

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS DEL CICLO EN EL PROCESO DE ACARREO DE MINERAL MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN LINEAL, EN UNA UNIDAD MINERA EN LA REGION LA LIBERTAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

**Autor:**

Lorenzo Arteaga Flores

**Asesor:**

Ing. Luis Roberto Quispe Vásquez

Cajamarca - Perú

2021

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática .....	10
1.2. Formulación del problema .....	18
1.3. Objetivos .....	19
1.4. Hipótesis .....	19
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
2.1. Tipo de investigación.....	20
2.2. Población y muestra.....	21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	22
2.4. Procedimientos de recolección de datos .....	24
2.5. Análisis de datos/Análisis estadístico .....	25
2.5. Aspectos éticos.....	25
2.6. Matriz de operacionalización de variables.....	27
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
3.1. Diagnóstico del proceso de acarreo de mineral .....	28
3.2. Aplicación de la Programación Lineal.....	36

3.3. Evaluación de la mejora en el proceso de acarreo .....	46
3.4. Evaluación del costo por la aplicación de la Programación Lineal .....	49
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
4.1. Discusión.....	54
4.2. Conclusiones .....	57
4.3. Recomendaciones .....	59
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables.....	27
Tabla 3 Causas del problema en el proceso de acarreo .....	29
Tabla 4 Demoras que afectan en el proceso de acarreo de mineral .....	33
Tabla 5 Proporción de demoras que afectan el proceso de acarreo por mes .....	34
Tabla 6 Número de horas máquina .....	35
Tabla 7 Número de toneladas producidas de material .....	35
Tabla 8 Costo de equipos.....	36
Tabla 9 Resultados con Tora.....	41
Tabla 10 Resultados con Solver.....	42
Tabla 11 Análisis de Sensibilidad con Tora .....	43
Tabla 12 Análisis de Sensibilidad con Solver.....	44
Tabla 13 Ciclos perdidos por categoría .....	47
Tabla 14 Costo de demoras en equipos de acarreo .....	49
Tabla 15 Resultados Método Simplex .....	50
Tabla 16 Flujos de Caja .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 17 Flujos de Caja con mejoras .....	53
Tabla 18 Comparación Indicadores de Inversión .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama Ishikawa.....	29
<b>Figura 2.</b> Diagrama de Pareto .....	30
<b>Figura 3.</b> Ciclos perdidos al mes por categorías de demora .....	48
<b>Figura 4.</b> Costos al mes por categorías de demora .....	51

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo optimizar la producción del acarreo de mineral mediante la Programación Lineal para minimizar los costos en una unidad minera en la región LA LIBERTAD. El trabajo de investigación fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo - explicativo, diseño cuasi experimental y de método deductivo. Con una población que estuvo conformado por seis camiones mineros y un cargador frontal (activos de la empresa). Asimismo, la técnica de muestreo empleada fue el no probabilístico y el tamaño de la muestra fue el mismo que la población. Se concluyó que, por medio de la aplicación la Programación Lineal, permitió minimizar los ciclos de demoras, significando para la empresa resultados positivos en la producción como en las utilidades. Es decir, se pudo recuperar \$. 4,438.39 dólares mensuales en alquiler de equipos en el ciclo de acarreo. Finalmente se recomendó a la empresa dar un mayor énfasis en el empleo de la programación lineal en otras operaciones mineras, tales como en la explotación de minerales, estimación e inventario de recursos y reservas de la mina, entre otros.

**Palabras clave:** Programación Lineal y optimización.

## ABSTRACT

The objective of this research is to optimize the production of ore hauling through the LINEAR PROGRAMMING to minimize costs at. Mining Unit. of the LA LIBERTAD. The research work was applied, with a quantitative approach, descriptive-explanatory level, quasi-experimental design and deductive method. With a population that consisted of six mining trucks and a front loader (company assets). Likewise, the sampling technique used was non-probabilistic and the sample size was the same as the population. It was concluded that through the application of the linear programming, it will minimize the hours of delays, meaning for the company, positive results in production as well as in profits. That is, \$ could be recovered. \$ 1,130.00 per month for equipment rental in the hauling cycle. Finally, a company with greater emphasis on the use of linear programming in other mining operations is recommended, such as in the exploitation of minerals, estimation and inventory of resources and reserves of the mine, among others.

**Keywords:** Linear Programming and optimization.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**



## REFERENCIAS

- Acero, L. (2017). *Aplicación de método simplex para un modelo en la producción de leche y sus derivados en pequeños y medianos productores*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6524/Acero\\_Coaquira\\_Luz\\_Marina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6524/Acero_Coaquira_Luz_Marina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: EPISTEME. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/27298565\\_El\\_Proyecto\\_de\\_la\\_Investigacion\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Metodologia\\_Cientifica](https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Investigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica)
- Batis consultores. (2 de 3 de 2020). *Online-tesis*. Obtenido de <https://online-tesis.com/tecnicas-de-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-de-investigacion/>
- Cabezas, E., Naranjo, D., & Santamaría, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de [repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf](http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf)
- Cahuari, A. (2019). *Optimización del uso de los equipos de carguío y acarreo en minería superficial en la compañía minera Corporación del Centro Gold Mining S.A.C. - región La Libertad*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12152>
- Campaña, D. (2011). *Modelo matemático de programación lineal para optimizar la selección de fertilizantes a través de la disminución de costos en el cultivo de papa*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7763/1/CD-3893.pdf>
- Campos, M., & Ricra, R. (2017). *Impacto de la programación lineal con el uso de solver en la optimización de las operaciones de carguío-acarreo de mineral en la mina Lagunas Norte, La Libertad, 2017*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12985/Campos%20V%C3%A1>

- squez%20Miguel%20%20C3%81ngel%20-  
%20Ricra%20Quispe%20Rolan%20Diesel\_total.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Cárcamo, E. (14 de 3 de 2019). *ESAN*. Obtenido de ESAN: <https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2019/03/14/la-importancia-de-la-gestion-financiera-aplicada-a-la-mineria/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20es%20una%20actividad,multiplicador%20sobre%20otras%20actividades%20productivas.>
- Carranza, D., & Moncada, L. (2019). *Optimización de las Utilidades en la Empresa DM&E S.A.S mediante un Modelo de Programación Lineal que permita mejorar su Rendimiento Operacional*. Universidad Piloto de Colombia, Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6428/Optimizaci%C3%B3n%20de%20las%20Utilidades%20en%20la%20Empresa%20DM%26E%20S.A.S%20mediante%20un%20Modelo%20de%20Programaci%C3%B3n%20Lineal%20que%20permita%20mejorar%20su%20Rendimiento%20>
- Collado, E. (2017). *Modelamiento matemático para optimizar la carga metálica en un horno de fusión para la elaboración de fundiciones grises por el método de la programación lineal - método simplex*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4110/MTMcocaen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escamilla, M. (2003). Optimización de mezclas de minerales mediante programación lineal en una mina de mineral de hierro a cielo abierto. *Conciencia Tecnológica*(22), 6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/944/94402203.pdf>
- Galicia, S. (2013). *Modelo matemático determinístico simplex para optimizar los recursos en una distribuidora de materia prima para calzado en la ciudad de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_4386.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_4386.pdf)
- Girón, L. (2016). *Aplicación del modelo matemático simplex para optimizar los recursos de una empresa procesadora de verduras, ubicada en la ciudad capital*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03\\_5372.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_5372.pdf)

- Gómez, O., Aguilar, R., Quizhpe, L., & Quizhpe, Á. (2018). *Investigación de operaciones I para la administración*. Lima: CIDEPRO. Obtenido de [http://www.cidepro.org/images/pdfs/investigacion\\_operaciones.pdf](http://www.cidepro.org/images/pdfs/investigacion_operaciones.pdf)
- González, V., Barcia, K., & Sabando, D. (2018). *Modelo de Programación Lineal Aplicado a una Empresa PYME de Calzado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/327564501\\_Modelo\\_de\\_Programacion\\_Lineal\\_Aplicado\\_a\\_una\\_Empresa\\_PYME\\_de\\_Calzado](https://www.researchgate.net/publication/327564501_Modelo_de_Programacion_Lineal_Aplicado_a_una_Empresa_PYME_de_Calzado)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill Education. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Quispe, M. (2016). *Optimización de la mezcla en base al Mill Revenue (\$/ton) mediante el método simplex dentro de la Unidad Minera Yanacocha*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5350/QUISPE%20ESTELA%20C%20Marco%20Andr%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salazar, B. (11 de 6 de 2019). *Ingeniería Industrial Online*. Obtenido de Ingeniería Industrial Online: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/metodo-simplex/>
- Samán, L., & Orrillo, P. (2018). *Sistem de gestión de aprovisionamiento en el área de post cosecha y su incidencia en la productividad de la empresa Rosas e Invernaderos SAC, Cajamarca 2018*. Universidad Privada del Norte, Lima. Obtenido de [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15055/Sam%C3%A1n%20Gao%20Luis%20Alberto%20-%20Orrillo%20Ch%C3%A1vez%20Pepe%20Hugo\\_total.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15055/Sam%C3%A1n%20Gao%20Luis%20Alberto%20-%20Orrillo%20Ch%C3%A1vez%20Pepe%20Hugo_total.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Seguridad Minera. (20 de 3 de 2017). *Revista Seguridad Minera*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/el-carguio-y-transporte-y-su-relacion-con-otras-etapas-de-la-explotacion/#:~:text=El%20objetivo%20del%20cargu%C3%ADo%20y,resumir%20e%20la%20siguiente%20secuencia%3A&text=Transporte%20del%20materi>

Sena, J. (5 de 2 de 2019). *CAMIPE*. Obtenido de CAMIPE: <http://camiperd.org/la-importancia-de-la-mineria-responsable/>

Valencia, K. (2015). *Introducción al método simplex: forma tabular paso a paso*. Universidad Autónoma del Estado de México, México D.F. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31644/secme-16318.pdf?sequence=1&isAllowed=y>