



# ESCUELA DE POSTGRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

LEY MÍNIMA DE ORO EN LA SOLUCIÓN RICA PARA UNA PRODUCCIÓN RENTABLE EN UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN UNA EMPRESA MINERA.

Tesis para optar el grado de **MAESTRO** en:  
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

**Autor:**

Delmer Dante Fernandez Lazaro

**Asesor:**

Doctor. Jorge Eduardo Luján López

Perú

2022

## Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo general, determinar la ley mínima de oro en la solución rica (SR) para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una empresa minera. Para este estudio se consideró información una empresa minera ubicada en el departamento de Cajamarca. La información de las leyes de oro ha sido obtenida del periodo 2016 al 2021, y la información de costos se consideró del año 2018.

En el presente trabajo la población constó de cuatro sectores del Pad de lixiviación, y para la muestra, en base a un muestreo por conveniencia, se consideró al sector N°2 del Pad. El tipo de investigación fue no experimental, cuantitativo – aplicada y longitudinal, y con un nivel descriptivo.

En la presente investigación, se consideró los dos procesos de recuperación de oro que se utiliza en dicha minera: Merrill Crowe (MC) y Carbón en Columnas (CIC). Para ambos procesos se determinó su ley mínima de oro, con el fin de determinar, cual de dichos procesos es más rentable.

Los resultados concluyen que: La ley mínima de oro en la solución rica para procesar la Planta MC es de  $0.0365 \text{ g/m}^3$  (rentabilidad igual a 0%), leyes menores a esta implicaría pérdidas en el proceso MC. Mientras que, la ley mínima de oro en la Solución Rica para procesar la Planta CIC es de  $0.0374 \text{ g/m}^3$  (rentabilidad igual a 0%), leyes menores a esta implicarían pérdidas con el proceso CIC.

Así mismo, referente a la rentabilidad, se determinó que el proceso MC tiene mayor rentabilidad que el proceso CIC. A lo que diremos, a una ley en la SR de  $0.333 \text{ g/m}^3$ , en el MC se obtiene rentabilidades 27 % más que con el proceso CIC.

En cuanto al momento adecuado para el cierre del Pad de lixiviación, y una vez colocadas las últimas onzas de oro en el Pad, el cierre ha sido determinado luego de 3.7 meses para un proceso MC, y luego de 3.6 meses para el proceso CIC.

Palabras Clave: Ley mínima de oro, solución rica, producción rentable, proceso de recuperación de oro, Pad.

## Abstract

The general objective of this study was to determine the minimum gold grade in the rich solution (SR), for profitable production in a gold recovery process in a mining company. For this study, information from a mining company located in the department of Cajamarca was considered. The information on the gold grades has been obtained from the period 2016 to 2021, and the cost information was considered from the year 2018.

In the present work, the population consisted of four sectors of the leaching Pad, and for the sample, based on convenience sampling, sector N° 2 of the Pad was considered. The type of research is non-experimental, quantitative - applied and longitudinal, and with a descriptive level.

In the present investigation, the two gold recovery processes used in said mining were considered: Merrill Crowe (MC) and Carbon in Columns (CIC). For both processes, their minimum gold grade was determined, in order to determine which of these processes is more profitable.

The results conclude that: The minimum gold grade in the rich solution to process the MC Plant is  $0.0365 \text{ g/m}^3$  (profitability equal to 0%), grades lower than this would imply losses in the MC process. While the minimum gold grade in the rich solution to process the CIC Plant is  $0.0374 \text{ g/m}^3$  (profitability equal to 0%), grades lower than this would imply losses with the CIC process.

Likewise, regarding profitability, it was determined that the MC process has higher profitability than the CIC process. To what we will say, at a grade in the SR of  $0.333 \text{ g/m}^3$ , in the MC, returns are obtained 27% more than with the CIC process.

Regarding the right time for the closure of the leach Pad, and once the last ounces of gold have been placed in the pad, the closure has been determined after 3.7 months for a MC process, and after 3.6 months for the CIC process.

Keywords: Minimum gold grade, rich solution, profitable production, gold recovery process, Pad.

## Tabla de contenidos

Carátula	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Dedicatoria y agradecimiento	iv
Tabla de contenidos	v
Índice de tablas y figuras	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Realidad problemática	1
I.2. Pregunta de investigación	3
I.2.1. Pregunta general	3
I.2.2. Preguntas específicas	3
I.3. Objetivos de la investigación	3
I.3.1. Objetivo general	3
I.3.2. Objetivos específicos	3
I.4. Justificación de la investigación	3
I.5. Alcance de la investigación	4
II. MARCO TEÓRICO	5
II.1. Antecedentes	5
II.1.1. Antecedentes internacionales	5
II.1.2. Antecedentes nacionales	6
II.2. Bases teóricas	7
II.3. Marco conceptual (terminología)	25
III. HIPÓTESIS	26
III.1. Declaración de hipótesis	26
III.2. Operacionalización de variables	26
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS	27
IV.1. Tipo de investigación	27
IV.2. Nivel de investigación	27
IV.3. Diseño de investigación	28
IV.4. Método de investigación	28
IV.5. Población	28
IV.6. Muestra	28

IV.7. Técnicas de recolección de datos	29
IV.7.1. Técnica	29
IV.7.2. Instrumento	29
IV.8. Presentación de resultados	29
V. RESULTADOS	30
VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	44
VI.1. Discusión	44
VI.2. Conclusiones	49
VI.3. Recomendaciones	49
Lista de referencias	50
Apéndice	55

**Índice de tablas y figuras****Índice de tablas**

Tabla 1 Método Merrill Crowe vs Carbón activado	11
Tabla 2 Etapas del Proceso Merrill Crowe para Recuperar El Oro	12
Tabla 3 Ley de oro en la solución rica del drenaje 2. Promedios mensuales	30
Tabla 4 Producción mensual de oro respecto de la ley de oro en la SR para el proceso CIC	31
Tabla 5 Costo mensual para la producción de oro con el proceso CIC	32
Tabla 6 Ingresos mensuales por la producción de oro con el proceso CIC	32
Tabla 7 Rentabilidad mensual en función de la ley de oro de la solución rica con el proceso CIC	33
Tabla 8 Ley de oro en la solución rica del drenaje 2. Promedios mensuales	37
Tabla 9 Producción mensual de oro respecto de la ley de oro en la SR para el proceso MC	37
Tabla 10 Costo mensual para producción de oro con el proceso MC	38
Tabla 11 Ingresos mensuales por la producción de oro con el proceso MC	38
Tabla 12 Rentabilidad mensual en función de la ley de oro de la solución rica con el proceso MC	39
Tabla 13 Ley mínima de oro en la solución rica y tiempo para cierre de Pad de lixiviación	43
Tabla 14 Descripción comparativa de los procesos MC y CIC. Producción (oz) y costos unitarios (\$/oz) en función de la ley de oro de la Solución Rica para determinar la ley mínima de oro.	66

**Índice de figuras**

Figura 1	Proceso Minero de Recuperación de Oro	7
Figura 2	Merrill Crowe Precipitation Unit	13
Figura 3	Flow sheet de una planta de cianuración y extracción del oro por el método CIP	15
Figura 4	Carbón en lixiviación (CIL)	17
Figura 5	Flow sheet de una planta de cianuración y extracción del oro por el método CIC	18
Figura 6	Ley de oro vs tiempo – Proyecto La Zanja	20
Figura 7	Rentabilidad en función de la producción de oro con el proceso CIC	34
Figura 8	Ley de oro en la solución rica, en función de la producción de oro con el proceso CIC	35
Figura 9	Ley de oro en la solución rica respecto del tiempo. Determinar el tiempo cuando la rentabilidad es igual a cero en CIC	36
Figura 10	Rentabilidad en función de la producción de oro con el proceso MC	40
Figura 11	Ley de oro en la SR en función de la producción de oro con el proceso MC	41
Figura 12	Ley de oro en la solución rica respecto del tiempo. Determinar el tiempo cuando la rentabilidad es igual a cero en MC	42
Figura 13	Descripción de la Tendencia de Ley Au vs Tiempo (curva ajustada), para valorar la ley mínima de oro en la solución rica en una empresa minera.	64
Figura 14	Descripción de los Procesos y Actividades para la realización de Costos de Operación en Merrill Crowe y Carbón en Carbón	65

## **NOTA DE ACCESO**

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

## Lista de referencias

- Beckel, J. (2000). *El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile*. Santiago de Chile.
- Bernal, C. (2010). *Métodos de investigación en administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (3ra ed.). Universidad de Lasavana, Colombia: Pearson.
- Cápac, R. T. (2016). *Recuperación de oro de la solución barren proveniente del proceso cip mediante un sistema de columnas*. Tesis para optar el título profesional en Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Chambi, C. (2010). *Control de parámetros extractivos, para la optimización en la recuperación de minerales auríferos gruesos y argenticos de la Empresa Minera Ecovitaca Ltda*. Para obtener el título profesional de Ingeniero de minas. Universidad Nacional de San Agustín.
- Chang, R. (2015). *Química*. (6ta ed.). México: McGraw-Hill.
- Chiliquinga, M. & Vallejos, H. (2017). *Costos. Modalidad de ordenes de producción*. Ecuador: UTN.
- Echeverry, C. (2015). *Recuperación de Oro y Plata mediante lixiviación electrocinética en columna a escala laboratorio*. Tesis magistral. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, requisito para optar al título de: Magister en Ingeniería de Materiales y Procesos, Colombia.
- ECNA. (2000). *Estudios Mineros del Perú S.A.C*. Lima - Perú.
- EMDELP (2002). *Mineros el Perú*. Perú.
- Fernández, D. & Sevilla, W. (2002). *Investigación Metalúrgica N° 2805 – Pruebas de Columnas 2 M Ø – La Zanja*.
- Figuroa, H. & Flórez, S. (2010). *Aplicación de carbón activado a la recuperación de oro en la mina La Providencia* (Vetas, Santander). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Flores, A. (2015). *Estudio metalúrgico para la recuperación de plata y oro en minerales polimetálicos*. Tesis (Ingeniero Metalurgista). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2156/1/flores\\_ca.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2156/1/flores_ca.pdf)
- Gavin, H. & Monhemius, J. (2006). Alternatives to cyanide in the gold mining industry. *Prospects for the future*, 158-167.
- Gonen, N. (2003). Leaching of finely disseminated gold ore with cyanide and thiourea solutions. *Departament of metallurgical and materials engineering*. 169-170.

- Gonzales, A. F. (2016). *Optimización de la vida útil de un yacimiento de oro a tajo abierto en función de parámetros económicos*. Informe de tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias Económicas con mención en Administración de Negocios, Trujillo.
- Heinen, H. (1998). *Processing gold ores using heap leach-carbon adsorption methods*. 2-3.
- Hernández, S. (2019). *Metodología de la investigación*. Impreso en México (5ta Ed.). McGraw-Hill/ Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2001). *Introducción a la metalurgista*. Recuperado de <https://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/recursos/Metalurgia%20IIMP%20Introduccion%20a%20la%20metalurgia.pdf>
- Larenas, J. (2013). *Innovación para reducir la brecha entre hidrometalurgia y flotación-fundición-refinación*. Tesis para optar al grado de magister en gestión y dirección de empresas. Santiago.
- La Zanja (2018). *Resolución Directoral N°2820 – 2018*. Minera La Zanja S.R.L.
- Manrique, J. (2005). *Manejo de pilas de lixiviación de oro en minería Yanacocha S.R.L.* Tesis en Ciencias Químicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Martínez, C. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activado a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas*. Tesis PhD. Ciencia Químicas. Madrid, ES. Universidad Autónoma de Madrid.
- Mendo, D. (2016). *Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación*. Cachachi – Cajamarca. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas.
- Mendoza, O. & Pedraza, J. (2005). Efecto del catalizador LeachWell 60X® y de los iones Pb<sup>+2</sup> y S<sup>-2</sup> en el proceso electroquímico de la cianuración del oro en minerales sulfurados. *Revista Facultad de Ingeniería*, 37, 9-20.
- Minería Cuprífera en Chile (2000). *El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la KEL*. Santiago de Chile. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4453/1/S00050422\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4453/1/S00050422_es.pdf)
- Minera la Zanja (2018). *Memoria anual 2018*. Recuperado de: [https://www.buenaventura.com/assets/memoria-2018/es/assets/pdf/memoria\\_completa.pdf](https://www.buenaventura.com/assets/memoria-2018/es/assets/pdf/memoria_completa.pdf)
- Minera Yanacocha SRL (2014). *El proceso del oro de principio a fin*. Cajamarca, Perú.

- Ministerio de energía y minas (2018). *Anuario minero 2018*. Recuperado de [http://www.minem.gob.pe/\\_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=586](http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=586)
- Misari F. (2010). *Metalurgia del Oro* (1ra eed.). vol. I y II, Perú: CEPEC.
- Misari F. (1993). *Centro de Estudio y Promoción de Ciencias de la Tierra CEPECT*. (Centro de Estudios y Promoción en Ciencia de la Tierra) Metalurgia de Oro. Volumen I.
- Montaño, E. (2017). *Estudio termodinámico y cinético de la recuperación de oro y plata en soluciones cianuradas mediante el proceso de electrocoagulación*. Universidad de Sonora. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias de la ingeniería. México. Recuperado de <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/336/1/montanosilvaeric km.pdf>
- Morales, A. & Hantke, D. (2020). *Guía metodológica de cierre de minas*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46532/S2000767 es.pdf>.
- Murillo, W. (2008). *La investigación científica*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/investcientifica.shtm>
- Nava, F (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: Revisión de los principales métodos. *Centro de investigación y estudios avanzados*.
- Orellana, N. (2019). *Coste Unitario*. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/coste-unitario.html>.
- Orellana, M. (2019). *Las exenciones y exoneraciones y sus efectos en la recaudación del impuesto a la renta en la provincia de El Oro durante el periodo 2010-2012*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Contables y Empresariales. Lima. Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11742?show=full>
- Ortega, K. (2009). *Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico en la compañía minera aurífera Santa Rosa S.A. Universidad Nacional de Ingeniería*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Metalurgista. Lima. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/801/1/ortega\\_ak.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/801/1/ortega_ak.pdf)
- Oyarzun, J. (2008). *Planes de cierres mineros*. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-5564/Cierres%20mineros%20%20Jorge%20Oyarz%C3% BAn.pdf>
- Quiroz, P. (2009). *Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Lima.

- Quispe, L. (2015). *Evaluación del proceso de clarificación y desaireación de la solución rica en el oro para el proceso Merrill Crowe*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Metalurgista. Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/112>
- Rezai, B. (2002). *Comparative cyanide and thiourea extraction of gold base on characterization studies*. Department of minig.
- Romero, H., Guerrero, R. & Mora, M. (2020). Effect of the speed of the agitation on the kinetics of the leaching with thiourea of gold-floated minerals. *Ingeniería y Desarrollo*, 38 (1), 245 – 258.
- Sánchez, B. (2012). *Análisis de la Rentabilidad de la Empresa*. Análisis contable. [Consulta: Junio 24, 2017]. Recuperado de <http://ciberconta.unizar.es/leccion/anarenta/ analisisr.pdf>
- Sánchez, A. (2012). La rentabilidad económica y financiera de la gran empresa española. Análisis de los factores determinantes. *Revista española de financiación y contabilidad*, 159-179.
- Sánchez, P. (2011). *Guía para pequeños mineros y mineros. Artesanales*. Ministerio de Energía y Minas. Lima. Recuperado de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/Guia-Peque%C3%B1os-Artesanale>
- Santisteban, A (2015). Principales franjas metalogenéticas y tendencia de la dotación de plomo y zinc en el Perú. *Revista Inversiones en Exploraciones: Base del Desarrollo Minero Sostenible*, 3 - 5.
- Santos, R. (2018). *Evaluación de cuatro métodos para recuperación de oro a partir de un mineral refractario*. Centro de Investigación en materiales avanzados. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencia y tecnología ambiental. México. Recuperado de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2314/1/ROCIO%20Tesis%20maestria.pdf>
- Senanayake, G. (2005). *Hydrometallurgy*, 76, 233-238.
- Soto, A. (2021). *Influencia minerográfica en la recuperación de oro en los procesos metalúrgicos de la minera Qero's Gold de Paucartambo – Cusco*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tesis para obtener el grado de maestro en Geometalurgia. Lima. Recuperado de [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16117/Soto\\_ma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16117/Soto_ma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- The Merrill Company Engineers (2016). The 2016 All-Europe Research Team: Building & Construction, No. 1: Arnaud Lehmann & team. Institutional Investor.
- Tremolada, J. (2011). *Caracterización, Influencia y Tratamiento de Arcillas en Procesos de Cianuración en Pilas*. Tesis doctoral sustentada en la Universidad de Oviedo, España.

- Valadez, C. (2021). *Extracción de oro por Lixiviación de los relaves de un mineral de cobre de la Región de Tiquicheo. Universidad San Nicolás de Hidalgo*. Tesis para obtener el grado de maestro en Metalurgia y Ciencias de los materiales. México. Recuperado de [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/5354/IIMM-M-2021-0898.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/5354/IIMM-M-2021-0898.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vargas, J. (1995). *Metalurgia del Oro y la Plata (2da. ed.)*. Bolivia: *Publi asesores SRL*. 7-98. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books/about/Metalurg%C3%ADa>
- Vilcapoma, J. (2021). *Optimización de la recuperación y modelamiento de las variables operativas que afectan el circuito de lixiviación con cianuro de la planta de procesamiento de oro de Ares utilizando un modelo CCD*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Tesis para obtener el grado de maestro en Gestión Minera. Huancayo. Recuperado de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6769/T010\\_43705712\\_M.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6769/T010_43705712_M.pdf?sequence=1)
- Villegas, A. (2015). *Optimización del tratamiento de minerales auríferos por el método de carbón en pulpa (CIP) en la planta de beneficio doble "d" minera colibrí*. Universidad Nacional de San Agustín. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1784/AGviquafr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wotruba, H. (2004). *Tecnología limpia para la pequeña minería aurífera. Seminario Taller. Pequeña Minería Aurífera: Hacia un manejo ambiental de mercurio y cianuro*. Bucaramanga, Colombia. 2004.
- Yanes, T. (2005). Mejora de los procesos de beneficio y extracción de minerales auroargentíferos del asentamiento de San Pedro Frio, Colombia. Madrid. *Revista Metal*.
- Yoshico, K. (2006). Effects of cyanide and dissolved oxygen concentration on biological Au recovery. 546.
- Zamora, G., Carrasco, O. & Gómez, K. (2021). Recuperación de oro aluvial, sin el uso de mercurio. *Revista de medio ambiente y minería*, 6 (1), 48-58. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522021000100005&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522021000100005&script=sci_abstract)