



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“DISEÑO DE PLANIFICACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO DE UN
YACIMIENTO AURÍFERO CONSIDERANDO LA INCERTIDUMBRE
GEOLÓGICA”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

ALLAN GUILLERMO ORDEÑANA ROCAFUERTE

GUAYAQUIL – ECUADOR
2017

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres quienes nunca han dejado de apoyarme, a los amigos que me dieron la mano en épocas tristes, y en especial a mi abuelo Guillermo Rocafuerte, el más grande.

Allan Guillermo Ordeñana Rocafuerte

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos son para Solange Muñiz, Darío Granda, Omar Tinoco, Karla Tituana, Virginia Velarde, Gary Vincés, Daniel Mariño, Christian Pineda, Esmilka López, J. C. Pindo, E. Recalde, quienes aportaron de una u otra forma para este logro, y les guardo aprecio.

Allan Guillermo Ordeñana Rocafuerte

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

PhD. Eduardo Luis Recalde Chiluiza
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

Ing. Juan Carlos Pindo Macas
MIEMBRO EVALUADOR

PhD. Paúl César Carrión Mero
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

Allan Guillermo Ordeñana Rocafuerte

RESUMEN

El yacimiento de estudio, es un diseminado aurífero que ha sido explotado de forma subterránea, por lo que, se ha mermado la posibilidad de una mayor extracción de sus reservas minerales. También, esta explotación subterránea ha afectado la estabilidad del macizo rocoso, generando accidentes y una condición de riesgo latente. Se tienen datos de muestras geoquímicas del yacimiento que se han tomado de forma espacialmente irregular, lo que dificulta la interpretación geológica del depósito mineral. La hipótesis es que el yacimiento debe ser explotado a cielo abierto. La metodología utilizada consiste en discretizar el yacimiento en un modelo de bloques y estimar las leyes de los bloques por Kriging. Luego se escoge y diseña el método de explotación. Después se planifica el programa de producción y calcula el VAN del proyecto. Se modela la incertidumbre geológica a través de 20 simulaciones estocásticas de las leyes, sintetizadas en un modelo de bloques, para luego realizar la planificación minera estocástica, es decir calcular el pit final óptimo, su programa de producción y el VAN del proyecto bajo incertidumbre. Los principales resultados son que el VAN determinado por un método determinístico tiene una probabilidad de cumplimiento menor a 0.046%. El VAN esperado considerando la incertidumbre es de 1063 (M\$),

es decir que es 8.74% mayor al VAN esperado por un método determinístico y tiene un 80% de probabilidad de ser alcanzado. La optimización estocástica es una metodología relativamente reciente que ha demostrado obtener resultados satisfactorios, maximizando el valor de los proyectos y minimizando el riesgo.

PALABRAS CLAVE: Planificación minera estocástica – Minería a cielo abierto – Programa de producción – Incertidumbre geológica

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN	v
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Alcance.....	4
1.5. Objetivo general	4
1.6. Objetivos específicos.....	4
1.7. Justificación	5
CAPÍTULO 2.....	6
MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA.....	6
2.1. Estado del arte	7
2.1.1. Planificación minera	7
2.1.2. Minería a cielo abierto y pit final	9

2.1.3.	Planificación minera bajo incertidumbre	10
2.1.4.	Optimización estocástica para la planificación del open pit.....	12
2.2.	Metodología y estructura de la investigación	13
CAPÍTULO 3.....		16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		16
3.1.	Recopilación de la base de datos	17
3.2.	Estudio exploratorio de muestras	18
3.3.	Análisis variográfico de las muestras.....	19
3.4.	Ajuste del variograma experimental	20
3.5.	Discretización del depósito mineral	21
3.6.	Krigeado de los bloques	22
3.7.	Valorización de los bloques	24
3.8.	Selección del método de explotación	25
3.9.	Parámetros de explotación	26
3.9.1.	Altura de bancos.....	27
3.9.2.	Ancho de bermas	27
3.9.3.	Ancho de la vía.....	28
3.9.4.	Ancho de la plataforma de trabajo.....	28
3.9.5.	Ángulo de talud de los bancos y de talud final	29
3.10.	Pit final y Rentabilidad del Proyecto	30
3.11.	Modelamiento de la incertidumbre geológica	32
3.12.	Valores del VAN de las simulaciones	35
3.13.	Optimización estocástica	37
3.13.1.	Pit final bajo incertidumbre geológica	37

CAPÍTULO 4.....	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
4.1. Conclusiones.....	42
4.2. Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Imagen satelital del área de estudio	3
Figura 2.1: Esquema de la metodología tradicional del diseño y planificación minera.....	10
Figura 2.2: Relación entre el VAN obtenido por un método determinístico, y el VAN considerando la incertidumbre y su confiabilidad de obtención.	12
Figura 3.1: Topografía y Sondeos utilizados.....	17
Figura 3.2: Histograma de frecuencia de las leyes de Au.....	19
Figura 3.3: Variogramas de ajuste en cada dirección.....	21
Figura 3.4: Modelo de Bloques del depósito mineral.....	22
Figura 3.5: Modelo de bloques Krigeados.....	23
Figura 3.6: Perfiles horizontales del modelo de bloques Krigeados.....	24
Figura 3.7: Parámetros de banco.....	30
Figura 3.8: Modelo de bloques con pit final y perfiles.....	31
Figura 3.9: VAN acumulado del proyecto.....	32
Figura 3.10: Modelos de bloques simulados.....	34
Figura 3.11: Diagrama de los VAN de los modelos estocásticos y Kriging.....	36

Figura 3.12: Histograma de los VAN de los modelos estocásticos y distribución de probabilidad.	36
Figura 3.13: Diagrama del VAN optimizado estocásticamente.	38
Figura 3.14: Modelo del pit final en la superficie topográfica.	39
Figura 3.15: Fases de la mina.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Valores de los estadísticos de las leyes.	18
Tabla II: Parámetros utilizados para el cálculo de los variogramas.	20
Tabla III: Características del variograma del yacimiento.	21
Tabla IV: Características del modelo de bloques.	22
Tabla V: Parámetros técnico-económicos utilizados.	25
Tabla VI: Datos generales del yacimiento para la valoración por método de Nicholas.	26
Tabla VII: Resultados obtenidos por método de Nicholas.	26
Tabla VIII: Parámetros de Explotación.	30
Tabla IX: Programa de Producción de la mina.	32
Tabla X: Programa de producción considerando la incertidumbre geológica	39
Tabla XI: Programa de producción de la Simulación 1.	50
Tabla XII: Programa de producción de la Simulación 2.	51
Tabla XIII: Programa de producción de la Simulación 3.	52
Tabla XIV: Programa de producción de la Simulación 4.	53
Tabla XV: Programa de producción de la Simulación 5.	54
Tabla XVI: Programa de producción de la Simulación 6.	55
Tabla XVII: Programa de producción de la Simulación 7.	56

Tabla XVIII: Programa de producción de la Simulación 8.	57
Tabla XIX: Programa de producción de la Simulación 9.	58
Tabla XX: Programa de producción de la Simulación 10.	59
Tabla XXI: Programa de producción de la Simulación 11.	60
Tabla XXII: Programa de producción de la Simulación 12.	61
Tabla XXIII: Programa de producción de la Simulación 13.	62
Tabla XXIV: Programa de producción de la Simulación 14.	63
Tabla XXV: Programa de producción de la Simulación 15.	64
Tabla XXVI: Programa de producción de la Simulación 16.	65
Tabla XXVII: Programa de producción de la Simulación 17.	66
Tabla XXVIII: Programa de producción de la Simulación 18.	67
Tabla XXIX: Programa de producción de la Simulación 19.	68
Tabla XXX: Programa de producción de la Simulación 20.	69

ABREVIATURAS

VAN	Valor Actual Neto
VPN	Valor Presente Neto
Etc.	Etcétera
BDS	Block Direct Scheduling
Dip	Buzamiento
Az	Azimut

SIMBOLOGÍA

m	Metros
Au	Oro
M\$	Millones de dólares
Mt	Millones de toneladas
%	Porcentaje
m ³	Metros cúbicos
°	Grados
Km	Kilómetros
g/t	Gramos por tonelada
Kt	Kilotonelada
\$/g	Dólares por gramo
\$/t	Dólares por tonelada
Kg	Kilogramo

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El yacimiento de estudio es un antiguo distrito minero, ubicado al sur de Ecuador. Existen datos de que las primeras explotaciones en esta zona, se realizaron por parte los pueblos Incas, que posteriormente, fueron desplazados por los conquistadores españoles, aproximadamente en el año de 1550.

En 1700, las actividades se detuvieron debido a un levantamiento de los esclavos Shuar, dejando inactiva el área minera hasta su redescubrimiento en 1980, gracias a un deslizamiento en el área, reanudándose así las actividades de explotación. Fue en esta década que alcanzó sus mayores producciones, y a mediados de 1985, cuando su población ascendió a más de 25.000 habitantes. Para el año de 1993, la población se redujo considerablemente, contabilizándose unos 2.200 mineros artesanales, aproximadamente.



Figura 1.1: Imagen satelital del área de estudio

1.2. Descripción del problema

El yacimiento de estudio, es un diseminado aurífero que ha sido explotado de forma subterránea, por lo que, se ha mermado la posibilidad de una mayor extracción de sus reservas minerales. También, esta explotación subterránea ha afectado la estabilidad del macizo rocoso, generando accidentes y una condición de riesgo latente.

Se tienen datos de muestras geoquímicas del yacimiento que se han tomado de forma irregular espacialmente, lo que dificulta la interpretación geológica del depósito mineral.

1.3. Hipótesis

Ya que el yacimiento es un diseminado aurífero de tipo skarn, con una distribución errática, es viable realizar su explotación por el método de Open Pit, haciendo un análisis económico de las reservas que aún quedan. Además, este método solucionaría los problemas de estabilidad geotécnica de la zona.

1.4. Alcance

El alcance de este estudio es el diseño del método de explotación a cielo abierto de un yacimiento aurífero basado en:

- Utilizar el criterio de Nicholas para escoger el método de explotación.
- Estimar el VAN y el programa de producción considerando un requerimiento de mineral de 4 (Mt) por periodo. Sin restringir la producción de estéril.
- Generar las simulaciones estocásticas de forma empírica.

1.5. Objetivo general

Plantear el diseño de explotación de un yacimiento aurífero, por el método a cielo abierto, considerando la incertidumbre geológica.

1.6. Objetivos específicos

- Discretizar el depósito mineral en un modelo de bloques
- Diseñar el método de explotación
- Estimar las reservas con un método determinístico.
- Establecer el programa de producción y estimar el VAN del proyecto
- Modelar la incertidumbre geológica

- Estimar el VAN del proyecto considerando la incertidumbre geológica

1.7. Justificación

La importancia de este estudio radica principalmente en la inclusión de la incertidumbre geológica en el diseño y planificación minera. Ya que es una reciente metodología que debe implementarse como estándar. Además, se soluciona el problema de estabilidad del yacimiento, y se obtienen beneficios económicos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

2.1. Estado del arte

2.1.1. Planificación minera

Planificación Minera es aquella actividad de la Ingeniería de Minas que define el proceso mediante el cual se transforma el recurso mineral en el mejor negocio productivo para el accionista [1]. La planificación minera contempla e interacciona todos los parámetros involucrados en el negocio minero, es decir, parámetros geológicos, operativos, mercantiles, etc. buscando maximizar el valor del proyecto. Con este objetivo, el plan minero genera una promesa de valor, la cual debe cumplirse para lograr maximizar los beneficios de la empresa, y más importante, para la realización del proyecto mismo, programando las actividades a realizar en determinados periodos y los recursos necesarios para la labor, pensando en una planificación de la vida operativa de la mina [2].

Las clases de planificación que en una empresa deberán llevarse a cabo en función de las áreas en que se tendrán que tomar las decisiones, son:

La Planificación Operativa: Es la que actúa sobre los factores de suministro, conversión, producción y comercialización para lograr los productos requeridos en el tiempo, lugar y precio, así como para su

promoción y distribución. Suele dividirse, consecuentemente, en función del tiempo (corto, medio y largo plazo), en función del espacio (áreas, niveles, secciones, zonas geográficas, etc.) o por el valor comercial (calidad, densidad económica de los productos, primarios, secundarios, etc.).

La Planificación Administrativa: Es la que relaciona las entradas (inputs) de la empresa, los famosos "M" americanos (men, materials, machines, money, management), estudiando sus necesidades y sus distribuciones relativas para lograr el óptimo producto y el equilibrio y armonía entre ellas, preparando los programas correspondientes de formación de personal, abastecimiento o disponibilidad de materias primas, selección y mantenimiento de procesos y maquinaria, financiación, resultados, tesorería, selección y captación de personal directivo, investigación tecnológica y de mercado.

La Planificación Estratégica: Corresponde a la alta dirección, y actúa fundamentalmente sobre las salidas (outputs) de la empresa, esto es sobre aquellas decisiones previas que determinan la naturaleza misma y la dirección del negocio. Es decir, debe considerar no solo los grandes objetivos que definen la propia empresa, sino también los planes, la captación de los recursos y los medios para lograrlos. [6] Las principales funciones de este tipo de planificación son el reconocimiento y/o adquisición constante del

recurso mineral, la definición de los métodos y ritmos de explotación, de la secuencia de producción, y de las leyes de corte.

2.1.2. Minería a cielo abierto y pit final

La minería a cielo abierto consiste en la extracción de minerales comercialmente valiosos de un yacimiento mineral excavando desde la superficie, en lugar de los túneles subterráneos. [3] La metodología tradicional y determinística para la planificación/diseño de minas a cielo abierto se basa en la discretización del yacimiento por medio de matrices tridimensionales llamadas bloques. Estos bloques tienen características de volumen, tonelaje, ley, etc. En un marco técnico-económico cada bloque puede ser categorizado como estéril o mineral, según su contenido de mineral de interés, y los costes que signifiquen su extracción y potencial procesamiento.

Fijando una ley corte, para calcular la envolvente económica, se emplean softwares que utilizan algoritmos de optimización, (en su mayoría el de Lerch Grossman) que generan sets de pits anidados, donde el pit final es aquel con el mayor revenue factor. Posteriormente se establecen un subconjunto de pits anidados como pushbacks, o fases que generarán el mayor VAN del

proyecto. El proceso se repite hasta adecuar las fases al programa de producción escogido.

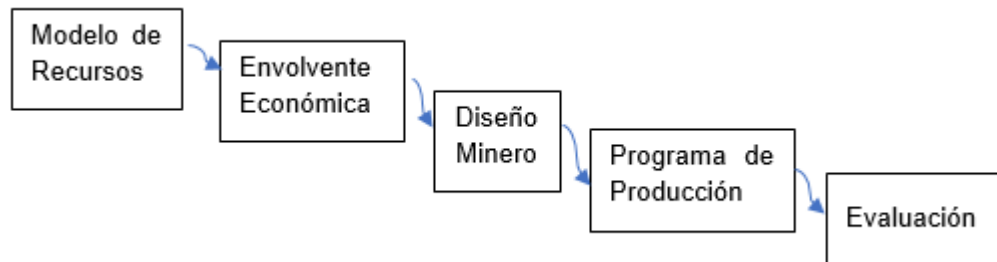


Figura 2.1: Esquema de la metodología tradicional del diseño y planificación minera.

2.1.3. Planificación minera bajo incertidumbre

Existen varios tipos de incertidumbre en un proyecto minero, como la incertidumbre de puesta en marcha, que se refiere a cuándo inicia el proyecto, cuánto será el capital expuesto, etc. Existe la incertidumbre de la Capacidad de Producción, ya que se pueden diseñar operaciones construidas para ciertas tasas de producción, y que luego por algún motivo no logran cumplirse. También está la incertidumbre de los precios de los minerales que pueden alcanzar en el futuro. En términos generales se puede hablar de tres tipos principales de incertidumbre: incertidumbre del mercado, incertidumbre tecnológica e incertidumbre geológica. La incertidumbre

significa que existe una desviación entre lo que se planifica y lo que realmente se llega a producir, por ejemplo, si por algún motivo no se logra llegar a la meta de producción de un periodo, en la búsqueda de alcanzar dicha meta, se forzarán a romper las líneas del diseño, y se extraerán las reservas mineras del siguiente periodo, lo que provoca un incremento en los costes de operación de la mina, y lo que a la postre significa un detrimento del VAN calculado. He ahí de la importancia de la inclusión de estas variables aleatorias dentro del cálculo del programa de producción, de tal forma de tener un cálculo más robusto, que servirá para decidir si es conveniente realizar dicho programa de producción. La metodología tradicional no contempla dichas variabilidades, y los resultados son valores de proyecto (VAN) máximos, pero que son irreales, es decir, con muy pocas probabilidades de cumplimiento. [4] la planificación bajo incertidumbre obtendrá menores valores de proyecto, pero con una mayor confiabilidad, o probabilidad de cumplimiento (Figura 2.2).

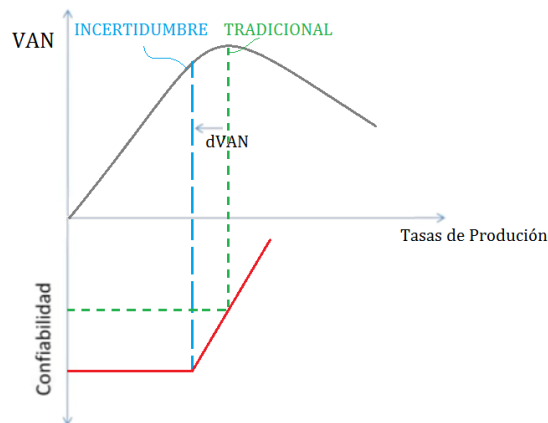


Figura 2.2: Relación entre el VAN obtenido por un método determinístico, y el VAN considerando la incertidumbre y su confiabilidad de obtención.

2.1.4. Optimización estocástica para la planificación del open pit

La incertidumbre geológica se debe a la incapacidad de conocer realmente cómo se configura el depósito mineral. Las técnicas que se utilizan típicamente para generar los programas de producción bajo restricciones técnicas, económicas y ambientales usan algoritmos de optimización matemáticos. Por lo tanto, no es posible definir con precisión la cantidad y calidad de los materiales disponibles. Dimitrakopoulos, [5] demuestra cómo el VAN de una mina calculado de la forma tradicional (sin contemplar la incertidumbre) solo tiene de 2 al 4% de probabilidad de ser alcanzado. Para enfrentar la incertidumbre se realizan simulaciones estocásticas de escenarios equiprobables de leyes buscando replicar la variabilidad del depósito mineral. Luego se calcula el programa de producción óptimo

considerando todos los escenarios simulados. Leite [7] realiza el estudio de un depósito de cobre donde simula 5 escenarios de ley y muestra los beneficios de incorporar la incertidumbre geológica en la planificación de la mina. Esto es, que el VAN calculado con el enfoque estocástico es 26% mayor que la metodología convencional. Los resultados del análisis de riesgo muestran que el esquema estocástico tiene bajas posibilidades de desviarse significativamente de los objetivos; mientras que la probabilidad de que el programa de producción convencional se desvíe de los objetivos es alta. Además, las comparaciones muestran que el método de programación convencional sobreestima los tonelajes de mineral y subestima el VAN del diseño de la mina. Los hallazgos de este estudio sugieren que la planificación que incorpora incertidumbre geológica conduce a decisiones de inversión más informadas y a mejores prácticas de minería.

2.2. Metodología y estructura de la investigación

La metodología adoptada para la realización de este trabajo consta de 4 fases:

Fase I

- Recolección de datos.

- Revisión bibliográfica.
- Definición de la problemática, objetivos, hipótesis, alcance y metodología.

Fase II

- Adecuación de datos de muestreos a sondeos.
- Importación de sondeos y topografía a Studio 3.
- Estudio exploratorio de muestras.
- Creación del modelo de bloques sin leyes.
- Realización del análisis variográfico de leyes.
- Creación del modelo de bloques con leyes utilizando estimación por Kriging.

Fase III

- Valorización de los bloques
- Elección del método de explotación.
- Realización del cálculo de parámetros operativos del método de explotación.
- Importación del modelo de bloques Kriging al software Simsched BDS.
- Estimación de reservas con simulación de pit final.

- Planificación de fases y estimación del VAN de la mina.

Fase IV

- Creación de escenarios de leyes para el modelo de bloques.
- Planificación de fases y estimación del VAN de la mina considerando los escenarios de leyes simulados.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Recopilación de la base de datos

Los datos obtenidos de leyes de oro corresponden a una campaña exploratoria de 233 muestras tomadas en canales, 213 se tomaron en interior mina y 20 se tomaron en superficie. Estos muestreos cubren un dominio de aproximadamente 891 m en X y 928 m en Y. La campaña de muestreos se realizó en el año 2012.

La superficie topográfica utilizada ha sido extraída desde Google Earth, utilizando el software AutoCAD Civil 3D 2012. Las curvas de nivel de esta superficie están cada 20 metros y comprenden un área de 3007.31 m x 2005.00 m.

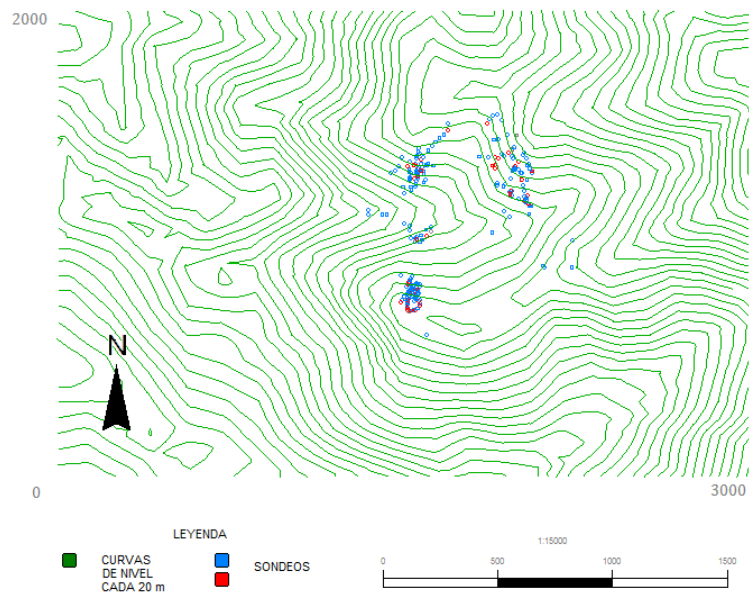


Figura 3.1: Topografía y Sondeos utilizados.

3.2. Estudio exploratorio de muestras

El estudio exploratorio de las muestras consiste en observar los datos de muestras que se tienen, a fin de encontrar valores errados o duplicados que puedan afectar los cálculos. Además, sirve como primera inspección del yacimiento. Para este fin se utilizan herramientas estadísticas descriptivas como el histograma.

Los resultados del estudio exploratorio son:

- No existen datos duplicados.
- El 88.2% de las muestras tienen leyes por debajo de 2 g/t.
- Que la ley media de las muestras tiene un valor de 0.99 g/t con una desviación estándar de 2.73.
- Las leyes de las muestras, no obedecen a una distribución normal o lognormal.

Tabla I: Valores de los estadísticos de las leyes.

Estadístico	Valor
Muestras totales	233.00
Mínimo [g/t]	0.02
Máximo [g/t]	23.62
Media [g/t]	0.99
Mediana [g/t]	0.12
Desviación estándar	2.73

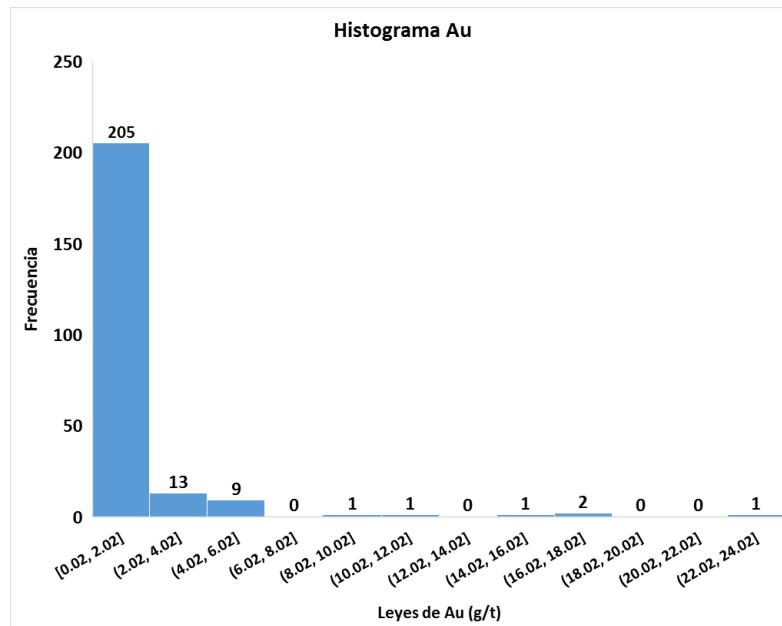


Figura 3.2: Histograma de frecuencia de las leyes de Au.

3.3. Análisis variográfico de las muestras

Para determinar el comportamiento espacial del oro se realizan variogramas en distintas direcciones e inclinaciones, buscando el variograma que mejor se ajuste a un modelo teórico. Para realizar los variogramas es necesario establecer varios parámetros como la separación de las muestras (lags), una tolerancia angular, el número de lags, etc. (Tabla II). En este caso se ha escogido como primera dirección (azimut) del variograma 0° y 0° de inclinación, y para los demás variogramas se incrementa los valores del azimut en 30° hasta llegar a 180° (sexto variograma), también es necesario establecer un elipsoide de búsqueda del cual se definen sus ejes como

alcances de anisotropía del depósito. Estos alcances se obtienen del variograma que mejor represente el yacimiento.

El variograma más representativo es el variograma de azimut 150°, Dip 0. Con referencia a este variograma se observa el variograma en la dirección ortogonal, es decir de azimut 60°, dip 0. De donde se define el alcance en el eje ortogonal. El alcance del tercer eje se lo escogió del variograma vertical (Az 0, Dip -90°).

Tabla II: Parámetros utilizados para el cálculo de los variogramas.

Parámetro	Valor
Lag	100
Lagtol	50
N lags	10
Tolerancia angular	22.5
Azimut	150
Inclinación	0

3.4. Ajuste del variograma experimental

Cuando se encuentra el variograma experimental que describe mejor la distribución del yacimiento, se lo ajusta a un modelo teórico y se obtienen los parámetros del variograma: el alcance, la meseta y el efecto pepita.

El variograma que mejor se ajustó en la dirección dominante (Az 150) es de tipo gaussiano, en la dirección ortogonal se ajustó a un modelo esférico así como también en la dirección vertical (dip -90).

Se tiene un variograma compuesto con las siguientes características

Tabla III: Características del variograma del yacimiento.

Variograma	Dirección del eje [Az]	Inclinación [Dip]	Alcance [m]	Meseta [g/t]	Pepita [g/t]
Gaussiano	150	0	72	7.6	1.6
Esférico	60	0	92		
Esférico	0	-90	10		

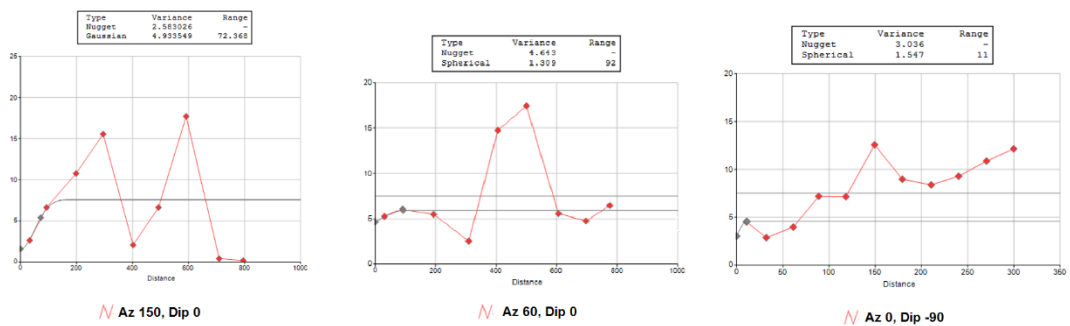


Figura 3.3: Variogramas de ajuste en cada dirección.

3.5. Discretización del depósito mineral

Los yacimientos masivos que reciben el mineral de forma diseminada exhiben a menudo pocos contactos o límites que puedan definir la extensión de la mineralización. Este tipo de modelo se puede considerar como 'no restringido', y su discretización se realiza construyendo bloques de 15*15*10

m³ por debajo de la superficie topográfica, dentro del dominio de las muestras.

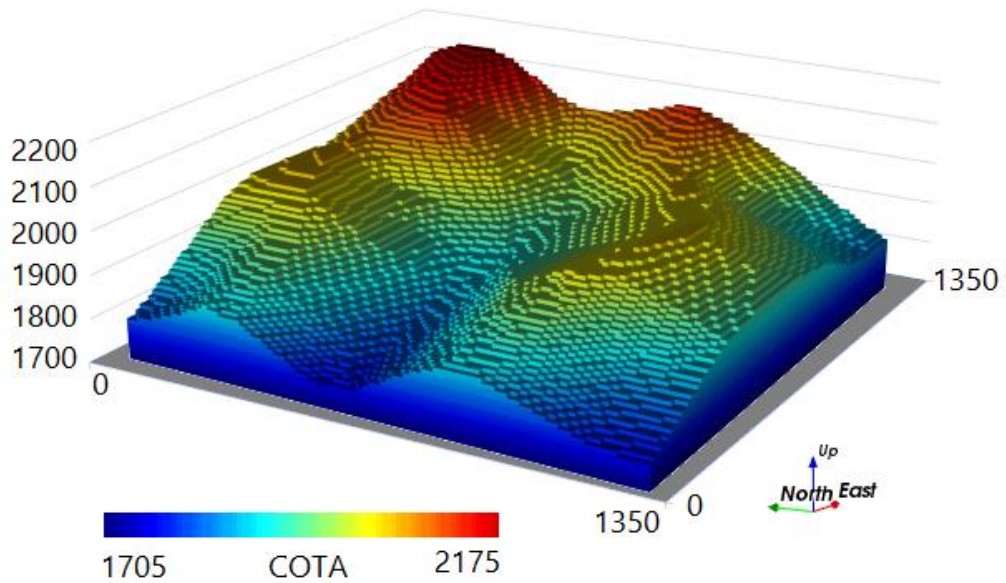


Figura 3.4: Modelo de Bloques del depósito mineral.

Tabla IV: Características del modelo de bloques.

Parámetro	Valor
Numero de bloques	375840
Dimensiones bloque [m ³]	15x15x10
Niveles	48
Cota mínima [m]	1705
Cota máxima [m]	2175

3.6. Krigado de los bloques

Para hacer una estimación de los valores de leyes que poseen los bloques se utiliza la técnica de Kriging de bloque, utilizando un elipsoide de búsqueda definido con los parámetros encontrados del análisis variográfico.

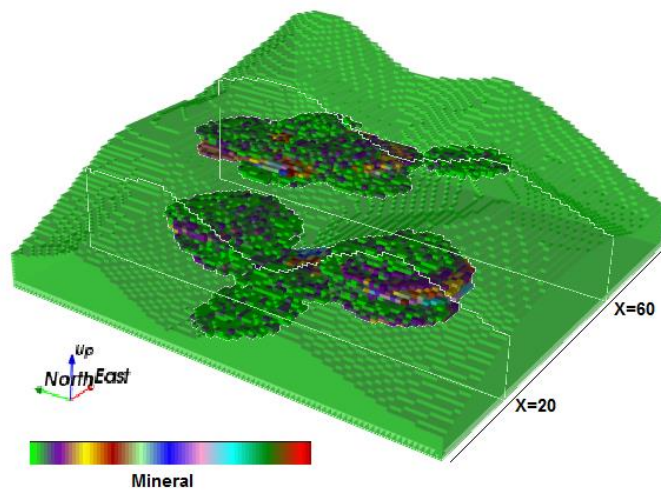


Figura 3.5: Modelo de bloques Krigeado.

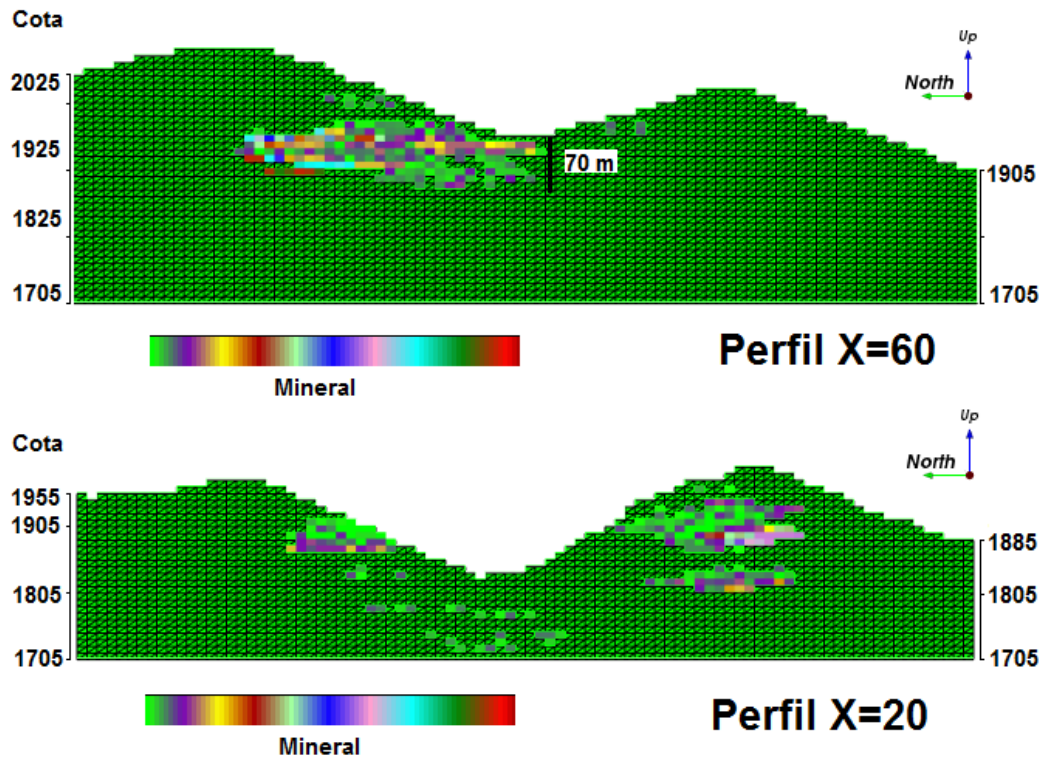


Figura 3.6: Perfiles horizontales del modelo de bloques Krigeado.

3.7. Valorización de los bloques

Los bloques son valorizados con dos campos relacionados con el Valor Económico de cuánto vale cada bloque en caso que sea asignado a planta (Economic Value Process) o a botadero (Economic Value Waste). Estas valorizaciones son en función de sus leyes, recuperación, costos de mina, transporte, procesamiento, precio de venta entre otros.

–Peso del Bloque = Volumen del Bloque * Densidad del Bloque

–Peso de Au = Peso del Bloque * ley de Au

–Economic Value Process =

Peso de Au * Recuperacion de Au * (Precio de Venta – Costo de Venta) –

Peso del Bloque * (Costo de Minado + Costo de Procesamiento)

–Economic Value Waste = Peso del Bloque * Costo de Minado

Se estiman los parámetros técnicos económicos en función de proyectos similares (Tabla V).

Tabla V: Parámetros técnico-económicos utilizados.

Parámetro	Valor
Precio de Venta [\$/g]	42
Costo de Minado [\$/t]	3.13
Costo de Procesamiento [\$/t]	14
Costo de Venta [\$/g]	0.7
Recuperación [%]	89
Densidad [ton/m ³]	3.2
Tasa de descuento [%]	10

3.8. Selección del método de explotación

Para la elección del método de explotación se utiliza el método de Nicholas quien considera factores geométricos y geomecánicos del depósito. Los

datos utilizados se han estimado de estudios de otros autores sobre el yacimiento.

Tabla VI: Datos generales del yacimiento para la valoración por método de Nicholas.

Criterio	Parámetro	Valor
Yacimiento	Forma	Masiva
	Potencia	Muy alta
	Inclinación	Horizontal
	Distribución de leyes	Errática
Mineral	RMR	Muy fuerte
	RSS	Fuerte
Pared colgante	RMR	Muy fuerte
	RSS	Fuerte
Pared yacente	RMR	Muy fuerte
	RSS	Fuerte

Tabla VII: Resultados obtenidos por método de Nicholas.

1	Open Pit	39
2	Sublevel Stopping	37
3	Sublevel Caving	24
4	Cut and Fill	23
5	Block Caving	20
6	Top Slicing	18
7	Square Set	6
8	Room and Pillar	-20
9	Shrinkage Stopping	-72
10	Longwall	-84

3.9. Parámetros de explotación

Escogido el método de explotación se realizan los cálculos de los parámetros operativos.

3.9.1. Altura de bancos

Se calcula en función de la altura máxima de alcance de la excavadora.

$$H_B = H_e * 0.9$$

$$H_B = 10.749 * 0.9$$

$$H_B \cong 10\text{m}$$

Donde:

HB= altura de banco.

He= máximo alcance de la excavadora.

3.9.2. Ancho de bermas

Se calcula en función de la altura de banco, mediante la expresión

$$W = 0.2 H_B + 4.5$$

$$W = 0.2 * 10 + 4.5$$

$$W \cong 6\text{m}$$

Donde:

- W= ancho de la Berma
- HB= altura de Banco

3.9.3. Ancho de la vía

Se calcula en función del número de carriles, con la siguiente expresión:

$$A = a * (0.5) + 1.5 * n$$

$$A = 2.49 * (0.5) + 1.5 * 2$$

$$A \cong 8.75m$$

Donde:

- A= ancho de la vía
- a= ancho del vehículo
- n= número de carriles

3.9.4. Ancho de la plataforma de trabajo

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = C + A + D$$

$$T = (1.5 * 9) + 8.75 + 3$$

$$T \cong 26m$$

Donde:

- T = ancho de la plataforma de trabajo
- C = espacio de maniobra de la pala cargadora (1.5 veces su longitud)
- A= ancho de la vía
- D= derrames

3.9.5. Ángulo de talud de los bancos y de talud final

Para rocas de dureza media se utilizan ángulos dentro del rango de 60° y 80°.

El ángulo de talud final considera el ancho de las vías de acceso, y dependerá del número de bancos. Aproximadamente es entre 1 y 2 grados más tendido que el ángulo inicial, (que no considera las vías de acceso).

$$\alpha = 74^\circ$$

$$\beta = 48.5 - 2 \cong 47^\circ$$

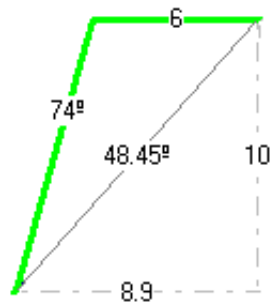


Figura 3.7: Parámetros de banco.

Donde:

α = ángulo del banco

β = ángulo de talud final

Tabla VIII: Parámetros de Explotación

Parámetro	Valor
Método de explotación	Open pit
Altura de banco [m]	10
Ancho de berma [m]	6
Ancho de vías de acceso [m]	8.75
Ancho de plataforma de trabajo [m]	26
Angulo de banco [°]	74
Angulo de talud final [°]	47

3.10. Pit final y Rentabilidad del Proyecto

Para estimar el valor del proyecto se utiliza el software de optimización Simched BDS, el cual calcula el pit final, el plan de producción y el Valor Presente Neto (VAN) del proyecto respetando los parámetros técnicos. Se puede observar en la figura 3.8, los límites de explotación a través de dos perfiles: X=32 y Y=63. Estos límites tienen un talud final de 47° y un fondo de

minado mínimo de 25 m. alcanzados en la cota 1765 en el sector oeste y 1875 el sector en el sector noreste.

El programa de producción escogido es 4 Mt de mineral para cada periodo, el software calcula la cantidad de estéril asociado para cumplir con esta meta.

El resultado son 8 periodos con producciones de estéril variables lo que supondría un reacondicionamiento en la flota de carga y transporte.

El VAN acumulado que alcanza el proyecto es de 1011.99 (M\$) al cabo del periodo 8.

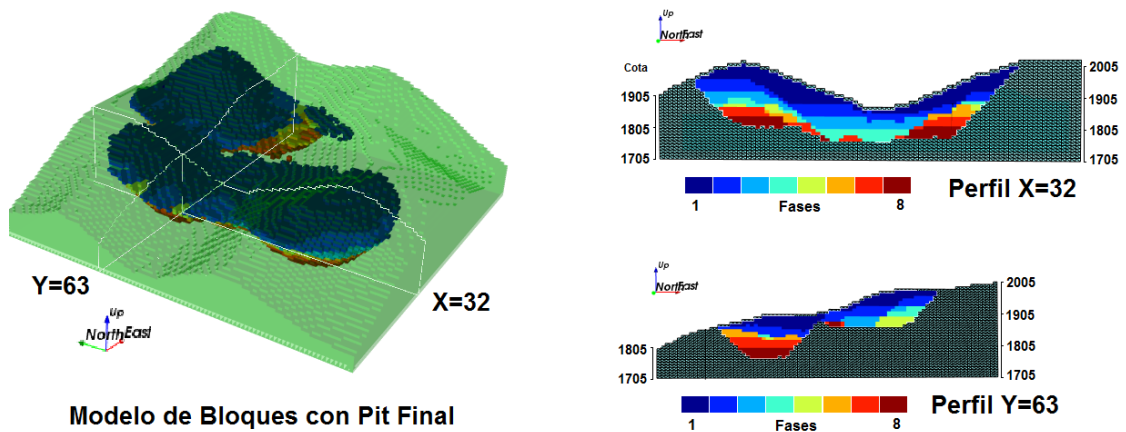


Figura 3.8: Modelo de bloques con pit final y perfiles.

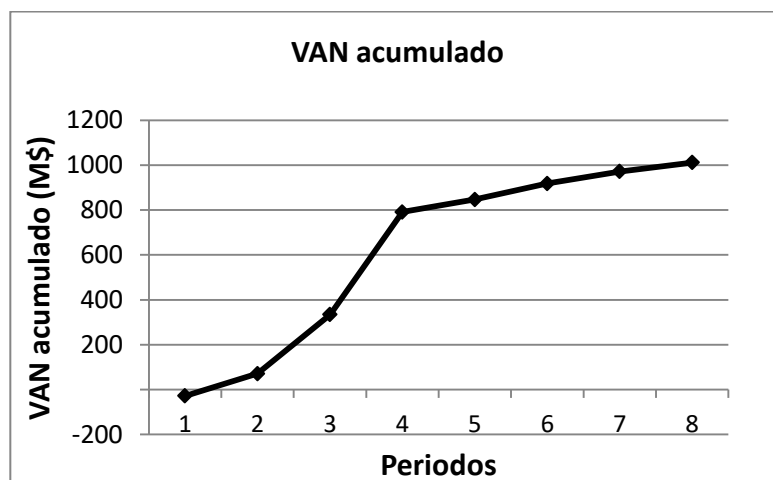


Figura 3.9: VAN acumulado del proyecto.

Tabla IX: Programa de Producción de la mina.

Periodo	Mineral [kt]	Au [kg]	Ley media de Au [g/t]	Estéril [kt]	VAN acumulado (M\$)
1	3996	2887.44	0.812	51753.6	-34.6
2	3996	8391.28	2.359	37425.6	84
3	3996	12634.65	3.553	20844	305.5
4	3996	17263.15	4.854	8942.4	610.9
5	3996	15606.43	4.388	5284.8	864.9
6	3996	4301.37	1.209	5378.4	920.1
7	3996	5115.63	1.438	10915.2	975.8
8	3996	4527.64	1.273	13593.6	1016.2

3.11. Modelamiento de la incertidumbre geológica

Para modelar la incertidumbre geológica se generaron 20 simulaciones estocásticas equiprobables de escenarios de leyes, buscando así, replicar la variabilidad de las leyes del depósito mineral.

Cada ley es generada a partir de una perturbación de las leyes originales, y se sintetiza en un modelo de bloques. En otras palabras, se generan 20 modelos de bloques geoméricamente iguales, pero con leyes distintas.

Para la generación de los distintos escenarios, se perturba la ley original del bloque sumándole un valor aleatorio dentro del rango $[-0.99, 0.99]$, que es el valor de la media de las leyes originales, de esta forma la ley de cada bloque se incrementa o disminuye a razón de la media. Los bloques que no fueron considerados como mineral en la simulación por Kriging, tampoco son considerados para las simulaciones.

Se puede observar que los modelos son bastantes similares a simple vista y que conservan la forma original del modelo, esto se debe a que se condicionó la simulación a la estimación por Kriging, es decir, que los bloques que tenían una ley de cero, no fueron perturbados.

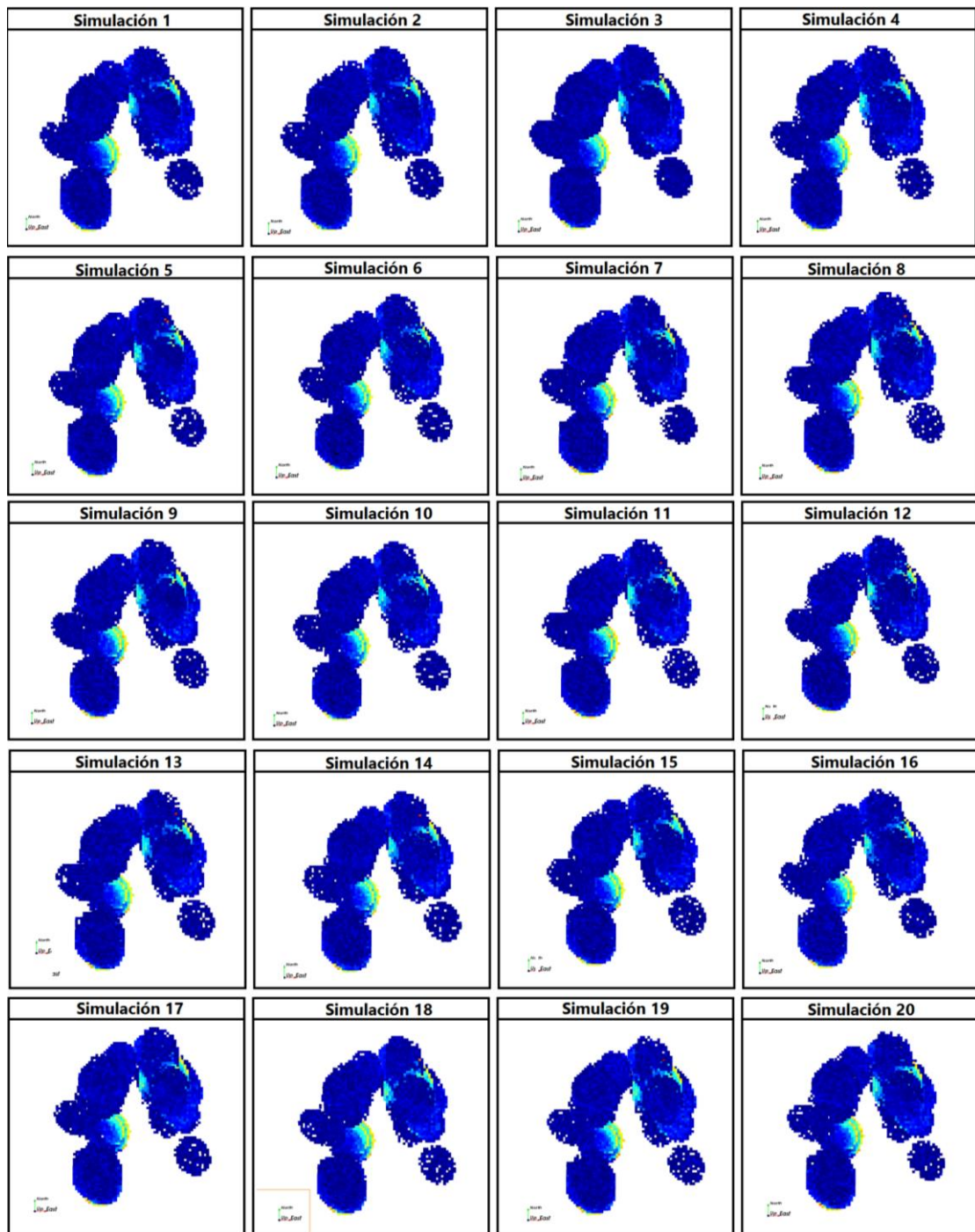


Figura 3.10: Modelos de bloques simulados.

3.12. Valores del VAN de las simulaciones

Para observar y comparar el VAN obtenido por un método determinístico, es decir, del modelo Kriging, con el valor de las simulaciones, se construye el gráfico de líneas de los valores de las simulaciones. (Figura 3.11). En la gráfica se observa el VAN del modelo Kriging (línea negra) que es de 1016 (M\$), también, el VAN de los modelos estocásticos y el VAN esperado (promedio). Puede apreciarse que la mayoría de los valores obtenidos son menores, y solo un valor fue mayor, además que el valor promedio es 970 (\$M). Si se ubican los valores en un histograma de frecuencia pueden apreciarse que siguen una distribución normal, por lo tanto, se puede calcular la probabilidad que tiene el VAN kriging de lograrse. Este valor de probabilidad es menor a 0.06%, lo que significa que el método determinístico sobrestima el VAN que puede alcanzar el proyecto realmente.

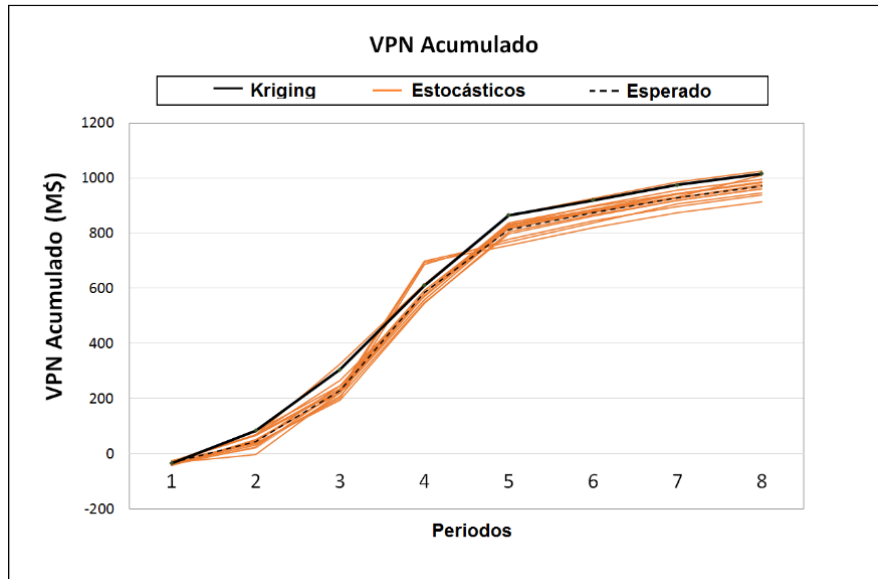


Figura 3.11: Diagrama de los VAN de los modelos estocásticos y Kriging.

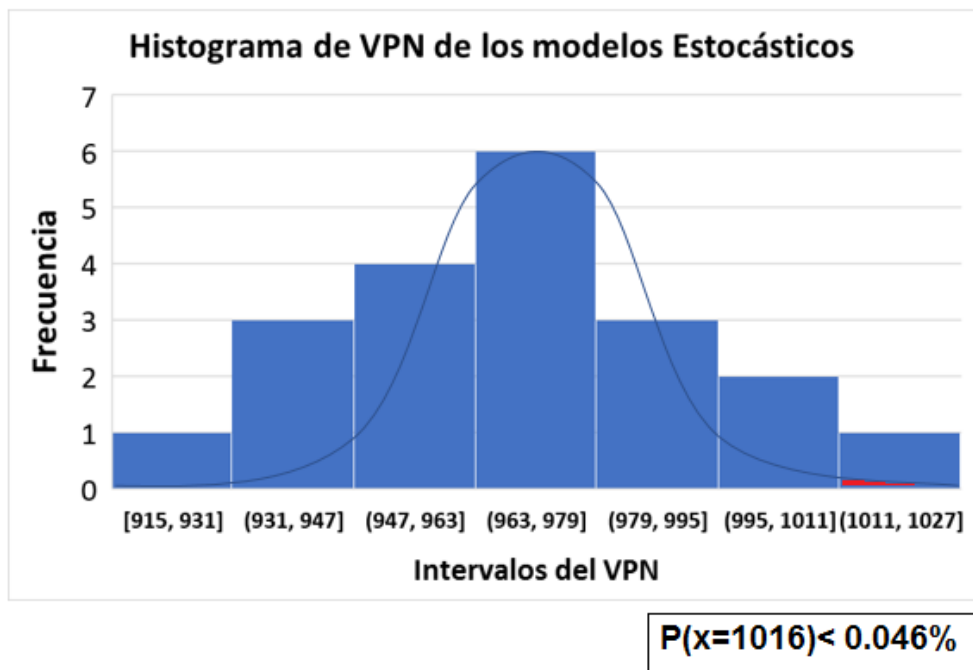


Figura 3.12: Histograma de los VAN de los modelos estocásticos y distribución de probabilidad.

3.13. Optimización estocástica

3.13.1. Pit final bajo incertidumbre geológica

Para calcular el pit final que considere la incertidumbre geológica, se ingresan al software los 20 escenarios de leyes simulados y se utilizan los mismos parámetros técnicos antes usados en el modelo original. En este caso el software genera un pit con sus respectivas fases, pero valorando los 20 escenarios distintos y escogiendo el óptimo.

El software da como resultado curvas con el P10, (probabilidad 10%) el P90 (probabilidad 90%), el mínimo, el máximo y el valor esperado.

El valor esperado del VAN es de 1063 (M\$), es decir hay un aumento de 8.74% en comparación del valor esperado por el método determinístico (970 M\$), Además la probabilidad de alcanzar este valor es del 80%.

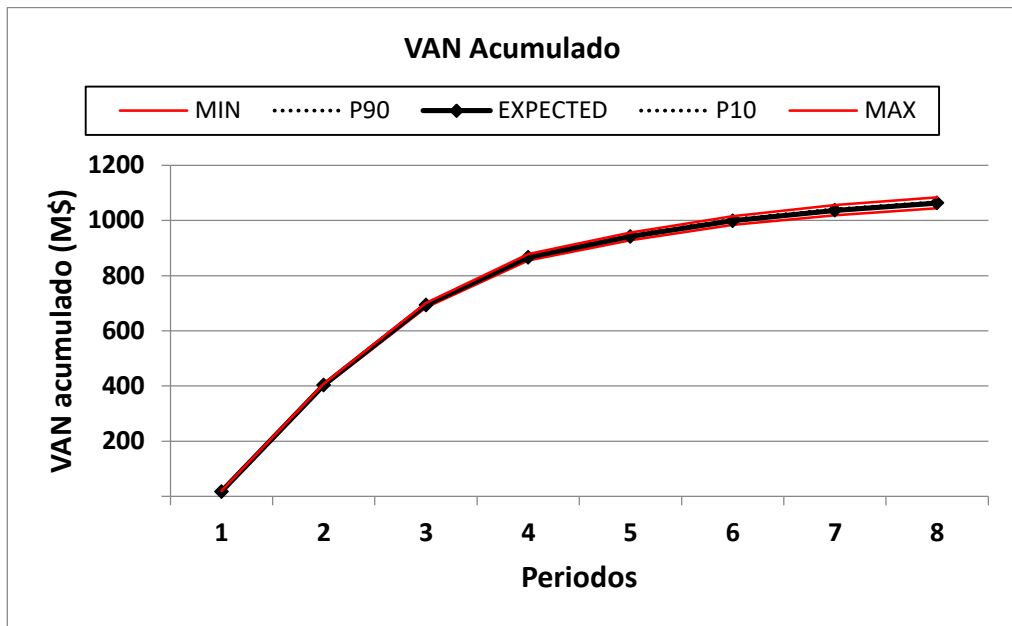


Figura 3.13: Diagrama del VAN optimizado estocásticamente.

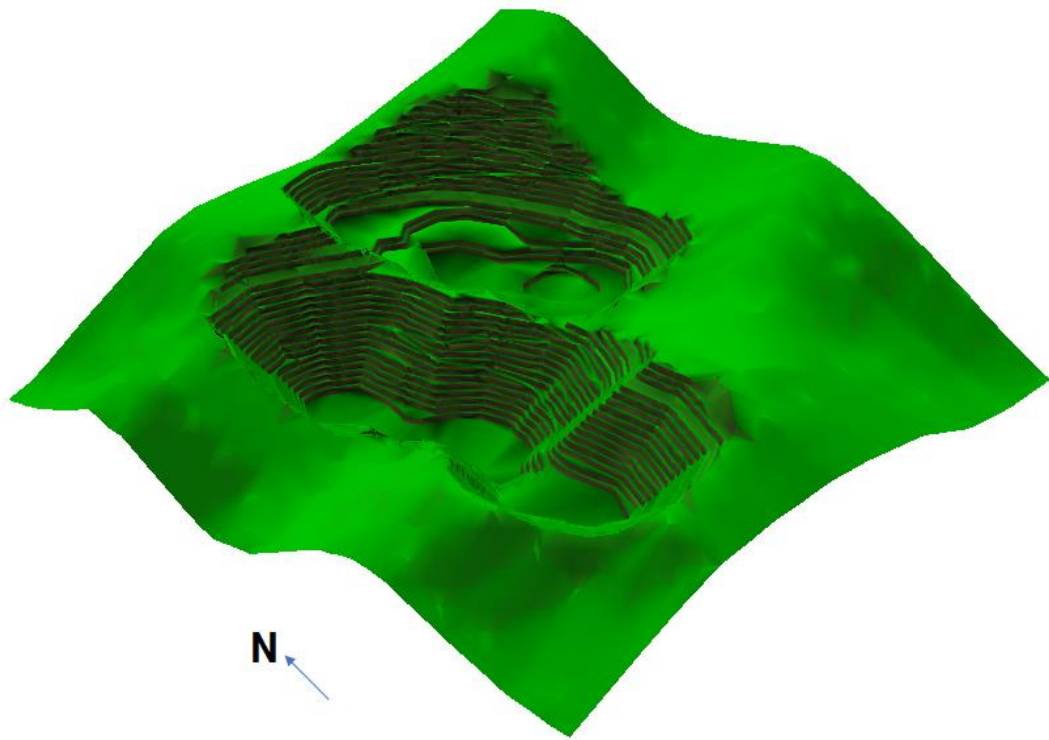


Figura 3.14: Modelo del pit final en la superficie topográfica.

Tabla X: Programa de producción considerando la incertidumbre geológica.

Periodo	Mineral [kt]	Au [kg]	Ley media de Au [g/t]	Estéril [kt]	VAN acumulado (M\$)
1	3996	4134.31	2.329	43048.8	17.5
2	3996	18748.59	5.272	18756	403.9
3	3996	16006.68	4.501	21938.4	693.5
4	3996	10253.19	2.883	9324	866.5
5	3996	5440.7	1.53	8942.4	942
6	3996	4907.59	1.38	11728.8	999
7	3996	4457.6	1.253	18972	1036.8
8	3996	4193.12	1.179	23860.8	1063

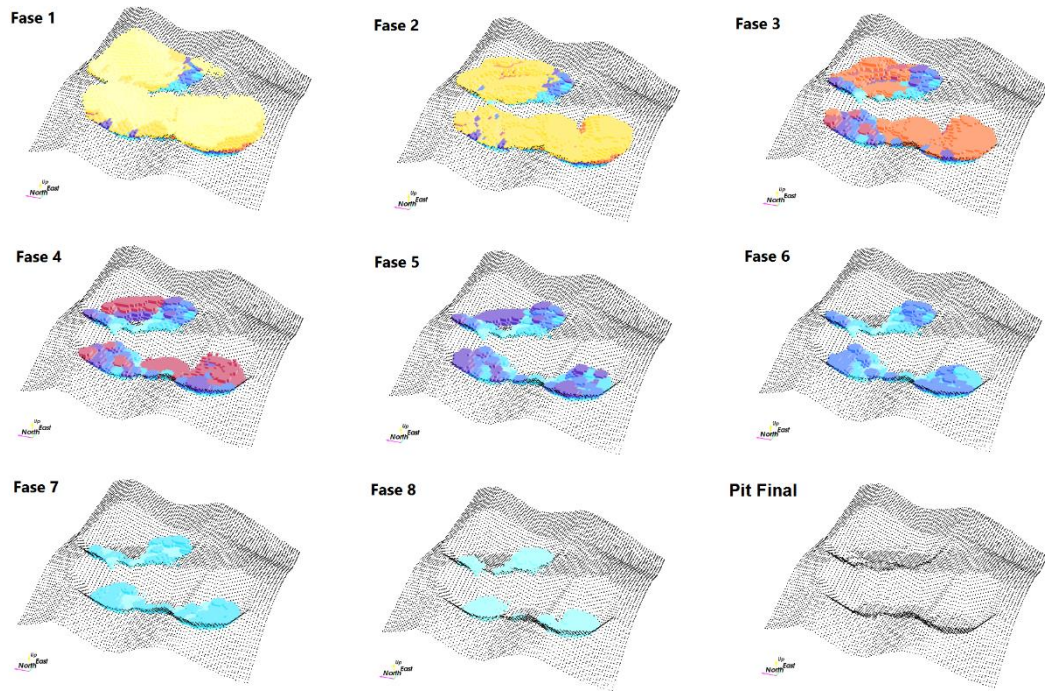


Figura 3.15: Fases de la mina.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. El estudio exploratorio de datos muestra que la ley promedio de las muestras es de 0.99 g/t, donde el 88.2% de las muestras están por debajo de 2 g/t, con una ley mínima de 0.02 g/t y máxima de 23.62 g/t. además no poseen distribución normal.
2. El comportamiento espacial del oro se representa por un variograma compuesto; en la dirección de azimut 150, inclinación 0 se ajusta a un modelo gaussiano con alcance de 72 m, efecto pepita de 1.6 g/ton y meseta de 7.6 g/t.
3. En la dirección de azimut 60 se ajusta a un modelo esférico de alcance 90 m. y en la dirección vertical se ajusta también a un modelo esférico de alcance 10 m.
4. El depósito mineral se discretiza en un modelo tridimensional que consta de 375840 bloques con dimensiones de 10*10*15 m³. El modelo tiene 48 niveles, iniciando en la cota 1705 hasta la cota 2175.

5. El método de estimación de leyes escogido es el Kriging de bloque, utilizando un elipsoide de búsqueda cuyos alcances son los del variograma.
6. Los costos utilizados para la valoración de los bloques son: precio de venta 42 (\$/g), costo de minado 3.13 (\$/t), costo de procesamiento (\$/t), costo de venta 0.7 (\$/t). la recuperación estimada de 89% y una tasa de descuento del 10%.
7. Utilizando el método de Nicholas se determina que el método de explotación óptimo es open pit.
8. La explotación se realiza por medio de bancos de 10 metros, con taludes de 74° y bermas de 6 m, el talud global es de 47°. La explotación se realiza de forma descendente hasta la cota 1765 en el sector oeste y 1875 en el sector en el sector noreste.
9. Con una producción de 4 (Mt) de mineral, el programa de producción tiene 8 periodos, con una producción total de estéril de 154137.6 (kt).
10. El VAN del proyecto calculado con un método determinístico (sin considerar la incertidumbre geológica) es de 1016 (M\$).

11. La incertidumbre geológica es modelada con 20 simulaciones de escenarios equiprobables de leyes, sintetizadas en un modelo de bloques.
12. El VAN de las simulaciones oscila entre 915 (M\$) y 1026 (M\$), siendo el valor esperado (promedio) de 970 (M\$).
13. El VAN determinado por un método determinístico tiene una probabilidad de cumplimiento menor a 0.046%.
14. Para optimizar estocásticamente la planificación se consideran los 20 modelos simulados. El VAN esperado determinado por esta metodología es de 1063 (M\$), es decir que es 8.74% mayor al VAN esperado por un método determinístico y tiene un 80% de probabilidad de ser alcanzado.

4.2. Recomendaciones

1. La optimización estocástica es una metodología relativamente reciente que ha demostrado obtener resultados satisfactorios, maximizando el valor de los proyectos y minimizando el riesgo. Lo que vuelve al negocio minero mucho más seguro y por ende atractivo para los

inversionistas. Se propone la inclusión de las incertidumbres, no solo de tipo geológico sino también la operativa y de mercado, como metodología estándar de planificación minera.

BIBLIOGRAFÍA

Datamine Latin América. (2002). *PROCESSOS ESTIMACIÓN*. Bello Horizonte, Brasil. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/268532456/Proceso-de-Estimacion-Datamine>

Alfaro, M. (2007). *Estimación de Recursos Mineros*. Recuperado de http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/ALFARO_Cours_00606.pdf

Baker H. & Lucks T. (2009). *Mineral resource estimate on the Tonkolili iron ore project in sierra leone*. Recuperado de http://www.african-minerals.com/system/files/uploads/financialdocs/MINERALRESOURCE_ESTIMATEFebruary2009.pdf

García, E. O. (Carlos López Jimeno). (1999). *Manual de Evaluación de Yacimientos*. Madrid, España.

Goodfellow R. C. & Dimitrakopoulos, R. (2014). *Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty*. International Journal of Mining Science and Technology. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494615007565>

Henao R. J. *Introducción a la Geoestadística*. Recuperado de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA.pdf

Leite A. & Dimitrakopoulos R. (2014) *Stochastic optimisation model for open pit*. International Journal of Mining Science and Technology. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268614001384>

Peirano, F. (2011). *Definición de pit final capacitado bajo incertidumbre*. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-peirano_fo/html/index-frames.html

Pérez E. J. (2010). *Metodología de modelamiento de variogramas como tema de aplicación de la geoestadística a la ingeniería geológica*. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/110>

Rubio, E. (2016). *Teoría de portfolio aplicada a la planificación bajo incertidumbre*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ZQ1sruKjab8>

Ruiz, Y. (2013). *Aplicación de software libre para la estimación de recursos y para la evaluación técnica económica de las reservas minerales*. Recuperado de http://www.recmin.com/download/MONOGRAFIA_de_TESIS_Ing_Minas_Yhonny_Ruiz.pdf

Tituana, K. (2014). *Modelo de Bloques del Depósito de Cobre ESPOL-X para la Selección del Método de Explotación Minera Utilizando Herramientas Informáticas*. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/32285/D-70049.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

Vargas, E. (2014). *Cálculo de envolvente económica para minas de Caving bajo incertidumbre Geológica*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131918/Calculo-de-envolvente-economica-para-minas-de-caving-bajo-incertidumbre-geologica.pdf?sequence=1>

ANEXOS

REPORTE SIMULACION 1

Tabla XI: Programa de producción de la Simulación 1.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3098.91	0.871	50328	0.018	-26.6
2	3996	5700.88	1.603	34257.6	0.043	36.2
3	3996	10260.23	2.885	25524	0.161	201.3
4	3996	27014.21	7.596	10771.2	0.939	687.5
5	3996	6117.65	1.72	5817.6	0.034	778.6
6	3996	5359.59	1.507	9028.8	0.095	845.8
7	3996	4784.92	1.345	10267.2	0.058	897.6
8	3996	4488.23	1.262	11916	0.224	939.2

REPORTE SIMULACION 2

Tabla XII: Programa de producción de la Simulación 2.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3238.99	0.911	52437.6	0.017	-27.1
2	3996	7680.89	2.16	40982.4	0.099	69.2
3	3996	14352.83	4.036	20937.6	0.158	326.1
4	3996	16238.9	4.566	7941.6	0.293	613.6
5	3996	15602.39	4.387	7934.4	0.122	864.2
6	3996	5038.42	1.417	8956.8	0.051	926.5
7	3996	5199.58	1.462	9849.6	0.113	984.6
8	3996	4344.37	1.222	9792	0.21	1026.4

REPORTE SIMULACION 3

Tabla XIII: Programa de producción de la Simulación 3.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3079.04	0.866	57549.6	0.016	-40.8
2	3996	6937.69	1.951	36748.8	0.076	45.8
3	3996	10488.87	2.949	21492	0.21	222
4	3996	19844.55	5.58	10353.6	0.509	573.9
5	3996	15783.22	4.438	4881.6	0.094	831.5
6	3996	3967.19	1.115	6559.2	0.016	880
7	3996	4527.19	1.273	10425.6	0.051	927.9
8	3996	5027.46	1.414	13161.6	0.255	975.2

REPORTE SIMULACION 4

Tabla XIV: Programa de producción de la Simulación 4.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2886.68	0.812	55512	0.013	-41.7
2	3996	6139.38	1.726	39009.6	0.063	22.8
3	3996	12479.07	3.509	27540	0.214	230.6
4	3996	25935.55	7.293	8884.8	0.717	699.2
5	3996	4679.38	1.316	3672	0.005	768.5
6	3996	5366.64	1.509	6811.2	0.024	838.5
7	3996	6120.15	1.721	12261.6	0.144	906.9
8	3996	4334.63	1.219	11397.6	0.18	947.1

REPORTE SIMULACION 5

Tabla XV: Programa de producción de la Simulación 5.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2434.21	0.684	50061.6	0.007	-42.7
2	3996	7341.52	2.064	37519.2	0.093	51.8
3	3996	10418.7	2.93	24408	0.153	221.9
4	3996	19235.66	5.409	13147.2	0.393	558.4
5	3996	16296.31	4.582	8042.4	0.108	820.6
6	3996	4551.35	1.28	7056	0.041	877.7
7	3996	4924.74	1.385	11455.2	0.09	930.1
8	3996	4821.64	1.356	13420.8	0.194	974.5

REPORTE SIMULACION 6

Tabla XVI: Programa de producción de la Simulación 6.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2701.87	0.76	51487.2	0.01	-38.7
2	3996	6162.96	1.733	35640	0.084	32.2
3	3996	10918.01	3.07	26035.2	0.152	210.1
4	3996	19124.48	5.377	10735.2	0.584	547.9
5	3996	15358.57	4.319	5126.4	0.077	797.9
6	3996	5106.54	1.436	7790.4	0.038	862.7
7	3996	5226.11	1.469	11779.2	0.095	919.1
8	3996	4450.87	1.251	11743.2	0.221	960.4

REPORTE SIMULACION 7

Tabla XVII: Programa de producción de la Simulación 7.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2720.52	0.765	49658.4	0.011	-34.8
2	3996	6253.44	1.758	35575.2	0.05	38.3
3	3996	10002.18	2.812	27237.6	0.154	195.4
4	3996	19776.69	5.561	10418.4	0.6	545.9
5	3996	16165.65	4.545	8049.6	0.175	805.9
6	3996	4914.17	1.382	7560	0.063	868
7	3996	4768.58	1.341	11282.4	0.08	918.4
8	3996	4466.31	1.256	10742.4	0.205	960.9

REPORTE SIMULACION 8

Tabla XVIII: Programa de producción de la Simulación 8.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3042.45	0.855	51235.2	0.01	-29.7
2	3996	7332.8	2.062	35301.6	0.097	68.4
3	3996	10507.84	2.955	27028.8	0.091	236.2
4	3996	19628.09	5.519	11066.4	0.543	583.1
5	3996	15725.68	4.422	7099.2	0.153	836.8
6	3996	4827.27	1.357	7221.6	0.065	897.9
7	3996	4462.47	1.255	10411.2	0.051	944.9
8	3996	4535.39	1.275	13197.6	0.252	985.9

REPORTE SIMULACION 9

Tabla XIX: Programa de producción de la Simulación 9.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2989.4	0.841	50212.8	0.008	-29.1
2	3996	7486.15	2.105	38340	0.082	67.3
3	3996	11337.29	3.188	18612	0.179	265.5
4	3996	17368.88	4.884	10987.2	0.204	569.9
5	3996	15934.45	4.48	9525.6	0.167	824.1
6	3996	4741.73	1.333	8834.4	0.082	882
7	3996	4845.6	1.362	12693.6	0.083	931.9
8	3996	7393.42	2.079	13197.6	0.257	1009.6

REPORTE SIMULACION 10

Tabla XX: Programa de producción de la Simulación 10.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3088.91	0.869	55893.6	0.016	-37.4
2	3996	5633.27	1.584	36698.4	0.073	19.7
3	3996	11635.26	3.272	22356	0.228	218.1
4	3996	19354.53	5.442	11750.4	0.432	558.8
5	3996	15677.49	4.408	5990.4	0.084	813.2
6	3996	4518.15	1.27	3924	0.015	873.4
7	3996	4741.15	1.333	10497.6	0.054	924.3
8	3996	4724.55	1.328	13082.4	0.237	967.8

REPORTE SIMULACION 11

Tabla XXI: Programa de producción de la Simulación 11.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2821.76	0.793	55483.2	0.013	-43.3
2	3996	6967.61	1.959	37094.4	0.1	43.4
3	3996	11917.66	3.351	23673.6	0.196	245.7
4	3996	18988.83	5.339	8863.2	0.464	583.6
5	3996	15267.19	4.293	6033.6	0.104	830.9
6	3996	4391.98	1.235	6919.2	0.022	885.6
7	3996	5389.06	1.515	12729.6	0.098	943.2
8	3996	4333.47	1.218	9417.6	0.243	985.3

REPORTE SIMULACION 12

Tabla XXII: Programa de producción de la Simulación 12.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2753.65	0.774	48945.6	0.006	-32.6
2	3996	4537.06	1.276	38102.4	0.04	-2.9
3	3996	13221.75	3.718	27388.8	0.267	220.5
4	3996	26541.23	7.463	13039.2	0.672	694.5
5	3996	4353.72	1.224	6235.2	0.021	755
6	3996	5180.29	1.457	8258.4	0.073	820.4
7	3996	5021.76	1.412	12225.6	0.066	873.3
8	3996	4543.14	1.277	12636	0.195	914.9

REPORTE SIMULACION 13

Tabla XXIII: Programa de producción de la Simulación 13.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2903.4	0.816	49608	0.011	-30.1
2	3996	7201.82	2.025	35380.8	0.093	64.9
3	3996	10035.89	2.822	23090.4	0.114	229.1
4	3996	19731.19	5.548	15105.6	0.383	572.1
5	3996	15400.15	4.33	8532	0.076	818.5
6	3996	5015.41	1.41	8100	0.077	881.5
7	3996	5505.5	1.548	12463.2	0.103	941
8	3996	4380.32	1.232	10346.4	0.181	982.8

REPORTE SIMULACION 14

Tabla XXIV: Programa de producción de la Simulación 14.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3988.8	3191.57	0.899	54295.2	0.014	-31.8
2	3996	8073.31	2.27	36489.6	0.099	81.1
3	3996	10164.56	2.858	23990.4	0.158	246.6
4	3996	19504.86	5.484	9979.2	0.411	592.7
5	3996	14592.11	4.103	4507.2	0.036	830.4
6	3996	5276.22	1.484	6444	0.04	899.4
7	3996	5115.44	1.438	10627.2	0.098	955.4
8	3996	4478.94	1.259	12852	0.213	996

REPORTE SIMULACION 15

Tabla XXV: Programa de producción de la Simulación 15.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3427.45	0.964	58651.2	0.023	-34.1
2	3996	6913.14	1.944	36590.4	0.067	52.2
3	3996	9636.73	2.71	24969.6	0.106	205.3
4	3996	19457.57	5.471	13125.6	0.653	546
5	3996	15539.14	4.369	7581.6	0.044	795.9
6	3996	4708.79	1.324	8424	0.017	853.7
7	3996	5018.62	1.411	12232.8	0.103	906.7
8	3996	4527.32	1.273	15415.2	0.171	945.4

REPORTE SIMULACION 16

Tabla XXVI: Programa de producción de la Simulación 16.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2980.23	0.838	50731.2	0.015	-30.3
2	3996	6525.84	1.835	36360	0.063	47.6
3	3996	9199.32	2.587	25437.6	0.131	190.9
4	3996	20211.6	5.683	12340.8	0.606	546.9
5	3996	15757.85	4.431	4615.2	0.085	804.4
6	3996	3934.96	1.106	4255.2	0.006	855.2
7	3996	5041.17	1.417	11419.2	0.058	909.3
8	3996	4697.51	1.321	13968	0.259	951.6

REPORTE SIMULACION 17

Tabla XXVII: Programa de producción de la Simulación 17.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3988.8	3086.93	0.87	52740	0.018	-31.4
2	3996	5842.24	1.643	36568.8	0.056	30.6
3	3996	10399.74	2.924	18662.4	0.114	209.3
4	3996	19637.89	5.522	14112	0.519	552
5	3996	16105.1	4.528	4946.4	0.079	815
6	3996	5219.12	1.468	7200	0.104	882.2
7	3996	5220.47	1.468	11448	0.125	938.8
8	3996	4398.64	1.237	13644	0.178	977.6

REPORTE SIMULACION 18

Tabla XXVIII: Programa de producción de la Simulación 18.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3132.42	0.881	53632.8	0.021	-32
2	3996	5875.88	1.652	34408.8	0.069	34.5
3	3996	10637.47	2.991	24768	0.167	208.6
4	3996	19353.95	5.442	12297.6	0.519	548.5
5	3996	16493.17	4.638	4960.8	0.081	818.1
6	3996	3953.1	1.112	4197.6	0.001	869.3
7	3996	5106.09	1.436	11880	0.114	923.8
8	3996	4350.52	1.223	12758.4	0.179	962.8

REPORTE SIMULACION 19

Tabla XXIX: Programa de producción de la Simulación 19.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	3628.79	1.02	55951.2	0.017	-23.9
2	3996	5375.93	1.512	37324.8	0.066	26.2
3	3996	11232.46	3.158	24379.2	0.126	213.1
4	3996	19163.51	5.388	9655.2	0.737	553.2
5	3996	15323.96	4.309	4780.8	0.05	803.1
6	3996	5242.77	1.474	9014.4	0.073	868.6
7	3996	5366	1.509	9165.6	0.118	929.7
8	3996	4482.2	1.26	12880.8	0.187	970.3

REPORTE SIMULACION 20

Tabla XXX: Programa de producción de la Simulación 20.

PERIODO	MINERAL_Kt	Au_kg	LEY MEDIA_g/t	ESTERIL_Kt	LEY MEDIA_g/t	VAN acumulado [M\$]
1	3996	2878.15	0.809	47757.6	0.01	-27.2
2	3996	5144.41	1.447	36237.6	0.05	19.5
3	3996	11171.07	3.141	26784	0.176	201.4
4	3996	19632.38	5.52	13665.6	0.432	544.6
5	3996	16320.66	4.589	8056.8	0.153	807.3
6	3996	4794.27	1.348	6724.8	0.025	868.5
7	3996	4979.21	1.4	11750.4	0.063	921.4
8	3996	4842.27	1.362	14853.6	0.216	964.7