



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSTGRADO

**“Modelamiento Geológico y Estructural de la Veta Andy-Compañía
PROMINE CÍA. LTDA., con ayuda del software RECMIN”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

Magíster en Minas con Mención en Planeamiento Minero

Autor:

WILMAN HERNÁN DÍAZ CAPA

Director:

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA, ECUADOR

2024

Wilman Hernán Diaz Capa

Trabajo de Titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Octubre, 2024

**“Modelamiento Geológico y Estructural de la Veta Andy – compañía PROMINE
CÍA. LTDA., con ayuda del software RecMin”**

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a Dios y la Virgen del Cisne, pues durante toda mi vida y en esta etapa académica han sido mis guías espirituales, que me ha dado la fuerza necesaria culminar con esta meta.

A mis padres Ítalo y Carmita, a mis hermanas Katherine y Lizbeth por brindarme su amor y motivarme día a día, por brindarme su apoyo moral durante esta etapa de investigación.

A mis buenos y mis más allegados amigos y amigas, quienes también con sus palabras me brindaron su apoyo, haciéndome reaccionar para continuar y finalizar con el proyecto final de maestría.

Wilman Hernán Díaz Capa

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi familia que me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir con los objetivos personales y económicos. A mi enamorada, ya que con su cariño y su motivación me han impulsado siempre a seguir mis metas y no abandonar frente a las adversidades.

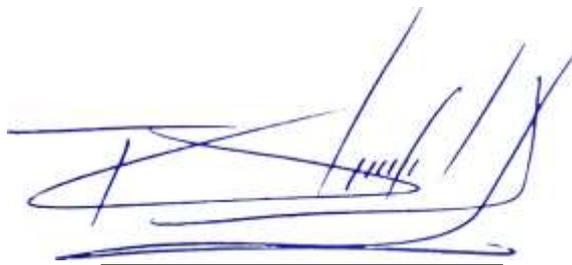
Agradezco profundamente a mi director de Tesis por su experiencia, dedicación y paciencia, contribuyeron a mi experiencia en el camino de la investigación, sin sus enseñanzas y correcciones del presente documento, no hubiera podido llegar hasta este punto. Sus consejos los llevaré grabados en la memoria en mí futuro profesional.

Wilman Hernán Díaz Capa

RESUMEN:

La presente investigación consistió en elaborar un modelo geológico estructural de la Veta Andy, ubicada en el nivel cero dentro de la mina perteneciente a la compañía PROMINE CÍA. LTDA. Para ello se realizó un levantamiento topográfico subterráneo en la veta mineralizada, obteniendo 32 puntos georreferenciados en UTM PSAD 56. Estos datos fueron analizados con Civil 3D 2021, lo que permitió crear un plano 2D y modelar la estructura geológica de la veta. La estructura identificada, compuesta por cuarzo lechoso y sulfuros polimetálicos, tiene un espesor de 0.10-0.20 cm y un buzamiento de 45-60 grados, extendiéndose a lo largo de la galería principal y chimeneas sin grandes variaciones. Se recolectaron seis muestras representativas de la veta para un análisis macroscópico, destacando un alto contenido de oro refractario (57.70 gr/ton). El software RecMin Free se usó para modelar en 3D la geometría de la veta, proporcionando una base sólida para futuras operaciones mineras.

Palabras claves: Modelo geológico estructural, Topografía subterránea, Análisis macroscópico

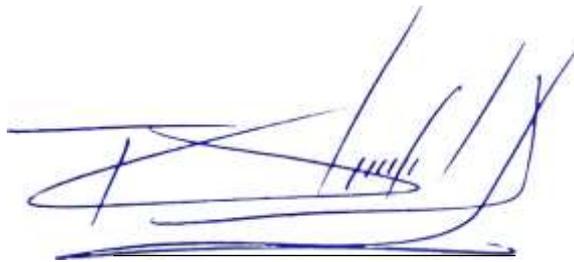
A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela
Director del trabajo de titulación

ABSTRACT

The present investigation consisted of elaborating a structural geological model of the Andy vein, located at level zero within the mine belonging to the company PROMINE CÍA. LTDA. For this purpose, a subway topographic survey was carried out in the mineralized vein, obtaining 32 points georeferenced in UTM PSAD 56. These data were analyzed with Civil 3D 2021, which allowed us to create a 2D plan and model the geological structure of the vein. The identified structure, composed of milky quartz and polymetallic sulfides, has a thickness of 0.10-0.20 cm and a dip of 45-60 degrees, extending along the main gallery and chimneys without major variations. Six representative samples were collected from the vein for macroscopic analysis, highlighting one with high refractory gold content (57.70 gr/ton). RecMin software was used to model in 3D the geometry of the vein, providing a solid basis for future mining operations.

Keywords: Geological structural model, Underground topography, Macroscopic analysis.



Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela
Director del trabajo de titulación

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN:	V
ABSTRACT	VI
Introducción	1
CAPÍTULO 1	3
1.DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1.Antecedentes.....	3
1.2.Planteamiento del problema.	4
1.3.Justificación	4
1.4.Objetivos	5
1.4.1.Objetivo general.....	5
1.4.2.Objetivos específicos:.....	5
1.5.Planteamiento de la hipótesis.....	5
CAPÍTULO 2	6
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1.Marco teórico	6
2.1.1.Yacimiento mineral.....	6
2.1.2.Tipos de yacimientos.....	7
2.1.3.Recursos minerales	10

2.2. Clasificación de recursos minerales	11
2.3. Reservas minerales.....	12
2.4. Topografía	13
2.4.1. Topografía superficial	13
2.4.2. Topografía subterránea.....	13
2.4.3. Brújula Brunton.....	14
2.4.4. El distanciómetro Bosch GLM 50 C.....	15
2.5. Levantamiento topográfico	15
2.6. Modelos básicos de la geología.....	16
2.7. Clasificación de modelos geológicos	16
2.7.1. Modelo estructural.....	16
2.7.2. Modelo estratigráfico.....	17
2.7.3. Modelo sedimentológico	17
2.7.4. Modelo petrofísico.....	18
2.7.5. Modelo geoestadístico	18
2.7.6. Modelamiento 3D	18
2.7.7. Software RecMin.....	19
2.7.8. Estudios realizados con el software RecMin.	22
CAPÍTULO 3	25
3. METODOLOGÍA	25
3.1. Definición del área referencial.....	25

3.2.Geología	26
3.2.1.Geología general.....	26
3.2.2.Geología local	27
3.2.3.Topografía superficial	28
3.2.4.Metodología de obtención de la topografía subterránea	30
3.2.5.Caracterización geológica y estructural de la veta Andy	31
3.2.6.Modelamiento geológico estructural	33
CAPÍTULO 4	36
4.RESULTADOS	36
4.1.Levantamiento topográfico subterráneo.....	36
4.2.Caracterización geológica y estructural.....	38
4.3.Recolección y análisis macroscópico de muestras.....	40
4.4.Resultado del análisis macro.....	41
4.5.Resultado del análisis laboratorio metalúrgico	43
4.6.Modelación geológico-estructural.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Yacimientos Vetiformes	8
Figura 2. Yacimientos pórfidos cupríferos	9
Figura 3. Yacimientos Epitermales (Baja y alta sulfuración).....	10
Figura 4. Esquema de recursos minerales	12
Figura 5. Brújula tipo Brunton.....	14
Figura 6. Distanciómetro Bosch GLM 50 C	15
Figura 7. Modelo Geotécnico en el software Civil 3D	19
Figura 8. Modelo Geotécnico en el software Civil 3D	21
Figura 9. Diagrama de flujo de la influencia del software RecMin en geología.	23
Figura 10. Diagrama de flujo de la influencia del software RecMin en un distrito minero ...	24
Figura 11. Ubicación de la Compañía PROMINE Cía. Ltda., respecto a Ponce Enríquez. ...	26
Figura 12. Topografía Superficial general	29
Figura 13. Topografía Superficial en el programa Civil 3D de la zona a estudiar.....	30
Figura 14. Levantamiento Subterráneo con la brújula Brunton.....	31
Figura 15. Exploración dentro de mina para caracterización geológica y estructural	32
Figura 16. Modelado geológico-estructural dentro del Software Recmin.....	34
Figura 17. Modelado geológico-estructural de la Veta Andy.....	35
Figura 18. Visita técnica a la mina operada por PROMINE Cía. Ltda.	36
Figura 19. Hoja de campo con datos referente al levantamiento geológico estructural de la veta Andy.	39
Figura 20. Modelamiento de la topografía subterránea de la veta Andy en el software Civil 3D.....	40
Figura 21. Muestra numerada #3 obtenida en chimenea 2, dentro de la veta Andy.....	42

Figura 22. Muestra numero 5 obtenida en43

Figura 23. Resultado de Modelación Geológico-Estructural de galería principal.....45

Figura 24. Resultado de la Veta Andy de galería principal.....**Error! Marcador no definido.**

Introducción

La sociedad contemporánea está siendo testigo de un crecimiento exponencial en las actividades extractivas, con un énfasis particular en la extracción de productos metálicos (Murillo Martín, 2016). En este contexto, Ecuador ha emergido como un actor importante en la industria minera, gracias a su considerable riqueza en recursos naturales no renovables (Crespo Alvear, 2017). Este hecho se evidencia en las impresionantes cifras de exportación, como los 681 millones de dólares generados solo por la exportación de oro en el año 2015 (Herdoiza et al., 2017). Desde 2008, la minería ha adquirido un rol fundamental en el desarrollo económico del país, contribuyendo de manera significativa a su crecimiento y prosperidad (Crespo Alvear, 2017).

A pesar de estos logros, el sector minero ecuatoriano se enfrenta a importantes desafíos que limitan su potencial de crecimiento y desarrollo (Aguirre Achina, 2020). Este rezago se hace evidente en el distrito minero de Camilo Ponce Enríquez, donde la falta de adopción de tecnología y conocimientos especializados obstaculiza el progreso eficiente de la minería en la región (Calle Idrovo y Ureña Ureña, 2014). Esta ausencia de modernización y especialización representa un obstáculo para la identificación precisa de nuevas estructuras mineralizadas, como ocurre en la veta Andy dentro de la empresa minera PROMINE CÍA. LTDA. Es crucial destacar que la inversión en tecnología avanzada, como levantamientos geológicos y estructurales para la generación de modelos geológicos, es esencial para mitigar los riesgos asociados con los métodos empíricos en la minería (Valencia Guaricela y Labanda Vega, 2018). La falta de precisión en la exploración y la ejecución de proyectos mineros basados en enfoques convencionales genera costos significativos y pérdidas de tiempo (Naranjo Núñez, 2005). Es común que las galerías de exploración, construidas a menudo, no logren intersectar las vetas proyectadas, lo que afecta negativamente la viabilidad económica

de los proyectos mineros en la región (Dominy, 2002). Estas limitaciones no solo resultan en pérdidas financieras para las empresas mineras, sino que también tienen un impacto más amplio en el desarrollo económico de la región (Sanchez et al., 2017). La falta de eficiencia en las actividades mineras dificulta la explotación óptima de los recursos y la captura de oportunidades de mercado, lo que ralentiza el crecimiento económico y obstaculiza el progreso socioeconómico de las comunidades locales (Konte y Vincent, 2020). En este sentido, la adopción de enfoques más avanzados y especializados se presenta como una solución viable para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de los proyectos mineros en la región. La inversión en tecnología y conocimientos técnicos especializados no solo permite una exploración más precisa de los recursos minerales, sino que también impulsa el desarrollo económico sostenible y promueve el bienestar de las comunidades locales a largo plazo (Wang et al., 2023). Es oportuno preguntarse: ¿El levantamiento geológico-estructural de la veta Andy permite generar modelos geológicos que ayuden a optimizar las actividades de explotación?

Por lo expuesto anteriormente, para optimizar las actividades de explotación se propuso realizar el modelamiento geológico y estructural de la veta Andy, ubicada en el nivel cero dentro de la mina perteneciente a la compañía PROMINE CÍA. LTDA. Se levantó la topografía de la mina en el sector y se realizó la caracterización geológica y estructural de la veta para posteriormente analizar macroscópicamente la veta objeto de estudio. Finalmente, se pudo analizar la información obtenida para la modelación geológico-estructural implementando el software RecMin. La adopción de tecnologías avanzadas y conocimientos especializados en la industria minera ecuatoriana mitiga los riesgos y mejora la eficiencia y rentabilidad de los proyectos mineros.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes.

La compañía minera PROMINE CÍA. LTDA, se ubica dentro de la concesión minera Bella Rica código catastral 15, esta es, una de las concesiones del cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay, que mantiene mayor producción anualmente, lo cual puede ser claramente evidenciado en el reporte regalías mineras que ingresan a las arcas fiscales del estado ecuatoriano. Las actividades mineras que se desarrollan se encuentran enmarcadas en el régimen de Pequeña Minería, de conformidad con el Acto Administrativo que le Otorga el Ministerio de Minas al titular del área. Por ende, PROMINE CÍA. LTDA., al encontrarse dentro una de las concesiones con más potencial de producción de recursos mineros (Au) se proyecta a incrementar las reservas de mineral (Au, Ag), a través de actividades de exploración que permitan identificar nuevas vetas dentro de la concesión, así como la evaluación técnica - económica de vetas mineralizadas ya existentes.

El conocimiento de reservas o volúmenes de mineral con los que cuenta la empresa minera PROMINE CÍA. LTDA., facilita la toma de decisiones de los directivos, sobre las actividades de mina y planta, de tal manera que se mantenga operativa la capacidad de producción y comercialización de mineral.

La aplicación de conocimientos científicos y el desarrollo tecnológico juega un papel fundamental en el desarrollo y crecimiento de una empresa minera, por ende, se ha optado por la valoración geológica estructural de la de la Veta Andy, ubicada en el nivel cero que mantiene la compañía PROMINE CÍA. LTDA., de tal manera que los resultados obtenidos coadyuven en la planificación de las actividades de producción en el sector.

1.2.Planteamiento del problema.

A nivel mundial, las actividades extractivas en el curso del tiempo han experimentado un crecimiento significativo, específicamente en la extracción de productos metálicos. En el Ecuador, siendo un país con gran riqueza de recursos naturales no renovables, la minería se ha convertido en un componente importante para el desarrollo de la economía del país a partir del 2008.

A pesar del desarrollo que ha experimentado la minería en nuestro país, las empresas mineras en el distrito minero de Ponce Enríquez, hasta el momento, no han implementado tecnología, ni acompañamiento técnico de profesionales para el descubrimiento de nuevas estructuras mineralizadas (vetas) o proyectos rentables, particular que genera incremento de los costos de producción, pues se desarrollan galerías mineras de manera empírica, que no interceptan las vetas proyectadas, o simplemente los valores encontrados no alcanzan la rentabilidad esperada.

Es decir, la problemática en la minería artesanal y la pequeña minería radica en la utilización de métodos empíricos e informales o convencionales que llevan a cabo las empresas mineras, requiriendo altos niveles de inversión, así como, largos periodos de tiempo en la recuperación de recursos invertidos.

1.3.Justificación

En la actualidad, es esencial aplicar métodos científicos y tecnológicos en la evaluación de recursos minerales para cuantificar con precisión el volumen de depósitos minerales específicos. Por esta razón, se ha decidido desarrollar un modelo geológico estructural para la Veta Andy, ubicada en el nivel cero de la mina operada por PROMINE CÍA. LTDA.

Para ello, se requiere información topográfica, geológica y estructural de la mina, que será procesada utilizando los softwares Civil 3D 2021 y RecMin Free. Esto nos permitirá crear un modelo tridimensional de la Veta Andy, donde se podrá observar detalladamente su orientación y buzamiento. Además, se implementará un sistema de bloques para evaluar la veta mineralizada, facilitando la comprensión y determinación del volumen de mineral presente.

El modelo tridimensional resultante, ofrecerá al directorio de PROMINE CÍA. LTDA. la información necesaria para decidir sobre la extracción del mineral de la veta Andy, aunque esta decisión también dependerá de los precios del mineral en el mercado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el modelamiento geológico y estructural de la veta Andy, ubicada en el nivel cero dentro de la mina perteneciente a la compañía PROMINE CÍA. LTDA.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Levantar la topografía de la mina en el sector veta Andy para correlacionar la geología y estructuras presentes.
- Realizar la caracterización geológica y estructural de la veta Andy.
- Analizar macroscópicamente la veta objeto de estudio, y efectuar la caracterización mineralógica.
- Analizar la información obtenida para la modelación geológico estructural.

1.5. Planteamiento de la hipótesis

¿El levantamiento geológico - estructural de la veta Andy permite general modelos geológicos que ayudan a la optimización en las actividades de explotación?

CAPÍTULO 2

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.Marco teórico

2.1.1. Yacimiento mineral

Los yacimientos minerales se definen como volúmenes de roca en los cuales es posible identificar la presencia de diversos elementos en concentraciones significativas, lo que permite su extracción con el fin de obtener un beneficio económico (Labanda Vega, 2018). Según Caldevilla Domínguez (2023), la formación de un yacimiento mineral ocurre cuando se cumplen los siguientes cuatro factores:

- Presencia de los elementos que componen al mineral.
- Mecanismos de transporte del mineral a un lugar apropiado.
- Depósito que ayude a la concentración y precipitación de los elementos para la generación de un mineral con valor económico.
- Ambiente geológico adecuado para la conservación del yacimiento.

La clasificación de los yacimientos minerales se lleva a cabo en función de varios factores, como los procesos que dieron origen al yacimiento, los minerales contenidos en él o su tamaño (Caldevilla Domínguez, 2023). Los procesos básicos que conducen a la concentración de minerales se dividen en los siguientes parámetros:

- La cristalización y diferenciación de procesos magmáticos que resultan en la concentración de la mineralización en rocas ígneas.
- Fluidos producidos por magmas o rocas metamórficas.
- Acumulación de elementos por consecuencia de agua de mar que producen elementos sedimentarios.
- Yacimientos distribuidos por el flujo de agua,
- Procesos de meteorización producidos en la superficie terrestre.

En el distrito minero de Camilo Ponce Enríquez, los yacimientos se encuentran ubicados en las estribaciones de la cordillera occidental, donde conforman un depósito filoniano de altas temperaturas. Debido a factores específicos como el clima, la temperatura y la ubicación geográfica, los minerales obtenidos en la zona son oro, plata y concentrado de cobre (Mora Ruiz, 2022).

2.1.2. Tipos de yacimientos

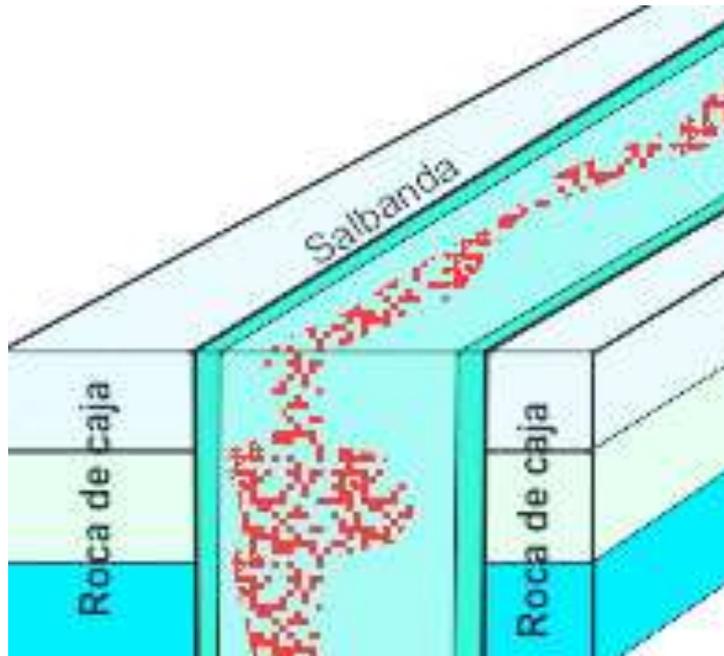
La comprensión adecuada de los yacimientos minerales es fundamental para la exploración y explotación eficiente de los depósitos existentes. La clasificación de estos yacimientos se realiza considerando diversos parámetros, entre los que se incluyen:

- Los metales de interés presentes.
- La configuración tectónica del área.
- La configuración geológica que influye en la formación del depósito.
- El modelo genético que explica la génesis del depósito mineral.
- Otros factores como la forma del depósito y la temperatura de formación.

Esta clasificación permite relacionar los procesos de formación de minerales con los distintos tipos de depósitos. Según Vivallo y Henríquez (1998), entre los tipos de yacimientos minerales más destacados se encuentran los siguientes: vetiformes, pórfidos cupríferos y epitermales de alta y baja sulfuración

Yacimientos vetiformes: Estos yacimientos se caracterizan por tener una estructura tabular y pueden originarse a partir de diversas fuentes, como vetas hidrotermales, diques magmáticos o zonas de falla mineralizadas. Su simetría es notable y suelen encontrarse en cuerpos intrusivos. Ver (figura 1).

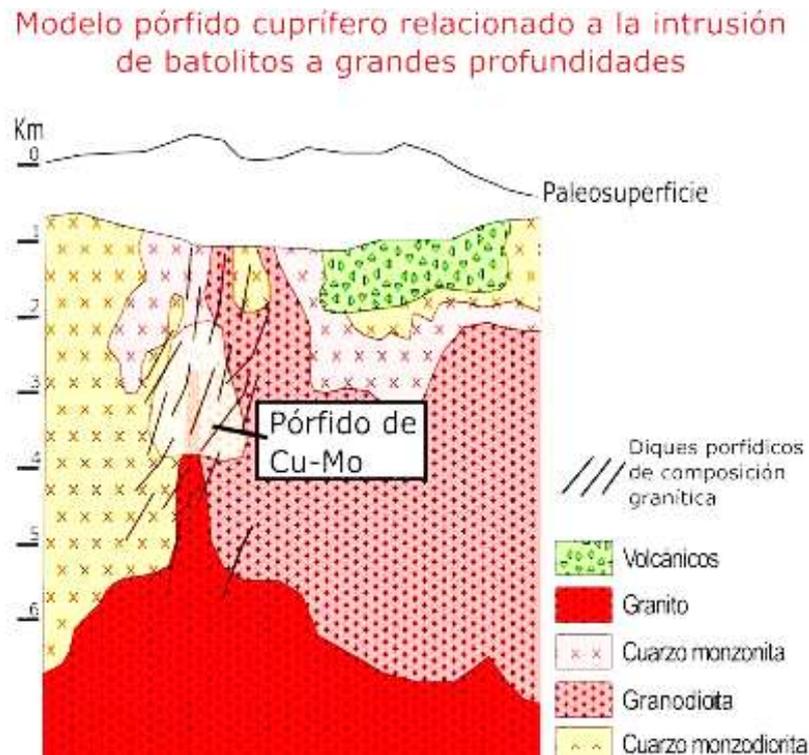
Figura 1. Yacimientos Vetiformes



Fuente: (Griem, 2020)

Pórfidos cupríferos: Los pórfidos cupríferos son depósitos minerales que combinan características vetiformes y diseminadas de manera única. Estos depósitos son notablemente ricos en minerales como el cobre y se forman en entornos geológicos específicos. La presencia de vetas y la dispersión de minerales de cobre en la matriz de la roca circundante son rasgos distintivos de estos yacimientos, como se ilustra en la Figura 2. Su formación está estrechamente vinculada a áreas con intensa actividad magmática y tectónica.

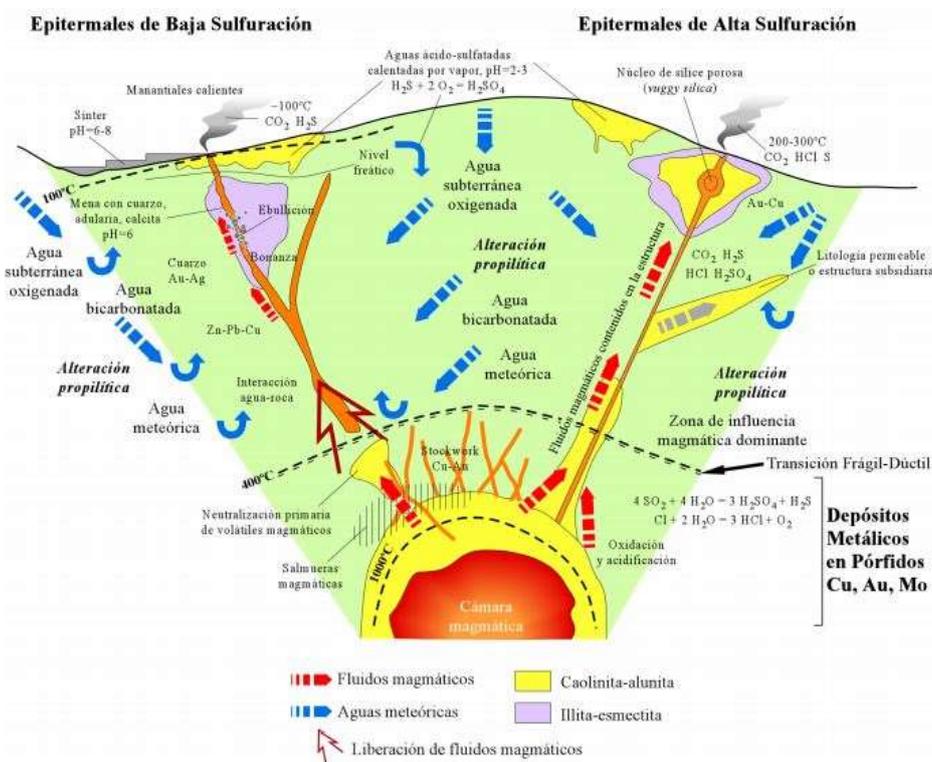
Figura 2. Yacimientos pórfidos cupríferos



Fuente: (Maldonado, 2021)

Epitermales de baja sulfuración: Son yacimientos que se forman cerca de la superficie y su contenido mineral incluye principalmente oro y plata. Los yacimientos epitermales de alta sulfuración son similares a los de baja sulfuración, pero presentan concentraciones más elevadas de azufre. Finalmente, los epitermales, en general, también se desarrollan en las proximidades de la superficie y su contenido mineral puede variar, incluyendo metales preciosos como el oro y la plata, entre otros. (Figura 3).

Figura 3. Yacimientos Epitermales (Baja y alta sulfuración)



Fuente: (Maldonado, 2021)

La comprensión detallada de los tipos de yacimientos no solo es esencial para la industria minera, en términos de exploración y explotación, sino también para la investigación geológica, que busca entender los procesos que conducen a la formación de estos depósitos minerales (Caldevilla Domínguez, 2023).

2.1.3. Recursos minerales

Los recursos minerales se refieren a las acumulaciones de diferentes materiales que se encuentran de manera natural en la corteza terrestre, ya sea en forma sólida, líquida o gaseosa. Estos recursos desempeñan un papel crucial en la sociedad actual, siendo esenciales para una variedad de industrias y procesos fundamentales para nuestra forma de vida moderna (Hidalgo Ruiz, 2023).

La extracción de minerales se realiza cuando su concentración y disponibilidad son consideradas factibles desde el punto de vista económico y técnico. Para determinar la viabilidad de explotar un recurso mineral, es necesario considerar una serie de factores

esenciales. Estos incluyen la ubicación geográfica del depósito mineral, la cantidad y calidad del material presente, así como las características geológicas del entorno en el que se encuentra (Malchenko, 2016).

Además, según Hidalgo Ruiz (2023), se debe evaluar la continuidad del recurso, es decir, la extensión y profundidad del yacimiento, lo cual impacta directamente en su potencial económico y en su viabilidad para la extracción. Evaluar la viabilidad de explotar un recurso mineral requiere un análisis meticuloso de diversos parámetros geológicos y técnicos. La información geológica específica es fundamental en este proceso, ya que permite una evaluación precisa de los recursos disponibles y una planificación adecuada de las actividades mineras.

2.2. Clasificación de recursos minerales

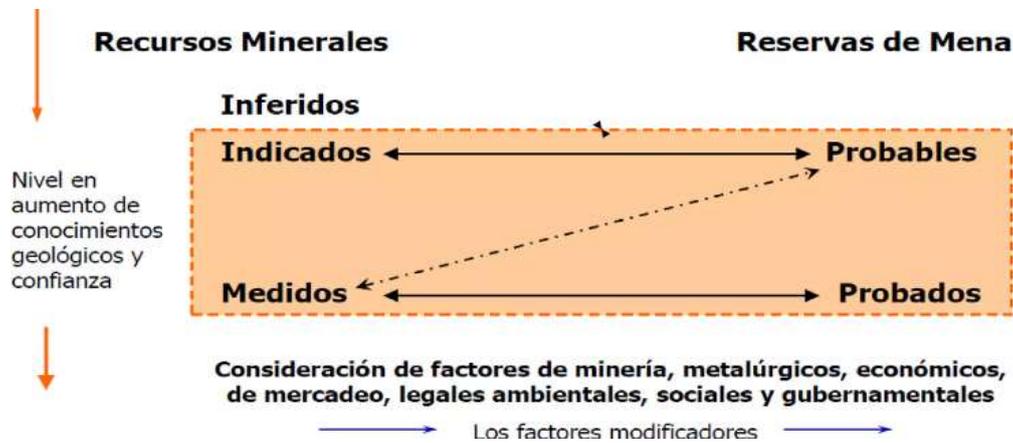
La clasificación de recursos minerales se basa en los principios geológicos y en criterios técnicos establecidos por estándares internacionales (Vilca, 2007). Esta categorización tiene como fin evaluar y describir la cantidad y calidad de los recursos minerales presentes en un yacimiento, lo que es esencial para la planificación y desarrollo de proyectos mineros. Según Scogins (2014), los recursos minerales se dividen generalmente en dos categorías conocidas como:

- Recursos medidos e indicados
- Recursos inferidos

Los recursos medidos son aquellos que cuentan con una cantidad significativa de información geológica, lo que permite tener una alta certeza sobre su cantidad y calidad. Los recursos inferidos son aquellos que no tienen una gran cantidad de información, pero aún se pueden generar estimaciones relativamente precisas. Asimismo, los recursos minerales también se pueden clasificar en función de su factibilidad económica para la extracción y

procesamiento. La clasificación de recursos minerales que se muestra en la figura 4 es primordial para la correcta toma de decisiones en la industria minera (Hidalgo Ruiz, 2022).

Figura 4. Esquema de recursos minerales



Fuente: Código de Australasia para informar sobre recursos Minerales y Reservas de Mena (Código JORC)

2.3. Reservas minerales

Una reserva mineral representa una porción específica de un recurso mineral, ya sea medido o indicado, que se considera económicamente viable para su extracción. Este concepto implica una evaluación exhaustiva y detallada de diversos aspectos técnicos y económicos para determinar su factibilidad (Meinert et al., 2016). En este contexto, se llevan a cabo estudios técnicos y análisis especializados para respaldar la decisión de explotar este recurso. Estos estudios abarcan una amplia gama de áreas, desde la viabilidad técnica y económica de la extracción hasta consideraciones legales, ambientales, sociales y gubernamentales.

La evaluación de una reserva mineral no solo se limita a determinar la cantidad y calidad del material presente, sino que también implica considerar la posible dilución y pérdida de material durante la extracción. Esta dilución se refiere a la mezcla de mineral valioso con material estéril durante el proceso de extracción, lo que puede afectar la rentabilidad del proyecto minero. Por lo tanto, es crucial llevar a cabo análisis metalúrgicos

detallados para comprender cómo se comporta el mineral en condiciones de extracción y procesamiento (Hidalgo Ruiz, 2023).

2.4. Topografía

La topografía es crucial en el modelamiento geológico y estructural de la veta Andy, ya que proporciona datos precisos sobre la superficie terrestre y permite la creación de mapas detallados de la zona. Estos mapas topográficos son fundamentales para entender la distribución de las formaciones geológicas y las estructuras presentes en el área de interés, incluida la veta Andy.

2.4.1. Topografía superficial

Antes de iniciar cualquier trabajo de topografía subterránea en una explotación minera, la topografía de superficie incluye tareas como la medición de lotes mineros, triangulaciones o trilateraciones para fijar en un plano general los lotes de una misma compañía, así como levantamientos taquimétricos para obtener planos con curvas de nivel. Estos levantamientos se realizan con distintos niveles de precisión y métodos variados. Es importante vincular los trabajos de superficie con los subterráneos, ya que comparten el mismo sistema de coordenadas y elevaciones. Mientras que en la superficie se utilizan líneas perpendiculares en un plano horizontal, en las minas se emplean planos verticales que se cruzan con esas líneas, formando un sistema de coordenadas ortogonales en el espacio (Quishpe, 2015).

2.4.2. Topografía subterránea

Según Serra y Tapia (2023), la topografía subterránea implica el mapeo y la orientación de galerías y estructuras dentro de una mina. Los topógrafos realizan esta tarea para planificar la extracción de minerales de manera eficiente y segura, así como para garantizar la seguridad de los trabajadores. Utilizan herramientas especializadas para medir

distancias, ángulos y elevaciones, lo que proporciona datos esenciales para la planificación y operación de la mina. En este caso, hemos utilizado las siguientes herramientas:

2.4.3. Brújula Brunton.

Las brújulas universales del tipo Brunton son conocidas por su versatilidad y múltiples funciones. Pueden utilizarse montadas en un trípode con articulación a rótula o suspendidas como un instrumento independiente. Un ejemplo de este tipo de brújula se ilustra en la figura 5. Con una longitud de aguja de 5 cm y un peso de 260 gramos, estas brújulas cuentan con un limbo ajustable que permite considerar la declinación local.

Figura 5. Brújula tipo Brunton



Fuente: Topografía Subterránea para minería y obras, 2003

Para medir rumbos, la brújula se fija en un soporte de suspensión donde la línea Norte-Sur es paralela al eje del soporte. Un nivel esférico facilita la nivelación de la brújula. El soporte está equipado con una extremidad que permite mantener el limbo de la brújula horizontal durante las mediciones en cuerdas inclinadas.

Para medir inclinaciones, los brazos de sujeción pueden girarse 90 grados, y la lectura se realiza mediante un índice que incluye un nivel tubular, cuya burbuja debe estar alineada entre las marcas antes de tomar la lectura. Además, esta brújula puede acoplarse a un transportador especial para el registro gráfico de ángulos, como se mencionó anteriormente.

2.4.4. El distanciómetro Bosch GLM 50 C.

El distanciómetro Bosch GLM 50 C utiliza un haz láser para medir distancias. Puede calcular distancias inclinadas, horizontales y desniveles, además de permitir la introducción de ángulos verticales para cálculos precisos. Su estructura incluye una pantalla y botones para funciones como la medición de área y volumen. Es una opción profesional de alta precisión y confiabilidad, como se muestra en la figura 6 (Vargas, 2020).

Figura 6. Distanciómetro Bosch GLM 50 C



Fuente: <https://niveleslaser.top/medidores-laser/bosch/glm-120-c/>

2.5. Levantamiento topográfico

Antes de iniciar cualquier trabajo de topografía subterránea en una explotación minera, es esencial realizar un levantamiento topográfico detallado de la superficie. Este levantamiento puede llevarse a cabo utilizando métodos clásicos, fotogrametría aérea, estaciones totales o tecnología RTK (Real Time Kinematic) para obtener un plano preciso de la zona. Posteriormente, utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o la tecnología de estación total, se establece la posición de los vértices de la red de apoyo principal. Esto proporciona una base sólida y precisa para futuros trabajos subterráneos, asegurando la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras (Morocho, 2019).

2.6. Modelos básicos de la geología

Los modelos geológicos son herramientas esenciales para comprender la estructura y composición de la Tierra en diferentes contextos. Estos modelos, ya sean bidimensionales o tridimensionales, ofrecen representaciones detalladas de las formaciones rocosas, permitiendo a los científicos explorar y analizar características geológicas con precisión. En este documento, examinaremos varios modelos geológicos básicos, destacando su importancia y aplicaciones en diferentes disciplinas (Da Silva et al., 2018).

Como lo explican Wellmann y Caumon (2019), la generación de múltiples modelos geológicos es esencial para abordar la incertidumbre inherente al análisis del subsuelo. Estos modelos, obtenidos mediante la aplicación de diferentes métodos probabilísticos, ofrecen una representación más completa de la heterogeneidad geológica. Sin embargo, este enfoque plantea desafíos en términos de visualización y comunicación de resultados.

Según Pirela y Ramírez (2017), el modelo geológico es una herramienta integral que resume las características y propiedades estáticas de un yacimiento. Se compone de varios modelos más detallados, como el estructural, sedimentario-estratigráfico y litológico, cada uno enfocado en aspectos específicos de la geología para proporcionar una visión completa del entorno geológico.

2.7. Clasificación de modelos geológicos

2.7.1. Modelo estructural

La importancia del modelo geológico estructural radica en su capacidad para describir con precisión los yacimientos, establecer su geometría y arquitectura, crear mapas estructurales de los horizontes relevantes y detectar nuevas zonas de explotación. Esto es crucial para el trabajo en geología estructural, ya que proporciona el conocimiento necesario para realizar levantamientos geológicos y comprender la morfología de las formas

estructurales, basándose en observaciones fragmentarias de afloramientos aislados. Por lo tanto, tendremos las siguientes características:

- Representa la geometría tridimensional de las estructuras geológicas en el subsuelo.
- Ayuda a entender el estilo de deformación, respetando el marco tectónico regional.
- Permite construir mapas y secciones estructurales para estimar volúmenes de hidrocarburos in situ y seleccionar áreas propicias para la perforación.
- Considera parámetros como las características de las estructuras productoras, fracturas, fallas geológicas y bloques estructurales (Pirela y Ramírez, 2017).

2.7.2. Modelo estratigráfico

La estratigrafía de secuencias es una herramienta esencial en geología que analiza la disposición y las relaciones de los estratos rocosos para reconstruir la historia geológica de una región. Permite identificar patrones de depósito alternados entre diferentes tipos de sedimentos a lo largo del tiempo. La integración de diversas técnicas, como análisis sísmicos y perfiles eléctricos, facilita la generación de modelos estratigráficos detallados, cruciales para comprender la evolución sedimentaria de las cuencas y la identificación de posibles yacimientos de hidrocarburos. Su objetivo es comprender la arquitectura de los cuerpos y el movimiento de fluidos en unidades definidas, centrándose en el estudio de la historia, composición, edades y distribución de estratos (Díaz y Pereira, 2007).

2.7.3. Modelo sedimentológico

Un modelo sedimentológico es una representación de las características de las rocas en una región específica, considerando aspectos como la litología, las estructuras físicas y biológicas, así como el ambiente de deposición. Las facies sedimentológicas son cuerpos de roca con características distintivas formadas bajo condiciones específicas de sedimentación,

que reflejan ambientes o procesos deposicionales particulares. Estas facies se identifican mediante registros de pozos, que muestran similitudes en los tamaños de grano y propiedades físicas como la resistividad y la densidad. El modelo sedimentológico define la geometría de las capas internas y las facies, se basa en la secuencia estratigráfica y realiza correlaciones litológicas pozo a pozo, lo que ayuda a comprender la arquitectura interna del yacimiento y a modelar la distribución espacial de las facies (Mora, 2016).

2.7.4. Modelo petrofísico

El modelo petrofísico en geología asigna propiedades como porosidad, permeabilidad y saturación a cada facies de roca. Esto facilita la cuantificación de parámetros fundamentales y la generación de mapas detallados de propiedades, incluyendo la distribución de arena neta petrolífera. Además, se calibra utilizando una variedad de datos, como núcleos, producción y pruebas de presión, para garantizar su precisión y fiabilidad.

2.7.5. Modelo geoestadístico

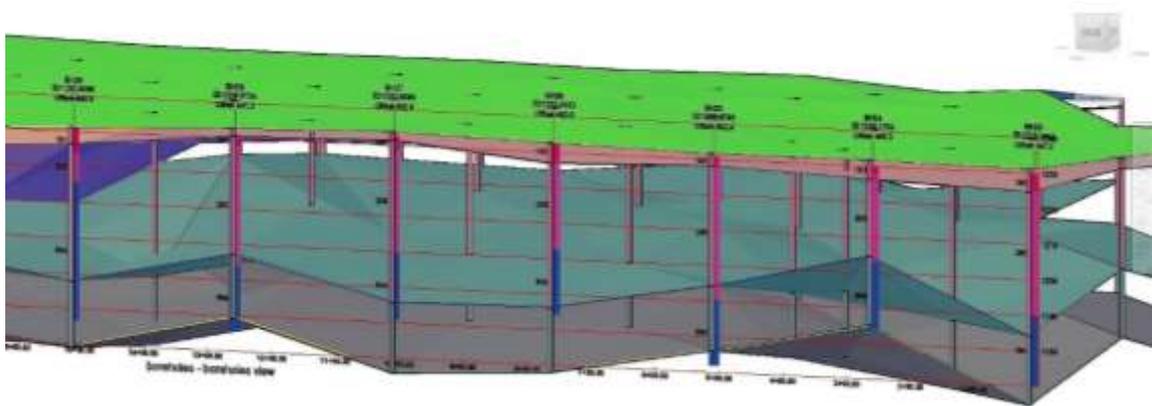
El modelo geoestadístico constituye una herramienta integral que ofrece una representación detallada de la heterogeneidad geológica dentro de las principales unidades de un yacimiento. Al utilizar la teoría de probabilidades, este modelo describe la continuidad de las variables geológicas en el espacio, lo que facilita una comprensión más profunda de la distribución y variabilidad de las propiedades del yacimiento. Además de proporcionar una visualización precisa de la estructura geológica, el modelo geoestadístico se emplea para la simulación y el manejo efectivo de los yacimientos, lo que contribuye significativamente a la planificación y optimización de las operaciones en la industria petrolera y minera (Da Silva et al., 2018).

2.7.6. Modelamiento 3D

Civil 3D se destaca como una herramienta de gran importancia en el ámbito de la ingeniería y la topografía, siendo ampliamente empleada por profesionales en áreas como

arquitectura e ingeniería. Según Autodesk (2023), su utilidad en el diseño basado en ingeniería lo convierte en una opción preferida para una variedad de aplicaciones geotécnicas. Además, de acuerdo con Núñez (2011), su versatilidad en todas las ramas de la ingeniería y la topografía permite la creación de diversos objetos y modelos en diferentes vistas, desde planas hasta isométricas, lo que amplía significativamente su aplicabilidad en el campo de la geología y la geomática (figura 7).

Figura 7. Modelo Geotécnico en el software Civil 3D



Fuente: (Autodesk, 2023)

La capacidad de Civil 3D para adaptarse a diferentes estilos de trabajo y necesidades de diseño es un aspecto resaltante en su utilidad práctica. La versión más reciente del software, Civil 3D 2023, ha sido objeto de mejoras significativas destinadas a optimizar la eficiencia y la productividad del usuario. Estas mejoras, que incluyen desde modificaciones en la interfaz de usuario hasta la ampliación de las herramientas disponibles, permiten un diseño más dinámico y preciso, un aspecto crucial en el contexto de la geología y la ingeniería geotécnica, donde la precisión y la eficiencia son fundamentales para el éxito del proyecto (Autodesk, 2023).

2.7.7. Software RecMin

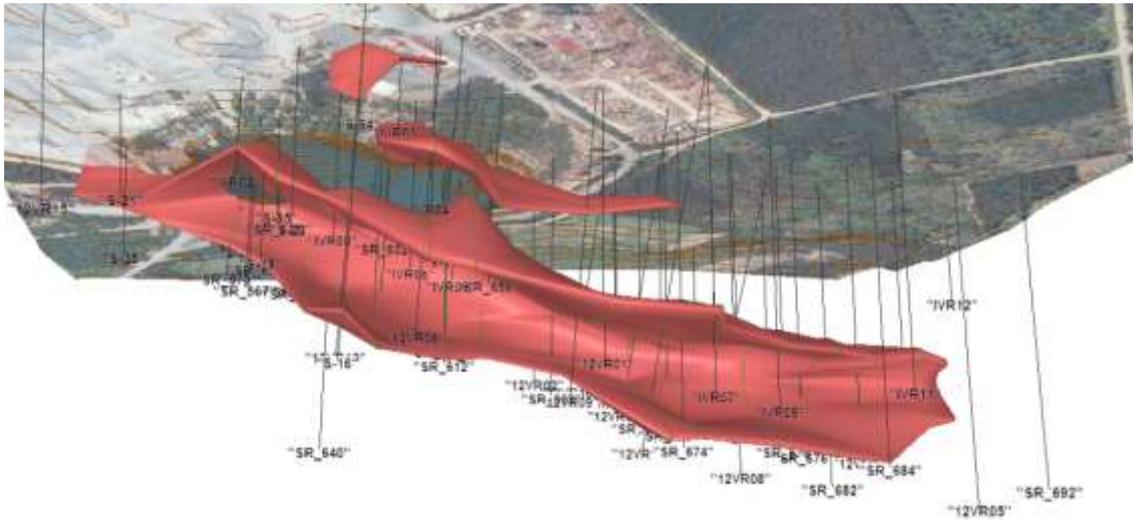
El software minero RecMin, concebido por el Dr. César Castañón Fernández, ha emergido como una herramienta de vital importancia en la gestión de recursos minerales

desde su inicio en 1992. A lo largo de los años, ha experimentado una evolución significativa, incorporando diversas funcionalidades que abarcan desde la gestión de información topográfica hasta el modelamiento geológico y la estimación de leyes minerales. Su destacada gratuidad y disponibilidad en español lo han convertido en una opción accesible y ampliamente utilizada en la industria.

Una de las características más sobresalientes de RecMin es su robusto conjunto de herramientas para la importación, validación y gestión de datos de exploración minera. Esta capacidad asegura la integridad y calidad de los datos utilizados en los análisis y decisiones subsiguientes. Aunque carece de funcionalidades específicas para la estimación geoestadística mediante técnicas como el kriging, su estructura programática en lenguajes como C++ y Visual Basic le confiere una sólida base técnica. Además, su interfaz amigable, diseñada para usuarios de Windows, facilita su adopción y uso por parte de profesionales en la industria minera.

El estudio de Vivas (2018) proporciona una valiosa perspectiva sobre el alcance y la utilidad de RecMin, destacando su papel integral en la gestión de proyectos mineros. La figura 8 de dicho estudio ilustra claramente algunas de las capacidades y características de esta herramienta, enfatizando su capacidad para abarcar desde la entrada de datos hasta la visualización tridimensional, lo que lo convierte en una solución completa y eficiente para las necesidades de la industria minera.

Figura 8. Modelo Geotécnico en el software Civil 3D



Fuente: (Autodesk, 2023)

El trabajo de Díaz et al. (2022) destaca la importancia de RecMin Variograms como una herramienta fundamental para el análisis de datos geoespaciales en contextos geológicos y mineros. La interfaz intuitiva de esta herramienta permite una fácil importación de datos, la identificación y eliminación de valores atípicos, así como la visualización de histogramas de frecuencia para comprender la distribución de los datos. Además, su capacidad para generar representaciones gráficas tridimensionales facilita la interpretación de los datos y la selección de parámetros.

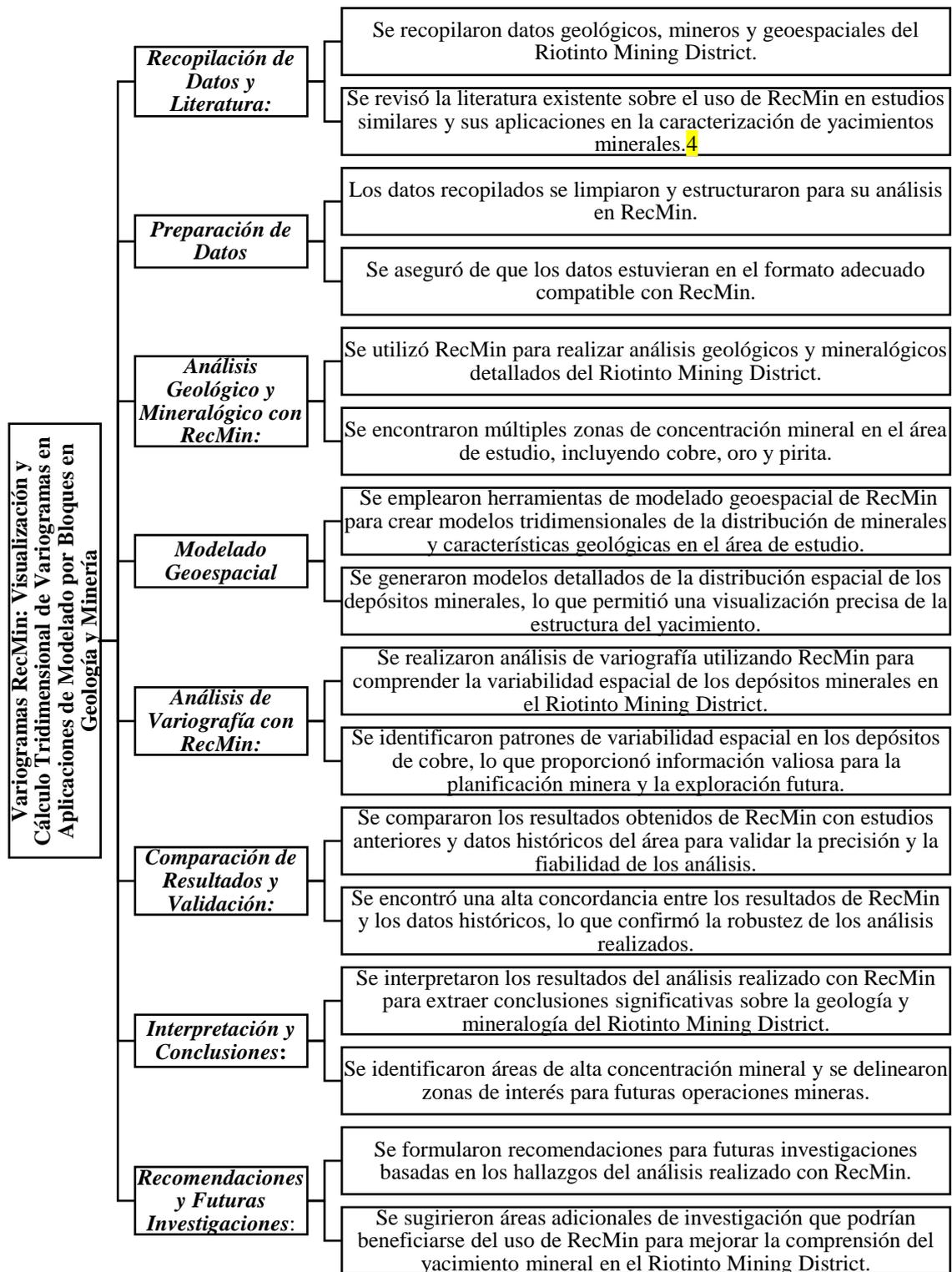
Uno de los puntos fuertes de RecMin Variograms es su capacidad para calcular variogramas omnidireccionales. Esto significa que puede analizar la variabilidad espacial en todas las direcciones, proporcionando una exploración más completa de los datos geoespaciales. Esta funcionalidad no solo mejora la eficiencia en el análisis de datos, sino que también aumenta la precisión en la estimación de parámetros relevantes para proyectos mineros y geológicos.

2.7.8. Estudios realizados con el software RecMin.

En el estudio de Díaz et al. (2022), titulado “Variogramas RecMin: Visualización y Cálculo Tridimensional de Variogramas en Aplicaciones de Modelado por Bloques en Geología y Minería”, se destaca el análisis geoestadístico del depósito polimetálico de Riotinto en el suroeste de España, el cual es fundamental para comprender su distribución espacial y optimizar las operaciones mineras en la región (figura 9).

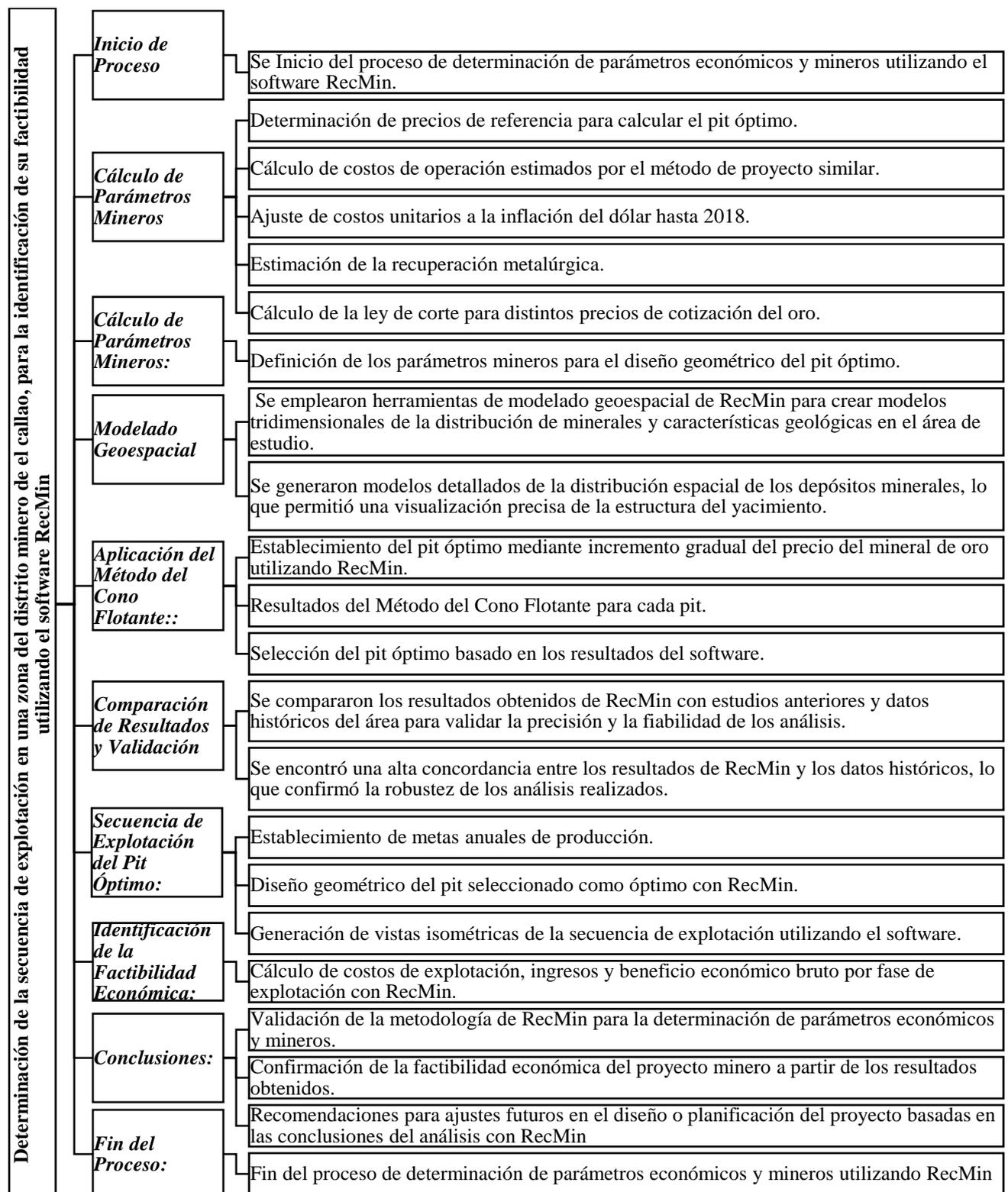
Por otro lado, Ortega (2018) resalta que el análisis de viabilidad económica y técnica a través del software RecMin desempeña un papel crucial en la evaluación de proyectos mineros. Este análisis no solo permite determinar la rentabilidad y factibilidad financiera de una inversión minera, sino que también proporciona una visión integral de los aspectos técnicos y operativos involucrados. Al utilizar RecMin, se pueden modelar diversos escenarios y evaluar el impacto de diferentes variables en el rendimiento del proyecto, facilitando así la identificación de riesgos y oportunidades. Además, este enfoque ayuda a optimizar la planificación y ejecución del proyecto, maximizando la eficiencia en el uso de recursos y minimizando posibles costos y retrasos. En última instancia, el análisis realizado con RecMin proporciona una base sólida para la toma de decisiones fundamentadas y estratégicas a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto minero (figura 10).

Figura 9. Diagrama de flujo de la influencia del software RecMin en geología.



Fuente: (Díaz et al., 2022)

Figura 10. Diagrama de flujo de la influencia del software RecMin en un distrito minero



Fuente: (Ortega,2018)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló metodológicamente considerando las siguientes actividades:

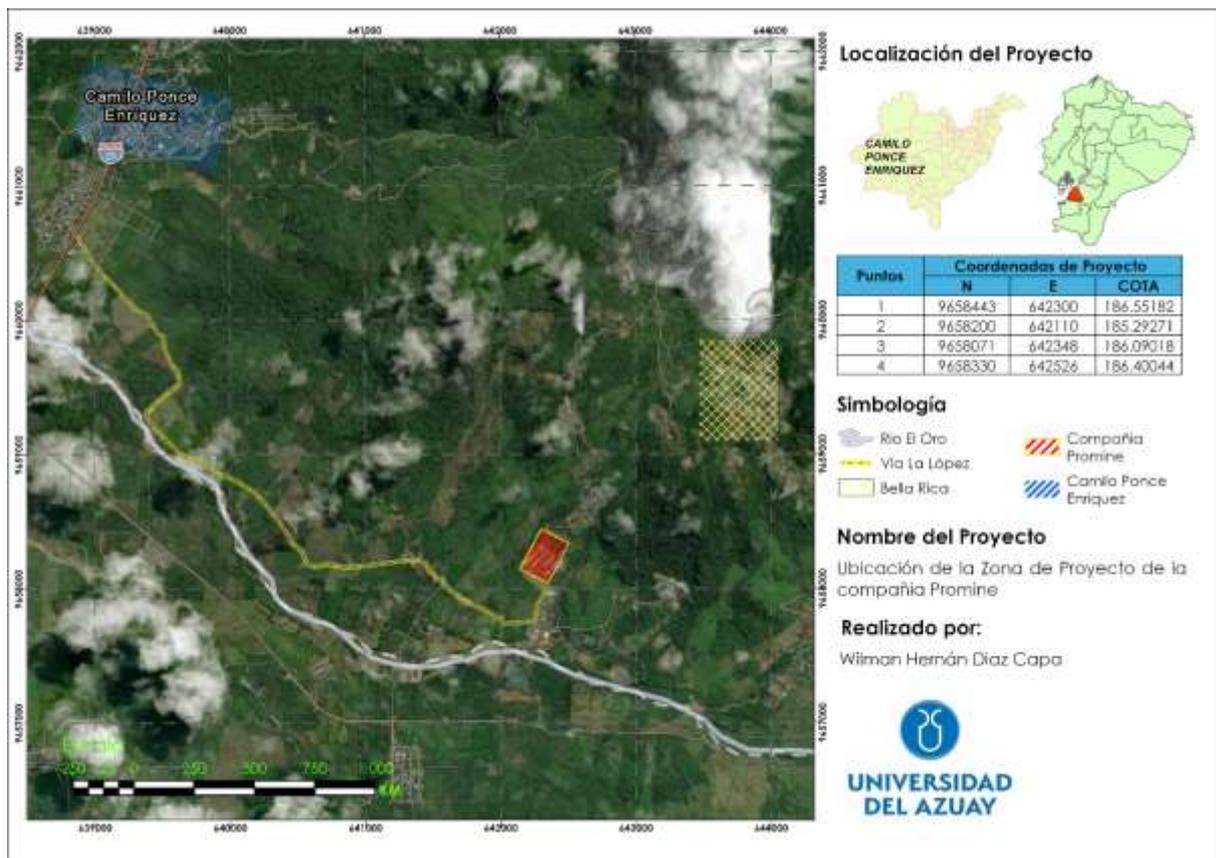
3.1. Definición del área referencial

La compañía PROMINE CÍA. LTDA. se sitúa a 5.50 km de la cabecera cantonal Camilo Ponce Enríquez, en la provincia de Azuay. Su ubicación estratégica, cercana al centro urbano, resalta la relevancia de la actividad minera en la zona, además del impacto en la vida de la comunidad local (figura 11).

La empresa realiza sus operaciones mineras de exploración, explotación y beneficio dentro de la concesión para minerales metálicos denominada Bella Rica, con código catastral 15. Esta concesión minera ha sido autorizada por el Estado ecuatoriano mediante resolución administrativa para la ejecución de actividades extractivas de minerales metálicos.

Es importante mencionar que la Cooperativa de Producción Minera Aurífera Bella Rica, titular de la concesión Bella Rica código 15, no define polígonos de trabajo para sus operadores, como ocurre en otras áreas mineras de la región. Tampoco delimitan cotas (m.s.n.m.) de trabajo. La única ley que prevalece es la conocida como “LEY DEL BARRENO”, que consiste en abrir galerías exploratorias perpendiculares a la dirección de las estructuras mineralizadas. Una vez encontradas las vetas con valor mineral de interés, se procede a realizar galerías de desarrollo y a conformar bloques. Esto evita que otros operadores mineros tengan la oportunidad de explotarlos.

Figura 11. Ubicación de la Compañía PROMINE CÍA. LTDA., respecto a Ponce Enríquez.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Geología

3.2.1. Geología general

El distrito minero Camilo Ponce Enríquez se ubica en el suroeste de la cordillera occidental y es una región de gran importancia geológica y económica. Esta área se encuentra estratégicamente cercana al inicio de la zona costera, lo que la convierte en un punto clave para la exploración y explotación de recursos minerales. Según los estudios realizados por Cárdenas Argudo y Gavilanes Cordero en 2018, la geología de esta zona se caracteriza por la presencia de una variedad de formaciones volcánicas y sedimentarias que abarcan desde el Cretácico hasta el Paleoceno y el Eoceno.

En el basamento geológico, destacan las rocas volcánicas del Cretácico, como lavas basálticas, tobas y brechas volcánicas. Estas formaciones proporcionan un contexto geológico importante para comprender la evolución de la región a lo largo del tiempo. Durante el

Paleoceno, se desarrollaron flujos de lava andesítica y basáltica, así como rocas volcánicas de la formación Sacapalca, con espesores que superan los 2,000 metros. Estos depósitos se transformaron posteriormente en intrusivos granodioríticos a tonalíticos durante el Eoceno, lo que evidencia procesos geológicos complejos y dinámicos en la región a lo largo de millones de años.

Uno de los aspectos más destacados de la geología de esta área es la presencia de mineralizaciones significativas, especialmente en el ambiente de corteza oceánica de Pallatanga, la cual se integró a la corteza continental al final del período Cretácico. Las rocas de Pallatanga, de color verde oscuro, se caracterizan por su dureza y su estructura altamente fracturada, con escasos cristales bien desarrollados, aunque ocasionalmente presentan una textura almohadillada. Estas rocas son ricas en minerales ferromagnesianos y relativamente pobres en feldespatos potásicos, lo que sugiere un entorno geológico propicio para la concentración de minerales metálicos.

La configuración geológica de la región está influenciada por la presencia de la falla regional de tendencia NE y las fallas transcurrentes NW, que controlan los principales sistemas de drenaje y crean ambientes favorables para la formación de mineralizaciones, especialmente de tipo hidrotermal. Estas estructuras geológicas juegan un papel crucial en la distribución y concentración de depósitos minerales en el área, y su comprensión es fundamental para la exploración y explotación exitosa de recursos minerales (Cárdenas Argudo y Gavilanes Cordero, 2018).

3.2.2. Geología local

La zona de interés se sitúa en el contexto geológico de la formación Macuchi, que abarca desde el Paleoceno hasta el Eoceno Medio. Esta área se distingue por su composición, principalmente de andesitas y andesitas basálticas. Las andesitas en esta zona exhiben una notable textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa que pueden medir desde unos

pocos milímetros hasta varios centímetros. Estos cristales angulosos se presentan sin señales de meteorización, lo que permite identificar dos variedades de andesitas: aquellas con fenocristales de plagioclasa de tamaño centimétrico y otras con cristales de tamaño milimétrico. En contraste, las andesitas basálticas se caracterizan por una textura completamente afanítica, sin fenocristales visibles, y poseen un aspecto oscuro.

Además de las litologías previamente descritas, se encuentran presentes rocas de falla compuestas por una mezcla de materiales arcillosos y arenosos. Según González de Sela (2015), se han descubierto cuerpos de roca serpentinitica, relacionados con una falla normal. Este cuerpo de roca serpentinitica es un basalto que ha sido alterado por un proceso de metamorfismo hidrotermal metasomático, lo que le confiere características minerales particulares.

En las áreas circundantes a esta región minera, también se pueden encontrar otros tipos de formaciones rocosas. Entre ellas se incluyen los depósitos de arenisca y limolita pertenecientes a la Formación Yunguilla, que datan del Cretácico Superior. Además, hay sedimentos de origen aluvial y coluvial que corresponden al período Cuaternario. Estas características geológicas adicionales enriquecen la comprensión de la diversidad litológica y la historia geológica de la zona (González de Sela, 2015).

3.2.3. *Topografía superficial*

Para geo-referenciar un punto de partida en cualquier proyecto o levantamiento topográfico, es fundamental emplear la técnica de puntos estáticos. Esta técnica requiere que una de las antenas esté ubicada en un punto de coordenadas conocidas, cuyas referencias se obtendrán de la monografía de control horizontal emitida por el Instituto Geográfico Militar (IGM), la entidad oficial de cartografía en Ecuador (Mantilla, 2012).

Se utilizó la topografía existente en la zona, la cual fue levantada utilizando una estación total (figura 12). Esta decisión se tomó debido a consideraciones de seguridad que

restringieron el uso de métodos alternativos. La topografía levantada permitió realizar un levantamiento detallado de toda la superficie del terreno donde se encuentran las instalaciones de la compañía minera. Con los datos obtenidos, se elaboró un modelo digital de elevación del terreno, el cual facilitó la generación de las curvas de nivel correspondientes. Este enfoque garantizó una representación detallada y fiable del terreno, proporcionando la base necesaria para un desarrollo eficaz y seguro del proyecto.

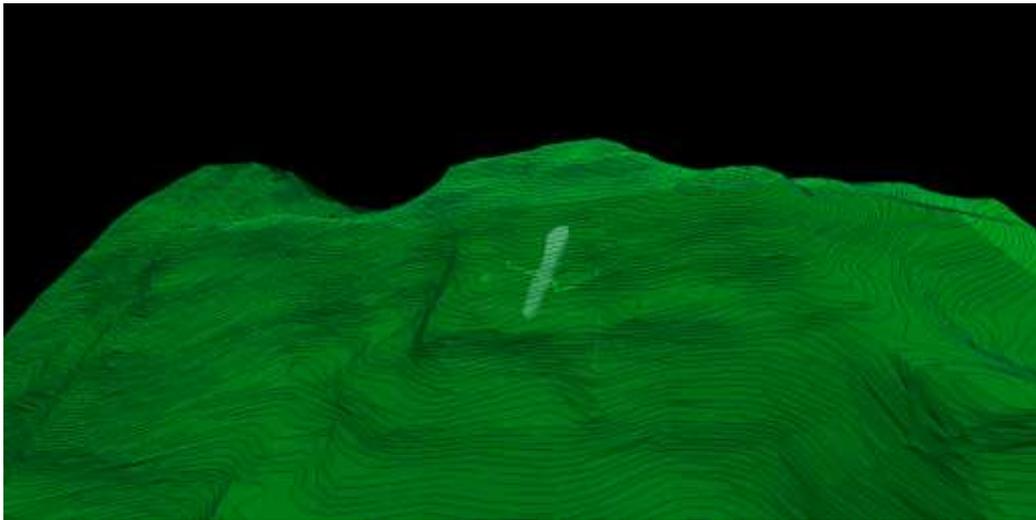
Figura 12. Topografía superficial general



Fuente: Elaboración propia.

La topografía superficial se refiere únicamente al sector de las instalaciones de la mina y la planta de beneficio de la compañía PROMINE CÍA. LTDA. Por motivos de seguridad y debido a la presencia de otras empresas mineras propietarias de los terrenos adyacentes a nuestra área de estudio, se obtuvo la topografía superficial con la ayuda del modelo digital de elevación del terreno (figura 13)

Figura 13. Topografía superficial en el programa Civil 3D de la zona a estudiar



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Metodología de obtención de la topografía subterránea

Se utilizó una brújula Brunton para determinar con precisión la orientación de las galerías y chimeneas de desarrollo en la estructura mineralizada (figura 14). Esta herramienta fue fundamental para medir con exactitud la dirección de las labores, lo que garantizó tanto la eficiencia como la seguridad en las operaciones subterráneas. Además, el uso de la brújula Brunton facilitó el seguimiento de las tendencias geológicas de la mineralización, contribuyendo a la optimización de los recursos y minimizando posibles errores durante el proceso de desarrollo.

Figura 14. Levantamiento de información estructural de la veta Andy



Fuente: Elaboración propia.

Las lecturas obtenidas con el equipo permitieron establecer la orientación exacta de la veta Andy. Además, fue necesario utilizar el distanciómetro Bosch GLM 50 C, cuyo láser permitió medir las distancias horizontales e inclinadas entre dos puntos ubicados en el centro de la galería y las chimeneas. La versatilidad del láser hizo que el levantamiento de la información fuera mucho más rápido en comparación con el uso tradicional de la cinta métrica. Las mediciones de las distancias horizontales y la determinación de direcciones permiten la creación de un modelo topográfico completo de la veta Andy.

3.2.5. Caracterización geológica y estructural de la veta Andy

Con la asistencia del levantamiento topográfico subterráneo, se procedió a la caracterización geológica de las galerías mineras que conforman la zona de estudio. Este proceso implicó la descripción litológica de la roca aflorante en el techo y las paredes del

túnel, además de las dos chimeneas existentes. Simultáneamente, se realizó la medición de los datos estructurales de la veta Andy, incluyendo su dirección, buzamiento y potencia.

Durante la inspección geológica, se llevaron a cabo diversas actividades para evaluar la veta de interés. Una de ellas fue la recolección de seis muestras representativas de la veta Andy, con el fin de realizar una evaluación descriptiva de la mineralización (figura 15)

Figura 15. Caracterización geológica en la zona de la veta Andy



Fuente: Elaboración propia.

La etapa de recolección de muestras se ejecutó siguiendo los procedimientos técnicos empleados por la empresa, los cuales garantizan un muestreo adecuado y preciso, evitando la contaminación de las muestras y permitiendo obtener valores cercanos a los reales. Una vez

recolectadas, las muestras siguieron una cadena de custodia hasta ser entregadas al encargado del laboratorio de la empresa minera.

Las muestras recolectadas fueron colocadas directamente en una funda de papel periódico, seguida de una funda plástica. Una vez llena, la funda se etiquetó con la siguiente información: número de muestra, ubicación y coordenadas de la muestra.

Finalmente, el encargado del laboratorio metalúrgico realizó los análisis respectivos y emitió los resultados de cada muestra, proporcionándonos información valiosa sobre la composición y concentración de minerales en la veta. Dado que la empresa se dedica a la extracción de minerales metálicos como oro, plata y cobre, los análisis se enfocaron en el contenido de oro presente en cada una de las seis muestras recolectadas.

Este enfoque meticuloso en la recolección y análisis de muestras es fundamental para comprender la viabilidad económica y el potencial de explotación de la veta. Los datos obtenidos ayudan al geólogo, ingeniero en minas e ingeniero metalúrgico a tomar decisiones informadas sobre la continuación de la exploración y el desarrollo del yacimiento

3.2.6. Modelamiento geológico estructural

Para el modelamiento geológico se tomó como base el levantamiento topográfico detallado, la descripción litológica de las galerías existentes, así como la información obtenida de la recopilación de datos estructurales de la estructura mineralizada de interés. De esta manera, se procedió con el desarrollo del modelamiento geológico-estructural (figura 16).

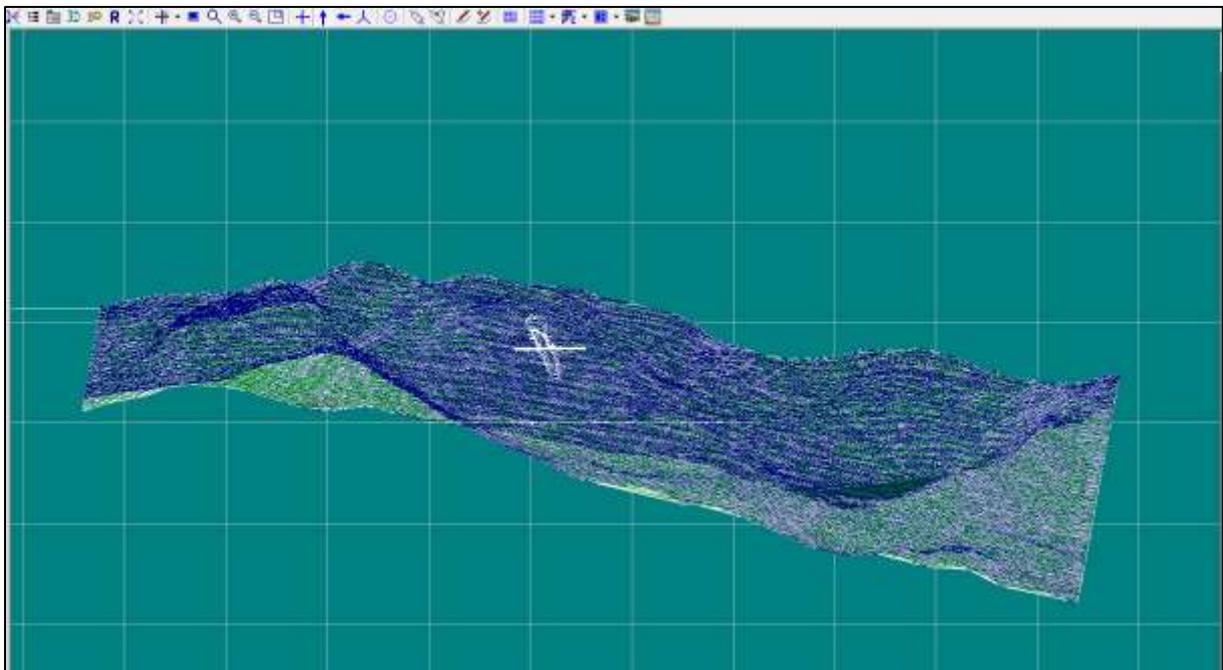
Este proceso permitió comprender la distribución espacial de la veta Andy en relación con el resto de la litología, incluyendo las rocas y fallas presentes en la zona.

El modelamiento geológico-estructural es esencial para visualizar y analizar la geometría de los elementos geológicos, como pliegues, fallas y contactos entre diferentes unidades

litológicas. A partir de los datos recopilados, se crean modelos tridimensionales que permiten observar la disposición del cuerpo geológico.

También se realizó un análisis tridimensional con la información obtenida. Este análisis visual permitió examinar la geometría y la distribución espacial de las formaciones geológicas en el subsuelo, e identificar la ubicación de las galerías de desarrollo y chimeneas que conforman el bloque de la veta mineralizada

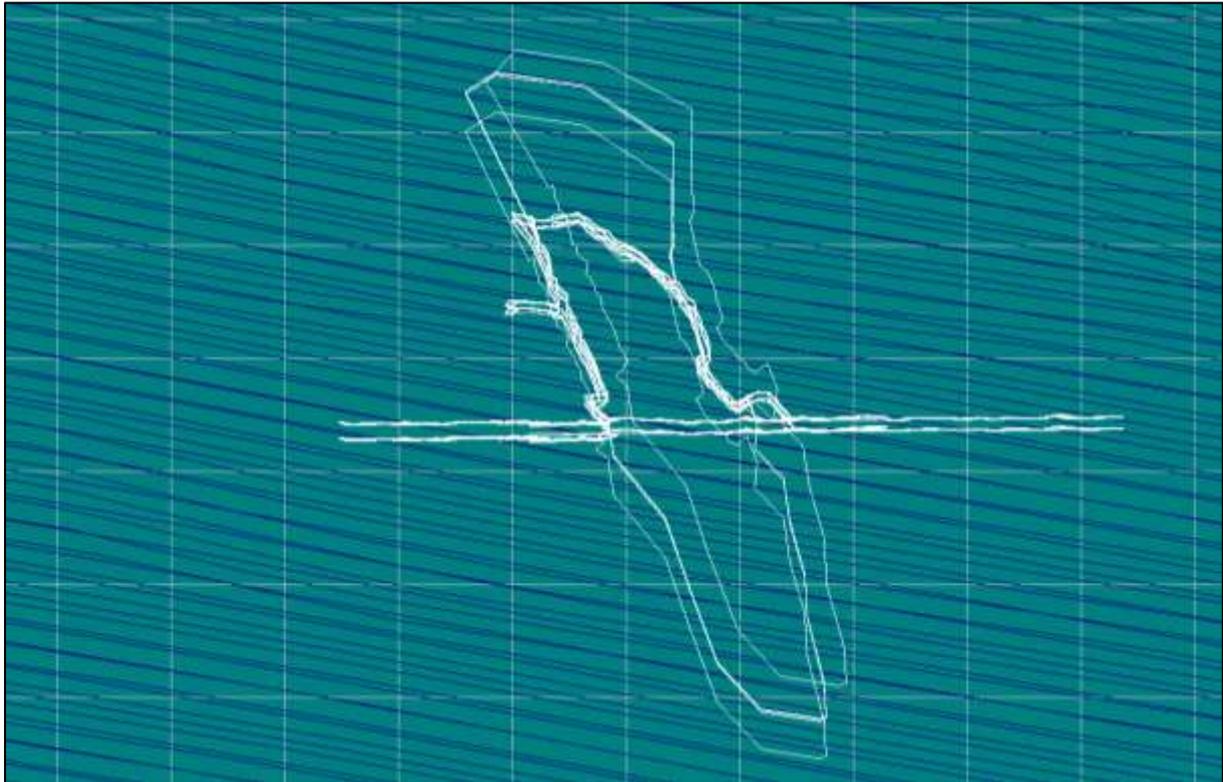
Figura 16. Modelo tridimensional con el Software Recmin



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis, se contó con la asistencia de herramientas especializadas como Civil 3D y RecMin, ampliamente reconocidas por su eficacia en la gestión y representación de datos geoespaciales (figura 17

Figura 17. Modelo tridimensional de la Veta Andy



Fuente: Elaboración propia.

Estos programas permiten organizar de manera sistemática la información recopilada del levantamiento topográfico y la caracterización geológica. Además, facilitan la creación de modelos digitales que ofrecen una representación precisa de la distribución de la estructura mineralizada. Civil 3D desempeñó un papel crucial al permitir la creación de modelos digitales precisos de las galerías, así como la visualización y el análisis de datos geoespaciales (Autodesk, 2024). Por otro lado, RecMin se utilizó para la gestión y representación gráfica de datos geológicos, agilizando la comunicación efectiva de los resultados de la investigación (RecMin, 2024). Esta combinación de herramientas y enfoques contribuyó de manera significativa a la comprensión de la dinámica geológica del área de estudio.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Levantamiento topográfico subterráneo

De conformidad con los objetivos planteados en el proyecto de investigación, se llevó a cabo una visita técnica a la mina operada por la compañía PROMINE CÍA. LTDA. Para ello, se realizaron las gestiones necesarias con la gerencia y administración de la empresa, de manera que no se interrumpieran las actividades cotidianas y la inspección no generara ningún tipo de riesgo para el personal durante la visita técnica (figura 18). Es importante señalar que la empresa brindó todas las facilidades para la realización del levantamiento topográfico de la galería y chimeneas en el sector de la veta Andy

Figura 18. Charla de seguridad industrial en la compañía PROMINE CÍA. LTDA.



Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo 2, apartado 2.3 Metodología de obtención de la topografía subterránea, se detalló la técnica empleada, partiendo de un punto de referencia facilitado por el departamento de geología de la empresa. Como resultado, se obtuvieron 32 puntos de coordenadas georreferenciados en el sistema UTM PSAD 56; dichos puntos corresponden al eje de la galería y las chimeneas existentes en el sector de la veta Andy (tabla 1)

Tabla 1. Coordenadas de levantamiento topográfico subterráneo -Veta Andy

COORDENADAS -SISTEMA PSAD 56				
Puntos	Norte	Este	Cota	Sector
1	9660079,43	644230,020	186,312561	GALERIA PRINCIPAL
2	9660085,82	644233,859	185,573859	
3	9660090,49	644241,336	186,551818	
4	9660105,57	644257,218	185,151265	
5	9660090,49	644241,336	186,551818	VETA ANDY
6	9660104,68	644252,421	185,292714	
7	9660093,69	644253,001	186,090184	
8	9660083,66	644256,776	186,400436	
9	9660077,88	644258,656	185,217420	
10	9660060,98	644264,806	186,263563	
11	9660050,68	644272,852	186,377618	
12	9660048,48	644269,181	186,128426	
13	9660045,08	644281,014	185,627557	
14	9660032,73	644298,011	187,096629	
15	9660024,88	644307,374	186,456036	
16	9660020,92	644308,509	187,231105	
17	9660014,64	644326,742	186,220498	
18	9660050,68	644272,852	186,377618	
19	9660043,34	644266,242	191,966626	
20	9660041,18	644270,390	193,792596	
21	9660024,39	644261,083	211,695053	
22	9660005,35	644256,334	225,608587	
23	9660000,12	644252,938	232,140246	TAJO
24	9660000,12	644252,938	232,140246	
25	9660004,99	644250,347	233,481634	
26	9659993,23	644264,396	233,364365	CHIMENEA 2
27	9659998,00	644274,617	225,170638	
28	9659999,61	644280,259	222,879082	
29	9660010,40	644290,313	210,799122	
30	9660017,85	644292,449	203,049231	
31	9660020,22	644290,784	199,052688	
32	9660027,56	644299,223	190,316451	

Fuente: Elaboración propia.

La obtención de los puntos de coordenadas es el inicio de todo estudio. Luego, con la ayuda de un software como Civil 3D 2021 o Autocad 2021, se realiza la edición correspondiente, lo que permite obtener un plano en 2D de las labores existentes.

El levantamiento topográfico es la base para continuar con el levantamiento geológico-estructural, en el cual se registran todos los cambios geológicos observados, así como la existencia de estructuras sobresalientes en el área de interés, como pliegues, fallas, estructuras mineralizadas (vetas) y cambios de rumbo o buzamiento

4.2. Caracterización geológica y estructural

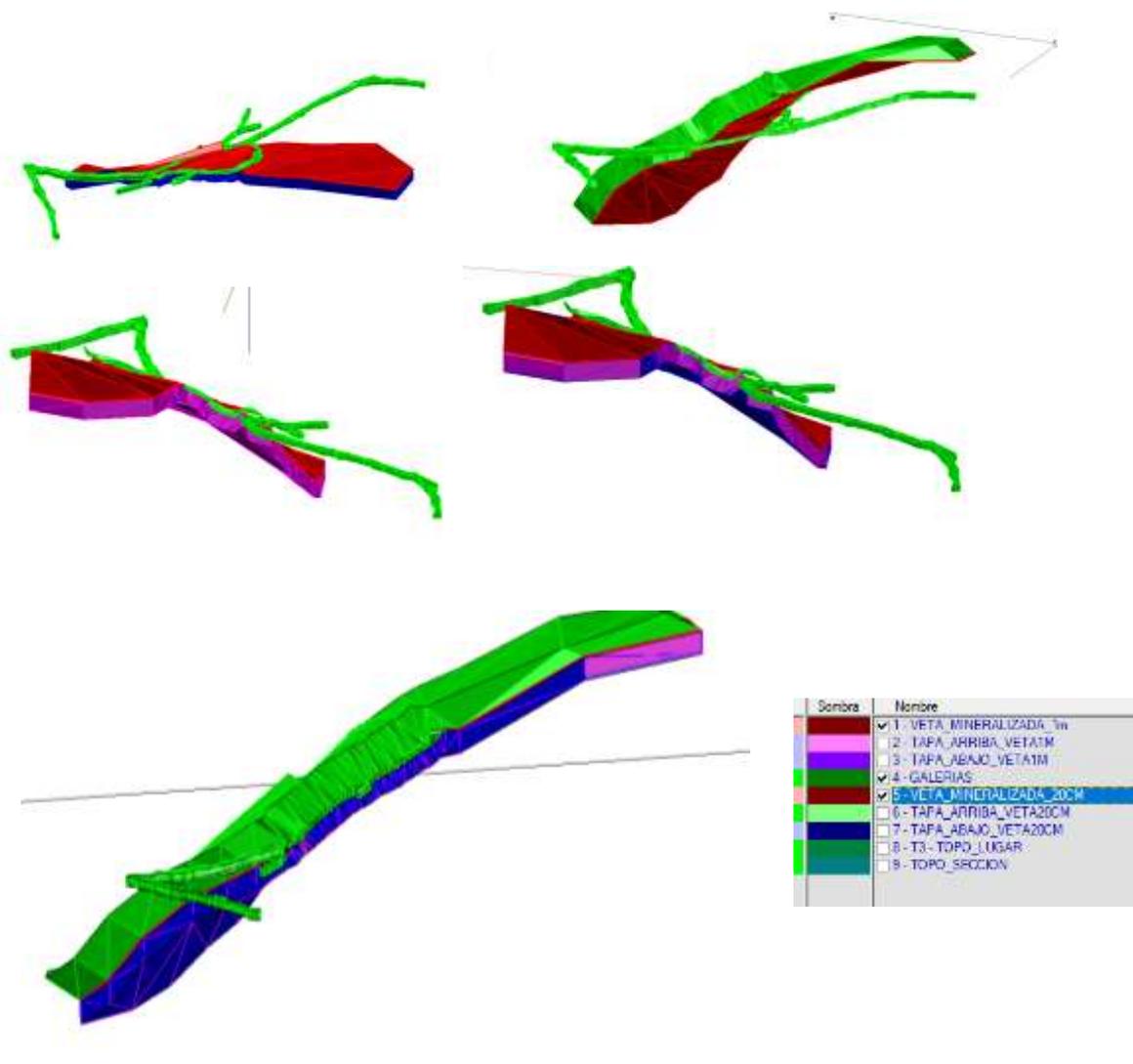
De la verificación realizada in situ se evidenció claramente una estructura mineralizada (veta) en un trayecto de 44 metros, observada en el techo y la pared de la galería minera. Esta se presenta de forma continua, con un buzamiento promedio de 45 a 60 grados, y se apreció que la potencia es consistente, oscilando entre 10 y 15 cm.

Apoyados por el personal de la unidad de geología y minas de la Compañía PROMINE CÍA. LTDA., se procedió a ascender por la CHIMNEA 1. Para ello, se utilizaron escaleras metálicas fijadas al macizo rocoso, además de cabos o cuerdas resistentes que permiten fijarse e impulsarse durante el ascenso. A lo largo de la chimenea, se observó la veta mineralizada, caracterizada por la presencia de cuarzo lechoso que envuelve minerales de sulfuro. En este tramo se mantuvieron la potencia y el buzamiento de la veta, con variaciones que oscilan entre 35 y 45 grados.

En la parte superior del tajo no se observaron cambios significativos en la veta mineralizada; se mantuvieron la potencia y el ángulo de inclinación similares a los observados en la galería principal. Para finalizar la diligencia, se descendió por la

Las mediciones de rumbo y buzamiento indicaron que la estructura mineralizada sigue un rumbo predominante de Oeste a Este, con un buzamiento que varía entre 30 y 65 grados de inclinación. La potencia de la veta fluctúa entre 0.10 y 0.45 metros, de acuerdo con las mediciones realizadas en la galería principal y las dos chimeneas (figura 20)

Figura 20. Modelo tridimensional de la topografía subterránea y veta Andy



Fuente: Elaboración propia.

4.3.Recolección y análisis macroscópico de muestras

Para el análisis macroscópico de la mineralogía presente en la veta Andy, se tomaron seis muestras representativas de aproximadamente 1 kilogramo cada una. Los puntos de muestreo

se distribuyeron estratégicamente en la galería principal, chimenea 1, tajo y chimenea 2. Estas muestras fueron cuidadosamente recolectadas siguiendo normas estandarizadas. En nuestro caso, se utilizó un cincel de 20 cm de largo y un combo de 1 kilogramo de peso. Antes de fracturar la roca, se realizó la limpieza de polvo y sales que pudieran cubrirla, tratando de dejar una cara libre de impurezas; de esta manera, se asegura la mínima alteración y preservación de las características originales de la roca.

Las muestras se recogieron en fundas de papel recubiertas por fundas plásticas para asegurar su contenido; luego, fueron etiquetadas y selladas antes de enviarse al laboratorio metalúrgico de la compañía minera. Una vez en el laboratorio, se abrieron las envolturas de cada una de las muestras y se extrajeron algunos fragmentos de roca para ser analizados de forma individual

4.4.Resultado del análisis macro

De entre las muestras recolectadas, se eligió la muestra número 3, la cual fue tomada de la chimenea 2. Esta reveló la presencia significativa de cuarzo lechoso, que envuelve sulfuros masivos de pirita, calcopirita y esfalerita. No se observó oro visible en la muestra a simple vista. El resultado emitido por el laboratorio metalúrgico de la compañía PROMINE CÍA. LTDA. arrojó un valor de 57.70 g de Au/ton. Este resultado sugiere que el oro presente en la muestra obtenida de la chimenea 2 dentro de la veta Andy es de tipo refractario (figura 21)

Figura 21. Muestra numerada #3 obtenida en Chimenea 2, dentro de la veta Andy



Fuente: Elaboración propia.

Otra de las muestras elegidas para el análisis macroscópico fue la número 5 (figura 22), la cual fue tomada de la veta mineralizada que aflora en una de las paredes de la galería principal. En esta muestra se observó una matriz de andesita verdosa, característica de los procesos de alteración; dicha matriz envuelve la mineralización de sulfuros masivos, como pirita, calcopirita y, en menor proporción, cuarzo lechoso

Figura 22. Muestra número #5 obtenida en la Chimenea 2



Fuente: Elaboración propia.

La mineralización descrita de las muestras número 3 y número 5 de la veta Andy es consistente con la mineralización evidenciada a lo largo de la chimenea 1, el tajo y la chimenea 2, proporcionando información valiosa sobre la mineralogía presente.

4.5.Resultado del análisis laboratorio metalúrgico

El reporte del laboratorio químico metalúrgico de la compañía PROMINE CÍA. LTDA. entregó los resultados del contenido de oro (Au) por tonelada, de acuerdo con las seis muestras recolectadas. Según los resultados generados por el laboratorio, el 50% de las muestras arrojó un contenido inferior a 1.00 g de Au/ton, mientras que el otro 50% mostró valores más elevados, destacando uno de 57 g de Au/ton y dos valores que promedian 23.20 g de Au/ton (tabla 2)

Tabla 2. Detalle de los resultados metalúrgicos de las muestras recolectadas

Código	Peso muestra (kg)	Au gr/ton	Lugar de muestreo
C-001	1.00	0.50	Chimenea 1
C-002	1.00	0.10	Tajo
C-003	1.00	57.00	Chimenea 2
C-004	1.00	01.00	Galería principal
C-005	1.00	22.70	Galería principal
C-006	1.00	23.70	Galería principal

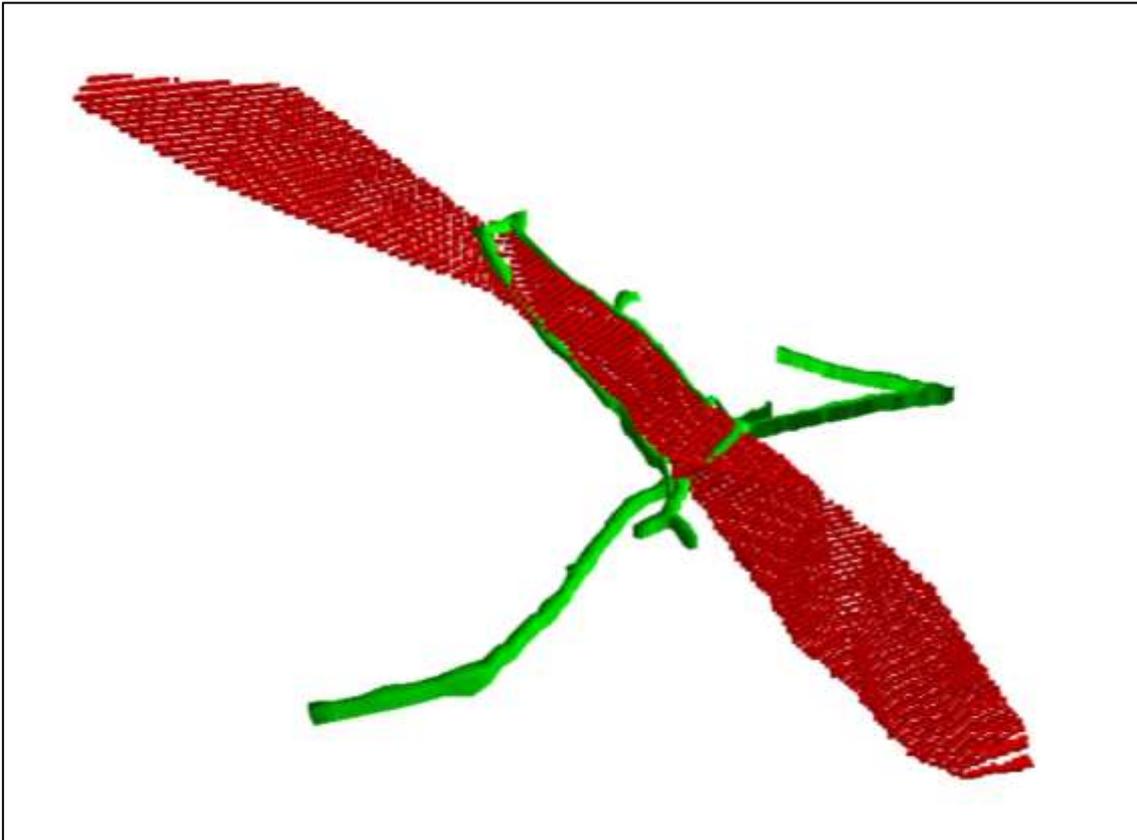
Fuente: Elaboración propia.

4.6. Modelación geológico-estructural

La modelación geológico-estructural de la veta Andy fue realizada utilizando el software RecMin, el cual permitió integrar los datos topográficos y estructurales recopilados en campo. Esta modelación en 3D proporcionó una visión tridimensional clara de la veta, destacando su relación con las galerías y chimeneas existentes.

El modelamiento reveló que la veta Andy tiene un ancho de 33.85 metros, extendiéndose 87 metros hacia arriba desde la galería principal y 65 metros hacia abajo. Estos resultados fueron fundamentales para entender la geometría de la estructura mineralizada y su continuidad en profundidad

Figura 23. Modelo de bloques con ayuda del software RecMin



Fuente: Elaboración propia.

Además, se implementó un modelo de bloques, una representación simplificada del yacimiento mineral que facilita la estimación y presentación de informes de recursos. Este modelo fue ajustado para exagerar la potencia de la veta a 1.00 metro, debido a que la potencia real promedio de 0.20 metros presentó limitaciones en el software para un análisis detallado. Los bloques generados en el modelo tienen un tamaño de 1.00 m³, ya que el software RecMin Free no permite crear bloques de menor tamaño, lo que resultó en la generación de 7354 bloques para la zona de la veta Andy.

Esta adaptación permitió una representación más manejable de los volúmenes de mineralización y proporcionó una base sólida para futuras estimaciones de recursos (figura 24)

Figura 24. Generación de modelo de bloques con RecMin

The screenshot shows the 'CGRM - Selección de bloques del modelo' window. At the top left, there's a dropdown for 'Modelos de bloques existentes' with 'BLK_1' selected. To its right are checkboxes for 'Leer nº blk.' and 'Leer litologías.'. On the top right, there are buttons for 'Abrir bloques' and 'Cancelar'. The main interface is divided into three tabs: 'SQL', 'Selección', and 'Otras SQL y selec.'. The 'SQL' tab contains three columns of numbers (1-7) and a search field with 'AIRE = 2'. The 'Selección' tab has a 'SQL' dropdown set to 'General' and a search field with 'AIRE = 2'. The 'Otras SQL y selec.' tab has a search field and a 'Actualizar campo' button. At the bottom, there are statistics for 'Nº de bloques' (7 354), 'Volumen' (7 354.0), and 'Peso' (.0). There are also fields for 'Metal AIRE', 'Ley AIRE', and 'Densidad'. The bottom right corner shows 'OLEDB.4'.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo y la modelación geológico-estructural proporcionan una comprensión integral de la veta Andy (figura 24). La correlación entre los datos topográficos, geológicos y estructurales ha permitido delinear con precisión la geometría de la veta y su comportamiento en profundidad. Estos hallazgos no solo contribuyen al conocimiento geológico del área, sino que también tienen implicaciones prácticas para la planificación minera y la futura explotación de este recurso mineral.

La identificación de la presencia de oro refractario y las características estructurales de la veta Andy sugieren la necesidad de estudios adicionales para optimizar las técnicas de extracción y procesamiento. Asimismo, el modelado en 3D y el uso del modelo de bloques proporcionan herramientas cruciales para la toma de decisiones estratégicas en la gestión del yacimiento.

En resumen, el levantamiento topográfico, la caracterización geológica y estructural, y la modelación geológica realizada en este proyecto han cumplido con los objetivos planteados, ofreciendo una base sólida para el desarrollo de futuras investigaciones y operaciones en el sector de la veta Andy

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Como resultado de la presente investigación, se obtuvo un modelo geológico-estructural generado en los softwares RecMin Free y Civil 3D 2021, lo cual permitió modelar en 3D la Veta Andy. El modelamiento de la veta mineralizada se proyectó 87.00 metros hacia arriba en una extensión vertical significativa, 65.00 metros hacia abajo desde la galería principal y un ancho de 33.85 metros, cubriendo la zona donde aflora la veta de interés.

Con el software RecMin Free se generó un modelo de bloques que proporciona una comprensión detallada de la geometría de la veta, facilitando la estimación y presentación de informes de recursos. Este constituye una herramienta clave para la planificación minera y la toma de decisiones. Para la generación del modelo de bloques en RecMin Free, fue necesario ajustar las dimensiones de la Veta Andy, debido a que la potencia real promedio de 0.20 metros presentó limitaciones para el análisis. En este caso, se exageró a 1.00 metro de potencia, lo que permitió crear bloques de 1.00 m³, ya que el software no permite generar bloques de menor tamaño. Como resultado, se obtuvieron 7,354 bloques para la veta en estudio.

La Veta Andy, que aflora en las galerías mineras de la compañía PROMINE CÍA. LTDA., dentro de la concesión minera Bella Rica (código catastral 15), se caracteriza por la mineralización de oro (Au), plata (Ag) y otros metales. Como punto de partida, se realizó un levantamiento topográfico subterráneo que identificó y detalló la galería, chimeneas y tajo presentes en el sector de la veta mineralizada, obteniendo 32 puntos de coordenadas georreferenciadas en el sistema UTM PSAD 56. Estos datos fueron tabulados y analizados en el software Civil 3D 2021, lo que permitió la elaboración de un plano en 2D, constituyendo la

base para la modelación geológico-estructural de la veta y correlacionando las estructuras geológicas observadas.

La caracterización geológica y estructural en el área de interés identificó una estructura mineralizada compuesta principalmente por cuarzo lechoso y sulfuros polimetálicos (pirita, calcopirita y esfalerita). Esta veta presenta una potencia que varía entre 0.10 y 0.20 metros y un buzamiento promedio de 45-60 grados. La veta se extiende de forma continua a lo largo de la galería principal y las dos chimeneas existentes, mostrando consistencia en su orientación (Oeste-Este) y en su inclinación, sin cambios significativos en sus dimensiones (potencia) a lo largo de las diferentes zonas inspeccionadas.

La correlación precisa entre los datos topográficos, geológicos y estructurales ha permitido delinear con exactitud la geometría de la veta, así como su continuidad en profundidad. Esta integración de información proporciona una base sólida y confiable para futuras investigaciones, evaluaciones y operaciones en la mina, facilitando una planificación más efectiva y segura.

Para el análisis macroscópico y mineralógico de la Veta Andy, se recolectaron seis muestras representativas, confirmando la presencia de cuarzo lechoso y sulfuros polimetálicos masivos. Entre ellas, destaca la muestra número 3, obtenida en la chimenea 2, la cual reveló un alto contenido de oro refractario (57.70 g de Au/ton). Este hallazgo sugiere la complejidad del mineral presente y la necesidad de aplicar técnicas avanzadas para su extracción y procesamiento.

En los estudios realizados en el distrito minero de Riotinto y El Callao, al igual que en la Veta Andy de PROMINE CÍA. LTDA., el software RecMin Free desempeñó un papel fundamental en la creación de modelos 3D. Esto permitió una visualización precisa de la

estructura geológica y la distribución de minerales en cada caso. En el presente estudio, RecMin Free facilitó una representación detallada de la geometría y continuidad de la Veta Andy, similar a lo que se observó en los estudios mencionados.

El diseño del pit óptimo en el distrito de El Callao, junto con la consideración de la geometría de la Veta Andy, fue fundamental para la planificación minera y la futura explotación en ambos estudios. Estos aspectos reflejan la importancia de la modelación geométrica en la optimización de las operaciones mineras.

Recomendaciones

La sugerencia de implementar de manera óptima los softwares **RecMin** y **Civil 3D** en las etapas de exploración y explotación de vetas mineralizadas angostas, comunes en Ponce Enríquez, es clave para optimizar la gestión de la mina. Estas herramientas permiten desarrollar modelos tridimensionales que ayudan a definir y planificar sistemas de explotación eficientes, asegurando un uso más eficaz del mineral disponible y evitando posibles interrupciones en los procesos de beneficio debido a la escasez de mineral.

Se recomienda que **PROMINE CÍA. LTDA.** incorpore modelos tridimensionales, como el modelo de bloques, en las fases de estimación y presentación de informes de recursos mineros. Esta estrategia proporcionará una base sólida para la toma de decisiones precisas sobre la extracción de vetas mineralizadas, considerando los precios actuales del mercado y las posibles fluctuaciones.

El levantamiento topográfico subterráneo, que sirve de base para los estudios geológicos, estructurales y de diseño de la mina, debe realizarse con la mayor precisión posible. Datos confiables no solo minimizan los errores, sino que también evitan gastos innecesarios para la empresa. Por lo tanto, es esencial utilizar **equipos de topografía de alta**

precisión, como **RTK** para la georreferenciación de la bocamina, y **estaciones totales** que garanticen levantamientos con precisión milimétrica.

La inclusión de la **comunidad local** en las actividades del proyecto es también fundamental, promoviendo el **desarrollo sostenible** a través de la creación de empleo y el mejoramiento de la calidad de vida en la región. Esto puede fortalecer la relación entre la empresa y la comunidad, facilitando la aceptación del proyecto.

Debido a las variaciones en el buzamiento y la potencia de la veta, se recomienda implementar un **programa de monitoreo continuo** que evalúe la estabilidad de las galerías y chimeneas. Este programa debe incluir la instalación de **instrumentos geotécnicos** y la realización de **inspecciones periódicas**, para detectar cualquier desplazamiento o inestabilidad que comprometa la seguridad operativa.

Capacitar al personal en el uso avanzado de software de modelación geológica y estructural es otra recomendación esencial. Dado el papel crucial del **modelamiento 3D** en la planificación minera, mejorar las competencias del equipo en estas herramientas aumentará la precisión de los modelos y respaldará la toma de decisiones estratégicas.

Además, basado en los datos obtenidos a partir del modelamiento geológico y estructural, es aconsejable realizar una **evaluación económica detallada** del yacimiento. Esto permitirá determinar la viabilidad económica de la explotación, definir la vida útil de la mina y planificar la inversión requerida para la extracción y procesamiento de los minerales.

Se sugiere también establecer un **plan de gestión ambiental** que contemple prácticas sostenibles durante la explotación minera. Este plan debe incluir la minimización del impacto ambiental, la correcta gestión de residuos y el cumplimiento de normativas ambientales

vigentes, garantizando así la **licencia social** para operar y promoviendo un desarrollo responsable en la región.

Finalmente, es recomendable implementar un **sistema de gestión de riesgos** que abarque la identificación, evaluación y mitigación de riesgos operativos y ambientales. Este enfoque proactivo permitirá anticipar problemas potenciales, asegurar la continuidad de las operaciones y proteger tanto a los trabajadores como al entorno natural.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Achina, L. C. (2020). Los arreglos institucionales como falla de implementación: La política minera del Ecuador (2007 – 2016) [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16743/2/TFLACSO-2020LCAA.pdf>
- Buelga Díaz, A., Castañón Fernández, C., Ares, G., Prieto, D. A., & Álvarez, I. D. (2022). RecMin Variograms: Visualisation and Three-Dimensional Calculation of Variograms in Block Modelling Applications in Geology and Mining. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912454>
- Calderón Vela, G. P. A., & Zaquinaula Bances, W. A. (2021). *Aplicación del software AutoCAD Civil 3D en el seguimiento de volúmenes para el control de avance en la Unidad Minera Pallasca*. UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.
- Caldevilla Domínguez, P. (2021). Geología y metalogenia de los Yacimientos de W-Sn y Au en el noroeste de la Península Ibérica Peña do Seo (Zona Asturoccidental-Leonesa) y Sinclinal de Truchas (Zona Centroibérica) [Tesis, Universidad de León]. <https://portalcientifico.unileon.es/documentos/6543f0ff75c34262c8ea6beb>
- Calle Idrovo, C. I., y Ureña Ureña, J. C. (2014). Diseño e implementación presupuestaria para determinar la rentabilidad de la actividad minera aplicada a la empresa la fortuna situada en el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay en el período 2014 [Tesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22840/1/tesis.pdf>

Civil 3D. (2024). [Software]. En Autodesk (Versión estudiantil).

<https://www.autodesk.com/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Crespo Alvear, M. del C. (2017). La regalía minera en el Ecuador: ¿un recurso patrimonial originario con apariencia de tributo? | Foro: Revista de Derecho. Revista de Derecho, 1390-2455.

<https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/foro/article/view/596/2450#>

Cárdenas Argudo, L. M., and Gavilanes Cordero, M. K. (2017). Análisis de la cinética de flotación en celda convencional de material aurífero de la veta “San Salvador” de la mina PROMINE CÍA LTDA, Camilo Ponce Enríquez – Azuay [Tesis, Universidad Nacional de Loja].

https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26974/3/HarmanLeonardo_SanangoZaruma.pdf [Tesis, Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8419/1/14139.pdf>

Dominy, S., Noppé, M., and Annels, A. (2002). Erros and Uncertainty in Mineral resource and Ore Reserve Estimation: The Importance of getting it right. *Exploration And Mining Geology*, 11–(1-4), 7798. <https://doi.org/10.2113/11.1-4.77>

Griem, W. (2020). *Vetas y vetiformes*. Wolfgang Griem.

<http://geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>

GONZALEZ DE SELA, J. C. (2015). “ESTUDIO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL y ANÁLISIS GEOMECÁNICO EN LA MINA SAN JUAN; DISTRITO MINERO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA AZUAY, ECUADOR”. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

Hidalgo Ruiz, D.G. (2023). Cálculo de reservas y estimación de recursos minerales de la veta venado del proyecto colibrí, Cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay. 114 páginas. Quito: EPN.

Joint Ore Reserves Committee. (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves* (JORC 2012). <https://bit.ly/4dqObge>

Konte, M., and Vincent, R. C. (2021). Mining and quality of public services: The role of local governance and decentralization. *World Development*, 140(0305-750x). <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105350>

Labanda Vega, J. C. (2018). Diseño de explotación para la empresa minera 001 MALDONADO SÁNCHEZ JORGE ARMANDO [Tesis]. Universidad del Azuay.

Larenas Herdoiza, D., Fierro-Renoy, V., y Fierro-Renoy, C. (2017). Minería a Gran Escala: Una nueva industria para Ecuador. *Polémika* 12, 2528-7796. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/956/1136>

Malchenko, R. "Ukrainian mineral resources." Thesis, Sumy State University, 2016. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/45894>.

Maldonado, Y. (2021). *Yacimientos minerales [tipos] características y origen*. GEOLOGIAWEB. <https://geologiaweb.com/recursos-naturales/yacimientos-minerales/>

Meinert, L., Robinson, G., & Nassar, N. (2016). Mineral Resources: Reserves, Peak Production and the Future. *Resources*, 5. <https://doi.org/10.3390/resources5010014>

Minga Service. (2024). *Brújula Brunton Pocket Transit 0-360 grados, Modelo DF 5006*. Brújula Brunton Pocket Transit 0-360 Grados, Modelo DF 5006. <https://www.mingaservice.com/web/producto/item/brujula-brunton-pocket-transit-0-360-grados-modelo-df-5006>

- Mora Ruiz, A. S. (2022). “La explotación minera en el cantón Ponce Enríquez y su impacto en el desarrollo económico local [Tesis, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/18518/1/T-UCSG-POS-MFEE-275.pdf>
- Mora, A. L. (2016). *MODELO SEDIMENTOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO DE UN SECTOR AL SE DEL CAMPO JUNÍN 5 DE LA FAJA PETROLIFERA DEL ORINOCO, VENEZUELA* [UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA]. <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/14975/1/T.E.G.%20-%20Andrea%20Mora%20-%202016.pdf>
- Morocho Bastidas, P. A. (2019). *Proyección de las vetas “María” y “Paola” en la zona norte de explotación de la Empresa Minerandina Cía. Ltda.”*. UNIVERSIDAD DEL AZUAY.
- Murillo Martin, D. C. (2016). ¿Un paso a la minería? La Reserva Comunitaria Junín en la tensión de territorialidades por exploración minera [Tesis, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/8960/1/TFLACSO-2016DCMM.pdf>
- Naranjo Núñez, R. (2005). Modelo de riesgo para la evaluación económico financiera de proyectos mineros [Tesis, Universidad de Sevilla]. <https://oa.upm.es/236/1/06200508.pdf>
- Ortega Vivas, J. C. (2018). *Determinación de la secuencia de explotación en una zona del distrito minero de El Callao, para la identificación de su factibilidad utilizando el software RecMin*. Universidad Central de Venezuela.

- Pirela, M. A., & Ramírez, R. (2017). Modelo geológico-estructural del yacimiento VEN1 del noroeste del lago de Maracaibo. *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” Holguín, Cuba*, 33, 44–57.
<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223549947004.pdf>
- Quea Vargas, R. J. (2020). Monografía de (todos) los instrumentos topográficos [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. In *Monografía de (todos) los instrumentos topográficos*.
https://www.academia.edu/44423418/Monograf%C3%ADa_de_todos_los_instrumentos_topogr%C3%A1ficos
- Quispe, E. T., & Luis, M. J. (2015). *LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL RECORTE TRIUNFO DE MARNE (EMPLEO DE LA METODOLOGÍA AIDAA)*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS.
- RECMIN (Versión estudiantil). (2022). [Software]. https://recmin.com/WP/?page_id=88
- Recmin. (2017). *RECMIN – Recursos Mineros*. Recursos Mineros.
https://recmin.com/WP/?page_id=93
- Sanango Zaruma, H. L. (2023). Análisis de la cinética de flotación en celda convencional de material aurífero de la veta “San Salvador” de la mina PROMINE CÍA LTDA, Camilo Ponce Enríquez – Azuay [Tesis, Universidad Nacional de Loja].
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26974/3/HarmanLeonardo_SanangoZaruma.pdf
- Sanches, A., Almeida, J., Sá Caetano, P., and Vieira, R. (2017). A 3D Geological Model of a Vein Deposit Built by Aggregating Morphological and Mineral Grade Data. *Minerals*, 7(12). <https://doi.org/10.3390/min7120234>

- Scogings,A. (2014). Public reporting of industrial minerals resources according to JORC 2012. AusIMM Bulletin. (3).
- Serra, M. E., & Tapia Gómez, A. (2003). Topografía subterránea para minería y obras. *POLITEXT 142, 142*. <https://core.ac.uk/download/pdf/41821057.pdf>
- Valencia Guaricela, F. T., y Labanda Vega, J. C. (2018). Diseño de explotación para la empresa minera 001 Maldonado Sánchez Jorge Armando [Tesis, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8628>
- Vilca, M. (2007). Evaluación y clasificación de recursos minerales en la veta Milagros de la Mina Parcoy, provincia de Patate departamento de la Libertad [Tesis]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Vivallo, W., & Henríquez, F. (1998). Génesis común de los yacimientos estrato-ligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile, 25(2)*.
<https://doi.org/10.4067/s0716-02081998000200006>.
- Wang, F., Wong, W.-K., Wang, Z., Albasher, G., Alsultan, N., and Fatemah, A. (2021). Emerging pathways to sustainable economic development: An interdisciplinary exploration of resource efficiency, technological innovation, and ecosystem resilience in resource-rich regions Author links open overlay panel. *Resources Policy, 85(103747)*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103747>