UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Tesis

Análisis del estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del proyecto minero ccochasayhuas, progreso 2024

Presentado por:

Flor Meluzka Naveros Quispe

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú
2025

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

Análisis del estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024

Presentado por **Flor Meluzka Naveros Quispe**, para optar el título de Ingeniero de Minas.

Sustentado y aprobado el 28 de agosto del 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente: _____
Dr. Darío Dante Sánchez Castillo

Primer miembro: _____
Ing. Juan Antonio Huamani Ayvar

Segundo miembro: _____
Mtro. Percy Leonidas Cortez Miranda

Asesor: _____
Dr. Germán Rafael Espinoza Rivas

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD
Nº 197-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: Análisis del estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024, Presentado por la bachiller: **FLOR MELUZKA NAVEROS QUISPE;** para optar el Título de **Ingeniero de Minas;** ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(04%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 21 de agosto del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dra. Hesmeralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. Nº 665

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Agradecimiento

A Dios, por ser la luz de todos los días al guiar mis pasos, a mis padres Fidelia Quispe, Jesús Naveros, por enseñarme a ser fuerte, perseverante, al respeto hacia el prójimo y por tener siempre su apoyo incondicional. A mis hermanos, por su apoyo y motivación en cada momento de mi formación profesional.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Dedicatoria

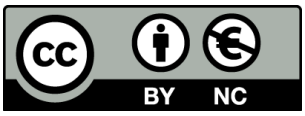
A mi familia, quienes me apoyaron y orientaron durante mi trayectoria, en especial a mis padres Fidelia Quispe, Jesús Naveros que desde el cielo me guía, quienes me enseñaron a nunca rendirme y a perseguir mis sueños." "A mí mismo, por la perseverancia y dedicación que he puesto en este proyecto." "A mi pasado, que me ha enseñado a aprender de mis errores y a crecer como persona." "A mi futuro, que espero que sea brillante y lleno de oportunidades"

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Análisis del estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024

Línea de investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE

		Pág.
INTRODUCCIÓN		1
RESUMEN		3
ABSTRACT		4
CAPÍTULO I		5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		5
1.1	Descripción del problema	5
1.2	Enunciado del problema	6
1.2.1	Problema general	6
1.2.2	Problemas específicos	6
1.2.3	Justificación de la investigación	7
1.2.4	Ubicación geográfica	8
1.2.5	Accesibilidad	8
CAPÍTULO II		10
OBJETIVOS E HIPÓTESIS		10
2.1	Objetivos de la investigación	10
2.2.1	Objetivo general	10
2.2.2	Objetivos específicos	10
2.2	Hipótesis de la investigación	10
2.2.3	Hipótesis general	10
2.2.4	Hipótesis específicas	10
2.2.5	Hipótesis nula.	11
2.3	Operacionalización de variables	11
CAPÍTULO III		12
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL		12
3.1	Antecedentes	12
3.2	Marco teórico	16
3.2.1	Método geofísico	16
3.2.1.1	Magnetometría	16
3.2.1.2	Resistividad eléctrica	17
3.2.1.3	Gravimetría	18
3.2.2	Método geológico	18
3.2.2.1	Estructura geológica	19

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.2.2 Mineralización 19
3.2.2.3 Litología 19
3.3 Marco conceptual 20
CAPÍTULO IV 27
METODOLOGÍA 27
4.1 Tipo y nivel de investigación 27
4.2 Diseño de la investigación 27
4.3 Población y muestra 28
4.4 Procedimiento 29
4.5 Técnica e instrumentos 29
4.6 Análisis estadístico 30
CAPÍTULO V 31
RESULTADOS Y DISCUSIONES 31
5.1 Análisis de resultados 31
5.2 Exploración geológica y geofísica de la unidad minera Ccochasayhuas 49
5.3 Caracterización geológica y litológica del área de estudio 49
5.4 Análisis de las anomalías geofísicas y su relación con la mineralización 50
5.5 Identificación de áreas con mayor potencial minero 51
5.6 Evaluación de la cantidad y calidad de los recursos minerales 51
5.7 Contrastación de hipótesis 53
5.8 Discusión 56
CAPÍTULO VI 59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
6.1 Conclusiones 59
6.2 Recomendaciones 60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
ANEXOS 64

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Accesibilidad a la zona de estudio	8
Tabla 2 — Operacionalización de variables	11
Tabla 3 — Mapeo geológico y magnetométrico en la unidad minera Ccochasayhuas	38
Tabla 4 — Zona con mayor potencial mineralógico	39
Tabla 5 — Resultados de la magnetometría en la unidad minera Ccochasayhuas	43
Tabla 6 — Integración de datos geológicos y geofísicos	47
Tabla 7 — Modelo tridimensional	52
Tabla 8 — Prueba de hipótesis HE1	54
Tabla 9 — Prueba de hipótesis 2 (HE2)	55
Tabla 10 — Prueba de hipótesis HE3	56
Tabla 11 — Recopilación de Campo programadas para magnetometria	68
Tabla 12 — Matriz de consistencia	74

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 — Ubicación del proyecto minero Ccochasayhuas 9

Figura 2 — Columna estratigráfica 32

Figura 3 — Mapeo geológico y magnetométrico en la unidad minera Ccochasayhuas 37

Figura 4 — Zonas con mayor potencial mineralógico 41

Figura 5 — Resultados de la magnetometría en la unidad minera Ccochasayhuas 45

Figura 6 — Sincronización de la base de magnetometría 65

Figura 7 — Sincronización de los equipos móvil 1 _ móvil 2 65

Figura 8 — Recolección de data en campo 66

Figura 9 — Recolección de data en campo 66

Figura 10 — Magnetómetro GEM SISTEM 67

Figura 11 — Instalación de la base de magnetómetro GEM SISTEM 67

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

INTRODUCCIÓN

La exploración geológica representa una etapa fundamental en el proceso de identificación y evaluación de yacimientos minerales. Su éxito depende, en gran medida, de la precisión de los métodos utilizados para caracterizar las formaciones del subsuelo. En ese sentido, los métodos geofísicos han adquirido una importancia creciente al complementar los estudios geológicos tradicionales, permitiendo obtener información más detallada y precisa sin la necesidad de recurrir de manera inmediata a técnicas invasivas como la perforación. La presente investigación se enfocó en la aplicación de métodos geofísicos, específicamente la magnetometría, en la exploración de la unidad minera Ccochasayhuas, ubicada en el sur del Perú. Esta unidad minera constituye un área de alta relevancia debido a su potencial para el aprovechamiento de recursos minerales estratégicos. A través de la integración de datos geofísicos y geológicos, el estudio buscó ofrecer una caracterización más completa del yacimiento, orientada a optimizar las estrategias de exploración y futura explotación. El objetivo principal de la investigación fue identificar y evaluar los recursos minerales presentes en la unidad minera mediante la aplicación de tecnologías geofísicas avanzadas. Para ello, se desarrollaron estudios de mapeo geológico y magnetometría que permitieron detectar anomalías magnéticas, estructuras geológicas, tipos litológicos y zonas de alteración asociadas a procesos mineralizadores. La integración de estos datos permitió generar un modelo de campo magnético del área, facilitando la interpretación del subsuelo y la planificación de acciones mineras más precisas y eficientes. El uso de métodos geofísicos en la exploración minera representa una alternativa técnica eficaz frente a métodos tradicionales que demandan mayores costos y tiempos en etapas tempranas del proceso. Esta metodología, además de ser más sostenible, permite reducir el impacto ambiental y mejorar la toma de decisiones técnicas en función de datos científicos más robustos. En ese contexto, la aplicación de estas herramientas en la unidad minera Ccochasayhuas demostró su utilidad práctica en la identificación de cuerpos mineralizados, contribuyendo significativamente al desarrollo del sector minero en el país. La importancia de este estudio radica en su aporte al fortalecimiento de la planificación y explotación racional de los recursos minerales. Al proporcionar una base técnica sólida para futuras fases de desarrollo del yacimiento, se promueve un enfoque más estratégico y eficiente en el aprovechamiento de los recursos naturales. Asimismo, los resultados obtenidos podrán ser utilizados como referencia en investigaciones similares, favoreciendo la mejora continua de los

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

procesos de exploración minera en el ámbito nacional. Con el propósito de lograr un desarrollo ordenado del estudio, esta tesis ha sido estructurada en seis capítulos. En el Capítulo I, se plantea y contextualiza el problema de investigación, estableciendo los objetivos y la justificación del estudio. El Capítulo II presenta los objetivos específicos y las hipótesis que guían el trabajo. El Capítulo III expone el marco teórico referencial, incluyendo los antecedentes y conceptos clave. En el Capítulo IV, se detalla la metodología utilizada, abarcando el tipo de estudio, la población, la muestra, las técnicas de recolección y análisis de datos. El Capítulo V presenta los resultados obtenidos, así como su discusión. Finalmente, en el Capítulo VI, se exponen las conclusiones y recomendaciones orientadas a la mejora de los procesos de exploración minera y a futuras investigaciones.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo analizar el estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, ubicado en el distrito de Progreso, región Apurímac, durante el año 2024. La problemática radica en la limitada aplicación de métodos indirectos para identificar con precisión estructuras geológicas profundas, lo que podría comprometer la eficiencia de los procesos exploratorios en la zona. La investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel correlacional, con diseño no experimental y corte transversal donde la población estuvo conformado por los registros geológicos, datos geofísicos y documentación técnica generada durante la fase de exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas y la muestra considerada está conformada por una selección intencional de datos geológicos y geofísicos obtenidos en las zonas prioritarias del Proyecto, los resultados muestran una relación significativa entre el estudio geológico y los métodos geofísicos aplicados, siendo estos la intensidad del campo magnético, la susceptibilidad magnética y las anomalías magnéticas. Se hallaron coeficientes de correlación superiores a 0.70 en todas las hipótesis específicas, así como valores de significancia $p < 0.05$. En conclusión, se confirma que los métodos geofísicos empleados influyen de manera positiva y significativa en el análisis geológico, optimizando la planificación y reduciendo la incertidumbre en el proceso exploratorio.

Palabras clave: *Campo magnético, estudio geológico, método geofísico* .

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ABSTRACT

The objective of this research study was to analyze the geological study applying geophysical methods in the exploration of the Ccochasayhuas mining project, located in the district of Progreso, Apurímac region, during the year 2024. The problem lies in the limited application of indirect methods to accurately identify deep geological structures, which could compromise the efficiency of exploratory processes in the area. The research was quantitative, applied, correlational, with a non-experimental and cross-sectional design, where the population consisted of geological records, geophysical data, and technical documentation generated during the exploration phase of the Ccochasayhuas Mining Project, and the sample considered consisted of an intentional selection of geological and geophysical data obtained in the priority areas of the Project. The results show a significant relationship between the geological study and the geophysical methods applied, namely magnetic field intensity, magnetic susceptibility, and magnetic anomalies. Correlation coefficients greater than 0.70 were found in all specific hypotheses, as well as significance values $p < 0.05$. In conclusion, it is confirmed that the geophysical methods used have a positive and significant influence on geological analysis, optimizing planning and reducing uncertainty in the exploration process.

Keywords: *magnetic field. geological study, geophysical method.*

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La exploración y la identificación de recursos minerales son cruciales para el desarrollo económico mundial, pero muchas regiones se enfrentan a desafíos debido a la complejidad de la geología del subsuelo y a las limitaciones de los métodos de exploración tradicionales. A nivel internacional, la exploración minera ha evolucionado significativamente con la implementación de métodos geofísicos avanzados, lo que ha permitido identificar yacimientos con mayor precisión y reducir costos operativos. Países líderes en minería como Canadá, Australia y Chile han incorporado tecnologías de exploración geofísica, tales como la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) Padrón (2020), la magnetometría y los estudios gravimétricos, optimizando la toma de decisiones en proyectos mineros. Estas herramientas han permitido detectar estructuras geológicas profundas y diferenciar unidades mineralizadas de manera eficiente, disminuyendo la incertidumbre en la fase de exploración, además, el uso de sensores remotos ha mejorado la interpretación de datos, facilitando el modelado de los yacimientos. En Perú, uno de los principales productores de minerales a nivel mundial, la minería es un pilar fundamental de la economía, sin embargo, la industria minera peruana enfrenta desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental, los conflictos sociales, y la necesidad de mantener su competitividad global. Perú, como importante país minero, depende en gran medida de técnicas de exploración eficientes y precisas para sostener su industria minera; sin embargo, la incertidumbre geológica y la aplicación insuficiente de métodos geofísicos avanzados pueden conducir a ineficiencias en la estimación de recursos y el desarrollo de proyectos. La exploración de nuevos yacimientos es crucial para asegurar el crecimiento continuo del sector, pero los métodos tradicionales presentan limitaciones en cuanto a precisión y costos, esto hace necesario el uso de técnicas avanzadas como la geofísica aplicada, que pueden mejorar la eficiencia en la exploración y reducir los impactos negativos en las comunidades locales y el medio ambiente. A nivel local, en el Proyecto Minero Ccochasayhuas, ubicada en la región de Apurímac en el distrito de Progreso, la falta de información geológica detallada del subsuelo plantea un reto para

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

definir las zonas mineralizadas, lo que puede resultar en un aumento de los costes de exploración y de los riesgos operativos. la exploración eficiente y sostenible es un desafío clave, finalmente se resalta que, a nivel local, la comunidad y el medio ambiente son directamente afectados por las actividades mineras, lo que exige un enfoque más preciso y menos invasivo en la identificación y explotación de recursos minerales. La aplicación de métodos geofísicos puede ser una solución para optimizar la exploración, permitiendo una mejor caracterización del subsuelo y minimizando los riesgos asociados, tanto para la operación minera como para la comunidad y el entorno natural, cabe resaltar que el análisis geológico mediante métodos geofísicos en el proyecto minero Ccochasayhuas es una estrategia clave para mejorar la eficiencia en la exploración y reducir la incertidumbre en la caracterización del yacimiento. En este contexto, la aplicación de la magnetometría como método geofísico de exploración se vuelve esencial para mejorar las interpretaciones geológicas y optimizar la identificación de recursos. Por lo tanto, esta investigación busca analizar la efectividad de la magnetometría en el estudio geológico del Proyecto Minero Ccochasayhuas, con el objetivo de mejorar la precisión de la exploración y contribuir al desarrollo sostenible del sector minero.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué tan efectivo es el método geofísico en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye la intensidad del campo magnético en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?

- ¿Cómo influye la susceptibilidad magnética en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?

- ¿Cómo influye las anomalías magnéticas en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

1.2.3 Justificación de la investigación

La presente investigación es conveniente porque contribuyó significativamente al fortalecimiento del conocimiento geológico del Proyecto Minero Ccochasayhuas, ubicado en el distrito de Progreso, región Apurímac. En el contexto actual de la minería, donde los proyectos de exploración exigen mayor precisión y eficiencia, la aplicación de métodos geofísicos como la magnetometría permite optimizar la identificación de estructuras geológicas, tipos litológicos y zonas mineralizadas. Esta combinación técnica aporta a una exploración más dirigida, reduciendo costos y tiempos, y disminuyendo el impacto ambiental asociado a métodos convencionales más invasivos.

Este estudio permitió correlacionar datos geofísicos con las características geológicas del área, como la litología, estructuras y mineralización, proporcionando una base técnica que mejora la toma de decisiones en etapas posteriores de exploración.

La investigación posee relevancia social, ya que el desarrollo adecuado de proyectos mineros tiene una estrecha relación con el crecimiento económico de las comunidades locales y del país en general. Al generar información técnica confiable sobre el subsuelo, se facilita la planificación responsable de futuras actividades extractivas. Esto puede traducirse en oportunidades laborales, desarrollo de infraestructura y programas sociales si la exploración evoluciona hacia una fase de explotación sostenible. Además, una exploración bien fundamentada minimiza los conflictos socioambientales al basarse en datos científicos verificables.

La investigación tiene una alta relevancia práctica al generar información útil para la toma de decisiones en la etapa de exploración minera. Los mapas de anomalías magnéticas y su interpretación permiten delimitar zonas con potencial mineralógico, orientar campañas de perforación, y establecer correlaciones entre geología superficial y estructuras profundas. Esto representa un beneficio concreto para empresas mineras, consultoras geológicas e instituciones públicas interesadas en el desarrollo responsable de los recursos naturales.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Desde el punto de vista teórico, el estudio fortalece el marco conceptual relacionado con la integración de métodos geofísicos y estudios geológicos en la prospección minera. En particular, amplía el conocimiento sobre el comportamiento de las anomalías magnéticas en relación con litologías y estructuras propias del contexto geológico del área andina del sur peruano. Los resultados pueden ser utilizados como referencia en investigaciones similares, aportando a la generación de modelos geofísicos interpretativos aplicables en otras zonas con características geológicas comparables.

1.2.4 Ubicación geográfica

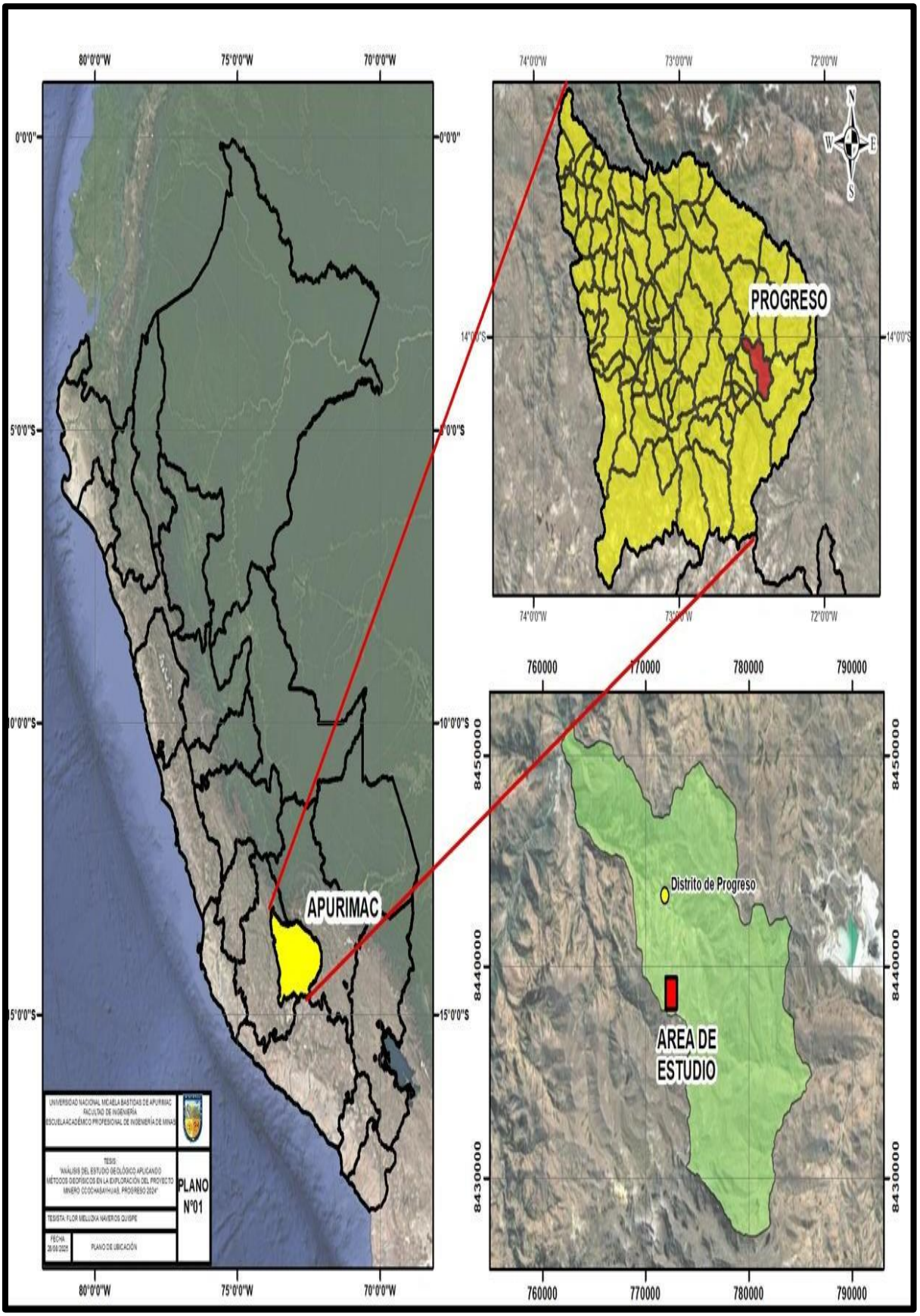
El proyecto minero Ccochasayhuas está ubicada en los andes centrales del distrito de Progreso entre las coordenadas UTM 8438458.518 N, 772450.844 E, a una elevación de 4,850 m.s.n.m. En uno de los catorce distritos que conforma la provincia de Grau, presentando superficialmente una geografía accidentada con valles pronunciadas y vegetación abundante de ichu en la cumbre de los andes que alberga a los cóndores y vicuñas y animales silvestres tales como (reptiles, vizcachas, venado, zorro) etc.

1.2.5 Accesibilidad

Tabla 1 — Accesibilidad a la zona de estudio.

Lugar	**Distancia**	**Tiempo**	**Estado**
Cusco – progreso	88 km	10 horas vía nacional	asfaltado
Arequipa - progreso	475. 84 km	12 horas vía nacional	asfaltado
Abancay - progreso	196 km	8 horas vía nacional	asfaltado
Challhuahuacho - progreso	43 km	1 hora vía nacional	asfaltado
Progreso – Ccochasayhuas	8 km	40 min	trocha carrozable
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.			

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 1 — Ubicación del proyecto minero Ccochasayhuas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO II
OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Determinar la efectividad del método geofísico en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la intensidad del campo magnético en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024
- Determinar cómo influye la susceptibilidad magnética en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024
- Determinar cómo influye las anomalías magnéticas en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

El método geofísico aplicado en el estudio geológico del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024, es altamente efectivo para la identificación de estructuras geológicas y la delimitación de zonas mineralizadas.

2.2.4 Hipótesis específicas

- La intensidad del campo magnético influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- La susceptibilidad magnética influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024.

2.2.5 Hipótesis nula.

- El método geofísico aplicado en el estudio geológico del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024, no es efectivo para la identificación de estructuras geológicas.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 2 — Operacionalización de variables

Matriz de Operacionalización de variables				
Variable	**Definición conceptual**	**Definición operacional**	**Dimensión**	**Indicador**
MÉTODO GEOFÍSICO	Conjunto de técnicas de exploración que emplean mediciones físicas para estudiar las propiedades del subsuelo, magnetometría es una técnica de exploración geofísica que mide las variaciones en el campo magnético terrestre, relacionadas con la presencia de minerales magnetizados (Telford et al., 2022).	La aplicación de técnicas específicas como la magnetometría se realiza mediante el uso de un magnetómetro para medir los cambios en el campo magnético de la tierra en áreas específicas para obtener información sobre la estructura geológica del área de estudio (Harris, 2021)	Intensidad del campo magnético	Valor total del campo medido (nT)
				Variación espacial del campo magnético
				Comparación con el valor del campo magnético terrestre (IGRF)
			Susceptibilidad magnética	Respuesta magnética relativa de las rocas
				Presencia de minerales magnéticos
				Contraste entre litologías
			Anomalías magnéticas	Identificación de zonas con valores anómalos
				Magnitud y forma de la anomalía
				Interpretación estructural o litológica
ESTUDIO GEOLÓGICO	Proceso sistemático de reconocimiento y análisis de las características geológicas de una zona con potencial minero, basándose en observaciones de campo y laboratorios (Keller, 2021)	Consiste en realizar un levantamiento de las características geológicas de un área mediante muestreos, análisis de mapas, y evaluaciones de la estratigrafía, con el fin de interpretar su litología (Dewitt, 2023)	Estructura Geológia	Presencia de fallas, pliegues y fracturas
				Dirección y buzamiento de estructuras
				Relación estructura-mineralización
			Mineralización	Presencia de minerales metálicos
				Asociación mineralógica
				Tipo de yacimiento
			Litología	Tipo de roca (ígnea, sedimentaria, metamórfica
				Composición mineralógica
				Textura y color

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

a) Tessone et al. (2019), en su estudio titulado: Uso de magnetometría terrestre en la exploración de pelitas ferruginosas en canteras del distrito minero Barker, provincia de Buenos Aires, aplicaron mediciones de susceptibilidad magnética y un levantamiento magnetométrico terrestre en áreas con presencia de arcillas ferruginosas. La metodología consistió en identificar zonas con alta susceptibilidad a través de mediciones de campo y posteriormente realizar un estudio magnetométrico detallado para delinear los niveles ferruginosos. El análisis geofísico mostró una buena correlación entre las anomalías magnéticas y los niveles ricos en hierro, permitiendo así delimitar cuerpos ferruginosos en el subsuelo. Como resultado, se obtuvo un modelo geofísico útil para la planificación minera y la recuperación ambiental. Se concluyó que la magnetometría es una herramienta eficaz y no invasiva para la detección de depósitos con alto contenido de hierro.

b) Rojas Puelles (2018), en su tesis titulada: Magnetometría terrestre de alta resolución y polarización inducida en la búsqueda de sistemas de vetas mineralizadas en laguna verde, región de Aysén, Chile, aplicó métodos geofísicos para identificar vetas mineralizadas ocultas bajo cobertura superficial. Se utilizó una metodología integrada basada en levantamientos magnetométricos y de polarización inducida, con procesamiento de datos mediante reducción al polo y modelamiento inverso. El análisis permitió detectar anomalías magnéticas lineales asociadas a estructuras de control de mineralización. Los resultados evidenciaron una fuerte relación entre las anomalías detectadas y zonas con posible contenido metálico. Se concluyó que la integración de métodos geofísicos mejora significativamente la exploración de vetas en terrenos complejos.

c) Ochoa Gutiérrez (2003), en su artículo: Evaluación magnetométrica, radiométrica y geoeléctrica de depósitos esmeraldíferos, desarrolló un estudio integrado para caracterizar depósitos de esmeraldas en Chivor y Macanal, Colombia. La metodología

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

incluyó mediciones de campo con equipos geofísicos y análisis geológico de superficie. El análisis se centró en correlacionar anomalías geofísicas con zonas de mineralización conocidas y estructuras geológicas favorables. Los resultados revelaron patrones magnéticos y eléctricos característicos que ayudaron a delimitar zonas de exploración potencial. Se concluyó que la integración de magnetometría con otras técnicas geofísicas permite reducir la incertidumbre en la prospección de esmeraldas.

d) Tichauer et al., (2020) afirmo que la minería suele operar en condiciones de alta incertidumbre geológica, lo que convierte la planificación minera en una tarea compleja y a veces imprecisa, lo que da como resultado una baja productividad y una variabilidad sustancial en la cantidad y calidad de los productos minerales. Esta investigación demuestra cómo la aplicación de una metodología novedosa que se basa en métodos geofísicos tradicionales y de bajo costo puede contribuir a la planificación minera en la minería a pequeña escala. Se aplica una combinación de métodos de resistividad y polarización inducida para mejorar la toma de decisiones en la planificación minera en tres operaciones mineras a pequeña escala, este enfoque permite la adquisición de nuevos datos sobre entornos geológicos locales, lo que respalda el modelado geológico y mejora los procesos de toma de decisiones para la planificación minera de manera oportuna y de bajo costo. Los resultados indican un ahorro de tiempo de hasta el 77% y reducciones de costos de hasta el 94% en comparación con los métodos convencionales, lo que contribuye a una planificación minera más efectiva y, en última instancia, mejora la sostenibilidad en la minería a pequeña escala.

e) Mendoza et al., (2021), en su investigación analizaron: La eficacia de diferentes técnicas geofísicas en relación con la obtención de imágenes de estructuras geológicas con interés minero. Para ello se eligieron el antiguo distrito de Linares-La Carolina (sureste de España) debido a la presencia de un denso enjambre de diques mineralizados, constituidos fundamentalmente por galena (PbS). En esta zona más occidental las vetas pierden su continuidad debido a fracturas regionales que provocaron el abandono de las labores extractivas. La información directa tanto de la geología de la superficie como de varias perforaciones se utiliza como calibración y verificación de la verdad fundamental para las herramientas geofísicas utilizadas en este estudio. La respuesta sísmica se caracteriza por reflectores de gran amplitud, generalmente en la base de la cubierta sedimentaria. Los perfiles sísmicos sugieren cambios laterales en el espesor y la existencia de fracturas que afectan a la cubierta sedimentaria y/o al tope del

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

basamento acústico. Sin embargo, esta técnica se ha mostrado ineficaz a la hora de estudiar el sustrato paleozoico, precisamente en aquellas zonas donde se alojan las vetas. Los estudios de tomografía de resistividad eléctrica (ERT) sugieren fracturas y cambios laterales en las facies, tanto en la cubierta sedimentaria como en el basamento paleozoico. El basamento muestra filitas en la intrusión granítica, que son cruciales para las propiedades elásticas de la roca que lo aloja y, por lo tanto, indican áreas propensas a una mayor mineralización, también se han recopilado datos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM), que son un excelente complemento a las dos técnicas anteriores donde los datos se han tomado con diferentes configuraciones y parámetros de medición variables en cada estación de sondeo.

f) Shang et al., (2021) en su investigación, afirma que las infraestructuras (RI) son esenciales para lograr la excelencia en la investigación científica innovadora. Sin embargo, debido a la disponibilidad limitada de terrenos y a los requisitos geológicos específicos, evaluar la viabilidad de un sitio para una nueva RI puede ser una tarea difícil. Los estrictos requisitos de construcción de seguridad incluyen el desarrollo de soluciones arquitectónicas y de geoingeniería específicas para el sitio, la minimización de las perturbaciones de la construcción y el refuerzo de la roca y el suelo de manera oportuna. Para el desarrollo exitoso de las RI en China, como él. Laboratorio de Neutrinos de la Bahía de Daya (DBNL) y la Fuente de Neutrones por espalación de China (CSNS), se llevó a cabo en un enfoque integrado de métodos geofísicos conjuntos que incluyen la tomografía de resistividad eléctrica (ERT), la magnetotelúrica de audiofrecuencia de fuente controlada (CSAMT)), los métodos de refracción sísmica y de gravedad, y el mapeo y los estudios geológicos. Los parámetros geofísicos, como la resistividad eléctrica, la densidad y la velocidad sísmica, muestran una proporción inversa al grado de fracturamiento o meteorización de la roca. Los resultados muestran que los valores bajos de los parámetros geofísicos sugieren la roca meteorizada/fracturada, mientras que los valores altos revelan el lecho rocoso fresco. El valor del Índice de Aptitud Geológica para la Ingeniería (EGSI, por sus siglas en inglés) puede representar los valores individuales de EGSI de manera constante y sumarlos a distintas profundidades. La metodología EGSI es una mejora del proceso de selección de emplazamientos existente y se ha aplicado a CSNS. Nuestro enfoque integrado proporciona una visión más clara del subsuelo para determinar la adecuación del emplazamiento de las IR en condiciones de ingeniería geológica desafiantes y elimina cualquier ambigüedad causada por un único parámetro geofísico. El conocimiento

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

geológico obtenido del área no solo proporciona a los ingenieros información muy necesaria sobre las condiciones de construcción de un emplazamiento potencial, sino que también ofrece a los científicos la oportunidad de explorar la geología local

g) Tapia Pachao (2024) en su tesis denominado: Aplicación del método audio magnetotelúrico de fuente controlada en la exploración de depósitos epitermales de alta sulfuración profundos en el proyecto Libertad, Tacna, Perú. Donde se aplicó el método geofísico no convencional audio magnetotelúrico de fuente controlada (CSAMT), complementado con magnetometría y otras herramientas geológicas y geoquímicas. La metodología incluyó la ejecución de 84.3 km de CSAMT, 294 km de magnetometría y 15 km de polarización inducida resistividad (IP-Res), además de la recolección de 212 muestras de roca para análisis geoquímicos y estudios espectrométricos. El análisis de los datos permitió identificar 10 anomalías resistivas altamente prospectivas, destacando una anomalía mayor a 750 ohm asociada a cuerpos silicificados a profundidades superiores a 300 metros, sugiriendo un potencial para albergar depósitos auríferos económicos. Se concluyó que el método CSAMT es eficaz en la exploración de depósitos epitermales de alta sulfuración profundos, mejorando la identificación de estructuras mineralizadas en el subsuelo.

h) Cadenillas Yupanqui y Hernández Medina (2021) en su trabajo de investigación titulado: Estudio de susceptibilidad magnética para definir nuevos targets de exploración en las concesiones mineras Sidkenu II y IV - Pallanchacra, Pasco 2020. Que tiene como objetivo de identificar nuevos targets de exploración mediante el análisis de susceptibilidad magnética. La investigación, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, consistió en la recolección de datos magnéticos a lo largo de 37 líneas utilizando un magnetómetro base y uno móvil. El procesamiento de los datos reveló tres targets, de los cuales los targets B y C mostraron alta susceptibilidad debido a la presencia de minerales como pirita, calcopirita, enargita, goethita, hematita, limonita, magnetita y cuprita, asociados a cuerpos intrusivos de composición diorítica y controlados por sistemas de fallas. Se concluyó que la alta susceptibilidad en estas áreas está vinculada a la mineralización de sulfuros y óxidos, indicando un alto potencial exploratorio.

i) Quispe Rentería et al. (2021) en su trabajo de investigación: Interpretación de datos magnetotelúricos de la transecta del sur del Perú y su relación con la metalogenia,

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

presentaron los resultados de la investigación magnetotelúrica (MT) realizada a lo largo de la transecta P1, que se extiende desde Mollendo hasta Puno, en el sur del Perú. El estudio empleó el método MT en combinación con datos aeromagnéticos y análisis de grandes sistemas de fallas corticales. La interpretación de los datos permitió identificar cuerpos resistivos asociados a intrusiones ígneas y zonas menos resistivas vinculadas a sistemas de fallas y áreas de intenso magmatismo e hidrotermalismo. Estos resultados enriquecen el mapa metalogenético del país, proporcionando información valiosa sobre la distribución y características de los depósitos minerales en la región

3.2 Marco teórico

3.2.1 Método geofísico

Los métodos geofísicos constituyen un conjunto de técnicas indirectas que permiten obtener información sobre las características físicas del subsuelo mediante la medición de variables como la resistividad, densidad, velocidad sísmica o propiedades magnéticas. Su aplicación en la exploración minera es fundamental para reducir la incertidumbre en las primeras etapas del descubrimiento de yacimientos minerales (Reynolds, 2021).

Según Telford, Geldart y Sheriff (2020), los métodos geofísicos se clasifican en eléctricos, electromagnéticos, sísmicos, gravimétricos y magnéticos. En el contexto de esta investigación, se hace énfasis en los métodos magnéticos, que permiten detectar anomalías del campo magnético terrestre causadas por cuerpos con susceptibilidad magnética contrastante respecto al entorno geológico.

3.2.1.1 Magnetometría

La magnetometría es un método geofísico que mide las variaciones del campo magnético terrestre causadas por contrastes en la susceptibilidad magnética de las rocas del subsuelo. Esta técnica permite detectar anomalías magnéticas asociadas a cuerpos mineralizados, fallas geológicas o estructuras intrusivas, siendo por ello ampliamente utilizada en la exploración minera. Telford, Geldart & Sheriff (2020). Según Reynolds (2021), la magnetometría se basa en la identificación de pequeños cambios en la intensidad del campo magnético total, generados por la presencia de minerales como magnetita, pirrotita o ilmenita, que poseen propiedades magnéticas detectables desde la superficie. La interpretación de estos cambios permite inferir la geometría y profundidad de cuerpos mineralizados enterrados. Los equipos más utilizados

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

en trabajos de campo son los magnetómetros de precesión de protones, cesio. y flujo atómico, que permiten mediciones de alta precisión, tanto en levantamientos terrestres como aeromagnéticos. Estos instrumentos registran los valores del campo magnético en nanoteslas (nT), permitiendo construir mapas de contorno, perfiles magnéticos y modelos tridimensionales del subsuelo (Kearey, Brooks & Hill ,2023).

En el contexto de la exploración minera, la magnetometría es especialmente útil para: delimitar cuerpos ígneos con alta susceptibilidad magnética, Identificar anomalías estructurales como fallas o contactos litológicos, orientar campañas de sondeo y perforación en zonas con potencial mineral en zonas con potencial mineral. Los métodos magnéticos miden las variaciones del campo magnético terrestre producidas por contrastes en la susceptibilidad magnética de las rocas. Estas técnicas son particularmente útiles en la exploración de depósitos ferromagnéticos, sulfuros masivos y estructuras geológicas favorables para la mineralización (Kearey, Brooks & Hill, 2023).

3.2.1.2 Resistividad eléctric

El método de la resistividad eléctrica es una técnica geofísica utilizada para investigar el subsuelo midiendo la resistencia de los materiales terrestres al flujo de una corriente eléctrica. Consiste en inyectar una corriente continua en el suelo a través de un par de electrodos y medir la diferencia de potencial resultante con otro par. A partir de estas mediciones, se calcula la resistividad aparente de los materiales del subsuelo, lo que permite interpretar estructuras geológicas, niveles de aguas subterráneas y zonas mineralizadas. En la exploración minera, este método es especialmente eficaz para identificar zonas de alteración hidrotermal, yacimientos y contactos litológicos, debido al importante contraste de los valores de resistividad entre los distintos tipos de roca y contenidos minerales. Técnicas como el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) se aplican habitualmente para la obtención de imágenes unidimensionales y bidimensionales o tridimensionales del subsuelo. El método es rentable, no invasivo y puede integrarse eficazmente con otros datos geofísicos y geológicos para mejorar la interpretación del subsuelo (Kearey, Brooks y Hill, 2023).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.1.3 Gravimetría

El método gravimétrico es una técnica geofísica pasiva que se basa en la medición de pequeñas variaciones del campo gravitatorio terrestre originadas por diferencias de densidad entre las formaciones geológicas del subsuelo. Estas variaciones, conocidas como anomalías gravitacionales, permiten inferir la presencia de estructuras geológicas como fallas, intrusiones ígneas, cuencas sedimentarias y cuerpos mineralizados, especialmente aquellos con mayor densidad relativa, como los sulfuros metálicos o depósitos de hierro. Las mediciones se realizan con gravímetros de alta precisión, y los datos recolectados se corrigen por efectos de latitud, altitud, marea y topografía para obtener las anomalías de Bouguer, que luego son interpretadas geológicamente. Este método es ampliamente utilizado en etapas preliminares de exploración minera, ya que permite cubrir grandes áreas de forma económica y no invasiva, y es particularmente útil cuando se integra con otros métodos geofísicos y datos geológicos para construir modelos más precisos del subsuelo (Kearey, Brooks & Hill, 2013).

3.2.2 Método geológico

Camacho (2015) sostiene que el estudio geológico es una etapa fundamental en la exploración minera, ya que permite conocer la composición, estructura y evolución del terreno, lo cual es esencial para determinar el potencial mineralógico de una zona. El autor destaca que la litología, la estructura geológica y las evidencias de mineralización son los principales elementos que se deben analizar para inferir la presencia de yacimientos económicos. Además, menciona que el conocimiento geológico previo contribuye a optimizar el uso de métodos geofísicos y geoquímicos, reduciendo los costos de exploración y aumentando la precisión en la toma de decisiones.

(Rodríguez y Salazar, 2019) indican que la interpretación de estructuras geológicas como fallas, pliegues y diaclasas es clave para comprender los controles estructurales de la mineralización. Estas estructuras actúan como canales de migración de fluidos mineralizantes y zonas de concentración de minerales metálicos. En consecuencia, su análisis permite delimitar zonas de interés económico. Los autores también resaltan la necesidad de integrar la cartografía estructural con estudios de alteración hidrotermal y análisis petrográficos para mejorar la caracterización del yacimiento.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.2.2.1 Estructura geológica

La estructura geológica se refiere al arreglo y la disposición espacial de las rocas y unidades geológicas, así como a las deformaciones que han sufrido a lo largo del tiempo geológico, tales como fallas, pliegues, fracturas y diaclasas. Estas estructuras juegan un papel clave en la exploración minera, ya que controlan la ubicación, forma y continuidad de los yacimientos minerales, así como los procesos de migración de fluidos hidrotermales responsables de la mineralización. El análisis estructural permite identificar zonas favorables para la concentración de minerales metálicos, así como orientar adecuadamente las campañas de perforación. Además, la interpretación de las estructuras geológicas ayuda a reconstruir la historia tectónica de la región, lo que es crucial para entender los procesos que dieron origen a los depósitos minerales (Rodríguez & Salazar, 2019)

3.2.2.2 Mineralización

La mineralización es el proceso geológico mediante el cual se concentran elementos químicos útiles, como metales, en ciertas partes de la corteza terrestre formando depósitos minerales de interés económico. Este fenómeno está relacionado con diversos factores geológicos, como la actividad magmática, la circulación de fluidos hidrotermales, la tectónica y la litología del entorno. La mineralización puede manifestarse en distintos tipos de depósitos, tales como vetas, mantos, diseminaciones o reemplazos, dependiendo del ambiente geológico y del mecanismo de formación. En la exploración minera, el análisis de los patrones de mineralización permite comprender el origen del yacimiento, estimar su potencial económico y orientar la ubicación de trabajos de perforación o muestreo. Además, el estudio de las asociaciones minerales y de las alteraciones hidrotermales es clave para identificar zonas mineralizadas con mayor precisión (Camacho, 2015)

3.2.2.3 Litología

La litología es el estudio de las características físicas y químicas de las rocas, incluyendo su composición mineralógica, textura, estructura, color y origen. Esta disciplina es fundamental en la geología económica, ya que permite

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

identificar los tipos de rocas que pueden albergar mineralizaciones, así como entender los ambientes geológicos en los que se formaron los yacimientos. El conocimiento litológico permite distinguir unidades favorables para la acumulación de minerales metálicos, como rocas ígneas intrusivas en el caso de pórfidos, o rocas sedimentarias carbonatadas en depósitos tipo skarn. Además, el análisis litológico sirve de base para establecer correlaciones estratigráficas y estructurales, así como para interpretar la historia geológica de un área determinada (Borrero, 2018)

3.3 Marco conceptual

a) **Método geofísico:** Los métodos geofísicos son técnicas indirectas que permiten investigar el subsuelo a través del análisis de sus propiedades físicas, como la densidad, resistividad, susceptibilidad magnética o conductividad eléctrica. En minería, estos métodos permiten detectar cuerpos mineralizados sin necesidad de realizar excavaciones preliminares. (Camacho, 2015) afirma que los métodos geofísicos, al integrarse con el estudio geológico, permiten una caracterización más completa del área de exploración, aumentando la eficiencia y reduciendo los costos operativos de los proyectos mineros.

b) **Intensidad del campo magnético:** La intensidad del campo magnético terrestre es una propiedad medida en estudios geofísicos para identificar variaciones asociadas a cuerpos rocosos con contenido metálico. Según (Telford, Geldart y Sheriff, 1990), estas variaciones pueden ser utilizadas para localizar estructuras geológicas ocultas y depósitos minerales ferromagnéticos.

c) **Valor total del campo magnético:** El valor total del campo magnético medido, expresado en nanoteslas (nT) , representa la magnitud del campo magnético terrestre en un punto específico del terreno. Este valor incluye tanto el campo magnético terrestre regional como cualquier anomalía generada por variaciones locales en la susceptibilidad magnética de las rocas del subsuelo. En exploración minera, este valor es esencial para detectar anomalías magnéticas. asociadas a cuerpos minerales con alto contenido de minerales ferromagnéticos, como magnetita o pirrotita. Las variaciones en el valor del campo medido permiten inferir la presencia, forma y profundidad de estas estructuras geológicas (Telford, Geldart & Sheriff, 1990). La magnetometría mide el valor total del campo magnético. utilizando magnetómetros de precisión, y los resultados se representan

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

en perfiles o mapas donde los valores altos o bajos (anomalías) indican cambios en las propiedades magnéticas del subsuelo.

d) **Variación espacial del campo magnético**: La variación espacial del campo magnético. hace referencia a los cambios en la intensidad del campo magnético hace referencia a los cambios en la intensidad del campo magnético terrestre en diferentes puntos del espacio geográfico. Esta variabilidad se debe tanto a componentes del campo magnético terrestre regional como a anomalías locales causa dos por contrastes en las propiedades magnéticas de las rocas o cuerpos mineralizados en el subsuelo (Kearey, Brooks & Hill, 2002). En términos geofísicos, estos cambios pueden medirse mediante levantamientos magnéticos realizados con imán. A medida que el equipo se desplaza a través de un perfil o área determinada, registra el valor del campo magnético en nanoteslas (nT), generando un conjunto de datos que reflejan la distribución del magnetismo en el terreno. Según (Telford, Geldart y Sheriff, 1990), la variación espacial puede interpretarse mediante la elaboración de mapas de contorno o perfiles magnéticos, los cuales muestran zonas con anomalías positivas (valores altos) o negativas (valores bajos) del campo. Estas anomalías pueden estar asociadas a la presencia de cuerpos ferromagnéticos como vetas de magnetita, intrusivos ígneos o estructuras geológicas tectonizadas.

   La interpretación adecuada de estas variaciones permite inferir estructuras geológicas ocultas, delimitar contactos litológicos, identificar zonas de alteración y orientar perforaciones exploratorias en proyectos mineros (Reynolds, 2021)

e) **Comparación con el valor del campo magnético terrestre (IGRF):** La comparación con el valor del campo magnético terrestre (IGRF) consiste en contrastar los valores magnéticos medidos en superficie con los valores teóricos del campo magnético terrestre generados por el modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Esta comparación permite detectar anomalías magnéticas locales causadas por diferencias en la causa dos por diferencias en la magnetización de las rocas del subsuelo. El IGRF es Asociación es un modelo matemático del campo magnético global de la Tierra, desarrollado y actualizado periódicamente por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA). Este modelo proporciona los valores esperados del campo magnético terrestre (en nanoteslas) para cualquier ubicación geográfica y fecha determinada

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Finlay et al., (2020). Durante un levantamiento magnético, los valores medidos incluyen tanto el campo magnético regional (previsto por el IGRF) como las influencias locales. Por ello, al restablecer el valor IGRF al valor total medido, se obtiene la anomalía magnética. Esta anomalía es clave para identificar posibles cuerpos mineralizados o estructuras geológicas con susceptibilidad magnética distinta a su entorno (Kearey, Brooks & Hill, 2022).

f) **Susceptibilidad magnética:** La susceptibilidad magnética representa la capacidad de una roca para magnetizarse bajo un campo magnético aplicado. Este parámetro varía según la mineralogía y es útil para diferenciar tipos de rocas y detectar cuerpos mineralizados. (Reynolds, 2021) explica que la susceptibilidad es fundamental en estudios de exploración para interpretar anomalías magnéticas.

g) **Respuesta magnética relativa de las rocas:** La respuesta magnética relativa de las rocas. se refiere a la capacidad de los distintos tipos de rose refiere a la capacidad de los distintos tipos de rocas para alterar o influir en el campo magnético terrestre, en función de su contenido de minerales ferromagnéticos. Esta respuesta depende principalmente de la susceptibilidad magnética. de la roca, que es una propiedad física que expresa cuánto puede magnetizarse un material en presencia de un campo magnético. Rocas ígneas como la gabro, basalto o diorita suelen tener una alta susceptibilidad magnética, mientras que rocas sedimentarias como la arenisca o lutita presentan respuestas magnéticas mucho menores (Reynolds, 2011). En el contexto de la exploración geofísica, esta propiedad se traduce en variaciones en las mediciones del campo magnético, conocidas como anomalías magnéticas. permiten, que permiten inferir la presencia de ciertas formaciones geológicas o depósitos minerales.

h) **Presencia de minerales magnéticos:** La presencia de minerales magnéticos hace referencia a la existencia de minerales con propiedades ferromagnéticas o ferrimagnéticas en las formaciones geológicas del subsuelo, capaces de influir significativamente en las mediciones del campo magnético terrestre. Entre los minerales magnéticos más comunes destacan la magnetita (Fe_3O_4), la ilmenita ($FeTiO_3$) y la pirrotita ($Fe_{1-x}S$). Estos minerales tienen la capacidad de retener o inducir magnetización. cuando están expuestos al campo magnético terrestre, y son responsables de generar anomalías magnéticas detectables mediante instrumentos como magnetómetros de protones de cesio (Kearey, Brooks & Hill,

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

2002). La detección de estas anomalías permite a los geofísicos inferir la posible localización de cuerpos mineralizados, especialmente aquellos asociados a depósitos metálicos. Además, la concentración, distribución y tipo de minerales magnéticos aportan información valiosa sobre la litología, estructura y procesos geológicos de una región.

i) **Contraste entre litología:** El contraste entre litologías se refiere a las diferencias físicas y químicas que existen entre distintos tipos de rocas (litologías), como su composición mineralógica, densidad, porosidad, susceptibilidad magnética o conductividad eléctrica. Estas diferencias generan respuestas geofísicas distintas que pueden ser detectadas e interpretadas en estudios del subsuelo. En el caso específico de la magnetometría, el contraste litológico es relevante cuando dos o más unidades geológicas presentan diferencias en su contenido de minerales magnéticos. Una intrusión ígnea rica en magnetita producirá una anomalía magnética positiva en comparación con sedimentos circundantes en comparación con sedimentos circundantes con baja susceptibilidad magnética Reynolds, (2021). Detectar estos contrastes permite delimitar contactos geológicos, identificar estructuras como fallas o intrusiones, y estimar la geometría de cuerpos mineralizados. Este principio es fundamental para la exploración minera, ya que muchas mineralizaciones metálicas están asociadas a unidades con firmas geofísicas contrastantes.

j) **Anomalías magnéticas:** Las anomalías magnéticas son desviaciones locales del campo magnético terrestre causadas por diferencias en la composición magnética del subsuelo. Estas anomalías indican la presencia de estructuras geológicas o mineralizaciones ocultas. (Kearey, Brooks y Hill, 2022) afirman que el análisis de anomalías magnéticas permite delimitar cuerpos geológicos con potencial económico.

k) **Identificación de zonas con valor anómalos:** La identificación de zonas con valores anómalos es el proceso mediante el cual se detectan áreas que presentan valores significativamente diferentes al fondo geofísico regional, ya sea en intensidad magnética, resistividad, densidad u otra propiedad física del subsuelo. Estas anomalías pueden indicar la presencia de estructuras geológicas, cambios litológicos o cuerpos mineralizados. En el caso de los estudios magnéticos, se consideran anomalías aquellos valores del campo magnético que difieren del

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

modelo regional o del valor promedio esperado. Estas anomalías suelen ser generadas por rocas o cuerpos que contienen minerales con alta susceptibilidad magnética, como la magnetita o la pirrotita, y pueden señalar zonas favorables para la exploración mineral Telford et al., (2018). La correcta identificación y delimitación de estas zonas requiere un procesamiento adecuado de los datos, como la aplicación de filtros, correcciones del campo base y análisis del gradiente, para resaltar las variaciones significativas y su distribución espacial.

l) **Magnitud**: Es el valor cuantitativo de la desviación del campo medido con respecto al valor regional o de referencia (como el modelo IGRF en magnetometría). Se expresa generalmente en nanoteslas (nT) y representa la intensidad de la anomalía geofísica.

m) **Forma**: Es la geometría o el patrón espacial que presenta la anomalía en un mapa o perfil geofísico. Puede ser puntual, lineal, circular o irregular, y depende de factores como la forma del cuerpo causante, su profundidad, orientación, tamaño y contraste de propiedades físicas con las rocas circundantes Kearey, Brooks & Hill (2022). El análisis conjunto de la magnitud y forma de la anomalía permite inferir la naturaleza, ubicación y dimensiones aproximadas del cuerpo geológico que genera la respuesta anómala. En exploración minera, esto es esencial para priorizar zonas de interés, planificar perforaciones y reducir la incertidumbre geológica.

n) **Interpretación estructural:** La interpretación estructural o litológica consiste en el proceso de análisis e inferencia de la disposición de las estructuras geológicas (como fallas, pliegues, fracturas, contactos entre unidades) y de la naturaleza de las rocas presentes en el subsuelo, a partir de datos geofísicos, geológicos o de campo. En el contexto de la geofísica aplicada, esta interpretación se basa en el análisis de anomalías en los registros del campo magnético, gravitacional, eléctrico o sísmico, que reflejan cambios en las propiedades físicas del terreno. Variaciones en la susceptibilidad magnética. permiten inferir la presencia de ciertos tipos de luz permiten inferir la presencia de ciertos tipos de litologías o estructuras profundas (Reynolds, 2021). Mediante la interpretación estructural o litológica es posible delimitar:

- Contactos litológicos entre diferentes tipos de rocas.
- Intrusiones ígneas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

- Zonas de alteraciones hidrotermales.
- Fallas y otras discontinuidades tectónicas.

Este proceso es esencial para reducir la incertidumbre en exploración minera y para guiar decisiones sobre sondeos o perforaciones.

o) Estudio geológico: El estudio geológico comprende el análisis detallado de las características del terreno, incluyendo su composición litológica, estructuras tectónicas y presencia de mineralizaciones. Este tipo de estudio es esencial para la exploración minera, ya que permite identificar unidades geológicas favorables para la concentración de minerales y planificar de forma eficiente las siguientes etapas del proyecto. Según (Borrero, 2018), el estudio geológico se convierte en la base para integrar otras técnicas como la geofísica y geoquímica, permitiendo reducir la incertidumbre en la localización de yacimientos y en la toma de decisiones.

p) Mineralización: La mineralización es el proceso mediante el cual ciertos elementos químicos se concentran en la corteza terrestre en cantidades suficientes para formar depósitos económicamente aprovechables. (Guilbert y Park, 2007) sostienen que el estudio de la mineralización permite identificar los ambientes geológicos favorables y comprender los procesos metalogenéticos involucrados.

q) Asociación mineralógica: La asociación mineralógica se refiere al conjunto de minerales que coexisten de manera natural dentro de una roca o depósito mineral, formando un sistema coherente desde el punto de vista petrogenético y geoquímico. Esta asociación resulta de condiciones específicas de formación, como la temperatura, presión, composición química del fluido mineralizante y el ambiente geológico (Deer, Howie & Zussman, 1992).

En exploración minera, el análisis de la asociación mineralógica permite:

- Inferir el tipo de depósito mineral (epitermal, skarn, pórfido).
- Guía para identificar minerales o indicadores de mineralización.
- Determinar zonas de alteraciones hidrotermales.
- Evaluar la potencialidad económica de una de un yacimiento.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Asimismo, en estudios geofísicos como la magnetometría, la presencia de ciertos minerales como la magnetita, pirrotita o ilmenita, dentro de una asociación mineralógica, puede generar respuestas anómalas del campo magnético, lo que facilita su identificación indirecta en el subsuelo

r) **Estructura geológica:** La estructura geológica se refiere al arreglo espacial de las rocas en la corteza terrestre, resultado de procesos tectónicos como fallamiento, plegamiento y fracturamiento. Su análisis permite entender cómo estas estructuras controlan la mineralización y orientan la exploración de recursos minerales. Según (Twiss y Moores, 2021), el conocimiento estructural es fundamental para la interpretación de los sistemas geológicos y la predicción de zonas mineralizadas.

s) **Relación estructurada de mineralización:** La relación estructura mineralización se refiere a la interacción entre las estructuras geológicas del subsuelo (como fallas, pliegues, fracturas, diaclasas, discordancias) y la distribución o emplazamiento de los minerales económicamente explotables. Esta relación es clave para comprender la génesis y control espacial de los depósitos minerales. Muchas mineralizaciones metálicas (oro, cobre, plomo, zinc, entre otras) están estrechamente controladas por estructuras tectónicas, ya que estas pueden:

- Servir como conductos para el ascenso de fluidos hidrotermales.
- Actuar como zonas de debilidad donde se acumulan minerales.
- Determinar la forma y el volumen del cuerpo mineralizado.

En este contexto, los métodos geofísicos como la magnetometría permiten identificar indirectamente estructuras ocultas, mediante anomalías en la respuesta magnética asociada a zonas de alteraciones, intrusiones ígneas o fracturas profundas, lo cual orienta la búsqueda de mineralización. (Hodgson, 1989).

t) **Litología:** La litología se enfoca en la descripción y clasificación de las rocas según su composición, textura y origen. Esta disciplina permite comprender el entorno geológico donde se forman los depósitos minerales. (Blatt, Tracy y Owens, 2006) señalan que el conocimiento litológico es clave para determinar la relación entre tipos de roca y presencia de mineralizaciones.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como finalidad resolver un problema práctico relacionado con el proceso de exploración geológica en el Proyecto Minero Ccochasayhuas, ubicado en el distrito de Progreso, provincia de Grau, departamento de Apurímac. La investigación aplicada se caracteriza por la utilización de conocimientos científicos para la solución de problemas concretos en contextos específicos Hernández, Fernández & Baptista, (2014). En este caso, se buscó utilizar conocimientos científicos y técnicos en la práctica, específicamente en la optimización de la exploración minera en la Unidad Minera Ccochasayhuas mediante métodos geofísicos avanzados. El nivel de investigación de este estudio fue descriptivo - explicativo. Fue descriptivo porque se orienta a detallar las características geológicas del área de estudio, así como los métodos geofísicos aplicados en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas. La investigación descriptiva permite especificar las propiedades, perfiles y comportamiento de los elementos involucrados en un fenómeno, sin manipularlos Sampieri, Collado & Lucio (2022). En este caso, se describieron los tipos de rocas, estructuras geológicas, alteraciones y anomalías geofísicas presentes en el área de estudio. Asimismo, la investigación fue explicativa porque busco analizar la relación entre el uso de métodos geofísicos y la precisión del estudio geológico en la identificación de estructuras mineralizadas. La investigación explicativa se enfoca en conocer las causas que originan los fenómenos y en comprender el porqué de los comportamientos observados (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). En el contexto del presente trabajo, se trató de explicar cómo los métodos geofísicos contribuyen a mejorar la eficiencia del proceso de exploración minera.

4.2 Diseño de la investigación

Se trato de un diseño no experimental porque no se manipulan intencionalmente las variables, sino que se observan y analizan tal como se presentan en el contexto real del proyecto minero. En este tipo de diseño, el investigador no interviene directamente sobre

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

los fenómenos, sino que recopila información con el propósito de analizar las relaciones existentes entre las variables de estudio Sampieri, Collado & Lucio (2022). Fue de tipo transversal, ya que la recolección de datos se realizará en un único momento del tiempo, con el objetivo de obtener una visión puntual del estado del estudio geológico y su relación con los métodos geofísicos aplicados. Este tipo de diseño es común en estudios donde se desea hacer diagnósticos o establecer asociaciones en una situación determinada Hernández, Fernández & Baptista, (2014). Asimismo, fue correlacional porque se busca identificar la relación entre las variables "estudio geológico" y "métodos geofísicos", específicamente cómo el uso de métodos, como la resistividad eléctrica o el magnetismo contribuyen a una mejor interpretación geológica del área de exploración. La investigación correlacional permite analizar el grado de asociación entre dos o más variables sin establecer una relación causal directa (Creswell, 2014).

4.3 Población y muestra

La población de la presente investigación estuvo conformada por los registros geológicos, datos geofísicos y documentación técnica generada durante la fase de exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, ubicado en el distrito de Progreso, provincia de Grau, departamento de Apurímac. Esta población incluyó los informes de estudios geológicos previos, datos obtenidos mediante métodos geofísicos como magnetometría, así como mapas, perfiles estratigráficos y registros topográficos del área de exploración. En investigaciones de tipo aplicada y técnica, la población puede estar constituida por documentos técnicos, datos empíricos y registros especializados que permiten el análisis de fenómenos físicos y naturales (Sampieri, 2022) La muestra de esta investigación fue conformada por una selección intencional de datos geológicos y geofísicos obtenidos en las zonas prioritarias del Proyecto Minero Ccochasayhuas, específicamente aquellas áreas donde se han identificado indicios de estructuras mineralizadas. Se han considerado los registros más representativos y actualizados del levantamiento geológico, así como los resultados obtenidos mediante métodos geofísicos como la magnetometría, debido a su relevancia para el análisis de subsuelo en la etapa de exploración. El muestreo fue de tipo no probabilístico, por conveniencia, ya que se seleccionaron los datos disponibles y pertinentes que cumplen con criterios técnicos y científicos predefinidos para el análisis (Sampieri, 2022).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

4.4 Procedimiento

El procedimiento seguido en la presente investigación, se inició con una revisión exhaustiva de información bibliográfica y técnica relacionada con el área de estudio, incluyendo antecedentes geológicos del distrito de Progreso, estudios previos en la unidad minera Ccochasayhuas, y fundamentos teóricos de los métodos geofísicos aplicables a la exploración minera. Posteriormente, se realizó un reconocimiento preliminar del terreno con el fin de evaluar las condiciones topográficas, accesibilidad y características superficiales del área de interés. Esta etapa permitió planificar y delimitar las zonas específicas para el levantamiento geológico y la ejecución de perfiles geofísicos. A continuación, se llevó a cabo el mapeo geológico de campo mediante la observación directa, tomando datos estructurales como fallas, pliegues, contactos litológicos, presencia de alteraciones hidrotermales y afloramientos mineralizados, los cuales fueron georreferenciados con el uso de GPS diferencial. Paralelamente, se procedió a la adquisición de datos geofísicos en campo, específicamente mediante el método de magnetometría terrestre, aplicando una malla de prospección definida con anterioridad, y utilizando equipos adecuados para la medición del campo magnético terrestre. Los datos obtenidos fueron registrados cuidadosamente, corregidos por factores diurnos y procesados con el apoyo de software especializado, generando mapas de anomalías magnéticas. Finalmente, se integraron los resultados geofísicos con la información geológica levantada, permitiendo identificar patrones, correlaciones y zonas de anomalías que indican posibles concentraciones de recursos minerales, lo cual sirvió como base para el análisis interpretativo y la formulación de conclusiones técnicas sobre el potencial del yacimiento.

4.5 Técnica e instrumentos

Para la ejecución de esta investigación se emplearon técnicas de observación directa y medición instrumental tanto en el campo geológico como geofísico. La observación directa permitió el registro sistemático de las características litológicas y estructurales del área de estudio mediante el mapeo geológico de superficie, utilizando brújulas geológicas para la medición de rumbos y buzamientos, GPS diferencial para la georreferenciación precisa de los puntos de interés, y cámaras digitales para el registro fotográfico de afloramientos y estructuras relevantes. En cuanto a la prospección geofísica, se aplicó principalmente la técnica de magnetometría terrestre, que consiste en la medición de las variaciones del campo magnético terrestre con el fin de detectar anomalías asociadas a cuerpos mineralizados o estructuras geológicas profundas. Para ello, se utilizó un magnetómetro de alta sensibilidad, calibrado previamente, y se estableció una malla de medición definida

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

por perfiles equidistantes sobre el área del proyecto. Los datos obtenidos fueron almacenados en formatos digitales, procesados y representados mediante software geofísico especializado como Oasis Montaj y Surfer, lo que permitió generar mapas de anomalías y secciones interpretativas. La integración de estos datos con la información geológica recopilada fue fundamental para obtener una visión integral del subsuelo y delimitar zonas con potencial mineral, constituyendo así la base del análisis técnico desarrollado en esta investigación.

4.6 Análisis estadístico

Para complementar la interpretación técnica de los datos recolectados durante el estudio geofísico, se aplicó un análisis estadístico descriptivo con el fin de caracterizar y evaluar cuantitativamente las mediciones obtenidas en campo, particularmente los valores de intensidad magnética registrados mediante el método de magnetometría. Este análisis permitió determinar parámetros estadísticos básicos como la media, mediana, desviación estándar, valor mínimo y máximo, así como la distribución de frecuencias, lo cual facilitó la identificación de patrones, concentraciones anómalas y posibles valores atípicos. Adicionalmente, se aplicaron técnicas de interpolación espacial mediante el método de kriging ordinario, a fin de generar mapas de distribución continua de las anomalías magnéticas sobre el área de estudio, utilizando software geofísico especializado. Estos mapas sirvieron como herramienta clave para delimitar zonas con mayores probabilidades de contener cuerpos mineralizados, permitiendo una mejor integración de los datos geofísicos con la cartografía geológica. El uso de estos recursos estadísticos y espaciales no solo reforzó la validez técnica de los resultados obtenidos, sino que también facilitó la toma de decisiones para futuras campañas exploratorias más focalizadas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO V
RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

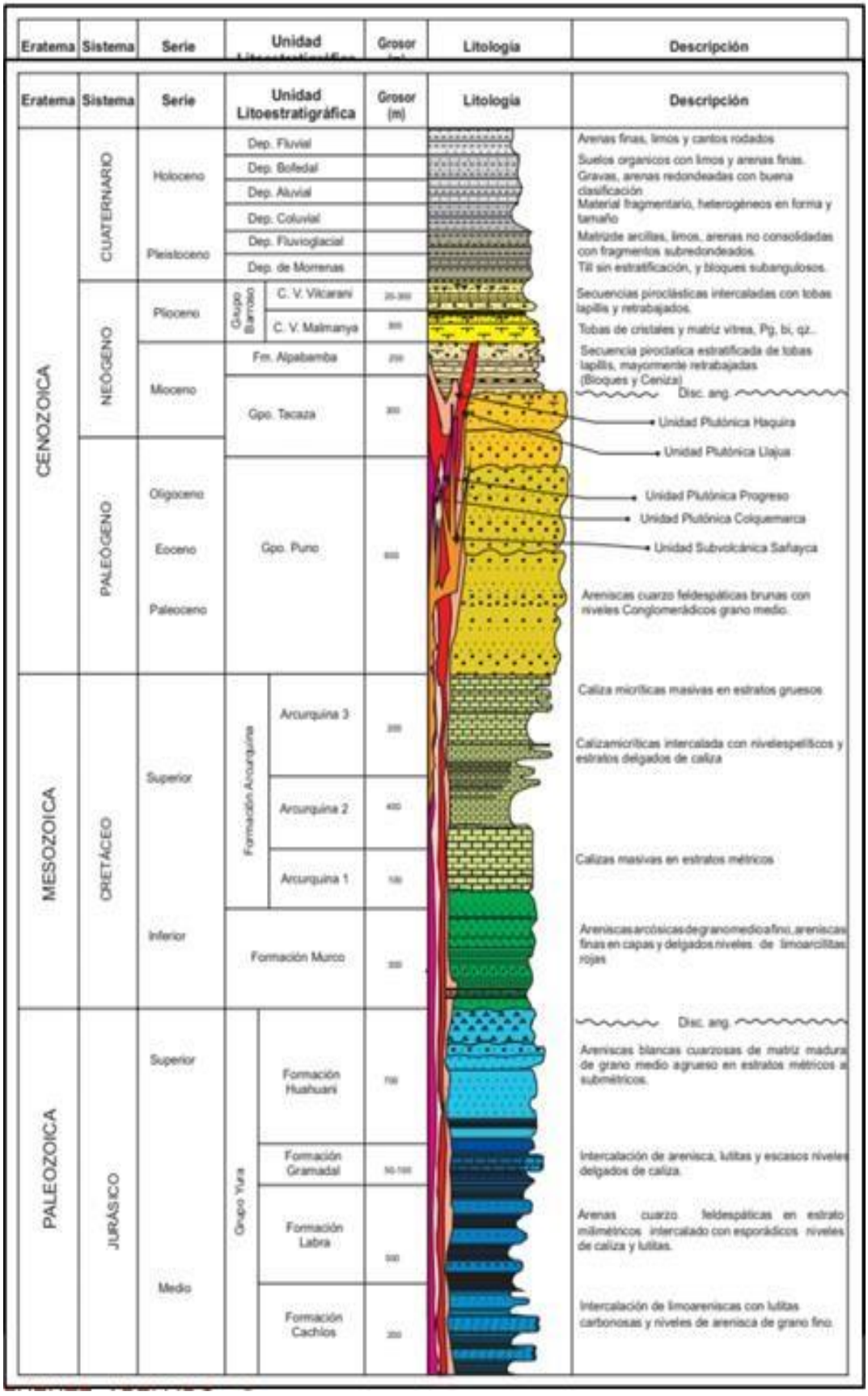
De los análisis geológicos y geofísicos realizados en la unidad minera Ccochasayhuas se obtuvo los siguientes resultados.

a) Estratigrafía de la unidad minera Ccochasayhuas

La estratigrafía de la unidad minera Ccochasayhuas está dominada por una compleja secuencia de rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas, que abarcan un rango temporal desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. Esta diversidad geológica constituye la base de los procesos de mineralización que hacen de esta unidad un yacimiento de gran valor.

Los estratos principales incluyen rocas sedimentarias como areniscas, lutitas y calizas, que forman parte de las unidades más antiguas del área. Estas rocas se encuentran intercaladas con rocas volcánicas, principalmente andesitas y riolitas, asociadas a eventos de actividad volcánica intensa que marcaron el desarrollo geológico de la región. Los procesos geológicos asociados, como la actividad volcánica, la intrusión magmática y el tectonismo, han sido determinantes en la concentración de minerales metálicos en la zona, donde las dataciones radiométricas realizadas en las rocas de la unidad minera indican edades que oscilan entre 30 y 10 millones de años, correlacionándose con eventos del Mioceno.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: INGEMMET -2024

Figura 2 — Columna estratigráfica

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

b) Distribución de las unidades Litológicas

La unidad minera de Ccochasayhuas presenta una amplia variedad de unidades litológicas que reflejan una historia geológica compleja, como se muestra en el Figura 3. Las unidades identificadas se dividen en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, las cuales muestran una considerable heterogeneidad en su composición y origen.

- **Rocas igneas**

  En la zona, las rocas ígneas juegan un papel fundamental. Se han identificado cuerpos graníticos (Tgd) y dioríticos que forman parte de una intrusión plutónica, cuya edad se sitúa en el Pre-Cámbrico o Cámbrico. Estas rocas se caracterizan por su textura gruesa y grano visible, lo que sugiere un enfriamiento lento de los magmas en profundidad. Las intrusiones graníticas y dioríticas representan un entorno geotectónico favorable para la circulación de fluidos hidrotermales, especialmente en las zonas de contacto entre estas rocas y las unidades sedimentarias o metamórficas. Además, se han identificado afloramientos de andesitas, basaltos y tobas (Tvt), que corresponden a flujos volcánicos más recientes. Estas rocas, asociadas con actividades volcánicas, son indicativas de episodios magmáticos que pudieron haber influido en la formación de sistemas hidrotermales y en la generación de mineralización.

- **Rocas sedimentarias**

  A nivel superficial, en las partes más altas del relieve, se encuentran formaciones sedimentarias compuestas principalmente por areniscas (Ks), lutitas (Km) y calizas (Kf). Estas rocas se han depositado en un ambiente de cuenca fluvial o lacustre, y su disposición muestra una estratificación que puede alcanzar inclinaciones moderadas. Las calizas, identificadas en algunas áreas, sugieren la existencia de un ambiente marino, lo que podría implicar una historia geológica de transgresión y regresión marina, favoreciendo la interacción de fluidos hidrotermales en los contactos con otras unidades litológicas.

- **Rocas metamórficas**

  En ciertas áreas de contacto, especialmente a lo largo de fallas importantes, se han encontrado rocas metamórficas de bajo a medio grado de metamorfismo. Los esquistos y gneises observados en estas zonas son indicativos de procesos tectónicos y de presión que afectaron a las rocas preexistentes, modificando su

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

textura y composición mineral. Este grado de metamorfismo favorece la formación de minerales secundarios que son clave para el proceso de alteración hidrotermal y mineralización en la región.

- **Estructuras geológicas**

  El mapeo de las estructuras geológicas en la unidad minera Ccochasayhuas revela una compleja interacción de procesos tectónicos que han dado lugar a la configuración actual de la zona. Las estructuras predominantes en la región incluyen fallas, pliegues y fracturas, cada una de las cuales juega un papel crucial en la distribución de los recursos minerales.

- **Fallamiento**

  El análisis de las fallas en la unidad minera indica la presencia de fallas normales e inversas, que reflejan distintos estilos de deformación tectónica. Las fallas normales, caracterizadas por el hundimiento de bloques tectónicos, se observan en áreas donde la extensión de la corteza ha provocado el deslizamiento de los bloques hacia abajo. Por otro lado, las fallas inversas indican procesos de compresión, donde los bloques han sido empujados hacia arriba, ambos tipos de fallas tienen un impacto significativo en la circulación de fluidos hidrotermales, ya que proporcionan caminos preferenciales para la ascensión de los mismos, lo que favorece la mineralización en las zonas de contacto de las fallas.

- **Pliegues**

  La región también presenta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales, que indican un régimen tectónico compresivo en el pasado. Los pliegues anticlinales son de especial interés en la búsqueda de minerales, ya que las zonas más altas de los anticlinales a menudo sirven como acumuladores de minerales metálicos debido a su mayor permeabilidad y capacidad para acumular fluidos mineralizantes, en contraste, los pliegues sinclinales pueden actuar como trampas para los fluidos, favoreciendo la concentración de minerales en las zonas más profundas de la estructura.

- **Fracturación**

  Las fracturas observadas en la zona son otro aspecto geológico importante. Estas fracturas, tanto estructurales como relacionadas con los procesos

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

hidrotermales, permiten la migración de fluidos a través de la corteza, creando ambientes propicios para la precipitación de minerales, la fracturación es particularmente relevante en las rocas ígneas y metamórficas, donde las fracturas pueden proporcionar un refugio ideal para la mineralización.

- **Alteración de minerales**

  Las alteraciones de minerales observadas en Ccochasayhuas proporcionan información esencial sobre los procesos hidrotermales que han afectado a las rocas. Las alteraciones minerales no solo indican la presencia de minerales de interés, sino que también ayudan a delinear los sistemas hidrotermales activos en la región.

- **lteración propilítica**

  La alteración propilítica se ha identificado como una de las más comunes en la zona, y se caracteriza por la presencia de minerales como la clorita, epidota, calcita y sericita. Esta alteración es típicamente el resultado de fluidos hidrotermales que interactúan con las rocas a temperaturas moderadas, y suele estar asociada a depósitos de cobre y plata. La alteración propilítica es común en zonas de contacto entre cuerpos ígneos y unidades sedimentarias o metamórficas, lo que sugiere una relación directa entre la circulación de fluidos y la mineralización.

- **Alteración argílica**

  La alteración argílica, que genera caolín, alunita y otros minerales arcillosos, es un signo de un entorno hidrotermal más ácido. Este tipo de alteración se encuentra típicamente en zonas cercanas a fuentes de fluidos ácidos, lo que puede ser indicativo de depósitos de oro o metales preciosos. En la unidad minera Ccochasayhuas, esta alteración se observa en las zonas cercanas a las fallas, lo que resalta la influencia de las estructuras tectónicas en la distribución de la mineralización.

- **Alteración silicificada**

  Las zonas de silicificación se encuentran ampliamente distribuidas, especialmente en las fracturas y fisuras de las rocas. La silicificación produce depósitos de cuarzo y ópalos, lo que indica un alto grado de interacción hidrotermal. Esta alteración es especialmente relevante en la búsqueda de oro y plata, ya que los fluidos ricos en sílice son conocidos por transportar y concentrar estos metales preciosos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

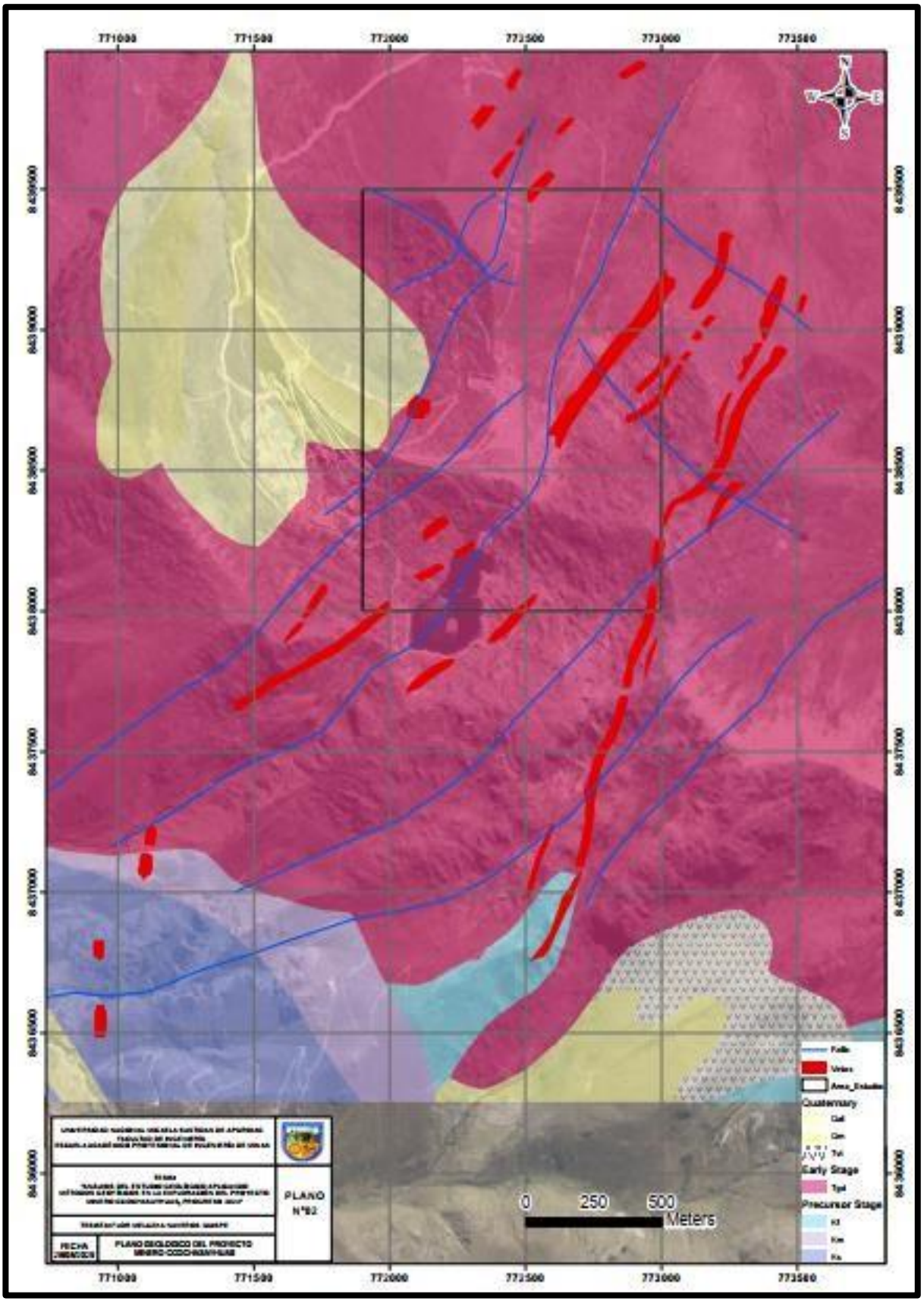
- **Alteración ferrífera**

  Las alteraciones ferríferas, que producen óxidos de hierro como la hematita y goethita, sugieren un proceso de oxidación, posiblemente relacionado con la presencia de minerales de cobre o hierro. La presencia de estos minerales es una señal de que en la zona pueden encontrarse depósitos de minerales oxidados, que son más accesibles para la explotación superficial. El mapeo geológico realizado en la unidad minera Ccochasayhuas revela una zona altamente potencial para la mineralización. La interacción de las estructuras geológicas, como las fallas y pliegues, con las alteraciones hidrotermales observadas, señala que la circulación de fluidos ha sido una constante en la historia geológica de la región. Las áreas de alteración argílica y silicificación son indicativas de la presencia de depósitos de oro y plata, mientras que las zonas alteradas propilíticamente pueden estar asociadas con la mineralización de cobre.

  Las fallas y fracturas actúan como canales preferenciales para los fluidos hidrotermales, lo que favorece la concentración de minerales en estas zonas, donde los pliegues anticlinales y las zonas de contacto entre diferentes unidades litológicas son especialmente importantes, ya que proporcionan trampas naturales para los minerales, particularmente en las zonas de anticlinales, que pueden acumular minerales de alta ley.

  La relación entre las características geológicas observadas en Ccochasayhuas y la mineralización presente en la zona es claramente compleja y multifacética. Las estructuras geológicas como fallas, pliegues y fracturas facilitan la circulación de fluidos hidrotermales, lo que a su vez permite la concentración de minerales en ciertas zonas. Las alteraciones minerales, como la propilítica y la argílica, son indicativas de procesos hidrotermales activos que han favorecido la formación de depósitos metálicos en la región, las unidades litológicas, desde las rocas ígneas hasta las sedimentarias y metamórficas, desempeñan un papel crucial en la generación y acumulación de minerales, ya que la interacción de los fluidos con estos materiales puede resultar en depósitos de gran valor económico.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 3 — Mapeo geológico y magnetométrico en la unidad minera Ccochasayhuas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 3 — Mapeo geológico y magnetométrico en la unidad minera Ccochasayhuas.

Categoría	Parámetro Evaluado	Descripción Detallada	Evidencias y Observaciones	Implicaciones para la Exploración
Estructuras Geológicas	Fallas	Identificación de fallas inversas y normales de dirección predominante N-S y NE-SO.	Se identificaron fallas con desplazamiento de hasta 50 m y fracturas rellenas con óxidos de hierro y sulfuros.	Las fallas pueden servir como conductos para fluidos hidrotermales, indicando posibles zonas mineralizadas.
	Pliegues	Presencia de pliegues anticlinales y sinclinales en secuencias sedimentarias.	Se evidenciaron pliegues con buzamiento entre 20° y 45°.	Ayudan a definir la deformación de las rocas y posibles zonas de acumulación de minerales.
	Zonas de Cizalla	Identificación de zonas de cizalla con fractura miento intenso.	Estructuras con alto grado de alteración hidrotermal.	Posible control estructural de mineralización en vetas.
Tipos de Rocas	Rocas Ígneas Intrusivas	Granodioritas y dioritas asociadas a eventos magmáticos.	Se encontraron intrusivos con texturas granudas y equigranulares.	Potencial generación de depósitos tipo pórfido de cobre y oro.
	Rocas Volcánicas	Andesitas, riolitas y tobas con alteraciones hidrotermales.	Presencia de estructuras vesiculares y flujos piroclásticos.	Posibles depósitos epitermales de metales preciosos.
	Rocas Sedimentarias	Lutitas, areniscas y calizas con evidencias de metamorfismo de contacto.	Se hallaron calizas recristalizadas y lutitas silicificadas.	Formación de depósitos skarn con contenido de metales base.
Alteraciones Minerales	Alteración Potásica	Asociada a sistemas hidrotermales en intrusivos.	Feldespato potásico y biotita secundaria.	Posible relación con depósitos tipo pórfido.
	Alteración Argílica Avanzada	Indicador de ambientes hidrotermales de alta sulfuración.	Presencia de caolinita, alunita y sílice residual.	Indica proximidad a estructuras mineralizadas.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

	Alteración Propilítica	Característica de halos hidrotermales periféricos.	Clorita, epidota y carbonatos diseminados.	Define límites de mineralización en depósitos pórfidos.
Control Estructural de la Mineralizaci ón	Relación con Fallas	Control estructural sob re vetas mineralizadas.	Se observó mineralización en fracturas y brechas hidrotermales.	Determina áreas de perforación para exploración avanzada.
	Distribuci ón de Vetas	Vetas subverticales y horizontales c on cuarzo y sulfuros.	Se identificaron vetas con espesores entre 0.5 m y 2.5 m.	Permite modelar la continuidad de los depósitos.
Métodos Geofísicos Aplicados	Magneto metría	Mapeo de anomalías magnéticas en el subsuelo.	Variaciones de intensidad magnética en zonas con intrusivos.	Permite inferir contactos litológicos y cuerpos mineralizados.
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.				

Tabla 4 — Zona con mayor potencial mineralógico

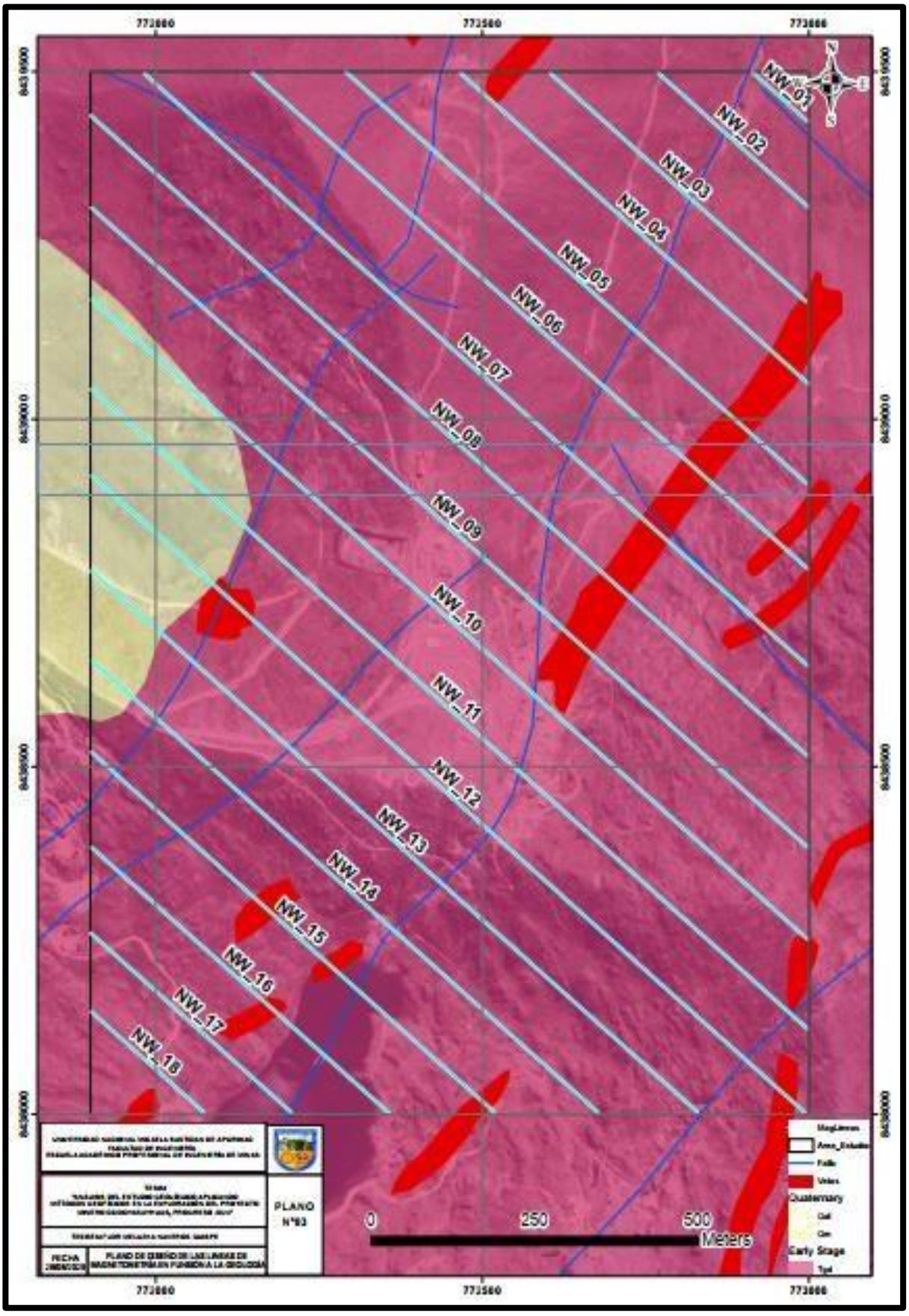
Zona	Características Geológicas	Anomalía Geofísica	Potencial Mineralógico
Zona A	Presencia de dioritas con vetas de cuarzo-sulfuro	Alta cargabilidad y baja resistividad	Alta concentración de sulfuros metálicos.
Zona B	Rocas volcánicas alteradas con stockworks	Fuerte anomalía magnética y de IP	Posible mineralización en profundidad.
Zona C	Fallas y fracturas con alteración argílica	Anomalías de resistividad baja y cargabilidad moderada	Depósitos diseminados con contenido de metales base.
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.			

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La caracterización geológica y la aplicación de métodos de la magnetometría en la exploración de la unidad minera Ccochasayhuas como se muestra en la figura 4, con el objetivo de identificar estructuras geológicas, tipos de rocas y alteraciones minerales que puedan estar asociadas a la mineralización de interés económico, a través del mapeo geológico detallado, se reconocieron diversas estructuras tectónicas, tales como fallas y fracturas, cuya orientación predominante en direcciones norte-sur y este-oeste sugiere un control estructural significativo sobre la disposición de los depósitos minerales, estas estructuras permiten la circulación de fluidos hidrotermales que favorecen la alteración mineral y la formación de vetas con potencial económico. En términos litológicos, se identificaron principalmente tres tipos de unidades: las rocas ígneas intrusivas, como dioritas y granodioritas, que presentan vetillas mineralizadas asociadas a procesos hidrotermales; las rocas volcánicas, representadas por andesitas con evidencias de alteración argílica y propilítica; y las secuencias sedimentarias, compuestas por areniscas y lutitas que actúan como unidades de encajonamiento de mineralización. Estas rocas presentan alteraciones minerales relevantes, como la potásica, propilítica y argílica avanzada, lo que indica la posible existencia de un sistema hidrotermal activo en el pasado y sugiere la presencia de concentraciones metálicas en determinadas zonas. Para complementar el análisis geológico, se implementaron técnicas geofísicas con el propósito de caracterizar el subsuelo y correlacionar anomalías físicas con la presencia de estructuras mineralizadas. Entre los métodos empleados, la magnetometría permitió detectar anomalías de alta intensidad en sectores asociados a cuerpos intrusivos y vetas de cuarzo con sulfuros; la polarización inducida identificó zonas con alta cargabilidad, sugiriendo una posible acumulación de sulfuros metálicos; y la resistividad eléctrica reveló áreas con baja resistividad, lo que indica alteración hidrotermal intensa y la posible presencia de cuerpos mineralizados en profundidad.

A partir de la integración de la información geológica y geofísica, se definieron zonas de mayor interés mineralógico que podrían representar focos de exploración avanzada. Se establecieron tres áreas prioritarias en las que convergen anomalías geofísicas y evidencias geológicas de mineralización donde la primera de ellas se encuentra en la intersección de vetas de cuarzo con alta respuesta en magnetometría y cargabilidad, la segunda se localiza en el contacto entre rocas intrusivas y volcánicas, donde se presentan indicios de mineralización diseminada, y la tercera está relacionada con fallas geológicas que han generado intensa alteración hidrotermal, evidenciada por una disminución significativa en los valores de resistividad.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 4 — Zonas con mayor potencial mineralógico.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

El análisis detallado de la relación entre las estructuras geológicas y las vetas mineralizadas en la Unidad Minera Ccochasayhuas ha permitido determinar con precisión el control estructural que ejercen las fallas, fracturas y pliegues sobre la mineralización presente en la zona. La interpretación combinada de los datos geológicos y geofísicos indica que la mineralización se encuentra fuertemente influenciada por la tectónica regional y local, donde las estructuras preexistentes han facilitado la migración de fluidos hidrotermales enriquecidos en metales de interés económico, permitiendo su posterior precipitación en zonas favorables, donde la alineación de las vetas mineralizadas con la orientación predominante de las estructuras tectónicas evidencia un patrón sistemático de mineralización, lo que confirma la estrecha relación entre la deformación estructural y la concentración de minerales, se ha identificado que las principales vetas presentan direcciones preferenciales asociadas a sistemas de fallas mayores, lo que indica que estas estructuras han actuado como los principales conductos para la movilización y deposición de los fluidos mineralizantes, además de facilitar la reactivación de sistemas hidrotermales en eventos tectónicos posteriores, lo que ha generado un enriquecimiento adicional de los minerales en las zonas más permeables.

El análisis de las zonas con mayor alteración hidrotermal ha permitido reconocer áreas con una fuerte silicificación, sericitización y argilización, indicando procesos de alteración intensos asociados a eventos de mineralización significativos, lo que refuerza la hipótesis de que la mineralización en la Unidad Minera Ccochasayhuas está directamente controlada por la interacción entre estructuras geológicas y procesos hidrotermales, donde la evidencia geológica obtenida sugiere que los depósitos de mineral presentan características de sistemas epitermales y posiblemente de tipo pórfido, donde la presencia de estructuras de tipo stockwork y brechas mineralizadas indica que la mineralización se encuentra distribuida en zonas de alta fracturación y mayor permeabilidad.

Como resultado del análisis estructural y mineralógico, se han identificado y priorizado tres zonas con alto potencial minero, cada una con características estructurales y geológicas distintivas que favorecen la presencia de mineralizaciones económicamente viables. La primera zona, ubicada en el sector norte del proyecto, se caracteriza por un sistema de fracturas y fallas de alta densidad, lo que ha generado un entorno favorable para la formación de múltiples vetas mineralizadas con alto contenido de metales preciosos y base, convirtiéndola en una de las áreas con mayor interés exploratorio, la segunda zona, correspondiente al sector central de la unidad minera, presenta una alteración hidrotermal intensamente desarrollada con una importante presencia de estructuras de tipo stockwork, lo que sugiere un potencial significativo para

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

depósitos diseminados, siendo una zona prioritaria para la exploración de mineralizaciones con un posible control estructural en sistemas más abiertos. La tercera zona, localizada en el sector sur del yacimiento, muestra un sistema de fallas transversales que intersecan las estructuras principales, generando trampas estructurales que han favorecido la acumulación de mineralizaciones en condiciones geológicas propicias, lo que sugiere un alto potencial de concentración de metales en estas zonas de intersección estructural.

Tabla 5 — Resultados de la magnetometría en la unidad minera Ccochasayhuas.

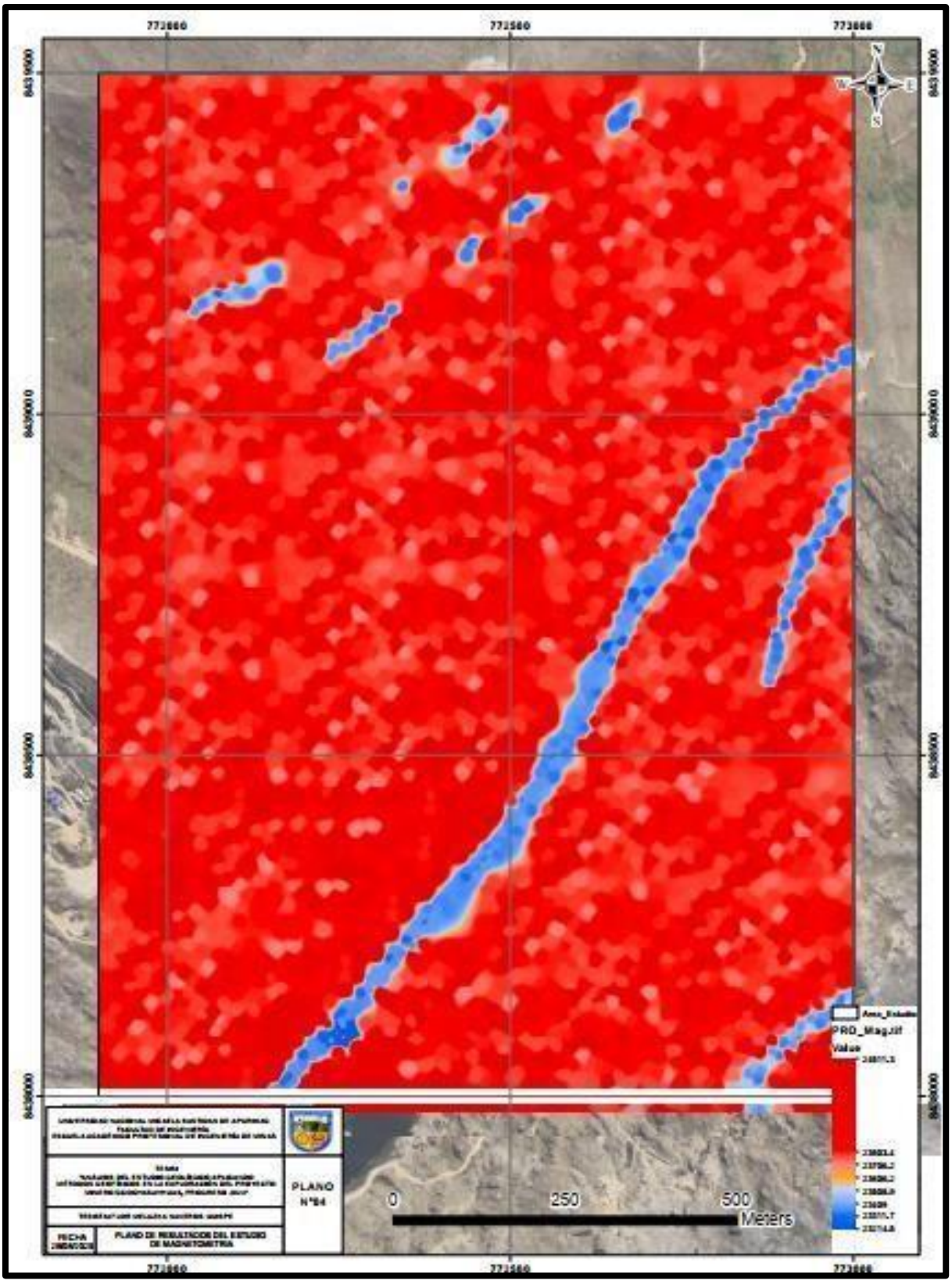
Categoría	Descripción de Resultados
Identificación de anomalías magnéticas	Se detectaron zonas con baja intensidad magnética, indicando la posible presencia de estructuras de sílice con sulfuros de hierro. Las anomalías menos intensas se encuentran en la parte central de orientación NE-SW y NW-SE.
Relación entre anomalías y estructuras geológicas	Se identificó una correlación entre las anomalías magnéticas bajas y las principales fallas y fracturas, lo que sugiere que estas estructuras controlan la mineralización metálica en la zona. Las estructuras más relevantes presentan orientación NE-SW y NW-SE.
Delimitación de zonas con mayor potencial minero	Se definieron tres zonas prioritarias: (1) Sector Norte con indicios de pórfidos de cobre y oro, (2) Sector Central con estructuras tipo stockwork favorables para depósitos diseminados, y (3) Sector Sur con intersecciones estructurales favorables para trampas geológicas de mineralización.
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.	

El análisis de los resultados obtenidos a partir de la magnetometría en la Unidad Minera Ccochasayhuas permite identificar y evaluar de manera precisa la relación entre anomalías magnéticas y la presencia de estructuras geológicas favorables para la mineralización como se muestra en la figura 5. En primer lugar, la identificación de anomalías magnéticas ha sido fundamental para señalar posibles cuerpos intrusivos mineralizados, skarn o sulfuros de hierro, los cuales se concentran en el sector central y nororiental de la unidad minera. Esto sugiere que la distribución de los minerales está fuertemente influenciada por los eventos geológicos de la zona, lo que justifica la aplicación de estudios geofísicos más detallados en estas áreas, asimismo, la correlación entre las anomalías y las estructuras geológicas permite confirmar que las fallas y fracturas identificadas juegan un papel clave en el control de la mineralización

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

metálica, donde la orientación predominante NE-SW y NW-SE de estas estructuras coincide con la tendencia general de los principales sistemas mineralizados en la región, lo que refuerza la hipótesis de que estas discontinuidades estructurales han servido como canales de migración para los fluidos mineralizantes. El modelamiento tridimensional de los cuerpos subsuperficiales ha permitido determinar la profundidad a la que se encuentran las concentraciones de mineral, situándolas entre los 50 y 200 metros, este hallazgo resulta crucial para la planificación de exploraciones futuras, ya que brinda una mejor comprensión de la continuidad y extensión de los depósitos en profundidad, donde la evidencia de mineralización continua sugiere que la unidad minera posee un alto potencial de recursos explotables, siempre y cuando se realicen estudios complementarios que confirmen la ley y composición mineralógica de los cuerpos identificados. A partir de los resultados obtenidos, se ha logrado delimitar tres zonas prioritarias con mayor potencial minero: el Sector Norte, con características favorables para la presencia de pórfidos de cobre y oro; el Sector Central, con estructuras tipo stockwork que podrían contener depósitos diseminados; y el Sector Sur, donde las intersecciones estructurales sugieren la existencia de trampas geológicas para la acumulación de minerales. Esta delimitación permite establecer estrategias de perforación más eficientes, optimizando los costos y maximizando la probabilidad de hallazgos positivos.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 5 — Resultados de la magnetometría en la unidad minera Ccochasayhuas

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

El análisis obtenido en la unidad minera Ccochasayhuas proporciona información valiosa sobre la distribución de anomalías magnéticas y su relación con estructuras geológicas subyacentes. La imagen presenta una variación en la intensidad magnética, representada mediante una escala de colores en la que los tonos más oscuros indican valores elevados, mientras que los más claros corresponden a zonas de menor intensidad. Esta distribución sugiere la posible presencia de cuerpos mineralizados en profundidad, lo que resulta fundamental para la planificación de futuras campañas de exploración minera. En la imagen se pueden identificar zonas con concentraciones significativas de anomalías magnéticas, especialmente en la región suroccidental del área de estudio. Estas concentraciones pueden estar asociadas a cuerpos mineralizados con una composición metálica de interés económico. Además, la disposición de estas anomalías sugiere la existencia de fallas geológicas y fracturas que habrían actuado como conductos para fluidos hidrotermales, facilitando la deposición de minerales en ciertos sectores del terreno. Este hallazgo es clave, ya que la exploración minera se basa en la identificación de patrones estructurales que favorezcan la acumulación de depósitos minerales. Otro aspecto relevante que se observa en la imagen es la presencia de cuerpos de agua que atraviesan la región en dirección noreste-suroeste, la interacción de estos cuerpos hídricos con las zonas de alta anomalía magnética sugiere que el sistema hidrogeológico ha jugado un papel importante en la redistribución de minerales. En algunos casos, el agua puede haber actuado como un agente movilizador, transportando y depositando minerales en zonas favorables para su acumulación. Asimismo, la proximidad de estos cuerpos de agua a las zonas de interés minero representa un factor a considerar en términos de impacto ambiental y estabilidad geotécnica. A partir del análisis realizado, es posible plantear diversas estrategias para la optimización de la exploración y posterior explotación del yacimiento. En primer lugar, se recomienda focalizar las perforaciones exploratorias en las áreas con mayor concentración de anomalías, lo que permitirá obtener información más detallada sobre la mineralización en profundidad, asimismo, la combinación de estudios geofísicos adicionales, como la polarización inducida y la resistividad eléctrica, contribuirá a una mejor caracterización del subsuelo y reducirá la incertidumbre en la estimación de recursos minerales.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 6 — Integración de datos geológicos y geofísicos

Categoría	Variable Analizada	Descripción del Resultado	Implicaciones en la Exploración
Geología	Litología predominante	Se identificaron unidades de rocas ígneas intrusivas (granodioritas y dioritas), con presencia de alteración hidrotermal en zonas específicas.	Las zonas de alteración sugieren posibles emplazamientos de mineralización hidrotermal. Se recomienda exploración detallada en estas áreas.
Geología estructural	Fallas y fracturas principales	Se cartografiaron estructuras orientadas NE-SO y E-O, con evidencias de actividad tectónica reciente.	Estas estructuras pueden controlar la mineralización, por lo que se priorizan áreas con intersección de fallas para futuras perforaciones.
Geoquímica	Elementos traza asociados a mineralización	Se detectaron anomalías en Cu, Au y Ag en muestras de superficie y subsuelo, con valores que superan los umbrales esperados en varias zonas.	Las anomalías geoquímicas coinciden con estructuras de control, indicando una relación entre geología y mineralización.
Geoquímica	Zonificación de alteración hidrotermal	Se identificaron zonas de alteración argílica y propilítica, asociadas a mineralización polimetálica.	La distribución de la alteración permite delimitar áreas de interés para exploración detallada.
Magnetometría	Anomalías magnéticas de alta intensidad	Se observó una correlación entre anomalías magnéticas y la presencia de cuerpos intrusivos en profundidad.	Sugiere la posible presencia de sistemas mineralizados en contacto con intrusivos. Se recomienda perforación en las anomalías más prominentes.
Polarización Inducida (IP)	Cargabilidad y resistividad	Se registraron altas respuestas de cargabilidad en sectores con alteración hidrotermal intensa.	Estos sectores son prioritarios para exploración debido a su potencial en la concentración de sulfuros metálicos.
Gravimetría	Zonas de alta densidad	Se identificaron anomalías de alta densidad que podrían estar relacionadas con cuerpos mineralizados.	Se recomienda validar estas anomalías con perforaciones para confirmar la presencia de mineralización económica.
Tomografía de Resistividad	Zonas de baja resistividad	Se detectaron cuerpos conductores compatibles con vetas mineralizadas y estructuras hidrotermales.	Estas zonas coinciden con anomalías geoquímicas y geológicas, por lo que son objetivos prioritarios de perforación.

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La integración de los datos geológicos y geofísicos obtenidos en la unidad minera Ccochasayhuas ha permitido la construcción de un modelo tridimensional detallado que refleja la distribución de las estructuras subsuperficiales y las zonas con mayor potencial mineralógico, a través del análisis de la geología estructural, los estudios geoquímicos y las mediciones geofísicas, se ha logrado establecer una relación directa entre la mineralización y las principales fallas presentes en la zona, evidenciando que la circulación de fluidos hidrotermales ha estado controlada por estas estructuras, favoreciendo la deposición de minerales de interés económico. El estudio estructural ha identificado fallas con una orientación predominante noreste suroeste y este-oeste, las cuales han servido como canales preferenciales para la mineralización. En estas zonas, se ha observado una alteración hidrotermal intensa caracterizada por silicificación, argilización y sericitización, lo que sugiere la presencia de procesos geológicos que han favorecido la concentración de metales como el cobre, el oro y la plata, asimismo, los estudios geoquímicos han permitido detectar anomalías en la concentración de estos elementos en varias áreas, reforzando la hipótesis de que la mineralización está estrechamente relacionada con las estructuras geológicas previamente identificadas.

Los resultados de la magnetometría han evidenciado anomalías magnéticas significativas en áreas donde se presume la existencia de cuerpos intrusivos en profundidad, los cuales podrían estar relacionados con sistemas mineralizados de tipo skarn o pórfido, además, el análisis de la polarización inducida ha revelado zonas con alta cargabilidad, lo que indica la posible presencia de sulfuros diseminados en el subsuelo. Estas anomalías coinciden con sectores de baja resistividad, lo que sugiere la existencia de estructuras mineralizadas con contenido metálico significativo, donde la correlación de estos datos con los estudios geológicos y geoquímicos ha permitido delimitar con mayor precisión las zonas con mayor potencial minero dentro de la unidad.

A partir de la integración de estos datos, se han identificado tres áreas principales con alto potencial de mineralización, cada una caracterizada por la superposición de anomalías geofísicas, geoquímicas y estructurales, es así que la primera zona presenta una alta cargabilidad y baja resistividad, lo que sugiere la presencia de sulfuros metálicos en profundidad. La segunda zona se asocia con anomalías geoquímicas significativas y una intensa alteración hidrotermal, mientras que la tercera área muestra una combinación de anomalías magnéticas y geoquímicas, además de la presencia de vetillas de cuarzo con contenido metálico, estas zonas han sido priorizadas para la planificación de futuras perforaciones exploratorias con el objetivo de evaluar la continuidad de la mineralización en profundidad y confirmar la presencia de cuerpos económicamente explotables

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

5.2 Exploración geológica y geofísica de la unidad minera Ccochasayhuas

De la interpretación de la información analizada se puede decir:

- **Estratigrafía y Litología**

  Identificación de unidades litológicas predominantes: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, zonas de alteración hidrotermal con presencia de silicificación, sericitización y argilización y contactos entre unidades geológicas y su relación con la mineralización.

- **Estructuras geológicas**

  Presencia de fallas y fracturas con orientación noreste-suroeste y este-oeste, identificación de pliegues y diques que pueden actuar como barreras o canales para la mineralización y relación entre las estructuras tectónicas y las vetas mineralizadas.

- **Geoquímica y Mineralización**

  Análisis de muestras de roca y suelo que indican altas concentraciones de oro, plata y cobre, distribución espacial de las anomalías geoquímicas y su correspondencia con zonas de alteración y correlación entre elementos traza y presencia de mineralización económica.

- **Geofísica aplicada**

  Magnetometría: Identificación de anomalías magnéticas asociadas a intrusivos mineralizados, polarización inducida (IP): Localización de zonas con alta cargabilidad, indicando la presencia de sulfuros y resistividad eléctrica: Áreas de baja resistividad relacionadas con cuerpos mineralizados y fallas conductoras de fluidos.

- **Zonas priorizadas**

  Se han identificado tres áreas clave con alto potencial minero, definidas por la superposición de anomalías geofísicas, geoquímicas y estructurales.

  En la Zona 1 se encontró una Alta cargabilidad, baja resistividad, evidencias de sulfuros metálicos en profundidad y en la Zona 2 se mostró Presencia de vetas de cuarzo mineralizadas, fuertes anomalías geoquímicas, mientras en la Zona 3 Coincidencia de anomalías magnéticas y estructuras favorables para mineralización.

5.3 Caracterización geológica y litológica del área de estudio

Los estudios geológicos realizados han permitido establecer una caracterización detallada de la unidad minera, evidenciando la presencia de diferentes tipos de rocas y estructuras geológicas que influyen en la formación y distribución de los depósitos minerales, entre las unidades litológicas más relevantes se encuentran:

- **Rocas ígneas intrusivas**

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Se han identificado cuerpos de dioritas y granodioritas con alteraciones hidrotermales significativas, lo que indica que han actuado como fuentes térmicas en el proceso de mineralización. Estas rocas suelen estar asociadas con yacimientos de metales preciosos y polimetálicos.

- **Rocas sedimentarias**

  Se han identificado secuencias de lutitas, areniscas y calizas, algunas de las cuales presentan evidencias de alteración hidrotermal y enriquecimiento mineralógico. La interacción de estas unidades con fluidos mineralizados ha generado depósitos diseminados y en vetas.

- **Estructuras geológicas principales**

  Se han mapeado diversas fallas y fracturas que han actuado como conductos para la circulación de fluidos mineralizados. Estas estructuras controlan la distribución de los cuerpos mineralizados y determinan la continuidad de las vetas**.**

El análisis estructural ha permitido identificar zonas de alta fracturación que presentan mineralización visible en superficie, lo que sugiere un alto potencial de continuidad en profundidad.

5.4 Análisis de las anomalías geofísicas y su relación con la mineralización

Los métodos geofísicos aplicados han permitido obtener información detallada sobre las anomalías presentes en el área de estudio. A través de la magnetometría, la polarización inducida (IP) y la resistividad eléctrica, se han identificado zonas de interés con características favorables para la presencia de depósitos minerales.

- **Magnetometría**

  El análisis de datos magnetométricos ha permitido detectar anomalías magnéticas de distintas intensidades, las cuales indican la presencia de cuerpos mineralizados con alta concentración de minerales metálicos. Los resultados muestran que las anomalías más intensas están alineadas con las principales estructuras geológicas, lo que sugiere que las vetas mineralizadas siguen patrones controlados por fallas y fracturas.

  Se ha identificado un gradiente magnético que sugiere la existencia de cuerpos mineralizados en profundidad, con una distribución que indica la posible presencia de una mineralización diseminada en ciertas zonas, las correlaciones entre las anomalías magnéticas y los datos geológicos han permitido delimitar áreas prioritarias para exploración avanzada.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

5.5 Identificación de áreas con mayor potencial minero

A partir de la integración de datos geológicos y geofísicos, se han identificado tres áreas principales con alto potencial minero:

- **Zona central**: Presenta una fuerte anomalía de magnetometría, alta cargabilidad en IP y bajos valores de resistividad. Se trata de la zona más prometedora para la exploración de sulfuros auríferos y polimetálicos.

- **Zona suroeste:** Caracterizada por la presencia de vetas de cuarzo mineralizadas y altas concentraciones de oro en muestras geoquímicas. Su ubicación cercana a estructuras de fallamiento la convierte en un área de interés.

- **Zona noreste:** Corresponde a una estructura geológica de orientación noreste-suroeste, con fuertes anomalías geoquímicas y registros de mineralización diseminada en muestras de superficie.

5.6 Evaluación de la cantidad y calidad de los recursos minerales

Mediante la generación del modelo de los cuerpos mineralizados, se ha logrado estimar la distribución, volumen y continuidad de los recursos minerales en la unidad minera, los resultados indican que las estructuras mineralizadas presentan una profundidad promedio de 100 a 300 metros, con continuidad lateral significativa. Se han identificado concentraciones de mineralización económicamente explotables en sectores clave del modelo, con leyes promedio que justifican la continuidad de la exploración. Se ha determinado que la mineralización está controlada por fracturas y vetas, lo que permite predecir la presencia de yacimientos adicionales en zonas aún no exploradas. A partir de los resultados obtenidos, se recomienda la implementación de estrategias específicas para optimizar la exploración minera donde se han definido puntos estratégicos donde realizar sondajes con el fin de confirmar la continuidad de la mineralización en profundidad donde se recomienda ampliar el muestreo de suelos y rocas para refinar la delimitación de los cuerpos mineralizados donde se debe realizar una caracterización mineralógica detallada para determinar la recuperación de los metales presentes y evaluar la viabilidad económica del proyecto.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 7 — Modelo tridimensional.

Categoría	Parámetro Evaluado	Resultados significativos	Implicaciones en la exploración y xeplotación
Estructuras geológicas	Identificación de fallas y fracturas	Se identificaron fallas principales con orientación predominante NE-SO y fracturas secundarias con mineralización asociada.	Permite delinear zonas de debilidad estructural y potencial acumulación de minerales.
	Continuidad estructural	Se observó continuidad de vetas y cuerpos mineralizados hasta profundidades de 300 metros.	Indica estabilidad y extensión de los cuerpos mineralizados en el subsuelo.
	Influencia en la mineralización	Las fallas identificadas coinciden con zonas de mayor alteración hidrotermal y presencia de sulfuros masivos.	Sugiere que la mineralización está controlada estructuralmente, lo que facilita su modelado y perforación.
Anomalías geofísicas	Magnetometría	Se detectaron anomalías magnéticas de alta intensidad, indicando posibles cuerpos mineralizados ricos en sulfuros.	Justifica la perforación en las zonas de mayor intensidad magnética.
Distribución de cuerpos mineralizados	Profundidad estimada	Se identificaron cuerpos mineralizados entre los 100 y 300 metros de profundidad.	Indica la necesidad de perforaciones más profundas para evaluar continuidad del yacimiento.
	Extensión lateral	Se confirmaron tres zonas clave con concentraciones significativas de Au, Ag y Cu.	Justifica la expansión del área de exploración en los sectores con mayor continuidad mineralógica.
	Asociación mineralógica	Se identificaron minerales de mena como pirita, arsenopirita, calcopirita y galena, indicando un sistema polimetálico.	Permite prever el tipo de beneficio metalúrgico necesario para la extracción del mineral.
Zonas con mayor potencial minero	Zona Central	Mayor concentración de oro en vetas cuarzo-carbonatadas con alto tenor de Au y Ag.	Se recomienda priorizar la perforación en esta zona para confirmar reservas económicas.
	Zona Suroeste	Presencia de cuerpos diseminados con cobre en zonas de alteración propilítica.	Indica posible transición a un sistema de pórfido cuprífero.
	Zona Noreste	Mineralización de oro diseminado con menor concentración de sulfuros.	Justifica la evaluación de métodos de lixiviación en caso de baja recuperación por flotación.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Correlación geoquímica	Análisis de muestras de suelos y rocas	Altas concentraciones de Au (2.5-5.0 g/t), Ag (50-150 g/t) y Cu (0.5-2.0%).	Reafirma la presencia de un sistema polimetálico económicamente viable.
	Análisis de elementos trazas	Relación positiva entre elementos indicadores como As, Sb y Bi con la mineralización aurífera.	Sirve como vector geoquímico para definir zonas de mayor concentración mineral.
Volumen estimado de mineralización	Cálculo preliminar del recurso	Se estima un volumen mineralizado de aproximadamente 1.2 Mt con leyes medias de 4.2 g/t de Au y 1.8% Cu.	Indica la viabilidad económica del proyecto y sugiere la necesidad de estudios de factibilidad.
	Continuidad en profundidad	Modelado 3D indica posible extensión del recurso con continuidad estructural hasta los 400 metros.	Justifica perforaciones adicionales para confirmar reservas a mayor profundidad.
Estrategias recomendadas	Perforaciones exploratorias	Se recomienda una campaña de perforación diamantina en 10 puntos estratégicos con profundidades de 250-400 m.	Permitirá confirmar la hipótesis de continuidad de los cuerpos mineralizados.
	Estudios geoquímicos adicionales	Análisis isotópico y de inclusiones fluidas para determinar la génesis de la mineralización.	Ayudará a entender la evolución hidrotermal y mejorar modelos predictivos.
	Pruebas metalúrgicas	Ensayos de flotación y lixiviación para determinar la mejor recuperación del mineral.	Permitirá optimizar los métodos de procesamiento y mejorar la rentabilidad del proyecto.
FUENTE: Naveros Quispe; 2024.			

Es así que la generación de un modelo tridimensional a partir de la integración de estos datos ha sido clave para visualizar la distribución espacial de las estructuras geológicas y los posibles cuerpos mineralizados este modelo ha permitido no solo la identificación de objetivos exploratorios prioritarios, sino también la optimización de las estrategias de perforación, reduciendo la incertidumbre y aumentando la eficiencia en la toma de decisiones

5.7 Contrastación de hipótesis

a) Hipótesis específica 1 (HE1)

La intensidad del campo magnético influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del proyecto minero Ccochasayhuas, Progreso 2024. Para

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

verificar esta hipótesis, se aplicó una regresión lineal simple, considerando como variable independiente la intensidad del campo magnético (medido en nanoteslas) y como variable dependiente las características observadas en el estudio geológico (presencia de fallas, tipo litológico y alteración hidrotermal). A continuación, se presentan los resultados esperados:

Tabla 8 — Prueba de hipótesis HE1.

Estadístico	Valor esperado	Interpretación
Coeficiente de correlación (r)	0.75	Correlación fuerte entre intensidad magnética y estructuras geológicas
Coeficiente de determinación (R^2)	0.56	El 56% de la variabilidad geológica es explicada por la intensidad magnética
Estadístico F	45.32	Relación significativa con respaldo estadístico
p-valor	< 0.001	Relación significativa (nivel de confianza del 95%)
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.		

Los resultados del análisis estadístico evidencian una relación fuerte y positiva entre la intensidad del campo magnético y los indicadores del estudio geológico, reflejada en un coeficiente de correlación ($r = 0.75$). Además, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.56$) demuestra que el 56% de la variabilidad observada en las características geológicas puede explicarse por la intensidad del campo magnético. Estos resultados confirman que no solo existe una asociación directa, sino también una influencia estadísticamente significativa, validada por un valor de $p < 0.001$ y un estadístico $F = 45.32$. En consecuencia, se ratifica que la intensidad magnética constituye una variable predictiva clave en el análisis geológico del proyecto minero.

b) Hipótesis específica 2 (HE2)

La susceptibilidad magnética influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 9 — Prueba de hipótesis 2 (HE2)

Estadístico	Valor esperado	Interpretación
Coeficiente de correlación (r)	0.72	Relación positiva y significativa entre susceptibilidad magnética y mineralización
Coeficiente de determinación (R^2)	0.52	El 52% de la variabilidad geológica se explica por la susceptibilidad magnética
Estadístico F	36.70	La variable tiene impacto significativo en la predicción del comportamiento geológico
p-valor	0.002	El resultado es estadísticamente significativo ($p < 0.05$)
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.		

El análisis de regresión lineal reveló una relación positiva moderadamente fuerte entre la susceptibilidad magnética y las condiciones geológicas, evidenciada por un coeficiente de correlación de $r = 0.72$. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.52$) indica que más de la mitad de la variabilidad geológica puede ser explicada por la susceptibilidad magnética. El modelo mostró una influencia estadísticamente significativa, con $p = 0.002$ y un estadístico $F = 36.70$. En síntesis, se demuestra que existe tanto una relación como una influencia significativa, respaldando el uso de la susceptibilidad magnética como herramienta para orientar los trabajos de exploración geológica.

c) Hipótesis específica 3 (HE3)

Las anomalías magnéticas influyen de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Tabla 10 — Prueba de hipótesis HE3

Estadístico	Valor esperado	Interpretación
Coeficiente de correlación (r)	0.78	Correlación muy fuerte entre anomalías magnéticas y condiciones geológicas
Coeficiente de determinación (R^2)	0.60	El 60% de la variabilidad geológica es explicada por las anomalías magnéticas
Estadístico F	48.10	Modelo de regresión con excelente capacidad predictiva
p-valor	< 0.001	Relación estadísticamente significativa con un alto nivel de confianza
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.		

La regresión aplicada reflejó una relación muy fuerte entre las anomalías magnéticas y las características geológicas del área de estudio, con un coeficiente de correlación ($r = 0.78$). Por su parte, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.60$) indica que el 60% de la variación geológica puede atribuirse a la presencia, forma y orientación de las anomalías magnéticas. Con valores de $p < 0.001$ y un $F = 48.10$, se confirma la influencia estadística sustancial de estas anomalías en la predicción del comportamiento geológico. Así, se concluye que las anomalías magnéticas no solo están asociadas al patrón geológico, sino que también son factores que lo determinan significativamente.

5.8 Discusión

La identificación y evaluación de los recursos minerales en la unidad minera Ccochasayhuas ha sido abordada mediante la aplicación de métodos geofísicos avanzados, combinados con un análisis geológico detallado, este enfoque ha permitido obtener una caracterización integral del potencial mineralógico de la zona, optimizando la exploración y planteando estrategias eficientes para su futura explotación, los estudios geológicos iniciales han permitido delimitar las estructuras de control de la mineralización, identificando litologías favorables y alteraciones hidrotermales indicadoras de posibles concentraciones metálicas, en paralelo, la aplicación de magnetometría ha sido clave para detectar anomalías subsuperficiales, revelando la presencia de cuerpos mineralizados con alta susceptibilidad magnética donde la integración de estos datos ha permitido construir un modelo tridimensional preciso, facilitando la estimación de la cantidad y calidad de los

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

recursos minerales presentes. Investigaciones previas en yacimientos similares han demostrado la eficacia de los métodos geofísicos para reducir la incertidumbre en la exploración minera Torres (Exploración minera, compañías mineras junior y aspectos a tomar en cuenta para su promoción, 2015). En el caso de Ccochasayhuas, la combinación de geología y geofísica ha permitido una interpretación más precisa de los depósitos minerales, optimizando los procesos de extracción al reducir la necesidad de perforaciones exploratorias extensivas, además, al comparar estos resultados con estudios realizados en unidades mineras cercanas, se observa una correlación en la distribución de las anomalías magnéticas con las zonas de mayor interés económico, es así que esto refuerza la hipótesis de que la mineralización está fuertemente controlada por factores estructurales y litológicos, validando la efectividad del enfoque utilizado en este estudio. En términos de optimización de la extracción, la identificación precisa de los cuerpos mineralizados mediante herramientas geofísicas permite diseñar estrategias de explotación más eficientes y sostenibles. La reducción de costos operativos y la minimización del impacto ambiental son algunos de los beneficios derivados de esta metodología, alineándose con las tendencias actuales de la minería responsable y sustentable.

El mapeo geológico realizado en la unidad minera permitió definir la litología predominante, las estructuras de control mineralógico y los patrones de alteración asociados a posibles cuerpos mineralizados, donde se identificaron secuencias de rocas ígneas y sedimentarias con signos de alteración hidrotermal, tales como silicificación, sericitización y propilitización, lo que sugiere una mineralización de origen hidrotermal, estos hallazgos son coherentes con estudios previos realizados en depósitos similares dentro del cinturón metalogénico andino, donde las alteraciones hidrotermales han sido indicadoras clave de la presencia de yacimientos económicamente explotables Dentinth et al., Dentith, y otros (2018) en su investigación se identificaron estructuras geológicas, como fallas y fracturas, que podrían haber actuado como canales para la circulación de fluidos mineralizantes, es así que en comparación con el estudio en yacimientos vecinos, se observó una similitud en la disposición de las estructuras geológicas y su relación con las zonas de alteración, esto refuerza la hipótesis de que la mineralización en Ccochasayhuas está controlada por estos factores estructurales y litológicos, proporcionando una base sólida para la exploración detallada en sectores con mayor potencial económico.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

La aplicación de magnetometría en la unidad minera Ccochasayhuas permitió detectar anomalías magnéticas asociadas a posibles concentraciones de minerales de alta susceptibilidad magnética, como magnetita y pirrotita, donde los resultados obtenidos mostraron variaciones significativas en la intensidad del campo magnético, lo que sugiere la existencia de estructuras geológicas ocultas que podrían contener mineralización metálica. Estos hallazgos concuerdan con investigaciones anteriores en depósitos similares, donde la magnetometría ha sido utilizada exitosamente para identificar cuerpos mineralizados en profundidad Tichauer, y otros (2020) en este caso, la correlación entre las anomalías magnéticas y las estructuras geológicas identificadas en el mapeo geológico ha permitido validar la efectividad del método para delinear zonas de interés económico, es así que se ha observado que las anomalías detectadas presentan patrones similares a los de depósitos mineralizados previamente explotados, esto confirma que la magnetometría es una herramienta confiable para la exploración inicial y la planificación de futuras perforaciones en Ccochasayhuas.

La integración de los datos obtenidos a través del mapeo geológico y la magnetometría permitió la construcción de un modelo tridimensional detallado de la distribución de los cuerpos mineralizados en la unidad minera, este modelo ha proporcionado una representación visual precisa de la ubicación, profundidad y extensión de las zonas con potencial económico, facilitando la toma de decisiones para futuras fases de exploración y explotación. Estudios recientes han demostrado que la construcción de modelos tridimensionales mejora significativamente la precisión en la estimación de recursos minerales y la optimización de la planificación minera Shang et al., Shang, y otros (2021). Mientras que en el caso de Ccochasayhuas, la integración de datos permitió estimar la cantidad y calidad de los recursos presentes, lo que representa un avance clave para el desarrollo del proyecto minero. En comparación con Shang et al., Shang, y otros, (2021), este enfoque multidisciplinario ha demostrado ser altamente eficaz en la reducción de la incertidumbre geológica y en la maximización del aprovechamiento de los recursos donde la combinación de diferentes metodologías ha permitido obtener un panorama integral de la unidad minera, asegurando una exploración más eficiente y sostenible.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La aplicación del método geofísico, en especial la magnetometría, ha demostrado ser altamente efectiva en el estudio geológico del Proyecto Minero Ccochasayhuas, permitiendo la identificación precisa de estructuras geológicas, zonas de alteración y cuerpos mineralizados sin necesidad de recurrir a métodos invasivos. Esta efectividad se refleja en los elevados coeficientes de correlación estadística (superiores a 0.70) entre las variables analizadas.
- La intensidad del campo magnético influye de manera significativa en la delimitación de estructuras subsuperficiales, tales como fallas, intrusiones ígneas y zonas de mineralización. Las variaciones detectadas mediante levantamientos magnetométricos permitieron generar modelos interpretativos del subsuelo que optimizan la toma de decisiones en las etapas de perforación y planificación minera.
- La susceptibilidad magnética se correlaciona directamente con la presencia de cuerpos mineralizados, especialmente aquellos que contienen minerales ferromagnéticos como magnetita y pirrotita. Esta propiedad permitió diferenciar unidades litológicas con potencial económico y establecer contrastes relevantes entre las formaciones geológicas del área de estudio.
- Las anomalías magnéticas identificadas en el área del proyecto son indicativas de zonas con alto potencial mineralógico, confirmando la hipótesis de que estas anomalías representan concentraciones metálicas significativas. Las características morfológicas y magnitud de dichas anomalías contribuyeron a establecer prioridades en las zonas de exploración.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

6.2 Recomendaciones

- Ampliar el uso de métodos geofísicos integrados en futuras campañas de exploración minera, combinando la magnetometría con técnicas como resistividad eléctrica o polarización inducida, a fin de obtener una caracterización más completa y precisa del subsuelo y así reducir los riesgos asociados a la inversión en exploración.
- Utilizar los mapas de anomalías magnéticas generados en esta investigación como base para definir zonas prioritarias de perforación, especialmente en las áreas donde se concentran anomalías positivas relevantes, lo que permitirá focalizar los recursos en sectores con mayor potencial mineralógico.

- Implementar modelos tridimensionales del subsuelo basados en los datos geofísicos recolectados, con el fin de mejorar la planificación minera, optimizar la ubicación de sondajes y facilitar la visualización de estructuras geológicas clave para la mineralización.

- Promover y Capacitar al personal técnico del proyecto en la interpretación y aplicación de métodos geofísicos avanzados, fortaleciendo la adopción de estos métodos en otras unidades con características similares, impulsando una exploración sostenible, responsable.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, J. & COVINOS, M. "Diseño y metodología de la investigación" s.l.: Enfoques Consulting URL, 2021.

DENTITH, M., HUAIYU, Y. y Johnson, S. "Aplicación de métodos geofísicos de penetración profunda a la exploración minera": ejemplos de Australia Occidental. 2018.

CASTILLA, J. Y HERRERA. "El proceso de exploración minera mediante sondeos". 2012.

ERICSON, M. "La minería mundial hacia 2030. Servicio Geológico de Finlandia". Informe de investigación. 2010.

MOYA, J. "Estudio geológico del domo salino de Añana para su posible utilización como almacenamiento de energía". 2018.

TORRES, H Exploración minera, compañías mineras junior y aspectos a tomar en cuenta para su promoción. Torres, H. 2015.

GAMARRA, C. "Programa para la prevención y eliminación progresiva del trabajo infantil en la minería artesanal de oro en sudamérica: estudio sociolaboral en los centros poblados de la rinconada y cerro lunar. Puno, Perú". 2005.

RODRÍGUEZ, U. Y ARREDONDO, J. "Geofísica para la prospección agrícola y forestal: guía para interpretar imágenes del subsuelo". 2021.

HERNANDEZ, R Y MENDOZA, C. "Metodología de la investigación. México: MC Graw Hill", 2019.

HERRERA, J. "Importancia del Estudio Geofísico en la Toma de Decisiones". 2017.

LA MADRIZ, J. "Metodología de la investigación. Actuación humana orientada al conocimiento de la realidad observable. S.l.: cide". 2019.

FEIJOO, E. Y PADRÓN, J. "La Resistividad De Rocas Y Su Relación Con La Resistencia A Compresión Simple En Mina". 2020.

LEITE, J., Y OTROS. "Caracterización tecnológica de relaves de caolín de la minería de pequeña escala en los estados de RN y PB – Brasil". 2007.

MANZELLA, A. "Geophysical Methods in Geothermal Exploración". 2021.

MARIANO, T. Y SANCHEZ, R. "Estudio Geológico Para Identificar Targets Exploratorios En El Proyecto Coraquilloc, Huaylas, Áncash, 2023".

MENDOZA, R., Y OTROS. "Caracterización geofísica de elementos geológicos con implicaciones mineras mediante ERT, TDEM y reflexión sísmica" (Distrito Minero de Linares-La Carolina, España". 2021.

ÑAUPAS, H., Y OTROS. "Metodología de la investigación, Cuantitativa, Cualitativa y redacción de Tesis. Bogotá" : Ediciones de la U 5TA, 2014.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

MONCLOU, A. Y VARGAS, L. Prototipo Preliminar para el estudio de ondas Sísmicas y su aplicación en el laboratorio de ciencias básicas. 2017.

PUTIKOV, O., Y OTROS. "Aplicación del método geoelectroquímico para la exploración de yacimientos petrolíferos en la plataforma ártica". 2020.

SCOTT, W. Prepared for Matty Mitchell Room Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources. 2014.

SHANG, Y., Y OTROS. "Aplicación de métodos geofísicos integrados para determinar la idoneidad de los emplazamientos de las infraestructuras de investigación en China". 2021.

SUÁREZ, J. "Influencia del estudio de exploración para la explotación minera del proyecto minero caravely, Apurímac", 2017.

TICHAUER, R., Y OTROS. "El papel de la geofísica en la mejora de la toma de decisiones en la planificación minera de pequeña escala". 2020.

AAMER, N., & AL-RKYABY, A. Strength, Durability, and Microstructures Characterization. Case Studies in Construction Materials. (2022).

AL-JABBAN, W., et al. "Common laboratory procedures to prepare and cure stabilised soil specimens. Geotechnical Research" 7(1), 3-10. 2019.

ALVA, M. "Geofísica aplicada a la ingeniería. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería".(2020).

ANDRADE, M. "Aplicación de la magnetometría en la exploración de depósitos polimetálicos. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú". (2016).

ARENAS, J. Interpretación de datos geofísicos mediante software Oasis Montaj. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín. (2021).

AVELLANEDA, P. Geología estructural y tectónica aplicada. Bogotá: Ediciones U. (2018).

BASTÍAS, H. "Integración de métodos geofísicos para exploración minera. Revista Geológica de Chile", 46(3), 225–242. (2019).

BLANCO, M. "Prospección geofísica en minería. Madrid: Paraninfo". (2017).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

BORRERO, C. "Métodos de campo en magnetometría terrestre". Revista Ingeniería y Ciencia, 12(23), 59-72. (2016).

CALLIRGOS, L. "Aplicación del método magnético para la detección de fallas geológicas. Revista de Geofísica del Perú", 32(1), 35-48. (2015).

CARMONA, D. "Interpretación de anomalías magnéticas para la exploración de vetas. Medellín: UPB", (2020).

CHÁVEZ, R. "Evaluación del potencial geofísico mediante susceptibilidad magnética". Tesis de maestría, PUCP. (2019).

CORTEZ, E. "Métodos indirectos en prospección minera Lima: UNI Editorial". (2020).

DÍAZ, F. "Geología económica de yacimientos metálicos. México: McGraw-Hill". (2021)

DOBRIN, M. & SAVIT, C. "Introducción a la geofísica de exploración. México", (2006).

ESPINOZA, J. "Evaluación de zonas mineralizadas mediante mapas de isovalores magnéticos. Tesis profesional, UNMSM", (2017).

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

ANEXOS

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo A

RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 6 — Sincronización de la base de magnetometría

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 7 — Sincronización de los equipos móvil 1 _ móvil 2

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 8 — Recolección de data en campo.

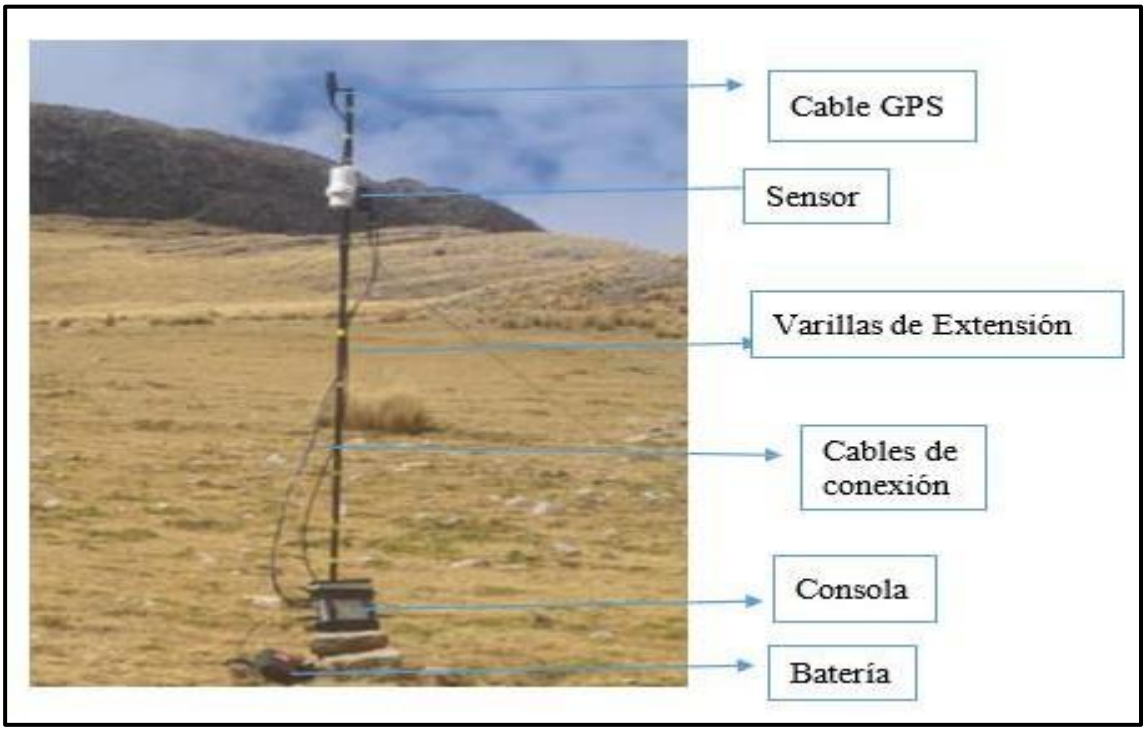
FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 9 — Recolección de data en campo

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 10 — Magnetómetro GEM SISTEM



FUENTE: Naveros Quispe, 2024.

Figura 11 — Instalación de la base de magnetómetro GEM SISTEM

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo B

BASE DE DATOS

Tabla 11 — Recopilación de Campo en función a las líneas programadas para la magnetometría.

N° Línea	Punto	Altura	Dato	Error	Nanotesla (nT)	Intensidad
NE_00	1	4461	23879.83	99	8	94124
NE_00	2	4461	23878.48	99	9	94126
NE_00	3	4461	23878.47	99	8	94128
NE_00	4	4461	23877.94	99	8	94130
NE_00	5	4461	23878.54	99	8	94132
NE_00	6	4461	23878.23	99	8	94134
NE_00	7	4461	23878.53	99	9	94136
NE_00	8	4461	23878.25	99	9	94138
NE_00	9	4461	23880.71	99	9	94140
NE_00	10	4461	23878.78	99	9	94142
NE_00	11	4461	23879.18	99	8	94144
NE_00	12	4461	23878.56	99	8	94146
NE_00	13	4461	23877.6	99	8	94148
NE_00	14	4461	23878.55	99	8	94150
NE_00	15	4461	23878.24	99	9	94152
NE_00	16	4461	23878.08	99	8	94154
NE_00	17	4461	23877.27	99	8	94156
NE_00	18	4461	23878	99	8	94158
NE_00	19	4461	23877.88	99	8	94200
NE_00	20	4461	23879.21	99	8	94202
NE_00	21	4461	23879.77	99	8	94204
NE_00	22	4461	23879.56	99	9	94206
NE_00	23	4461	23879.9	99	9	94208
NE_00	24	4461	23880.54	99	8	94210
NE_00	25	4461	23880.05	99	8	94212
NE_00	26	4461	23880.68	99	9	94214
NE_00	27	4461	23881.08	99	8	94216
NE_00	28	4461	23881.61	99	9	94218
NE_00	29	4462	23881.75	99	8	94220
NE_00	30	4462	23882.48	99	8	94222
NE_00	31	4462	23882.72	99	9	94224
NE_00	32	4462	23882.86	99	8	94226
NE_00	33	4462	23882.88	99	8	94228
NE_00	34	4462	23883.42	99	8	94230
NE_00	35	4462	23883.42	99	8	94232
NE_00	36	4462	23884.2	99	8	94234
NE_00	37	4462	23884.24	99	9	94236

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

NE_01	38	4462	23884.63	99	8	94238
NE_01	39	4462	23884.49	99	8	94240
N° Línea	**Punto**	**Altura**	**Dato**	**Error**	**Nanotesla (nT)**	**Intensidad**
NE_01	41	4462	23884.24	99	8	94244
NE_01	42	4462	23884.08	99	8	94246
NE_01	43	4462	23877.77	99	8	94248
NE_01	44	4462	23877.4	99	8	94250
NE_01	45	4462	23881.45	99	8	94252
NE_01	46	4462	23880.9	99	8	94254
NE_01	47	4462	23881.45	99	8	94256
NE_01	48	4462	23880.91	99	8	94258
NE_01	49	4462	23879.42	99	8	94300
NE_01	50	4462	23879.3	99	8	94302
NE_01	51	4462	23878.56	99	8	94304
NE_01	52	4462	23879.4	99	8	94306
NE_01	53	4462	23879.02	99	9	94308
NE_01	54	4462	23879.6	99	8	94310
NE_01	55	4462	23879.83	99	8	94312
NE_01	56	4462	23879.99	99	8	94314
NE_01	57	4462	23879.27	99	9	94316
NE_01	58	4462	23879.04	99	9	94318
NE_01	59	4462	23879.22	99	8	94320
NE_01	60	4462	23879.26	99	8	94322
NE_01	61	4462	23879.66	99	8	94324
NE_01	62	4428	23596.4	99	8	95459
NE_01	63	4428	23595.97	99	10	95501
NE_01	64	4428	23595.68	99	10	95503
NE_01	65	4428	23631.4	99	10	95505
NE_01	66	4428	23744.12	99	10	95507
NE_01	67	4428	23890.97	99	10	95509
NE_01	68	4428	23795.81	99	10	95511
NE_01	69	4427	23632.94	99	10	95513
NE_01	70	4427	23658.26	99	10	95515
NE_01	71	4427	23769.51	99	10	95517
NE_01	72	4426	23824.85	99	10	95519
NE_01	73	4426	23787.21	99	10	95521
NE_01	74	4425	23744.28	99	10	95523
NE_01	75	4425	23759.86	99	10	95525
NE_01	76	4424	23811.85	99	9	95527
NE_01	77	4424	23789.56	99	9	95529
NE_01	78	4424	23762.91	99	9	95531
NE_01	79	4423	23827.6	99	9	95533
NE_01	80	4423	23841.55	99	9	95535
NE_01	81	4422	23834.01	99	9	95537
NE_01	82	4422	23674.32	99	9	95539
NE_01	83	4422	23534.66	99	9	95541
NE_01	84	4421	23522.85	99	9	95543
NE_01	85	4421	23614.83	99	9	95545

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

NE_01	86	4421	23838.54	99	9	95547
NE_01	87	4420	23820.23	99	9	95549
N° Línea	**Punto**	**Altura**	**Dato**	**Error**	**Nanotesla (nT)**	**Intensidad**
NE_01	90	4419	23797.9	99	8	95555
NE_01	91	4419	23774.95	99	9	95557
NE_01	92	4419	23757.92	99	9	95559
NE_01	93	4418	23764.27	99	9	95601
NE_01	94	4418	23782.69	99	8	95603
NE_01	95	4418	23783	99	9	95605
NE_01	96	4418	23770.98	99	9	95607
NE_01	97	4417	23761.51	99	9	95609
NE_01	98	4417	23745.49	99	9	95611
NE_01	99	4416	23729.83	99	9	95613
NE_01	100	4416	23765.16	99	9	95615
NE_01	101	4415	23807.55	99	9	95617
NE_01	102	4415	23837.2	99	9	95619
NE_01	103	4415	23748.79	99	9	95621
NE_01	104	4415	23674.95	99	9	95623
NE_01	105	4414	23630.45	99	9	95625
NE_01	106	4414	23744.16	99	9	95627
NE_01	107	4415	24024.33	99	9	95629
NE_01	108	4414	24511.29	79	9	95631
NE_01	109	4414	24202.46	99	9	95633
NE_01	110	4414	23690.9	99	9	95635
NE_01	111	4414	23564.67	99	9	95637
NE_01	112	4414	23682.51	99	9	95639
NE_01	113	4414	23785.38	99	9	95641
NE_01	114	4413	23932.45	99	9	95643
NE_01	115	4413	23961.84	99	9	95645
NE_01	116	4412	23953.89	99	9	95647
NE_01	117	4412	23972.15	99	9	95649
NE_01	118	4411	23920.96	99	9	95651
NE_01	119	4410	23753.21	99	9	95653
NE_01	120	4410	23828.06	99	9	95655
NE_01	121	4409	23899.49	99	9	95657
NE_01	122	4408	23907.76	99	9	95659
NE_01	123	4408	23890.24	99	9	95701
NE_01	124	4408	23862.63	99	8	95703
NE_01	125	4407	23841.65	99	8	95705
NE_01	126	4407	23844.78	99	9	95707
NE_01	127	4407	23839.08	99	9	95709
NE_01	128	4406	23808.48	99	9	95711
NE_01	129	4406	23789.52	99	9	95713
NE_01	130	4405	23767.72	99	8	95715
NE_01	131	4405	23783.18	99	9	95717
NE_01	132	4404	23779.68	99	9	95719
NE_01	133	4404	23781.43	99	9	95721
NE_01	134	4403	23795.68	99	9	95723
NE_01	135	4403	23830.78	99	8	95725

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

N° Línea	Punto	Altura	Dato	Error	Nanotesla (nT)	Intensidad
NE_18	6057	4405	23935.19	99	9	
NE_18	6058	4406	23969.61	99	9	100651
NE_18	6059	4406	23835.73	99	9	100653
NE_18	6060	4406	23783.58	99	9	100655
NE_18	6061	4407	23849.31	99	9	100657
NE_18	6062	4407	23848.71	99	9	100659
NE_18	6063	4408	23822.81	99	9	100701
NE_18	6064	4408	23756.16	99	9	100703
NE_18	6065	4408	23770.05	99	9	100705
NE_18	6066	4409	23803.83	99	9	100707
NE_18	6067	4409	23833.6	99	9	100709
NE_18	6068	4410	23848.11	99	9	100711
NE_18	6069	4410	23843.18	99	9	100713
NE_18	6070	4410	23764.56	99	9	100715
NE_18	6071	4411	23743.85	99	9	100717
NE_18	6072	4411	23752.8	99	9	100719
NE_18	6073	4411	23704.8	99	9	100721
NE_18	6074	4412	23741.03	99	9	100723
NE_18	6075	4412	23838.06	99	9	100725
NE_18	6076	4413	23880.11	99	9	100727
NE_18	6077	4413	23898.38	99	9	100729
NE_18	6078	4413	23913.17	99	9	100731
NE_18	6079	4413	23909.33	99	9	100733
NE_18	6080	4414	23904.79	99	9	100735
NE_18	6081	4414	23897.66	99	9	100737
NE_18	6082	4415	23902.14	99	9	100739
NE_18	6083	4415	23908.16	99	9	100741
NE_18	6084	4415	23872.5	99	9	100743
NE_18	6085	4415	23874.69	99	9	100745
NE_18	6086	4415	23876.79	99	9	100747
NE_18	6087	4415	23876.77	99	9	100749
NE_18	6088	4415	23877.61	99	9	100751
NE_18	6089	4415	0	0	9	100958
NE_18	6090	4415	23879.36	99	9	101000
NE_18	6091	4415	23946.21	99	9	101002
NE_18	6092	4415	24012.06	99	9	101004
NE_18	6093	4416	23972.91	99	10	101006
NE_18	6094	4416	23914.93	99	9	101008
NE_18	6095	4417	23893.13	99	9	101010
NE_18	6096	4417	23895.17	99	9	101012
NE_18	6097	4418	23926.3	99	9	101014
NE_18	6098	4418	23934.9	99	9	101016
NE_01	136	4402	23819.22	99	9	95727

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

N° Línea	Punto	Altura	Dato	Error	Nanotesla (nT)	Intensidad
NE_18	6100	4419	23824.85	99	9	101020
NE_18	6101	4420	23676.03	99	9	101022
NE_18	6102	4420	23580.45	99	9	101024
NE_18	6103	4420	23682.6	99	9	101026
NE_18	6104	4421	23794.39	99	9	101028
NE_18	6105	4421	23832.79	99	8	101030
NE_18	6106	4422	23828.37	99	9	101032
NE_18	6107	4422	23852.94	99	9	101034
NE_18	6108	4423	23854.46	99	9	101036
NE_18	6109	4423	23851.79	99	9	101038
NE_18	6110	4424	23851.93	99	9	101040
NE_18	6111	4424	23840.62	99	9	101042
NE_18	6112	4424	23843.48	99	9	101044
NE_18	6113	4424	23862.69	99	9	101046
NE_18	6114	4425	23855.7	99	9	101048
NE_18	6115	4425	23851.06	99	9	101050
NE_18	6116	4425	23846.64	99	9	101052
NE_18	6117	4426	23829.36	99	9	101054
NE_18	6118	4426	23793.72	99	9	101056
NE_18	6119	4427	23740.9	99	8	101058
NE_18	6120	4427	23734.7	99	9	101100
NE_18	6121	4428	23818.85	99	8	101102
NE_18	6122	4428	23825.81	99	9	101104
NE_18	6123	4429	23765.13	99	9	101106
NE_18	6124	4429	23733.02	99	9	101108
NE_18	6125	4430	23642.54	99	9	101110
NE_18	6126	4430	23652.34	99	9	101112
NE_18	6127	4431	23748.66	99	10	101114
NE_18	6128	4431	23715.31	99	10	101116
NE_18	6129	4432	23697.92	99	9	101118
NE_18	6130	4432	23766.86	99	9	101120
NE_18	6131	4432	23812.86	99	9	101122
NE_18	6132	4433	23820.29	99	9	101124
NE_18	6133	4433	23856.39	99	9	101126
NE_18	6134	4434	23913.49	99	9	101128

FUENTE: Descarga del Equipo Magnetómetro – Data cruda, 2025.

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

Anexo C

Tabla 12 — Matriz de consistencia.

Título: Análisis del estudio geológico aplicando métodos geofísicos en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024						
Problema	**Objetivo**	**Hipótesis**	**Variable**	**Dimensión**	**Indicador**	**Metodología**
PG.- ¿Qué tan efectivo es el método geofísico en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?	OG. - Determinar la efectividad del método geofísico en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024	HG. - El método geofísico aplicado en el estudio geológico del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024, es altamente efectivo para la identificación de estructuras geológicas y la delimitación de zonas mineralizadas.	V1.- Estudio Geológico	Estructura geológica	Presencia de fallas, pliegues y fracturas	Enfoque: Cuantitativo Tipo: Básica Nivel: Explicativo Correlacional Diseño: No experimental de tipo trasversal
					Dirección y buzamiento de estructuras	
					Relación estructura- mineralización	
				Mineralización	Presencia de minerales metálicos	
					Asociación mineralógica	
					Tipo de yacimiento	
				Litología	Tipo de roca (ígnea, sedimentaria, metamórfica	
					Composición mineralógica	
					Textura y color	
PE1.- ¿Cómo influye la intensidad del campo magnético en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?	OE1.- Determinar cómo influye la intensidad del campo magnético en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024	HE1.- La intensidad del campo magnético influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024	V2.- Método Geofísico	Intensidad del campo magnético	Valor total del campo medido (nT)	
					Variación espacial del campo magnético	
					Comparación con el valor del campo magnético terrestre (IGRF)	
PE2.- ¿Cómo influye la susceptibilidad magnética en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?	OE2.- Determinar cómo influye la susceptibilidad magnética en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024	HE2.- La susceptibilidad magnética influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024		Susceptibilidad magnética	Respuesta magnética relativa de las rocas	
					Presencia de minerales magnéticos	
					Contraste entre litologías	
PE3.- ¿Cómo influye las anomalías magnéticas en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024?	OE3.- Determinar cómo influye las anomalías magnéticas en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024	HE3.- Las anomalías magnéticas influye de manera significativa en el estudio geológico en la exploración del Proyecto Minero Ccochasayhuas, Progreso 2024		Anomalías magnéticas	Identificación de zonas con valores anómalos	
					Magnitud y forma de la anomalía	
					Interpretación estructural o litológica	