

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**APLICACIÓN DE QFIELD EN MEJORA DEL CONTROL DE
OPERACIÓN EN LOS FRENTES DE MINADO EN
UNA MINA SUPERFICIAL DEL SUR
DEL PERÚ - 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. FERNANDO ANTONIO RIVERA CALLA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**APLICACIÓN DE QFIELD EN MEJORA DEL
CONTROL DE OPERACIÓN EN LOS FRENTES DE
MINADO EN UNA MINA SUPERFICIAL DEL SUR
DEL PERÚ -2025**

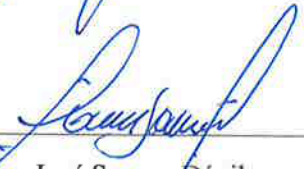
Tesis sustentada y aprobada el 30 de diciembre de 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE



Dr. Carlos Huisa Ccori

1er. MIEMBRO
(SECRETARIO)



Dr. Jorge José Segura Dávila

2do. MIEMBRO
(VOCAL)



MSc. Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

ASESOR



Dr. Carlos Huisa Ccori

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, _Carlos Huisa Ccori, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°9880-2025-FAIN/UNJBG de la tesis titulada:

“APLICACIÓN DE QFIELD EN MEJORA DEL CONTROL DE OPERACIÓN EN LOS FRENTE DE MINADO EN UNA MINA SUPERFICIAL DEL SUR DEL PERÚ - 2025”
Presentado por el Bachiller Fernando Antonio Rivera Calla, con código 2019-101031, Para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual** __Turnitin__ cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es __09__ %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional.

Tacna, 08 de enero del 2026

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Dr. Carlos Huisa Ccori

DNI: 00417032

ORCID: 0000-0003-0605-5320



Huella digital

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: Fernando Antonio Rivera Calla

DNI: 73051405



Huella digital

Dedicatoria

Dedico este trabajo especialmente a mis padres, por su apoyo incondicional, su paciencia y su ejemplo constante de esfuerzo. A mis profesores y mentores, por guiarme con sabiduría durante este proceso académico y a todos quienes creyeron en mí y contribuyeron, directa o indirectamente, a la culminación de este trabajo.

Agradecimientos

Agradezco a la plana de docentes por los conocimientos académicamente impartidos durante el proceso de formación como ingeniero de minas.

A mi asesor, Dr. Carlos Huisa Ccori, por su paciencia y orientación en el tiempo de desarrollo de mi trabajo de investigación.

A Southern Perú Cowper Corporation, quien me brindo la valiosa oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en la Unidad Minera Cuajone, experiencia que contribuyó significativamente a mi formación tanto académica como profesional.

Contenido

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	v
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	1
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Descripción y formulación del problema.....	5
1.2.1. Formulación del problema de Investigación	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General.	6
1.3.2. Objetivos específicos.	6
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.5. Limitaciones y viabilidad.....	7
1.5.1 Limitaciones.....	7

1.5.2 Viabilidad	8
1.6. Hipótesis.....	8
1.6.1 Hipótesis General.....	8
1.6.2 Hipótesis Específica	8
1.7. Variables.....	9
1.7.1. Definición conceptual y operacional de las variables.....	9
1.7.2. Operacionalización de las variables.....	10
Capítulo II: Marco Teórico	11
2.1. Antecedentes del trabajo de investigación	11
2.1.1 Antecedentes internacionales	11
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	12
2.2. Bases teóricas sobre el trabajo de investigación	13
2.2.1 Ciclo Minado.....	13
2.2.2 Descripción general del método convencional	16
2.2.3 Documentación de servicio de campo Digital vs. Papel.....	16
2.2.4 Documentación digital	18
2.2.5 Documentación en papel	18
2.2.6 Aplicación de Qfield	18

2.2.7 Utilización de Qfield.....	20
2.2.8 Funcionamiento de Qfield.....	20
2.2.9 Compatibilidad con Qgis	22
2.2.10 Guías de uso QField.....	23
2.2.11 Qgis	28
2.2.12 Funcionalidades principales de QGIS.....	29
2.2.13 Georreferenciación.....	33
2.2.14 Digitalización de información.....	34
2.2.15 Planificación.....	34
2.2.16 Velocidad en el proceso.....	35
2.2.17 Información de calidad.....	35
2.3. Definición de términos.....	36
2.3.1 Actividad minera	36
2.3.2 Digitalización minera	36
2.3.3 Frente de trabajo.....	37
2.3.4 Palas mecánicas.....	37
2.3.5 Sincronización de datos.....	37
2.3.6 Topografía	37

2.3.7 MinePlan	38
2.3.8 Software	38
2.3.9 Qfield	38
Capítulo III: Marco Metodológico	39
3.1. Tipo y nivel de la investigación	39
3.2. Diseño de la investigación	39
3.3. Población y muestra	39
3.3.1 Población.....	39
3.3.2 Muestra.....	40
3.4. Técnicas de recolección de datos.	40
3.5. Instrumentos de recolección de datos	41
3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	41
Capítulo IV: Resultados.....	42
4.1 Descripción de las pruebas.....	42
4.2 Presentación y análisis de resultados	43
4.3 Situación inicial en frentes de minados.....	43
4.4 Aplicación de Qfield	46
4.5 Resultados obtenidos después de aplicar Qfield	87

4.6 Análisis comparativo general antes y después de aplicar QField	88
4.7 Contrastación de hipótesis	90
Capítulo V: Discusión.....	94
5.1. Pruebas de validación.....	94
5.2. Aplicación de la tecnología encontrada.....	95
5.3. Contraste con trabajos de investigación similares	95
Conclusiones	97
Recomendaciones	99
Referencias Bibliográficas	100
Anexos	107

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	10
Tabla 2 Comparación de documentación en papel y digital	17
Tabla 3 Condiciones Iniciales en toma de datos frentes de minado.....	45
Tabla 4 Resultados Obtenidos después de aplicar Qfield	87
Tabla 5 Cuadro comparativo general antes y después de aplicar la tecnología QField.....	88

Índice de figuras

Figura 1 Etapas ciclo de minado	15
Figura 2 Sincronización de datos	19
Figura 3 Uso con conexión y sin conexión	21
Figura 4 Abriendo archivos	25
Figura 5 Estableciendo un proyecto determinado	27
Figura 6 Proyecto basico en QGis.....	29
Figura 7 Capturas de pantallas en acción.	32
Figura 8 Frente de minado P01	47
Figura 9 Frente de minado Pala 03	48
Figura 10 Frente de minado P05	49
Figura 11 Plan diario de producción 04-06-2025 turno A y B.	50
Figura 12 Plan diario de producción 04-06-2025 resumen.....	51
Figura 13 Topografía en formato srv.....	52
Figura 14 Creación de carpeta.....	53
Figura 15 Asignación de propiedades	54
Figura 16 Ruta para importar polígonos	55
Figura 17 Importación de polígonos por niveles paso 1	56
Figura 18 Importación de polígonos por niveles paso 2	57
Figura 19 Visualización de los polígonos por nivel	58
Figura 20 Rutas para importar cortes de minado	59

Figura 21 Importación a Mineplan.....	60
Figura 22 Nv. 2980:.....	61
Figura 23 Nv. 3145:.....	62
Figura 24 Nv, 3160:.....	62
Figura 25 Exportación en formato shapefile.....	63
Figura 26 Corte diario	64
Figura 27 Poligono de mineral.....	65
Figura 28 Etiquetas	66
Figura 29 Guardado de información en Minesigth Shapes.....	67
Figura 30 Importador creado para visualizar QGIS.....	68
Figura 31 Editor del Importador.....	69
Figura 32 Importador.....	70
Figura 33 Importando archivos.	71
Figura 34 Capas.	72
Figura 35 Información agrupada.....	73
Figura 36 Nv. 2980.....	74
Figura 37 Nv. 3145.....	75
Figura 38 Nv. 3160.....	76
Figura 39 Guardado de proyecto en QFIELD CLOUD	77
Figura 40 Reemplazando datos	78
Figura 41 Revisando QFIELD CLOUD	79

Figura 42 Sincronizando archivos.....	80
Figura 43 Eliminando el archivo anterior	81
Figura 44 Abriendo QFIELD en el celular.....	82
Figura 45 Colocado de usuario y contraseña	83
Figura 46 Sincronización	84
Figura 47 Agrupación de capas	85
Figura 48 Proyecto en el celular.....	86
Figura 49 Gráfico comparativo antes y después de aplicar Qfield	89

Resumen

La actual investigación que lleva como título: “Aplicación de Qfield en mejora del control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025”, tuvo como objetivo general aplicar Qfield en mejora del control de operación de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025. En el diseño metodológico se utilizó investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo, descriptivo - comparativo y de diseño no experimental; con una población conformada por todos los frentes en la fase 6 y fase 7 en el tajo de la unidad minera.

Los resultados obtenidos fueron mejoras en los indicadores que se evaluaron, en la precisión georreferenciada con un aumento en un 90%, la sincronización con QGIS fue efectiva, en formatos la mejora fue de 30%, en el tiempo operativo se redujo en - 28.6%, y la digitalización alcanzó un 95%.

Se concluye principalmente que la aplicación de QField permitió digitalizar el proceso de levantamiento de información en los frentes de minado, reduciendo significativamente la dependencia de formatos en papel y minimizando errores de transcripción, así mismo la sincronización entre QField y QGIS facilitó el acceso inmediato a la información recolectada en campo, lo que permitió un mejor control en las operaciones de minado.

Palabras clave: QGIS, QField, tecnología, frentes de minado.

Abstract

The current research entitled: “Application of Qfield in improving the control of mining operations in a surface mine in southern Peru - 2025”, had the general objective of applying Qfield in improving the control of mining operations in a surface mine in southern Peru – 2025. The methodological design used applied research, of an explanatory, descriptive-comparative level and of a non-experimental design; with a population made up of all the fronts in phase 6 and phase 7 in the pit of the mining unit.

The results obtained were improvements in the indicators that were evaluated, in georeferenced accuracy with an increase of 90%, synchronization with QGIS was effective, in formats the improvement was 30%, in operating time was reduced by -28.6%, and digitization reached 95%.

The main conclusion is that the application of QField allowed the digitization of the information gathering process at the mining fronts, significantly reducing the dependence on paper formats and minimizing transcription errors. Likewise, the synchronization between QField and QGIS facilitated immediate access to the information collected in the field, which allowed for better control in mining operations.

Keywords: QGIS, QField, technology, mining fronts.

Introducción

Actualmente el control de las operaciones de minado es importante para tomar decisiones, la ciencia ha evolucionado de tal manera que la información geográfica está impulsando la capacidad de los profesionales para entender, representar y analizar fenómenos espaciales, mejorando el proceso y tomando decisiones basados en evidencias reales. (Goodchild, 2020). El uso de QField minimiza tiempos de registro, elimina errores asociados a la digitalización realizada a mano y mejora la trazabilidad en la información que se obtiene en el campo, (Montagnetti y Guarino, 2021).

La aplicación de QField mejora eficientemente las labores que requieren monitoreo geoespacial constante, ya que esta permite validar inmediatamente los datos e integrarlos con plataformas SIG de escritorio, favoreciendo la toma de decisiones oportunas mejorando la planificación (Mařařovská, Kratina y Kabeláč, 2024).

Metodológicamente la investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, porque busca medir el nivel de mejora usando como herramientas tecnológicas (QField) para mejorar la decisión en la gestión de datos espaciales. Además, presenta un diseño no experimental, de tipo descriptivo-comparativo, porque se analiza la

diferencia entre la toma de decisiones antes y después de la aplicación del software, sin manipular deliberadamente las variables (Hernández, 2014).

Finalmente, el presente estudio tiene como objetivo aplicar Qfield en mejora del control de operación de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025, y se divide en los siguientes capítulos.

CAPITULO I: Planteamiento del Problema

Se redactarán los antecedentes de la empresa, la descripción del problema, la formulación del problema de investigación, los objetivos generales y objetivos específicos, justificación e importancia de la investigación, limitaciones y viabilidad, hipótesis general, hipótesis específica, las variables del estudio, definición conceptual y operacional de las variables.

CAPITULO II: Marco Teórico

Se redactarán antecedentes del trabajo de investigación internacionales y nacionales, las bases teóricas sobre el trabajo de investigación y la definición de términos.

CAPITULO III: Marco Metodológico

Se redactarán tipo y nivel de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas para el procesamiento y análisis de datos.

CAPITULO IV: Resultados

Se redactarán la descripción de las pruebas, presentación y análisis de resultados, resultados obtenidos después de aplicar Qfield, análisis comparativo y contrastación de hipótesis.

CAPITULO V: Discusión

Se redactarán pruebas de validación, aplicación de la tecnología encontrada y contraste con trabajos de investigación similares.

Finalmente se redactarán las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Antecedentes

En el año 1952 Southern Perú Copper Corporation (“SPCC”) fue constituida en el Estado de Delaware Estados Unidos, luego en el año 1954 se estableció una sucursal en el Perú, la que tuvo convenio con el Gobierno del Perú para iniciar el desarrollo y explotación de la mina Toquepala en Tacna, Perú. Estos trabajos para el desarrollo de la mina comenzaron en el año 1956 y está inicio sus operaciones en el año 1960 iniciando con la producción, en la actualidad la empresa viene incrementando su producción. Así mismo, cotiza en bolsa en el CII grupo 1320, el grupo económico el cual es parte la empresa “Grupo México S.A.B. de C.V.”. Su producto principal es Cobre, Molibdeno, Plata y Zinc. (Southern Copper Corporation, s.f.)

En razón a lo anterior, el desarrollo de la empresa ha estado sujeto a tensiones en el incremento de su producción a pesar de tener planeamiento a corto, mediano y largo plazo.

1.2. Descripción y formulación del problema

La actividad minera ha contribuido al crecimiento económico del Perú y ha representado una fuente importante de ingresos fiscales a lo largo de su historia económica. Por lo tanto, el Perú ocupa una posición destacada en Latinoamérica y a nivel mundial gracias a su producción y potencial minero (Dammert y Molinelli, 2007); así mismo la minería presenta importantes desafíos debido a su proceso de extracción y, por lo tanto, está sujeta a cambios constantes a lo largo del tiempo, con el aumento de la experiencia y las nuevas tecnologías. En este sentido, la minería presenta dificultades, como el control de las operaciones para tomar decisiones rápidas y eficaces que impactan la rentabilidad (Aburto 2019).

A pesar que se tiene mejores tecnologías de escritorio, aún se tiene problemas con la toma de datos en las actividades haciéndose de forma manual, no aprovechándose las tecnologías móviles para potenciar la toma de datos reales como es la del Qfield para el control de operación en frentes de minado.

En razón a lo anterior, en el presente estudio surge la necesidad de aplicar el uso de Qfield-Qgis para el uso de datos en el campo con el fin de tener información de buena calidad en la recolección de datos.

1.2.1. Formulación del problema de Investigación

1.2.1.1. Problema General

¿En qué medida la aplicación de Qfield mejora el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025?

1.2.1.2. Problemas Específicos

P.E.1: ¿Cuál es el proceso actual en el control de operación en los frentes de minado sin Qfield en una mina superficial del sur del Perú - 2025?

P.E.2: ¿Puede aplicarse Qfield en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025?

P.E.3: ¿Cómo determinar la aplicación en Qfield en el control de operación en los frentes de minado en mina superficial del sur del Perú - 2025?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Aplicar Qfield en mejora del control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

1.3.2. Objetivos específicos.

O.E.1: Determinar el proceso actual en el control de operación en los frentes de minado sin Qfield en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

O.E.2: Aplicar Qfield en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

O.E.3: Determinar la aplicación de Qfield en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

1.4. Justificación e importancia de la investigación.

El presente estudio es justificable de manera práctica ya que se aplica el Qfield-QGIS basado en mejoras tecnológicas al recolectar datos de campos, esto tendrá un efecto directo en la rapidez en tomar decisiones en los trabajos operativos planificados

La investigación es de suma importancia ya que la empresa tendrá salidas a sus dificultades como la rapidez en supervisar los frentes operativos donde el trabajo es dinámico.

1.5. Limitaciones y viabilidad.

1.5.1 Limitaciones

Las limitaciones que se tuvo en el presente estudio fueron en el trabajo de campo ya que el estudio se aplicó en condiciones reales en diferentes turnos o guardias de trabajo lo cual implicó la adaptación a horarios y disponibilidad del personal. Así mismo, el aprendizaje del uso de Qfield fue variable con el personal por la familiaridad con las herramientas digitales.

1.5.2 Viabilidad

La presente investigación es viable porque la empresa minera donde se realiza el estudio cuenta con los recursos necesarios ya que tiene disposición de equipos como el personal capacitado.

1.6. Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General.

La aplicación de Qfield mejora significativamente el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

1.6.2 Hipótesis Especifica

H.E.1: El proceso actual sin Qfield incide significativamente en el control de operación en los frentes los de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

H.E.2: La aplicación de Qfield incide significativamente en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

H.E.3: La aplicación de Qfield mejora el control de operación en los frentes de minado en comparación sin haber aplicado Qfield en una mina superficial del sur del Perú – 2025

1.7. Variables.

1.7.1. Definición conceptual y operacional de las variables.

1.7.1.1 Variable Independiente

1) Aplicación de Qfield

Según Qfield.org (s.f) lo define como una aplicación profesional y de código abierto para la recolección de datos geoespaciales en campo, diseñada para integrarse con dispositivos móviles.

1.7.1.2 Variable Dependiente

1) Mejora del control de operación de minado

Según Herrera (2023) define el control de operación de minado como un proceso estratégico que es parte del desarrollo de un proyecto minero, específicamente en la parte operativa.

1.7.2. Operacionalización de las variables.

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍNDICE
Independiente:	Georreferenciación	Precisión	Metros
Aplicación de Qfield	Adaptabilidad con Qgis	Sincronización	Minutos
	Digitalización de información	Formatos digitales	%
Dependiente:	Velocidad en el proceso	Tiempo	Minutos
Mejora del control de operación en los frentes de minado.	Información de calidad	Formularios completados	%
	Control operacional de minado	Ubicación de equipos	UTM

Nota. Elaboración propia.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes del trabajo de investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Kupach, Gryniuk y Demianenko (2023) en su artículo “Software for Field Research: Qfield” tuvieron como propósito destacar las capacidades del uso del software GIS móvil Qfield como herramienta para la investigación, la metodología fue la aplicación y de observación en campo, tuvieron como conclusión que QField Mobile GIS es una solución integral que se integra a la perfección con QGIS, lo que permite visualizar la situación actual en línea y sin conexión, trabajar con hojas de cálculo y datos en diversos formatos, y actualizar y editar datos. Ofrece compatibilidad con GPS, búsqueda de objetos, coordenadas y ubicaciones, rastreo de ubicación, integración con cámaras de dispositivos móviles, actualización de la base de datos de levantamientos de campo con objetos y datos asociados, e importación y almacenamiento convenientes de datos de campo modificados en QFieldCloud. El uso de QField optimiza la recopilación de datos geoespaciales en campo, mejora significativamente la calidad y la fiabilidad, y simplifica el procesamiento posterior.

Según StreamlineGeo (2022), en su artículo “Mineral Exploration: Using Mobile Gis Apps in the Field” tuvo como objetivo la aplicación de Qfield en las exploraciones mineras para evitar errores finales de la data obtenida, este estudio resalto como Las técnicas adecuadas en gestión de los datos pueden ayudar a recopilar y almacenar datos de campo directamente en bases de datos y, por lo tanto, son fundamentales para el éxito de sus programas de exploración.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según Maldonado y Quispe (2024), desarrollo su investigación en “Implementación del Aplicativo Qgis - Qfield para la Toma de Inventario Eléctrico (Redes De Mt Y Bt) de Alimentadores Críticos Pertenecientes a la Empresa Electrocentro S.A.” tuvo como objetivo general objetivo implementar el aplicativo QFIELD el cual es una extensión del QGIS, de manera tal que nos sirva para la captura de datos geoespaciales en campo en la toma de inventario de alimentadores críticos de Electrocentro S.A. el diseño metodológico usado fue de tipo aplicada y de diseño experimental, tuvo como conclusión que la corroboración de la información recabada con el QFIELD garantiza una información que es confiable.

Según Carrera (2021), realizó su estudio en “Importancia de la información Geográfica para la Minería”, tuvo como objetivo principal el de analizar las diversas aplicaciones de los sistemas geográficos en la industria minera basado en su información, tuvo como conclusión que, desde la exploración minera hasta la remediación de minas, el software de sistemas de información geográfica facilita el control y la toma de decisiones en toda la industria minera. Así mismo menciona que todos en la organización tienen acceso a los datos y mapas inteligentes para la planificar proyectos, a las operaciones mineras, a la gestión del transporte y el análisis de riesgos.

2.2. Bases teóricas sobre el trabajo de investigación

2.2.1 Ciclo Minado

Según Seguridad Minera (2013) el ciclo de minado es aquel que se aplica para remover la capa superior estéril donde se ubica el depósito de mineral dentro de los límites del tajo, el ciclo comúnmente se realiza de la siguiente manera.

1. Perforación, se realiza mediante un sistema rotativo percusivo.
2. Voladura, es realizada con explosivos.
3. Excavación, es realizada por una máquina (pala mecánica).
4. Acarreo y transporte, se realiza con equipos pesados y transportan el material.

1. Perforación.

Para Snyman (2010), la perforación minera es la etapa inicial del ciclo de minado en tajo en una mina a cielo abierto y su finalidad principal es la de realizar los taladros necesarios donde se rellenará de explosivos, la etapa de perforación se realiza mediante equipos rotativos o roto percusivos, los cuales realizan el trabajo de penetración en la roca dependiendo de las condiciones geológicas, dureza del macizo y la profundidad. Así mismo, una buena perforación genera una voladura controlada y reduce los costos en operación.

2. Voladura

Para Wang et al. (2021), la voladura es la técnica que realiza la fragmentación del macizo rocoso mediante el uso de explosivos y esta representa el proceso más importante dentro del ciclo minero, porque un diseño correcto de la voladura, considera la carga específica, la secuencia de retardos y las características de la roca que dará una buena fragmentación reduciendo daños colaterales y optimizando la eficiencia de las etapas de carguío y transporte.

3. Excavación

Para Otto y Lindeque (2021), la excavación es la remoción del material roto producto de la voladura, esta remoción emplea equipos de carga como palas

mecánicas o excavadoras hidráulicas de gran tamaño, siendo una etapa de suma importancia para la productividad del ciclo minero, ya que su eficiencia depende del tiempo de carguío, la disponibilidad de los equipos y la coordinación con los camiones de acarreo.

4. Acarreo.

Para Mnzool et al. (2024) el acarreo y transporte son la etapa donde el material desde el frente de carguío es movilizado hacia el destino final ya sea planta concentradora, botadero o echaderos de desmonte, y se centra en reducir el ciclo de transporte para minimizar tiempos improductivos y mejora la productividad de esta etapa del ciclo minero.

Figura 1

Etapas ciclo de minado



Nota. Tomado de Altiti & Al Rawashdeh (2020).

2.2.2 Descripción general del método convencional

Según Huang (2025), el método tradicional o convencional en el trabajo de campo se basa en el uso de formularios en papel y registros manuales para la recopilación de datos en el lugar de trabajo. Este enfoque tradicional es económico, pero muy propenso a errores. Actualmente presenta limitaciones importantes, en particular la pérdida o el deterioro de los registros, el error humano en el llenado de datos y la falta de sincronización al transmitir información a sistemas o ubicaciones centrales. La búsqueda y recuperación de datos históricos es lenta e ineficiente, lo que dificulta la monitorización en tiempo real.

2.2.3 Documentación de servicio de campo Digital vs. Papel

Para Huang (2025) Últimamente los sistemas digitales funcionan muy rápido, hay pocos errores y una colaboración genuina, porque representa un cambio radical en términos de eficiencia y precisión, y las principales diferencias son:

- **Velocidad:** Las herramientas digitales procesan los datos al instante, mientras que los métodos en papel pueden tardar horas o incluso días.
- **Precisión:** Los sistemas en papel tienen una tasa de error del 9% en la entrada de datos; las plataformas digitales eliminan estos errores con la validación automatizada.

- **Colaboración:** Las plataformas digitales permiten actualizaciones en tiempo real y acceso compartido. El papel genera retrasos y compartimentación.
- **Coste:** La digitalización reduce el consumo de papel y ahorra tiempo, reduciendo los gastos hasta en un 50%.

Tabla 2

Comparación de documentación en papel y digital

Característica	Documentación en papel	Documentación digital
Velocidad	De horas a días	En tiempo real
Tasa de error	5,1% del total, 9% de entrada de datos	3,1%, sin errores manuales
Colaboración	Retrasado, aislado	En tiempo real, compartido
Uso de recursos	Alto (papel, almacenamiento)	Bajo (basado en la nube)
Acceso	Recuperación manual y lenta	Acceso móvil instantáneo

Nota. Tomado de Huang, (2025)

Los sistemas basados en papel presentan las tasas de error más elevadas, principalmente debido a la introducción manual de datos, que representa el 9,0 % del total. Las plataformas digitales evitan estos problemas mediante la captura directa de datos y reglas de validación automatizadas. Esto mejora la fiabilidad de los datos y garantiza que la información sea más accesible y precisa.

2.2.4 Documentación digital

Las plataformas de documentación digital optimizan los procesos de servicio de campo al promover la colaboración en equipo, simplificar los procesos de generación de informes y gestionar los datos según la ubicación. Estas herramientas ayudan a los equipos a trabajar de manera más eficiente y productiva.

2.2.5 Documentación en papel

Los sistemas de documentación en papel presentan diversos desafíos para el personal de servicio de campo y afectan negativamente la eficiencia, la precisión y la productividad general. Estos problemas afectan tanto a los empleados de campo como al personal de oficina e interrumpen los flujos de trabajo diarios.

2.2.6 Aplicación de Qfield

Según Qfield.org (s.f), lo define como una aplicación profesional y de código abierto para la recolección de datos geoespaciales en campo, diseñada para integrarse con dispositivo móviles. Así mismo, presenta una interfaz móvil optimizada que facilita tareas como captura de puntos, líneas y polígonos; edición de atributos mediante formularios personalizados (con validaciones y lógica); georreferenciación en tiempo real; y soporte para multimedia, todo esto sincronizado sin problemas con proyectos de escritorio, de acuerdo con (Mat’ášovská, Kratina y Kabeláč, 2024) con la llegada de los teléfonos inteligentes

y las computadoras portátiles (tabletas), se han desarrollado innumerables aplicaciones para organizar datos de campo. En combinación con herramientas de código abierto, la recopilación de datos móviles se ha vuelto accesible tanto para profesionales como para el público en general. Una de estas aplicaciones es QField, un SIG móvil multiplataforma desarrollado principalmente para Google Android, Apple iOS y Microsoft Windows. Su interfaz usuario es muy semejante a la de la aplicación de escritorio QGIS, lo que crea la falsa impresión de que la aplicación móvil forma parte de la aplicación. Sin embargo, se trata de un software independiente desarrollado por el grupo de soluciones de código abierto OPENGIS.ch, y su compatibilidad con la aplicación de escritorio está garantizada por un complemento adicional.

Figura 2

Sincronización de datos



Nota. Tomado de Qfiel.org, (S.f.).

2.2.7 Utilización de Qfield

StreamlineGeo (2022), se utiliza para diversas tareas que se realizan habitualmente en la industria.

- Cartografía geológica.
- Muestreo geoquímico.
- Seguimiento/monitoreo del programa de perforación.
- Seguimiento/monitoreo de la rehabilitación del sitio.
- Navegación general del campo.
- Monitoreo fotográfico / base de datos de fotografías de campo.

2.2.8 Funcionamiento de Qfield

Dependiendo de la conexión de datos móviles, se puede trabajar en línea o sin conexión, actualizando la base de datos espacial en tiempo real mientras trabajas. Ambos flujos de trabajo tienen ventajas y desventajas:

Ventajas

- El proceso optimizado de recopilación de datos reduce los errores.
- Mantiene los datos organizados y seguros.
- Los datos se adaptan a la arquitectura en la base de datos y, por lo tanto, mantienen contento al administrador de la base de datos.

- Navegación en campo es mucho más fácil con acceso a mapas base de imágenes de alta resolución.
- Le permite visualizar, manipular e interpretar grandes conjuntos de datos normalmente accesibles solo en SIG de escritorio.
- Es de código abierto y, por lo tanto, cualquiera puede usarlo de forma gratuita.

Desventajas

- El dispositivo puede fallar y ponerte en una situación difícil si no estás preparado. Los datos se pueden perder, así como también puedes perderte en un entorno.

Figura 3

Uso con conexión y sin conexión



Nota. tomado de StreamlineGeo, (2022).

2.2.9 Compatibilidad con Qgis

Según OpenGIS (2023), dado que QField es una versión optimizada para la aplicación móvil del editor de QGIS, el proyecto se crea en QField tal como está en QGIS y es idéntico a su versión de escritorio. El motor de renderizado de QField es la razón por la que se utiliza en QGIS en la versión de escritorio, garantizando que los proyectos se vean idénticos en la práctica. Así mismo no es necesario recrear las opciones de configuración previamente configuradas en QGIS, ya que QField utiliza la mayoría de los widgets del editor de QGIS Desktop. Como resultado, los proyectos configurados en la versión de escritorio deberían funcionar perfectamente en la aplicación móvil.

Estos principios guiaron la planificación y el diseño de QField y lo impulsaron hacia el futuro. En los últimos años, QField ha demostrado ser el mejor aliado para los trabajadores de campo y ha seguido evolucionando con nuevas funciones que satisfacen con creces incluso a los usuarios más exigentes.

QField aprovecha la potencia de QGIS para configurar cómodamente tus proyectos. Después de configurar todo en tu ordenador, puedes sincronizar tu proyecto y cualquier archivo adicional con tu dispositivo y ponerte a trabajar inmediatamente.

La sincronización de sus proyectos con los dispositivos de sus equipos se puede realizar de varias maneras. El complemento QFieldSync ayuda a preparar y empaquetar proyectos QGIS para QField y a distribuirlos a sus dispositivos. Para una experiencia de integración perfecta y para la gestión de equipos, recomendamos encarecidamente utilizar QFieldCloud, también QField está diseñado para ser muy fácil de usar e intuitivo.

2.2.10 Guías de uso QField

Según OpenGIS (2023), QField aprovecha la potencia de QGIS para configurar cómodamente tus proyectos. Después de configurar todo en tu ordenador, puedes sincronizar tu proyecto y cualquier archivo adicional con tu dispositivo y ponerte a trabajar inmediatamente.

La sincronización de sus proyectos con los dispositivos de sus equipos se puede realizar de varias maneras. El complemento QFieldSync ayuda a preparar y empaquetar proyectos QGIS para QField y a distribuirlos a sus dispositivos. Para una experiencia de integración perfecta y para la gestión de equipos, recomendamos encarecidamente utilizar QFieldCloud.

QField está diseñado para ser muy fácil de usar e intuitivo. Le sugerimos que lo inicie y abra un proyecto de demostración para familiarizarse con las potentes posibilidades de interacción.

1. QField Ajustes generales

La pantalla de configuración general permite controlar la apariencia y el comportamiento básicos de QField. Hay dos maneras de acceder a la configuración general.

2. Acceder a la configuración desde la pantalla de inicio

- a) Al abrir QField, pulsa el botón de configuración en la esquina superior izquierda de la pantalla.

3. Acceder a la configuración en el proyecto activo

- b) Abre el panel lateral y pulsa el botón de 3 puntos.
- c) Pulsa *Configuración*.

4. Selección de proyectos

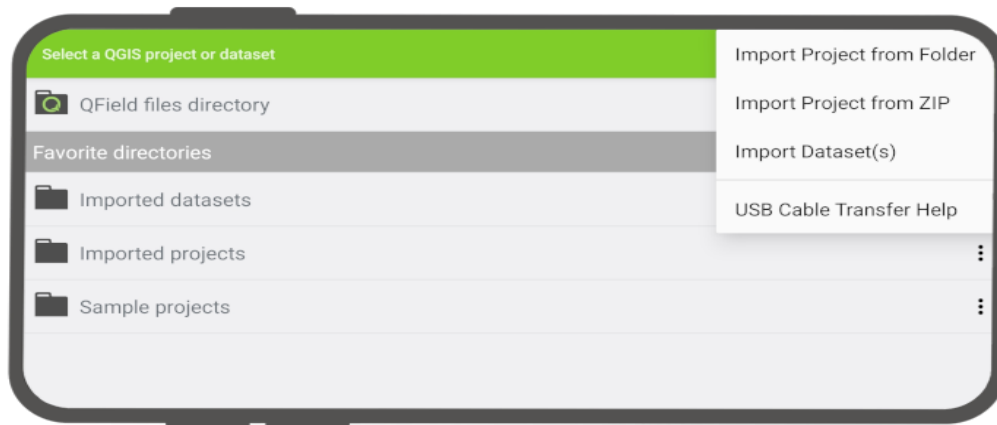
QField cuenta con un selector de archivos que permite abrir un proyecto desde el dispositivo localmente. Para abrir archivos desde la nube,

5. Trabajo de campo

Cuando vaya a *Abrir archivos locales* (en el *Panel lateral* > *Abrir*), verá un conjunto de nuevas carpetas llamadas "Directorio de archivos QField", "Conjuntos de datos importados" y "Proyectos importados", así como un menú desplegable accesible a través de un botón más en la parte inferior derecha.

Figura 4

Abriendo archivos



Nota. Tomado de OpenGIS (2023).

6. Importar proyecto desde una carpeta o un archivo ZIP

Al importar un proyecto desde una carpeta o un archivo ZIP, se le solicitará permiso a QField para leer el contenido de una carpeta determinada en el almacenamiento del dispositivo mediante un selector de carpetas del sistema. Al seleccionar la carpeta o el archivo, QField copia el contenido (incluidas sus subcarpetas) en la carpeta "Proyectos importados" de la aplicación. Desde allí, podrá abrir el proyecto.

7. Importar conjuntos de datos

También puede importar conjuntos de datos individuales. Se le pedirá que seleccione uno o más archivos mediante un selector de archivos del sistema, que se copiarán en la carpeta "Conjuntos de datos importados". Debe asegurarse de que

todos los archivos secundarios estén seleccionados al importar (por ejemplo, para un conjunto de datos Shapefile, deberá seleccionar los archivos .shp, .shx, .dbf, .prj y .cpg).

8. Directorios favoritos

En la primera pantalla del selector de archivos, hay una sección que muestra los directorios favoritos. Para añadir un directorio a los favoritos, mantenga pulsado el nombre del directorio en el selector de archivos. Para eliminar una entrada de los favoritos, mantenga pulsada la entrada en la lista de favoritos.

9. Establecer proyecto predeterminado

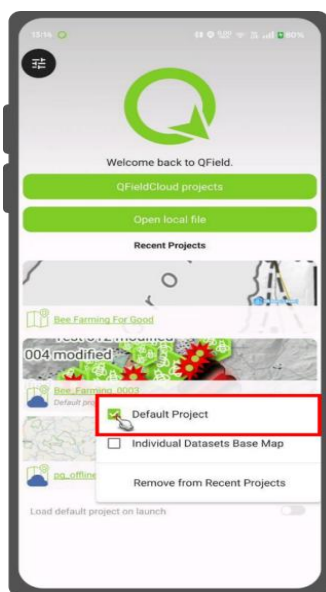
Esta funcionalidad le permite establecer un proyecto específico para que se utilice como mapa base predeterminado cada vez que abra conjuntos de datos individuales. Esto resulta útil cuando se debe utilizar un proyecto de QFieldCloud como mapa base.

10. Cómo establecer un proyecto predeterminado

1. En la pantalla de bienvenida, lista de **Proyectos recientes**.
2. **Mantenga pulsado** el proyecto que desea establecer como mapa base predeterminado.
3. En el menú contextual que aparece, seleccione **Establecer como proyecto predeterminado**.

Figura 5

Estableciendo un proyecto determinado



Nota. Tomado de OpenGIS (2023).

11. Lógica de carga del mapa base

Cuando se abra un conjunto de datos individual, la aplicación determinará qué mapa base cargar según la siguiente jerarquía:

1. **Proyecto predeterminado:** La aplicación comprobará primero si se ha establecido un proyecto predeterminado. Si es así, se utilizará como mapa base.
2. **Archivo de mapa base:** Si no se ha establecido ningún proyecto predeterminado, la aplicación buscará un archivo basemap.{qgs/.qgz) dentro del directorio QField de su dispositivo. Si se encuentra, se utilizará este proyecto.

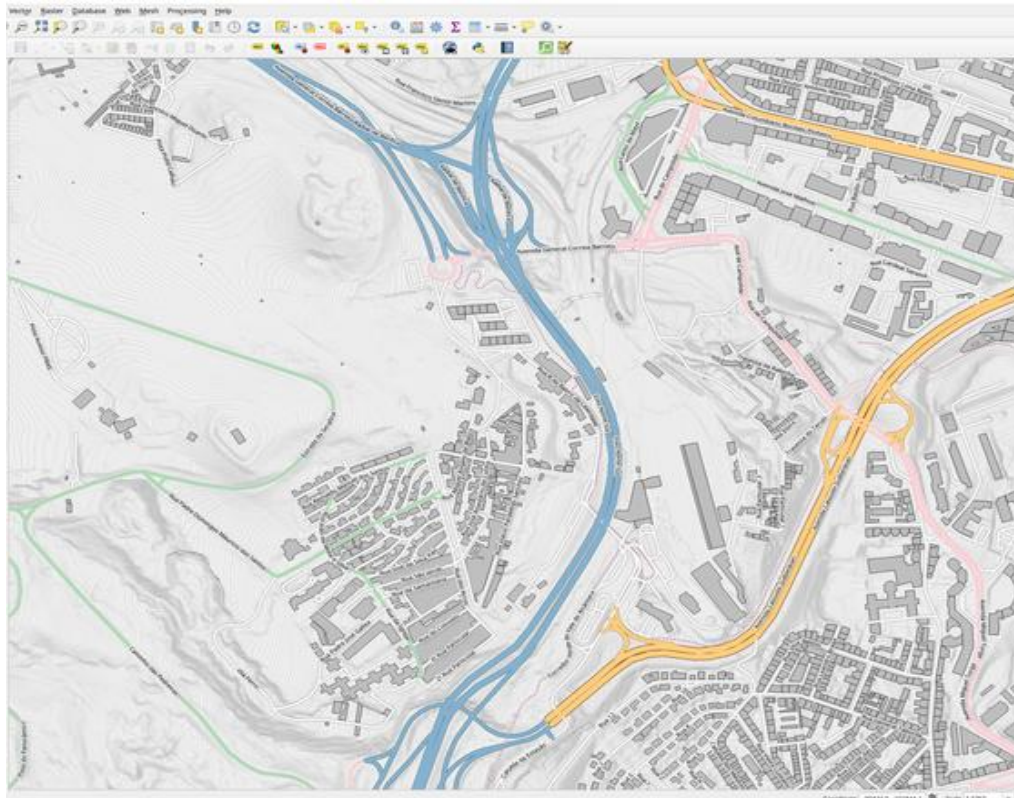
3. **OpenStreetMap:** Si no se encuentra ni un proyecto predeterminado ni un archivo de mapa base, se cargará una capa XYZ predeterminada de OpenStreetMap como mapa base.

2.2.11 Qgis

Según QGIS.org. (s. f.) QGIS se define como una visualización interactiva bidimensional de datos espaciales. Sin embargo, también ofrece funciones para editar datos vectoriales y un complemento para usar las funciones de análisis de un programa. Así mismo, QGIS se admite en gran cantidad de formatos vectoriales y ráster, incluyendo PostGIS, GRASS, Shapefile, GML, WFS, GPX, WMS, GeoTiff, PNG, JPG y muchos otros. Así mismo El proyecto QGIS tiene como objetivo principal democratizar el acceso a herramientas geoespaciales, ofreciendo funcionalidades avanzadas sin costos de licencia y promoviendo el uso de estándares abiertos para garantizar la interoperabilidad entre sistemas y datos geográficos. Su desarrollo es impulsado por una comunidad internacional de desarrolladores, investigadores y usuarios, lo que asegura una evolución constante del software.

Figura 6

Proyecto basico en QGis



Nota. Tomado de QGIS.org. (s. f.)2.1.12

2.2.12 Funcionalidades principales de QGIS

1. Visualización y diseño cartográfico

egún QGIS.org. (s. f.), QGIS permite la creación de mapas cartográficos de alta calidad mediante herramientas avanzadas de simbología, etiquetado y representación visual. El software incorpora un **diseñador de impresión** que facilita la elaboración de mapas profesionales, integrando elementos como títulos,

leyendas, escalas gráficas, marcos y sistemas de referencia espacial. Estas capacidades lo convierten en una herramienta adecuada tanto para análisis técnico como para la comunicación visual de información geográfica.

2. Edición y gestión de datos geoespaciales

El sistema ofrece un conjunto completo de herramientas para la edición de datos vectoriales, permitiendo la creación y modificación de entidades geográficas tales como puntos, líneas y polígonos. QGIS incluye funciones avanzadas de digitalización, similares a las utilizadas en software de diseño asistido por computadora (CAD), que permiten construir geometrías precisas y complejas. Asimismo, posibilita la personalización de formularios de atributos, optimizando la captura y gestión de información asociada a los datos espaciales.

3. Interoperabilidad y publicación de información

Una de las características fundamentales de QGIS es su compatibilidad con una gran variedad de **formatos de datos geoespaciales** y servicios basados en estándares internacionales. El software permite compartir y publicar mapas y datos mediante servicios web, favoreciendo el acceso remoto a la información geográfica. Esta funcionalidad es especialmente relevante para proyectos colaborativos y para la difusión de información espacial en plataformas web y móviles.

4. Herramientas complementarias:

- **QGIS Desktop**, que constituye la aplicación principal para el trabajo SIG integral.
- **QGIS Server**, que permite publicar proyectos y datos como servicios web geoespaciales, facilitando su acceso a través de internet.
- **Clientes web y móviles**, que posibilitan el uso de proyectos QGIS en navegadores web y dispositivos móviles, ampliando su aplicación a trabajos de campo y entornos colaborativos.

Este ecosistema fortalece la versatilidad del software y su aplicabilidad en distintos contextos técnicos y académicos.

5. Comunidad y desarrollo colaborativo

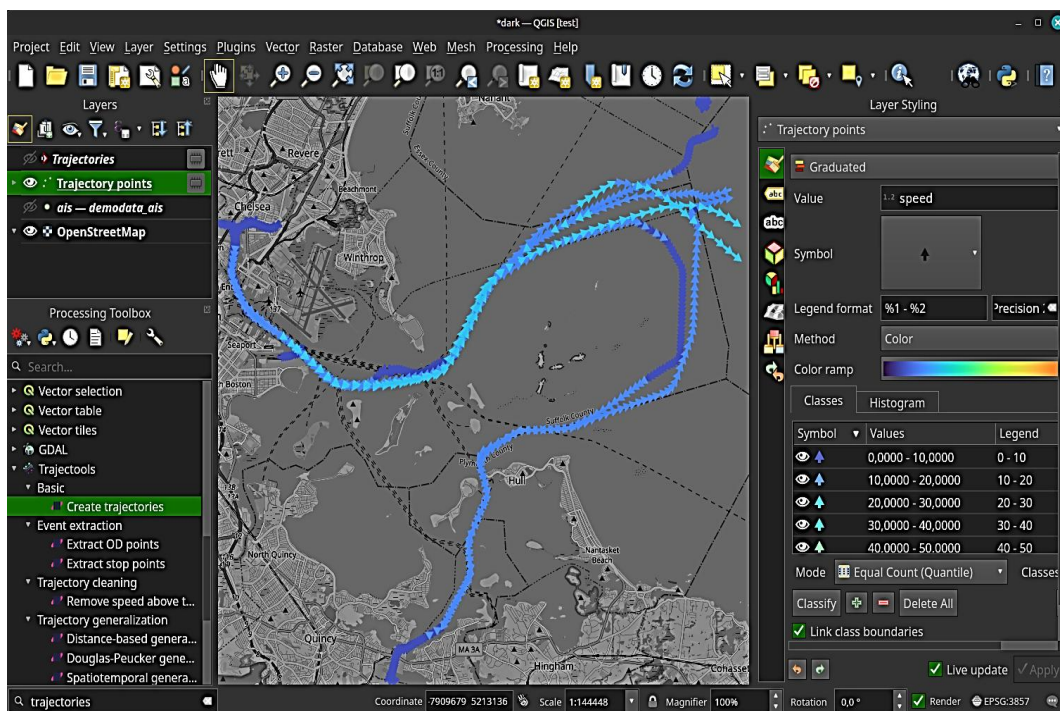
QGIS es un proyecto respaldado por una comunidad global activa, que contribuye al desarrollo del software, la creación de complementos y la generación de documentación. La existencia de numerosos plugins desarrollados por la comunidad permite ampliar significativamente las funcionalidades del sistema. Además, el proyecto organiza conferencias, encuentros y grupos de usuarios locales, fomentando el intercambio de conocimientos y experiencias.

6. Importancia de QGIS en el ámbito geoespacial

Gracias a su naturaleza abierta, su robustez funcional y su constante evolución, QGIS se ha consolidado como una herramienta clave en el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica. Su uso se extiende a sectores como la planificación territorial, la gestión ambiental, la investigación científica, la educación y la administración pública, convirtiéndose en una alternativa sólida frente a soluciones SIG propietarias.

Figura 7

Capturas de pantallas en acción.



Nota. Tomado de QGIS.org. (s. f.)

2.2.13 Georreferenciación

Según SBG Systems (s.f.) La georreferenciación es el proceso de asignar datos espaciales, como mapas, fotografías aéreas o documentos escaneados a un sistema de coordenadas específico para que se correspondan con precisión, con ubicaciones en el mundo real. Esto vincula los atributos de los datos con coordenadas geográficas, lo que permite utilizarlos en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis espacial y la cartografía.

La georreferenciación es fundamental para integrar conjuntos de datos heterogéneos y representarlos cartográficamente con precisión para estudios comparativos o la toma de decisiones. Esto suele implicar el uso de puntos de control —puntos de referencia identificables con coordenadas geográficas conocidas— para alinear el conjunto de datos y transformarlo al sistema de coordenadas deseado. De esta forma, se garantiza la coherencia y la precisión en diversas aplicaciones de geodatos.

De acuerdo con la Universidad Nacional de Rosario (2022), es de gran importancia práctica para las actividades humanas. Entre sus diversos campos de aplicación se incluyen: la investigación científica (movimientos de la corteza terrestre, monitoreo de las corrientes oceánicas, etc.), catastros multipropósito (identificación de terrenos públicos y privados, reservas naturales, límites administrativos, etc.), agricultura de precisión, navegación (transporte aéreo,

marítimo, fluvial y terrestre), construcción, sistemas de información geográfica (SIG), asuntos legales, etc.

2.2.14 Digitalización de información

Según Alegsa (2023), es aquella tecnología que ha transformado y cambiado la manera de gestionar de la información en la actualidad implicando la conversión de lo físico en digital mediante un formato que se almacenan y se procesan en ordenadores y otros dispositivos electrónicos. Así mismo, la digitalización permite una mayor disponibilidad y accesibilidad de la información, ya que puede almacenarse y compartirse entre dispositivos electrónicos y redes informáticas. Además, reduce el espacio necesario y los costes de almacenamiento físico de documentos y otros materiales analógicos.

Digitalizar se ha vuelto esencial para la gestión de empresas y organizaciones hoy en día, esto permite procesar cantidades en gran magnitud de información siendo más eficiente y eficaz, dando lugar al desarrollo digital y se volviéndose una herramienta importante.

2.2.15 Planificación

Según Herrera (2023) La planificación es un proceso fundamental para el éxito de cualquier organización, ya sea una empresa, un gobierno o un individuo.

La planificación implica identificar objetivos, desarrollar estrategias para alcanzarlos y asignar recursos eficientemente.

Tiene como benéficos los siguientes:

- Mejora las probabilidades de éxito ya que ayuda a identificar riesgos, oportunidades y a desarrollar estrategias.
- Aumenta la eficiencia ya que la planificación ayuda a asignar recursos de manera eficiente.
- Mejora la toma de decisiones ya que ayuda a tomar decisiones informadas y argumentadas.
- Permite identificar riesgos o enfrentarse a situaciones inesperadas.

2.2.16 Velocidad en el proceso

Según Laurente (2023), la velocidad en el proceso es la gestión del tiempo en el ciclo minero y es un factor crucial para la eficiencia, la productividad y la rentabilidad de las operaciones mineras. Abarca la planificación estratégica y la optimización de cada fase del proceso, desde el desarrollo y la preparación hasta la extracción y el procesamiento del mineral.

2.2.17 Información de calidad

Según Etecé (2025), la información es un conjunto de datos organizados y relevantes para uno o más sujetos que obtienen conocimiento de ella. En otras

palabras, es conocimiento que se comunica, comparte o transmite, y que por lo tanto constituye un tipo de mensaje. La información es, pues, una herramienta estratégica que permite al receptor tomar mejores decisiones, optimizar procesos de control, ajustar reglas de evaluación o seleccionar alternativas más adecuadas. Según Ohly (2011), la información debe ser de alta calidad para ser considerada como tal y resultar útil para la toma de decisiones o la resolución de un problema específico. Si el proceso para determinar la calidad de la información falla, la decisión tomada o el problema a resolver no es viable, ya que ambos factores son interdependientes.

2.3. Definición de términos

2.3.1 Actividad minera

Para el ministerio de Energía y Minas (2016), la actividad minera es el conjunto de actividades dirigidas a yacimientos superficiales o subterráneos, tales como la exploración, explotación, instalaciones de procesamiento, almacenamiento de concentrados minerales, transporte de minas, actividades de cierre de minas y actividades relacionadas con la actividad minera.

2.3.2 Digitalización minera

Para Barnewold y Lottermoser (2020), la digitalización minera es el uso de computadoras o dispositivos o sistemas digitales y datos digitalizados para reducir costos, mejorar la productividad empresarial y transformar las prácticas mineras.

2.3.3 Frente de trabajo

Para Yunmin, W. (2024), define al frente de trabajo en una mina a cielo abierto como el lugar donde se extrae el mineral a diferentes parámetros de acuerdo al equipo usado y dimensión de la mina.

2.3.4 Palas mecánicas

Para Quispe et al. (2015), la pala mecánica es una máquina diseñada específicamente para excavar y cargar material en la minería a cielo abierto.

2.3.5 Sincronización de datos

Para QField (2022), la sincronización de datos es el uso de dispositivos móviles para preparar una integración y gestión del equipo de Qfield a la base Qgis.

2.3.6 Topografía

Para UR Topografía (2024), es una disciplina fundamental en las operaciones mineras, ya que proporciona los datos precisos y necesarios para controlar y tomar decisiones cruciales en cada etapa de un proyecto minero, desde la exploración hasta el cierre.

2.3.7 MinePlan

Para Hexagon (s.f.), el Mine Plan es una solución completa en minería que corresponde a las necesidades de cualquiera que requiera visualizar, analizar, monitorear o evaluar información minera.

2.3.8 Software

Para Maldonado y Quispe (2024), el software es el análisis e interpretación correctos de la información geográfica con potencia y funcionalidades necesarias para procesarla.

2.3.9 Qfield

Para Mat’ášovská, Kratina y Kabeláč (2024), QField es una combinación de herramientas de código abierto diseñado para plataformas Apple iOS y Microsoft Windows.

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1. Tipo y nivel de la investigación

En razón a Tamayo y Tamayo (2003) la presente investigación será de tipo aplicada de nivel explicativo, descriptivo comparativo ya que busca lo ocurrido a través de la causa – efecto.

3.2. Diseño de la investigación

En razón arias (2006), la presente investigación será de diseño no experimental, ya que no se manipularán variables en el estudio.

3.3. Población y muestra

A continuación, se presentan la población y muestra de Cuajone.

3.3.1 Población

En razón a Hernández, R. (2014), la población es un conjunto limitado o ilimitado de elementos con características comunes compartidas, y su base de elección está relacionada con la demostración del alcance del estudio en cuestión, en razón a lo explicado la población estará conformada por todos los frentes en la fase 6 y fase 7 en el tajo de la unidad minera Cuajone.

3.3.2 Muestra

En razón a Hernández, R. (2014), la muestra es una fracción de la población y para este estudio estará constituida por 03 frentes de minados en los niveles 2980, 3145 y 3160 en operación.

3.4. Técnicas de recolección de datos.

Tenemos las siguientes.

3.4.1. Técnica del análisis documental

El estudio recopila información de forma imparcial y con referencia a la variable dependiente (control de operación de minado). Estos pueden medirse para demostrar el efecto causado.

3.4.2 Técnica del Fichaje

Se utiliza el archivado porque permite capturar toda la información textual relacionada con las variables en estudio. Esta técnica de archivado es consistente, ya que captura datos importantes y muy interesantes en formato manuscrito, en los llamados formatos de tarjeta o ficha. (Se adjunta en el Anexo 8).

3.5. Instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Reportes e informes

Se acondicionarán los reportes e informes obtenidos sobre la aplicación de Qfield en la empresa minera porque los reportes e informes aportan información específica para el análisis del estudio. (Se adjunta en el anexo 5).

3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Será llevada a cabo mediante:

- La eliminación necesaria de información incorrecta para garantizar buenos datos.
- La organización necesaria para agrupar los datos a través de la distribución adecuada.
- La tabulación necesaria a través de categorías y dimensiones.
- Interpretación necesaria a través de tablas y gráficos estadísticos.

En razón a lo expresado anteriormente el presente estudio se corroborará mediante una contratación de campo aplicando Qfield en frentes reales de la mina.

Capítulo IV

Resultados

4.1 Descripción de las pruebas

Las pruebas realizadas se usaron para aplicar el QField para mejora en el control operativo en frentes de minado en el año 2025, se realizaron levantamientos de la información, topográfica, geológica y geomecánica en los frentes 2980, 3145 y 3160 donde realizaban trabajos la pala 01, 03 y 05. La utilización de equipos con GPS permitió registrar los datos de campos de manera precisa.

1.- Método tradicional con registro realizado con hoja de papel o plantillas

2.- Método digital con registro por medio de QField integrado al sistema con Qgis para planificar los datos recolectados en toda gestión.

Cada indicador que se seleccionó para evaluar la aplicación del QField fueron el tiempo requerido para terminar de completar la cantidad de inconsistencia en los registros y la velocidad con que la información se integraba a lo planificado.

4.2 Presentación y análisis de resultados

A continuación, se presentará los resultados obtenidos al aplicar QField en frentes de minados en la unidad minera Cuajone.

4.3 Situación inicial en frentes de minados

Antes de la implementación de herramientas digitales para el control de operación de minado en los frentes 2980, 3145 y 3160; en el tajo se realizaba procedimientos convencionales utilizados en el control y planificación y se desarrollaban de la siguiente manera:

1. Precisión georreferenciada

En la precisión georreferenciada lo que era la ubicación de los puntos críticos del frente como cresta del banco, pie del banco, bermas y línea de avance, era realizado con los planos del plan diario y la orientación del supervisor en campo, este era de 1 metro, esta tolerancia afectaba:

- La exactitud del perfil real del banco del tajo
- El cálculo correcto del avance operativo del frente de minado

2. Sincronización con QGIS u otro software GIS

La información levantada manualmente en campo no se sincronizaba automáticamente con ningún sistema GIS, este proceso era completamente manual:

- Registro de datos en fichas impresas.
- Transcripción de coordenadas a gabinete.
- Digitación posterior en QGIS, AutoCAD Civil 3D o el software de planificación minera.

Esta metodología tenía retrasos en la disponibilidad de la información, también inconsistencias entre la situación real del frente y el modelo digital del tajo.

3. Formatos digitales generados

En esta etapa de trabajo no se generaban archivos digitales estructurados como shapefiles, geopackages o formularios electrónicos, el levantamiento se realizaba mediante:

- Fichas de campo en papel.
- Fotografías sin georreferenciación precisa.
- Coordenadas anotadas manualmente.

4. Tiempo de levantamiento en campo

El levantamiento de campo requería más tiempo debido a lo siguiente:

- Toma manual de coordenadas en varios puntos de control del banco.
- Anotaciones en fichas de campo.
- Revisión manual de datos.
- Traslado físico de información al área de planificación.

Este proceso tenía un doble registro primero de campo y luego gabinete.

5. Formularios completados correctamente

Los formularios en papel presentaban varias limitaciones:

- Omisión involuntaria de datos.
- Errores de escritura o interpretación.
- Pérdida de información por humedad, polvo o mal manejo en el tajo.

6. Precisión en la ubicación de equipos

Esta etapa se realizaba de la siguiente manera:

- Visualmente por estimación del supervisor.
- Con coordenadas puntuales tomadas con GPS de navegación.

Tabla 3

Condiciones Iniciales en toma de datos frentes de minado

Ítem	Unidad	Datos obtenidos
Precisión georreferenciada	m	±1
Sincronización con QGIS	min	-
Formatos digitales generados	%	65
Tiempo de levantamiento	min	420
Formularios completados correctamente	%	70
Precisión en ubicación de equipos	m	4

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla N° 3 se muestran los datos obtenidos antes de aplicar la tecnología Qfield en los frentes de minado ± 1 metros se evidencia desviaciones notables en campo. Así mismo se ve que en la Sincronización con QGIS no existía notándose la carencia de integración digital, también en lo referente a formatos digitales generados de 65 % se confirma bajo nivel de digitalización de la información, en cuanto al proceso de levantamiento se evidencia un valor de 420 minutos observando extensa toma de datos en campo; de la misma manera en formularios completados correctamente es de 70% se observa deficiencias de en los registros. Así mismo, en precisión de la ubicación de 4 metros evidencia alta dispersión en el posicionamiento de equipos.

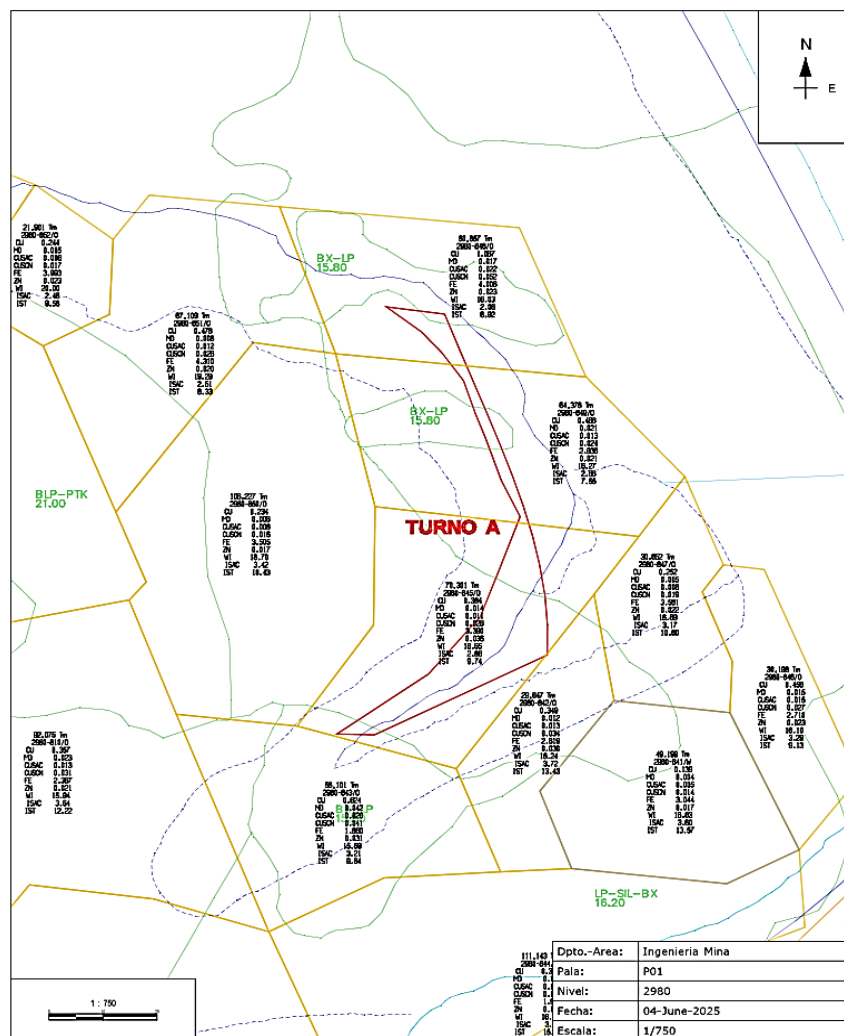
4.4 Aplicación de Qfield

QField es una aplicación móvil basada en QGIS que permite trabajar datos geoespaciales directamente en el campo zonal de operación minera, lo que la hace muy útil en minería a tajo abierto. Así mismo, lo que se intenta con este proyecto es poder usar la tecnología del QGIS para poder optimizar el trabajo de campo, mejorar la toma de decisiones, reducción de errores y aumento de precisión y ahorro de costos operativos.

Usualmente se usa para llevar un control del acarreo del mineral en zonas de producción son impresos de los planes diarios que se realizan diariamente.

Figura 8

Frente de minado P01

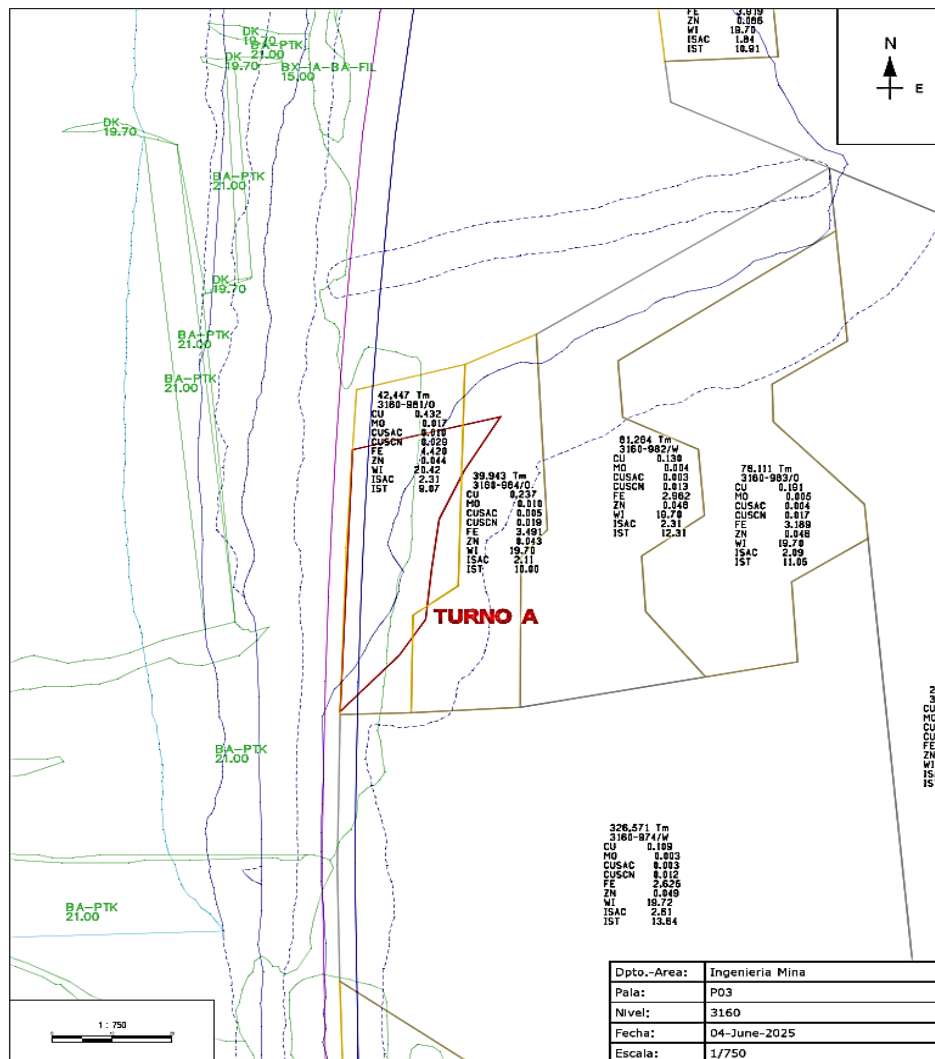


Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 8 se muestra el frente de minado P01, este plano se entrega a todos los supervisores de campo del área de operaciones (O1, O2, O3, O4, O12 y O14), así como las personas que están en el área de dispatch para poder distribuir los volquetes.

Figura 9

Frente de minado Pala 03

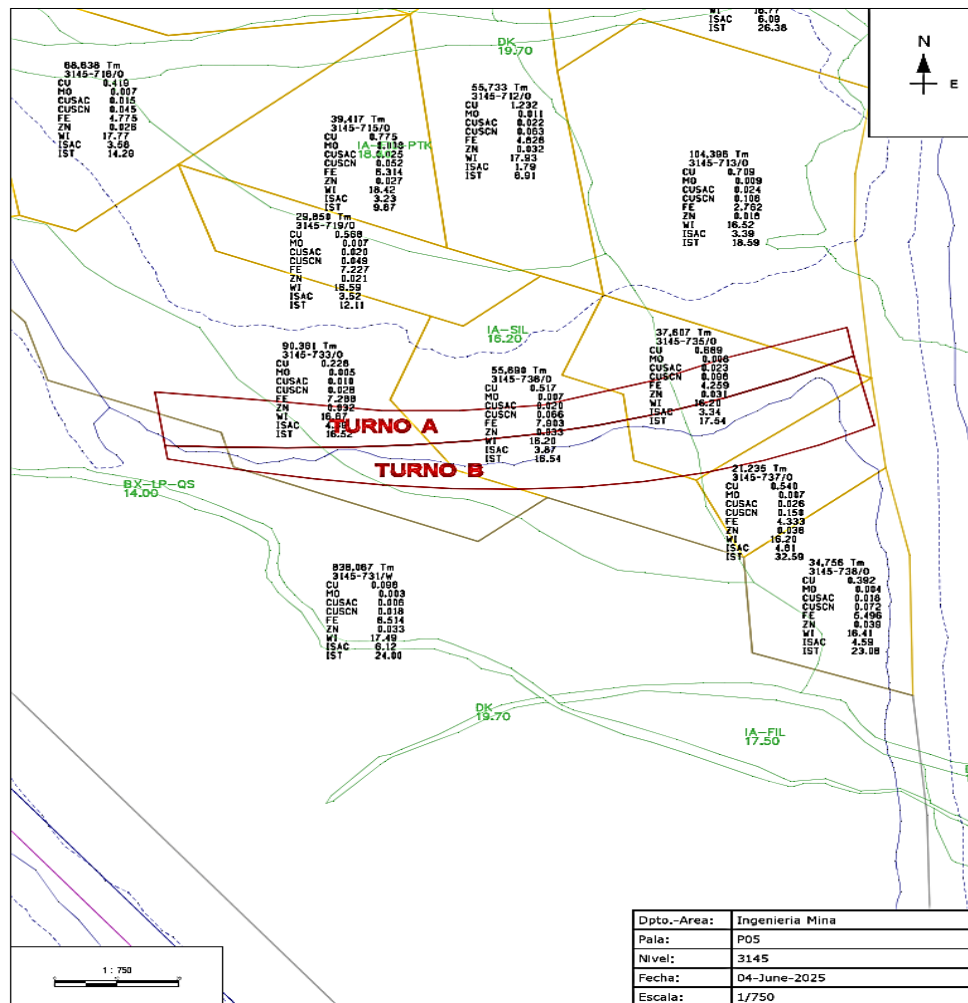


Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 9 se muestra el frente de minado P03, este plano se entrega a todos los supervisores de campo del área de operaciones (O1, O2, 03, O4, O12 y O14), así como las personas encargadas en el área de dispatch para poder distribuir los volquetes.

Figura 10

Frente de minado P05



Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 10 se muestra el frente de minado P05, este plano se entrega a todos los supervisores de campo del área de operaciones (O1, O2, 03, O4, O12 y O14), así como las personas que están en el área de dispatch para poder distribuir los volquetes.

Figura 11

Plan diario de producción 04-06-2025 turno A y B.

Ley BHs Turno A

PALA	NIVEL	TM	TCu (%)	Mo (%)	CuSAC (%)	CuSCN (%)	Fe (%)	FeSAC (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Pb (%)	Bi (%)	WI	Recup. (%)	Blending (%)
P01	2980	9,000	0.487	0.012	0.427	0.027	3.412	0.256	0.034	3.771	0.011	0.003	18.2	84.99	20
P03	3160	18,000	0.414	0.009	0.415	0.024	4.415	0.306	0.034	3.931	0.01	0.002	16.2	84.32	40
P05	3145	18,000	0.551	0.014	0.454	0.036	3.026	0.312	0.037	3.37	0.009	0.004	18.63	84.06	40
Total	—	45,000	0.517	0.012	0.433	0.029	3.705	0.305	0.036	3.557	0.01	0.003	—	84.06	100

Ley por Polígonos (Turno A)

Polig	Ton	Cu	WI
2980-848	9,000	0.487	16.27
3160-981	18,000	0.414	16.2
3145-736	18,000	0.551	16.89
Total	45,000	—	—

Ley BHs Turno B

ALA	NIVEL	TM	TCu (%)	Mo (%)	CuSAC (%)	CuSCN (%)	Fe (%)	FeSAC (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Pb (%)	Bi (%)	WI	Recup. (%)	Blending (%)
LT3	ST-CH	15,750	0.358	0.013	0.543	0.043	3.409	0.309	0.035	2.441	0.011	0.003	20.42	82.3	35
P05	3145	29,250	0.559	0.009	0.495	0.036	3.091	0.362	0.034	3.108	0.009	0.002	16.2	82.33	65
Total	—	45,000	0.489	0.009	0.595	0.038	3.062	0.362	0.034	3.108	0.009	0.002	—	82.33	100

Ley por Polígonos (Turno B)

Polig	Ton	Cu	WI
ST-CH	15,750	0.358	20.42
3145-736	29,250	0.559	16.2
Total	45,000	—	—

Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Plan diario de producción 04-06-2025 resumen

Ley BHs Día (Total)																
PALA	NIVEL	TM	TCu (%)	Mo (%)	CuSAC (%)	CuSCN (%)	Fe (%)	FeSAC (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Pb (%)	Bi (%)	WI	Recup. (%)	Blending (%)	
P01	2980	9,000	0.487	0.012	0.427	0.027	3.412	0.256	0.034	3.771	0.011	0.003	18.2	84.99	10	
P03	3160	18,000	0.414	0.009	0.415	0.024	4.415	0.306	0.034	3.931	0.01	0.002	16.2	84.32	20	
LT3	ST-CH	15,750	0.358	0.013	0.543	0.043	3.409	0.309	0.035	2.441	0.011	0.003	20.42	82.3	18	
P05	3145	47,250	0.559	0.009	0.495	0.036	3.091	0.362	0.034	3.108	0.009	0.002	16.2	82.33	53	
Total	—	90,000	0.501	0.011	0.516	0.03	3.606	0.334	0.035	3.312	0.01	0.002	—	83.19	100	

Tipo de Roca	
PALA	Tipo de roca
P01	BLP / LLP-SIL-BX
P03	IA-FIL-PTK / BA-PTK
LT3	BA-PTK / IA-FIL-PTK / BA-FIL-PTK
P05	IA-SIL / IA-FIL

Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 11 y 12 se muestra a detalla la cantidad de mineral y la ley de los polígonos que se van a minar en el día, en turnos de A (día: 07:50am a 07:50pm) y B (noche: 07:50pm a 07:50am).

4.4.1 Levantamiento de datos geoespaciales en campo – Preparación del proyecto en Mine Plan:

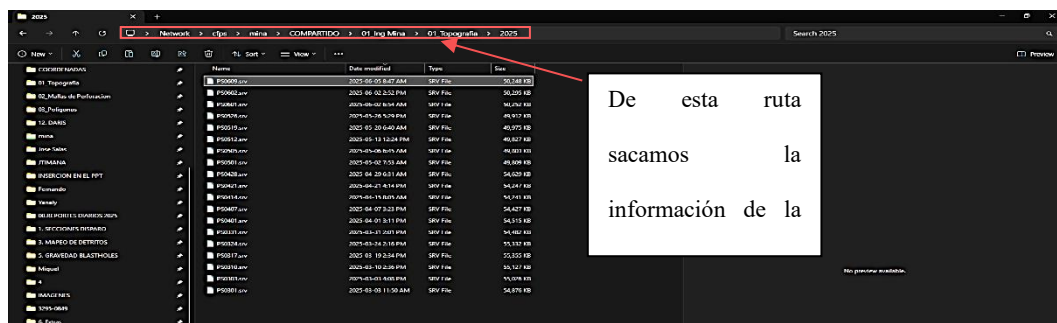
En la empresa minera se lleva un control diario con respecto a la topografía, polígonos de mineral y desmonte, cortes de las palas en zonas de mineral y el Work Index (Dureza). Todos estos datos se actualizan diariamente por el área de planeamiento a corto plazo. En este caso se sacarán los datos del día 04 de junio del 2025.

4.4.1.1 Topografía:

- Cada día se actualiza la topografía debido a que los topógrafos hacen levantamientos de los frentes de minado de cada pala. En este caso estaríamos utilizando la topografía del día 05 de junio del 2025. También es importante tener en cuenta que la topografía se actualiza después de que sale la voladura (a la 01:00 pm aprox).

Figura 13

Topografía en formato srv

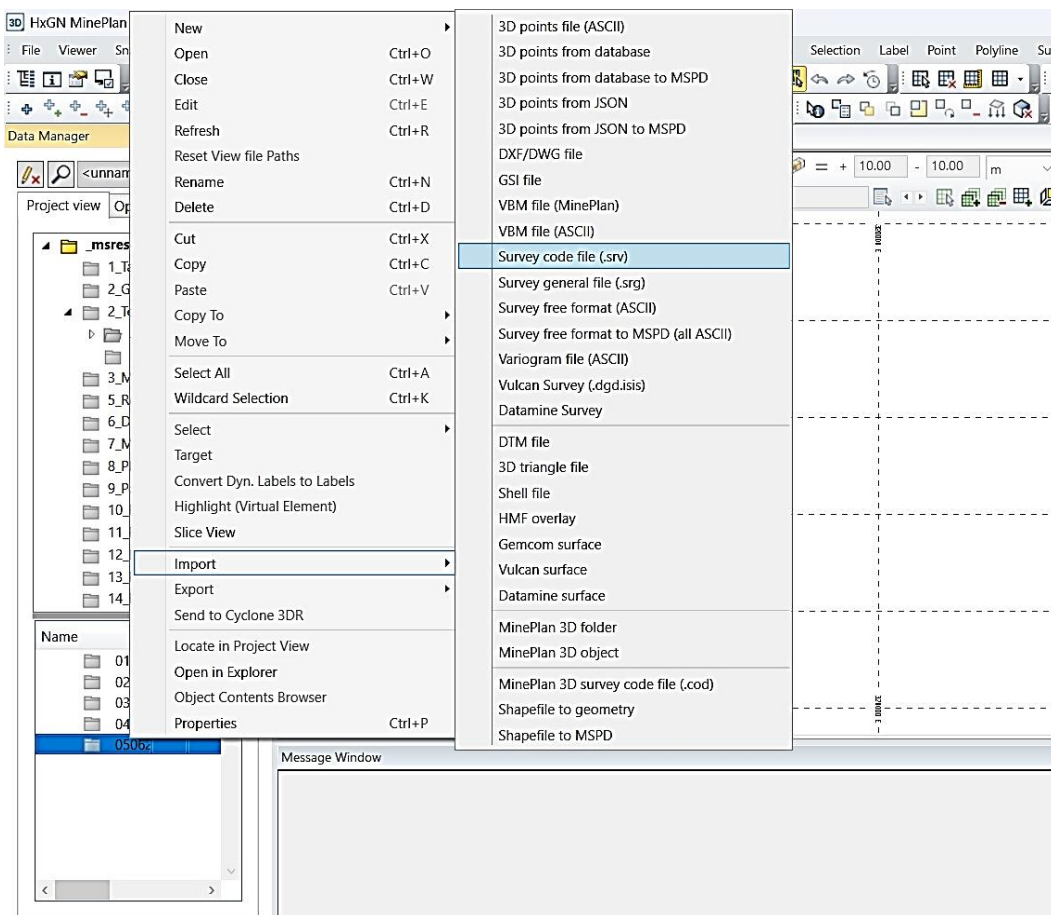


Nota. Elaboración propia.

- b. Procedemos a importa la topografía al software MINEPLAN en formato srv para lo cual creamos una carpeta con la fecha de hoy (04-06-2025) en nuestra base de datos.

Figura 14

Creación de carpeta



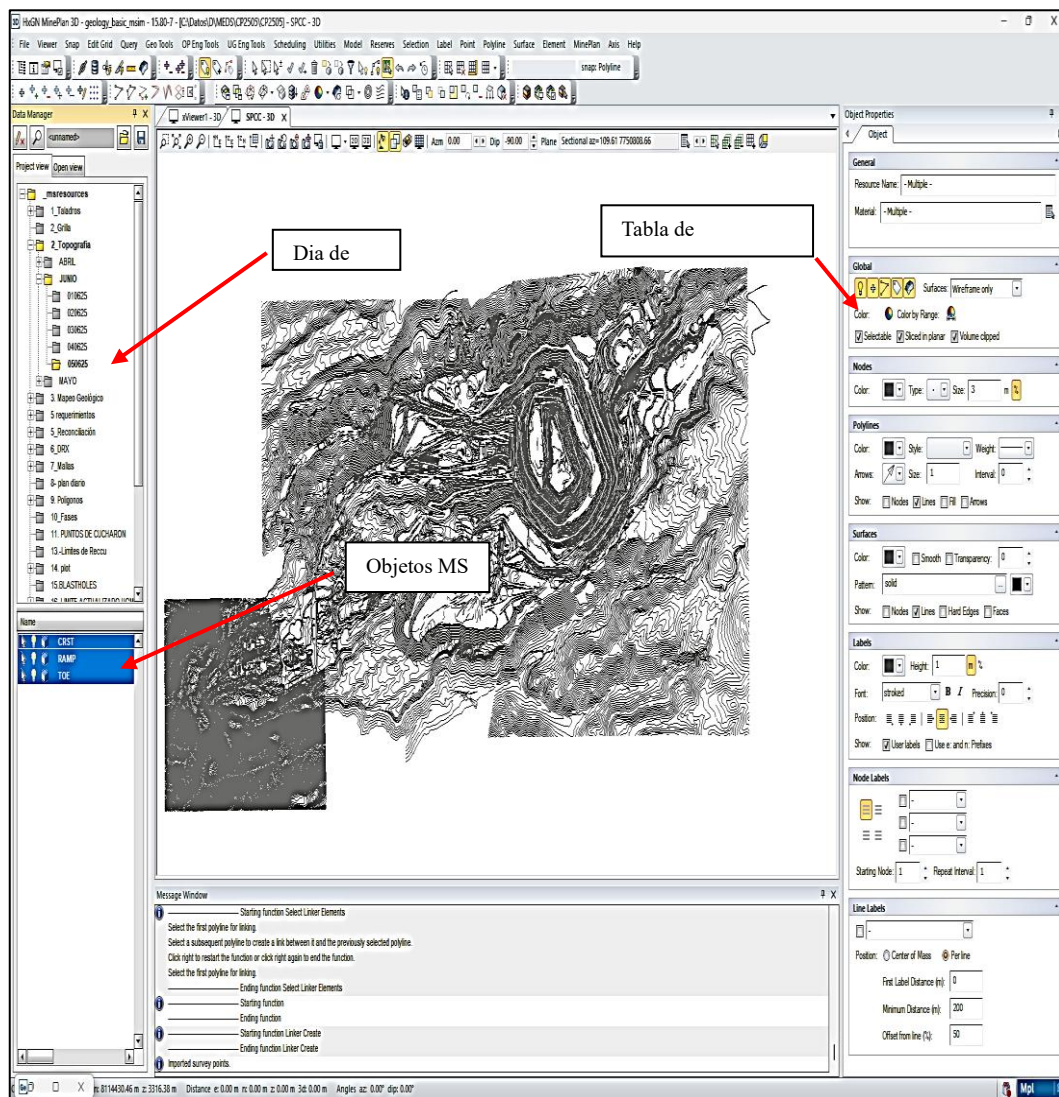
Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 14 se muestra los pasos del proceso de importación de la topografía al programa MINEPLAN en la extensión srv.

- c. Donde obtenemos este resultado, donde ya nosotros podemos asignarles propiedades los objetos de la topografía: Cresta, Toe y rampa. Los cuales se crean en Mineplan como “CRST, TOE y RAMP”.

Figura 15

Asignación de propiedades



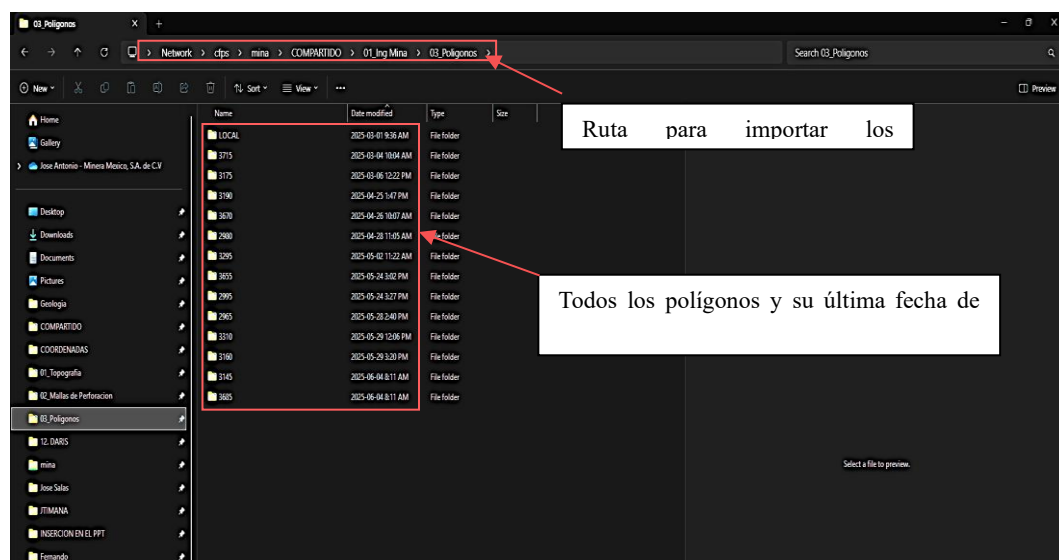
Nota. Elaboración propia.

4.4.1.2 Polígonos de mineral

- a. Los polígonos cambian cada día o cada 2 días dependiendo de los resultados de las leyes que lleguen día a día. Estas leyes se las pasa al modelo de bloques y se interpolan para modificar el valor de cada bloque y así cambian los valores de las zonas de mineral. Planeamiento a corto plazo utiliza el modelo de bloques del día y actualiza los polígonos de mineral, cambiando su forma, los nombres y los datos que conlleva en la etiqueta (Ley Cu, Tonelaje, Ley Mo, Work Index, etc). Los niveles donde se encuentra mineral en este mes son: 2980, 3145 y 3160. Entonces vamos a proceder esos datos de la carpeta que comparte toda la mina.

Figura 16

Ruta para importar polígonos

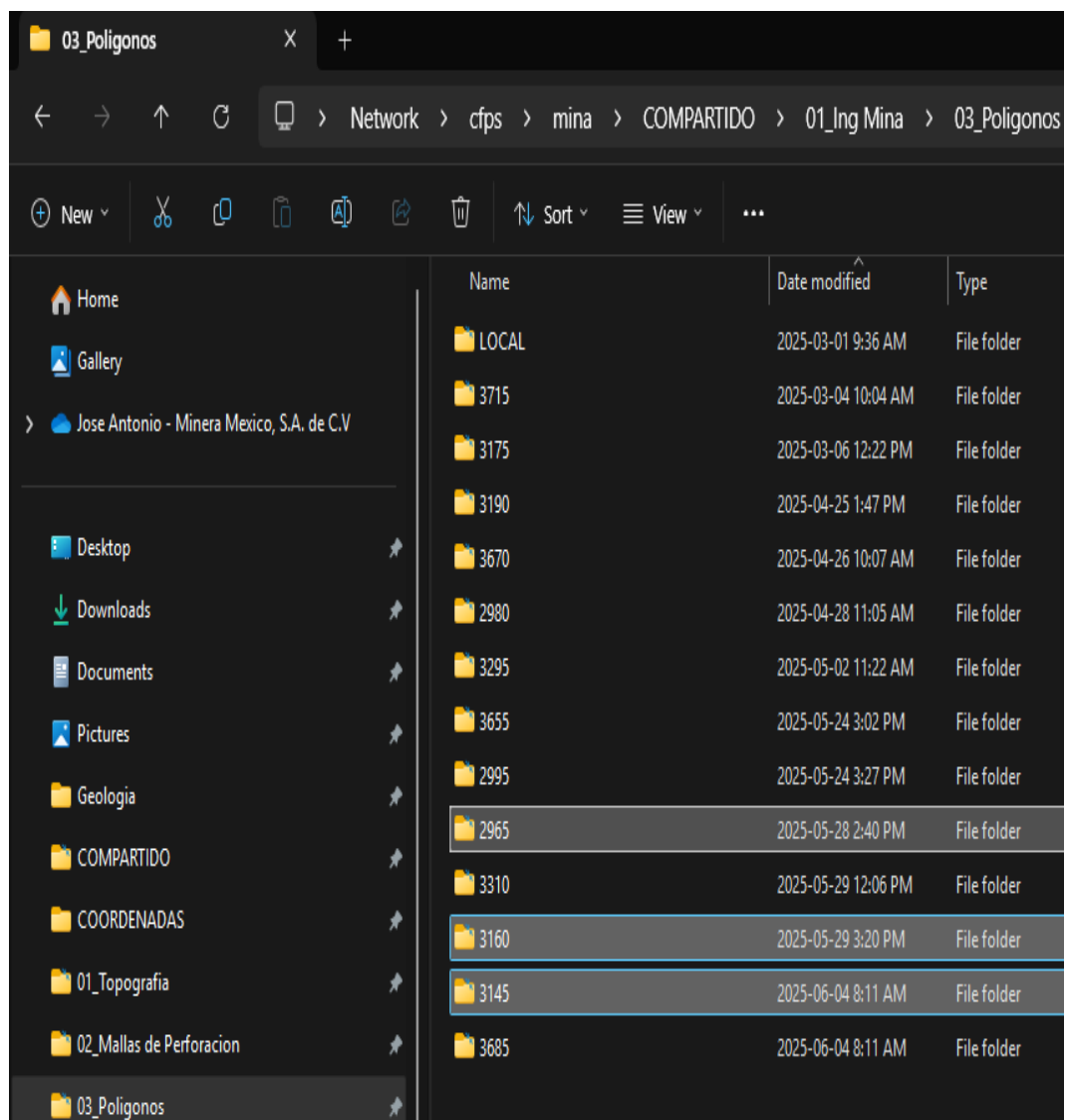


Nota. Elaboración propia.

- b. Luego solo procedemos a importar los polígonos de los niveles que nos interesan (2980, 3145 y 3160). Los llevamos al MinePlan y vemos los cambios.

Figura 17

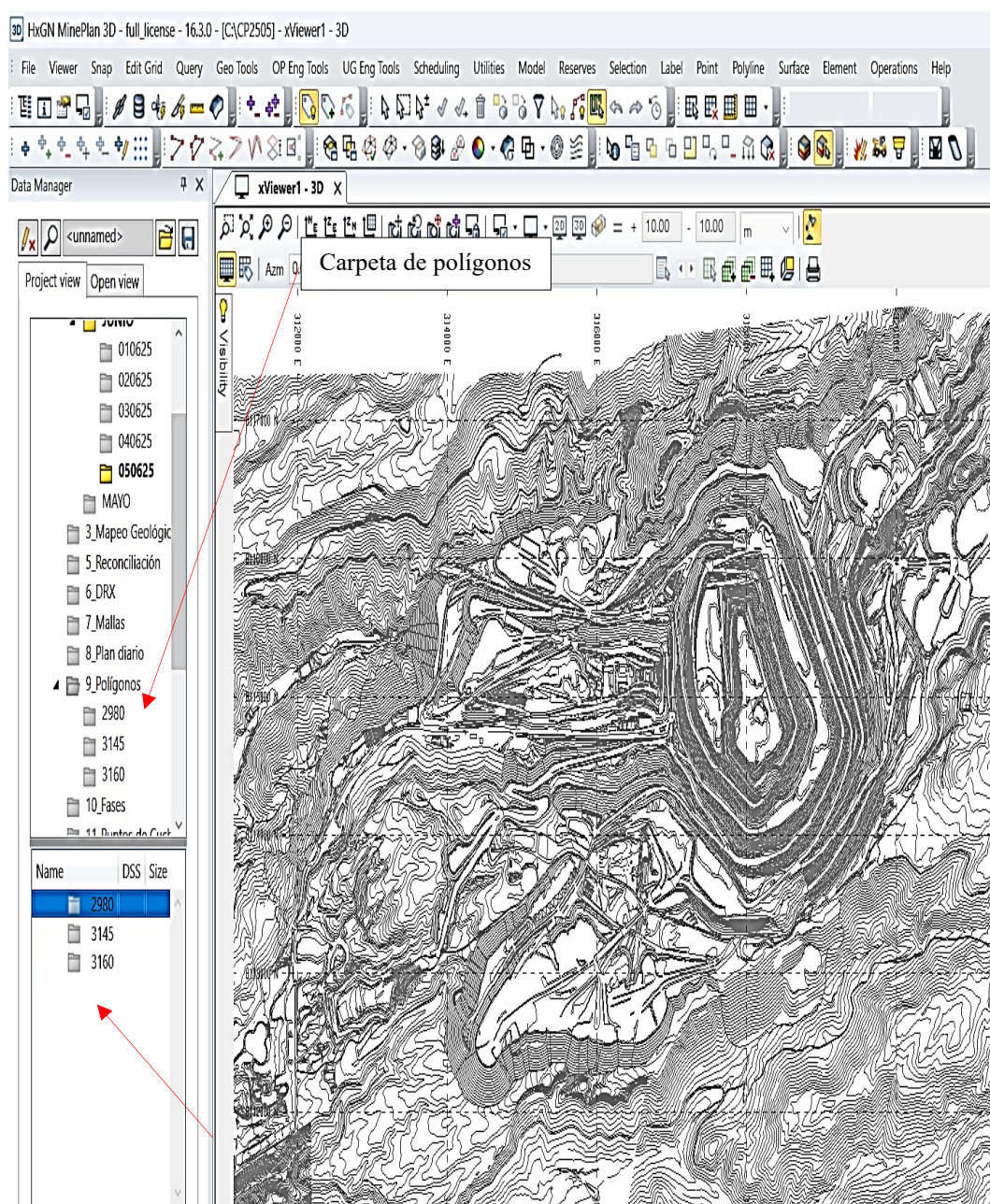
Importación de polígonos por niveles paso 1



Nota. Elaboración propia.

Figura 18

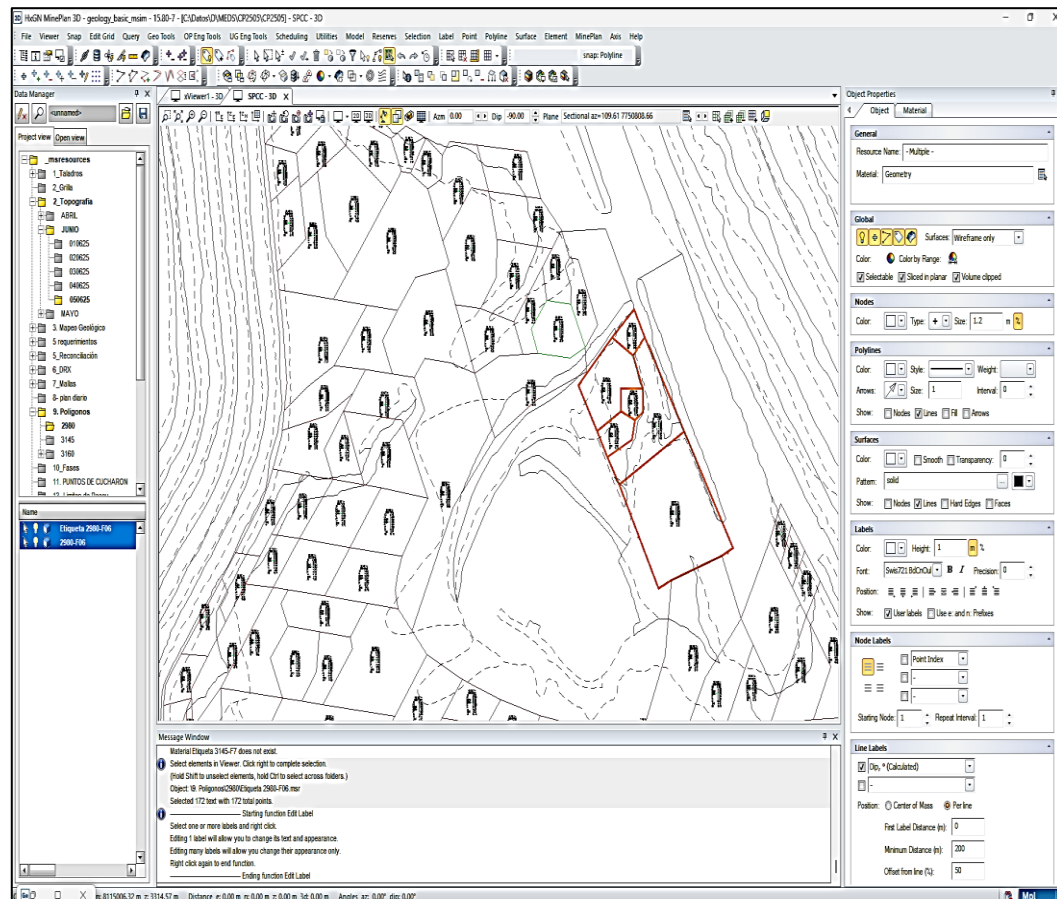
Importación de polígonos por niveles paso 2



Nota. Elaboración propia.

Figura 19

Visualización de los polígonos por nivel



Nota. Elaboración propia.

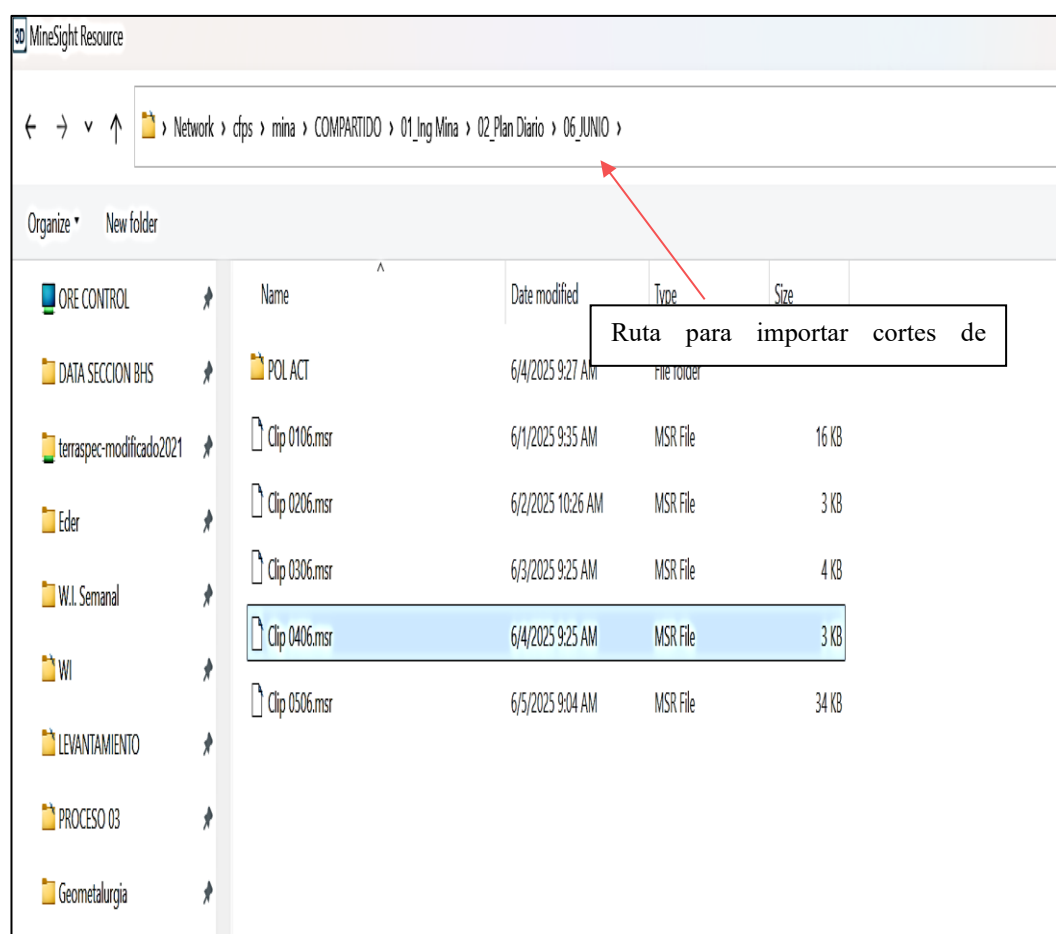
4.4.1.3 Cortes de la pala en zona de mineral

- a. Los cortes de la pala se actualizan todos los días a las 09:30 am aproximadamente, debido a que para realizar los cortes se deben tener actualizados los polígonos de los frentes de mineral que vamos a necesitar, además también se debe tener la topografía actualizada y eso

lo realizan a las 08:30 am aproximadamente. Entonces cada corte nos da valores de tonelaje, ley de Cu, ley de Mo, etc. Y estos valores son los que se colocan en el PLAN DIARIO DE PRODUCCIÓN. Entonces procedemos a importar el corte de minado del día 4 de junio del 2025 de la carpeta que comparte toda la mina.

Figura 20

Rutas para importar cortes de minado

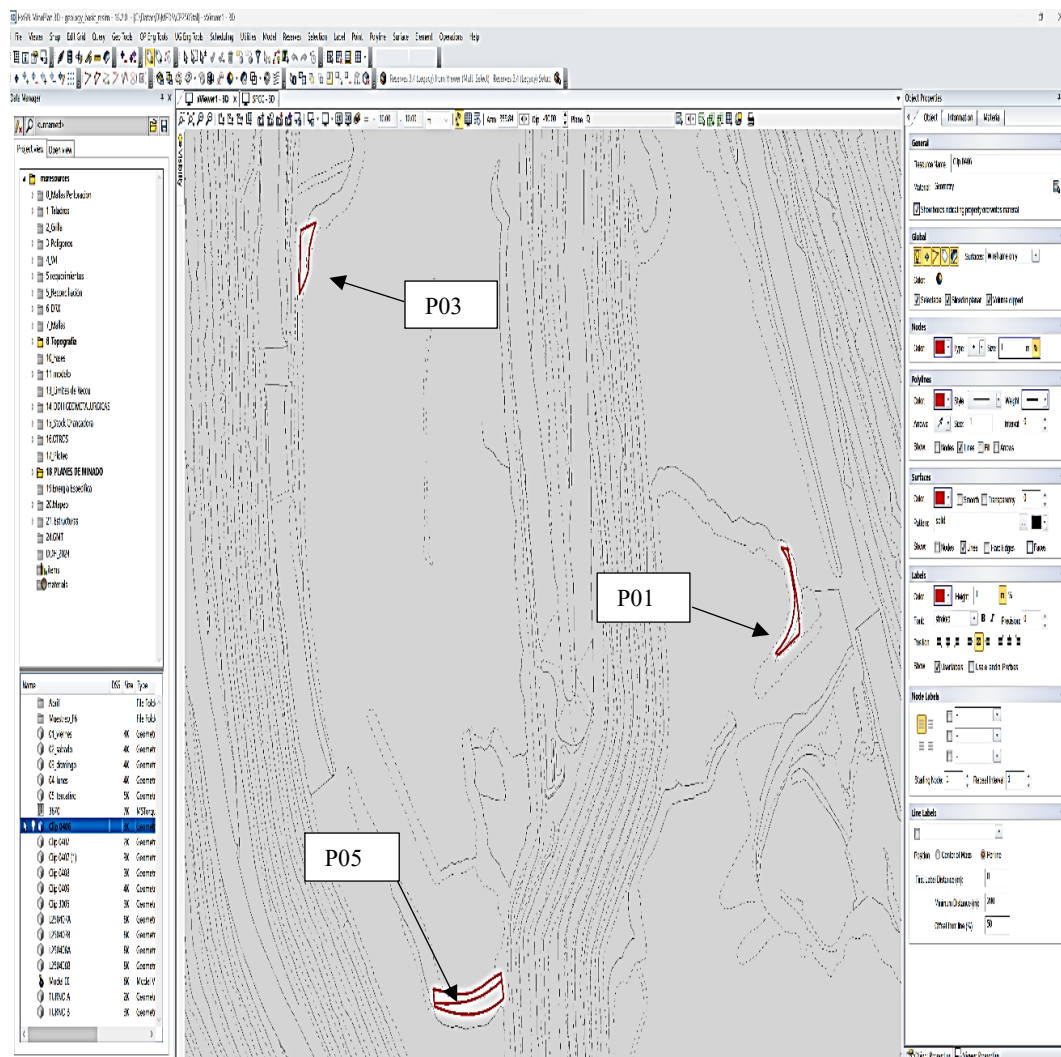


Nota. Elaboración propia.

- b. Luego procedemos a importarla en Mineplan como un objeto MS. Y nos aparecen los polígonos de los 3 frentes de minado donde se está sacando mineral para la chancadora primaria.

Figura 21

Importación a Mineplan



Nota. Elaboración propia.

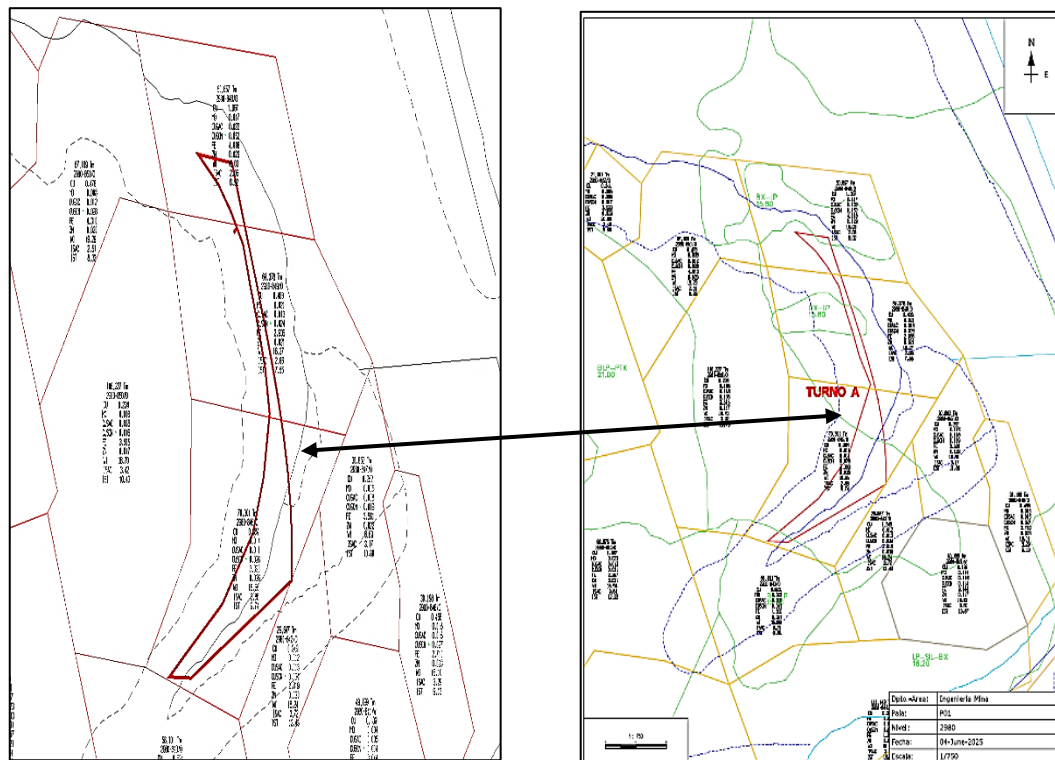
4.4.2 Preparación del proyecto en QGIS

Una vez importado todos los datos de campo al MinePlan, procedemos a comparar si los datos puestos en el programa son iguales a los planos impresos que manda ingeniería del plan diario de producción.

Lo que se revisa son las formas de los polígonos, las etiquetas de los polígonos y la forma del corte.

Figura 22

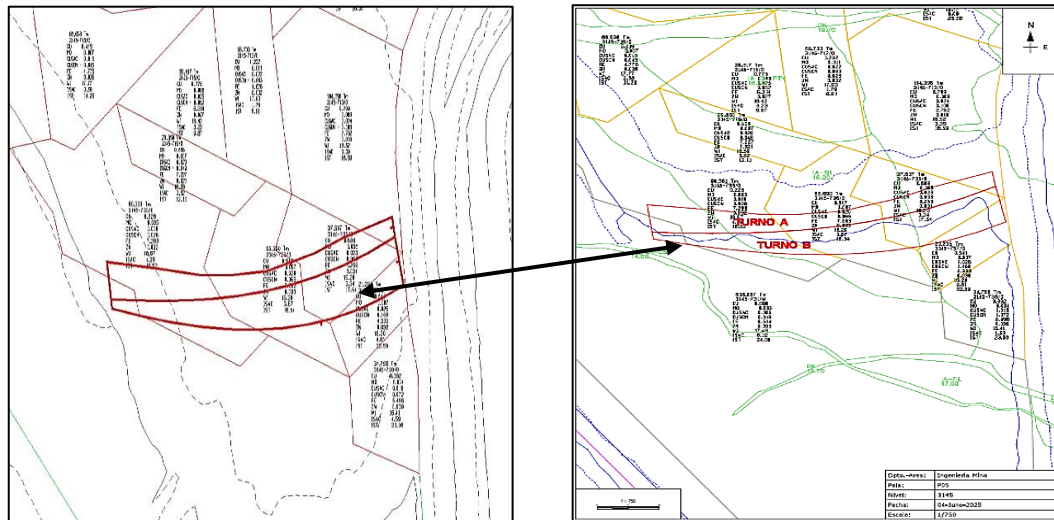
Nv. 2980:



Nota. Elaboración propia.

Figura 23

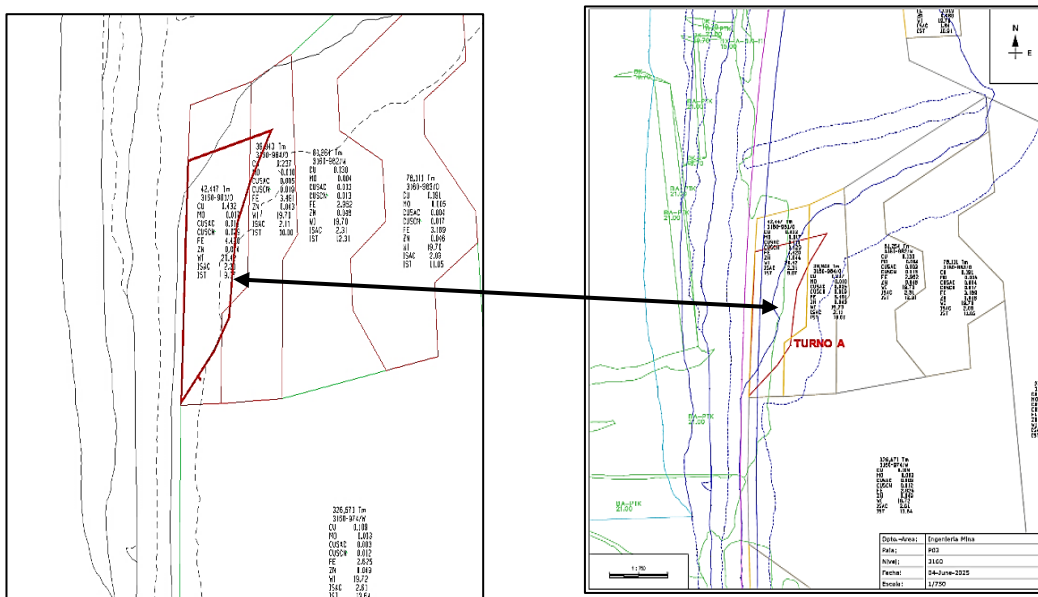
Nv. 3145:



Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Nv. 3160:



Nota. Elaboración propia.

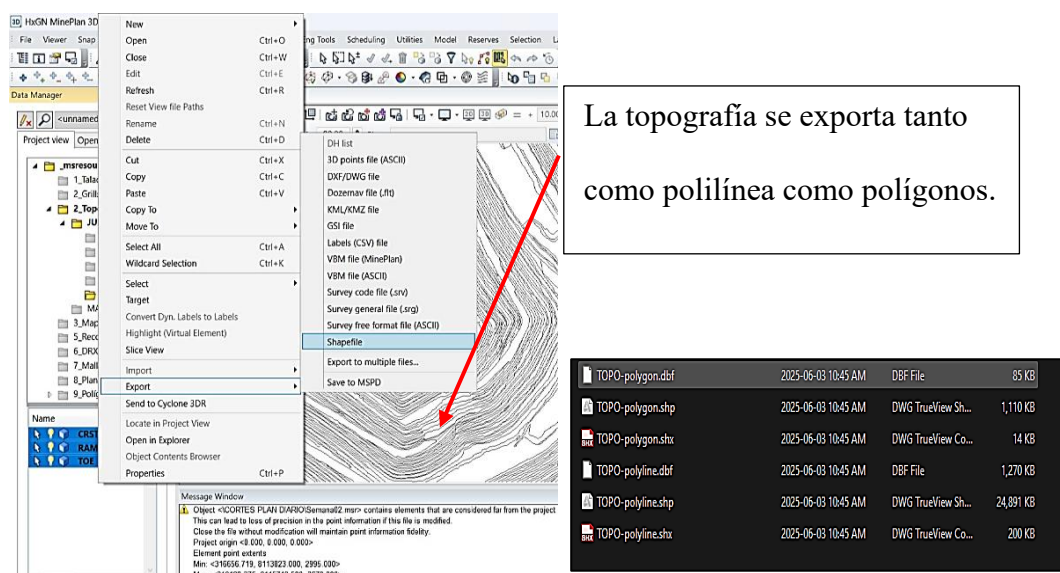
Una vez comparados los planos como se muestran en la figura 19, 20 y 21 (método tradicional) con los datos en el MinePlan, procedemos a exportar los datos en el formato “shapefile” (que es un formato que reconoce QGIS).

4.4.2.1 Topografía:

Primero seleccionamos los 3 objetos de la topografía y lo exportamos como “shapefile”. Este formato nos da 3 archivos por cada objeto que tenemos. En este caso nos dará 6 archivos porque dentro de la topografía tenemos polilíneas y polígonos. Pero a nosotros solo nos importa el archivo que está en formato “.shp”.

Figura 25

Exportación en formato shapefile



La topografía se exporta tanto como polilínea como polígonos.

File Name	Date/Time	Format	Size
TOPO-polygon.dbf	2025-06-03 10:45 AM	DBF File	85 KB
TOPO-polygon.shp	2025-06-03 10:45 AM	DWG TrueView Sh...	1,110 KB
TOPO-polygon.shx	2025-06-03 10:45 AM	DWG TrueView Co...	14 KB
TOPO-polyline.dbf	2025-06-03 10:45 AM	DBF File	1,270 KB
TOPO-polyline.shp	2025-06-03 10:45 AM	DWG TrueView Sh...	24,891 KB
TOPO-polyline.shx	2025-06-03 10:45 AM	DWG TrueView Co...	200 KB

Nota. Elaboración propia.

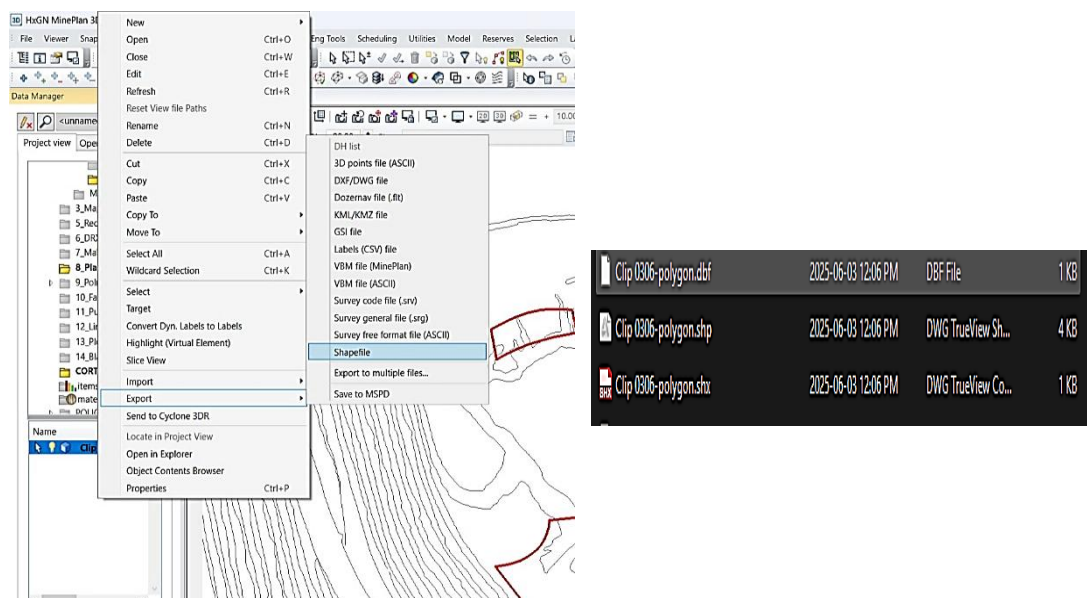
Luego de exportarlo lo guardamos en una carpeta donde podamos almacenar toda la información que requerimos para el QGIS. En este caso se creó una carpeta con el nombre de “Minesight shapes”. Aquí guardaremos la información de la topografía, el corte diario, los polígonos, las etiquetas y las leyes.

4.4.2.2 Corte diario:

Hacemos el mismo procedimiento para el corte diario del día 04-06-2025. Lo seleccionamos y lo exportamos como Shapefile. Y luego lo guardamos en la carpeta “Minesight shapes”.

Figura 26

Corte diario



Nota. Elaboración propia.

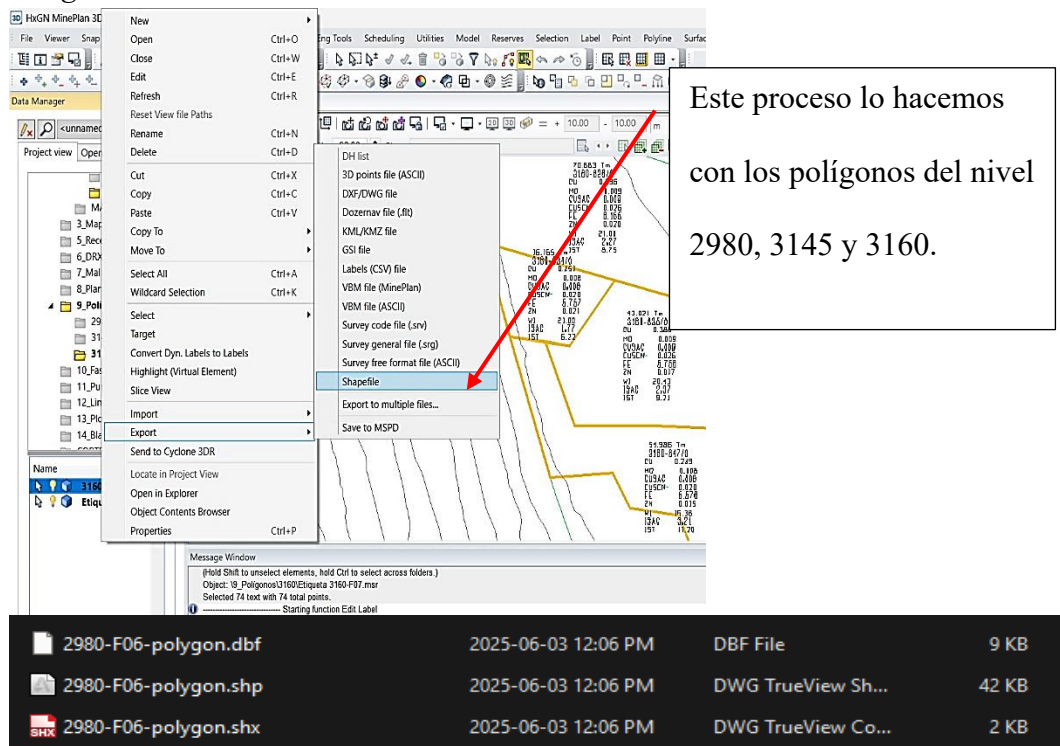
4.4.2.3 Polígonos de mineral y sus etiquetas

En caso de los polígonos tenemos carpetas que contienen 2 tipos de archivos, la primera son los objetos donde están la forma de los polígonos y la segunda son las etiquetas donde se guarda la información de cada polígono.

Primero exportamos el objeto donde está la forma del polígono en formato shapefile y los guardamos dentro de la carpeta donde están todos los datos.

Figura 27

Polígono de mineral



Este proceso lo hacemos con los polígonos del nivel 2980, 3145 y 3160.

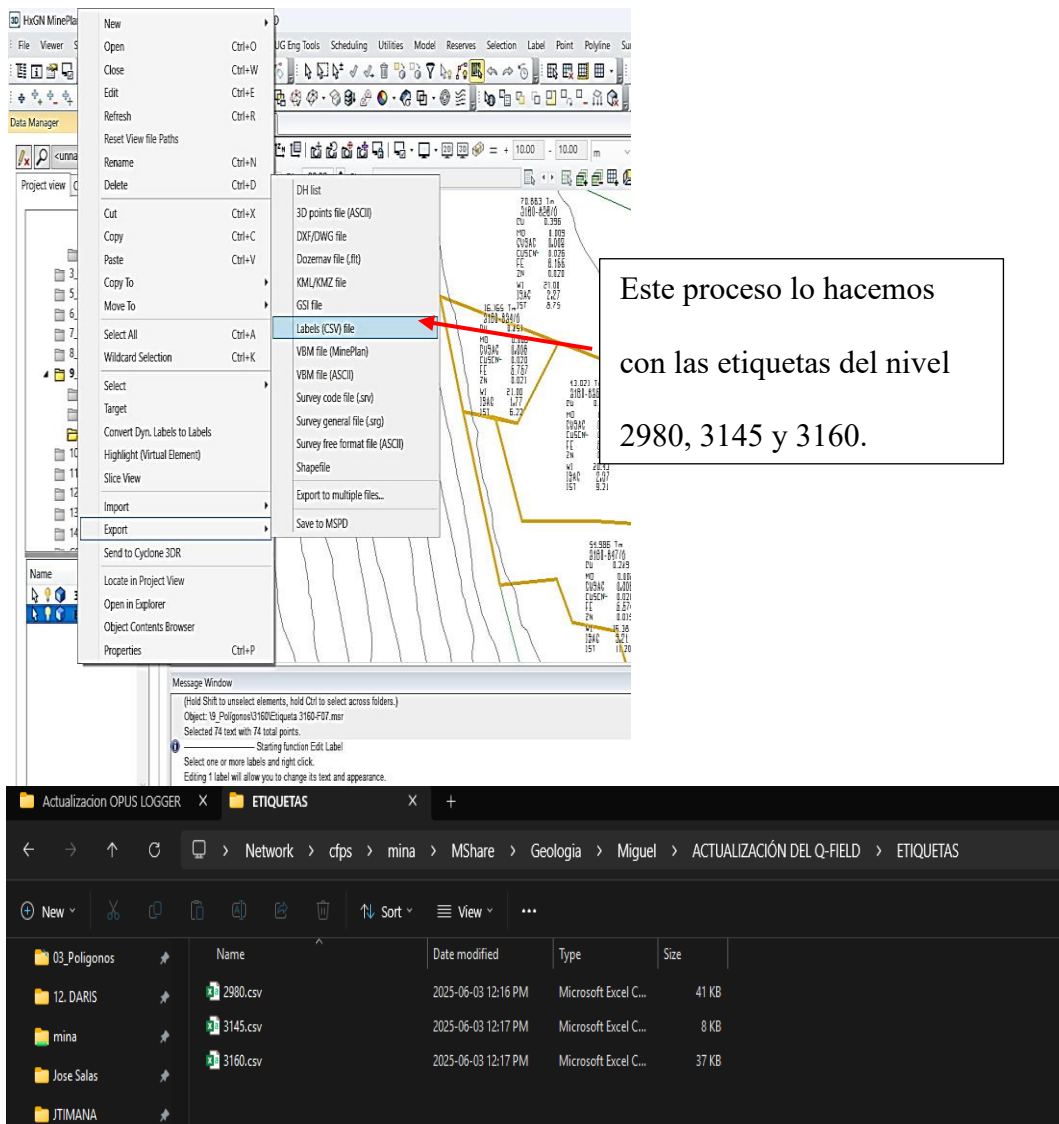
File Name	Date/Time	File Type	Size
2980-F06-polygon.dbf	2025-06-03 12:06 PM	DBF File	9 KB
2980-F06-polygon.shp	2025-06-03 12:06 PM	DWG TrueView Sh...	42 KB
2980-F06-polygon.shx	2025-06-03 12:06 PM	DWG TrueView Co...	2 KB

Nota. Elaboración propia.

Luego creamos una carpeta “ETIQUETAS” donde pondremos las etiquetas de los poligonos en archivos Excel. Seleccionamos una etiqueta y lo exportamos como CSV.

Figura 28

Etiquetas



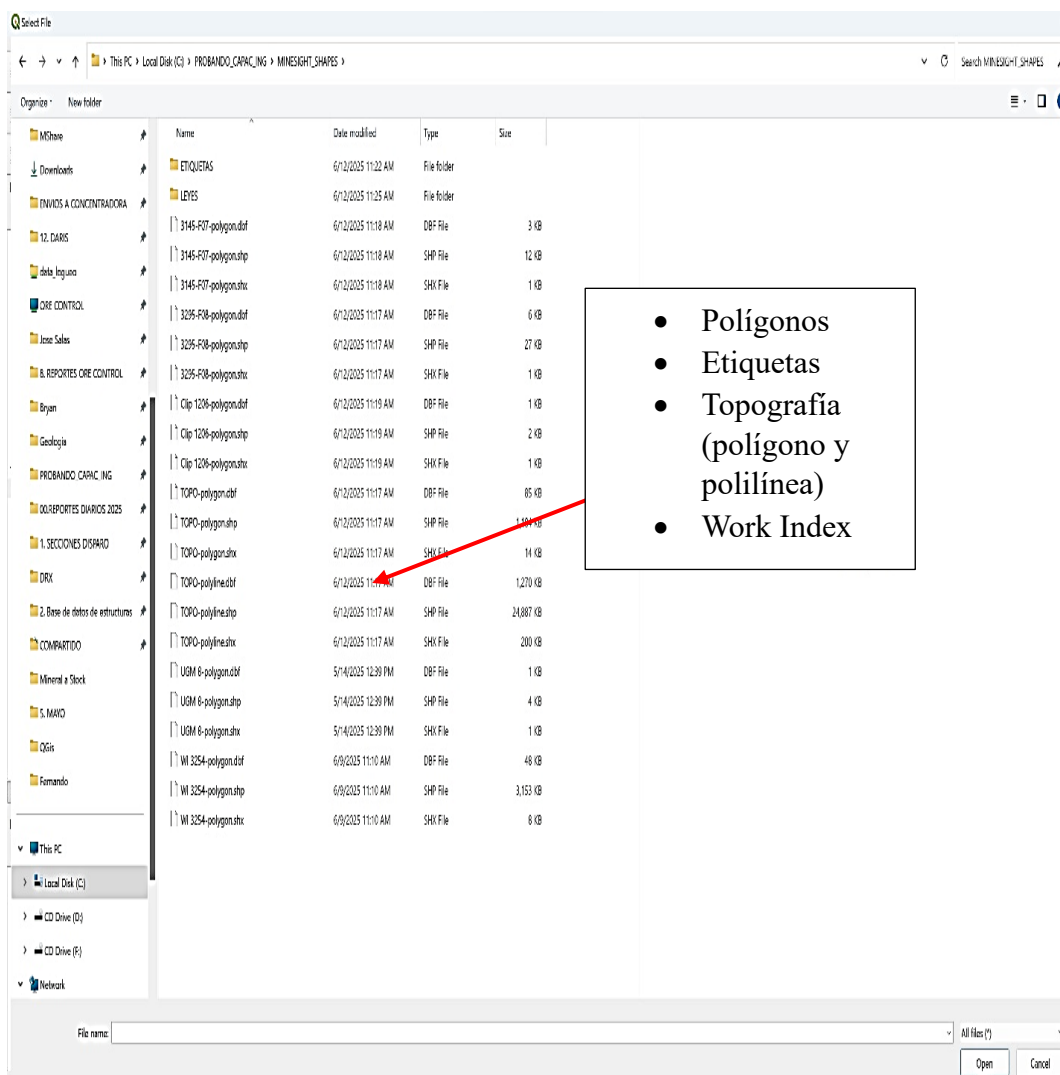
Nota. Elaboración propia

4.4.3 Inserción de los datos en QGIS

En la carpeta “Minesight shapes” se guarda toda la información para luego tener un orden al momento de importar los datos en el QGIS.

Figura 29

Guardado de información en Minesigh Shapes

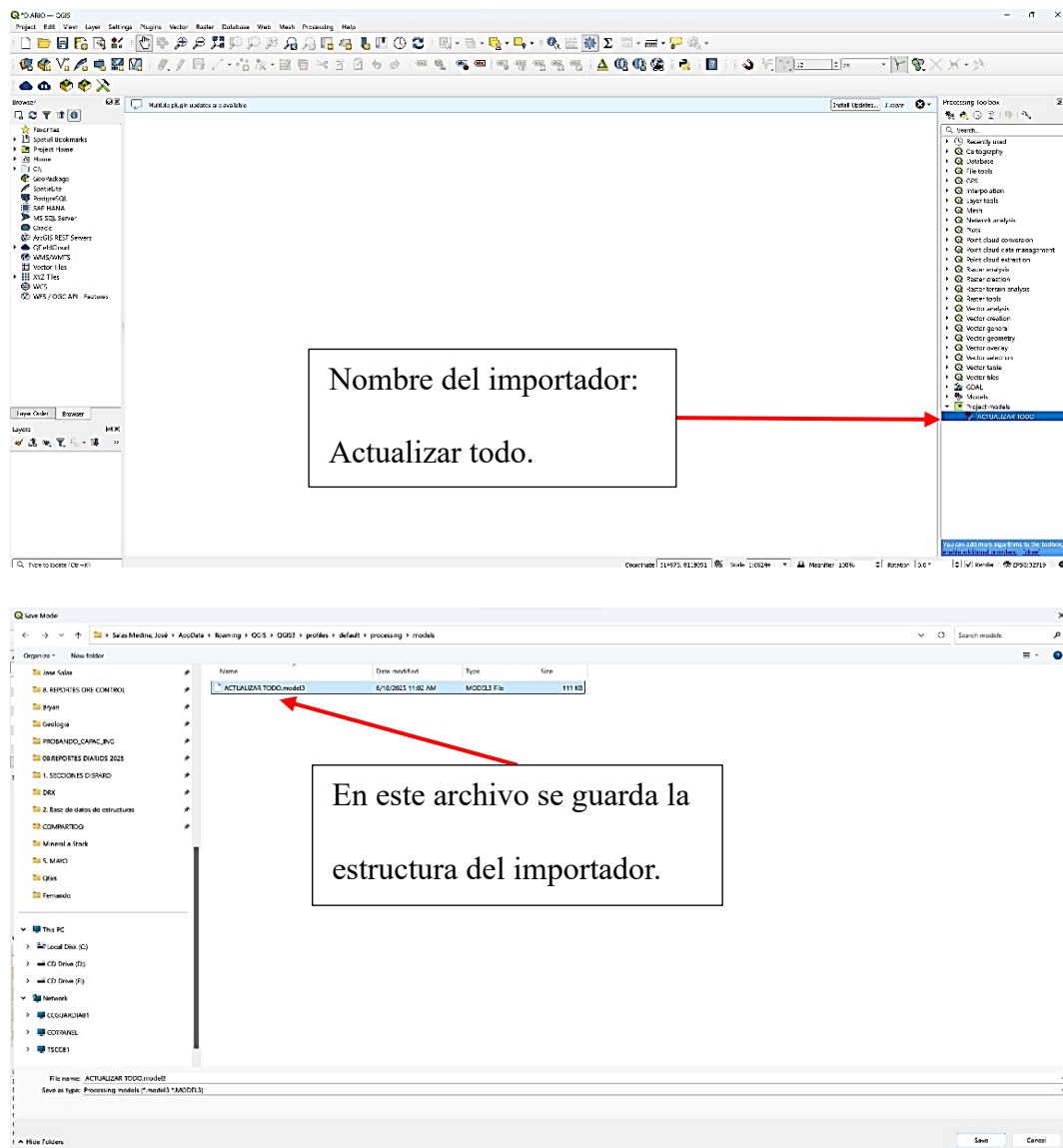


Nota. Elaboración propia.

Abrimos y QGIS y dentro del software se ha creado un importador para todos los datos que necesitamos visualizar en el QGIS.

Figura 30

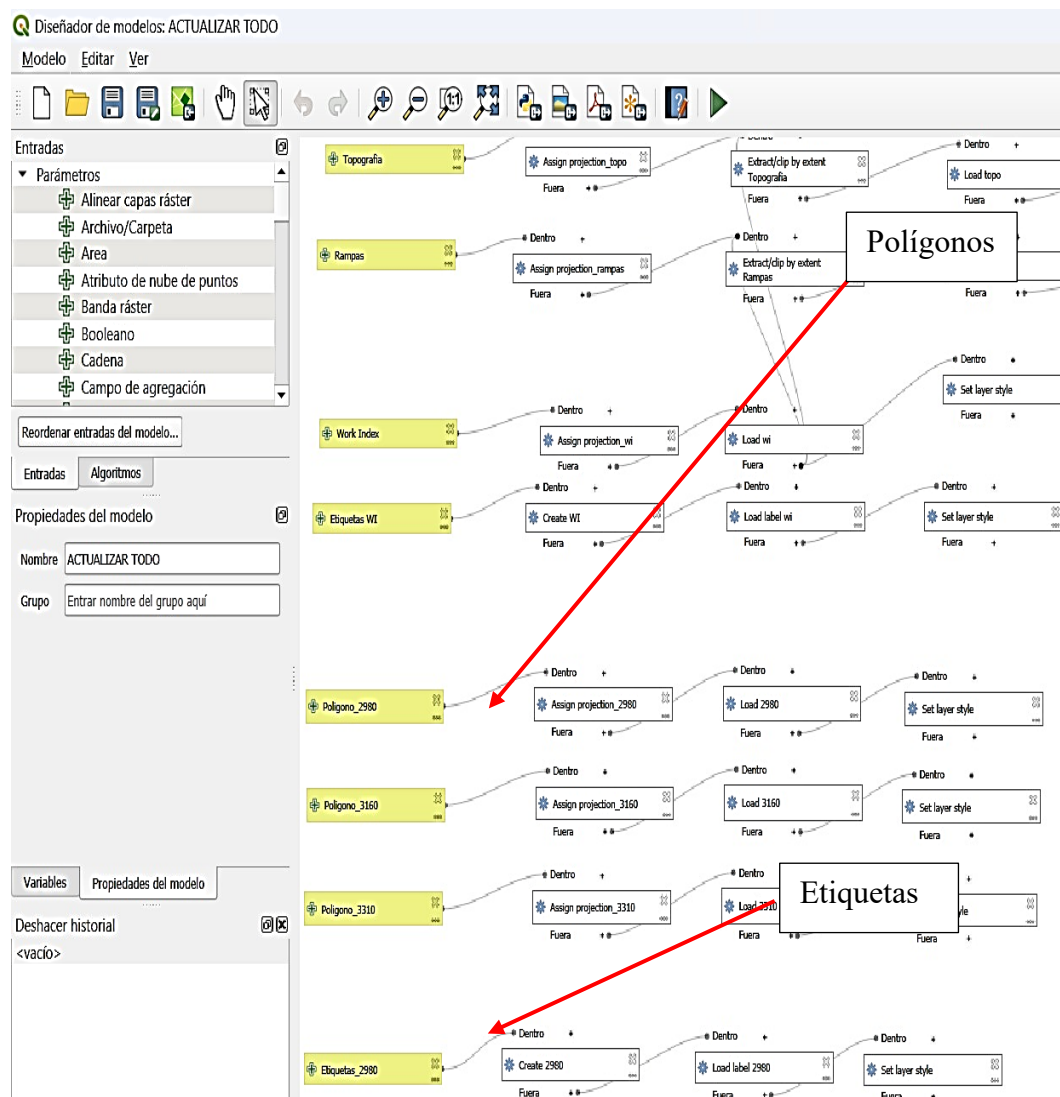
Importador creado para visualizar QGIS.



Si en caso se produce alguna modificación en los niveles de mineral, se puede editar dicho importador y aumentar o borrar la información que necesitemos.

Figura 31

Editor del importador.

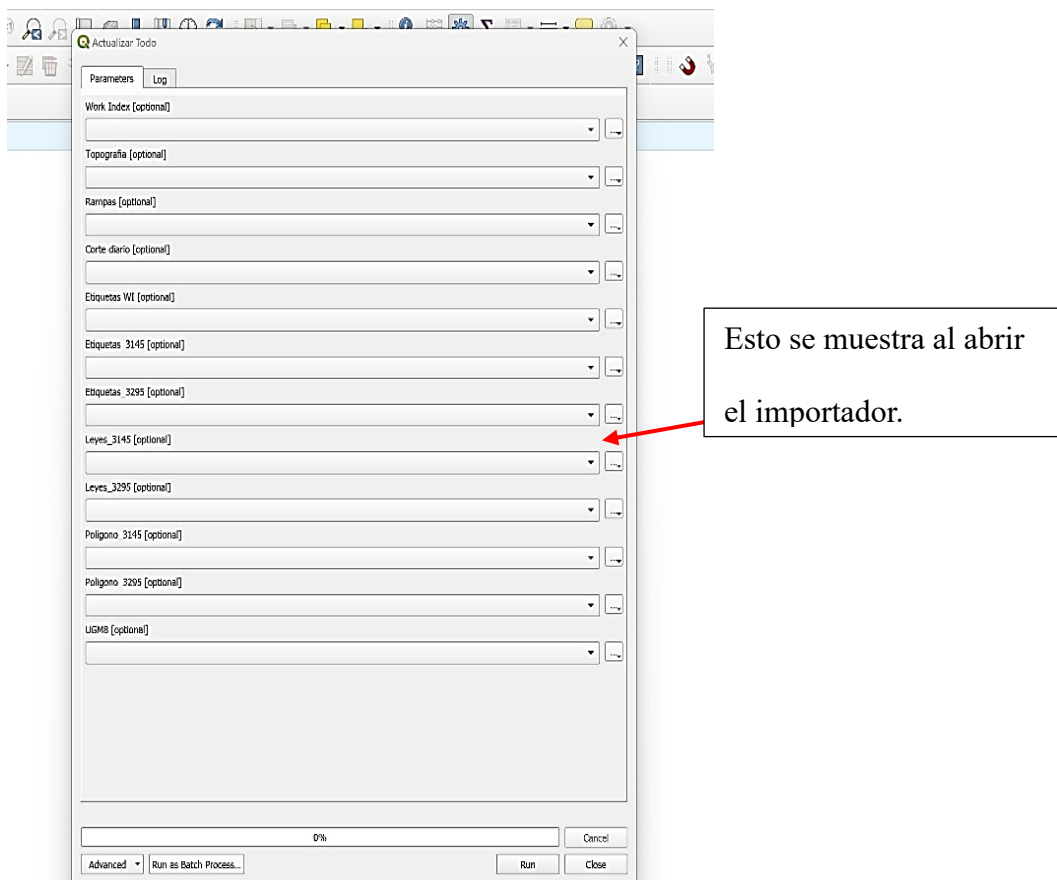


Nota. Elaboración propia.

En este caso se crearon capas con estilos dentro del QGIS para el work index, topografía, cortes, polígonos, etiquetas y UGM 8. Y lo único que se debe hacer es seleccionar el archivo de formato “.shp” de la información que se está solicitando. Todos los archivos previamente ya se encuentran en la carpeta “Minesight shapes”.

Figura 32

Importador

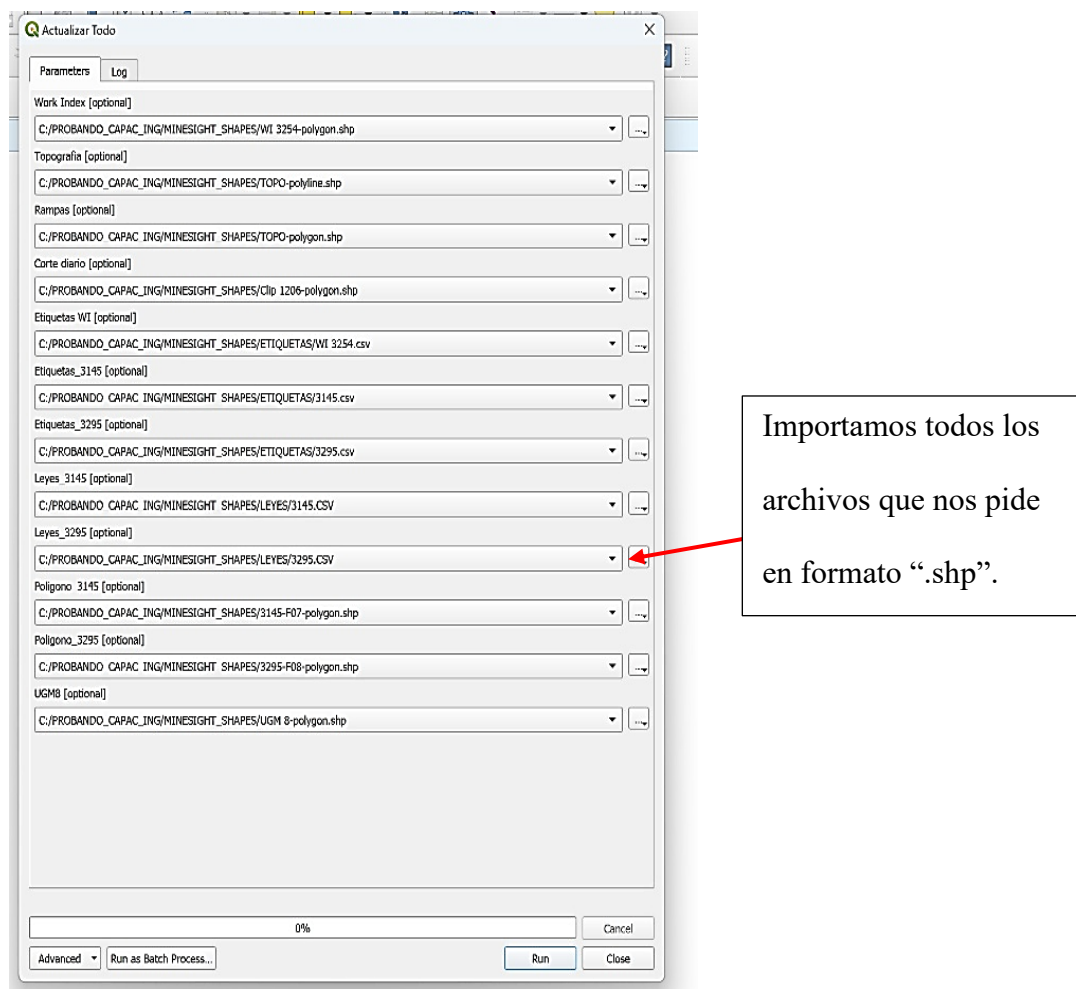


Nota. Elaboración propia.

Una vez cargados todos los archivos. Le damos a “Run” para que se carguen todos nuestros datos dentro del QGIS. Muy aparte, toda la información se guarda dentro de un archivo llamado “PLAN DIARIO.jpg”, que es donde se almacenan todas las capas de los datos que estamos importando.

Figura 33

Importando archivos

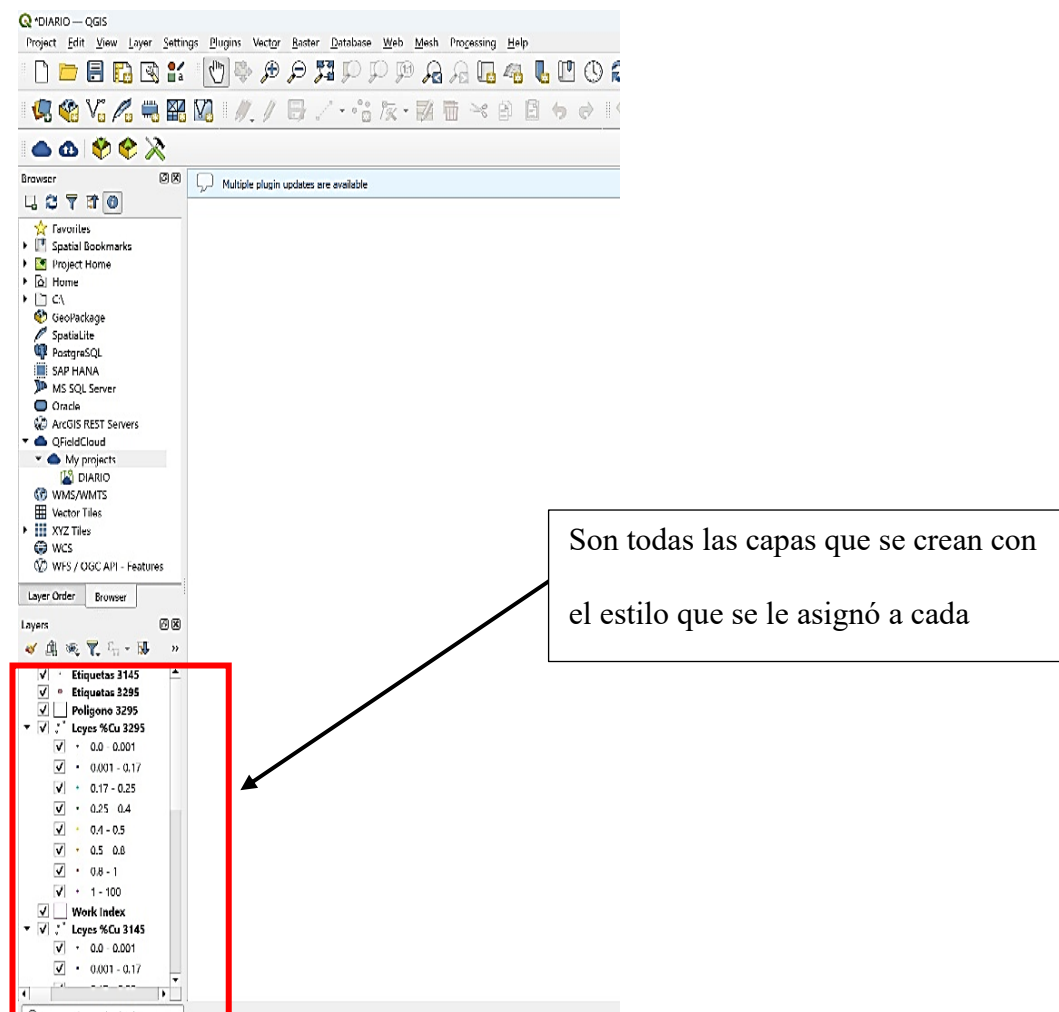


Nota. Elaboración propia.

Después que tengamos todos los datos dentro del QGIS procedemos a agrupar la información para que tenga un mejor orden y visualización al momento de subirlo al QFIELD. (Esto se da porque el estilo que le asignamos a algunas capas tiene mucha información).

Figura 34

Capas

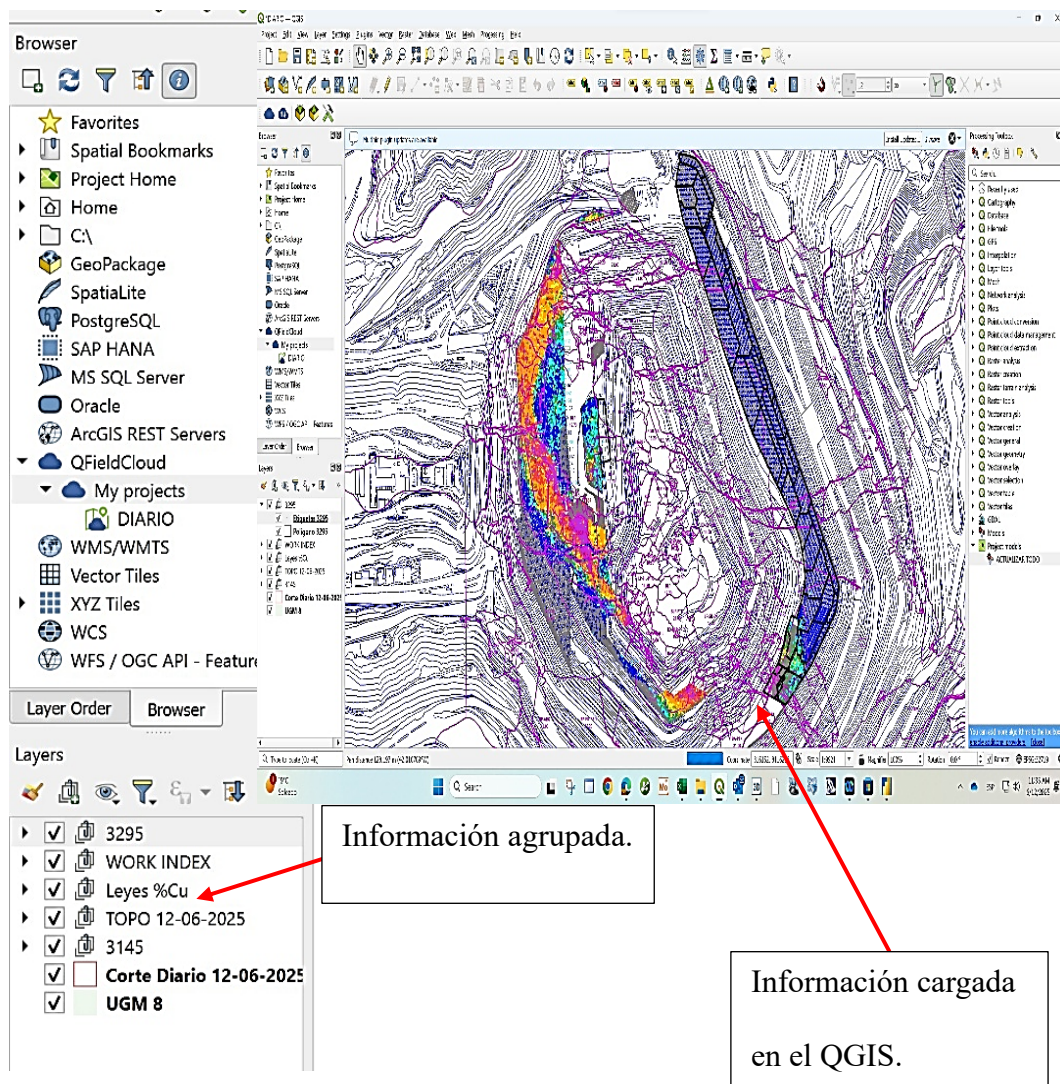


Nota. Elaboración propia.

Cuando ya tengamos toda la información agrupada, le damos un zoom al alguna de las capas para que nosotros podamos ver la información.

Figura 35

Información agrupada

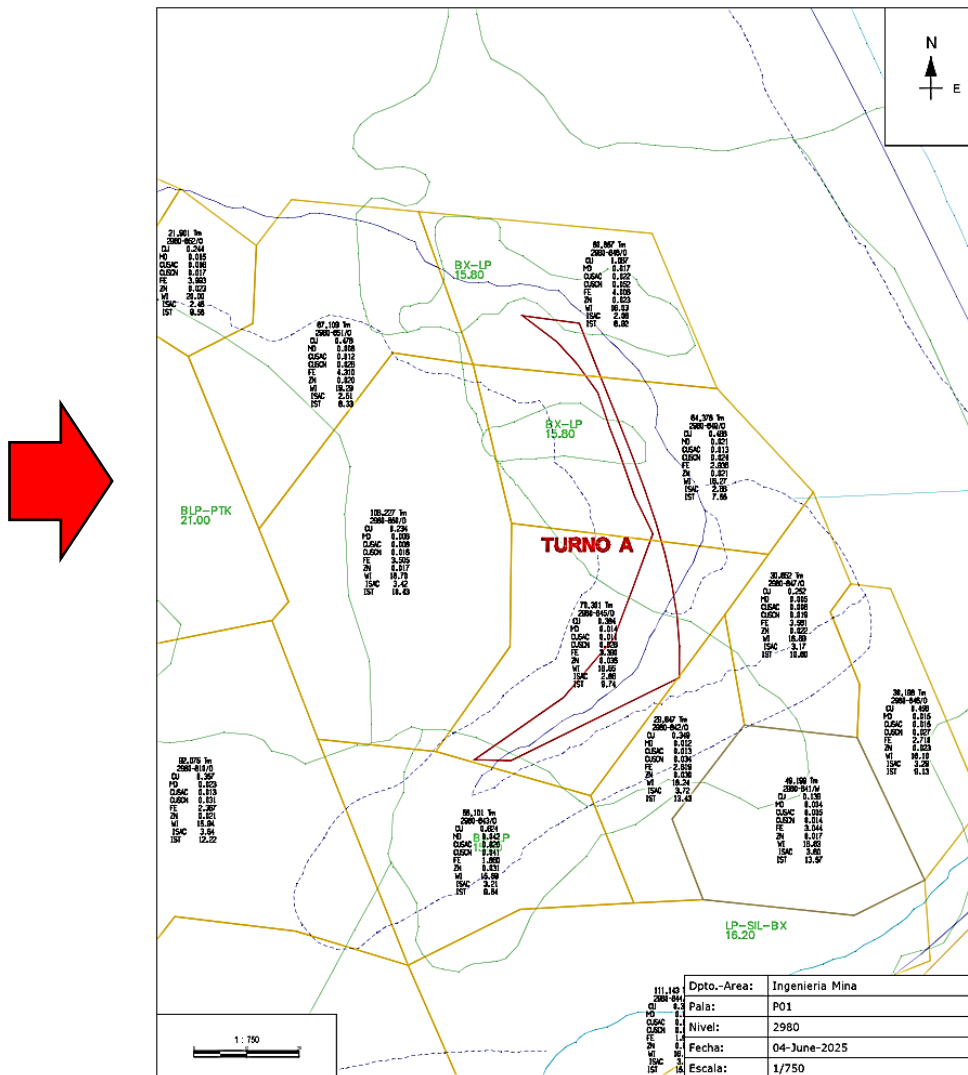


Nota. Elaboración propia.

En esta parte también se tiene que comparar lo que se visualiza en el QGIS con los planos del plan diario de las distintas zonas de mineral (Método tradicional).

Figura 36

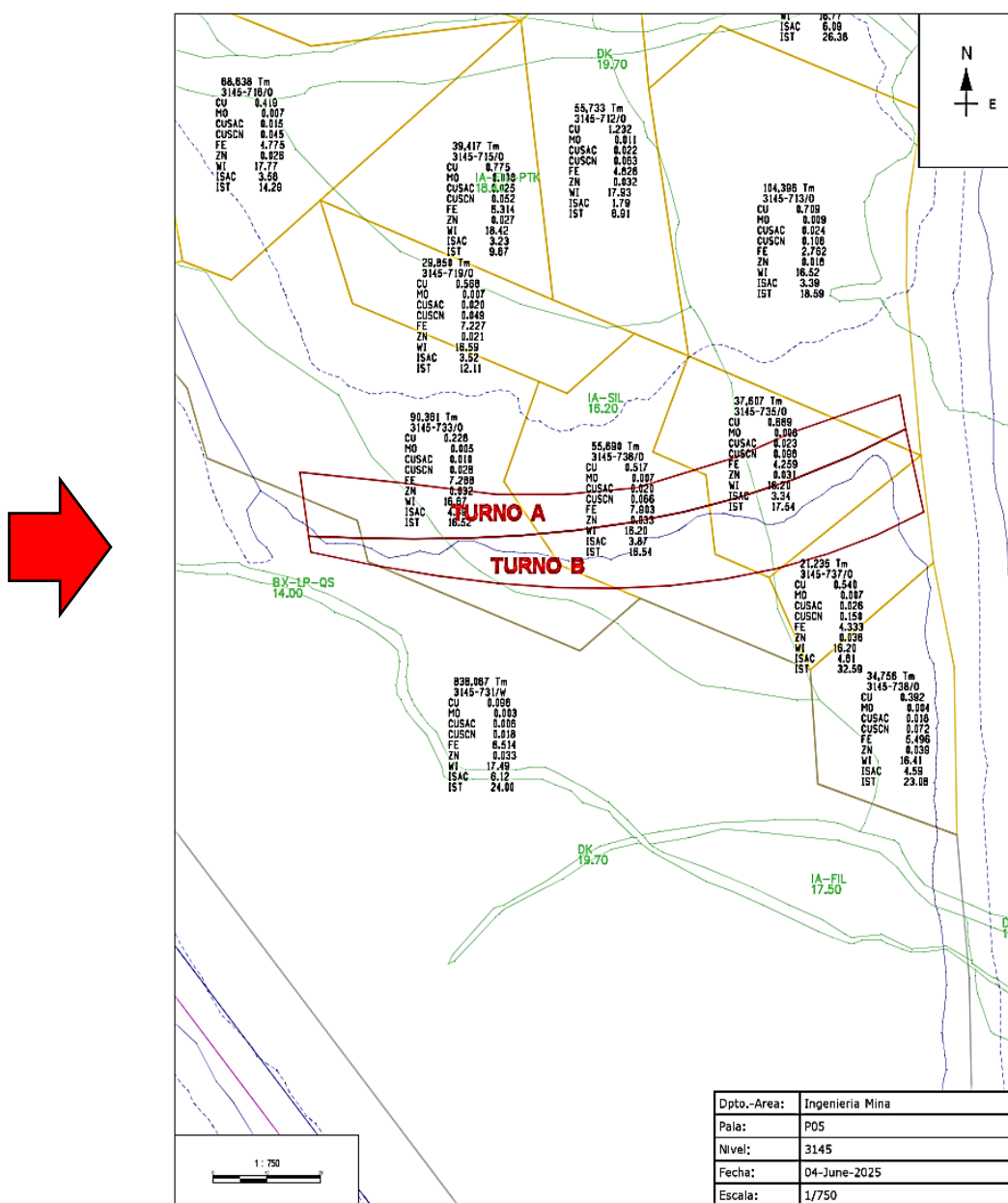
Nv. 2980:



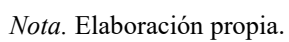
Nota. Elaboración propia.

Figura 37

Nv. 3145:



Nota. Elaboración propia.

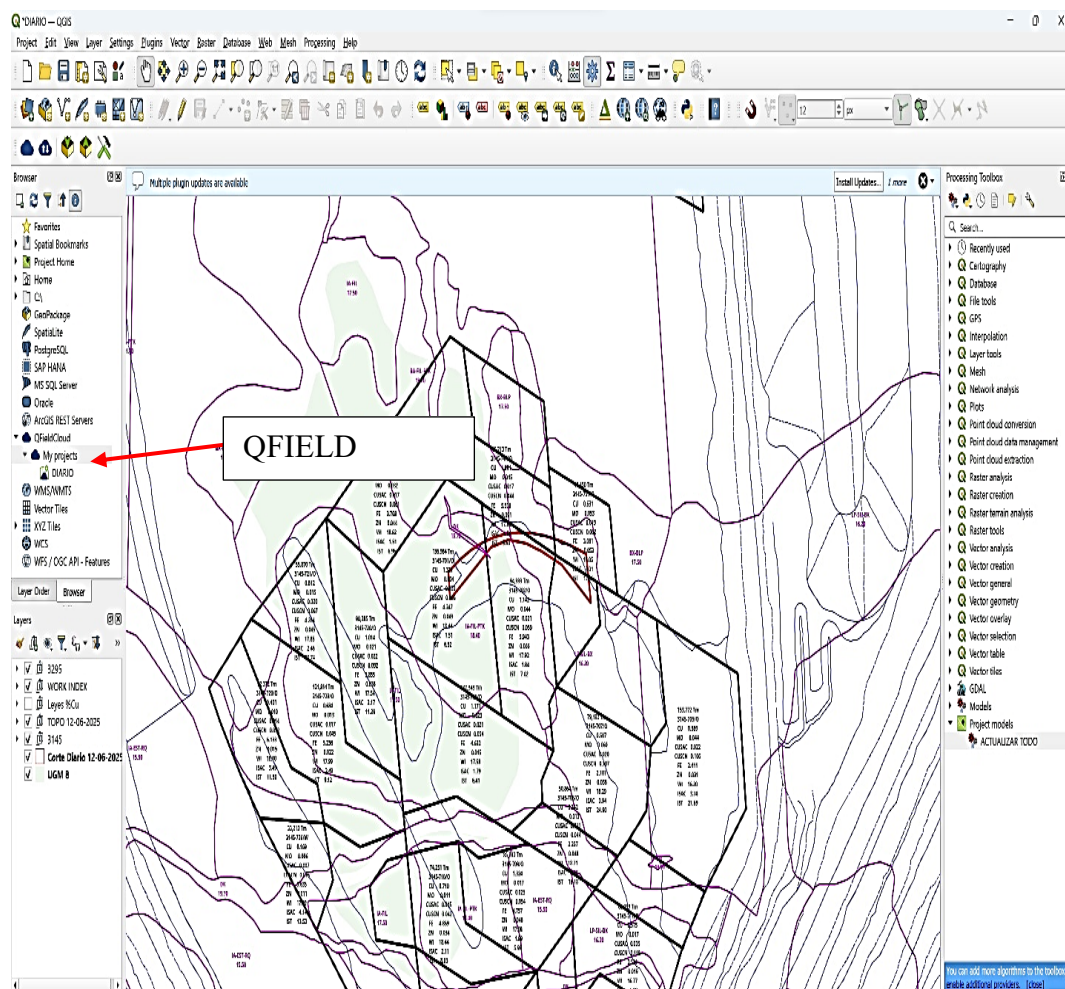
Nv. 3160:

4.4.4 Exportación al dispositivo móvil con Qfield Cloud

Luego de haber comparado los datos del QGIS con los planos del plan diario de producción, procedemos a guardar el proyecto y a sincronizarlo con el QFIELD CLOUD.

Figura 39

Guardado del proyecto en QFIELD CLOUD

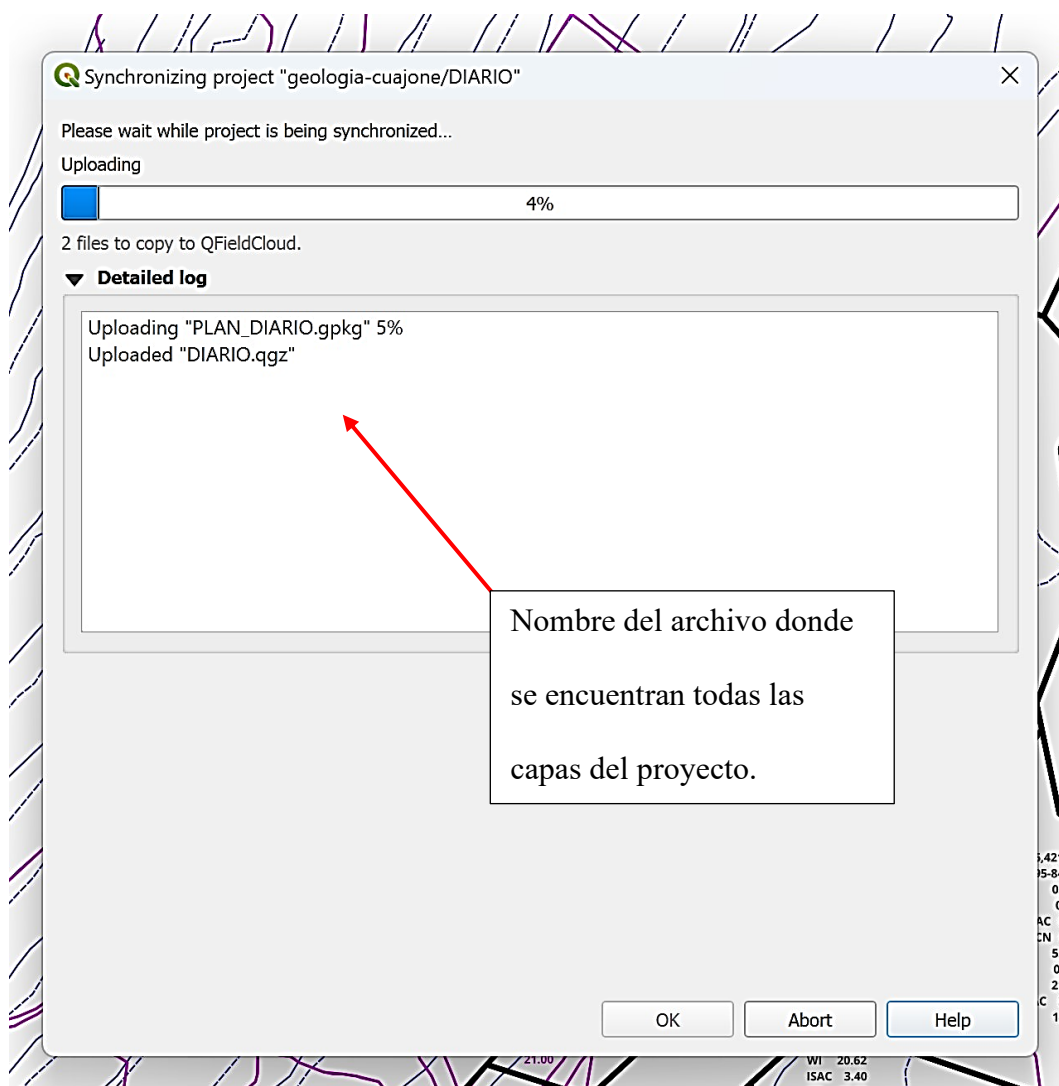


Nota. Elaboración propia

Previamente ya se creó un proyecto de QFIELD en la página de internet de esta plataforma. Donde diariamente se suben los datos y se reemplazan por los del día anterior.

Figura 40

Reemplazando datos

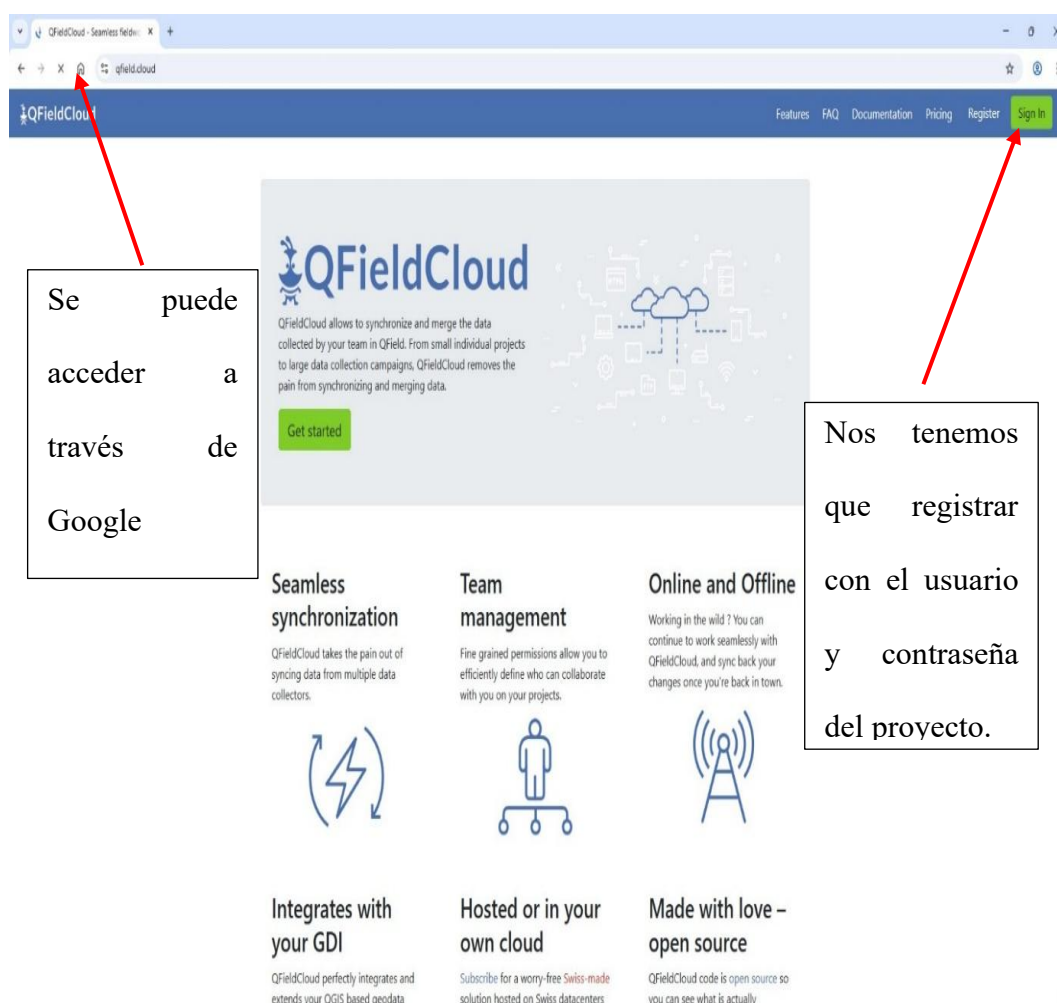


Nota. Elaboración propia.

Una vez que se hayan subido los datos del día 04-06-2025 se procede a revisar en el QFIEL CLOUD si el peso de los archivos ha aumentado. En este caso se procede a borrar los del día anterior para que no genere mucho espacio, ya que el QFIEL CLOUD solo nos da 100mb de espacio disponible en su plataforma.

Figura 41

Revisando QFIEL CLOUD



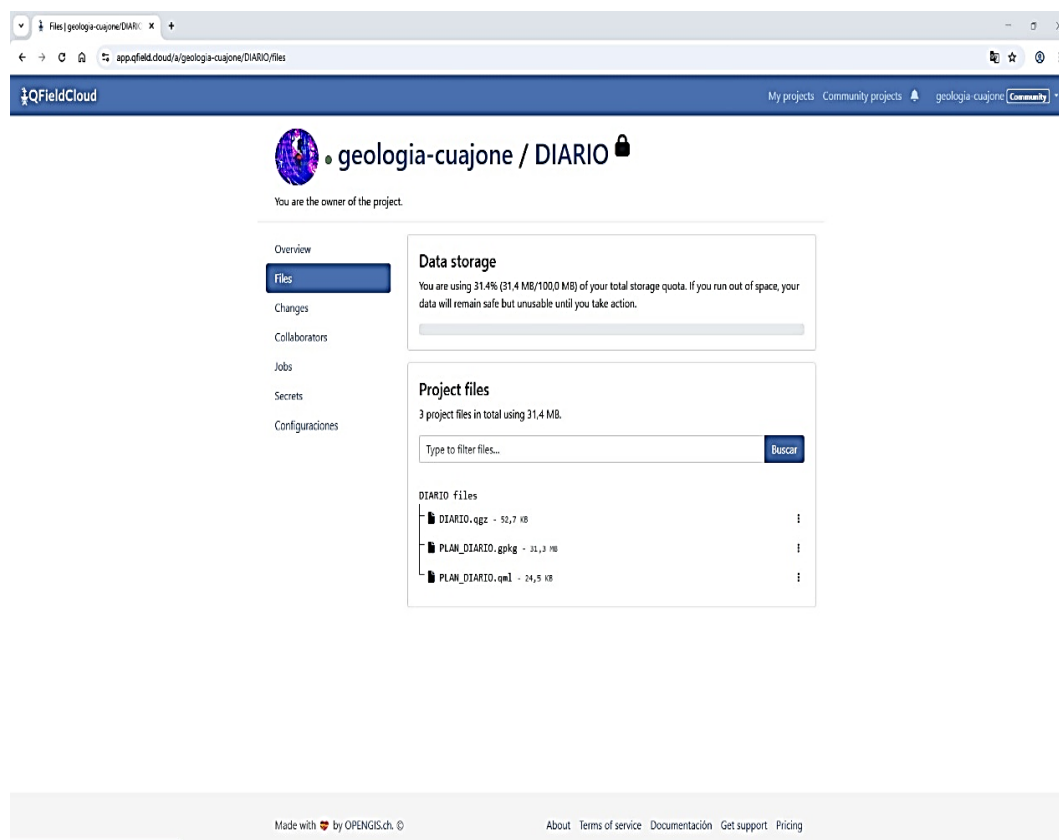
Nota. Elaboración propia.

4.4.5 Levantamiento de datos en campo con QFIELD.

Luego de subir los datos al QFIELD CLOUD, ya se puede actualizar los datos en los dispositivos móviles. Para esto solo se debe de descargar la aplicación del “play store” y luego poner el usuario y la contraseña del proyecto que hemos creado para que así se pueda sincronizar a los archivos que subimos al QGIS.

Figura 42

Sincronizando archivos.



Nota. Elaboración propia.

Con esta información ya se puede ir al campo y visualizar toda la mina y los cortes de minado que nos interesan. Además, el QFIELD funciona con el GPS lo que permite ver en tiempo real en qué lugar te encuentras dentro de los datos del QFIELD. Así se pueden recorrer los frentes de minado y saber en qué polígono se encuentra la pala 01, 03 y 05.

Figura 43

Eliminando el archivo anterior.

geologia-cuajone / DIARIO

You are the owner of the project.

Overview
Files
Changes
Collaborators
Jobs
Secrets
Configuraciones

Data storage
You are using 65.5% (65,5 MB/100,0 MB) of your total storage quota. If you run out of space, your data will remain safe but unusable until you take action.

Project files
3 project files in total using 65,5 MB.

Type to filter files... Buscar

DIARIO files

- DIARIO.qgz - 70,1 KB
- PLAN_DIARIO.gpk
- PLAN_DIARIO.qml
 - File versions
 - v20250612163755 (70,1 KB, 1 minutos ago)
 - v20250611175517 (52,7 KB, 22 horas, 44 minutos ago)

Eliminamos el archivo que subimos el día anterior para que no sea muy pesada la descarga en el

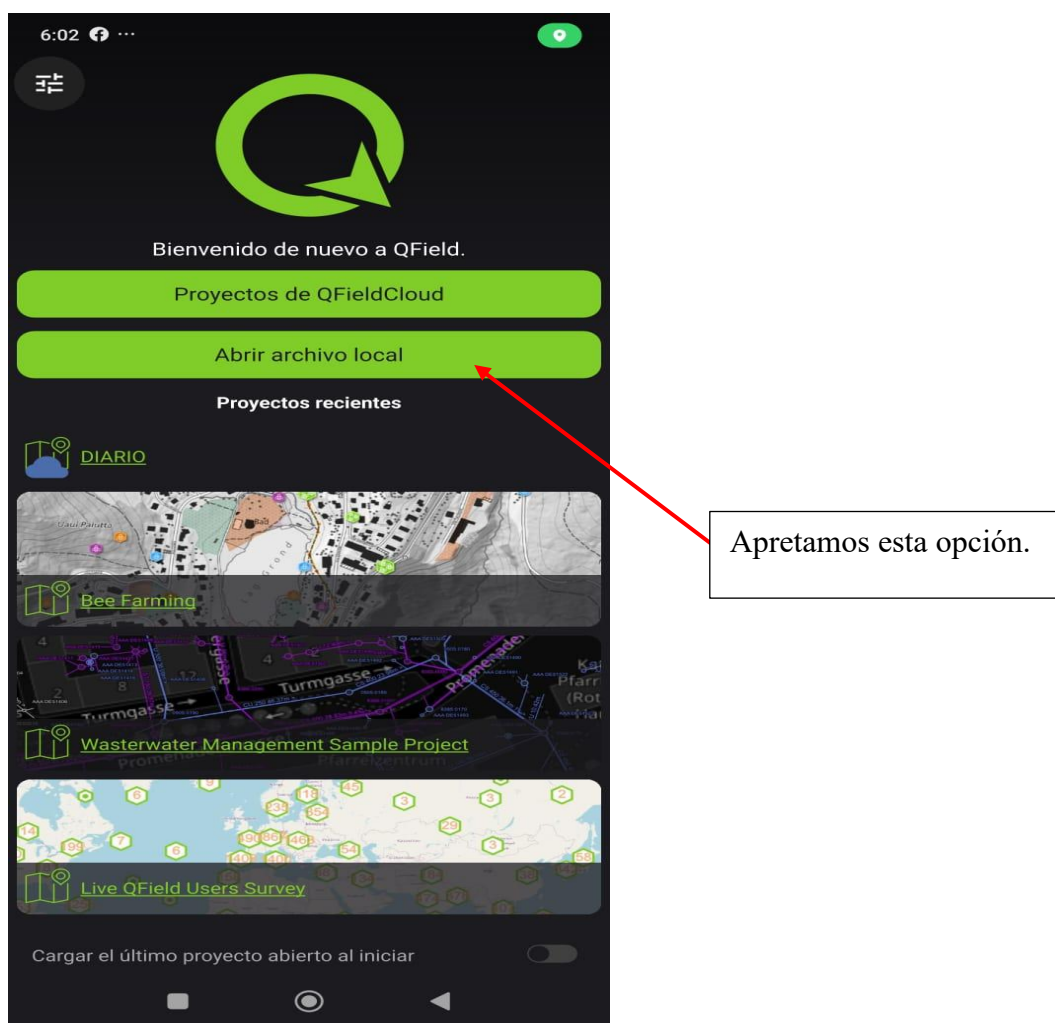
Nota. Elaboración propia.

4.4.6 Acceso del QFIELD en un dispositivo móvil.

Primero abrimos la aplicación en el celular QFIELD y nos aparecerá esta ventana.

Figura 44

Abriendo QFIELD en el celular



Nota. Elaboración propia.

Figura 45

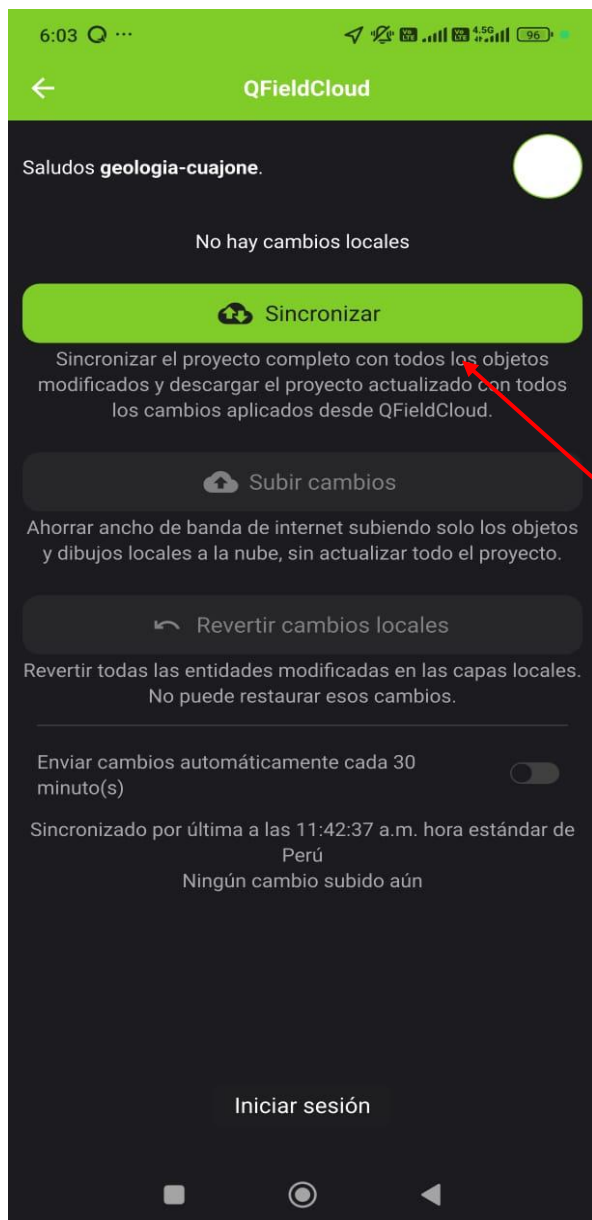
Colocado de usuario y contraseña



Nota. Elaboración propia.

Figura 46

Sincronización

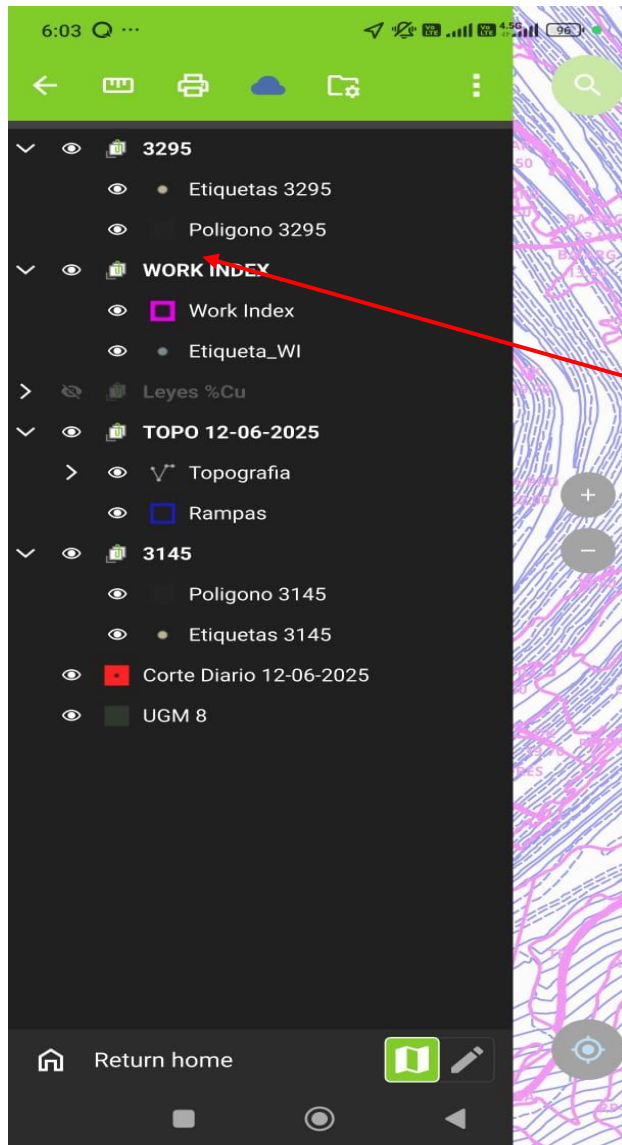


Luego le damos a
“Sincronizar” para que se
cargue el proyecto que
subimos al QFIELD
CLOUD.

Nota. Elaboración propia.

Figura 47

Agrupación de capas

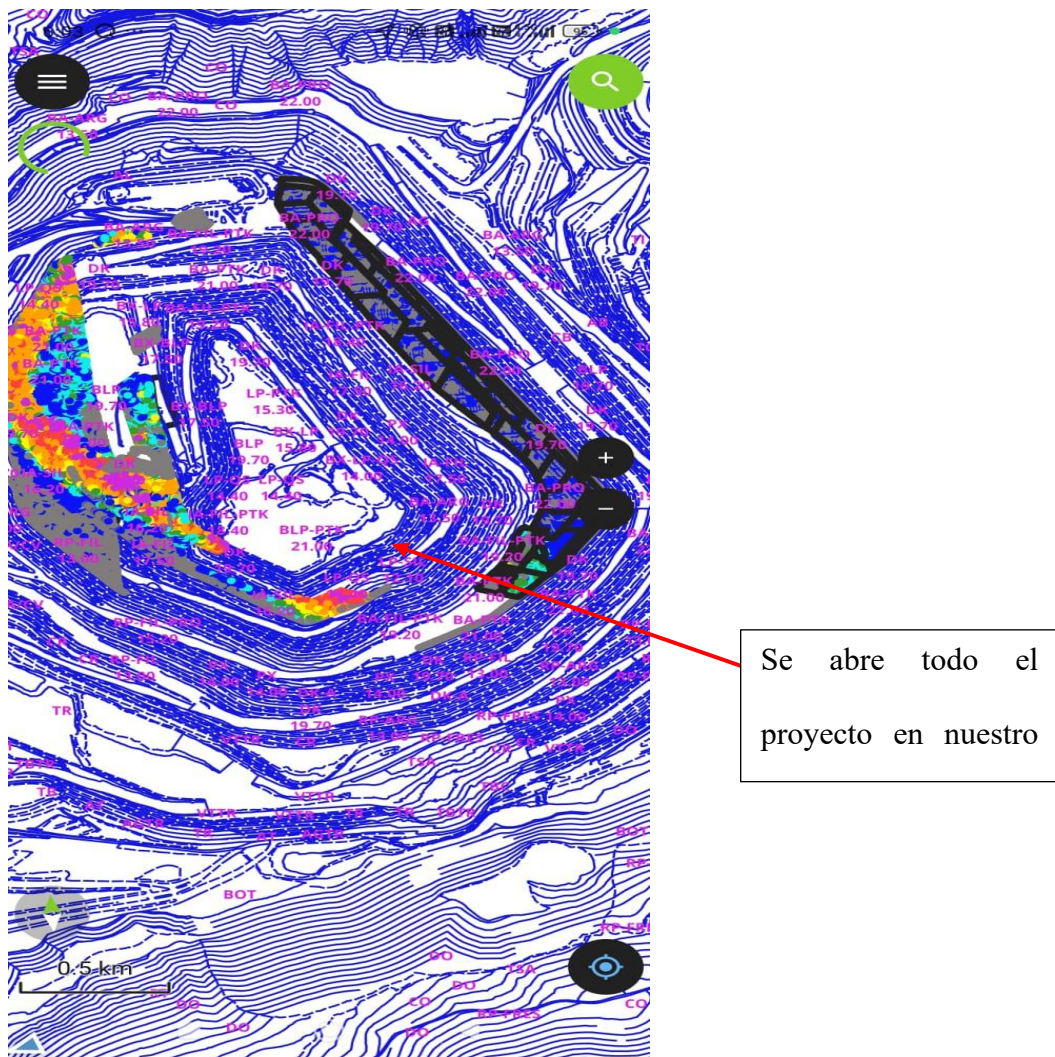


Se abren las capas que agrupamos en el QGIS.

Nota. Elaboración propia.

Figura 48

Proyecto en el celular



Nota. Elaboración propia.

En la Figura N° 48 se observa el proyecto finalizado en la aplicación QField en el celular, esto evidencia los datos geospaciales correctamente cargados y sincronizado con QGIS listo para el trabajo.

4.5 Resultados obtenidos después de aplicar Qfield

Tabla 4

Resultados Obtenidos después de aplicar Qfield

Ítems	Unidad	Datos obtenidos
Precisión georreferenciada	m	$\pm 0,10$
Sincronización con QGIS	min	15
Formatos digitales generados	%	95
Tiempo de levantamiento	min	300
Formularios completados correctamente	%	95
Precisión en ubicación de equipos	m	1

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla N° 4 se muestran los resultados obtenidos después de aplicar la tecnología QField, en la precisión georreferenciada de $\pm 0,10$ metros muestra mejora en la exactitud en la ubicación geoespacial, en lo referente a Sincronización con QGIS de 15 minutos significa una reducción significativa del tiempo de integración, también en formatos digitales se observa 95% de efectividad con un alto nivel de digitalización y registro, en referencia a tiempo de levantamiento en 300 minutos lo que indica disminución e tiempo operativo de campo, en formularios completados correctamente un 95% se ve una mejora en registros más completo y precisión finalmente en precisión en ubicación de equipos de 1 metro representa una mejora en control de equipos.

4.6 Análisis comparativo general antes y después de aplicar QField

Tabla 5

Cuadro comparativo general antes y después de aplicar la tecnología QField

indicador	Antes	Después	Variación (%)
Precisión georreferenciada (m)	±1,00	±0,10	90%
Sincronización con QGIS (min)	0	15	Integración exitosa.
Formatos digitales generados (%)	65	95	30%
Tiempo de levantamiento (min)	420	300	−28,6%
Formularios completados correctamente (%)	70	95	25%
Precisión en ubicación de equipos (m)	4	1	75%

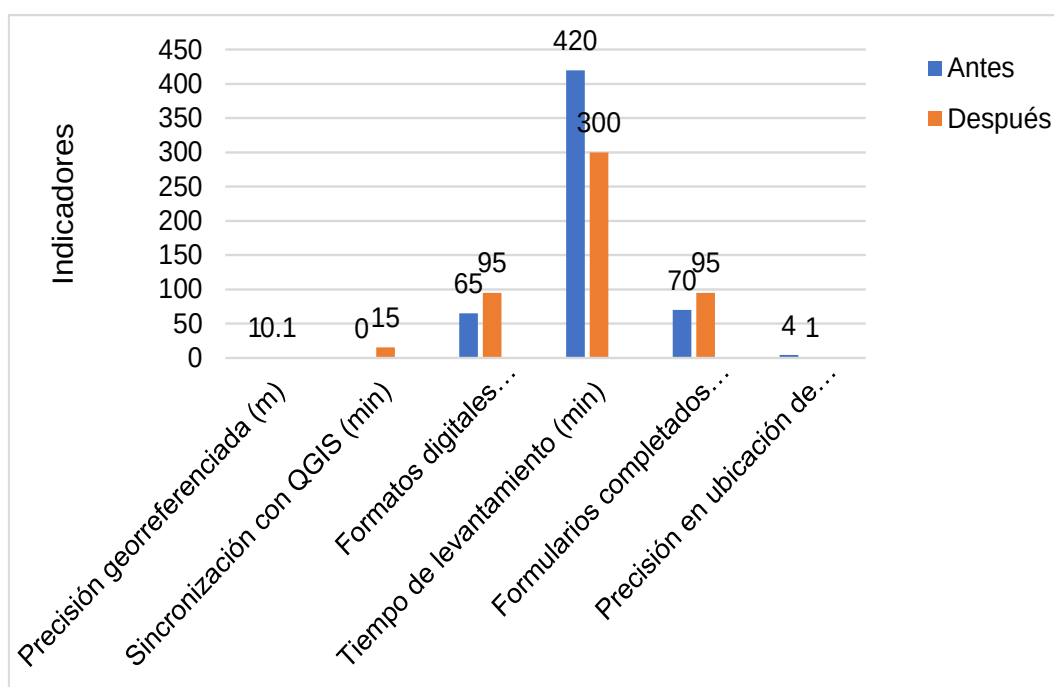
Nota. Elaboración propia.

En la Tabla N.º 5 se muestran los datos obtenidos del método convencional y los resultados después de aplicar la tecnología Qfield, esto permite evaluar la precisión georreferenciada con un resultado de variación de 90% evidenciando una gran precisión al aplicar la tecnología, con referente a la sincronización de QGIS la integración fue exitosa, en formatos digitales se obtuvo un incremento del 30% , evidenciando impacto significativo, en tiempos de levantamiento se redujo el

tiempo un 28,6% evidenciando mejora en este aspecto, en referente a formularios realizados correctamente se observa una mejora del 25% y precisión en ubicación de equipos un 75% evidenciando un impacto significativo después de haber aplicado la tecnología.

Figura 49

Comparación antes y después de aplicar Qfield



Nota. Elaboración propia.

En el Figura N.º 49 se visualiza los indicadores obtenidos antes y después de realizar la aplicación de Qfield, se observa que los indicadores mejoran significativamente en precisión georreferenciada de $\pm 1,00$ m pasando a $\pm 0,10$ m

con un impacto notable en este aspecto, con una integración de QGIS exitosa de 15 minutos, con un levantamiento que disminuye de 420 a 300 minutos, mostrando una reducción de 80 minutos, con formularios realizados correctamente que pasan de 70 a 95 % con una mejora significativa y finalmente con una precisión de equipo que fue de 4 a 1 metro, con 3 metros de diferencia indicando el impacto de la tecnología aplicada.

4.7 Contrastación de hipótesis

1. Hipótesis general

La aplicación de QField mejora significativamente en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

Análisis:

Los resultados que se presentan en la Tabla N°5 evidencian mejoras en los indicadores que se evaluaron, en la precisión georreferenciada aumentó en un 90%, la sincronización con QGIS fue efectiva, en formatos la mejora fue de 30%, en el tiempo operativo se redujo en – 28,6%, y la digitalización alcanzó un 95%, evidenciando mejoras significativas en el control de operación en los frentes de minado.

Decisión:

Por tanto, se acepta la hipótesis general confirmando que la aplicación de QField mejora significativamente el control de operación en los frentes de minado.

2. Hipótesis Especifica**Hipótesis específica 1**

El proceso actual sin Qfield incide significativamente en el control de la operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

Análisis:

Los datos iniciales se observa una precisión limitada ± 1 m, registros incompletos 70%, un 65% de formatos se digitalizaban, con una alta dispersión en la ubicación de equipos de 4 m, y formularios correctamente realizados de un 70%, esto evidencia que el proceso sin QField presenta deficiencias en el control de frentes, debido a métodos tradicionales, carencia de sincronización digital y baja eficiencia en la recolección de datos.

Decisión:

Por tanto, se acepta la hipótesis 1 debido a que el proceso actual incide significativamente de manera negativa en el control operativo.

Hipótesis específica 2

La aplicación de Qfield incide significativamente en el control de la operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

Análisis:

Después de implementar la tecnología QField se obtuvieron mejoras notables en precisión ($\pm 0,10$ m), con un 95% de formatos digitales, con buena integración de con QGIS y 95% de formularios completos, y una reducción de 120 minutos en el levantamiento demostrando que la tecnología tiene incidencia positiva y significativa en la gestión de frentes, optimizando la captura, control y transmisión de información en tiempo real.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 2 evidenciando y validando el impacto tecnológico de QField.

Hipótesis específica 3

La aplicación de Qfield mejora el control de operación en los frentes de minado en comparación sin haber aplicado Qfield en una mina superficial del sur del Perú – 2025.

Análisis

El contraste entre ambas etapas muestra que la precisión espacial mejoró del $\pm 1,0$ m al $\pm 0,10$ m, la digitalización aumentó de 65% a 95%, y el tiempo operativo se redujo de 420 a 300 minutos, estas diferencias cuantificables confirman que la aplicación de QField supera significativamente el desempeño del método tradicional, validando una mejora sustancial en el control de los frentes.

Decisión:

Se acepta la hipótesis específica 3, evidenciando que QField constituye una herramienta eficaz para optimizar los procesos de levantamiento y control minero, integrando la información de campo con precisión, rapidez y confiabilidad.

Capítulo V

Discusión

5.1. Pruebas de validación

La validación se realizó mediante el análisis comparativo de los indicadores que se establecieron en la matriz de la operacionalización de variables, contrastando los resultados obtenidos antes y después de haber implementado el software QField en el control de operación de minado.

En la etapa inicial sin aplicar QField, se observó una limitada precisión en la georreferenciación de los frentes, así como demoras en la actualización de datos topográficos y geológicos. Después con la implementación del software QField se evidencio una mejora significativa en la calidad y oportunidad de la información, optimizando en la toma de decisiones de campo.

La validación se realizó con la comparación de indicadores clave como tiempos de levantamiento, exactitud en coordenadas, errores de control de avance y el análisis de mejora porcentual como son determinando los incrementos en eficiencia operativa y en la exactitud del control minero.

Los resultados evidenciaron una mejora en eficiencia de planificación y una reducción en errores de control tras la aplicación de QField, lo cual valida la hipótesis general del estudio.

5.2. Aplicación de la tecnología encontrada

La tecnología que se utilizó en el estudio fue el software Qfield que se vincula con el QGIS; esta aplicación permite mejorar la toma de decisiones en frentes de minado a tiempo real por medio de la georreferenciación y digitalización de la información de campo estableciéndose en varias etapas de preparación como son la base de datos geográfica, levantamiento de datos en campo, sincronización y análisis de datos y comparación de antes y después.

5.3. Contraste con trabajos de investigación similares

A continuación, se presenta el contraste con otros estudios similares a la investigación realizada.

En los resultados obtenidos al aplicar Qfield en mejora del control de operación de minado en una mina superficial del sur del Perú en el año 2025 generó una mejora importante en el control de operación de minado al realizar el cambio registros con papel a un registro de sistema digital lo que permitió reducir errores, tiempo y procesamiento de datos fortaleciendo la información de campo a tiempo real facilitando la toma de decisiones, este resultado coincide con el estudio de Kupach, Gryniuk y Demianenko (2023), menciona que el software Qfield permite visualizar la situación actual en línea y sin conexión ofrece compatibilidad con GPS, búsqueda de objetos, coordenadas y ubicaciones, rastreo de ubicación, integración con cámaras de dispositivos móviles, actualización de la base de datos

de levantamientos de campo con objetos y datos asociados, e importación y almacenamiento convenientes de datos de campo modificados en QFieldCloud mejorando significativamente la calidad y la fiabilidad, y simplifica el procesamiento posterior. Así mismo, con el estudio de Maldonado y Quispe (2024), que indica que la información que realiza Qfield garantiza una información confiable. También coincide con el estudio Carrera (2021), que menciona que la organización al tener acceso a datos y mapas inteligentes para planificar proyectos, a las operaciones mineras, a la gestión del transporte y el análisis de riesgos.

Conclusiones

Se concluye que la aplicación de QField mejoró significativamente el control de operación en los frentes de minado, evidenciándose una mejora del 90% en la precisión georreferenciada, una digitalización del 95%, una sincronización efectiva con QGIS, una reducción del tiempo operativo del 28,6% y una mejora del 30% en la estandarización de formatos, lo que permitió un control más eficiente, confiable y oportuno de las actividades operativas en una mina superficial del sur del Perú.

Se concluye que el proceso tradicional sin el uso de QField presenta deficiencias en el control operativo de los frentes de minado, reflejadas en una precisión limitada de $\pm 1,0$ m, solo 65% de digitalización de formatos, 70% de registros completos, una dispersión de hasta 4 m en la ubicación de equipos y mayor tiempo operativo, lo cual limita la eficiencia y confiabilidad del control de la operación.

Se concluye que la aplicación de QField incide positivamente en el control de operación, logrando una mejora de la precisión hasta $\pm 0,10$ m, un 95% de formatos digitales completos, una integración eficiente con QGIS y una reducción de 120 minutos en el levantamiento de información, optimizando la captura, validación y transmisión de datos en campo.

Se concluye que, al comparar ambas etapas, el control de operación mejora sustancialmente con la aplicación de QField, evidenciándose un incremento de la digitalización del 65% al 95%, una mejora de la precisión espacial de $\pm 1,0$ m a $\pm 0,10$ m y una reducción del tiempo operativo de 420 a 300 minutos, confirmando la superioridad del método digital frente al proceso tradicional.

Recomendaciones

Se recomienda implementar de manera permanente la aplicación QField en los frentes de minado, integrándola al sistema de gestión operativa de la mina, con el fin de mantener altos niveles de precisión, digitalización y eficiencia en el control de las operaciones.

Se recomienda reemplazar progresivamente los métodos tradicionales de levantamiento y registro manual, debido a sus limitaciones en precisión, tiempo y confiabilidad, priorizando herramientas digitales que reduzcan errores y reprocesos operativos.

Se recomienda capacitar continuamente al personal operativo y técnico en el uso de QField y QGIS, asegurando el correcto llenado de formularios, la sincronización de datos y el aprovechamiento total de las funcionalidades del sistema.

Se recomienda realizar evaluaciones periódicas comparativas de desempeño, utilizando indicadores como precisión, tiempo operativo y nivel de digitalización, con el fin de monitorear la mejora continua del control de frentes y optimizar la toma de decisiones operativas.

Referencias Bibliográficas

Altiti, A., & Al Rawashdeh, R. (2020). *Open pit mining*. IntechOpen.

<https://www.minedocs.com/23/IntechOpen-Mining-03202020.pdf>

Aburto, M. (2019). *Eficiencia del equipo Alimak STH-5E en los costos de construcción de chimeneas en la Empresa Minera Sierra Antapite S.A.C.*

[Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia, UNICA].

Repositorio Institucional UNICA.

[https://repositorio.unica.edu.pe/items/c8a42e65-0d94-4b76-9227-](https://repositorio.unica.edu.pe/items/c8a42e65-0d94-4b76-9227-0576634e3256)

[0576634e3256](https://repositorio.unica.edu.pe/items/c8a42e65-0d94-4b76-9227-0576634e3256)

Alegsa, L. (2023). *Digitalización*. Alegsa.com.ar.

<https://www.alegsa.com.ar/Dic/digitalizacion.php>

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación* (5ta ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.

Barnewold, L., & Lottermoser, B. (2020). *Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268620300744>

Carrera, M. (2021). *Importancia del sistema de Información geográfica para la Minería*. (Taller) UNDAC.

<https://es.scribd.com/document/547627838/Importancia-del-sistema-de-informacion-geografica-para-la-mineria>

Equipo editorial, Etecé. (2025). *Información*. Enciclopedia Concepto. Recuperado el 25 de junio de 2025 de <https://concepto.de/informacion/>

Goodchild, M. F. (2020). *How well do we really know the world? Uncertainty in GIScience*. *Journal of Spatial Information Science*, (20), 97–102. <https://digitalcommons.library.umaine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1138&context=josis>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*, Edición 6° D.F., México: McGraw Hill Interamericana.

Herrera Herbert, J. (2023). *Planificación minera: Conceptos y definiciones* [Monografía]. E.T.S.I. de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://oa.upm.es/84167/>

Hexagon Mining. (s.f.). *HxGN MinePlan*. <https://hexagon.com/products/product-groups/hxgn-mineplan/>

Huang, S. (2025, 16 de abril). *Métodos de documentación de servicio de campo: Digital vs. Papel*. Matidor. <https://www.matidor.com/blog/digital-vs-paper-field-service>

Kupach, T., Gryniuk, O., & Demianenko, S. (2023). *Software for field research: QField*. *Proceedings of the 17th International Scientific Conference*

“Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520050>

Laurente, O. (2023). *Gestión de tiempos del ciclo de minado para la productividad de la Minera Poderosa S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103948>

Matášovská, V., Kratina, J., & Kabeláč, R. (2024). *QField – mobile application for data collection established on the principles of open-source software. Water Management Technical and Economical Information Journal (VTEI)*, 66(2), 22–28. <https://www.vtei.cz/en/2024/04/qfield-mobile-application-for-data-collection-established-on-the-principles-of-open-source-software/>

Mnzool, M., Almujiabah, H., Bakri, M., & Gaafar, A. (2024). *Optimization of Cycle Time for Loading and Hauling Trucks in Open-Pit Mining. Mining of Mineral Deposits*, 18(1), 18-26. http://mining.in.ua/2024vol18_1_3.html

Matášovská, V., Kratina, J., & Kabeláč, R. (2024). *QField – mobile application for data collection established on the principles of open-source software. VTEI Journal*, 2(2024), 1–7 <https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2024/04/6638-VTEI-2-2024-EN-QFIELD.pdf>

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2016, 28 de julio). *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (Decreto Supremo N.º 024-2016-EM)*. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em>

Montagnetti, R., & Guarino, G. (2021). *From Qgis to Qfield and vice versa: How the new Android application is facilitating the work of the archaeologist in the field*. *Environmental Sciences Proceedings*, 10(1), 6. <https://www.mdpi.com/2673-4931/10/1/6>

Ohly, H. (2011). *Information: a question of quality?* *Scire*, 17(1), 17–21. <https://www.ibersid.eu/ojs/index.php/scire/article/view/4002/3640>

Otto, T., & Lindeque, G. (2021). *Improving Productivity at an Open-Pit Mine through Enhanced Short-Term Mine Planning*. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 121(11), 867-876. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1710/2021>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). (s. f.). *Panorama de la minería en el Perú* [PDF]. Recuperado el 25 de junio de 2025, de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf

QField (s.f.). Efficient field work built for QGIS. QField. Recuperado el 25 de junio de 2025, de <https://qfield.org/>

QField. (2019). *QField: Efficient field mapping.* <https://qfield.org/docs/synchronise/index.html>

QGIS.org. (s. f.). *Screenshots.* Recuperado el 27 de junio de 2025, de <https://qgis.org/project/overview/screenshots/>

Quispe et al. (2015). Palas mecánicas y Palas Hidraulicas. [Tesis de pregrado, Facultad de Ingenieria de Minas, UNAMBA]. <https://es.scribd.com/document/452526109/262911526-Palas-Mecanicas-e-Hidraulicas-1-pdf>

Quispe M., & Maldonado J. (2024). *Implementación del aplicativo QGIS–QFIELD para la toma de inventario eléctrico (redes de MT y BT) de alimentadores críticos pertenecientes a la empresa Electrocentro S.A.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22221>

Snyman, J. (2010). *Blasthole Drilling in Open Pit Mining.* Atlas Copco Secoroc. SBG Systems. (s.f.). *Georreferenciación.* <https://www.sbg-systems.com/es/glossary/georeferencing/>

Seguridad Minera. (2013, 10 de octubre). Minado a cielo abierto: método de extracción mecánica. Revista Seguridad Minera.
<https://revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/minado-a-cielo-abierto-metodo-de-extraccion-mecanica/>

Southern Copper Corporation. (s. f.). *Historia*. Recuperado el 25 de junio de 2025, de <https://southerncoppercorp.com/historia/>

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación Científica* (4ta Edición ed.). México D.F., México: Editorial Limusa.

UR Topografía. (2024, 14 de noviembre). *Topografía en minería: funciones y aplicaciones clave en la extracción de recursos*. UR Topografía.
<https://urtopografia.com.pe/topografia-en-mineria-funciones-y-aplicaciones-clave-en-la-extraccion-de-recursos/>

Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. (2022). *Georreferenciación* (Edición 2022). Grupo de Geodesia Satelital de Rosario.
<https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/publicaciones/Georreferenciacion2022.pdf>

Wikipedia contributors. (n.d.). *Face (mining)*. Wikipedia. Retrieved July 1, 2025, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Face_\(mining\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Face_(mining))

Wang, M., et al. (2021). *Study on Blasting Technology for Open-Pit Layering of Complex Ore*. *Frontiers in Earth Science*, 9, 773872.
<https://doi.org/10.3389/feart.2021.773872>

Yunmin, W. (2024). *Working Face of Open Pit*. En X. Kuangdi (Ed.), *The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy* .
https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-981-99-2086-0_745

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

“Aplicación de Qfield en mejora del control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General ¿En qué medida la aplicación de Qfield mejora el control de la operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025? Problemas Específicos P.E.1: ¿Cuál es el proceso actual en el control de operación en los frentes de minado sin Qfield en una mina superficial del sur del Perú - 2025? P.E.2: ¿Puede aplicarse Qfield en el control de la operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025? P.E.3: ¿Como determinar la aplicación en Qfield en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025?	Objetivo General. Aplicar Qfield en mejora del control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025. Objetivos específicos. O.E.1: Determinar el proceso actual en el control de la operación en los frentes de minado sin Qfield en una mina superficial del sur del Perú - 2025. O.E.2: Aplicar Qfield en el control de la operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025. O.E.3: Determinar la aplicación de Qfield en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025.	Hipótesis General. La aplicación de Qfield mejora significativamente el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025. Hipótesis Específica H.E.1: El proceso actual sin Qfield incide significativamente en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025. H.E.2: La aplicación de Qfield incide significativamente en el control de operación en los frentes de minado en una mina superficial del sur del Perú - 2025. H.E.3: La aplicación de Qfield mejora el control de operación en los frentes de minado en comparación sin haber aplicado Qfield en una mina superficial del sur del Perú - 2025.	Variable Independiente Aplicación de Qfield	Metros Minutos %	Tipo: Aplicada (Tamayo y Tamayo, 2003) Nivel: Explicativo (Tamayo y Tamayo, 2003) Diseño: No Experimental (Arias, 2006) Población: Conformada por los frentes de la fase 6 y 7 en el tajo de en una mina superficial del sur del Perú - 2025. Muestra: 03 frentes de minados en los niveles 2980, 3145 y 3160 en operación. Técnicas: Técnica de análisis documental y técnica de fichaje Instrumentos: Reportes e informes Técnica procesamiento y análisis de datos: La depuración, la clasificación, la tabulación e interpretación necesaria a través de tablas de frecuencias, tablas y gráficos estadísticos.
			Variable dependiente Mejora del control de operación de minado	Minutos %	

Anexo 2: Mineral Enviado a concentradora:

El propósito del QField es que este reporte el cual nos da el área de dispatch (este reporte es lo que realmente sucede en la mina con los tonelajes y las leyes porque registra los datos de los volquetes y palas) sea lo más parecido al plan diario de producción que da el área de ingeniería un día antes. Con el QField se puede hacer un control de lo que se está minando para evitar errores en las metas de producción semanales y mensuales.

		Mineral Enviado a Concentradora						
Fecha Inicial: 2025-06-04		Turno: A,B		Origen: Todos				
Fecha Final: 2025-06-04		Material: Mineral		Destino: Concentradora				
Equipo	Origen	Poligono	Destino	% Cu	% Mo	% Fe	% RHI	Tonelaje
IT03	ST-CH	ST-CH/O	CHANCADORA 1	0.358	0.012	5.430	20.420	20,969.98
	Sub-Total			0.358	0.012	5.430	20.420	20,969.98
P01	2980-845	2980-845/O	CHANCADORA 1	0.384	0.014	3.390	18.650	1,019.00
	2980-848	2980-848/O	CHANCADORA 1	1.067	0.017	4.008	16.030	1,596.00
	2980-849	2980-849/O	CHANCADORA 1	0.488	0.021	2.936	16.270	4,291.00
	Sub-Total			0.606	0.019	3.251	16.566	6,906.00
P03	3160-980	3160-980/O	CHANCADORA 1	0.599	0.027	4.608	20.570	4,777.00
	3160-981	3160-981/O	CHANCADORA 1	0.432	0.017	4.420	20.420	8,496.00
	Sub-Total			0.492	0.021	4.488	20.474	13,273.00
P05	3145-735	3145-735/O	CHANCADORA 1	0.689	0.008	4.259	16.200	6,242.00
	3145-736	3145-736/O	CHANCADORA 1	0.517	0.007	7.903	16.200	24,347.99
	3145-737	3145-737/O	CHANCADORA 1	0.540	0.007	4.333	16.200	13,720.00
	Sub-Total			0.548	0.007	6.284	16.200	44,309.98
Total	Total General			0.498	0.011	5.550	17.929	85,458.96

Este es un plan tentativo para las operaciones que se tienen que hacer en la mina durante el turno A y B, ya que nos especifica el tonelaje, la ley y los polígonos que debe respetar cada pala en su frente de minado.

Ley por Poligonos

Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Total	Prom. Cu.	Prom. WI.
2980-848	1,000	1.067	16.03	2980-849	2,500	0.488	16.27	2980-845	5,500	0.384	18.65									9,000	0.489	17.70
3160-981	18,000	0.432	20.42																	18,000	0.432	20.42
3145-736	8,000	0.517	16.20	3145-735	10,000	0.688	16.20													18,000	0.613	16.20
																			45,000	0.516	18.19	

Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Polig	Ton	Cu	WI	Total	Prom. Cu.	Prom. WI.
ST-CH	15,750	0.358	20.42																	15,750	0.358	20.42
3145-736	10,000	0.517	16.20	3145-735	2,250	0.688	16.20	3145-737	17,000	0.540	16.20									29,250	0.544	16.20
																			45,000	0.479	17.68	

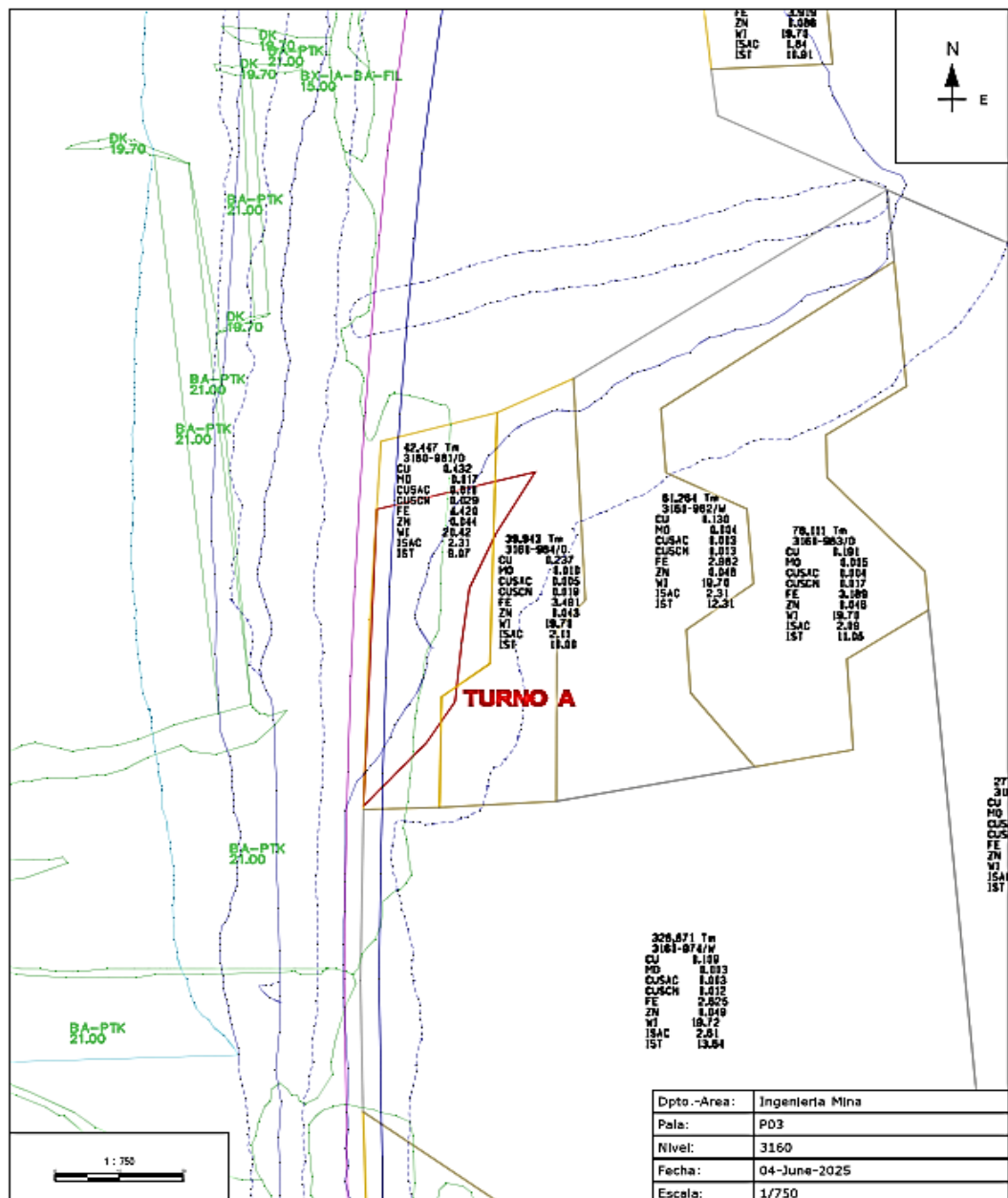
TIPO DE ROCA

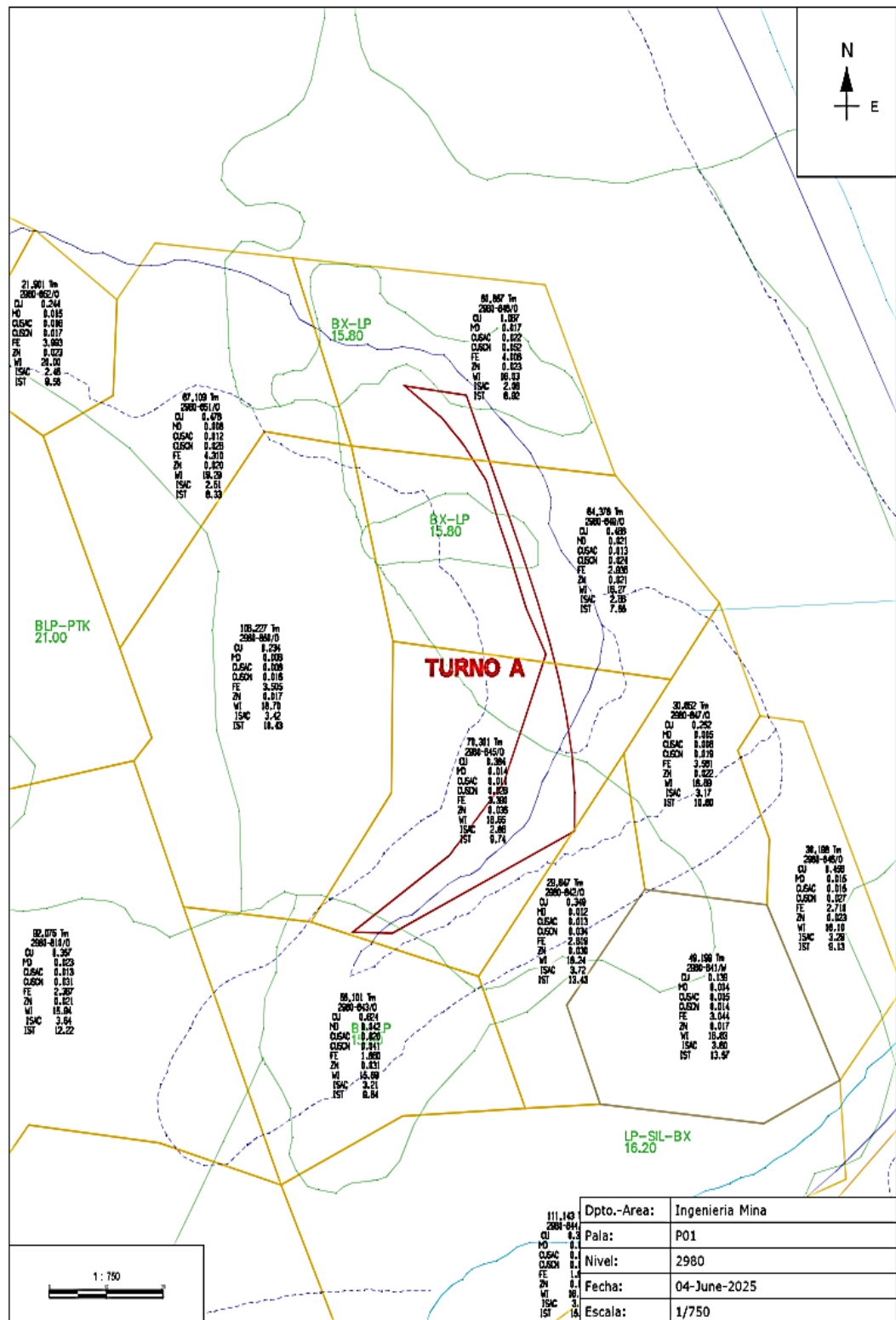
P01	BLP / LP-SIL-BX
P03	IA-FIL-PTK / BA-PTK
LT3	BA-PTK / IA-FIL-PTK / BA-FIL-PTK
P05	IA-SIL / IA-FIL

PALA	NIVEL	Total	Prom. Cu.	Prom. WI.
P01	2980	9,000	0.489	17.70
P03	3160	18,000	0.432	20.42
LT3	ST-CH	15,750	0.358	20.42
P05	3145	47,250	0.570	16.20
		90,000	0.497	17.93

Anexo 4: Planos de los frentes de minado

Junto al plan diario, el área de ingeniería manda unos planos impresos a el personal de operaciones para que tengan en campo la forma del corte diario y la cantidad del polígono asignado a cada pala que debe ser minado.





Anexo 5: Reporte de palas – ORE CONTROL

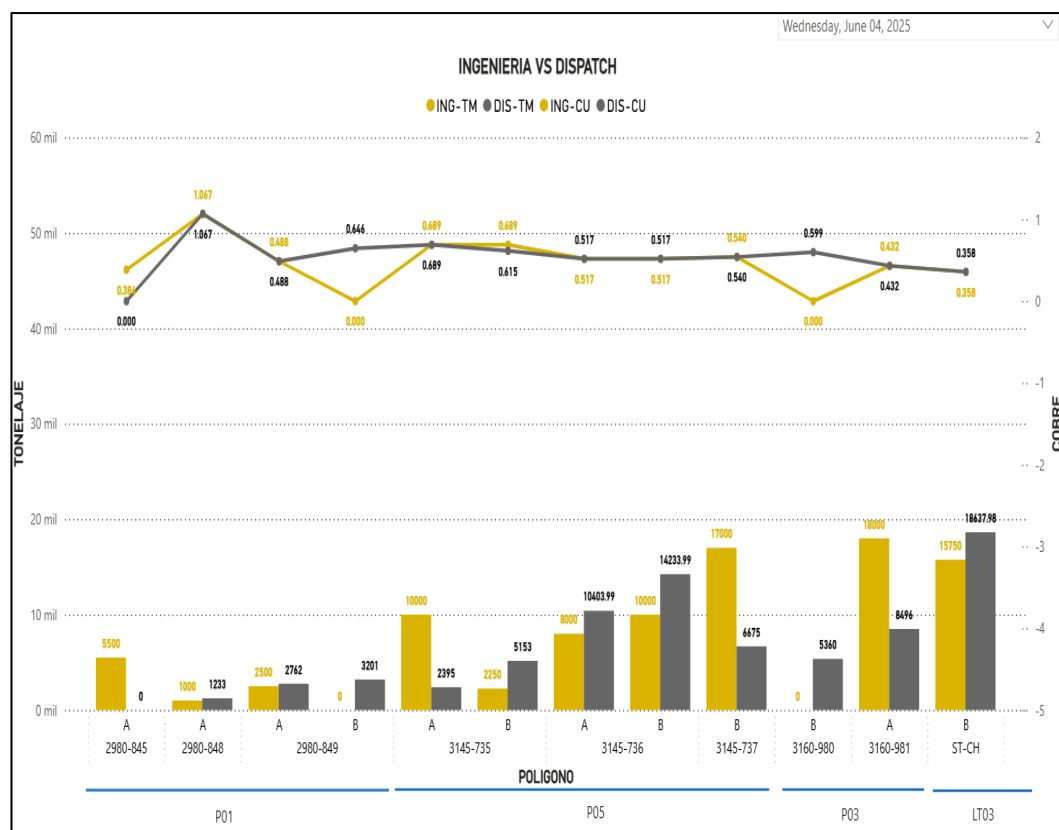
El QField se usa principalmente para este reporte, ya que como área de geología se le debe hacer un control a las palas diariamente durante el turno A para evitar alguna posible dilución de mineral o que se presente algún cambio operativo que pueda cambiar el tonelaje y ley de mineral que nos da el plan diario de producción. Con ayuda del QFIELD nos podemos subir la cresta de la pala y ver en tiempo real con ayuda del GPS del QFIELD lo que está minando cada pala.

	EQUIPO	CONTROL DE MINADO	ASPECTOS GEOLÓGICOS
P05 (3145)		En campo se reviso el frente de minado de la P05, con Arnulfo Morales (operaciones mina), y se observó que se encuentra minando los polígonos 3145-735/ 736 para el turno A. Se minara 60% - De acuerdo al Plan de Minado, para ambos turnos). Hubo parada de chancadora desde las 12:15 am hasta las 5:30 pm.	Frente de minado de la P05, presencia de andesita intrusiva con alteración filica IA-SIL WI. 16.2, en contacto con una andesita intrusiva con alteración filica potásica LP-SIL-BX WI. 16.2, la ley aproximada 0.616 % Cu.
P01 (2980)		En campo se reviso el frente de minado de la P01, y se observó que se encuentra minando mineral para el Stock 5T polígono 2980-854. Hubo parada de chancadora desde las 12:15 am hasta las 5:30 pm.	Frente de minado de la P01, presencia de latita porfirítica filica LP-SIL-BX WI. 16.2, y se nota la presencia de una intrusión de BX-LP WI. 15.8, la ley aproximada 0.487 % Cu.
P03 (3160)		En campo se reviso el frente de minado de la P03, con Arnulfo Morales (operaciones mina), y se observó que se encuentra minando los polígonos 3160-981, para el turno A. (Se minara 40% - De acuerdo al Plan de Minado, para ambos turnos). Hubo parada de chancadora desde las 12:15 am hasta las 5:30 pm.	Frente de minado de la P03, presencia de una andesita intrusiva con alteración filica potásica BA-PTK WI. 21.0, en contacto con una latita porfirítica estéril de color gris BLP-FRES WI. 19.7, la ley aproximada 0.433 % Cu.

Anexo 6: Reporte de polígonos de Mineral

Al finalizar la guardia, se hace una comparativa de los polígonos que nos da el “plan diario” y los polígonos que nos da el “reporte de mineral enviado a concentradora”. En ambos reportes se recopila la información del tonelaje y ley sacado de cada polígono y también se puede ver si alguna pala minó un polígono que no debía y si algún equipo se metió en algún frente de mineral que no estaba programado.

El QFIELD tiene como objetivo que este reporte tenga el mínimo error y que la ley se pueda cumplir de acuerdo al plan diario.



Anexo 7: Planeamiento a corto plazo en Cuajone

INFORME PLANEAMIENTO A CORTO PLAZO EN CUAJONE

1. Contexto del Plan

- Horizonte: 1 mes (plan mensual) con proyecciones semanales y diarias.
- Objetivo: alcanzar la producción de mineral y desmonte planificada, optimizar la ley del mineral enviado a planta, y mantener la estabilidad operativa.
- Herramientas: usar MineSight 3D para malla de minado y planificación de bloques, y Dispatch de Modular para gestionar el despacho de camiones.
- Responsables:
 - Planificador corto plazo
 - Ingeniero de mina
 - Topógrafo

2. Datos Relevantes para el Plan

- La mina Cuajone tiene una operación a cielo abierto con fases (“phases”) planificadas que incluyen stripping (desmonte) y producción.
- Parte de la producción a corto plazo debe tener en cuenta las leyes más bajas del mineral, ya que Southern ha reportado disminución en la ley de Cuajone en algunos periodos.

- La compañía informa que la mina está operando “a plena capacidad” en sus instalaciones, lo que indica que el despacho y la logística son críticos.

3. Plan Mensual (Ejemplo)

Semana	Meta Minado (T mineral)	Meta Desmonte (T)	Ley Promedio Esperada (%)	Stockpile (ingreso / uso)	Notas operativas
1	120,000 t	1,000,000 t	0.35% Cu	Ingreso 10,000 t (stockpile de baja ley)	Iniciar rampa fase 6B, monitorear taludes de berma.
2	130,000 t	1,050,000 t	0.36% Cu	Uso 5,000 t stockpile	Ajustar despacho de camiones por congestión en molienda.
3	125,000 t	1,020,000 t	0.34% Cu	Ingreso 8,000 t	Topografía de control de avance de banco + reconciliación parcial.
4	140,000 t	1,080,000 t	0.37% Cu	Uso 12,000 t	Preparar stockpile para buffer, validar rampas para mes siguiente.

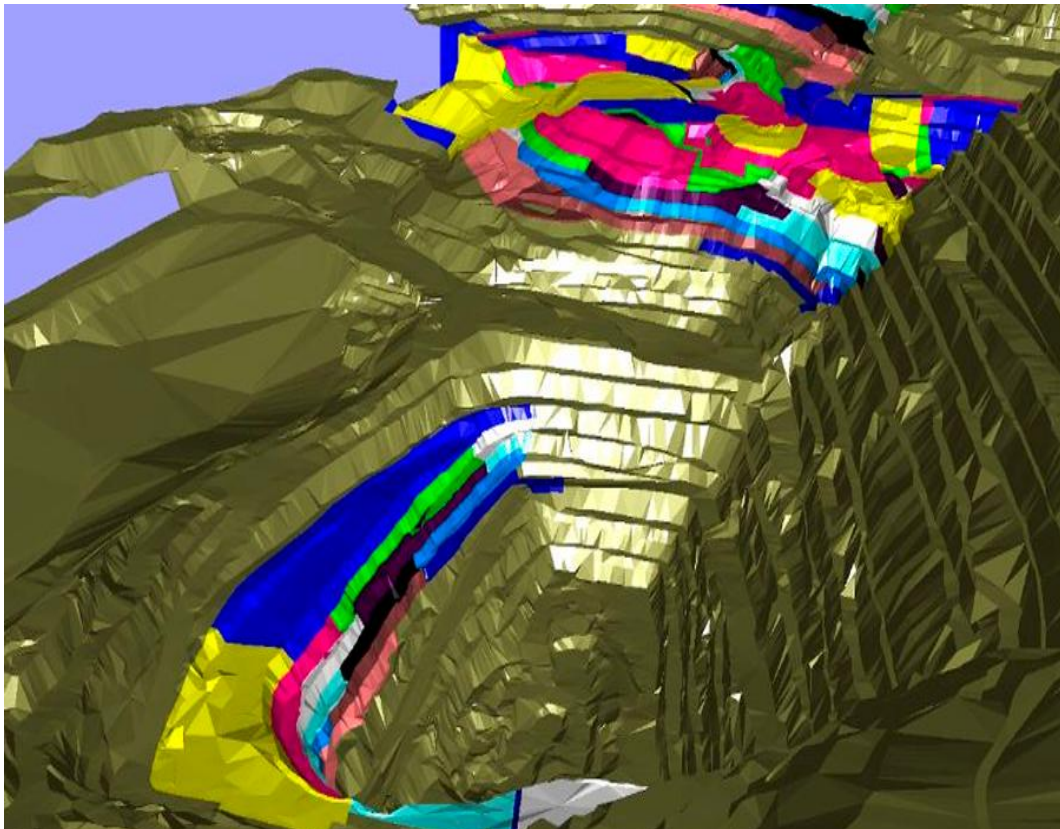
4. Pronóstico Diario

- El despacho de camiones se planifica para cumplir con la meta de minado semanal, asegurando que los camiones carguen desde las zonas correctas para optimizar la ley deliberada a planta.
- Se estima que cada día la mina debe cargar alrededor de 80,000–90,000 t de mineral para cumplir con el objetivo semanal, ajustando según disponibilidad de equipo y condiciones operativas.
- Monitoreo diario de desviaciones: si en algún día se produce menos de lo planificado o la ley es menor, se evalúa reprogramar bloques para recuperar en días siguientes

		Mineral Enviado a Concentradora						
Fecha Inicial: 2025-06-04		Turno: A,B		Origen: Todos				
Fecha Final: 2025-06-04		Material: Mineral		Destino: Concentradora				
Equipo	Origen	Poligono	Destino	% Cu	% Mo	% Fe	% RHI	Tonelaje
I T03	ST-CH	ST-CH/O	CHANCADORA 1	0.358	0.012	5.430	20.420	20,969.98
	Sub-Total			0.358	0.012	5.430	20.420	20,969.98
P01	2980-845	2980-845/O	CHANCADORA 1	0.384	0.014	3.390	18.650	1,019.00
	2980-848	2980-848/O	CHANCADORA 1	1.067	0.017	4.008	16.030	1,596.00
	2980-849	2980-849/O	CHANCADORA 1	0.488	0.021	2.936	16.270	4,291.00
	Sub-Total			0.606	0.019	3.251	16.566	6,906.00
P03	3160-980	3160-980/O	CHANCADORA 1	0.599	0.027	4.608	20.570	4,777.00
	3160-981	3160-981/O	CHANCADORA 1	0.432	0.017	4.420	20.420	8,496.00
	Sub-Total			0.492	0.021	4.488	20.474	13,273.00
P05	3145-735	3145-735/O	CHANCADORA 1	0.689	0.008	4.259	16.200	6,242.00
	3145-736	3145-736/O	CHANCADORA 1	0.517	0.007	7.903	16.200	24,347.99
	3145-737	3145-737/O	CHANCADORA 1	0.540	0.007	4.333	16.200	13,720.00
	Sub-Total			0.548	0.007	6.284	16.200	44,309.98
Total	Total General			0.498	0.011	5.550	17.929	85,458.96

5. Control y Reconciliación

- Al final de cada semana, el topógrafo realiza un levantamiento para medir el avance real (taludes, bancos, bermas) y compararlo con lo planificado. Esto permite calcular la reconciliación (plan vs real).
- Si la reconciliación indica que la producción de mineral es menor o la ley es más baja, el planificador ajusta la malla para las siguientes semanas: puede reasignar bloques, aumentar el uso de stockpiles, o cambiar las zonas de minado.
- Las discrepancias entre plan y realidad se documentan y analizan para mejorar la precisión de futuros planes cortoplacistas.



6. Logística y Dispatch

- El despachador coordina los camiones para maximizar el uso del equipo: prioriza camiones hacia zonas de alta ley si el plan requiere maximizar la producción de mineral.
- La coordinación entre despacho, planificador y topógrafo es constante: reuniones diarias breves (“dispatch morning meeting”) para ajustar rutas, prioridades y pallet de bloques.



7. Gestión de Riesgos

- Riesgo de baja ley: Mitigado mediante uso de stockpiles y ajustes en la malla.
- Inestabilidad de taludes: se monitorean bermas y bancos, se planifican puntos de control topográfico.
- Variabilidad en disponibilidad de equipo: uso de pronósticos diarios/reales para redistribuir recursos (camiones, equipos de carguío).

8. Revisión y Ajustes

- Cada semana, el equipo de planificación y operaciones revisa los resultados (producción, ley, despacho, topografía) y ajusta el plan para la siguiente semana.
- Al final del mes, se hace una reconciliación más completa y se prepara el plan del siguiente mes, incorporando las lecciones aprendidas.
- Se documentan cambios, razones y decisiones para usarlos como insumo para futuros planes.

Anexo 8: Ficha técnica topográfica de levantamiento de puntos

							
FICHA DE CONTROL DE PUNTOS TOPOGRAFICOS							
Proyecto / Área	Cuajone / Mina a cielo abierto						
Fecha	20/06/2025						
Equipo Utilizado	Equipos GNSS (Global Navigation Satellite System)						
Topografo	Luis Cari						
Sistema de coordenadas	WGS84						
Zona UTM	19-SUR						
REGISTRO DE PUNTOS							
N	NORTE	ESTE	Altura/Cota	Tipo de Punto	Descripción	Observaciones	Foto
1	8174000	491500	3500	Rim Tajo	Borde superior del tajo	Terreno rocoso	No
2	8173800	491200	3,300	Rampa	Eje de rampa interna	Camino amplio para camiones	No
3	8173600	490900	2,900	Berma	Berma intermedia (lado este)	Material fragmentado coluvial	No
4	8174200	491800	3,400	Botadero	Frente activo de botadero	Suelo suelto, rocas pequeñas	No
5	8173500	490600	2,800	Quebrada / Drenaje	Punto en canal estacional	Escorrentía intermitente, arroyo seco	No
DATOS TECNICOS POR PUNTO							
N	Pendiente medida	Dirección de la Pendiente	Superficie	Condición del Punto	Propósito del Punto		
1	35%	120°	Roca	Estable	Diseño de Banco		
2	18%	95°	Suelo Rcoso	Estable	Perfil de Rampa		
3	30%	110°	Coluvion Fragmentado	Inestable (Material suelto)	Levantamiento de berma		
4	25%	60°	Suelo Suelto	Estable con polvo	Control de Botadero		
5	45%	135°	Suelo Pedregoso	Inestable, riesgo de erosion	Drenaje / manejo hidrico		
FIRMA Y VERIFICACION							
Topografo	Luis Cari						
Firma							
Revisado por	Ing. Robert Medina						
Firma de revisor							
Notas adicionales							
Se recomienda reforzar puntos de bermas en lado este por material suelto.							
Instalar prismas adicionales para monitoreo geotécnico en puntos 3 y 5.							
Durante llluvias, el punto 005 debe ser monitoreado por posibles avenidas rápidas.							
OBSERVACIONES GENERALES							
La altitud de la mina varía entre ~2500 y ~3900 m s.n.m. según el informe técnico de Southern Copper.							
Los bordes del tajo ("rim") están alrededor de los ~3,500 m s.n.m.							
El drenaje es estacional, con un patrón de quebradas dendrítico y el agua corre de noreste a suroeste.							
Vegetación típica de la zona: matorrales, pastizales y cactus en zonas más secas.							
Riesgo sísmico: la zona está dentro de dos zonas sísmicas (intensidad VIII y IX según el CISMID) lo que debe considerarse en el diseño de estabilidad.							