

Application of a training program and its influence on loading and hauling operations in a mine.

Jackelini Collazos Sánchez¹; Máximo de la Cruz Chuquimango²
Universidad Privada del Norte, Perú, Jackelini.collazos@upn.edu.pe
Universidad Privada del Norte, Perú, N00021972@upn.pe

Abstract– *The objective of this research was to implement a training program and evaluate its impact on the loading and haulage operations at the Marcobre mining company, using a quantitative approach and a 12-month cross-sectional design. The methodology consisted of applying a survey to operators to evaluate how the training affected their performance and efficiency, identifying challenges and collecting feedback on the program. Participants were divided into two groups: Suitability 1, operators with experience on equipment of the same model and brand as the mine, and Suitability 2, with experience on different similar models at other mines, both with a minimum passing score of 85%. The results indicated that 66.7% of EX5600 shovel operators were satisfied or very satisfied with the training, while 83.3% of 793D truck operators reported similar levels of satisfaction. In terms of productivity, the implementation of the program generated improvements in average monthly production: a 4% and 14% annual increase for truck operators in the 01 and 02 retrofit programs, respectively; and a 4.5% and 9.2% monthly increase in EX5600 shovel production in the same programs. The training program improved operator performance, increasing monthly production on 793D trucks and EX5600 shovels. This study demonstrates that well-designed, segmented training can enhance operational efficiency and strengthen operator perception, bringing a more comprehensive and contextualized approach to the specialized literature.*

Keywords– *Training, Operators, Performance, Loading, Hauling.*

Aplicación de un programa de entrenamiento y su influencia en las operaciones de carguío y acarreo en una mina

Jackelini Collazos Sánchez¹; Máximo de la Cruz Chuquimango²
Universidad Privada del Norte, Perú, first.author@email.edu, third.author@gmail.com
Universidad Privada del Norte, Perú, second.author@email.com

Resumen– Este estudio tuvo como objetivo implementar un programa de capacitación y evaluar su impacto en las operaciones de carguío y acarreo en la mina Marcobre, utilizando un enfoque cuantitativo y un diseño transversal de 12 meses. La metodología consistió en la administración de encuestas a los operadores para evaluar cómo la capacitación influyó en su desempeño y eficiencia, identificar desafíos y recopilar retroalimentación sobre el programa. Los participantes se dividieron en dos grupos: Adecuación 1, compuesto por operadores con experiencia en el mismo modelo y marca de equipo utilizado en la mina, y Adecuación 2, compuesto por operadores con experiencia en modelos similares de otras minas; ambos grupos alcanzaron un puntaje mínimo de aprobación del 85%. Los resultados mostraron que el 66.7% de los operadores de palas EX5600 y el 83.3% de los operadores de camiones 793D estaban satisfechos o muy satisfechos con la capacitación. Las mejoras de productividad incluyeron un aumento anual del 4% y el 14% en la producción mensual promedio de camiones para Adecuación 1 y 2, respectivamente; y un aumento mensual del 4.5% y el 9.2% en la producción de palas EX5600 dentro de los mismos grupos. El programa de capacitación mejoró el rendimiento de los operadores, lo que se tradujo en una mayor producción mensual tanto en camiones como en palas mecánicas. Esta investigación demuestra que una capacitación específica y bien diseñada puede impulsar la eficiencia operativa y mejorar la percepción del operador, aportando un enfoque integral y contextualizado a la literatura existente.

Palabras clave: Capacitación, Operadores, Rendimiento, Carga, Transporte.

I. INTRODUCCIÓN

La minería fue una actividad clave en países como Perú, aportando significativamente al PIB y generando empleos. Sin embargo, la eficiencia en tareas como el carguío y acarreo del mineral fue un desafío constante, destacan que la innovación en los procesos mineros es crucial para mejorar la productividad y reducir costos, resaltando la importancia de optimizar las operaciones para mantener la competitividad y sostenibilidad del sector [1]. En la mina Marcobre, ubicada en la Región Ica, a 500 km de Lima y a 35 km del Distrito de San Juan de Marcona, se han identificado problemas en el rendimiento de operadores de palas y camiones, afectando la productividad y elevando los costos. La mina cerró 2024 con una producción de 2,736,150 TMF, una disminución del 0.7% respecto a 2023. La falta de capacitación adecuada puede reducir la eficiencia, pero estudios como el de señalan que una formación apropiada puede mejorar la productividad hasta en un 30% [2]. Además, la industria enfrenta presiones para mejorar en aspectos ambientales y de seguridad, y la

optimización a través de programas de entrenamiento en buenas prácticas operativas puede contribuir a la sostenibilidad [3].

La investigación se desarrolla en un contexto de creciente competencia en el sector minero, que impulsa a las empresas a mejorar su eficiencia y promover entornos laborales seguros y sostenibles, como en el caso de la mina Marcobre, responsable de implementar estrategias que optimicen sus operaciones [4]. A nivel global, la industria minera adopta tecnologías digitales en sus procesos, y las capacitaciones son fundamentales para que el personal comprenda el uso de equipos avanzados, reduciendo riesgos de accidentes y costos asociados. Además, las convocatorias laborales exigen perfiles específicos y experiencia, manteniendo altos estándares para cumplir con los objetivos empresariales y sociales, demandando personal altamente calificado y formación continua [5]. En Perú, la incorporación de tecnología digital en educación, mediante cursos de robótica, inteligencia artificial y big data, refleja un aumento en la inversión en investigación y desarrollo en el país.

Para mejorar la interpretación de resultados, se incorporan en el marco teórico las variables de estudio según autores. En minería y construcción, la capacitación de operadores mejora seguridad, eficiencia y rendimiento, reduciendo errores y daños [6] [7] [8]. La tecnología evoluciona para mayor calidad, requiriendo formación adecuada. Se emplean recursos teóricos, evaluaciones, simulaciones y experiencia para formar operadores [9]. La obtención de mano de obra calificada es clave, y las empresas deben capacitar a la comunidad local para obtener la licencia social y satisfacer necesidades laborales. La capacitación en maquinaria pesada presenta desafíos en riesgos y costos; los simuladores ofrecen prácticas seguras y económicas [5]. En Perú, no hay regulación para evaluar la calidad del personal, siendo las empresas responsables de certificarlos, aunque esto varía según la experiencia [9]. La formación impacta en costos y tiempos, siendo vital para la sostenibilidad y eficiencia [10]. Define la capacitación como formación en manejo, seguridad, riesgos y mantenimiento [11]. La optimización del rendimiento busca mejorar eficiencia y reducir ineficiencias mediante tecnología y procesos, considerando aspectos técnicos y humanos [12] [13]. La competencia del operador afecta la eficiencia en carguío y acarreo, con operadores capacitados siendo un 15% más eficientes [14]. El carguío implica cargar material para transporte, y el acarreo, trasladarlo hasta procesamiento o almacenamiento [15] [16].

En investigaciones internacionales, se desarrolló un sistema de entrenamiento en LabVIEW para operadores, este sistema estuvo compuesto por dos módulos: uno para el entrenador y otro para el operador de subestaciones, mejorando competencias y seguridad. Ref. [5] muestra que, diseñó estrategias de capacitación para personal local con resultados limitados en motoniveladoras, destacando programas de adaptabilidad: Reclutamiento, Programa de adaptabilidad (30 horas de teoría) y entrenamiento en equipos (simulador Hr./Tipo de flota, práctica en plataforma de entrenamiento y entrenamiento en Pit), los resultados obtenidos indicaron que la formación de los operadores de motoniveladora resultó ser la menos efectiva con una mejora del 10% , ya que el rendimiento máximo logrado fue de 11,300 m²/h.

La Ref. [17] muestra que, propuso un plan de formación con simuladores, los resultados señalan que el 84% del personal alcanzó el puntaje mínimo requerido en la fase inicial, y en la fase final, después de aplicar los planes de acción para cerrar las brechas de aprendizaje, el porcentaje aumentó a un 96%.

En la Ref. [18] muestra que, diseñaron un plan de formación en una minera, los resultados de la encuesta realizada indican que el 76% y el 24% de población se encuentra muy de acuerdo y de acuerdo, respectivamente, sobre la contribución de las capacitaciones a la operación eficiente de los equipos. Con relación a si la información que se brinda en las capacitaciones es la necesaria: el 84% y el 16% de población se encuentra muy de acuerdo y de acuerdo, respectivamente; demostrando la efectividad del programa en la operación de equipos.

La justificación teórica de esta investigación resalta la importancia de la capacitación de operadores en las operaciones mineras, ya que mejora la eficiencia y la seguridad. La Ref. [19] indica que, un entrenamiento adecuado no solo incrementa la productividad, sino que también minimiza los riesgos laborales, creando un entorno más seguro. La formación permite a los operadores comprender mejor la maquinaria, optimizando así el uso de recursos. Un manejo correcto de equipos como palas y camiones es esencial para maximizar la productividad en las tareas de carguío y acarreo. Ref. [20] advierte que un uso ineficiente de estos equipos puede aumentar los tiempos de inactividad y afectar negativamente la rentabilidad. La implementación de un plan de entrenamiento se enmarca en la teoría de mejora continua, que promueve la búsqueda constante de eficiencia y efectividad en los procesos, abarcando tanto aspectos técnicos como el desarrollo de competencias en el personal.

Desde una perspectiva práctica, el plan de entrenamiento propuesto para los operadores en la mina Marcobre puede incrementar notablemente la productividad. Ref. [21] evidencia que un programa de capacitación bien estructurado puede elevar la producción entre un 20% y un 30% en seis meses. Al mejorar el rendimiento de los equipos, se reducen los costos operativos asociados al mantenimiento y al consumo de combustible. Según Ref. [22], una formación

adecuada puede disminuir los costos de operación hasta un 15%, mejorando así la viabilidad económica del proyecto. Además, un operador bien capacitado no solo es más eficiente, sino que también tiene un mayor conocimiento en prácticas de seguridad, lo que contribuye a reducir la tasa de accidentes laborales, como señala la Organización Internacional del Trabajo [23] [24].

Con base en lo anteriormente mencionado, se pretende responder a la siguiente formulación del problema: ¿En qué medida influye la aplicación de un programa de entrenamiento en las operaciones de carguío y acarreo en la minera Marcobre? Asimismo, se ha planteado el siguiente objetivo general: implementar un programa de entrenamiento y evaluar su influencia en las operaciones de carguío y acarreo en la minera Marcobre. A partir de este objetivo, se pretende desarrollar un programa de entrenamiento basado en las mejores prácticas y tecnologías en la operación de palas y camiones, adaptado a las necesidades específicas de la mina Marcobre; así mismo, analizar la percepción del plan de entrenamiento para los operadores de palas y camiones en la minera Marcobre, identificando áreas de mejora; y finalmente realizar un análisis comparativo del rendimiento de los operadores entrenados con los no entrenados, para determinar el impacto del programa en las operaciones de carguío y acarreo. De igual manera, la hipótesis general de la investigación plantea que la implementación de un programa de entrenamiento especializado para operadores de palas y camiones resultará en una mejora significativa en el rendimiento de carguío y acarreo, medido en toneladas por hora. Por tanto, las hipótesis específicas planteadas son las siguientes: primero, la implementación de un programa de entrenamiento basado en las mejores prácticas y tecnologías mejorará significativamente las habilidades y conocimientos de los operadores de palas y camiones en la mina Marcobre; segundo, los operadores de palas y camiones percibirán el plan de entrenamiento como útil y pertinente en un nivel alto, aunque existen áreas específicas de mejora identificadas por los mismos; y tercero, el programa de entrenamiento tendrá un impacto positivo y estadísticamente significativo en la eficiencia y seguridad de las operaciones de los operadores en la mina Marcobre.

II. METODOLOGÍA

La investigación que se presenta, por el propósito que persigue es de tipo aplicada, ya que, al desarrollar un programa de entrenamiento, la investigación busca intervenir y mejorar el proceso de carguío y acarreo [25]. Así mismo, según su enfoque es cuantitativa, la cual se caracteriza por "la recolección de datos numéricos que pueden ser analizados estadísticamente para responder preguntas de investigación específicas y probar hipótesis" [26]. De igual forma, es transversal, dado que, el desarrollo de la misma tiene un periodo de tiempo corto (12 meses). Por su alcance, es relacional porque examina cómo la implementación de un programa de entrenamiento afecta el rendimiento y la

eficiencia de las operaciones de carguío y acarreo en mina Marcobre [26].

La población del trabajo de investigación estuvo conformada por todas las palas y camiones que operan en la Minera Marcobre en los diferentes procesos. La muestra seleccionada consistió en 3 palas Hitachi EX5600 y 6 camiones Cat 793D que participan en los procesos de carguío y acarreo en la mina. Para la selección de los sujetos de prueba se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, que es una técnica en la que los individuos se eligen de la población de estudio de manera no aleatoria. Esto significa que no todos los miembros de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados [27]. En la investigación, se eligieron los equipos en función de la disponibilidad superior al 85% reportada por el área de mantenimiento, lo que indica que los equipos no presentaron un porcentaje elevado de paradas no programadas por fallas mecánicas durante el periodo de estudio.

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos se describen a continuación. En primer lugar, se empleó la técnica de análisis documental, para recopilar y analizar los valores obtenidos en el rendimiento de palas y camiones de carguío y acarreo (incluyendo el número de viajes, los tiempos de ciclo, la capacidad de carga y el tonelaje), así como para comparar las métricas finales tras la aplicación del programa de entrenamiento (*Ficha 001 - análisis documental*). En segundo lugar, se utilizó la técnica de observación directa, que permitió realizar un seguimiento de las operaciones de carguío y acarreo, con el fin de identificar áreas de mejora y comportamientos de los operadores durante las rutas establecidas en la operación (*Ficha 005 - Reporte de Sistema de Despacho*). En tercer lugar, se aplicó una encuesta dirigida a operadores y supervisores para comprender los desafíos que enfrentan y obtener retroalimentación sobre el programa de entrenamiento (*Formato del Cuestionario*).

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos en análisis documental fue la Ficha 001 - Análisis documental. En la observación directa la ficha 002 – Control de horas de entrenamiento teórico, ficha 003 – Control de horas de entrenamiento práctico, ficha 004 - Evaluación Práctica de Habilidades y Ficha 005 - Reporte de Sistema de Despacho. Por último, en la encuesta se empleó como instrumento un cuestionario de 11 preguntas, a 12 operadores de camiones y 06 operadores de palas. El criterio que se tomó en cuenta para seleccionar a los encuestados fue su continuidad durante el periodo de tiempo en el que se realizó el trabajo de investigación, así mismo se consideró que los trabajadores operen los equipos seleccionados como nuestra muestra de estudio. Dichos instrumentos se detallan en anexos. Así mismo se realizó la validación de los instrumentos empleados por 03 expertos en el área de operaciones mina.

Para llevar a cabo el análisis de los datos, se utilizó el software SPSS (versión 25 – edición de 64 bits), ampliamente reconocido por su aplicación en el análisis estadístico, especialmente en investigaciones sociales, encuestas y

estudios de mercado. En este caso, permitió procesar los valores obtenidos de la encuesta. Además, el programa Excel facilitó la recopilación estructurada de datos relacionados con el rendimiento de las palas y camiones, así como los tiempos de operación, tonelaje y otros indicadores relevantes. Sus herramientas fueron útiles para comparar el rendimiento de los operadores después de la implementación del programa de entrenamiento, creando gráficos y tablas que evidencien las mejoras en eficiencia y productividad tras la aplicación de estrategias técnicas de operación.

La investigación se rigió por una serie de criterios éticos y normativas que buscan garantizar la protección de los participantes y la integridad del entorno. A continuación, se presentan algunos de los principales principios y normas éticas que se aplican: los derechos de autor protegen las obras originales de autoría, incluyendo textos, imágenes y datos, por ello, todo el material utilizado en la tesis que no sea de autoría propia se encuentra debidamente citado en formato APA séptima edición. Así mismo, el reglamento interno de la Universidad Privada del Norte (UPN) establece normas para la investigación que deben ser respetadas, que se relacionan con la originalidad y la responsabilidad recolección y presentación de datos, asegurando que toda la información utilizada sea veraz y esté correctamente atribuida. El cumplimiento de estos aspectos éticos es fundamental no solo para respetar los derechos de autor, sino también para asegurar la validez y la responsabilidad de la investigación realizada en la tesis. Es esencial que todos los investigadores se mantengan informados y cumplan con las normativas vigentes para evitar problemas legales y éticos en el desarrollo de su trabajo.

III. RESULTADOS

3.1. Programa de entrenamiento basado en las mejores prácticas y tecnologías en la operación de plas y camiones

3.1.1. Operadores con experiencia - Adecuación (1)

TABLA I
 ETAPAS DEL PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO –
 ADECUACIÓN 01

Etapas	Descripción
Etapas I: Capacitación Teórica (conocimientos del equipo)	El Instructor de equipo pesado dictará cursos teóricos de conocimientos generales del equipo de acuerdo con el Manual de operación y se realizará una evaluación al final del curso, siendo la nota mínima aprobatoria =>85%. Nota: El participante tendrá como máximo 02 intentos para alcanzar la nota aprobatoria
Etapas II: Difusión y Comprensión de Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS)	En esta etapa el Instructor difundirá los Procedimientos Escrito de trabajo Seguro (PETS) de las tareas, pasos y actividades a realizar con el equipo dentro de la operación, evaluándose al final el nivel de comprensión y aplicación, la nota aprobatoria será de 100% para continuar a la siguiente etapa.

Etapa III: Capacitación Práctica en Simulador (si aplica)	En esta etapa el instructor mediante el simulador presentará al participante con diferentes sesiones de escenarios en situaciones reales dentro de mina: prácticas operativas, condiciones adversas, respuesta a emergencias. Evaluando cada caso según el criterio de número de errores cometidos. La nota mínima para aprobar el módulo eventos operativos es de 100% y de errores del operador es de 95% (≤ 10 errores) para continuar a la siguiente etapa.
Etapa IV: Adecuación Práctica con el Instructor o Monitor	En esta etapa el instructor o monitor deberá demostrar y enseñar al participante las técnicas de operación en las diferentes aplicaciones de acuerdo con el manual de operación y PETS de los equipos. Durante este proceso el participante desarrollará sus habilidades y conocimientos en la operación del equipo. Nota: El participante por ningún motivo debe estar solo en la operación del equipo, el responsable será el instructor/monitor hasta culminar su adecuación.
Etapa V: Evaluación Final de Práctica del participante	Al final de su capacitación y entrenamiento el participante demostrará la actitud, habilidad y conocimiento en la operación del equipo, la nota mínima de aprobatoria será de $\geq 85\%$. El único responsable de evaluar y autorizar al operador será el instructor de operaciones mina.

Nota. Proceso de entrenamiento correspondiente al programa de adecuación 01.

3.1.2. Operadores con experiencia - Adecuación (2)

El programa tiene por objetivo capacitar a operadores con experiencia provenientes de otras unidades mineras en la operación de equipos de diferentes modelos y similar capacidad (validado por entrenamiento mina), respecto de operaciones mina MARCOBRE S.A.C. Este programa también tiene como objetivo desarrollar a los operadores que se encuentran trabajando en la empresa para operar otros equipos, antes de iniciar el proceso de entrevistas su supervisor enviará un correo a Entrenamiento Mina para la verificación de su curriculum vitae del operador indicando (si tienen experiencia en otros equipos). En este programa también pueden participar operadores que se encuentran trabajando en la empresa, para ser entrenados en un equipo diferente al que están autorizados como parte de su desarrollo. El supervisor de guardia enviará un correo al supervisor de Mejora Mina para la verificación del curriculum vitae del operador indicando, a continuación, el operador debe pasar por una entrevista. Las etapas del entrenamiento tienen la misma secuencia que en adecuación 01 (ver TABLA I).

3.1.3. Programa de capacitación en simulador (anual)

En esta etapa el instructor mediante el simulador de equipos presentó al participante escenarios con situaciones de trabajo que se practican dentro de mina. La capacitación en el simulador solo aplica a operadores de Camión minero 793D CAT y Pala Hitachi EX5600E. Se desarrolló un entrenamiento anual en simulador para la flota de camiones 793D CAT, este programa deberá contener los siguientes eventos operativos

del escenario:

- Alta Temperatura del Diferencial
- Alto Voltaje del Sistema.
- Baja presión hidráulica de la dirección.
- Bajo Nivel de Aceite del Motor.
- Bajo Voltaje del Sistema.
- Camino mojado (pérdida de control en pendiente negativa).
- Falla en el auto retardante
- Falla de la dirección.
- Falla del freno de servicio.
- Reporte de incendio.
- Falla de motor.
- Fuego en el motor.
- Fuego en neumático.
- Grieta en el botadero
- Lluvia, neblina.
- Presión de aceite muy baja.
- Nivel de refrigerante bajo.
- Pasando un camión descompuesto
- Pérdida de tracción colina arriba (patinaje en pendiente positiva).
- Derrape del camión.
- Pérdida de presión de aire
- Baja presión de dirección.
- Sobrecalentamiento del convertidor de torque.
- Alta temperatura del aceite del freno hidráulico.
- Bajo nivel de aceite motor
- Falla en el ARC
- Falla en los frenos frontales.
- Pruebas de preoperacionales de los frenos, TCS.

La nota mínima para aprobar el módulo eventos operativos es de 100% y de errores del operador es de 95% (≤ 10 errores).

3.1.4. Auditoría del documento

El cumplimiento del Proceso de entrenamiento será monitoreado por el Supervisor de Mejora Mina en coordinación con la supervisión de mina. Si determina que el proceso requiere alguna implementación por alguna nueva actividad o inclusión de algún requerimiento legal o corporativo se deberá coordinar una inmediata revisión para asegurar su aplicabilidad. El documento puede requerir revisión y actualización debido a lo siguiente:

- Cuando un nuevo detalle para el control de autorización de operadores ha sido desarrollado.
- Cuando las auditorías internas del plan de gestión identifican que requiere ser mejorado.
- Cuando una auditoría del gobierno y del corporativo identifica la necesidad de mejora.
- Cuando un incidente o pérdida relacionado a la operación ha ocurrido como consecuencia del proceso de Autorización para operar equipos y que durante la

investigación se han identificado planes de acción y oportunidades de mejora.

3.1.5. Otras Consideraciones

- a) En caso de que el operador con experiencia se ausente por un periodo mayor a 06 meses, el supervisor de guardia será responsable de comunicar al área de entrenamiento para la reinducción respectiva:
 - Procedimientos en sala de 2 horas por el instructor.
 - Reentrenamiento practico en campo de 4 horas con instructor o monitor.
- b) En el caso de certificación del personal cablero, adicional al entrenamiento por el instructor de cables deberán contar con las certificaciones del vendedor de cables y conectores y el curso de riesgos eléctricos en minería.
- c) Equipos que no cuenten con asientos de copiloto, el instructor o monitor deberá monitorear desde el piso al operador que se encuentra en entrenamiento en la operación del equipo, esto debe realizarlo sin abandonar al operador.
- d) Los cursos teóricos de conocimiento y PETS solo tendrán una validez de 6 meses, después de ese periodo se debe realizar nuevamente el proceso.
- e) El responsable de realizar el reporte cada 50 Horas del entrenamiento de Operadores de FORMACIÓN será el Instructor o Monitor.
- f) Operador nuevo autorizado: Operador que se encuentra dentro de un proceso de acumulación de horas de operación del equipo, desde que ha sido AUTORIZADO (licencia interna) y/o culminado sus horas con instructor o monitor de acuerdo con su proceso.
 - **Adecuación 1, Adecuación 2:** El supervisor de mina, debe realizar 01 OPT cada 20 horas, desde que el personal está autorizado hasta completar 100 h de trabajo (5 OPT).

Nota: La supervisión de mina, será responsable de realizar el seguimiento al cumplimiento de las OPT de los operadores nuevos y deberá entregar las OPT para su custodia físico o virtual (escaneado).

3.2. Percepción del plan de entrenamiento para los operadores de palas y camiones en minera Marcobre

Se midió la percepción del plan de entrenamiento que reciben los operadores de palas y camiones en minera Marcobre, mediante una encuesta para identificar áreas de mejora que permitan desarrollar un programa más completo.

TABLA II
LISTA DE OPERADORES ENCUESTADOS

PROGRAMA	OPERADORES
Adecuación	Eduardo Cruzatti

01 Palas	Walter Jack Perez Carlos Humberto Sánchez
Adecuación 02 Palas	Flavio Orlando Solís Fredí Llave Pallani Moisés Figueroa William Arroyo Ronald Carrera
Adecuación 01 Camiones	Steve Barrios Joaquín Calle Ismael Calloapaza Gilmer Camacho Andy Álvarez Wilson Ariste
Adecuación 02 Camiones	Roger Ayala Max Del Águila Héctor Espinoza Rely Fernández

Nota. Datos generales de los operadores que participaron del programa de entrenamiento.

TABLA III
ANÁLISIS DE FIABILIDAD OPERADORES DE PALAS

Fiabilidad Alfa de Cronbach	
Valor	N de elementos
0.775	11

Nota. Estadístico procesado en el programa SPSS.

TABLA IV
ANÁLISIS DE FIABILIDAD OPERADORES DE CAMIONES

Fiabilidad Alfa de Cronbach	
Valor	N de elementos
0.755	11

Nota. Estadístico procesado en el programa SPSS.

El análisis de confiabilidad indicó 0.775 para los encuestados que operan las palas, y 0.755 para los encuestados que operan los camiones; lo cual se considera un nivel aceptable de fiabilidad. Es decir, los ítems tienen una consistencia interna moderada y el instrumento se consideró razonablemente confiable.

3.2.1. Análisis de encuestas – operadores de palas Hitachi EX5600E

A continuación, se realizó el análisis de la encuesta realizada a los operadores de palas Hitachi EX5600F, centrado en el nivel de satisfacción.

TABLA V
FRECUENCIAS - NIVEL DE SATISFACCIÓN CON EL PROGRAMA

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
muy satisfecho	2	33.3	33.3	33.3
satisfecho	2	33.3	33.3	66.7

neutral	1	16.7	16.7	83.3
insatisfecho	1	16.7	16.7	100.0
Total	6	100.0	100.0	

Nota. Valores obtenidos del programa SPSS.

El 66.7% de los encuestados indicaron estar entre MUY SATISFECHOS y SATISFECHOS con las operaciones diarias en la mina respecto a la capacitación recibida.

3.2.2. Análisis de encuestas – operadores de camión 793D CAT

A continuación, se realizó el análisis de la encuesta realizada a los operadores de los camiones 793D Cat, centrado en el nivel de satisfacción.

TABLA VI
FRECUENCIAS - NIVEL DE SATISFACCIÓN CON EL PROGRAMA

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
muy satisfecho	5	41.7	41.7	41.7
satisfecho	3	25.0	25.0	66.7
neutral	2	16.7	16.7	83.3
insatisfecho	2	16.7	16.7	100.0
Total	12	100.0	100.0	

Nota. Valores obtenidos del programa SPSS.

El 83.3% de los encuestados indicaron estar en el rango de NEUTRAL a MUY SATISFECHOS con las operaciones diarias en la mina respecto a la capacitación recibida.

3.3. Rendimiento de los operadores entrenados en comparación con los no entrenados

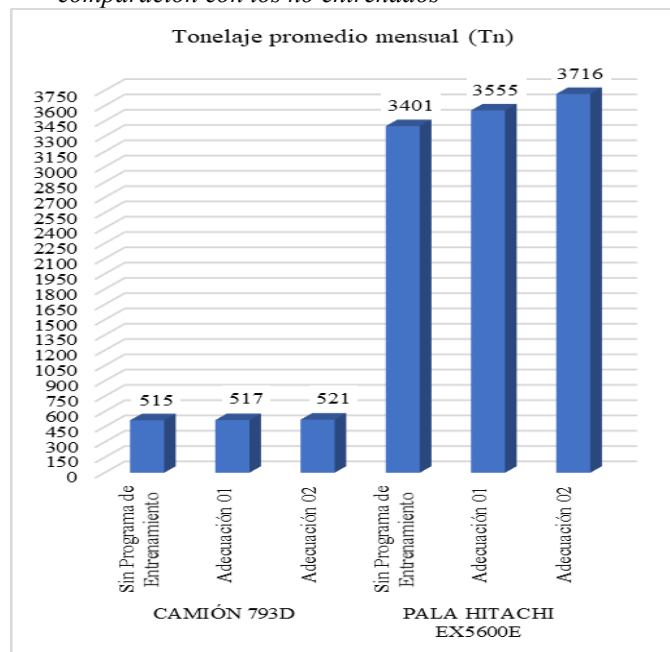


Fig. 1 Comparación final de la producción mensual promedio – Camiones y Palas

Nota. Se comparó la producción mensual promedio obtenido por los operadores que no fueron parte del programa de entrenamiento con los que integraron los grupos de Adecuación 01 y 02.

En la figura 7 se observa la producción promedio mensual obtenida por los operadores de los camiones 793D. La diferencia entre los valores alcanzados por quienes no participaron en el programa y el grupo de adecuación 01 fue de 2 toneladas mensuales, lo que equivale a un total de 24 toneladas anuales (4%). Asimismo, la diferencia con el grupo de adecuación 01 fue de 6 toneladas mensuales, alcanzando un total de 72 toneladas anuales (14%).

Por otro lado, la producción promedio mensual obtenida por los operadores de las palas EX5600, indica que, la diferencia entre los valores alcanzados por quienes no participaron en el programa y el grupo de adecuación 01 fue de 154 toneladas mensuales (4.5%), lo que equivale a un total de 1848 toneladas anuales. Asimismo, la diferencia con el grupo de adecuación 01 fue de 315 toneladas mensuales (9.2%), alcanzando un total de 3780 toneladas anuales.

TABLA VII
ANOVA – DATOS DE LAS PALAS EX5600

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Producción enero	Entre grupos	279728.22	2.00	139864.11	4.03	0.08
	Dentro de grupos	208378.67	6.00	34729.78		
	Total	488106.89	8.00			
Producción febrero	Entre grupos	304717.56	2.00	152358.78	4.33	0.07
	Dentro de grupos	210972.67	6.00	35162.11		
	Total	515690.22	8.00			
Producción marzo	Entre grupos	3463352.67	2.00	1731676.33	1.30	0.34
	Dentro de grupos	7976029.33	6.00	1329338.22		
	Total	11439382.00	8.00			
Producción abril	Entre grupos	2822194.89	2.00	1411097.44	0.96	0.43
	Dentro de grupos	8782593.33	6.00	1463765.56		
	Total	11604788.22	8.00			
Producción mayo	Entre grupos	11843260.67	2.00	5921630.33	4.04	0.08
	Dentro de grupos	8784139.33	6.00	1464023.22		
	Total	20627400.00	8.00			
Producción junio	Entre grupos	4189200.67	2.00	2094600.33	1.68	0.26
	Dentro de grupos	7487105.33	6.00	1247850.89		
	Total	11676306.00	8.00			
Producción julio	Entre grupos	46299.56	2.00	23149.78	0.76	0.51
	Dentro de grupos	183786.67	6.00	30631.11		
	Total	230086.22	8.00			

Producción agosto	Entre grupos	126784.89	2.00	63392.44	2.32	0.18
	Dentro de grupos	164278.67	6.00	27379.78		
	Total	291063.56	8.00			
Producción septiembre	Entre grupos	3947912.67	2.00	1973956.33	1.42	0.31
	Dentro de grupos	8343685.33	6.00	1390614.22		
	Total	12291598.00	8.00			
Producción octubre	Entre grupos	299584.22	2.00	149792.11	2.19	0.19
	Dentro de grupos	410092.67	6.00	68348.78		
	Total	709676.89	8.00			
Producción noviembre	Entre grupos	5384224.22	2.00	2692112.11	2.14	0.20
	Dentro de grupos	7533926.67	6.00	1255654.44		
	Total	12918150.89	8.00			
Producción diciembre	Entre grupos	2965212.67	2.00	1482606.33	1.00	0.42
	Dentro de grupos	8876707.33	6.00	1479451.22		
	Total	11841920.00	8.00			

Nota. Valores obtenidos del programa SPSS.

El p-valor: $p > 0.05$, por lo cual no se puede afirmar que existan diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos obtenidos por los operadores de palas hidráulicas EX5600 del programa de adecuación 01, programa de adecuación 02 y los que no participaron del mismo.

TABLA VIII
ANOVA – DATOS DE LAS CAMIONES 793D

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Producción enero	Entre grupos	887.111	2	443.556	0.401	0.676
	Dentro de grupos	16577.333	15	1105.156		
	Total	17464.444	17			
Producción febrero	Entre grupos	5284.778	2	2642.389	2.339	0.131
	Dentro de grupos	16949.000	15	1129.933		
	Total	22233.778	17			
Producción marzo	Entre grupos	4020.333	2	2010.167	2.102	0.157
	Dentro de grupos	14341.667	15	956.111		
	Total	18362.000	17			
Producción abril	Entre grupos	582.111	2	291.056	0.151	0.861
	Dentro de grupos	28866.333	15	1924.422		
	Total	29448.444	17			
Producción mayo	Entre grupos	56.333	2	28.167	0.046	0.956

Producción junio	Dentro de grupos	9278.167	15	618.544		
	Total	9334.500	17			
	Entre grupos	3525.778	2	1762.889	1.585	0.237
Producción julio	Dentro de grupos	16685.333	15	1112.356		
	Total	20211.111	17			
	Entre grupos	289.333	2	144.667	0.356	0.706
Producción agosto	Dentro de grupos	6087.167	15	405.811		
	Total	6376.500	17			
	Entre grupos	1068.778	2	534.389	0.525	0.602
Producción septiembre	Dentro de grupos	15269.667	15	1017.978		
	Total	16338.444	17			
	Entre grupos	131.444	2	65.722	0.096	0.909
Producción octubre	Dentro de grupos	10219.000	15	681.267		
	Total	10350.444	17			
	Entre grupos	980.778	2	490.389	0.694	0.515
Producción noviembre	Dentro de grupos	10596.333	15	706.422		
	Total	11577.111	17			
	Entre grupos	1568.778	2	784.389	0.795	0.470
Producción diciembre	Dentro de grupos	14792.833	15	986.189		
	Total	16361.611	17			
	Entre grupos	86.111	2	43.056	0.184	0.834
Producción	Dentro de grupos	3505.667	15	233.711		
	Total	3591.778	17			

Nota. Valores obtenidos del programa SPSS.

El p-valor: $p > 0.05$, por lo cual no se puede afirmar que existan diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos obtenidos por los operadores de camiones 793D del programa de adecuación 01, programa de adecuación 02 y los que no participaron del mismo.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se planteó como primer objetivo desarrollar un programa de entrenamiento para operadores de palas y camiones, basado en las mejores prácticas y tecnologías actuales en la operación minera. La capacitación en maquinaria pesada enfrenta desafíos relacionados con la prevención de riesgos laborales y la optimización económica de las operaciones. El programa se estructuró en dos grupos: Adecuación Uno (1), para operadores con experiencia en equipos del mismo modelo y marca de la mina Marcobre; y Adecuación Dos (2), para quienes poseen experiencia en diferentes modelos y

capacidades similares en otras minas, con un puntaje mínimo de aprobación del 85% [3]. En otro estudio se diseñó un sistema de entrenamiento para la operación de subestaciones eléctricas, dividido en módulos para instructores y operadores, empleando un algoritmo en LabView para proteger la seguridad laboral y mejorar la capacitación [23]. La diferencia principal radica en que la investigación en minería se centró en evaluar la experiencia previa y las competencias de los operadores, mientras que el antecedente en sistemas eléctricos utilizó tecnología avanzada para fortalecer la seguridad y la formación técnica en subestaciones. Ambos enfoques resaltan la importancia de incorporar tecnología y evaluación de habilidades para optimizar la capacitación en distintos ámbitos industriales.

El segundo objetivo del estudio fue analizar la percepción del plan de entrenamiento para operadores de palas y camiones en la minera Marcobre, identificando áreas de mejora. Ref. [8] señala que, una capacitación efectiva reduce errores operativos, minimizando daños a los equipos y mejorando la producción. Los resultados mostraron que el 66.7% de los operadores de palas EX5600 estaban entre muy satisfechos y satisfechos con la capacitación recibida, mientras que el 83.3% de los operadores de camiones 793D reportaron niveles similares de satisfacción, en el rango de neutral a muy satisfechos. En el estudio realizado por otros autores encontraron que el 76% y el 24% de los encuestados estaban muy de acuerdo y de acuerdo, respectivamente, en que las capacitaciones contribuyen a una operación eficiente, y el 84% y 16% consideraron que la información proporcionada es la necesaria [18]. Si bien ambos estudios reflejan una percepción positiva hacia los programas de entrenamiento, los niveles de satisfacción en el presente estudio son ligeramente menores, lo que se debe a diferencias en las experiencias de los operadores y en la efectividad de los programas de capacitación en distintos contextos.

Se planteó como tercer objetivo realizar un análisis comparativo del rendimiento de los operadores entrenados con los no entrenados, para determinar el impacto del programa en las operaciones de carguío y acarreo. Según otros autores el rendimiento de equipos en carguío y acarreo se refiere a la eficiencia y efectividad con la que los equipos de maquinaria, como cargadoras y camiones de transporte, realizan las actividades de carga, transporte y descarga de materiales en distintos contextos, como la minería, la construcción o la logística. En la investigación se obtuvieron los siguientes valores: la producción promedio mensual de los operadores de los camiones 793D, correspondientes a los programas de adecuación 01 y 02, registró una mejora del 4% y 14% anual, respectivamente. Asimismo, la producción promedio mensual de los operadores de las palas EX5600 en los programas de adecuación 01 y 02 alcanzó una mejora del 4.5% y 9.2% mensual, respectivamente [28]. En el estudio realizado por otro autor los resultados obtenidos indicaron que la formación de los operadores de motoniveladora resultó ser la menos

efectiva con una mejora del 10% , ya que el rendimiento máximo logrado fue de 11,300 m³/h [5]. La diferencia de los resultados actuales muestra mejoras sustanciales en la productividad tras la implementación de programas de capacitación o adecuación, aunque en el caso del antecedente, la mejora fue menor y específica para un tipo de maquinaria, sugiriendo que la efectividad de los programas puede variar dependiendo del equipo y las condiciones del estudio.

La principal limitación del estudio está relacionada con la duración del programa de entrenamiento y la evaluación de su impacto durante el período de un año. La falta de un seguimiento a largo plazo dificultó la comprensión de la sostenibilidad de los beneficios alcanzados, ya que los cambios en el comportamiento de los operarios y en la eficiencia de las operaciones pueden variar con el tiempo. Además, la implementación del programa se vio afectada por variables externas no controladas, como la motivación del personal, la resistencia al cambio y las condiciones laborales, las cuales influyen en la efectividad del entrenamiento y, en consecuencia, en los resultados obtenidos. La resistencia al cambio por parte de los operarios y las dificultades en la puesta en marcha del programa también condicionaron su efectividad.

Una forma de mejorar estas limitaciones en estudios futuros sería implementar un seguimiento a largo plazo, que permita evaluar la sostenibilidad de los beneficios del programa de entrenamiento más allá del período de un año. Esto podría realizarse mediante evaluaciones periódicas a lo largo de varios años y el uso de métricas de rendimiento que reflejen cambios duraderos en la conducta de los operarios y en la eficiencia operativa.

Con el presente estudio se demuestra que la implementación de programas de entrenamiento está estrechamente relacionada con la mejora en las competencias de los operarios, lo que a su vez puede traducirse en “una disminución de errores, mayores niveles de seguridad y un aumento en la eficiencia de las actividades de carguío y acarreo” [28]. Se puede destacar que la formación adecuada del personal permite optimizar los procesos operativos, reduciendo tiempos muertos y aumentando la capacidad de producción, aspectos fundamentales en un entorno minero donde la eficiencia es clave para la rentabilidad. La tesis demuestra que la aplicación de un programa de entrenamiento en minera Marcobre tiene implicancias profundas en la eficiencia, seguridad y desarrollo del personal, aspectos que son fundamentales para el éxito de las operaciones mineras modernas. La inversión en capacitación se revela como una estrategia clave para optimizar los recursos y alcanzar los objetivos de productividad y sostenibilidad en el sector minero.

Conclusiones

El programa de entrenamiento en Marcobre logró adaptar la capacitación a los diferentes niveles de los operadores,

mejorando la eficiencia y seguridad en las operaciones, con percepciones positivas superiores al 50% y aumentos en productividad mayores al 4%, aunque aún requiere perfeccionamiento en ciertos aspectos; en conjunto, contribuye significativamente a optimizar las operaciones mineras.

El desarrollo del programa de entrenamiento para operadores de palas y camiones permitió adaptar la capacitación a las diferentes experiencias y niveles de competencia de los operadores, asegurando la transferencia de las mejores prácticas y tecnologías actuales en la operación minera. La segmentación en dos grupos, basada en la experiencia previa, facilitó una formación más específica y efectiva, contribuyendo a mejorar la eficiencia y seguridad en las operaciones, y cumpliendo con el estándar de aprobación establecido del 85%.

La percepción de los operadores respecto al plan de entrenamiento en la minera Marcobre es en su mayoría positiva, con el 66.7% de los operadores de palas EX5600 estaban entre muy satisfechos y satisfechos con la capacitación recibida, mientras que el 83.3% de los operadores de camiones 793D reportaron niveles similares de satisfacción, en el rango de neutral a muy satisfechos. Sin embargo, estos resultados también evidencian áreas de mejora, especialmente para aquellos operadores que expresaron una satisfacción neutral o menor.

El programa de entrenamiento tuvo un impacto positivo en el rendimiento de los operadores, evidenciado por las mejoras en la producción promedio mensual tanto en los camiones 793D como en las palas EX5600. Específicamente, los operadores que participaron en los programas de adecuación 01 y 02 lograron incrementar su productividad. Los operadores del programa de adecuación 02 destacaron con los mejores resultados, alcanzando un aumento anual del 14% en la operación de camiones y un incremento mensual del 9.2% en el uso de palas. Esto sugiere que la capacitación contribuyó positivamente, aunque no se puede afirmar con certeza que existan diferencias estadísticamente significativas.

Se recomienda implementar un sistema de retroalimentación continua que incluya evaluaciones periódicas, encuestas de satisfacción y ajustes en capacitación para identificar y corregir áreas de mejora. Se deben usar indicadores como mejoras en los ciclos de retroalimentación, satisfacción de operadores, cumplimiento del estándar del 85% y reducción de errores. Además, ampliar la capacitación a otros equipos clave (cargadores, perforadoras, equipos auxiliares) con contenidos adaptados a su nivel de experiencia, promoviendo mejores prácticas y tecnologías actualizadas. Es importante incluir módulos en mantenimiento preventivo y gestión de riesgos, mediante reuniones, registros y coaching para mejorar el desempeño. Para afrontar posibles obstáculos (resistencia al cambio, recursos limitados, tiempo), se recomienda involucrar a líderes, comunicar beneficios,

aprovechar tecnologías digitales, gestionar el cambio y ofrecer incentivos para facilitar la participación y mejora continua.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por haberme otorgado la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias en cada etapa de este importante proceso académico. A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y su confianza en mí incluso en los momentos más difíciles. Su presencia y respaldo han sido fundamentales para alcanzar esta meta y fortalecer mi espíritu durante todo el camino. Finalmente, agradezco a la Universidad Privada del Norte por brindarme las herramientas, el apoyo académico y el entorno propicio para desarrollar mis habilidades y crecer tanto a nivel profesional como personal.

REFERENCIAS

- [1]. Gómez, L., Pérez, R., & Torres, M. (2019). Innovaciones en la minería: mejoras en la productividad y sostenibilidad. *Revista Internacional de Ingeniería y Tecnología Minera*, 15(2), 40-50.
- [2]. Muñoz, A., Pérez, L., & Torres, R. (2020). Efectos de la capacitación en la productividad de los operadores de maquinaria en minería. *Journal of Mining Engineering*, 12(2), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jme.2020.02.001>
- [3]. López, J., & García, M. (2021). Sostenibilidad en la minería: Prácticas operativas y su impacto ambiental. *Revista de Ingeniería Minera*, 45(3), 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.rim.2021.03.005>
- [4]. Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2022). *Reporte de producción minera*. Recuperado de <https://www.minem.gob.pe>
- [5]. Pérez, G. (2018). "Estrategias de formación de personal local enfocada a la productividad de un operador de equipos en el proyecto Las Bambas 2015". (Tesis pre grado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.
- [6]. Huang, Y., Lee, S., & Chen, M. (2020). "Training effectiveness and its impact on operational performance in construction". *International Journal of Project Management*, 38(2), 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.11.005>
- [7]. Khabiri, M., Askarany, D., & Rahimi, A. (2019). "The role of operator skills in equipment efficiency: Evidence from the mining sector". *Resources Policy*, 62, 520-528. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.05.009>
- [8]. Baxter, J., & Tatum, C. (2020). "The impact of operator training on equipment performance in mining". *Journal of Mining Science*, 56(3), 123-134. <https://doi.org/10.1007/s10913-020-00645-4>
- [9]. Cruz, L. (2023). "Implementación de software para entrenamiento de operadores basado en datos de maniobras reales en seccionadores S.E. Socabaya 220KV con barra de transferencia". (Tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- [10]. Miller, R., & Lewis, D. (2023). "Sustainability in mining: The role of operator training". *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106568. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106568>
- [11]. Mendoza, J. (2023). "Entrenamiento de operadores en mina: Importancia y mejores prácticas". *Revista de Minería y Seguridad*, 15(3), 45-58. <https://www.revistamineryseguridad.com/articulo123>
- [12]. Gibbons, J., & Templar, S. (2020). *Optimizing team performance: A practical guide*. Business Expert Press.

- [13]. Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2019). *Operations management: Process and supply chain management* (12th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/operations-management-process-and-supply-chain-management/P100000003563/9780134731594>
- [14]. Zhang, L., Wang, Y., & Zhao, X. (2021). "Effects of operator training on the performance of mining equipment: A case study". *Journal of Cleaner Production*, 291, 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125136>
- [15]. Rodríguez, M. (2019). *Manejo de materiales en minería: Carguío y acarreo*. Editorial Minera.
- [16]. Sánchez, L. (2020). *Principios de ingeniería minera*. Ediciones Técnicas.
- [17]. Caire, L. (2023). "Capacitación y entrenamiento del personal de operaciones previo a la operación del mega proyecto de ingeniería - PMRT". Tesis pre grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- [18]. García, M. et al. (2023). "Plan de formación para la operación eficiente de equipos por parte del personal operativo de la empresa J.R.C. Ingeniería y Construcción en la unidad minera el Brocal". Tesis Postgrado. Universidad del Pacífico. Lima, Perú.
- [19]. González, M. A., López, J. M., & Rodríguez, P. (2019). *Impacto del entrenamiento en la eficiencia operativa de la minería*. *Revista de Minería y Recursos Naturales*, 15(2), 45-58.
- [20]. Martínez, J., & Pérez, L. (2020). *Estrategias para la optimización del rendimiento en operaciones de carguío y acarreo en minería*. *Journal of Mining Science*, 56(3), 350-362.
- [21]. Ramírez, F., & Torres, A. (2021). *Evaluación de programas de capacitación en la productividad minera: un estudio de caso*. *Mining Engineering Journal*, 78(4), 112-119.
- [22]. International Council on Mining and Metals. (2022). *Sustainable Development Framework*. Recuperado de: <https://www.icmm.com>
- [23]. Yanza, A. (2021). "Desarrollo de un sistema de entrenamiento para operación de subestaciones eléctricas, orientado a operadores de subestaciones de CELEC EP utilizando el entorno de programación LabVIEW". (Tesis pre grado). Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.
- [24]. Organización Internacional del Trabajo. (2020). *Informe sobre seguridad y salud en el trabajo en la minería*. Recuperado de: <https://www.ilo.org>
- [25]. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- [26]. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2020). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- [27]. Sánchez, J. (2020). *Muestreo no probabilístico: Teoría y práctica en la investigación social*. Editorial Universitaria.
- [28]. García, P., López, R., & Medina, S. (2020). *La formación del personal y su impacto en la eficiencia operativa en minería*. *Revista Internacional de Ingeniería y Minería*, 8(3), 112-125. <https://doi.org/10.5678/riim.v8i3.2020>