



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD TECNOLÓGICA

SEDE VALLENAR

**INNOVACIÓN TECNOLÓGICA CON DRONES PARA LA MEJORA DEL  
RENDIMIENTO EN OPERACIONES A BAJA ESCALA.**

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

Profesor Guía: Enrique Veragua Guerra

Nicolle Osorio Abella

Katalina Jeraldo Díaz

Pía Astorga Abaroa

Vallenar, Chile 2025

## **DEDICATORIAS**

A Dios, mi fiel acompañante, por guiar e iluminar cada paso de mi camino. Gracias por darme la fortaleza para superar los desafíos, por enseñarme a transformar los obstáculos en valiosas lecciones y por permitirme alcanzar cada uno de mis sueños con fe y esperanza.

A mi madre, Jackeline Abella, con todo mi amor y gratitud. Por su sacrificio, esfuerzo y dedicación incondicional a lo largo de todos estos años. Eres mi más grande admiración y ejemplo a seguir. Gracias por enseñarme que el estudio es la base para alcanzar grandes metas, por apoyarme siempre, y por tus sabios consejos que me han guiado para ser una mejor persona.

A mi hermano, por ser el pilar más importante de mi vida, mi compañero en cada etapa y mi mayor motivación para seguir adelante. Gracias por compartir conmigo las alegrías y las dificultades, por tu cariño y por inspirarme a ser siempre una persona de la que puedas sentirte orgulloso.

Nicolle Osorio Abella.

Dedico este trabajo a mi madre Heidi Abaroa por ser mi motor y refugio en mis momentos más difíciles, y quien con su amor y apoyo incondicional hizo posible que alcanzara esta meta.

A Dios, por guiarme en este camino y darme la fuerza necesaria en esta etapa de mi vida.

A mi amado hijo Lyan Somoza Astorga, que aún sin entender del todo este logro, ha sido mi mayor fuente de motivación, eres mi inspiración para no rendirme y me das la fuerza necesaria que me impulsa a seguir y superarme cada día. Este logro es tan tuyo como mío.

Pía Astorga Abaroa.

Principalmente, agradezco a Dios por haberme sostenido en cada paso de este camino y por recordarme que nunca estuve sola, incluso en los días más inciertos.

A mis padres, Jacqueline Díaz Álvarez y Ernesto Jeraldo Saavedra, quienes me enseñaron que la verdadera riqueza no está en lo material, sino en el conocimiento, los valores, la educación y el esfuerzo constante por superarse cada día. Gracias por entregarme las herramientas más poderosas para enfrentar la vida: la fe, la honestidad, el respeto, la humildad y la perseverancia. Desde mis primeros años escolares hasta alcanzar este logro profesional, han sido mi ejemplo y mi mayor inspiración. Obtener este título gracias a ustedes, por creer, acompañar y sostenerme siempre. Con todo mi amor y el alma llena de orgullo, les dedico este logro y todo lo que vendrá.

A mis hermanas, Karla Vigorena Díaz y Jael Rojas Díaz, por su amor, apoyo incondicional y compañía constante en esta travesía. Gracias por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba, por sus consejos, su motivación y por ser parte esencial de este camino académico y personal.

Katalina Jeraldo Díaz

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente agradecemos a la Universidad de Atacama por acogernos a cada una de nosotras y brindarnos un espacio en la institución, por sobre todo a sus docentes que formaron parte de la entrega de conocimientos y herramientas, que en un futuro no muy lejano pondremos en práctica. Entre estos profesionales queremos destacar por su apoyo en este último periodo a nuestro profesor guía Enrique Veragua por su dedicación y compromiso en la ejecución de este proyecto, asimismo al profesor Felipe Pizarro por su paciencia, colaboración y dedicación en este proceso y a los demás docentes de la carrera: Dixiana Díaz quien estuvo siempre motivándonos e incentivándonos a culminar esta etapa.

## ÍNDICES

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO	10
1.1 Introducción.	10
1.2 Objetivo General.	11
1.3 Objetivos específicos.	11
1.4 Planteamiento del problema.	11
1.5 Antecedentes.	12
1.6 Justificación.	12
1.7 Alcance.	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	14
2.1 La minería en Chile.	14
2.2 Pequeña minería y minería artesanal.	14
2.3 Innovación tecnológica en la minería.	15
2.4 Productividad y eficiencia en minería.	15
2.5 Minería inteligente en el desarrollo local.	16
2.6 Barrera para la adopción tecnológica en la pequeña minería.	16
2.7 Experiencias y casos de aplicación de minería inteligente.	17
2.8 Uso de drones en minería.	18
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.	19
3.1 Tipo de metodología.	19
3.2 Carácter metodológico.	19
3.3 Analizar experiencias y casos de aplicación de minería inteligente, incluyendo el uso de drones, para que se determinen buenas prácticas en pequeñas faenas mineras en comparación con métodos tradicionales.	20
3.4 Identificar barreras técnicas, que enfrentan los pequeños mineros para que se comprenda por qué no adoptan tecnologías más avanzadas en el mundo de la minería.	21

3.5 Proponer un plan de implementación, sobre el uso de drones en la etapa de exploración y monitoreo de minas para que los pequeños mineros conozcan y aprovechen sus beneficios directamente en sus faenas.	23
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>26</b>
4.1 Análisis de experiencias y casos de aplicación de minería inteligente.	26
4.1.1 Comparación de tecnologías aplicadas en Minería Inteligente.	26
4.1.2 Análisis comparativo de Tecnologías Aplicadas en Minería.	26
4.2 Resultados Relacionados con el Objetivo 2: Identificación de barreras técnicas que enfrentan los pequeños mineros	29
4.2.1 Procedimiento de la encuesta (Ver anexo N°1: Encuesta).	29
4.2.2 Ventajas y limitaciones del proceso de la encuesta.	30
4.2.3 Análisis de las secciones encuestadas.	30
4.3 Resultados Relacionados con el Objetivo 3: Propuesta de plan de implementación tecnológica basado en el uso de drones	37
4.3.1 Identificación de beneficios operativos del uso de drones	37
4.3.2 Programas y herramientas de fomento tecnológico disponibles.	38
4.3.3 Diseño del tríptico informativo para Pequeños mineros.	43
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
5.2 Conclusión	45
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Casos de estudios de implementación tecnológica en minería	26
Tabla 2. Tabla comparativa de costos.	27

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráficos V. 1 Cargo o rol dentro de la faena.	30
Gráficos V. 2 Años de experiencia en minería.	31
Gráficos V. 3 Tamaño de la faena.	31
Gráficos V. 4 ¿Ha escuchado hablar de la minería inteligente o del uso de drones en minería?	32
Gráficos V. 5 ¿Considera que estas tecnologías podrían mejorar la productividad de su faena?	32
Gráficos V. 7 ¿Cuál es la principal barrera para implementar nuevas tecnologías en su faena?	34
Gráficos V. 8 ¿Estaría dispuesto a recibir capacitaciones sobre drones u otras tecnologías?	34
Gráficos V. 9 Nivel de interés en participar en un plan piloto.	34
Gráficos V. 10 ¿Estaría dispuesto a invertir en estas tecnologías si demostraran beneficios claros?	35
Gráficos V. 11 ¿Ha visto los beneficios de la tecnología como el uso de drones en otras faenas o en la industria en general? ¿Le gustaría implementar esto en su faena?	36
Gráficos V. 12 ¿Qué beneficio considera más importante al implementar drones en minería?	36
Gráficos V. 13 ¿Cuál es su disposición para recibir estudiantes universitarios que realicen sus prácticas profesionales utilizando drones en diversos proyectos, como por ejemplo en el modelado 3D de la mina?	37

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4.1 Pasos de postulación. ....	34
Ilustración 4.2 Pasos de postulación. ....	34

## **RESUMEN**

El presente proyecto estudió cómo la incorporación de tecnologías inteligentes, especialmente el uso de drones, puede optimizar la productividad, seguridad y sostenibilidad en la pequeña minería. A partir del estudio de casos reales y de la aplicación de una encuesta a 22 participantes vinculados al sector minero local, se identificaron las principales barreras técnicas, que dificultan la adopción de estas innovaciones.

El objetivo central fue investigar los factores que limitan la adopción de minería inteligente en pequeñas faenas, para luego proponer estrategias y un plan de implementación accesible. El estudio, de carácter exploratorio y descriptivo, permitió analizar percepciones, niveles de conocimiento y disposición al cambio tecnológico dentro del rubro.

Asimismo, se revisaron los programas de apoyo impulsados por instituciones públicas como Enami, Sence y Corfo, las cuales ofrecen herramientas de capacitación, asistencia técnica y financiamiento orientadas a fortalecer la innovación y el desarrollo tecnológico de la pequeña minería.

Los resultados demostraron que, aunque la inversión inicial representa un desafío importante, la adopción de drones genera beneficios significativos: mejora la precisión en la planificación, reduce los riesgos operacionales y promueve prácticas mineras más limpias y sostenibles. Además, el estudio evidenció que las principales dificultades para acceder a esta tecnología provienen de la falta de formación técnica, la limitada disponibilidad de recursos, la escasa información sobre herramientas digitales y la percepción de que estas soluciones son poco alcanzables.

Finalmente, se elaboró un Plan de Implementación del Uso de Drones en Faenas de Pequeña Escala, articulado con instituciones públicas y la Universidad de Atacama, orientado a fomentar la transferencia tecnológica, fortalecer las competencias locales y contribuir al desarrollo sostenible y competitivo de la pequeña minería regional.

Palabras clave: Minería inteligente, drones, Pequeña minería, Innovación tecnológica, Sostenibilidad, Productividad, Eficiencia operativa.

## **ABSTRACT**

This project examined how the incorporation of smart technologies particularly the use of drones can enhance productivity, safety, and sustainability in small-scale mining. Through the analysis of real case studies and a survey applied to 22 participants from the local mining sector, the main technical barriers hindering the adoption of these innovations were identified. The central objective was to investigate the factors that limit the implementation of intelligent mining in small operations and to propose accessible strategies and an implementation plan.

The exploratory and descriptive nature of the study made it possible to analyze the participants' perceptions, levels of technological knowledge, and willingness to adopt new tools. Additionally, support programs offered by public institutions such as Enami, Sence, and Corfo were reviewed, as these provide training, technical assistance, and funding to promote technological development in the sector.

The results showed that although the initial investment represents a significant challenge, the use of drones offers substantial benefits, including increased planning accuracy, reduced operational risks, and more sustainable mining practices. The study also found that the main obstacles to adopting these technologies stem from limited technical training, scarce financial resources, insufficient access to technological information, and the perception that these solutions are difficult to obtain.

Finally, an Implementation Plan for the Use of Drones in Small-Scale Mining Operations was developed, in collaboration with public institutions and the University of Atacama, aimed at promoting technological transfer, strengthening local capabilities, and supporting the sustainable and competitive development of the regional small scale mining sector.

Keywords: smart mining, drones, small-scale mining, technological innovation, sustainability, productivity, operational efficiency.

## **CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO**

### **1.1 Introducción.**

La modernización en procesos mineros, permiten el control y monitoreo de las faenas e industrias, lo que permite que esta sea más segura y sostenible. Este proyecto analizará y estudiará la aplicación de tecnologías avanzadas que permitirán desarrollar y reforzar labores en donde se evidencia una mejora significativa para nuestro rubro.

En el sector minero más que una tendencia es una necesidad que ayudará a potenciar de manera apropiada distintos campos que abarcan ciertas operaciones, es por esto que en faenas de menor escala o con operaciones reducidas debería ser esencial implementar equipos como el dron a el cual se le dará un enfoque más preciso puesto que este será una de las herramientas más prioritarias para realizar actividades que van desde la planificación de tronadura hasta la gestión de los recursos. Si bien la gran minería ha liderado la incorporación de herramientas digitales, la pequeña minería enfrenta mayores desafíos para sumarse a este proceso.

El uso de estas soluciones digitales contribuye no solo a optimizar procesos, sino también a reducir riesgos laborales, evitando la exposición directa de los trabajadores a entornos peligrosos. De este modo, la implementación de tecnologías innovadoras abre la posibilidad de avanzar hacia faenas más estables, sostenibles y rentables, al mismo tiempo que refuerza el desarrollo local.

## **1.2 Objetivo General.**

Estudiar los factores que dificultan la adopción de minería inteligente en pequeñas faenas para que se diseñen estrategias de implementación accesibles.

## **1.3 Objetivos específicos.**

- Analizar experiencias y casos de aplicación de minería inteligente, incluyendo el uso de drones, para que se determinen buenas prácticas en pequeñas faenas mineras en comparación con métodos tradicionales.
- Identificar barreras técnicas, que enfrentan los pequeños mineros para que se comprenda porque no adoptan tecnologías más avanzadas en el mundo de la minería.
- Proponer un plan de implementación, sobre el uso de drones en la etapa de exploración y monitoreo de minas para que los pequeños mineros conozcan y aprovechen sus beneficios directamente en sus faenas.

## **1.4 Planteamiento del problema.**

A pesar de los avances de la minería inteligente y sus beneficios en seguridad, eficiencia y optimización de procesos, la pequeña minería enfrenta grandes limitaciones para adoptar estas tecnologías.

Factores económicos, técnicos y culturales dificultan su incorporación, generando resistencia al cambio y reduciendo la posibilidad de acceso a herramientas modernas como los drones. Esto provoca que las pequeñas faenas mineras, a pesar de su importancia en la economía local y generación de empleo, permanezcan en desventaja frente a los nuevos modelos de la industria. La falta de conocimiento de los beneficios prácticos hace que la aplicación de estas innovaciones sea escasa y percibida como poco viable, lo que impide que el sector mejore su productividad y competitividad.

## **1.5 Antecedentes.**

La minería inteligente, entendida como la integración de tecnologías digitales, automatización, sensores, drones e inteligencia artificial, ha transformado la industria minera al mejorar la productividad, la seguridad y sostenibilidad de los procesos. En Chile estos avances se han implementado principalmente en la gran minería, con experiencias en el uso de camiones autónomos, monitoreo remoto y drones para la exploración y supervisión. En contraste, la pequeña minería a pesar de su relevancia económica y social, presenta serias dificultades para adoptar estas tecnologías, debido a la falta de financiamiento, escaso conocimiento técnico y limitada capacitación.

(viera, 2015)

## **1.6 Justificación.**

La pequeña minería es un sector estratégico para la economía del país, no solo por su contribución a la producción de minerales, sino también por generar empleo y favorecer el desarrollo de comunidades locales.

Sin embargo, enfrenta importantes retos ante la modernización tecnológica que demanda la industria minera, ya que la carencia de herramientas de minería inteligente mantiene muchas faenas con baja productividad, altos riesgos de seguridad y un uso ineficiente de los recursos.

Comprender los factores que limitan la adopción de estas tecnologías resulta esencial para identificar barreras económicas, técnicas y culturales, y así diseñar estrategias accesibles que permitan una transición tecnológica viable. La revisión de experiencias y casos de aplicación, especialmente en el uso de drones, facilita evaluación de su efectividad y costos en comparación con métodos tradicionales.

Por otra parte, implementar un plan de innovación teórico y adaptado al contexto permitirá a los pequeños mineros adquirir las competencias necesarias para operar y mantener estas herramientas. Esto no solo contribuye a modernizar sus procesos, sino también a fortalecer capacidades locales, reducir riesgos laborales y mejorar la competitividad del sector. En consecuencia, la investigación aporta al desarrollo sostenible

de la pequeña minería, promoviendo prácticas más seguras, eficientes y sostenibles, y generando un impacto social y económico positivo.

### **1.7 Alcance.**

Este proyecto propone estudiar los factores que dificultan la adopción de minería inteligente en pequeñas faenas de la Ciudad de Vallenar con el fin de contribuir al desarrollo y crecimiento, mediante un plan de innovación el cual motive a las empresas a adoptar tecnologías que aporten a su crecimiento.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 La minería en Chile.**

Chile ha tenido históricamente una marcada relación con la minería. Gran parte de la motivación por conquistar y luego colonizar su territorio se explica por el interés de un grupo de soldados españoles que buscaban nuevas fronteras para la explotación de riquezas naturales. La minería en Chile se compone de las empresas mineras, productores mineros, compradores de minerales como también empresas metalurgistas y servidores. Chile consolidó su posición como segundo país productor de cobre en el mundo a mediados del siglo XX, después de Estados Unidos, y posteriormente, en la década de los ochenta, pasó a ser primer productor mundial. Luego de los procesos de chilenización, con la formación de sociedades mixtas entre el Estado de Chile y las empresas privadas extranjeras, y la posterior nacionalización que culminó en julio de 1971, estos yacimientos pasaron a ser propiedad del Gobierno de Chile. La minería del hierro alcanza sólo una mediana importancia en relación al mercado mundial, concentrándose fundamentalmente en las regiones de Coquimbo y Atacama. En lo que se refiere a los minerales no metálicos, sólo en las últimas décadas se han desarrollado compañías que producen competitivamente a escala internacional, explotando los depósitos de alta calidad del norte de Chile, fundamentalmente nitratos, litio y yodo. La minería en general, pero la del cobre en particular, se ha convertido en el sector más activo en el desarrollo de la economía nacional debido al tamaño de sus inversionistas y a la producción alcanzada.

(Vallejos, 1994)

### **2.2 Pequeña minería y minería artesanal.**

La minería no es una actividad nueva, desde la época prehispanica se tiene evidencia de minería artesanal en donde no se consideraba la importancia de conservar el medio ambiente, con el paso del tiempo esta ha mejorado hasta llegar a procesos mineros a gran escala en donde para la extracción del mineral se tienen que cumplir parámetros muy exigentes que garanticen el buen vivir del ser humano; es decir, se tiene que practicar una minería sustentable y sostenible. La Pequeña Minería es muy relevante en el norte y centro del país, especialmente en aquellas localidades que no presentan actividades

productivas alternativas, que permitan generar el sustento económico de sus habitantes. Es así que el sector requiere la incorporación de innovación en los procesos, nuevas tecnologías, así como modelos de gestión y otras modernizaciones, tendientes a superar la complicada situación del presente y otros desafíos futuros. (Leticia Chuñir Panjón, 2021)

### **2.3 Innovación tecnológica en la minería.**

La minería, una de las industrias más antiguas y fundamentales del mundo, ha experimentado una profunda transformación en las últimas décadas. Impulsadas por la necesidad de aumentar la eficiencia y reducir el impacto ambiental, las innovaciones tecnológicas en la minería han desempeñado un papel crucial en el avance de las prácticas mineras. La innovación, o más específicamente, la cultura de la innovación, están en constante evolución, especialmente en Chile. Debe considerar los cambios sociales y ambientales, las demandas del mercado y la búsqueda de la máxima productividad y sostenibilidad. Esto requiere mejores estrategias competitivas para posicionarse y sobrevivir en el mercado. Por lo tanto, la innovación debe entenderse como un proceso que se adapta a la cadena productiva, considerando nuevos conceptos y procesos tecnológicos, así como los objetivos y la misión de una empresa u organización. (Sara Arancibia Carvaja, 2014)

### **2.4 Productividad y eficiencia en minería.**

Desde la gestión de recursos hasta la adopción de nuevas tecnologías, las operaciones mineras requieren estrategias eficaces para optimizar el rendimiento. La productividad y su medición es un tema que siempre ha sido de gran importancia en la minería, no obstante, esto se debe principalmente al cambio constante del valor de los insumos. Es por esto que el uso eficiente de los recursos ha tenido gran importancia para la sustentabilidad de la industria en el medio y largo plazo. Gracias a la tecnología, la industria minera se beneficia del desarrollo de maquinaria que maximiza la producción. La minería a gran escala es vital para la economía global, pero también enfrenta desafíos constantes. (Zúñiga Delgado, 2016)

## **2.5 Minería inteligente en el desarrollo local.**

Hoy en día, a nivel global la minería inteligente se abre paso con fuerza en este sector, y en Chile no es la excepción.

La inteligencia artificial impacta en la productividad y el modelo de negocio de diversas industrias. En la minería contribuye a mejorar las diferentes etapas del ciclo minero, elevar la eficiencia, reducir los costos e incrementar la seguridad para los trabajadores del sector. Esta transformación no solo busca optimizar la eficiencia y la toma de decisiones, sino también asegurar un futuro sostenible para la industria. (Carmona, 2015)

## **2.6 Barrera para la adopción tecnológica en la pequeña minería.**

La evolución en la minería está siendo crucial para ofrecer soluciones apropiadas que permitan vencer obstáculos y garantizar la continuidad y sostenibilidad de la actividad industrial. Sin embargo, en paralelo a los avances en innovaciones tecnológicas del sector minero, existen barreras para la adopción de la innovación que restringen la transformación del sector. Las innovaciones tecnológicas son particularmente relevantes en la industria minera, que enfrenta desafíos de depósitos de menor calidad y de mayor dificultad de acceso, preocupaciones por la huella ambiental, riesgos para la salud y el agotamiento del acceso a recursos como el agua y la energía necesarios para las operaciones mineras. Las innovaciones tecnológicas pueden abordar estos desafíos de la industria y aumentar la competitividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de las operaciones mineras. (Amali Ediriweera, 2021)

Mientras los grandes proyectos mineros cuentan con estructuras de financiamiento consolidado y acceso de capital internacional, los más pequeños del sector enfrentan mayores restricciones, ya que es un segmento que tiene más dificultades para acceder a financiamiento competitivo, uno de estos factores que limita el acceso es la falta de recursos financieros adaptados a las características y ciclos de la pequeña minería, es esencial fortalecer este aspecto para impulsar el desarrollo regional y promover una industria más inclusiva. (Rifo, 10)

## **2.7 Experiencias y casos de aplicación de minería inteligente.**

Freeport-McMoRan, una de las mayores compañías mineras de Estados Unidos, ha adoptado una amplia gama de tecnologías digitales para mejorar sus operaciones. La compañía utiliza sistemas de control de procesos avanzados y software de simulación para optimizar la producción y reducir el consumo de energía. Además, han implementado drones para la supervisión de minas. Esto les permite obtener datos precisos y en tiempo real sobre las condiciones del terreno y la seguridad. (Mioti, 2024)

En Chile empresas como Codelco hacen uso de cámaras que usan algoritmos de IA en donde se monitorean distintos puntos del yacimiento, para poder medir y analizar pautas de comportamiento en las actividades que desarrollan los operadores mina, se sistematizan prácticas más seguras y productivas. (Codelco, 2021)

En Perú se han adoptado sistemas de minería inteligente desarrollada por proveedores tecnológicos como Huawei que incluyen soluciones de red 5G y telecomunicaciones para operar tecnología de forma remota. En la empresa Southern Perú Copper Corporation se alió con Huawei ya que esta les permite el avance de la digitalización hacia Minería 4.0 reforzando la automatización de procesos, haciendo posible realizar de manera remota acciones que ahora mismo son presenciales en un amplio espectro, que se traduce en un manejo más eficiente de la mina. (Meza, 2021)

La empresa Río Tinto es pionera con su programa “mine of the future” ya que ha implementado camiones autónomos y trenes sin conductor en sus operaciones en la región de Pilbara, Australia, logrando un incremento significativo en la eficiencia operativa y la seguridad. (Barrera, 2018)

Teck la empresa canadiense realizó un exitoso proyecto piloto a pequeña escala de un sistema o aplicación personalizada de Teck para iPad. Esta optimiza el tiempo de enchapado para el zinc esto redujo un 13% aproximadamente, mejorando la productividad en general y ahorrando millones al año. La empresa se enfoca en la sostenibilidad y eficiencia energética y para eso desarrolló la compra de la instalación de energía solar SunMine para utilizarla en sus operaciones como apoyo en la energía fotovoltaica, de forma directa a partir de la radiación solar, generando el efecto fotoeléctrico en las celdas de los paneles solares. (Helberg, 2024).

## **2.8 Uso de drones en minería.**

Los drones han revolucionado la industria del minero, estos capturan imágenes aéreas y datos topográficos con alta precisión lo que ha facilitado la planeación y planificación e inspección de mina. En la industria minera la seguridad es primordial por lo cual la utilización de drones para la inspección de estructuras y de equipos es fundamental para prevenir riesgos y peligros para los trabajadores. En la mina el teniente hace uso de drones para modelar túneles 3D en mina subterránea este les permite levantar imágenes detalladas del sector que se va intervenir aportando seguridad y anticipando riesgos. (Codelco, Codelco innovación, 2023).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.**

### **3.1 Tipo de metodología.**

Se utilizó una metodología de tipo mixta, que combina enfoques cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo permite medir y analizar datos obtenidos mediante encuestas aplicadas a dueños de pequeñas faenas mineras, mientras que el enfoque cualitativo se enfoca en la descripción, interpretación y comprensión de las percepciones, actitudes y barreras frente a la adopción de tecnologías inteligentes, en especial el uso de drones.

El objetivo principal de esta metodología es obtener una perspectiva profunda sobre las causas que dificultan la adopción tecnológica y proponer estrategias aplicables en el contexto real de la pequeña minería local.

### **3.2 Carácter metodológico.**

El carácter metodológico del estudio es descriptivo, explicativo y exploratorio.

Es descriptivo, porque busca caracterizar la situación actual de la pequeña minería en relación con el uso de tecnologías inteligentes y drones, es explicativo, porque intenta identificar las razones que limitan su adopción y es exploratorio, ya que indaga sobre nuevas oportunidades y soluciones aplicables a través de la innovación tecnológica.

Para la recolección de información se elaboró una encuesta de alternativas, que permitió obtener tanto datos numéricos como percepciones cualitativas.

Las preguntas se orientaron a conocer el nivel de conocimiento tecnológico, disposición al cambio, factores económicos y técnicos, además de la percepción sobre la viabilidad y utilidad de los drones en sus faenas.

### **3.3 Analizar experiencias y casos de aplicación de minería inteligente, incluyendo el uso de drones, para que se determinen buenas prácticas en pequeñas faenas mineras en comparación con métodos tradicionales.**

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó un enfoque analítico, comparativo y descriptivo, basado en la revisión de experiencias reales y casos documentados de aplicación de minería inteligente.

Se buscó información bibliográfica por medio de Google y Google Academic. Se seleccionaron las fuentes más relevantes bajo criterios de actualidad, validez técnica y aplicabilidad práctica, garantizando la fiabilidad del material consultado.

La información recopilada fue organizada en una tabla comparativa de casos de estudio, cuyo formato permitió analizar y contrastar los resultados obtenidos en diferentes contextos. Cada caso incluyó los siguientes parámetros de análisis:

Tabla 3.1 Tabla Casos de estudios de implementación tecnológica en minería.

Casos de estudios de implementación tecnológica en minería.			
Empresa / País	Tecnología aplicada	Resultados principales	Fuente

*Fuente: (Elaboración propia)*

Luego de recopilar la información teórica y práctica, se procedió a realizar un análisis comparativo considerando los factores de costo, seguridad, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

Este proceso tuvo como objetivo determinar la viabilidad de implementar tecnologías inteligentes en pequeña minería, considerando los beneficios a largo plazo frente a los sistemas tradicionales.

### **3.4 Identificar barreras técnicas, que enfrentan los pequeños mineros para que se comprenda por qué no adoptan tecnologías más avanzadas en el mundo de la minería.**

Para dar cumplimiento a este objetivo, se diseñó y aplicó un formulario para recolectar datos, con el propósito de identificar y analizar las principales barreras económicas que dificultan la adopción de tecnologías inteligentes en la pequeña minería. Este material consistió en una encuesta elaborada mediante la plataforma Google Forms, titulada “Encuesta para la adopción de tecnologías en faenas de baja escala”, la cual fue distribuida a pequeños mineros de la comuna de Vallenar.

El diseño de la encuesta se desarrolló a partir del análisis de los objetivos específicos del proyecto, de modo que las preguntas permitieran obtener información relacionada con los recursos financieros, la capacidad de inversión, el acceso a financiamiento y la percepción económica de los encuestados frente a la implementación tecnológica.

El formulario estará anexado en el anexo 1: Formulario.

Antes de aplicar la encuesta, esta fue revisada por el profesor guía Enrique Veragua y por el docente Felipe Pizarro profesional en el área de la Geo minería quienes evaluaron la claridad de las preguntas, su relación con los objetivos de investigación y la adecuación del lenguaje utilizado al contexto de la pequeña minería. Se realizaron ajustes en la redacción de ítems y en el orden de las secciones para optimizar la comprensión de los participantes.

La encuesta fue aplicada tanto de manera digital, mediante un enlace compartido por correo electrónico, como de forma presencial entrevistando a encargados como: Daniel Kincade Dueño de la mina La Caliza, Luis Gallardo jefe de fomento Enami, Arnaldo del Campo presidente de la asociación minera de Vallenar, lo que permitió tener una comprensión más profunda y personal de los distintos desafíos que atraviesan los pequeños mineros para crecer en el rubro.

Se definió como grupo principal de análisis a la Asociación Minera de Vallenar, por representar un núcleo activo de pequeños productores mineros con diversas realidades operativas. Debido a las dificultades logísticas para acceder a una muestra amplia y representativa, se optó por un muestreo reducido de tipo intencionado (espécimen), seleccionando participantes con experiencia comprobada en el rubro y diferentes niveles de desarrollo productivo. Esta decisión metodológica permitió obtener información de alta relevancia práctica, enfocada en actores directamente involucrados en la problemática objeto de estudio.

Una vez finalizada la etapa de recolección, los resultados obtenidos se tabularon a través de los gráficos proporcionados por la misma plataforma ya que esta indica de manera clara los porcentajes de las respuestas de modo que sea más fácil interpretarlos.

Estos resultados facilitaron la interpretación visual de las tendencias y patrones de respuesta, permitiendo identificar de forma clara los principales factores técnicos que obstaculizan la incorporación de tecnologías como los drones en la pequeña minería.

El análisis posterior integró una revisión interpretativa que relaciona las limitaciones financieras con la falta de acceso a información técnica, capacitación y apoyo institucional, generando insumos valiosos para el diseño del plan de implementación propuesto en el siguiente objetivo.

### **3.5 Proponer un plan de implementación, sobre el uso de drones en la etapa de exploración y monitoreo de minas para que los pequeños mineros conozcan y aprovechen sus beneficios directamente en sus faenas.**

Para cumplir con el objetivo de proponer un plan de implementación sobre el uso de drones en la etapa de exploración y monitoreo de minas, orientado a que los pequeños mineros conozcan y aprovechen directamente sus beneficios en sus propias faenas, se diseñó una metodología estructurada en etapas progresivas.

#### **Etapas 1: Identificación de beneficios operativos del uso de drones**

En primera instancia, se realizó un levantamiento de información técnica y bibliográfica para determinar los beneficios concretos que aporta la utilización de drones en las fases de exploración y monitoreo minero.

Se consideraron aspectos como el levantamiento topográfico mediante fotogrametría, la generación de modelos tridimensionales de terreno, la identificación de zonas de riesgo geotécnico, la optimización en la planificación de faenas y el apoyo a la seguridad operativa.

Esta etapa permitió definir los beneficios operativos clave, como la reducción de tiempos en las mediciones, el aumento de la precisión de los datos, la disminución de la exposición del personal a zonas peligrosas y la mejora de la gestión ambiental y productiva de las pequeñas minas.

#### **Etapas 2: Investigación de programas y herramientas de fomento tecnológico**

Posteriormente, se llevó a cabo una investigación documental orientada a identificar programas de apoyo, cursos y líneas de financiamiento disponibles para pequeños mineros en el ámbito de la innovación tecnológica.

Se revisaron las plataformas institucionales de ENAMI (Empresa Nacional de Minería) y del SENCE (Servicio Nacional de Capacitación y Empleo), seleccionando aquellas iniciativas vinculadas al uso de tecnologías emergentes, capacitación técnica y fomento productivo.

Esta fase permitió recopilar información relevante sobre programas de formación accesibles, líneas de apoyo estatal, y oportunidades de colaboración que faciliten la incorporación de drones en las operaciones mineras a pequeña escala.

#### Etapa 3: Vinculación institucional y entrevistas clave

Con el objetivo de fortalecer la propuesta y asegurar su aplicabilidad, se desarrolló una instancia de vinculación con actores del ámbito académico y minero local.

Se sostuvo una entrevista con la subdirectora del área de Geo minería, Sra. Dixiana, quien cumple funciones de coordinación de actividades académicas y apoyo en la gestión de prácticas profesionales en la Universidad de Atacama, sede Vallenar.

Durante esta instancia, se planteó la posibilidad de que estudiantes de la carrera de Técnico en Minas participen directamente en pequeñas faenas mineras brindando servicios de fotogrametría aérea y digitalización 3D mediante drones.

Asimismo, se conversó con el profesor Enrique Veragua, quien expuso el estado de avance respecto a los contactos establecidos entre estudiantes y la Asociación de Pequeños Mineros de la zona. Estas gestiones apuntaron a coordinar una futura reunión entre los docentes, los alumnos y los pequeños mineros interesados, con el propósito de formalizar acuerdos de colaboración y definir la modalidad de apoyo en terreno.

#### Etapa 4: Diseño del plan de implementación en presentación de tríptico.

Finalmente, a partir de la información recopilada y las interacciones previas, se elaboró el Plan de Implementación del Uso de Drones en Faenas Mineras de Pequeña Escala.

El documento se estructuró en torno a los siguientes componentes:

Objetivos generales y específicos, orientados al fomento de la innovación y la transferencia tecnológica hacia la pequeña minería.

Alcance del proyecto, donde se delimitan las etapas de aplicación, las áreas de influencia y los recursos necesarios.

Opciones de capacitación, que incluyen los cursos y programas identificados de Enami y Sence, con información sobre sus requisitos y modalidades de postulación.

Plan de comunicación y difusión, destinado a socializar los beneficios y resultados del proyecto entre los pequeños productores mineros, autoridades locales y entidades de apoyo técnico.

Este plan busca proponer una integración entre la formación técnica y las necesidades reales del sector minero, impulsando la modernización tecnológica, el desarrollo de competencias digitales y la sostenibilidad productiva de la pequeña minería regional.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1 Análisis de experiencias y casos de aplicación de minería inteligente.

#### 4.1.1 Comparación de tecnologías aplicadas en Minería Inteligente.

Tabla Casos de estudios de implementación tecnológica en minería.			
Empresa / País	Tecnología aplicada	Resultados principales	Fuente
Codelco (Chile)	Implementación de drones para modelar túneles 3D y monitoreo de seguridad en mina subterránea El teniente.	Mayor seguridad operacional, reducción del riesgo humano y precisión en la planificación minera.	(Codelco, Codelco innovación, 2023)
Freeport-McMoRan (EE.UU.)	Uso de software de simulación y control avanzado de procesos junto a drones para inspección.	Reducción del consumo energético y aumento de la eficiencia en un 15%.	(Mioti, 2024)
Teck (Canadá)	Proyecto piloto de aplicaciones móviles y energía solar fotovoltaica (SunMine).	Ahorro del 13% en tiempos de producción y mejora de sostenibilidad energética.	(Helberg, 2024)
Rio Tinto (Australia)	Programa “Mine of the Future”: camiones autónomos y trenes sin conductor.	Disminución de accidentes y aumento del rendimiento operativo.	(Barrera, 2018)

*Tabla 3.1 Casos de estudios de implementación tecnológica en minería*

*Fuente: (Elaboración propia).*

#### 4.1.2 Análisis comparativo de Tecnologías Aplicadas en Minería.

En primer lugar, los costos iniciales representan una de las principales diferencias. Mientras que en la pequeña minería tradicional utiliza equipos de bajo costo y, en muchos casos, de carácter obsoleto, las tecnologías inteligentes requieren una inversión inicial más alta debido a la adquisición de drones, software de análisis y capacitación técnica. Sin embargo, aunque esta inversión puede parecer elevada al inicio, se convierte en una reducción de costos operativos a largo plazo, ya que los equipos modernos poseen una mayor durabilidad y eficiencia energética.

Según el ejecutivo de Itau corporate Guillermo Birrell el acceso a financiamiento es uno de los grandes desafíos para la mediana y pequeña minería. “Es un segmento que tiene más dificultades para acceder a financiamiento competitivo, y ahí la banca tiene una oportunidad importante para mejorar su oferta”, señaló. (Birrell, 2025).

También señaló que el fortalecimiento al financiamiento de la mediana y pequeña minería es esencial para impulsar el desarrollo regional y promover una industria más inclusiva y diversificada. “Estas empresas son clave para muchas economías locales, y su fortalecimiento es estratégico para el país” (Birrell, 2025).

Tabla comparativa de costos.			
Concepto	Topografía Tradicional	Topografía con Drones	Ahorro potencial.
Inversión Inicial			
Equipo Base	\$1.000.000 - \$2.500.000 (Estación total)	\$1.500.000 - \$3.000.000 (Dron Dji + software).	Comparable
Equipo Auxiliar	\$250.000 - \$400.000 (Prisma, bastones, etc)	\$300.000- \$450.000 (Baterías, Tablets)	60-70%
Otros factores.			
Personal	2-3 Personas	1 operador	60%
Tiempo en campo	1 a 2 Días,	2-3 hrs.	80%
Procesamiento	2-3 Días	24-48 hrs	50%
Remediciones	Frecuentemente. (15-20% de los proyectos)	Raramente necesarias. (2-5% de los proyectos)	75%

**Tabla 3.2 Tabla comparativa de costos.**

**Fuente: (Elaboración propia).**

En cuanto al mantenimiento, los sistemas tradicionales requieren con más frecuencia intervenciones debido al desgaste de esta maquinaria y la falta de repuesto dado a la antigüedad de los equipos, lo que genera detenciones operativas constantes. En cambio, las herramientas tecnológicas, al tener componentes digitales y automatizados, requieren de un mantenimiento menos frecuente y presentan una menor tasa de fallas, contribuyendo a la continuidad productiva y a la optimización del tiempo de faena. El mantenimiento predictivo permite a una operación minera saber cuándo y dónde habrá problemas con los equipos en función de todas las variables. Esto significa que las revisiones y los reemplazos de mantenimiento pueden realizarse cuando realmente se necesitan, lo que ahorra dinero y recursos en comparación con el mantenimiento rutinario constante.

Respecto a la seguridad laboral, la minería tradicional implica una alta exposición del trabajador a zonas de riesgo, especialmente durante tareas de exploración, tronadura o monitoreo de sectores inestables. Las tecnologías inteligentes por su parte, reducen considerablemente el riesgo humano, ya que permiten realizar inspecciones mediante drones o sensores, sin necesidad de que el personal ingrese directamente a áreas peligrosas. Esto fortalece las condiciones de seguridad y disminuye la probabilidad de accidentes. La minería inteligente y los equipos automatizados permiten que muchos trabajadores realicen sus tareas de forma remota, lejos de los peligros de las zonas inestables dentro de la mina. De este modo, en muchos casos, las nuevas tecnologías han eliminado gran parte del trabajo manual y mejorado la seguridad general. Por ejemplo, los drones mantienen a las personas fuera de las zonas peligrosas mientras que inspeccionan de lugares seguros. (Osborne, 2022).

En términos de eficiencia operativa, los métodos manuales limitan la capacidad de planificación y control, al depender del juicio humano y de mediciones visuales. En contraste, las tecnologías inteligentes aportan datos precisos y en tiempo real, permitiendo una mejor toma de decisiones y un control más riguroso de la producción. De esta forma, el uso de drones y software de análisis topográfico optimiza el rendimiento de las operaciones y permite detectar errores con anticipación. El uso de IA y análisis de datos disminuye la búsqueda manual de minerales y minimiza la posibilidad de error humano. El mismo sitio minero se vuelve más productivo y genera más ganancias cuando se aprovechan las tecnologías inteligentes. (Osborne, 2022)

Finalmente, desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental, la minería tradicional tiende a generar un uso intensivo de recursos y energía, mientras que la minería inteligente promueve la optimización del consumo energético y la reducción de la huella ambiental. Esto se logra gracias a la precisión en la planificación, el monitoreo de emisiones y la gestión más racional de los recursos naturales. En la lucha contra el cambio climático y para promover operaciones más respetuosas con el medio ambiente, numerosas instituciones se han comprometido con la neutralidad climática o las cero emisiones. Al priorizar la sostenibilidad, estas organizaciones pueden utilizar drones para alcanzar sus objetivos ambientales y, al mismo tiempo, optimizar sus operaciones. Una ventaja significativa del uso de drones, especialmente para las inspecciones de infraestructura, es la reducción del consumo de combustibles. Los helicópteros, por ejemplo, son costosos y funcionan principalmente con combustible a reacción, un importante contaminante atmosférico. Los drones pueden reemplazar en gran medida a los helicópteros en operaciones aéreas, lo que facilita tareas como la búsqueda de víctimas, la evaluación de infraestructura, el suministro de material médico y mucho más, de acuerdo con algunos estudios, los drones pueden tener un consumo de energía por paquete de hasta un 94% menor que otros vehículos. (Rodrigues, 2022)

El análisis comparativo evidenció que, aunque la inversión inicial en tecnologías inteligentes representa una barrera económica para los pequeños mineros, los beneficios en seguridad, eficiencia y sostenibilidad son significativamente superiores. La adopción gradual de estas herramientas, junto a programas de capacitación y apoyo financiero, permitiría modernizar las faenas y aumentar su competitividad en el mediano plazo.

## **4.2 Resultados Relacionados con el Objetivo 2: Identificación de barreras técnicas que enfrentan los pequeños mineros**

### **4.2.1 Procedimiento de la encuesta (Ver anexo N°1: Encuesta).**

El desarrollo de las encuestas realizadas de forma presencial al encargado del equipo de fomento Enami quien también nos comentó de su iniciativa con los pequeños mineros, se tuvo la oportunidad de desarrollar la encuesta con el dueño de la mina La Caliza Daniel Kincade quien también compartió su experiencia en el rubro, del mismo modo se encuestó de manera presencial al presidente de la asociación de pequeños mineros Arnaldo del Campo quien fue el encargado de ayudarnos a difundir la encuesta de manera

online mediante un formulario de Google a los diferentes colaboradores de su asociación, en donde su principal objetivo es recaudar información sobre el conocimiento de los pequeños mineros en torno al uso de drones en las faenas.

#### **4.2.2 Ventajas y limitaciones del proceso de la encuesta.**

En primera instancia se aplicaron las encuestas en forma presencial para esto se tuvo dificultad en llegar a coordinar la cita de atención ya que ellos contaban con otros compromisos, un factor de desventaja también fue llegar a algunos sitios de difícil acceso o la falta de movilización con la que no contábamos en ocasiones, al tomar estas encuestas se logró observar que las personas omitían algunos datos relevantes o brindaban información que en la realidad no era tan verídico.

Además, se tuvo como ventaja que al entrevistar de forma presencial al presidente Arnaldo del Campo él nos brindó su apoyo para difundir la encuesta a sus colaboradores, de manera que así se logró llegar a la cantidad necesaria para que la encuesta fuera válida.

#### **4.2.3 Análisis de las secciones encuestadas.**

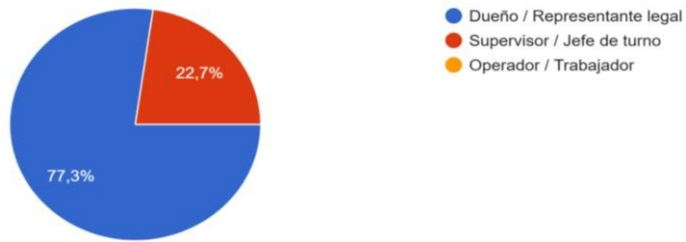
##### **4.2.3.1 Datos generales de los encuestados.**

De acuerdo con lo mencionado en la metodología, la encuesta cuenta con tres secciones que fueron divididas por los datos generales de los encuestados, conocimiento previo y barreras y dificultades.

En la primera sección de “datos generales” se puede analizar que la mayoría de los faeneros son los dueños o los representantes legales de la mina, predominando entre 11 a 20 años de experiencia y con una cantidad de 11 a 20 trabajadores.

Cargo o rol dentro de la faena:

22 respuestas

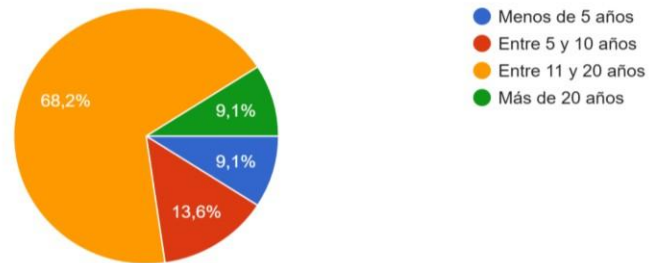


**Gráficos V. 1 Cargo o rol dentro de la faena.**

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

Años de experiencia en minería:

22 respuestas

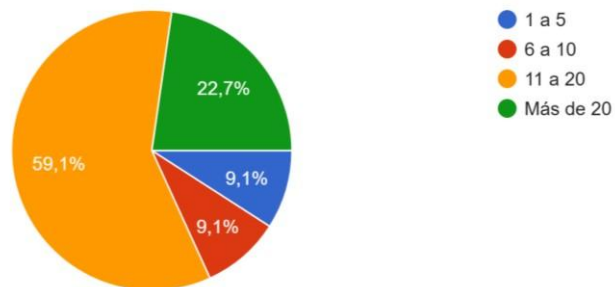


**Gráficos V. 2 Años de experiencia en minería.**

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

Tamaño de la faena (número de trabajadores):

22 respuestas



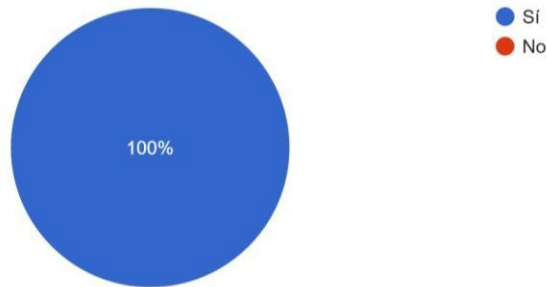
**Gráficos V. 3 Tamaño de la faena.**

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

#### 4.2.2.2 Conocimiento Previo sobre Minería Inteligente y Uso de Drones En la segunda sección: Conocimiento previo.

Respecto a la segunda sección de “conocimiento previo” todos los encuestados dicen que si han escuchado hablar de minería inteligente.

¿Ha escuchado hablar de la minería inteligente o del uso de drones en minería?  
22 respuestas

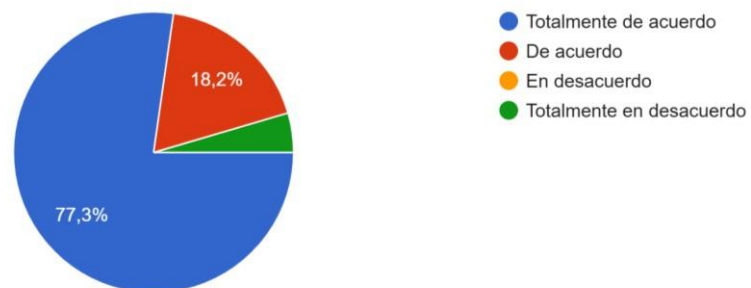


**Gráficos V. 4 ¿Ha escuchado hablar de la minería inteligente o del uso de drones en minería?**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

También la mayoría consideran que estas tecnologías podrían mejorar la productividad de su faena.

¿Considera que estas tecnologías podrían mejorar la productividad de su faena?  
22 respuestas

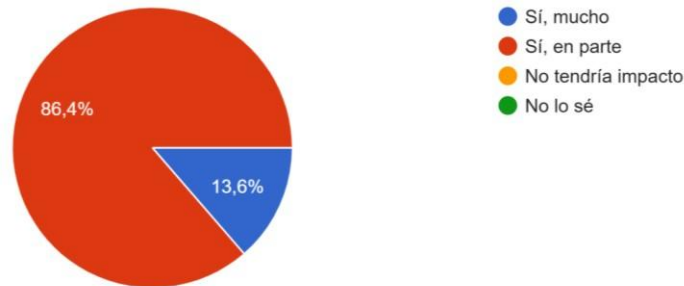


**Gráficos V. 5 ¿Considera que estas tecnologías podrían mejorar la productividad de su faena?**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

Y gran parte de los encuestados creen que el uso de drones podría mejorar la seguridad de las operaciones.

¿Cree que el uso de drones podría mejorar la seguridad de las operaciones?  
22 respuestas



**Gráficos V. 6** ¿Creen que el uso de drones podría mejorar la seguridad de las operaciones?

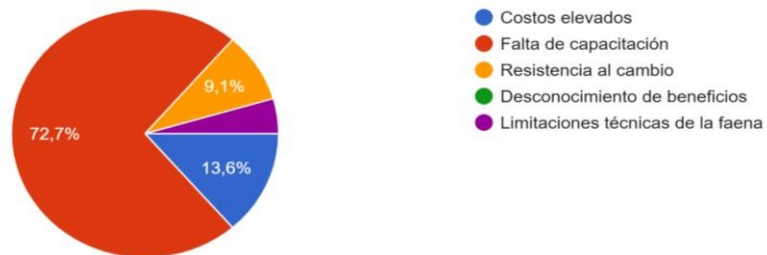
*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

#### 4.2.2.3 Barreras y Dificultades para la Adopción Tecnológica

En la tercera sección: Barreras y dificultades.

En la tercera sección “barreras y dificultades” prevalece que la falta de capacitación es una de las principales barreras para implementar nuevas tecnologías.

¿Cuál es la principal barrera para implementar nuevas tecnologías en su faena?  
22 respuestas

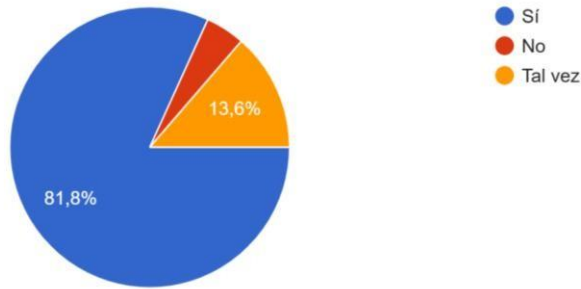


**Gráficos V. 7** ¿Cuál es la principal barrera para implementar nuevas tecnologías en su faena?

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

Conforme a esto, gran porcentaje estaría dispuesto a recibir capacitaciones para poder implementar nuevas tecnologías en sus faenas

¿Estaría dispuesto a recibir capacitaciones sobre drones u otras tecnologías?  
22 respuestas

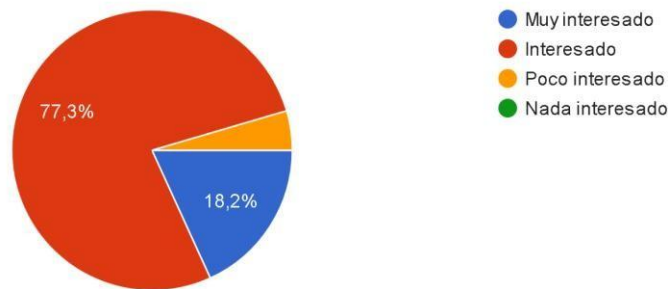


**Gráficos V. 8 ¿Estaría dispuesto a recibir capacitaciones sobre drones u otras tecnologías?**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

Incluso en general muestran interés en participar en un plan piloto con drones.

Nivel de interés en participar en un plan piloto con drones  
22 respuestas

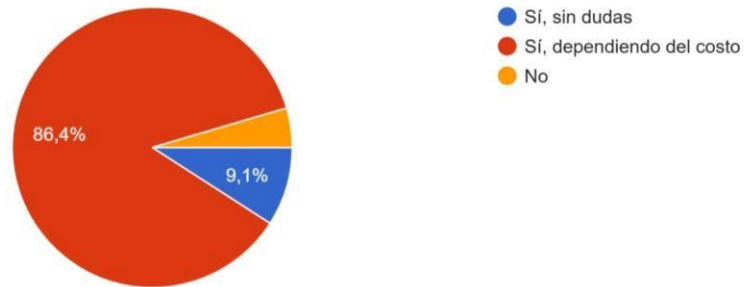


**Gráficos V. 9 Nivel de interés en participar en un plan piloto.**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

Se logró evidenciar que los encuestados apostarán en tecnologías si estas demuestran sus beneficios.

¿Estaría dispuesto a invertir en estas tecnologías si demostraran beneficios claros?  
22 respuestas

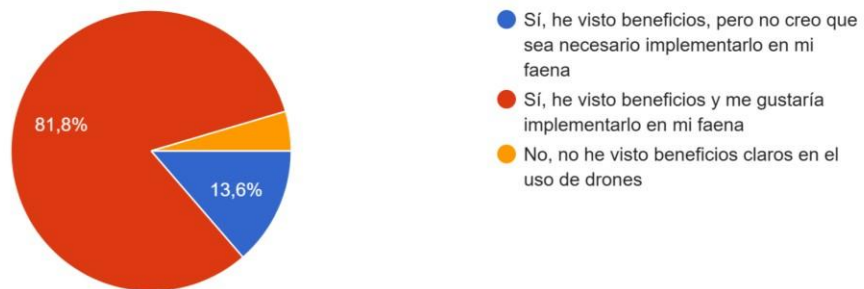


**Gráficos V. 10 ¿Estaría dispuesto a invertir en estas tecnologías si demostraran beneficios claros?**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

Gran parte de los encuestados ha visto beneficios del uso de tecnología en minería y les gustaría implementarlo en sus faenas mientras que una minoría ha visto los beneficios, pero no considera necesario implementarlos.

¿Ha visto los beneficios de la tecnología como el uso de drones en otras faenas o en la industria en general? Le gustaría implementar esto en su faena?  
22 respuestas



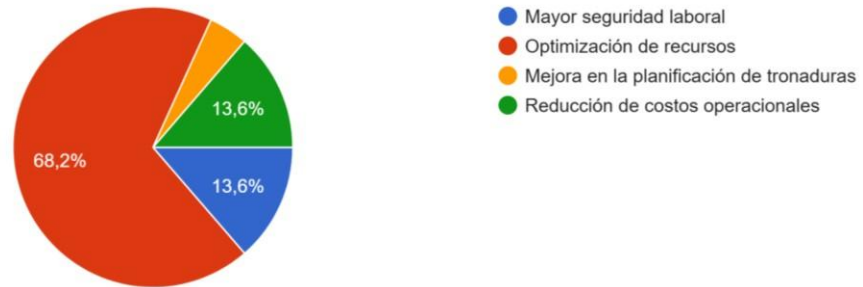
**Gráficos V. 11 ¿Ha visto los beneficios de la tecnología como el uso de drones en otras faenas o en la industria en general? ¿Le gustaría implementar esto en su faena?**

**Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.**

Y el beneficio que encuentran más importante es la optimización de recursos.

¿Qué beneficio considera más importante al implementar drones en minería?

22 respuestas



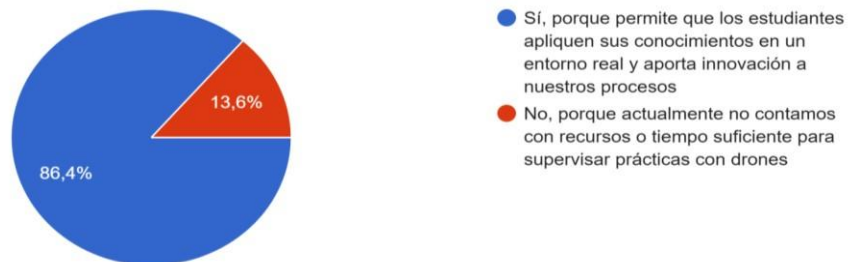
**Gráficos V. 12** *¿Qué beneficio considera más importante al implementar drones en minería?*

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

Respecto a la disposición para recibir a estudiantes universitarios para que estos realicen sus prácticas haciendo uso de drones para realizar trabajos como fotogrametría, un porcentaje alto está interesado en esto.

¿Cuál es su disposición para recibir estudiantes universitarios que realicen sus prácticas profesionales utilizando drones en diversos proye...s, como por ejemplo en el modelado 3D de la mina?

22 respuestas



**Gráficos V. 13** *¿Cuál es su disposición para recibir estudiantes universitarios que realicen sus prácticas profesionales utilizando drones en diversos proyectos, como por ejemplo en el modelado 3D de la mina?*

*Fuente: Elaboración propia en base a la encuesta.*

### 4.3 Resultados Relacionados con el Objetivo 3: Propuesta de plan de implementación tecnológica basado en el uso de drones

#### 4.3.1 Identificación de beneficios operativos del uso de drones

El uso de drones en la minería ha demostrado optimizar de manera significativa los tiempos de medición y recolección de información, al automatizar tareas y permitir la

cobertura de grandes áreas en menor tiempo. Gracias a su autonomía y capacidad de vuelo programado, los levantamientos topográficos que antes requerían varios días pueden completarse en cuestión de horas, mientras que las inspecciones de inventario o control volumétrico se ejecutan en minutos. Esta eficiencia operacional no solo agiliza los procesos, sino que también posibilita la obtención de datos en tiempo real, lo cual acelera la toma de decisiones y mejora la gestión general de los proyectos.

En comparación con los métodos tradicionales, los drones requieren menos tiempo para la planificación y ejecución de mediciones, ofreciendo resultados equivalentes o incluso superiores en plazos considerablemente más cortos. En entornos de difícil acceso o con riesgos geotécnicos, esta tecnología elimina la necesidad de exposición directa del personal, disminuyendo la probabilidad de accidentes y reforzando las condiciones de seguridad. De acuerdo con estudios técnicos, la empresa Strabag líder en construcción e ingeniería con sede en Austria ha comprobado una reducción del 75 % en el tiempo destinado al establecimiento de puntos de control terrestre (GCP) gracias al uso de drones en levantamientos topográficos. (Peng)

Otro resultado relevante es la mejora en la precisión de los datos obtenidos. Los drones equipados con cámaras y sensores de alta resolución son capaces de capturar una densidad de información muy superior a la de los métodos convencionales. Mientras las técnicas tradicionales permiten obtener alrededor de 10 puntos por metro cuadrado, los drones alcanzan hasta 100 puntos, proporcionando una resolución espacial del orden de los centímetros. (Morales). Esto se traduce en modelos tridimensionales (3D) y ortofotos (2D) georreferenciadas con gran exactitud, ideales para labores de ingeniería, evaluación de seguridad y planificación minera.

Desde el punto de vista operativo y ambiental, la implementación de drones ha aportado beneficios sustanciales en seguridad, sostenibilidad y equidad laboral. En pequeñas y medianas minas, los drones permiten realizar inspecciones en zonas con riesgo de derrumbes, gases tóxicos o inestabilidad del terreno, reduciendo significativamente la exposición del personal. Además, contribuyen a la gestión ambiental mediante el monitoreo de relaves, erosión, reforestación y control de emisiones. Al sustituir vehículos tradicionales como helicópteros o tractores los drones disminuyen el consumo de

combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub>, promoviendo una minería más limpia y sostenible.

Finalmente, el avance tecnológico en este ámbito también está generando un impacto social positivo, al ampliar la participación de mujeres en labores mineras mediante la operación remota de equipos y análisis de datos. Como señala (Rüete), la incorporación de tecnologías inteligentes en minería contribuye a reducir las brechas de género al trasladar parte del trabajo desde el campo hacia entornos de control y monitoreo digital.

En conjunto, los resultados de la investigación bibliográfica evidencian que la utilización de drones en la exploración y monitoreo minero representa una herramienta de alto valor técnico, ambiental y social, que permite incrementar la productividad, precisión y seguridad de las operaciones, consolidando una tendencia hacia una minería más moderna, eficiente y sustentable.

#### **4.3.2 Programas y herramientas de fomento tecnológico disponibles.**

La investigación de los distintos programas dio como resultado la identificación de tres instituciones relevantes que concentran la mayor oferta de apoyo y financiamiento en materia de innovación tecnológica para la pequeña minería.

Estas son Enami, Sence y Corfo, cuyas iniciativas, líneas de financiamiento y programas de capacitación se detallan a continuación, junto con su respectiva vinculación con el uso de tecnologías emergentes en el sector minero.

- **Enami. Empresa Nacional de Minería**

Enami cumple un rol fundamental en el fomento productivo y la modernización de la pequeña y mediana minería en Chile. A través de sus Programas de Fomento Minero (PFM), otorga asistencia técnica, equipamiento y financiamiento para mejorar la productividad y sostenibilidad de las operaciones.

En los últimos años, Enami ha impulsado proyectos orientados a la digitalización de procesos mineros, eficiencia energética y uso de tecnologías limpias, lo que representa una oportunidad directa para la integración de sistemas automatizados y drones en faenas

de extracción y monitoreo ambiental. En este caso se tuvo la oportunidad de entrevistar al jefe de la oficina de fomento Enami en Vallenar Luis Gallardo quien empezó a explicarnos todo el proceso de la fotogrametría que es lo que permite realizar la herramienta del dron, el cual recopila información de curvas de nivel para después desarrollar un proyecto, responder al Sernageomin o algún antecedente técnico, como por ejemplo cuántos metros se tienen que desarrollar de socavón para cortar la veta.

La asociación minera de Vallenar facilitó la compra del dron y lo prestaron en forma de comodato, para este ser administrado por Enami y con eso se le da cobertura principalmente a los socios de la asociación, pero también a toda la provincia del Huasco ya que existe la disponibilidad.

Cualquier minero que esté empadronado en Enami se le da la cobertura del uso del equipo dron y se accede básicamente pidiendo la asistencia técnica ya sea acercándose a la oficina ubicada en el Altiplano Norte S/Nº Planta Vallenar y manifestando su necesidad de apoyo con las herramientas que ofrece la organización, posterior a eso se calendariza en el plan semanal, idealmente se agenda con un plazo máximo de 25 días. Luis manifiesta que lo más probable es que no todos los pequeños mineros tengan conocimiento de lo que hace Enami, pero menciona como dato a un 65% de todas las faenas empadronadas que tienen levantadas ya sea con fotogrametría o con scanner.

En relación al tema de los proyectos esta se realiza mediante una campaña de difusión entre los meses de Enero y febrero, en donde cualquier minero que tenga antecedentes geológicos puede postular a los proyectos Enami, los cuales son programas de reconocimiento de reserva con un tope de hasta 250.000 mil dólares para desarrollar ya sean campañas de sondaje o labores mineras como socavón, galerías, piques, chimeneas para recategorizar de recursos a reservas, esta postulación se puede realizar durante todo el año, si es que no se ha gastado el presupuesto anual que tienen como tope en la empresa.

1. Todos los recursos fotográficos de las visitas y entrevistas a las empresas se encontrarán en el anexo 2: Visita a la asociación de pequeños mineros Vallenar y anexo 3: Visita a oficina de fomento Enami.

- Sence: Servicio nacional de Capacitaciones y empleo.

El Sence dispone de diversas líneas de capacitación técnica dirigidas a trabajadores del sector minero y tecnológico, destacando el curso asociado al manejo de drones que se realizó en la región del Bio Bio en donde en el año 2020 Sence, abrió postulaciones para el inédito curso de pilotaje de dron profesional del programa “Reinventate”, que ofrecía capacitación a personas recientemente cesantes. El curso se denominaba “Operaciones básicas de conducción de un dron RPA” y se dictó gratuitamente con una duración de 80 horas y clases tanto teóricas, como prácticas, que habilitaron a conductores para optar a permisos profesionales para el área. Se espera que, así como este, haya nuevos proyectos a lo largo del país y en los próximos meses.

“Es clave que nuestros trabajadores puedan reinventarse laboralmente. La reconversión les permitirá adaptarse a los nuevos tipos de empleo que requiere el mundo del trabajo, y por eso desde Sence estamos comprometidos para que esa adaptación sea con calidad y pertinencia. Este es el principal desafío del programa Reinventate. Estamos siendo pioneros porque es la primera vez en la historia de Sence que se abre a este tipo de cursos”, explicó el director del Sence Biobío. (Aliaga)

Estas capacitaciones, accesibles mediante franquicia tributaria o programas gratuitos, contribuyen a fortalecer el capital humano necesario para la implementación segura y eficiente de nuevas tecnologías en la pequeña minería. De esta manera, Sence actúa como un pilar estratégico para la formación de competencias en innovación tecnológica.

Así como estos cursos durante el año la página del Sence lanza nuevos para estar capacitándose e informándose esto por medio de su página web: <https://sence.gob.cl/>

- Corfo: Corporación de fomento de la producción.

Corfo se posiciona como la principal institución de apoyo a la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en Chile. En 2025, mantiene vigentes varias líneas de financiamiento orientadas a proyectos tecnológicos, entre el más reciente: “Programas tecnológicos para el uso de y adopción de la inteligencia artificial en la industria chilena” este fue una convocatoria orientada a impulsar el uso y adopción de inteligencia artificial (IA) en la industria nacional. El objetivo de este programa era incrementar la tasa de innovación

tecnológica en productos y procesos de las empresas pertenecientes a sectores productivos y/o económicos específicos, a través de la ejecución articulada de portafolios de proyectos de desarrollo tecnológico que permitan disminuir y/o cerrar brechas detectadas, mejorar la productividad del sector y contribuir a su diversificación y/o sofisticación.



**Ilustración 4.1 Pasos de postulación.**

**Fuente: (Corporación de fomento de la producción.)**



**Ilustración 4.2 Pasos de postulación.**

**Fuente: (Corporación de fomento de la producción.)**

Otro programa realizado el presente año llevó por nombre “Capital humano para la innovación” este fue una línea de financiamiento destinada a aquellas empresas chilenas que incorporen profesionales o técnicos/as altamente calificados para fortalecer sus capacidades en I+D+i. Este programa buscó contribuir e impulsar proyectos innovadores con alto impacto productivo.

Así como estos durante el año la corporación anuncia más programas por medio de su página web: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/>

En relación a la vinculación entre los estudiantes de la carrera técnico en Minas de la Universidad de Vallenar y los pequeños mineros de la ciudad de Vallenar si estos requieren apoyo técnico en levantamientos fotogramétricos, modelado 3D o monitoreo de faenas

mediante drones, podrán solicitar la asistencia de estudiantes en práctica a través de los docentes responsables del área Geo-Minería.

Para esto deben realizar una solicitud formal el pequeño minero interesado debe contactar a los docentes encargados de la vinculación práctica mediante los siguientes correos institucionales: Prof. Enrique Veragua Guerra: [enrique.veragua@uda.cl](mailto:enrique.veragua@uda.cl) o Prof. Felipe Pizarro [felipe.pizarro@uda.cl](mailto:felipe.pizarro@uda.cl), los docentes revisarán la solicitud y se pondrán en contacto con los estudiantes interesados, priorizando aquellos que cursen asignaturas de práctica profesional.

Una vez confirmada la colaboración, el estudiante realizará el papeleo y registro administrativo correspondiente para formalizar el proceso de práctica, asegurando el cumplimiento de las normativas institucionales y de seguridad en terreno.

Para los pequeños mineros, la asistencia de estudiantes capacitados les permitirá acceder a procesos técnicos de fotogrametría y digitalización 3D, optimizando sus operaciones, mejorando la gestión de información geoespacial y promoviendo el uso de tecnologías aplicadas en terreno.

Para los estudiantes, la participación en faenas reales proporciona experiencia práctica y aplicación directa de conocimientos técnicos, fortaleciendo su formación profesional, su vínculo con el sector productivo y su aporte al desarrollo regional sostenible.

#### **4.3.3 Diseño del tríptico informativo para Pequeños mineros.**

Objetivo general del Plan de Implementación del Uso de Drones en Faenas Mineras de Pequeña Escala.

Impulsar la innovación tecnológica en la pequeña minería mediante la incorporación de herramientas digitales, como el uso de drones, que fortalezcan la productividad, la seguridad laboral y la sostenibilidad ambiental, favoreciendo la transferencia de conocimiento y desarrollo local en el sector minero.

### Objetivos específicos.

Incentivar el uso de tecnologías accesibles que optimicen los procesos de exploración, monitoreo y gestión de faenas.

Fortalecer las competencias técnicas de los pequeños mineros mediante programas de capacitación y formación digital impartidos por instituciones como Enami, Sence y Corfo.

Fomentar el desarrollo sostenible, impulsando una minería responsable que equilibre crecimiento económico, innovación y cuidado ambiental.

### Alcance del proyecto.

El proyecto se ejecuta en la ciudad de Vallenar, Región de Atacama, beneficiando directamente a pequeñas faenas mineras locales pertenecientes a la Asociación Minera de Vallenar y productoras inscritas en Enami.

### Recursos necesarios

Material educativo y medios de difusión para la promoción del proyecto.

Financiamiento y apoyo técnico: programas de ENAMI, CORFO y SENCE.

Equipos como: drones, software de modelado 3D y herramientas de análisis de datos.

Esta información será sintetizada, destacando únicamente los aspectos más relevantes, los cuales se incorporarán en un tríptico como material de apoyo complementario. El cual se puede evidenciar en el anexo 4 Tríptico.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

### **5.2 Conclusión**

El presente proyecto permitió comprender en profundidad el estado actual de la pequeña minería frente a la incorporación de tecnologías inteligentes, particularmente el uso de drones, y evidenció tanto su potencial transformador como las limitaciones que obstaculizan su adopción. El análisis de experiencias nacionales e internacionales demostró que existen múltiples casos de aplicación exitosa de minería inteligente, en los cuales herramientas como la automatización, los sistemas de monitoreo remoto y la fotogrametría aérea han generado mejoras sustantivas en eficiencia operativa, seguridad y sostenibilidad. Estas experiencias, observadas en compañías como Codelco, FreeportMcMoRan, Rio Tinto y Teck, confirman que el uso de drones se ha consolidado como una tecnología madura y altamente efectiva para tareas de exploración, modelamiento 3D, inspección estructural y planificación minera. La búsqueda de estos casos permitió identificar buenas prácticas tales como; Procesos automatizados mediante el uso de drones, monitoreo a larga distancia para evaluar áreas con peligro de derrumbe u otro tipo de tareas críticas. Estas prácticas se consideran especialmente beneficiosas para la pequeña minería porque reducen la exposición del personal a zonas de riesgo, mejoran la precisión de la información obtenida y permiten una toma de decisiones más rápida y fundamentada. Además, contribuyen a disminuir los tiempos de inspección, optimizar recursos y elevar los estándares de seguridad y eficiencia operacional.

A partir del trabajo de campo y la aplicación de encuestas, fue posible identificar las principales barreras técnicas que enfrentan actualmente los pequeños mineros. La falta de capacitación especializada, la escasa disponibilidad de recursos económicos, la limitada difusión de herramientas tecnológicas y la persistente percepción de que estas innovaciones son costosas o de difícil acceso constituyen los obstáculos más relevantes. No obstante, los resultados también evidencian una disposición significativa hacia la formación y la modernización, lo que demuestra que estas barreras no expresan un rechazo a la tecnología, sino más bien un déficit de oportunidades, acompañamiento técnico y apoyo institucional. Esto demuestra que la incorporación de minería inteligente en pequeña escala no es una imposibilidad estructural, sino un desafío superable mediante

estrategias que permitan acercar la tecnología de manera accesible y gradual a los pequeños mineros.

Sobre esta base, se elaboró un plan de implementación centrado en el uso de drones en etapas de exploración y monitoreo, orientado a ofrecer una vía de adopción progresiva, contextualizada y viable. La propuesta inicia con la aplicación de una encuesta diagnóstica (correspondiente al objetivo específico 2), que permitió identificar de manera directa las principales barreras técnicas presentes en las faenas. A partir de estos resultados, se desarrolló una etapa de capacitación que incluyó visitas a empresas e instituciones vinculadas al rubro, con el fin de conocer de primera fuente los medios de apoyo disponibles para los pequeños mineros. Como resultado de este proceso, se concluyó que la herramienta más adecuada para entregar información clara, accesible y de fácil difusión era un tríptico en formato digital y físico que reuniera los beneficios del uso de drones, los programas de apoyo existentes y los pasos para acceder a ellos. Las etapas posteriores se plantean como recomendaciones, ya que corresponde a los propios pequeños mineros continuar informándose y contactando, a través de los enlaces incluidos en el tríptico, a las instituciones que ofrecen financiamiento, capacitación y asistencia técnica para avanzar en la adopción real de estas tecnologías en sus faenas.

El estudio identificó que las principales barreras para adoptar minería inteligente en pequeñas faenas son económicas, técnicas y de capacitación. No obstante, se comprobó que estas pueden superarse mediante estrategias graduales que incluyan formación, asistencia técnica y acceso a financiamiento. Bajo esta lógica, los drones destacan como la herramienta más viable para iniciar la modernización por su bajo riesgo y alto impacto operativo.

Asimismo, los resultados muestran que la minería inteligente es una oportunidad para mejorar la productividad, seguridad y sostenibilidad del sector, siempre que exista apoyo institucional y colaboración entre actores públicos, privados y académicos. De esta manera, se cumple el objetivo general al proponer un camino de implementación accesible que permita a los pequeños mineros avanzar hacia procesos más eficientes y competitivos.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda profundizar en el uso de drones a través de pruebas prácticas en terreno, de manera que sea posible evaluar su rendimiento real en distintas condiciones, comparar diferentes modelos y analizar sus costos y niveles de precisión. También sería importante ampliar la muestra de pequeños mineros encuestados, incluyendo faenas de otras regiones, para obtener una visión más completa y representativa del sector y de las dificultades que enfrenta en materia tecnológica. Junto con ello, resulta útil incorporar un análisis económico más detallado que permita determinar el retorno de inversión de esta tecnología, considerando los costos iniciales, los beneficios operativos y la reducción de riesgos, con el fin de entregar información clara que apoye la toma de decisiones.

Otro aspecto relevante de trabajo es la realización de estudios de seguimiento en faenas que ya están utilizando drones, para evaluar su impacto real a mediano y largo plazo en productividad, seguridad y sostenibilidad. Además, sería beneficioso fortalecer la colaboración entre instituciones educativas, Enami, Sence y Corfo, buscando mecanismos que faciliten la capacitación y el acompañamiento técnico a los pequeños mineros. Finalmente, se sugiere elaborar manuales y guías prácticas que orienten a los mineros en el uso de drones, facilitando una implementación más segura, gradual y ajustada a sus capacidades y necesidades reales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amali Ediriweera, A. w. (Octubre de 2021). *Science Direct*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420721002026>
- Barrera, A. (01 de Marzo de 2018). *País minero* . Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de <https://paisminero.com/mineria/mineria-colombiana/18258rio-tinto-capacita-a-sus-mineros-para-la-mineria-del-futuro>
- Codelco. (01 de junio de 2021). Recuperado el 03 de Septiembre de 2025, de Codelco: <https://www.codelco.com/operaciones/radomiro-tomic/noticias/camaras-inteligentes-aumentan-la-seguridad-yproduccion-en-la-division>
- Codelco. (01 de Marzo de 2021). *Codelco*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2025, de <https://www.codelco.com/operaciones/radomiro-tomic/noticias/camaras-inteligentes-aumentan-la-seguridad-yproduccion-en-la-division>
- Codelco. (09 de Noviembre de 2023). *Codelco innovación* . Recuperado el 03 de Septiembre de 2025, de <https://www.codelco.com/el-teniente-implementadron-especializado-para-modelar-tuneles-3d-en>
- Helberg, R. (2024). *TECK RESOURCES LIMITED*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de [https://www.teck.com/media/Teck\\_I&T\\_Spa.pdf](https://www.teck.com/media/Teck_I&T_Spa.pdf)
- Meza, J. H. (18 de Mayo de 2021). *Huawei* . Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de <https://www.huawei.com/mx/news/mx/2021/toquepala-seconvierte-en-la-primera-minera-inteligente-de-latinoamerica>
- Mioti. (26 de junio de 2024). *MIOTI Tech & Business School*,. Recuperado el 03 de Septiembre de 2025, de <https://mioti.es/es/blog-el-futuro-de-la-mineriacasos-de-exito-en-la-era-digital/>

Rifo, M. (2025 de junio de 10 ). *Reporte minero y energético*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de

<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2025/06/financiamientome-diana-pequena-mineria-guillermo-birrell>

Vallejos, J. P. (1994). *Geominería Pdf*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de [file:///C:/Users/geomineria/Downloads/alhe,+01-01-1994-0065%20\(1\).pd](file:///C:/Users/geomineria/Downloads/alhe,+01-01-1994-0065%20(1).pd)

viera, M. (01 de Marzo de 2015). *Portal minero* . Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de

<https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=96749711#:~:text=La%20peque%C3%B1a%20miner%C3%ADa%20no%20tiene%20acceso%20como,sondajes%20porque%20es%20caro%20y%20dif%C3%ADcil%20Financiar>.

Zúñiga Delgado, C. A. (2016). *Repositorio* . Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140807>

Aliaga, Oscar. “En Concepción: Sence lanza inédito curso de pilotaje de dron profesional, dirigido a personas cesantes.” *Sence*, 20 Febrero 2020, <https://sence.gob.cl/personas/noticias/en-concepcion-sence-lanza-inedito-cursode-pilotaje-de-dron-profesional-dirigido-personas-cesantes>.

Corporación de fomento de la producción. “PROGRAMAS TECNOLÓGICOS PARA EL USO Y ADOPCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA INDUSTRIA CHILENA.” *Corfo*, 03 Abril 2025, [https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatoria/programa\\_tecnologico\\_inteligencia\\_artificial\\_industria\\_chilena/](https://www.corfo.cl/sites/cpp/convocatoria/programa_tecnologico_inteligencia_artificial_industria_chilena/).

Morales, Aurelio. “Drones vs satélites: ¿rivales o complementarios?” *Mapping Gis*, 04 Febrero 2024, <https://mappinggis.com/2024/02/drones-vs-satelites-rivales-ocomplementarios/>

Peng, Hailey. “Cartografía de última generación: Ahorro de tiempo en levantamientos topográficos de construcción con drones.” *Dji enterprise*, 25

Octubre 2019, <https://enterprise-insights.dji.com/user-stories/next-generationmapping>

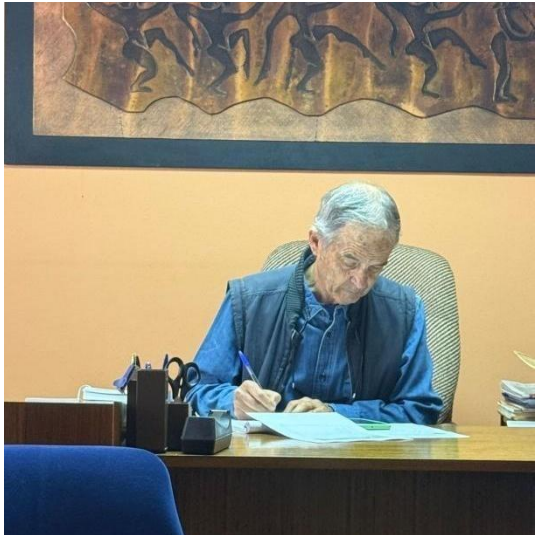
Rüete, Marina. “¿Cómo puede la tecnología minera proteger el medio ambiente?”

*Intergovernmental forum IGF*, 17 Mayo 2019,

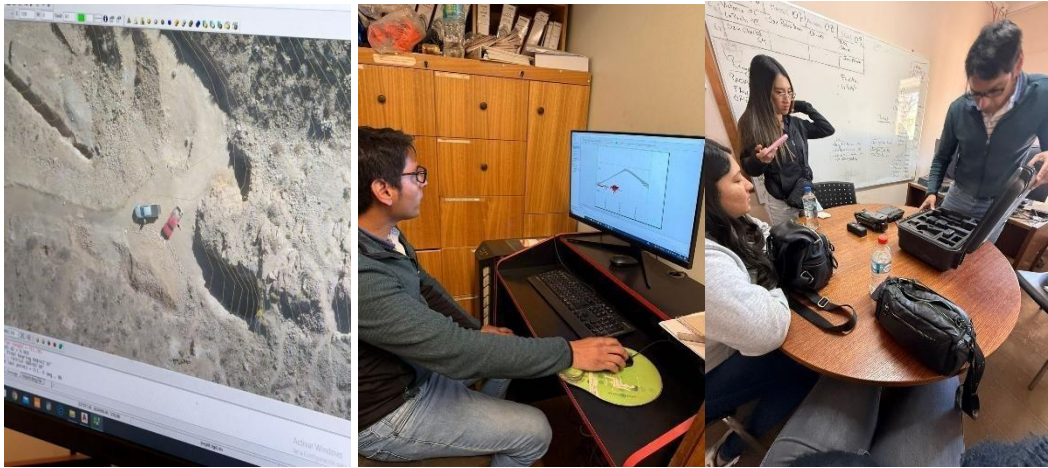
<https://www.igfmining.org/es/howcan-technology-in-mining-protect-the-environment/#:~:text=Los%20avances%20tecnol%C3%B3gicos%20en%20la,reducezcan%20gracias%20a%20la%20tecnolog%C3%ADa>



Anexo 2: Visita a la asociación de pequeños mineros Vallenar



### Anexo 3: Visita oficina de fomento Enami



### Anexo 4. Tríptico

#### PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE DRONES EN FAENAS MINERAS DE PEQUEÑA ESCALA



**CIUDAD:**  
Vallenar- Región de Atacama

**INSTITUCIONES VINCULADAS:**  
ENAMI - SENCE - CORFO - Universidad de Atacama

**INNOVACIÓN, SOSTENIBILIDAD Y TECNOLOGÍA PARA LA PEQUEÑA MINERÍA CHILENA**

#### OBJETIVO GENERAL

Impulsar la innovación tecnológica en la pequeña minería mediante la incorporación de drones y herramientas digitales que mejoren la productividad, seguridad laboral y sostenibilidad ambiental, fortaleciendo el desarrollo local y la transferencia de conocimiento.



#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Incentivar el uso de tecnologías accesibles para exploración y monitoreo.
- 2 Fortalecer las competencias técnicas de pequeños mineros con apoyo de ENAMI, SENCE y CORFO.
- 3 Promover una minería responsable y sostenible, equilibrando innovación, economía y medio ambiente.

#### INSTITUCIONES PARTICIPANTES

**ENAMI**  
Apoya la modernización minera mediante programas de fomento, asistencia técnica y financiamiento. Facilita el uso de drones para fotogrametría y monitoreo geológico. Oficina: Altiplano Norte s/n, Planta Vallenar.

**SENCE**  
Capacita en el manejo profesional de drones a través de cursos gratuitos o con franquicia tributaria.

**CORFO**  
Financia proyectos tecnológicos e impulsa la adopción de inteligencia artificial y digitalización minera.



#### ALCANCE DEL PROYECTO

Implementación en faenas mineras de la Asociación Minera de Vallenar, beneficiando a pequeños productores inscritos en ENAMI.



#### RECURSOS REQUERIDOS

- Material educativo y de difusión.
- Financiamiento técnico de ENAMI, CORFO y SENCE.
- Drones, software 3D y herramientas de análisis de datos.



#### VINCULACIÓN CON LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA SEDE-VALLENAR

Pequeños mineros pueden solicitar asistencia técnica para levantamientos fotogramétricos, modelado 3D y monitoreo con estudiantes del área Geo-Minería.



#### CONTACTO

Prof. Enrique Veragua – [enrique.veragua@uda.cl](mailto:enrique.veragua@uda.cl)

Prof. Felipe Pizarro – [felipe.pizarro@uda.cl](mailto:felipe.pizarro@uda.cl)



#### FORMANDO TÉCNICOS EN MINAS COMPROMETIDOS CON LA INNOVACIÓN Y EL DESARROLLO REGIONAL SOSTENIBLE.

