

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Modelamiento geológico mediante el método implícito para
optimizar la geometría de la veta Milagros, en el yacimiento
minero Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2024**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Wilmer Franco COLQUI ORIZANO

Asesor:

Dr. Jose Fermin HINOJOSA DE LA SOTA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Modelamiento geológico mediante el método implícito para
optimizar la geometría de la veta Milagros, en el yacimiento
minero Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2024**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO
PRESIDENTE

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

Mg. Eder Guido ROBLES MORALES
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 270-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Modelamiento geológico mediante el método implícito para
optimizar la geometría de la veta Milagros, en el yacimiento minero
Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2024**

Apellidos y nombres deL tesista

Bach. Wilmer Franco COLQUI ORIZANO

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. José Fermin HINOJOSA DE LA SOTA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Geológica

Índice de Similitud

9 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 13 de mayo del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.05.2025 19:14:47 -05:00

DEDICATORIA

Al esfuerzo de mi familia por darme el apoyo y en el cielo a mi padre por guiarme y darme la sabiduría de obrar apoyando a los que necesiten.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron al logro de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradezco a mi alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) y en especial a mi Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica por haber contribuido en mi formación personal y profesional.

De manera especial, quiero agradecer a la minera Consorcio Minero Horizonte y los profesionales del área de geología por haberme posibilitado la realización de este trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial al Profesor Dr. José Hinojosa De la Sota por sus sugerencias y aporte en la revisión de esta tesis.

Finalmente, a mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome apoyo incondicional, motivación y amor. A todos ustedes mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

En la compañía minera Consorcio Minero Horizonte S.A. se emplea el método de minado por taladros largos. Sin embargo, debido a la ausencia de un modelo 3D representativo de la veta Milagros, la geometría de la misma no es óptima, lo que dificulta el proceso de minado y la estimación precisa de los recursos minerales en el tajo 3360N.

En ese contexto, el objetivo de la presente investigación es optimizar la geometría de la veta Milagros en 3D mediante el modelamiento geológico implícito posibilitando así una mejora en la estimación de los recursos minerales en el tajo 3360N, para ello se utilizará el software Leapfrog Geo, que es reconocido en la industria minera por sus herramientas avanzadas para modelar geometrías complejas de estructuras como la veta Milagros.

Se trata de una investigación aplicada cuya profundidad corresponde al nivel predictivo para lo cual se aplicó el método científico cualitativo con un diseño cuasi experimental.

Los resultados obtenidos muestran una optimización en la geometría de la veta Milagros logrado a través de un modelamiento implícito con la aplicación del software Leapfrog, que contribuyó en la mejora de los resultados de la estimación de recursos minerales y permitió demostrar la validez del enunciado de la hipótesis planteada.

Palabras clave: Modelamiento implícito, geometría de veta, estimación de recursos minerales.

ABSTRACT

At the mining company Consorcio Minero Horizonte S.A., the long-hole mining method is used. However, due to the absence of a representative 3D model of the Milagros vein, its geometry is not optimal, which makes the mining process and the precise estimation of mineral resources in the 3360N pit difficult.

In this context, the objective of this research is to optimize the geometry of the Milagros vein in 3D through implicit geological modeling, thus enabling an improvement in the estimation of mineral resources in the 3360N pit. To do this, the Leapfrog Geo software will be used, which is recognized in the mining industry for its advanced tools to model complex geometries of structures such as the Milagros vein.

This is an applied research whose depth corresponds to the predictive level, for which the qualitative scientific method was applied with a quasi-experimental design.

The results obtained show an optimization in the geometry of the Milagros vein achieved through implicit modeling with the application of the Leapfrog software, which contributed to the improvement of the results of the mineral resource estimation and allowed to demonstrate the validity of the hypothesis statement.

Keywords: Implicit modeling, vein geometry, mineral resource estimation.

INTRODUCCIÓN

A diferencia de los modelos geométricos o explícitos clásicos de las estructuras mineralizadas que son realizadas manualmente constituyéndose básicamente en un dibujo de ingeniería y que además son generalmente inexactos dado que la geología de estas estructuras mineralizadas como de otras características geológicas no son geométricos y regulares lo que repercute en la estimación de recursos minerales, el modelado geológico explícito es una herramienta esencial en la minería moderna, ya que permite comprender y representar con precisión las características y geometría de los yacimientos minerales, lo que facilita la toma de decisiones en las etapas de explotación. En el contexto de la minería subterránea, contar con un modelo geológico tridimensional (3D) de alta calidad es crucial para optimizar los procesos de extracción y planificación minera. Sin embargo, en la unidad minera Consorcio Minero Horizonte S.A., la falta de un modelo 3D confiable de la Veta Milagros ha generado dificultades en la planificación del minado y en la estimación precisa de recursos lo que motivó la realización de esta investigación con el propósito de mejorar la estimación de recursos minerales.

En esa medida la presente investigación se ha dividido en cuatro capítulos:

Capítulo I - Problema de investigación: En este capítulo se abordan temas correspondientes a la identificación y determinación del problema, así como delimitación de la investigación pasando luego a la formulación del problema, formulación de Objetivos, la justificación y limitaciones de la investigación.

Capítulo II – Marco teórico: En esta parte del trabajo de investigación se abarcan aspectos relacionados básicamente a los antecedentes de la investigación, bases teóricas-científicas y la formulación de la hipótesis.

Capítulo III – Metodología y técnicas de investigación: En esta sección del trabajo de investigación se describen aspectos como tipo y nivel de investigación, método y diseño de investigación, así como aspectos relacionados con la metodología de investigación aplicados en este trabajo.

Capítulo IV – Resultados y discusión: corresponde a la descripción del trabajo de campo y presentación, análisis e interpretación de los resultados, así como a la prueba de hipótesis y finalmente la discusión de resultados.

Concluye este trabajo de investigación con la exposición de las conclusiones más resaltantes y las recomendaciones para futuras investigaciones.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1.	Delimitación espacial.....	2
1.2.2.	Delimitación temporal.....	2
1.3.	Formulación del problema.	2
1.3.1.	Problema general.....	2
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio	6
2.1.1.	A nivel nacional	6
2.1.2.	A nivel internacional	7

2.2.	Bases teóricas – científicas	8
2.2.1.	Marco geológico.....	8
2.2.2.	Geología regional.....	9
2.2.3.	Geología local	11
2.2.4.	Geología estructural.....	12
2.2.5.	Geomorfología	14
2.2.6.	Estratigrafía.....	15
2.2.7.	Geología Económica.....	17
2.2.8.	Modelamiento Geológico.....	18
2.2.9.	Modelamiento Implícito.....	18
2.2.10.	Modelamiento explícito.....	19
2.2.11.	Ventajas.....	19
2.2.12.	Las desventajas.....	19
2.2.13.	Estimación de recursos minerales.....	19
2.2.14.	Vetas Angostas.....	20
2.2.15.	Deposito Orogénico.....	20
2.2.16.	Mapeo Geológico.....	21
2.2.17.	Muestreo por Canales (Muestreo Sistemático).....	22
2.2.18.	Minado por Taladros Largos.....	23
2.2.19.	Leapfrog Geo	24
2.2.20.	Geometría de una veta.....	25
2.3.	Definición de términos básicos.....	25
2.3.1.	Veta	25
2.3.2.	Falla	26
2.3.3.	Rumbo	27
2.3.4.	Buzamiento	27
2.3.5.	Nivel (Nv)	28
2.3.6.	Tajo (TJ).....	28

2.3.7. Sondajes Diamantinos.....	28
2.3.8. Software.....	29
2.3.9. Georreferenciación.....	30
2.3.10. Muestra.....	30
2.3.11. Muestreo.....	31
2.4. Formulación de hipótesis.....	31
2.4.1. Hipótesis general.....	31
2.4.2. Hipótesis específicas.....	31
2.5. Identificación de variables.....	32
2.5.1. Variable dependiente.....	32
2.5.2. Variable independiente.....	32
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	33

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	34
3.2. Nivel de investigación.....	34
3.3. Métodos de investigación.....	35
3.4. Diseño de investigación.....	35
3.5. Población y muestra.....	35
3.5.1. Población.....	35
3.5.2. Muestra.....	36
3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos.....	36
3.6.1. Técnicas de recolección de datos por observación cuantitativa.....	36
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.....	36
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	36
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	37
3.9. Tratamiento estadístico.....	38
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	38

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	40
4.1.1.	Ubicación del proyecto	41
4.1.2.	Vías de acceso.....	42
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.	43
4.2.1.	Presentación de los datos jpg.	43
4.2.2.	Presentación de Topografía de labores y mapa geológico.	44
4.2.3.	Modelamiento Geológico en 3D	47
4.2.4.	Secciones y vistas en Leapfrog.....	49
4.2.5.	Modelo explícito	52
4.3.	Prueba de hipótesis.....	53
4.4.	Discusión de resultados.....	55

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXOS:

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de Recursos mineros	18
Tabla 2 Definición y Operacionalización de variables	33
Tabla 3 Data Estructural	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico regional del área de estudio	10
Figura 2: Mapa geológico local	12
Figura 3: Geología estructural - Veta Milagros	14
Figura 4: Modelado geológico	19
Figura 5: Estilos de mineralización.....	20
Figura 6: Formación de depósito orogénicos	21
Figura 7: Mapeo de planta, NV 2215 veta Milagros.....	22
Figura 8: Mapeo de frente, NV 2215 veta	22
Figura 9: Muestreo por canales.....	23
Figura 10: Método de taladros largos, el proceso de ciclo de minado	24
Figura 11: Plataforma de software Leapfrog geo.....	25
Figura 12: Forma geométrica en la cual se mineraliza la veta.....	25
Figura 13: Veta mineralizada	26
Figura 14: Tipo de Falla	26
Figura 15: Rumbo	27
Figura 16: Buzamiento.....	27
Figura 17: Nivel labor principal.....	28
Figura 18: Muestras de sondaje diamantino.....	29
Figura 19: Uso de Leapfrog Geo.....	30
Figura 20: Muestras	30
Figura 21: Interfaz de modelamiento.....	37
Figura 22: Mapa de Ubicación	41
Figura 23: Vista satelital del área de investigación.....	42
Figura 24: Acceso a la zona de estudio vía terrestre.....	43
Figura 25: Interfaz de inicio de creación de proyecto 1	43
Figura 26: Muestras de canales de la GI3363	44
Figura 27: Muestras e canales de la GI3390	44

Figura 28: Topografía de la GL3363 y GI3390	44
Figura 29: Mapeo 3363.....	45
Figura 30: Mapeo 3390.....	45
Figura 31: Fallas Lourdes y Falla Pi.....	46
Figura 32: Modelamiento Veta Milagros.....	47
Figura 33: Creación de la veta milagros.....	48
Figura 34: Ajuste de la veta con los mapeos y secciones	48
Figura 35: Visualización en vista longitudinal de la veta Milagros	48
Figura 36: Digitalización de contactos a partir de secciones JPG	49
Figura 37: Visualización de lo mapeos georreferenciados	49
Figura 38: Vista en planta con los ejes de secciones	50
Figura 39: Secciones interpretadas 670-680N	50
Figura 40: Secciones interpretadas 690-700N	51
Figura 41: Secciones interpretadas 710-720N	51
Figura 42: Secciones interpretadas 730-740N	52
Figura 43: Vista longitudinal de la veta Milagros.	52
Figura 44: Método Kriging Ordinario	53
Figura 45: Método Tradicional.....	53

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la Compañía Minera Consorcio Minero Horizonte S.A. se utiliza el método de minado por taladros largos. Sin embargo, la falta de un modelo 3D representativo de la veta Milagros genera una geometría no óptima, lo que impide un proceso de minado eficiente y una adecuada estimación de recursos de los tajos como es el caso del tajo TJ3360N. Por lo tanto, es fundamental desarrollar un modelo 3D de la geometría de la veta Milagros para mejorar la estimación de recursos minerales acorde con los parámetros geológicos del yacimiento mineral.

“El modelamiento geológico es un proceso esencial en la ciencia de la geología que implica la creación de representaciones tridimensionales de la composición y estructura de la corteza terrestre. Este proceso involucra la recopilación, análisis e interpretación de datos geológicos para generar modelos que ayuden a comprender la distribución y características de las estructuras” (Juan Cowan, 2003).

“En la industria minera, el modelamiento de vetas angostas es crucial para comprender y representar con precisión las características de las vetas de minerales estrechas concentradas en depósitos en este caso tipo Orogénico. En

este sentido, el modelamiento implícito es una técnica efectiva para representar la geometría de estructuras tridimensionales (Rick Beatson, 2003)”.

En esta investigación, se utilizó el modelamiento implícito con el software Leapfrog Geo, aprovechando las herramientas propias del software para representar la geometría de la veta Milagros de manera tridimensional. Este software es ampliamente utilizado en la industria minera nacional y reconocido por su eficacia en el modelamiento geológico.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente trabajo de investigación se realiza en el espacio de la estructura mineralizada que corresponde al recurso medido de la veta Milagros del yacimiento mineral de Consorcio Minero Horizonte S.A. que queda delimitada por 95 metros en el nivel superior (galería 3361N) y 98 metros en el nivel inferior (galería 3360N) con una separación vertical que corresponde a una altura de 10 metros.

Dicha estructura mineralizada pertenece al yacimiento mineral Consorcio Minero Horizonte ubicado en la localidad de Retamas, Distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Departamento de La Libertad.

1.2.2. Delimitación temporal

El presente proyecto tuvo una duración de tres (04) meses, a partir del mes de enero del 2024 hasta el mes de abril del 2024.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la geometría óptima en 3D de la veta Milagros mediante el modelamiento geológico implícito que posibilite una adecuada estimación de recursos minerales y un minado eficiente en el tajo 3360N, utilizando el software Leapfrog Geo?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo se puede aplicar el modelamiento implícito con software especializado para representar la geometría en 3D de la veta Milagros y mejorar la estimación de recursos minerales?
- b. ¿Cuál es el impacto de la falta de un modelo 3D preciso en la geometría de la veta Milagros en la estimación de recursos minerales?
- c. ¿Cuáles son las limitaciones y desafíos actuales en la representación geológica de la veta Milagros, y cómo se pueden superar mediante la creación de un modelo 3D detallado?
- d. 4. ¿Cómo se puede mejorar la estimación de recursos minerales en la veta Milagros mediante la integración de un modelo 3D geológico con los parámetros geológicos?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Simular la geometría óptima en 3D de la veta Milagros mediante el modelamiento geológico implícito que posibilite una adecuada estimación de recursos minerales y un minado eficiente en el tajo 3360N, utilizando el software Leapfrog Geo.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Aplicar el modelamiento implícito con software especializado para representar la geometría óptima en 3D de la veta Milagros y mejorar la estimación de recursos minerales.
- b. Determinar el impacto de la falta de un modelo 3D preciso en la geometría de la veta Milagros en la estimación de recursos.
- c. Establecer las limitaciones y desafíos actuales en la representación geológica de la veta Milagros, y cómo se pueden superar mediante la creación de un modelo 3D detallado.

- d. Demostrar cómo mejora la estimación de recursos minerales en la veta Milagros mediante la integración de un modelo 3D geológico con los parámetros geológicos.

1.5. Justificación de la investigación

La realización de este trabajo de investigación se justifica por la necesidad de mejorar la precisión y confiabilidad en la estimación de recursos minerales en el yacimiento de Consorcio Minero Horizonte S.A. El modelo geométrico clásico, explícito, actual ha demostrado ser insuficiente para capturar la complejidad geológica del yacimiento, lo que puede generar errores significativos en la planificación minera y afectar la rentabilidad de la operación.

La aplicación de un modelamiento implícito con Leapfrog Geo ofrece una oportunidad para desarrollar un modelo geológico más preciso y confiable, que pueda mejorar la estimación de recursos minerales. Además, la investigación puede contribuir a:

- Mejorar la eficiencia y la productividad en la operación minera
- Reducir los riesgos asociados con la planificación y operación minera
- Incrementar la confiabilidad en la estimación de recursos minerales
- Contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías en la industria minera
- Contribuir con el desarrollo académico – científico en la EFP de Ingeniería geológica de nuestra universidad.

1.6. Limitaciones de la investigación.

La presente investigación se circunscribe al ámbito del yacimiento mineral de Consorcio Minero Horizonte S.A. y su aplicación puede reproducirse bajo las mismas condiciones y parámetros geológicos de la misma es posible que en otros tipos de yacimientos disseminados, porfíricos o polimetálicos de metales base tenga que realizarse adecuaciones específicas.

Las limitaciones más importantes que se tuvieron durante el desarrollo del presente trabajo de investigación fueron aspectos relacionados con la confidencialidad de la data que no permitió un resultado más preciso. Así mismo la licencia del software fue de difícil acceso por el costo de la misma y se tuvo que utilizar el software de la empresa con las limitaciones de tiempo y los resultados correspondientes.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel nacional

Cueva (2021), en su tesis "Modelamiento Geológico y Calculo de Reservas de Minerales de la Veta Lucerito – Mina Nueva Esperanza Nivel 2 – Algamarca Cajabamba" menciona que se puede mejorar la estimación de la cantidad de recursos minerales mediante la aplicación de un modelamiento implícito, utilizando datos de campo como azimut, buzamiento, potencia y los contactos litológicos. De esta manera generó un modelo geológico donde concluyo que la veta Lucerito tiene reservas probadas: 72104.33 toneladas de Ag, reservas probables: 27274.52 de Ag toneladas y recursos inferidos: 315071.13 toneladas de Ag. Mejorando sustancialmente la estimación en comparación a la estimación por el método clásico

Machuca (2017), realizan su trabajo de investigación al que titula "Implementación del Modelamiento en 3D y Estimación de los Recursos con Métodos Geoestadísticos mina Chipmo U.E.A. Orcopampa – CMB SAA", como resultado de sus investigaciones menciona que el trabajo se desarrolló en 3 etapas , la primera base datos, la segunda etapa de Modelamiento con el Software Leapfrog Geo y la tercera etapa de Estimación de Recursos. El

modelamiento geológico en la minería actual está definido por diversos controles geológicos, así se tiene modelos geológicos orientados a la exploración de nuevas zonas mineralizadas, interpretación de flujo de mineralización, estimación de recursos, estimación de reserva y planeamiento de minado a corto, mediano y largo plazos. Menciona que, como resultado de la implementación del modelamiento 3D se ha logrado eficiencia y ahorro de recursos y tiempo en la estimación de recursos y reservas minerales.

Terán y Mayorga (2021), realiza su trabajo de investigación al que titula “Evaluación de Recurso de Minerales del Proyecto Carhucayan – Junín - PERÚ” como resultado de la Investigación se generó un modelo geológico a partir de información geoquímica para poder realizar la interpolación, todo esto usando el Software Leapfrog Geo. El objetivo fue delimitar la geometría y llevarlo a un modelo que permitió dimensionar los recursos y con los sondajes proyectados elevar la categoría de inferidos a indicados y medidos, con resultados favorables.

2.1.2. A nivel internacional

Duque (2021), realizo el trabajo de Investigación al cual titula “*Modelo Geológico Estructural de la Mineralización Vetiforme en la Mina el Gran Porvenir del Líbano, usando LEAPFROG GEO*”. En esta investigación buscó comprender el modelo geométrico y la distribución del depósito; esto conllevó a una interpretación para optimizar los procesos de exploración-explotación.

Indica además “A pesar de ser una buena manera de comprender las unidades subyacentes, es importante tener en cuenta que estos modelos se basan en información limitada y son una representación simplificada de la realidad. A medida que se integren o vinculen diferentes tipos de enfoques (litológicos, estructurales, geoquímicos y geofísicos, entre otros), esto resultará en una reducción de la incertidumbre del modelo final” (Bich,2014; Bele y Kamberaj, 2017) lo cual es importante en la toma de decisiones de un proyecto.

Luciano, Matías, Gerardo, Sebastián, Vidal y Diego, (2016)
Reconstrucción de la Geología de Sector Dumbo, Mina Guanaco (CHILE)
Mediante el Modelo Tridimensional con LEAPFROG GEO. Según este autor se trata de un yacimiento de oro en la mina Guanaco ubicado en la segunda región de Chile (Deposito Epitermal de Alta Sulfuración). Donde se generó la reconstrucción de la litología y de las mineralizaciones en un modelo tridimensional. La herramienta de modelado tridimensional permitió reconstruir la información geológica de un sector donde hoy tanto las rocas como la mineralización han sido removidas. Esta herramienta puede constituirse como una fuente de información muy valiosa para minas que están productivas o que ya han dejado de serlo. Esta información, reestablecida a partir de la información de los logueos y de la reinterpretación de los testigos puede ser utilizada para mejorar los esfuerzos de exploración, identificar los patrones que caracterizaron las zonas de las mejores leyes del depósito para lograr un entendimiento de los controles que determinaron la concentración mineral.

Moreni (2023), *Geología y Modelamiento del Sector de Carmen Este, División Radomiro Tomic, Región de Antofagasta, CHILE.* Según esta Investigación fue posible elaborar un modelo geológico de este yacimiento tipo pórfido, usando el Software Leapfrog Geo, se pudo definir el sólido de la zona de mineral, alteración y litología todo esto con el soporte de sondajes.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Marco geológico

“Al norte de la Cordillera Oriental de los Andes, desde Buldibuyo (La Libertad) hasta Santo Tomás (Amazonas), afloran rocas plutónicas en forma discontinua y de gran extensión conformadas por diferentes unidades de rocas intrusivas con un alineamiento NO-SE que reportan edades del Carbonífero entre 350 a 300 Ma (Sánchez et al., 2006; Moscovici et al., 2009). Estos intrusivos intruyen a las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico del

Marañón, y hospedan abundantes vetas de Au. En las zonas de Bolívar, Patáz y Huaylillas los intrusivos son cubiertos por ignimbritas. La edad de las ignimbritas está en discusión porque algunos trabajos le asignan al Neógeno (Haeberlin, 2002 y referencias allí mencionadas) y otros trabajos le atribuyen al Carbonífero (Sánchez, 2006 y referencias allí mencionadas). El presente trabajo propone que las ignimbritas de la Formación Lavasen son co-magmáticas con los granitos del Carbonífero, tal como lo surgió Sánchez (2006), además explica la relación de las vetas de Au y los granitos. Estos resultados están basados en el mapeo geológico, dataciones radiométricas y geoquímica de roca total. Estos avances son el resultado de la integración de mapas realizados dentro del proyecto GR5 “Geología del Batolito de Patáz” de la dirección de Geología Regional del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico” (Wilson Gómez et al. 2018).

2.2.2. Geología regional

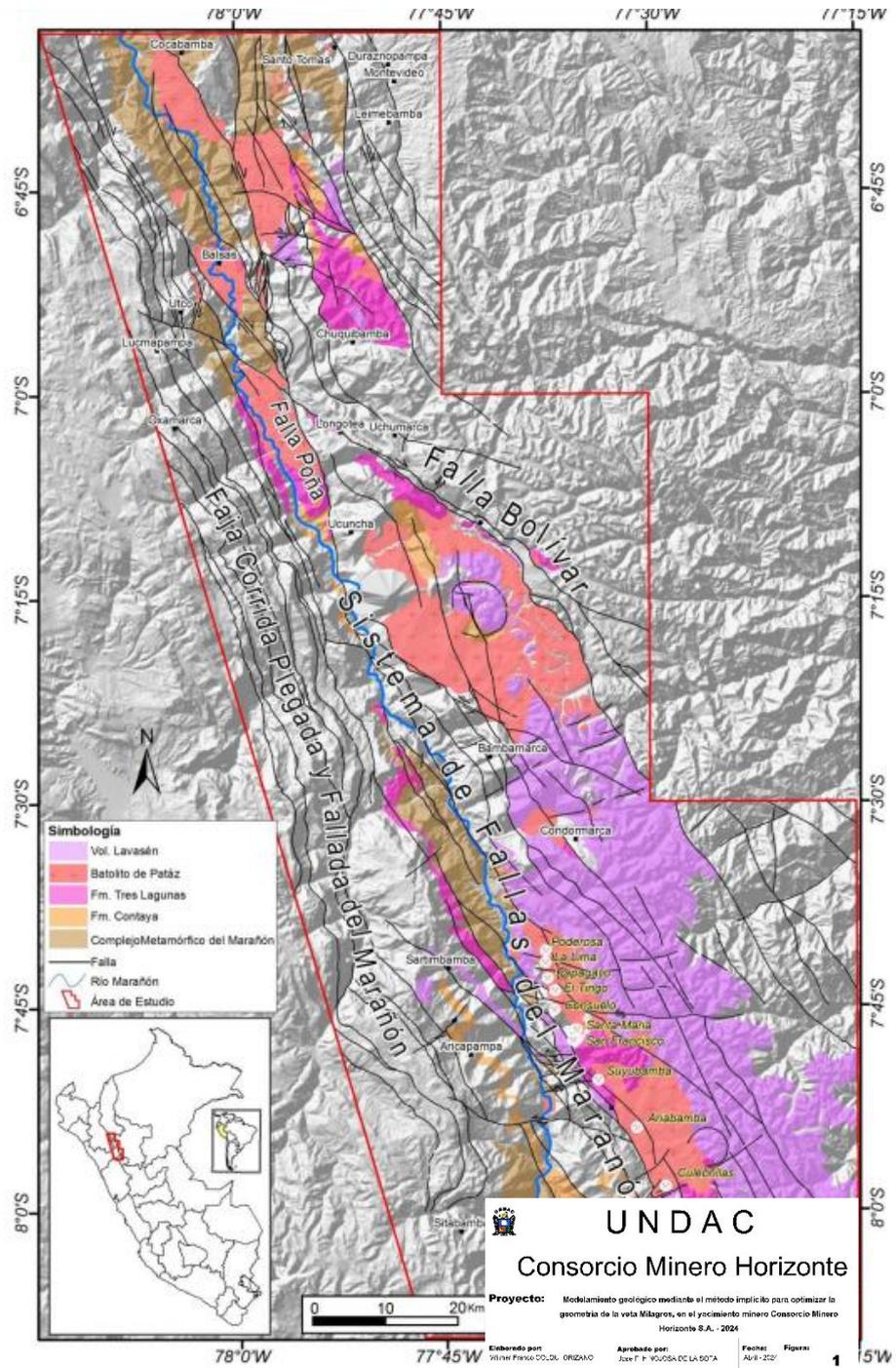
El Batolito de Pataz se encuentra en el centro de una importante franja de oro orogénico que se extiende aproximadamente 160 km en el sector oriental de la Cordillera de los Andes, en el norte del Perú. Esta franja es geológicamente significativa, ya que ha producido más de 9 millones de onzas de oro en depósitos de tipo veta durante el último siglo.

La geología regional del Batolito de Pataz y sus áreas adyacentes, incluyendo la Unidad Minera Consorcio, está marcada por una historia geológica compleja, producto de la superposición de tres ciclos tectonoestratigráficos: el Precámbrico, el Hercínico y el Andino. Estos ciclos han influido en la formación de las estructuras y estratos que albergan mineralización aurífera en la región.

La morfología de la región, caracterizada por áreas glaciares, altiplanos y valles profundos, refleja su evolución estructural y su adaptación a los procesos geológicos de larga duración. Esta región posee una estratigrafía que se ha modelado y modificada a través de Múltiples eventos tectónicos, lo cual

es relevante para la formación y preservación de los depósitos auríferos que hoy explota la Unidad Minera Consorcio. (INGEMMET)

Figura 1: Mapa geológico regional del área de estudio



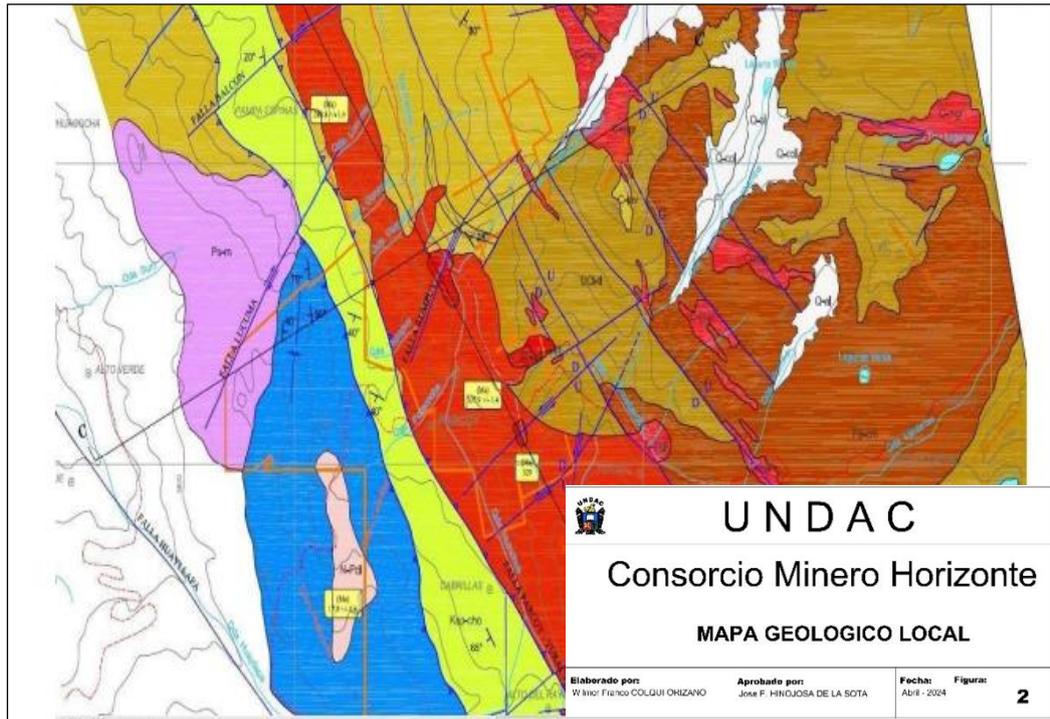
Fuente: INGEMMET

2.2.3. Geología local

La geología local del Batolito de Pataz, en donde se encuentra la Unidad Minera Consorcio, se caracteriza por la presencia de un intrusivo granítico de edad hercínica que conforma una extensa masa ígnea en la Cordillera Oriental. Este intrusivo se encuentra rodeado de rocas metamórficas paleozoicas y mesozoicas, que han sido fracturadas y deformadas a lo largo de diversos eventos tectónicos, creando un ambiente propicio para la mineralización aurífera en esta zona se concentra en vetas de cuarzo, las cuales se desarrollan a lo largo de zonas de cizalla y fracturas generadas principalmente por los eventos tectónicos del ciclo andino. Estas vetas suelen ser subverticales y orientadas en dirección noreste-suroeste, favoreciendo la circulación de fluidos hidrotermales que depositaron minerales de interés económico, oro principalmente en asociación con sulfuros de pirita, arsenopirita y, en menor medida, galena y esfalerita.

A nivel estructural, el área presenta fallas y diques que contribuyen al control de la mineralización y a la continuidad de las vetas auríferas. Estos sistemas estructurales han permitido que la mineralización se desarrolle en múltiples etapas, enriqueciendo las zonas con sulfuros y oro libre. Esta compleja geología ha sido fundamental para el desarrollo de operaciones mineras, pues brinda un ambiente geológico favorable para la explotación de oro en la Unidad Minera Consorcio (Wilson y Reyes, 1964).

Figura 2: Mapa geológico local



Fuente: Consorcio Minero Horizonte

2.2.4. Geología estructural

La geología estructural del Batolito de Pataz, es compleja y se caracteriza por una serie de sistemas de fallas, zonas de cizalla y fracturas, los cuales son producto de eventos tectónicos prolongados desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. Estas estructuras han jugado un papel fundamental en la mineralización aurífera de la región, particularmente en la orientación y continuidad de las vetas de cuarzo portadoras de oro.

La estructura regional está dominada por fallas de rumbo noreste-suroeste, que son las principales controladoras de la mineralización. Estas fallas y zonas de cizalla actúan como corredores de transporte de fluidos hidrotermales, los cuales depositaron oro y sulfuros a lo largo de las fracturas y cavidades creadas por la tectónica compresiva y tensional en distintos episodios. A nivel local, se observan también fallas de menor orden y fracturas

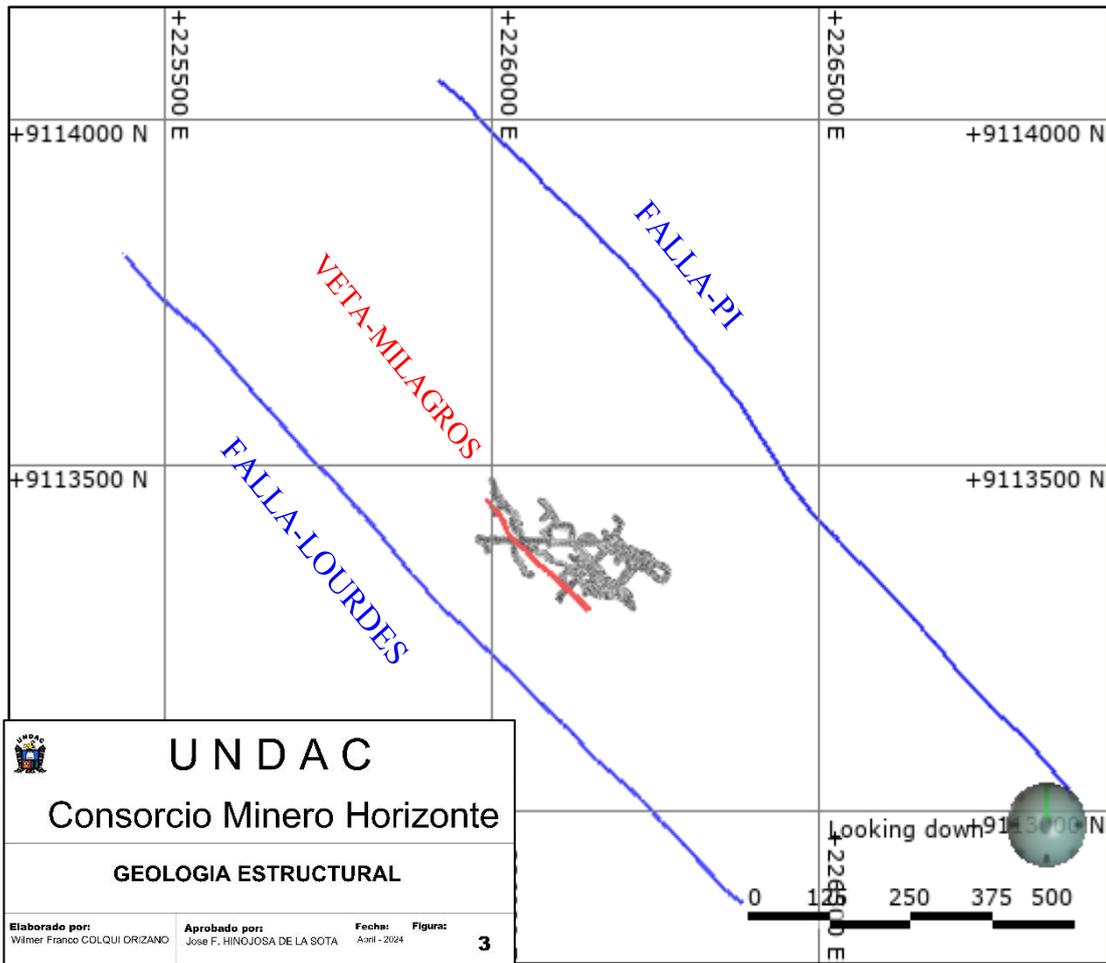
subparalelas, que se desarrollaron de manera conjugada, favoreciendo la diseminación del mineral en distintos sectores del batolito.

El sistema estructural incluye zonas de cizalla subverticales, especialmente en las áreas de contacto entre el batolito granítico y las rocas metamórficas paleozoicas, como filitas y esquistos. Estas zonas de contacto son cruciales, ya que han sido el foco de deformación y han permitido la canalización de fluidos mineralizantes que generaron la mineralización en vetas de cuarzo ricas en oro, pirita y arsenopirita. Los estudios realizados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) indican que las estructuras de la zona presentan evidencias de al menos dos fases de deformación, una compresiva y otra extensional, lo que ha creado un ambiente favorable para la formación de depósitos orogénicos. de tipo veta (INGEMMET, 2004).

La geología estructural de la Veta Milagros en el distrito de Pataz se caracteriza por un sistema de vetas con orientación predominante NNE-SSW, controlado por una red de fallas y fracturas de origen tectónico, lo que favorece la concentración de minerales auríferos. Esta estructura se encuentra asociada a la intensa deformación que experimentó la región durante los eventos tectónicos andinos, los cuales promovieron la apertura de fracturas y la generación de un espacio propicio para la circulación de fluidos hidrotermales mineralizantes.

La estructura de la veta Milagros muestra evidencias de varios eventos tectónicos de apertura y cierre, la veta se encuentra dentro de las fallas principales de Falla Lourdes Az: 340N Bz75E y Falla Pi Az: 320N Bz65W, estas son las extensas y principales que controlan la mineralización, con evidencias de relleno en las fracturas donde los pulsos de fluidos ricos en sílice y oro precipitaron sucesivamente cuarzo y sulfuros.

Figura 3: Geología estructural - Veta Milagros



Fuente: Consorcio Minero Horizonte

2.2.5. Geomorfología

Relieve montañoso: La región forma parte de la Cordillera de los Andes, con un relieve predominantemente montañoso que varía entre 2.000 y 4.000 metros sobre el nivel del mar.

Valles y cuencas fluviales: La presencia de valles profundos y cuencas fluviales modeladas por la erosión fluvial favorece la concentración de aluviones auríferos.

Áreas de glaciares: Durante la última glaciación, los glaciares afectarán las áreas más elevadas, dejando morrenas y valles en forma de U, influyendo en la fracturación de las rocas.

Terrazas fluviales y depósitos aluviales: Las terrazas fluviales a lo largo de los ríos presentan depósitos aluviales, que son una fuente importante de oro en la región.

2.2.6. Estratigrafía

Formación Ambo (Carbonífero-Pérmico)

La Formación Ambo es una unidad paleozoica constituida principalmente por filitas, areniscas finas y lutitas, que presentan metamorfismo de bajo grado y muestran fracturas en zonas de contacto con intrusivos. La mineralización aurífera en la región se asocia en gran medida a estas rocas debido a la permeabilidad estructural en las zonas de contacto. Esta formación, de edad Carbonífero-Pérmico, es el basamento sobre el cual se emplazan las unidades posteriores y es significativa en el contexto geológico por su capacidad para actuar como roca huésped de mineralización cuando se encuentra en contacto con el Batolito de Pataz (INGEMMET, 2004).

Formación Tarma (Pérmico)

Esta formación, también del Paleozoico, está constituida principalmente por calizas grises, densas y masivas. La Formación Tarma es relevante en la estratigrafía de la región debido a que sus secuencias carbonatadas actúan como "trampas" para los fluidos hidrotermales. Estas calizas muestran evidencias de recristalización y en algunos lugares están alteradas por efectos hidrotermales, que se evidencian principalmente en sus bordes y en contacto con el batolito intrusivo (Wilson y Reyes, 1964).

Formación Copacabana (Pérmico Tardío)

Esta unidad está compuesta por una secuencia de calizas dolomíticas y calizas masivas que, en algunos sectores, muestran intercalaciones de lutitas. La Formación Copacabana se encuentra estratigráficamente por encima de la Formación Tarma y presenta condiciones favorables para la acumulación de minerales debido a su baja permeabilidad, lo que ayuda a concentrar fluidos

mineralizantes en las unidades inferiores, principalmente en la Formación Ambo y en los contactos con el Batolito de Pataz. Esta unidad es esencial en el control de la mineralización aurífera en la región, ya que actúa como un "sello" geológico (Haeberlin et al., 2004).

Secuencia Mesozoica (Triásico-Cretácico)

Esta secuencia sedimentaria incluye lutitas, areniscas y conglomerados, que reflejan ambientes de sedimentación marinos y continentales. Aunque no están directamente mineralizadas, estas rocas han sido deformadas por la tectónica andina, lo cual facilita la circulación de fluidos hidrotermales en ciertas áreas de fractura. Las rocas mesozoicas forman la parte superior de la columna estratigráfica y proporcionan un marco estructural que influye en los patrones de fracturamiento y cizalla en las zonas de contacto con las intrusiones (INGEMMET, 2004).

Batolito de Pataz (Jurásico-Triásico)

El Batolito de Pataz es una intrusión de gran importancia geológica y metalogénica, compuesta principalmente por granito, tonalita y granodiorita. Esta unidad intrusiva corta las rocas sedimentarias y metamórficas paleozoicas y mesozoicas, generando alteraciones hidrotermales en las zonas de contacto. Es en estas zonas donde se desarrolla la mineralización aurífera en vetas de cuarzo, que contiene oro y sulfuros como la pirita y la arsenopirita. Las estructuras de cizalla en los márgenes del batolito facilitan el tránsito de fluidos hidrotermales, creando un entorno propicio para la receptora de minerales valiosos (Haeberlin et al., 2004).

Unidades Volcánicas y Sedimentarias del Cenozoico

Estas unidades incluyen principalmente tobas, conglomerados, areniscas y brechas volcánicas. Las rocas volcánicas cenozoicas se encuentran en sectores elevados y en los rellenos de valles, representando una actividad volcánica y sedimentaria relativamente reciente. Aunque no están directamente

asociados a la mineralización aurífera, cubren parcialmente las áreas mineralizadas y son relevantes en la geomorfología actual de la región (Wilson y Reyes, 1964; INGEMMET, 2004).

2.2.7. Geología Económica.

Mineralización Aurífera La principal riqueza mineral de la región está representada por depósitos de oro, que se encuentran principalmente en vetas de cuarzo, asociados a sistemas de fracturas y cizallas. Estos depósitos se localizan en el Batolito de Pataz, en sus márgenes y contactos con formaciones metamórficas y sedimentarias, especialmente con la Formación Ambo y la Formación Tarma. La mineralización aurífera se concentra en vetas de cuarzo y, en menor medida, en depósitos aluviales. El oro se encuentra generalmente asociado con sulfuros como la pirita, arsenopirita y calcopirita, y es extraído principalmente mediante técnicas de minería subterránea en la región.

La geología económica de la Veta Milagros se caracteriza por su alta concentración de oro en un sistema de vetas de cuarzo, lo que la convierte en una de las estructuras más productivas de la mina. Esta veta presenta una orientación 315N y un buzamiento de 65° hacia el oeste, y su continuidad y extensión en profundidad la hacen favorable para la explotación subterránea.

El oro se presenta principalmente en forma de oro nativo y en asociación con sulfuros como arsenopirita, pirita y, en menor medida, calcopirita, que actúan como minerales portadores del metal precioso.

La alteración como la sericitización, cloritización y silicificación, indica un sistema de mineralización propicio, que contribuyó a la precipitación de oro y su concentración en la veta.

Tabla 1 Resumen de Recursos mineros

RECURSOS	TN	gr/TN	ONZAS
MEDIDO + INDICADO	3152.74	2.61	0.08
TOTAL	3152.74	2.61	0.08

Nota: Los recursos fueron estimado por el método clásico

Fuente: Consorcio Minero Horizonte

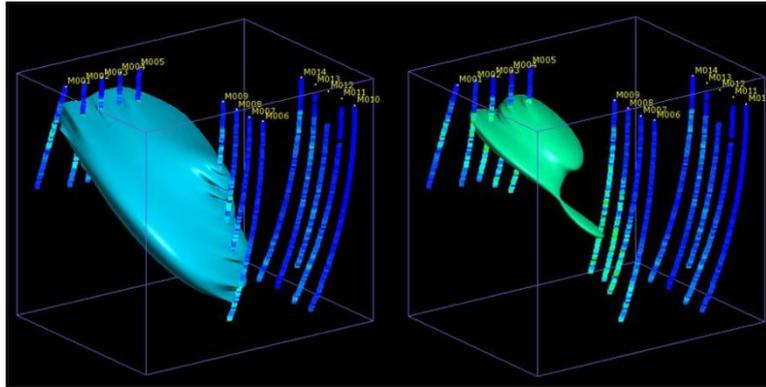
2.2.8. Modelamiento Geológico.

“Un modelo geológico 3D es una representación de los elementos o características geológicas de un lugar. Analiza la distribución espacial y temporal de variables geológicas, que a través de bases de datos alimentan el software que posteriormente crea el modelo. El propósito de esta representación espacial es identificar parámetros como tipo de roca, mineralización, alteración, estructuras o valores, entre otros. variables que deben estar sustentadas en un soporte geológico que explique la interacción, formación y ubicación del depósito. El resultado final es la agrupación de unidades geológicas o áreas espaciales y temporales según sus características”. (Muñoz, 2021).

2.2.9. Modelamiento Implícito.

Es la forma rápida y automatizada para generar modelos tridimensionales de estructuras geológicas, como vetas, alteraciones, fallas, litologías. A partir de datos geológicos interpolados se generan estos modelos; estos datos (canales mineros y sondajes) se interpolan a través de un algoritmo propio del Software Leapfrog Geo. (Seequent Leapfrog geo – página oficial).

Figura 4: Modelado geológico



Nota: Modelamiento geológico de vetas, con el uso de datos de sondajes – Leapfrog Geo

Fuente: Leapfrog Geo

2.2.10. Modelamiento explícito

“El modelado explícito es esencialmente similar a un proceso de dibujo de ingeniería. El modelador define estructuras geológicas como venas y fallas dibujándolas explícitamente en secciones espaciadas regularmente y uniéndolas. Los datos pueden restringir donde dibujan y las herramientas pueden acelerar el proceso, pero fundamentalmente es un proceso de dibujo. Sin embargo, la geología no viene en cuadros, triángulos, líneas rectas o incluso curvas Bezier sofisticadas, son simplemente formas de representar la geología

2.2.11. Ventajas.

El estudio de estos sólidos permite cubicar los volúmenes y determinar las reservas mineras. Las ventajas de los métodos explícitos son un control máximo, respeta los datos originales y se desarrolla en una metodología establecida.

2.2.12. Las desventajas.

Radican en la dificultad de repetir y actualizar, están basados en la interpretación del usuario y consume bastante tiempo” (M. Arancibia, 2019)

2.2.13. Estimación de recursos minerales

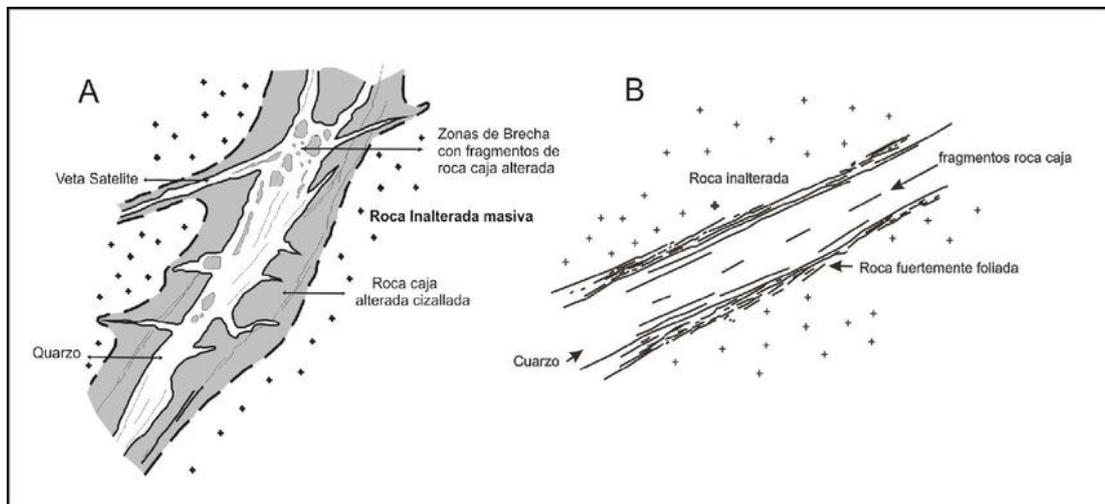
“La estimación de recursos minerales es una etapa indispensable en la factibilidad de un proyecto minero. Es en ella donde se realiza la descripción, el

estudio y la clasificación de los recursos contenidos dentro del potencial yacimiento a examinar. Es por ello que una buena metodología de análisis puede impactar en la viabilidad de un depósito” (Lara Melcher, Rafael Francisco, 2020).

2.2.14. Vetas Angostas.

Son estructuras rellenas en facturas o espacios abiertos donde el flujo magmático se ha transportado, estas pueden tener potencias desde los 0.25m hasta 2m. donde la mineralización puede ser muy favorable de acuerdo al tiempo que tuvo para su formación. (Valera, 1987)

Figura 5: Estilos de mineralización



Nota: (A) Estructura de cuarzo con zona de brechamiento – Estructura con roca caja cizallada (B)

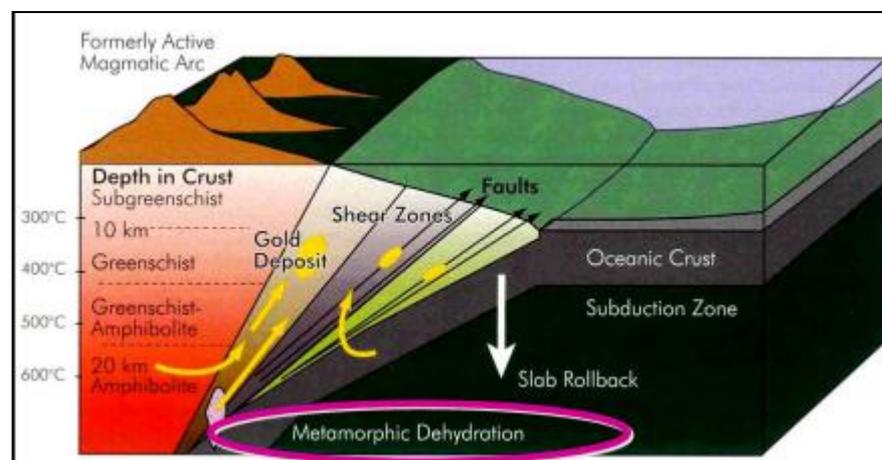
Fuente: Witt et al., 1998

2.2.15. Deposito Orogénico.

Groves et al., (1998) propusieron un modelo unificado de diferentes contextos de mineralización aurífera, teniendo en cuenta dos variables muy importantes como: el ambiente tectónico y la profundidad. Por consiguiente, se define que la mineralización se forma en contextos de extensión, en formación de arcos magmáticos y en contexto convergente de acreción de arcos los que son reagrupados bajo el nombre de “orogénico”.

Los yacimientos de geometría estrecha son todos aquellos depósitos donde una de sus dimensiones presenta una potencia mucho menor en comparación con otras, las cuales pueden tener extensiones de kilómetros mientras que sus espesores no superan un par de metros. Tipos de yacimiento de estas cualidades corresponden a las vetas polimetálicas, los cuales tienen una gran importancia tanto económica como ambiental (Emery y Séguret, 2020; Soto et al., 2022).

Figura 6: Formación de depósito orogénicos



Nota: Formación de depósito orogénicos, producto de movimiento de las placas tectónicas.

Fuente: Groves 1998

2.2.16. Mapeo Geológico

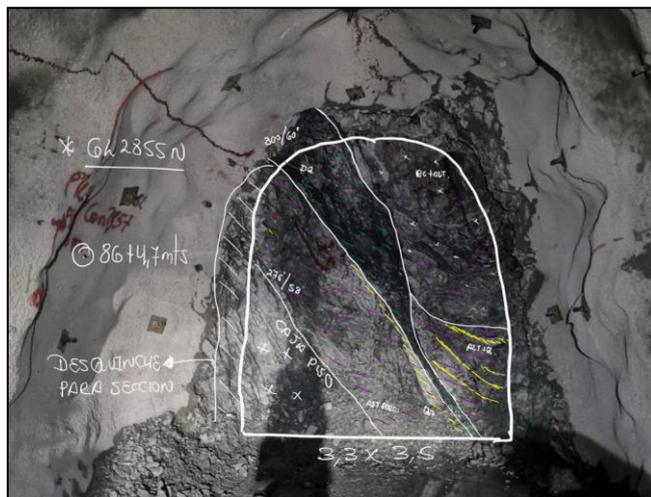
El mapeo geológico es la recopilación y representación de todos los elementos observables en el campo como: Fallas, Diaclasas, Veta, Venillas, Tipo de Litología, Etc. En un plano a diferente Escala de acuerdo al uso que es necesario, esto es de gran importancia para entender los eventos Geológicos ocurrido en el área de mapeo. (Muthoni 2010 – Barnes y Lisle 2004)

Figura 7 Mapeo de planta, NV 2215 veta Milagros



(Fuente: CMH)

Figura 8 Mapeo de frente, NV 2215 veta



Milagros (Fuente: CMH)

2.2.17. Muestreo por Canales (Muestreo Sistemático).

Consiste en la extracción de muestras por tramos en el frente de la Galería, los tamos tienen que delimitar por caja piso, estructura y caja techo. Alfaro (2002).

Figura 9 Muestreo por canales



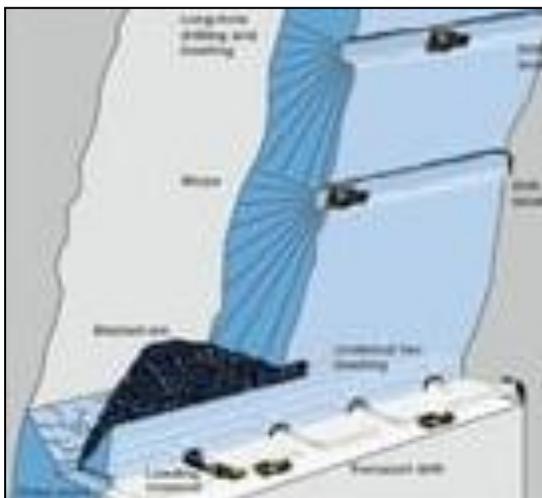
(Fuente: CMH)

2.2.18. Minado por Taladros Largos

Consiste en "dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo y consiste en extraer el mineral a partir de subniveles de explotación mediante disparos efectuados en planos verticales, con tiros paralelos, posteriormente". (Misari, 1998, p. 56).

Para crear una cara libre, este método incluye chimeneas VCR, transporte para evacuación del mineral arrancado y galerías de perforación (GP). La perforación se lleva a cabo mediante tiros largos radiales que van entre 8 y 15 m hacia arriba (positivos) y hacia abajo (negativos). Misari, 1998, página 57.

Figura 10 Método de taladros largos, el proceso de ciclo de minado



Fuente: Hustruid W., Bullock R. 2001

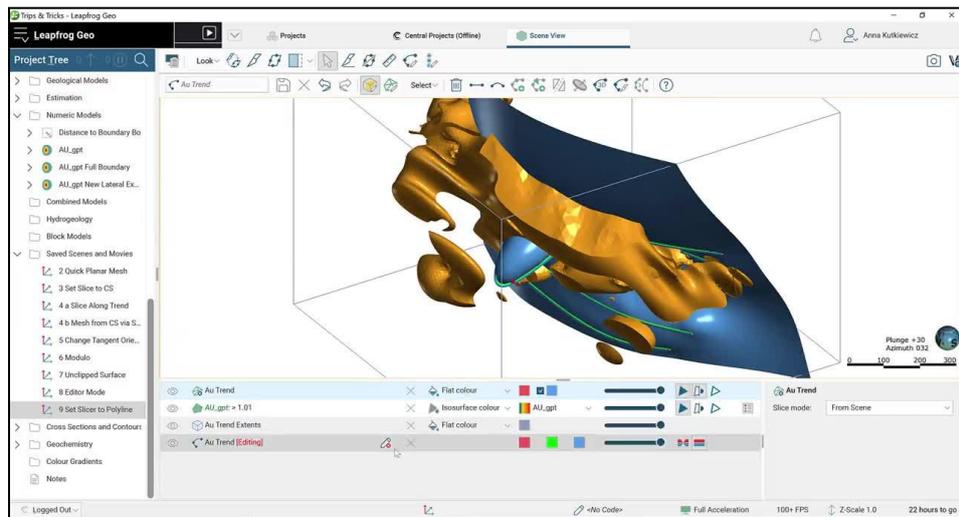
2.2.19. Leapfrog Geo

Leapfrog Geo (By Aranz Geo) es una herramienta ofimática ampliamente utilizada en geología, especialmente en el ámbito minero, ya que permite generar modelos geológicos tridimensionales implícitos basados en información de sondajes diamantinos que se interpolan a través de ecuaciones matemáticas que respetan reglas geológicas. Esto facilita la creación de varios escenarios geológicos y la determinación de tendencias geológicas y estructurales (Cowan et al., 2002).

Donde los procesos son intuitivos, el procesamiento de datos es rápido y las herramientas de visualización ayudan a las personas a trabajar en equipo y facilitan la toma de decisiones.

Este software, sirve para generar modelos tridimensionales de estructuras geológicas más rápidos con un nivel de confianza más certera (Seequent-Página Oficial)

Figura 11 Plataforma de software Leapfrog geo.

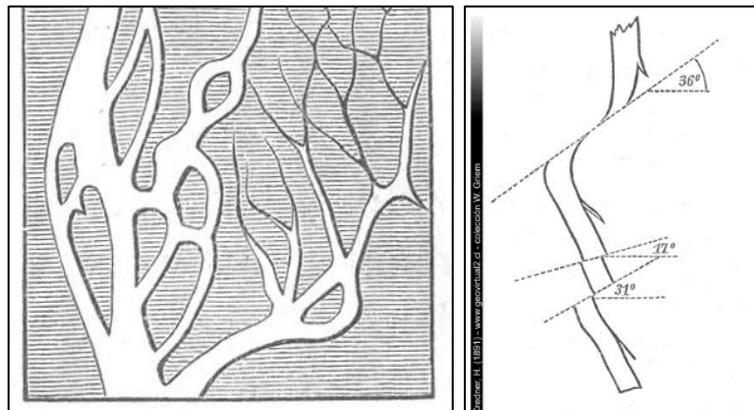


Fuente: Leapfrog Geo

2.2.20. Geometría de una veta

Es la geometría que adquiere la veta durante su proceso de formación de acuerdo a los parámetros de presión, temperatura, espacio y tiempo de deposición en el ambiente que se genera, la forma que puede adquirir es alargada, estrecha, elongada. Etc. (Greim 2007)

Figura 12 Forma geométrica en la cual se mineraliza la veta



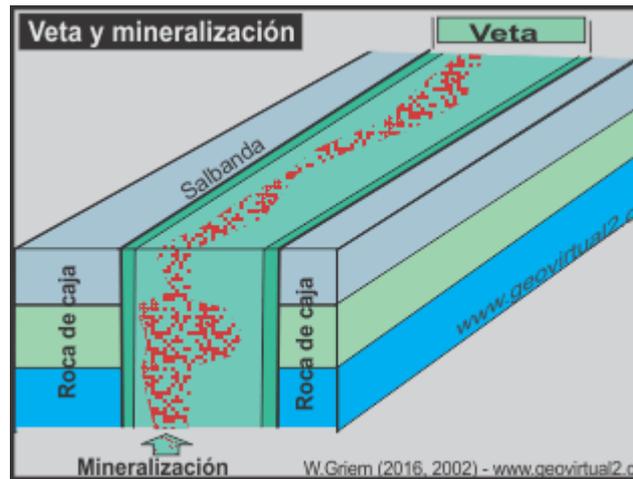
Fuente: Greim, 2007

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Veta

Son estructuras que su origen de formación son post-magmáticas, o en gran mayoría hidrotermal. Se cristalizan los minerales en una fase acuosa de acuerdo a un ambiente adecuado de temperatura y presión. (W. Griem, 2016).

Figura 13 Veta mineralizada

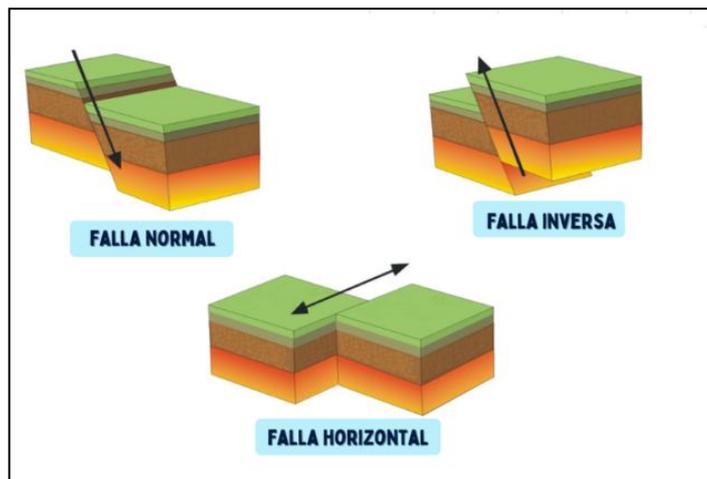


Fuente: Greim, 2016

2.3.2. Falla

Se presenta con el disloque o desplazamiento entre dos bloques producto de esfuerzos tectónicos, que al superar el límite de plasticidad se fracturan, estos ocasionan desplazamientos desde milímetros hasta kilómetros. Estas fallas se pueden clasificar en falla de rumbo, falla inversa y falla normal (Rivera, 2005)

Figura 14 Tipo de Falla



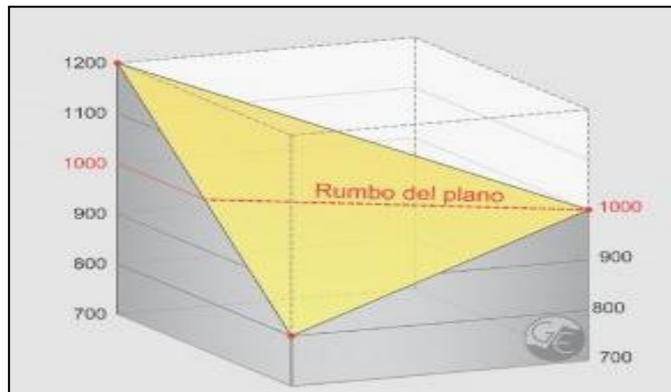
Nota: Tipos de falla a) Falla normal donde el techo desciende sobre piso; b) Falla inversa donde el techo asciende sobre el piso y c) Falla de rumbo o Horizontal donde el movimiento es dextral o sinixtral.

Fuente: Rivera,2005

2.3.3. Rumbo

El rumbo es ángulo horizontal formado con respecto al norte que forma la línea de intersección del estrato con el plano horizontal imaginario, que se mide con una brújula (Heiningen, 2009)

Figura 15 Rumbo



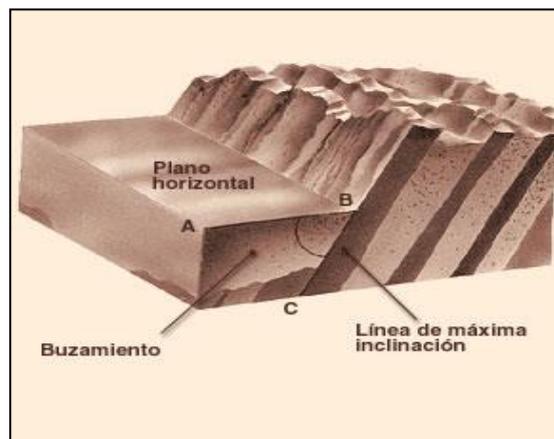
Nota Gráfico donde se observa que el rumbo es el ángulo horizontal formado con respecto al norte magnético.

Fuente: Heiningen, 2009

2.3.4. Buzamiento

También conocido como inclinación máxima, es el ángulo que forma el estrato con la horizontal, medido perpendicularmente al rumbo, este ángulo es de 0-90° (Heiningen, 2009).

Figura 16 Buzamiento



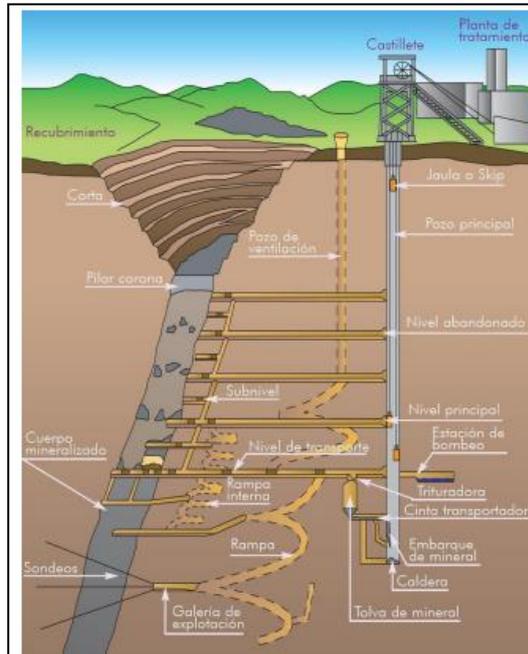
Nota: Es el ángulo vertical 0-90° formado con respecto al rumbo.

Fuente: Heiningen, 2009

2.3.5. Nivel (Nv)

Se denomina Nivel en minería subterránea al desarrollo de labores subterráneas en una sola cota vertical con referencia al nivel del mar, en minera CMH existe varios niveles de exploración como son el nivel más bajo Nivel 1565 y más alto es el Nivel 3000.

Figura 17 Nivel labor principal



Nota: Nivel, labor principal que sirve como acceso a las labores mineras.

Fuente: CAM, 2007

2.3.6. Tajo (TJ).

Los Tajos en minería subterránea se les denomina a las zonas de explotación de mineral, es decir a las zonas preparadas por labores como chimeneas y subniveles en las cuales se va a extraer una cierta cantidad de mineral con diferentes métodos de minado, por ejemplo, en minera CMH se usa corte y relleno ascendente y Taladros Largos.

2.3.7. Sondajes Diamantinos.

El principio de la perforación diamantina se basa en la erosión o el desgaste de las formaciones geológicas o rocas por fricción, como efecto

inmediato de la rotación y presión de empuje a la que es sometida la broca o corona diamantada contra la roca.

La perforación diamantina (perforación con el uso de diamantes) es uno de los métodos de sondaje más usados por excelencia en la actividad minera, debido a la mayor información que es capaz de brindar a los ingenieros geólogos para el descubrimiento, constatación, estudio y cubicación de los yacimientos minerales; proporcionándoles además valiosa información para el ulterior diseño del sistema de explotación a aplicar.

(Meléndez, 2001).

Figura 18 Muestras de sondaje diamantino

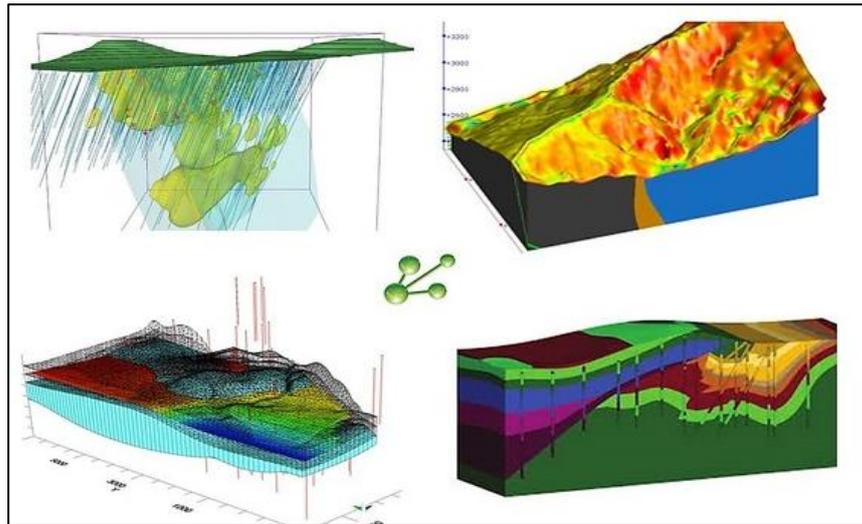


Fuente: CMH

2.3.8. Software

Son todos los dispositivos como ordenadores, Tablet's o móviles. Son indispensables para uso, esto contiene aplicaciones y programas diseñados para ejecutar acciones y funciones concretas dentro del sistema, de esta manera procesa la información (Pérez y Gardey, 2021)

Figura 19 Uso de Leapfrog Geo



Uso de Software (Fuente: Leapfrog geo)

(Fuente: CMH)

2.3.9. Georreferenciación.

La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. (ArcGIS)

2.3.10. Muestra

Es la representación de una población que es elegida mediante un procedimiento de muestreo, esta muestra tiene que ser homogénea, representativa y libre de contaminación. (Ávila, Carlos y Carpio, 2019).

Figura 20 Muestras



Muestra extraída de Nv 2215
GI3360.

Fuente: CMH

2.3.11. Muestreo

Es el procedimiento de recopilar la muestra in situ bajo las técnicas adecuadas que se emplea, esto va depender de acuerdo al tipo de yacimiento y el método de muestreo. Su importancia repercute en la toma de decisiones que se toma en cualquier etapa de un proyecto minero (Exploración, Explotación o Cierre de mina). (M. Alfaro 2002)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Mediante el modelamiento geológico implícito es posible lograr una geometría óptima en 3D de la veta Milagros que repercute en una adecuada estimación de recursos minerales y un minado eficiente en el tajo 3360N, aplicando el software Leapfrog Geo.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- **Hipótesis (a).**

La aplicación del modelamiento implícito con el software Leapfrog Geo permitirá una representación más precisa de la geometría en 3D de la veta Milagros, lo que a su vez mejorará significativamente la estimación de recursos minerales en comparación con métodos tradicionales.

- **Hipótesis (b).**

La falta de un modelo 3D preciso en la geometría de la veta Milagros conduce a una subestimación o sobreestimación significativa de los recursos minerales, lo que puede tener implicaciones económicas y de planificación importantes en la mina.

- **Hipótesis (c).**

Las principales limitaciones y desafíos en la representación geológica de la veta Milagros se deben a la complejidad geológica y la falta de datos precisos, pero la creación de un modelo 3D

detallado puede superar estas limitaciones al proporcionar una información más clara y precisa de la geometría de la veta.

- **Hipótesis (d).**

La integración de un modelo 3D geológico con los parámetros geológicos permitirá una estimación más precisa de los recursos minerales en la veta Milagros, al tener en cuenta las variaciones en la geometría y las características geológicas de la veta, lo que conducirá a una mejor toma de decisiones en la planificación minera.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

Modelamiento geológico mediante el método implícito

2.5.2. Variable independiente

Optimización de la geometría de la Veta Milagros

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

Tabla 2 Definición y Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Operacionalización	Dimensión	Indicadores
a. Variable dependiente Modelamiento geológico mediante el método implícito asistido con software Leapfrog Geo	Es la formación rápida y automatizada de sólidos geométricos en tres dimensiones articulando parámetros como superficies, ley, fallas y alteraciones generadas directamente a partir de los datos geológicos, mediante un software especializado.	<ul style="list-style-type: none"> - Recolección de data (base de datos) - Creación de proyecto - Importación de datos - Validación de data - Modelamiento implícito - Obtención de modelo geométrico en 3D 	Volumen	m3
b. Variable independiente Optimización de la geometría de la Veta Milagros	Consiste en lograr el modelo geométrico óptimo en 3D de la estructura mineralizada que permita una mejor estimación de recursos minerales	<ul style="list-style-type: none"> - Se optimiza el tiempo en el procesamiento de la información - La precisión de los resultados es más confiable. - Procesamiento de la información - Interacción de parámetros geométricos con parámetros geológicos - Obtención de modelo geométrico de la veta en 3D 	Volumen Tiempo Precisión	m3 Horas

Nota: esta tabla muestra cómo se operacionalizan las variables dependiente e independiente

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación aplicada se utiliza para abordar problemas prácticos y mejorar la eficacia de los procesos y tecnologías existentes en una amplia variedad de campos, como la medicina, la ingeniería, la educación, la psicología, la sociología y muchos más (José Padrón, 2006)

En este caso la investigación se entra en la aplicación práctica del conocimiento para resolver problemas concretos o mejorar procesos existentes en el modelamiento de estructuras mineralizadas con la finalidad de mejorar la estimación del recurso mineral de la veta Milagros.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación hace referencia a la profundidad o complejidad con la que se realiza la investigación, así como el alcance de sus objetivos. Los niveles indican en qué fase se encuentra el conocimiento y su aplicación en un área particular (José Padrón, 2006).

En ese sentido la presente investigación corresponde a un nivel predictivo debido a que este trabajo busca optimizar el modelamiento de la veta

Milagros y a partir de ello predecir la estimación de recursos minerales mediante la aplicación del Leapfrog Geo.

3.3. Métodos de investigación

El presente estudio corresponde al método científico cuantitativo, por cuanto recoge datos numéricos que permiten medir y analizar patrones. (Castellanos, 2017)

3.4. Diseño de investigación

Un diseño cuasiexperimental es un tipo de diseño de investigación que se utiliza cuando no es posible asignar a los participantes de manera aleatoria a diferentes grupos o condiciones experimentales. A diferencia de los diseños experimentales verdaderos, en los cuales los participantes son asignados aleatoriamente a los grupos (lo que ayuda a controlar variables confusas), en los cuasiexperimentales no se realiza necesariamente esa asignación aleatoria (Gilberto de Abreu, 2023).

En esa medida, la presente investigación tuvo un diseño de investigación cuasi experimental ya que el grupo de control si bien no es un sujeto bien establecido en la medida que corresponde a una estimación de reservas por el método clásico sujeta a errores, sin embargo, sirve para en alguna medida comparar los resultados del presente trabajo.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población.

Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación (Pineda et al. 1994). En ese sentido, para la presente investigación se tuvo como referencia de población de estudio el recurso mineral inferido de la estructura mineralizada denominado como veta Milagros.

3.5.2. Muestra.

Es un sub conjunto o parte de la población en que se llevará a cabo una investigación, la muestra es una parte representativa de la población (Pineda et al. 1994). En ese sentido se tuvo como muestra el recurso mineral medido de la veta denominado Milagros el cual ha sido sujeto de modelamiento.

3.6. Técnicas e instrumento recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos por observación cuantitativa.

Con las técnicas de investigación cuantitativa observacionales, los investigadores pueden recolectar información cuantificable La recolección de datos a través de la observación cuantitativa permite que los investigadores se enfoquen en cuantificar un comportamiento específicos de interés (question pro. técnicas-de-investigación-cuantitativa. Recuperado 14 de enero, 2025 de <https://www.questionpro.com/blog/es/tecnicas-de-investigacion-cuantitativa/>).

En ese sentido, para la presente investigación por las características de la información a procesar se utilizó la técnica de la observación cuantitativa.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

- **Anotaciones en formatos electrónicos.**

La recolección de datos obtenidos de mapeos geológicos (tipo de roca, alteraciones, fallas, mineralogía, otros) se ha efectuado en planos topográficos base; así mismo los datos obtenidos de muestreo sistemático de la veta Milagros por el método de canales han sido recolectados en formatos electrónicos para su posterior procesamiento.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Para este caso, tanto la validez y fiabilidad de los instrumentos de investigación se respaldan en el software LEAPFROG GEO cuya validez y fiabilidad es respaldada por todas las empresas del sector minero a nivel

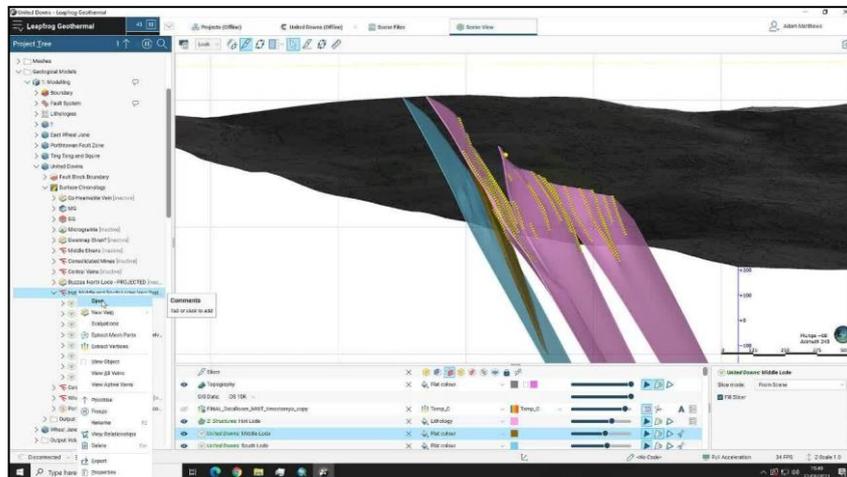
nacional e internacional que utilizan este software principalmente para el modelamiento de estructuras mineralizadas de un determinado yacimiento mineral, pero, también para la estimación de recursos y reservas minerales.

La validación del modelo geométrico correspondió al geólogo modelador de la empresa y geólogo de mina que cuentan con muchos años de experiencia en elaboración de modelos geométricos de yacimientos utilizando el software LEAPFROG GEO.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos se realizó mediante la técnica del modelamiento implícito, que consiste en generar sólidos geométricos tridimensionales a través del software Leapfrog geo en este caso un modelo geométrico de la veta Milagros.

Figura 21 Interfaz de modelamiento



Fuente: Leapfrog geo

Describiendo el proceso:

PASO 1: Importación de datos

La importación de datos consiste en llevar toda la información de sondajes y canales mineros al software Leapfrog geo, esto nos sirve para visualizar espacialmente en 3D y posterior para dar uso al modelamiento.

PASO 2: Validación de datos

La validación de datos, es el procedimiento que realiza el propio software con la aprobación del geólogo de modelamiento de los posibles errores que pudiera tener los datos al momento de digitalarlos. Para esto se revisa, se analiza los datos y si tuviera algún error se corrige.

PASO 3: Georreferenciación de mapeos

Se procede a llevar los mapeos y secciones transversales al software a través de sus coordenadas propios de los planos, para dar forma al modelamiento.

PASO 4: Análisis de modelamiento

Una vez que se tiene toda la información tanto de canales, sondajes e interpretación del geólogo de mina, se procede al modelamiento.

PASO 5: Modelamiento implícito.

Se realiza el modelamiento implícito con los canales y sondajes, una vez que el software procese los datos se da soporte con las secciones, También influye la experiencia del modelador para procesar toda la información.

PASO 6: Validación del modelo geométrico.

Este paso en la etapa final ya que en coordinación con el geólogo de mina y el modelador se define si el modelo geométrico en 3D de la veta es consiste y tiene todas las características observadas en interior mina.

3.9. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico y geoestadístico de la información se realizó mediante el atributo estadístico y geoestadístico que tiene incorporado el software LEAPFROG GEO.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Según Ludgarda Apaza Tapia (2016) “la ética y epistemología en la investigación científica es una necesidad básica y fundamental para la ciencia

debido a su dimensión filosófica. La ética es una disciplina teórica de la filosofía que estudia los principios que regulan el comportamiento y la conducta del ser humano, y la epistemología estudia los procesos y resultados de la investigación científica, ambas son consideradas como observadores de la construcción de la ciencia, es decir la validez o invalidez de la investigación. La posición de la ética en la investigación es un requisito que señala el cumplimiento de la rigurosidad, honestidad, formalización y análisis del campo de estudio. Esto significa que los científicos deben cumplir con la responsabilidad, y objetividad de las consultas teóricas para la obtención de los resultados. Y la posición de la epistemología es ver la coherencia lógica de los procesos y resultados de la investigación”.

En ese sentido la presente investigación se ha realizado teniendo en cuenta los créditos de los autores mencionados en esta investigación referenciándolos convenientemente así mismo cuidando en todo momento el cumplimiento estricto del proceso metodológico que corresponde a un trabajo de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El presente trabajo de investigación se realizó en la estructura mineralizada denominada veta Milagros que forma parte del yacimiento mineral de Consorcio Minero Horizonte S.A. ubicado en el flanco occidental de la cordillera oriental de los Andes del norte peruano. Es un yacimiento orogénico meso termal que presenta vetas de cuarzo con pirita aurífera emplazados en el batolito de Pataz – Buldibuyo. Desde el punto de vista metalogénico pertenece a la franja metalogénica II de depósitos orogénicos de Au – Pb – Zn – Cu del Carbonífero – Pérmico donde las estructuras mineralizadas presentan geometría de vetas y mantos ubicados en zonas de cizalla NO – SE.

Una vez determinada la muestra en este caso la veta Milagros, se procedió a al mapeo geológico de la estructura en la zona que corresponde a recurso mineral medido en dos niveles, un tramo de 95 en el nivel inferior y un tramo de 90 metros en el nivel superior así mismo luego se procedió al muestreo sistemático de la estructura tanto en el nivel inferior como en el nivel superior tratándose de un muestreo sistemático por canales con un espaciamiento de dos metros entre canal y canal.

Una vez realizado el muestreo y obtenido el resultado de ellos se procedió a su tratamiento estadístico y geoestadístico correspondiente y procesado mediante el software Leapfrog Geo

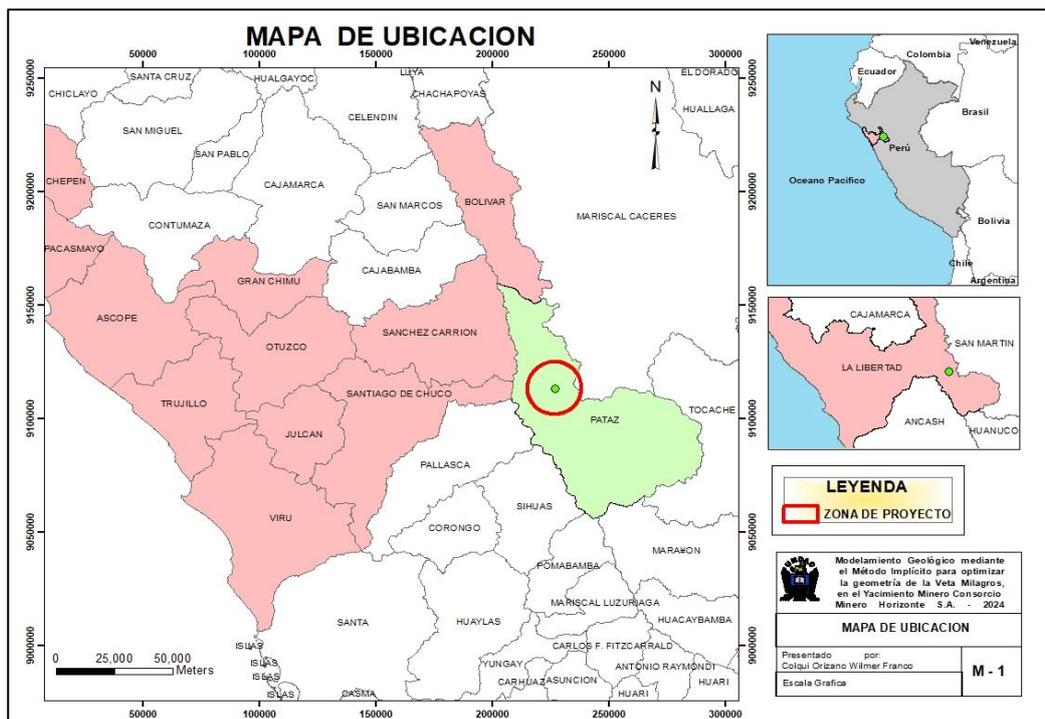
4.1.1. Ubicación del proyecto

Ubicación Geográfica

El presente proyecto se encuentra ubicado en las coordenadas UTM (WGS 84-Zona 18 Sur):

- Este: 227050 metros.
- Norte: 9113068 metros.
- Altitud: 2900 msnm.

Figura 22 Mapa de Ubicación

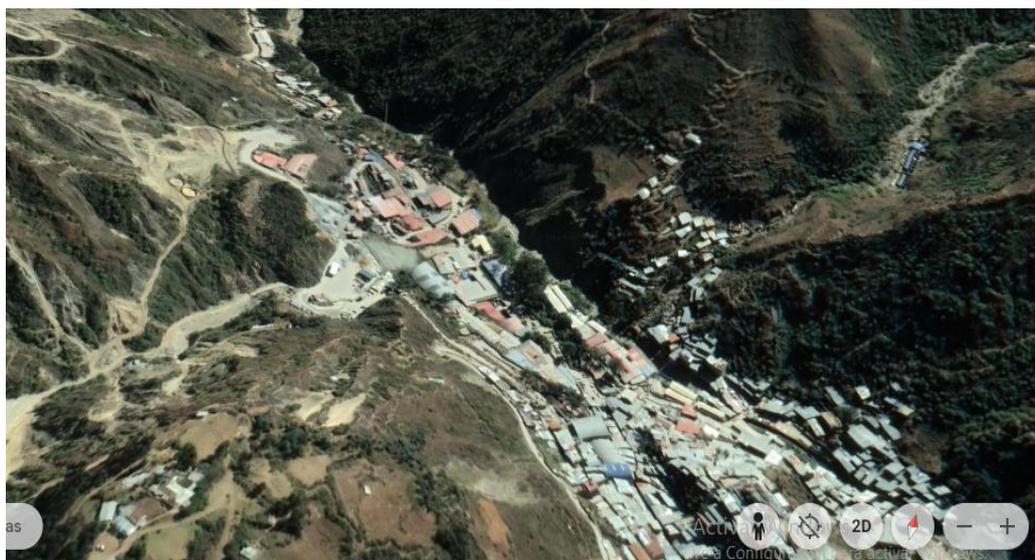


Fuente: Elaboración propia.

Ubicación Geopolítica

- Por el Norte Distrito de Bolívar
- Por el Sur Distrito de Maraón
- Por el Este Distrito Mariscal Cáceres
- Por el Oeste Distrito de Santiago de Chuco

Figura 23 Vista satelital del área de investigación



Nota. Tomado de Google Earth.

Fuente: Google Earth.

4.1.2. Vías de acceso

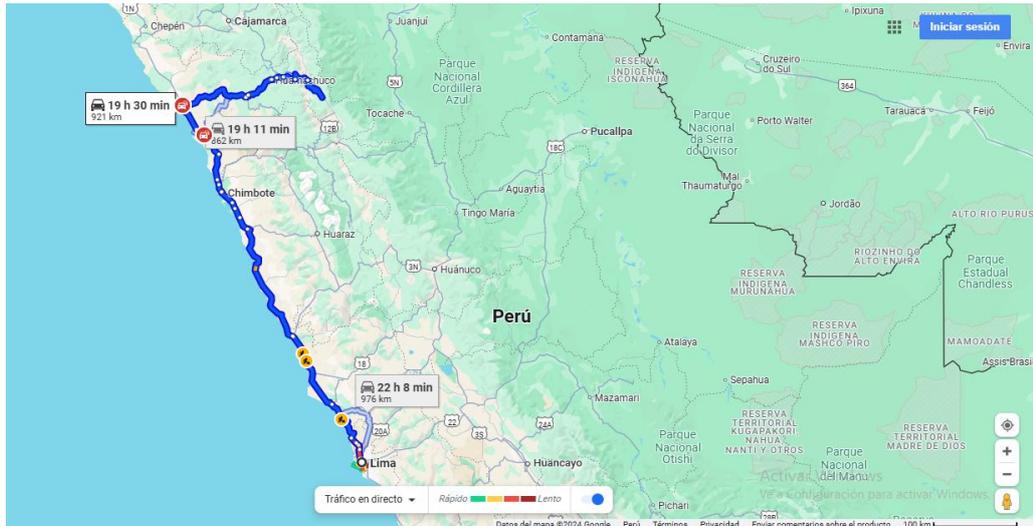
Terrestre:

El acceso al área de investigación, suele ser desde Lima por vía terrestre, para ello se debe seguir la siguiente ruta: Lima -Trujillo- Huamachuco – Retamas. por un estimado de 19 hrs y 11 min a través de 921 km aproximadamente.

Aéreo:

El acceso al área de investigación, suele ser desde Lima por vía aérea se debe seguir de Lima - Aeródromo Pias (retamas)-Unidad Consorcio Minero Horizonte(bus). Por un estimado de 2 hrs y 15 min.

Figura 24 Acceso a la zona de estudio vía terrestre



Nota. Tomado de Google Maps-recorrido.

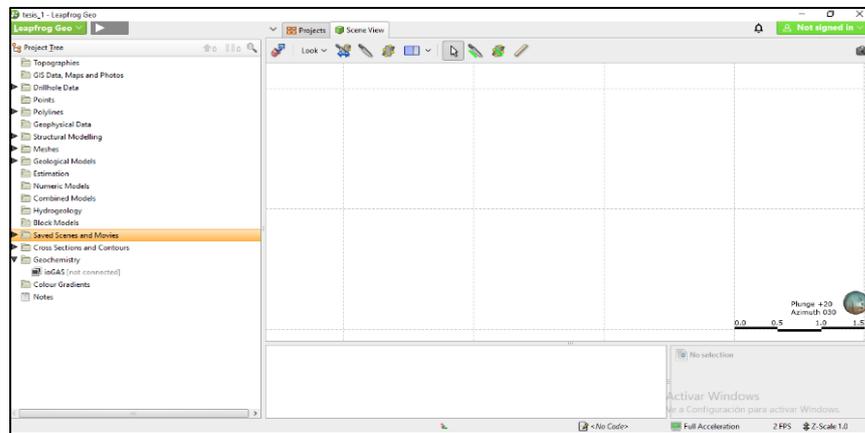
Fuente: Google Maps

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

- Creación de proyecto y descripción del entorno de Leapfrog.

Se crea el proyecto con un nombre: Proyecto “Proyecto 1”

Figura 25 Interfaz de inicio de creación de proyecto 1

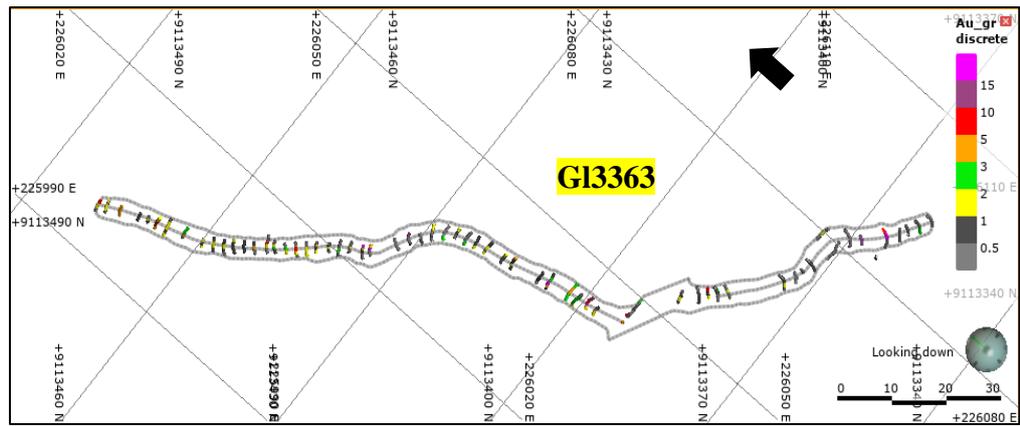


Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Presentación de los datos jpg.

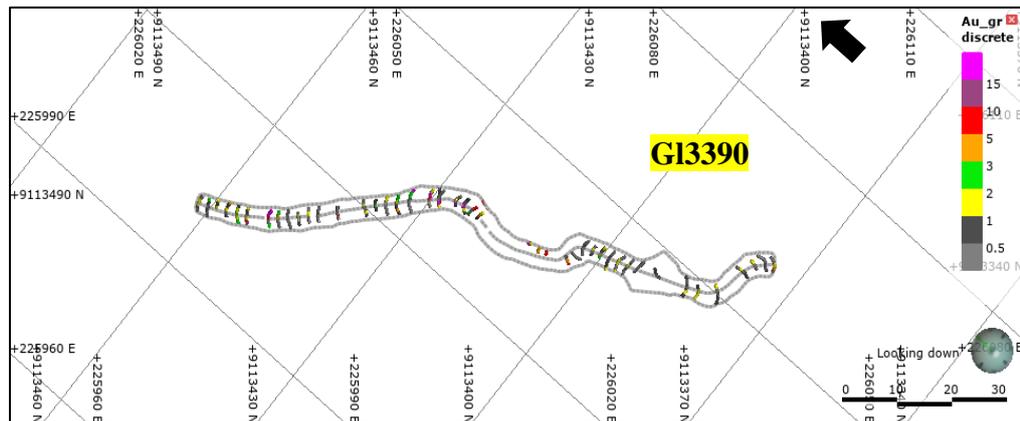
Se importa las muestras de los canales del nivel inferior y superior.

Figura 26 Muestras de canales de la GI3363



Fuente: Elaboración propia

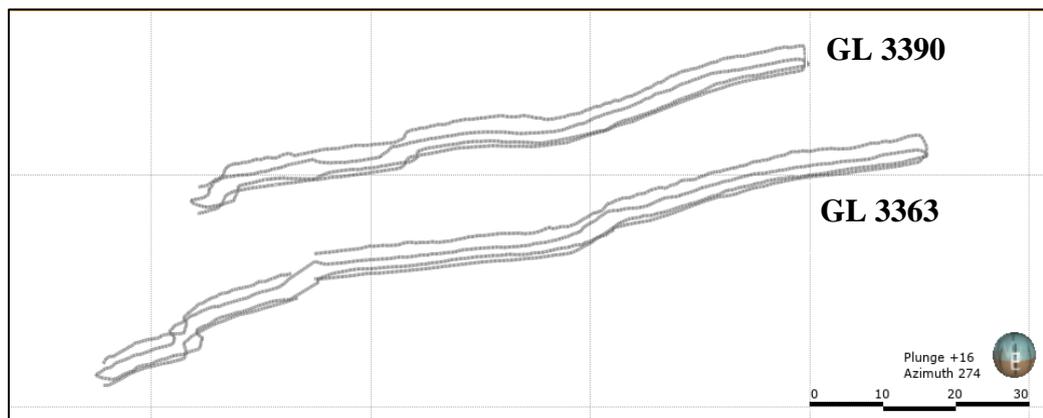
Figura 27 Muestras e canales de la GI3390



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Presentación de Topografía de labores y mapa geológico.

Figura 28 Topografía de la GL3363 y GI3390



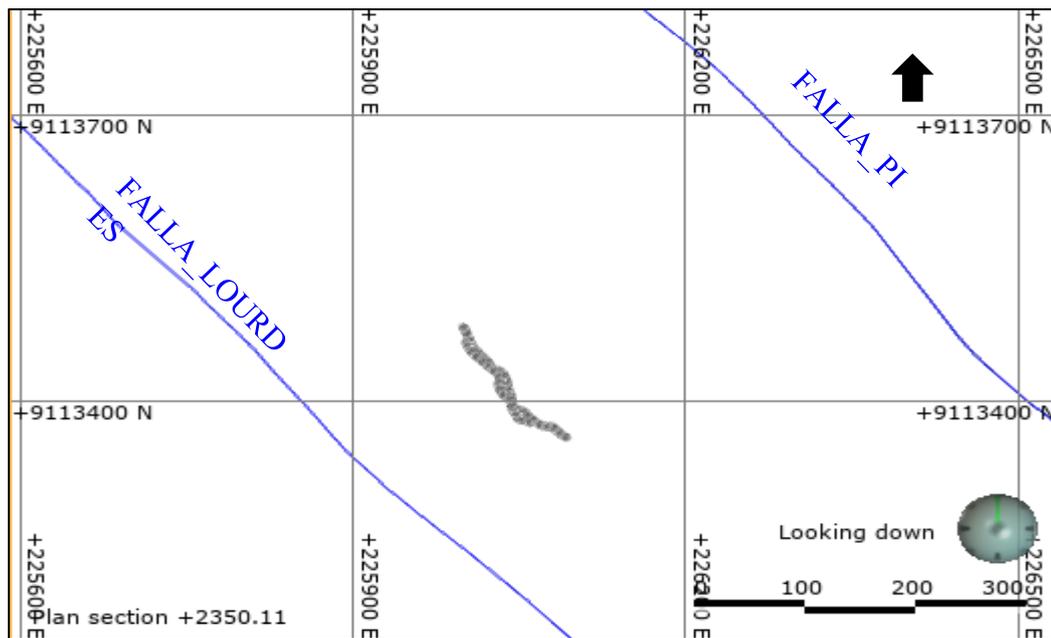
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3 Data Estructural

FALLA_PI		FALLA_LOURDES	
dip	azimuth	dip	azimuth
72	210.96	65	39
68	212.28	65	38
69	210.58	65	40
		65	35

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 31 Fallas Lourdes y Falla Pi



Fuente: Elaboración Propia.

- **Presentación de la data de muestreo (base de datos)**

Durante el proceso de avance en los niveles se realizó el muestro de 50 muestras que son la guía para conocer el valor económico de la veta, estas muestras se usan en el proceso de modelamiento implícito.

La técnica de muestreo que se aplica es de forma sistemática, cada muestra se realiza después de cada disparo de voladura del frente de la GL3361 y GL3360.

La información de los canales se almacena en tres tablas. Cada table tiene información como se detalla.

Collar: Holeid, Este, Norte, Elevación y Length.

Survey: Azimut, Dip y Length.

Assays: From, To, Potencia y Ley_au. (Revisar Anexo 3)

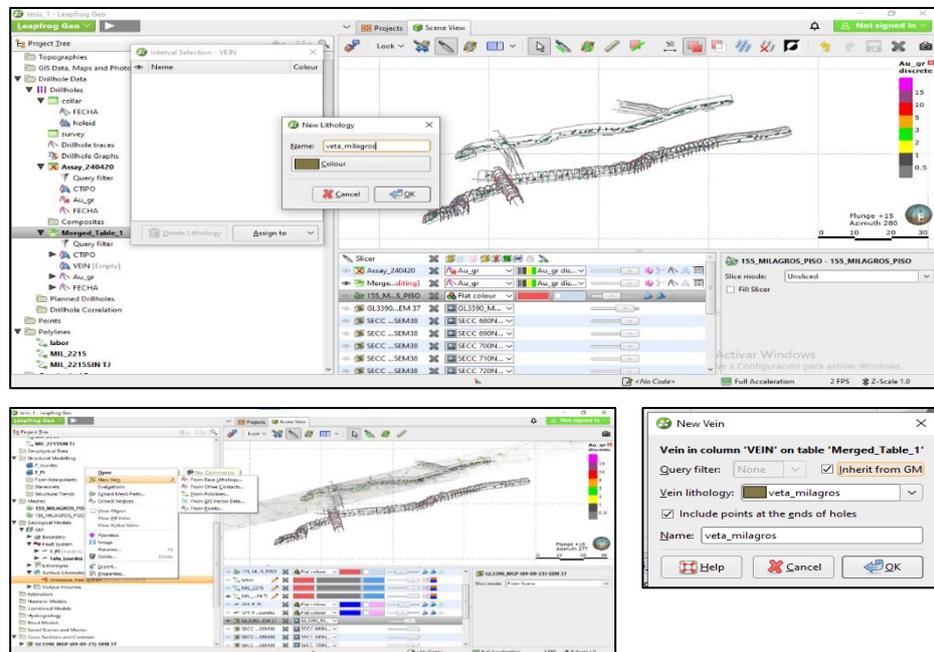
4.2.3. Modelamiento Geológico en 3D

El modelamiento de la veta milagros se realiza usando el método implícito como soporte se tiene los 2 mapeos de nivel y las 8 secciones, el objetivo es representar la geometría de la veta teniendo como soporte el Software, método de modelamiento, información geológica y los canales mineros.

Se importa la Base de Datos en el Leapfrog Geo, se genera la tabla "Merged Table" para la selección de las muestras, se da el nombre como veta Milagros. Se Modela como Vein System para lo cual se extiende la veta a un margen de interpretación.

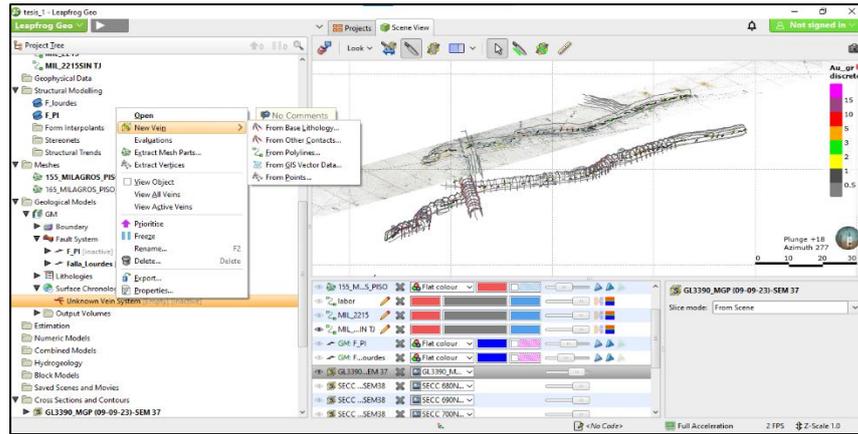
Para mejorar la representatividad de la geometría de la veta se usa los puntos de apoyo en las inflexiones de la veta.

Figura 32 Modelamiento Veta Milagros



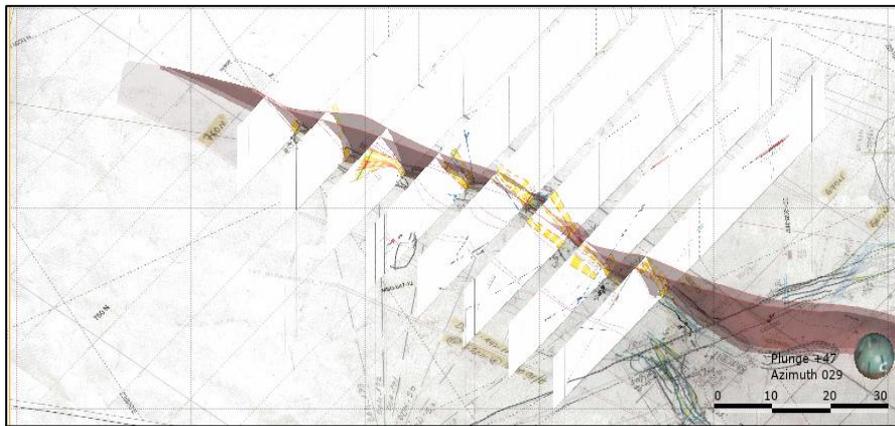
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 33 Creación de la veta milagros



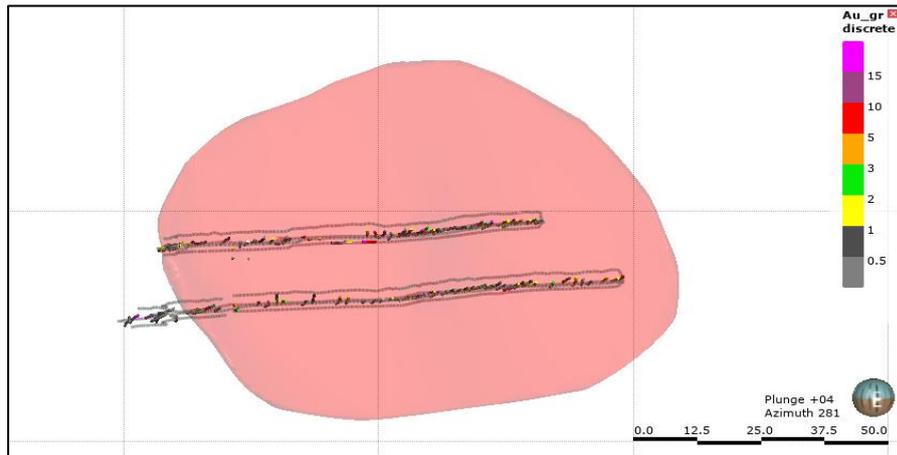
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 34 Ajuste de la veta con los mapeos y secciones



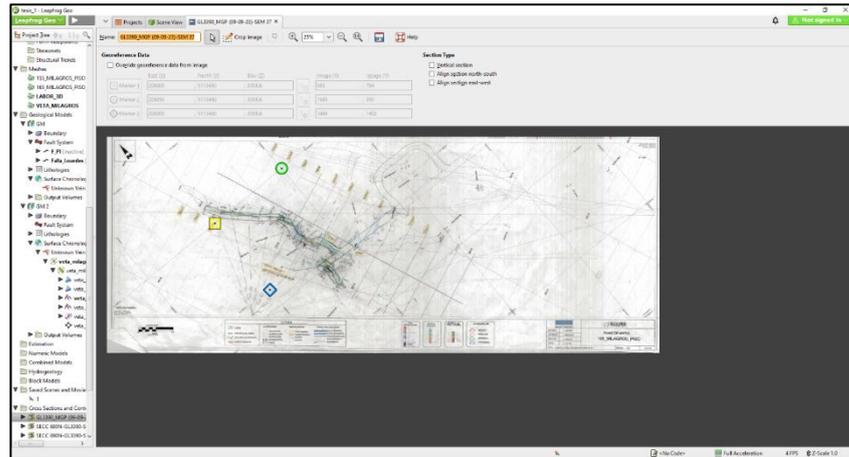
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35 Visualización en vista longitudinal de la veta Milagros



Fuente: Elaboración Propia.

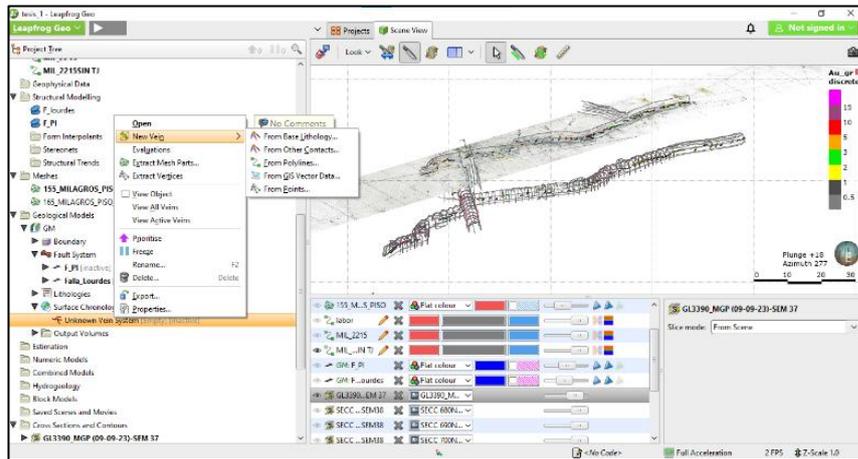
Figura 36 Digitalización de contactos a partir de secciones JPG



Nota: Georreferenciar los mapeos

Fuente: Elaboración Propia

Figura 37 Visualización de lo mapeos georreferenciados



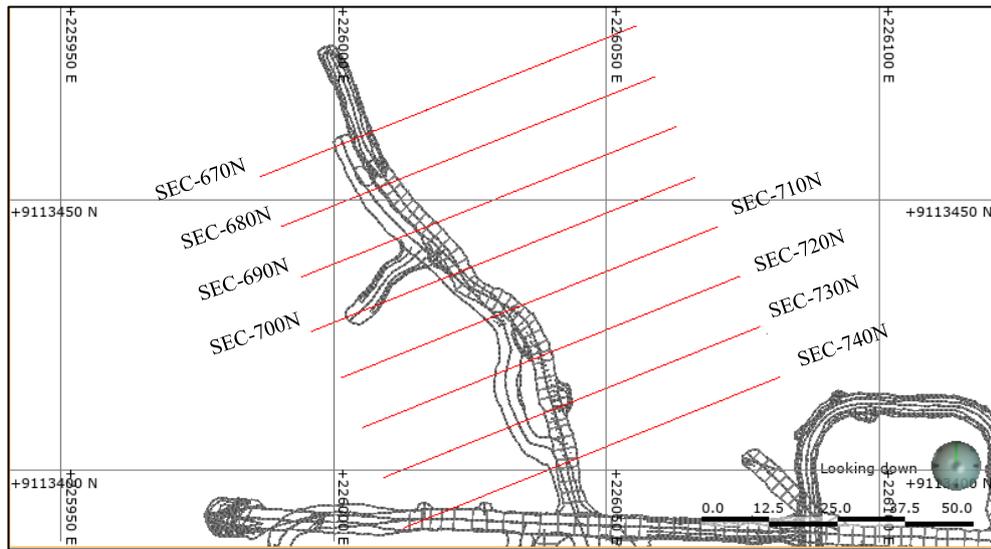
Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Secciones y vistas en Leapfrog.

Se realiza 8 Secciones Sistemáticas, para lo cual se tiene las líneas de sección como guía para las secciones, las líneas están espaciadas cada 10m.

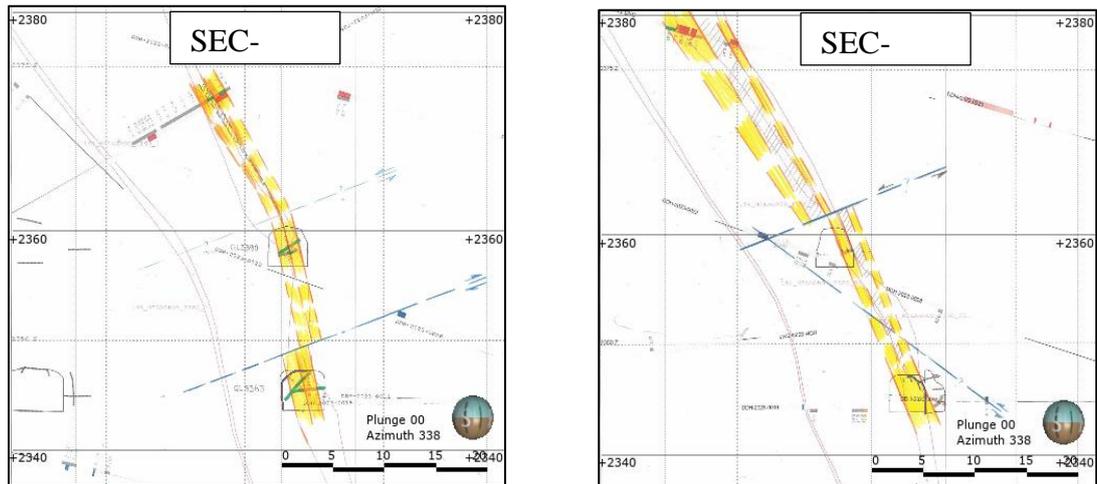
Las secciones se escanean en formato JPG para realizar el proceso georreferenciación donde, las secciones tienen puntos de control donde están de dan la información de las coordenadas y la cota; este proceso lo realizamos en el Leapfrog geo convirtiendo en el formato TIFF donde ya se utilizamos para mejorar la geometría de la veta, donde es importante la guía del buzamiento.

Figura 38 Vista en planta con los ejes de secciones



Fuente: Elaboración Propia.

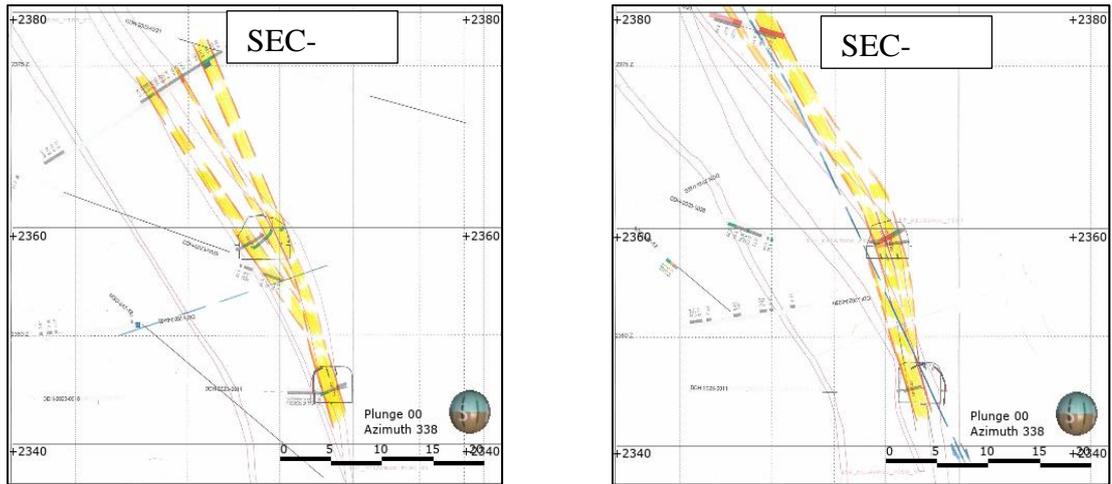
Figura 39 Secciones interpretadas 670-680N



Las secciones 670N Y 680N, donde se el buzamiento de veta es de 72° , de potencia promedio de 1.5m.

Fuente: Elaboración Propia.

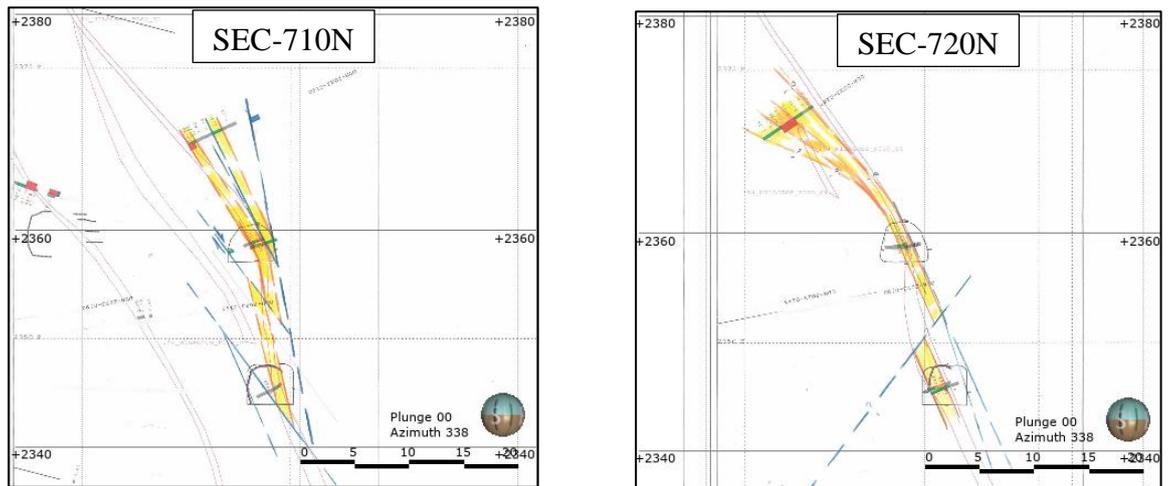
Figura 40 Secciones interpretadas 690-700N



Las secciones 690N Y 700N, donde se mantiene buzamiento de veta es de 72°, con unos venilleos al piso de la veta.

Fuente: Elaboración Propia.

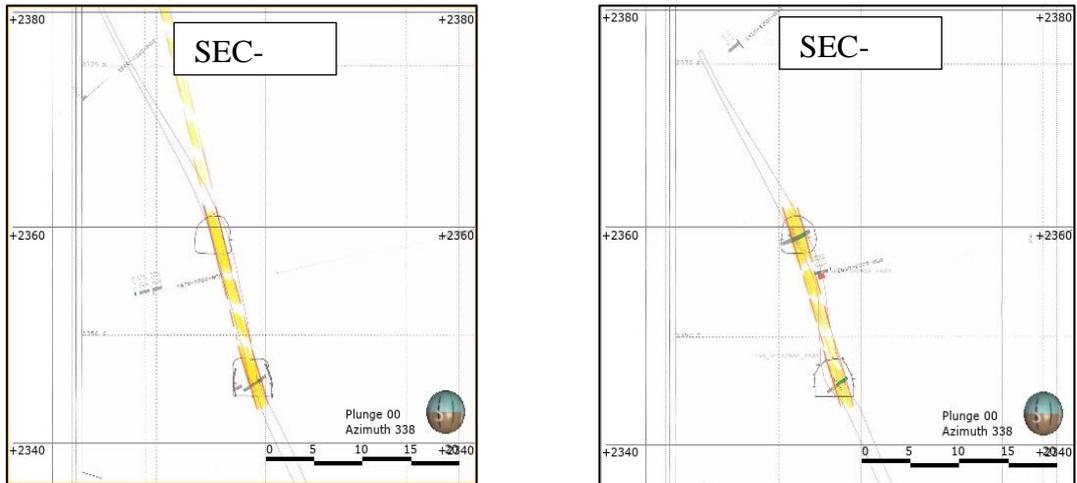
Figura 41 Secciones interpretadas 710-720N



Las secciones 710N Y 720N, donde el buzamiento se verticaliza con buzamientos de entre 75 a 80° con presencia de falla al techo de la veta.

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 42 Secciones interpretadas 730-740N

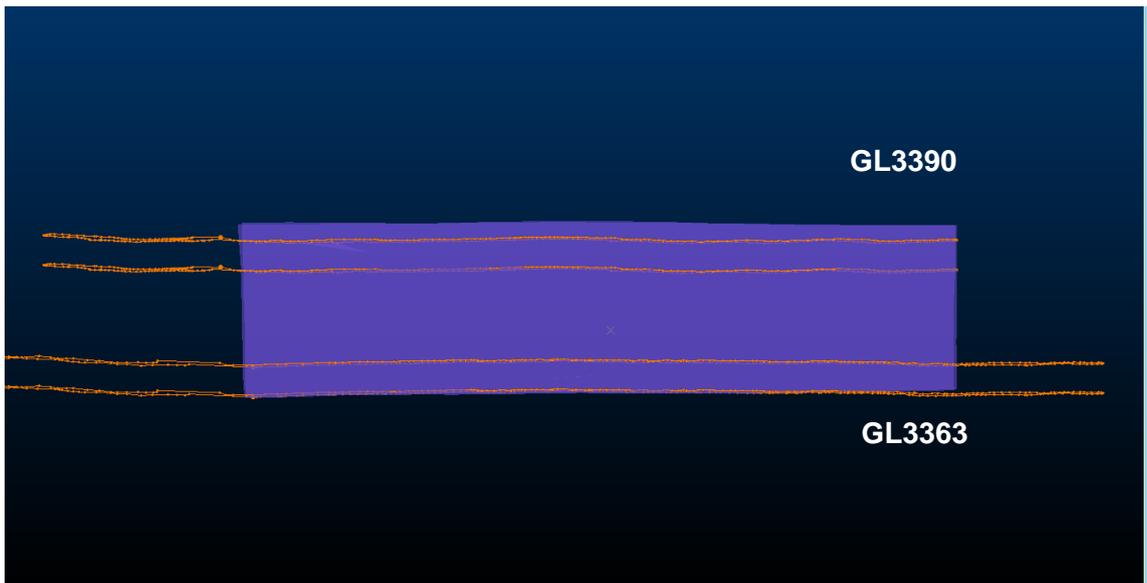


Las secciones 730N Y 740N, la veta inflexióna manteniendo su buzamiento de 72°

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5. Modelo explícito

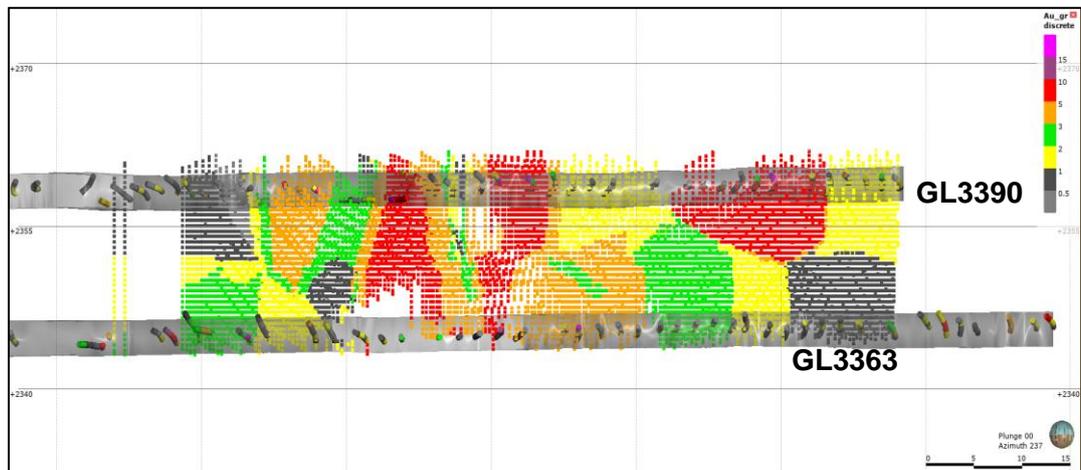
Figura 43 Vista longitudinal de la veta Milagros.



Fuente: Elaboración Propia.

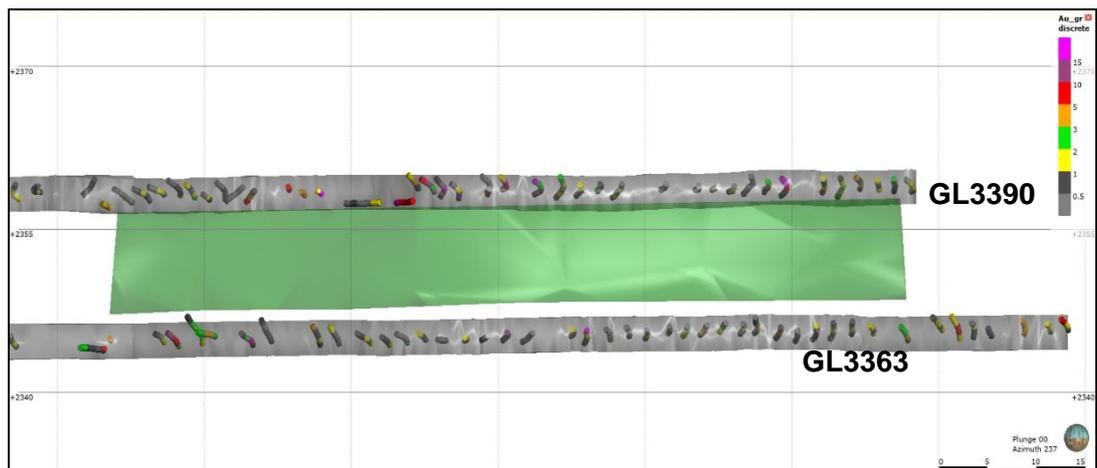
4.2.6. Interpolaciones y estimaciones en Leapfrog.

Figura 44 Método Kriging Ordinario



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45 Método Tradicional



Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Prueba de hipótesis

Del contraste de resultados se puede demostrar que:

En el método tradicional (explícito), las potencias se uniformizan al ancho mínimo de explotación ocasionando que sectores donde la veta es angosta la dilución es fuerte siendo que por ejemplo para una potencia de 0.20 m y un ancho de explotación de 1.63 m establecido por el método tradicional la dilución alcanza hasta un 87% lo que no ocurre en el método implícito ya que la construcción de un modelo geométrico más real permite identificar zonas de

baja potencia que si debido a los parámetros de explotación no resultan rentables se descarta logrando mejor control tanto de las leyes así como mayor precisión en la estimación de los recursos y reservas minerales, el manejo de la información aplicando el método implícito se logran prácticamente al instante lo que tomaría varios días con el método tradicional dificultando una toma de decisiones oportuna. Acá la geometría de la estructura mineralizada toma notoria importancia en los resultados.

Según el método tradicional teniendo en cuenta una potencia uniforme de 1.63 m se logra estimar 3152.74 Tn de recursos minerales medidos y aplicando el método implícito se logra estimar 3561.24 Tn, no obstante haber logrado un mayor tonelaje con el método implícito la importancia radica en la exactitud del resultado como producto de una mejor definición del modelo geométrico ya que incluso pudo haberse estimado una cantidad menor de recursos aplicando el método implícito. Acá nuevamente el modelado geométrico más preciso permite que los resultados nos sean muy influenciados por la dilución, es decir, que el método tradicional entrega un resultado donde la cantidad de mineral no es real debido a que muchos sectores corresponden a material estéril incorporados en el cálculo de reservas.

El diseño de minado deja de ser selectivo en cuanto se uniformizan la potencia y las leyes porque en el método tradicional se utiliza un promedio de potencia e igualmente un promedio de leyes para un determinado bloque, en cambio con el método implícito el diseño de minado se puede sectorizar fácilmente ya que el software permite interactuar diferentes parámetros de explotación (Leyes, potencia, cut off, litología, distancia, otros) para lograr un modelado geométrico más exacto y determinar un mejor diseño de minado más rentable.

Según el reporte, por el método tradicional se tiene 3,152 Tn con una ley promedio de 2.61g/t y aplicando el método implícito se obtiene 3,561Tn con

una ley promedio de 2.95 g/t lo que a simple vista permite observar que los resultados han mejorado sin embargo, es posible que debido a la variabilidad de la distribución de la mineralización en la estructura mineralizada aspecto que no es tomado en cuenta en las estimación por el método tradicional muchos sectores no cumplirán con los resultados teóricos es decir que muchos tramos de la veta presentarán leyes menores a lo previsto e incluso habrán zonas o tramos estériles lo que no ocurre con en método implícito debido a que con este método se puede sectorizar zonas con mineralización económica en función a la variabilidad de la distribución de la mineralización en la estructura pero además producto del kriging utilizando parámetros de explotación.

Todos estos argumentos permiten establecer la valides de la hipótesis es decir que mediante el modelamiento geológico implícito es posible lograr una geometría óptima en 3D de la veta Milagros que repercute en una adecuada estimación de recursos minerales y un minado eficiente en el tajo 3360N, aplicando el software Leapfrog Geo.

El Software nos proporciona a determinar y sectorizar las zonas de mineral por encima del cutoff que son económicamente rentable para su explotación, garantizando al método de explotación su selectividad con la geometría en 3D de la veta Milagros para los diseños de minado.

4.4. Discusión de resultados

En este estudio, se ha validado la efectividad del uso del método de modelado implícito a través del software Leapfrog Geo para la caracterización geológica de la veta Milagros. Este enfoque ha permitido optimizar la geometría de la veta utilizando exclusivamente los datos provenientes de los canales de muestreo, proporcionando una representación más precisa y confiable de las estructuras geológicas. El modelado implícito ha demostrado ser particularmente eficaz en la integración de datos puntuales de perforación, lo que ha permitido generar modelos tridimensionales que reflejan con mayor

exactitud la distribución espacial de las mineralizaciones. Una de las principales ventajas del método implícito es su capacidad para ajustar el modelo geológico a los datos de muestreo, lo que permite una interpretación más robusta de las características y dimensiones de la veta. Este proceso no solo mejora la precisión del modelado, sino que también permite incorporar la variabilidad e incertidumbre inherentes en la geología del depósito. Así, la representación obtenida es más fiel a la realidad geológica, lo que resulta crucial para la toma de decisiones en la planificación de la explotación minera. El uso de datos provenientes exclusivamente de los canales de muestreo ha demostrado ser óptimo para optimizar la geometría de la veta Milagros. Si bien los canales de muestreo ofrecen una cobertura espacial limitada, el modelado implícito permite extrapolar la información obtenida de los puntos de muestreo, generando una representación continua y tridimensional de las vetas mineralizadas. Este enfoque ha mostrado resultados satisfactorios al generar modelos precisos a partir de una base de datos relativamente pequeña, lo cual es ventajoso en yacimientos donde la cantidad de datos disponibles puede ser limitada. Asimismo, la actualización dinámica del modelo geológico es otro aspecto clave que ha facilitado la integración eficiente de nuevos datos de muestreo a medida que se generan. La capacidad del software Leapfrog Geo para actualizar el modelo de manera continua y automatizada durante las fases de muestreo y perforación ha permitido ajustar el modelo en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones más rápidas y ajustadas a las condiciones cambiantes del yacimiento.

En términos de procesamiento de datos, el uso del método implícito ha optimizado significativamente el tiempo requerido para generar modelos geológicos detallados. La rapidez en el procesamiento de los datos de muestreo ha permitido realizar iteraciones frecuentes y ajustar el modelo a medida que se obtienen nuevos resultados, reduciendo el tiempo total de modelado y

aumentando la eficiencia operativa en comparación con métodos más convencionales.

CONCLUSIONES

1. Se ha logrado aplicar el modelamiento implícito con software especializado y se ha podido representar la geometría óptima en 3D de la veta Milagros mejorando la estimación de recursos minerales.
2. La falta de un modelo 3D preciso en la geometría de la veta Milagros ha demostrado que tiene un impacto negativo ya que en el método tradicional se obtiene 3,151 tn con una ley promedio de 2.61 g/t y aplicando el método implícito se obtiene 3,561 tn con una ley promedio de 2.95 g/t.
3. Se ha podido establecer que un modelamiento explícito clásico tiene muchas limitaciones a la hora de estimar con precisión y confiabilidad la cantidad de reservas, ya que no incorpora las características geológicas al momento de modelar la geometría de la veta Milagros
4. El cálculo de reservas indica un incremento del AB% en tonelaje y un AB% en leyes lo que demuestra que un modelado óptimo de la geometría de la veta mejora la estimación de recursos minerales mediante la integración de un modelo 3D geológico con los parámetros geológicos.
5. El uso del software Leapfrog Geo permite dar el soporte al identificar y sectorizar las zonas de mineral económicamente viables, aquellas que superan el cutoff. Esto asegura que el proceso de extracción sea selectivo y eficiente, aprovechando al máximo la geometría en 3D de la veta Milagros para los diseños de minado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el método implícito con el software Leapfrog Geo para el procesamiento de gran cantidad de datos y manejo de información geológica debido a su capacidad para modelar de manera eficiente. Leapfrog Geo ofrece una visualización avanzada que facilita la interpretación y toma de decisiones en proyectos geológicos complejos, mejorando la precisión y confiabilidad de los modelos, lo que resulta fundamental para optimizar la planificación minera.
- Este método es recomendable porque la operación minera a menudo requiere actualizaciones dinámicas y rápidas para tomar decisiones inmediatas durante el proceso de explotación. La capacidad de ajustar y modificar los datos en tiempo real permite a los que podemos modelar de manera ágil a las condiciones cambiantes del yacimiento, optimizando.
- Para este método es importante la validación del geólogo de campo ya que es la persona que ha visto en campo el comportamiento de la veta.
- Es fundamental realizar copias de seguridad del proyecto en Leapfrog Geo antes de actualizar la base de datos, ya que, en caso de que ocurra algún error durante el proceso, no será posible recuperar el modelo sin una copia de seguridad previa. De esta manera, se garantiza la integridad y disponibilidad del proyecto, evitando pérdidas de datos importantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro Sinronvalle, M. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- Arias, F. (2006). *Introducción a la Técnica de Investigación en ciencias de la Administración y del Comportamiento*, 3ª. ed., Ed. Trillas, México
- BARNES, J., LISLE, R. (2004). *Basic Geological Mapping, fourth edition. The Geological Field Guide Series*. John Wiley & Sons Ltd.
- Castellanos, L. (2017, March 2). *Técnica de Observación. Metodología de La Investigación*.
- Cueva. (2021). *Modelamiento geológico y cálculo de reservas de minerales de la Veta Lucerito – Mina Nueva Esperanza Nivel 2 – Algamarca Cajabamba* [Tesis].
- Duque. (2021). *Modelo geológico estructural de la mineralización vetiforme en la mina El gran Porvenir del Líbano, usando LEAPFROG GEO*.
- F. Soto, F. Navarro, G. Díaz, X. Emery, A. Parviainen, A. Egaña. (2022). *Modelamiento geoestadístico de depósitos de relaves: una aproximación con kriging transitivo*. In: Nelis, G., Campos, E., Askari-Nasab, H., Mery, N., Estay, R., Wong, L., Delonca, A., Suzuki, K., Jélvez, E. (eds.) *Proceedings of the 8th International Conference on Geology and Mine Planning*. Gecamin Ltda, Santiago.
- Greim, W. (2005-2020). *Museo Virtual de la Región de Atacama. Copiapó, Chile*: <http://www.geovirtual2.cl/>
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998, *Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types*. *Ore Geology Reviews*. [https://doi.org/10.1016/s0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/s0169-1368(97)00012-7).
- Hernández Ávila CE, Carpio N. *Introducción a los tipos de muestreo*. *Revista ALERTA*. 2019; 2(1): 75-79. DOI: 10.5377/alerta.v2i1.7535
- Heiningen, M. V. (2009). *espeleogenesis. blogspot*. Recuperado el 15 de enero de 2017, de espeleogenesis. blogspot: <http://espeleogenesis.blogspot.com/>

- Hustrulid, William A Y Bullock, Richard L (2001) *Underground Mining Methods*. 1a ed. Littleton, Colo. SME:
- K. Sanchez, X. Emery, S. Séguret. (2020). "5D geostatistics for directional variables : application in geotechnics to the simulation of the linear discontinuity frequency", in Journées de Géostatistique, Fontainebleau, France, septiembre 2019.
- Luciano, Matías, Gerardo, & Sebastián. (2014). *Reconstrucción de la geología de Sector Dumbo, Mina Guanaco (CHILE) mediante el modelo tridimensional con LEAPFROG GEO*.
- Machuca. (2016). *Implementación del modelamiento en 3D y estimación de los recursos con métodos geoestadísticos Mina Chipmo U.E.A. Orcopampa – CMB SAA* [Tesis].
- Meléndez Ramos, Cesar. (1988). *La perforación diamantina en la minería*
- Misari, Santiago, PERUBAR. (1998). *Uso de taladros largos y Drop raising*.
- Moreni. (2021). *Geología y Modelamiento del sector de Carmen Este, División Radomiro Tomic, región de Antofagasta, CHILE* [Tesis].
- MUTHONI, L. (2010). *Geological Field Mapping. Presented at Short Course V on Exploration for Geothermal Resources-Kenya*, Oct. 29-Nov. 19.
- Noroña Muñoz, E. M. (2020). *Moreni. (2021). Geología y modelamiento del sector de Carmen Este, División Radomiro Tomic, región de Antofagasta, CHILE* [Tesis].
- Pérez, J., y Gardey, A. (2021). Definición de software. <https://definicion.de/software/>
- Quecedo, R., y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*..
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología general* (2.^a ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rojas Soriano, R. (2013). *Guía para realizar investigaciones sociales*.
www.raulrojassoriano.com
- Terán. (2021). *Evaluación de recurso de minerales del proyecto Carhucayan – Junín - PERÚ* [Tesis].

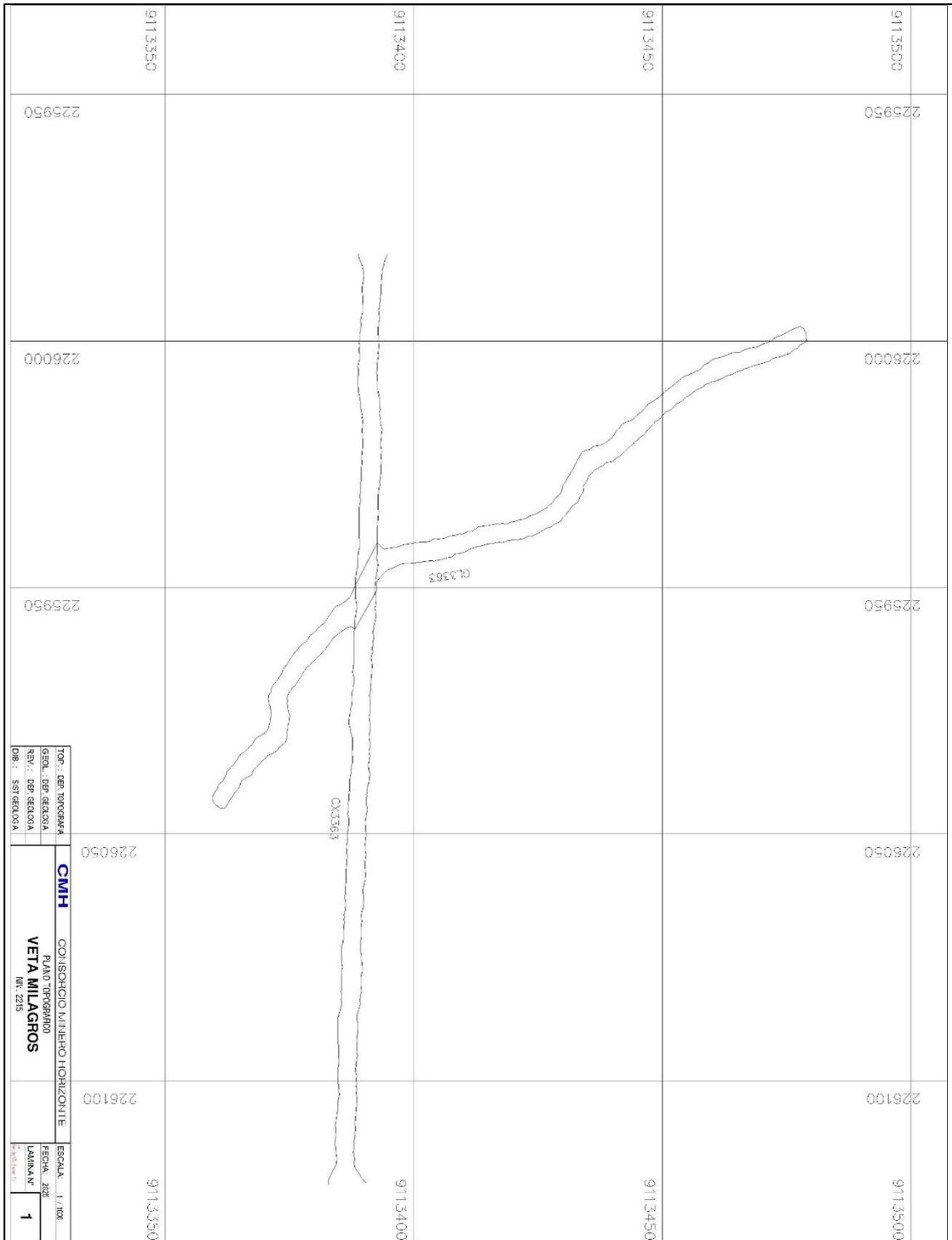
Valera. (1987). *Geología de los Depósitos de Minerales Metálicos* (1.^a ed.).

Witt, W.K., and Vanderhor F. (1998). *Diversity within a unified model for Archaean gold mineralization in the Yilgarn Craton of Western Australia: An overview of the lateorogenic, structurally-controlled gold deposits*. Ore Geology Reviews.

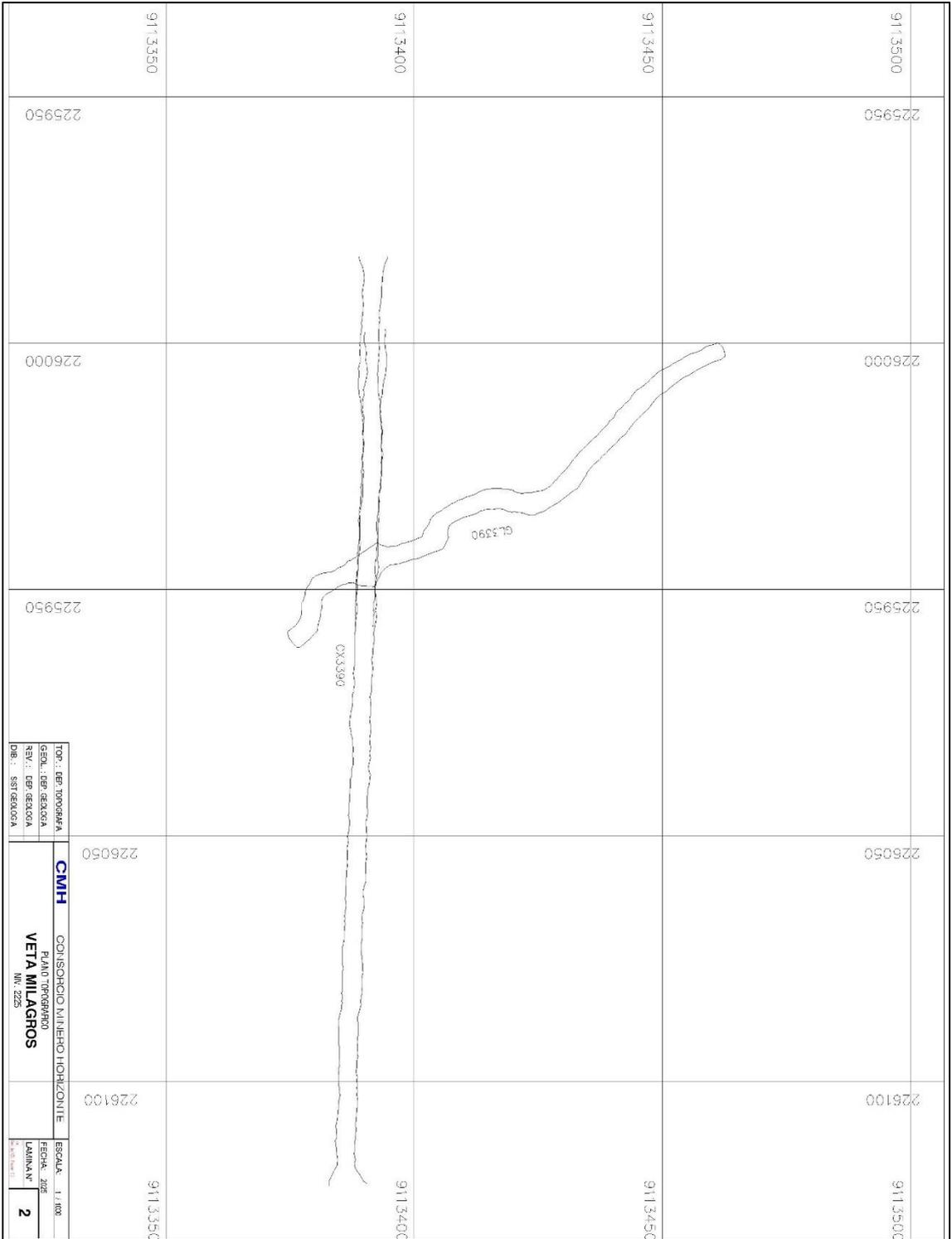
ANEXOS

Instrumentos de Recolección de datos.

ANEXO 1: Plano GL3363



ANEXO 2: Plano GL3390



ANEXO 3: Datos de muestreo

HOLEID	FROM	TO	Au_gr	TIPO	LABOR	VDES	VETA
MN539600		0	0.25	0.41 CANAL	RP3390	HD	PI
MN539600		0.25	0.77	0.31 CANAL	RP3390	HD	CE
MN539600		0.77	1.26	0.12 CANAL	RP3390	HD	TE
MN539603		0	0.71	0.11 CANAL	RP3390	PI	CAJA
MN539603		0.71	1.03	0.16 CANAL	RP3390	CE	FALLA
MN539603		1.03	1.66	0.13 CANAL	RP3390	TE	CAJA
MN540222		0	0.6	0.17 CANAL	RP3390	N*HD	VT
MN540223		0	0.4	0.05 CANAL	RP3390	N*HI	PI
MN540223		0.4	0.9	0.05 CANAL	RP3390	N*HI	TE
MN540801		0	1	0.57 CANAL	RP3390	N*PI	ALT
MN540801		1	1.6	0.61 CANAL	RP3390	N*CE	VTQZ
MN540801		1.6	2.6	0.51 CANAL	RP3390	N*TE	ALT
MN540846		0	0.77	1.12 CANAL	RP3390	N*PI	ALT
MN540846		0.77	1.44	1.04 CANAL	RP3390	N*CE	VTQZ
MN540846		1.44	2.11	0.29 CANAL	RP3390	N*TE	ALT
MN540849		0	0.71	0.05 CANAL	RP3390	N*HI	PI
MN540849		0.71	1.26	0.05 CANAL	RP3390	N*HI	TE
MN540880		0	0.56	1.09 CANAL	RP3390	HD	PI
MN540880		0.56	0.99	3.76 CANAL	RP3390	HD	CE
MN540880		0.99	1.39	1.16 CANAL	RP3390	HD	TE
MN540883		0	0.69	0.7 CANAL	RP3390	HI	PI
MN540883		0.69	1.3	18.82 CANAL	RP3390	HI	CE1
MN540883		1.3	1.75	3.99 CANAL	RP3390	HI	CE2
MN540883		1.75	2.11	2.77 CANAL	RP3390	HI	TE
MN540905		0	0.7	0.57 CANAL	RP3390	N*HD	PI
MN540905		0.7	1.36	0.22 CANAL	RP3390	N*HD	CE
MN540905		1.36	1.92	0.2 CANAL	RP3390	N*HD	TE
MN540908		0	0.82	0.22 CANAL	RP3390	N*HI	PI
MN540908		0.82	1.36	0.22 CANAL	RP3390	N*HI	CE
MN540908		1.36	1.99	0.17 CANAL	RP3390	N*HI	TE
MN541382		0	0.61	1.22 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN541382		0.61	1.3	0.92 CANAL	GL3390	CE1	ALT
MN541382		1.3	1.91	0.52 CANAL	GL3390	CE2	ALT
MN541382		1.91	2.39	0.72 CANAL	GL3390	CE3	DISS
MN541382		2.39	2.88	0.84 CANAL	GL3390	CE4	VTQZ
MN541382		2.88	3.89	0.38 CANAL	GL3390	TE	ALT
MN541512		0	0.57	2.23 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN541512		0.57	1.16	1.15 CANAL	GL3390	CE1	VTLLEO
MN541512		1.16	1.66	0.4 CANAL	GL3390	CE2	CABALLO
MN541512		1.66	2.04	0.66 CANAL	GL3390	CE3	VT
MN541512		2.04	2.57	1.8 CANAL	GL3390	TE	ALT
MN541576		0	0.9	0.94 CANAL	GL3390	N*PI	CAJA
MN541576		0.9	1.48	1.35 CANAL	GL3390	N*CE	ALT
MN541576		1.48	1.99	0.21 CANAL	GL3390	N*TE	VT
MN541647		0	1	0.27 CANAL	GL3390	N*PI	VT
MN541647		1	1.65	0.5 CANAL	GL3390	N*CE1	VTLLEO
MN541647		1.65	2.35	0.52 CANAL	GL3390	N*CE2	ALT
MN541647		2.35	3.35	0.13 CANAL	GL3390	N*TE	ALT
MN541679		0	0.42	0.72 CANAL	GL3390	N*HI	PI
MN541679		0.42	1.1	0.37 CANAL	GL3390	N*HI	CE1
MN541679		1.1	1.88	0.19 CANAL	GL3390	N*HI	CE2
MN541679		1.88	2.67	0.17 CANAL	GL3390	N*HI	TE

MN541754	0	0.64	7.15 CANAL	GL3390	N*PI	VTLLEO
MN541754	0.64	1.56	3.61 CANAL	GL3390	N*CE	VT
MN541754	1.56	2.1	0.66 CANAL	GL3390	N*TE	ALT
MN541803	0	0.42	8.19 CANAL	GL3390	PI	VT
MN541803	0.42	0.82	8.57 CANAL	GL3390	TE	ALT
MN541846	0	0.61	3.49 CANAL	GL3390	PI	VT
MN541846	0.61	1.12	3.83 CANAL	GL3390	TE	VTLLEO
MN541928	0	0.38	29.7 CANAL	GL3390	PI	VTLLEO
MN541928	0.38	0.75	1.04 CANAL	GL3390	TE	VTLLEO
MN542029	0	0.4	1.68 CANAL	CX3390	N*HD	PI
MN542029	0.4	1	7.57 CANAL	CX3390	N*HD	CE
MN542029	1	1.4	0.66 CANAL	CX3390	N*HD	TE
MN542032	0	0.8	4.01 CANAL	CX3390	N*HI	PI
MN542032	0.8	1.5	4.21 CANAL	CX3390	N*HI	CE
MN542032	1.5	2.1	0.48 CANAL	CX3390	N*HI	TE
MN542035	0	0.8	0.51 CANAL	CX3390	N*PI	ALT
MN542035	0.8	1.5	4.3 CANAL	CX3390	N*CE1	VT
MN542035	1.5	2.25	0.72 CANAL	CX3390	N*CE2	ALT
MN542035	2.25	2.95	1.18 CANAL	CX3390	N*TE	ALT
MN542060	0	0.92	0.58 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN542060	0.92	1.85	0.08 CANAL	GL3390	CE	ALT
MN542060	1.85	2.58	0.13 CANAL	GL3390	TE	ALT
MN542088	0	0.95	0.34 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN542088	0.95	1.92	0.24 CANAL	GL3390	TE	ALT
MN542147	0	0.7	0.48 CANAL	GL3390	N*PI	ALT
MN542147	0.7	1.4	0.13 CANAL	GL3390	N*TE	ALT
MN542171	0	0.92	0.59 CANAL	GL3390	N*PI	ALT
MN542171	0.92	1.36	1.46 CANAL	GL3390	N*CE1	ALT
MN542171	1.36	1.99	0.53 CANAL	GL3390	N*CE2	ALT
MN542171	1.99	2.56	0.9 CANAL	GL3390	N*CE3	ALT
MN542171	2.56	3.22	0.37 CANAL	GL3390	N*TE	ALT
MN542221	0	0.73	1.47 CANAL	GL3390	N*PI	ALT
MN542221	0.73	1.43	0.84 CANAL	GL3390	N*CE1	ALT
MN542221	1.43	1.99	1.77 CANAL	GL3390	N*CE2	VTLLEO
MN542221	1.99	2.67	1.67 CANAL	GL3390	N*CE3	VTLLEO
MN542221	2.67	2.96	7.96 CANAL	GL3390	N*TE	ALT
MN542248	0	0.79	0.6 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN542248	0.79	1.53	3.65 CANAL	GL3390	CE	VT
MN542248	1.53	2.11	1.32 CANAL	GL3390	TE	VTLLEO
MN542297	0	0.62	0.35 CANAL	GL3390	PI	ALT
MN542297	0.62	1.13	2.63 CANAL	GL3390	CE1	VT

