

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 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 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 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 g/m³ (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 g/m³ (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 g/m³, 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.

Dedicatoria y Agradecimientos

A Dios, quien siempre ha sido, es, y será mi guía espiritual, quien protege diariamente mis caminos, y ha sido la roca fuerte hacia la culminación de la presente investigación.

A mis padres, Loly y Segundo, por su apoyo constante, y en especial a la memoria de mi abnegada madre, por su gran ejemplo de superación e influencia en mi vida.

A mi amada esposa, María Luisa, y a mis queridas hijas Nataly y Luisa, por su motivación constante para seguir superándome, y siendo de soporte en mis dificultades y alegrías.

A mis apreciados hermanos, quienes han formado parte de mi motivación para superarme desde mi infancia; y en especial a mi hermano Erick, que, en esta tierra, y ahora en el cielo, nos dio un ejemplo de amor a Dios, a la familia, y al prójimo.

Al personal docente calificado de la Universidad Privada del Norte, por sus acertadas enseñanzas y orientaciones en cada curso de la presente maestría.

A los docentes y colegas asesores, que, gracias a sus orientaciones y sugerencias, hicieron posible la ejecución, y presentación a un nivel científico de la presente investigación.

Para todo ellos que hasta ahora son mi soporte espiritual y emocional.

Delmer Dante Fernández Lázaro

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

	MINERA.
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

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad problemática

Con el avance de los estudios químicos y metalúrgicos de la ciencia actual, se descubrió que se podía disolver el cobre contenido en minerales o desechos, agregando agua a soluciones ácidas o también permitiendo que el ambiente actuara sobre ellas; nacieron entonces, nuevos proyectos tecnológicos para el procesamiento de minerales que inicialmente fueron considerados como desmontes o minerales, que, por su formación geológica, no era posible de tratarlo por métodos convencionales.

Sin embargo, el proceso de aprovechamiento de la solución rica es muy compleja, dado las actuales circunstancias en que se trabaja estos materiales de baja ley o residuos mineros, y las decisiones propias de las empresas mineras; pues se tiene que considerar índices de rentabilidad. Esto, a veces, hace difícil la consolidación de un proyecto de aprovechamiento de este material con ventajas competitivas altas en el panorama minero actual.

A nivel mundial, el oro no fue ajeno a estos proyectos tecnológicos al descubrirse que se podía disolver en una solución con cianuro desde los minerales auríferos provenientes de yacimientos diseminados. Estos yacimientos pasaron a formar parte de la reserva de las compañías mineras, y fue la lixiviación en pilas la tecnología más viable para el tratamiento económico de estos minerales.

A lo mencionado anteriormente diremos, que la recuperación del oro, disuelto por el cianuro, ha sufrido muchas transformaciones, pasando desde los canales con virutas de zinc hasta el proceso Merrill Crowe, de la absorción con carbón a las resinas y el intercambio iónico. Todos estos cambios, se produjeron con la finalidad que repercutan, de manera significativa, en la rentabilidad del proyecto minero; ya que éste, tiene un ciclo de vida, un inicio y un final; pues éstos no son renovables (Manrique, 2005).

Para evaluar la significancia de la rentabilidad, en los proyectos mineros valoran la: exploración, evaluación de proyectos, desarrollo y construcción, minería y cierre de mina. Este ciclo se puede dividir en dos grandes etapas: a) La etapa de Exploración y Factibilidad, que contempla todas las actividades necesarias para la determinación de la factibilidad técnica y económica del proyecto y b) La etapa de Construcción y Explotación, que requiere de gran capacidad financiera hasta que el proyecto inicie su etapa productiva y comience a producir ingresos y se logre a través de estos el repago de la inversión (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Asimismo, diremos que, el cierre de minas es el conjunto de actividades a ser implementadas a lo largo del ciclo de vida de la mina a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de minado (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Dentro del tema minero, se encuentra el proceso de explotación de minerales auríferos para extraer oro usando pilas de lixiviación (Pad) en conjunto con plantas de carbón en columnas (CIC) y/o usando el proceso Merrill Crowe.

A nivel local, el uso del carbón para recuperar oro empezó a usarse por los años 1981 por la empresa Marsa, y las pilas de lixiviación, con el mismo propósito, en el año 1993 por la empresa Minera Yanacocha (Manrique, 2005).

El proceso de lixiviación para extraer oro consiste en usar una solución cianurada como medio disolvente. Cuando el oro se ha disuelto en la solución, a esta, se le conoce como solución rica (SR) o pregnant. A la cantidad de oro disuelta en la solución, se le conoce como Ley de oro y es expresada en gramos de oro por metro cúbico de solución (g/m^3) (Misari, 1993).

Por lo que, al término del ciclo de vida de un proyecto minero donde se usa el proceso de lixiviación, las últimas toneladas de mineral son usualmente colocadas en la parte superior de las pilas de lixiviación. Esta lixiviación final puede durar meses o años hasta agotar todo el oro extraíble, durante esta última etapa la ley de oro en la SR empieza a ser cada vez menor. Esta ley, en un proceso continuo, es en promedio $0.5 \text{ g Au}/\text{m}^3$ de solución (Minera La Zanja, 2018), pero, si ya no se coloca más mineral en el Pad (al final del ciclo de vida de un proyecto minero) esta va descendiendo hasta valores no rentables para la operación.

A lo que diremos que, para valorar la rentabilidad en el proyecto de la minera en estudio, se tomará en cuenta la fecha en que se colocará la última tonelada de mineral, luego de esto, se tiene como principal interrogante, ¿en qué momento detener la operación de la Planta de Procesos (CIC)? Se hará esta pregunta, puesto que, se entiende que al reducirse la ley de la SR también empezará a reducirse la producción de oro.

Por lo tanto, en esta investigación se realizará el estudio de las variaciones de las leyes con el tiempo, y se relacionará cada ley con la producción obtenida y el costo que implique en obtener una onza de oro. De esta forma, se podrá predecir la ley mínima de oro, con el que la Planta de procesos será rentable. El estudio, está enmarcado solamente a las leyes de la solución rica provenientes del Pad, y, además, a los costos operativos de la Planta de procesamiento de mineral donde se usa el proceso CIC (carbón en columnas) y Merrill Crowe (MC), a fin de determinar cuál de ambos procesos será de más utilidad y rentabilidad para la minera.

I.2. Pregunta de investigación

I.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la mínima ley de oro en la solución rica para una producción rentable, en un proceso de recuperación de oro en una Empresa Minera?

I.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuál es la mínima ley de oro, en la solución rica, para el proceso de Carbón en Columnas (CIC) en una empresa minera?
- ¿Cuál es la mínima ley de oro, en la solución rica, para el proceso Merrill Crowe (MC), en una empresa minera?
- ¿Cuál es el momento para empezar el cierre del Pad con ambos métodos?

I.3. Objetivos de la investigación

I.3.1. Objetivo general

Determinar la mínima ley de oro en la solución rica para una producción rentable, en un proceso de recuperación de oro en una Empresa Minera.

I.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Identificar la mínima ley de oro, en la solución rica, para el proceso de Carbón en Columnas (CIC) en una empresa minera
- ❖ Identificar la mínima ley de oro, en la solución rica, para el proceso Merrill Crowe (MC), en una empresa minera.
- ❖ Estimar el momento para empezar el cierre del Pad con ambos métodos.

I.4. Justificación de la investigación

El presente estudio se justifica porque es conveniente a una empresa minera determinar en qué momento detener la operación de una Planta CIC y/o MC, teniendo como referencia la ley de la solución rica, de tal forma de no incurrir en costos que excedan el valor del oro obtenido. Además, con este dato, se podría estimar, en qué momento se empezaría a realizar el proceso de cierre del Pad.

La extracción de oro, del proceso en estudio, se justifica teóricamente, porque está basado en la ecuación de Elsner, que indica que es factible disolver el oro, aplicando una solución cianurada con presencia de oxígeno (Senanayake, 2005). El oro es disuelto por la solución cianurada, luego es recuperado de la solución usando carbón activado o usando el proceso MC. Posteriormente el oro es retirado del carbón (stripping o elusión) o del MC, y finalmente es fundido en barras (Chambi, 2010).

Sera de importancia para una empresa minera, puesto que valorará hasta qué momento se debe continuar operando una Planta tomando como referencia la ley de oro de la solución rica; al determinar la ley mínima, se podría decir que valores menores al determinado ocasionaría pérdidas económicas para la empresa, retardando también el

proceso de cierre del Pad de lixiviación, y mina en general. También, será un estudio para determinar cuál de los procesos aplicados (MC o CIC) será más rentable.

Las Implicancias prácticas de este trabajo, es la de permitir a una empresa minera, tener valores guía de referencia para poder proyectar sus actividades de cierre de un proyecto minero. Además, valorar la rentabilidad y utilidades de los procesos MC y CIC, y determinar cuál de estos procesos le es más conveniente a determinadas leyes de oro en la solución rica.

I.5. Alcance de la investigación

El desarrollo de este estudio beneficiará al área de Procesos de una empresa minera, donde se usan pilas de lixiviación y tecnología CIC y/o MC para obtener oro, al determinar el momento de paralizar su operación. También, al área de Medio ambiente porque tendrían un dato adicional para proyectar el inicio del cierre final de las Pilas de lixiviación, y a una empresa minera en general donde se usa el proceso antes mencionado porque evitaría incurrir en pérdidas económicas.

Adicionalmente, la población existente en los alrededores de la operación minera se beneficiará al poder utilizar nuevamente las áreas remediadas ambientalmente para usos como pastoreo, cultivos, recreacional, etc.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

II.1.1. Antecedentes internacionales

Zamora et al. (2021) realizaron un trabajo de investigación cuyo objetivo fue determinar el grado de enriquecimiento y rango de recuperación de oro en sedimentos aluviales de oro sin el uso de tecnología de mercurio mediante la aplicación del concentrador centrífugo y posterior limpieza o concentración centrífuga. Para esto se utilizó un diseño experimental, donde se propuso una alternativa técnica para recuperar oro de sedimentos aluviales mediante concentración por gravedad centrífuga, permitiendo verificar que el balance metalúrgico, y la tasa de recuperación de oro en las diferentes etapas del proceso (preconcentración-concentración-amalgama y/o fusión) está siempre por encima del 90%. Las conclusiones del trabajo indican que las muestras de oro aluvial responden bien al proceso de concentración por peso y centrifugación, y es absolutamente posible eximir total o parcialmente el mercurio del proceso. Eliminando completamente el uso de mercurio, incluso en mejores condiciones de recuperación que la amalgama, se puede obtener oro metálico fundiendo el concentrado obtenido.

Romero et al. (2020) realizaron un trabajo de investigación, cuyo objetivo fue determinar la influencia de la velocidad de agitación en la cinética de lixiviación de minerales de oro de flotación de tiourea, y definir la concentración de tiourea (TU) que permita la mayor tasa de recuperación de oro del concentrado de flotación, además, comparar y establecer un modelo cinético de lixiviación controlada por tiourea. Se usó un diseño experimental, para ello, se empleó un reactor deflector de tubo de tiro y la agitación mecánica se realiza a través de un impulsor de paletas. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica para determinar la concentración de oro. Concluyendo que, una concentración de 9 g/l de tiourea era la concentración que produjo los mejores resultados de recuperación de oro. Que, el proceso de lixiviación de tiourea es adecuado para el modelo cinético de difusión a través de la capa de ceniza como etapa de control. La tiourea se utiliza como agente de lixiviación para el concentrado de Au, durante el proceso de lixiviación a 700 rpm con agitación de 240 m, la tasa de recuperación de metal es inferior al 1,74% de cianuro.

Valadez (2021) realizó un estudio con el objetivo de conocer el procedimiento y obtención de minerales, por medio de la lixiviación. Para ello, se utilizó dos agentes lixiviantes: GoldMax y NRW. El tipo del diseño de investigación fue experimental, se emplearon instrumentos de recolección de datos, que consiste en el registro sistemático, válido y confiable del comportamiento y situaciones

observables. Se concluye que la recuperación de oro es del 71%, siendo equivalente a disolver 45.83 gpt de oro; por otro lado, con el lixiviante GoldMax su eficiencia es más baja, siendo alrededor del 20%. Es así que, la distribución de oro es de 0.2-0.4 g/t con un promedio de 0.292 g/t; considerado eficiente dentro del estudio, pues se presentó una tasa de retorno del 25%.

Santos (2018) realizó una investigación que tuvo como objetivo evaluar la recuperación de oro en una minera refractario. Se trabajó con el diseño experimental aplicativo. Donde se llegó a concluir que la recuperación de oro fue: biooxidación con 5% de sólidos 36.25%, oxidación química 1.50%, molienda ultrafina de 21.50% y tostación de 37.00%; obteniéndose de esta manera, una recuperación satisfactoria de oro, sobre todo en la tostación.

Montaño (2017) realizó un estudio cuyo objetivo fue el proceso para la recuperación de oro y plata, usando concentración y purificación en soluciones cianuradas. La investigación fue de diseño experimental y longitudinal. Se concluye que se obtuvo una recuperación de oro del 81.6% con distancias de 0.8 cm entre electrodos y a 75 ml/min, presentando una densidad con un rango de 235 a 355 A/m²; por otro lado, con el modelo de Langmuir se puede observar un alto coeficiente de correlación ($p=0.001$). Cabe recalcar que, al utilizar la cantidad de sal a 4 gramos por litro, se pudo evidenciar que el oro se recupera en tan solo un 22.3% y cuando se utilizó un litro de sal, la recuperación fue mucho menor del oro (17%); por último, las mejores condiciones de operación para la recuperación de oro se evidencian al emplear electrodos de hierro (90.4%).

II.1.2. Antecedentes nacionales

Soto (2021) efectuó un estudio cuyo objetivo fue dar a conocer la influencia minerográfica para la recuperación de oro, a través de la técnica de análisis microscópico y macroscópico. La investigación fue de diseño experimental, descriptiva y cuantitativa, en las pruebas de laboratorio fue necesario establecer la variable dependiente y las variables independientes e intervinientes. Emplearon como instrumentos hoja de estudio de tiempos, diagrama de operación, análisis y recorrido. Se concluye que la eficiencia de la extracción y recuperación de oro fue de 94.48%, presentado una mezcla del 75% de la veta Inkaracay y 25% de la veta Mina Sanca; utilizándose alrededor de 120 kilos de mineral para efecto de las cinco pruebas en un tiempo reducido de 90 horas; además se concreta que el estudio fue el más rentable frente al análisis por microscopia electrónica de Barrido y análisis químico, en un 83%.

Vilcapoma (2021) realizó un estudio de optimización y recuperación de oro utilizando un modelo CCD. El tipo de diseño es aplicativo; se utilizó el método de análisis de datos descriptivo e inferencial; realizado el diseño factorial 2⁵ con 32

corridas, 3 corridas con puntos centrales, 10 corridas con puntos axiales y 0 réplicas de las cuales sumaron un total de 45 corridas. Se concluyó en el modelo que el R^2 fue de 94.95%, con una varianza del 93.65%, presentando una concordancia de 88.83%; además la relación da a conocer una señal adecuada de 33.570 con un valor $p < 0.05$, permitiendo afirmar que la recuperación de oro fue eficiente dentro del estudio.

II.2. Bases teóricas

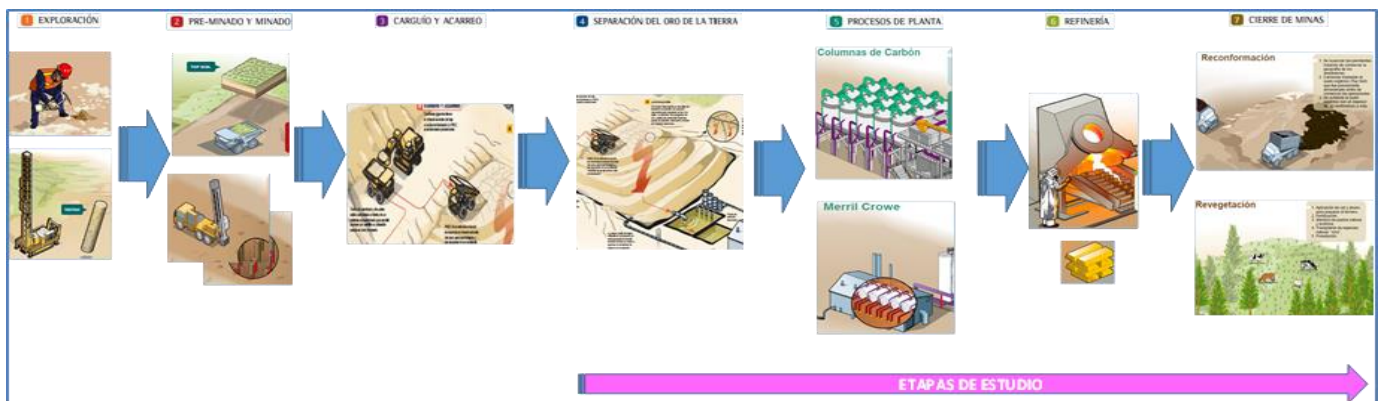
II.2.1. Etapas en un proceso de minero de recuperación de oro

El presente estudio, está enmarcado en un proceso de minero de recuperación de oro. Este proceso consta de las etapas de: Exploración, pre minado y minado, carguío y acarreo, separación del oro de la tierra (lixiviación), procesos de planta, refinería, y cierre de mina.

El presente estudio abarca desde la etapa de separación del oro de la tierra hasta el cierre de mina.

Figura 1

Proceso Minero de Recuperación de Oro



Fuente: El proceso del oro de principio a fin (Minera Yanacocha, 2014).

A continuación, solo se detalla los principales conceptos teóricos del proceso de obtención de oro.

II.2.1.1 Minado

El proceso de minado abarca el traslado del mineral hacia las Plantas de procesos, el mineral es transportado desde socavones o tajos (cielo) abierto. En nuestro estudio, el mineral es explotado con el proceso a cielo abierto y colocado en las pilas de lixiviación para ser procesados (separación del oro de la tierra).

II.2.1.2. Extracción

Abarca el proceso de obtención del mineral o metal de interés haciendo uso de métodos físicos y/o químicos. Existen diferentes métodos de extracción de oro, tales como:

- Flotación.
- Amalgamación.
- Fundición.
- Gravimetría.
- Lixiviación.

El proceso en estudio es el de Lixiviación, donde se usa el cianuro como compuesto lixivante, a este proceso también se le llama cianuración.

II.2.1.2.1. Lixiviación por Cianuración

El proceso de lixiviación para extraer oro consiste en usar una solución cianurada como medio disolvente. Cuando el oro se ha disuelto en la solución, a esta, se le conoce como solución rica (SR) o pregnant. A la cantidad de oro disuelta en la solución, se le conoce como Ley de oro y es expresada en gramos de oro por metro cúbico de solución (g/m³) (Misari, 1993).

Este proceso, es usado generalmente en minerales oxidados o para concentrados de oro. Consiste en la disolución de un elemento formando un compuesto soluble con la ayuda de un solvente. El metal o compuesto de interés es pasado de un estado sólido a líquido (ionizado). Para el caso del oro, el solvente usado es una solución cianurada alcalina con presencia de oxígeno, a este proceso también se le conoce como cianuración.

Por décadas el cianuro ha sido destacado como un agente lixivante del oro debido a su alta eficiencia, costo relativamente bajo y simplicidad (Nava, 2007; Gavin y Monhemius, 2006; Gonen, 2003; Rezai, 2002); razón por la que los procesos de lixiviación con cianuro son los más usados para procesar menas auríferas y han desplazado casi por completo a procesos tradicionales como: la concentración gravimétrica, la amalgamación, flotación y en algunos casos la fundición directa debido que son sumamente

costosos y poco rentables para menas auríferas diseminadas o de baja ley (Vargas, 1995).

La cianuración de oro es un proceso electroquímico, donde el oro es oxidado y acomplejado formando el compuesto estable $[\text{Au}(\text{CN})_2]$ (Mendoza y Pedraza, 2005). Los iones de cianuro (CN^-), son los ingredientes activos en el proceso de lixiviación de oro, estos, disuelven el oro contenido en el mineral por complejación, formando una solución rica, desde la que se recupera posteriormente el oro (Gavin y Monhemius, 2006). La disolución del oro en soluciones cianuradas consiste en una reacción anódica y una catódica, la suma de estas reacciones da como resultado la reacción general (ecuación de Elsner) generalmente aceptado desde hace varias décadas para representar la disolución del oro (Yoshico, 2006; Heinen, 1998).



II.2.1.2.2. Métodos de lixiviación

La cianuración de los minerales auroargentíferos empleado en la actualidad puede efectuarse de manera estática o dinámica, empleando diferentes métodos de lixiviación: en pilas por percolación, en tinas o vats, y por agitación en tanques (Yáñez, 2005).

a. Lixiviación en pilas o montones

Este proceso consiste en colocar el mineral sobre un área impermeabilizada formando una pila de mineral en forma de pirámide truncada, en la parte superior se colocan un sistema de riego (mangueras, aspersores o gateadores) a través de las cuales se empieza a adicionar una solución cianurada sobre el mineral mediante goteo o por aspersion. La solución empieza a percolar a través del mineral y a medida que desciende empieza a lixiviar (diluir) el oro transfiriéndolo a la solución, esta solución con contenido de oro es conocida como solución rica (SR) o preñada y es colectada en pozas para su posterior tratamiento (Beckel, 2000).

El contenido de oro en la SR es expresado en gramos de oro por metro cúbico (g/m^3). Cuando se utiliza la técnica de lixiviación en pilas para extraer oro, la solución estéril se recolecta en un estanque, al que se le adiciona cianuro y luego se recicla de nuevo al sistema de lixiviación.

b. Lixiviación en vats (piscinas o estanques)

Este proceso tiene el mismo mecanismo que la lixiviación en pilas con la diferencia que se lleva a cabo en piscinas o estanques y con menor cantidad de mineral.

c. Lixiviación con agitación

Este proceso usa minerales o concentrados molidos, clasificados y espesados. Puede emplear hasta seis etapas de lixiviación con agitación y las soluciones ricas fluyen desde el primer al último espesador y es lavada con la solución que avanza en contracorriente desde el último espesador al primero (CCD). La solución que contiene oro es llevada a clarificadores y subsecuentemente filtrada, de la solución clarificada se recupera el oro (Misari, 2010; Misari, 1993).

II.2.1.2.3. Cinética de lixiviación (tiempo)

El proceso de lixiviación con agitación usa pulpas muy finas y puede durar máximo 2 días, mientras que en pilas y vats el mineral es lixiviado por percolación por tiempos mucho más prolongados, estos pueden ser días o meses. Si el tiempo de lixiviación en pilas para la extracción del oro es prolongado, produce un aumento en el costo de la recuperación.

La química involucrada en la disolución de oro con cianuro es el mismo, para el tratamiento de lixiviación en pilas, que para el proceso de agitación (Heinen, 1998).

II.2.1.3 Recuperación

Para recuperar el oro disuelto desde las soluciones de cianuro, hay diversos métodos basados en los usos de sales, metales, y corriente eléctrica como agentes precipitantes; pero son los métodos de adsorción con carbón activado y el de cementación con polvo de zinc (Merrill Crowe) los que destacan.

Tabla 1
Método Merrill Crowe vs Carbón activado

Merrill Crowe (método de cementación con polvo de Zinc)	Carbón activado (adsorción y desorción)
<ul style="list-style-type: none"> - El sistema se utiliza en soluciones de oro de alta concentración. - Las soluciones ricas requieren un procesamiento previo - Precipitación (aclaración) - Bajo costo de inversión - Bajo costo laboral por operación. - Se recomienda su uso para altos grados de plata y oro, con una proporción de 5: 1. - La baja tasa de recuperación de la concentración de metales preciosos en la solución de cianuro significa que se usa más zinc. - Alta tasa de recuperación de plata y oro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usado para recuperar Au de solución de cianuro con baja concentración de oro. - Soluciones ricas sin pretratamiento - Alto costo de inversión. - La alta concentración de plata en la solución concentrada significa que es necesario procesar una gran cantidad de carbón activado. - El alto contenido de plata en los minerales provocará problemas de adsorción y recuperación. - El tratado del carbón es una actividad muy laboriosa y delicada. - El carbón es vulnerable a la contaminación.

Fuente: Introducción a la metalurgista (Instituto de ingenieros de minas del Perú, 2001).

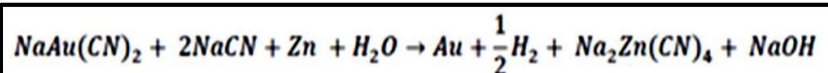
II.2.1.3.1 Proceso Merrill Crowe

En la minería de oro, uno de los procesos más usados para la recuperación metalúrgica, es el de Merrill Crowe, llamado así en honor a sus creadores Charles Merrill y Thomas Crowe alrededor del año 1900.

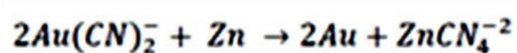
Los objetivos principales de este proceso son: Obtener la mayor cantidad de valores una vez fundidos los precipitados de este proceso; también, el de minimizar la cantidad de valores en las escorias.

Las operaciones unitarias del proceso incluyen: separación sólido líquido, clarificación, des aireación al vacío, adición de Zinc, y filtración de precipitados de oro y plata usando filtros a presión.

La reacción de cementación de oro usando el zinc en polvo puede ser descrita como:



O también:



La operación se debe llevar a cabo bajo condiciones fuertemente reductoras.

Las soluciones deben contener la suficiente cantidad de cianuro libre para disolver zinc y mantener en solución los compuestos formados. La solución estéril que puede retornar al circuito de lixiviación (Echevarry, 2015).

El orden electroquímico de los metales en soluciones de cianuro determina su solubilidad relativa en dicho solvente. Las determinaciones publicadas del orden electroquímico de metales en soluciones de cianuro de potasio indican la secuencia siguiente, de positivo a negativo: Mg, Al, Zn, Cu, Au, Ag, Hg, Pb, Fe, Pt. Cualquier metal de esta secuencia tenderá a disolverse en solución de cianuro más rápido que el metal de su derecha, desplazará a esos metales de la solución y precipitarán ellos. Por ejemplo, el cobre precipitará al oro, plata, mercurio, etc. El magnesio o aluminio precipitará al oro y la plata más rápido que el zinc.

Estas plantas procesan soluciones ricas de alto contenido de oro 1.0 a 4.0 g/m³.

Los requisitos fundamentales para una eficiente cementación del oro a partir de soluciones cianuradas con la adición de zinc en polvo son los siguientes:

La solución preñada deberá:

- Estar clarificada con menos de 5 ppm de sólidos.
- Estar desoxigenada hasta 1 ppm de oxígeno.
- Tener una concentración de cianuro libre adecuada.
- Tener un pH en el rango de 9 a 11 (con una adecuada adición de cal).
- Si es necesario debe contener una adecuada cantidad de nitrato de plomo (alrededor de 0,5 a 1 parte de nitrato de plomo para 1 parte de oro) y no una alta concentración de plomo (Quispe, 2015).

Etapas del Proceso Merrill Crowe para Recuperar El Oro

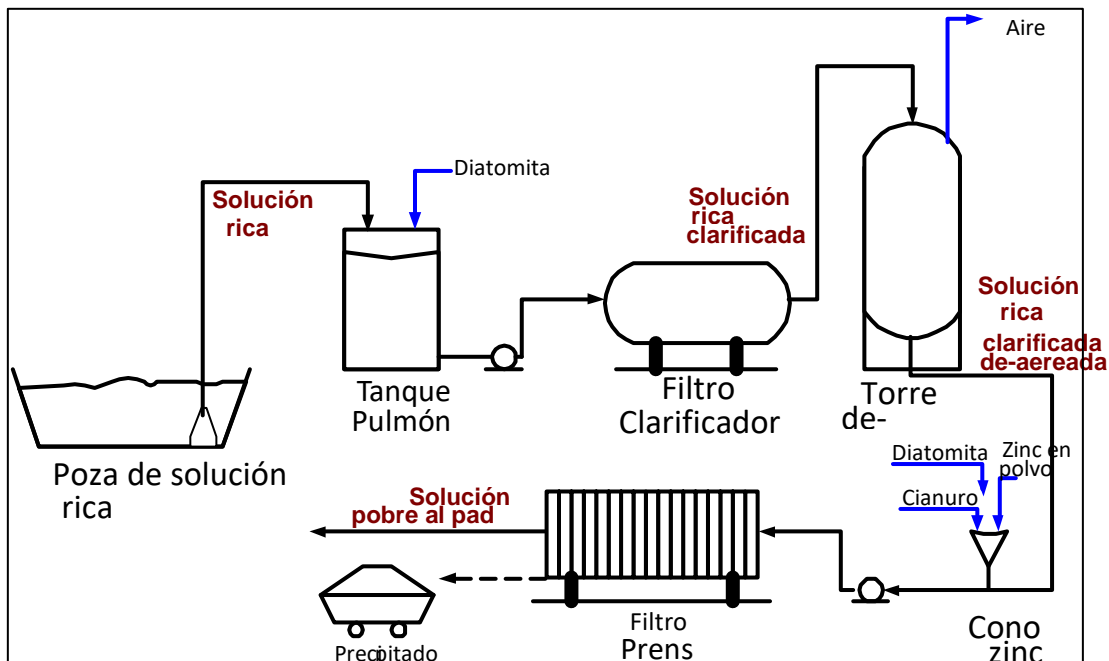
Etapa	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS DEL PROCESO MC.
A	El proceso se inicia con la clarificación de la solución rica en filtros que usan diatomita como medio filtrante
B	Después la solución es bombeada a las torres de vacío donde se extrae el oxígeno disuelto de la solución
C	Luego se adiciona polvo de zinc para precipitar el oro y otros metales que se encuentran en la solución
D	El precipitado es recuperado en filtros tipo prensa. Cada filtro sale de operación al cumplir su ciclo de llenado y se realiza un secado inicial del precipitado con la inyección de aire
E	Finalmente, el precipitado es retirado de los filtros y enviado a las retortas.

Fuente: Elaboración propia.

Planta de fundición y retortas: El producto de la precipitación (precipitado) es enviado a las retortas; en las retortas el precipitado es sometido a un ciclo de calentamiento lento que dura 24 horas, la temperatura máxima alcanzada es 650°C. En las retortas se elimina la humedad, se oxida el zinc y se recupera el mercurio. Después se envía a los hornos de inducción donde se funde para separar los valores de oro y plata de otros metales base, el producto final llamado Doré es vertido en moldes para formar barras y se preparan para su embarque (ECNA, 2000).

Figura 2

Merrill Crowe Precipitation Unit



Fuente: Merrill Crowe Precipitation Unit (The Merrill Company Engineers, 2016).

Planta de fundición y retortas: El producto de la precipitación (precipitado) es enviado a las retortas; en las retortas el precipitado es sometido a un ciclo de calentamiento lento que dura 24 horas, la temperatura máxima alcanzada es 650°C. En las retortas se elimina la humedad, se oxida el zinc y se recupera el mercurio. Después se envía a los hornos de inducción donde se funde para separar los valores de oro y plata de otros metales base, el producto final llamado Doré es vertido en moldes para formar barras y se preparan para su embarque (ECNA, 2000).

II.2.1.3.2 Procesos Con Carbón Activado

Estas plantas procesan soluciones ricas de baja contenido de oro, 0.3 a 1.0 g/m³, su elemento para recuperar el oro es el carbón activado. El carbón activado, se puede obtener a partir de una variedad de materias primas, como cáscaras de nueces, trozos de frutas, madera, carbón vegetal y cáscaras de coco (Flores, 2015).

El tamaño de partícula del carbón de coco, comúnmente utilizado en la pulpa, es de malla (-6 +12 o -6 +16). Existen diferentes procesos donde se usa el carbón activado para recuperar el oro, estos son: Carbón en Pulpa (CIP), Carbón en Lixiviación (CIL), y Carbón en Columnas (CIC), el cual es el proceso de estudio. El Carbón activado es formado generalmente de cascara de coco el

cual ha recibido un tratamiento especial para poder recuperar metales o atrapar compuestos gaseosos (Figuroa y Flórez 2010).

a. Carbón en Pulpa (CIP)

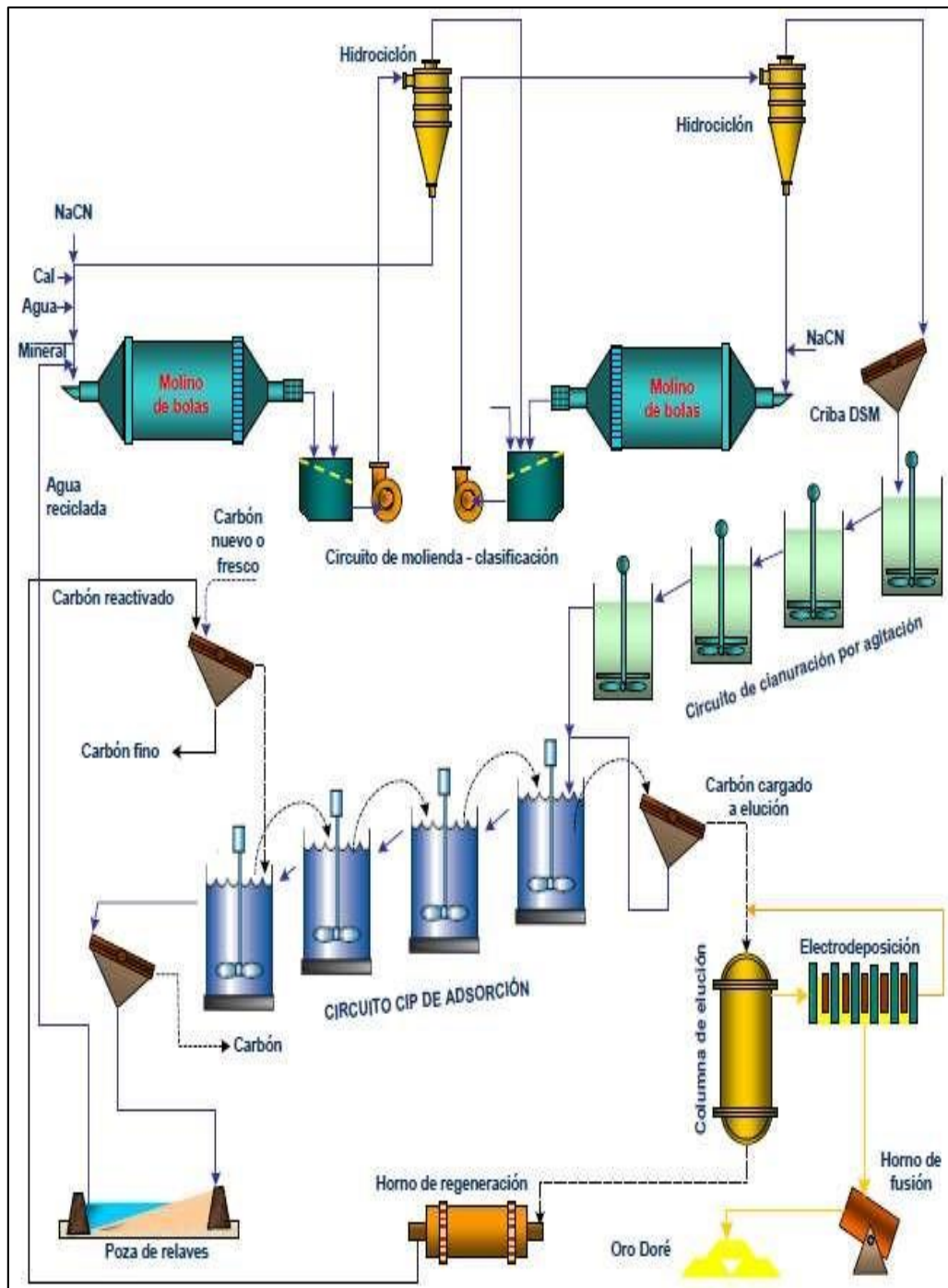
El desarrollo original de CIP se atribuye al profesor T.G. Champag, originalmente agrega carbón activado fino a la suspensión de oro con cianuro. Después de agitar a fondo, separa el carbón fino del mineral de flotación, el oro se recupera fundiendo carbón. El carbón activado generalmente se agrega en contracorriente a la solución de lixiviación. Los mejores parámetros de CIP son: pH: 10-11 densidad de la pulpa: 40-45 % de sólidos. Cianuro libre: 0.05 % en el circuito, 0.015 % fuera del circuito (Larenas, 2013).

Se recomienda mantener el oro contenido en el carbón entre 4,250 y 8,500 g Au/t de carbón para mantener un bajo contenido de oro y controlar las pérdidas por carbón fino no recolectado. La mayor ventaja de este método es que elimina los costosos pasos de separación sólido-líquido necesario en el método Merrill-Crowe. La Figura muestra un diagrama de flujo de proceso esquemático de un circuito CIP típico. Primero, se tamiza la pulpa lixiviada, usualmente usando un tamiz de malla 28 para remover algunas partículas grandes o madera (Misari, 1993).

Luego, la pulpa y el carbón activado fluyen en contracorriente a través de una serie de tanques de agitación. La malla entre etapas separa el carbón grueso y la pulpa, y los dos se mueven en direcciones opuestas. La concentración de cianuro de la solución de relaves es baja y generalmente no se recicla para lixiviación. Por tanto, el consumo total de cianuro es ligeramente superior al del proceso Merrill-Crowe. El carbón cargado desde el primer tanque de agua se envía para lavar (Misari, 1993).

Figura 3

Flow sheet de una planta de cianuración y extracción del oro por el método CIP



Fuente: Recuperación de oro de la solución Barren proveniente del proceso CIP mediante un sistema de columnas (Cápac, 2016).

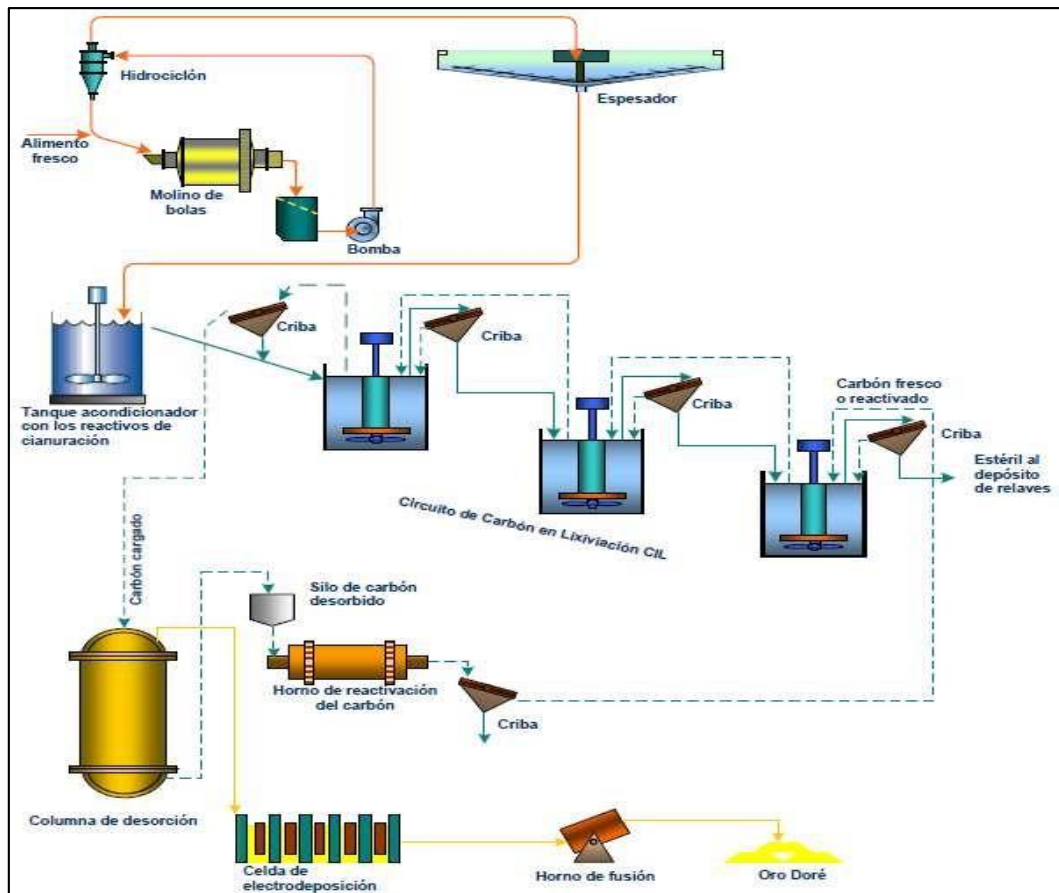
b. Carbón en lixiviación (CIL)

Esta es una mejora relativamente nueva en el proceso de carbón en la pulpa y, en algunos casos, puede ser preferible a la tecnología CIP convencional. En este proceso, la lixiviación y la adsorción del oro disuelto en la solución de lixiviación proceden simultáneamente. El proceso CIL básicamente evita esta

deducción de oro adsorbiendo la mayor parte del oro disuelto en el carbón activado agregado. Debido a la baja concentración de oro en la solución, la potencia de procesamiento es pequeña y el inventario de carbono en el sistema CIL es mucho mayor que en el sistema CIP de la misma capacidad de planta. El aumento de las existencias de carbono representa un aumento en la trampa del oro y puede ser la deficiencia más grave del proceso (Misari, 1993).

Figura 4

Carbón en lixiviación (CIL)



Fuente: Recuperación de oro de la solución Barren proveniente del proceso CIP mediante un sistema de columnas (Cápac, 2016).

La columna se carga con el carbón activado (-m16 +m30) hasta cubrir un 40% de su volumen y luego se hace pasar la solución de abajo hacia arriba fluidizando el lecho de carbón.

El caudal adecuado de bombeo es de 15 a 25 GPM/pie². El nivel de cargado del carbón, frecuentemente de 200 Oz/t, se logra cuando el carbón se hace avanzar en contracorriente a la solución

a través de las etapas del circuito (Martínez, 2012; Minería, Cuprífera en Chile, 2000).

c. Carbón en columna (CIC)

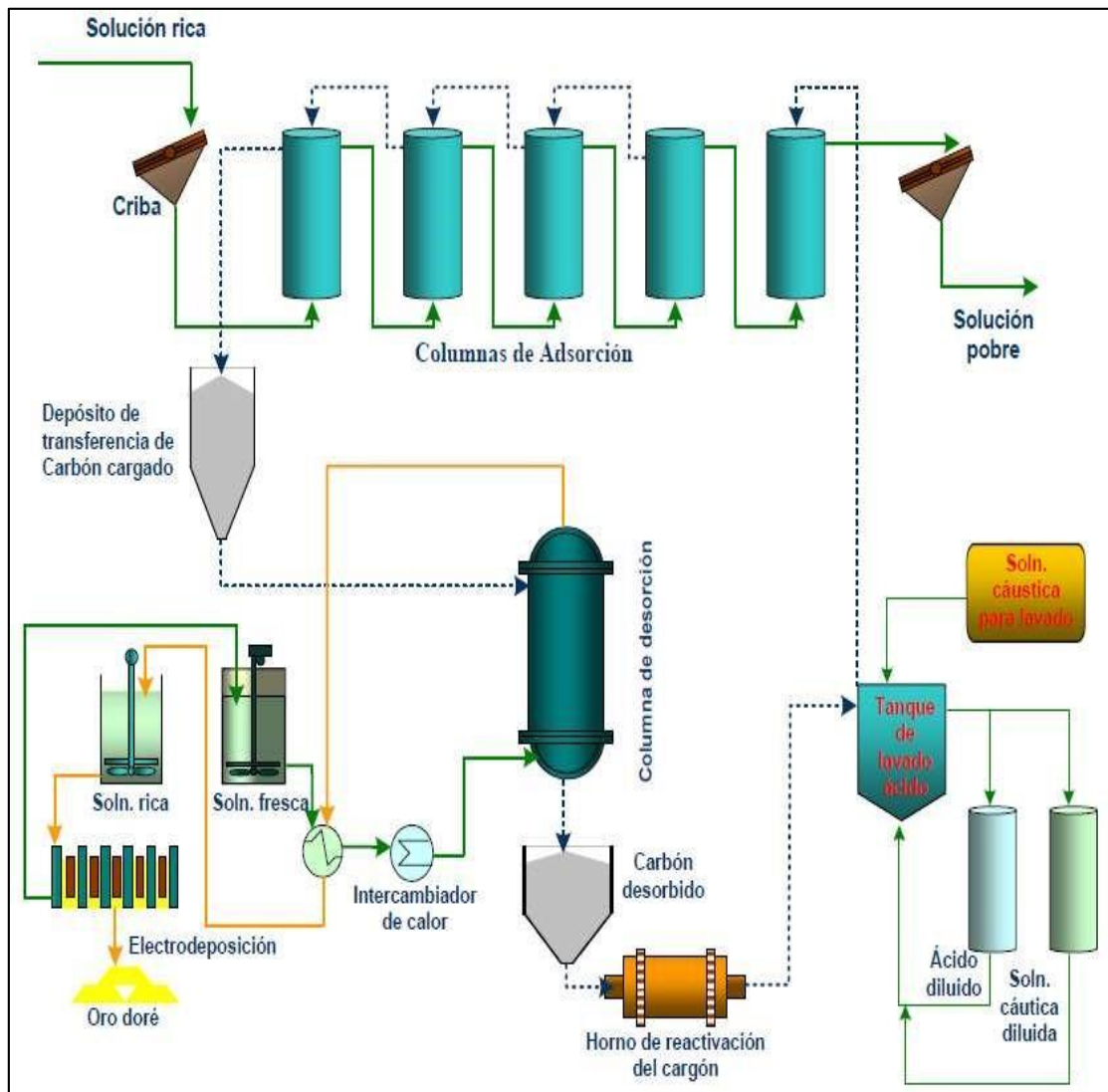
Es un método de muy fácil operación y de baja necesidad de personal. Las partes móviles son mínimas y el proceso es continuo, por lo cual, se tiene costos de operación y mantenimiento muy bajos (Quiroz, 2009).

El lixiviado (SR), producido por la operación de lixiviación en pilas de minerales de oro y plata de baja ley casi no contiene sólidos en suspensión. En esta operación, se usan varias columnas con carbón, dispuestas en serie. La solución rica, se envía a la primera torre, que contiene la mayor cantidad de carbón aurífero y va pasando hasta la última torre con una carga de carbón menor. Cuando la primera columna alcanza la cantidad predeterminada de oro, se retira del circuito y se agrega una columna de carbono fresco a la cola del extremo del circuito. La solución cargada debe fluir de abajo hacia arriba para que el carbón en la columna se fluidice lentamente (Misari, 1993).

El diseño de la capa de carbón activado fluidizado para la adsorción de oro debe considerar cuatro factores: la velocidad a la que la solución ingresa a la columna de carbón, la producción media diaria de metales preciosos, la cantidad máxima de oro que se puede cargar (adsorber) en el carbón, y el tamaño de partícula utilizado para este propósito. En la producción industrial, se considera ventajoso cargar 400 onzas de metales preciosos por tonelada de carbón. Sin embargo, cuando la solución que ingresa al proceso contiene menos de 0.05 onzas de oro por tonelada, la cantidad de oro adsorbido en el carbón activado generalmente no excede las 200 onzas por tonelada de carbón. La experiencia industrial muestra que, para un sistema de adsorción de oro eficaz, la carga de carbono se distribuirá uniformemente en 4 ó 5 columnas cromatográficas o tanques de almacenamiento conectados en serie para hacer que la solución estéril (agotada) de la última columna sea muy pobre en oro y plata. Cuando el resultado muestra que el carbón activado en la primera torre ha adsorbido la cantidad requerida de oro o está saturado, se retira del sistema y se coloca una nueva torre al final del circuito (Tremolada, 2011; Vargas, 1995).

Figura 5

Flow sheet de una planta de cianuración y extracción del oro por el método CIC



Fuente: Recuperación de oro de la solución Barren proveniente del proceso CIP mediante un sistema de columnas (Cápac, 2016).

Para que las columnas de carbón operen en forma correcta, es necesario hacer un buen diseño de ellas; en consecuencia, los principales factores a considerar son:

- Contenido de oro en la solución cargada a alimentarse.
- El volumen de carbón en el sistema de adsorción.
- La cantidad de carbón y la frecuencia con que se debe avanzar el carbón al sistema de desorción.
- Performance de captación del oro por el carbón.
- Cinética de adsorción del carbón.
- La cantidad de oro que se espera retornar con el carbón después de la desorción.

- Número de etapas de adsorción (Número de columnas).
- Presencia de elementos interferentes en la solución que hagan perder la actividad del carbón).

II.2.2. Ley mínima del oro en la Solución

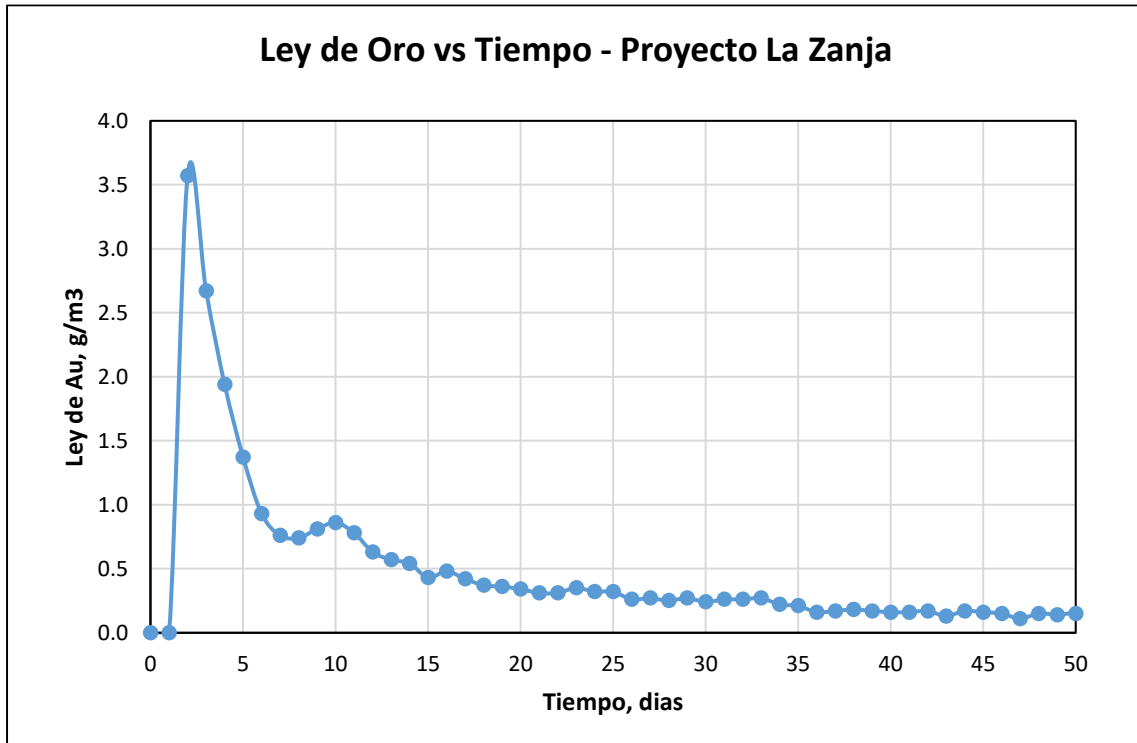
El contenido de oro en la solución rica (SR) es expresado en gramos de oro por metro cúbico de solución (g Au/m^3). La ley de las primeras soluciones es alta aproximadamente 0.5 g/m^3 , estas máximas leyes de la SR dependen de la ley del mineral, a mayor ley en el mineral, se tiene inicialmente mayor ley de la SR. Con el tiempo, esta ley va disminuyendo hasta llegar a valores menores a 0.01 g Au/m^3 ; esto indica, que ya se ha extraído la mayor cantidad de oro del mineral y se procede a cerrar la zona o a colocar mineral fresco para continuar con un nuevo ciclo de lixiviación (Villegas, 2015).

Al término del ciclo de vida de un proyecto minero donde se usa el proceso de lixiviación, las últimas toneladas de mineral son usualmente colocadas en la parte superior de las pilas de lixiviación. Esta lixiviación final puede durar meses o años hasta agotar todo el oro extraíble, durante esta última etapa la ley de oro en la SR empieza a ser cada vez menor. Esta ley, en un proceso continuo, es en promedio 0.5 g/m^3 (La Zanja, 2018); sin embargo, si ya no se coloca más mineral en el Pad, al final del ciclo de vida de un proyecto minero, esta va descendiendo hasta valores no rentables para la operación.

Una curva que nos muestra el comportamiento de la ley de oro en la solución rica con el tiempo se muestra en la figura 6. Cuando empieza a drenar la solución rica desde las pilas de lixiviación, éstas pueden alcanzar valores mayores a 3.5 g/m^3 , esto dependerá de la ley de oro en el mineral, a mayor ley en mineral mayor ley de la solución rica. Con el tiempo la ley de la SR empieza a disminuir hasta alcanzar valores menores a 0.1 g/m^3 , el tiempo de lixiviación y la ley mínima será evaluada en función a la rentabilidad del oro producido.

Figura 6

Ley de oro vs tiempo – Proyecto La Zanja



Fuente: Investigación Metalúrgica N° 2805 – Pruebas de Columnas 2 M Ø – La Zanja (Fernández y Sevilla, 2002).

II.2.3. Rentabilidad

Según explica Sánchez (2012), la rentabilidad, nos permite analizar la capacidad de la empresa para generar ingresos o pagar a los accionistas lo que se invierte.

La rentabilidad, es la capacidad que tiene algo para generar suficiente utilidad o ganancia; por ejemplo, un negocio es rentable cuando genera mayores ingresos que egresos, un cliente es rentable cuando genera mayores ingresos que gastos, un área o departamento de empresa es rentable cuando genera mayores ingresos que costos. Pero una definición más precisa de la rentabilidad es la de un índice que mide la relación entre la utilidad o la ganancia obtenida, y la inversión o los recursos que se utilizaron para obtenerla. Para hallar esta rentabilidad debemos dividir la utilidad o la ganancia obtenida entre la inversión, y al resultado multiplicarlo por 100 para expresarlo en términos porcentuales:

$$\text{Rentabilidad} = (\text{Utilidad o Ganancia} / \text{Inversión}) \times 100$$

El término rentabilidad, también es utilizado para determinar la relación que existe entre las utilidades de una empresa y diversos aspectos de ésta, tales como las ventas, los activos, el patrimonio, el número de acciones, etc. En este

caso, para hallar esta rentabilidad simplemente debemos dividir las utilidades entre el valor del aspecto que queremos analizar, y al resultado multiplicarlo por 100 para convertirlo en porcentaje (Sánchez, 2012).

Recuerda que la rentabilidad y utilidad son dos conceptos diferentes y complementarios. La utilidad es simplemente el nombre que se le da a un valor resultante después de restar a los ingresos todos los egresos, por ejemplo: Al precio de venta restar el precio de costo de un producto o servicio. En cambio, la rentabilidad es el nivel de rendimiento que se ha obtenido de un capital invertido. Es la rentabilidad la que nos dice si el negocio en que se ha invertido es un buen negocio o no.

En resumen: entre menor inversión haya que realizar para obtener una determinada utilidad, mejor será el proyecto de negocio, pues es la rentabilidad la que determina cuanto será el porcentaje de rendimiento que se obtendrá en una u otra inversión (Sánchez, 2012).

II.2.4. Valor Económico del Mineral

a. Precio del mineral

Es la cotización del mineral en el mercado expresado en:

*Cu, Pb, Zn, Fe: Se expresa en S/lb; \$/TM; ¢/lb

*Au, Ag: Se expresa en \$/onza troy

b. Valor Bruto

Es el valor del contenido del mineral, tal como sale de la mina por el precio del metal.

$$\text{VALOR BRUTO} = \text{PRECIO} \times \text{CONTENIDO METÁLICO}$$

$$\text{VALOR BRUTO} = \text{FACTOR} \times \text{LEY} \times \text{PRECIO}$$

c. Valor recuperable (Valor mineral mina)

Es el resultado de multiplicar la parte de metales recuperados por procedimiento metalúrgico por el precio del metal en el mercado.

$$\text{VALOR RECUPERABLE} = \text{VALOR BRUTO} \times \text{EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN}$$

$$VR = \text{PRECIO} \times \text{METAL RECUPERADO}$$

$$VR = \text{FACTOR} \times \text{LEY} \times \text{RECUPERACIÓN} \times \text{PRECIO}$$

d. Utilidad neta

Es la utilidad o beneficio que genera 1 tonelada de mineral luego de ser comercializado, donde se paga los gastos financieros de venta y gastos de producción (incluye gastos de fundición y refinería)

$$VN = \text{VALOR MINERAL} - \text{COSTO DE PRODUCCIÓN}$$

II.3. Cierre del Pad

El cierre del Pad está determinado por varios factores en un proceso minero, para nuestro caso, está determinado cuando la ley de la solución rica disminuye y llega a valores no rentables para la empresa minera.

Al respecto, estas propuestas de cierre de PAD se explican con Gonzales (2016), quien indica orientaciones a seguir o descartar algunos caminos para los futuros inversionistas y planificadores de cierre de PAD. Refiere, que la vida útil óptima económica es independiente de las reservas del yacimiento, pues, se puede apreciar que el cierre del PAD va a depender de ciertas orientaciones que se deben tomar en cuenta; así como descartar vías que no son favorables para la rentabilidad de la empresa minera.

Por lo cual, a lo mencionado, para valorar cual sería la ley mínima de oro en la solución rica para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una empresa minera, se tendría que ir evaluando el avance de las leyes y ubicar la categoría de rendimiento y rentabilidad de cada ley, hasta llegar a la ley mínima que determine el cierre del Pad, pues seguir en el proceso de lixiviación del oro ya no sería rentable para la minera. Al respecto estamos determinando que la valoración de la ley mínima del oro, en la recuperación del oro, tiene que ver mucho con el cierre del Pad. Esto para evitar que la minera no este invirtiendo en algo que ya no va a ser rentable (Sánchez, 2011).

A lo mencionado anteriormente, también Ramírez (2017) lo respalda, indicando que, la NIC 37 influye directamente en la provisión financiera de cierre de la Mina, es decir, cuando ya las expectativas de la ley mínima de oro decrecen significativamente por los dos procesos MC-CIC, en un periodo determinado de tiempo, la provisión financiera se detiene de manera inmediata.

Diremos también que, las consideraciones para el cierre del PAD se encuentran basadas en lo siguiente: Durante esta última etapa, la ley de oro, en la SR empieza a ser

cada vez menor. Esta ley, en un proceso continuo, es en promedio 0.5 g/m^3 ; sin embargo, si ya no se coloca más mineral en el Pad, al final del ciclo de vida de un proyecto minero, esta va descendiendo hasta valores no rentables para la operación. De esta manera al no colocarse más mineral en el Pad se comprueba que el ciclo de vida del proyecto minero ha llegado a su fin para los procesos MC y/o CIC, pues la rentabilidad y los costos unitarios y de producción caerían de manera significativa, en consecuencia, es el momento oportuno para decidir el cierre del Pad.

a. Proceso del cierre del Pad

Siguiendo los lineamientos de cierre de PAD, implica la ejecución de los planes de mantenimiento y monitoreo elaborados en las primeras fases, así como la realización de estudios para confirmar que los resultados y los criterios son acordes a los objetivos trazados en el plan de cierre. Las actividades realizadas en esta etapa incluyen:

- Demolición y eliminación de la infraestructura
- Acondicionamiento de los terrenos de explotación restantes
- Supervisión y medición del rendimiento de las actividades de cierre en relación con los estándares y criterios aprobados
- Confinamiento o tratamiento de los residuos mineros (relaves, desmonte, etc.)
- Tratamiento de efluentes.
- Monitoreo ambiental.
- Comunicación del cierre a las autoridades y las comunidades.

b. Otras Razones de Cierre del Pad

Cabe decir, que el cierre del Pad, no necesariamente se puede dar cuando la minera quiere ver su rentabilidad o utilidad, sino existen otros motivos también porque en las mineras se cierra el Pad. Estos motivos lo podemos percibir en el estudio comparativo del cierre del Pad que explica Oyarzun (2008), donde señala que:

A diferencia de una explotación agrícola, una de carácter minero, está limitada en el tiempo, aunque ese límite puede ser difícil de establecer. Una explotación minera puede cerrar el Pad, temporal o definitivamente por razones como las siguientes:

- Agotamiento de las reservas económicas conocidas.
- Baja en la demanda/precios de los metales o minerales explotados.
- Mal manejo financiero de la empresa.
- Problemas geotécnicos/hidrológicos graves.
- Conflictos laborales prolongados.
- Conflictos de origen político (guerra civil, incautaciones, etc.).
- Cambios en la legislación (en particular la relativa a impuestos).

- Restricciones vinculadas al ambiente y otras materias.

II.3. Marco conceptual (terminología)

- Carbón activado: Carbón formado generalmente de cascara de coco el cual ha recibido un tratamiento especial para poder recuperar metales o atrapar compuestos gaseosos (Martínez, 2012).
- Ley de oro en solución: Cantidad de oro que contiene una solución, se expresa en g/m^3 (EMDELP, 2002).
- Mineral Sulfurado: Mineral que contiene azufre en su composición o estructura (Larenas, 2013).
- Mineral oxidado: Mineral que contiene oxígeno en su composición o estructura (Mendo, 2016).
- Mineral aurífero: Todo mineral que contiene oro en su composición o estructura (Wotruba, 2004).
- Pilas de Lixiviación (o Pad): Área impermeabilizada usada para colocar minera, lixiviarlo y colectar la solución rica (Beckel, 2000).
- ppm: Partes por millón de un elemento compuesto dentro de otra (Chang, 2015).
- Solución cianurada: Solución alcalina formada por agua y cianuro (Gonzales, 2016).

III. HIPÓTESIS

III.1. Declaración de hipótesis

No aplica por ser un estudio descriptivo.

III.2. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas
Variable 1: Ley de oro en la solución rica.	La ley de oro en la solución rica es la cantidad de oro disuelto en una cantidad determinada de solución, generalmente se expresa en g/m ³ . (EMDELP, 2002)	Para determinar la ley de Au en la solución rica se ha usado un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varían, su principio de funcionamiento se basa en atomizar la solución y detectar el espectro del Au dentro de una gamma de espectros. Los resultados se expresan en gramos de oro por metro cúbico de solución (g/m ³) (Valadez, 2021).		- Gramos de oro por metro cubico (g/m3) para operar Planta.	- Razón
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas
Variable 2: Costo unitario.	El coste o costo unitarios es el valor monetario de producir un bien o un servicio. Se suele calcular como el costo de producir todos los bienes entre el número de bienes producidos (Orellana, 2019).	Para medir el costo unitario se usó el concepto de CU indicado por Orellana, es decir, se consideró y evaluó todos los costos (fijos y variables) que involucra la recuperación de oro tanto en el proceso MC como en el CIC, estos costos se relacionaron con la cantidad de onzas de oro producidas en cada proceso. (Orellana, 2019).	Costos	- Cantidad de dólares gastados para obtener una onza de oro en el proceso. - Onzas de oro producidas en un periodo de tiempo en el proceso.	-Razón. -Razón
			Producción		

IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS

IV.1. Tipo de investigación

La metodología que se utilizó en el presente trabajo es aplicada con enfoque cuantitativo.

Para Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. En nuestro estudio se usó la información y conocimientos adquiridos en dos procesos de producción de oro para predecir el cierre de un proceso metalúrgico.

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, en razón que los datos que se tomaron en cuenta para su tratamiento y visualizar resultados, están en base a cantidades numéricas que necesita el uso de la estadística para su descripción y recopilación de información. Las cantidades numéricas usadas son las leyes de la solución rica, las recuperaciones de oro, y los costos involucrados, para luego en base a la información obtenida de los procesos y al determinar una ley mínima de oro en la solución rica, demostrar cual sería la ley mínima de oro que ayuda significativamente, a una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una empresa minera.

IV.2. Nivel de investigación

Cuando el nivel de la investigación es descriptivo, como su nombre lo indica, describe fenómenos, situaciones, contextos y sucesos, esto es, detallar cómo son y se manifiestan; es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Hernández, 2019).

El nivel de investigación adoptada para la elaboración del presente trabajo es descriptivo, ya que tiene por finalidad describir el comportamiento de la ley de la solución rica y su efecto en la rentabilidad de un proceso de recuperación de oro.

Además, la investigación también es longitudinal, porque es una investigación que ha recopilado información a lo largo de tiempos prolongados, para realizar valoraciones, comparaciones y análisis de tiempo en tiempo (Hernández, 2019). Por lo que, en el presente estudio se ha considerado la ley de solución rica de los años 2016 al 2020, y la data de costos de los procesos ha sido considerado del año 2018 (data más reciente de MC y CIC), la información de este periodo ha servido para llegar a los objetivos de este estudio.

IV.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental porque no se manipula variable alguna.

El diseño es el siguiente:



Donde:

Muestra : Sector del drenaje 2 del Pad de lixiviación.

Ox : Observación de la variable ley de oro en la solución rica para una producción rentable.

IV.4. Método de investigación

Para el presente estudio, se usó el método deductivo, que enfoca el análisis de resultados partiendo de lo general a lo específico, basado en lo que sustenta Hernández (2019), quien refiere que el Método deductivo es aquel en el cual una investigación parte de un análisis general para llegar a análisis o resultados específicos.

Tomando en cuenta el Método Deductivo, en la presente investigación se partió del proceso de la lixiviación del oro, asociado al objetivo del estudio de llegar hacia la ley mínima que favorezca a la rentabilidad de la minera. Por lo que, a nivel general, se empezó el proceso de lixiviación del oro colocando el mineral en el Pad de lixiviación, luego, la solución rica que sale del Pad es colectada por 4 drenajes. Ahora, para llegar a un análisis específico y valorar la ley mínima del oro que pueda ser más rentable, se seleccionó, analizo, y usó el drenaje N°2.

IV.5. Población

La población de estudio consistió en cuatro sectores del Pad con sus respectivos drenajes, para el proceso de la lixiviación del oro. Al respecto, Hernández (2019) argumenta que la población es una colección de elementos o temas que tienen características similares cuando hay un problema.

Criterios de Inclusión

Se consideró los valores de las leyes en el proceso de lixiviación del oro, hasta llegar a la ley mínima, pero concerniente solamente a los procesados en el sector 2 del Pad.

IV.6. Muestra

Bernal (2010), argumenta que: “La muestra es parte de la selección de la población, a partir de la cual se puede obtener la información utilizada para realizar el estudio y observación de las variables”. (p , 189). En el presente trabajo, de los 4 sectores y sus 4 drenajes respectivos, se consideró como muestra al sector 2 con su respectivo drenaje del Pad de lixiviación del oro.

Como muestreo se utilizó el muestreo por conveniencia: Teniendo 4 sectores del PAD, por un criterio de conveniencia, se creyó conveniente obtener la recopilación de información del sector 2 con su respectivo drenaje 2. Esto, debido a que el sector 2 ya ha culminado su proceso de lixiviación, por lo que su información se puede replicar al resto de sectores, los cuales todavía están en proceso. Al respecto, el muestro por conveniencia, permite seleccionar el caso más accesible y que acepten ser incluidos (Hernández, 2019).

IV.7. Técnicas de recolección de datos

IV.7.1. Técnica

Análisis documental, comprende la obtención de datos provenientes de reportes históricos de las diferentes fases del proceso de recuperación de oro, de los reportes de las leyes de la solución rica considerando todo el rango de leyes de oro, y verificar mediante la información obtenida, si la ley mínima determinada ayuda significativamente a una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una empresa minera.

IV.7.2. Instrumento

Ficha de registro de datos.

IV.8. Presentación de resultados

A través de tablas y figuras se dan a conocer los resultados del estudio, los cuales sustentan los objetivos realizados dentro de la investigación.

V. RESULTADOS

Mediante las siguientes tablas y figuras se dan a conocer los resultados de las variables del presente estudio. Para lo cual, se sigue un orden esquemático, en relación con los objetivos.

V.1. Determinación de la Ley Mínima de Oro Para el Proceso CIC.

Tabla 3

Ley de oro en la solución rica del drenaje 2. Promedios mensuales

Mes	Ley Au g/m ³
1	0.333
2	0.109
3	0.058
4	0.043
5	0.022
6	0.015
7	0.011
8	0.007

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

La tabla 3 muestra los valores promedios mensuales de la ley de oro en la solución, los cuales son el resultado de los análisis químicos realizado a la solución rica del drenaje 2 (Apéndice N° 8, ejemplo). Cuando se empieza a lixiviar un mineral nuevo la ley de la solución rica que drena del Pad tiene valores promedio de 0.33 g/m³ en su primer mes de drenado, el segundo mes desciende su valor a 0.109 g/m³, y así sucesivamente el valor de la SR va descendiendo con el tiempo hasta llegar a valores menores a 0.007 g/m³ en ocho meses. A lo que diremos que la ley de oro de la SR desciende con el tiempo.

Tabla 4

Producción mensual de oro respecto de la ley de oro en la SR para el proceso CIC

Ley Au – SR g/m ³	Prod. Au oz
0.333	4,989
0.109	1,640
0.058	867
0.043	639
0.022	328
0.015	228
0.011	159
0.007	100

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de la producción se considera la siguiente ecuación:

$$X = (Y - 5 \cdot 10^{-17}) / 0.002 \cdot 30.$$

Esta ecuación se obtiene de la relación que existe entre la ley y la producción (Apéndice N° 9).

Donde:

X: Producción de oro mensual (*30), oz.

Y: Ley de oro, g/m³.

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³:

Producción = $(0.333 - 5 \cdot 10^{-17}) / 0.002 \cdot 30 = 4,989$ oz de Au.

El primer mes la ley de oro en la SR es en promedio 0.333 g/m³, a esa ley la producción mensual de oro con el proceso CIC es de 4,989 oz; en caso la ley descienda a valores de 0.058 g/m³ la producción desciende a 867 oz mensuales, y así sucesivamente. Indicando que, cuando la ley de la solución rica desciende, la producción de oro también desciende.

Tabla 5
Costo mensual para la producción de oro con el proceso CIC

Concepto	Costo, \$
Energía	94,743
Mano de obra	58,582
Suministros	365,619
Terceros	220,327
Total	739,271

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Los costos mensuales de producción fluctúan muy poco, por lo que se han considerado como costos fijos (Apéndice N° 10 – Detalle de Gastos en CIC).

Para la producción de oro se requiere invertir mensualmente en energía (\$ 94,743), mano de obra (\$ 58,582), suministros (\$ 365,619) y terceros (\$ 220,327). Estos costos ascienden en total a \$ 739,271 mensuales, los cuales son fijos por las características del proceso.

Tabla 6
Ingresos mensuales por la producción de oro con el proceso CIC

Ley Au – SR g/m ³	Ingreso \$
0.333	6,417,576
0.109	2,109,384
0.058	1,115,139
0.043	821,969
0.022	421,458
0.015	293,733
0.011	204,427
0.007	128,127

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de los ingresos se considera la siguiente ecuación:

$Y = 643.21X + 2 \cdot 10^{-13} \cdot 1000 \cdot 30$, que se obtiene de la relación que existe entre la ley y los ingresos (Apéndice N° 11).

Donde:

Y: Ingreso mensual (*30), \$.

X: Ley de oro, g/m³.

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³:

$$\text{Ingresos} = 643.21 * 0.333 + 2 * 10^{-13} * 1000 * 30 = \$ 6'417,576.0$$

Los ingresos derivados de la producción están en función de la ley de oro de la solución rica; así, si la ley de la SR es de 0.333 g/m³, los ingresos serán de \$ 6, 417,576 mensuales; si la ley desciende a valores de 0.058 g/m³, los ingresos también descienden a valores de \$ 1, 115,139 mensuales, y así sucesivamente. Indicando que, los ingresos descienden si la ley de la SR también desciende.

Tabla 7

Rentabilidad mensual en función de la ley de oro de la solución rica con el proceso CIC

Ley Au – SR g/m ³	Rentabilidad %
0.333	768
0.109	185
0.058	51
0.043	11
0.022	-43
0.015	-60
0.011	-72
0.007	-83

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de la rentabilidad se considera el siguiente procedimiento:

$$R = U/I * 100, (\%)$$

Donde:

R: Rentabilidad, %.

U: Utilidad, \$.

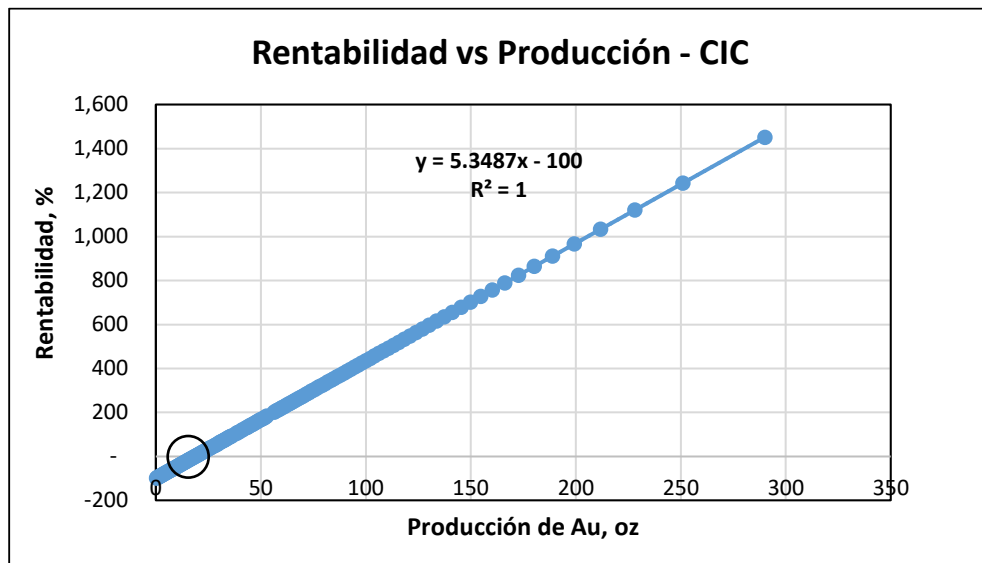
I: Inversión, \$

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³ en el proceso CIC se tiene como utilidad de \$ 5'678,305 y una inversión mensual de \$ 739,271; por lo que la rentabilidad será de: $R = 5'678,305 / 739,271 * 100 = 768 \%$

Cuando la ley de la SR tiene valores de 0.333 g Au/m³, la rentabilidad por la producción de oro al usar el proceso CIC es de 768 %. Si la ley desciende a valores de 0.058 g Au/m³, la rentabilidad también desciende a valores de 51 %. Si se tiene una ley de 0.022 g/m³ se tiene una rentabilidad negativa de – 43 %, y así sucesivamente. Indicando que, si la ley de la SR desciende, la rentabilidad por la producción de oro con el proceso CIC también desciende.

Figura 7

Rentabilidad en función de la producción de oro con el proceso CIC



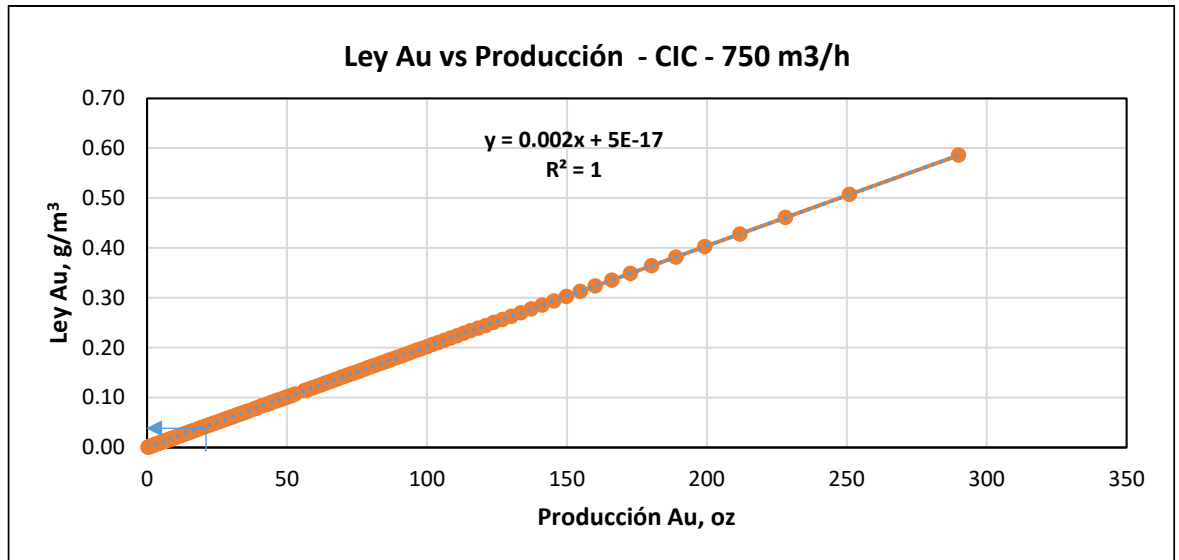
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

De la relación que existe entre la producción y la rentabilidad se obtiene la siguiente ecuación: $Y=5.3487X-100$ con $R^2=1$. De esta ecuación, como ejemplos, se tiene que, cuando la producción es de 243 oz de Au la rentabilidad es de 1,200 %; si la producción desciende a 56 oz de Au la rentabilidad también desciende a 200 %, y así sucesivamente. Por lo que, de acuerdo con la ecuación, la rentabilidad es cero (0.0%) cuando se tiene una producción mensual de 561 oz con el proceso CIC (en el gráfico, 18.7 oz diarias).

Figura 8

Ley de oro en la solución rica, en función de la producción de oro con el proceso CIC



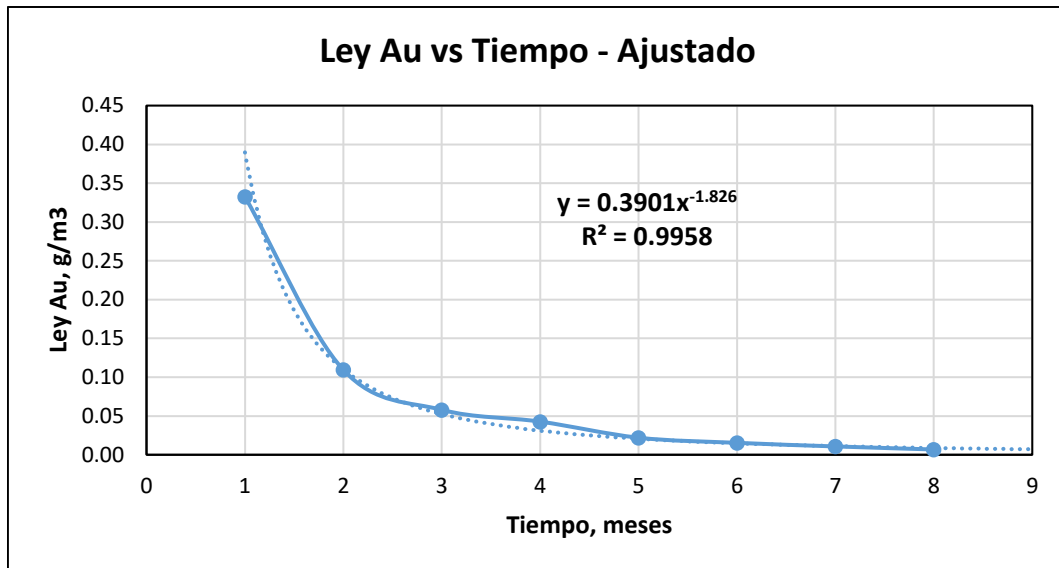
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para analizar el presente gráfico, se tiene en cuenta el resultado del gráfico anterior (figura 7), donde la rentabilidad es cero cuando se tiene una producción mensual de 561 oz de Au (en gráfico, 18.7 oz diarias). Indicando que, usando la ecuación del presente gráfico: $Y=0.002X+5E-17$, con $R^2=1$, se obtiene una producción con rentabilidad = 0% cuando la ley de oro en la SR es de 0.0374 g/m^3 con el proceso CIC.

Figura 9

Ley de oro en la solución rica respecto del tiempo. Determinar el tiempo cuando la rentabilidad es igual a cero en CIC



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del comportamiento de la ley de oro en la solución rica (promedios mensuales) respecto del tiempo, se obtiene la siguiente ecuación: $Y=0.3901X^{-1.826}$. Con esta ecuación se puede determinar el tiempo en que se llega a tener valores de 0.0374 g Au/m³, es decir, valores cuando la rentabilidad con el proceso CIC es cero (0.0 %). Indicando que, usando la ecuación, si se usa el proceso CIC, el tiempo para llegar a tener valores de 0.0374 g Au/m³ en la solución rica es de tres meses y 18 días (3.6 meses) luego de colocarse las ultimas toneladas de mineral fresco en el Pad.

V.2. Determinación de la Ley Mínima de Oro Para el Proceso MC.

Tabla 8

Ley de oro en la solución rica del drenaje 2. Promedios mensuales

Mes	Ley Au g/m ³
1	0.333
2	0.109
3	0.058
4	0.043
5	0.022
6	0.015
7	0.011
8	0.007

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

La tabla 8 muestra los valores promedios mensuales de la ley de oro en la solución, los cuales son el resultado de los análisis químicos realizado a la solución rica del drenaje 2 (Apéndice N° 8, ejemplo). Cuando se empieza a lixiviar un mineral nuevo la ley de la solución rica que drena del Pad tiene valores promedio de 0.333 g/m³ en su primer mes de drenado, el segundo mes desciende su valor a 0.109 g/m³, y así sucesivamente. El valor de la SR va descendiendo con el tiempo hasta llegar a valores menores a 0.007 g/m³ en ocho meses (agosto). Indicando que la ley de oro de la SR desciende con el tiempo.

Tabla 9

Producción mensual de oro respecto de la ley de oro en la SR para el proceso MC

Ley Au – SR g/m ³	Producción Au, oz
0.333	5,251
0.109	1,726
0.058	912
0.043	673
0.022	345
0.015	240
0.011	167
0.007	105

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de la producción se considera la siguiente ecuación:

$$X = (Y + 6 \cdot 10^{-16}) / 0.0019 \cdot 30.$$

Esta ecuación se obtiene de la relación que existe entre la ley y la producción (Apéndice N° 12).

Donde:

X: Producción de oro mensual (*30), oz.

Y: Ley de oro, g/m³.

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³:

Producción = $(0.333 + 6 \cdot 10^{-16}) / 0.0019 \cdot 30 = 5,251$ oz de Au

El primer mes la ley de oro en la SR es en promedio 0.333 g/m³, a esa ley la producción mensual de oro con el proceso MC es de 5,251 oz; en caso la ley descienda a valores de 0.058 g/m³ la producción desciende a 912 oz mensuales, y así sucesivamente. Indicando que, cuando la ley de la solución rica desciende, la producción de oro también desciende.

Tabla 10

Costo mensual para producción de oro con el proceso MC

Concepto	Costo \$
Energía	120,444
Mano de obra	46,197
Suministros	442,149
Terceros	151,613
Total	760,404

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Los costos mensuales de producción fluctúan muy poco, por lo que se han considerado como costos fijos (Apéndice N° 13 – Detalle de Gastos en MC).

Para la producción de oro se requiere invertir mensualmente en energía (\$ 120,444), mano de obra (\$ 46,197), suministros (\$ 442,149) y terceros (\$ 151,613). Estos costos ascienden en total a \$ 760,404 mensuales, los cuales son fijos por las características del proceso.

Tabla 11

Ingresos mensuales por la producción de oro con el proceso MC

Ley Au – SR g/m ³	Ingreso \$
0.333	6,803,103
0.109	2,236,103
0.058	1,182,130
0.043	871,347
0.022	446,777
0.015	311,378

0.011	216,707
0.007	135,825

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de los ingresos se considera la siguiente ecuación:

$Y = 681.85X + 3 \cdot 10^{-13} \cdot 1000 \cdot 30$, que se obtiene de la relación que existe entre la ley y los ingresos (Apéndice N°11).

Donde:

Y: Ingreso mensual (*30), \$.

X: Ley de oro, g/m³.

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³:

Ingresos = $681.85 \cdot 0.333 + 3 \cdot 10^{-13} \cdot 1000 \cdot 30 = \$ 6'803,103.0$

Los ingresos derivados de la producción están en función de la ley de oro de la solución rica; así, si la ley de la SR es de 0.333 g Au/m³, los ingresos serán de \$ 6,803,103 mensuales; si la ley desciende a valores de 0.058 g/m³, los ingresos también descienden a valores de \$ 1,182,130 mensuales, y así sucesivamente. Indicando que, los ingresos descienden si la ley de la SR también desciende.

Tabla 12

Rentabilidad mensual en función de la ley de oro de la solución rica con el proceso MC

Ley Au – SR g/m ³	Rentabilidad %
0.333	795
0.109	194
0.058	55
0.043	15
0.022	-41
0.015	-59
0.011	-72
0.007	-82

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para el cálculo de la rentabilidad se considera el siguiente procedimiento:

$$R = U/I \cdot 100, (\%)$$

Donde:

R: Rentabilidad, %.

U: Utilidad, \$.

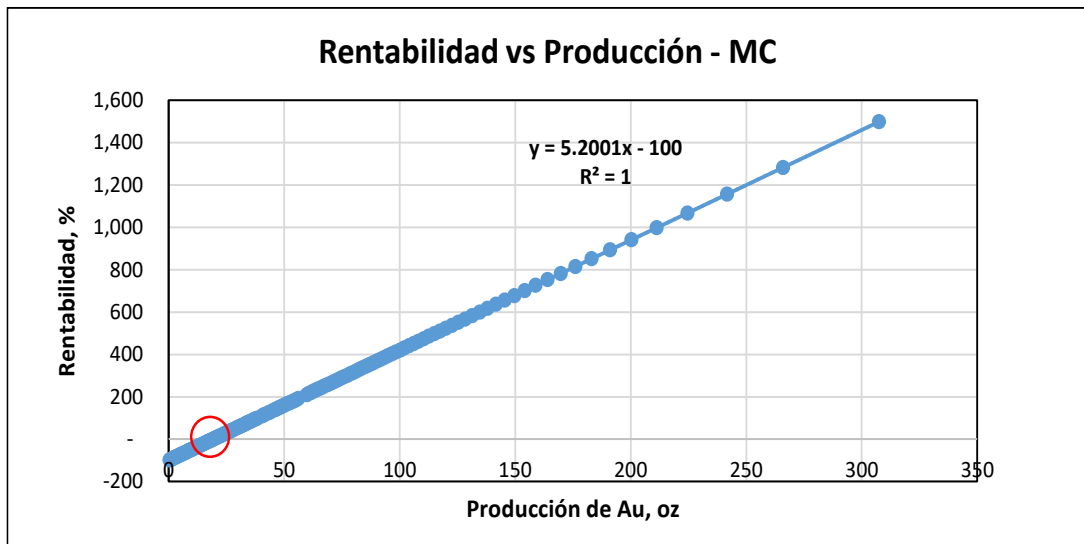
I: Inversión, \$

Ejm. Para una ley de 0.333 g/m³ en el proceso MC se tiene como utilidad de \$ 6´042,700 y una inversión mensual de \$ 760,404, por lo que la rentabilidad será de: $R = 6´042,700/760,404 * 100 = 795 \%$

Cuando la ley de oro en la SR tiene valores de 0.333 g Au/m³, la rentabilidad por la producción de oro al usar el proceso MC es de 795 %. Si la ley desciende a valores de 0.058 g/m³, la rentabilidad también desciende a valores de 55 %. Si se tiene una ley de 0.022 g/m³ se tiene una rentabilidad negativa de -41 %, y así sucesivamente. Indicando que, si la ley de oro de la SR desciende, la rentabilidad por la producción de oro con el proceso MC también desciende.

Figura 10

Rentabilidad en función de la producción de oro con el proceso MC



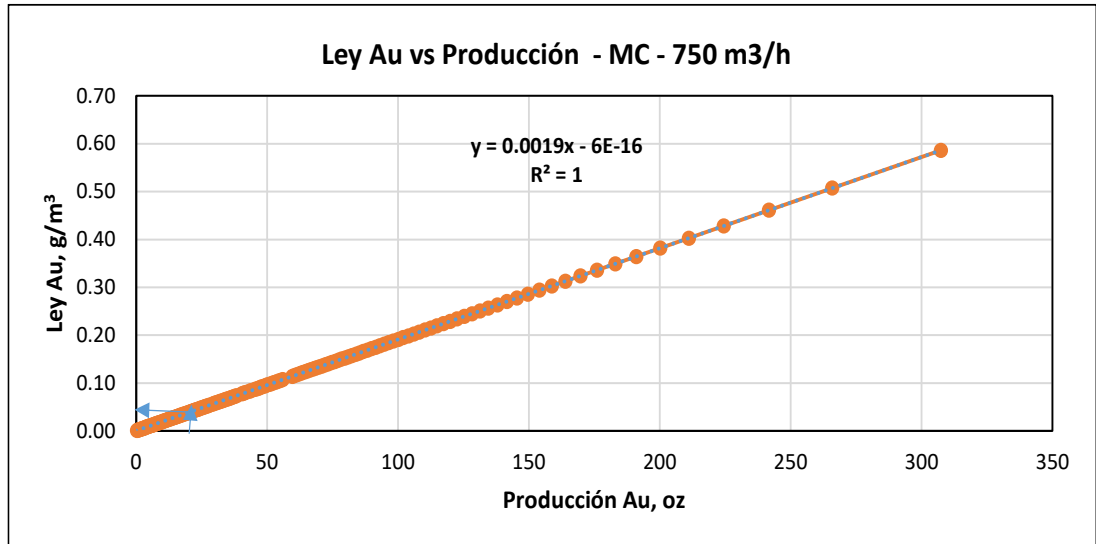
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

De la relación que existe entre la producción y la rentabilidad se obtiene la siguiente ecuación: $Y=5.2001X-100$, con $R^2=1$. De esta ecuación, como ejemplos, se tiene que, cuando la producción es de 250 oz de Au la rentabilidad es de 1,200 %; si la producción desciende a 58 oz de Au la rentabilidad también desciende a 200 %, y así sucesivamente. Por lo que, de acuerdo con la ecuación, la rentabilidad es cero (0.0%) cuando se tiene una producción mensual de 577 oz con el proceso MC (en el gráfico, 19.2 oz diarias).

Figura 11

Ley de oro en la SR en función de la producción de oro con el proceso MC



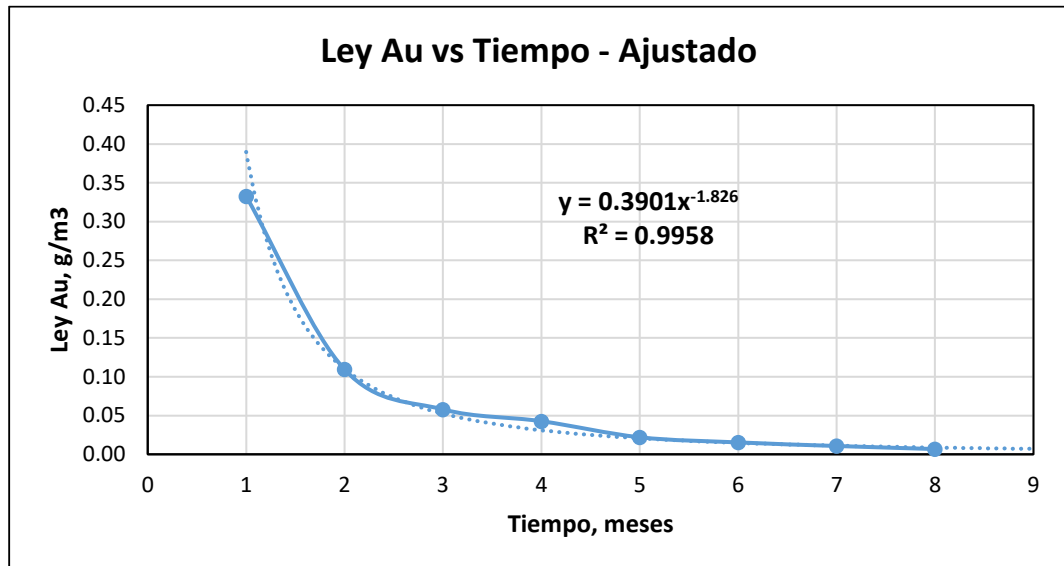
Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Para analizar el presente gráfico se tiene en cuenta el resultado del gráfico anterior, donde la rentabilidad es cero cuando se tiene una producción mensual de 577 oz de Au (Au (en gráfico, 19.2 oz diarias diarias). Por lo que diremos que, usando la ecuación del presente gráfico: $Y=0.0019X-6E-16$ con $R^2=1$, se obtiene una producción con rentabilidad = 0 % cuando la ley de oro en la SR es de 0.0365 g/m^3 con el proceso MC.

Figura 12

Ley de oro en la solución rica respecto del tiempo. Determinar el tiempo cuando la rentabilidad es igual a cero en MC



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del comportamiento de la ley de oro en la solución rica (promedios mensuales) respecto del tiempo, se obtiene la siguiente ecuación: $Y=0.3901X^{-1.826}$. Con esta ecuación se puede determinar el tiempo en que se llega a tener valores de 0.0365 g/m^3 , es decir, valores cuando la rentabilidad con el proceso MC es cero (0.0 %). Por lo que diremos que, usando la ecuación, si se usa el proceso MC, el tiempo para llegar a tener valores de 0.0365 g/m^3 en la solución rica es de tres meses y 20 días (3.7 meses) luego de colocarse las últimas toneladas de mineral fresco en el Pad.

V.3. Determinación del tiempo (momento) para empezar el cierre del Pad.

Tabla 13

Ley mínima de oro en la solución rica y tiempo para cierre de Pad de lixiviación

Proceso	Ley mínima Au, g/m ³	Tiempo Meses
Carbón en columnas – CIC	0.0374	3.6
Merrill Crowe - MC	0.0365	3.7

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Luego de analizar los resultados del comportamiento de la ley de oro en la SR, se conoce que, para el proceso CIC la ley mínima de oro para procesar la SR es de 0.0374 g Au/m³, esta ley se obtiene en 3.6 meses, indicando que, el cierre del Pad cuando se usa el proceso CIC debe de iniciarse luego de 3.6 meses de colocarse la última tonelada de mineral fresco en el Pad. De igual manera, para el proceso MC se indica que el cierre del Pad debe de iniciarse luego de 3.7 meses de colocarse la última tonelada de mineral fresco en el Pad, es decir, cuando se llega a valores de 0.0365 g Au/m³ en la SR.

VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

VI.1. Discusión

En el presente estudio, titulado: “Ley mínima de oro en la solución rica para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una empresa minera”, se realizó la siguiente discusión de resultados para sustentar el estudio, y mostrar evidencias científicas de lo propuesto en los objetivos.

En la presente discusión de resultados, se da el respaldo científico en base a los hallazgos de los datos encontrados, satisfaciendo a los requerimientos de los objetivos planteados en el presente estudio, investigación bajo los criterios y estándares admitidos en la normatividad para diseños de proyectos científicos y diseños reglamentados por la universidad de procedencia. Para la realización de la presente investigación también se ha considerado diseñar los objetivos asociados a los procesos según las variables en estudio. Por ello, en la presente investigación, se recopiló información de los años 2016-2020.

Es por eso que se consideró **como Objetivo General**: Determinar la mínima ley de oro en la solución rica, para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una Empresa Minera. Es decir, objetivo que sirvió de guía para demostrar cual sería la ley mínima en el proceso de lixiviación del oro, para determinar el cierre del Pad y las Plantas de procesos, a fin de considerar que, hasta esa ley mínima encontrada en la solución rica sea rentable para la minera.

En base al análisis de la solución rica en oro, aplicado para los procesos MC y CIC, en relación con el tiempo, se observa en la tabla 3 (proceso CIC) y tabla 8 (proceso MC), como la tendencia de la ley de oro (Au) va disminuyendo significativamente en el tiempo. Considerando una ley de oro promedio en el primer mes de 0.333 g/m^3 , esta va descendiendo hasta alcanzar una ley promedio de 0.007 g/m^3 en un tiempo de ocho meses en ambos procesos (Ver tabla 3). Esta interpretación va acorde a los objetivos específicos 1 y 2 planteados para valorar la tendencia en cada método.

A lo anteriormente mencionado, también Villegas (2015) reafirma esta disminución de la ley con el tiempo, pues explica que el contenido de oro, en la Solución Rica, es expresado en gramos de oro por metro cúbico de solución (g Au/m^3) o miligramos por litro (mg/l), y disminuye significativamente en el tiempo. A lo expuesto por Villegas, hay un sustento lógico con el presente estudio, pues la ley de las primeras soluciones es alta, los primeros días pueden llegar inclusive a valores sobre los 0.5 g/m^3 . Estas máximas leyes de la SR dependen de la ley del mineral, por lo que, a mayor ley en el mineral se tiene inicialmente mayor ley de la SR. Con el tiempo, esta ley va disminuyendo hasta llegar a valores menores a 0.01 g Au/m^3 , evidenciándose con esto que la ley de oro va disminuyendo significativamente en el tiempo.

En la tabla 10, se muestra como el costo (\$) para la producción de barras de Au es ligeramente mayor al usar el proceso MC que el CIC. El costo mensual para la producción de Au usando MC es de \$ 760,404 (ver tabla 10), y el costo con el proceso CIC es de

\$ 739,291 (ver tabla 5); de esto se tiene que, con el proceso MC se invierte \$ 21,133 adicionales cada mes. Mientras que, haciendo el análisis de rentabilidad, al usar el proceso MC se tiene mayor rentabilidad que al usar el CIC. Al respecto, diremos lo que indica Misari (1993), quien sostiene que el proceso CIC, es un método de muy fácil operación y de baja necesidad de personal que asegura una ley adecuada para el proceso. Además, indica que, las partes móviles son mínimas y el proceso es continuo, por lo cual, se tiene costos de operación y mantenimiento muy bajos.

A lo mencionado anteriormente, diremos que, con el método MC, los costos son más altos pero su rentabilidad es mayor, mientras que con el método CIC, los costos son más bajos, pero su rentabilidad es menor. Se sabe que toda empresa minera anhela invertir para que su rentabilidad sea mayor, que genere ganancias para la empresa y por ende para los accionistas y trabajadores.

Por otra parte, a lo mencionado, también Sánchez (2012), explica que, el término rentabilidad, también es utilizado para determinar la relación que existe entre las utilidades de una empresa y diversos aspectos de ésta, tales como las ventas, los activos, el patrimonio, el número de acciones, etc. En este caso, para hallar esta rentabilidad de ambos procesos, simplemente se ha dividido las utilidades entre el valor del aspecto que queremos analizar, y al resultado multiplicarlo por 100 para convertirlo en porcentaje. Partiendo de a lo que menciona Sánchez, en la empresa minera, se ha determinado la rentabilidad asociando los costos de producción, ingresos, y utilidades (ver tabla 7 proceso CIC, y tabla 12 en proceso MC), lo que han servido para determinar la rentabilidad en los procesos MC y CIC en el periodo de estudio.

El mismo Sánchez (2012), explica que, en resumen, entre menor inversión haya que realizar para obtener una determinada utilidad, mejor será el proyecto de negocio, pues es la rentabilidad la que determina cuanto será el porcentaje de rendimiento que se obtendrá en una u otra inversión. Al respecto, en nuestra investigación, en base a este fundamento, se ha utilizado una inversión mensual de \$ 760,404 dólares para MC y \$ 739,271 para CIC como base para calcular la rentabilidad (ver tabla 5 para proceso CIC, tabla 10 para proceso MC). De esta manera, se demuestra que el proyecto de recuperación de oro ha cumplido con sus objetivos trazados en la rentabilidad; teniendo como base de cálculo las utilidades y los costos de producción tanto para el proceso MC como para el CIC. Para analizar si lo invertido genera mayor producción o ganancia como indica Sánchez, lo visualizamos en las figuras 7 y 8 para el proceso CIC, y en la figura 10 y 11 en el proceso MC. Esto se puede visualizar en las tablas 4, 8, 9 y 10, como en las figuras del 9 al 12.

Referente a la rentabilidad, con relación a la producción y utilidades, o ganancias podríamos decir que, en términos numéricos se observa una diferencia en ambos procesos. Pues, en la tabla 12 observamos como una ley de oro de 0.333 g/m^3 genera una rentabilidad de 795 % con MC, y una rentabilidad de 768 % al usar el proceso CIC (ver tabla 7). Con MC se genera 27 % más de rentabilidad respecto del CIC, lo que

significa que, al usar MC, se genera mayor rentabilidad para la empresa minera. Todos los promedios marcados de la ley de oro alcanzan una ventaja de rentabilidad con MC dentro del proceso de recuperación de oro.

A lo mencionado anteriormente, es para valorar el análisis de rentabilidad, pero ahora para asociar de qué manera la ley mínima ayuda a determinar ganancia o productividad, Sánchez (2012) indica que la rentabilidad es la capacidad que tiene algo para generar mayores ingresos que gastos, egresos, o costos.

Por ejemplo, un negocio es rentable cuando genera mayores ingresos que egresos, un cliente es rentable cuando genera mayores ingresos que gastos, o en un área o departamento de una empresa es rentable, cuando genera mayores ingresos que costos.

A lo mencionado por Sánchez anteriormente, diremos que, aplicando sus enfoques teóricos en base a sus procesos aplicados, en la presente investigación, también se ha podido determinar, que la ley mínima de oro para la empresa minera es en promedio 0.0370 g/m³; por lo tanto, a leyes mayores a la indicada genera utilidad y ganancia, que favorecen la rentabilidad de la empresa minera con un promedio de utilidades de \$ 5'860,503 mensuales cuando se tiene una ley de oro en la solución rica de 0.333 g/m³. (Para MC ver dato de utilidad en ejemplo de tablas 12, y para CIC ver dato de utilidad en ejemplo de tablas 7).

En el objetivo N° 1, Identificar la ley mínima de oro en la Solución Rica para el proceso CIC en una Empresa Minera. Observamos en la figura 8, que esta ley es de 0.0374 g/m³, y se logra en 3.6 meses de lixiviación; luego desciende hasta valores de 0.01 g/m³ en 7.4 meses. (Ver tabla 3)

A lo mencionado anteriormente, también esta ley mínima se consigue con resultados favorables, en base al sustento que realiza Valadez (2021), quien concluye que, la recuperación de oro es del 71%, siendo equivalente a disolver 45.83 gpt de oro; por otro lado, con el lixiviante GoldMax su eficiencia es más baja, siendo alrededor del 20%. Es así que, la distribución de oro es de 0.2-0.4 g/t con un promedio de 0.292 g/t; considerado eficiente dentro del estudio, pues se presentó una tasa de retorno del 25%.

Al respecto, en este sentido, para identificar la ley mínima de oro, en la solución rica (SR), para el proceso CIC, se tuvo en cuenta un buen diseño, un correcto contenido de oro en la solución cargada, y un adecuado sistema de absorción; con este sistema, se ha tenido condiciones favorables para determinar la ley mínima de oro (0.0374 g/m³) en el proceso CIC. En cuanto a estos resultados, diremos que, los mismos planteamientos sostiene Vargas (1995), quien explica que con el proceso CIC se utiliza columnas de carbón que operan en forma correcta, para lo cual fue necesario hacer un buen diseño de ellas; en consecuencia, los principales factores considerados fueron: Contenido de oro en la solución cargada a alimentarse, el volumen de carbón en el sistema de adsorción, la cantidad de carbón y la frecuencia con que se debe avanzar el carbón al

sistema de desorción, logrando de esta manera el performance de captación del oro por el carbón.

Para el objetivo N° 2: Identificar la ley mínima de oro en la solución rica para el proceso Merrill Crowe (MC) en una empresa minera. Según la figura 11, se observa que la producción de oro aumenta cuando la ley de la SR aumenta. En MC, cuanto a la ley de oro es de 0.333 g/m^3 se obtiene 5,251 oz de Au por mes, esto se observa en la tabla 9. Al respecto, Soto (2021), efectuó un estudio cuyo objetivo fue dar a conocer la influencia mineragráfica para la recuperación de oro, a través de la técnica de análisis microscópico y macroscópico; donde se concluyó que la eficiencia de la extracción y recuperación de oro fue de 94.48%, presentado una mezcla del 75% de la veta Inkaracay y 25% de la veta Mina Sanca; utilizándose alrededor de 120 kilos de mineral para efecto de las cinco pruebas; además se concreta que el estudio fue el más rentable frente al análisis por microscopia electrónica de Barrido y análisis químico, en un 83%.

Realizando una comparación en términos de rentabilidad, y basándonos a lo que anteriormente explica Soto (2021). En el proceso MC se obtienen más onzas de oro que con CIC. Por lo que, respecto al aumento de la producción, Soto (2021), sostiene que la recuperación de oro fue de 94.48% en un tiempo reducido de 90 horas; con esto se obtendrá un rendimiento eficiente. En consecuencia, la producción es mayor con el proceso MC que con CIC.

Este sustento, relacionándolo a la presente investigación, se puede contrastar resultados al indicar una mejora en la recuperación de oro al usar MC, esto permite tener una ley mínima rentable de oro ligeramente inferior que el CIC (Ley mínima en CIC = 0.0374 g/m^3 , en MC = 0.0365 g/m^3).

Al respecto de lo logrado, Quispe (2015) indica que el MC, a pesar de tener un tratamiento previo, tiene ventajas como: bajo costo de inversión y laboral; con esto se pudo conseguir una ley mínima adecuada para una producción rentable.

Por lo que diremos que, con estas condiciones se logra identificar la ley mínima de oro en la Solución Rica para el proceso MC, y obtener una producción ventajosa de onzas de oro, que permita una buena rentabilidad.

Para el objetivo N° 3: Estimar el momento para empezar el cierre del Pad con ambos métodos en la empresa minera. Antes de valorar los resultados, daremos una noción de lo que significa el cierre del Pad. El cierre del PAD, se debe a razones de agotamiento de las reservas en la solución rica al disminuir la ley de oro, y al evaluarse la disminución de sus valores en el tiempo, pues las utilidades y la rentabilidad se ven afectadas cuando la ley de la SR tiene valores por debajo de una ley mínima, con la cual, ya no es conveniente seguir con el proyecto; y por lo tanto, se decide de manera definitiva el cierre del PAD, dentro de los criterios y estándares establecidos por la normatividad vigente para el cierre de las operaciones y del PAD en la empresa minera.

Analizando los resultados, en base a la ley mínima determinada para el cierre del Pad, se realizará este cierre, cuando la ley mínima de oro alcance valores de 0.0365

g/m^3 con MC y 0.0374 g/m^3 con CIC, y se reconoce que leyes menores a estos datos implicarían pérdidas en el proceso de la planta. Hemos visto que, los ingresos mensuales son mayores con MC que con CIC manteniendo la misma ley de oro, ahora, al observar la tabla 13 vemos que cuando la ley mínima de oro llega a valores por debajo de 0.0365 y 0.0374 g/m^3 para MC y CIC, respectivamente, es el momento para el cierre del PAD. Estos valores se consiguen luego de 3.6 meses con el proceso CIC y 3.7 meses con MC.

A lo mencionado, Montañó (2017) lo respalda, indicando que existe una recuperación de oro del 81.6% cuando hay una distancia de 0.8cm a 75ml/min, presentando una densidad con un rango de 235 a 355 A/m^2 . Al notarse alguna variación de estos valores, las recuperaciones son menores y el proceso debe de detenerse.

También, se concluye que, las consideraciones para el cierre del PAD se encuentran basadas en lo siguiente: Durante esta última etapa, la ley de oro en la SR empieza a ser cada vez menor. Esta ley, en un proceso continuo, inicialmente es en promedio 0.333 g/m^3 ; sin embargo, si ya no se coloca más mineral en el Pad, al final del ciclo de vida de un proyecto minero, esta va descendiendo hasta valores no rentables para la operación. De esta manera al no colocarse más mineral en el Pad se comprueba que el ciclo de vida del proyecto minero ha llegado a su fin para los métodos MC-CIC, pues las rentabilidades caerían de manera significativa, en consecuencia, es el momento oportuno para decidir el cierre del Pad.

A lo referido por los autores anteriormente mencionados, en la empresa minera, se están respetado los estándares y criterios aprobados de expertos para el cierre del Pad, así como se han realizado todas las actividades necesarias fundamentales para el cierre del PAD cuando la producción ya no genera expectativas de rentabilidad, ni ganancias, motivo por el cual se dispone inmediatamente al cierre del PAD.

En términos generales de la presente discusión de resultados, se concluye en relación con el objetivo principal del presente estudio que, la rentabilidad del proceso MC es mayor que la del proceso CIC. Como ejemplo, a una ley en la SR de 0.333 g/m^3 en el MC se obtiene rentabilidades 27 % más que CIC. Así mismo se dice que a medida que la ley mínima de oro decrece, la diferencia en las rentabilidades es menor; pero siempre MC está sobre CIC. Por lo que diremos que el presente estudio logró contrastar evidencias significativas con relación al método MC como una forma más rentable donde las mineras puedan obtener mayor rentabilidad, especialmente cuando las leyes en la solución rica son altas.

VI.2. Conclusiones

Por lo tanto, la investigación arribó a las siguientes conclusiones:

1. El estudio ejecutó de manera exitosa la determinación de la ley mínima de oro en la solución rica, siendo esta de 0.0365 g/m^3 . Considerando que los equipos, maquinaria y edificaciones de la planta ya han cumplido su vida útil en el proyecto, se estima un valor de salvamento igual a cero (0.0), por tanto, la inversión total sería igual al capital de operación de un mes, luego, con el valor de las ventas de la producción en dicho periodo se utiliza para el capital de operación de los siguientes periodos.
2. La ley mínima de la solución rica para procesar la Planta CIC es de 0.0374 g/m^3 (rentabilidad igual a 0 %), leyes menores a esta implicaría pérdidas en el proceso.
3. La ley mínima de una solución rica para procesar la Planta MC es de 0.0365 g/m^3 (rentabilidad igual a 0%), leyes menores a esta implicaría pérdidas en el proceso.
4. El tiempo para llegar a los valores anteriormente mencionados, y empezar el cierre del Pad, es de 3.6 meses con el proceso de carbón en columnas (CIC) y 3.7 meses con el proceso Merrill Crowe (MC).

VI.3. Recomendaciones

1. Mejorar el proceso de la recuperación del oro con los procesos MC y CIC, de tal manera que permita reducir los tiempos de operación y optimizar costos operativos.
2. Observar el comportamiento de costos cuando la ley de oro esté cerca de 0.037 g/m^3 (mínimo), y promover trabajos de investigación relacionados a la recuperación de mineral en zonas no explotadas, de tal forma que la operación continúe.
3. Aprovechar la rentabilidad que ofrece Merrill Crowe para optimizar los procesos metalúrgicos e incrementar la producción con tecnologías limpias y sostenibles.
4. Tener siempre en consideración la ley mínima de oro en la SR para determinar los inicios el cierre del Pad.
5. En esta investigación se consideró la solución rica de un solo drenaje del Pad, dado que en este se había completado el ciclo completo de lixiviación. Se recomienda para futuras investigaciones ampliar la muestra de estudio a más de un drenaje, dada la heterogeneidad de la solución rica en un mismo Pad.
6. Complementar estudios donde se incluya las recuperaciones de plata en la determinación de la ley mínima del oro. Generalmente en menas oxidadas el oro está asociado con plata y puede influir en la ley mínima de la solución rica.
7. Las conclusiones a las que se llegó en el presente estudio están en base a los parámetros e información usado para los cálculos; por lo que, se recomienda hacer nuevos estudios y cálculos en caso los parámetros operativos de la empresa u otras empresas es diferente.

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
- 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⁺² y S⁻² 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
- Minera la Zanja (2018). *Memoria anual 2018*. Recuperado de: 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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

Apéndice

Apéndice N°1

Instrumento N°1

Ficha de Registro de Leyes de la Solución Rica

FICHA DE REGISTRO DE LEYES DE LA SOLUCIÓN RICA

Variable: Ley de oro en la solución rica

Drenaje: 2

Fecha	Ley Au, g/m ³ *	
	MC **	CIC ***

Nota:

* g/m³ : Gramos por metro cúbico

** MC: Proceso Merrill Crowe

*** CIC: Proceso Carbón en columnas

Operador Responsable:

Apéndice N°2

Instrumento N°2

Ficha de Datos Para la Evaluación de Costos y Producción.

FICHA DE DATOS PARA EVALUACIÓN DE COSTOS Y PRODUCCIÓN

Variable: Costo Unitario

Drenaje: 2

Proceso Merrill Crowe (MC)

Mes				
Ley Au, g/m ³				
Volumen tratado, m ³ /mes				
Oro Producido, oz/mes (a)				
Costo de Operación, \$/mes (b)				
Costo Unitario, \$/oz (c=b/a)				

Proceso Carbón en Columnas (CIC)

Mes				
Ley Au, g/m ³				
Volumen tratado, m ³ /mes				
Oro Producido, oz/mes (a)				
Costo de Operación, \$/mes (b)				
Costo Unitario, \$/oz (c=b/a)				

Nota:

Oz/mes= onzas de oro por mes

m³/mes= metros cúbicos de solución rica por mes.

\$/Oz= dolares por onza de oro

Operador Responsable:

Apéndice N°3: Matriz de Consistencia

ANEXO: MATRIZ DE CONSISTENCIA				
AUTOR: Delmer Dante Fernández Lázaro			FECHA: 03 / 11 / 2021	
TÍTULO: LEY MÍNIMA DE ORO EN LA SOLUCIÓN RICA PARA UNA PRODUCCIÓN RENTABLE EN UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN UNA EMPRESA MINERA.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
1. Problema General: ¿Cuál es la mínima ley de oro en la solución rica para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una Empresa Minera?	1. Objetivo General: Determinar la mínima ley de oro en la solución rica para una producción rentable en un proceso de recuperación de oro en una Empresa Minera.	1. Hipótesis General:	V. Independiente:	1. Tipo de Investigación Investigación Aplicada. _____ _____ 2. Nivel de Investigación Investigación Descriptiva _____ 3. Método: ___ Cuantitativo 4. Diseño de la Investigación: ___ No Experimental 5. Marco Muestral: ___ Reporte de los procesos que realiza MLZ _____ 6. Población: ___ Cuatro sectores del Pad de lixiviación _____ 6. Muestra: ___ Sector del drenaje 2 del pad de lixiviación _____ 7. Técnicas: ___ Análisis Documental _____ 8. Instrumentos: ___ Registro de datos (Ley, producción, costos operativo, costo unitario - mensual) _____ 9. Indicadores: * _____ * _____
2. Problemas Específicos:	2. Objetivos Específicos 2.1. Identificar la mínima ley de oro en la solución rica para el proceso CIC en una Empresa Minera. 2.2. Identificar la mínima ley de oro en la solución rica para el proceso Merrill Crowe (MC) en una empresa minera. 2.3. Estimar el momento para empezar el cierre del Pad con ambos métodos	2. Hipótesis Específicas (opcional):	V. Dependiente:	
			V. Intervinientes: V.1. La ley de oro en La solución rica. V.2 Costo unitario \$/oz	

Apéndice N°4

Validación de instrumentos



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

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

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: LUIS FELIPE GAMBOA GÁLVEZ
Especialidad: MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS
Fecha: 21/02/2022

II. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

7. FORMA:

Adecuada para la evaluación del objetivo

8. CONTENIDO:

Adecuada para la evaluación de costos y producción

9. ESTRUCTURA:

Presenta una estructura de fácil manejo

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Datos para evaluación de costos y producción, ...

Luego, de revisado el documento, procede a su aprobación,

SI

NO



LUIS FELIPE GAMBOA GÁLVEZ
Fecha: 21.02.2022



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

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

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

IV. DATOS GENERALES

Nombre: LUIS FELIPE GAMBOA GÁLVEZ
Especialidad: MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS
Fecha: 21/02/2022

V. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

4. FORMA:

Presenta forma adecuada para el registro de datos

5. CONTENIDO:

Es adecuado al objetivo de la tesis.

6. ESTRUCTURA:

Posee una estructura de fácil manejo

VI. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Registro de leyes de la solución rica,

Luego de revisado el documento, procede a su aprobación.

SI

NO



LUIS FELIPE GAMBOA GÁLVEZ
Fecha: 21.02.2022



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

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

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN.
Especialidad: DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.
Fecha: 14/04/22.

II. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

1. FORMA: *Para el cumplimiento de las diez variables se han redactado en forma coherente.*
2. CONTENIDO: *El contenido del documento está de acuerdo a lo que pretende medir el instrumento.*
3. ESTRUCTURA: *Está diseñada de una manera sencilla y entendible.*

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Registro de leyes de la solución rica, *esta ficha está elaborada para obtener los datos de costos y producción en forma adecuada.*

Luego, de revisado el documento, procede a su aprobación.

SI NO

EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN
Fecha: 14.04.22

**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS**LEY MINIMA DE ORO EN LA SOLUCIÓN RICA PARA UNA PRODUCCIÓN RENTABLE EN UN PROCESO
DE RECUPERACIÓN DE ORO EN UNA EMPRESA MINERA****VALIDACIÓN DE EXPERTOS****I. DATOS GENERALES**

Nombre: EVER SALOMÉ LÁZARO BÁZAN.
Especialidad: DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.
Fecha: 14/04/22.

II. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

4. FORMA: *Para el cumplimiento de las
las variables se han redactado en forma
coherente.*
5. CONTENIDO: *El contenido del documento esta de acor
de a lo que pretende medir el instrumento.*
6. ESTRUCTURA: *esta descrito de una manera sen-
silla y entendible.*

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Datos para evaluación de costos y producción, ...
*la ficha está elaborada para obtener los da-
tos de costos y producción en forma adecuada*

Luego, de revisado el documento, procede a su aprobación.

SI NO 

EVER SALOMÉ LAZARO BÁZAN.
Fecha: 14.04.22.



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

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

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: JORGE ISAAC MARQUINA RIOS.
Especialidad: MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS (MBA).
Fecha: 05/02/22.

II. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

1. FORMA:

ESTA CON FUERTE A LOS DATOS QUE SE
QUIERE REGISTRAR.

2. CONTENIDO:

EL CONTENIDO QUE SE VA A REALIZAR (DATOS)
ESTA CON FUERTE AL OBJETIVO DE LO TESTS.

3. ESTRUCTURA:

LA ESTRUCTURA ABARCA LA INFORMACION
QUE SE NECESITA.

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Registro de leyes de la solución rica,

ESTA BIEN ELABORADO Y SE OBSERVA QUE ES
PRACTICO PARA LA RESECCION DE DATOS.

Luego, de revisado el documento, procede a su aprobación.

SI

NO

JORGE MARQUINA RIOS
Fecha: 05/02/2022
DNI 17877093



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA DE POST GRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

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

VALIDACIÓN DE EXPERTOS

I. DATOS GENERALES

Nombre: JORGE ISAAC MARQUINA RIOS.
Especialidad: MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS (MBA).
Fecha: 05/02/22.

II. OBSERVACIONES EN CUANTO A:

4. FORMA:

ESTA CONFORMA A LOS DATOS QUE SE
QUIERE REGISTRAR.

5. CONTENIDO:

EL CONTENIDO QUE SE VA A RELECTORIZ (DATOS)
ESTA COFORME AL OBJETIVO DE LA TESIS.

6. ESTRUCTURA:

LA ESTRUCTURA ADECUA LA INFORMACIÓN
QUE SE NECESITA.

III. APORTES Y/O SUGERENCIAS:

Respecto a la Ficha de Datos para evaluación de costos y producción...
ESTA BIEN ELABORADO Y SE OBTIENE LO QUE ES
PRÁCTICO PARA LA RELECTORIZ DE DATOS.

Luego, de revisado el documento, procede a su aprobación.

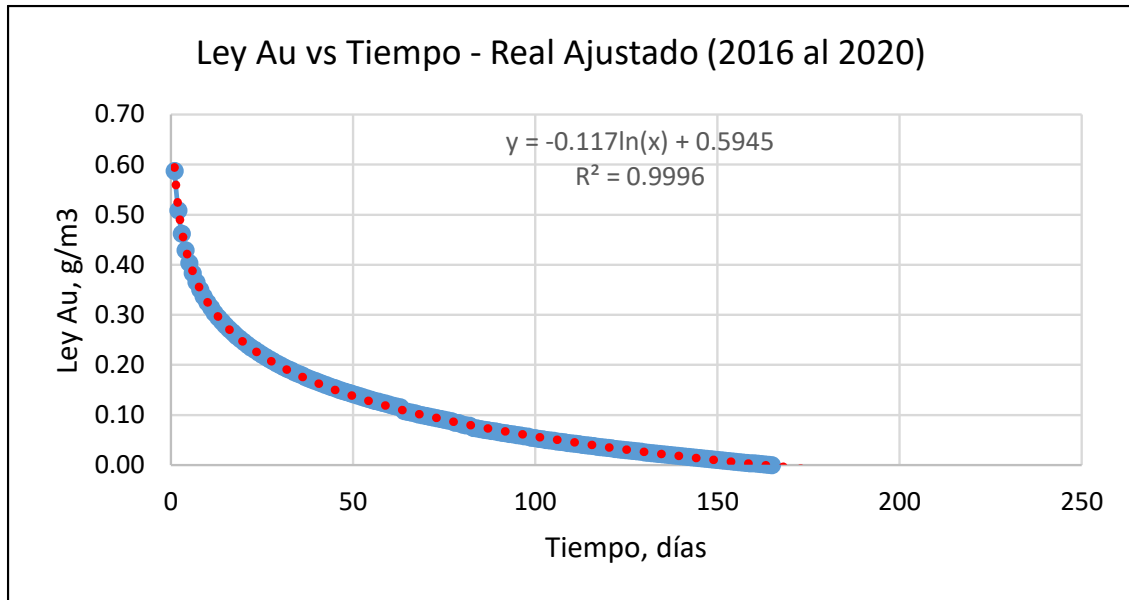
SI

NO

JORGE MARQUINA RIOS
Fecha: 05/02/2022
001 17877073

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.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

En la figura se observa, la tendencia de las leyes, con relación al tiempo valorado por días, donde la línea de tendencia está ajustada a la ecuación $y = -0.117\ln(x) + 0.5945$. Aquí se observa que la ley de oro en la SR desciende hasta 0.00 g/m^3 en 161 días. De forma detallada, se observa la evolución del comportamiento de la ley de oro a través de los días. El primer día la ley es de 0.59 g/m^3 y va descendiendo considerablemente hasta el día 50 en que la ley de oro se registra en 0.14 g/m^3 . A los 100 días, la ley de oro desciende a 0.056 g/m^3 . A los 150 días la ley se registra en 0.008 g/m^3 , y a los 161 días llega a 0.00 g/m^3 .

Indicando que, el comportamiento de la ley de la SR disminuye con el tiempo, y se ajusta adecuadamente al uso de la ecuación $y = -0.117 \ln X + 0.5945$,

Apéndice N°6

Figura 14

Descripción de los Procesos y Actividades para la realización de Costos de Operación en Merrill Crowe y Carbón en Carbón

	N°	Sección	Actividad (Centro de costos)	MC	CIC
Costo variable	1	MC	Merrill Crowe	Si	No
	2		Fundición (Ppdo MY)	Si	No
	3	CIC	Lavado y Regeneración de Carbón	No	Si
	4		Circuito de Adsorción	No	Si
	5		Carbón Activado - Despacho	No	Si
	6		Refinado Ag Carbón Activado (Desorc. en MY)	No	Si
	7		Refinado Au Carbón Activado (Desorc. en MY)	No	Si
Costo fijo	8	LIXIVIACIÓN	Preparación de Cianuro	Si	Si
	9		Disposición de Cal	Si	Si
	10		Sistema de Riego	Si	Si
	11		Remoción de Mineral	Si	Si
	12	ADMINI	Supervisión y Administración	Si	Si
	13	LAB MET	Laboratorio Metalúrgico	Si	Si

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Según las secciones, procesos y actividades, para sacar los costos de operación del MC y CIC, es necesario precisar los costos de los procesos en las cuatro secciones: MC, CIC, lixiviación, administración, y laboratorio metalúrgico. Los costos asociados directamente al proceso MC son dos: Merrill Crowe y Fundición. Los costos asociados directamente al proceso CIC son cinco: Lavado y regeneración de Carbón, Circuito de Adsorción, Carbón Activado – Despacho, Refinado Au, y Refinado Ag.

También se registran los costos de lixiviación, administración, y laboratorio metalúrgico, como costos fijos. Las actividades de lixiviación sirven para obtener la solución rica del Pad. Administración abarca todo lo que es supervisión planta, y el laboratorio metalúrgico es una sección de soporte y control de los procesos.

Apéndice N°7

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.

Ley g/m ³	Producción diaria, oz		Costo unitario, \$/oz		Dif Costo \$
	MC	CIC	MC	CIC	
0.588	308	291	81	83	2
0.100	52	49	476	490	15
0.050	26	25	959	988	29
0.030	16	15	1584	1633	48

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Se observa que, los costos unitarios finales (\$/oz) son menores en el proceso MC que en el CIC. Esto es debido a que, a una misma ley de SR con el proceso MC se produce mayor oz de Au diaria que con el proceso CIC. La diferencia de estos costos unitarios es mayor a medida que la ley de la SR decrece. Por ejemplo, de manera específica, se observa que, si la ley mínima de oro es de 0.588 g/m³, la producción de oro para MC es de 308 oz, y con CIC es de 291 oz; mientras que, para el costo unitario, con MC es de 81 \$/oz y con CIC es de 83 \$/oz, existe una diferencia de 2 \$/oz. Si la ley es de 0.05 g/m³, el costo unitario con MC es de 959 \$/oz y para CIC es de 988 \$/oz, por lo tanto, existe una diferencia de costo unitario de 29 \$/oz.

Indicando que, los costos de producción (\$) son mayores con MC que con CIC, y los costos unitarios (\$/oz) son menores con MC que con CIC.

Apéndice N° 8: Reporte de Leyes de Laboratorio Químico

 <small>INTEGRACIÓN DE LA INDUSTRIA MINERA</small>	REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO
--	---------------------------------------

FECHA 24 de Febrero del 2016

PLANTA ADR
MUESTRAS PUNTUALES

06:00 h					
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	SOLUCIONES				
	As. g/m3	Ag. g/m3	Cu. g/m3	pH	CN Libre
PAD	0.023				
D 1	0.233				
D 2	0.287				
D 3	0.211				
D 4	0.266				
PO	0.259				
PI	0.145				
ALEJANDRA					

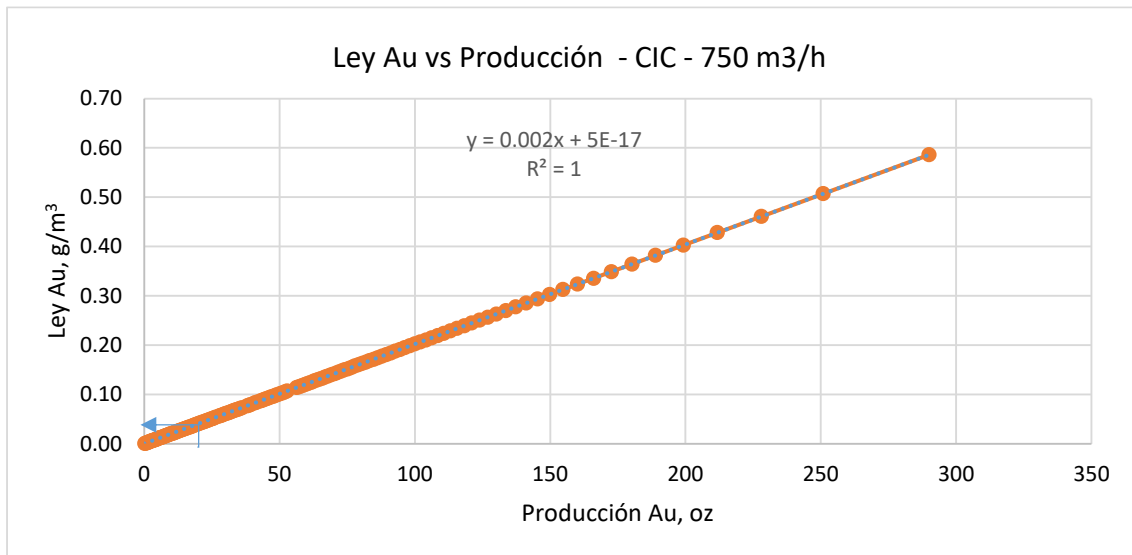
12:00 h					
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	SOLUCIONES				
	As. g/m3	Ag. g/m3	Cu. g/m3	pH	CN Libre
PAD	0.022	0.12		10.44	45.48
D 1	0.249	0.34		9.38	2.90
D 2	0.314	0.26		5.58	1.94
D 3	0.196	0.59		9.35	3.87
D 4	0.260	0.65		10.32	12.58
PO	0.250	0.63		10.22	8.71
PI	0.153	0.27		9.42	6.77
ALEJANDRA					

18:00 h					
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	SOLUCIONES				
	As. g/m3	Ag. g/m3	Cu. g/m3	pH	CN Libre
PAD	0.016				
D 1	0.240				
D 2	0.354				
D 3	0.216				
D 4	0.246				
PO	0.243				
PI	0.164				
ALEJANDRA					

24:00 h					
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA	SOLUCIONES				
	As. g/m3	Ag. g/m3	Cu. g/m3	pH	CN Libre
PAD	0.015	0.12		10.30	43.55
D 1	0.249	0.59		10.12	8.71
D 2	0.376	0.29		6.13	<1.00
D 3	0.227	0.68		9.40	3.87
D 4	0.267	0.64		10.37	9.68
PO	0.248	0.59		10.11	7.74
PI	0.167	0.27		9.38	6.77
ALEJANDRA					

Promedio Drenaje 2				
As. g/m3	Ag. g/m3	Cu. g/m3	pH	CN Libre
0.333	0.275	#(DR)/01	5.850	1.935

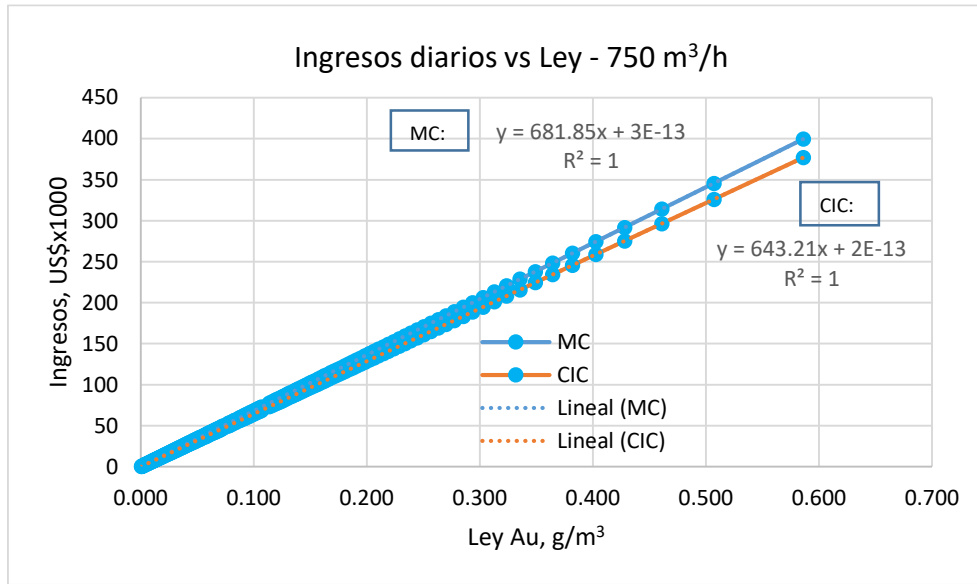
Apéndice N° 9: Grafica de Ley vs. Producción.



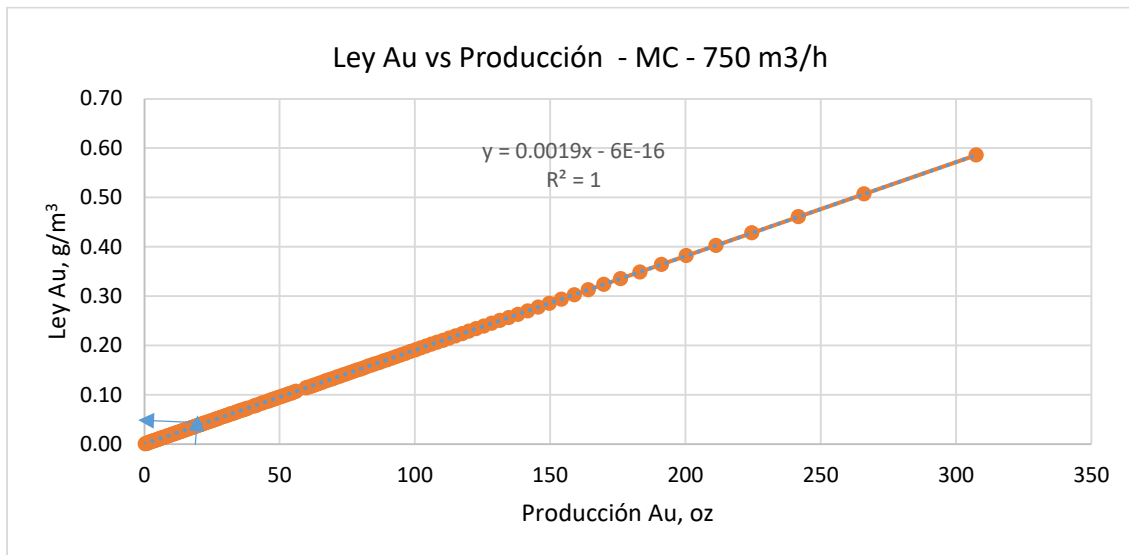
Apéndice N° 10: Detalle de Gastos en CIC.

MES - CIC	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	Total
EJECUTADO CIC Lix Sup Met -2018	747,912	646,365	712,618	740,440	710,034	751,850	729,001	748,929	676,597	820,227	748,813	838,460	8,871,247
ENERGIA	102,603	90,045	95,278	98,107	94,278	95,076	86,932	94,921	90,705	90,049	103,410	95,515	1,136,919
MANO DE OBRA	48,489	49,063	61,450	45,765	47,104	59,337	47,506	49,288	55,017	51,449	51,677	136,837	702,982
SUMINISTROS	418,767	323,890	355,443	421,185	346,741	322,310	344,076	357,449	340,646	431,365	371,438	354,114	4,387,423
TERCEROS	178,054	183,367	200,448	175,383	221,911	275,127	250,487	247,271	190,229	247,363	222,288	251,995	2,643,923

Apéndice N° 11: Ingresos vs. Ley en CIC y MC.



Apéndice N° 12: Ley de Au vs Producción en MC.



Apéndice N° 13: Detalle de Gastos en MC.

MES - MC	Ene-18	Feb-18	Mar-18	Abr-18	May-18	Jun-18	Jul-18	Ago-18	Set-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	Total
EJECUTADO MC Lix Sup Met -2018	759,046	672,566	759,242	762,485	764,775	746,523	815,058	762,673	698,302	815,565	771,820	796,788	9,124,843
ENERGIA	128,044	112,513	119,052	124,759	122,297	123,445	112,259	122,716	117,201	112,474	129,163	121,410	1,445,333
MANO DE OBRA	36,420	40,887	51,403	34,903	37,860	43,791	37,276	40,619	45,715	42,399	42,890	100,207	554,368
SUMINISTROS	491,721	393,475	424,640	480,060	444,099	374,874	471,962	429,234	416,392	502,899	449,341	427,086	5,305,783
TERCEROS	102,860	125,692	164,148	122,764	160,519	204,413	193,562	170,104	118,994	157,793	150,427	148,085	1,819,360

Apéndice N°14

Autorización de la empresa.

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD, TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN Y PROPIEDAD INTELECTUAL

Conste por el presente documento el Acuerdo de Confidencialidad, Tratamiento de Información y Propiedad Intelectual (en adelante, el "Acuerdo") que suscriben de una parte,

- **MINERA LA ZANJA S.R.L.**, con RUC N° 20507975977, con domicilio real y para estos efectos en calle Las Begonias N° 415, piso 19, distrito de San Isidro, provincia y departamento de Lima, debidamente representada por el señor **ALEX EDUARDO LOBO GUILLEN**, identificado con DNI N° 09484327, según poderes debidamente inscritos en la Partida Electrónica N° 11883193 del Registro de Personas Jurídicas de Lima, en adelante, "**LA EMPRESA**"; y de la otra parte,
- **DELMER DANTE FERNÁNDEZ LÁZARO**, identificado con DNI N° 17982172, de estado civil casado, con domicilio real y para estos efectos en calle José F. Aldo 379, distrito La Esperanza, provincia de Trujillo y departamento de La Libertad, a quien en adelante se le denominará como el "**TESISTA**".

LA EMPRESA y el **TESISTA**, en conjunto, podrán ser denominados las "Partes", e individualmente como "Parte", según los términos y condiciones siguientes

PRIMERO: ANTECEDENTES

- 1.1 **LA EMPRESA** es una persona jurídica de derecho privado dedicada a la actividad minero-metalúrgica en el país.
- 1.2 El **TESISTA** es un colaborador de **LA EMPRESA** y estudiante de post grado (maestría – MBA) de la Universidad Privada del Norte que, con la finalidad de desarrollar su trabajo de tesis, tienen la intención de recibir, revisar, elaborar y desarrollar su trabajo denominado "**LEY MÍNIMA DE ORO EN LA SOLUCIÓN RICA PARA UNA PRODUCCIÓN RENTABLE EN UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO EN UNA EMPRESA MINERA**" con la información que sea puesta en conocimiento por los colaboradores de **LA EMPRESA** (en adelante, la "**TESIS**") a fin de poder obtener su título de post grado.
- 1.3 Con fecha 29 de marzo del 2022, el **TESISTA** presentó una comunicación a la **EMPRESA** solicitando la autorización para hacer uso de la información y datos de la Planta de Procesos de Minera La Zanja. Específicamente la información referida a:
 - Leyes de la solución rica primarios, Datos del 2016 al 2021.
 - Costos de los procesos de Carbón en Cominas y Merrill Crowe. Solo año 2018.
- 1.4 En atención al objetivo antes señalado, la **EMPRESA** y el **TESISTA**, intercambiarán información de naturaleza confidencial.
- 1.5 La **EMPRESA** y el **TESISTA** desean proteger la información confidencial de su uso y divulgación no autorizado, y a tal efecto, están interesados en firmar el presente Acuerdo, en relación con la información que las Partes van a tener que intercambiar, para lo cual establecen los siguientes términos y condiciones.

SEGUNDO: ENTREGA DE LA INFORMACIÓN CONFIDENCIAL

Para la elaboración y desarrollo de la **TESIS**, el **TESISTA** tendrá acceso a información confidencial de la **EMPRESA** la misma que se encuentra detallada en el numeral 1.3 antecedente, la misma que tendrá el carácter de "Información Confidencial" y será de propiedad exclusiva de la **EMPRESA**. Por tanto, el **TESISTA** no podrá usar la Información Confidencial para fines distintos de las labores de Investigación de la **TESIS**.

Adicionalmente a la información detallada en el numeral 1.3 antecedente, se entenderá por "Información Confidencial", a efectos de este Acuerdo, incluyendo, pero no limitado a especificaciones, diseños, planos, dibujos, hardware, software, datos, prototipos, procesadores, productos de automatización de oficina, productos de comunicaciones o servicios, oportunidades de negocio, costos de productos, persona, actividades de investigación y desarrollo, planes de marketing, know how u otra información económica, comercial, técnica, etc., y todas las notas, análisis, compilaciones, estudios, especificaciones, diseños, planes, mejoras de datos, prototipos, productos derivados relacionados, y el resto de las obras, toda información de tipo económico, financiero, técnico, comercial, estratégico o de cualquier otro tipo, incluyendo la información relacionada con cualquier proyecto investigación, cualquier análisis, recopilación, estudio, resumen, extracto o documentación de todo tipo que sean elaboradas y/o entregadas por la **EMPRESA** y/o el **TESISTA** que contienen o se generan a partir de dicha información y/o que haya sido revelada de forma oral, escrita, en cualquier soporte o por cualquier medio de comunicación a el **TESISTA** por la **EMPRESA** en el marco del presente Acuerdo.

El **TESISTA** se obliga a mantener como secreta la Información Confidencial de la **EMPRESA**, y la que haya adquirido o haya tenido acceso para la elaboración y desarrollo de la **TESIS**.

Queda establecido que todos los materiales entregados, registros, notas y anotaciones relativos a la Información Confidencial materia del presente Acuerdo (por escrito o almacenados en medios electrónicos, back-up, u otro medio computarizado), así como cualquier copia de los mismos hechas por el **TESISTA**, serán devueltos o destruidos bajo costo exclusivo del **TESISTA**, dentro de los quince (15) días calendario de recibida la solicitud por escrito de la **EMPRESA**.

La devolución o destrucción de la Información Confidencial no alterará de modo alguno la obligación asumida por el **TESISTA** con relación a la preservación de la naturaleza confidencial de la información, conforme ello ha sido previsto en este documento. Bajo ninguna circunstancia se considerara que el **TESISTA** en virtud de este Acuerdo, ha adquirido derecho alguno sobre la Información Confidencial recibida.

La destrucción de la Información Confidencial deberá ser certificada por escrito por el **TESISTA**, de acuerdo a lo requerido por la **EMPRESA**. La certificación de destrucción que realizar el **TESISTA** tendrá carácter de declaración jurada.

Toda obligación sobre confidencialidad contenida en el presente documento tiene una vigencia de plazo indeterminado y sobrevive a la culminación del presente Acuerdo.

TERCERO: TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN CONFIDENCIAL

En toda coordinación que realice el **TESISTA** para el cumplimiento del objeto del presente Acuerdo, deberá tener un tratamiento especial y cuidado respecto a la información proporcionada a terceros que colaboren con la elaboración de la **TESIS**, siempre contando para ello, con la previa autorización por escrito de la **EMPRESA**.

Antes de divulgar Información Confidencial a cualquier persona que colabore y/o participe en la elaboración, investigación y/o publicación de la TESIS, el TESISISTA informará a cada uno de ellos sobre el carácter confidencial de la misma y exigirá a cada uno de los mismos que cumplan con la obligación de mantener la Información Confidencial en reserva conforme a los términos del presente Acuerdo.

El TESISISTA acuerda asimismo, no utilizar de manera alguna que perjudique a la EMPRESA, la Información Confidencial o cualesquier análisis, recopilaciones, estudios u otros documentos preparados para su uso interno y que reflejen o se basen, total o parcialmente, en la Información Confidencial.

CUARTO: EXCEPCIONES

En el supuesto de que la Información Confidencial deba ser revelada como resultado de un requerimiento expreso de una autoridad competente, aplicación de una norma legal, proceso judicial, fiscal, policial, administrativo o arbitraje, o de la existencia de una obligación legal cuyo incumplimiento genere una sanción legal para el TESISISTA, el TESISISTA comunicará lo anterior a la EMPRESA, en forma inmediata, dentro de las veinticuatro (24) horas de recibido dicho requerimiento y antes de proceder con realizar alguna divulgación, de manera que la EMPRESA pueda impugnar dicho mandato de divulgación, y que al ejecutar dicha divulgación, el TESISISTA únicamente revele la parte de la Información Confidencial cuya divulgación haya sido expresamente requerida.

Las Partes acuerdan que no se considerará como Información Confidencial aquella parte de la información que el TESISISTA pueda comprobar:

- (i) sea o se convierta en dominio público antes de la fecha de este Acuerdo, mientras no se trate de Información divulgada por el TESISISTA en incumplimiento de los términos y condiciones de este Acuerdo;
- (ii) sea desarrollada por el TESISISTA sin hacer referencia a la Información Confidencial e independientemente de cualquier información divulgada por la EMPRESA, o que se demuestre que se encontraba bajo posesión del TESISISTA, antes de que sea divulgada y/o sea conocida por ella por parte de la EMPRESA o sus representantes;
- (iii) sea conocida por el TESISISTA de forma no confidencial antes de la divulgación de la Información Confidencial por la EMPRESA o sus representantes, siempre que, el TESISISTA, conozca que el tercero que proporciona la Información no se encuentre limitado por una obligación de confidencialidad a favor de la EMPRESA, sus afiliadas o representantes.

QUINTO: PROPIEDAD DE LA INFORMACION CONFIDENCIAL

La EMPRESA es propietaria de todo derecho, título e interés, incluyendo todas las patentes, modelos de utilidad, diseños industriales, secretos industriales, derechos de autor y cualquier y otros derechos de propiedad intelectual o de similar naturaleza, en y para todo lo que tenga que ver con la TESIS en el marco del presente Acuerdo. En ese sentido, el TESISISTA se obliga y compromete a suscribir la cesión de derechos a título gratuito y/o cualquier otro documento que se requiera para transferir los derechos a la EMPRESA sobre la propiedad intelectual que se haya generado como consecuencia de la TESIS, a solicitud de la EMPRESA, y de manera previa a la publicación de la TESIS.

La entrega de la Información Confidencial no podrá entenderse o ser asumida, en ningún caso, como cesión de patente, licencia o derecho de autor alguno, considerándose que aquella permanecerá en todo momento en el ámbito de propiedad de la EMPRESA.

Sin perjuicio de ello y en cumplimiento de la normativa aplicable, la Universidad Privada del Norte y la EMPRESA reconocerán los derechos morales que tuviera el TESISTA sobre la TESIS.

SEXTO: DEL PLAZO DE DURACIÓN Y LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS

El presente Acuerdo y la obligación de confidencialidad se mantendrán en vigencia por el plazo de dos (2) años contados desde la fecha de firma del presente documento y mientras se mantenga el carácter confidencial y secreto de la Información Confidencial.

La EMPRESA podrá resolver el presente Acuerdo, sin responsabilidad alguna, y requerir a las TESISTAS la devolución de la Información Confidencial conforme a los términos y condiciones establecidos en la Cláusula Segunda antecedente.

El TESISTA se obliga a no publicar su TESIS sin la autorización previa y por escrito de la EMPRESA con treinta (30) días hábiles de anticipación a la fecha estimada para la publicación de la TESIS, salvo para el caso del registro ante el Repositorio de la Universidad Privada del Norte, en cuyo caso, el TESISTA se obliga a solicitar a la Universidad Privada del Norte que dicha publicación se realice de manera parcial consignándose únicamente los datos del autor, un resumen y metadatos de la respectiva TESIS. Para ello, el TESISTA se obliga a suscribir y presentar los documentos que sean necesarios para tal fin, debiendo comunicar fehacientemente del cumplimiento de esta situación a la EMPRESA.

La presente obligación durará por el plazo de cinco (5) años con posterioridad a la fecha de publicación de la TESIS.

SEPTIMO: INDEMNIZACIÓN

Si como consecuencia del actuar negligente del TESISTA y/o tercero autorizado quien recibió la Información Confidencial, se divulga la Información Confidencial, el TESISTA indemnizará, solidaria y exclusivamente a la EMPRESA por todos los daños, costos, reclamos, impuestos, costas y gastos que provengan del incumplimiento del presente Acuerdo.

El TESISTA acepta que una indemnización por meros daños económicos y perjuicios podría ser un remedio inadecuado e insuficiente frente al incumplimiento o amenaza de incumplimiento, por parte de él y/o de sus representantes autorizados, del presente Acuerdo, y que por tanto, en caso de dicho incumplimiento, sin limitación alguna a las acciones y/o medidas establecidas por ley, la EMPRESA tendrá derecho a obtener una compensación equitativa, incluyendo y sin limitarse a: mandatos judiciales, medidas cautelares y órdenes de ejecución específica, restricción o de cumplimiento específico, además de todos los recursos disponibles conforme a derecho y a los principios de equidad. Todos los recursos proporcionados en este Acuerdo son acumulativos.

El TESISTA indemnizará y liberará de responsabilidad a la EMPRESA y/o sus vinculadas y/o afiliadas de todas las acciones legales, responsabilidad civil, daños y perjuicios, pérdidas y gastos razonables, incluyendo costos legales razonables y gastos que puedan generarse directamente y/o en relación a algún incumplimiento de este

Acuerdo por parte del TESISISTA y/o alguno de los terceros autorizados, haciéndose responsable expresamente de las infracciones que hayan sido resultado de la acción u omisión de cualquier persona bajo su responsabilidad

OCTAVO: LEYES BURSÁTILES

El TESISISTA declara que conoce las regulaciones aplicables al uso de toda la información que pudiera calificar como Información Privilegiada, de conformidad con lo dispuesto por la Ley del Mercado de Valores, y su Texto Único Ordenado –TUO–, Decreto Supremo N° 393-2002-EF, así como las sanciones y la responsabilidad penal vinculada con la revelación, recomendación o uso indebido de la Información Privilegiada.

Asimismo, el TESISISTA se encuentra obligado a no hacer uso indebido de toda la información que pudiera calificar como Información Privilegiada, a la que pudiera tener acceso como consecuencia de la ejecución del presente Acuerdo.

NOVENO: PROHIBICION DE CESION

El presente Acuerdo no establece o supone, de manera expresa o implícita, la cesión de algún derecho sobre la Información Confidencial que entregue la EMPRESA. El TESISISTA no podrá asignar, delegar o ceder ni sus obligaciones, beneficios, derechos ni su posición en el presente Acuerdo, sin el previo consentimiento expreso y por escrito de la EMPRESA.

Cualquier cesión o intento de cesión que no cuente con el consentimiento expreso de la EMPRESA será nulo.

DÉCIMO: LEGISLACION APLICABLE Y SOLUCION DE CONTROVERSIAS

En caso surgiera alguna controversia en virtud del presente Acuerdo, las Partes aceptan expresamente someterse expresamente a los Jueces y Tribunales de Lima-Cercado. Asimismo, para todo aquello que no haya sido previsto expresamente por las Partes en el presente Acuerdo, estas se someterán a las normas del Código Civil y demás del sistema jurídico peruano que resulten aplicables.

DECIMO PRIMERO: DIVULGACION EN MEDIOS DE COMUNICACION

El TESISISTA no deberá divulgar, ni permitirá la difusión de ningún anuncio mediante divulgación en la prensa u otros medios de comunicación, en relación con este Acuerdo y/o la Información Confidencial, sin la previa aprobación previa y por escrito de la EMPRESA.

DECIMO SEGUNDO: PROTECCION DE DATOS PERSONALES

El TESISISTA reconoce y acepta que podría procesar datos personales, incluidos ciertos detalles de contacto comercial relacionados con las personas contratadas por la EMPRESA en el cumplimiento de las obligaciones del presente Acuerdo.

El TESISISTA adoptará las medidas técnicas y organizativas adecuadas para proteger dichos datos personales contra cualquier violación de la seguridad y los eliminará de forma segura una vez que ya no sean necesarios para los fines para los que se procesan, cuando proceda y de conformidad con la legislación aplicable en materia de protección de datos.

Se acuerda expresamente que el **TESISTA** determinará de forma independiente los fines y los medios del tratamiento de los datos personales.

Estando conformes con el contenido del presente Acuerdo y ratificando su cumplimiento, previa lectura, se procede a su firma en la ciudad de Cajamarca, el 29 de marzo de 2022



MINERA LA ZANJA S.R.L.
ALEX EDUARDO LOBO GUILLEN
DNI N° 09484327



DELMER DANTE FERNÁNDEZ LÁZARO
DNI N° 17982172