendo la trazabilidad y elevando la calidad global del proceso.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de metodología:

La metodología de trabajo es de carácter cuantitativo y cualitativo es decir mixto, ya que contempla el uso de un cuestionario hecho a trabajadores, también el uso de tablas como una matriz operacional y una tabla comparativa para caracterizar los tipos de errores que es posible cometer en la práctica de muestreo de testigos de sondaje diamantino.

3.2 Objetivo específico N° 1: Caracterizar las operaciones de muestreo para identificar las etapas críticas de manipulación de testigos.

Se diseñó un cuestionario en base a la literatura práctica para identificar factores críticos; con el fin de ser aplicado a los trabajadores del área de muestreo. Esto permitió contextualizar y validar la identificación de las etapas críticas a partir de la experiencia de personas relacionadas directamente con el muestreo de sondajes de la empresa IMG Ltda y ATEX resources; se presentó en forma de tabla ya que de esta forma se expone didácticamente al lector.

Tabla 3. 1 Tabla ilustrativa de cuestionario realizado a trabajadores

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo describiría el rol que cumple el muestreo de sondajes dentro del control de calidad en una campaña de exploración minera?	
2- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los	

<p>procedimientos estandarizados de muestreo?</p>	
<p>3- En otras faenas donde haya trabajado, ¿Qué métodos o protocolos se utilizan para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?</p>	
<p>4- Desde su punto de vista, ¿Cuáles son las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?</p>	
<p>5- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?</p>	
<p>6- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar errores durante la manipulación y registro de las muestras?</p>	
<p>7- ¿Qué tipo de verificaciones o</p>	

<p>revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?</p>	
<p>8- En su experiencia, ¿qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?</p>	
<p>9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitan la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad?</p>	
<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos?</p>	
<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿qué aspectos del proceso de muestreo estima más como relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	

(Elaboración propia, 2025)

Se determinó que una etapa solo se consideró crítica si cumplía dos condiciones al mismo tiempo, según la percepción del personal en terreno y supervisión: primero, debía ser un punto de alto riesgo operacional (como presentar alta manipulación de probetas, alto peligro de contaminación o ser un paso clave en el control de las muestras) y segundo, su ejecución debía ser fundamental y recurrente en la práctica diaria del muestreo de sondajes.

Este método de análisis, más la siguiente tabla de comparación cruzada; aseguró la identificación de aquellas etapas que el personal considera de mayor vulnerabilidad en el manejo de los testigos, sirviendo como la base para el análisis de los errores en el siguiente objetivo.

Tabla 3. 2 Tabla comparativa de procedimientos para validar los errores críticos según las entrevistas.

Proceso	Etapas	Características	Crítico (si/no)

(Elaboración propia, 2025)

3.3 Objetivo específico N° 2: Analizar los errores de manipulación para clasificarlos en errores humanos, sistemáticos, aleatorios y técnicos.

Se analizaron las diferentes etapas del proceso de manipulación, preparación y registro de muestras de sondajes por medio de una matriz de mejora continua de procesos operacionales; de esta forma se pudo identificar y priorizar las fallas operacionales presentes. Este instrumento permitió analizar de manera sistemática cada actividad involucrada en el flujo operacional, identificar sus posibles fallas y evaluar el impacto que estas pueden generar en la representatividad y confiabilidad de los datos; se procede a explicar el contenido de la matriz operacional creada en base a una matriz adquirida anteriormente en la empresa IMG ltda.

1. Identificación de procesos y actividades:

Se inició con el levantamiento completo de todas las etapas operacionales asociadas al manejo de testigos, ordenadas en los siguientes macroprocesos:

- Recepción de bandejas
- Recuperación y regularización de sondajes
- Geotecnia
- Elaboración de secuencia
- Fotografía pre-corte y pesaje
- Corte, muestreo y pesaje de bolsas
- Envío a laboratorio
- Fotografía post-corte
- Almacenamiento
- Base de datos

Para cada uno de estos procesos se desglosaron sus actividades específicas, lo que permitió un análisis detallado y focalizado

2. Identificación de fallas potenciales

Para cada actividad fueron listadas las fallas potenciales, levantadas a partir de:

- Observación directa del proceso.
- Revisión de reportes operacionales disponibles.
- Experiencia del personal técnico.
- Retroalimentación de operadores y supervisores.

Las fallas incluyeron errores de digitación, pérdidas de información, errores de metraje, mala rotulación, fallas en manipulación de bandejas, contaminación de muestras, entre otros.

3. Evaluación del riesgo sin controles operacionales

Cada falla potencial fue evaluada considerando:

- Probabilidad de ocurrencia.
- Consecuencias generadas (pérdida de muestra, información errónea, lesiones, contaminación, errores en base de datos).
- Valor Esperado del Riesgo (VER), el cual combina probabilidad y consecuencia.
- Clasificación del riesgo según el VER.

Esta primera evaluación permitió determinar el riesgo inherente antes de considerar medidas de mitigación.

4. Registro y análisis de controles operacionales existentes

Para cada falla se identificaron los controles operativos actualmente implementados, tales como:

- Estándares de trabajo
- Verificadores de predictibilidad
- Competencias del personal
- Frecuencia de fallas ya registradas
- Procedimientos vigentes

Estos controles permiten disminuir la probabilidad o consecuencia del riesgo.

5. Evaluación del riesgo con controles implementados

Se realizó una segunda evaluación del VER, esta vez considerando los controles existentes. Esto permitió:

- Identificar procesos que mantienen riesgos aceptables.
- Detectar actividades con riesgos residuales que requieren mejoras o nuevas medidas de control.

La matriz evidenció que en la mayoría de los casos, la implementación de controles reduce el riesgo a un nivel aceptable; sin embargo, el levantamiento detallado permitió visualizar zonas donde se poseen controles, pero no garantizan completamente la disminución de errores.

Tabla 3. 3 Matriz operacional dividida en 3 partes a modo de ilustración.

IDENTIFICACION				
<i>Procesos</i>	<i>Actividad</i>	<i>Tipo de Actividad</i>	<i>Potenciales Fallas</i>	<i>Pérdida Potencial</i>

CRITERIOS				
<i>Tipo de Actividad</i>	<i>Estandarización de Procedimientos</i>	<i>Predictibilidad de Ocurrencia</i>	<i>Competencias del Personal</i>	<i>Frecuencia de ocurrencia de la falla</i>

EVALUACION						
<i>Probabilidad</i>				<i>Consecuencias</i>	<i>VER (Valor Esperado del Riesgo)</i>	<i>Clasificación Sin Control Operacional</i>
<i>Estándar</i>	<i>Predictibilidad</i>	<i>Competencias</i>	<i>Frecuencia (falla)</i>			

(Elaboración propia, 2025)

Finalmente, se desarrolló una tabla comparativa donde se registraron los errores más críticos, clasificándolos según su tipo y caracterizándose de acuerdo con sus causas y características. Los errores identificados se clasificaron en cuatro categorías:

- **Aleatorio:** Esta conclusión se sustentó en que las fallas ocurrieron de manera no predecible y sin un patrón constante, evidenciando un comportamiento aleatorio.
- **Humano:** Se atribuyó a las fallas de interpretación, omisiones y ejecución incorrecta de procedimientos debido a la falta de capacitación o exceso de carga laboral.
- **Sistemático:** Se llegó a este resultado al constatar que ciertos errores se repetían de forma constante, en etapas específicas del proceso y bajo las mismas condiciones, lo cual evidenció una causa estable y reproducible.
- **Técnico:** Se determinó esta categoría al evidenciar que las fallas se originaron por deficiencias en los equipos, herramientas o físicas del proceso de muestreo

Tabla 3. 4 Tabla de clasificación de error operacional

Proceso	Etapas	Descripción del error	Causa	Tipo de error

(Elaboración propia, 2025)

3.4 Objetivo específico número 3: Comparar y revisar las prácticas y procedimientos de muestreo aplicados en diferentes faenas con el propósito de detectar buenas operaciones.

Se realizó una comparación entre los procedimientos de muestreo de sondajes diamantinos aplicados por las empresas IMG Ltda. y ATEX resources, con el objetivo de identificar buenas prácticas y determinar qué aspectos de cada procedimiento contribuyen a una mayor eficiencia y calidad en los resultados.

La comparación entre ambas empresas se efectuó con una tabla comparativa considerando criterios de completitud, trazabilidad, control de calidad, eficiencia operativa y aplicación tecnológica. Este análisis permitió identificar cuáles prácticas constituyen un mejor estándar operativo y qué elementos podrían integrarse entre ambos sistemas para optimizar los procesos de muestreo en futuras faenas.

Tabla 3. 5 Tabla comparativa de procedimientos de muestreo de sondajes diamantinos.

Criterio de evaluación	Descripción del criterio	IMG Ltda.	ATEX	Observación/ conclusiones
Completitud				
Trazabilidad				
Control de calidad				
Aplicación tecnológica				
Eficiencia operativa				

(Elaboración propia, 2025)

3.5 Objetivo específico número 4: Proponer medidas con el fin de ayudar a minimizar errores y así mejorar la precisión de los resultados en el muestreo de sondajes diamantinos.

La Libreta de Campo se diseñó y desarrolló luego de realizar una comparación exhaustiva entre los procedimientos operativos utilizados por las empresas IMG Ltda. y ATEX. Su propósito fue establecer una herramienta capaz de fortalecer las buenas prácticas operacionales en terreno y apoyar la correcta ejecución del proceso de muestreo. La libreta se confeccionó en un formato práctico de 8 cm × 21 cm, lo que permitió contar con un recurso portátil y de uso cotidiano para el personal muestrero.

El documento final se configuró como una guía clara, comprensible y de fácil aplicación, orientada a acompañar cada fase del proceso. Su utilización buscó asegurar aspectos críticos tales como:

- La adecuada trazabilidad de las muestras.
- La precisión y uniformidad del registro de datos.
- La disminución de errores, especialmente aquellos asociados a la manipulación y al factor humano.

Estructura de la Libreta de Campo

La Libreta de Campo se organizó en secciones funcionales destinadas a facilitar el trabajo del personal en terreno.

Instructivos

Operativos

Integrados

En lugar de emplear enlaces externos o códigos QR, los instructivos fueron incorporados directamente en la libreta en formato impreso. Esta decisión permitió que la información estuviera siempre disponible, asegurando una consulta inmediata y permanente durante las labores diarias, sin depender de dispositivos electrónicos ni conectividad. Con ello, se fortaleció la estandarización del proceso y se facilitó la correcta interpretación de los pasos críticos por parte de los operadores.

1. Registro Operativo Diario (Sección Principal)

Esta fue la sección principal, destinada al registro diario de las actividades. Incluyó espacios definidos para consignar la información crítica de cada tarea:

- **Identificación (Lateral Izquierdo):** Contuvo el Nombre de Tarea/Actividad, Lugar de Trabajo y Fecha de Realización.
- **Evaluación Inicial (Cuestionario):** Se incluyó un cuestionario de tres preguntas con respuesta Sí o No para verificar:
 - Si se tenían claros todos los pasos del instructivo antes de comenzar.
 - Si se contaba con los equipos, materiales y condiciones necesarias para realizar la tarea.
 - Si se conocían los criterios o resultados esperados para asegurar que la actividad se realizó correctamente.
- **Evaluación Personal de Instructivos:** Un espacio dedicado a que el trabajador completara los pasos del instructivo de forma personal e individual. Su función fue evaluar si realmente se conocían y recordaban correctamente los pasos críticos descritos en el material de referencia.
- **Registro de Pasos Críticos:** Se dispusieron ocho líneas en blanco para describir los pasos de la tarea, con un pequeño cuadrado al costado de cada línea para chequear.
- **C. Recomendaciones:** Un espacio destinado a recoger sugerencias de procedimientos que no estaban descritos en el instructivo, permitiendo el aporte de personal con mayor experiencia.
- **D. Visto Bueno y Cierre:** La sección de Firmas del Supervisor y el Trabajador, la cual formalizó la revisión del trabajo o del plan por parte del supervisor antes de iniciar el turno, aplicando su visto bueno.

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Resultado objetivo específico 1:

A continuación, se redactan las respuestas de las entrevistas realizadas a personal de las empresas IMG Ltda y ATEX. Estas entrevistas permitieron contextualizar y validar las etapas críticas identificadas en el análisis de la documentación de los procedimientos de ambas empresas.

El personal basándose en su experiencia en los procesos de muestreo, señalaron los siguientes procesos como los de mayor riesgo operacional y control de calidad, confirmando los puntos cruciales de manipulación.

Tabla 4. 1 Tabla con respuestas de cuestionario N°1

Entrevistado N° 1	Nombre Manuel Barrera Palacios	Cargo Gerente de Operaciones	Empresa IMG Ltda.
------------------------------	---	---	------------------------------

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo entiende usted por un plan de “aseguramiento y control de calidad” en la minería?	Conjunto de procedimientos sistemáticos y obligatorios diseñados para garantizar la fiabilidad, precisión y exactitud de los datos críticos utilizados para la toma de decisiones, especialmente en la estimación de recursos.
2- Desde su punto de vista, ¿cuáles son	<ul style="list-style-type: none"> ● Planificación y diseño del

<p>las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?</p>	<p>programa</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Obtención de permisos y logística de acceso ● Perforación y recuperación del testigo ● Muestreo y análisis químico ● Interpretación geológica y modelamiento
<p>3- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?</p>	<p>Planificación y diseño del programa</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Revisión Geológica por pares (peer review) ● Control topográfico (survey) ● Verificación de factibilidad <p>Obtención de permisos y logística de acceso</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Auditoría de permisos (cómplice check) ● Control HSE (salud. seguridad y medio ambiente) ● Aseguramiento logístico <p>Perforación y recuperación de testigo</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Medición de recuperación de testigo (%) ● Control de desviación (downhole survey)

	<ul style="list-style-type: none"> ● Verificación de profundidad y mercado <p>Muestreo y análisis químico (QA/QC analítico)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Inclusión de materiales de referencia (estándares) ● Inclusión de materiales estériles (blancos) ● Inclusión de duplicados ● Control de densidad (bulk density) <p>Interpretación geológica y modelamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Validación del modelo de datos ● Corte de ley (assay capping) ● Auditoría de modelamiento)
<p>4- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar errores durante la manipulación y registro de las muestras?</p>	<p>Blandas/ interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Proactividad e iniciativa ● Responsabilidad y compromiso ● Comunicación efectiva ● Adaptabilidad y flexibilidad <p>Duras/ técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Competencia técnica específica ● Orientación al detalle (QA/QC) <p>Complementarias</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Gestión del tiempo y organización

	Pensamiento crítico y resolución de problemas
5- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo?	El nivel es variable, pero generalmente insuficiente. Muchos creen que “ya lo saben hacer” por costumbre, pero confunden habilidad personal con cumplimiento del estándar. Aunque existe capacitación formal, la resistencia al cambio dificulta su aplicación. Se requiere más refuerzo práctico enfocado en el “por qué” del procedimiento, no solo en el “cómo”.
6- ¿Qué métodos o protocolos se utilizan para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?	Se utiliza principalmente el cuarteo o subdivisión mediante divisor de riffles en la preparación mecánica. Además, se incorporan testigos QA/QC (blancos, estándares y duplicados) como controles ciegos para verificar que ni el laboratorio ni la manipulación hayan introducido sesgos.
7- ¿Qué tipo de verificaciones o revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?	Reviso la coherencia entre etiquetas y registros, verificó el estado del sellado y de los sacos, y observó peso y humedad para detectar anomalías que indiquen mala manipulación o contaminación.

<p>8- En su experiencia, ¿qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Errores de etiquetado: secuencias inconsistentes o profundidades mal registradas. • Mala manipulación: herramientas sin limpiar, sacos mal sellados, contaminación cruzada. • Falta de percepción: el personal no detiene el proceso ante signos evidentes de error (muestras húmedas, pérdida de material, excesiva arcilla).
<p>9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitan la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Demostraciones prácticas del impacto económico y técnico de los errores. • Refuerzo positivo y auditorías internas para consolidar el estándar. • Simplificación de procedimientos mediante reglas claras y pasos simples para mejorar la adopción.

<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos?</p>	<p>Un plan formal elimina variabilidad individual y establece estándares claros. Mejora la trazabilidad mediante el uso obligatorio de documentación (cadena de custodia, formularios) y deja un registro verificable de cada paso.</p>
<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿Qué aspectos del proceso de muestreo estima más relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Registros completos, legibles y sin tachaduras. <ul style="list-style-type: none"> • Reportes QA/QC con resultados dentro de rangos aceptables. • Evidencia visual de limpieza, orden y dominio del procedimiento en el área de cuarteo.

(Elaboración propia, 2025)

Tabla 4. 2 Tabla con respuesta de cuestionario N°2

Entrevistado N°2	Nombre Cristobal Salas	Cargo Ingeniero en Minas	Empresa ATEX
-----------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo describiría el rol que cumple el muestreo de sondajes dentro del control de calidad en una campaña de exploración minera?	El rol actúa como un filtro de control de calidad, garantizando la fiabilidad y precisión de los datos obtenidos, lo que permite disponer de información veraz y representativa del sondaje.
2- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo?	Según mi experiencia, el personal en terreno posee un nivel de conocimiento medio a alto, sustentado en la información técnica y la experiencia práctica, además del manejo de los estándares operativos y de seguridad establecidos por la empresa o faena.
3- En otras faenas donde haya trabajado, ¿Qué métodos o protocolos se utilizan para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?	En otras faenas donde he trabajado, se aplican protocolos de perforación direccionada en campañas geomecánicas para mantener la orientación y dirección de las discontinuidades, junto con el rotulado preciso de las fracturas naturales del testigo. Además, se lavan y miden los testigos en canales y bandejas, se evita la pérdida de muestra o fragmentación excesiva, y se registran los movimientos

	<p>y herramientas utilizadas, incluyendo el tipo de bits o lanas empleada, con el fin de asegurar la representatividad y calidad de las muestras obtenidas</p>
<p>4- Desde su punto de vista, ¿Cuáles son las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Obtención de la muestra ● Verificación de la inclinación ● Dirección del pozo
<p>5- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Verificación de los rotulados de cajas y bandejas ● Aseguramiento de que las cajas estén correctamente cerradas ● Aseguramiento de bandejas, tanto como que contengan la cantidad adecuada de alambres y esponjas ● Supervisar el transporte y acopio
<p>6- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar errores durante la manipulación y registro de las muestras?</p>	<p>El personal encargado de muestreo debe contar con conocimiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Tipo de rocas ● Conocimiento de mineral ● Dureza del material ● Estándares de traspaso de información

	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar la disponibilidad y calidad de herramientas e insumos
7- ¿Qué tipo de verificaciones o revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?	Realizó verificación del sellado de cajas, bandejas o bolsas, conteo múltiple de las muestras para asegurar que el lote esté completo, y revisión de la documentación, comprobando que el envío coincida con los registros antes de enviarlos al laboratorio
8- En su experiencia, qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?	Las principales debilidades en los procesos de muestreo incluyen inconsistencias en el rotulado entre personal de distintas faenas, pérdida de muestra al extraer testigo que no siempre se recupera, y deficiencias en la comunicación entre envío y la recepción de las muestras.
9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitarían la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad?	Las estrategias que facilitan la adopción de mejores prácticas incluyen una inducción adecuada con prácticas, la entrega de material de apoyo portátil como trípticos o tarjetas, y la designación de un supervisor que asegure el uso correcto de los nuevos estándares y pueda reforzar o recapitular la capacitación al personal en terreno según sea necesario.

<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos?</p>	<p>Este proceso debería permitir estandarizar procesos y asegurar que todos los trabajadores bajo los mismos criterios, lo que mejora la trazabilidad desde que se toma la muestra hasta que llega al laboratorio, también ayuda a identificar errores o desviaciones a tiempo y a respaldar la calidad de los datos frente a decisiones técnicas o económicas</p>
<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿qué aspectos del proceso de muestreo estima más como relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	<p>Confiabilidad de los datos geológicos, al proporcionar estándares claros y uniformes que facilitan la interpretación, verificación y corrección de la información de manera rápida y eficiente.</p>

(Elaboración propia, 2025)

Tabla 4. 3 Tabla con respuesta de cuestionario N°3

Entrevistado N°3	Nombre Vicente Farias	Cargo Asistente geólogo	Empresa IMG Ltda.
-------------------------	--	--	------------------------------------

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo describiría el rol que cumple el muestreo de sondajes dentro del control de calidad en una campaña de exploración minera?	Importante, dado que el conjunto en general de los procesos nos entregará información relacionada al yacimiento, si los proyectos muchas veces son viables o no, tomar decisiones respecto al futuro si continuar.
2- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo?	Por procedimiento de las empresas se debe cumplir un estándar de calidad en general de todos los procesos, desde la seguridad propia de los trabajadores, hasta el desarrollo de todas las actividades. Por esto mismo, se crea por parte misma de la línea de supervisión y prevención, charlas de seguridad, documentos o reuniones donde se pueda planificar de buena forma el día a día.
3- En otras faenas donde haya trabajado, ¿Qué métodos o protocolos se utilizan	No he tenido experiencia en otras empresas, pero si puede quedar claro que

<p>para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?</p>	<p>existen documentos como los report en la perforación, documento fidedigno, el cual nos puede entregar información respecto a los metros que se pueden perforar por turno, el cual debe ser firmado por la supervisión y es esta misma la cual debe chequear y comparar los metros perforados y metros regularizados.</p>
<p>4- Desde su punto de vista, ¿Cuáles son las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?</p>	<p>Proceso de regularizado de la muestra, se debe controlar las medidas recuperadas en la perforación, si se comete un error en las mediciones puede afectar el proceso de mapeo en los geólogos por una mala interpretación en la profundidad del sondaje, lo que significa malinterpretar la altura quizás de la ubicación de los minerales o el mismo yacimiento.</p>
<p>5- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?</p>	<p>Todo en general, desde la manipulación de las muestras, traslado, manipulación en muestrera, proceso de fotografía, y traslado a laboratorio.</p>
<p>6- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar</p>	<p>Experiencia en la actividad que se pueda desarrollar, mayor supervisión o control cuando se desarrollen los trabajos.</p>

<p>errores durante la manipulación y registró de las muestras?</p>	
<p>7- ¿Qué tipo de verificaciones o revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?</p>	<p>Estuve trabajando directamente en el proceso previo a envío laboratorio, proceso de fotografía, el cual debíamos cumplir en respaldar una imagen de las bandejas, el cual nos puede servir en un futuro en distintas situaciones que podrían suceder con las mismas muestras. Dicho proceso se encargaba de realizar un nuevo chequeo de los regularizados, remarcado de bandejas y posteriormente trazado de la muestra para ser cortada en laboratorio.</p>
<p>8- En su experiencia, ¿qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?</p>	<p>Malas prácticas de las empresas perforistas, trabajadores muchas veces utilizando herramientas hechas, provocando accidentes, comúnmente en perforación se ven los atrapamientos de dedos o manos con las mismas barras por la mala manipulación.</p>
<p>9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitan la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de</p>	<p>Mejorar la calidad de los procesos, mayor supervisión de los procesos, mejorar la seguridad o calidad en las áreas de trabajo.</p>

calidad?	
<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos?</p>	<p>Hoy en día existen empresas que pueden implementar sistemas informáticos, que pueden representar los yacimientos con la información recopilada por los geólogos, tratar que los procesos sean desarrollados por personal con experiencia en las áreas destinadas para asegurar aún más la información.</p>
<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿qué aspectos del proceso de muestreo estima más como relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	<p>Cuando se realiza una auditoria, es importante que todos los procesos y áreas estén cumpliendo 100%, la auditoría se centra en todo, muchas veces las empresas se preparan desde el proceso poco importante hasta el más relevante. Pero los que se pueden llevar mayor atención puede ser la área de geología, dado que los resultados y toma de decisiones recae en ellos, todo por la continuidad de los proyectos.</p>

(Elaboración propia, 2025)

Tabla 4. 4 Tabla con respuesta de cuestionario N°4

Entrevistado N°4	Nombre Patricio Rodriguez	Cargo Muestrero B	Empresa IMG Ltda.
-------------------------	--	------------------------------	------------------------------

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo describiría el rol que cumple el muestreo de sondajes dentro del control de calidad en una campaña de exploración minera?	El muestreo de sonajes es una parte fundamental en el control de calidad, con este muestreo se realizan los modelos geológicos, y aporta el de los rechazos del depósito lo cual permite la buena toma de decisiones sobre el desarrollo de un proyecto.
2- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo?	Los conocimientos y experiencia del personal varían según las faenas mineras pero estas profundizan sobre los distintos procedimientos que se realizan en cada etapa poco pueden realizar un trabajo sin errores.
3- En otras faenas donde haya trabajado, ¿Qué métodos o protocolos se utilizan para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?	Dependiendo la faena, los métodos o protocolos varían pero al final es el mismo, obtienen una muestra representativa ejemplo uso de estándares con certificación duplicado del corte de

	testigo.
4- Desde su punto de vista, ¿Cuáles son las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?	<ul style="list-style-type: none"> ● El corte de testigo debe ser rectificado de manera verídica según protocolo ● El etiquetado de las muestras (el buen etiquetado es fundamental) ● Limpieza en las áreas de trabajo para evitar contaminaciones cruzadas.
5- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?	<ul style="list-style-type: none"> ● Fotografía de cajas de sondajes antes y después del corte ● Uso fundamental certificados blancos y duplicados ● Etiquetado y marcado de bolsos correctamente ● Realizar inspecciones cruzadas de vez en cuando
6- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar errores durante la manipulación y registro de las muestras?	<ul style="list-style-type: none"> ● Siempre ser ordenado y detallista ● Tener conocimiento sobre el control de calidad de muestras ● Nociones básicas de uso de herramientas de registro digital ● Ser capaz de recibir órdenes de parte de supervisión

	<ul style="list-style-type: none"> ● Exigir capacitaciones sobre muestreo y control de calidad de muestras
7- ¿Qué tipo de verificaciones o revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?	<ul style="list-style-type: none"> ● Revisión de orden de las cajas con testigos de sondajes ● Revisión de que el corte se este revisando correctamente ● Revisión de operatividad de maquina de corte ● Revisión de protocolos de inserto de controles de calidad
8- En su experiencia, ¿qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacitación insuficiente del personal sobre el proceso de control de calidad ● Mucha rotación de personal ● Falta de comunicación entre trabajadores y parte de supervisión
9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitan la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad?	La clave son las capacitaciones prácticas sobre el proceso y la importancia del control de calidad de las muestras.

<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos?</p>	<p>Un plan formal de control de calidad ayuda a tener un proceso clave en cada uno de los pasos en un proceso de muestreo, además es una ayuda fundamental para poder detectar y poder corregir errores.</p>
<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿qué aspectos del proceso de muestreo estima más como relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Lo principal es que exista un protocolo de muestreo ● Poseer registros de todos los trabajadores de muestreo realizados ● Poder demostrar las capacidades técnicas de los trabajadores que participan en el proceso de muestreo

(Elaboración propia, 2025)

Tabla 4. 5 Tabla con respuesta de cuestionario N°5

Entrevistado N°5	Nombre Gonzalo Zavala Monroy	Cargo Supervisor	Empresa IMG Ltda.
-------------------------	---	-----------------------------------	------------------------------------

PREGUNTA	RESPUESTA
1- ¿Cómo describiría el rol que cumple el muestreo de sondajes dentro del control de calidad en una campaña de exploración minera?	<p>El muestreo de sondajes es fundamental en el control de calidad durante una campaña de exploración minera, ya que permite obtener información representativa del subsuelo. Su rol incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Representatividad: Asegura que las muestras recolectadas reflejen adecuadamente la variabilidad del material mineralizado en el área de estudio ● Evaluación de recursos: Proporciona datos críticos para la estimación de recursos minerales, lo que influye en decisiones de inversión y planificación ● Control de procesos: Permite verificar la eficacia de los métodos de perforación y extracción, asegurando que se cumplan los estándares de calidad establecidos

	<p>Un muestreo deficiente introduce un error de muestreo, afectando la confiabilidad de la ley y, por ende, la certificación del recurso. Es la base sobre la que se asienta todo el programa de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC)</p>
<p>2- Según su experiencia, ¿Qué nivel de conocimiento o capacitación considera que tiene el personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo?</p>	<p>En mi experiencia, el nivel de conocimiento y capacitación del personal en terreno sobre los procedimientos estandarizados de muestreo varía significativamente ya sea por la experiencia de cada trabajador. Sin embargo, considero que:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacitación insuficiente: Muchos trabajadores carecen de una comprensión profunda de los protocolos de muestreo, lo que puede llevar a errores en la recolección y manejo de muestras. ● Necesidad de formación continua: Es crucial implementar programas de formación regular para asegurar que todo el personal esté al tanto de las mejores prácticas y procedimientos actualizados.

	<p>Muchos operarios conocen el "qué hacer", pero no el "por qué se hace"</p>
<p>3- En otras faenas donde haya trabajado, ¿Qué métodos o protocolos se utilizan para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación?</p>	<p>En otras faenas donde he trabajado, se utilizan varios métodos y protocolos para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas durante la perforación, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Muestreo sistemático: Implementación de un diseño de muestreo que considere intervalos de profundidad y tipos de roca. ● Doble muestreo: Realización de muestreos duplicados para comparar resultados y detectar posibles errores. ● Control de calidad en campo: Supervisión constante del proceso de muestreo para asegurar que se sigan los protocolos establecidos. ● Muestreo Geométricamente: Para sondaje diamantino (DDH), se exige la división de la muestra al 50% utilizando una sierra de corte de diamante y un corte perpendicular al eje de la muestra o testigo).

	<ul style="list-style-type: none"> ● Control de Contaminación: Limpieza exhaustiva de equipos de corte, canales de muestreo y divisores entre intervalos.
<p>4- Desde su punto de vista, ¿Cuáles son las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos?</p>	<p>Las etapas más críticas del proceso de muestreo de sondajes que pueden influir directamente en la confiabilidad de los resultados geológicos incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Extracción de la muestra: La forma en que se extraen las muestras puede afectar su representatividad. ● Manipulación y transporte: Errores en el manejo o transporte de las muestras pueden producir contaminación o pérdida de material. ● Registro de datos: La precisión en el registro de datos es esencial para la trazabilidad y análisis posterior.
<p>5- ¿Qué controles de calidad considera indispensables para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio?</p>	<p>Para garantizar la precisión y trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio, considero indispensables</p>

	<p>los siguientes controles de calidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Protocolo de muestreo estandarizado: Documentación clara de los procedimientos de muestreo. ● Etiquetado adecuado: Todas las muestras deben estar correctamente etiquetadas con información relevante (fecha, lugar, profundidad). ● Cadena de custodia: Registro del manejo de las muestras desde su extracción hasta su llegada al laboratorio, asegurando que se mantenga la integridad de la muestra.
<p>6- ¿Qué competencias o habilidades técnicas debería tener el personal encargado del muestreo para minimizar errores durante la manipulación y registro de las muestras?</p>	<p>El personal encargado del muestreo debe poseer las siguientes competencias y habilidades técnicas para minimizar errores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conocimiento técnico: Comprensión de los métodos de muestreo y las características geológicas del área. ● Atención al detalle: Capacidad para seguir protocolos y registrar

	<p>datos de manera precisa.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Manejo de herramientas: Habilidad en el uso de equipos de perforación y muestreo
<p>7- ¿Qué tipo de verificaciones o revisiones realiza usted personalmente para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio?</p>	<p>Personalmente, realizo las siguientes verificaciones para asegurar la calidad del material muestreado antes de enviarlo al laboratorio:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Inspección visual: Revisión del estado físico de las muestras para detectar signos de contaminación o deterioro. ● Verificación de registros: Comprobación de que los registros de muestreo coinciden con las muestras recolectadas. <p>Revisión de protocolos: Asegurar que se hayan seguido todos los procedimientos estandarizados durante el muestreo.</p>
<p>8- En su experiencia, ¿qué debilidades o fallas recurrentes se presentan en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile?</p>	<p>En mi experiencia, algunas debilidades o fallas recurrentes en los procesos de muestreo en las faenas mineras del norte de Chile incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Falta de capacitación:

	<p>Insuficiente formación del personal en protocolos de muestreo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Inconsistencias en el registro de datos: Errores en la documentación que pueden afectar la trazabilidad. ● Contaminación de muestras: Prácticas inadecuadas en el manejo de muestras que pueden introducir contaminantes.
<p>9- Considerando que pueden existir resistencias al cambio, ¿Qué estrategias cree que facilitan la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad?</p>	<p>Para facilitar la adopción de mejores prácticas en el muestreo y control de calidad, propongo las siguientes estrategias:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Capacitación continua: Implementar programas de formación regular y talleres prácticos sobre muestreo y control de calidad. ● Involucramiento del personal: Fomentar la participación del personal en la creación de protocolos y procedimientos, generando un sentido de pertenencia.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Reconocimiento de buenas prácticas: Establecer un sistema de incentivos para motivar a los trabajadores que cumplan con los estándares de calidad.
<p>10- ¿Cómo considera que un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo podría contribuir a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos?</p>	<p>Un plan formal de aseguramiento y control de calidad del muestreo puede contribuir significativamente a mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los datos geológicos obtenidos al:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Estandarizar procedimientos: Definir claramente las etapas del muestreo y los requisitos de calidad, lo que facilitará la consistencia en la recolección de datos. ● Mejorar la comunicación: Asegurar que todos los involucrados estén informados sobre los protocolos y responsabilidades, reduciendo la posibilidad de errores. <p>Facilitar auditorías: Proveer un marco claro para las auditorías internas y externas, demostrando el cumplimiento de los estándares de calidad.</p>

<p>11- En caso de una auditoría interna o externa, ¿qué aspectos del proceso de muestreo estima más como relevantes para demostrar el cumplimiento de estos estándares de calidad?</p>	<p>En caso de una auditoría interna o externa, los aspectos del proceso de muestreo que considero más relevantes para demostrar el cumplimiento de los estándares de calidad incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none">● Documentación de procedimientos: Disponibilidad de registros que demuestren que se siguieron los protocolos de muestreo establecidos.● Cadena de custodia: Evidencia de la trazabilidad de las muestras desde su extracción hasta el laboratorio.● Resultados de control de calidad: Informes sobre los controles de calidad realizados y cualquier acción correctiva implementada en caso de desviaciones
--	--

(Elaboración propia, 2025)

A continuación, se presenta la siguiente tabla en la cual se hizo una comparación cruzada de las respuestas a las entrevistas, esto para asegurar la identificación de aquellas etapas que el personal consideró de mayor vulnerabilidad en el manejo de los testigos, sirviendo como la base que determinaron las etapas críticas.

Tabla 4. 6 Tabla comparativa para evidenciar etapas críticas según entrevistas

Proceso	Etapas	Características	Crítico (Sí/No)
Recepción del testigo	Revisión inicial	Control visual y verificación de bandejas	No
Corte y división del testigo (Splitting)	Preparación del equipo y limpieza	Riesgo de contaminación cruzada y Pérdida de material fino	Sí
Registro de profundidad	Uso de tacos	Posible confusión o pérdida de tacos durante el vaciado del barril	Sí
Embolsado y etiquetado	Codificación y cierre de bolsa	Confusión de etiquetas o errores de registro	Sí

(Elaboración propia, 2025)

El análisis integral de las cinco entrevistas realizadas, que abarcan desde la Gerencia de operaciones hasta el personal directamente involucrado en las labores de muestreo, se consolidó como la herramienta principal para validar las etapas críticas del proceso operacional. Los hallazgos permiten confirmar que las fases con mayor exposición al riesgo se concentran en tres ámbitos específicos: muestreo, corte de testigo y registro/etiquetado. Asimismo, este análisis permitió contextualizar los lineamientos de QA/QC, identificando los controles que resultan indispensables para garantizar la confiabilidad de los datos generados.

De manera global, las respuestas obtenidas evidencian que la vulnerabilidad del proceso de muestreo se origina en una dualidad de errores de naturaleza sistemática y humana, los cuales interactúan de forma sinérgica, amplificando el impacto sobre la calidad del resultado final. Esta interacción constituye el principal hallazgo para la discusión, ya que revela que los riesgos no operan de manera aislada, sino que se potencian mutuamente cuando no existen supervisión, capacitación y estandarización suficientes.

4.2 Resultado objetivo específico número 2

La matriz operacional fue desarrollada para evaluar el potencial de error asociado a cada proceso (anexo 1), En ella se consideraron criterios como el nivel de estandarización, la antigüedad del procedimiento y la frecuencia de ocurrencia de fallas operacionales. Esta matriz permitió organizar la información, identificar los puntos críticos y analizar las operaciones con mayor precisión y eficiencia.

Finalmente, se desarrolló una tabla comparativa donde se registraron los errores más críticos según la matriz operacional, clasificándolos según su tipo y caracterizándose de acuerdo con sus causas y características:

Tabla 4. 7 Tabla de clasificación de tipo de error operacional según matriz.

Proceso	Etapa	Descripción del error	Causa	Tipo de error
Recuperación y regularización de sondajes	Revisión de tacos	Error en los datos de los tacos	Falta de control en perforación y verificación deficiente	Sistemático
Recuperación y regularización de sondajes	Revisión de tacos	Falta de tacos de perforación	Omisión en perforación o pérdida durante manipulación	Humano
Recepción de bandejas	Recepción	Error de rotulación de bandejas	No validar correlatividad en la recepción	Humano
Recuperación y regularización de sondajes	Regularización	Error al escribir metraje inicial y final (o ilegible)	Falta de revisión y estandarización en escritura	Humano
Corte, muestreo y pesaje	Corte con partidor hidraulico	Perdida o mala interpretación del testigo	Manipulación incorrecta o inversión del testigo	Humano
Corte, muestreo y pesaje	Corte con partidor hidraulico	Corte erróneo por no revisar frecuencia	No validar correlatividad antes del corte	Sistemático
Fotografía pre-corte	Revisión de bandejas	No revisión de correlatividad de bandejas	Falta de control visual y verificación cruzada	Humano

Fotografía pre-corte	Revisión de bandejas	No revisión de correlatividad de bandejas	Falta de estandarización en revisión final	Humano
Corte, muestreo y pesaje	Embolsado	Mal etiquetado de bolsas	Falta de orden y verificación en muestreo	Humano
Base de datos	Ingreso de información	Error de traspaso de datos a digital	Falta de revisión doble y control sistemático	Sistemático
Base de datos	Planilla de avance	No actualizar planilla con última información	Desorden documental y falta de control	Sistemático
Corte, muestreo y pesaje	Corte con partidor hidraulico	Realizar corte sin chequear fotografía pre-corte	No validar fotografía	Humano
Corte, muestreo y pesaje	Embolsado	Incorporar más muestra en bolsas	Manipulación incorrecta	Humano
Corte, muestreo y pesaje	Embolsado	Incorporar otros sondajes en bolsa	Manipulación incorrecta	Humano
Base de datos	Ingreso de información	Divulgar información	Falta de ética y confidencialidad	Humano
Corte, muestreo y	Con pastidor hidráulico	Corte irregular del testigo	Cuchillo en mal estado	Tecnico

pesaje				
--------	--	--	--	--

(Elaboración propia, 2025)

El desarrollo de la matriz operacional permitió comprender con detalle cómo cada proceso del muestreo aportaba distintos niveles de exposición al error. Al incorporar criterios como la estandarización, la antigüedad de los procedimientos y la frecuencia real de fallas operacionales, la matriz no solo organizó la información de manera sistemática, sino que también reveló patrones que no eran visibles a simple vista. Su aplicación evidenció que los procesos menos actualizados o con menor claridad en las instrucciones concentraron mayor probabilidad de fallas, mientras que aquellos con protocolos vigentes y definidos mostraron un comportamiento más controlado. Esta herramienta facilitó localizar puntos críticos dentro del flujo operacional, permitiendo un análisis más preciso y sustentado de las actividades que demandaban atención prioritaria.

A partir de esta base, la tabla comparativa fortaleció el análisis al profundizar específicamente en los errores considerados más críticos por la matriz. La clasificación por tipo de error entregó una visión clara de la naturaleza de cada falla, ya fuera humana, técnica, sistemática o aleatoria y permitió identificar sus causas recurrentes, las condiciones en que surgían y su impacto potencial sobre la calidad del muestreo. Este cruce de información evidenció que muchos de los errores no se originaban de forma aislada, sino que respondían a combinaciones de deficiencias en capacitación, instrumentos inadecuados, falta de control en terreno o documentación desactualizada. En conjunto, ambos instrumentos ofrecieron un panorama integral y comparativo que hizo posible visualizar las debilidades estructurales del proceso y fundamentar con mayor solidez la identificación de las etapas que requerían mejoras operacionales y estandarización inmediata.

4.3 Resultado de objetivo específico N° 3

Se presenta la tabla comparativa entre los procedimientos de muestreo de sondajes diamantinos aplicados por las empresas IMG Ltda. y ATEX resources, se identificaron buenas prácticas y se determinó qué aspectos de cada procedimiento contribuyen a una mayor eficiencia y calidad en los resultados.

Tabla 4. 8 Tabla comparativa para identificar buenas prácticas de empresas IMG Ltda y ATEX

Criterio de evaluación	Descripción del criterio	IMG ltda.	ATEX	Observación/ Conclusiones
Complejidad	Evalúa la cantidad y secuencia de etapas que conforman el procedimiento de muestreo, desde la recuperación del testigo hasta el envío al laboratorio.	Presenta un procedimiento completo, con etapas bien definidas (recuperación, geotecnia, fotografías, corte, pesaje y envío)	Procedimiento más corto, con menor detalle en etapas de control físico y documental.	IMG Ltda. evidencia un mayor control general del proceso; ATEX podría fortalecer su estructura secuencial.
Trazabilidad	Mide la capacidad de seguir la muestra desde su extracción hasta su envío al laboratorio.	Incluye registro fotográfico pre y post corte, pesajes y codificación de muestras.	Registra datos y fotografías generales, pero sin control detallado entre etapas.	IMG Ltda. garantiza una mejor trazabilidad y documentación del muestreo.
Control de calidad	Evalúa las medidas aplicadas para asegurar la precisión y confiabilidad de los datos.	Aplica verificación por pesaje y control de duplicados, además de revisión visual en cada etapa.	Se enfoca en mediciones instrumentales, pero con menor control en pesaje o verificación	ATEX incorpora tecnología, pero IMG Ltda. presenta controles más rigurosos.

			visual.	
Aplicación tecnológica	Analiza el uso de herramientas tecnológicas en el muestreo.	Aplica métodos como softwares para el uso de muestreo y base de datos	Integra tecnologías como LOGRÉ, Quicklook y lectura espectral.	Ambas empresas aplican métodos tecnológicos eficaces.
Eficiencia operativa	Considera el uso de tiempo y recursos en la ejecución del proceso.	El proceso es más extenso, pero ordenado y con menor margen de error.	Los procedimientos son más rápidos, aunque existe el riesgo de omitir pasos críticos.	IMG Ltda. prioriza la calidad, mientras que ATEX privilegia la rapidez. Un equilibrio entre ambos enfoques sería ideal.

(Elaboración propia, 2025)

El análisis comparativo entre los procedimientos aplicados por IMG Ltda. y ATEX resources permitió identificar fortalezas y debilidades en ambas metodologías, revelando una oportunidad clara de integración para construir un sistema más apropiado a las necesidades. IMG destacó por poseer mayor trazabilidad documental, controles de pesaje más rigurosos, revisiones visuales en cada etapa y un flujo más secuenciado, lo cual disminuye errores sistemáticos, aunque a un costo operativo mayor en tiempo y recursos. En contraste, ATEX presentó procesos más ágiles y con un uso más intensivo de tecnología, como softwares especializados y lectura espectral; lo que mejora la eficiencia y la captura digital de datos, aunque tiende a omitir pasos críticos de control físico, aumentando el riesgo de sesgos sistemáticos y la pérdida de información esencial.

La comparación evidenció que ninguna empresa posee un procedimiento completamente superior, sino que cada una presenta ventajas complementarias. La revisión permitió concluir que la mejor práctica operacional surge de combinar la

rigurosidad documental y controles secuenciales de IMG con la eficiencia y soporte tecnológico de ATEX, logrando así un equilibrio óptimo entre velocidad, calidad y control. Además, el estudio detectó que la falta de capacitación transversal y la alta rotación de personal afectan por igual a ambas empresas, por lo que las mejoras procedimentales deben ir acompañadas de una estrategia de formación continua.

4.4 Resultado objetivo específico N°4

La decisión de elaborar una libreta de campo se derivó de las evidencias obtenidas durante el análisis comparativo entre ambas empresas. A lo largo de la investigación se constató que muchas de las deficiencias operacionales no surgían por falta de capacidad técnica del personal, sino por la inexistencia de un instrumento unificado, práctico y accesible que orientara las actividades directamente en terreno. Se observó que cada empresa poseía procedimientos propios, algunos desactualizados, otros incompletos o distribuidos en documentos extensos que rara vez eran consultados durante las operaciones de muestreo. Esta falta de estandarización generaba variabilidad en la ejecución, incrementaba la probabilidad de errores humanos y dificultaba el aseguramiento de la calidad.

Del mismo modo, se evidenció que los procesos que alcanzaron mejores resultados correspondieron a aquellos respaldados por instructivos claros, visibles y utilizados de manera habitual en el área de trabajo. Este comportamiento permitió concluir que disponer de una herramienta operativa, resumida y fácilmente consultable era fundamental para disminuir la ocurrencia de fallas y mejorar la coherencia entre lo planificado y lo ejecutado. En consecuencia, la elaboración de una libreta de campo se determinó como la alternativa más eficaz para integrar las mejores prácticas identificadas, corregir las deficiencias detectadas y asegurar que los procedimientos se aplicaran de forma uniforme y controlada.

La libreta de campo reunió una serie de instructivos operativos que fueron elaborados para ordenar y estandarizar cada fase del muestreo. En ella se describieron los procedimientos de armado de rack, corte y fotografía de testigos, traslado de bandejas, validación de datos, geotecnia, orientación y mapeo geológico, todos redactados de manera directa y aplicada al trabajo en terreno. Estos instructivos se incorporaron con el propósito de ofrecer una guía clara y accesible para el personal, facilitando la ejecución correcta de las tareas y reduciendo la variabilidad observada durante el análisis previo.

1. INSTRUCTIVO DE ARMADO DE RACKS Y ALMACENAMIENTO

Objetivo:

1. Armar racks seguros y estables para almacenar bandejas porta-testigos.
2. Reúne herramientas, pernos y EPPs (guantes, casco, zapatos).
3. Coloca el primer lateral del rack en posición vertical.
4. Aperna un tirante en la parte inferior.
5. Aperna el mismo tirante al segundo lateral.
6. Instala un tirante en diagonal para formar una "X".
7. Aperna el cruce de los tirantes con un perno central.
8. Verifica y ajusta todos los pernos.
9. No dejes racks sin peso en zonas con viento.

Almacenamiento de bandejas

1. Traslada bandejas con carro o camioneta (siempre entre dos personas).
2. Revisa bordes cortantes antes de manipularlas.
3. Colócalas en el rack desde abajo hacia arriba.
4. Mantén visible la identificación de caja y sondaje.
5. Usa plataforma si superan la altura de hombros.

2. INSTRUCTIVO DE CORTE Y MUESTREO

Objetivo: Obtener mitades representativas para laboratorio y respaldo.

Antes del corte

1. Verifica EPP completo.
2. Revisa el funcionamiento del partidor.
3. Confirma:

- Regularización del sondaje
- Fotografías pre-corte realizadas
- Línea de corte marcada
- RQD y Recuperación calculados

Cómo cortar

1. Ordena las bandejas correlativamente.
2. Prepara bolsas de muestreo con número y código.
3. Abre la abrazadera y posiciona el testigo sobre la línea marcada.
4. Cierra la abrazadera y asegúrate de la alineación correcta.
5. Solo el operador debe estar junto a la máquina.
6. Corta desde el final del tramo hacia atrás.
7. Mitad representativa a bolsa; mitad restante a la bandeja original.
8. Procesa muestras QA/QC según su tipo.
9. Repite en orden hasta finalizar el sondaje.

Cierre

- Revisa secuencia completa de bolsas.
- Limpia sala y partidor.
- Entrega muestras al laboratorio/logística.

3. INSTRUCTIVO DE FOTOGRAFÍA DIGITAL DE TESTIGOS (PRE Y POST CORTE)

Objetivo: Registrar imágenes claras del testigo completo y medio testigo para respaldo.

Organización previa

1. Traslada bandejas a sala de cámara en grupos de 3.
2. Ordénalas de menor a mayor metraje.
3. Asegura que toda la información visible quede hacia la cámara.
4. Evita charcos o reflejos en versión húmeda.

Tomas requeridas por cada 3 bandejas:

Pre-Corte

- 1 foto seca.
- 1 foto húmeda.

Post-Corte

- 1 foto medio testigo seco.
- 1 foto medio testigo húmedo.

Total: 4 fotos por cada 3 bandejas

Cómo tomar la fotografía:

1. Abre EOS Utility → “Disparo remoto”.
2. Usa “Visión directa remota” para enfocar.
3. Revisa imagen en pantalla:
 - Nitidez.
 - Lectura de tacos y metros.

- Color y brillo.
 - Escala gráfica visible.
4. Toma la foto.
 5. Verifica calidad antes de guardar.

Edición Digital:

1. Carga la foto desde la carpeta.
2. Completa información:
 - Sondaje.
 - Desde-Hasta.
 - Diámetro.
 - Versión (Pre/Post Corte)
 - Seca/Húmeda.
 - Número de foto.
3. Asigna bandejas usando “Buscar”.
4. Edita:
 - Endereza.
 - Recorta.
 - Corrige curvatura.
5. Genera viñeta con el ticket verde.
6. Guarda primero en carpeta FOTO.

4. INSTRUCTIVO DE TRASLADO DE TESTIGOS

Objetivo: Mover bandejas sin perder continuidad ni causar lesiones.

Traslado manual:

- Siempre entre dos personas.
- Máximo permitido: 25 kg/persona.
- Levantar piernas, espalda recta.
- Para distancias cortas únicamente
- Delantero guía, trasero acompaña carga...

Traslado mecánico:

Carro de traslado:

1. Fija frenos.
2. Carga bandejas correctamente estibadas.
3. Traslado por terreno plano.

Camioneta:

1. Subir y bajar entre dos personas.
2. Bandejas siempre horizontales.
3. Asegurar con cuerdas o cinchas.

Montaje en atriles

1. Colocar bandejas según secuencia del sondaje.
2. Mantener el área limpia y ordenada.
3. Registrar el traslado si aplica al proyecto.

5. INSTRUCTIVO DE VALIDACIÓN Y REGULARIZACIÓN

Objetivo: Asegurar metraje real, continuidad y calidad de la muestra.

Validación del testigo

1. Revisa continuidad trozo a trozo (como rompecabezas).
2. Verifica sumas de tacos; reporta errores al perforista.
3. Si recuperación >100%:
 - Mide el sobrante
 - Traslado a la carrera previa
 - Marca nueva posición real con flecha azul
 - Recalcula recuperaciones hasta atrás.

Regularización del metraje

1. Marca cada 2 metros (2,4,6...).
2. Usa el taco más cercano para referencia.
3. Mide distancia y marca con línea roja.
4. Si hubo pérdidas:
 - Aplica factor = $\text{Recuperado} / \text{Perforado}$
 - Ajustar la distancia antes de medir
5. Material esparcido que llena 50% del cilindro → castigar al 50%.
6. Registra toda la información en la planilla de regularización.

6. INSTRUCTIVO DE MAPEO GEOTÉCNICO

Objetivo: Registrar parámetros geotécnicos para RQD y RMR.

Ejecución:

1. Trabaja por tramos de 2 metros.
2. Clasifica fracturas:
Naturales → dos puntos (consideran RQD)
Inducidas → dos líneas paralelas (no considerar RQD)
3. Si se rompe fácil → clasificar como natural.
4. Registra:
 - Desde–Hasta
 - Recuperación total
 - Sólido y matriz
 - Largos de trozos >10 cm
 - FF (fracturas naturales)
 - IRS
 - Cond. de fracturas
 - Observaciones

Superficie

1. Delimita celdas según comportamiento mecánico.
2. Registra espaciamiento, persistencia, rellenos, abertura, rugosidad.
3. Clasifica según GSI.
4. Ingresa todo en GETAC y/o PC.

7. INSTRUCTIVO DE ORIENTACIÓN Y RAYADO DE TESTIGOS

Objetivo: Definir correctamente la línea de corte para obtener un muestreo representativo.

Ejecución:

1. Trabaja solo cuando el sondaje esté regularizado y mapeado.
2. El geólogo orienta al testigo siguiendo estructuras geológicas.
3. Usa vetillas, buzos y contactos para guiar la orientación.
4. Marca la línea de corte con lápiz de cera.
5. Asegura uniformidad de la marcación en todas las bandejas.
6. Deja testigo listo para fotografía y corte.

8. INSTRUCTIVO DE MAPEO GEOLÓGICO

Objetivo: Registrar información geológica del macizo rocoso para interpretación, recursos y metalurgia.

Cómo realizar el mapeo

1. Trabaja a escala 1:200 en soportes de 2 m.
2. Registra:
 - Metraje
 - Leyes (decimales exactos del laboratorio)
 - Litología y color
 - Estructuras (tipo, relleno, ángulo)
 - Óxidos Fe-Cu
 - Sulfuros (relación total = 10)
 - Ley visual
 - Zona mineral (lixiviada, oxidada, mixta)
 - Alteración (minerales y % relativo)
 - Textura destruida y porosidad
 - Pisos y techos
 - Zona de alteración
 - Comentarios interpretativos

Entrega

- Digitaliza en formato Excel.
- Entrega a Base de Datos y QAQC.

4.4.2 libreta de campo de apoyo en terreno.

1. **Portada:** Esta hoja correspondió a la primera de la Libreta de Campo, que fue diseñada utilizando la aplicación Canva; contó con las siguientes características.
 - **Logotipo del Equipo:** Incluyó el símbolo que identifica a nuestro grupo.
 - **Abreviatura o iniciales que identificarán al grupo:** M.E.T.A (Mejora Eficiente de Tareas y Actividades)
 - **Participantes en la Elaboración:** Menciona el nombre de las personas que contribuyeron a la creación de la Libreta de Campo.
 - **Ilustración:** Mostró una ilustración que hace referencia a personal de muestreo de sondajes (muestreiros).

Ilustración 4. 1 Portada de libreta



(Elaboración propia, 2025)

2. **Instructivos;** Esta página y las siguientes (8) contienen los instructivos esenciales para los procedimientos de muestreo de sondaje diamantino.

●**Función:** Proveer una alternativa inmediata y tangible para consultar los procedimientos.

●**Mecanismo:** El acceso se realiza a través del instructivo físico disponible en terreno.

●**Contenido:** Contiene los instructivos organizados por cada etapa del procedimiento.

Ilustración 4. 2 Hoja Instructivo

INSTRUCTIVO DE ARMADO DE RACKS Y ALMACENAMIENTO



1. Armar racks seguros y estables para almacenar bandejas porta-testigos.
2. Reúne herramientas, pernos y EPP (guantes, casco, zapatos).
3. Coloca el primer lateral del rack en posición vertical.
4. Aperna un tirante en la parte inferior.
5. Aperna el mismo tirante al segundo lateral.
6. Instala un tirante en diagonal para formar una "X".
7. Aperna el cruce de los tirantes con un perno central.
8. Verifica y ajusta todos los pernos.
9. No dejes racks sin peso en zonas con viento.

ALMACENAMIENTO DE BANDEJAS

1. Traslada bandejas con carro o camioneta (siempre entre dos personas).
2. Revisa bordes cortantes antes de manipularlas.
3. Colócalas en el rack desde abajo hacia arriba.
4. Mantén visible la identificación de caja y sondaje.
5. Usa plataforma si superan la altura de hombros.

(Elaboración propia, 2025)

3. **Desarrollo:** Esta hoja estuvo dedicada al desarrollo y registro detallado de una tarea o actividad específica, e incluyó los siguientes campos y secciones clave:

- **Código de Impresión:** Contuvo el número de código impreso que identificó de manera única a cada libreta.
- **Nombre de la Tarea o Actividad:** Se registró el título claro del trabajo realizado.
- **Lugar de Trabajo:** Se consignó la ubicación donde se llevó a cabo la actividad.
- **Fecha de Realización:** Se indicó el día en que se ejecutó la tarea.
- **Preguntas Clave:** Contuvo tres preguntas elaboradas a partir de nuestras distintas opiniones y apreciaciones, destinadas a promover la reflexión y el análisis de la actividad. Cada respuesta debía marcarse con una “X” según correspondiera.
 - “¿Tengo claros todos los pasos del procedimiento antes de comenzar?”
 - “¿Cuento con los equipos, materiales y condiciones necesarias para realizar la tarea?”
 - “¿Conozco los criterios o resultados esperados para asegurar que la actividad se realice correctamente?”
- **Espacios de Desarrollo:** Ofreció doce espacios dedicados a describir de forma concisa los pasos críticos esenciales de la tarea o actividad.

Ilustración 4.3 Segundo hoja, desarrollo

EJEMPLO DE LLENADO

0000

ANTES DEL TRABAJO

NOMBRE DE TAREA/ACTIVIDAD: ORIENTACIÓN Y RAYADO DE TESTIGOS

LUGAR DE TRABAJO: ALTAMIRA

FECHA DE REALIZACIÓN: DD/MM/AA

MARCAR CON UNA "X" SI / NO

¿TENGO CLAROS TODOS LOS PASOS DEL PROCEDIMIENTO ANTES DE COMENZAR? X

¿CUENTO CON LOS EQUIPOS, MATERIALES Y CONDICIONES NECESARIAS PARA REALIZAR LA TAREA? X

¿CONOZCO LOS CRITERIOS O RESULTADOS ESPERADOS PARA ASEGURAR QUE LA ACTIVIDAD SE REALICE CORRECTAMENTE? X

GUÍA DE EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD

CHECK AL COMPLETAR CADA PASO

PRIMER PASO: TRABAJA SOLO CUANDO EL SONDAJE ESTÉ REGULARIZADO Y MAPEADO.

SEGUNDO PASO: EL GEÓLOGO ORIENTA AL TESTIGO SIGUIENDO ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

TERCER PASO: USA VETILLAS, BUZOS Y CONTACTOS PARA GUIAR LA ORIENTACIÓN.

(Elaboración propia. 2025)

El cumplimiento del cuarto objetivo se concretó mediante el diseño de una Libreta de Campo estandarizada que incorporó en su interior un instructivo estructurado, destinado a fortalecer el control operacional, mejorar la ejecución en terreno y reducir la variabilidad entre trabajadores. Esta propuesta se elaboró a partir del análisis comparativo entre las prácticas de ambas empresas y de la identificación de las etapas críticas establecidas en los objetivos anteriores. La libreta integró secciones para la identificación del trabajo, una evaluación inicial mediante preguntas de verificación, el registro detallado de los pasos críticos, un checklist de ejecución y un espacio para recomendaciones, lo que promovió la participación del personal con experiencia y facilitó la retroalimentación continua.

La Libreta de Campo se planteó como una herramienta que podía integrarse en las labores diarias de la empresa, especialmente durante las reuniones de inicio de turno. La idea consistió en que cada trabajador revisará los instructivos incluidos en la libreta y completará de manera consciente los registros relacionados con la actividad asignada antes de comenzar sus tareas. Con ello, se buscó que el trabajador reflexionara sobre los pasos críticos del procedimiento y verificará que contaba con las condiciones necesarias para ejecutar su labor.

Posteriormente, se estableció que el trabajador firmará en la sección final de la libreta, con el fin de confirmar que estaba conforme con sus respuestas y que comprendía el procedimiento a seguir. Asimismo, se propuso que el supervisor va a revisar la información registrada y, de corresponder, otorgará su aprobación mediante firma, validando que el trabajador entendió las instrucciones antes de iniciar las actividades. Esta acción se proyectó como un mecanismo preventivo orientado a ordenar el trabajo y reducir la posibilidad de errores.

Para que esta propuesta pudiera aplicarse, se consideró necesario que la gerencia, los administradores y los supervisores estuvieran al tanto de su eventual incorporación como parte del procedimiento operativo. De este modo, la libreta se presentó como una herramienta que, en el futuro, podría contribuir al fortalecimiento de la trazabilidad y la calidad en las labores de muestreo en terreno.

CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES

6.1 Conclusión

La presente investigación permitió comprender con profundidad el proceso de muestreo de sondajes diamantinos y evidenció que la calidad y confiabilidad de los datos geológicos dependieron directamente de la rigurosidad, trazabilidad y estandarización con que se ejecutaron las operaciones de manipulación del testigo. Cada objetivo específico aportó una pieza fundamental para construir una visión completa del sistema, permitiendo diagnosticar las debilidades operativas, identificar las causas reales de los errores y proponer soluciones que respondieron a necesidades concretas observadas en terreno.

El desarrollo del objetivo específico N° 1, permitió caracterizar las operaciones realizadas en terreno además de identificar las etapas que concentraron el mayor nivel de riesgo operacional. Los resultados obtenidos mediante el cuestionario aplicado al personal de distintas empresas confirmaron que las fases más críticas correspondieron al corte del testigo, al registro y verificación de la profundidad, al etiquetado de las muestras y a la regularización del metraje. Estas etapas fueron mencionadas reiteradamente por diferentes trabajadores en diversos cargos; lo cual validó su condición de puntos sensibles dentro del proceso. Su criticidad se relacionó con la manipulación directa del testigo, la necesidad de exactitud en el registro y el impacto que cualquier desviación podía generar en la continuidad y coherencia del pozo. Asimismo, se evidenció que factores externos como la rotación del personal y la falta de capacitación estructurada aumentaron la probabilidad de error en todas las fases, demostrando que el desempeño del proceso dependió tanto de la estructura operativa como de la formación del equipo.

El desarrollo del objetivo específico N° 2, permitió el análisis de errores y profundizar en el funcionamiento interno del proceso, además ayudó a comprender de manera más clara cómo y por qué se degradaba la calidad del muestreo. La matriz operacional registró una amplia variedad de errores, permitiendo clasificarlos como humanos, sistemáticos, técnicos y aleatorios. Los errores humanos fueron los más frecuentes e incluyeron situaciones como la pérdida de tacos, la rotulación incorrecta de

bandejas, la escritura ilegible o errónea del metraje, la mala interpretación del testigo durante el corte, la omisión de la revisión fotográfica pre-corte, el mal etiquetado de bolsas y la mezcla indebida de muestras de distintos sondeos. También se detectaron errores vinculados a prácticas inadecuadas como la divulgación no autorizada de información.

Los errores sistemáticos, por su parte, evidenciaron debilidades estructurales del proceso: errores persistentes en los datos de los tacos, realización del corte sin validar correlatividad, fallas en la digitación de datos por ausencia de doble revisión y planillas desactualizadas por desorden documental. Estas fallas, al repetirse, demostraron que la falta de controles formalizados generaba desviaciones constantes y acumulativas. Los errores técnicos se asociaron principalmente a la utilización de herramientas en mal estado, como cuchillos o partidores que provocaron cortes irregulares. En conjunto, la clasificación permitió concluir que los errores humanos y sistemáticos fueron los más críticos por su alta frecuencia y su impacto directo en la representatividad de la muestra.

Por otra parte el desarrollo del objetivo N°3, consistió en la comparación entre las metodologías de IMG Ltda. y ATEX esto permitió identificar diferencias sustanciales en enfoques y resultados. IMG se destacó por su rigurosidad documental, sus controles secuenciales, su énfasis en la verificación visual y su capacidad para asegurar trazabilidad en cada etapa. Este enfoque, aunque más lento y demandante en recursos, redujo la probabilidad de errores sistemáticos. ATEX, en contraste, presentó un proceso más ágil, apoyado en herramientas tecnológicas como softwares especializados y lectura espectral, lo que permitió mayor eficiencia y velocidad en la captura de datos. Sin embargo, esta misma orientación tecnológica implicó omitir ciertos controles físicos que, aunque simples, son esenciales para detectar desviaciones tempranas. El análisis concluyó que ninguna empresa presentó un proceso completamente superior, sino que ambas mostraron fortalezas complementarias: IMG aportó disciplina y control físico, mientras que ATEX demostró la relevancia de integrar tecnología para optimizar los tiempos y la disponibilidad de información. La combinación de ambas aproximaciones constituía un estándar ideal para futuras operaciones. Además, se identificó que tanto IMG como ATEX fueron afectadas por alta rotación de personal y falta de capacitación transversal, lo que

reforzó la necesidad de acompañar cualquier mejora procedimental con estrategias formativas de carácter permanente.

Finalmente, en el desarrollo del objetivo específico N° 4, se diseñó una Libreta de Campo estructurada como herramienta de apoyo directo en terreno. Este documento incorpora tablas de verificación, espacios de registro secuencial, apartados para validar cada etapa del proceso y un instructivo integrado que guió al operador durante la ejecución. Su propósito fue servir como una propuesta para reducir la variabilidad entre trabajadores, fortalecer la disciplina operativa y asegurar la trazabilidad diaria del muestreo. Se confió que esta libreta ofrezca un soporte práctico y accesible que ayude a disminuir la recurrencia de los errores detectados, especialmente aquellos vinculados al orden, la verificación y la correcta documentación.

En conjunto, la investigación demostró que la confiabilidad del muestreo diamantinos dependió de cuatro pilares esenciales:

1. Reconocer y controlar las etapas críticas del proceso.
2. Comprender con precisión los errores que surgieron, sus causas y sus consecuencias.
3. Comparar y adoptar buenas prácticas operativas que permitieran reducir la variabilidad entre faenas.
4. Implementar herramientas estandarizadas que apoyaran la verificación, el orden y el registro en terreno.

La integración de estos elementos permitió no solo analizar con profundidad dónde ocurrían las fallas, sino también proponer soluciones reales, aplicables y alineadas con la práctica diaria de la industria minera. En este sentido, el trabajo representó una contribución significativa al fortalecimiento de la trazabilidad operacional, la calidad de los datos geológicos y la toma de decisiones basadas en información confiable dentro de cualquier proyecto minero que utilizara sondajes diamantinos como parte de su exploración o caracterización del recurso.

6.2 Glosario

- **Sondaje DDH:** Método de perforación que utiliza una broca con punta de diamante para extraer una muestra de roca cilíndrica continua desde el subsuelo. Es el principal método para la exploración minera.
- **Testigo (Core o Probeta):** La muestra de roca cilíndrica obtenida directamente de la perforación diamantina. Es el material que debe ser manipulado, dividido y analizado para determinar la ley del mineral. Tiene diferentes diámetros.
- **Muestreo de Sondajes:** Es el proceso completo que involucra la obtención, medición, manipulación, división (splitting) y preparación del testigo para su envío al laboratorio.
- **QA/QC (Aseguramiento y Control de Calidad):** Sigla de Quality Assurance / Quality Control. Conjunto de procedimientos sistemáticos y obligatorios diseñados para garantizar la fiabilidad, precisión y exactitud de los datos geológicos obtenidos de las muestras.
- **Trazabilidad o Cadena de Custodia:** El registro documental ininterrumpido que permite seguir la historia y ubicación exacta de una muestra (desde su extracción hasta el análisis final), asegurando que su integridad no ha sido comprometida o alterada.
- **Taco de Profundidad:** Un pequeño bloque de madera o plástico que se inserta en la caja porta-testigo para marcar con precisión el metraje de inicio y fin de cada corrida de perforación. Su colocación incorrecta es un error crítico de ubicación.
- **Regularización:** Es la etapa de trabajo de gabinete donde se mide, cuadra y registra el testigo en las cajas, verificando la recuperación de la perforación (metros extraídos vs. metros perforados) y corrigiendo cualquier error de profundidad.
- **Corte y División (Splitting) del Testigo:** El proceso de dividir el testigo longitudinalmente (generalmente en dos mitades iguales, 50/50) utilizando una sierra diamantada. Una mitad se envía a análisis químico, y la otra se almacena como contra-muestra.

- **Contaminación Cruzada:** Ocurre cuando material de una muestra (generalmente una rica en mineral) se transfiere accidentalmente a la muestra siguiente (estéril o pobre), usualmente por una limpieza deficiente de las herramientas de corte.
- **Estándares:** Muestras con una ley de mineral conocida y certificada que se insertan ciegamente en el lote de muestras para verificar la precisión (exactitud) del laboratorio.
- **Blancos (Blanks):** Muestras de material estéril (sin mineral) que se insertan en el lote para verificar la contaminación que pueda introducir el laboratorio durante la preparación o el análisis.
- **Ley Mineral:** concentración o porcentaje de mineral de interés (por ejemplo, cobre o molibdeno) presente en la roca. Es el dato clave que se obtiene del análisis químico
- **Recuperación del testigo (%de recuperación):** Es el porcentaje de material rocoso efectivamente extraído en comparación con la longitud total perforada. Una baja recuperación se considera un punto de alto riesgo.
- **Modelo de Datos / Modelo Geológico:** Es la representación digital tridimensional del yacimiento (litología, estructuras, leyes) construida a partir de la información de los sondajes, que es fundamental para la estimación de recursos y la planificación minera.
- **Exploración minera:** Es el proceso de búsqueda, identificación y evaluación de yacimientos minerales en la corteza terrestre. Su objetivo es determinar la viabilidad de explotar económicamente depósitos de metales, minerales y otros recursos valiosos mediante el uso de técnicas científicas como el análisis geoquímico y la geofísica.
- **Prospección minera:** Es la etapa inicial de la búsqueda de depósitos minerales valiosos, como metales, minerales o piedras preciosas.
- **Yacimiento mineral:** Es una concentración natural de minerales en la corteza terrestre, lo suficientemente grande y rica como para ser económicamente rentable de explotar.
- **Mineralización:** Proceso natural mediante el cual los elementos metálicos o minerales de interés económico se concentran en un volumen específico de roca.

Ocurre debido a interacciones geológicas como procesos hidrotermales, magmáticos, sedimentarios o metamórficos.

- **Cobre:** Elemento químico metálico (Cu) de alta conductividad eléctrica y térmica, ampliamente utilizado en industrias tecnológicas, energéticas y de infraestructura. En minería, su extracción proviene principalmente de yacimientos porfídicos, vetiformes y sedimentarios, donde aparece en minerales como calcopirita, bornita y calcosina.
- **Hierro:** Elemento metálico (Fe) abundante en la corteza terrestre, esencial para la fabricación de acero y múltiples aleaciones. Los principales minerales de hierro son hematita, magnetita y goethita.
- **Circulación Inversa (RC):** Método de perforación utilizado para obtener muestras de chips o detritos de roca mediante la inyección de aire comprimido. El material extraído asciende a través de un doble sistema de tuberías, mejorando la calidad del muestreo y reduciendo el riesgo de contaminación cruzada. Es ampliamente utilizado en exploración minera por su rapidez y costos más bajos que el sondaje diamantino.
- **Perforación a Rotación:** Técnica de perforación basada en la rotación continua de una broca o corona que tritura el material rocoso. Es empleada en operaciones de sondaje para alcanzar grandes profundidades y obtener testigos o recortes, dependiendo del método complementario utilizado. Su eficiencia depende del tipo de roca, velocidad de rotación y presión aplicada.
- **Tasas de Recuperación:** Indicador que expresa el porcentaje de material extraído respecto del material estimado. En sondajes diamantinos se refiere al porcentaje de testigo recuperado.
- **Reservas:** Volumen de material mineralizado cuya extracción es económicamente viable bajo condiciones técnicas y de mercado actuales.
- **Etapas de un proyecto minero:** Secuencia de fases que conforman el desarrollo de una operación minera, desde la identificación del recurso hasta el cierre. Generalmente incluyen: prospección, exploración, evaluación, desarrollo, explotación, procesamiento y etapa de cierre. Cada fase requiere estudios técnicos, ambientales, económicos y operativos.

- **AQ, BQ, NQ, HQ y PQ:** Estas siglas provienen del sistema de clasificación “Q”, desarrollado para estandarizar el tamaño de las herramientas utilizadas en sondaje diamantino. Cada letra indica el diámetro del equipo, el tamaño de la corona y por ende, el diámetro del testigo recuperado.
- **RQD:** Índice geotécnico utilizado para evaluar la calidad del macizo rocoso a partir de los testigos obtenidos en sondaje diamantino. El RQD representa el porcentaje de la longitud total del testigo compuesto por fragmentos de roca intactos con longitudes iguales o superiores a 10 cm. Valores altos indican un macizo rocoso competente y poco fracturado, mientras que valores bajos reflejan una roca intensamente fracturada o de baja calidad geomecánica.

6.3 Bibliografía

Muñasqui Crisostomo, K. B. (2022). Aplicación del aseguramiento y control de la calidad (Qa/Qc) en la campaña de perforación diamantina 2018, Mina Toromocho. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Retrieved 10 02, 2025, from http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2871/1/TSP026_73904364_T.pdf

Ricra Luis, J. H. (2022). Evaluación del aseguramiento y control de calidad de muestras de la mina Marcapunta de Sociedad Minera El Brocal, 2021. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Retrieved 10 02, 2025, from http://45.177.23.200/bitstream/undac/2870/1/T026_70776163_T.pdf

Almerco Arrieta, A. A. (2022). *Evaluación del control de calidad en labores de planificación a corto plazo - unidad minera Raura – 2019*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Retrieved 10 02, 2025, from http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2631/1/T026_71254942_T.pdf

Tresor. (2024, noviembre 21). *Sondeos de exploración minera: técnicas y herramientas esenciales*. tresor. Retrieved octubre 01, 2025, from https://tresor.com.pe/2024/11/21/sondeos-exploracion-minera-tecnicas-herramientas-esenciales/?utm_source

Ardiles Rojas, E. E., & Villalobos Nates, M. J. (2021). Mejoramiento de la toma de muestra y determinar la densidad aparente en testigos de sondajes diamantina [trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de ingeniero en ejecución en minas]. Universidad de Atacama. Juan Campos.

ISO. (2016). ISO 14224:2016 – Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. International Organization for Standardization

Anchelia Huamanta, J. H. (2021). “Reducción Del Error De Muestreo Aplicando Protocolos De Aseguramiento Y Control De Calidad (Qa/Qc) En Operaciones A Tajo Abierto. Universidad Nacional De Ingeniería Facultad De Ingeniería Geológica, Minera Y Metalúrgica. File:///C:/Users/Home/Downloads/Anchelia_hj.Pdf

Guevara Vazquez, P. D. C. (2025). Análisis Del Control De Calidad Utilizado En El Muestreo Geoquímico En El Proyecto De Cu-Fe Fortuna, Distrito Minero De Marcona, Ica. Universidad Nacional De Cajamarca Facultad De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería Geológica.
https://Repositorio.Unc.Edu.Pe/Bitstream/Handle/20.500.14074/8101/Tesis%20-%20guevara%20v%C3%81squez%20patricia%20del%20carmen.Pdf?Isallowed=Y&Sequence=1&Utm_source

Interempresas. (2019). Coronas De Diamante Longyear. Interempresas.
<https://Www.Interempresas.Net/Mineria/253612-Ya-Disponible-La-Gama-Completa-De-Coronas-De-Diamante-Longyear.Html>

Jrgeoconsultores. (2019). Perforación Diamantina. Jr Geoconsultores E Ingenieros Srl. <https://Www.Jrgeoconsultores.Pe/Perforacion-Diamantina/>

Muñasqui Crisostomo, K. B. (2018). Aplicación Del Aseguramiento Y Control De La Calidad (Qa/Qc) En La Campaña De Perforación Diamantina 2018, Mina Toromocho. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
http://Repositorio.Undac.Edu.Pe/Bitstream/Undac/2871/1/Tsp026_73904364_t.Pdf

