



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

**VALORACIÓN EN RIESGO DE PLANES DE CIERRE EN PROYECTOS
MINEROS**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN MINERIA

DAYANNA MICHELLE ROMAN CELI

PROFESOR GUÍA:

JOSE MUNIZAGA ROSAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

CRISTIAN ESPINOZA CAMUS

DAVID VARGAS NUÑEZ

Santiago de Chile

2022

**RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR
AL GRADO DE: MAGÍSTER EN MINERÍA
POR: DAYANNA MICHELLE ROMAN CELI
FECHA: 2022
PROF. GUÍA: JOSE MUNIZAGA ROSAS**

VALORACIÓN EN RIESGO DE PLANES DE CIERRE EN PROYECTOS MINEROS

En todo proyecto minero un proceso fundamental es su cierre, determinar que las operaciones mineras puedan cerrarse de manera sustentable al final de su periodo productivo. Esta etapa es decisiva para el desarrollo de otros proyectos.

El estudio que se realizó, se analizaron los procesos de tratamiento de forma cuantitativa, y el valor ya que el costo en ciertos casos limita el empleo en esta fase. Identificar los costos al hacer un cierre de mina con el fin de establecer bases para su valoración y posterior reconocimiento de costos ambientales, dentro del marco legal que se rige a la minería ecuatoriana en la actualidad.

Los procesos que se realizaron fue el tratamiento de aguas acidas, biorremediación electroremediación y humedales anaeróbicos; resultando así el tratamiento por aguas acidas el más adecuado al momento de generar una fuente de incertidumbre simulada mediante monte Carlo.

A partir de los resultados y determinado el factor de riesgo del tratamiento resultante se finalizó con el portafolio de Markowitz donde a una mayor cantidad de inversión sigue siendo el proceso de electroremediación ya que su asignación está en función de los parámetros establecidos en el portafolio. Finalmente, el plan de producción establecido en el proyecto está en función de los criterios cualitativos y cuantitativos indicados.

**ABSTRACT OF THE THESIS TO OBTAIN THE
GRADE: MASTER IN MINING
BY: DAYANNA MICHELLE ROMAN CELI
DATE: 2022
THESIS ADVISOR: JOSE MUNIZAGA ROSAS**

In all mining projects, a fundamental process is its closure, determining that the mining operations can be closed in a sustainable manner at the end of their productive period. This stage is decisive for the development of other projects.

The study that was carried out, the treatment processes were analyzed quantitatively, and the value since the cost in certain cases limits the use in this phase. Identify the costs when closing a mine in order to establish bases for its valuation and subsequent recognition of environmental costs, within the legal framework that currently governs Ecuadorian mining.

The processes that were carried out were the treatment of acid waters, bioremediation, electroremediation and anaerobic wetlands; Thus, the acid water treatment is the most appropriate when generating a source of uncertainty simulated by Monte Carlos.

Based on the results and determining the risk factor of the treatment, the Markowitz portfolio was finalized, where a greater amount of investment continues to be the electroremediation process, since its arrangement is based on the parameters established in the portfolio. Finally, the production plan established in the project is based on the qualitative and quantitative criteria indicated.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis padres Jorge y María Soledad quienes con su sacrificio y esfuerzo han sabido apoyarme en una etapa más a mi vida y por creer en mi capacidad de lograrlo.

A mis queridas hermanas Gabriela y Priscila quienes con sus palabras de aliento me motivaron a que no me rindiera, no me dejaron decaer para que siguiera adelante y cumpla con mi meta.

A mis amigos especialmente Andrés quien sin esperar nada a cambio compartió su conocimiento, alegrías y tristezas, y a todas aquellas personas que estuvieron durante este ciclo de vida apoyándome y lograron que un sueño más se haga realidad.

AGRADECIMIENTOS

Hoy con estas sencillas palabras quiero agradecer a mi formador José Charango Munizaga Rosas, persona de gran sabiduría quien se ha esforzado por transmitirme sus conocimientos y dedicación durante este proceso.

Dios, tu bondad y tu amor son infinitas gracias por permitirme cumplir cada uno de mis logros que son resultado de tu presencia en mi camino, gracias por las pruebas puestas que me han enseñado a ser mejor ser humano.

Te agradezco Papito Jorge no calman mis ganas de decir que gracias a ti es que esta meta es cumplida.

Gracias Mamita por estar presente en esta etapa tan importante de mi vida siempre buscando lo mejor para mi persona.

Gracias a mis hermanas por estar siempre al pendiente y apoyándome en mis ganas de no decaer.

Gracias a la Universidad de Chile por haberme recibido y permitido formarme con muy buenos conocimientos.

Gracias a la vida por este triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de una meta más.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general:	2
1.1.2. Objetivos secundarios:	2
1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS	2
2. ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1. Long Hole Stoping	4
2.2. Cut and Fill.....	6
2.3. Cierre de Minas	7
2.4. Procesos de obtención del oro	7
2.4.1. Chancado	7
2.4.2. Lixiviación Agitada.....	8
2.4.3. Cianuración	9
2.4.4. Flotación Iónica.....	9
2.5. Consideración del Cierre en la Etapa de Evaluación del Impacto Ambiental de un Proyecto Minero.	10
2.6. Evaluación de impacto ambiental	11
2.7. Pasivo Ambiental	11
2.8. Legislación y normativa ecuatoriana.....	12
2.9. Flujo de Caja	13
2.9.1. Valor Presente Neto.....	14
2.10. Costos de Cierre	15
2.11. Posibles tecnologías a considerar:	16
Tratamiento de aguas ácida:	17
Humedales anaerobios o balsas orgánicas.	21
Electro remediación:	23
Mecanismos de remoción.....	23
2.12. Simulación Montecarlo	24
2.13. Modelo de Markowitz	26
3. Metodología	27
3.1. Plan de Producción.....	28
3.2. Análisis Financiero.....	29
3.2.1. Producción.....	30
3.2.2. Precio neto.....	30
3.2.3. Ingreso neto	31

3.2.4.	Gastos operativos	31
3.2.5.	Gastos de Capital.....	31
3.2.6.	Impuesto	31
3.3.	Determinación del Royalty e Impuestos para Ecuador	31
3.4.	Tasa de Interés de Ecuador.....	31
□	Tasa de interés libre de riesgo [Rf]	32
□	Cálculo del Riesgo Relativo.....	32
□	Rentabilidad media del mercado	32
3.5.	Costos de Cierre y Remediación.....	33
3.6.	Estimación del Valor Presente Neto.....	33
3.7.	Simulación Montecarlo	35
3.8.	Modelo de Markowitz.....	35
4.1.	Análisis de la Simulación de Montecarlo frente a una variación económica de los procesos de remediación ambiental (aguas acidas, biorremediación, humedales anaerobios, electro remediación)	37
4.2.	Análisis del Portafolio de Markowitz frente a la comparación del método (más barato) con el del método (más caro).....	38
4.	Conclusiones	44
5.	Bibliografía	45
6.	Anexo	48

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.	<i>Long Hole Stoping</i>	4
Figura 2.	<i>Método de cámaras con relleno</i>	6
Figura 3.	<i>Esquema del proceso de Lixiviación Agitada.</i>	8
Figura 4.	Diagrama de flujo de los pasos previos necesarios para la implementación de la biorremediación de un suelo contaminado.....	17
Figura 5.	Proceso por Sedimentación.	19
Figura 6.	Proceso por coagulación.	20
Figura 7.	Proceso por espesamiento	21
Figura 8.	Proceso por Filtración.	21
Figura 9 .	Disposición de las capas en un humedal anaerobio.	22
Figura 10.	Proceso de Electrorremediación.....	23
Figura 11.	Esquema básico del fenómeno de electroósmosis.....	24
Figura 12.	Simulación de Montecarlo frente a una variación económica de los procesos de remediación ambiental ...	37
Figura 13.	Portafolio de Markowitz con un incremento de precios.....	39
Figura 14.	Portafolio de Markowitz con una reducción de precios	40
Figura 15.	Portafolio de Markowitz con un incremento de precios.....	40
Figura 16.	Portafolio de Markowitz con una reducción de precios	41
Figura 17.	<i>Portafolio de Markowitz con un incremento de precios</i>	42
Figura 18.	Portafolio de Markowitz con una reducción de precios	42
Figura 19.	Resultados alcanzados en el Portafolio de Markowitz.....	43

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Plan de producción anual.....	28
Tabla 2. Proceso de Planta.....	29
Tabla 3. Estructura del modelo técnico financiero	29
Tabla 4. <i>Tasa de Riesgo de Ecuador</i>	33
Tabla 5. <i>Tecnologías a considerar para el cierre y remediación ambiental</i>	34
Tabla 6. <i>Escenarios que generan una sensibilidad de precio de tecnologías de remediación</i>	35
Tabla 7. <i>Proceso Markowitz</i>	36
Tabla 8. Matriz Covarianza asignación más barata	36
Tabla 9. Matriz Covarianza asignación más cara	36
Tabla 10. Estimación de riesgo asociado.....	38

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Valor Presente Neto	14
Ecuación 2. Modelo de Markowitz.....	26
Ecuación 3. Tasa de Interés	32
Ecuación 4. <i>Riesgo Relativo</i>	32
Ecuación 5. Porcentaje de retorno	32
Ecuación 6. Porcentaje de rentabilidad media	33
Ecuación 7. Valor Presente Neto	33

1. Introducción

El Desarrollo Sustentable se ha convertido en el modelo socioeconómico más importante para la humanidad. El problema ambiental no está dado por los límites físicos externos a la sociedad sino por la forma de organización social del trabajo que determina qué recursos usar, la forma y el ritmo del uso. En los países cuyas economías dependen en mayor medida de la utilización de los recursos no renovables, es prácticamente imposible lograr un desarrollo económico y social sin que haya una gran afectación de la naturaleza. Para ellos es imposible lograr crecimientos económicos sino utilizan los recursos que poseen. Tal es el caso de la actividad minera que, de no gestionarse adecuadamente, dejaría sin opciones productivas a miles de personas en las comunidades mineras, comprometiendo de esta forma el desarrollo sustentable regional, territorial y nacional (Montero & Restrepo, 2017).

La problemática a diferentes escalas de operaciones mineras en distintos tipos de mineralización se centra en la necesidad de mitigar o rehabilitar el impacto ambiental que invariablemente provocan las operaciones mineras, considerando desde las etapas tempranas de prefactibilidad y factibilidad, las estrategias y mecanismos para la solución o mitigación del probable pasivo ambiental que se provoque al finalizar la etapa de explotación.

El presente trabajo es un caso hipotético de un proyecto aurífero, en el sureste de Ecuador. Es uno de los proyectos auríferos más grandes y de más alta ley. La Compañía cree que existen oportunidades para optimizar la rentabilidad del Proyecto a través de un buen plan de cierre de minas y que a su vez con las nuevas tecnologías contribuyen a la rehabilitación del medio ambiente como es a la administración del agua, la gestión de relaves, la prevención de la contaminación, y la reducción de la emisión de gases.

La vida útil del proyecto es de 10 años, por lo tanto, la finalidad de proporcionar medidas orientadas a restituir el ambiente con una etapa final de cierre y remediación de 3 años. Esto en la medida que la factibilidad técnica lo permita y cumpliendo con las exigencias de la normativa ambiental vigente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general:

- Producir una valorización del costo de rehabilitación de un pasivo ambiental considerando las incertidumbres asociadas.

1.1.2. Objetivos secundarios:

- Construir un modelo de valorización económica y alternativas de rehabilitación-mitigación ambiental.
- Considerar la viabilidad legal, técnica, ambiental social, económica y financiera del proyecto.
- Considerar tecnologías futuras para remediación ambiental.
- Realizar simulaciones de Montecarlo en función del valor presente neto y el riesgo asociado a cada proyecto.
- Seleccionar la mejor alternativa de cierre de mina (a través de modelos técnicos financieros), considerando el portafolio Markowitz de opciones tanto presentes como futura.

1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo realizado se enmarca en los siguientes alcances:

- Minería subterránea, centrado particularmente en el área de economía y medio ambiente en una empresa minera ubicada en Ecuador cuyo mineral de interés es oro.
- Se utilizó un modelo técnico financiero que permitió medir el costo de plan de cierre encontrando la mejor alternativa, considerando tecnologías futuras para rehabilitaciones ambientales que generan las operaciones mineras.
- Se empleó simulación Montecarlo para la identificación de variables más sensibles respecto a las tecnologías que se emplean y el riesgo asociado.
- Se trabajó con el modelo de Markowitz para conocer la efectividad de las propuestas para mejorar alguna tecnología sabiendo que no todas son un 100% de recuperación.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Básicamente la Tesis se divide en 5 secciones:

Capítulo I: Es la sección inicial donde se describe el tema de tesis, la portada, dedicatoria, agradecimientos, los objetivos tanto generales como específicos, resumen y los alcances que se consideraron para el desarrollo de esta tesis.

Capítulo II: Se desarrolla la investigación bibliográfica, se describe y analiza los estudios llevados a cabo previamente, que tienen relación con el objeto de estudio.

Capítulo III: Se reporta y se justifica los métodos, participantes e instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación que puedan cumplir con los objetivos planteados.

Capítulo IV: Se plantea los resultados obtenidos, acompañados de su respectiva explicación y un análisis de las simulaciones.

Capítulo V: Se da respuesta a los resultados y análisis realizados como conclusiones las cuales son de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteadas.

CAPITULO II

En este capítulo, se da a conocer la revisión bibliográfica necesaria para el proyecto de oro en estudio.

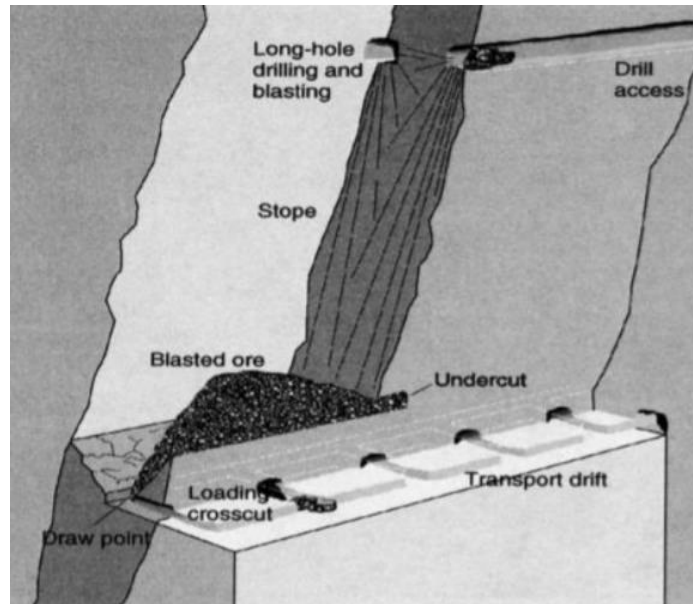
2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Long Hole Stoping

Long Hole Stoping es una variante de sublevel stoping, la principal diferencia entre estos dos es la diferencia de alturas y de diámetros de perforación, en el método Long Hole Stoping se usan taladros largos con grandes diámetros (140 a 165 mm), con subniveles de perforación de 60 a 100 m, aplicando la técnica de perforación, In-The-Hole ITH, esta técnica se basa en la perforación de taladros largos (100 m), mientras que en sublevel stoping se usan diámetros de perforación de (50 a 200 mm) con subniveles de perforación máximos de 30 m de altura (Hustrulid & Bullock, 2001).

La ventaja del Long Hole Stoping comparado con el sublevel stoping es el factor de escala. Los ITH-taladros perforados son rectos, y la perforación con precisión puede ser aprovechada originando un beneficio ante el método sublevel stoping, ya que en la explotación se van a necesitar construir menos rampas de acceso para la perforación, minimizando el costo de construcción (Hustrulid & Bullock, 2001).

Figura 1. *Long Hole Stoping*



Fuente: Hustrulid & Bullock, 2001.

Este método se lo utiliza con más frecuencia en cuerpos tabulares o masivos (verticales y regulares), en los que su bloque mineralizado tenga un ángulo de buzamiento superior al ángulo de reposo del material, la roca de caja y las masas mineralizadas deben ser competentes y resistentes, para evitar fracturas y por consiguiente una dilución del mineral (Darlin, 2011).

El método Long Hole stoping se lo ejecuta excavando porciones de tajadas verticales de grandes dimensiones, que pueden ser rellenas con material estéril en mezclas de hormigón. El mineral arrancado se lo recolecta en los llamados embudos que están ubicados en la base del tajeo, para luego ser transportado. La recuperación va a depender directamente de los muros y losas que componen el tajeo, la misma que oscila entre el 60 % y 80 % de eficiencia, mientras que, la dilución se ve afectada por la pared colgante y el techo, que va desde el 3% hasta el 10%. Este método implica una gran cantidad de labores mineras, que por lo general son construidas dentro del cuerpo mineralizado (Castillo Anyosa, 2015).

El método Long Hole Stopping resulta más eficiente en cuerpos que superen el ángulo de reposo del material fragmentado (mayor a 45°), esto ayuda a que el material pueda ser transportado por gravedad, al igual que, las paredes colgantes con ángulos de buzamiento menores al ángulo de reposo del material, puede sufrir desprendimientos, ocasionando dilución del mineral (Castillo Anyosa, 2015).

La secuencia del sistema consiste en perforar hacia abajo hasta romper en el corte inferior, por consiguiente, se mide la profundidad de los agujeros para bloquear a la altura adecuada y cargarlos con cargas potentes contenidas en una sección corta del agujero de explosión. Las cargas son reducidas y el agujero se deriva con arena y agua colocada encima de la carga, normalmente soltando un trozo de mineral de 3 m que cae al vacío. La complejidad en la recuperación de rebajes secundarios requiere un equipo capacitado, para obtener un resultado exitoso de voladura, las cargas en los barrenos deben ser precisas por lo que se vuelven complejas, como también se debe llevar un registro de la voladura de cada hoyo para realizar un seguimiento del proceso (Hustrulid & Bullock, 2001).

Para implementar el sistema Long Hole Stopping se debe considerar algunos parámetros y características:

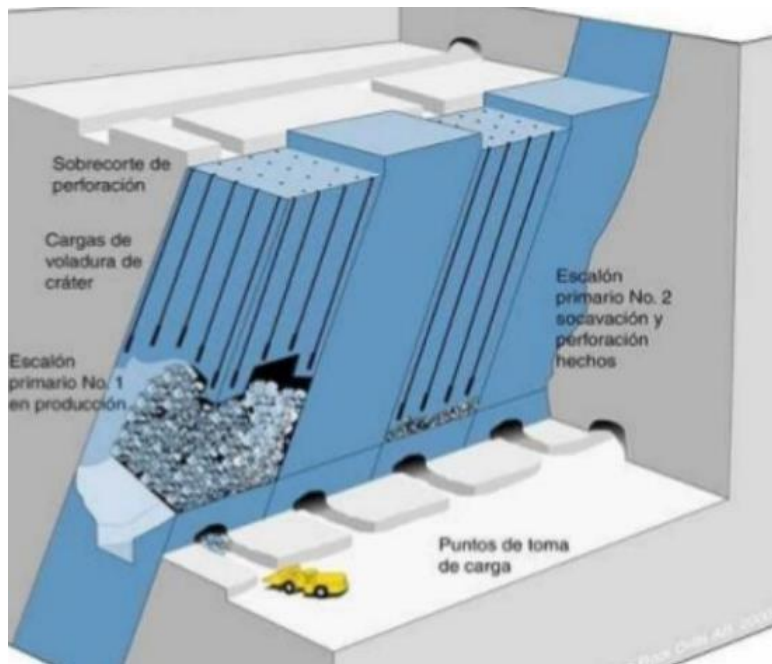
- **Tamaño:** La potencia del cuerpo mineralizado debe ser mayor de 10 m y no menor de 3 m.
- **Forma del cuerpo mineralizado:** Debe ser de preferencia tabular y uniforme.
- **Buzamiento (Dip):** Debe ser mayor al ángulo de reposo del material, es decir, mayor a 50 grados.
- **Geotecnia:** La resistencia del cuerpo mineralizado debe estar entre moderada a competente, mientras que la roca de caja debe de ser competente para evitar la dilución dentro del cuerpo mineralizado, de estos dos parámetros dependerá el tamaño de los pilares.
- **Tamaño de pilares:** Los pilares sirven para soportar y dividir los caserones, y estos dependen directamente de los esfuerzos inducidos, estructuras, calidad del macizo rocoso y condiciones operacionales.

- **Luz del caserón:** Está diseñada para prevenir la dilución externa y colapsos en los caserones o “air blast”. La longitud de la luz es directamente proporcional a la calidad de la pared colgante.
- **Selectividad:** Está dada por zonas con material estéril, y estos pueden servir como pilares (Muruaga, 2016).

2.2. Cut and Fill

En la figura 2, podemos observar que a medida que se avanza hacia arriba, se va extrayendo el mineral arrancado por los buzones ubicados en la zona inferior.

Figura 2. Método de cámaras con relleno



Fuente: Crespo, 2007.

El método de cámaras con relleno (cut and fill) opera con un sistema similar al de almacenamiento de escombros, con la diferencia substancial que el relleno no se realiza con el mismo mineral arrancado, sino con materiales que son traídos desde afuera, por ejemplo: limos o arenas. También pueden utilizarse a estos efectos los estériles de la planta de flotación, lo cual tiene innumerables ventajas ambientales. El método de entibación cuadrada es muy laborioso y hoy en día prácticamente no se emplea. Es similar al proceso de cámaras con relleno, pero además utiliza un esqueleto de cuadros rectangulares. Ahora bien, a diferencia del método anterior, la imagen nos mostrará que el relleno se realiza aquí con materiales traídos desde afuera de la mina (Crespo, 2007).

2.3. Cierre de Minas.

El Cierre de Minas es el conjunto de actividades realizadas por la empresa minera destinadas a la rehabilitación de las áreas utilizadas por esta a través del tiempo. Por ello, el Cierre de Minas se desarrolla teniendo en cuenta cada una de las etapas de la vida de una unidad operativa, con actividades particulares como la rehabilitación temporal de áreas durante las operaciones, la reconformación del terreno durante el cierre de la unidad o el monitoreo del agua superficial y subterránea luego del cierre de la unidad, entre otros (Concha, 2011)

El cierre de una mina se proyecta a futuro desde la planificación y/o factibilidad del proyecto minero, por lo que el análisis de costos de las actividades de cierre, previo a extraer todas las reservas de mineral es inexacto, dado que existen diversas fuentes de incertidumbre que no se conocen y donde no solo se deben considerar los costos ambientales regulatorios sino también los costos potenciales asociados al cierre. Adicionalmente, el Banco Mundial refiere que para calcular con precisión el nivel de seguridad financiera en las garantías asociadas al cierre de minas, las actividades de cierre deben estar claramente definidas en el plan de rehabilitación y/o plan de cierre de minas (Julca, 2020).

2.4. Procesos de obtención del oro

2.4.1. Chancado

El chancado se hace en dos etapas que son el chancado primario y el chancado secundario; en el chancado primario todo el mineral se reduce a $< 1''$ y en el chancado secundario todo el mineral se reduce a $< \frac{1}{2}''$. Esa granulometría es suficiente para obtener una buena liberación del oro en la etapa de molienda/clasificación (Ramirez, 2016).

Las dos etapas de chancado se hacen en serie con diferentes chancadoras y un tamiz de $\frac{1}{2}''$ de abertura entre ellas; de esta manera se prolonga la vida de las quijadas y el producto es bastante bueno. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la chancadora primaria debe tener una giba de $1''$ y la chancadora secundaria debe tener una giba de $\frac{3}{4}''$ para que puedan producir el tamaño requerido (Ramirez, 2016).

Un circuito abierto de chancado secundario es típico para una planta de baja capacidad como ésta e inclusive para plantas de hasta 100 tpd en donde en vez de una chancadora secundaria de quijadas se usa una chancadora cónica pequeña. Sólo en plantas de más capacidad es conveniente usar un circuito cerrado de chancado secundario porque de esta manera se evita que el gran movimiento de mineral afecte el tamaño requerido para la etapa de molienda (Ramirez, 2016).

La capacidad de la chancadora se reduce a la mitad cuando el mineral tiene más de 4% de humedad, es este caso se debe secar el mineral para evitar paradas por atoramiento de las chancadoras. Para cálculos de tonelaje considerar una humedad de 2% (Ramirez, 2016).

2.4.2. Lixiviación Agitada

La Lixiviación Agitada es un proceso que requiere de un mayor grado de liberación del mineral de interés, en otras palabras, requiere de un mayor grado de conminución, que generalmente se hace mediante molienda húmeda. De esta manera se aumenta el área expuesta a la solución lixivante y mediante la agitación se disminuye el tamaño de la capa límite de difusión. Es por esto que los costos operacionales de este método son mayores, pero se justifican al ser aplicado en minerales de alta ley, obteniendo así una mayor recuperación y reduciendo los tiempos de proceso. La agitación puede ser producida de dos formas, la primera usando el sistema de air-lifty la segunda es la más utilizada y es por agitación mecánica (Poblete, 2019).

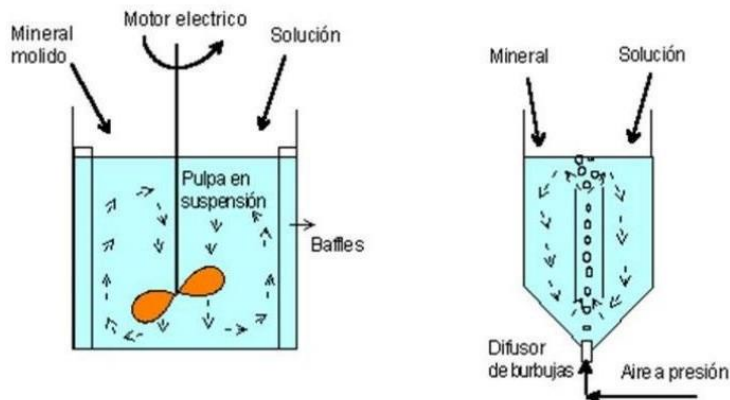
La razón detrás de la selección de sistemas air-lifty está relacionada con las características dinámicas de los flujos internos que se desarrollan y las ventajas que presentan sobre otros reactores neumáticamente agitados. Por otro lado, en su construcción no presentan partes móviles ni rotatorias, lo que reduce el impacto de la corrosión y los costos de inversión y mantenimiento. Su agitación es neumática por lo que los costos de operación (principalmente el consumo energético) se ven también reducidos (Dueñas, 2020).

En cambio, la agitación mecánica es una agitación mediante rotores (hélices o paletas planas) en el fondo del tanque, lo que permite una rotación continua (Milena, 2018).

Habitualmente, luego de realizar la lixiviación por agitación se realiza una etapa de lavado en contra corriente a los sólidos, con el fin de recuperar las soluciones que puedan mantener impregnadas. En caso contrario, se realiza un lavado de colas en filtros al vacío, recuperando así importantes volúmenes de agua y evitando la dilución excesiva de las soluciones con contenido metálico (Poblete, 2019).

Estos procesos se caracterizan por presentar altas recuperaciones que varían entre 75 a 90% y cortos periodos de estadía que generalmente son menores a 24 horas (Poblete, 2019).

Figura 3. Esquema del proceso de Lixiviación Agitada.



Fuente: Poblete, 2019.

Para recuperar el oro contenido en la solución obtenida a partir de la lixiviación agitada se utilizan los siguientes procesos de recuperación:

- 1. Carbón en pulpa (CIP):** Luego de que la pulpa fluye a través de distintos tanques de agitación para lixiviar el mineral, la solución resultante de dicha lixiviación pasa a través de diversos tanques de agitación que contienen carbón activado (adsorción), el cual fluye en contracorriente a la pulpa y de esta forma el complejo cianuro-oro es adsorbido por el carbón activo (Poblete, 2019).
- 2. Carbón en lixiviación (CIL):** Este proceso es similar al proceso CIP, con la diferencia de que los procesos de lixiviación y adsorción ocurren de forma simultánea en los tanques de agitación, los que contienen el carbón y están equipados con rejillas de retención de carbón (Poblete, 2019).

2.4.3. Cianuración

En una planta convencional de cianuración se usan los sistemas tradicionales de trituración y molienda para llevar el grado de molienda a un tamaño que indique las pruebas metalúrgicas. Esta molienda generalmente es de 80% a menos 150 mallas a 400 mallas, según las características del mineral. Debe advertirse si el mineral es libre de cianicidas y refractarios, que la disolución de los valores empieza en el circuito de la molienda agregándose solución de cianuro. Una parte de los valores quedan disueltos en el circuito de molienda y posteriormente la pulpa ya molida que es bombeado a los hidrociclones para su clasificación los gruesos retornan a la molienda y los finos pasan a los tanques de agitación donde se le da a la pulpa un tiempo de tratamiento que varía de 24 a 72 horas para lograr una recuperación óptima (Flores, 2016).

En general cuando se trata de mineral aurífero, el tiempo de tratamiento varía de 10 a 24 horas y cuando se trata de minerales argentíferos, se necesitan hasta 72 horas. Deben usarse un mínimo de tres tanques cilíndricos para evitar que algunas partículas hagan un corto camino o sea sin pasar por la agitación necesaria. Tanto en los tanques Pachuca como en los tanques mecánicos, se inyectan aire para producir una buena aireación y lograr una mayor actividad del cianuro (Flores, 2016).

2.4.4. Flotación Iónica

La flotación iónica es una técnica para remover metales que se encuentran disueltos en solución acuosa (Doyle, 2003) Para la aplicación de esta técnica se requiere de la edición de un colector iónico y un surfactante que estabiliza las burbujas de gas (generalmente aire) que ascienden desde el fondo de la celda de flotación. El colector iónico atrae los iones metálicos de carga contraria y los concentra en la superficie en forma de espuma (Doyle, 2009).

El colector iónico es una sustancia polar con una larga cadena hidrocarbonada hidrofóbica (Galvin, 1992). La parte polar del colector heteropolar se enlaza con el metal de interés de carga contraria mientras que la parte hidrofóbica del colector de la superficie de las burbujas de aire ascendentes (Doyle, 2003). De esta forma tanto el metal de interés, el colector y las burbujas de aire ascienden hacia la superficie de la celda de flotación unidas como una cadena (Galvin, 1992).

En la superficie se concentran los metales de interés en forma de espuma junto con el colector empleado (Calvin, 2003) Esta técnica se emplea usualmente en recuperación de metal preciosos como oro, plata y platino a partir de lixiviados u otras diluciones. También se puede emplear esta técnica para tratamientos de fuentes contaminados con metales pesados o sustancias tóxicas Se han reportado elevadas recuperaciones de metales preciosos mediante el uso de flotación iónica en ensayos realizados a escala laboratorio (Doyle, 2003).

No obstante, se deben considerar varios aspectos al momento de escalar este proceso a nivel industrial Se debe considerar la cinética del proceso como la toxicidad de los reactivos de flotación. La eficiencia del proceso de flotación depende de la afinidad y la selectividad que tenga el colector heteropolar por el metal disuelto que desea concentrar. Además de la elección de un adecuado colector se debe considerar la cantidad de agua que se obtenga en la espuma recolectada. Una recuperación exitosa del metal de interés se consigue con una elevada relación ion metálico/agua en la espuma recolectada (Polat y Erdogan, 2007).

En cuanto a recuperación de oro a partir de lixiviados se refiere, se sabe que el Aliquat es un colector altamente selectivo ya que es afín al oro y no a otros metales base. Además, el Aliquat presenta una elevada capacidad de carga y una rápida recuperación de oro en la espuma (de la Torre, Erazo y Guevara, 2007).

2.5. Consideración del Cierre en la Etapa de Evaluación del Impacto Ambiental de un Proyecto Minero.

Desde luego, el tema del cierre del proyecto minero y la calidad ambiental y sustentabilidad del futuro ecosistema son materias de importancia al realizar su EIA (Estudio de Impacto Ambiental). Sin embargo, esa evaluación es generalmente un estudio “reactivo”, en el cual el ambiente es considerado “a posteriori”, después que el proyecto ha sido definido, diseñado y dimensionado. En esas condiciones, su principal utilidad es la de cumplir los requisitos legales para la aprobación del proyecto presentado. Ello lleva a que el estudio realizado sea olvidado, en lugar de llegar a ser una guía durante las etapas de construcción, operación, cierre y post-cierre del proyecto. Otro importante factor que colabora a esa negativa situación es la continua evolución de los proyectos mineros, cuyas características y dimensiones siguen de cerca los cambios de precios y de tecnologías, de manera que es muy difícil prever su situación en el también desconocido momento del cierre. Ello lleva a recomendar una mayor integración de la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental = Estudio de Impacto Ambiental) al “Ciclo del Proyecto”, procurando una visión más completa de todas sus fases de desarrollo y de la consecuencia de las decisiones (de diseño, tecnología, etc.) (Oyarzun, 2008).

El mismo autor propone una visión más comprensiva del proceso de evaluación de impactos ambientales, la cual incluye:

- Asegurar que las decisiones que se adopten sean ambientalmente sanas y sustentables (= sostenibles).
- Asegurar que sus consecuencias ambientales sean identificadas tempranamente y consideradas en el diseño e implementación del proyecto.

- Realizar la EIA de manera que sirva efectivamente como una herramienta de gestión en la toma de decisiones.
- Realizar la EIA de modo que constituya una fuente de información para la construcción, operación, monitoreo y auditoría del proyecto minero.

2.6. Evaluación de impacto ambiental

En minería es vital resaltar la definición temporal continua que tiene el EIA: relacionado al estado del medioambiente "antes", "durante", y "después" de actividades industriales. Si es traducido a términos prácticos, se busca que los que proponen actividades tienen que predecir cambios que puedan producirse en el medio ambiente, también deben proponer acciones correctivas que reduzcan o mitiguen en lo posible los posibles trastornos que podrían ocurrir. También es importante incluir un plan para restaurar (lo más cercana a la línea base) los medios físicos o biológicos que fueron golpeados. Cada país (en ciertos casos, las subdivisiones de algunas entidades como el estado, provincias, comunidades, o departamentos) tienen su propia legislación medioambiental.

- En la minería actual, los datos deben ser recopilados tan pronto que se inicie la etapa de exploración.
- Cuando un depósito mineral es descubierto después de la exploración, se pasa a la siguiente etapa del EIA
- En el EIA se tiene que tomar en cuenta 3 apartados: i) este apartado constituye que la investigación de línea base, debe ser establecida mediante una "auditoría" del "estado del medioambiente", previo al inicio de la actividad minera. ii) Corresponde a describir y analizar potenciales impactos ambientales que deriven del proyecto minero (predecir mediante análisis). iii) conformada por un plan de rehabilitación a implantarse y uso del terreno final.
- La EIA, debe estar finalizado previo al inicio de las labores mineras, debido a que este documento es fundamental iniciar el permiso y empezar a explotar el recurso mineral frente a autoridades pertinentes.

2.7. Pasivo Ambiental

El término pasivo ambiental minero (PAM), se refiere a un impacto ambiental negativo, generado por las actividades mineras. En Latinoamérica, el término se ha relacionado directamente con las faenas mineras abandonadas o paralizadas, aunque también se ha aplicado a impactos negativos de la operación minera en faenas operativas. Según algunas definiciones, el pasivo ambiental minero se origina cuando no se realiza un cierre legal de la faena minera, regulado y certificado por la autoridad que corresponda (Yupari, 2003), ni tampoco una remediación de los impactos negativos que su actividad generó, lo que se conoce como “abandono” (García, 2014).

Además, el pasivo ambiental ofrece un riesgo potencial y permanente para la salud pública, su entorno, a la propiedad. Su remediación podría llevarse a cabo si se ejecuta medidas correctivas que cumplan la normatividad vigente, viabilizando la mitigación, el control, o reducción de efectos negativos que podrían ocasionar la presencia de residuos tóxicos en formato líquido, sólido, o gas producto de la actividad minera (Rojas, 2021).

2.8. Legislación y normativa ecuatoriana

Así la ley de minería en su Art. 27.- establece lo siguiente con respecto al cierre de minas: que se debe incluir la reparación ambiental de acuerdo con el plan de cierre debidamente aprobado por la autoridad ambiental competente, por lo que el estado potenciará la fabricación de minerales obtenidos de las operaciones mineras, promocionando la incorporación del valor agregado con la máxima eficiencia, respetando los límites de la naturaleza biofísica.

En todas las fases de la actividad minera, está implícita la obligación de la reparación y remediación ambiental de conformidad a la Constitución de la República del Ecuador, la ley y sus reglamentos, por lo que se debe citar el siguiente artículo:

Art. 34.- El Estado Ecuatoriano, a través del Ministerio del Ambiente, exigirá a los titulares mineros, presenten una garantía de fiel cumplimiento, mediante una póliza de seguros o garantía bancaria, incondicional, irrevocable y de cobro inmediato a favor del Ministerio del Ambiente o la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable, la que deberá mantenerse vigente y actualizarse hasta el completo cierre de operaciones del área y por un año posterior a la finalización del período de vigencia de las concesiones.

Es por eso por lo que la garantía de fiel cumplimiento del plan de manejo ambiental podrá ser actualizada en base a la aprobación de la Actualización del Plan de Manejo Ambiental. Por lo cual si existen daños al medio ambiente esa responsabilidad recaerá sobre los titulares mineros que al amparo de sus concesiones se encuentren ejecutando actividades en la fase de exploración inicial.

El Art. 37.- nos habla sobre la emisión de las garantías, las garantías deberán ser emitidas por una institución aseguradora o financiera ecuatoriana que cuente con el respectivo respaldo financiero. Al menos se harán referencias para determinar el monto de pólizas para el cumplimiento del PMA o del plan de cierre. El valor es el 100% del PMA

Para lograr avanzar la importancia de esta tesis se debe citar también el Art. 85.- Cierre de Operaciones Mineras.- Lo cual nos dice que los titulares de concesiones mineras y plantas de beneficio, deben incluir en sus Estudios de Impacto Ambiental, la planificación del cierre de sus actividades, incorporada en el Plan de Manejo Ambiental y con su respectiva garantía; por lo que planificación debe comenzar en la etapa de prefactibilidad del proyecto y continuar durante toda la vida útil, hasta el cierre.

El plan de cierre de operaciones mineras será revisado y actualizado periódicamente en los Programas y Presupuestos Ambientales anuales y en las Auditorías Ambientales de Cumplimiento.

Asimismo, dentro del plazo de dos años previos a la finalización prevista del proyecto, para las actividades mineras de explotación, beneficio, fundición o refinación, el concesionario minero deberá presentar ante la Autoridad Ambiental Nacional, para su aprobación, el Plan de Cierre de Operaciones Definitivo que incluya la recuperación del sector y las garantías.

Art. 92.- Regalías a la Actividad Minera. - El Estado es el encargado de recibir el pago de regalías, las regalías pagadas por los concesionarios se establecerán con base a un porcentaje sobre la venta del mineral principal y de los minerales secundarios y serán pagadas semestralmente en los meses de marzo y septiembre de cada año.

Por lo que la comercialización de sustancias minerales metálicas explotadas por parte de los concesionarios mineros, se sujetará a un abono del 2% del valor total de cada transacción por concepto de regalías. Se exceptúa del abono las concesiones mineras por las que se suscriban contratos de explotación en los que se pacte el pago de regalías anticipadas.

Art. 93.- Regalías a la explotación de minerales. El concesionario minero deberá pagar una regalía equivalente a un porcentaje sobre la venta del mineral principal y los minerales secundarios, no menor al 5% sobre las ventas y, para el caso del oro, cobre y plata, no mayor al 8%, adicional al pago correspondiente del impuesto a la renta; del porcentaje de utilidades atribuidas al Estado conforme esta ley; del impuesto sobre los ingresos extraordinarios; y, del impuesto al valor agregado determinado en la normativa tributaria vigente.

Art. 126.- Daños ecológicos y pasivos ambientales.- Los promotores y ex-promotores del proyecto que hubieren producido daños al sistema ecológico, alteraciones al ambiente o pasivos ambientales serán responsables de la rehabilitación, compensación y reparación de los daños causados por efecto de sus actividades mineras realizadas antes y después del cierre de operaciones de la concesión, respectivamente, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles y/o penales a las que hubiere lugar. Las acciones legales por los daños ambientales producidos en el desarrollo de un proyecto minero son imprescriptibles.

Art. 127.- Monitoreo de actividades de cierre. - Es necesario prever en la planificación del cierre un periodo adecuado de monitoreo. El monitoreo deberá ser diseñado para demostrar que se cumplen los criterios y condiciones de cumplimiento propuestos y que el sitio es seguro, estable y ha alcanzado los objetivos de cierre planificados. Tales condiciones deben ser demostradas durante un periodo de 5 años tras el cese de la explotación minera y cierre de la mina o en el tiempo que el Ministerio del Ambiente prevea de acuerdo a la naturaleza del proyecto. Se deberá presentar de forma semestral a la Autoridad Ambiental para su aprobación, un informe de avance y efectividad de las medidas ambientales implementadas para el cierre de mina.

Art. 129.- Garantía financiera. - La garantía financiera de cierre será parte de la garantía de fiel cumplimiento del plan de manejo ambiental.

2.9. Flujo de Caja

Es la sistematización de la información sobre la inversión inicial, inversiones durante la etapa de operación, los ingresos y egresos operacionales y de producción, y el valor de rescate del proyecto. En efecto, el flujo de caja del proyecto no es otra cosa que el registro de los desembolsos en efectivo que se presentan antes de la puesta en marcha, y de los ingresos y egresos durante su operación (Cinco, 2016).

Para la construcción del flujo de caja se tienen en cuenta los ingresos y egresos reales de efectivo

y no los contables, por lo que el procedimiento se asimila más a la contabilidad de cada que a la contabilidad de causación. No obstante, lo anterior, en el flujo de caja del proyecto deben aparecer egresos que no representan salidas reales de efectivo, cuentas como la depreciación y la amortización, que disminuyen el valor de los impuestos por pagar y se constituyendo un beneficio tributario para el proyecto (Cinco, 2016).

La información básica para construir el flujo de caja del proyecto proviene de los estudios de mercado, estudio técnico, administrativo y financiero, teniendo en cuenta una información adicional relacionado con los efectos tributarios de la depreciación y amortización, y con el efecto del valor de rescate (Cinco, 2016).

El valor de la opción de abrir y cerrar una mina (pero no abandonar) en respuesta a cambios en el precio del mineral, depende de los costos de producción, precios actuales y la volatilidad de esos precios. Si se detienen las operaciones cuando los precios caen considerablemente por debajo de los costos, el proyecto evitará las grandes pérdidas que ocurren durante los periodos de precios bajos. El valor de cada opción, los dólares ahorrados o perdidos durante los periodos de precios bajos, se calcula fácilmente considerando los últimos años de operaciones ya existentes (Miguel, 2020).

Para ser consistentes con la definición de flujo de caja (nivel económico), la tasa de descuento apropiada debería reflejar el costo de oportunidad y el riesgo para todos los suministradores de capital, ponderado por su participación relativa en el capital total del proyecto (Alfaro, 2007).

2.9.1. Valor Presente Neto

El Valor Actual Neto de un proyecto es el valor actual de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos y los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios (Mete, 2014). Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Valor Presente Neto

$$VAN = \left[\sum_{t=1}^n FE(t) * (1 + i)^{(0-t)} \right] + I(0) \quad (1)$$

Fuente: Mete, 2014

Donde:

- VAN: Valor Actual Neto
- FE (t): flujo de efectivo neto del período t
- i: tasa de expectativa o alternativa/oportunidad n: número de periodos de vida útil del proyecto
- I (0): inversión inicial (neta de ingresos y otros egresos).

2.10. Costos de Cierre

Las empresas deben incluir dentro del plan mencionado un conjunto de actividades de cierre, considerando cada instalación de la faena minera y velando porque estas puedan cubrir los riesgos para las personas y el medio ambiente en general.

Los costos de cierre de una empresa minera estarán determinados, entonces, por la valoración de este conjunto de actividades del Plan de Cierre, que incluyen el desmantelamiento y retiro de estructuras y maquinarias, así como la rehabilitación de los sitios, siempre dentro del contexto de los riesgos.

Cada empresa minera debe ser considerada desde una perspectiva o caso particular e individual, que posee características propias y diferentes a las demás, por lo que cada Plan de Cierre deberá ser analizado caso a caso, según sean los aspectos más relevantes de dicha faena y de su entorno.

Es por ello que se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Características propias de la empresa minera y sus instalaciones.
- Ubicación geográfica.
- Cercanía a centros poblados.
- Atributos relevantes del entorno.
- Riesgos sísmicos (propios del país)

Los costos que están presentes en un plan de cierre de empresas mineras deben diferenciar el tipo de faenas, la cual distingue las faenas de mina a rajo abierto, subterráneas y depósitos estériles.

A la valoración de medidas de cierre deben incorporarse los costos indirectos, los cuales hacen relación a los recursos necesarios relativos a campamento, mantenimiento, relación, comunidad, entre otros. También se deben considerar costos de medidas de monitorio y control y posibles contingencias (Peña & Mateluna, 2017).

2.11. Posibles tecnologías a considerar:

• Biorremediación:

El término biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de su capacidad para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía (Van Deuren, 1997).

Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos varían en función de la estructura

química del compuesto y de las especies microbianas degradadoras. El proceso incluye reacciones de oxido-reducción, procesos de sorción e intercambio iónico, e incluso reacciones de acomplejamiento y quelación que resultan en la inmovilización de metales (Eweis,1998).

La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse in situ o ex situ, en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno). Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a la biodegradación, los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo (HTP), solventes (benceno y tolueno), explosivos (TNT), clorofenoles (PCP), pesticidas (2,4- D), conservadores de madera (creosota) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Van Deuren, 1997, Semple, 2001).

En suelos, la biorremediación consiste en la descontaminación por medio de los microorganismos, ya que, debido a la capacidad degradadora que tengan, se van a llevar a cabo distintos procesos. Los microorganismos emplean los compuestos contaminantes como sustrato o alimento, con el fin de transformarlo en productos inocuos (Silva, 2019).

Una de las alternativas para desarrollar procesos de biorremediación no convencionales es el uso de humedales construidos o artificiales -hidrocarburo-, que son empleados para el desarrollo de tratamientos de aguas superficiales, residuos de aguas municipales, aguas residuales domésticas, efluentes de refinería, drenaje de minas o lixiviados de vertedero (Silva, 2019).

La biorremediación ha demostrado ser complemento costeable y benéfico para ser usado en combinación con métodos químicos y físicos tradicionales como el composteo, la incineración y la extracción con solventes, en el tratamiento de desechos y en la descomposición del medio ambiente (Silva, 2019). Los costos típicos se encuentran entre 130 y 260 USD/m³ (Sarolina, 2011).

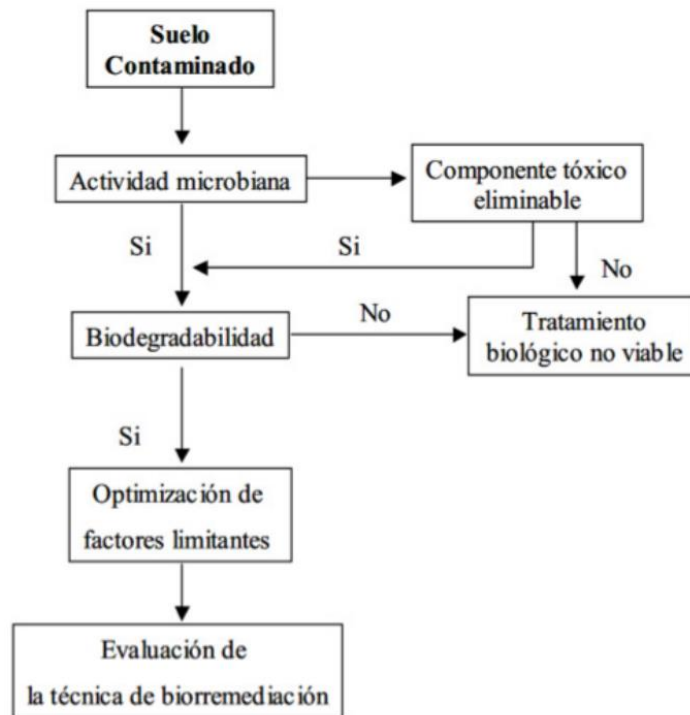
➤ **Pasos en un proceso de biorremediación**

Para desarrollar un proceso de biorremediación, antes se deben realizar algunos pasos como (Figura 4):

- ✓ Identificar el contaminante por tratar, tipo de suelo, es decir, características físicas y químicas, estudio geotécnico e hidrogeológico.
- ✓ Montaje de ensayos escala de laboratorio.
- ✓ Montaje de pruebas de laboratorio.
- ✓ Implementación de la tecnología de biorremediación elegida.

Se deben realizar pruebas microbiológicas con el fin de cuantificar la población de microorganismos presentes y así determinar la proporción con respecto a la cantidad de microbiota heterótrofa endémica del suelo por tratar. Por otro lado, es necesario identificar si los microorganismos presentes son metabólicamente activos o podrían llegar a serlo en escenarios de bioestimulación. Luego de que hayan sido caracterizados el suelo, el contaminante y los microorganismos, es pertinente realizar ensayos de biodegradabilidad. En caso de que el contaminante sea biodegradable, se ha de realizar la evaluación de los factores físicos, químicos y biológicos que afectan la degradación por medio de microcosmos.

Figura 4. Diagrama de flujo de los pasos previos necesarios para la implementación de la biorremediación de un suelo contaminado.



Fuente: (Silva, 2019)

- **Tratamiento de aguas ácida:**

El tratamiento de las aguas residuales consiste en poner en marcha procesos físicos, químicos o biológicos para poder eliminar los contaminantes físicos, biológicos o químicos de las aguas residuales, con el fin de producir efluentes no dañinos, que se puedan reutilizar; también se produce un residuo biosólido o fango que luego también se reutiliza. Al tratamiento de las aguas residuales también se le conoce como depuración de aguas residuales. No existe un único procedimiento, para la depuración de las aguas residuales de la actividad minera, por la amplia diversificación en la composición de las aguas residuales de esta actividad. Los tratamientos de aguas ácidas son más eficientes, de menor costo y de mayor control ambiental entrando en el rango de costos entre 70-100 USD/m³.

- **Métodos del proceso de tratamiento de aguas residuales**

Existen distintos métodos para el tratamiento de aguas residuales. Entre estos están:

- ✓ **Métodos físicos:** consisten en la separación física de sólidos grandes. Los métodos físicos dependen de las propiedades físicas de los contaminantes como su peso específico, tamaño de las partículas, viscosidad, etc. Entre los métodos usados están la sedimentación, filtración, regulación, flotación, etc.
- ✓ **Métodos químicos:** dependen de las propiedades químicas de los contaminantes o de los reactivos incorporados. Entre los métodos usados están la precipitación, coagulación, procesos electroquímicos, intercambio iónico, desinfección, oxidación, neutralización, etc.
- ✓ **Métodos biológicos:** se usan reacciones bioquímicas para eliminar contaminantes coloidales o solubles. Estos procesos pueden ser aeróbicos o anaeróbicos como lagunas aireadas, lodos activados, biodiscos, zanjas de oxidación, filtro percolador.

La solución al problema de las aguas residuales tiene los siguientes enfoques:

- ✓ Evitar la formación de aguas residuales
- ✓ Disminuir la producción de aguas residuales: Un caso concreto se da en las cunetas de coronación y de escorrentías que se construyen para proteger las desmonteras, las laderas y los taludes que conforman el relieve topográfico, y para captar las aguas de escorrentía en las épocas de lluvia y dirigirlas a los canales de escorrentía, construidos aguas abajo de las desmonteras.
- ✓ Tratar las aguas residuales producidas para eliminar o disminuir sus concentraciones.

Los problemas asociados a las aguas residuales que requieren tratamiento son:

- ✓ Concentraciones de sólidos suspendidos por encima de la norma pH por debajo o por encima de las normas.
- ✓ Altas concentraciones de metales disueltos tales como plomo, cobre, zinc, hierro, manganeso, arsénico, mercurio, selenio, níquel, cadmio y otros
- ✓ Reactivos químicos del proceso como cianuro, cromo y otros

Las tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales minero-metalúrgicas se basan en eliminar los contaminantes, de acuerdo al estado en que se encuentran los contaminantes en las aguas residuales. Los contaminantes pueden estar como: sólidos suspendidos, como coloides o como sólidos disueltos. Muchas de las tecnologías conocidas no son exclusivas, sino que se combinan para obtener un mejor tratamiento; es así que, para eliminar los sólidos disueltos y los coloides, se les trata para precipitarlos como sólidos suspendidos y luego se aplica tecnologías de eliminación de sólidos suspendidos.

Para escoger un determinado proceso para tratar las aguas residuales, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El volumen de las aguas residuales
- La concentración de los elementos contaminantes
- La calidad del efluente deseado
- La disponibilidad de las técnicas de tratamiento y los costos asociados a dichas técnicas

Afin de contar con una visión amplia de estos procesos, a continuación, se hace una descripción de los procedimientos disponibles para el tratamiento de aguas residuales, desde los más empleados hasta algunos que están en etapa de experimentación, Para el caso del tratamiento de las aguas residuales de la industria minero-metalúrgica se cuenta con los siguientes procesos:

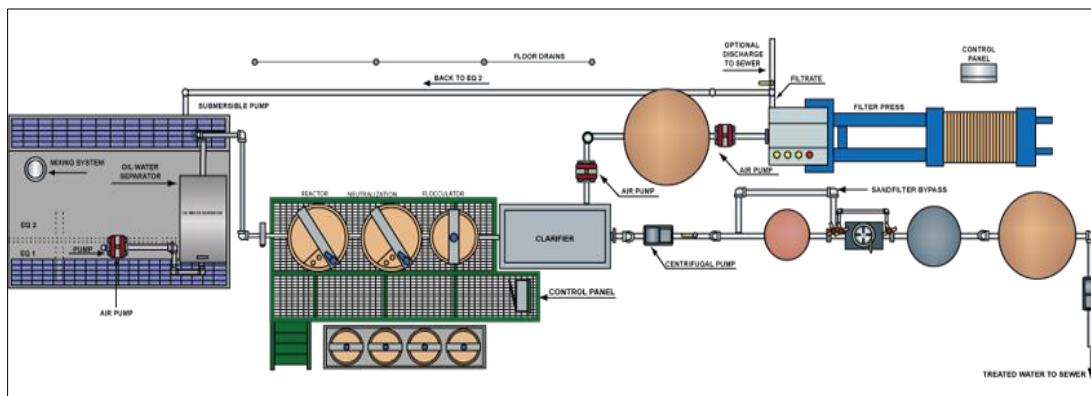
➤ **Separación sólida – líquido**

✓ **Sedimentación o decantación:**

La sedimentación o decantación es la eliminación de los sólidos suspendidos en un líquido, por asentamiento gravitacional, depositándose los sólidos en el fondo del recipiente. Para que se efectúe la sedimentación, la velocidad del agua debe ser igual a un valor tal que los sólidos se asienten por gravedad, si el tiempo de retención es lo suficientemente grande en el depósito de sedimentación.

La velocidad de asentamiento de las partículas está determinada por: su tamaño, su forma y su densidad, además de la naturaleza del líquido en el cual se encuentran las partículas (Puga, 2012).

Figura 5. *Proceso por Sedimentación.*



Fuente: (Puga, 2012)

✓ **Coagulación/floculación:**

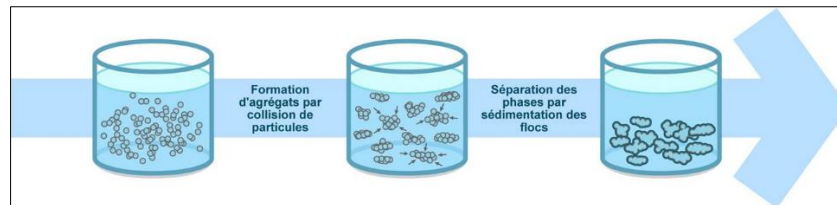
Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer los sólidos que se encuentran suspendidos en el líquido. En este caso se trata de partículas muy pequeñas que no se asientan por la gravedad y que tienen cargas eléctricas del mismo signo, que las mantienen repelidas eléctricamente y que se denominan coloides (Puga, 2012).

Coloides: materia de tamaño de partículas muy finas, por lo general por debajo de 10 micras (0.01 cm de diámetro). Los coloides están dotados de carga eléctrica del mismo signo, que los mantiene separados. La magnitud de la carga de los coloides se mide en milivoltios y se expresa como potencial zeta. La medida del potencial zeta se usa con éxito para controlar la dosis de coagulantes en las plantas de tratamiento de aguas (Puga, 2012).

La coagulación es el proceso de desestabilización (neutralización) de las cargas de los coloides y se logra al neutralizar las cargas eléctricas que las mantienen repelidas (separadas). Esto se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado por corto tiempo (menos de un minuto), para destruir la estabilidad del sistema coloidal y promover la colisión (choque) de las partículas entre sí, para que se aglomeren formando pequeños flóculos (Puga, 2012).

Floculación: Es la etapa de formación de flóculos de mayor tamaño, capaces de asentarse, a partir de los flóculos iniciales de menor tamaño. Esto se logra añadiendo productos químicos denominados floculantes y que tienen como finalidad reunir a las partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas floculadas en aglomerados. Estos aglomerados tienen el peso y el tamaño suficiente para ser separados por asentamiento en sedimentadores. La floculación es favorecida por un mezclado lento; un mezclado demasiado intenso rompe los flóculos, los cuales después de romperse raramente se pueden llegar a juntar nuevamente (Puga, 2012).

Figura 6. *Proceso por coagulación.*



Fuente: (Puga, 2012)

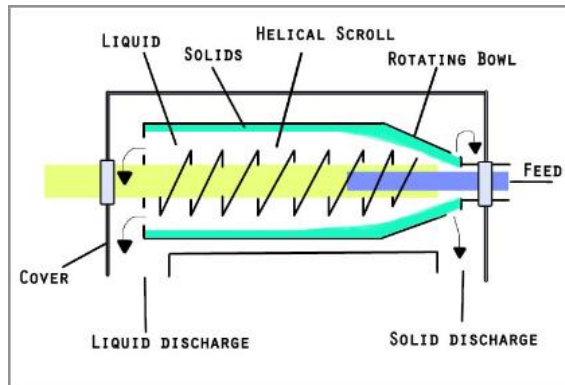
✓ **Espesamiento:**

El espesamiento es un método de separación sólido/líquido empleado para incrementar el contenido de sólidos en un lodo, antes del desecamiento o disposición final. Por lo común el espesamiento es una etapa posterior a la sedimentación. El espesamiento se puede conseguir por dos métodos:

Espesamiento por gravedad: es efectivo cuando la gravedad específica de los sólidos es mayor que la de los líquidos. Este tipo de espesamiento se lleva a cabo en tanques con rastrillos mecánicos, con descarga de lodos por la parte inferior. Los floculantes (por lo general polielectrolitos) ayudan al espesamiento por gravedad, ya que forman flóculos más pesados que se asientan rápidamente y forman lodos densos (Puga, 2012).

Espesamiento por flotación: es efectivo cuando la gravedad específica de los lodos que se desean espesar es cercana o menor a la del líquido, del cual deben ser separados. La flotación utiliza aire en forma de burbujas, para aumentar la flotabilidad de las partículas sólidas, haciendo que se eleven a la superficie y se concentren. También se usan productos químicos como auxiliares de la flotación, tales como cloruro férrico, cal y polielectrolitos. Un espesador por flotación ocupa por lo común, un tercio o menos del espacio que requiere un espesador por gravedad (Puga, 2012).

Figura 7. Proceso por espesamiento

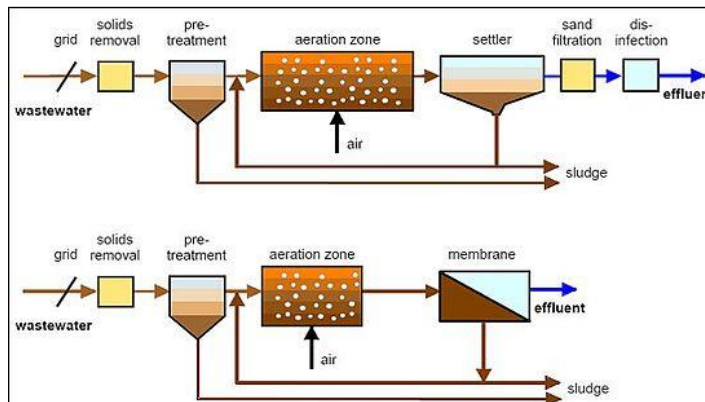


Fuente: (Puga, 2012)

✓ **Filtración:**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa, al pasar a través de un medio poroso. Se usa cuando se quiere obtener un efluente con baja cantidad de sólidos suspendidos o baja turbidez, que no se pueden conseguir con sólo la sedimentación (Puga, 2012).

Figura 8. Proceso por Filtración.



Fuente: (Puga, 2012)

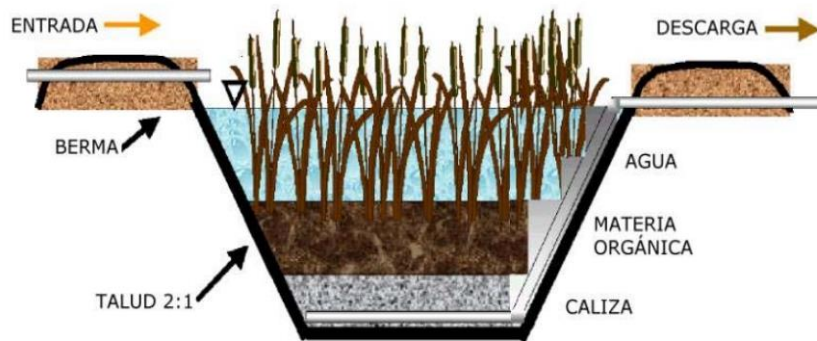
- **Humedales anaerobios o balsas orgánicas.**

En este tipo de humedal el agua de mina fluye por gravedad y el incremento del pH hasta niveles cercanos al neutro se debe a la alcalinidad de los bicarbonatos que se generan en el sistema a partir de la reducción anaerobia del sulfato y la disolución de la caliza (CaCO_3), para evitar que se

produzcan procesos aerobios que desencadenen la generación de acidez metálica a través de la hidrólisis de algunos metales se recurre al pretratamiento del agua ácida con caliza en condiciones atmosféricas (Choque, 2020).

Para favorecer las condiciones anóxicas que se requieren para su correcto funcionamiento, la altura de la lámina de agua ha de superar los 30 cm. Esta lámina cubre un sustrato permeable de un espesor de 30-60 cm formado mayoritariamente por material orgánico (70-90% de estiércol, compost, turba, heno, aserrín, etc.), que está entremezclado o bien dispuesto sobre una capa de caliza. La finalidad del sustrato orgánico es eliminar el oxígeno disuelto, reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y generar alcalinidad mediante procesos químicos o con intervención de microorganismos. Sobre el conjunto de este sustrato se desarrolla la vegetación emergente característica de los humedales, la cual ayuda a estabilizar el sustrato además de aportar materia orgánica adicional (Choque, 2020).

Figura 9 . Disposición de las capas en un humedal anaerobio.



Fuente: (Aduvire, 2006)

Los elementos principales de un humedal anaerobio son:

- ✓ Vegetación emergente de alta productividad para reponer la materia orgánica consumida. Las plantas en el humedal ayudan a precipitar y filtrar elementos en suspensión, transfieren oxígeno a través de sus raíces a la zona anaerobia del sustrato (rizósfera) para oxidar metales tóxicos como el Pb que precipitan dentro del sustrato y evitar su adsorción por las plantas, facilitar reacciones microbianas que incluyen oxigenación y nitrificación/denitrificación indispensables para la vida de las plantas
- ✓ Sustrato rico en materia orgánica descompuesta (compost, turba, estiércol, mulch, otros) para iniciar y mantener los procesos de reducción del sulfato y eliminar el oxígeno disuelto en el agua. Además, la materia orgánica es una importante fuente de energía para el metabolismo microbiano.
- ✓ Altura de agua y régimen de caudales necesarios para mantener las condiciones anaerobias y facilitar el hábitat de las bacterias sulfato-reductoras
- ✓ Disponer de un sustrato en el lecho de humedal que aporte alcalinidad al medio (caliza machacada) y ayude a neutralizar el pH (Aduvire, 2006).

- **Electroremediación:**

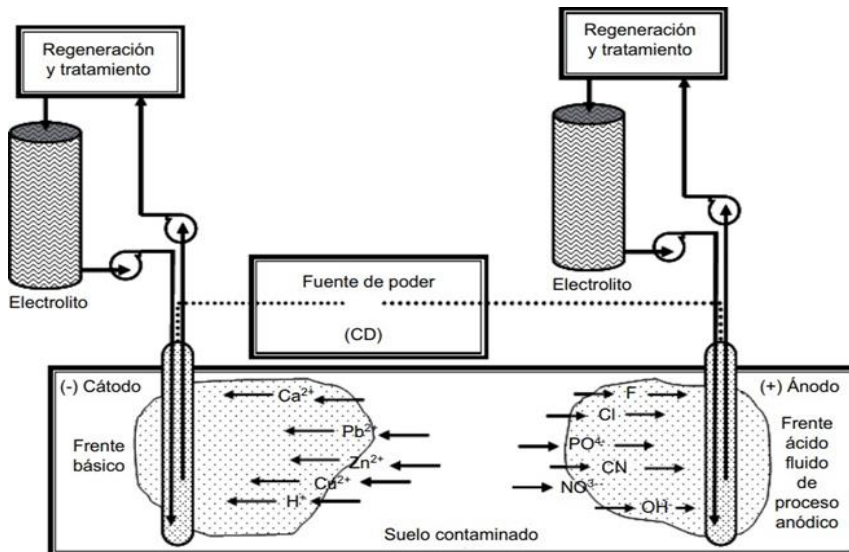
Es una tecnología para restaurar suelos contaminados que se basa en la generación de un campo eléctrico a partir de imponer corriente directa. Para la aplicación de una diferencia de potencial, o una corriente directa, se requiere el empleo de electrodos (ánodo y cátodo), los cuales son colocados en pozos excavados en el suelo, usualmente estos se humectan con un electrolito para mejorar las condiciones de conducción del campo eléctrico. La acción del electrolito permite transportar el contaminante hacia los pozos en donde será extraído. Al contrario del arrastre de fluidos, esta técnica permite establecer una migración dirigida, la cual evita la dispersión del contaminante fuera de la zona de tratamiento (Perez, Teutli, & Ramirez, 2006).

- ✓ **Mecanismos de remoción**

Los mecanismos principales por los cuales el campo eléctrico conduce los contaminantes hacia los electrodos son: electromigración, electroósmosis y electroforesis. Siendo los dos primeros los que ejercen la mayor influencia en el transporte del contaminante. A continuación, se describe cada uno.

- **Electromigración.** Es un fenómeno en el cual los iones en solución y los coloides que tienen carga eléctrica se mueven a través del campo eléctrico con una velocidad que es proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico y la movilidad del ión o partícula. Se muestra un esquema del proceso en la figura 10.

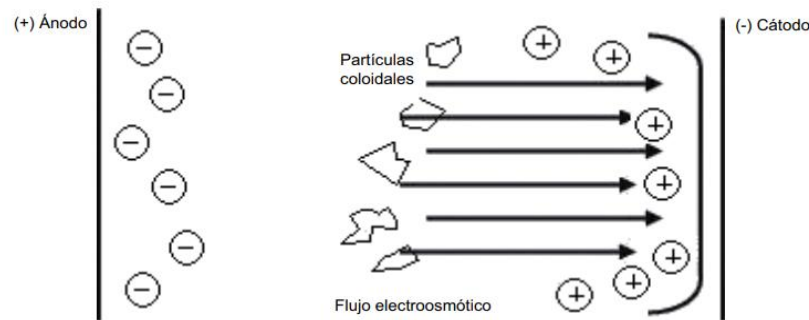
Figura 10. Proceso de Electrorremediación



Fuente: (Perez, Teutli, & Ramirez, 2006)

- **Electroósmosis.** Es un fenómeno de transporte en el cual el líquido saturante junto con las sustancias que se suspenden en él (coloides con y sin carga eléctrica), fluyen hacia uno de los electrodos (normalmente hacia el cátodo) se muestra un esquema en la figura 11. La tasa de este flujo es proporcional al producto de la fuerza del campo eléctrico aplicado y al potencial de la interfase sólido-líquido. El valor del potencial es función de las propiedades del suelo, así como de la fuerza iónica y el pH del electrolito (Yeung 1990). Por ejemplo, con un gradiente de potencial eléctrico de 100 V m^{-1} , los valores típicos de potencial están entre -10 y -100 mV , lo cual causa que el agua fluya hacia el cátodo a una velocidad que puede alcanzar $10 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$; bajo estas condiciones algunas pruebas de laboratorio han demostrado una eficiente remoción de compuestos orgánicos insolubles, los cuales tienen cargas iónicas parciales, por lo que las cargas iónicas totales resultan ser muy débiles y no lograrían moverse solo por electromigración (Martínez 2001).

Figura 11. Esquema básico del fenómeno de electroósmosis



Fuente: (Perez, Teutli, & Ramirez, 2006).

- **Electroforesis.** Este mecanismo se observa cuando hay partículas o coloides con carga eléctrica, de forma que los contaminantes ligados a este material particulado pueden ser transportados por el campo eléctrico. En principio se espera que la aplicación de la electroremediación en un sitio contaminado con metales sea sencilla debido al rápido transporte por electromigración y a que no es afectada por las variaciones de potencial. En suelos contaminados con metales, la electromigración tiene un mayor impacto que la electroósmosis, para que un metal sea transportado por el fenómeno de electromigración debe de estar en solución y tener una carga eléctrica, la cual no debe de cambiar mientras migra hacia uno de los electrodos (Perez, Teutli, & Ramirez, 2006).

2.12. Simulación Montecarlo

Las simulaciones tienen el objetivo de duplicar características y comportamientos propios de un sistema real, es decir, imita el comportamiento de un sistema a través de la manipulación de un modelo que representa la realidad. La simulación Monte Carlo (SMC) no es ajena al anterior

objetivo, y tiene una característica primordial: permite simular el comportamiento de las variables que inciden en el problema a analizar, cuando se tiene incertidumbre sobre el comportamiento que éstas van a tener y su efecto sobre la variable dependiente, esto a través de una técnica de base científica que brinde mayor soporte a las proyecciones futuras.

La simulación Monte Carlo es una técnica cuantitativa que permite el desarrollo de un modelo lógico-matemático del que se obtienen la imitación de un proceso del sistema a través del tiempo. Por lo tanto, la simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental; además, ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. El término SMC proviene por su similitud al muestro aleatorio en los juegos de ruleta en los casinos de Monte Carlo. La SMC reproduce los valores de una variable a partir de su comportamiento, basado en la selección de números aleatorios para las variables independientes que le afectan, considerando sus distribuciones de probabilidad.

Para poder aplicar la SMC, es necesario contar con suficiente información histórica, que permita establecer cómo se comportan las variables y cómo éstas afectan o son afectadas por otras variables. Los modelos de SMC suelen enfocarse en operaciones detalladas en un sistema, ya sean físicas o financieras. En este sistema se estudia la manera cómo funciona a través del tiempo y se incluyen los efectos de los resultados de un periodo sobre el siguiente.

El proceso de simulación permite construir las distribuciones de probabilidad para todo tipo de indicador financiero, lo que hace posible realizar un análisis bajo riesgo de cualquier aspecto de la empresa, esto es, que sería posible trasladar el análisis financiero tradicional realizado en términos determinísticos a un ambiente de incertidumbre (Salazar & Alzate, 2018).

El concepto básico de este método parte de la probabilidad, debido a que plantea conocer la probabilidad de ocurrencia de un evento, que se obtiene realizando el experimento un número suficiente de veces y determinando la variable aleatoria dependiente como una 29. Evaluación del riesgo en la industria química función de densidad de los resultados obtenidos en los “experimentos” realizados. La simulación de Monte Carlo proporciona, con la creación de un modelo, la respuesta de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores (representados por una distribución de probabilidad) para cualquier factor con incertidumbre. Luego calcula los resultados una y otra vez, cada vez usando un grupo diferente de valores aleatorios de las funciones de probabilidad. Para completar una simulación de Monte Carlo puede ser necesario realizar miles o decenas de miles de recálculos, dependiendo de la cantidad de incertidumbre y de los rangos especificados (González, 2015).

➤ **La simulación de Monte Carlo en el análisis de riesgo**

Como se ha mencionado, la simulación de Monte Carlo es una herramienta utilizada en muchos ámbitos. Dentro del ámbito del análisis de riesgo, propusieron un algoritmo basado en la simulación de Monte Carlo para investigar los efectos de la incertidumbre en este ámbito (González, 2015).

Es por esto, que usando esta herramienta se puede introducir estudios aplicados en la ingeniería para proporcionar un diseño, programación y el control de los sistemas industriales, además de

ofrecer la resolución de los problemas clásicos de optimización como es el caso de esta tesis.

2.13. Modelo de Markowitz

Markowitz desarrolla su modelo sobre la base del comportamiento racional del inversor. Es decir, el inversor desea la rentabilidad y rechaza el riesgo. Por lo tanto, para él una cartera será eficiente si proporciona la máxima rentabilidad posible para un riesgo dado, o de forma equivalente, si presenta el menor riesgo posible para un nivel determinado de rentabilidad. El conjunto de carteras eficientes puede calcularse resolviendo el siguiente programa cuadrático paramétrico:

Ecuación 2. Modelo de Markowitz

$$\text{Min } \sigma^2(R_p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i \cdot x_j \sigma_{ij}$$

sujeto a:

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot E(R_i) = V^*$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n)$$

Fuente: Zubeldía, 2002

Donde:

x_i = es la proporción del presupuesto del inversor destinado al activo financiero i es incógnita del programa.

$\sigma^2(R_p)$ = donde p es la varianza de la cartera, σ_{ij} es la covarianza entre los rendimientos de los valores i y j .

$E(R_p)$ = es la rentabilidad o rendimiento esperado de la cartera p , de tal forma que al variar el parámetro V^* obtendremos en cada caso, al resolver el programa.

x_i = que minimizan el riesgo de la cartera, así como su valor correspondiente.

$[E(R_p), \sigma^2(R_p)]$ = El conjunto de pares o combinaciones rentabilidad-riesgo de todas las carteras eficientes es denominado «frontera eficiente». Una vez conocida ésta, el inversor, de acuerdo con sus preferencias, elegirá su cartera óptima (Zubeldía, 2002)

CAPITULO III

En el presente capítulo, se explica la metodología abordada en el proyecto, la elaboración del plan de producción con su posterior valoración del flujo de caja se basa en función de proyectos similares.

3. Metodología

Para la elaboración de este trabajo de la valorización de planes de cierre y remediación del depósito se analizaron diferentes parámetros que intervienen, que nos permitirán conocer las ventajas y desventajas que esta genere.

La evaluación económica del cierre de minas

- Incorpora los costos de cierre en la evaluación de proyectos mineros
- Considera las medidas de rentabilidad
- Incorpora la incertidumbre tecnológica de innovaciones futuras
- Impacto del cierre en el valor presente de la empresa minera, y eventualmente el impacto en la planificación financiera.

Para una evaluación de cierre de mina debe incluir:

- **Ventas Anuales:** Corresponde a los ingresos netos mensuales durante todo el año antes de totalizarlos a fin de año.
- **CAPEX:** Se trata del gasto que una empresa realiza en bienes de equipo y que resulta en beneficios que garantizan y miden su crecimiento.
- **OPEX:** Se refiere al “Gasto Operativo”. Por lo tanto, se relaciona al costo relacionado con las operaciones y servicios.
- **Aspectos tributarios:** Se refiere al vínculo que se establece por ley entre el acreedor (el Estado) y el deudor tributario (las personas físicas o jurídicas) y cuyo objetivo es el cumplimiento de la prestación tributaria.

- **Costos de cierre:** Se refiere al pago de la reparación ambiental según el plan de cierre aprobado por la autoridad.
- **Garantía financiera:** Se refiere a un respaldo de que un acuerdo (un contrato, unas condiciones...) se va a cumplir.
- **Provisiones para gastos de cierre:** Corresponde a las partidas por las que las empresas contabilizan un gasto al dotar la provisión, contra una cuenta de pasivo.
- **Legislación ambiental:** Corresponde al conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones destinadas a prevenir y controlar el deterioro del medio ambiente.

Para elaborar la evaluación un plan de cierre de mina se debe:

- Identificar los costos, gastos e ingresos vinculados al cierre de mina que sería la salida real del dinero.
- Identificar cuando se efectuara el ingreso o gasto.

- Determinar el horizonte del cierre incluyendo el mantenimiento y monitoreo del post-cierre.

3.1. Plan de Producción

Para llevar a cabo el plan de producción se genera el programa mensual simplificándolo en anual, cuya función objetivo es maximizar el beneficio generado por la producción de la mina, Entonces para un plan de producción es necesario contar con información técnica como: características geológicas, reservas mineras económicas, leyes de mineral, costos de producción y recursos para la producción.

La capacidad productiva es de 3500 Tpd, como se muestra en la tabla 1, se considera un 15% en la producción diaria adicional al tonelaje de movimiento como residuo, para la ley soluble se estima un 10% menos a la ley promedio de cada mes.

Tabla 1. Plan de producción anual

PLAN DE PRODUCCION										
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ley Promedio Oro [g/t]	8,69	8,57	8,45	8,33	8,21	8,09	7,97	7,85	7,73	7,61
Ley Soluble Oro [g/t]	8,59	8,47	8,35	8,23	8,11	7,99	7,87	7,75	7,63	7,51
Producción [ton]	1.260.00	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000
Residuo [15%] [ton]	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000	189.000
Movimiento total [ton]	1.449.00	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000	1.449.000

Fuente: Elaboración Propia

En el proceso de planta se detalla los 5 primeros años que se muestra en la tabla 2, cuenta con 4 procesos por lo que en el proceso 1 se considera dos etapas primarias y secundarias, los cuales son destinados a proceso de trituración, para alcanzar un tamaño óptimo para el proceso de lixiviación, teniendo pérdidas despreciables.

El proceso continúa con cianuración para extraer el oro teniendo una recuperación de 80,60% seguido de un proceso de lixiviación con carbono generando una recuperación del 80.9%, continuando con una flotación iónica la cual da una recuperación del 84%.

Tabla 2. Proceso de Planta

PROCESO DE PLANTA			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
PROCESO 1	Chancador Primario	Perdidas despreciables	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000
	Chancador Secundario		1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000	1.260.000
PROCESO 2	Cianuración (gr)	Recuperación (80.6%)	8.718.583	8.596.715	8.474.848	8.352.981	8.231.114
PROCESO 3	Lixiviación con carbono (gr)	Recuperación (80.9%)	7.053.333	6.954.743	6.856.152	6.757.562	6.658.971
PROCESO 4	Flotación iónica (gr)	Recuperación (84%)	5.924.800	5.841.984	5.759.168	5.676.352	5.593.536
Ingreso	Oro Metálico Resultante (gr)		5.924.800	5.841.984	5.759.168	5.676.352	5.593.536
	Precio del Oro en el mercado (US\$/oz)		1.904	1.904	1.904	1.904	1.904
	Valor (US\$)		362.686.233	357.616.653	352.547.072	347.477.492	342.407.912

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Análisis Financiero

Se ha elaborado un modelo técnico económico para la evaluación de un proyecto a gran escala de oro ubicado en Ecuador. El modelo presenta cuatro etapas de construcción 2 años, operación 10 años, cierre y remediación 3 años y 1 año de recuperación de provisión en breves secciones tomando en cuenta los parámetros técnicos con respecto a la producción, costos operativos, gastos de capital e ingresos.

Tabla 3. Estructura del modelo técnico financiero

	Etapa	unidad
	años	
	Producción	
	Residuos	ton
MINA	Mineral	ton
	Estéril	ton
	Ley	(g/t)
PLANTA	Recuperación	%
	Toneladas de fino recuperado	(g/t)

Precio neto	\$USD/oz
Ingresos netos	\$USD
Gastos operativos	
Mina mineral	\$USD
Mina estéril	\$USD
Banda transportadora y trituración	\$USD
Procesamiento	\$USD
General y Administración	\$USD
Plan de Manejo ambiental	\$USD
Provisión de garantía ambiental	\$USD
Garantía Ambiental Actualizada	
Aguas Acidas	\$USD
Biorremediación	\$USD
Humedales Anaeróbicos	\$USD
Electro remediación	\$USD
Subtotal de gastos operativos	\$USD
CAPEX	
Ingresos - Costos	\$USD
Regalía	\$USD
Utilidad Neta	\$USD
Utilidad imponible (-)	\$USD
Impuesto	
Impuesto a la Renta	\$USD
Después de Impuestos (+)	\$USD
Impuesto al valor agregado	\$USD
Utilidad neta	\$USD
Flujo de caja	\$USD

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Producción

En la tabla 2 en la sección de producción se presenta las toneladas de los residuos y de mineral con respecto a mina y lo que es con relación a planta presenta la ley de oro (g/t), el porcentaje de recuperación y toneladas a extraer (g/t) que es el resultado de la ley * mineral * recuperación.

3.2.2. Precio neto

Es el precio final, teniendo en cuenta que el 20 de junio se encuentra en 1904 \$USD/oz t con el tiempo esto fluctúa

3.2.3. Ingreso neto

Los ingresos son de acuerdo a las toneladas de extracción por el precio total, se va a ver influencia por costos de operación.

3.2.4. Gastos operativos

Los diversos insumos de costos operativos con respecto a la mina son bandas transportadoras y trituradoras, procesamiento, general y administración, plan de manejo ambiental y una provisión de garantía ambiental, también se ha incluido parámetros de aplicación de tecnologías para remediación al llegar a la cierre y remediación.

3.2.5. Gastos de Capital

Los gastos de capital del proyecto se han basado con respecto a los equipos de minería, infraestructura, procesamiento en general costos operativos, tomando en cuenta las regalías que aplica el 5% a grande minería de la venta del mineral.

3.2.6. Impuesto

Corresponde al valor de cancelación correspondiente a la venta de oro.

3.3. Determinación del Royalty e Impuestos para Ecuador

De acuerdo al Artículo 92 de la legislación minera del Ecuador, las regalías pagadas por los concesionarios y establecen en base a un porcentaje, sobre la venta del mineral principal y serán pagadas semestralmente en los meses de marzo y septiembre de cada año.

El porcentaje que se establece de acuerdo a los datos obtenidos por la empresa minera Lundin Gold los cual pertenece a gran minería por su producción de 3500 tpd

La modalidad de minería a gran escala con extracción de mineral metálico la tarifa a establecer es no mayor al 8% sobre la venta del mineral principal y secundario.

Además, el concesionario minero deberá pagar el 25% del impuesto a la Renta, el 12% de las utilidades determinadas en esta ley, el 70% del impuesto sobre los ingresos extraordinarios y el 12% del impuesto al valor agregado determinado en la normativa tributaria vigente.

3.4.Tasa de Interés de Ecuador.

El Modelo de valoración de activos financieros (CAPM) se puede calcular mediante la ecuación 2 y 3.

Ecuación 3. Tasa de Interés

$$R = R_f + B.(R_m - R_f)$$

Donde:

R: Tasa de rendimiento requerida para los accionistas.

R_f: Tasa de interés libre de riesgo.

B: Riesgo relativo de una acción en particular.

R_m: Rentabilidad media del mercado.

Ecuación 4. Riesgo Relativo

$$B = \frac{Cov(r_s, r_b)}{\sigma^2 r_b}$$

Donde:

r_b = Es la variable de referencia del mercado porcentaje de retorno.

r_s = Es el porcentaje de retorno de la variable de acciones.

- **Tasa de interés libre de riesgo [Rf]**

La tasa de interés libre de riesgo es basa en función de los bonos establecidos por el banco central de Ecuador.

- **Cálculo del Riesgo Relativo**

Este cálculo va en función de los datos históricos del precio del oro y el valor del Índice de Precios la estimación se realiza en función de la ecuación.

Ecuación 5. Porcentaje de retorno

$$\text{Porcentaje de retorno \%} = \frac{(\text{Cierre hoy} - \text{Cierre dia anterior})}{\text{Cierre dia anterior}} * (100)$$

- **Rentabilidad media del mercado.**

La estimación de la rentabilidad media del mercado se realiza mediante el cálculo de la fecha de inicio y la fecha de terminación del estudio; la estimación de la tasa diaria de la rentabilidad de las acciones corresponde a los valores del primer día del cierre del mes dividido para el último día del cierre del mes de estudio menos uno, resultando así una tasa general, al estimar la tasa diaria y anual del proyecto se obtiene de acuerdo a la ecuación.

Ecuación 6. Porcentaje de rentabilidad media

$$\begin{aligned} \% \text{ diaria} &= ((1+i272) ^{364}) - (1) = x \\ \% \text{ anual} &= ((1 + 0.06) ^{364}) - (1) = x \end{aligned}$$

A continuación, se describe los resultados obtenidos.

Tabla 4. Tasa de Riesgo de Ecuador

Tasa de rendimiento (R)	9,98
Tasa de interés libre de riesgo (Rf)	7,87
Rentabilidad media del mercado (Rm)	25
Covarianza (Cov)	0,50
Riesgo Relativo de una acción en particular (B)	0,19

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Costos de Cierre y Remediación

Para aplicar la metodología de costos de cierre y remediación que se propone se debe considerar las tecnologías con sus respectivos costos que van a tratar el estéril y los residuos como se muestra en la tabla 4 líneas rojas, la tecnología que se implemente resolverá el problema de remediación ambiental.

En la figura 5. se muestra la línea azul clara es una línea de pago donde los costos de cierre están asociados que en términos de detalles se puede observar distintas opciones que son las que se considera y con valores de porcentaje es un modificador para el cálculo de todo esto ese valor en rojo es el valor del dinero que se recibe, de la tasa que es 7,87 bono que se paga a 10 años puedo obtener el equivalente anual.

3.6. Estimación del Valor Presente Neto

El VPN es la diferencia entre los flujos de caja del proyecto y la inversión realizada. Representa el valor neto adicional generado por el proyecto por encima del costo de capital de los inversionistas.

La estimación se realiza aplicando la ecuación 7.

Ecuación 7. Valor Presente Neto

$$VPN = \frac{Utilidad\ Neta}{((1 + i) ^{(P-1)})}$$

Donde:

i= Tasa de interés

P= Periodo de inversión

Tabla 5. Tecnologías a considerar para el cierre y remediación ambiental

	Cierre y Remediación				Recuperacion y Provision
Provision de garantia ambiental	\$USD				10182510
Garantia Ambiental Actualizada					9794365,67
Aguas Acidas	\$USD	15120000	15120000	15120000	
Biorremediacion	\$USD	37800000	37800000	37800000	
Humedales Anaerobicos	\$USD	47250000	47250000	47250000	
Electroremediaicon	\$USD	113400000	113400000	113400000	
Subtotal de gastos operativos	\$USD	213570000	213570000	213570000	19976875,67
CAPEX					
Ingresos - Costos	\$USD	213570000	213570000	213570000	-19976875,67
Regalia	\$USD	0	0	0	0
Utilidad Neta	\$USD	213570000	213570000	213570000	-19976875,67
Utilidad imponible (-)	\$USD	213570000	213570000	213570000	-19976875,67
Impuesto					
Impuesto a la Renta	\$USD	53392500	53392500	53392500	-4994218,918
Despues de Impuestos (+)	\$USD	160177500	160177500	160177500	-14982656,75
Impuesto al valor agregado	\$USD	0	0	0	0
Utilidad neta	\$USD	160177500	160177500	160177500	-14982656,75
Flujo de caja	\$USD	160177500	160177500	160177500	-14982656,75
		61867755,1	56253641,6	51148974,04	10771843,36

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Simulación Montecarlo

El Software Risk Simulator es una herramienta que nos ayuda a simular diferentes tipos de riesgos presentes en una actividad económica, realizando pronósticos con miles de escenarios y los resultados nos permiten identificar las variables que influyen directamente en la rentabilidad económica y la evaluación del proyecto en inversión.

En este caso se analizará el Valor Actual Neto (VAN) y los costos de las tecnologías a implementar, en primer lugar, se definen las distribuciones para cada variable a considerar. A éstas se le asignará la distribución triangular, ya que permite graficar el valor mínimo, más probable y el valor máximo que poseen los riesgos que se analizan en el modelo.

Se realizó de acuerdo a las variables sensibles que fueron identificadas en el proyecto entre ellas está el costo de cada uno de los procesos, en función de cada uno de los procesos se modeló el proyecto en los cuales se identificó la variable más sensible es electroremediación seguido de humedales anaerobios.

La simulación de Montecarlo se desarrolló bajo tres tipos de escenarios, el primer escenario corresponde a la semilla 098 haciendo un juego de orden con la semilla.

Tabla 6. Escenarios que generan una sensibilidad de precio de tecnologías de remediación

Tecnologías de remediación	- 10%		+ 10 %
Aguas Acidas	72	80	88
Biorremediación	180	200	220
Humedales anaerobios	225	250	275
Electro remediación	540	600	660

Fuente: Elaboración Propia

3.8. Modelo de Markowitz

El proceso de Markowitz, se caracteriza por encontrar una cartera inversión óptima para que los inversores puedan determinar la rentabilidad y riesgo que representa un proyecto. Se precisa que esta selección de activos depende del capital que otorgue el portafolio.

La aplicación del modelo permite determinar la asignación de una cierta cantidad de dinero por parte de los inversionistas a los diferentes programas de mitigación analizados en el presente trabajo. Los valores presentes netos (VPN) determinados mediante las diferentes simulaciones, permiten establecer una comparación mediante una premisa establecida, aquella se sustenta en la consideración de la remediación ambiental; la comparación del método al hablar económicamente (más barato) esto es (aguas residuales) frente a la comparación del método

(más caro) electroremediación denota aspectos significativos al momento de analizar cuantitativamente un proyecto; en la tabla 7 se describe la estimación del portafolio de Markowitz, las columnas están conformadas por los diferentes métodos de remediación propuestos; Los valores presentes netos resultantes de la simulación de Montecarlo establecidos de acuerdo a un diverso tipo de semillas (variación de números), permiten elaborar la presente matriz.

Tabla 7. *Proceso Markowitz*

Promedio	Electroremediación	Aguas Acidas	Biorremediación	Humedales
	VPN	VPN	VPN	VPN

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 8 y 9 muestra la matriz Covarianza aplicada al modelo de Markowitz, la combinación de los (VPN) mediante los escenarios de estudio con sus posibles rendimientos, frente al rendimiento esperado. A continuación, se ejemplifica el proceso utilizado.

Tabla 8. *Matriz Covarianza asignación más barata*

	VPN Aguas Acidas	VPN Biorremediación	VPN Humedales
Aguas Acidas	PB	PC	PM
Biorremediación	PB	PC	PM
Humedales Anaerobios	PB	PC	PM
Varianza	Bx1	Bx2	Bx3
Retorno Esperado Portafolio	Rpx 1	Rpx 2	Rpx 3
Razón de Sharpe	x1	x2	x3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. *Matriz Covarianza asignación más cara*

	VPN Electroremediación	VPN Biorremediación	VPN Humedales
Electroremediación	PC	PB	PM
Biorremediación	PC	PB	PM
Humedales Anaerobios	PC	PB	PM
Varianza	Bx2	Bx1	Bx3
Retorno Esperado Portafolio	Rpx 2	Rpx 1	Rpx 3

x2

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV

En el presente capítulo se realizará la Simulación de Montecarlo, aquella permitirá determinar la fuente de incertidumbre del proyecto propuesto, para la industria tiene una importancia en la referencia de determinar que método es más adecuado para los procesos que son objetados en el costo económico que lo representa.

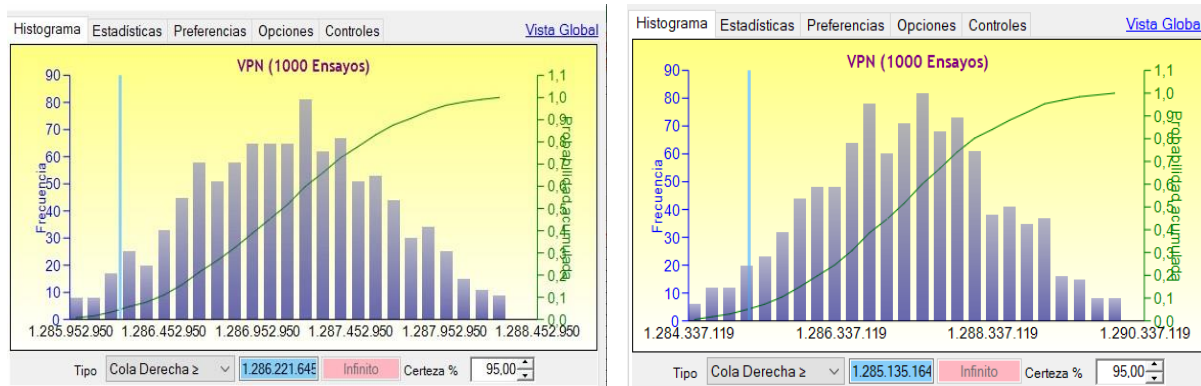
4.1. Análisis de la Simulación de Montecarlo frente a una variación económica de los procesos de remediación ambiental (aguas acidas, biorremediación, humedales anaerobios, electroremediación)

El porcentaje de simulación establecido, ($\pm 10\%$) permite determinar una posible variación, con la consideración de un máximo y mínimo de variación histórico, en función de otros proyectos similares, esta variación permite determinar diferencias significativas al momento de realizar una comparación.

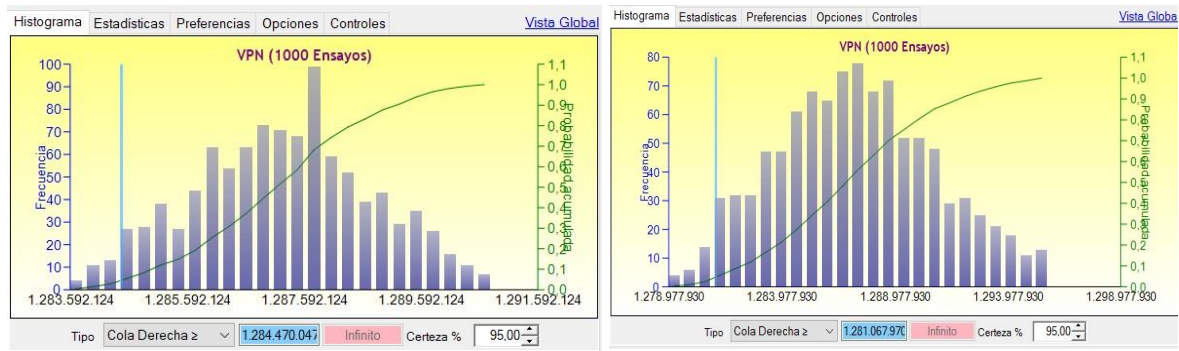
Las semillas asignadas son aleatorias, aquellas permiten tomar una decisión en función de la variación de estos, al realizar una variación con una semilla similar los resultados alcanzados son diferentes, si se emplea diferente semilla, la variación no es significativa, colocándose en puntos no atractivos de inversión.

En las figuras 6, se muestra los resultados obtenidos en la simulación de la semilla 098 frente a una variación económica de los procesos de remediación ambiental.

Figura 12. Simulación de Montecarlo frente a una variación económica de los procesos de remediación ambiental



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

En estas figuras, se observa que, en la variación de las simulaciones, el proceso que presenta un mayor riesgo es el de electroremediación, si se tratara con agua acidas el costo y riesgo sería menor.

La tabla 10, muestra el riesgo asociado a una semilla donde se puede observar que el proceso el mayor riesgo asociado al proceso

Tabla 10. Estimación de riesgo asociado

Proceso de Remediación		
Tecnologías	Semilla	Riesgo
Aguas Acidas	098	858.319,66
Biorremediación	098	1.952.401,29
Humadales Anaerobios	098	2.613.390,91
Electroremediación	098	5.848.467,71

4.2. Análisis del Portafolio de Markowitz frente a la comparación del método (más barato) con el del método (más caro).

El modelo de Markowitz nos permite construir el portafolio de inversión y definir qué porcentaje se va a invertir en los diferentes activos, que ofrezcan al inversor la mejor relación rentabilidad - riesgo.

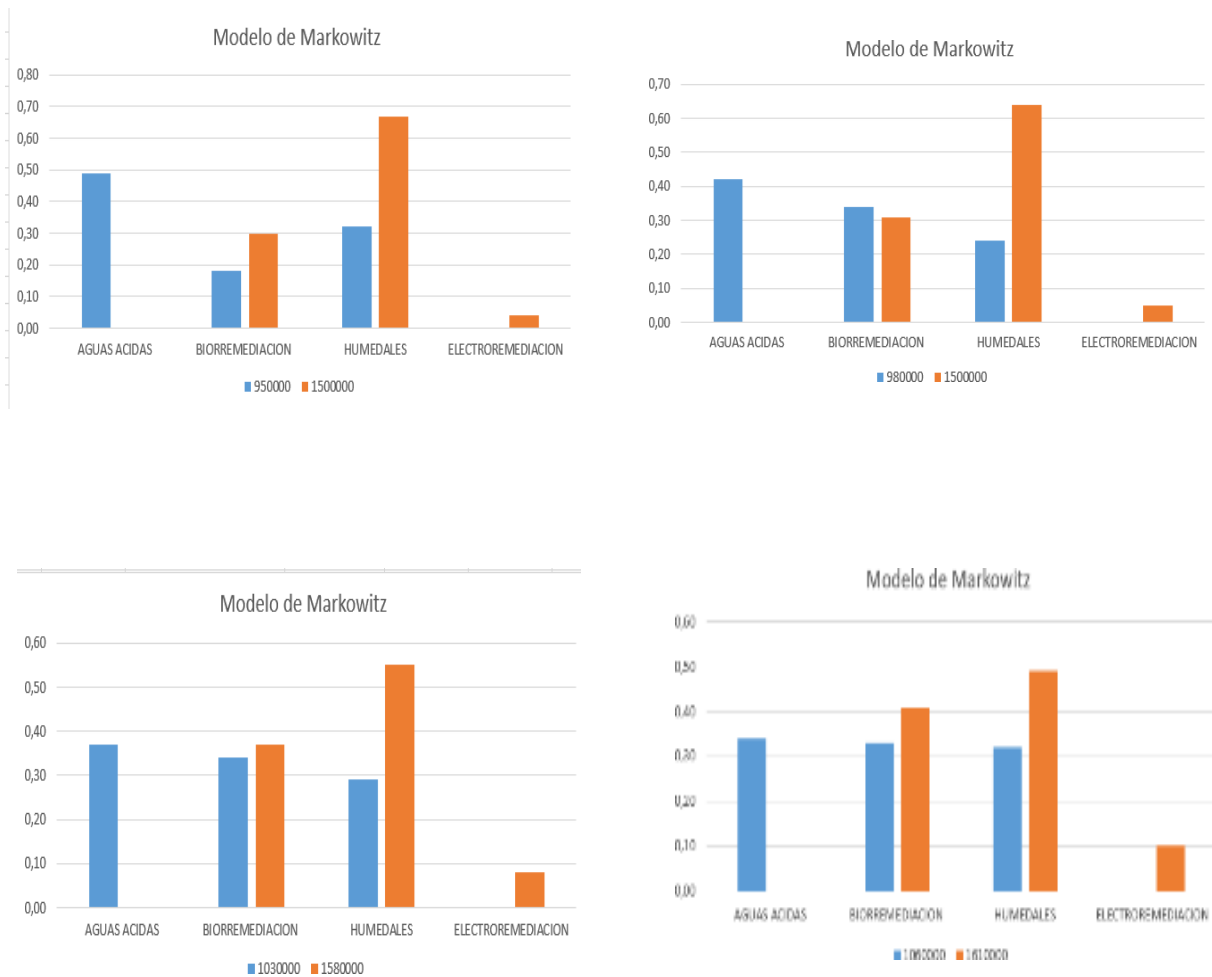
La composición de un portafolio optimo se puede encontrar bajo algunos criterios: el primero se basa en reducir el riesgo y el segundo es incrementando el desempeño.

Con este análisis se desea hallar la óptima combinación de activos que tengan el menor riesgo, o el mayor riesgo, para esto se hizo utilizo la herramienta Solver de Excel, cuando se programa la selección de la celda de desviación estándar la cual mide el riesgo del portafolio y Solver minimiza este valor modificando las celdas de participación de la inversión de los distintos activos que componen el portafolio. Es relevante mencionar que esta herramienta debe condicionarse a que la suma de los porcentajes de inversión de todos los activos sea igual al 100%.

En la figura 8, se muestra los resultados de la asignación del portafolio para una semilla 098 frente a la comparación del método (más barato) con el del método (más caro).

Finalmente, el modelo resultante está en función de los diferentes tipos de tratamiento de suelo Markowitz en base a un capital acorde a la capacidad del proyecto aurífero. Con este modelo se permite distribuir diferentes valores de capital (inversión), a través del cual se obtiene hasta que tipos de aporte es necesario para que aquel proceso sea adecuado invertir.

Figura 13. Portafolio de Markowitz con un incremento de precios.

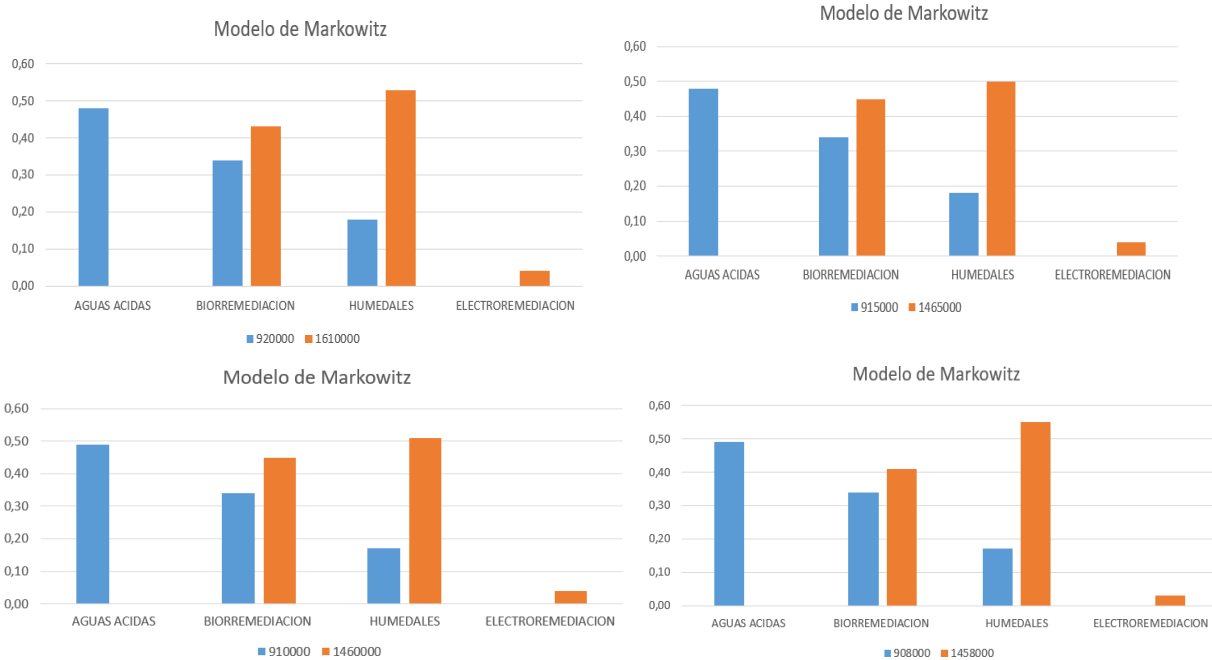


Fuente: Elaboración propia.

En el modelo de Markowitz se determina que, a una inversión de capital mayor, el mejor proceso de inversión resulta ser Humedales, aunque competitivamente en función de los resultados alcanzados es el proceso de Biorremediación.

En función de la revisión bibliografía, el proceso de biorremediación se utiliza más en suelos producto de contaminación aplicable para el caso de estudio propuesto.

Figura 14. Portafolio de Markowitz con una reducción de precios

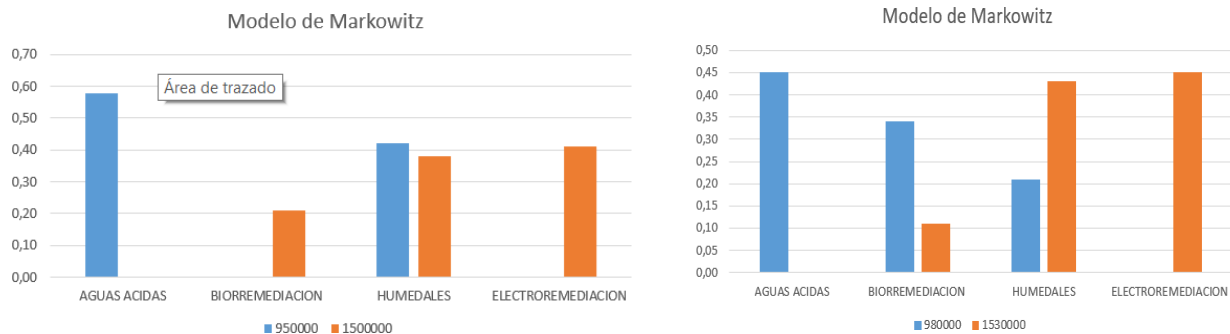


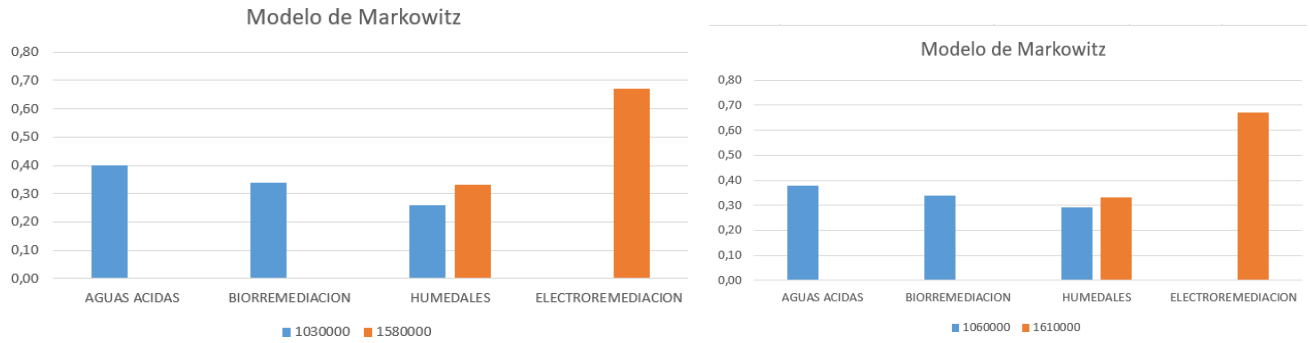
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las presentes figuras, se puede evidenciar que al momento de ejecutar una menor asignación de dinero casi la diferencia de la consideración es mínima, al realizar una incrementación de dinero, el método de remediación como aguas acidas y biorremediación tienen una mejor distribución.

En la figura 10, se muestra los resultados de la asignación del portafolio para una semilla 890 frente a la comparación del método (más barato) con el del método (más caro).

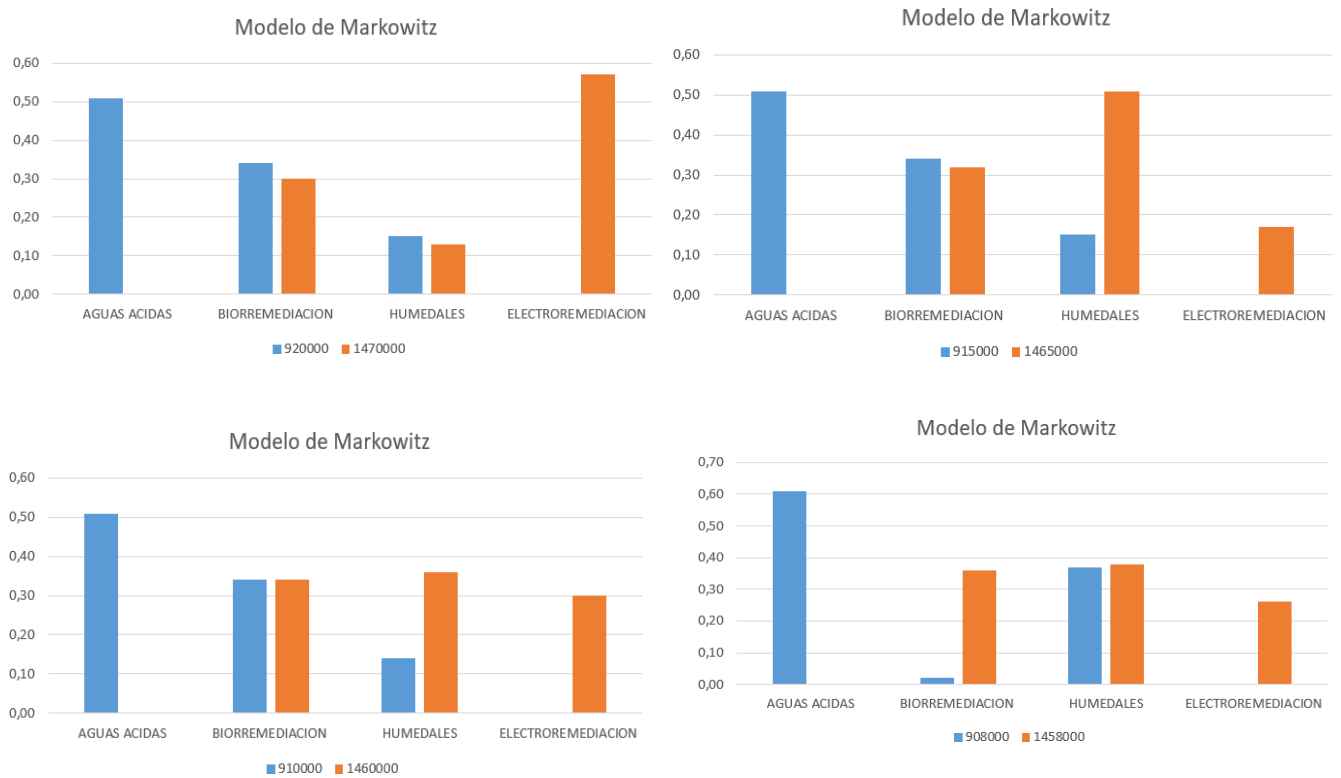
Figura 15. Portafolio de Markowitz con un incremento de precios.





Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Portafolio de Markowitz con una reducción de precios

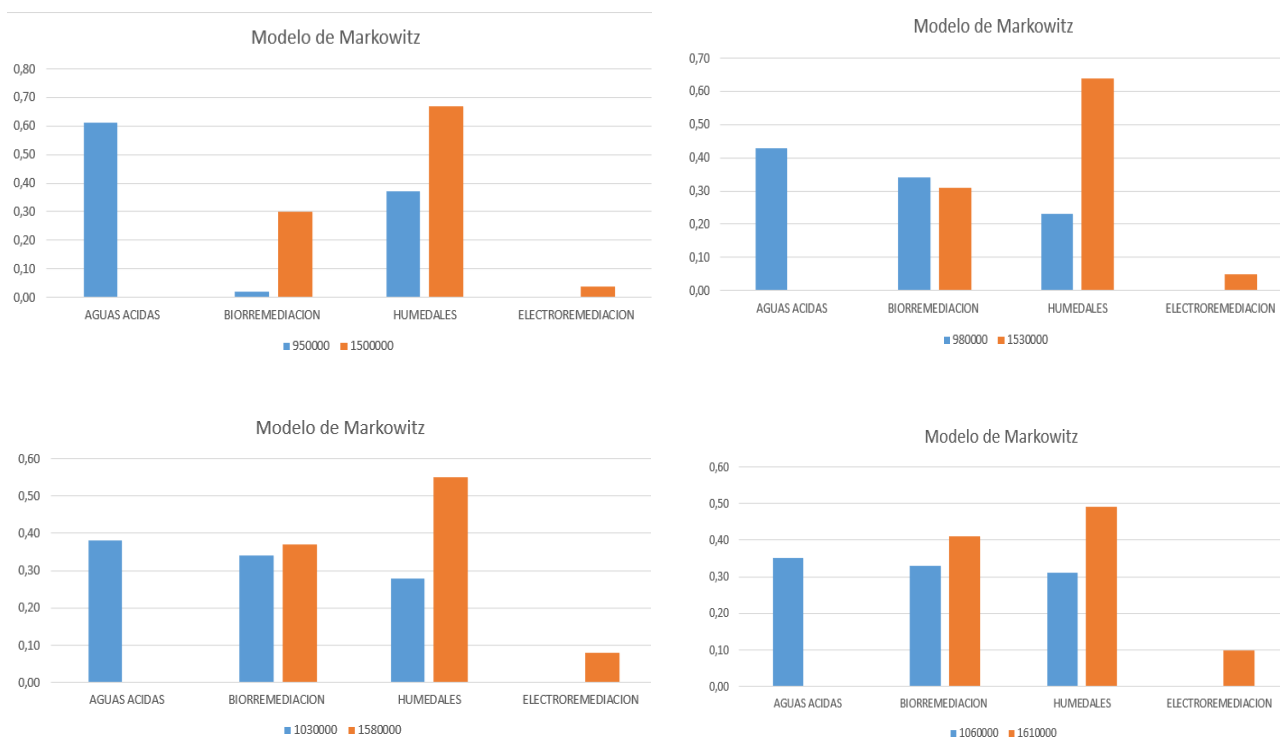


Fuente: Elaboración propia.

En base a las presentes figuras, se puede evidenciar que ejecutar una menor asignación de dinero casi la diferencia de la consideración es mínima, mientras que, al realizar una incrementación de dinero, el método de remediación con más costo tiene una mejor distribución.

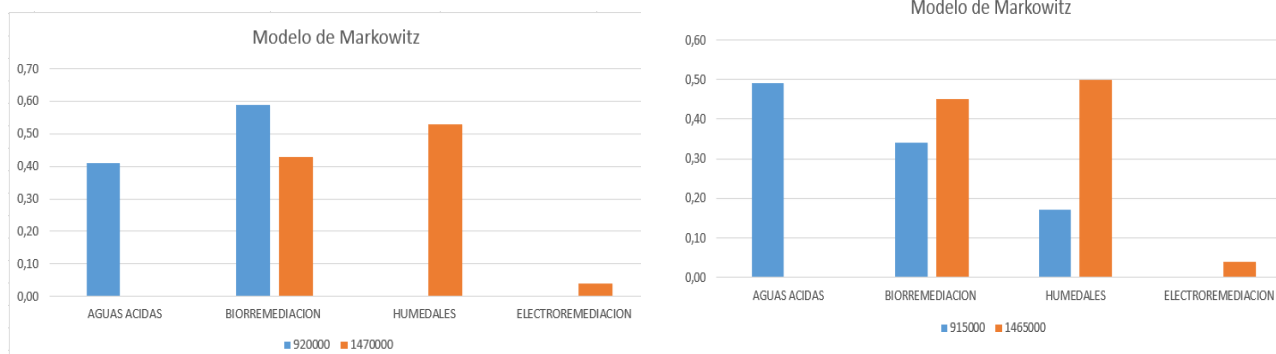
En la figura 12, se muestra los resultados de la asignación del portafolio para una semilla 980 frente a la comparación del método (más barato) con el del método (más caro).

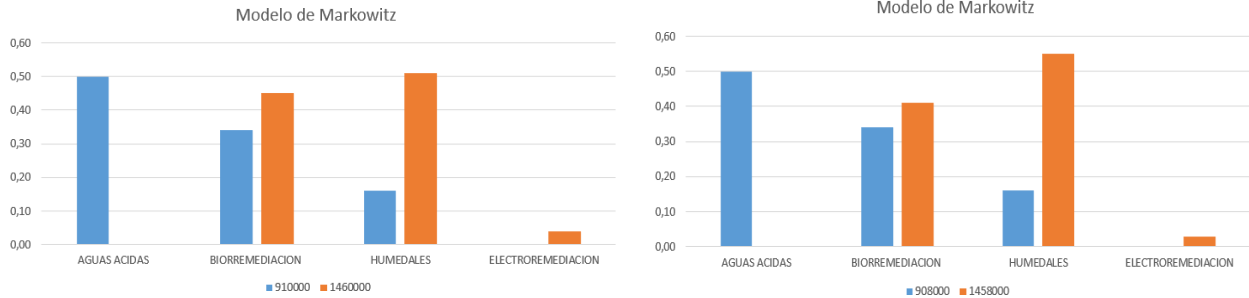
Figura 17. Portafolio de Markowitz con un incremento de precios.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Portafolio de Markowitz con una reducción de precios



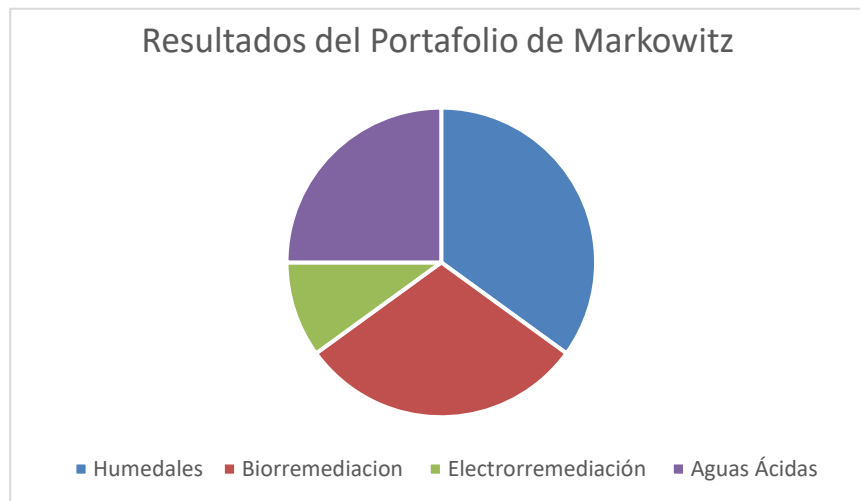


Fuente: Elaboración propia.

Con las figuras presentadas, se evidencia que ejecutar una menor asignación de dinero casi la diferencia de la consideración es mínima con respecto a humedales biorremediación y aguas acidas, mientras que, al realizar una incrementación de dinero, el método de remediación con más costo no tiene una buena distribución.

La presente gráfica describe el proceso adecuado para la remediación, tomando como resultado los procesos de simulación ejecutados.

Figura 19. Resultados alcanzados en el Portafolio de Markowitz.



Fuente: Elaboración propia.

La electroremediación un proceso eficaz, pero de acuerdo con el portafolio de Markowitz, este proceso no es rentable, estaría en función de costos de inversión, que al momento de simular no lo ponen competitivos.

CAPITULO V

4. Conclusiones

- El plan de producción del presente proyecto aurífero (Oro) es representativo, pero en función de la simulación Montecarlo, el tratamiento que presenta un menor riesgo es el de aguas acidas, siendo el más rentable para el proceso que se pretende realizar.
- El proyecto evaluado presenta un mayor riesgo de inversión al momento de trabajar con electroremediación, si bien es cierto esta tecnología es la más empleada para las remediaciones ambientales, su precio lo dificulta y lo vuelve más sensible al modelo.
- El estudio realizado permite determinar que el proyecto de recuperación está en función de la tasa nominal, a una mayor tasa mayor será el costo del proceso.
- En el proceso de simulación se pudo probar distintas combinaciones, permitiendo determinar la utilización de distintas tecnologías para medir el riesgo financiero.
- Determinado el método más favorable de inversión, los aspectos que se consideran son el plan de cierre se debe tener en cuenta la etapa de cierre y post-cierre.
- El portafolio de Markowitz, determina que en función de las diferentes inversiones propuestas, el tratamiento de Humedales, es el que mayor capital de retorno presenta.

Recomendaciones

- Para estudios futuros, se debe evaluar los métodos planteados, pero no solo cuantitativamente, sino cualitativamente, aquello permitirá determinar resultados con mayor precisión.
- Es recomendable considerar la legislación local, aquello permitirá saber que el método que se pretende emplear que condiciones de remediación debe realizar.

5. Bibliografía

- Aduvire, O. (2006). Drenaje Acido De Mina Generación Y Tratamiento. Obtenido de http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf
- Alfaro, G. (Agosto de 2007). VALORACION DE EMPRESAS VIA FLUJOS DE CAJA . Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134945/Valoraci%C3%B3n%20de%20Empresas%20v%C3%ADa%20Flujos%20de%20Caja.pdf?sequence=1>
- Aponte, W. (2020). Neutralización Y Coagulación Del Efluente Ácido De Mina Para La Precipitación De Metales Totales En La Compañía Minera Aurífera. Retrieved From Http://Repositorio.Uncp.Edu.Pe/Bitstream/Handle/20.500.12894/6382/T010_23276806_M-Comprimido.Pdf?Sequence=1
- Arancibia, S., & Donoso, M. (2015). Identificación De Factores Clave En La Cultura De Innovación. El Caso De La Mediana Minería En Chile. Scielo.
- Castillo Anyosa, B. (2015). Método De Explotación Subterránea: Sublevel Stopin. *Underground Mining Methods*, 69.
- Cinco, A. (2016). *INFORMACION PROYECTO*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/51073960/INFORMACION-PROYECTOdocx/>
- Concha, P. P. (2011). Tratamiento Contable De La Provisión Por Cierre De Minas. Obtenido De <Http://Revistas.Up.Edu.Pe/Index.Php/Business/Article/View/43/44>
- Choque, Y. (2020). Anteproyecto De Mejoramiento Y Ampliación De La Planta De Tratamiento De Agua De Drenaje Ácido De Mina Para La Unidad Minera Coimolache. Retrieved From <Http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Unsa/11191/IqcHgoy.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y>
- Cordova, Y. (2019). Evaluación Metalúrgica A Los Minerales Auríferos. Retrieved From Http://Repositorio.Undac.Edu.Pe/Bitstream/Undac/1598/1/T026_47323967_T.Pdf
- Darlin, P. (2011). *Sme Mining Engineering Handbook*. Usa: Sme. Deloitte. (2018). Tendencias En Minería. Obtenido de <https://Www2.Deloitte.Com/Content/Dam/Deloitte/Mx/Documents/Energy-Resources/2018/Tendencias-En-Mineria-2018.Pdf>
- Dueñas, F. (2020). Evaluación de parámetros hidrodinámicos en un reactor airlift piloto para su potencial aplicación en procesos de lixiviación de minerales oxidados de cobre. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15706/Duenas_mf.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eweis, J.B., S.J. Ergas, D.P. Chang Y E.D. Schroeder 1998. *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill International Editions. 296 Pp
- Flores, F. (2016). Optimización Del Proceso De Lixiviación De Minerales Auríferos De Baja Ley – Minera Aruntani Sac”. Retrieved From Http://Tesis.Unap.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Unap/4626/Flores_CaLli_Fred_Ruben.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y
- García, César; García, María Camila Y Agudelo, Carlos. (2014). Evaluación Y Diagnóstico De Pasivos Ambientales Mineros En La Cantera Villa Gloria, En La Localidad De Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. En: *Revista Tecnura* Vol. 18, N° 42. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Pp. 90– 102.
- Garzón, J., Rodríguez, J. P., & Gómez, C. (2017, Enero 24). Aporte De La Biorremediación Para Solucionar Problemas De Contaminación Y Su Relación Con El Desarrollo Sostenible.

- Retrieved From [Http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Reus/V19n2/0124-7107-Reus-19-02-00309.Pdf](http://Www.Scielo.Org.Co/Pdf/Reus/V19n2/0124-7107-Reus-19-02-00309.Pdf)
- González, R. (2015). Introducción del Factor Humano al Análisis de Riesgo. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/325427/TJRGD1de1.pdf>
- Hustrulid, W., & Bullock, R. (2001). *Underground Mining Methods*. Usa: Sme.
- Julca, D. (2020, 01 26). El Cierre De Minas: Un Reto De La Minería Moderna. Retrieved From [Https://Tesis.Pucp.Edu.Pe/Repositorio/Bitstream/Handle/20.500.12404/17950/Julca_Zuloeta_Dolfer_Cierre_De_Minas.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://Tesis.Pucp.Edu.Pe/Repositorio/Bitstream/Handle/20.500.12404/17950/Julca_Zuloeta_Dolfer_Cierre_De_Minas.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)
- Klippel, A. F., Petter, C. O., & Antunes J. A. V. (2008). Management Innovation, A Way For Mining Companies To Survive In A Globalized World. *Utilities Policy*, 16 (4), 332-333. Doi:10.1016/J.Jup.2007.09.001.
- Mete, M. (2014). Valor Actual Neto Y Tasa De Retorno: Su Utilidad Como Herramientas Para El Análisis Y Evaluación De Proyectos De Inversión. Scielo.
- Miguel, F. (2020). Cálculo De La Tasa De Producción Óptima En Minería A Cielo Abierto. Retrieved From [Http://Repositorio.Udec.Cl/Bitstream/11594/4604/1/Tesis%20Calculo%20de%20la%20tasa%20de%20produccion.Image.Marked.Pdf](http://Repositorio.Udec.Cl/Bitstream/11594/4604/1/Tesis%20Calculo%20de%20la%20tasa%20de%20produccion.Image.Marked.Pdf)
- Milena, L. (15 de Agosto de 2018). VARIABLES INFLUYENTES EN EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES CONTENIDOS EN LODOS GALVÁNICOS. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7739/1/6122928-2018-1-IQ.pdf>
- Montero, J., & Restrepo, J. (Diciembre De 2017). Cierre Sostenible De Canteras De Materiales Para La Construcción En Cuba. Obtenido De [Https://Www.Researchgate.Net/Publication/332350978_La_Planificacion_Del_Cierre_De_Minas_Como_Parte_De_La_Sustentabilidad_En_La_Mineria](https://Www.Researchgate.Net/Publication/332350978_La_Planificacion_Del_Cierre_De_Minas_Como_Parte_De_La_Sustentabilidad_En_La_Mineria)
- Muruaga, S. I. (2016). Selección De Métodos De Explotación Para Vetas Angostas. (Tesis De Ingeniero Civil De Minas). Universidad De Chile, Santiago De Chile.
- Oyarzun, J. (2008). Planes De Cierre Mineros. Retrieved From [Https://Www.Ucm.Es/Data/Cont/Media/Www/Pag-15564/Cierres%20mineros%20-%20jorge%20oyarzun%20Ban.Pdf](https://Www.Ucm.Es/Data/Cont/Media/Www/Pag-15564/Cierres%20mineros%20-%20jorge%20oyarzun%20Ban.Pdf)
- Perez, D., Teutli, M., & Ramirez, M. (2006, Octubre). Electrorremediación De Suelos Contaminados, Una Revisión Técnica Para Su Aplicación En Campo. Retrieved From [Http://Www.Scielo.Org.Mx/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0188-49992007000300003](http://Www.Scielo.Org.Mx/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S0188-49992007000300003)
- Peña, Á., & Mateluna, C. (2017). Identificación De Costos Ambientales De Cierre De Faenas Mineras En Chile. *Revista Latinoamericana De Investigación En Organizaciones, Ambiente Y Sociedad.*, 133-139.
- Poblete, R. (2019, Mayo). Lixiviación Cianurada De Mineral De Oro En Columnas A Nivel De Planta Piloto. Retrieved From [Https://Repositorio.Usm.Cl/Bitstream/Handle/11673/47948/3560902038864utfsm.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://Repositorio.Usm.Cl/Bitstream/Handle/11673/47948/3560902038864utfsm.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)
- Puga, J. (Febrero de 2012). Tratamiento de aguas en la industria minero-metalúrgica. Obtenido de trattamento-aguas-industria-minero-metalurgica/trattamento-aguas-industria-minero-metalurgica
- Ramirez, E. (Agosto De 2018). Ennomotive. Obtenido De [Https://Www.Ennomotive.Com/Es/Innovacion-Tecnologica-En-Mineria/](https://Www.Ennomotive.Com/Es/Innovacion-Tecnologica-En-Mineria/)
- Ramirez, A. (2016). Estudio De Implementación De Una Planta De Cianuración De Oro.

- Retrieved From [Http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Unsa/3369/Imr_Amoa.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Unsa/3369/Imr_Amoa.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)
- Rojas, E. (2021). Evaluación Del Cierre De Mina Progresivo De Minera Aurífera Retamas S.A., Para Mitigar Los Impactos Ambientales Retrieved From [Http://Repositorio.Undac.Edu.Pe/Bitstream/Undac/2385/1/T026_40512224_T.Pdf](http://Repositorio.Undac.Edu.Pe/Bitstream/Undac/2385/1/T026_40512224_T.Pdf)
- Salazar, E., & Alzate, W. (2018, 12 22). Aplicación De La Simulación Monte Carlo En La Proyección Del Estado De Resultados. Un Estudio De Caso. Retrieved From [Http://Www.Revistaespacios.Com/A18v39n51/A18v39n51p11.Pdf](http://Www.Revistaespacios.Com/A18v39n51/A18v39n51p11.Pdf)
- Sarolina. (10 de Marzo de 2011). Biorremediacion. Obtenido de <http://princesa-sari-sarolina.blogspot.com/2011/03/costos-de-la-biorremediacion-vs-otras.html>
- Silva, A. (19 de Noviembre de 2019). SO DE LA BIORREMEDIACIÓN EN LA MINERÍA DE CARBÓN. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/34942/SilvaBarreraAlejandraMaria2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tiempominero. (2019). Tiempo Minero. Obtenido De [Https://Camiper.Com/Tiempominero/Estas-Son-Las-10-Principales-Tendencias-De-Mineria-Digital/](https://Camiper.Com/Tiempominero/Estas-Son-Las-10-Principales-Tendencias-De-Mineria-Digital/)
- Van Deuren, J., Z. Wang, Z. Y J. Ledbetter 1997. Remediation Technologies Screening Matrix And Reference Guide. 3^a Ed. Technology Innovation Office, Epa. [Http://Www.Epa.Gov/Tio/Remed.Htm](http://Www.Epa.Gov/Tio/Remed.Htm).
- Virkutyte J., Sillanpää M. Y Latostenmaa P. (2002). Electrokinetic Soil Remediation - Critical Overview. The Sci. Tot. Environ. 289, 97-121.
- Yeung, A.T. (1990). Coupled Flow Equations For Water Electricity And Ionic Contaminants Through Clayey Under Hydraulic, Electrical And Chemical Gradients. J. Non-Equilibrium Thermod. 15, 247-267.
- Yupari, Anida (2000). Pasivos Ambientales Mineros En Suramérica: Informe Elaborado Para La Cepal, El Servicio Nacional De Geología Y Minería, Sernageomin Y El Instituto Federal De Geociencias Y Recursos Naturales, Bgr. Disponible En Internet: [Http://Bibliotecavirtual.Minam.Gob.Pe/Biam/Bitstream/Handle/Minam/1685/Biv01456.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](http://Bibliotecavirtual.Minam.Gob.Pe/Biam/Bitstream/Handle/Minam/1685/Biv01456.Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y). Consultado 15.07.15.
- Zubeldia, A. (2002). El Modelo De Markowitz En La Gestión De Carteras. Retrieved From [Https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/6565186.Pdf](https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/6565186.Pdf)

6. Anexo

Las siguiente tabla corresponde a lo que es el plan de producción mensual.

PLAN DE PRODUCCION		Año 1												Año 2												
		Mes												Mes												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Ley Promedio Oro [g/t]		8,74	8,73	8,72	8,71	8,7	8,69	8,68	8,67	8,66	8,65	8,64	8,63	8,62	8,61	8,6	8,59	8,58	8,57	8,56	8,55	8,54	8,53	8,52	8,51	
Ley Soluble Oro [g/t]		8,64	8,63	8,62	8,61	8,60	8,59	8,58	8,57	8,56	8,55	8,54	8,53	8,52	8,51	8,50	8,49	8,48	8,47	8,46	8,45	8,44	8,43	8,42	8,41	
Producción [ton]		105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000		
Relave-residuo? [15%] [ton]		15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750		
Movimiento total [ton]		120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750		
Producción diaria [ton/día]		3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500		
Esteril? [15%] [ton/día]		525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525		
Movimiento total [ton/día]		4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025		
PROCESO DE PLANTA																										
PROCESO 1	Chancador Primario (TPM)		105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000		
	Chancador Secundario (TPM)	Perdida despreciables	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000		
PROCESO 2	Cianuración (gr)	Recuperación (80.6%)	731.203	730.357	729.511	728.664	727.818	726.972	726.125	725.279	724.433	723.587	722.740	721.894	721.048	720.201	719.355	718.509	717.662	716.816	715.970	715.124	714.277	713.431	712.585	711.738
PROCESO 3	Lixiviación con carbono (gr)	Recuperación (80.9%)	591.543	590.859	590.174	589.489	588.805	588.120	587.435	586.751	586.066	585.381	584.697	584.012	583.328	582.643	581.958	581.274	580.589	579.904	579.220	578.535	577.850	577.166	576.481	575.796
PROCESO 4	Flotación iónica (gr)	Recuperación (84%)	496.896	496.321	495.746	495.171	494.596	494.021	493.446	492.871	492.296	491.720	491.145	490.570	489.995	489.420	488.845	488.270	487.695	487.120	486.544	485.969	485.394	484.819	484.244	483.669
Ingreso	Oro Metálico Resultante (gr)		496.896	496.321	495.746	495.171	494.596	494.021	493.446	492.871	492.296	491.720	491.145	490.570	489.995	489.420	488.845	488.270	487.695	487.120	486.544	485.969	485.394	484.819	484.244	483.669
	Oro Metálico Resultante (oz)		15.976	15.957	15.939	15.920	15.902	15.883	15.865	15.846	15.828	15.809	15.791	15.772	15.754	15.735	15.717	15.698	15.680	15.661	15.643	15.624	15.606	15.587	15.569	15.550
	Precio del Oro en el mercado (US\$/oz)		1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	
	Valor (US\$)		30.417.483	30.382.277	30.347.072	30.311.866	30.276.661	30.241.455	30.206.250	30.171.045	30.135.839	30.100.634	30.065.428	30.030.223	29.995.018	29.959.812	29.924.607	29.889.401	29.854.196	29.818.990	29.783.785	29.748.580	29.713.374	29.678.169	29.642.963	29.607.758

Año 3												Año 4											
Mes												Mes											
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
8,5	8,49	8,48	8,47	8,46	8,45	8,44	8,43	8,42	8,41	8,4	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35	8,34	8,33	8,32	8,31	8,30	8,29	8,28	8,27
105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750
120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750
3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525
4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025

105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
710.892	710.046	709.199	708.353	707.507	706.661	705.814	704.968	704.122	703.275	702.429	701.583	700.736	699.890	699.044	698.198	697.351	696.505	695.659	694.812	693.966	693.120	692.273	691.427
575.112	574.427	573.742	573.058	572.373	571.688	571.004	570.319	569.634	568.950	568.265	567.580	566.896	566.211	565.526	564.842	564.157	563.472	562.788	562.103	561.418	560.734	560.049	559.365
483.094	482.519	481.944	481.368	480.793	480.218	479.643	479.068	478.493	477.918	477.343	476.768	476.192	475.617	475.042	474.467	473.892	473.317	472.742	472.167	471.592	471.016	470.441	469.866
483.094	482.519	481.944	481.368	480.793	480.218	479.643	479.068	478.493	477.918	477.343	476.768	476.192	475.617	475.042	474.467	473.892	473.317	472.742	472.167	471.592	471.016	470.441	469.866
15.532	15.513	15.495	15.476	15.458	15.439	15.421	15.402	15.384	15.365	15.347	15.328	15.310	15.291	15.273	15.254	15.236	15.217	15.199	15.180	15.162	15.144	15.125	15.107
1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904
29.572.553	29.537.347	29.502.142	29.466.936	29.431.731	29.396.525	29.361.320	29.326.115	29.290.909	29.255.704	29.220.498	29.185.293	29.150.087	29.114.882	29.079.677	29.044.471	29.009.266	28.974.060	28.938.855	28.903.650	28.868.444	28.833.239	28.798.033	28.762.828

Año 5												Año 6											
Mes												Mes											
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
8,26	8,25	8,24	8,23	8,22	8,21	8,2	8,19	8,18	8,17	8,16	8,15	8,14	8,13	8,12	8,11	8,1	8,09	8,08	8,07	8,06	8,05	8,04	8,03
105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750	15.750
120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750	120.750
3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525
4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025	4.025

105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000	105.000
690.581	689.735	688.888	688.042	687.196	686.349	685.503	684.657	683.810	682.964	682.118	681.272	680.425	679.579	678.733	677.886	677.040	676.194	675.347	674.501	673.655	672.809	671.962	671.116
558.680	557.995	557.311	556.626	555.941	555.257	554.572	553.887	553.203	552.518	551.833	551.149	550.464	549.779	549.095	548.410	547.725	547.041	546.356	545.671	544.987	544.302	543.617	542.933
469.291	468.716	468.141	467.566	466.991	466.416	465.840	465.265	464.690	464.115	463.540	462.965	462.390	461.815	461.240	460.664	460.089	459.514	458.939	458.364	457.789	457.214	456.639	456.064
469.291	468.716	468.141	467.566	466.991	466.416	465.840	465.265	464.690	464.115	463.540	462.965	462.390	461.815	461.240	460.664	460.089	459.514	458.939	458.364	457.789	457.214	456.639	456.064
15.088	15.070	15.051	15.033	15.014	14.996	14.977	14.959	14.940	14.922	14.903	14.885	14.866	14.848	14.829	14.811	14.792	14.774	14.755	14.737	14.718	14.700	14.681	14.663
1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904
28.727.622	28.692.417	28.657.212	28.622.006	28.586.801	28.551.595	28.516.390	28.481.185	28.445.979	28.410.774	28.375.568	28.340.363	28.305.157	28.269.952	28.234.747	28.199.541	28.164.336	28.129.130	28.093.925	28.058.719	28.023.514	27.988.309	27.953.103	27.917.898

