



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

TEORÍA DE SELECCIÓN DE PORTAFOLIOS APLICADA AL RUBRO DE LA MINERÍA  
SUBTERRÁNEA CON EL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN BLOCK CAVING EN LAS  
SELECCIÓN DE MACROBLOQUES PARA UN PLAN DE PRODUCCIÓN EN UN  
HORIZONTE DE LARGO PLAZO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

JOAQUÍN JIMÉNEZ SALGADO

PROFESOR GUÍA:

SEBASTIÁN CARMONA CALDERA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

FERNANDO ACOSTA BARRIGA

EMILIO CASTILLO DINTRANS

SANTIAGO DE CHILE

2014

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es sentar las bases de la planificación de un plan de producción para la minería de Block Caving con unidad de explotación de macrobloques, en un horizonte de largo plazo, maximizando el valor actual neto según restricciones de riesgo en la disminución de producción.

Mediante el análisis de datos históricos se evidencia que en la operación de la mina suceden eventos que producen una disminución en la producción a corto y largo plazo, lo que afecta el éxito del plan de producción. Esta probabilidad de éxito corresponde al riesgo producido por la variabilidad entre el tonelaje planificado y el tonelaje obtenido.

Esta metodología de planificación permite incluir el riesgo basándose en la teoría de selección de portafolio aplicada en el rubro de las finanzas. Para cuantificar este riesgo se consideran dos componentes principales. Una componente individual asociada a la operación unitaria de un macrobloque, en función de sus condiciones operacionales, características productivas y parámetros típicos del diseño del nivel de producción. Y una componente grupal asociada a la operación en conjunto de macrobloques dictadas por el diseño del nivel de transporte.

El caso de estudio corresponde a una mina “M1” con un método de explotación de Block Caving que entrega la siguiente información:

- Plan de producción: permite obtener las reservas consideradas por la mina “M1”, la planificación anual, y el área abierta por macrobloque.
- Simulación de variabilidad productiva de macrobloques: asocia al plan de producción una variabilidad en el tonelaje, producto de las condiciones y filosofía operacional, la cual permite cuantificar la componente individual del riesgo.
- Diseño de malla del nivel de transporte: diseño que al ser dividido en módulos de componentes interconectados en serie, en paralelo o mixto, asocia una variabilidad en el tonelaje debido a la operación de un set de macrobloques, para cuantificar la componente global de riesgo.

De los resultados se obtienen seis set de planes de producción (riesgo, retorno), que conforman la frontera eficiente para el caso de estudio. Estos puntos indican que a mayor riesgo, el retorno es decreciente.

El set que maximiza el VAN, asociado al mayor riesgo, corresponde al plan de producción de la mina “M1”. Siendo posible identificar que existen set similares en VAN, con disminuciones considerables en riesgo, que permitirían una inversión más informada.

## ABSTRACT

The main goal of this research is to lay the foundation of a long-term production plan development for Block Caving mining using macro blocks exploitation unit, optimizing the current net value according to risk constraints on decreased production.

Through the analysis of historical data, it is evident that in mine operation, events which cause a short to long term decrease in the production take place, affecting production plan success. This success probability match the risk caused by the variability between the schemed tonnage and obtained tonnage.

This planning methodology allows risk based on portfolio selection theory applied in finances to be included. In order to measure this risk, two main components are considered. First, an individual component associated with macro block unitary operation, according to their operational conditions, productive characteristic and typical parameter of production level design. And second, a group component associated with macro blocks collective operation dictated by transport level design.

The case study is related to a "M1" mine with a Block Caving exploitation method which provide the following information:

- Production plan: Allows to get the reserves considered by the "M1" mine, annual planning, and the open area by the macro block.
- Macro blocks productive variability simulation: Associates a plan tonnage variability to the production plan, due to specific conditions and operational philosophy, which permits to quantify the risk individual component.
- Transport level mesh design: Once is divided into serial interconnected component modules, in a parallel or mixed manner, it links a tonnage variability because of a macro block set management to quantify risk global component.

Six production plans set are obtained from results (risk, return), which make up the efficient frontier for the case study. These items indicate that: the greater the risk, the higher the exponential growth.

VAN's associated optimizing set, match the "M1" mine production plan. Being possible to identify the existence of VAN similar set, with significant risk declines, allowing a better informed investment.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TABLA DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Motivación del trabajo .....	1
1.2 Alcances .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
2 ANTECEDENTES .....	4
2.1 Teoría de selección de portafolios .....	4
2.2 Introducción al Block Caving .....	5
2.2.1 Modalidades del Block Caving .....	6
2.2.2 Producción .....	7
2.2.3 Tasa de extracción .....	7
2.2.4 Estados productivos .....	7
2.2.5 Desarrollos principales del Block Caving .....	8
2.3 Incertidumbre en el Block Caving .....	9
2.4 Riesgo en la minería de Block Caving .....	12
2.5 Planificación de la producción .....	14

2.6	Problema de optimización .....	14
2.6.1	Software complemento Solver de Microsoft Office.....	15
2.6.2	Algoritmo relacionado a un problema de optimización no lineal .....	15
3	METODOLOGÍA .....	17
3.1	Análisis de datos .....	17
3.2	Definir y dimensionar el retorno en la minería de Block Caving .....	17
3.3	Definir y dimensionar el riesgo en la minería de Block Caving.....	18
3.3.1	Riesgo en la producción de un Macrobloque .....	19
3.3.2	Riesgo asociado a la interacción entre macrobloques .....	21
3.3.3	Riesgo total.....	21
3.4	Definir problema de optimización .....	21
3.5	Definir intervalos de riesgo.....	22
3.6	Obtención de sets de macrobloques óptimos .....	22
3.7	Elaborar frontera eficiente .....	22
3.8	Validación del modelo .....	22
4	ANALISIS DE DATOS .....	23
4.1	Plan de producción mina “M1” .....	23
4.1.1	Reservas obtenibles .....	23
4.1.2	Perfil de área abierta.....	26
4.1.3	Plan de producción .....	27
4.1.4	Ramp Up.....	27
4.1.5	Parámetros económicos mina “M1” .....	28
4.2	Simulación de la variabilidad productiva de macrobloques .....	29

4.3	Datos históricos de los niveles de producción y transporte de la mina “M2” .....	32
4.3.1	Datos del nivel de producción .....	32
4.3.2	Datos del nivel de transporte .....	34
5	FRONTERA EFICIENTE EN LA MINERIA .....	37
5.1	Riesgo asociado a la unidad de explotación .....	37
5.1.1	Riesgo en el nivel de producción.....	37
5.1.2	Riesgo en el nivel de transporte.....	39
5.2	Problema de optimización .....	40
5.2.1	Parámetros del problema de optimización .....	40
5.2.2	Variables de decisión.....	42
5.2.3	Función Objetivo .....	43
5.2.4	Restricciones en la minería.....	43
6	CASO DE ESTUDIO: Plan de producción mina “m1” .....	47
6.1	Mina “M1” .....	47
6.2	Diseño considerado para el nivel de producción .....	47
6.3	Caso base .....	48
6.4	Riesgo de la mina “M1”.....	50
6.5	Parámetros considerados para el caso de estudio .....	54
6.6	Obtención retorno y riesgo de los set óptimos de macrobloques .....	57
6.6.1	Primer set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [0,600] .....	58
6.6.2	Segundo set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [600,1200] .....	61
6.6.3	Tercer set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [1200,1800].....	64
6.6.4	Cuarto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [1800,2400] .....	67

6.6.5	Quinto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [2400,3300] .....	70
6.6.6	Sexto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [3,300-∞] .....	73
6.7	Frontera eficiente del caso de estudio .....	76
7	VALIDACIÓN .....	77
7.1	Límite de macrobloques desarrollados por año .....	77
7.2	Máximo de macrobloques operativos en el periodo .....	78
7.3	Límite máximo de macrobloques que operan de forma simultanea .....	78
7.4	El macrobloque no puede operar en el año “a” .....	79
7.5	Maximizando VAN .....	80
8	DISCUSIÓN .....	82
9	CONCLUSIÓN .....	83
10	BIBLIOGRAFÍA .....	84
11	ANEXOS .....	85
11.1	Parámetros de entrada rentabilidad, volatilidad y costos de la frontera eficiente en las finanzas .....	85
11.2	Parámetro de entrada covarianza de la frontera eficiente en las finanzas .....	85
11.3	Plan de producción por macrobloque de la mina “M1” .....	86
11.4	Perfil de área activa de los macrobloques según el plan de producción de la mina “M1” 90	
11.5	Riesgo mina “M2” .....	93
11.6	Caso base .....	96
11.6.1	Variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base .....	96
11.6.2	Plan de producción de la frontera eficiente en la minería para el caso base .....	97
11.6.3	Inversión asociada al plan de producción de la frontera eficiente en la minería para el caso base .....	98

11.6.4	Participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base	99
11.6.5	Desviación estándar del tonelaje obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base.....	100
11.6.6	Flujo de caja detallado obtenido de la frontera eficiente en la minería para el caso base	101
11.7	Riesgo estimado para el caso de estudio.....	102
11.7.1	Riesgo estimado para el MB1 del caso de estudio .....	102
11.7.2	Riesgo estimado para el macrobloque MB2 del caso de estudio .....	104
11.7.3	Riesgo estimado para el macrobloque MB3 del caso de estudio .....	106
11.7.4	Riesgo estimado para el macrobloque MB4 del caso de estudio .....	108
11.7.5	Riesgo estimado para el macrobloque MB5 del caso de estudio .....	111
11.7.6	Riesgo estimado para el macrobloque MB6 del caso de estudio .....	114
11.7.7	Riesgo estimado para el macrobloque MB7 del caso de estudio .....	117
11.7.8	Riesgo estimado para el macrobloque MB8 del caso de estudio .....	120
11.7.9	Riesgo estimado para el macrobloque MB9 del caso de estudio .....	123
11.7.10	Riesgo estimado para el macrobloque MB10 del caso de estudio.....	125
11.7.11	Riesgo estimado para el macrobloque MB11 del caso de estudio.....	127
11.7.12	Riesgo estimado para el macrobloque MB12 del caso de estudio.....	129
11.7.13	Riesgo estimado para el macrobloque MB13 del caso de estudio.....	131
11.7.14	Riesgo estimado para el macrobloque MB14 del caso de estudio.....	134
11.7.15	Riesgo estimado para el macrobloque MB15 del caso de estudio.....	136
11.7.16	Riesgo estimado para el macrobloque MB16 del caso de estudio.....	139
11.7.17	Riesgo estimado para el macrobloque MB17 del caso de estudio.....	141
11.7.18	Riesgo estimado para el macrobloque MB18 del caso de estudio.....	144



11.7.19	Riesgo estimado para el macrobloque MB19 del caso de estudio.....	146
11.7.20	Riesgo estimado para el macrobloque MB20 del caso de estudio.....	149
11.8	Matriz de covarianza obtenida para el caso de estudio.....	151
11.9	Resultados de los sets óptimos de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	152
11.9.1	Primer set óptimo de macrobloques .....	152
11.9.2	Segundo set óptimo de macrobloques .....	157
11.9.3	Tercer set óptimo de macrobloques.....	162
11.9.4	Cuarto set óptimo de macrobloques .....	168
11.9.5	Quinto set óptimo de macrobloques .....	173
11.9.6	Sexto set óptimo de macrobloques .....	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: frontera eficiente. (Norstad, 1999).....	5
Figura 2: desarrollos en el Block Caving (Hamrin, 2001) .....	8
Figura 3: malla El Teniente. (Cavieres, 1999) .....	9
Figura 4: productividad mina en función del número de eventos de colgadura y sobretamaño. ..	11
Figura 5: producción obtenida (real) versus el forecast de una operación existente. (Rubio, 2006) .....	11
Figura 6: un mes de reconciliación de tonelaje por punto de extracción. (Rubio, 2006).....	12
Figura 7: conexión de componentes en serie. (Troncoso, 2009).....	13
Figura 8: conexión de componentes en paralelo. (Troncoso, 2009).....	13
Figura 9: esquema de la infraestructura productiva considerada en el modelo de simulación por macrobloque. Fuente: mina “M1”. .....	20
Figura 10: grafico del tonelaje de reservas y leyes de cobre por macrobloque.....	25
Figura 11: grafico del tonelaje de finos y leyes de cobre por macrobloque.....	26
Figura 12: perfil de área activa del macrobloque "MB1".....	26
Figura 13: plan de producción anual para el macrobloque "MB1". .....	27
Figura 14: ramp up obtenido del plan de producción.....	28
Figura 15: histograma de la simulación del estado productivo Propagación 1. ....	29
Figura 16: histograma de la simulación del estado productivo Propagación 2. ....	30
Figura 17: histograma de la simulación del estado productivo Régimen.....	30
Figura 18: histograma de la simulación del estado productivo ramp-down.....	31
Figura 19: producción por día datos históricos para el nivel de producción.....	32
Figura 20: producción por semana datos históricos para el nivel de producción.....	33
Figura 21: producción por mes datos históricos para el nivel de producción. ....	33
Figura 22: producción por día para por día para el mes 1 de la malla seleccionada. ....	34

Figura 23: producción por día datos históricos para el nivel de transporte.....	35
Figura 24: producción por semana datos históricos para el nivel de transporte.....	35
Figura 25: producción por mes datos históricos para el nivel de transporte. ....	36
Figura 26: producción por día para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.....	37
Figura 27: producción semanal para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.....	38
Figura 28: producción mensual para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.....	39
Figura 29: posición, zonas y orientación espacial de los macrobloques. ....	47
Figura 30: correas consideradas para el nivel de transporte. Elaboración propia. ....	48
Figura 31: plan de producción de largo plazo del caso base. ....	49
Figura 32: flujo de caja actualizado evaluado del caso base. ....	50
Figura 33: desviación estándar de la producción del MB1 para el caso base. ....	52
Figura 34: plan de producción del set óptimo 1 para el caso de estudio. ....	58
Figura 35: flujo de caja actualizado del set óptimo 1 para el caso estudio. ....	59
Figura 36: desviación del plan de producción del set óptimo 1 para el caso de estudio. ....	59
Figura 37: costo oportunidad del set óptimo 1 para el caso de estudio.....	60
Figura 38: costo oportunidad del set óptimo 1 para el caso de estudio.....	61
Figura 39: plan de producción del set óptimo 2 para el caso de estudio. ....	61
Figura 40: flujo de caja actualizado del set óptimo 2 para el caso estudio. ....	62
Figura 41: desviación del plan de producción del set óptimo 2 para el caso de estudio. ....	62
Figura 42: costo oportunidad del set óptimo 2 para el caso de estudio.....	63
Figura 43: costo oportunidad del set óptimo 2 para el caso de estudio.....	63
Figura 44: plan de producción del set óptimo 3 para el caso de estudio. ....	64
Figura 45: flujo de caja actualizado del set óptimo 3 para el caso estudio. ....	65

Figura 46: desviación del plan de producción del set óptimo 3 para el caso de estudio. ....	65
Figura 47: costo oportunidad del set óptimo 3 para el caso de estudio. ....	66
Figura 48: costo oportunidad del set óptimo 3 para el caso de estudio. ....	66
Figura 49: plan de producción del set óptimo 4 para el caso de estudio. ....	67
Figura 50: flujo de caja actualizado del set óptimo 4 para el caso estudio. ....	68
Figura 51: desviación del plan de producción del set óptimo 4 para el caso de estudio. ....	68
Figura 52: costo oportunidad del set óptimo 4 para el caso de estudio. ....	69
Figura 53: costo oportunidad del set óptimo 4 para el caso de estudio. ....	69
Figura 54: plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio. ....	70
Figura 55: flujo de caja actualizado del set óptimo 5 para el caso estudio. ....	71
Figura 56: desviación del plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio. ....	71
Figura 57: costo oportunidad del set óptimo 5 para el caso de estudio. ....	72
Figura 58: costo oportunidad del set óptimo 5 para el caso de estudio. ....	72
Figura 59: plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio. ....	73
Figura 60: flujo de caja actualizado del set óptimo 6 para el caso estudio. ....	74
Figura 61: desviación del plan de producción del set óptimo 6 para el caso de estudio. ....	74
Figura 62: costo oportunidad del set óptimo 6 para el caso de estudio. ....	75
Figura 63: costo oportunidad del set óptimo 6 para el caso de estudio. ....	75
Figura 64: frontera eficiente en la minería obtenida de los 6 sets óptimos del caso de estudio. ....	76
Figura 65: plan de producción obtenido mediante la validación 7.1. ....	77
Figura 66: plan de producción obtenido mediante la validación 7.2. ....	78
Figura 67: plan de producción obtenido mediante la validación 7.3. ....	79
Figura 68: plan de producción obtenido mediante la validación 7.4. ....	80
Figura 69: plan de producción anual del macrobloque "MB1". ....	87

Figura 70: plan de producción anual del macrobloque "MB2".	87
Figura 71: plan de producción anual del macrobloque "MB3".	87
Figura 72: plan de producción anual del macrobloque "MB4".	87
Figura 73: plan de producción anual del macrobloque "MB5".	87
Figura 74: plan de producción anual del macrobloque "MB6".	87
Figura 75: plan de producción anual del macrobloque "MB7".	87
Figura 76: plan de producción anual del macrobloque "MB8".	87
Figura 77: plan de producción anual del macrobloque "MB9".	88
Figura 78: plan de producción anual del macrobloque "MB10".	88
Figura 79: plan de producción anual del macrobloque "MB11".	88
Figura 80: plan de producción anual del macrobloque "MB12".	88
Figura 81: plan de producción anual del macrobloque "MB13".	88
Figura 82: plan de producción anual del macrobloque "MB14".	88
Figura 83: plan de producción anual del macrobloque "MB15".	89
Figura 84: plan de producción anual del macrobloque "MB16".	89
Figura 85: plan de producción anual del macrobloque "MB17".	89
Figura 86: plan de producción anual del macrobloque "MB18".	89
Figura 87: plan de producción anual del macrobloque "M19".	89
Figura 88: plan de producción anual del macrobloque "M20".	89
Figura 89: plan de producción anual para el macrobloque "MB1".	90
Figura 90: plan de producción anual para el macrobloque "MB2".	90
Figura 91: plan de producción anual para el macrobloque "MB3".	90
Figura 92: plan de producción anual para el macrobloque "MB4".	90
Figura 93: plan de producción anual para el macrobloque "MB5".	90

Figura 94: plan de producción anual para el macrobloque "MB6".	90
Figura 95: plan de producción anual para el macrobloque "MB7".	91
Figura 96: plan de producción anual para el macrobloque "MB8".	91
Figura 97: plan de producción anual para el macrobloque "MB9".	91
Figura 98: plan de producción anual para el macrobloque "MB10".	91
Figura 99: plan de producción anual para el macrobloque "MB11".	91
Figura 100: plan de producción anual para el macrobloque "MB12".	91
Figura 101: plan de producción anual para el macrobloque "MB13".	92
Figura 102: plan de producción anual para el macrobloque "MB14".	92
Figura 103: plan de producción anual para el macrobloque "MB15".	92
Figura 104: plan de producción anual para el macrobloque "MB16".	92
Figura 105: plan de producción anual para el macrobloque "MB17".	92
Figura 106: plan de producción anual para el macrobloque "MB18".	92
Figura 107: plan de producción anual para el macrobloque "MB19".	93
Figura 108: plan de producción anual para el macrobloque "MB20".	93
Figura 109: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M1".	93
Figura 110: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M2".	93
Figura 111: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M3".	93
Figura 112: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M4".	93
Figura 113: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M5".	94
Figura 114: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M6".	94
Figura 115: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M7".	94
Figura 116: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M8".	94
Figura 117: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M9".	94

Figura 118: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M10". .....	94
Figura 119: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M11". .....	95
Figura 120: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M12". .....	95
Figura 121: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M13". .....	95
Figura 122: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M14". .....	95
Figura 123: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M15". .....	95
Figura 124: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M16". .....	95
Figura 125: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M17". .....	96
Figura 126: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M18". .....	96
Figura 127: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M19". .....	96
Figura 128: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M20". .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: tasas de propagación típica para Block Caving tradicional, pre-acondicionado (PC) y LHD. (F. Carrasco, 2013).....	7
Tabla 2: eventos de interferencia más frecuentes para diferentes componentes de infraestructura minera subterránea (Le Faux, 199?).....	10
Tabla 3: reservas por macrobloque obtenidas del plan de producción mina "M1".....	24
Tabla 4: estadística descriptiva de las reservas del plan de producción de la mina "M1". .....	25
Tabla 5: precio histórico del cobre para los años 2012, 2013 y 2014 hasta la fecha. Fuente: COCHILCO.....	28
Tabla 6. Parámetros técnico-económicos para evaluación económica.....	29
Tabla 7: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo propagación 1.....	29
Tabla 8: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo propagación 2.....	30
Tabla 9: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo régimen. ....	30
Tabla 10: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo ramp-down. ....	31
Tabla 11: estadística y relación de la desviación de la producción por día del nivel de producción de la mina "M2". Elaboración propia. ....	37
Tabla 12: estadística y relación de la desviación de la producción semanal del nivel de producción de la mina "M2". Elaboración propia. ....	38
Tabla 13: estadística y relación de la desviación de la producción mensual del nivel de producción de la mina "M2". Elaboración propia. ....	39
Tabla 14: estadística y relación de la desviación de la producción mensual del nivel de transporte de la mina "M2". Elaboración propia. ....	40
Tabla 15: resultado de la frontera eficiente en la minería para el caso base. ....	50
Tabla 16: áreas simuladas para cada estado productivo. ....	51
Tabla 17: velocidades de extracción media para cada estado productivo simulado. ....	51
Tabla 18: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1". ....	51



Tabla 19: desviación estándar del tonelaje anual del plan de producción de los macrobloques MB1 al MB10. ....	52
Tabla 20: desviación estándar del tonelaje anual del plan de producción de los macrobloques MB11 al MB20. ....	52
Tabla 21: matriz de covarianza generada a partir del riesgo que se forma de la relación entre los macrobloques. ....	53
Tabla 22: años operativos por macrobloque. ....	55
Tabla 23: plan de producción por macrobloque. ....	55
Tabla 24: desviación del plan de producción por macrobloque. ....	55
Tabla 25: ramp-up de 120% del ramp-up del plan de producción de la mina "M1". ....	56
Tabla 26: parámetros mineros de reservas para los macrobloques MB1 al MB10. ....	57
Tabla 27: parámetros mineros de reservas para los macrobloques MB1 al MB10. ....	57
Tabla 28. Parámetros técnico-económicos para la evaluación económica. ....	57
Tabla 29: intervalos de riesgo del caso de estudio. ....	58
Tabla 30: resultado primer set óptimo de macrobloques. ....	61
Tabla 31: resultado segundo set óptimo de macrobloques. ....	64
Tabla 32: resultado tercer set óptimo de macrobloques. ....	67
Tabla 33: resultado cuarto set óptimo de macrobloques. ....	70
Tabla 34: resultado quinto set óptimo de macrobloques. ....	73
Tabla 35: resultado sexto set óptimo de macrobloques. ....	76
Tabla 36: sets óptimos de macrobloques del caso de estudio. ....	76
Tabla 37: VAN y desviación del VAN obtenida para el plan de producción que considera la extracción de un solo macrobloque. ....	80
Tabla 38: parámetros rentabilidad, volatilidad y costo asociados a las acciones de la frontera eficiente en las finanzas. ....	85
Tabla 39: covarianza entre las acciones para la frontera eficiente en las finanzas. ....	85
Tabla 40: variable de decisión X para los 5 portafolios de la frontera eficiente en las finanzas. ....	85

Tabla 41: primera sección del plan de producción anual para la mina "M1".....	85
Tabla 42: segunda sección del plan de producción anual para la mina "M1". .....	86
Tabla 43: variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10. ....	96
Tabla 44: variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20. ....	97
Tabla 45: plan de producción en Mt de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10. ....	97
Tabla 46: plan de producción en Mt de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20. ....	98
Tabla 47: plan de inversión en MUS\$ de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10. ....	98
Tabla 48: plan de inversión en MUS\$ de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20. ....	98
Tabla 49: participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.....	99
Tabla 50: participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.....	99
Tabla 51: desviación estándar del tonelaje en Mt obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.....	100
Tabla 52: desviación estándar del tonelaje en Mt obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20...	100
Tabla 53: flujo de caja en MUS\$ detallada de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.....	101
Tabla 54: flujo de caja en MUS\$ detallado de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.....	101
Tabla 55: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1". ....	102
Tabla 56: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1". ....	102

Tabla 57: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	103
Tabla 58: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	103
Tabla 59: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	103
Tabla 60: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	104
Tabla 61: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	104
Tabla 62: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	105
Tabla 63: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	105
Tabla 64: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	106
Tabla 65: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	106
Tabla 66: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	106
Tabla 67: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	107
Tabla 68: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	107
Tabla 69: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	108
Tabla 70: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	108
Tabla 71: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	108
Tabla 72: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	109

Tabla 73: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” .....	109
Tabla 74: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” .....	110
Tabla 75: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” .....	110
Tabla 76: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina “M1” .....	111
Tabla 77: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1” .....	111
Tabla 78: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” .....	111
Tabla 79: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” .....	112
Tabla 80: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” .....	112
Tabla 81: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” .....	113
Tabla 82: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” .....	113
Tabla 83: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” .....	114
Tabla 84: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” .....	114
Tabla 85: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” .....	114
Tabla 86: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” .....	115
Tabla 87: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” .....	115
Tabla 88: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” .....	116

Tabla 89: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1”	116
Tabla 90: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina “M1”	117
Tabla 91: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina “M1”	117
Tabla 92: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1”	117
Tabla 93: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1”	118
Tabla 94: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1”	118
Tabla 95: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1”	119
Tabla 96: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1”	119
Tabla 97: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”	120
Tabla 98: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1”	120
Tabla 99: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1”	120
Tabla 100: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1”	121
Tabla 101: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”	121
Tabla 102: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1”	122
Tabla 103: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1”	122
Tabla 104: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1”	123

Tabla 105: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	123
Tabla 106: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	123
Tabla 107: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	124
Tabla 108: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	124
Tabla 109: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	125
Tabla 110: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	125
Tabla 111: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	126
Tabla 112: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	126
Tabla 113: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	126
Tabla 114: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	127
Tabla 115: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	127
Tabla 116: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	128
Tabla 117: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	128
Tabla 118: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	128
Tabla 119: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	129
Tabla 120: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	129

Tabla 121: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina “M1” .	130
Tabla 122: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1” .	130
Tabla 123: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” .	131
Tabla 124: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” .	131
Tabla 125: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1” .	131
Tabla 126: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” .	132
Tabla 127: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” .	132
Tabla 128: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” .	133
Tabla 129: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” .	133
Tabla 130: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1” .	134
Tabla 131: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” .	134
Tabla 132: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” .	134
Tabla 133: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” .	135
Tabla 134: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” .	135
Tabla 135: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” .	136
Tabla 136: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1” .	136

Tabla 137: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	137
Tabla 138: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	137
Tabla 139: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	137
Tabla 140: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	138
Tabla 141: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	138
Tabla 142: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	139
Tabla 143: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	139
Tabla 144: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	140
Tabla 145: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	140
Tabla 146: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	140
Tabla 147: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	141
Tabla 148: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	141
Tabla 149: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	142
Tabla 150: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	142
Tabla 151: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	143
Tabla 152: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	143



Tabla 153: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	143
Tabla 154: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	144
Tabla 155: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	144
Tabla 156: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	145
Tabla 157: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	145
Tabla 158: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	145
Tabla 159: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	146
Tabla 160: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	146
Tabla 161: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	147
Tabla 162: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	147
Tabla 163: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	147
Tabla 164: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	148
Tabla 165: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	148
Tabla 166: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	149
Tabla 167: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	149
Tabla 168: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1” . . . . .	149

Tabla 169: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1”.	150
Tabla 170: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina “M1”.	150
Tabla 171: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 15 el plan de producción de la mina “M1”.	151
Tabla 172: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB1 y MB2 que se encuentran en serie.	151
Tabla 173: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB3 y MB4 que se encuentran en serie.	151
Tabla 174: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB5 y MB6 que se encuentran en serie.	151
Tabla 175: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB7 y MB8 que se encuentran en serie.	151
Tabla 176: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB1, MB2, MB3, MB4, MB5, MB6, MB7 y MB8 que se encuentran en series en paralelo. ...	151
Tabla 177: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 2 para los MB9, MB10, MB11, MB12, MB13 y MB14 que se encuentran en paralelo. ....	152
Tabla 178: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 2 para los MB15, MB16, MB17, MB18, MB19 y MB20 que se encuentran en paralelo.....	152
Tabla 179: variable de decisión “ $t_i, a$ ” para los macrobloques MB1 al MB20 del set óptimo 1 de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	152
Tabla 180: variable de decisión $X_i, a$ para los macrobloques del set óptimo 1 de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	153
Tabla 181: plan de producción del primer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	153
Tabla 182: desviación del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	154
Tabla 183: inversión del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	155
Tabla 184: valorización del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	156

Tabla 185: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	156
Tabla 186: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	157
Tabla 187: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	157
Tabla 188: variable de decisión “ $t_i, \alpha$ ” para los macrobloques del segundo set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	157
Tabla 189: variable de decisión $X_i, \alpha$ para los macrobloques del segundo set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	158
Tabla 190: plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	158
Tabla 191: desviación del plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	159
Tabla 192: inversión del plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	160
Tabla 193: valorización del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	161
Tabla 194: valorización de la desviación plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	161
Tabla 195: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	162
Tabla 196: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	162
Tabla 197: variable de decisión “ $t_i, \alpha$ ” para los macrobloques MB1 al MB20 del tercer set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	162
Tabla 198: variable de decisión $X_i, \alpha$ para los macrobloques MB1 al MB20 del tercer set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	163
Tabla 199: plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	163
Tabla 200: desviación del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	164

Tabla 201: inversión del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	165
Tabla 202: valorización del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	166
Tabla 203: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	166
Tabla 204: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	167
Tabla 205: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	167
Tabla 206: variable de decisión “ $t_i, a$ ” para los macrobloques del cuarto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	168
Tabla 207: variable de decisión $X_i, a$ para los macrobloques del cuarto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	168
Tabla 208: plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	169
Tabla 209: desviación del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	169
Tabla 210: inversión del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	170
Tabla 211: valorización del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	171
Tabla 212: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	172
Tabla 213: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	172
Tabla 214: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	172
Tabla 215: variable de decisión “ $t_i, a$ ” para los macrobloques del quinto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	173
Tabla 216: variable de decisión $X_i, a$ para los macrobloques del quinto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	173

Tabla 217: plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	174
Tabla 218: desviación del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	174
Tabla 219: inversión del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	175
Tabla 220: valorización del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	176
Tabla 221: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	177
Tabla 222: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	177
Tabla 223: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	177
Tabla 224: variable de decisión “ $t_i, a$ ” para los macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	178
Tabla 225: variable de decisión $X_i, a$ para los macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	178
Tabla 226: plan de producción del primer set óptimo de macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	179
Tabla 227: desviación del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	180
Tabla 228: inversión del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	180
Tabla 229: valorización del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	181
Tabla 230: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.....	182
Tabla 231: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	182
Tabla 232: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio. ....	182

# 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente la gran minería del cobre se divide dependiendo de la forma en que se extraerá el mineral, en términos amplios entre cielo abierto y subterránea, esta última se subdivide a su vez en una amplia gama de opciones dependiendo de la forma que presenta el yacimiento, la calidad del mineral, la roca caja y otros factores. Para el presente estudio se tendrá como foco la minería subterránea mediante el método de explotación Block Caving, caracterizado por el hundimiento de un cuerpo mineralizado masivo, que cede después de producirse un corte basal (Laubscher, 1994).

Para extraer el mineral, una vez establecido el método de explotación y cuantificadas las reservas, es necesario planificar el secuenciamiento de las unidades de explotación que serán extraídas de forma individual o simultánea. La selección de este secuenciamiento produce diversos planes de producción, de los cuales se debe buscar el plan que maximice las utilidades, y/o recuperación de la inversión.

Debido a esto, es posible generar diferentes escenarios para la explotación de un mismo yacimiento, cada uno con ventajas y desventajas que producen variaciones en la valorización del proyecto, costos e inversión, entre otros.

En Finanzas, Harry Markowitz diseñó una teoría de portafolio en que cada acción se parametriza mediante una rentabilidad, volatilidad y costo. El hecho de que una acción presente una rentabilidad mayor a otra, a un riesgo fijo, genera el concepto de eficiencia; y por lo tanto, que al escoger sets de acciones existirán sets más eficientes que otros. La elección entre acciones no sólo depende de su rentabilidad, sino que de las relaciones que existen entre la elección de una y otras.

Mediante la teoría de selección de portafolio se generará entonces una planificación que incluya el riesgo en la minería de Block Caving de macrobloques.

## 1.1 Motivación del trabajo

Actualmente la planificación minera es evaluada principalmente por la maximización del valor actual neto (VAN) y el retorno de la inversión. Mediante esto se obtiene un plan de producción, que al ser comparado con el tonelaje real obtenido a posteriori, en la operación de la mina, presenta importantes diferencias.

La motivación principal del presente trabajo es que la planificación estratégica en minería subterránea con el método de explotación de Block Caving de macrobloques, genere un plan de producción que considere el riesgo, permitiendo así una inversión más informada, por ejemplo, en la consideración de medidas de contingencia para los periodos más variables. Además permitiría, frente a planes de producción que ya se encuentren operativos, incluir un nuevo tipo de criterio de evaluación de riesgo, bajo consideraciones de la empresa, que permita evaluar si el plan es óptimo.

## **1.2 Alcances**

El método propuesto se aplicará en este caso sólo a la minería subterránea con el método de explotación de Block Caving de macrobloques. Involucrando los desarrollos del nivel de producción, nivel de transporte, y los piques de traspaso que los conectan.

Para cuantificar el retorno económico se utilizará como unidad de medición el VAN, según una evaluación económica que involucre los minerales de cobre, como producto principal; y, molibdeno, como producto secundario. Siendo por lo tanto el ingreso asociado a las toneladas de finos de cobre, y los costos a su extracción. Estos se dividirán en costos variables de mina y planta. Para que el presente estudio sea aplicable en cualquier país, la evaluación no estará afectada a impuesto de ningún tipo (IVA y Royalty).

El riesgo estará asociado a la incertidumbre de la disponibilidad de infraestructura y de recursos productivos. Se utilizará como su unidad de medición, la valorización de la desviación estándar del tonelaje de extracción de la operación del plan de producción, el cual estará dividido en dos componentes: una componente individual asociada a la operación unitaria del macrobloque, y una componente grupal asociada a la operación en conjunto.

A modo de resumir las posibilidades operativas que lleva la explotación de un macrobloque, se considera que una vez comenzada la extracción de esta unidad de explotación, no podrá ser detenida.

Para el caso de estudio se utilizará como información de entrada el plan de producción, los parámetros económicos, una simulación de variabilidad productiva de la mina “M1” y una base de datos históricos de la mina “M2”.

Para la resolución del problema de optimización se utilizará el software complemento Solver de Microsoft Office Excel con la Plataforma Premium de Solver.

## **1.3 Objetivos**

### *1.3.1 Objetivo General*

El objetivo general será aplicar la teoría de selección de portafolios al rubro de la minería subterránea, con el método de explotación de Block Caving, específicamente de macrobloques; según restricciones y condiciones de operación, para obtener distintos planes de producción de largo plazo según el riesgo asociado.

### *1.3.2 Objetivos Específicos*

- Definir la unidad de explotación que se planificará mediante la frontera eficiente minera.
- Definir y dimensionar el retorno asociado a la minería subterránea de Block Caving.
- Definir y dimensionar el riesgo asociado a la minería subterránea de Block Caving.

- Definir el problema de optimización para la minería subterránea de Block Caving de macrobloques.
- Obtener los sets óptimos que definen la curva de la frontera eficiente para el caso de estudio.
- Obtener la curva de la frontera eficiente.
- Validar la funcionalidad del objetivo y las restricciones del problema de optimización.



## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 Teoría de selección de portafolios

La teoría de portafolio fue descubierta y desarrollada por Harry Markowitz en 1950. Su trabajo forma la fundación de las bases de la finanza moderna. La teoría, que ha sido modificada y extendida, por varios investigadores es generalmente llamada como “teoría moderna de portafolio”. (Norstad, 1999)

A continuación se plantea la teoría (Markowitz, 1952) siendo necesario el concepto de portafolio, que hace alusión a un set de elementos de interés, en este caso refiere a un set o subconjunto de acciones de un conjunto, por ejemplo, el mercado de acciones. Por lo tanto, cada portafolio "A" se encuentra compuesto por acciones  $a_i$  tal que para todo  $i$  se tiene asociado una rentabilidad  $v_i$ , volatilidad  $\sigma_i$  y costo  $c_i$ .

Por lo tanto, la función de valorización de un set se puede definir en la siguiente ecuación, mediante el uso de una variable de decisión  $X_i$ .

$$R = \sum_{i=1}^n X_i \cdot R_i$$

Sea  $R_i$  la rentabilidad asociada a la acción  $i$ ; donde  $R_i$  es independiente de  $X_i$ . Siendo  $X_i \geq 0$  para todos los  $i$  y  $\sum X_i = 1$ .

La ecuación anterior se verá limitada por un máximo de inversión,  $C$ , tal que el costo  $c_i$  cumple con la siguiente restricción.

$$\sum_i^n c_i \cdot X_i \leq C$$

La variable  $X_i$  es el fundamento de la teoría de selección del portafolio, esta determinará el set de acciones a evaluar, siendo un subconjunto de  $A$ . Siendo  $R$  la valorización, surge la necesidad de evaluar el riesgo asociado.

$$\sigma = \left[ \sum_i \sum_j x_i x_j cov(i, j) \right]^{0.5}$$

En la ecuación anterior se utiliza la raíz de la covarianza cruzada de las acciones, a forma de determinar la volatilidad.

Considerando el supuesto de que los inversores buscan la maximización de sus utilidades (Norstad, 1999), la mejor elección de un set corresponde al que, para un mismo riesgo, se obtiene el mayor retorno. Así surge la definición de frontera eficiente, como el límite superior  $(R^*, \sigma)$  de todos los posibles set de acciones  $a_i$  pertenecientes a  $A$ , que forman la selección de portafolios  $X_1, \dots, X_N$ , es

decir, no existe ningún par  $(R, \sigma)$  tal que  $R > R^*$ . Cualquier set que se encuentre debajo de la curva es considerado un portafolio ineficiente.

Con estas condiciones es posible establecer que la selección del portafolio óptimo para un determinado riesgo, es un problema de optimización.

En la Figura 1 se tiene en el eje X el riesgo, con unidad de medida la desviación estándar de la volatilidad de un set. En el eje Y el retorno, con unidad de medida la volatilidad conjunta de un set. Y la función que describe una curva, representa la frontera eficiente compuesta por los portafolios óptimos.

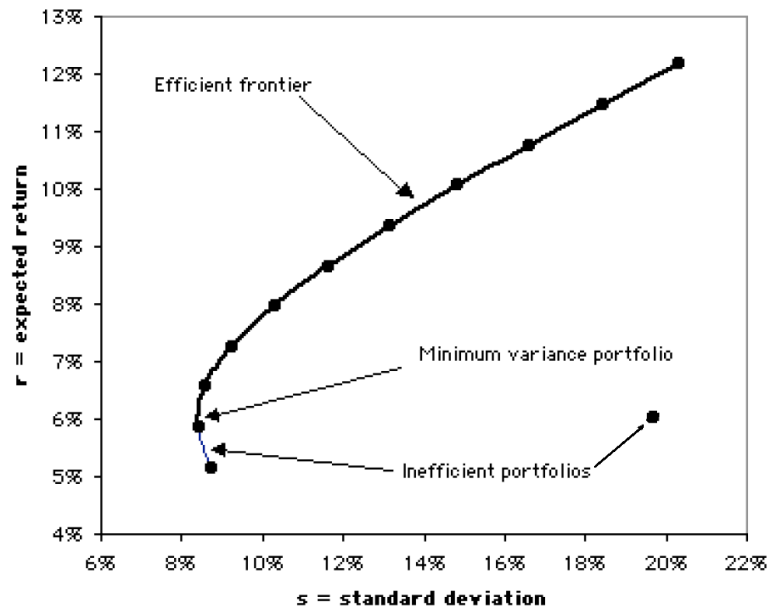


Figura 1: frontera eficiente. (Norstad, 1999)

## 2.2 Introducción al Block Caving

La minería contemporánea se divide en cielo abierto o subterránea, dependiendo de cómo se realice su explotación. La minería subterránea a su vez, se subdivide en métodos de explotación dependiendo de la selectividad, producción, forma del yacimiento, unidad de explotación, entre otros.

Los métodos subterráneos más masivos corresponden a la minería del Caving, la cual hace referencia a todas las operaciones en las cuales el cuerpo mineralizado cede después de producir el hundimiento, y el material hundido es recuperado por los puntos de extracción. Estos métodos de explotación tienen menores costos asociados debido a las dimensiones de la unidad de extracción, a que las instalaciones están dimensionadas para el material hundido, y a que el horizonte de extracción pueda mantenerse por la vida de la mina. (Laubscher, 1994)

El presente estudio involucra el caso particular del método de explotación de Block Caving, que según Ortiz (Ortiz, 2000) se puede describir de la siguiente forma.

En lo esencial, este método consiste en inducir el hundimiento de una columna mineralizada, socavándola mediante la excavación de un corte basal, proceso que se realiza aplicando las técnicas convencionales de perforación y tronadura.

Los esfuerzos internos pre-existentes en el macizo rocoso (gravitacionales y tectónicos), más los inducidos por la modificación de sus condiciones de equilibrio debido al corte basal, generan una inestabilidad en la columna de roca o loza inmediatamente superior. Este cede parcialmente rellenando el vacío creado, y la situación de equilibrio tiende a reestablecerse.

El mineral que cede es extraído por la base a través de un sistema de zanjas recolectoras por equipos de carguío, que luego descargan en excavaciones sub verticales llamadas piques, que conectan con el nivel de transporte (variaciones en el diseño de la mina pueden incluir niveles o etapas diferentes), para luego ser transportado fuera de la mina.

### *2.2.1 Modalidades del Block Caving*

Dependiendo de su extensión vertical, el cuerpo mineralizado puede ser explotado a partir de uno o de varios niveles de producción, que se hundén sucesivamente en una secuencia descendente. Las alturas de columna entre los niveles pueden variar entre 40-300 m. (Ortiz, 2000), el promedio actual en la industria está en el rango de 240–250 m., con 500–550 m. como nuevo objetivo (Chitombo, 2010).

Según Ortiz (Ortiz, 2000) se distingue en la práctica dos principales modalidades de aplicación de este método:

- Block Caving propiamente tal, en que cada nivel se subdivide en bloques virtuales de área basal entre 3.600 m<sup>2</sup> (60 x 60 m) a 10.000 m<sup>2</sup> (100 x 100 m), que se hundén sucesivamente en una secuencia discreta.
- Panel Caving, que consiste en un hundimiento continuo de áreas o módulos de explotación de dimensiones menores.

Pero como las unidades de explotación o bloques han ido aumentando en dimensiones, debido a la continua disminución de leyes de mineral que obliga a extraer mayores volúmenes de roca, para mantener una producción constante de toneladas de finos, se está llegando a una tercera modalidad de mayores dimensiones:

- Macrobloque: explotación de bloques virtuales de área basal entre 25.000 a 39.000 m<sup>2</sup>, que se hunde sucesivamente en secuencia discreta. Siendo de 2 a 10 veces más grandes que un bloque convencional.

### 2.2.2 Producción

La producción se refiere a la cantidad de toneladas que se extraen de la mina en un periodo de tiempo (por ejemplo toneladas por día o tpd, toneladas por año o tpa), etc. El promedio de producción en Block Caving se encuentra en el rango de 10,000-40,000 toneladas por día (tpd), con las mejores tasas en 77,000-96,000 (tpd) registradas en Freeport's Deep ore zone (DOZ). Últimos reportes después de grandes expansiones hablan de que se ha alcanzado una tasa de producción sostenible de 80,000 tpd de cobre. (Chitombo, 2010)

### 2.2.3 Tasa de extracción

En minas operadas por caving, la tasa de extracción refleja la eficiencia global de la producción de la mina. Por lo que es una barrera a la hora de obtener un mejor rendimiento en la producción. (F. Carrasco, 2013)

Se define la tasa de extracción como la relación entre la tasa de difusión, el porcentaje de tonelaje extraído durante la propagación de una fase y la relación entre la tasa de difusión y el área abierta.

En la Tabla 1 se tienen las tasas de extracción típicas de Block Caving.

**Tabla 1: tasas de propagación típica para Block Caving tradicional, pre-acondicionado (PC) y LHD. (F. Carrasco, 2013)**

Tasa de extracción [tpd/m <sup>2</sup> ]	Base	PC	LHD
Propagación	0.20	0.38	
Régimen			0.7

### 2.2.4 Estados productivos

La forma en que se comporta la extracción de un macrobloque depende de su estado. El estado a su vez depende de la condición en que se encuentra el caving, y por lo tanto es función de la velocidad de extracción.

Los estados son los siguientes:

- Propagación: el caving comienza una vez que se produce la socavación del corte basal, es decir cuando comienza a propagarse, siendo necesaria la extracción del esponjamiento.
- Régimen: una vez que culmina la propagación del caving se alcanza el estado de régimen, donde se alcanza la velocidad de extracción máxima.

- Ramp-down: Producto de la extracción del macrobloque comienza el cierre de zonas productivas, lo que produce una disminución en la velocidad de propagación.

Estos estados dependerán del área abierta, y el porcentaje de extracción de columna. En sí, la definición de los estados se define por las condiciones de operación propias de cada minera, por lo que la definición puede cambiar, siendo posible la consideración de sub estados como por ejemplo, la separación del estado propagación en propagación 1, propagación 2, etc.

### 2.2.5 Desarrollos principales del Block Caving

Los desarrollos pueden dividirse en nivel de producción, de hundimiento, de transporte, de ventilación, de acarreo o traspaso, entre otros; lo que podemos apreciar en la Figura 2.

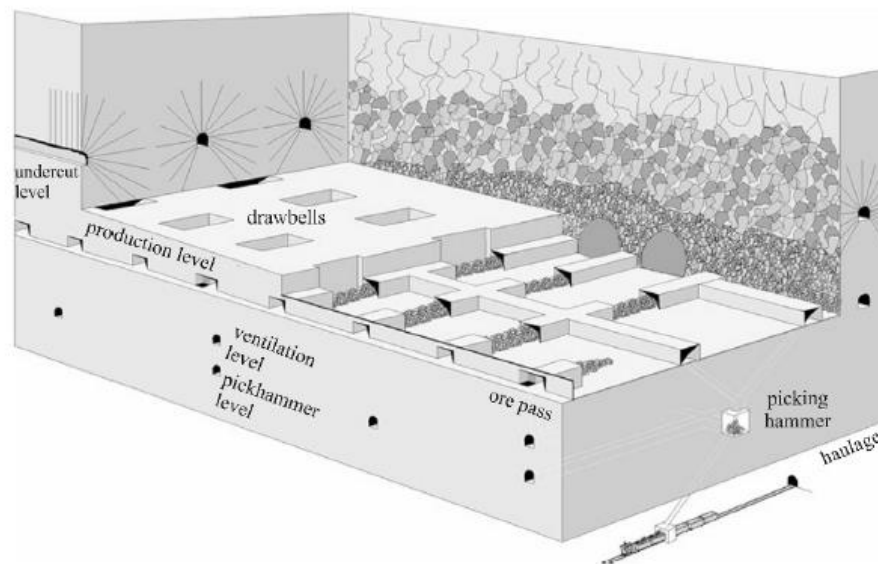
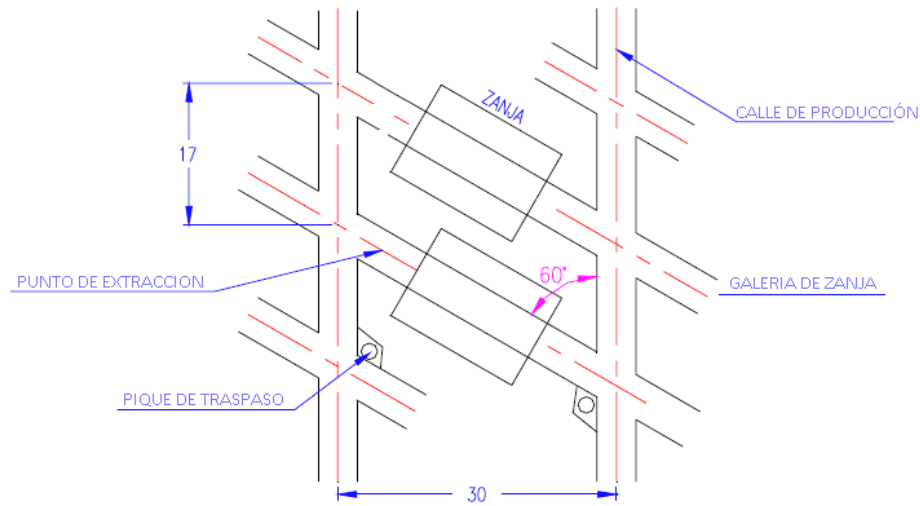


Figura 2: desarrollos en el Block Caving (Hamrin, 2001)

Los niveles más relevantes para el presente estudio son los de producción, hundimiento y los piques de traspaso.

- Nivel de producción: conjunto de galerías donde se realiza la operación de extracción del mineral mediante equipos de carguío que transportan el mineral desde los puntos de extracción a los puntos de descarga. Este nivel es definido por una malla de producción o malla de tiraje, que corresponde a la disposición geométrica de los puntos de extracción por donde se extrae el mineral. En el caso particular de extracción mediante equipos de carguío LHD (equipos de conocido uso en Block Caving), existen diferentes diseños mineros conocidos como El Teniente y Henderson. (Chacon, 198?) (Chitombo, 2010) Para el presente estudio se describe el uso de la malla “El Teniente”, la cual consiste en disponer las estocadas de carguío frente a frente en sentido opuesto, alineadas según una

misma dirección, y con puntos de extracción dobles entendidos en el sentido geométrico. Se conforma de este modo una malla de tiraje triangular no equidistante. (Chacon, 198?)



**Figura 3: malla El Teniente. (Cavieres, 1999)**

En la Figura 3 se tiene el diseño de malla “El Teniente”, donde las galerías de zanja cortan en un ángulo (típicamente de 60 grados, que puede variar dependiendo del diseño de la mina) a las galerías de calle. Además, las galerías de zanja contienen las zanjas, en la figura representadas por zonas rectangulares, donde el mineral se deposita, para luego ser extraído desde cualquiera de sus extremos, denominados como puntos de extracción.

- Nivel de transporte: conjunto de galerías donde llega el mineral desde el nivel de producción. Ahí se carga por intermedio de buzones a un sistema de transporte que lo conduce a la planta de chancado, que puede estar ubicada en superficie, o en el interior de la mina.
- Piques de traspaso: son labores verticales o inclinadas que conectan el nivel de producción con el nivel de transporte.

### **2.3 Incertidumbre en el Block Caving**

Los resultados operacionales pueden variar con respecto a lo planificado, por la ocurrencia de eventos no previstos. Particularmente, el proceso de fragmentación constituye un riesgo fundamental en este tipo de minería, dado que una de las principales perturbaciones del sistema minero es su vulnerabilidad a la aparición de rocas de granulometría tal, que hacen imposible su transporte, y que generan bloqueos en el flujo de mineral a través del sistema (Troncoso, 2009). La no disponibilidad temporal de la infraestructura afecta la productividad del sistema minero. (Troncoso, 2006)

En la Tabla 1 se tiene, a modo de ejemplo, algunos de los eventos que pueden afectar el nivel de producción (puntos de extracción, cruzados de producción, parrillas y piques de traspaso), y el nivel de transporte (Piques de traspaso, buzones y cruzados de transporte).

**Tabla 2: eventos de interferencia más frecuentes para diferentes componentes de infraestructura minera subterránea (Le Faux, 199?).**

<b>Componente</b>	<b>Interferencia</b>
Puntos de extracción	Sobretamaño
	Colgaduras
	Compactación de finos
Cruzados de producción	Cierre para reparación de puntos de extracción
	Daño en carpeta de rodado
	Colapsos
Parrillas	Sobretamaño
	Rotura de parrilla
Piques de traspaso	Colgaduras
	Sobretamaño en parrillas
	Compactación de finos
Buzones	Fallas mecánicas variadas
Cruzados de transporte	Equipos detenidos
	Daño en carpeta de rodado
	Cierre para reparación de buzones

La ejecución de un determinado programa de producción está condicionada por la incertidumbre proveniente de diversas fuentes, entre las que pueden mencionarse:

- Incertidumbre asociada a la disponibilidad de infraestructura productiva (túneles, piques de traspaso, puntos de extracción, etc.).
- Incertidumbre asociada a la disponibilidad de recursos productivos (equipos de producción, de apoyo, insumos en general, etc.).

Debido a la naturaleza determinista de un programa productivo, cuando las condiciones operacionales varían de las consideradas en la generación del plan, por cualquiera de las fuentes de incertidumbre mencionadas anteriormente, la consecución de las metas productivas es incierta.

Sin importar la naturaleza de estas interrupciones, su ocurrencia se comporta de forma aleatoria, e impacta en mayor o menor grado en la productividad del sistema minero, como se observa en la siguiente figura donde se pone en evidencia que a medida que el número de eventos de colgadura y sobretamaño a nivel de puntos de extracción aumenta, la productividad del sistema decrece:

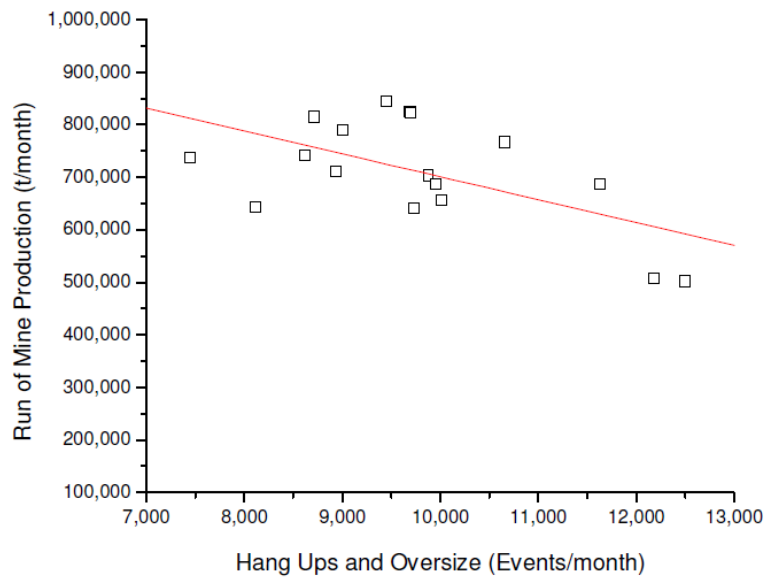


Figura 4: productividad mina en función del número de eventos de colgadura y sobretamaño.

Estos eventos de interferencia son intrínsecos al comportamiento productivo del sistema minero, y debido a que afectan su productividad, deben ser considerados explícitamente en el proceso de planificación.

En la Figura 27 se tiene la comparación entre tonelaje obtenido versus tonelaje planificado, siendo posible observar que entre los meses de enero y marzo la producción obtenida alcanza aproximadamente un 40% de la producción planeada, lo que implica una variabilidad en el proceso.

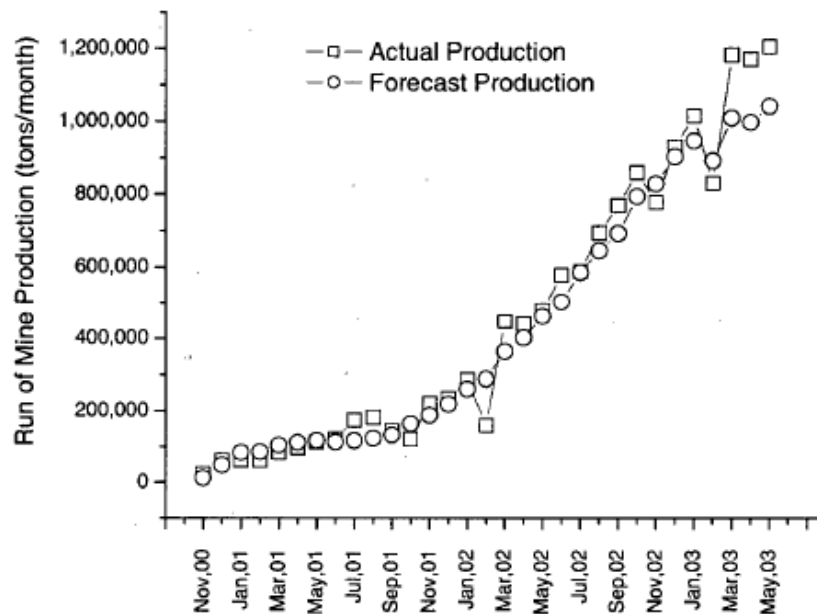


Figura 5: producción obtenida (real) versus el forecast de una operación existente. (Rubio, 2006)



La similitud en el tonelaje de la figura anterior podría ser explicada mediante la Figura 6, ya que al evaluar una reconciliación entre el tonelaje planificado para un punto de extracción, versus el tonelaje obtenido en el corto plazo, permite visualizar que la ocurrencia de un evento que produjo una disminución en la producción (under draw) es compensado mediante la sobre extracción (over draw). Siendo que el mínimo de producción con respecto al tonelaje planificada (under draw), días donde no se extrajo, 0% y el máximo con respecto al tonelaje planificado (over draw) un 300%.

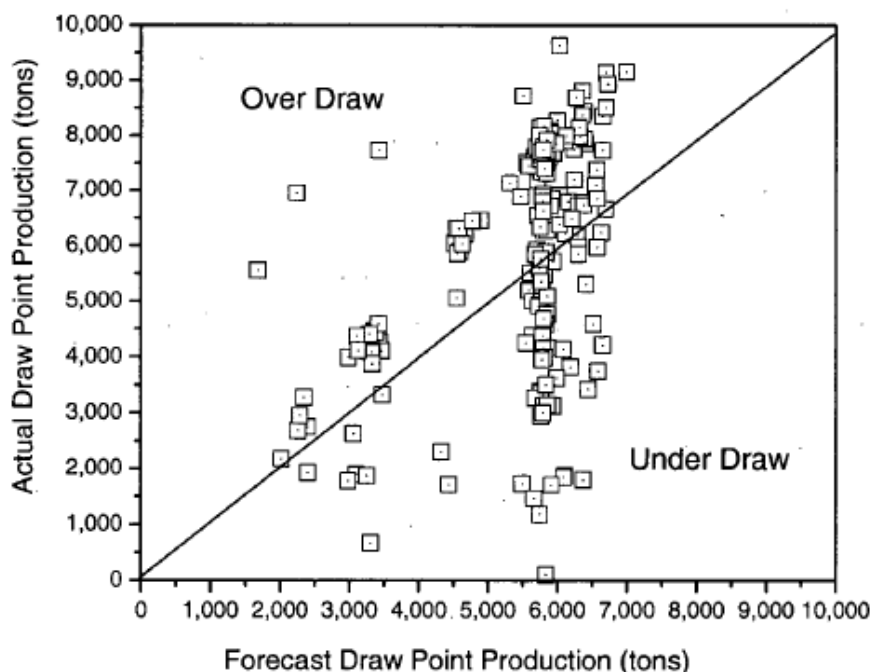


Figura 6: un mes de reconciliación de tonelaje por punto de extracción. (Rubio, 2006)

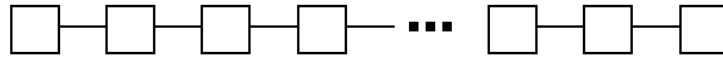
Considerando que en la mina es posible compensar eventos que producen una disminución en el tonelaje planificado, es posible establecer que existen límites que dependen de las capacidades de los equipos, número de equipos, rendimientos, disponibilidades y holgura en el plan de producción; que definirán el máximo a extraer, y las consecuencias en la sobre exigencia de éstos.

## 2.4 Riesgo en la minería de Block Caving

La teoría de selección de portafolio para la creación de una frontera eficiente, utiliza como métrica del riesgo la covarianza cruzada de la volatilidad de acciones del portafolio, la cual indica el grado de variación individual y conjunta de dos acciones. Por lo que, el utilizar la covarianza como forma de riesgo implica designar que existe una relación entre las variables, y ésta tiene sentido lógico.

Según Troncoso (Troncoso, 2009) el riesgo asociado a componentes mineros puede ser determinado dependiendo si estos se encuentran en serie, en paralelo, o una mezcla entre éstos.

Una conexión en serie entre componentes corresponde a la mostrada en la Figura 7.



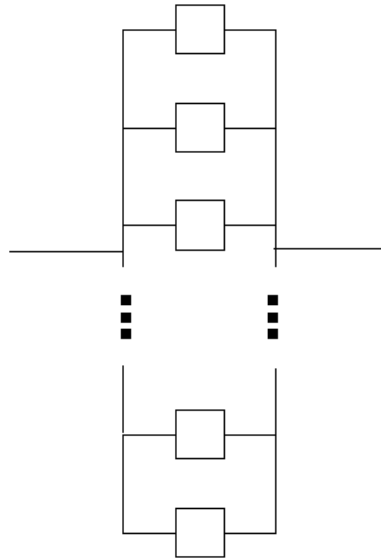
**Figura 7: conexión de componentes en serie. (Troncoso, 2009)**

Conocido el riesgo  $R_i$  de cada una de las componentes, el riesgo del sistema en serie queda determinada por:

$$R^{SIST} = \prod_i R_i$$

Cuando las componentes del sistema están conectadas en serie, el sistema falla si al menos una componente falla.

Una conexión en paralelo entre componentes corresponde a la mostrada en la siguiente Figura 8.



**Figura 8: conexión de componentes en paralelo. (Troncoso, 2009)**

Conocida la confiabilidad  $R_i$  de cada una de las componentes, la confiabilidad del sistema en paralelo queda determinada por:

$$1 - R^{SIST} = \prod_i (1 - R_i)$$

Cuando las componentes del sistema están conectadas en paralelo, el sistema falla cuando todas las componentes fallan al mismo tiempo.

## **2.5 Planificación de la producción**

La planificación minera puede definirse como el proceso de ingeniería de minas mediante el cual el recurso mineral se transforma en el mejor negocio productivo para el dueño (Rubio, 2006). Así, la planificación minera tenderá a maximizar el retorno del negocio minero, integrando las restricciones impuestas por el recurso mineral, el mercado, y el entorno (Troncoso, 2009).

El plan de producción que se utiliza en el presente trabajo corresponde a la planificación estratégica, la cual tiene que ver con aquellos factores que determinan el valor del recurso minero, y cómo estos se relacionan con el mercado respectivo. Por su parte, los horizontes temporales en la planificación se definen como una herramienta para tratar la incertidumbre dentro del proceso minero; de esta manera puede definirse la planificación de largo plazo, la cual define la envolvente económica, el método de explotación, ritmos de extracción, secuencias de explotación, y las leyes de corte.

Una de las principales tareas del proceso de planificación minera es la definición del determinado programa de producción, que cuantifica las tasas de producción del sistema minero en el tiempo, y sustenta el valor económico de un proyecto minero.

La construcción de un programa de producción en una mina de Block Caving se basa en los siguientes parámetros (Rubio, 2001):

- Área en producción máxima: en cada periodo del programa, el área activa máxima es función de la infraestructura y los equipos disponibles, como también de la capacidad de ventilación de la mina.
- Velocidad de extracción: limita el tonelaje que puede extraerse desde un punto de extracción en cada periodo del programa. La velocidad de extracción es función de la fragmentación y la velocidad de propagación del hundimiento.
- Producción objetivo.

## **2.6 Problema de optimización**

Un problema de optimización consiste en maximizar o minimizar una función. Para esto se eligen sistemáticamente valores de una variable de decisión, la cual se encuentra sujeta a restricciones y por lo tanto, define un dominio; para luego ir recalculando el valor de la función. El conjunto de la función, las variables de decisión y las restricciones definen un problema de optimización.

Para esto, el algoritmo comienza de una solución factible conocida como punto inicial. Mediante una dirección, el algoritmo analiza un nuevo punto de la región factible, de tal forma que el valor de la función objetivo mejore, donde se obtiene nueva solución factible mejorada. El proceso continúa hasta que el algoritmo alcanza un punto en el cual no existe una dirección factible para moverse que mejore el valor de la función objetivo.

### 2.6.1 *Software complemento Solver de Microsoft Office*

Solver es una herramienta de Excel que busca el valor óptimo para una celda objetivo, ajustando los valores de las celdas variables sujeto a las restricciones aplicadas, para generar el resultado especificado en la función de la celda objetivo.

Dentro de las restricciones que posee esta herramienta se encuentra el limitado número de variables a optimizar. (Microsoft, 2013)

Para aumentar el número de variables se utiliza la Plataforma Premium de Solver, la cual es una extensión que permite programación lineal, programación entera y programación cuadrática, aumentando el límite de 200 a 2,000. (FrontlineSolvers, 2014)

### 2.6.2 *Algoritmo relacionado a un problema de optimización no lineal*

Debido a la restricción cuadrática que involucra el riesgo en el problema de optimización de la frontera eficiente, el problema es no lineal y debido a que la existencia de variables de decisión enteras, el problema es mixto. Existen una serie de algoritmos que pueden ser utilizados para resolver este tipo de problemas, el que para el presente trabajo será el de gradiente reducido generalizado (GRG) en la versión GRG2.

Al ser un problema no lineal el algoritmo termina cuando no hay posibilidad de mejora el algoritmo finaliza o se llega a un error determinado. En este sentido, es preciso tener en cuenta dos características de las soluciones obtenidas al resolver un programa no lineal:

- El algoritmo puede finalizar en un óptimo local que puede no ser el óptimo global del problema.
- El óptimo local en que finaliza el algoritmo depende del punto inicial.

En general, no se logra determinar si la solución obtenida es un óptimo global como consecuencia, se utiliza más de un punto inicial. El proceso de solución del GRG calcula valores de la primera derivada parcial de la función objetivo y de las restricciones en cada iteración, esta derivada al ser centrales solo considera el punto actual. En problemas cuadráticos, la diferenciación central produce valores de las derivadas exactos, lo cual permite mejorar la exactitud del resultado y reducir el número de iteraciones, aunque éstas tendrán un tiempo de ejecución que puede llegar a duplicar el de diferenciación progresiva.

El GRG realiza asimismo una reducción del problema original a otro sin restricciones resolviendo un sistema de ecuaciones para ciertas variables en términos de variables no básicas. Entonces, se elige una dirección de búsqueda (un vector n-dimensional donde n es el número de variables no básicas) a lo largo de la cual se establece una mejora de la función objetivo. Para esto existen los métodos de Newton o gradiente conjugado las cuales varían en un mayor o menor número de iteraciones requeridas para encontrar la solución y una menor o mayor cantidad de memoria requerida por el software, en el caso de solver, la elección de uno u otro puede cambiar automáticamente en función de la capacidad de almacenamiento disponible. Por último, una vez

elegida la dirección, el algoritmo realiza una búsqueda a través de dicha dirección variando la amplitud del desplazamiento para la mejora del objetivo reducido.

Las estimaciones iniciales de los valores de las variables que experimentan un cambio tienen un impacto significativo sobre la efectividad del método. La alternativa cuadrática extrapola a través de un ajuste cuadrático de dicha función en el punto actual.

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Análisis de datos

De la información disponible correspondiente a un plan de producción, simulación de variabilidad productiva, y parámetros económicos de la mina “M1”; se realiza un análisis de datos que permite sintetizar la información disponible para ser aplicable al caso de estudio.

#### 3.2 Definir y dimensionar el retorno en la minería de Block Caving

El retorno es el objetivo a maximizar dentro del problema de optimización y debe involucrar parámetros influyentes en lo que se refiere a los parámetros de un macrobloque, y su decisión a la hora de escoger entre uno u otro. Estos se definen principalmente por tonelaje, ley de cobre, tonelaje de finos, y ley de cobre en el concentrado; los cuales permiten la evaluación económica mediante ingreso, costo y beneficio (ingreso menos costos), flujo de caja anual y VAN. Al analizar cada variable de forma individual se tienen los siguientes casos:

- Ingreso: no considera costos, ni tampoco la influencia de más de un periodo. Para el ingreso anual se considerara el factor de cobre pagable, como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$I = \left( P_{Cu} \cdot t_{cambio} \cdot \frac{l_{Cu}}{100} \cdot \frac{R_m}{100} \cdot \frac{Cu_{pag}}{100} \right) \cdot T$$

$$P_{Cu} = \text{precio de cobre } [US\$/lb]$$

$$t_{cambio} = 2204.6 [lb/t]$$

$$l_{Cu} = \text{ley de cobre } [\%]$$

$$R_m = \text{recuperación metalúrgica } [\%]$$

$$Cu_{pag} = \text{cobre pagable } [\%]$$

$$T = \text{tonelaje total } [t]$$

- Costo: no considera ingresos, ni tampoco la influencia de más de un periodo. Para los costos anuales se tiene la siguiente ecuación, que considerara el costo mina, planta, refinación y transporte.

$$C = \left( C_M + C_P + \frac{C_{TCRC} \cdot l_{Cu} \cdot R_m}{l_{CuCo}} \right) \cdot T$$

$$C_M = \text{costo mina } [US\$/t]$$

$$C_P = \text{costo planta } [US\$/t]$$

$$C_{TCRC} = \text{costo de transporte y refinación } [US\$/t \text{ concentrado}]$$

$$l_{Cu} = \text{ley de cobre } [\%]$$

$$R_m = \text{recuperación metalúrgica } [\%]$$

$$l_{CuCo} = \text{ley de cobre en el concentrado } [\%]$$

$T = \text{tonelaje total [t]}$

- Beneficio: se calcula como la diferencia entre el ingreso y los costos, como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$B = I - C$$

$B = \text{beneficio [MU\$]}$

$I = \text{ingreso [MUS\$]}$

$C = \text{costo [MU\$]}$

Entonces, la función beneficio queda definida en la siguiente ecuación.

$$B = \left( \left( P_{Cu} \cdot t_{cambio} - \frac{C_{TCRC}}{l_{CuCo}} \right) \cdot \frac{l_{Cu}}{100} \cdot \frac{R_m}{100} \cdot \frac{Cu_{pag}}{100} - (C_M + C_P) \right) \cdot T$$

- VAN: se calcula mediante la siguiente ecuación. Es la opción más adecuada a la hora de considerar un beneficio, flujo de caja e inversión, así como la influencia de los periodos. Es de amplio uso en la evaluación económica de la minería contemporánea.

$$VAN = -Inv + \sum_i^A \frac{B_i}{\left(\frac{t}{100} + 1\right)^i}$$

El VAN por lo tanto, es el que define de mejor forma la métrica de retorno de la frontera eficiente en la minería. Para el presente trabajo se considera utilizar ingresos, costos e inversión variable asociados al tonelaje total (costo mina, costo planta e inversión desarrollos), y tonelaje de concentrado (costo de refinación). Asumiendo un beneficio anual, sin considerar la depreciación de equipos. Para ser reproducible en cualquier país no será afecto a impuestos (IVA y Royalty).

### 3.3 Definir y dimensionar el riesgo en la minería de Block Caving

Los eventos que producen incertidumbre implican un riesgo para la producción planificada de la empresa minera. Esto implica que el riesgo debe ser estudiado, evaluado, y de esta forma, cuantificarse para medir su influencia. Por lo que, para el presente estudio y consideración se manifiestan tres principales opciones con respecto al concepto de riesgo que tiene la empresa:

1. Es conocido para la minera y se encuentra cuantificado.
2. Existe una percepción del riesgo y es evaluarlo mediante una simulación.
3. Es simplificable bajo ciertas consideraciones y conceptos.

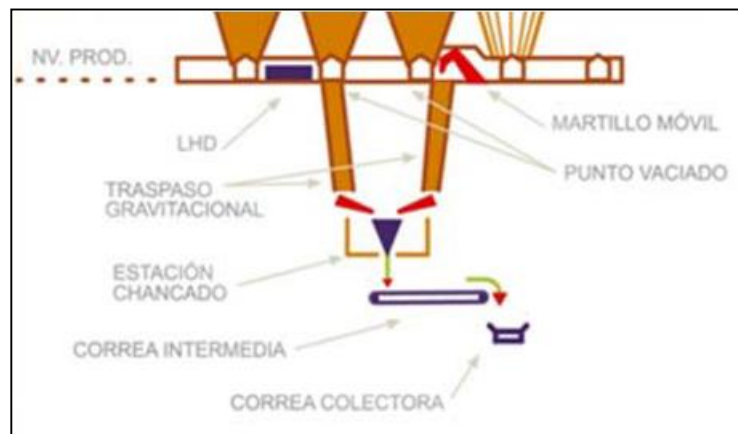
En la primera opción, el riesgo por la minera ya es de tal relevancia, que está siendo o fue cuantificado por los expertos. La segunda opción se refiere al conocimiento por parte de la minera de que existe un riesgo, por lo que se realiza una simulación para analizar la repetitividad de un proceso. Mientras que la tercera opción indica, que mediante conceptos existentes en el proceso es posible establecer que el riesgo existe, y podría ser considerado bajo ciertos supuesto para, en un futuro, poder evaluarse mediante ciertas consideraciones de la mina.

Para el presente estudio el riesgo se subdividirá en dos. La primera parte pretende medir la componente individual de operación de un macrobloque, que debido a la información disponible, se obtiene mediante la simulación de variabilidad de la mina. Mientras que la segunda componente va asociada a la relación negativa, con respecto a la perdida producción, si un macrobloque opera en el mismo año que otro; y por lo tanto, está asociado al manejo de minerales en el nivel de transporte.

### 3.3.1 Riesgo en la producción de un Macrobloque

Es posible modelar el impacto de desviaciones en producción de un macrobloque mediante simulación (cuantificando el riesgo), desde el nivel de producción hasta las correas colectoras, considerando el diseño oficial de la mina “M1” para la ingeniería básica del proyecto, según parámetros con distribución conocidas permite obtener para un mismo día más de un resultado.

El modelo de simulación considera un único macrobloque, el cual está compuesto por cuatro calles de producción, divididas en 2 módulos cada una, teniéndose 8 módulos en total por macrobloque. Cada módulo tiene un número de puntos de extracción definido (espaciados según una malla tipo “El Teniente”) y un punto de descarga, lugar donde se sitúa un martillo de reducción secundaria que trabaja sobre una parrilla. Bajo éste, se tiene un pique de traspaso. Cuatro piques de traspaso (de cuatro módulos diferentes del mismo lado del macrobloque: este u oeste) se conectan con un chancador de mandíbula, por lo que se tienen dos chancadores, uno en el sector Oeste del macrobloque, y otro en el Este. Los chancadores descargan en las correas de sacrificio, las cuales descargan a su vez en la correa intermedia, siguiendo el flujo de material hacia a la correa colectora, lugar donde se registra la producción del sistema. En la Figura 9 se presenta un esquema de la infraestructura del modelo.





**Figura 9: esquema de la infraestructura productiva considerada en el modelo de simulación por macrobloque. Fuente: mina “M1”.**

El macrobloque presenta diferentes estados productivos a lo largo del programa de producción: propagación, régimen, ramp-down. Naturalmente, por construcción, los cambios de estado de un determinado macrobloque son función directa del programa de producción, según:

- Granulometría: que puede ser de propagación o de régimen dependiendo del porcentaje de extracción de columna.
- Área abierta

Los estados productivos pretenden emular el comportamiento de los macrobloques, considerando para cada estado parámetros variables de:

- Granulometría:
  - Tasa de ocurrencia de colgaduras por toneladas.
  - Tasa de ocurrencia de sobretamaño en puntos de extracción y parillas.
- Área activa.
- Filosofía operacional:
  - Flota de LHD.
  - Numero de cuadrillas de reducción secundaria.
  - Estrategia de cierre de módulo según porcentaje de puntos inactivos.

Independientemente del estado que se simule, existen parámetros invariantes, como parámetros LHD (capacidad, tiempos de ciclo, disponibilidad, etc.), Jumbos (tiempo, tiempos de ciclo, disponibilidad, etc.), martillos (tiempos de ciclo, disponibilidad, etc.), chancador (rendimiento, tiempos de ciclo, disponibilidad, etc.) y correas (rendimiento, tiempo de ciclo, disponibilidad, etc.).

Con la información de tonelaje mensual planificado y el área abierta mensual provenientes del plan de producción, se determina en qué estado se encuentra el macrobloque para cada mes, según los criterios en 2.2.4. Una vez definido el estado y conocida la desviación estándar de la velocidad de extracción (que depende de dicho estado) se obtiene la desviación estándar de la producción anual, según la siguiente formula,

$$\begin{aligned} & \text{Desviación de la producción anual del macrobloque } i \text{ [tpa]} \\ & = \sum_{m=1}^{12} 30 \cdot \text{Área Abierta mes } m \text{ [m}^2\text{]} \cdot \text{Velocidad de extracción [t/m}^2\text{/d]} \end{aligned}$$

Para luego esta desviación de la producción ser valorizada con los parámetros económicos propios de la mina “M1” del capítulo 3.2.

### 3.3.2 Riesgo asociado a la interacción entre macrobloques

El riesgo asociado al manejo de minerales que se produce aguas abajo del nivel de producción, en este caso el nivel de transporte, permite relacionar la operación de un macrobloque con respecto a otro. Es decir, operar el macrobloque “MB1” en conjunto con el macrobloque “MB2” podrá influir, de forma negativa, en la producción, mientras que la operación con algún otro podría no interferir.

En base a la malla del nivel de transporte y bajo la consideración de un riesgo medido como la relación de desviación estándar de la producción, se obtiene la siguiente ecuación.

$$R_i = 1 - \text{Riesgo}$$

Según el capítulo 2.3.1, al considerar que  $R_i$  es igual para todas las correas y un diseño del nivel de producción se calcula una serie de riesgo compuesto dependiendo de la ubicación de las unidades de explotación.

Del riesgo que se obtenido, en conjunto con el tonelaje total planificado para cada macrobloque, se obtiene la desviación de tonelaje según la siguiente ecuación.

$$\text{Desviación Estandar del Tonelaje [t]} = \text{Tonelaje Reservas [t]} \cdot \frac{\text{Riesgo [\%]}}{100}$$

Mediante la desviación estándar del tonelaje obtenido, se calcula la desviación del beneficio mediante las formulas del punto 3.1. Luego según como se relacionen dos macrobloques “i” y “j” se obtienen los componentes  $\sigma_{ij}$  como la ponderación de los beneficios individuales según la siguiente ecuación.

$$\sigma_{ij} = \frac{B_i + B_j}{2}$$

$B_i$ =Beneficio del macrobloque “i”.

$B_j$ =Beneficio del macrobloque “j”.

### 3.3.3 Riesgo total

Debido a la división de riesgo en dos componentes se considerara una matriz de covarianza dividida, en que los  $\sigma_{ij}$  corresponden a la interacción entre macrobloques y la diagonal, es decir,  $\sigma_{ii}=\sigma_i$  corresponden a la operación de un macrobloque.

## 3.4 Definir problema de optimización

El problema de optimización tendrá como base que el objetivo a maximizar es el retorno, sujeto restricciones de riesgo que son propias de la teoría de selección de portafolios, tanto el retorno como el riesgo sujetas a condiciones de la minería. Por lo que este punto radica en determinar cómo

interactúan estas con respecto a la variable de decisión y que otras restricciones son necesarias de determinar para un correcto desarrollo del plan de producción.

### **3.5 Definir intervalos de riesgo**

Se modifica el objetivo del problema de optimización para maximizar el riesgo y se eliminan las restricciones asociados a este para obtener  $\sigma_{max}$ . Mediante el resultado obtenido se generan, desde un riesgo nulo, intervalos  $\sigma_{min} - \sigma_{max}$ .

### **3.6 Obtención de sets de macrobloques óptimos**

Para el problema de optimización definido y los intervalos de riesgo asociados, se variara  $\sigma_{min}$  y  $\sigma_{max}$ , de forma de obtener seis intervalos que servirán de restricción a la hora de obtener los sets de planificación de macrobloques óptimos.

### **3.7 Elaborar frontera eficiente**

Mediante los puntos obtenidos de los seis sets de planificación de macrobloques óptimos, se graficara el riesgo, cuantificado con la métrica de desviación del VAN, versus el retorno, con la métrica de VAN.

### **3.8 Validación del modelo**

Mediante la consideración de parámetros diferentes a los la condición de operación de la mina "M1" se debe verificar si las restricciones cumplen el objetivo para el que fueron consideradas.

## 4 ANALISIS DE DATOS

### 4.1 Plan de producción mina “M1”

La información disponible del plan de producción se divide en:

- Periodo: indica el periodo en años y meses.
- Macrobloque: nombre del macrobloque.
- Área [m<sup>2</sup>]: área basal por punto de extracción para todos los puntos de extracción del macrobloque.
- Producción [t]: tonelaje planificado para el punto de extracción para cada punto de extracción, para cada periodo de cada macrobloque.
- Ley de cobre [%]: ley de cobre para cada punto de extracción, para cada periodo de cada macrobloque.
- Recuperación Metalúrgica [%]: recuperación metalúrgica esperada según las propiedades de la roca para cada punto de extracción, para cada macrobloque.

Para la selección de información se consideraron tres criterios. El primero corresponde a información redundante como lo son las “id” o identificación de la información. Mientras que el segundo criterio es información no requerida para los alcances como lo son las calles, cruzados, leyes de molibdeno y arsénico.

#### 4.1.1 Reservas obtenibles

Según los datos seleccionados se obtiene las reservas y datos adicionales, como se aprecia en la Tabla 2. Se tiene área, tonelaje, leyes de cobre, recuperación metalúrgica, ley de cobre en el concentrado, ley de fino de cobre, tonelaje de fino, extracción e inicio para cada macrobloque. A continuación se definen los términos y las unidades de los parámetros antes mencionados.

- Macrobloque: corresponde al nombre del macrobloque. Los macrobloques son MB1, MB2, MB3, MB4, MB5, MB6, MB7, MB8, MB9, MB10, MB11, MB12, MB13, MB14, MB15, MB16, MB17, MB18, MB19 y MB20.
- Área: es el área basal de cada macrobloque, calculada como la suma de las áreas por punto de extracción. Representado en la Tabla 2 como “Área [m<sup>2</sup>]”, en metros cuadrados.
- Tonelaje: tonelaje total de reservas por macrobloque, calculada como la suma de los tonelajes por punto de extracción. Representado en la Tabla 2 como “Tonelaje [Mt]”, en megatoneladas.
- Ley de cobre: ley de mineral de cobre por macrobloque, calculada como el promedio ponderado por el tonelaje de finos de cobre por punto de extracción. Representado en la Tabla 2 por “Cu [%]”, en porcentaje.

- Recuperación: recuperación metalúrgica del cobre por macrobloque, calculada como el promedio ponderado por tonelaje de finos por punto de extracción. Representado en la Tabla 2 como “Rm [%]”, en porcentaje.
- Ley de cobre en el concentrado: ley de cobre en el concentrado. Representado en la Tabla 2 como “Cuco [%]”, en porcentaje.
- Finos de cobre: tonelaje de finos de cobre calculado con el tonelaje, ley de cobre y recuperación metalúrgica, mediante la fórmula de la siguiente ecuación. Representado en la Tabla 2 como “Fino Cu [kt]”, en kilo toneladas.

$$\text{Finos de Cu [kt]} = \text{Tonelaje [Mt]} \cdot \frac{\text{Cu [\%]}}{100} \cdot \frac{\text{Rm [\%]}}{100} \cdot 10^3$$

- Extracción: tiempo que considera el plan de producción para la extracción del macrobloque, representado en la Tabla 2 como “Extracción [Años]”, en años.
- Inicio: año en que comienza la extracción del macrobloque.

**Tabla 3: reservas por macrobloque obtenidas del plan de producción mina "M1".**

Macrobloque	Área [m2]	Tonelaje [Mt]	Cu [%]	Rm [%]	Cuco [%]	Fino Cu [kt]	Extracción [Años]	Inicio
MB1	30,736	19.1	0.67	88.1	32.0	112.4	5.0	A10
MB2	36,720	26.8	0.73	87.3	29.8	171.4	6.0	A09
MB3	30,464	13.0	0.74	87.9	31.9	84.9	3.7	A08
MB4	38,896	28.2	0.86	88.2	29.5	213.5	6.0	A07
MB5	30,464	16.0	0.69	87.9	32.0	97.0	7.7	A02
MB6	39,168	27.7	0.89	88.0	29.6	217.5	5.7	A06
MB7	28,016	14.5	0.75	88.1	32.5	96.1	7.4	A01
MB8	38,352	27.4	1.01	87.6	29.3	241.3	5.7	A05
MB9	37,232	27.8	1.02	87.4	29.3	247.9	5.5	A04
MB10	36,512	22.4	1.14	88.9	29.4	227.7	4.8	A03
MB11	36,081	21.4	1.13	89.2	29.7	214.9	5.0	A01
MB12	37,696	21.5	1.14	88.8	30.0	218.1	5.0	A01
MB13	37,232	23.3	1.13	88.9	30.5	233.2	5.0	A03
MB14	38,192	28.4	0.94	88.2	30.4	235.4	5.6	A04
MB15	35,792	25.5	0.82	88.1	30.4	184.7	5.7	A05
MB16	33,872	27.1	0.74	87.8	30.1	176.4	5.7	A06
MB17	32,192	25.6	0.75	87.4	30.1	166.7	6.0	A07
MB18	36,032	26.6	0.84	87.5	30.1	195.9	6.0	A08
MB19	31,200	25.2	0.83	87.8	30.3	184.5	6.0	A09
MB20	24,496	16.4	0.73	88.2	30.2	105.7	6.0	A10

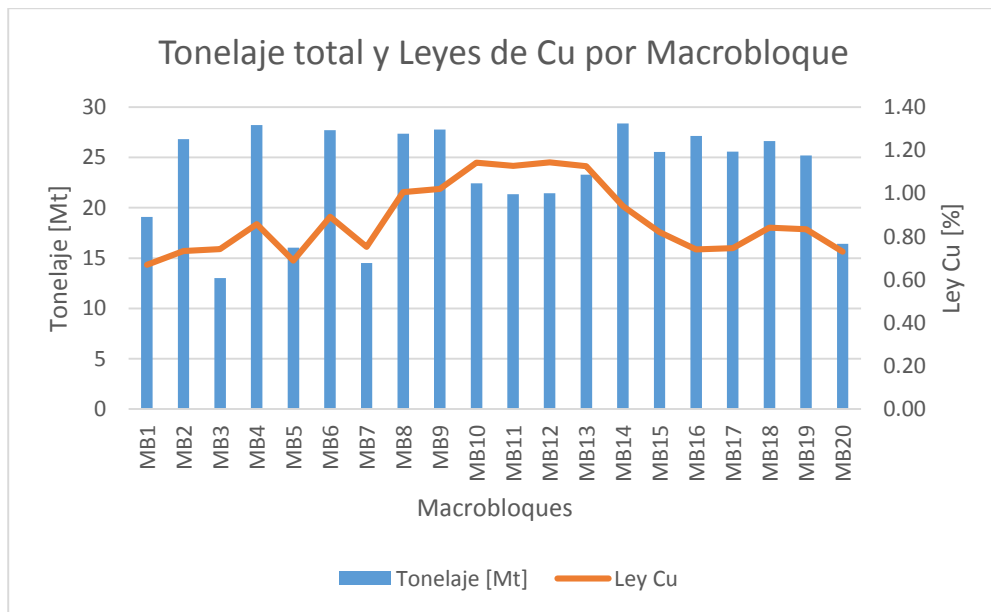
Según los datos de la Tabla 2 se desprende que los macrobloques presentan un área basal de entre 24,496 a 39,168  $m^2$ , con un tonelaje entre 13 a 28.4 Mt, ley de cobre hasta 1.14 % con un tiempo de 4.8 a 7.7 años para su extracción.

En la Tabla 3 se tienen las estadísticas descriptivas para cada macrobloque, donde resalta el hecho de que la ley de cobre máxima es del orden de 1.1%, con una recuperación metalúrgica máxima del 89%.

**Tabla 4: estadística descriptiva de las reservas del plan de producción de la mina "M1".**

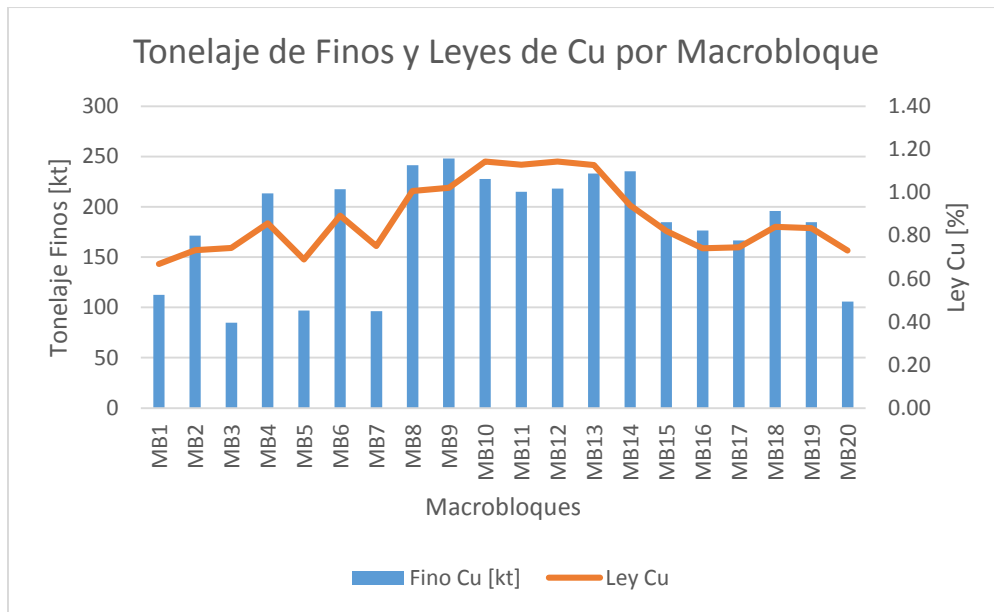
	Área [m <sup>2</sup> ]	Tonelaje [Mt]	Cu [%]	Rm [%]	Cuco [%]	Fino Cu [kt]	Periodo [Años]
Media	34,467	23.2	0.9	88.1	30.3	181	5.7
Mediana	36,057	25.4	0.8	88.0	30.2	190	5.7
Desviación estándar	4,076	5.0	0.2	0.5	0.8	54	0.9
Mínimo	24,496	13.0	0.7	87.3	29.4	85	3.7
Máximo	39,168	28.4	1.1	89.2	32.3	248	7.7

En el gráfico de la Figura 8 se desprende que los macrobloques con mayor tonelaje son MB2, MB4, MB6, MB8, MB9, MB14 y MB16, mientras que los con mayor ley son MB10, MB11, MB12 y MB13.



**Figura 10: gráfico del tonelaje de reservas y leyes de cobre por macrobloque.**

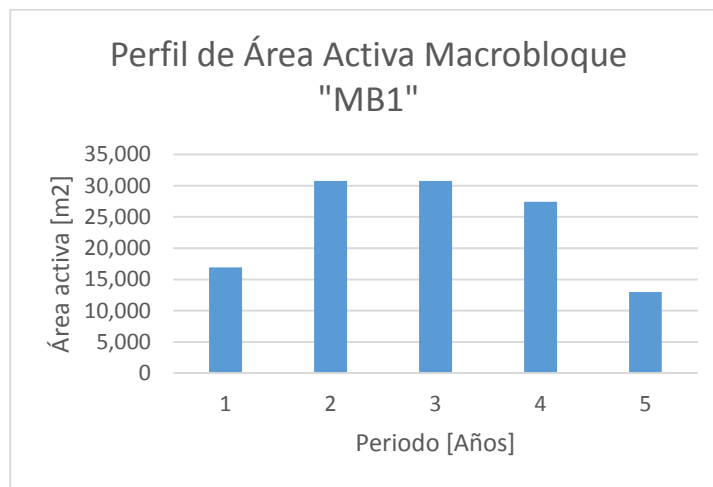
En el gráfico de la Figura 9 se desprende que los macrobloques con mayor tonelaje de finos de cobre son MB4, MB6, MB8, MB9, MB10 y MB13.



**Figura 11: gráfico del tonelaje de finos y leyes de cobre por macrobloque.**

#### 4.1.2 Perfil de área abierta

Del plan de producción se obtiene el área abierta planificada, que dependiendo de las tasas de extracción producen el plan de producción. De esta manera es posible separar por macrobloque el área abierta considerada por año.



**Figura 12: perfil de área activa del macrobloque "MB1".**

De la Figura 10 se observa que el área activa permite identificar los estados en que se encuentra el macrobloque. Comenzando desde un estado de propagación en el año 1 para pasar a un estado de régimen durante los años 2 y 3, terminando con un estado de ramp-down debido al cierre de área durante los años 4 y 5 donde culmina la explotación del macrobloque.

### 4.1.3 Plan de producción

Considerando la información disponible se obtiene el plan de producción anual separada por macrobloque de la mina “M1” en los anexos 11.5.

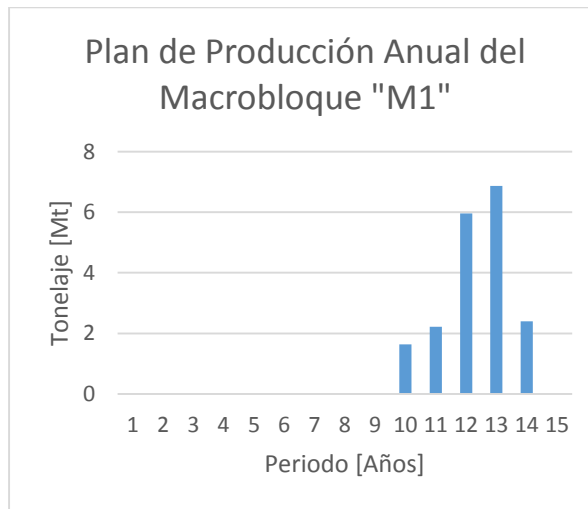


Figura 13: plan de producción anual para el macrobloque "MB1".

En la Figura 11, a modo de ejemplo, se tiene el plan de producción anual del macrobloque “MB1”. Es posible observar que su extracción comienza con un tonelaje menor, para luego ir en aumento hasta alcanzar un máximo para luego ir disminuyendo. Esta es una forma bien definida, la cual representa los estados productivos. La primera etapa, propagación, corresponde a los años 10 y 11, hasta alcanzar un estado de régimen en los años 12 y 13, para luego llegar a un estado de ramp-down en el año 14.

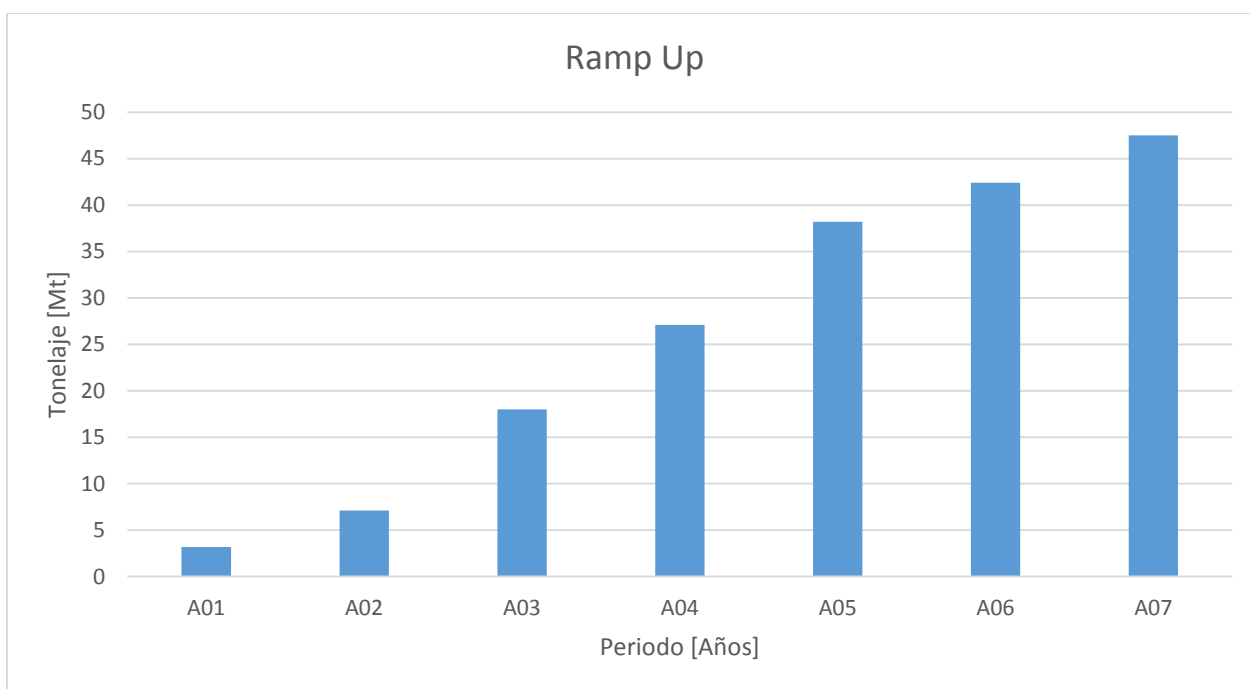
Un aspecto que relevante es que al observar las figuras denota que ninguno de los macrobloques ve interrumpida su extracción desde que esta comienza.

### 4.1.4 Ramp Up

El ramp up corresponde al periodo en que comienza la extracción de la mina desde el año 1 hasta alcanzar la producción establecida para la mina o periodo de régimen. Esta suele considerarse más de un año y considerarse como un porcentaje de menor producción producido por capacidades de la planta, capacidades de desarrollo u otros.

En la Figura 14 es posible identificar las tres etapas de explotación de la mina ramp-up, régimen y ramp-down. Por lo tanto, los primeros años del plan de producción de la mina “M1” serán la restricción del ramp-up aplicado al caso de estudio.





**Figura 14: ramp up obtenido del plan de producción.**

En la Figura 12 se tiene que el régimen se alcanza en el año A07 (producción máxima), por lo que el ramp up comienza en el año A01 con un 7% de la producción en régimen hasta el año A06 con un 89% de la producción en régimen.

#### 4.1.5 Parámetros económicos mina “M1”

De la mina “M1” se disponen los siguientes parámetros económicos:

- Costo Mina: costo asociado a la explotación y transporte del mineral.
- Costo Planta Concentradora: costo asociado al tratamiento del mineral en la planta concentradora.
- Inversión de Desarrollo: inversión asociada a los desarrollos requeridos para la extracción de un macrobloque dependiendo de su área. Esta inversión, debido a la velocidad de desarrollo, se realiza el año anterior a modo que cuando inicia la explotación del macrobloque los desarrollos ya se encuentran finalizados.
- TC: costo de refinación y tratamiento de concentrado.
- Precio del Cobre: precio estimado para el cobre utilizado para la evaluación minera. Este precio como bien se aprecia en la tabla X corresponde a una estimación conservadora si se analiza con respecto al precio histórico.

**Tabla 5: precio histórico del cobre para los años 2012, 2013 y 2014 hasta la fecha. Fuente: COCHILCO.**

Periodo [Años]	Precio del Cobre [US\$]
----------------	-------------------------

2012	3.6
2013	3.3
ENE-JUL 2014	3.1

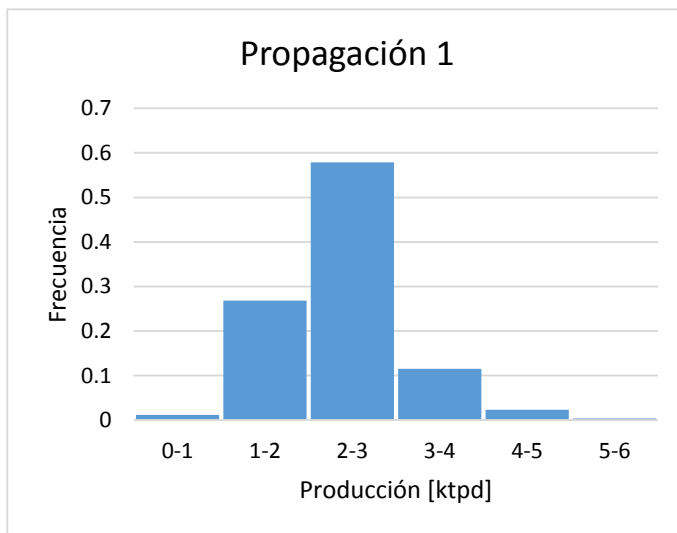
En la Tabla 5 se tienen los parámetros correspondientes a los antes mencionados.

**Tabla 6. Parámetros técnico-económicos para evaluación económica.**

Parámetro	Unidad	Valor
Costo Mina	US\$/t	4.9
Costo Planta Concentradora	US\$/t	7.9
Inversión de Desarrollo	US\$/m <sup>2</sup>	1,631
TC	US\$/t concentrado	130
Precio del Cobre	US\$/lb	2.9

#### 4.2 Simulación de la variabilidad productiva de macrobloques

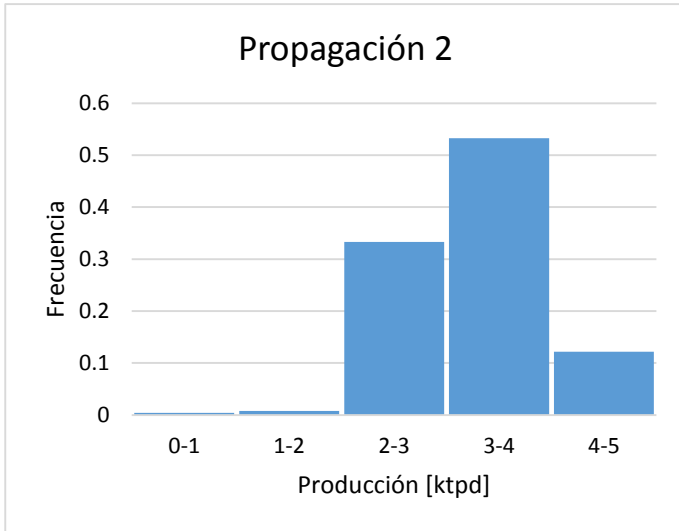
De la información disponible de los resultados de la simulación de la variabilidad productiva de macrobloques se tienen los histogramas de la Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16.



**Tabla 7: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo propagación 1.**

	Propagación 1
Mínimo [ktpd]	0.7
Máximo [ktpd]	6.0
Media [ktpd]	2.4
Desviación estándar [ktpd]	0.7
N	261

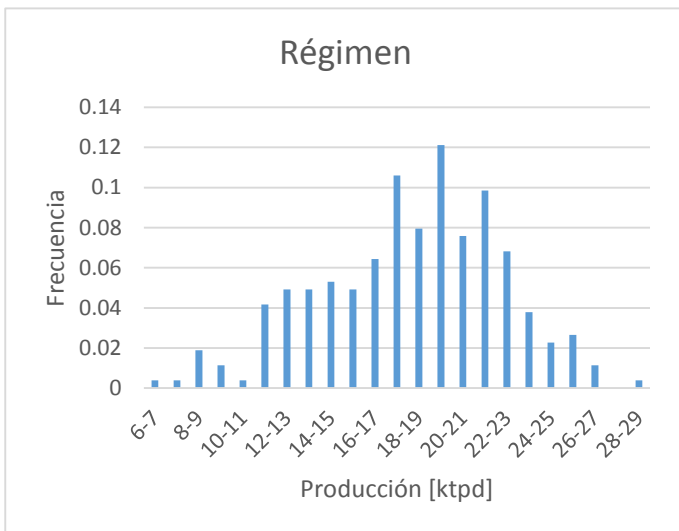
Figura 15: histograma de la simulación del estado productivo Propagación 1.



**Figura 16:** histograma de la simulación del estado productivo Propagación 2.

**Tabla 8:** estadísticas básicas de la simulación del estado productivo propagación 2.

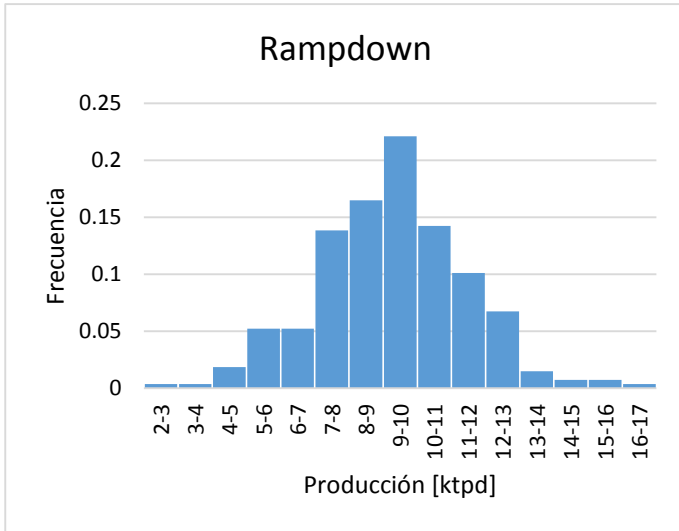
	Propagación 2
Mínimo [ktpd]	0.9
Máximo [ktpd]	4.8
Media [ktpd]	3.3
Desviación estándar [ktpd]	0.6
N	246



**Figura 17:** histograma de la simulación del estado productivo Régimen.

**Tabla 9:** estadísticas básicas de la simulación del estado productivo régimen.

	Régimen
Mínimo [ktpd]	6.2
Máximo [ktpd]	28.3
Media [ktpd]	18.2
Desviación estándar [ktpd]	4.1
N	264



**Tabla 10: estadísticas básicas de la simulación del estado productivo ramp-down.**

	Rampdown
Mínimo [ktpd)	2.7
Máximo [ktpd)	16.4
Media [ktpd)	9.3
Desviación estándar [ktpd)	2.2
N	267

**Figura 18: histograma de la simulación del estado productivo ramp-down.**

Del histograma de la Figura 15 es posible observar que la mayor productividad se alcanza para el estado de régimen al igual que el con mayor variabilidad. A su vez, el estado Ramp-down, presenta una productividad intermedia, que está acotada por el área disponible, pues en términos granulométricos y disponibilidad de equipos, las condiciones de simulación son las mismas que para el estado de Régimen.

Los estados propagación 1 y propagación 2 tienen asociada una menor productividad y a su vez una menor variabilidad. Si se considera el hecho de que el área disponible para simular el estado de Propagación 2 es el doble que el estado Propagación 1, la poca diferencia en productividad debe asociarse a la filosofía operacional.

### 4.3 Datos históricos de los niveles de producción y transporte de la mina “M2”

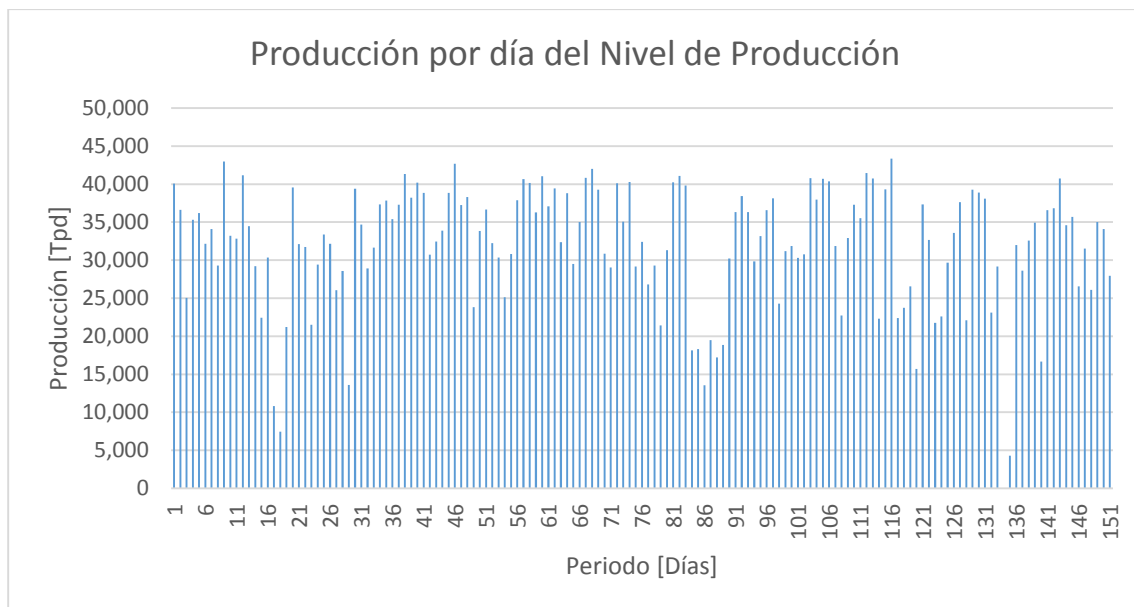
Se tiene como información disponible datos históricos de la mina “M2”, la cual se explota mediante minería subterránea con el método de Block Caving, específicamente con unidad de explotación de macrobloques. Los datos corresponden a la producción por día del nivel de producción y transporte, de un periodo de 5 meses.

La mina “M2” cuenta con condiciones de operación similares a los de la mina “M1”, pero presenta dimensiones tanto para el nivel de producción y transporte, por lo que es necesario establecer dimensiones en común, que permitan una comparación realista.

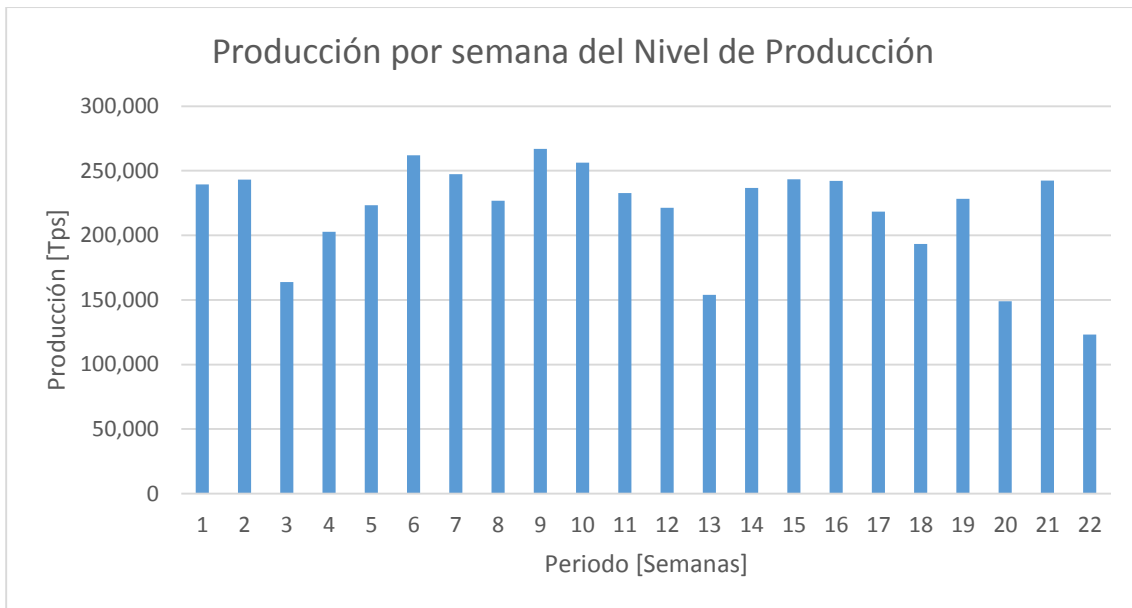
#### 4.3.1 Datos del nivel de producción

EL nivel de producción corresponde a una malla tipo teniente con dimensiones 13x15 m. en algunas zonas y 13x16 m. en otras. Que cuenta con 26 calles y 72 galerías de zanja, de forma aproximada, que conforman un total de 456 puntos de extracción y 29 puntos de vaciado. Donde los equipos de carguío o LHD transportan el tonelaje desde el punto de extracción hasta el punto de vaciado. Esta información es registrada por turno para cada día.

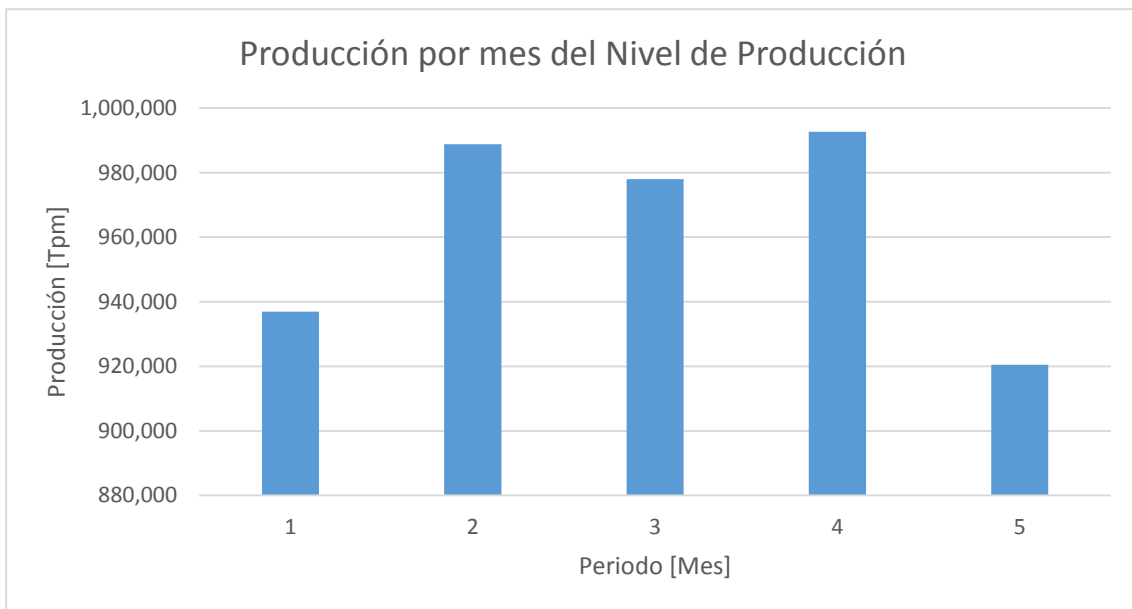
A modo de resumen, se tiene la *Figura 17*, *Figura 18* y *Figura 19* donde se aprecia la producción por día, semana y mes respectivamente, de los 5 meses de los datos históricos para el nivel de producción.



**Figura 19: producción por día datos históricos para el nivel de producción.**

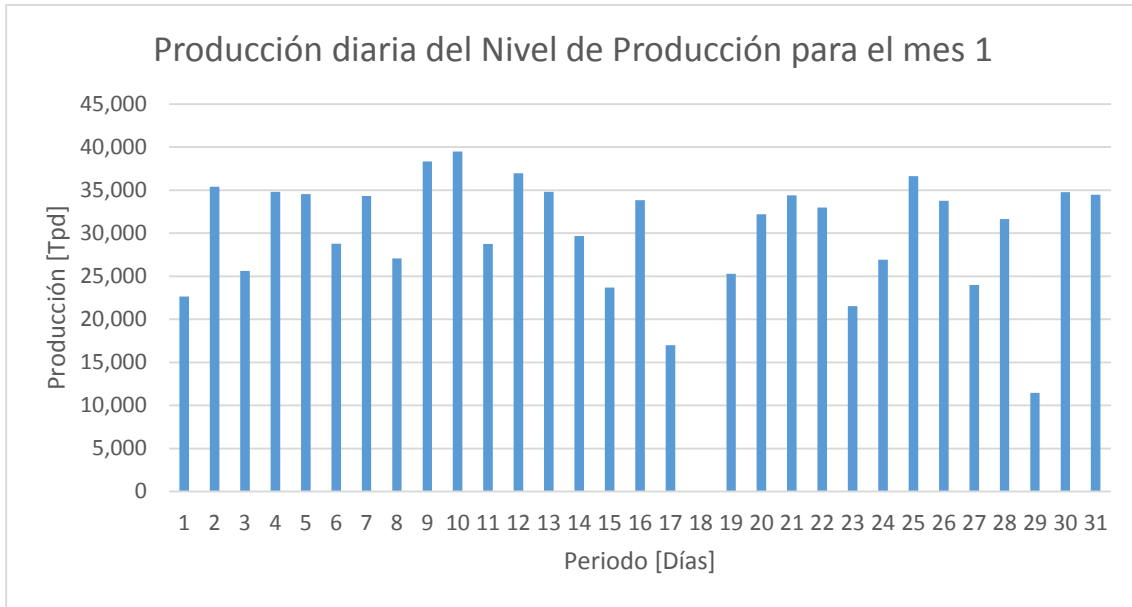


**Figura 20: producción por semana datos históricos para el nivel de producción.**



**Figura 21: producción por mes datos históricos para el nivel de producción.**

Debido a las dimensiones del diseño utilizado por la Mina 2 es necesario considerar dimensiones aproximadamente similares a lo que corresponde una unidad de explotación en el presente estudio. Con este motivo, mediante la información correspondiente al modelo de simulación se tiene como objetivo obtener una zona lo más similar a 4 calles y 20 zanjas que se dividen en 8 módulos con un pique de vaciado en cada uno, que además contenga una producción regular a lo largo de los 5 meses de información histórica. Esto permite realizar comparaciones más realistas ya que son similares las condiciones de operación.



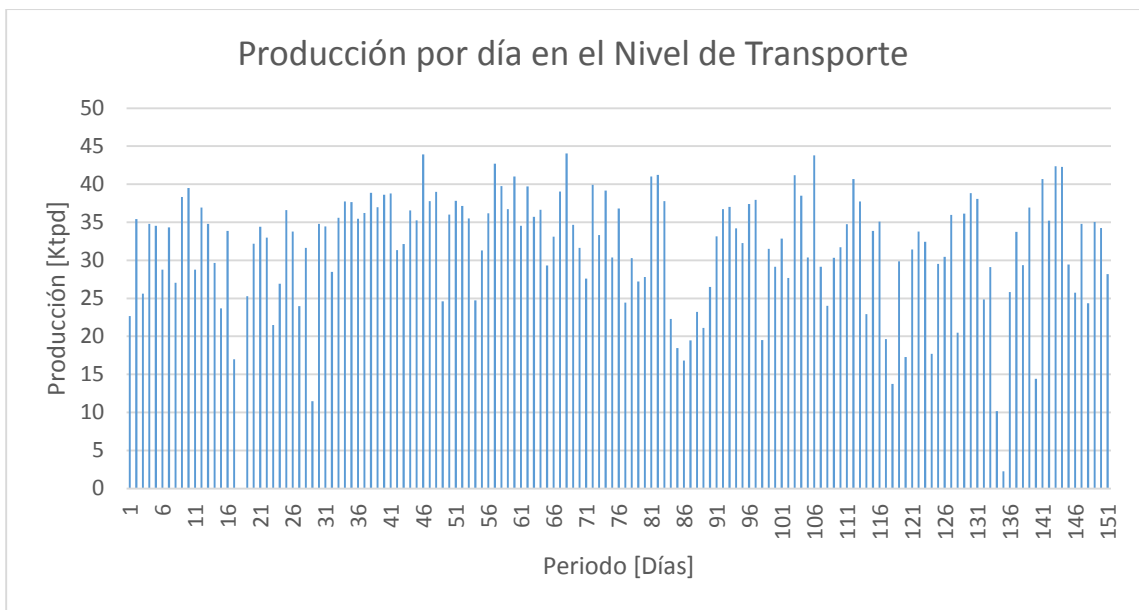
**Figura 22: producción por día para por día para el mes 1 de la malla seleccionada.**

Al observar la Figura 20 se aprecia que la producción máxima se alcanza en el día 10, mientras que la producción mínima, sin considerar el día 18 (producción nula), se alcanza en el día 29. Si bien el tonelaje por día debería mantenerse relativamente constante, este presenta una variación que puede deberse a varias razones debido a eventos en los equipos, desarrollos, etc. u otras razones que generan incertidumbre en el plan de producción.

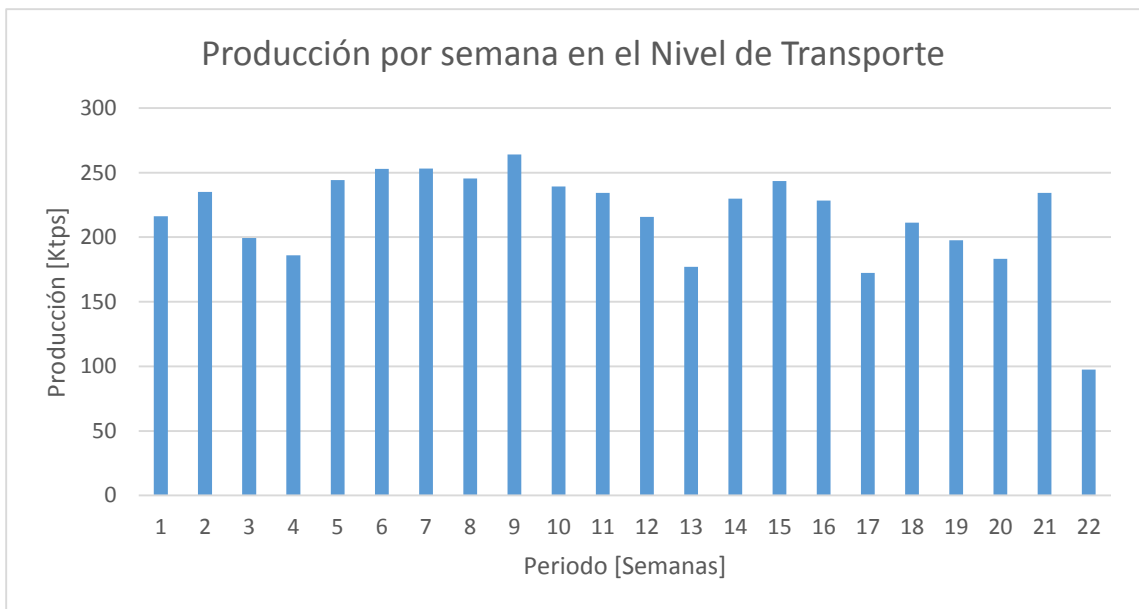
#### 4.3.2 Datos del nivel de transporte

El nivel de transporte corresponde a las galerías que se encuentran en un nivel más profundo al de producción. Donde los equipos de carguío transportan el mineral desde de mineral desde los buzones o piques de traspaso hasta la salida de la mina. Para la mina “M2” los equipos corresponde a correas transportadoras cuya información registra el tonelaje transportado para cada día durante los 5 meses registrados.

De forma análoga al nivel de transporte, se tiene a modo de resumen las Figura 21, Figura 22 y Figura 23Figura 17 donde se aprecia la producción por día, semana y mes, respectivamente, de los 5 meses de los datos históricos para el nivel de transporte.

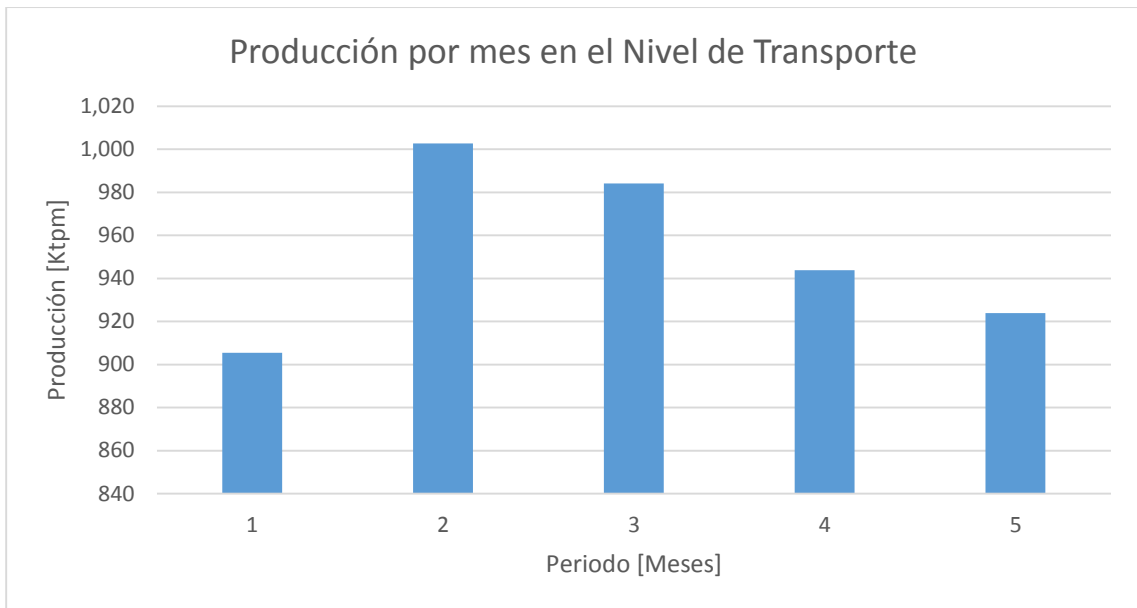


**Figura 23: producción por día datos históricos para el nivel de transporte.**



**Figura 24: producción por semana datos históricos para el nivel de transporte.**





**Figura 25: producción por mes datos históricos para el nivel de transporte.**

Para el nivel de transporte no es necesario homologar las dimensiones pues se requiere el tonelaje correspondiente a todo el nivel.

## 5 FRONTERA EFICIENTE EN LA MINERÍA

### 5.1 Riesgo asociado a la unidad de explotación

#### 5.1.1 Riesgo en el nivel de producción

Con el objetivo de cuantificar el posible riesgo en el nivel de producción se dispone de los datos históricos de la mina "M2" que a modo de analizar la repetitividad de una producción se pretende analizar cuanta variabilidad tiene asociada.

De los datos históricos del nivel de producción de la mina "M2" para el sector seleccionado en 4.3.1 se tiene la Figura 24 de donde se desprende que al existir un mínimo de producción implica que la existencia de eventos que se producen en el nivel de producción produce algún tipo de variabilidad asociada a algún tipo de incertidumbre.

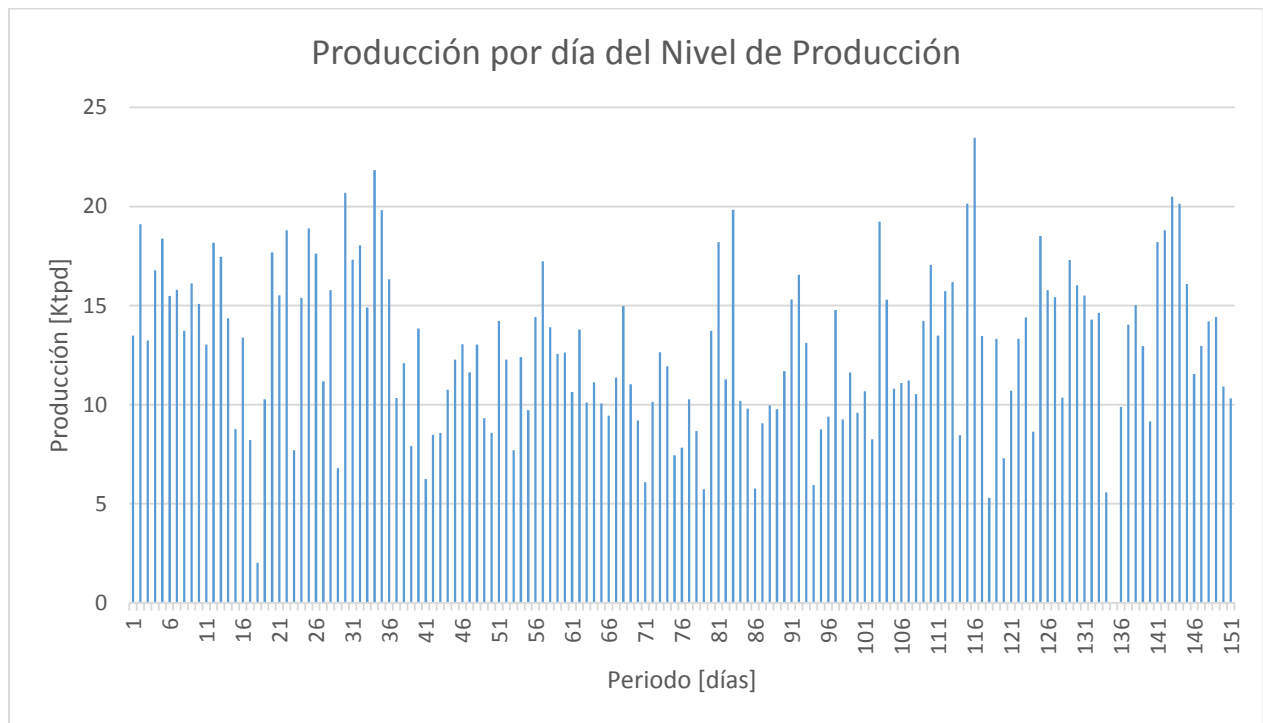


Figura 26: producción por día para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.

Si se basa como criterio la relación de desviación estándar y promedio de la producción según la siguiente ecuación, se tiene como resultado la Tabla 10. Donde se obtiene una relación de desviación del 32%.

$$\text{Relación desviación [\%]} = \frac{\text{Desviación Estandar [tpd]}}{\text{Promedio [tpd]}} \cdot 100$$

Tabla 11: estadística y relación de la desviación de la producción por día del nivel de producción de la mina "M2".  
Elaboración propia.

Mínimo [Ktpd]	2.0
Máximo [Ktpd]	23.5
Promedio [Ktpd]	12.8
Desviación Estándar [Ktpd]	4.1
Relación Desviación [%]	32%

Pero la producción diaria puede representar directamente el plan diario para la mina “M2” siendo entonces la representación de la planificación con una desviación con respecto al plan nulo. De esta forma se analiza en la Figura 25 que la variabilidad continua alcanzando un mínimo en la semana 22 y un máximo en el semana 5 pero en la Tabla 1 se obtiene que la relación de la desviación estándar se ha absorbido hasta alcanzar un 20%, es decir ha disminuido posiblemente por eventos planificados de forma semanal que se repiten en el tiempo.

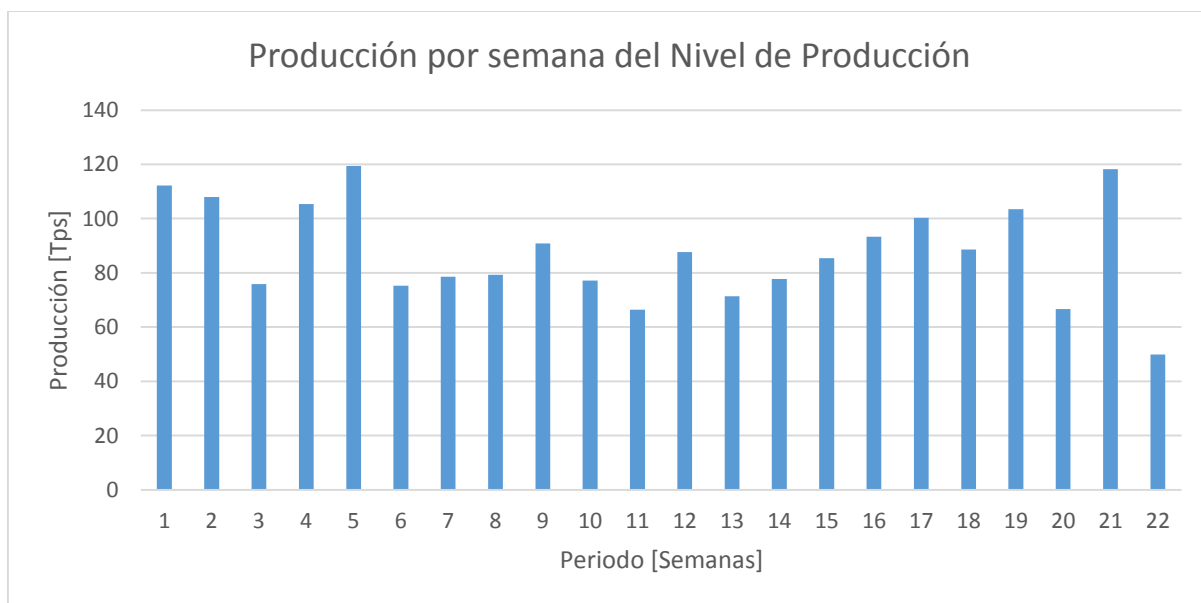
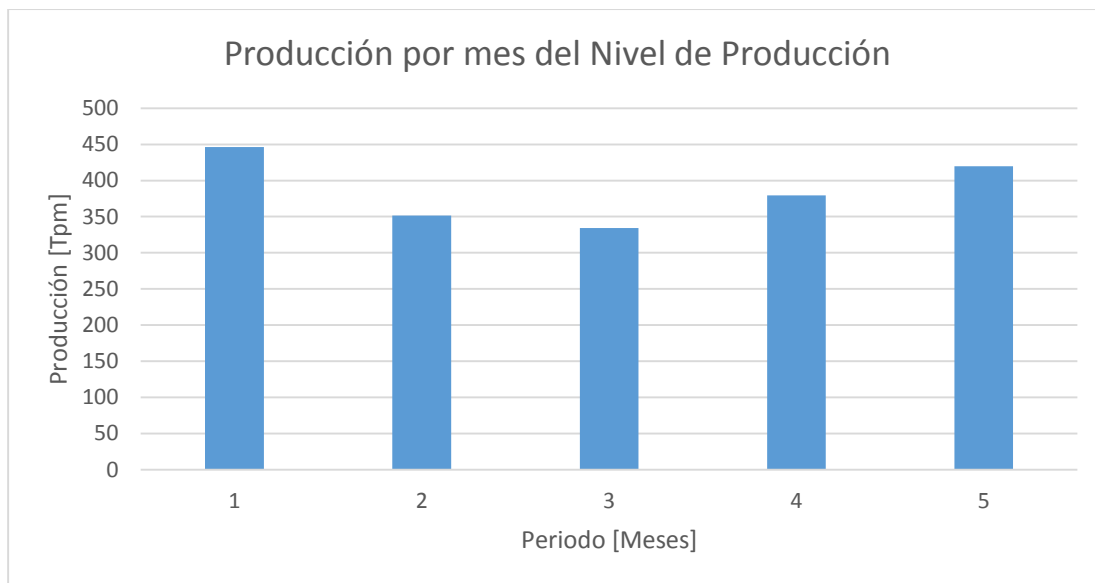


Figura 27: producción semanal para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.

Tabla 12: estadística y relación de la desviación de la producción semanal del nivel de producción de la mina "M2". Elaboración propia.

Mínimo [Ktps]	49.9
Máximo [Ktps]	119.4
Promedio [Ktps]	87.8
Desviación Estándar [Ktps]	17.8
Relación Desviación [%]	20%

De la misma forma se tiene la Figura 25 donde la variabilidad continúa con una producción mínima en el mes 3 y un máximo en el mes 1 donde en la Tabla 12 se obtiene que la relación de desviación estándar se ha absorbido hasta alcanzar un 11%, es decir posiblemente ha disminuido por eventos planificados de forma mensual que se repiten en el tiempo.



**Figura 28:** producción mensual para el sector seleccionado de los datos de la mina "M2". Elaboración propia.

**Tabla 13:** estadística y relación de la desviación de la producción mensual del nivel de producción de la mina "M2".  
Elaboración propia.

Mínimo [Ktpm]	334.4
Máximo [Ktpm]	446.3
Promedio [Ktpm]	386.3
Desviación Estándar [Ktpm]	41.6
Relación Desviación [%]	11%

La relación de desviación ha ido disminuyendo mientras nos acercamos al largo plazo. Pero no necesariamente radica en algún tipo de planificación de producción a corto plazo o la posibilidad de eventos planificados que se van repitiendo.

Considerando que el objetivo del plan es evitar el uso de esta metodología, mediante el uso de:

- Plan de producción.
- Simulación de la variabilidad productiva.

### 5.1.2 Riesgo en el nivel de transporte

Suponiendo que la capacidad de la correa de transporte es suficiente para el transporte de mineral asociado a los macrobloques que descarguen en ella y que el riesgo asociado a la interferencia del nivel de producción al de transporte es casi nulo o se encuentra completamente planificado, se pretende evaluar el riesgo asociado.

De forma análoga a 5.1.1 se obtiene la planificación mensual para el nivel de transporte en la Tabla 13, en donde se alcanza la menor relación de desviación, siendo esta absorbida en el largo plazo, que será considerado como un riesgo conservador.

**Tabla 14: estadística y relación de la desviación de la producción mensual del nivel de transporte de la mina "M2".  
Elaboración propia.**

Mínimo [Ktpm]	905,488
Máximo [Ktpm]	1,002,761
Promedio [Ktpm]	952,016
Desviación Estándar [Ktpm]	36,419
Relación Desviación [%]	4%

## 5.2 Problema de optimización

### 5.2.1 Parámetros del problema de optimización

Los parámetros asociados al problema de optimización de la frontera eficiente en la minería se pueden dividir en económicos, que permiten la evaluación del VAN, los parámetros asociados a las condiciones de operación y los de las reservas de los macrobloques.

Los parámetros asociados a la operación y reservas de macrobloques son:

- Numero de macrobloques “M”: indica el número de macrobloques que considera el plan de producción de la mina en estudio. Esto indica que se deben conocer las reservas asociadas a cada uno. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$M = \text{número de macrobloques}$$

- Máximo de macrobloques desarrollables “MP”: número máximo de macrobloques que se pueden desarrollar en un año debido a las condiciones operacionales. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$MP = \text{máximo de macrobloques desarrollables en un año}$$

- Máximo de macrobloques que pueden operar de forma simultánea en un año “MO”: número máximo de macrobloques que pueden operar en un año, de forma simultánea, debido a las condiciones operacionales. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación

$$MO = \text{máximo de macrobloques operativos en un año}$$

- Máximo de macrobloques operativos en un periodo “MT”: número máximo de macrobloques que se pueden operar en un periodo. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación

$$MT = \text{máximo de macrobloques operativos en un periodo}$$

- Periodo “A”: indica el periodo que se va a evaluar para el plan de producción. En años. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$A = \text{años del periodo a evaluar}$

- Años operativos por macrobloque " $P_i$ ": indica el número de años máximo que puede estar en operación el macrobloque " $i$ " según el plan de producción. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$P_i = \text{periodo operativo del macrobloque } i$$

- Años operativos por macrobloque " $AC_i$ ": indica el año que puede comenzar la operación el macrobloque " $i$ ". El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$AC_i = \text{año en que puede comenzar la extracción el macrobloque } i$$

- Plan de producción " $Plan_i$ ": plan de producción del macrobloque " $i$ " para el año " $a$ " si comienza el año " $j$ ". El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.  $(\forall i 1, \dots, M)(\forall a 0, \dots, A)(\forall j 0, \dots, A)$

$$Plan_{i,a,j} = \text{Plan de producción del macrobloque } i$$

- Desviación del plan de producción " $dPlan_i$ ": desviación del plan de producción del macrobloque " $i$ "  $(\forall i 1, \dots, M)$  para el año " $a$ "  $(\forall a 0, \dots, A)$  si comienza el año " $j$ "  $(\forall j 0, \dots, A)$ . El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$dPlan_{i,a,j} = \text{desviación del plan de producción del macrobloque } i$$

- Área basal " $Ab_i$ ": es el área de la base considerado para el macrobloque " $i$ "  $(\forall i 1, \dots, M)$  según el plan de producción.

$$Ab_i = \text{área basal del macrobloque } i$$

- Ramp up del plan de producción " $RU_a$ ": ramp up del plan de producción para el año " $a$ "  $(\forall a 0, \dots, A)$ . El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$RU_a = \text{ramp up del plan de producción del año } a$$

- Ley de cobre en el concentrado de cada macrobloque " $l_i$ ": ley de cobre promedio del macrobloque " $i$ "  $(\forall i 1, \dots, M)$  según las reservas estimadas. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$l_i = \text{Ley de cobre del macrobloque } i$$

- Ley de cobre de cada macrobloque " $Cuco_i$ ": ley de cobre en el concentrado del macrobloque " $i$ "  $(\forall i 1, \dots, M)$  según las reservas estimadas. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$Cuco_i = \text{Ley de cobre en el concentrado del MB } i$$

- Recuperación metalúrgica de cada macrobloque " $Rm_i$ ": recuperación metalúrgica de cobre estimada para cada macrobloque " $i$ "  $(\forall i 1, \dots, M)$  según la dureza del mineral según las reservas. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$Rm_i = \text{Recuperación metalurgica del MB } i$$

De esta forma se tienen los parámetros económicos:

- Precio del cobre “ $P_{Cu}$ ”: precio estimado del cobre. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$P_{Cu} = \text{precio del cobre}$$

- Costo de tratamiento y refinación “ $C_{TCRC}$ ”: precio estimado del cobre. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$C_{TCRC} = \text{costo de tratamiento y refinación}$$

- Costo mina “ $C_M$ ”: costo asociado a la explotación de la mina. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$C_M = \text{costo mina}$$

- Costo planta “ $C_P$ ”: costo asociado al tratamiento del mineral. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$C_P = \text{costo planta}$$

- Tasa de retorno “ $d$ ”: tasa de retorno del flujo actualizado. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$d = \text{tasa de retorno}$$

- Inversión de desarrollo “ $I$ ”: inversión asociada al desarrollo por metro cuadrado. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$I = \text{inversión de desarrollo}$$

Además, se tienen parámetros que permite definir las restricciones:

- Valor grande “ $T$ ”: parámetro asociado a un a valor lo suficiente grande. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

$$T = 5,000,000,000$$

### 5.2.2 Variables de decisión

Se tienen dos variables de decisión asociadas a la frontera eficiente en la minería. La primera variable de decisión es  $t_{i,a}$  que permite decidir en qué periodo “ $a$ ” ( $\forall a 1, \dots, A$ ) comienza la extracción del macrobloque “ $i$ ” ( $\forall i 1, \dots, M$ ), lo que convierte a la variable en un “agendador de macrobloques”, debido a que decide si se extrae o no y ordena la explotación de estos. Se tiene la variable en la siguiente ecuación.

$$t_{i,a} = \begin{cases} 1 & \text{Si el MB } i \text{ comienza en el año } a \\ 0 & \text{Otro caso} \end{cases}$$

La segunda variable de decisión es “ $X_{i,a}$ ” que identifica si el macrobloque “ $i$ ” ( $\forall i 1, \dots, M$ ) se encuentra en operación el año “ $a$ ” ( $\forall a 1, \dots, A$ ).

$$X_{i,a} = \begin{cases} 1 & \text{Si el MB } i \text{ comienza en el año } a \\ 0 & \text{Otro caso} \end{cases}$$

### 5.2.3 Función Objetivo

La función objetivo es maximizar el VAN asociado al set de macrobloques según la valorización en la minería en el capítulo 3.2.

$$\max - \sum_a^A \sum_i^n I_{tpd} \cdot t_{i,a} + \sum_a^A \frac{\sum_i^n \left( \left( P_{Cu} - \frac{C_{tcr}}{C_{uco_i}} \right) \cdot \frac{l_i}{100} \cdot \frac{Rm_i}{100} - (C_M + C_P) \right) \cdot Plan_i \cdot t_{i,a}}{(1+d)^a}$$

### 5.2.4 Restricciones en la minería

Relación entre variables de decisión: en la siguiente ecuación se tiene la restricción que relaciona las variables de decisión. De esta manera, si comienza la extracción de un macrobloque “i” en el año “a” este estará en operación desde ese año. Con un parámetro “T” lo suficientemente grande.

$$Plan_i \cdot t_{i,a} \leq T \cdot X_{i,a}$$

Iniciación única: en la siguiente ecuación se tiene una restricción asociada a que un macrobloque solo puede iniciar una vez en el periodo evaluado. Este una vez iniciado no puede detener su extracción hasta que se extraiga el tonelaje considerado en las reservas.

$$\sum_a^A t_{i,a} \leq 1 \quad (\forall i 1, \dots, M)$$

Límite de macrobloques iniciados en un año: en la siguiente ecuación se tiene una restricción asociada a un límite de desarrollos que se pueden realizar en paralelo durante un año asociados a la flota de equipos, estrategia y organización. Donde el hecho de comenzar la extracción de un macrobloque equivale a la posibilidad de disponer de condiciones necesarias para su operación.

$$\sum_i^M t_{i,a} \leq MP \quad (\forall a 1, \dots, A)$$

Límite de macrobloques operativos en un periodo: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a un límite de operación de macrobloques de forma simultánea debido a condiciones operacionales.

$$\sum_a^A \sum_i^M t_{i,a} \leq MT$$

Límite de periodos operativos para un macrobloque: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a un límite de la definición de variable que según el plan de producción un macrobloque opera una cantidad máxima de años.



$$\sum_a^A X_{i,a} \leq P_i (\forall i 1, \dots, M)$$

Límite máximo de macrobloques que pueden operar de forma simultánea anual: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a un límite de macrobloques que pueden operar, de forma simultánea, anual.

$$\sum_i^M X_{i,a} \leq MO (\forall a 1, \dots, A)$$

El macrobloque no puede operar en el año “a”: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a que el macrobloque “i” no puede operar en el año “a” o en todo el periodo.

$$X_{i,a} = 0$$

Extensible a todo el periodo en las siguientes ecuaciones:

$$\sum_a^A X_{i,a} = 0$$

O puede ser:

$$\sum_a^A t_{i,a} = 0$$

El macrobloque puede comenzar su extracción en el año “a”: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a que el macrobloque “i” puede comenzar a operar en el año “a”.

$$\sum_a^{AC_i-1} t_{i,a} = 0$$

O puede ser:

$$\sum_a^{AC_i-1} X_{i,a} = 0$$

Macrobloques que no pueden operar de forma simultánea en un año o en todo el periodo: en la siguiente ecuación se tiene la restricción asociada a que el macrobloque “i” y el macrobloque “j” no pueden operar en conjunto en el año “a” y extensible a todo el periodo.

$$X_{i,a} + X_{j,a} \leq 1$$

Ramp up del periodo: en la siguiente ecuación se tiene una restricción asociada a la capacidad productiva de la mina durante los primeros años hasta alcanzar el estado de régimen y por lo tanto las capacidades productivas planificadas para la planta.

$$\sum_i^n Plan_i \cdot t_{i,a} \leq RU_a \quad (\forall a 1, \dots, A)$$

Varianza acotada: la restricción considerada por Markowitz en la frontera eficiente para el riesgo se obtenga, de este modo se utilizarán intervalos de riesgo, como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} \geq \sum \sum X_{i,j} \cdot X_{j,j} \cdot \sigma_{ij} \geq \sigma_{min}$$

La componente  $\sigma_{ij}$  que se encuentra en la sumatoria, hace alusión a una matriz denominada matriz de covarianza, la cual se compone del riesgo de operar el macrobloque i con el macrobloque j para todas las combinaciones de macrobloques existentes, como aprecia en la siguiente ecuación.

$$Mcov = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \dots & \sigma_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \dots & \sigma_{nn} \end{pmatrix}$$

La diagonal de la matriz son las componentes  $\sigma_{ii}$ , que representan la relación que existe entre el macrobloque i y el macrobloque i, es decir, el riesgo de la operación individual de un macrobloque. Por lo tanto, es posible separar el riesgo en dos componentes, una asociada a la operación individual, representada por  $\sigma_{ii}$  y otra asociada a la operación en conjunto, representada por  $\sigma_{ij}$ ; de esta forma los elementos  $\sigma_{ii}$  son extraídos de la matriz reemplazándolos por ceros como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$Mcov = \begin{pmatrix} 0 & \dots & \sigma_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

De este modo la nueva matriz de covarianza representa solo la componente de operación en conjunto, se obtendrá mediante la relación que se establece en el nivel de transporte. Mientras que la componente  $\sigma_{ii} = \sigma_i$ , que representa la operación individual, se obtendrá mediante una simulación del nivel de producción y su repetitividad. Según el capítulo 3.3.1.

Por último el riesgo se obtendrá mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} \geq \sum_i^M Plan_i \cdot \sigma_i + \sum_a^A \sum_i^M \sum_j^M X_{i,a} \cdot X_{j,a} \cdot \sigma_{ij} \geq \sigma_{min}$$

## 6 CASO DE ESTUDIO: PLAN DE PRODUCCIÓN MINA “M1”

### 6.1 Mina “M1”

El caso de estudio es con respecto a la mina “M1” la cual está diseñada para ser explotada por minería subterránea con el método de explotación Block Caving diseñado mediante macrobloques. El diseño de la mina considera la extracción de 20 macrobloques distribuidos de forma espacial de norte a sur.

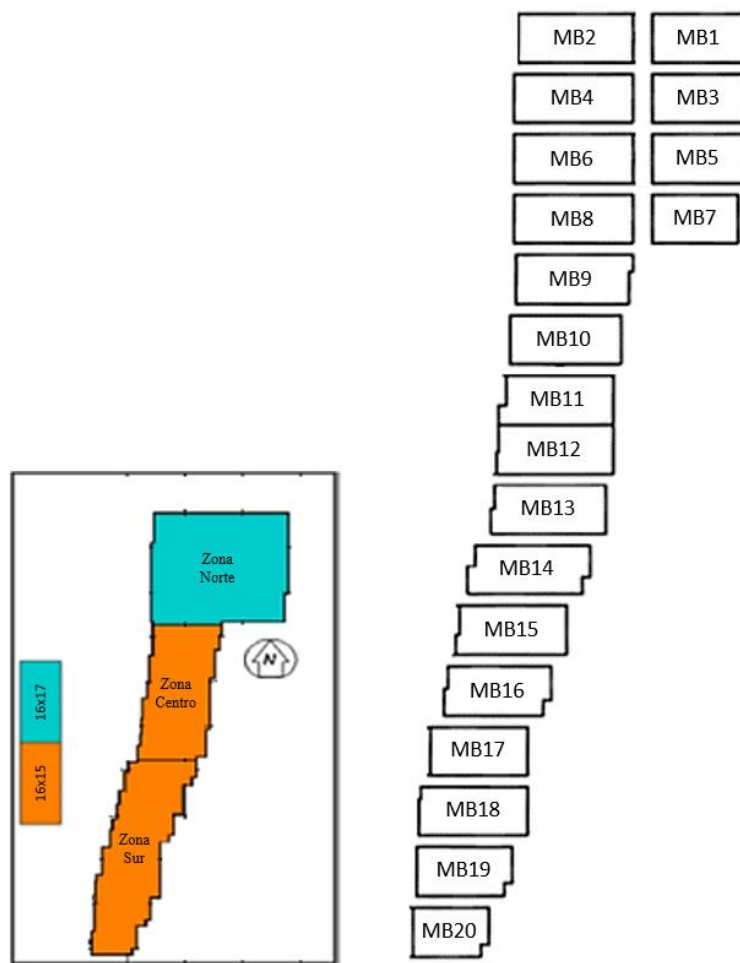
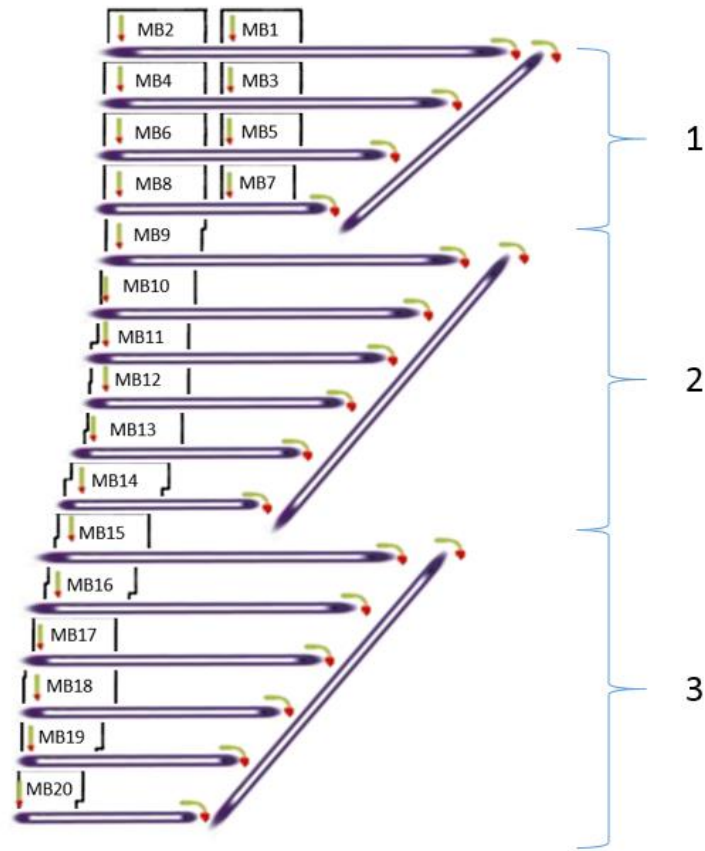


Figura 29: posición, zonas y orientación espacial de los macrobloques.

### 6.2 Diseño considerado para el nivel de producción

Para el nivel de transporte de la mina “M1” que considera para el transporte de mineral equipos de carguío como correas, asociados a recibir el mineral mediante los piques de traspaso con buzones.

De esta forma se simula el nivel de transporte mediante el diseño de la Figura 30 que considera correas que se encuentran en serie y en paralelo para transporte el mineral desde los macrobloques hasta el exterior.

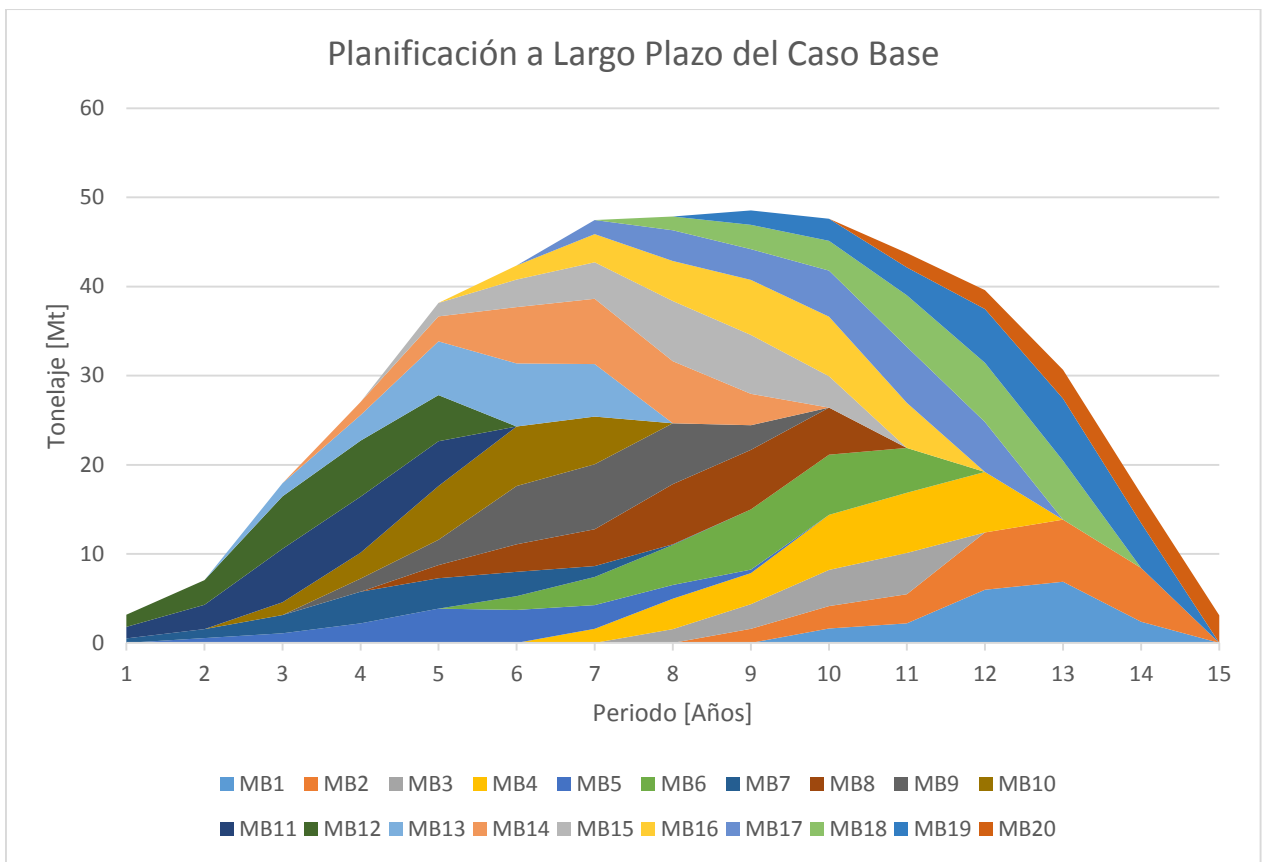


**Figura 30: correas consideradas para el nivel de transporte. Elaboración propia.**

El diseño considera un total de 16 correas que se dividen en tres módulos independientes. El primer módulo ubicado en la zona norte, considera 4 correas intermedias que descargan a una correa principal, cada una de las correas intermedias del primer módulo, recibe mineral de dos macrobloques en serie. El segundo módulo considera el uso de 6 correas intermedias que descargan a una correa principal. Análogo al segundo módulo se tiene el tercer módulo que considera 6 correas intermedias que descargan a una correa principal.

### 6.3 Caso base

Mediante la teoría de frontera eficiente en la minería utilizando la información disponible en ANEXOS 11.8 se obtuvo la frontera eficiente para el caso base. En la Figura 31 se tiene el plan de producción del plan de producción de la mina “M1” del cual se obtiene la evaluación económica de la Figura 32.



**Figura 31: plan de producción de largo plazo del caso base.**

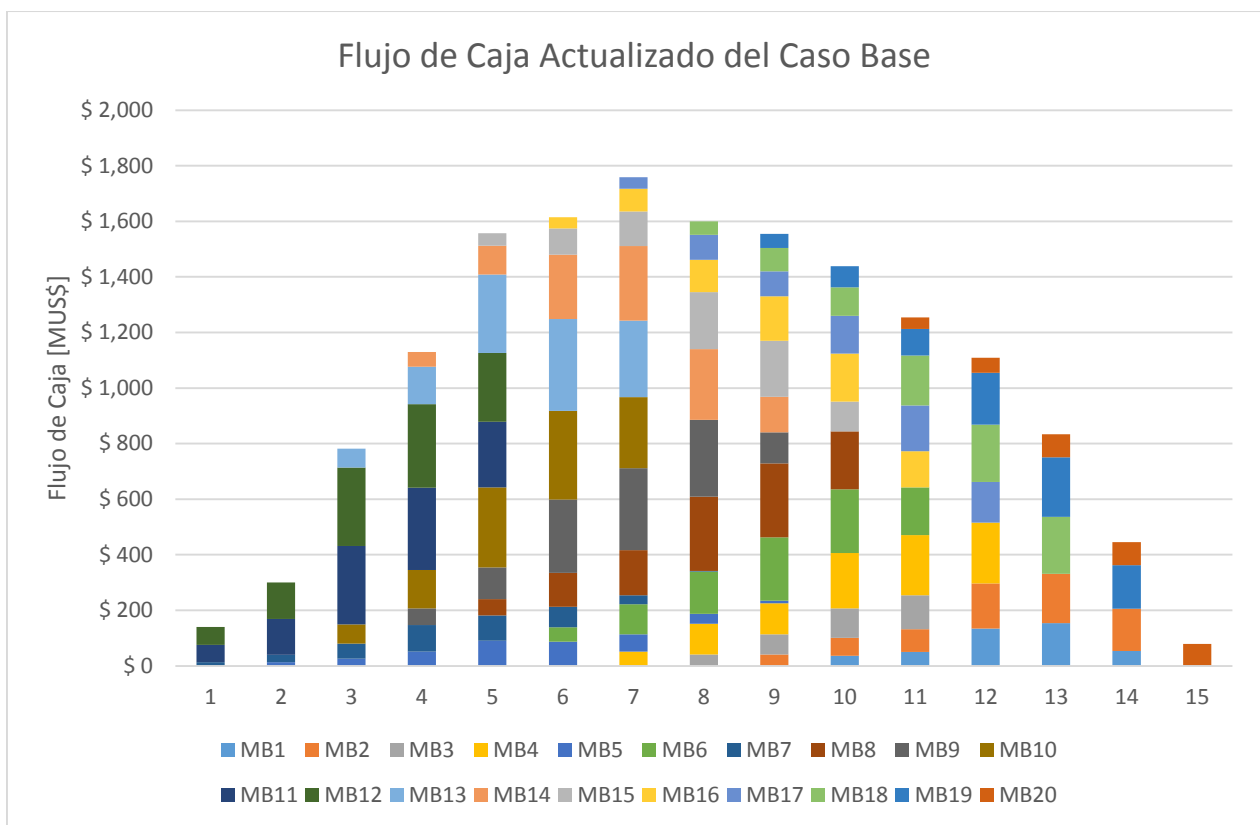


Figura 32: flujo de caja actualizado evaluado del caso base.

Con lo que se obtiene el resultado de la frontera eficiente en la minería en la Tabla 14, con el retorno del VAN y el riesgo de la desviación estándar del VAN

Tabla 15: resultado de la frontera eficiente en la minería para el caso base.

VAN [MUS\$]	D. VAN [MUS\$]
7,587	3,520

#### 6.4 Riesgo de la mina “M1”

De la simulación de variabilidad productiva de macrobloques en 4.2 y como la simulación de cada estado productivo se realiza de manera independiente. El modelo de simulación no considera la incorporación de área productiva de manera dinámica, esto es, cada estado simulado se modela considerando un área productiva fija (Tabla 15).

Estado	Área Activa simulada [%]	Área Activa simulada [m2]
Propagación 1	50%	18,240
Propagación 2	100%	36,480
Régimen	100%	36,480

Ramp-down	50%	18,240
-----------	-----	--------

**Tabla 16: áreas simuladas para cada estado productivo.**

Mediante el área activa simulada y resultado en producción para cada estado productivo según la siguiente ecuación se calcula la velocidad de extracción de la Tabla 16. Donde es posible observar el efecto negativo sobre la velocidad de extracción para el estado de Propagación 2 asociado a la filosofía operacional.

$$Velocidad\ de\ Extracción\ \left[ \frac{t}{m^2 \cdot día} \right] = \frac{Producción\ [tpd]}{Área\ Activa\ [m^2]}$$

**Tabla 17: velocidades de extracción media para cada estado productivo simulado.**

Estado	Propagación 1	Propagación 2	Régimen	Rampdown
Velocidad de Extracción Mínima (t/m2/d)	0.0402	0.0243	0.1712	0.1470
Velocidad de Extracción Máxima (t/m2/d)	0.3286	0.1320	0.7753	0.8994
Velocidad de Extracción Media (t/m2/d)	0.1319	0.0894	0.4978	0.5074
Desviación estándar de la Velocidad de Extracción (t/m2/d)	0.0368	0.0168	0.1136	0.1198

Del plan de producción de la mina “M1” con información de la producción y área abierta mensual, se determina en qué estado se encontrara el macrobloque cada mes, según los criterios del capítulo 2.2.4. Luego de determinado el estado se multiplica el área abierta mensual por la desviación de la velocidad de extracción según corresponda para obtener la desviación de la producción, como se aprecia en la Tabla 18.

**Tabla 18: riesgo estimado a la operación del macrobloque MBI de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	14	2.720	0,1765	14	0,0368	3
a10m2	29	5.440	0,1765	43	0,0368	6
a10m3	43	8.160	0,1756	86	0,0368	9
a10m4	43	9.520	0,1504	129	0,0368	11
a10m5	116	13.600	0,2844	245	0,0368	15
a10m6	137	16.048	0,2844	382	0,0168	8
a10m7	158	18.496	0,2844	540	0,0168	9
a10m8	179	20.944	0,2844	719	0,0168	11



a10m9	200	23.392	0,2844	918	0,0168	12
a10m10	220	25.840	0,2844	1139	0,0168	13
a10m11	241	28.288	0,2844	1380	0,0168	14
a10m12	260	30.736	0,2824	1640	0,0168	15

Por último se suman los doce meses de la desviación de la producción mensual para obtener la anual como se aprecia en la Figura 33, y se repite el proceso para cada macrobloque hasta obtener las Tabla 19 y Tabla 20.

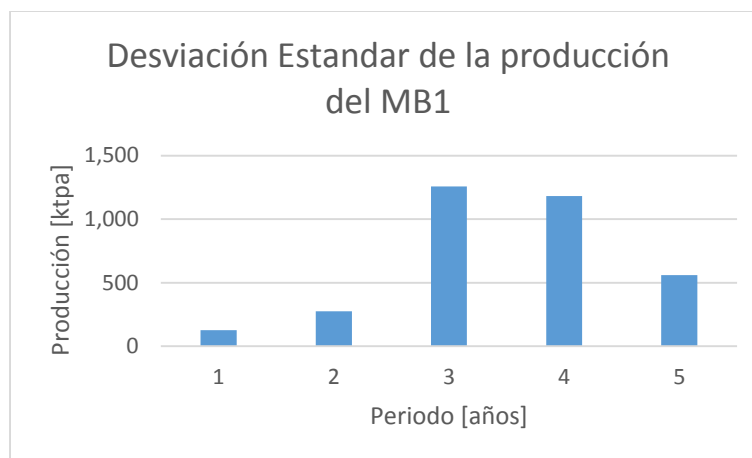


Figura 33: desviación estándar de la producción del MB1 para el caso base.

Tabla 19: desviación estándar del tonelaje anual del plan de producción de los macrobloques MB1 al MB10.

Año	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	126	152	123	157	126	169	116	157	150	151
2	275	223	892	235	184	236	169	231	225	220
3	1,257	1,083	1,250	1,364	449	1,374	495	1,122	1,306	1,493
4	1,181	1,512	752	1,590	1,245	1,601	1,145	1,568	1,522	1,519
5	559	1,508	0	1,590	1,258	1,602	1,157	1,568	1,543	883
6	0	1,548	0	1,636	1,170	944	1,057	1,023	476	0
7	0	0	0	0	870	0	618	0	0	0
8	0	0	0	0	150	0	28	0	0	0

Tabla 20: desviación estándar del tonelaje anual del plan de producción de los macrobloques MB11 al MB20.

Año	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	148	155	152	155	147	139	139	148	128	117
2	218	227	225	230	216	204	194	217	188	361
3	1,475	1,541	1,414	1,229	1,359	1,286	1,316	1,159	1,004	1,001
4	1,481	1,547	1,522	1,568	1,469	1,385	1,321	1,475	1,281	1,001
5	899	1,430	1,167	1,363	1,438	1,385	1,185	1,250	1,273	1,001

6	0	0	0	501	510	868	955	1,008	1,056	1,001
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La desviación estándar obtenida de esta forma está asociada a la operación de un macrobloque de forma individual sin involucrar la influencia de otros. Para obtener la relación que existe entre estos es necesario considerar un escenario para el nivel de transporte, siendo relevante que este sea lo más conservador de forma de enfrentar el peor escenario posible.

Considerando la relación de desviación estándar que tiene la mina “M2” para el nivel de transporte que es 31% como se tiene en la se calcula la matriz de covarianza como se indica en el capítulo 5.1.2.

De esta forma cada macrobloque perteneciente a un mismo modulo influirá en el riesgo de operarlos en conjunto. La magnitud de dicho riesgo dependerá de la forma en que se conectan dichas componentes según la Figura 30 mediante las ecuaciones de 2.3.1 considerando relaciones se establecen entre dos macrobloques.

Para los macrobloques que se encuentren en el primer módulo en serie que son MB1 y MB2, MB3 y MB4, MB5 y MB6, MB7 y MB8 se obtiene una confiabilidad de 69% o riesgo de 31%. Mientras que para las componentes series en paralelo se obtiene una confiabilidad de 90% o riesgo de 10%. Para los que se encuentran en el segundo y tercer módulo en paralelo como lo son MB9, MB10, MB11, MB12, MB13, MB14 y MB15 como para MB16, MB17, MB18, MB19 y MB20 se obtiene una confiabilidad de 97% o riesgo de 3%.

Obteniendo todos los valores  $\sigma_{ij}$  se elabora la matriz de covarianza de la Tabla 19.

**Tabla 21: matriz de covarianza generada a partir del riesgo que se forma de la relación entre los macrobloques.**

	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
MB1	0	51	13	18	12	19	12	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB2	51	0	14	19	13	20	13	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB3	13	14	0	53	10	17	10	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB4	18	19	53	0	15	22	15	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB5	12	13	10	15	0	50	9	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB6	19	20	17	22	50	0	16	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB7	12	13	10	15	9	16	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB8	20	22	19	24	17	24	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MB9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	8	0	0	0	0	0	0

MB10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	9	9	8	0	0	0	0	0	0
MB11	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	9	9	8	0	0	0	0	0	0
MB12	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	0	9	8	0	0	0	0	0	0
MB13	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	0	9	0	0	0	0	0	0
MB14	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	9	0	0	0	0	0	0	0
MB15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	6	6	4
MB16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	5	6	4
MB17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	5	5	4
MB18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	5	0	6	4
MB19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	5	6	0	4
MB20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0

### 6.5 Parámetros considerados para el caso de estudio

Con el fin de producir una comparación entre la teoría establecida y el caso base se utilizaran los parámetros de este último.

Los parámetros a utilizar en el caso de estudio correspondiente al problema de optimización en 4.2 son:

- Numero de macrobloques “M”:

$$M = 20$$

Corresponde al número de macrobloques que considera la mina “M1” para el plan de producción.

- Máximo de macrobloques desarrollables en un año “MP”:

$$MP = 3$$

Corresponde al número máximo de macrobloques desarrollables que considera la mina “M1”.

- Máximo de macrobloques operativos, de forma simultánea, en un año “MP”:

$$MO = 13$$

Corresponde al número máximo de macrobloques operativos de forma simultánea que considera la mina “M1”.

- Máximo de macrobloques operativos “MT”:

$$MT = 20$$

Corresponde al número de macrobloques considerados en el plan de producción de la mina “M1”.

- Periodo “A”:

$$A = 15$$

Periodo que considera la mina “M1” en el plan de producción. Comenzando desde el año 0, año en que se produce la inversión, hasta el año 15 un total de 16 años.

- Años operativos por macrobloque “ $P_i$ ”:

En la Tabla 20 se tienen los años operativos por macrobloques obtenidos del plan de producción de la mina “M1”.

**Tabla 22: años operativos por macrobloque.**

Macrobloques	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
LIMIT E	5	6	4	6	8	6	8	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6

- Años operativos por macrobloque “ $AC_i$ ”:

$$AC_i = 1 (\forall i 1, \dots, M)$$

- Plan de producción de cada macrobloque “ $Plan_i$ ”:

En la Tabla 21 se tiene de forma general los planes de producción por macrobloque.

**Tabla 23: plan de producción por macrobloque.**

Periodo [Año]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	1.6	1.6	1.5	1.6	0.6	1.5	0.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6
2	2.2	2.5	2.8	3.4	1.1	3.2	1.0	3.1	2.8	2.9	2.7	2.7	2.9	2.8	3.1	3.2	3.5	2.7	2.5	2.1
3	6.0	3.3	4.1	3.5	2.2	4.5	2.0	4.1	6.5	6.0	6.0	5.9	6.0	6.3	4.1	4.5	3.5	3.3	3.1	3.2
4	6.9	6.4	4.6	6.2	3.9	6.7	3.5	6.7	7.3	6.7	6.3	6.3	7.1	7.3	6.7	6.2	5.2	5.8	6.0	3.3
5	2.4	7.0	0.0	6.8	3.7	6.7	3.4	6.7	6.9	5.4	5.0	5.2	5.9	7.0	6.6	6.7	6.3	6.7	6.9	3.1
6	0.0	6.0	0.0	6.8	2.7	5.0	2.7	5.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	3.5	5.0	5.6	6.6	5.1	3.1
7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- Desviación del plan de producción de cada macrobloque “ $dPlan_i$ ”:

En la Tabla 22 se tiene la desviación de los planes de producción para todos los macrobloques.

**Tabla 24: desviación del plan de producción por macrobloque.**

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.3	0.2	0.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
3	1.3	1.1	1.3	1.4	0.4	1.4	0.5	1.1	1.3	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0
4	1.2	1.5	0.8	1.6	1.2	1.6	1.1	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	1.3	1.5	1.3	1.0
5	0.6	1.5	0.0	1.6	1.3	1.6	1.2	1.6	1.5	0.9	0.9	1.4	1.2	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.3	1.0
6	0.0	1.5	0.0	1.6	1.2	0.9	1.1	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.9	1.0	1.0	1.1	1.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- Ramp up del plan de producción “ $RU_a$ ”: para el ramp up se tiene un 120% del ramp up del plan de producción original en la Tabla 23 de forma de dar un ancho de banda dada la producción discreta.

Tabla 25: ramp-up de 120% del ramp-up del plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Años]	Producción [Mt]
1	3.8
2	8.5
3	21.5
4	32.5
5	45.8
6	50.8
7	56.9
8	57.4
9	58.2
10	59.0
11	59.0
12	59.0
13	59.0
14	59.0
15	59.0

- Ley de cobre en el concentrado de cada macrobloque “ $l_i$ ”, ley de cobre de cada macrobloque “ $Cuco_i$ ”, recuperación metalúrgica de cada macrobloque “ $Rm_i$ ” y área basal “ $Ab_i$ ”:

En la Tabla 24 y Tabla 25 se tiene los parámetros antes mencionados:

**Tabla 26: parámetros mineros de reservas para los macrobloques MB1 al MB10.**

	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
Cu [%]	0.67	0.73	0.74	0.86	0.69	0.89	0.75	1.01	1.02	1.14
Rm [%]	88.1	87.3	87.9	88.2	87.9	88.0	88.1	87.6	87.4	88.9
Cuco [%]	31.9	29.8	31.3	29.5	31.6	29.7	32.3	29.6	29.4	29.4
Área [m <sup>2</sup> ]	30,736	36,720	30,464	38,896	30,464	39,168	28,016	38,352	37,232	36,512
Valor	22.46	25.29	26.22	32.22	23.4	33.94	26.88	39.68	40.29	47.64

**Tabla 27: parámetros mineros de reservas para los macrobloques MB1 al MB10.**

	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
Cu [%]	1.128	1.144	1.126	0.94	0.821	0.741	0.746	0.841	0.834	0.73
Rm [%]	89.2	88.85	88.85	88.24	88.07	87.75	87.39	87.5	87.82	88.21
Cuco [%]	29.73	30.02	30.36	30.31	30.64	30.23	30.22	30.27	30.55	29.79
Área [m <sup>2</sup> ]	36081	37696	37232	38192	35792	33872	32192	36032	31200	24496
Valor	47.15	47.77	46.9	36.69	30.36	25.97	26.05	31.07	30.92	25.55

Se tienen los parámetros económicos:

- Precio del cobre " $P_{Cu}$ ", costo de tratamiento y refinación " $C_{tcr}$ ", costo mina " $C_M$ ", costo planta " $C_P$ ", tasa de retorno " $d$ ", inversión de desarrollo " $I$ ": inversión asociada al desarrollo por metro cuadrado. El parámetro se puede ver en la siguiente ecuación.

En la Tabla 26 se tiene los parámetros antes mencionados.

**Tabla 28. Parámetros técnico-económicos para la evaluación económica.**

Parámetro	Unidad	Valor
Costo Mina	US\$/t	4.9
Costo Planta Concentradora	US\$/t	7.9
Inversión de Desarrollo	US\$/m <sup>2</sup>	1,631
TC	US\$/t concentrado	130
Precio del Cobre	US\$/lb	2.9
Tasa de Retorno	%	8

## 6.6 Obtención retorno y riesgo de los set óptimos de macrobloques

Considerando 6 intervalos de riesgo, se realiza el cálculo de la frontera eficiente en la minería, con el respectivo problema de optimización, para obtener los puntos correspondientes a los sets de macrobloques óptimos.

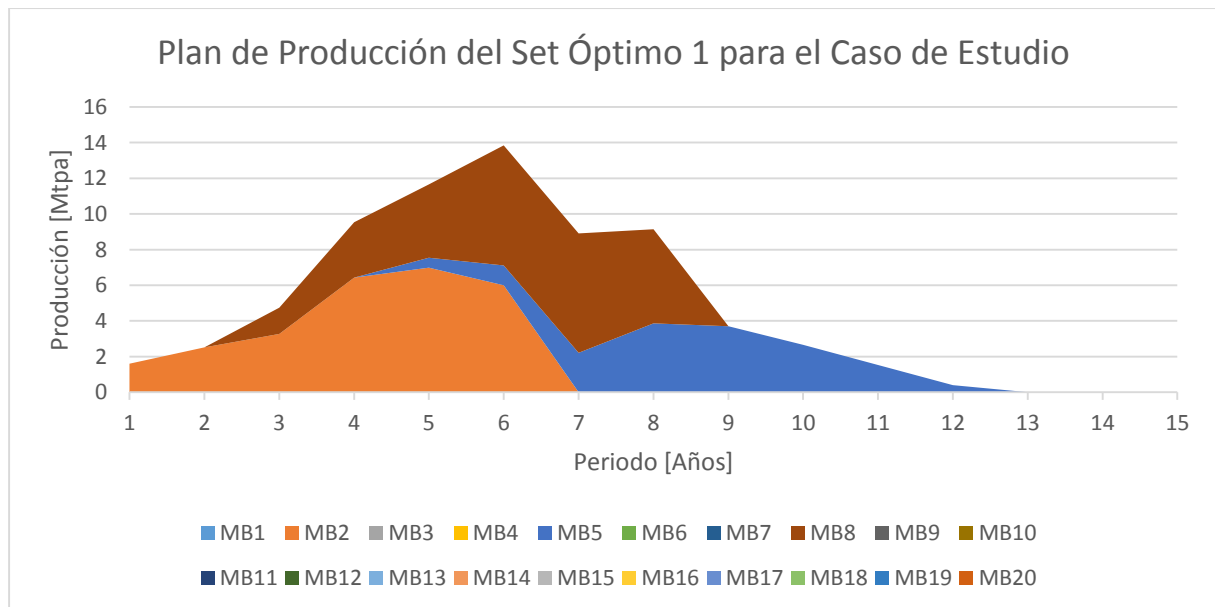
**Tabla 29: intervalos de riesgo del caso de estudio.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]
1	0-600
2	600-1,200
3	1,200-1,800
4	1,800-2,400
5	2,400-3,300
6	3,300-∞

**6.6.1 Primer set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [0,600]**

Correspondiente al primer punto de la frontera se tiene un intervalo de bajo costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 1 en el anexo 11.11.1.

En la Figura 34 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 1 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 12, en la cual se explotan 3 macrobloques con un máximo de 3 operativos de forma simultánea, donde en el año 6 se alcanza la producción máxima de 14 [Mtpa] aproximadamente.



**Figura 34: plan de producción del set óptimo 1 para el caso de estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 35 para el set óptimo 1 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB2 con el mayor beneficio en el año 6 de 290 [MUS\$].

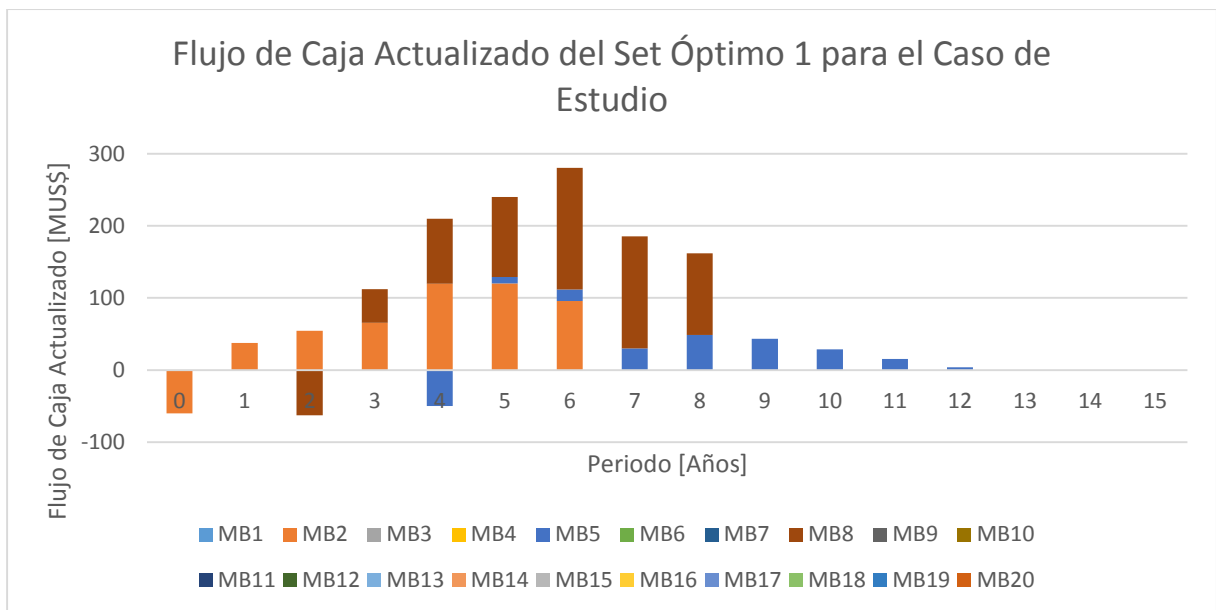


Figura 35: flujo de caja actualizado del set óptimo 1 para el caso estudio.

Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 36 para el set óptimo 1 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.

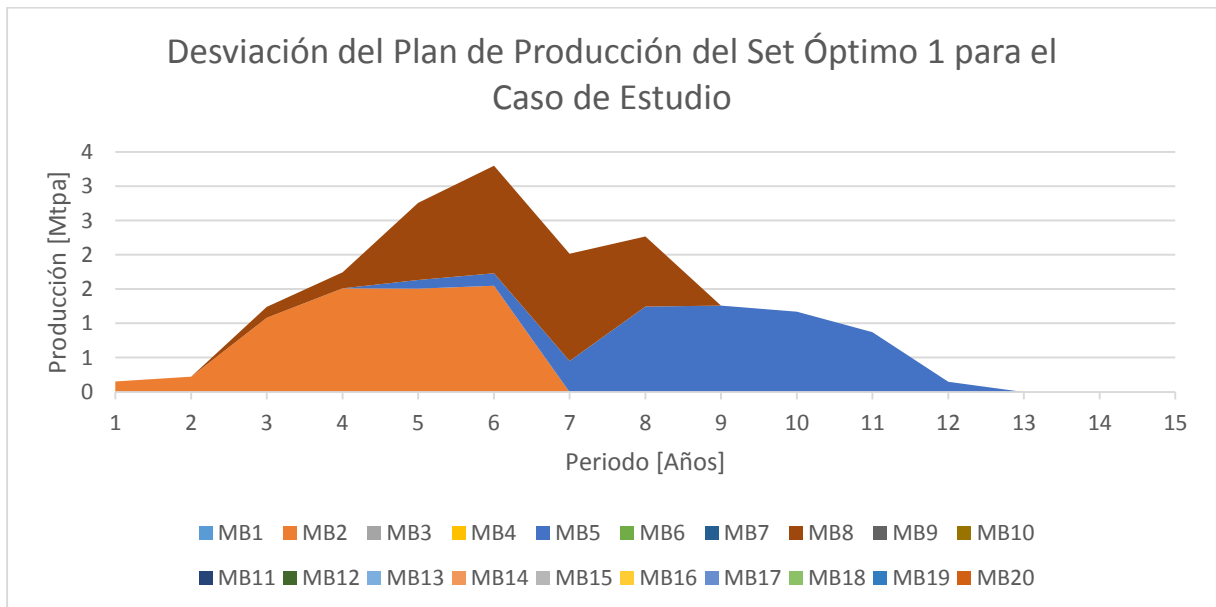


Figura 36: desviación del plan de producción del set óptimo 1 para el caso de estudio.

Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 37 para el set óptimo 1 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una



tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.

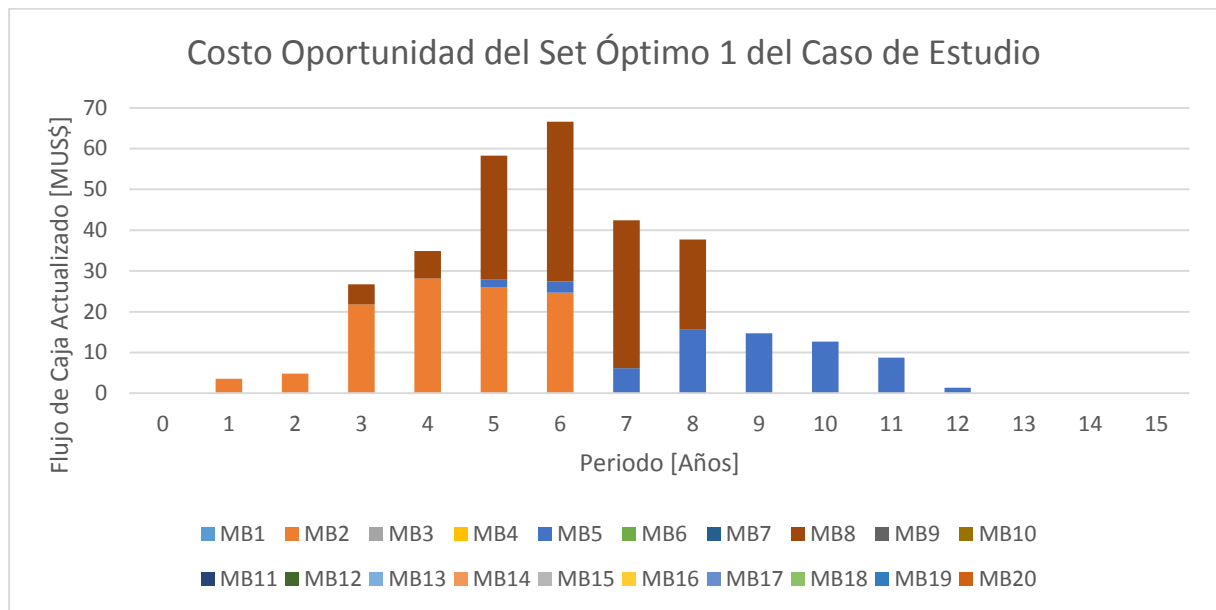
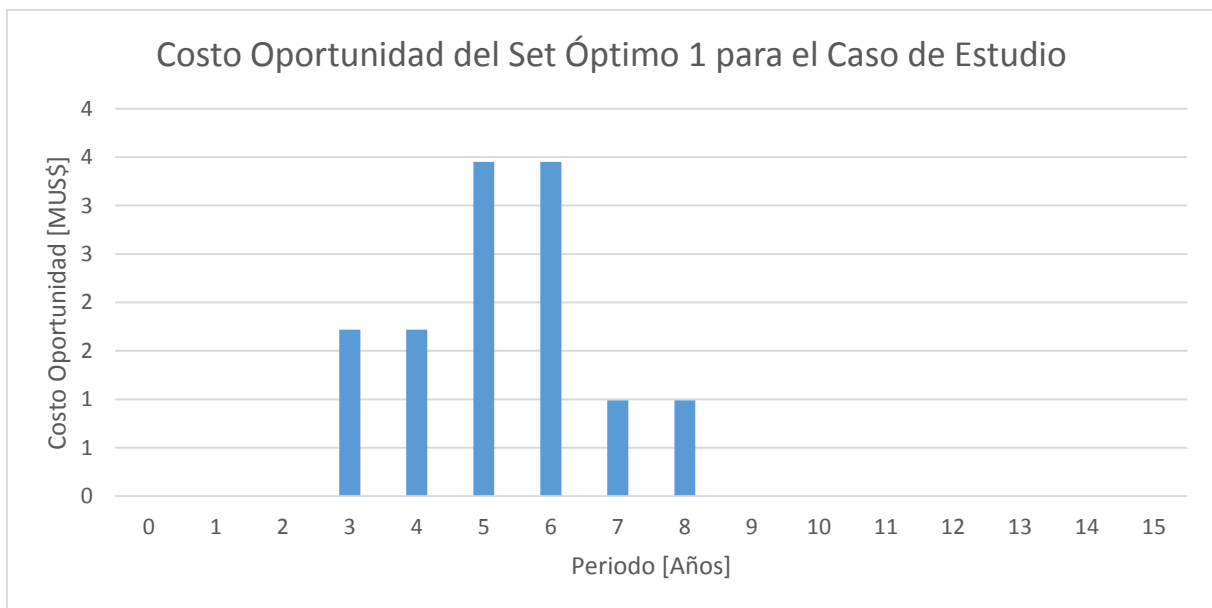


Figura 37: costo oportunidad del set óptimo 1 para el caso de estudio.

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 38 para el set óptimo 1 en el cual como los años 3 al 8 operan más de 1 macrobloque es costo es mayor que cero, mientras que es máximo en los años 5 y 6 cuando operan 3 macrobloques.



**Figura 38: costo oportunidad del set óptimo 1 para el caso de estudio.**

Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

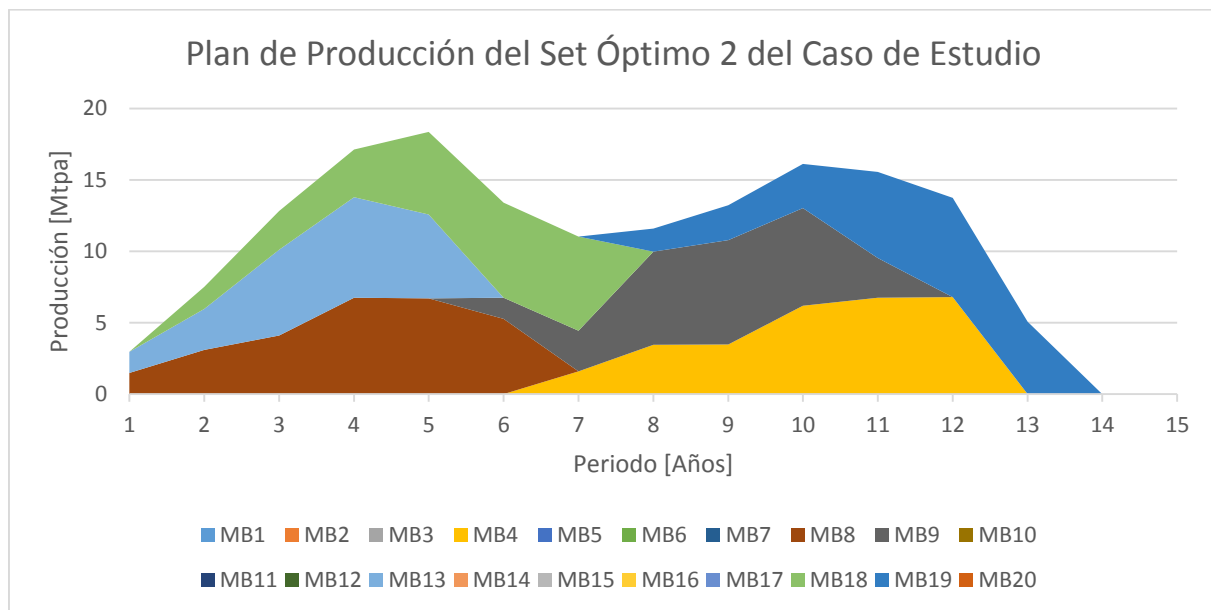
**Tabla 30: resultado primer set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
1	517	1,201

**6.6.2 Segundo set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [600,1200]**

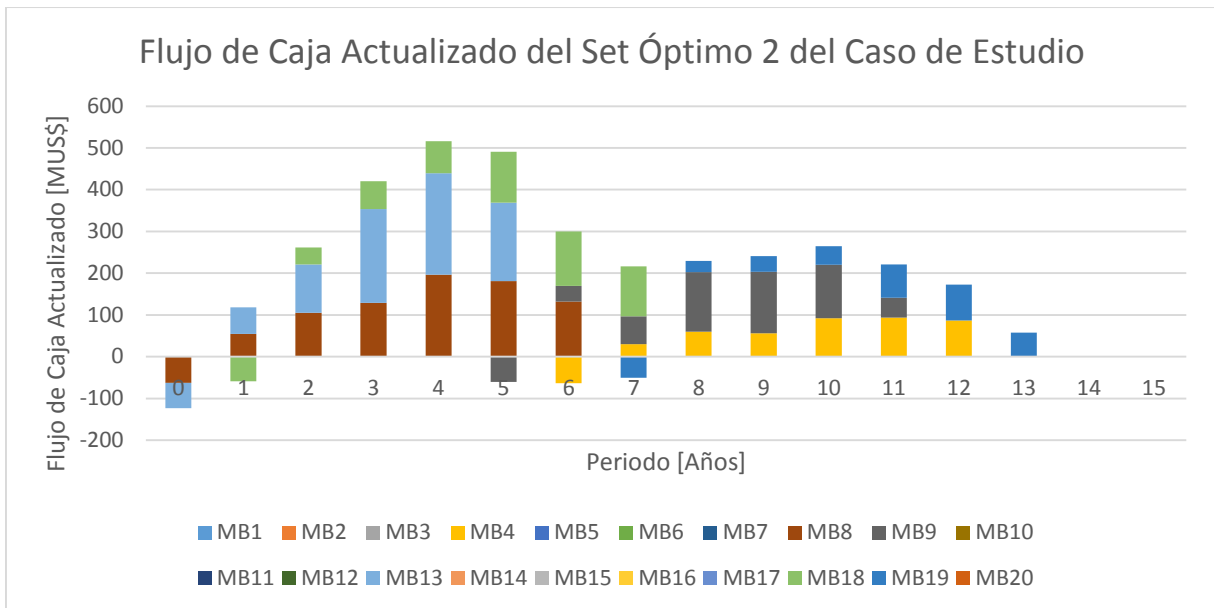
Correspondiente al segundo punto de la frontera se tiene un intervalo de mayor costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 2 en el anexo 11.11.2.

En la Figura 39 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 2 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 13, en la cual se explotan 6 macrobloques con un máximo de 3 operativos de forma simultánea, donde en el año 5 se alcanza la producción máxima de 19 [Mtpa] aproximadamente.



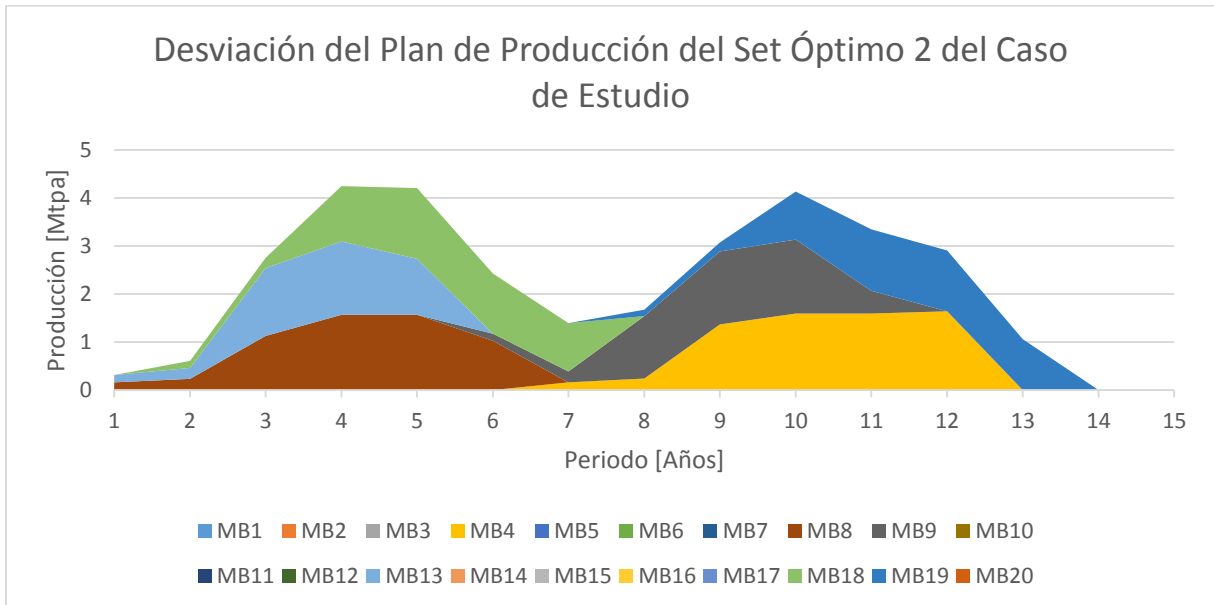
**Figura 39: plan de producción del set óptimo 2 para el caso de estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 40 para el set óptimo 2 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB1, MB8 y MB12 con el mayor beneficio en el año 5 de 510 [MUS\$].



**Figura 40: flujo de caja actualizado del set óptimo 2 para el caso estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 41 para el set óptimo 2 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.



**Figura 41: desviación del plan de producción del set óptimo 2 para el caso de estudio.**

Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 42 para el set óptimo 2 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una

tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.

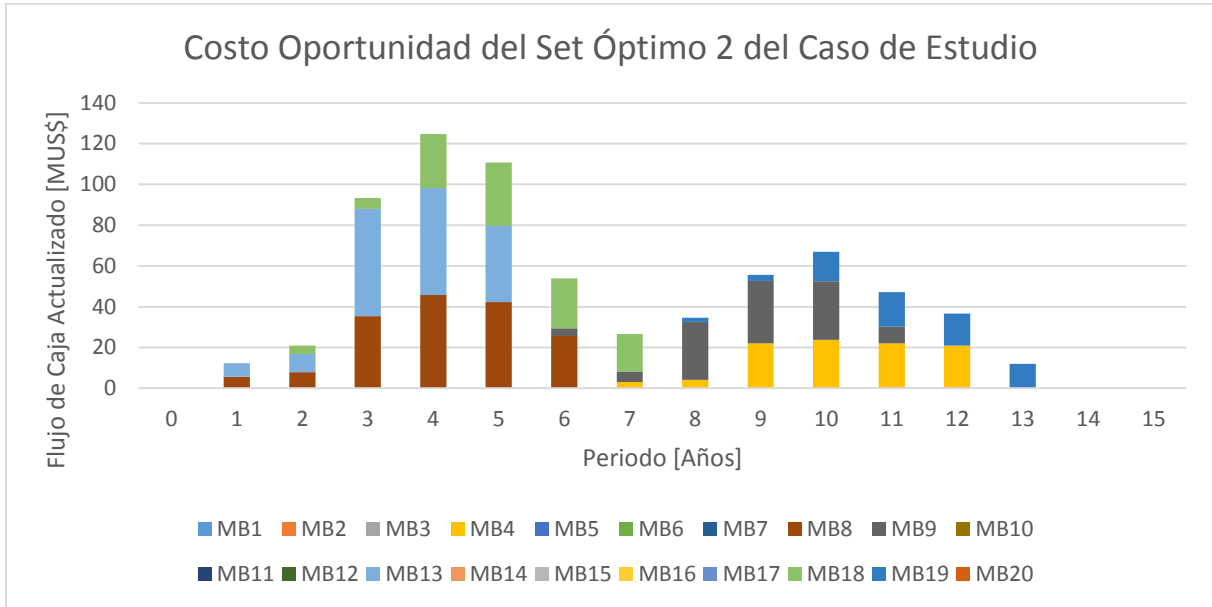


Figura 42: costo oportunidad del set óptimo 2 para el caso de estudio.

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 43 para el set óptimo 2 en el cual existen aun cuando existen años en que se operan más de macrobloque estos son independientes.

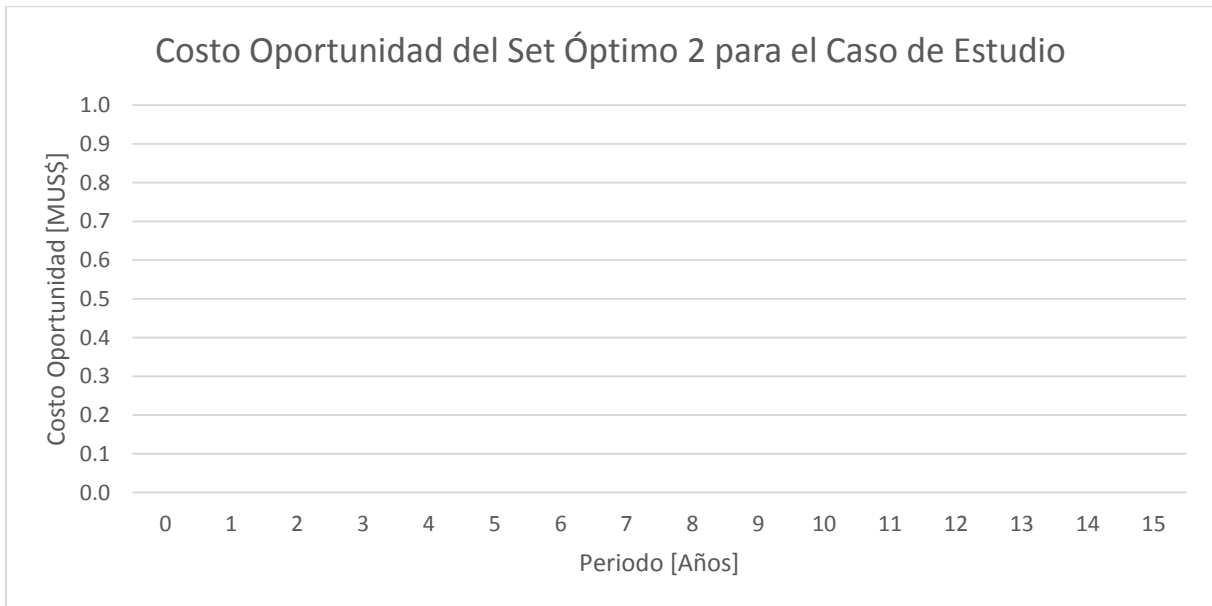


Figura 43: costo oportunidad del set óptimo 2 para el caso de estudio.

Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

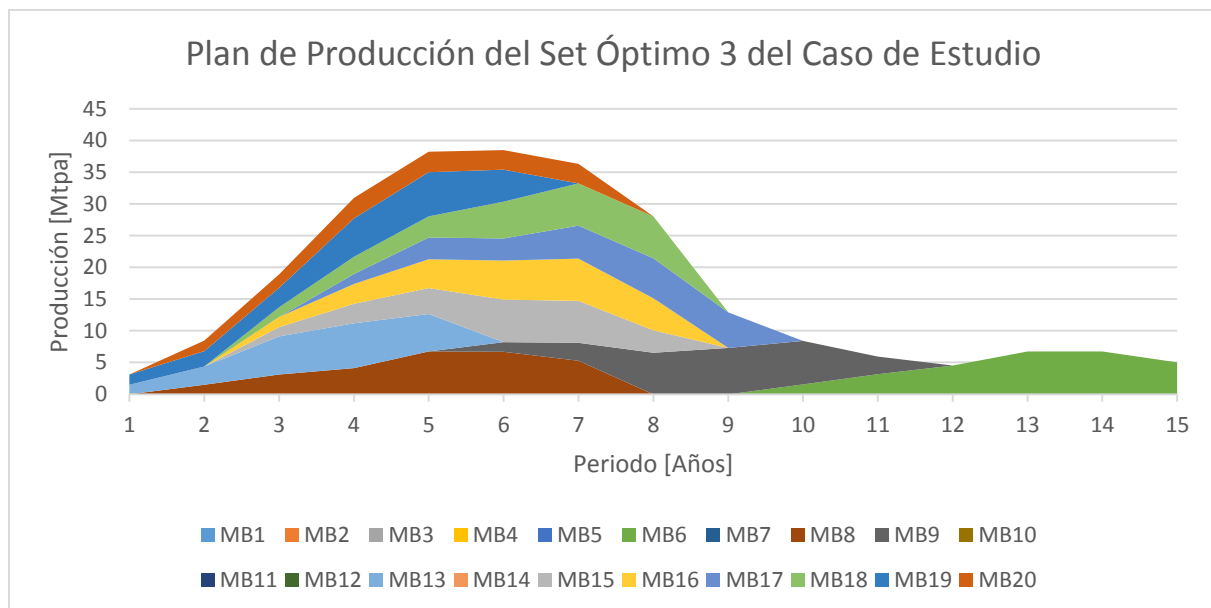
**Tabla 31: resultado segundo set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
2	1,173	3,152

### 6.6.3 Tercer set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [1200,1800]

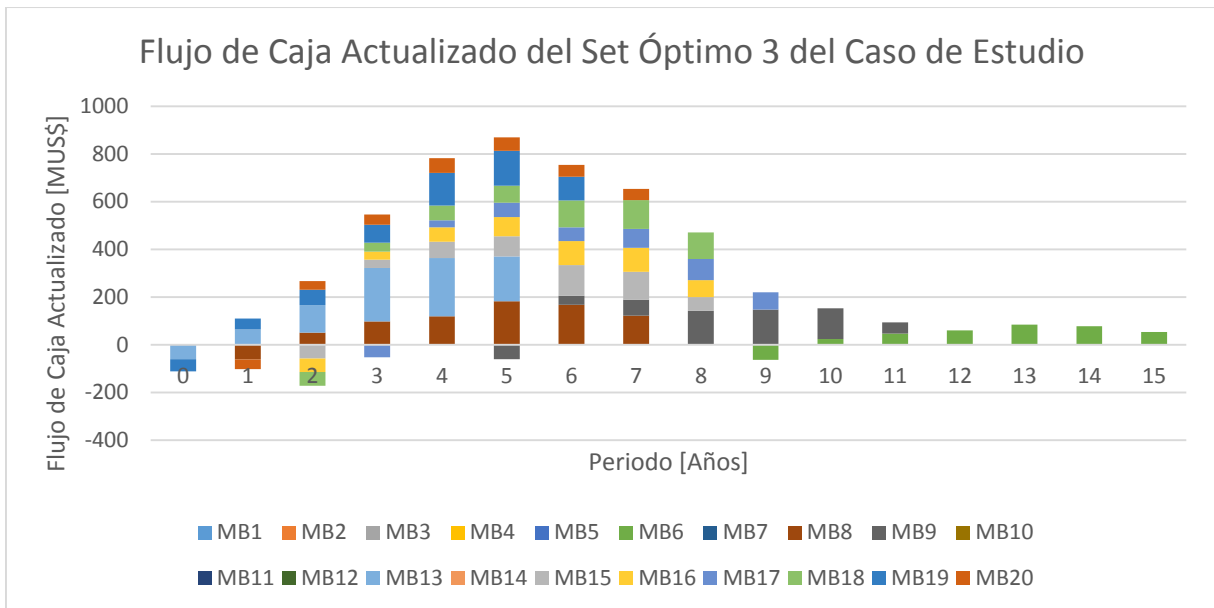
Correspondiente al tercer punto de la frontera se tiene un intervalo de mayor costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 3 en el anexo 11.11.3.

En la Figura 44 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 3 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 15, en la cual se explotan 10 macrobloques con un máximo de 7 operativos de forma simultánea, donde en el año 5 y 6 se alcanza la producción máxima de 38 [Mtpa] aproximadamente. Es el primer set óptimo en el que se alcanza claramente las formas de ramp-up, régimen y ramp-down.



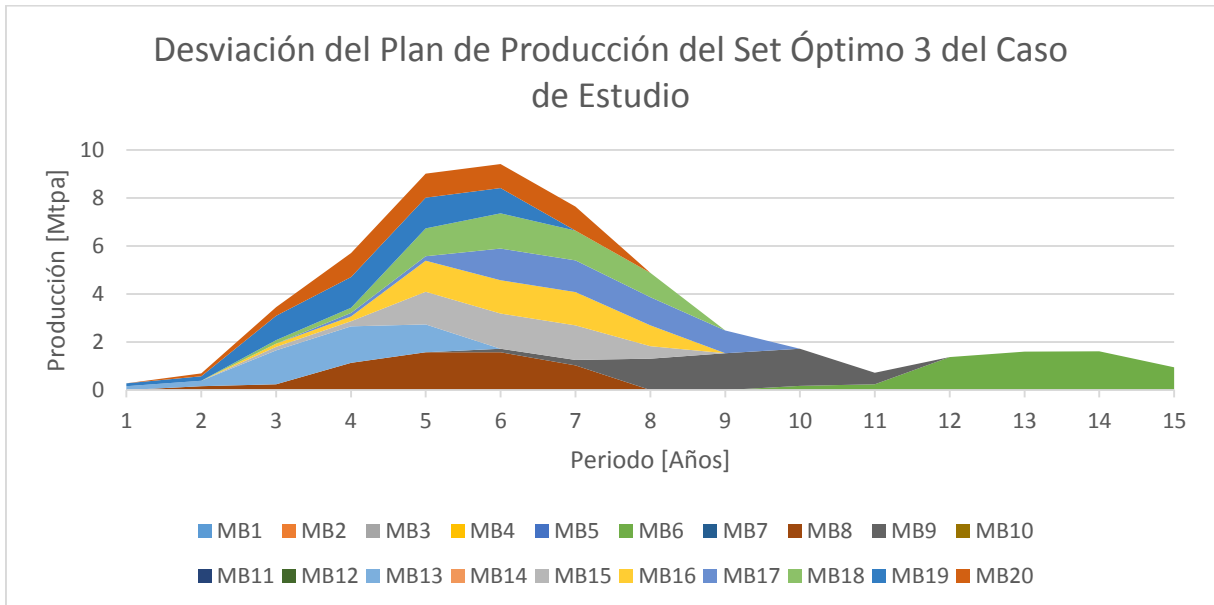
**Figura 44: plan de producción del set óptimo 3 para el caso de estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 45 para el set óptimo 3 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB5 y MB13 con el mayor beneficio en el año 5 de 840 [MUS\$].



**Figura 45: flujo de caja actualizado del set óptimo 3 para el caso estudio.**

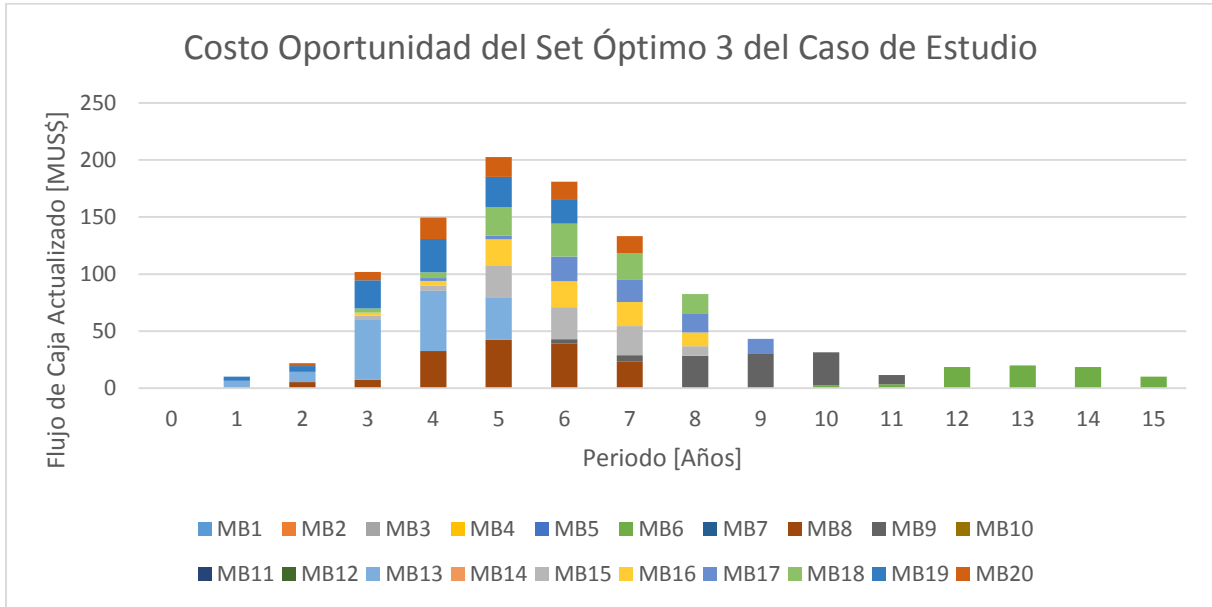
Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 46 para el set óptimo 3 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.



**Figura 46: desviación del plan de producción del set óptimo 3 para el caso de estudio.**

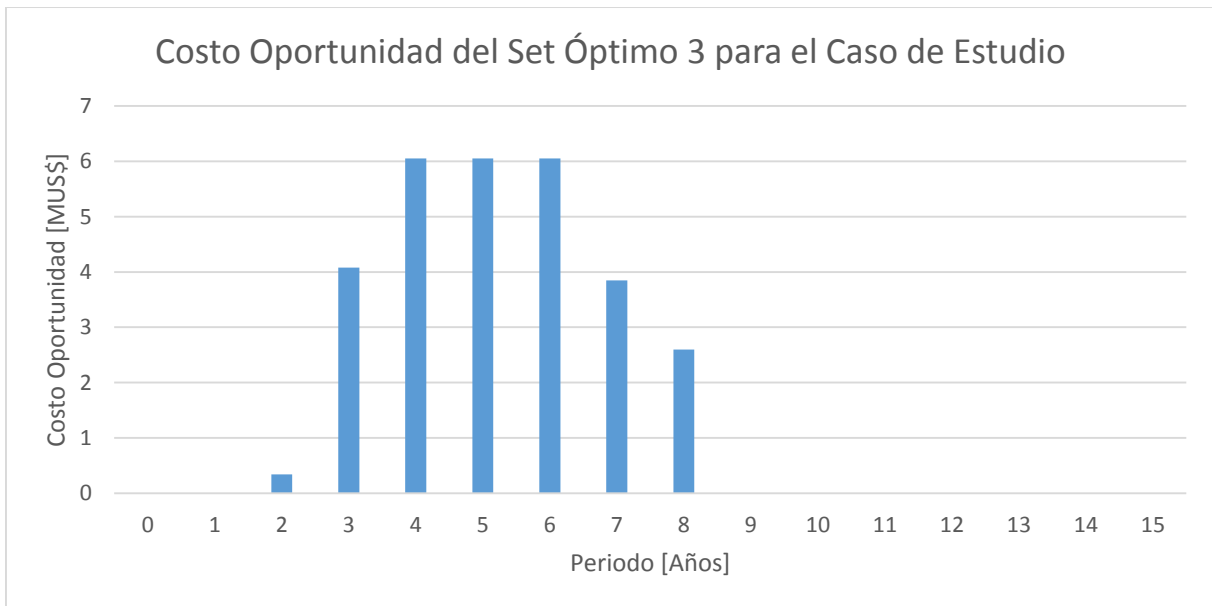
Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 47 para el set óptimo 3 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una

tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.



**Figura 47: costo oportunidad del set óptimo 3 para el caso de estudio.**

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 48 para el set óptimo 3 se aprecia que para los años en que opera un menor número de macrobloques el costo oportunidad es cero o muy bajo, mientras que en los que opera un mayor número de macrobloques el costo oportunidad es bastante elevado.



**Figura 48: costo oportunidad del set óptimo 3 para el caso de estudio.**

Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

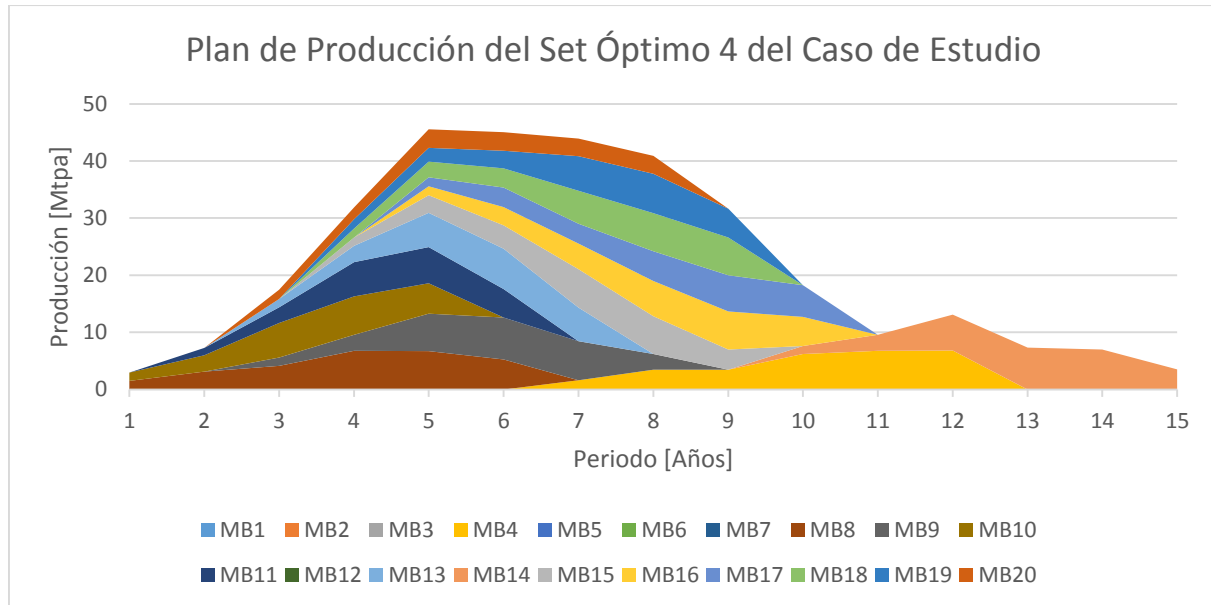
**Tabla 32: resultado tercer set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
3	1,732	4,630

#### 6.6.4 Cuarto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [1800,2400]

Correspondiente al cuarto punto de la frontera se tiene un intervalo de mayor costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 4 en el anexo 11.11.4.

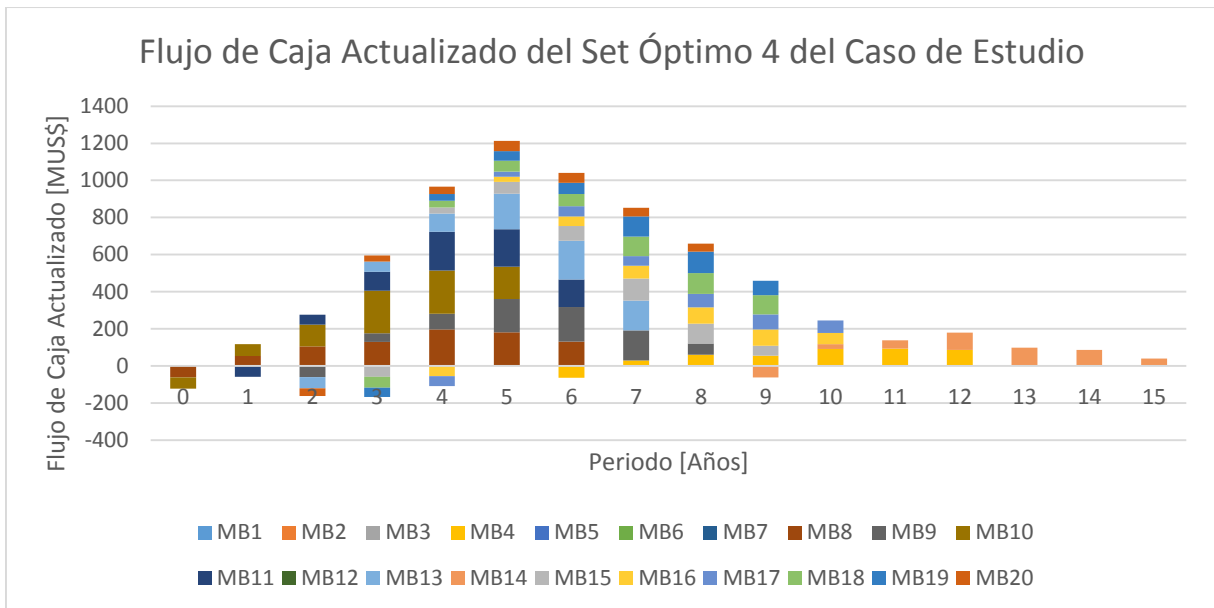
En la Figura 49 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 4 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 15, en la cual se explotan 13 macrobloques con un máximo de 11 operativos de forma simultánea, donde en el año 5 y 6 se alcanza la producción máxima de 45 [Mtpa] aproximadamente. Se observa un comportamiento de ramp-up, régimen y ramp-down.



**Figura 49: plan de producción del set óptimo 4 para el caso de estudio.**

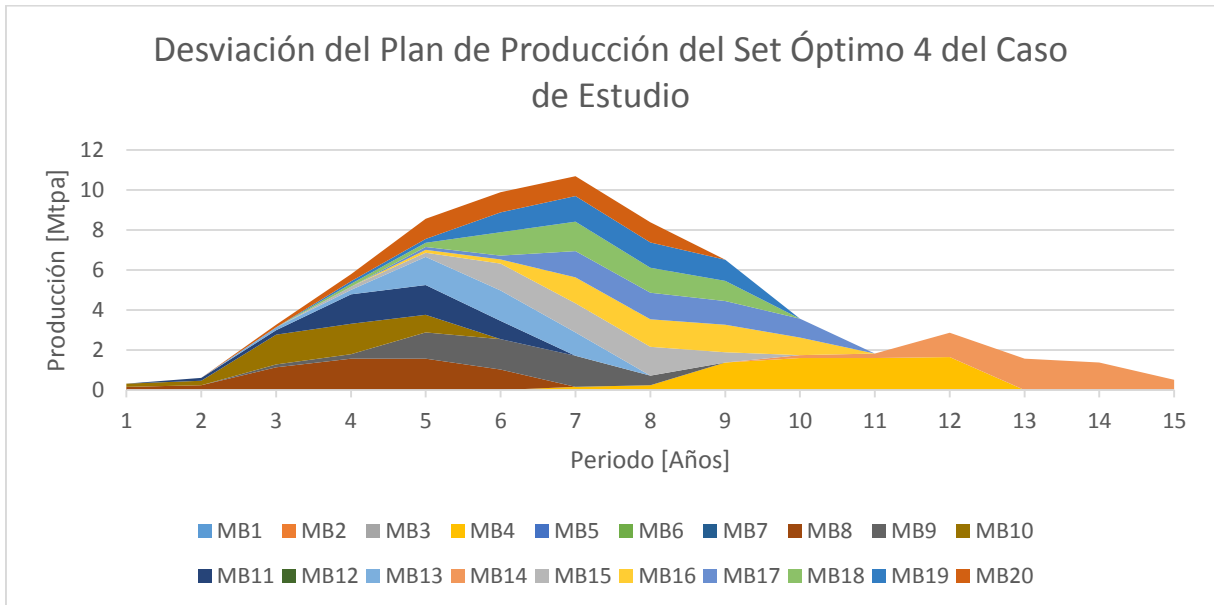
Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 50 para el set óptimo 4 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB5 y MB13 con el mayor beneficio en el año 5 de 1200 [MUS\$].





**Figura 50: flujo de caja actualizado del set óptimo 4 para el caso estudio.**

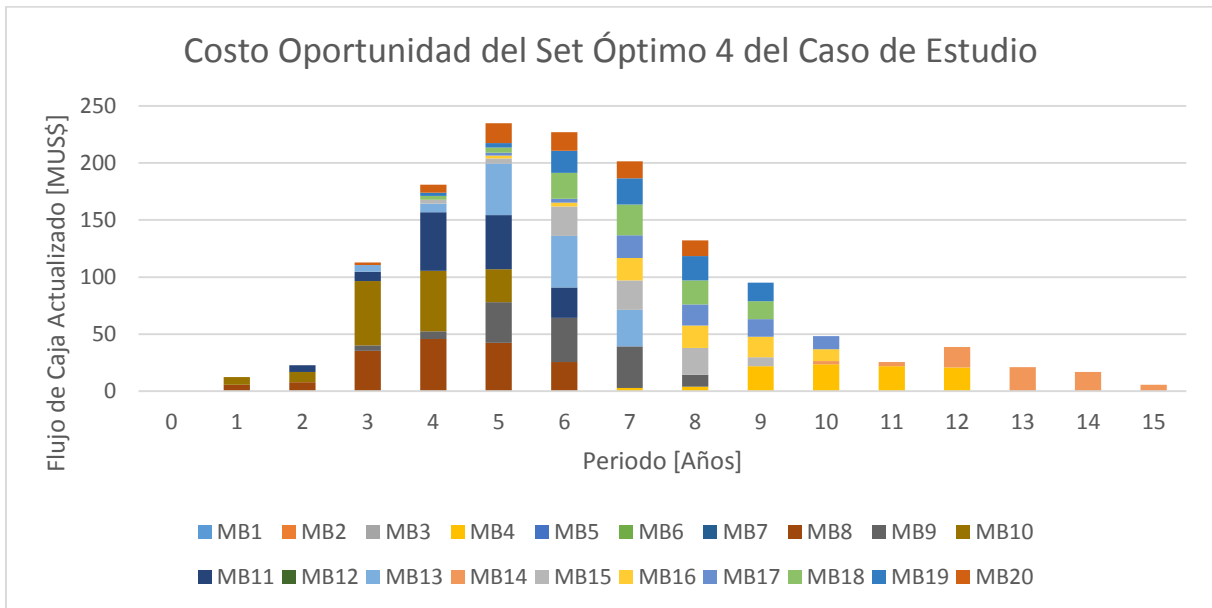
Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 51 para el set óptimo 4 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.



**Figura 51: desviación del plan de producción del set óptimo 4 para el caso de estudio.**

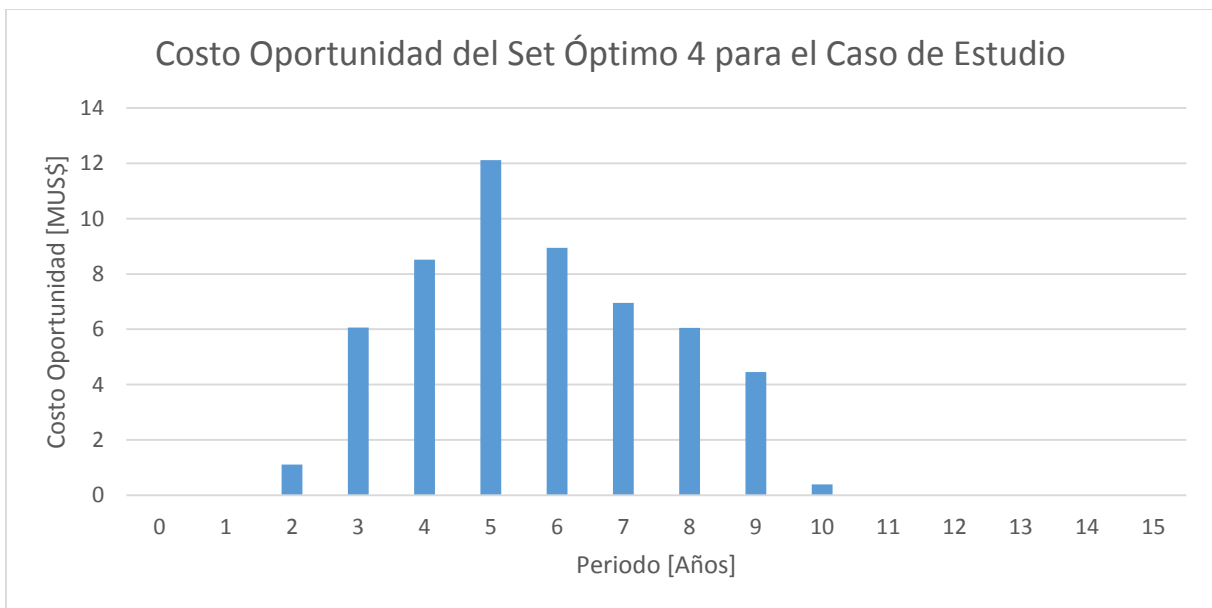
Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 52 para el set óptimo 4 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una

tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.



**Figura 52: costo oportunidad del set óptimo 4 para el caso de estudio.**

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 53 para el set óptimo 4 se aprecia que para los años en que opera un menor número de macrobloques el costo oportunidad es cero o muy bajo, mientras que en los que opera un mayor número de macrobloques el costo oportunidad es bastante elevado.



**Figura 53: costo oportunidad del set óptimo 4 para el caso de estudio.**

Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

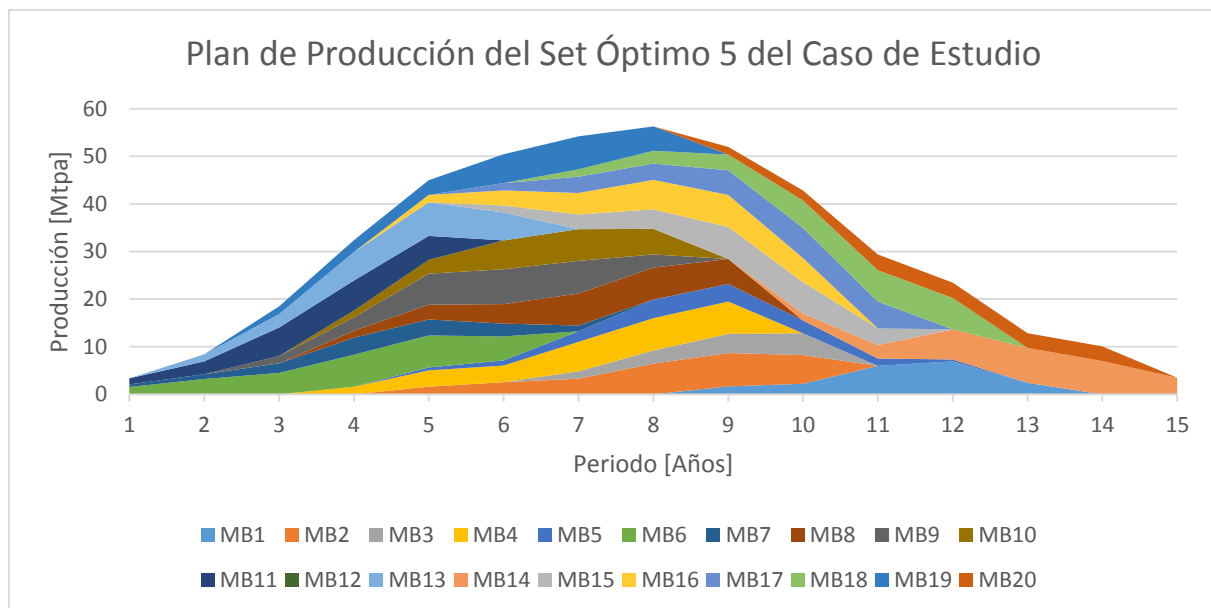
**Tabla 33: resultado cuarto set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
4	2,356	6,222

### 6.6.5 Quinto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo [2400,3300]

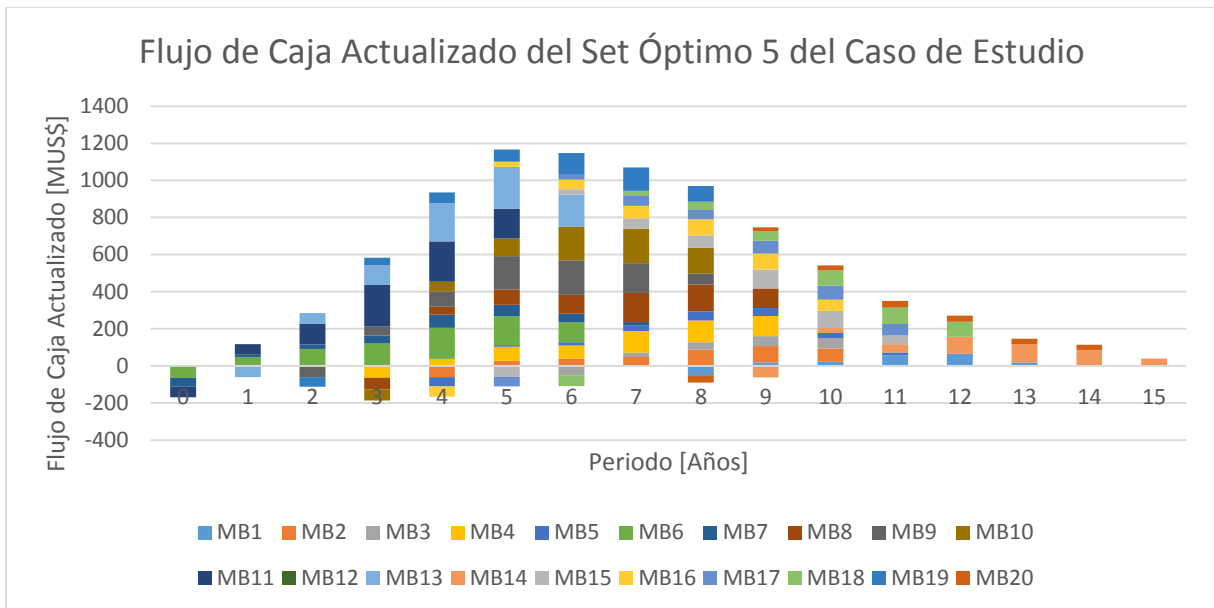
Correspondiente al quinto punto de la frontera se tiene un intervalo de mayor costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 5 en el anexo 11.11.5.

En la Figura 54 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 5 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 15, en la cual se explotan 19 macrobloques con un máximo de 13 operativos de forma simultánea, donde en el año 8 se alcanza la producción máxima de 56 [Mtpa] aproximadamente. Se observa un comportamiento de ramp-up, régimen y ramp-down aproximado.



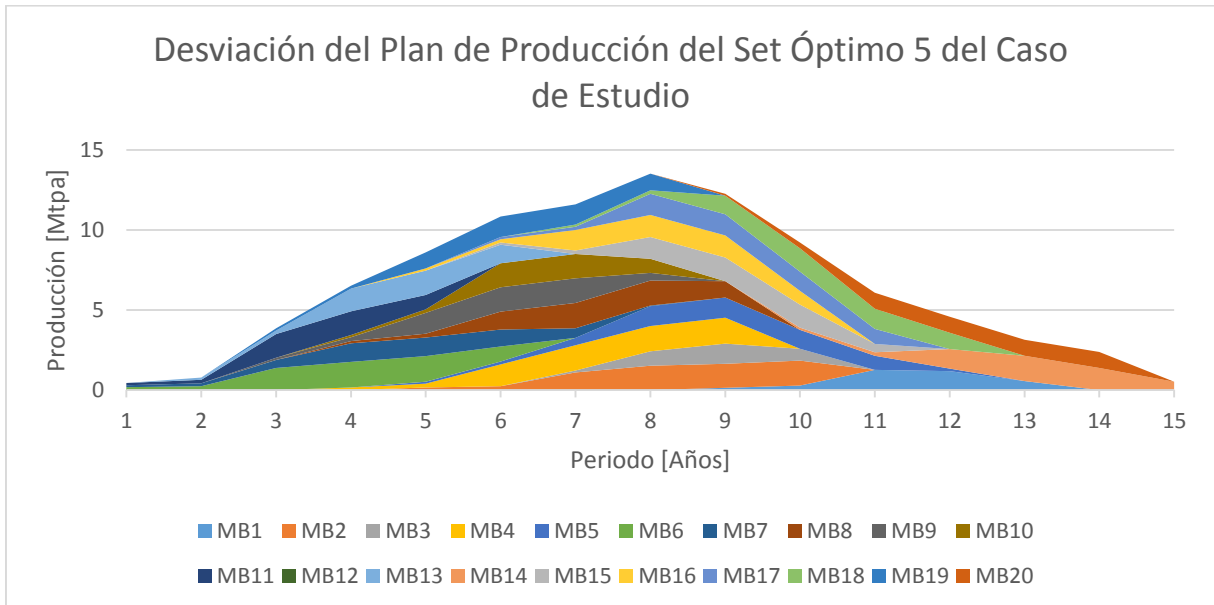
**Figura 54: plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 55 para el set óptimo 5 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB7, MB11 y MB12 con el mayor beneficio en el año 5 de 1180 [MUS\$].



**Figura 55: flujo de caja actualizado del set óptimo 5 para el caso estudio.**

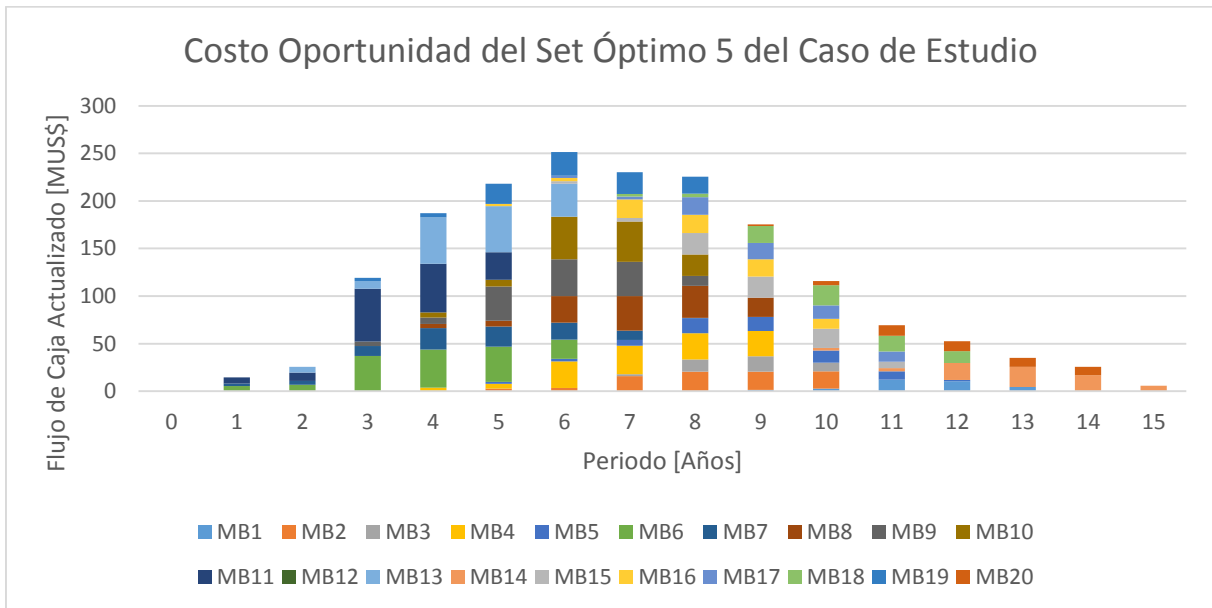
Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 56 para el set óptimo 5 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.



**Figura 56: desviación del plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio.**

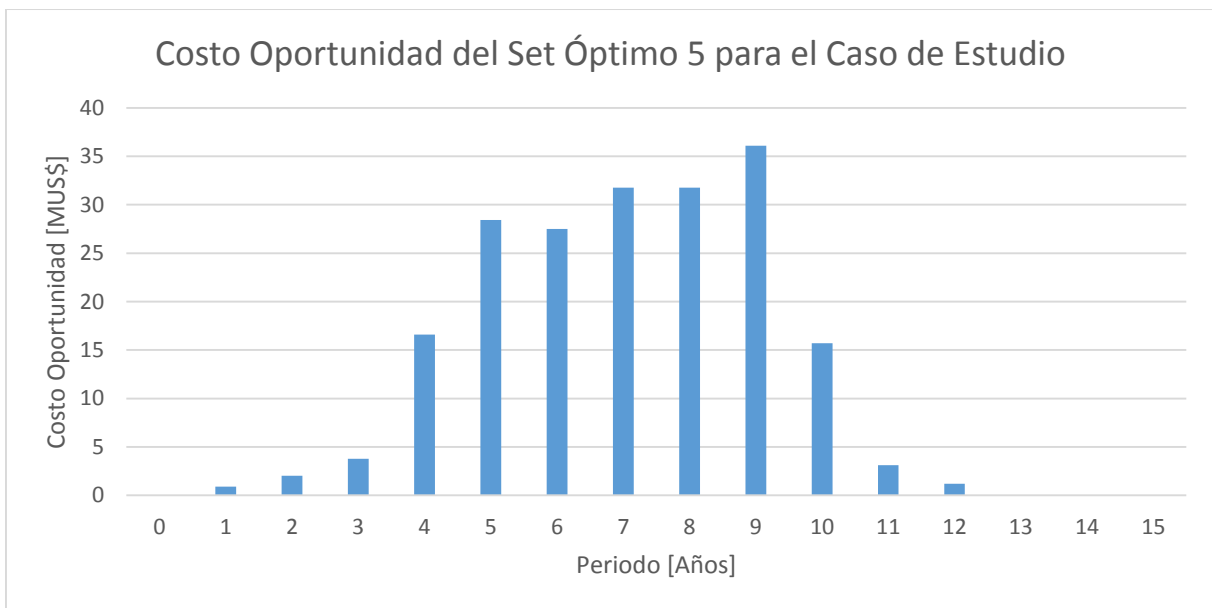
Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 57 para el set óptimo 5 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una

tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.



**Figura 57: costo oportunidad del set óptimo 5 para el caso de estudio.**

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 58 para el set óptimo 5 se aprecia que para los años en que opera un menor número de macrobloques el costo oportunidad es cero o muy bajo, mientras que en los que opera un mayor número de macrobloques el costo oportunidad es bastante elevado.



**Figura 58: costo oportunidad del set óptimo 5 para el caso de estudio.**

Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

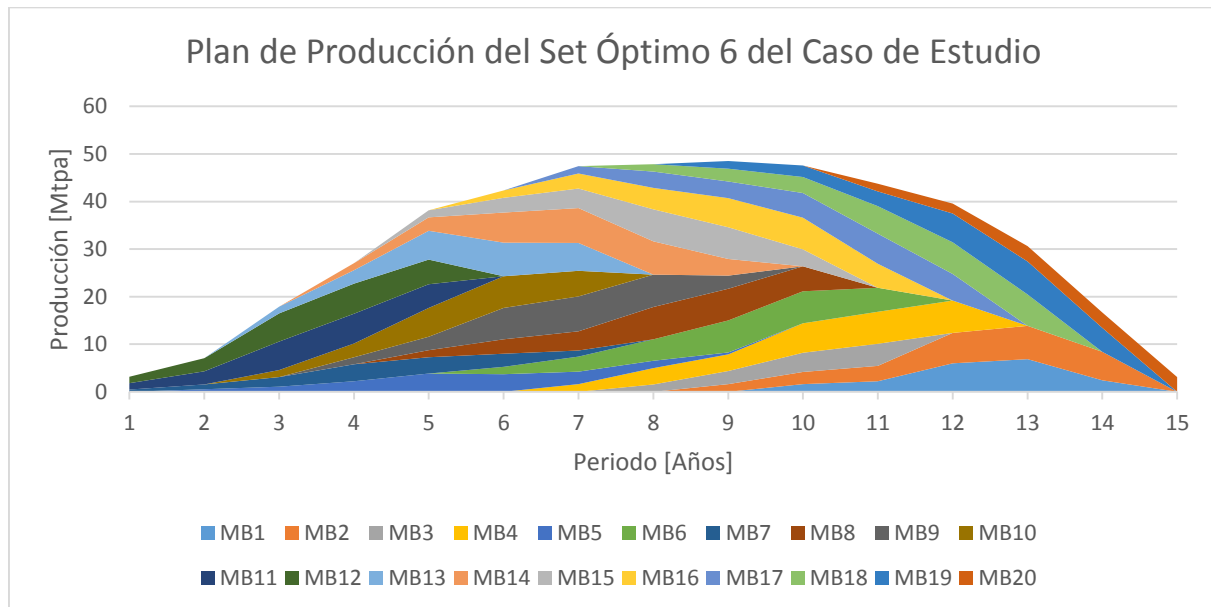
**Tabla 34: resultado quinto set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
5	3,265	7,421

#### 6.6.6 Sexto set óptimo de macrobloques con riesgo en el intervalo $[3,300-\infty]$

Correspondiente al último punto de la frontera se tiene el último intervalo de costo oportunidad, donde de la optimización se obtienen las variables de decisión, plan de producción, desviación del plan de producción y valorización económica del set óptimo 6 en el 11.11.6. Este set corresponde al set del caso base.

En la Figura 59 se tiene el plan de producción resultado para el set óptimo 6 en el cual la producción comienza el año 1 y termina el año 15, en la cual se explotan 20 macrobloques con un máximo de 13 operativos de forma simultánea, donde en el año 7 al 10 se alcanza la producción máxima de 48 [Mtpa] aproximadamente. Se observa un comportamiento de ramp-up, régimen y ramp-down aproximado.



**Figura 59: plan de producción del set óptimo 5 para el caso de estudio.**

Mediante el plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 60 para el set óptimo 6 en el cual en el año 0 se tiene la inversión inicial asociada a los desarrollos del MB7, MB11 y MB12 con el mayor beneficio en el año 5 de 1080 [MUS\$].

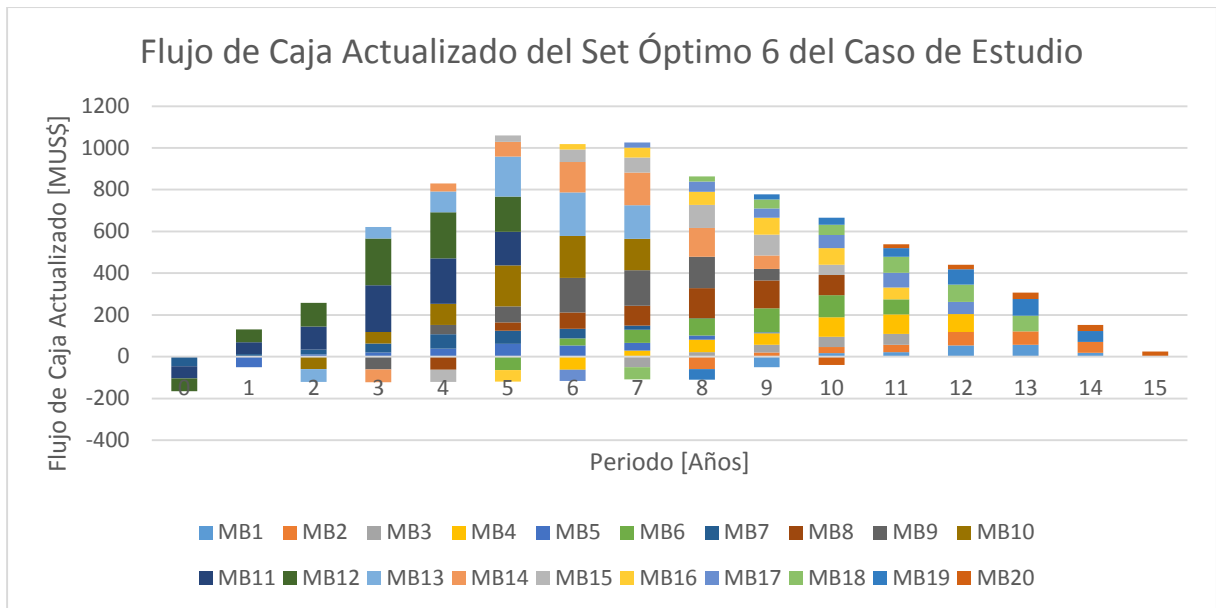


Figura 60: flujo de caja actualizado del set óptimo 6 para el caso estudio.

Mediante el plan de producción se obtiene la desviación del plan de producción en la Figura 61 para el set óptimo 6 entre los cuales existe una tendencia bastante similar salvo pequeños cambios y una magnitud bastante menor.

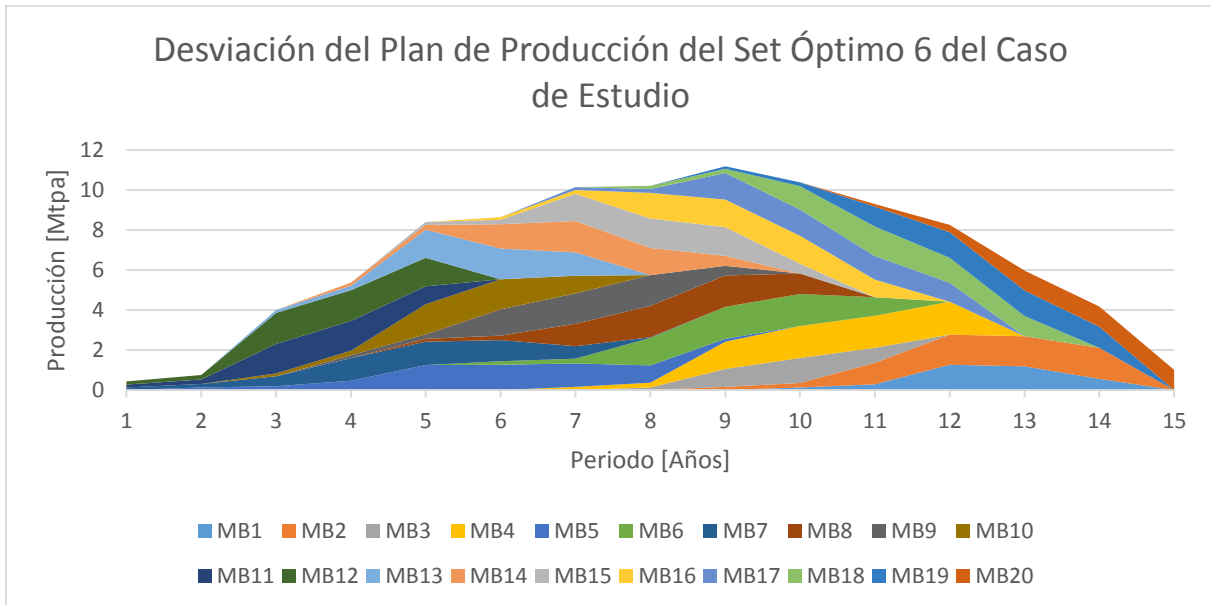


Figura 61: desviación del plan de producción del set óptimo 6 para el caso de estudio.

Mediante la desviación del plan de producción se obtiene la valorización en la Figura 62 para el set óptimo 6 en el cual fuera de que no considera inversión ni tasa de retorno se cumple una

tendencia bastante similar con una diferencia considerable en magnitud con respecto al flujo de caja.

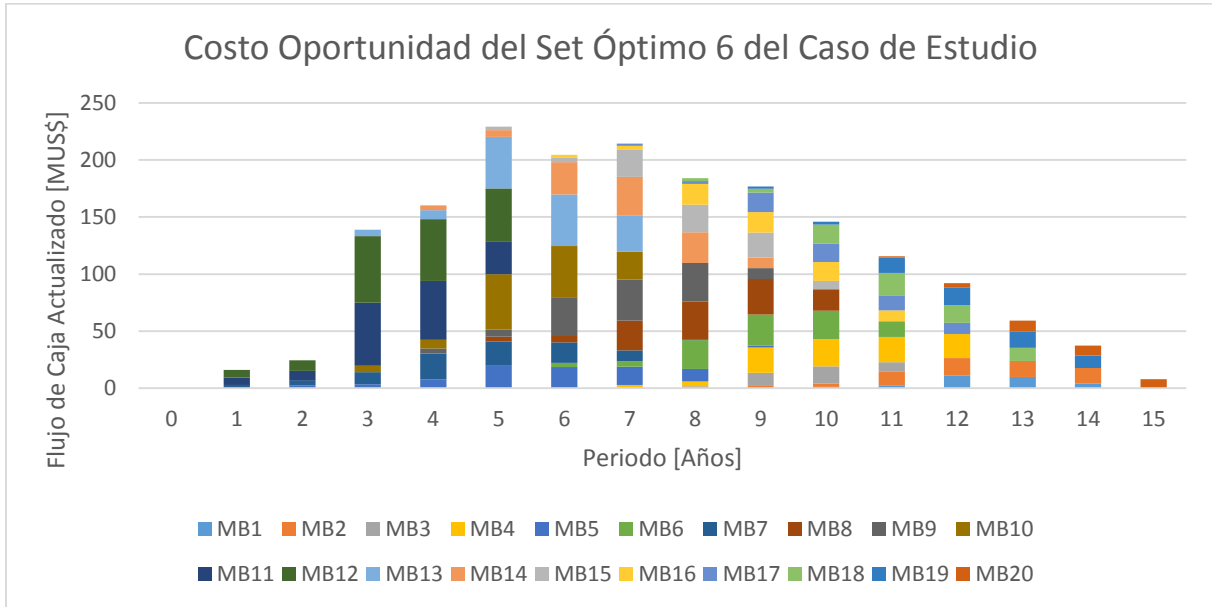


Figura 62: costo oportunidad del set óptimo 6 para el caso de estudio.

Mediante la relación que se establece entre los macrobloques se obtiene la valorización del costo oportunidad en la Figura 63 para el set óptimo 6 se aprecia que para los años en que opera un menor número de macrobloques el costo oportunidad es cero o muy bajo, mientras que en los que opera un mayor número de macrobloques el costo oportunidad es bastante elevado.

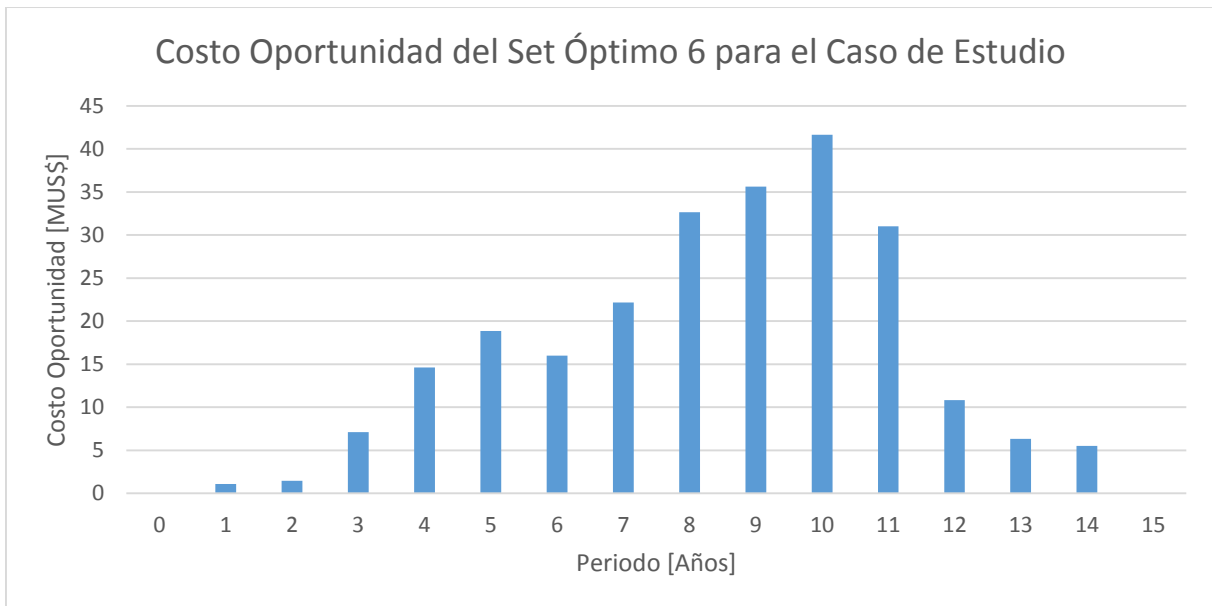


Figura 63: costo oportunidad del set óptimo 6 para el caso de estudio.



Por lo que, a modo de resumen se obtiene:

**Tabla 35: resultado sexto set óptimo de macrobloques.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
6	3,520	7,587

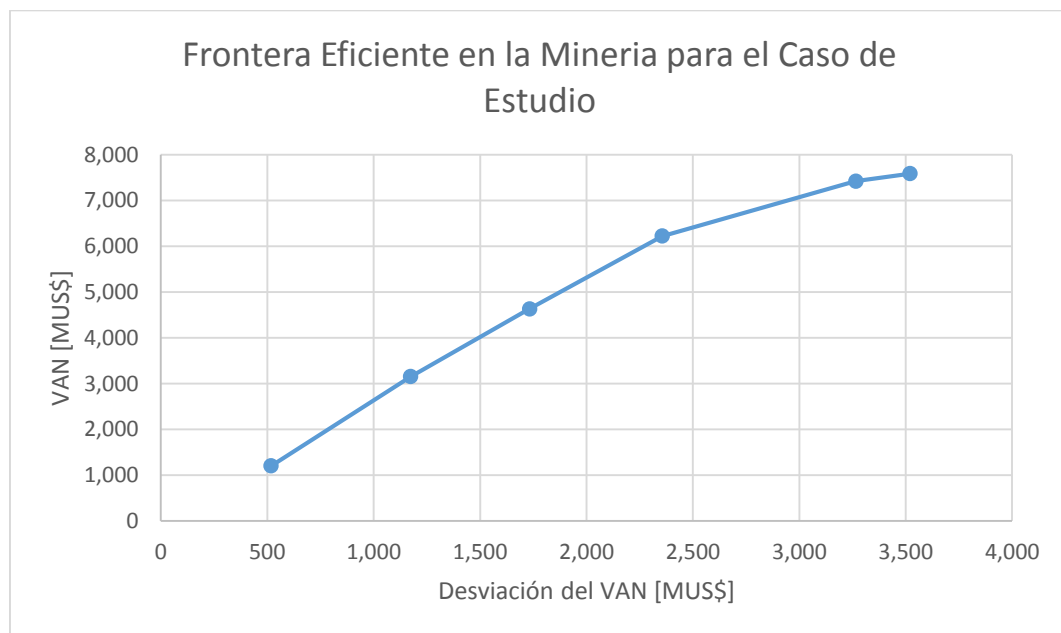
## 6.7 Frontera eficiente del caso de estudio

Mediante los sets obtenidos en el capítulo 6.6, resumidos en la Tabla 34 se grafica el retorno versus el riesgo para obtener la frontera eficiente en la minería de la mina “M1” de la Figura 64.

**Tabla 36: sets óptimos de macrobloques del caso de estudio.**

Set óptimo	Riesgo [MUS\$]	Retorno [MUS\$]
1	517	1,201
2	1,173	3,152
3	1,732	4,630
4	2,356	6,222
5	3,265	7,421
6	3,520	7,587

En la Tabla 34 se desprende que con el aumento del intervalo de riesgo existe un aumento en el retorno existiendo una relación directa.



**Figura 64: frontera eficiente en la minería obtenida de los 6 sets óptimos del caso de estudio.**

## 7 VALIDACIÓN

La frontera eficiente en la minería considera condiciones de típica operación en la minería, en conjunto con variables y funciones de conocido uso en las decisiones estratégicas de los planes de producción. Este es función de un problema de optimización que es solucionado mediante el uso del software complemento Solver de Microsoft Office Excel, que busca maximizar el beneficio sujeto a un intervalo de riesgo con métrica el costo oportunidad de operar un portafolio de macrobloques.

Bajo el problema de optimización utilizado en el caso de estudio se pretende mantener las mismas condiciones sin considerar un intervalo de riesgo debido al hecho de no obtener soluciones factibles, de esta forma validar si las restricciones realizan la función para la que han sido consideradas.

### 7.1 Límite de macrobloques desarrollados por año

Al evaluar los seis set óptimos, bajo la condición de “*MD*” igual a 3, está restricción se cumple, de esta forma se verifica, a primera instancia, que se cumple el objetivo.

De todas maneras, al aumentar la variable a  $MP=4$  se obtiene el set óptimo de la Figura 65 en la cual el plan de producción que debería corresponder al caso base se ve alterado para alcanzar un total de 4 macrobloques iniciados, en el año 5.

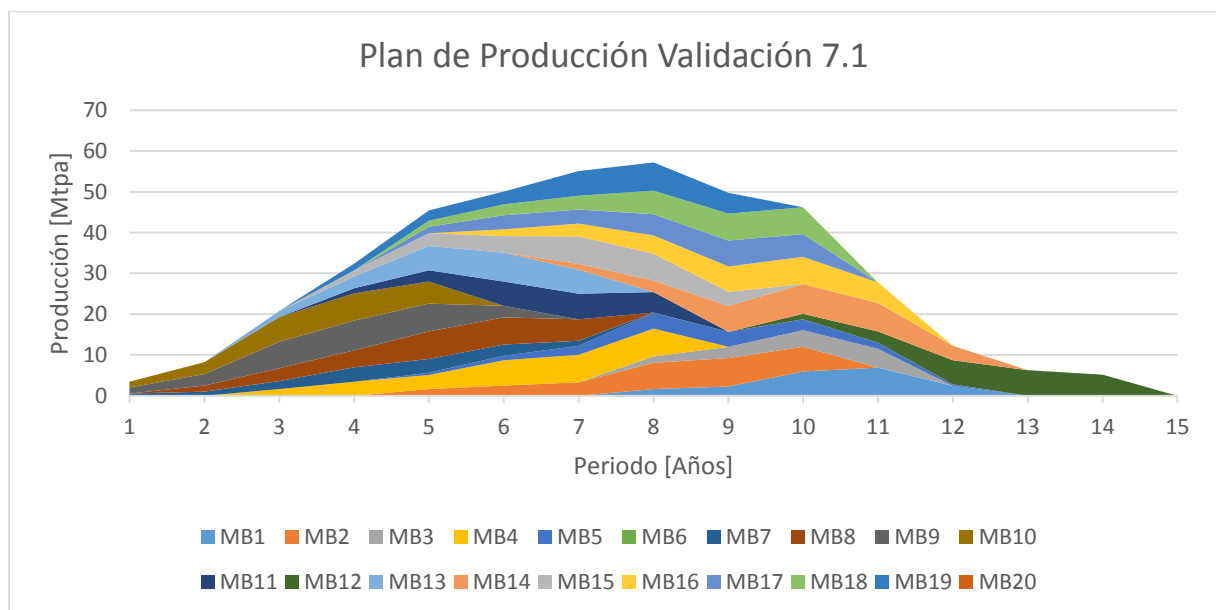


Figura 65: plan de producción obtenido mediante la validación 7.1.

## 7.2 Máximo de macrobloques operativos en el periodo

Se pretende verificar si la restricción asociada al número máximo de macrobloques operativos en el periodo realiza la función considerada. De esta forma se modifica el parámetro “*MT*” de 20 a 1 con el objetivo de obtener un solo macrobloque en operación.

Al optimizar se obtiene la Figura 66 que valida el hecho de obtener un plan de producción que considera la extracción del macrobloque MB9, comenzando en el año 1 y terminando en el año 8.

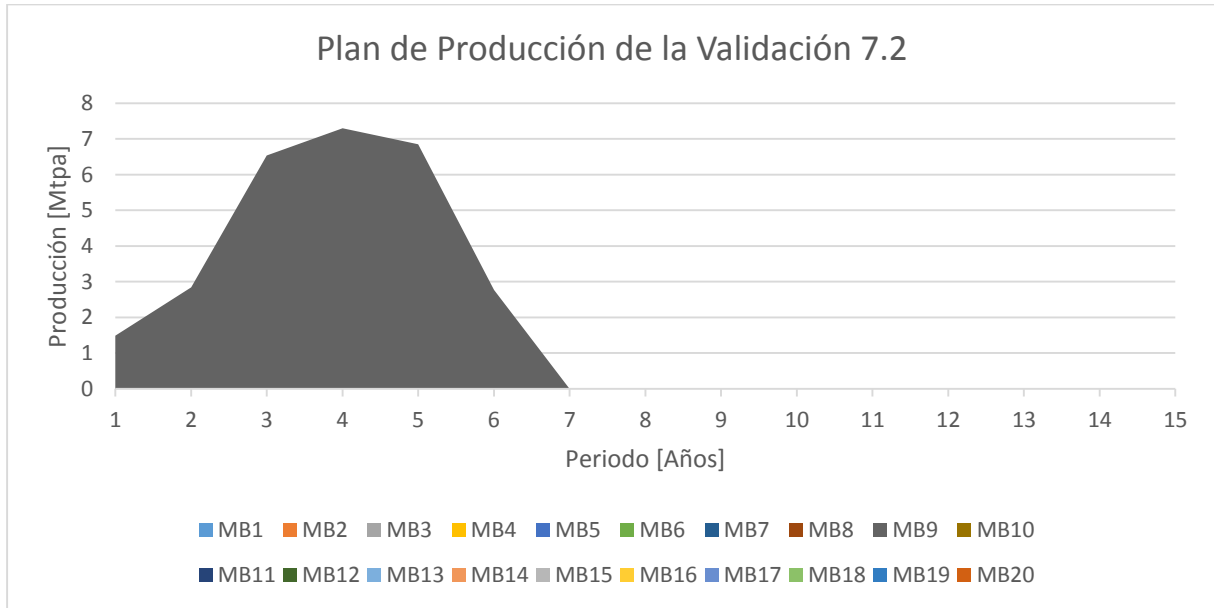
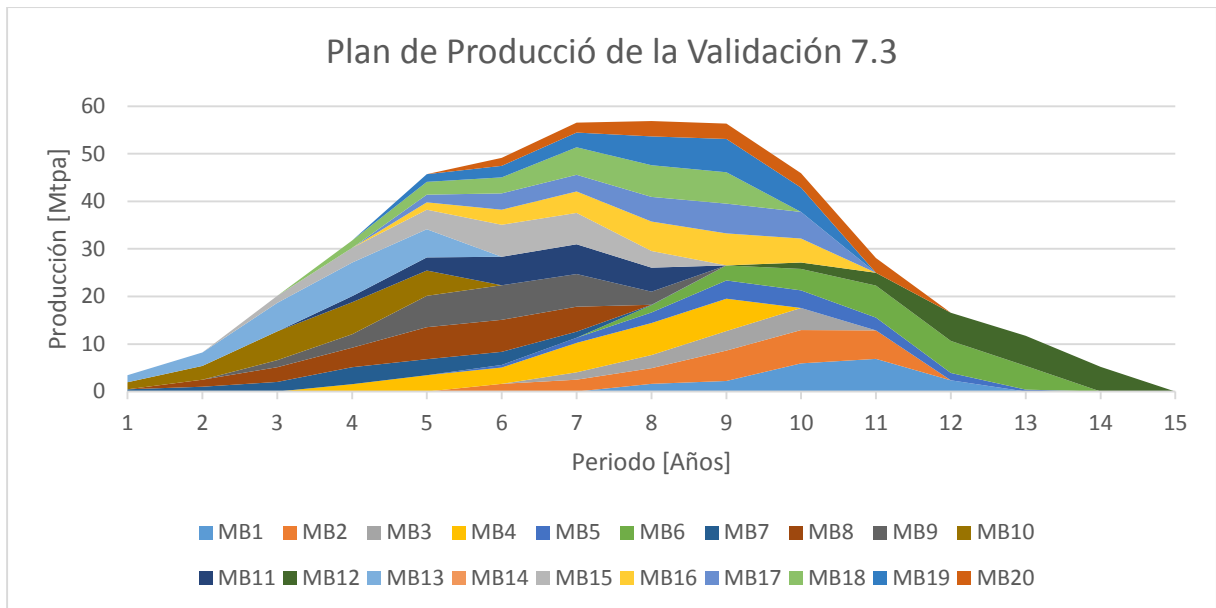


Figura 66: plan de producción obtenido mediante la validación 7.2.

## 7.3 Límite máximo de macrobloques que operan de forma simultanea

Al evaluar los seis set óptimos, bajo la condición de “*MO*” igual a 13, esta restricción se cumple, de esta forma se verifica, a primera instancia, que se cumple el objetivo.

De todas maneras, al aumentar la variable a  $MO=15$  se obtiene el set óptimo de la en el cual el plan de producción, que debería corresponder al caso base, se ve alterado hasta alcanzar un total de 15 macrobloques operativos de forma simultánea en el año 8.



**Figura 67: plan de producción obtenido mediante la validación 7.3.**

#### 7.4 El macrobloque no puede operar en el año “a”

Mediante la validación del capítulo 7.1 que considera el plan de extracción de un macrobloque se agrega la restricción de la siguiente ecuación que restringe la operación de todos los macrobloques en el año 1.

$$X_{i,1} = 0 \quad (\forall i 1, \dots, M)$$

Con lo que se obtiene la Figura 68 donde la extracción del macrobloque MB9, que sigue siendo el set óptimo, se traslada para el año 2.

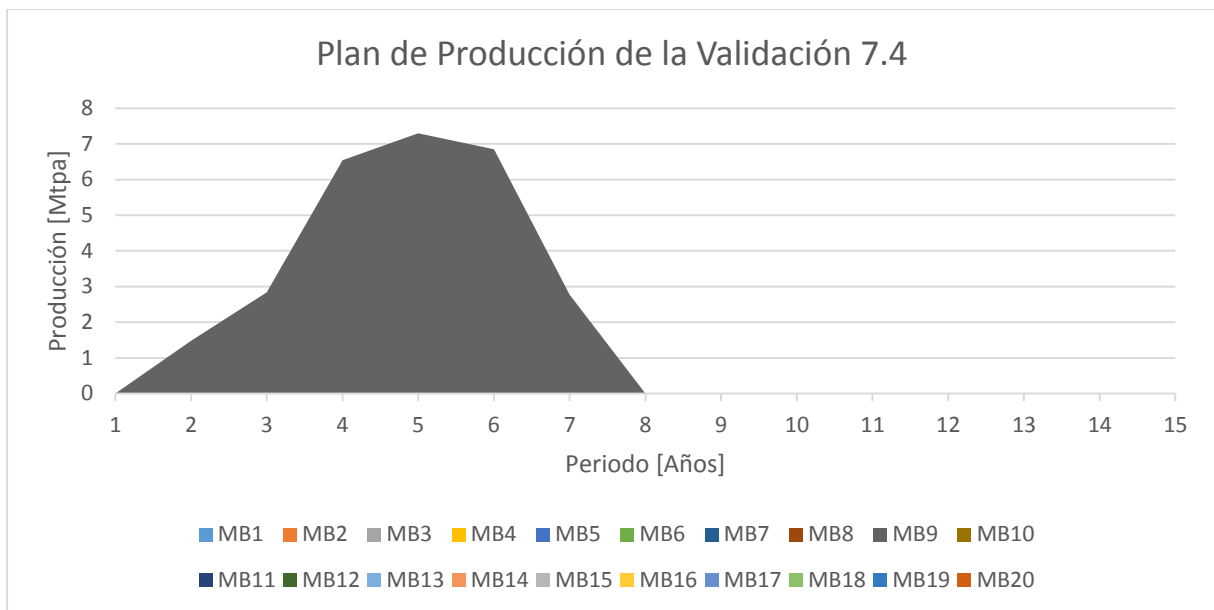


Figura 68: plan de producción obtenido mediante la validación 7.4.

## 7.5 Maximizando VAN

Mediante la validación del capítulo 7.1 que considera el plan de extracción de un macrobloque y la Tabla 35 con el VAN asociado al plan de producción de la extracción de un macrobloque es posible visualizar que el set de un macrobloque que optimiza el VAN es el MB9.

Tabla 37: VAN y desviación del VAN obtenida para el plan de producción que considera la extracción de un solo macrobloque.

Macrobloque	DVAN [MUS\$]	VAN [MUS\$]
MB1	76	283
MB2	152	433
MB3	79	224
MB4	212	600
MB5	128	216
MB6	201	629
MB7	129	232
MB8	225	735
MB9	210	777
MB10	203	758
MB11	199	712
MB12	234	724
MB13	210	774
MB14	185	712

MB15	156	517
MB16	137	464
MB17	133	437
MB18	163	542
MB19	152	518
MB20	115	275

## 8 DISCUSIÓN

De los resultados del presente trabajo se tienen las siguientes discusiones asociadas a la frontera eficiente en la minería:

Los quiebres que se producen en los planes de producción de los sets óptimos obtenidos, como se destaca en el gráfico del set óptimo 1 para los años 6, 7 y 8, se deben a la consideración de una producción anual discreta para los macrobloques.

Para los sets que se encuentran en el intervalo de riesgo menor a intermedio, correspondientes a los set óptimos 1, 2 y 3 se aprecian casos de bajo tonelaje (tonelajes menores a 14, 20 y 40 millones de toneladas por año respectivamente) que se alejan de la producción objetivo, si bien las condiciones son similares, la operación de un macrobloque lleva consigo un riesgo asociado a su operación, por lo que poner un límite muy bajo limita de forma indirecta la cantidad máxima de macrobloques operativos.

Dependiendo del tipo de estrategia de planificación, debido a la relación que se forma entre el menor riesgo y la cantidad de macrobloques operativos, existirán casos que no serán relevantes para el análisis, como por ejemplo podría ser el primer set óptimo debido a su baja producción, lo que hace necesario determinar el riesgo mínimo.

En el segundo set de portafolios óptimos el riesgo asociado a la operación de macrobloques de forma simultánea es nulo, por lo tanto operan solo macrobloques independientes entre ellos o evita la operación en conjunto como lo es el efecto que se produce de no lograr un estado de régimen en vez de evitar la maximización de utilidades que produce la tasa de descuento en años posteriores. A mayor riesgo como lo son el tercer y cuarto sets óptimos se sigue evitando la operación de macrobloques en forma simultánea del intervalo más riesgoso, como lo son los macrobloques que se encuentran entre el MB1 al MB9.

El sexto set de portafolios óptimos corresponde al caso base (planificación de la mina “M1”) lo que valida el hecho de que el orden de extracción de macrobloques contemporáneo, como por ejemplo en la planificación de la mina “M1” busca maximizar el retorno con la métrica VAN sin asociar el riesgo. Siendo posible que si la minera presenta evitar riesgo, buscando una relación Riesgo/Retorno que se asemeja a la estimación de una recta en la curva de la frontera eficiente según lo que la compañía minera es capaz de aceptar.

## 9 CONCLUSIÓN

Para la teoría de frontera eficiente en la minería se considera como unidad de explotación los macrobloques, generando planes de producción dependiendo de cuál macrobloque opera en el periodo y cuando comienza su extracción. Utilizando como métrica del retorno, el VAN asociado al flujo de caja del plan de producción y para el riesgo, la desviación del VAN asociada a la desviación del tonelaje producido en el plan de producción. Con lo que se obtuvo una frontera eficiente compuesta de seis sets óptimos.

La empresa minera no necesariamente establece un riesgo máximo, sino que puede establecer una relación riesgo/retorno según su tolerancia, lo que permitirá identificar el tope al cual el set de planificación de macrobloques óptimos es representativo y la diferencia de retorno entre dicho set y el que maximiza el VAN global, el cual corresponde a la opción por la que optaría la minera en otro situación.

El set óptimo que maximiza el retorno global a un elevado riesgo, es decir, es el que otorga el mayor retorno a un riesgo muy alto pero no necesariamente máximo. Esto significa que pueden existen sets con mayor riesgo que este punto, pero su retorno será menor, por lo que estos puntos no se consideran sets óptimos debido a que la compañía minera es adversa al riesgo.

Considerar inversiones fijas y ramp up mínimo podría permitir la elección de planes bajo una producción mínima según lo que requiere la mina. Mientras que el uso de inversiones variables y ramp up máximo permite una planificación más estratégica a la hora de decidir las dimensiones, producción, equipos que utilizara la minera.

Un riesgo mayor implica una mayor incertidumbre, para un plan de producción significa que es más probable que se deban tomar medidas paliativas. El riesgo involucrado a la operación de un macrobloque podría disminuir mediante la consideración de diferentes condiciones operaciones, como disponer de equipos de carguío extra, un plan de mantenciones más intensivo, un mayor número de cuadrillas, entre otras. Mientras que la operación en conjunto de macrobloques podría ver disminuido su riesgo si se considerara un mayor número de infraestructura en paralelo a modo de re evaluar el riesgo. Por lo que esta metodología de planificación permite tener mayor información.

Disponer del riesgo en la etapa de planificación permite realizar una inversión más informada, esto debido a que el plan de producción óptimo para el mayor riesgo, es el que otorga el mayor VAN que se obtiene por la planificación típica. Pero además permite analizar la variabilidad en el tonelaje y que tan diferente puede ser con respecto a planes de retorno similar.



## 10 BIBLIOGRAFÍA

Cavieres, P., 1999. *Evolución de los Métodos de Explotación en la Mina El Teniente*. Codelco Chile División El Teniente.

Chacon, J., 198?. En: *Block Caving y LHD reflexiones sobre mallas de extracción*. pp. 415-428.

Chitombo, G., 2010. *Cave mining — 16 years after Laubscher's 1994 paper 'Cave mining – state of the art'*.

F. Carrasco, E. C. E. P., 2013. *Variating extraction rate due to technology improvements: mine planning implications*. Mineplanning2013.

FrontlineSolvers, 2014. *FrontlineSolvers*. <http://www.solver.com/premium-solver-platform> [Último acceso: 31 Agosto 2014].

Laubscher, D., 1994. *Cave mining - the state of the art*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. p. 279-293..

Markowitz, H., 1952. *Portfolio Selection*. The Journal of Finance, Vol. 7, No. 1., pp. 77-91..

Microsoft, 2013. *Microsoft Office*. <http://office.microsoft.com/es-es/excel-help/solver-HP005198368.aspx>. [Último acceso: 31 Agosto 2014].

Norstad, J., 1999. *An Introduction to Portfolio Theory*.

Ortiz, J., 2000. *Metodos de Explotación*. Apuntes del curso MI55C. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. pp. 47-61.

Rubio, E., 2006. *Block Cave Mine Infrastructure Reliability Applied to Production Planning*. Tesis (Ph. D.). Vancouver, Canadá. The University of British Columbia. The Faculty of Graduate Studies (Mining Engineering)

Troncoso, S., 2006. *Simulación del Impacto de Interferencias Operacionales para la planificación de producción*. Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Troncoso, S., 2009. *Confiabilidad de Programas de Producción en Sistemas Mineros*. Tesis para optar al grado de magister

## 11 ANEXOS

### 11.1 Parámetros de entrada rentabilidad, volatilidad y costos de la frontera eficiente en las finanzas

Tabla 38: parámetros rentabilidad, volatilidad y costo asociados a las acciones de la frontera eficiente en las finanzas.

	Rentabilidad [%]	Volatilidad [%]	Costo [\$]
Acción 1	3.9%	0.16%	11
Acción 2	6.3%	0.67%	20
Acción 3	7.9%	2.35%	16
Acción 4	5.3%	2.87%	12
Acción 5	6.3%	0.58%	10
Acción 6	1.6%	0.02%	5
Acción 7	12.3%	7.54%	18

### 11.2 Parámetro de entrada covarianza de la frontera eficiente en las finanzas.

Tabla 39: covarianza entre las acciones para la frontera eficiente en las finanzas.

	Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción 4	Acción 5	Acción 6	Acción 7
Acción 1	0.0002%	0.0000%	-0.0003%	-0.0013%	-0.0002%	0.0000%	-0.01%
Acción 2	0.0000%	0.0045%	0.0128%	-0.0081%	-0.0036%	0.0000%	0.01%
Acción 3	-0.0003%	0.0128%	0.0552%	0.0114%	-0.0118%	-0.0003%	0.11%
Acción 4	-0.0013%	-0.0081%	0.0114%	0.0821%	0.0046%	-0.0002%	0.18%
Acción 5	-0.0002%	-0.0036%	-0.0118%	0.0046%	0.0033%	0.0001%	-0.01%
Acción 6	0.0000%	0.0000%	-0.0003%	-0.0002%	0.0001%	0.0000%	0.00%
Acción 7	-0.0057%	0.0051%	0.1089%	0.1834%	-0.0069%	-0.0006%	0.57%

Tabla 40: variable de decisión X para los 5 portafolios de la frontera eficiente en las finanzas.

	Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción 4	Acción 5	Acción 6	Acción 7
Portafolio 1	34%	22%	4%	0%	40%	0%	0%
Portafolio 2	0%	22%	21%	0%	50%	0%	6%
Portafolio 3	0%	8%	37%	0%	43%	0%	12%
Portafolio 4	0%	0%	36%	0%	41%	0%	23%
Portafolio 5	0%	0%	0%	0%	23%	17%	60%

Tabla 41: primera sección del plan de producción anual para la mina "M1".

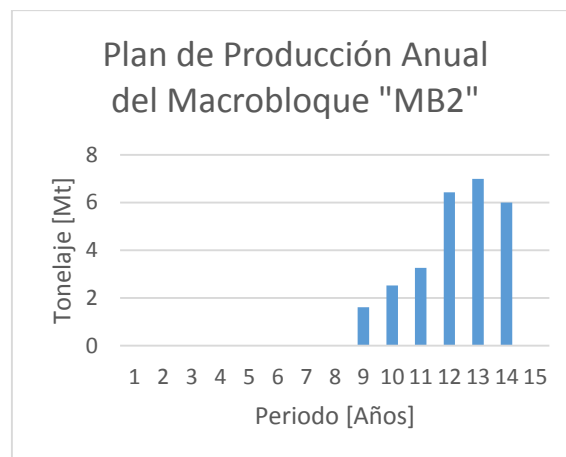
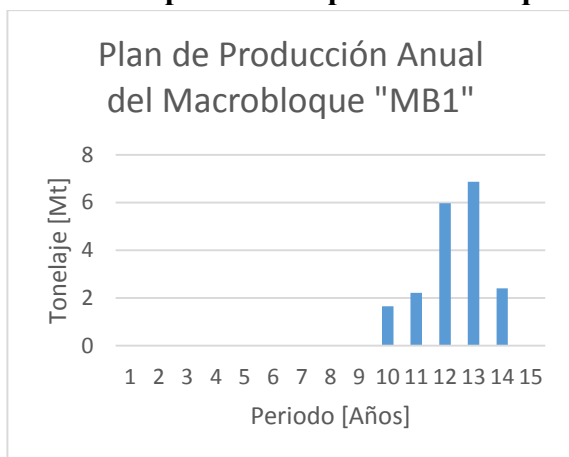
Periodo [Años]	Tonelaje [Mt]									
	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.0	0.0	0.0	1.4
4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	3.5	0.0	1.5	2.9
5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	3.4	1.5	2.8	6.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	1.5	2.7	3.1	6.5	6.7

7	0.0	0.0	0.0	1.6	2.7	3.2	1.2	4.1	7.3	5.4
8	0.0	0.0	1.5	3.4	1.5	4.5	0.1	6.7	6.9	0.0
9	0.0	1.6	2.8	3.5	0.4	6.7	0.0	6.7	2.8	0.0
10	1.6	2.5	4.1	6.2	0.0	6.7	0.0	5.3	0.0	0.0
11	2.2	3.3	4.6	6.8	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	6.0	6.4	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	6.9	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	2.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

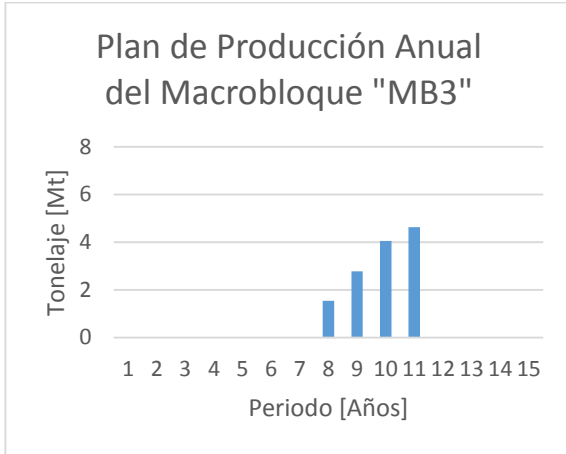
Tabla 42: segunda sección del plan de producción anual para la mina "M1".

Periodo [Años]	Tonelaje [Mt]									
	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	1.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	6.0	5.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	6.3	6.3	2.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	5.0	5.2	6.0	2.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	7.1	6.3	3.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	5.9	7.3	4.1	3.2	1.6	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	7.0	6.7	4.5	3.5	1.5	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	3.5	6.6	6.2	3.5	2.7	1.6	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	6.7	5.2	3.3	2.5	1.6
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	6.3	5.8	3.1	2.1
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	6.7	6.0	3.2
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	6.9	3.3
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	3.1
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1

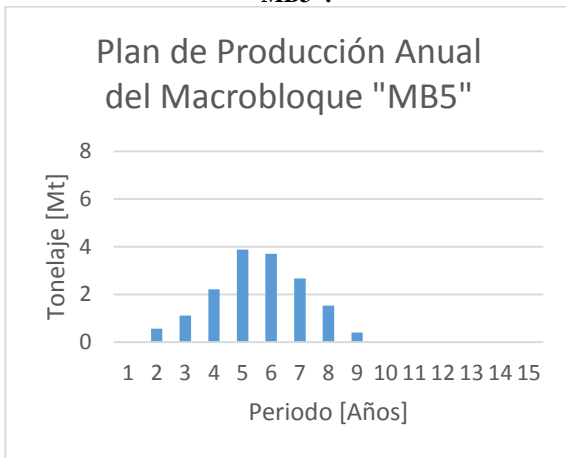
### 11.3 Plan de producción por macrobloque de la mina "M1"



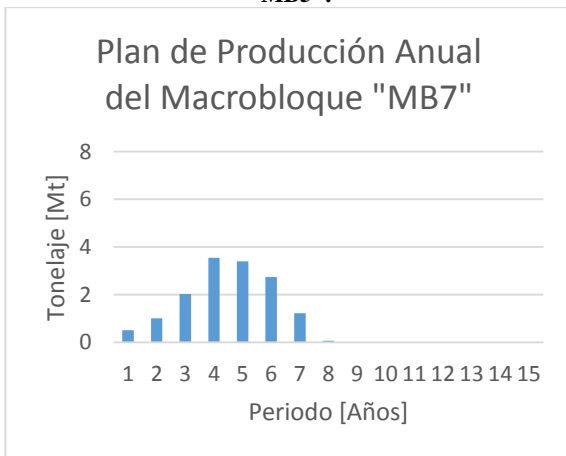
**Figura 69: plan de producción anual del macrobloque "MB1".**



**Figura 71: plan de producción anual del macrobloque "MB3".**

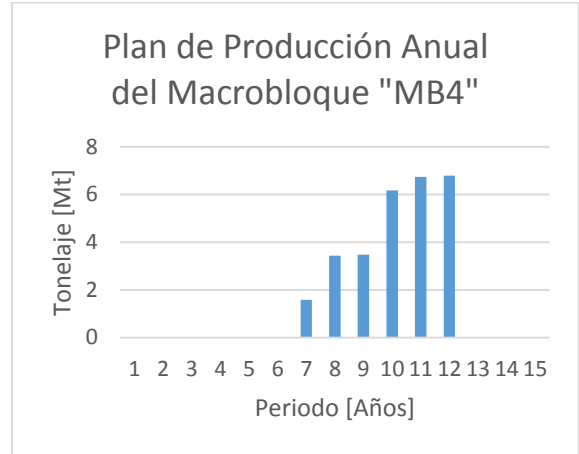


**Figura 73: plan de producción anual del macrobloque "MB5".**

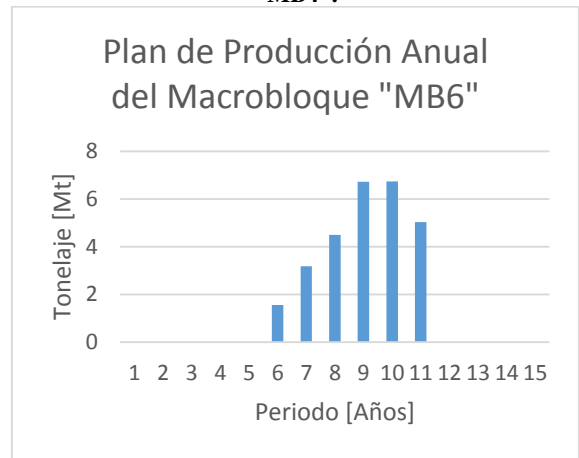


**Figura 75: plan de producción anual del macrobloque "MB7".**

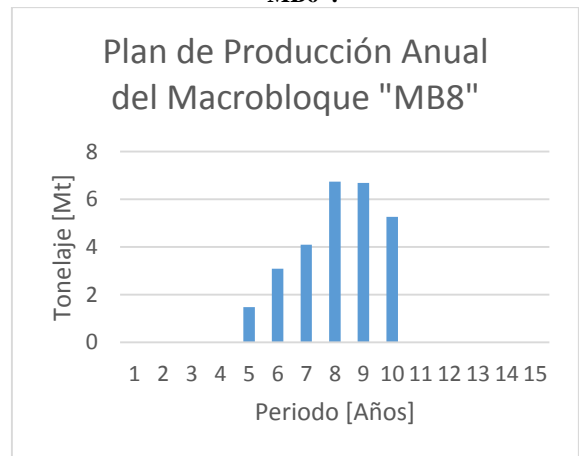
**Figura 70: plan de producción anual del macrobloque "MB2".**



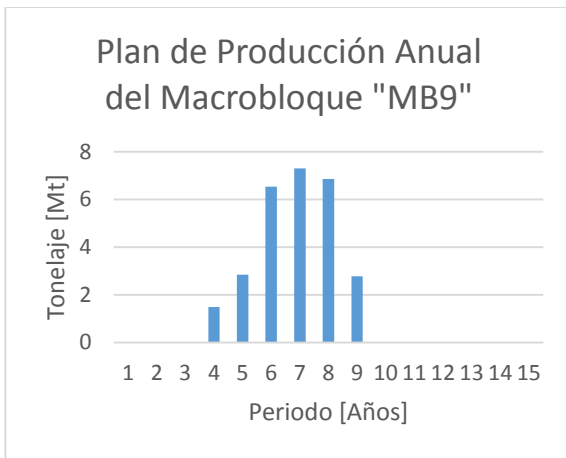
**Figura 72: plan de producción anual del macrobloque "MB4".**



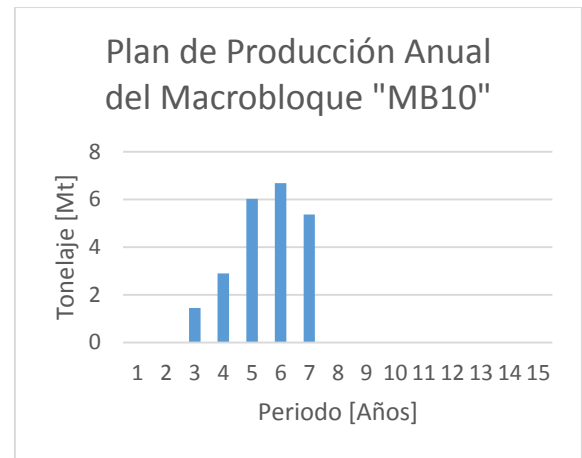
**Figura 74: plan de producción anual del macrobloque "MB6".**



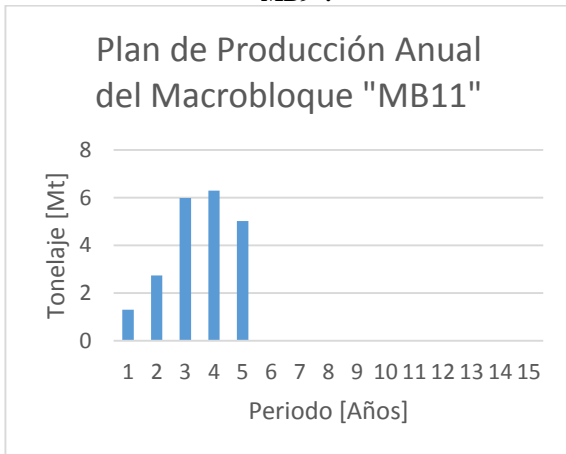
**Figura 76: plan de producción anual del macrobloque "MB8".**



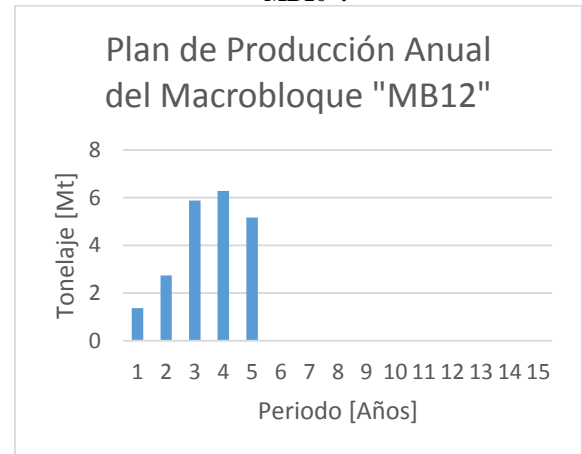
**Figura 77:** plan de producción anual del macrobloque "MB9".



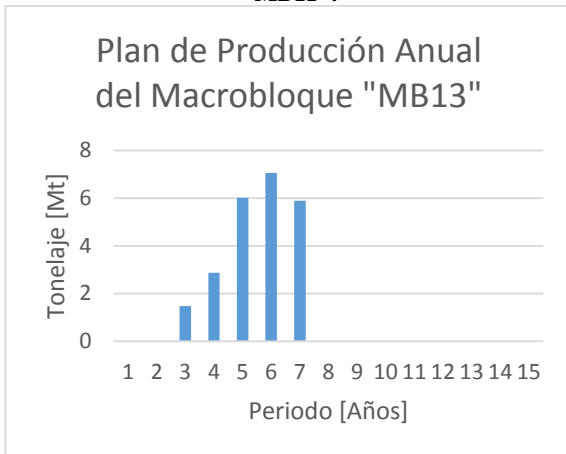
**Figura 78:** plan de producción anual del macrobloque "MB10".



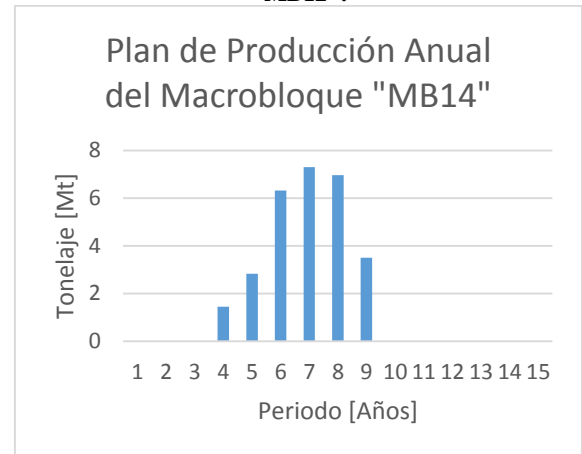
**Figura 79:** plan de producción anual del macrobloque "MB11".



**Figura 80:** plan de producción anual del macrobloque "MB12".



**Figura 81:** plan de producción anual del macrobloque "MB13".



**Figura 82:** plan de producción anual del macrobloque "MB14".

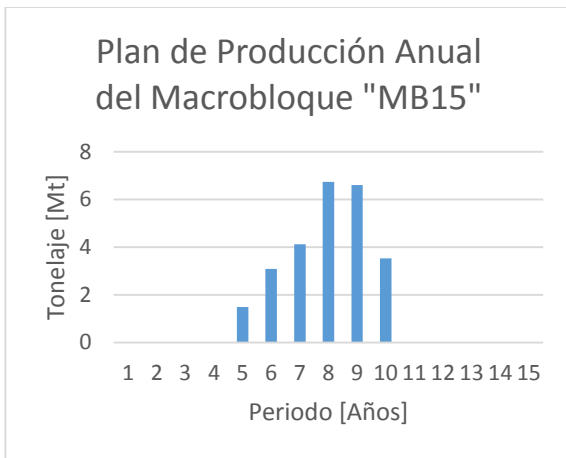


Figura 83: plan de producción anual del macrobloque "MB15".

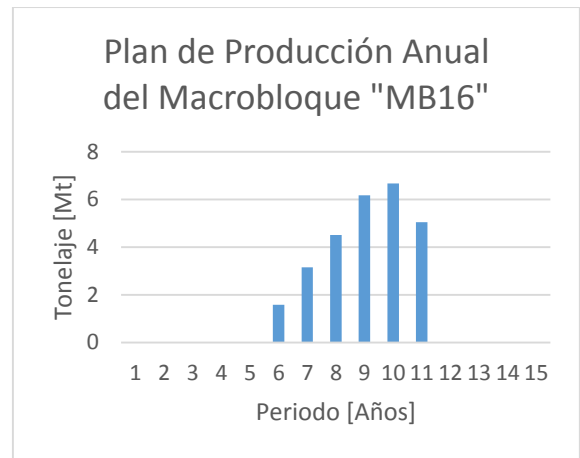


Figura 84: plan de producción anual del macrobloque "MB16".

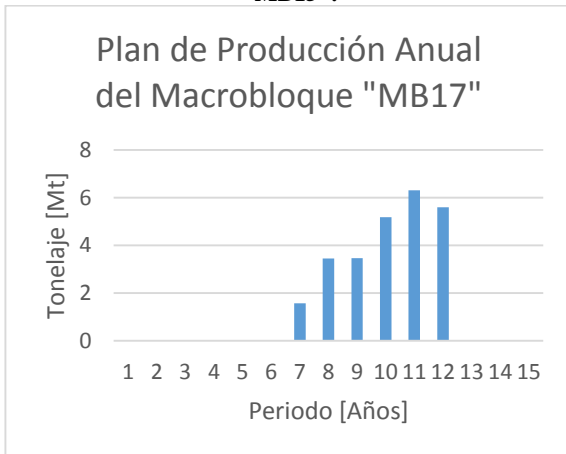


Figura 85: plan de producción anual del macrobloque "MB17".

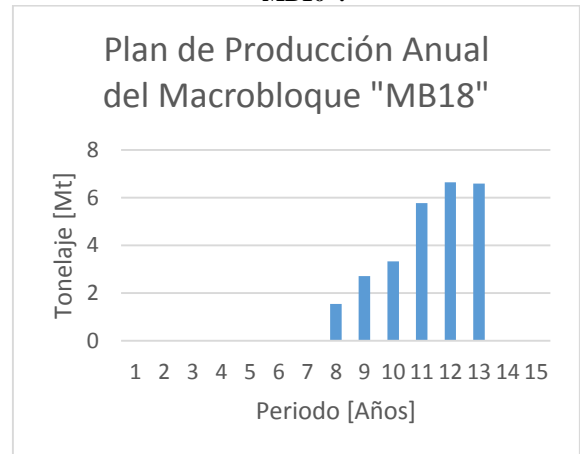


Figura 86: plan de producción anual del macrobloque "MB18".

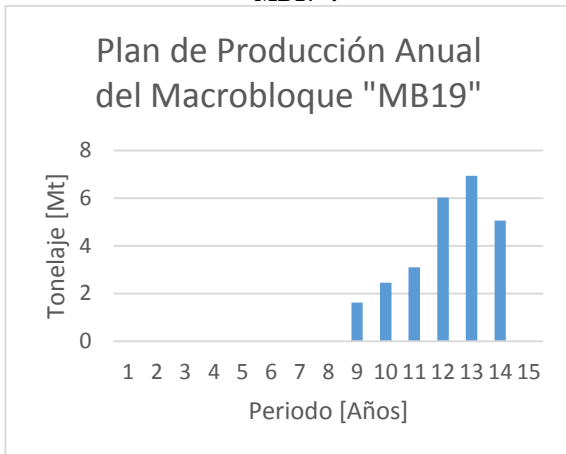


Figura 87: plan de producción anual del macrobloque "M19".

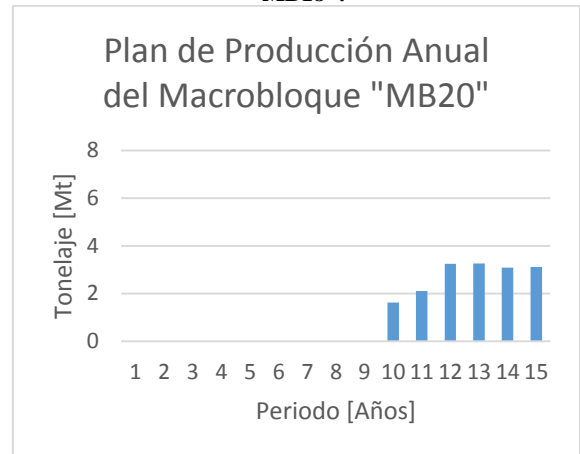


Figura 88: plan de producción anual del macrobloque "M20".

### 11.4 Perfil de área activa de los macrobloques según el plan de producción de la mina "M1"

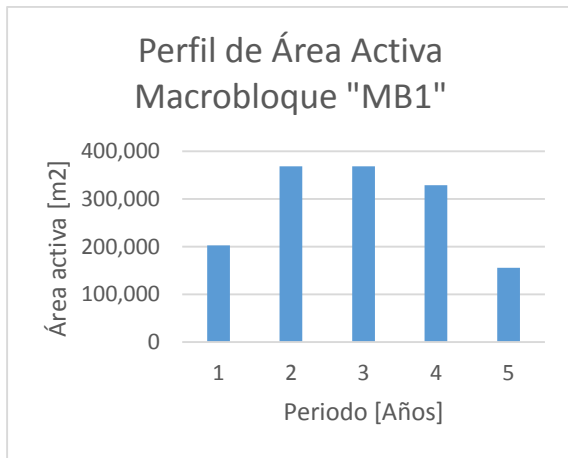


Figura 89: plan de producción anual para el macrobloque "MB1".

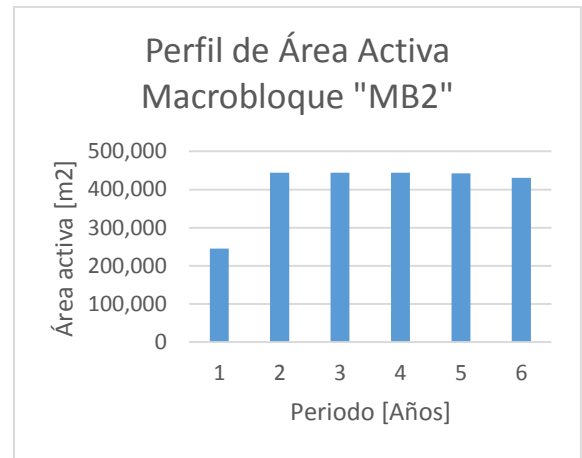


Figura 90: plan de producción anual para el macrobloque "MB2".

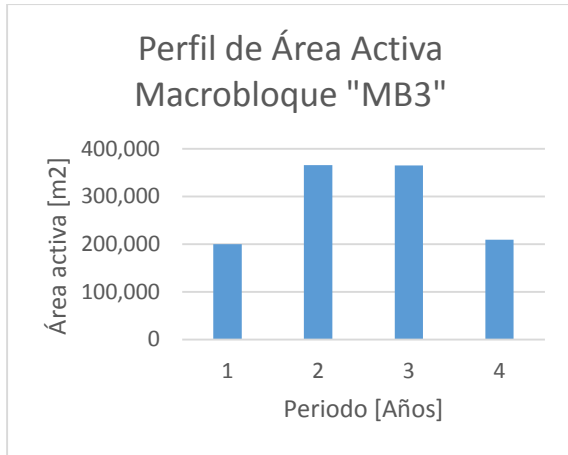


Figura 91: plan de producción anual para el macrobloque "MB3".

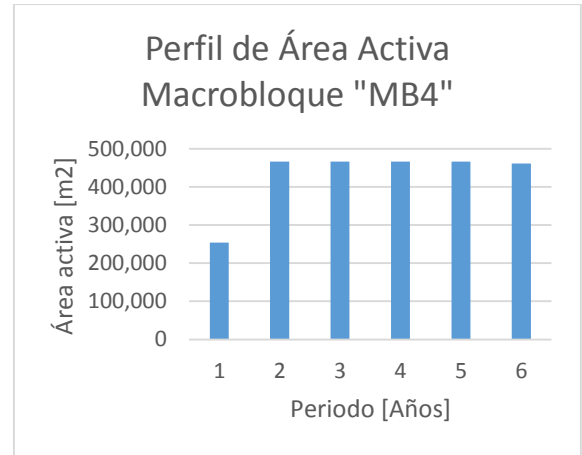


Figura 92: plan de producción anual para el macrobloque "MB4".

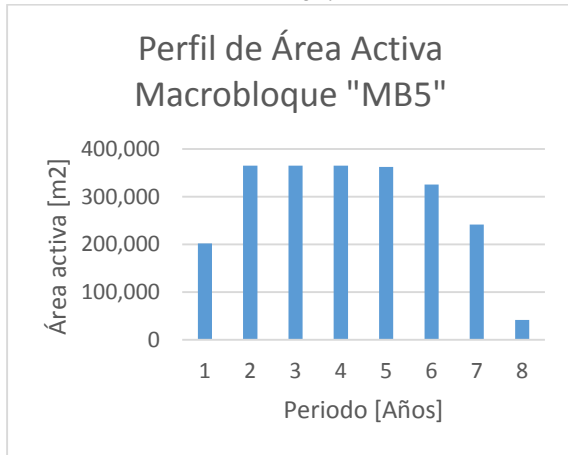


Figura 93: plan de producción anual para el macrobloque "MB5".

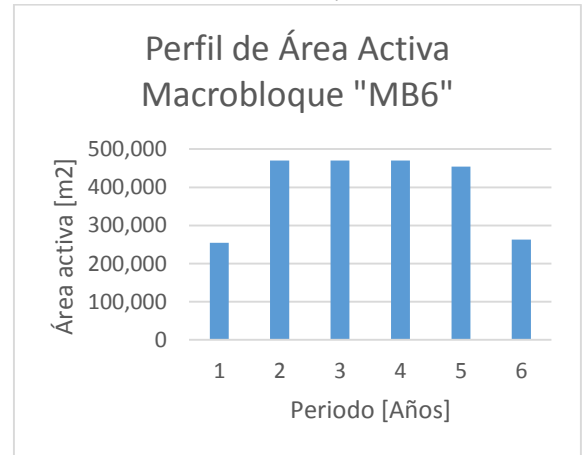
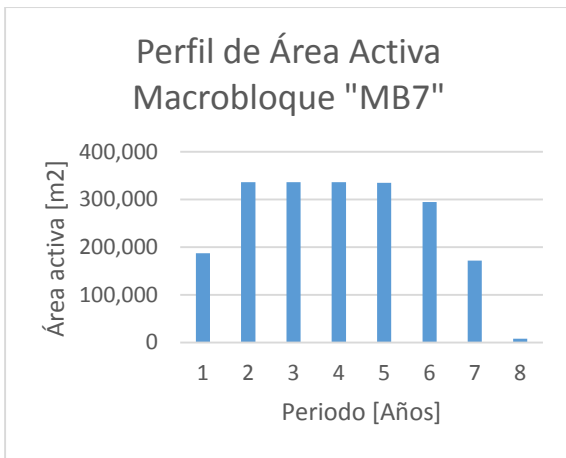
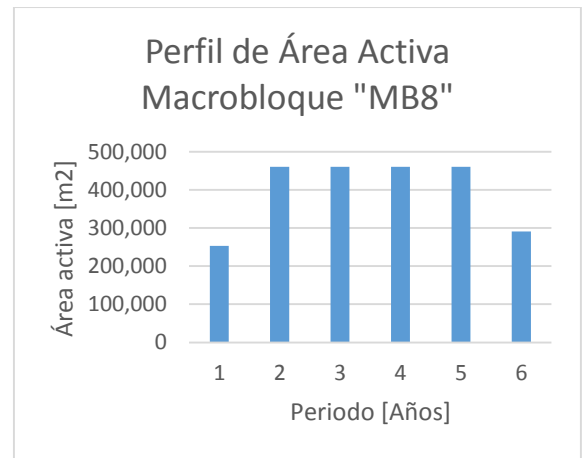


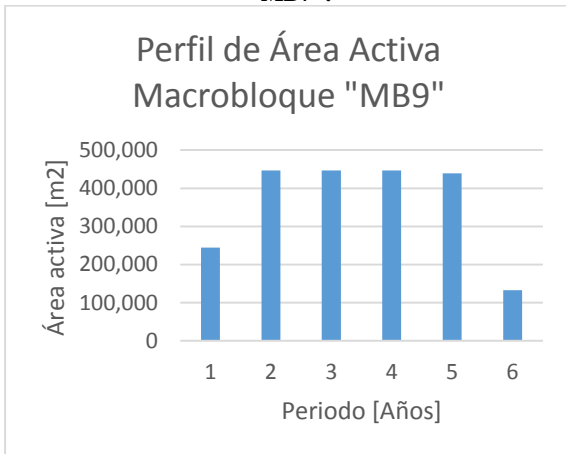
Figura 94: plan de producción anual para el macrobloque "MB6".



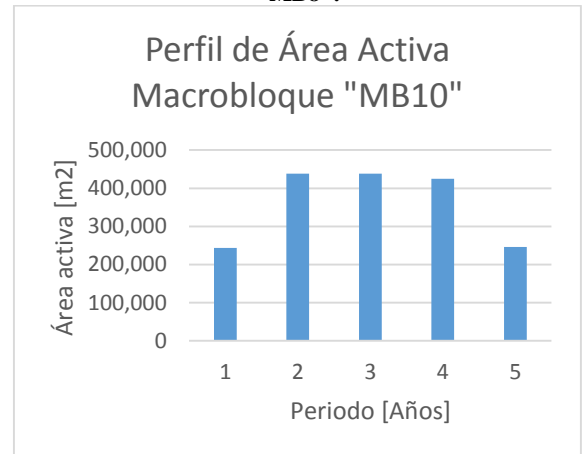
**Figura 95: plan de producción anual para el macrobloque "MB7".**



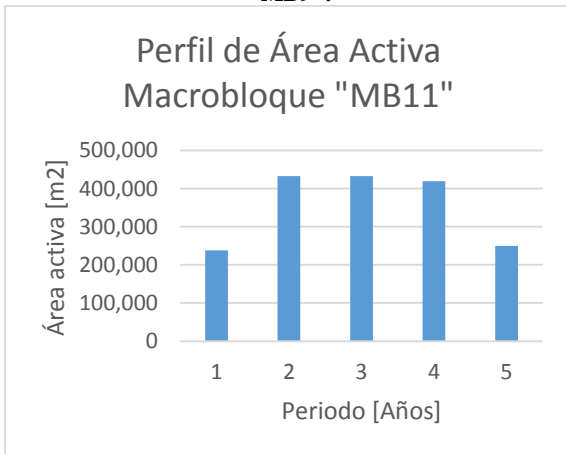
**Figura 96: plan de producción anual para el macrobloque "MB8".**



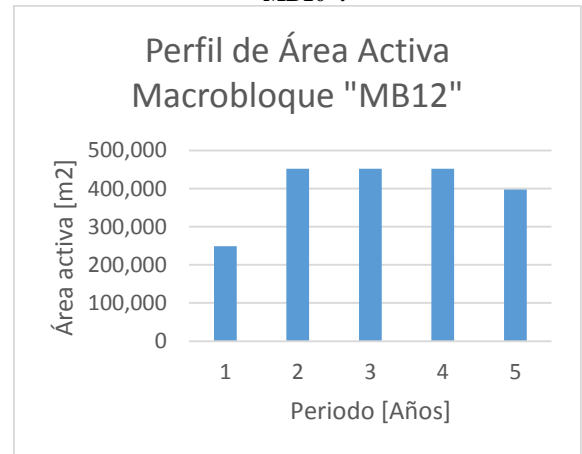
**Figura 97: plan de producción anual para el macrobloque "MB9".**



**Figura 98: plan de producción anual para el macrobloque "MB10".**

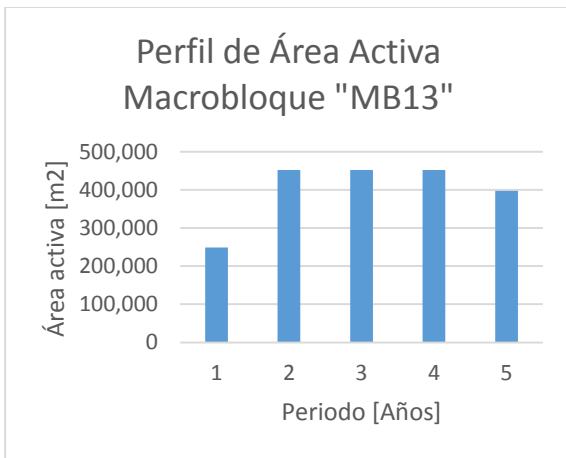


**Figura 99: plan de producción anual para el macrobloque "MB11".**

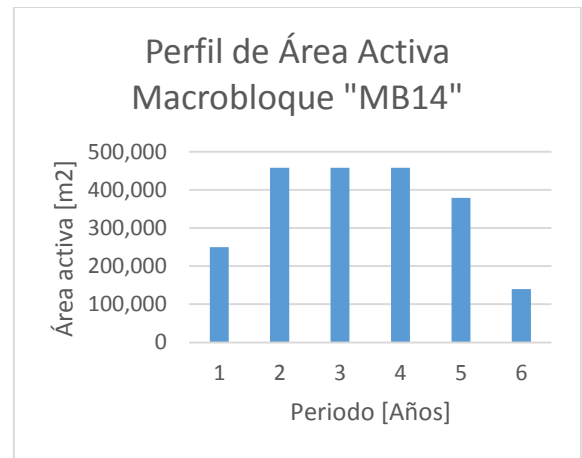


**Figura 100: plan de producción anual para el macrobloque "MB12".**

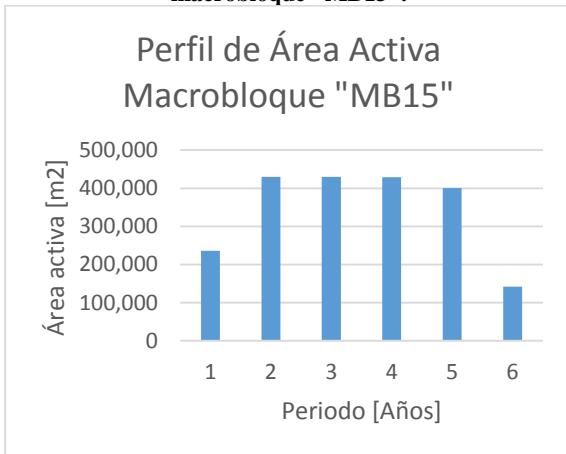




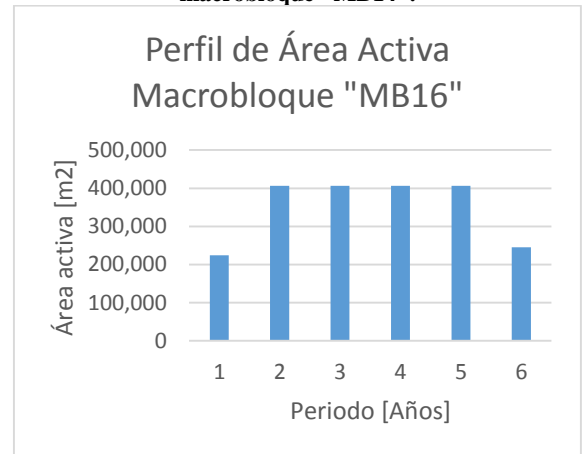
**Figura 101: plan de producción anual para el macrobloque "MB13".**



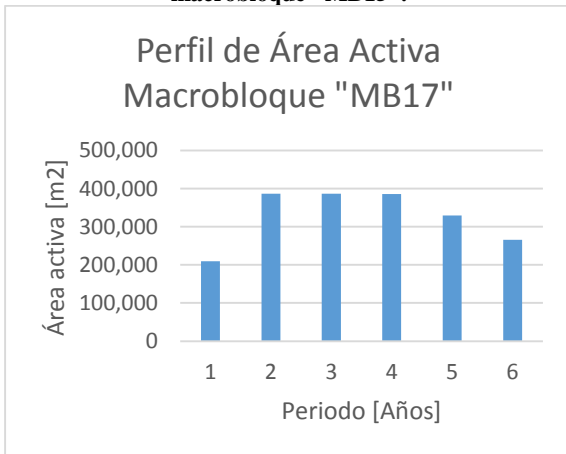
**Figura 102: plan de producción anual para el macrobloque "MB14".**



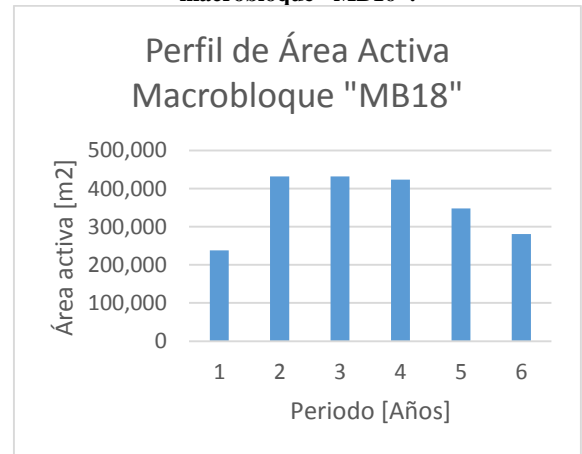
**Figura 103: plan de producción anual para el macrobloque "MB15".**



**Figura 104: plan de producción anual para el macrobloque "MB16".**



**Figura 105: plan de producción anual para el macrobloque "MB17".**



**Figura 106: plan de producción anual para el macrobloque "MB18".**

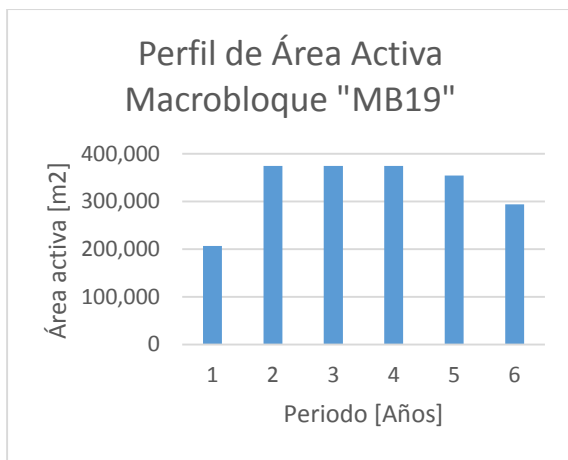


Figura 107: plan de producción anual para el macrobloque "MB19".

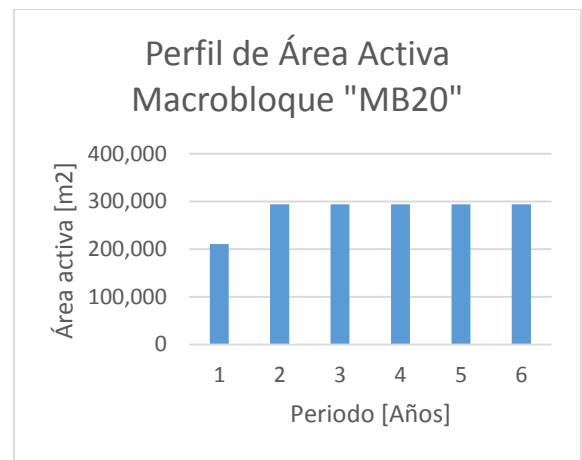


Figura 108: plan de producción anual para el macrobloque "MB20".

### 11.5 Riesgo mina "M2"

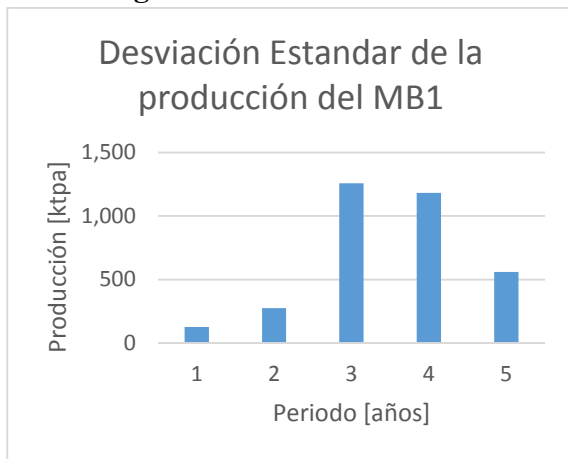


Figura 109: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M1".

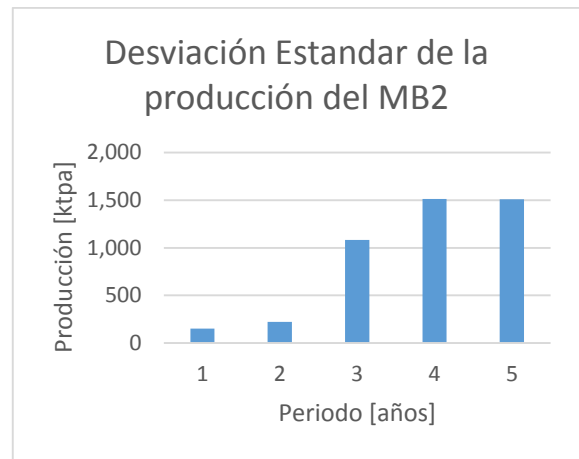


Figura 110: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M2".

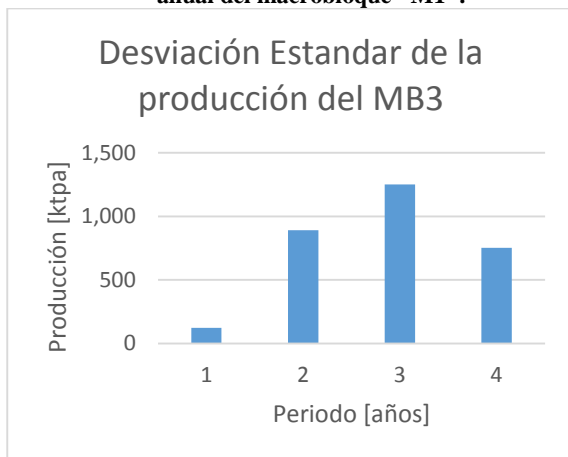


Figura 111: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M3".

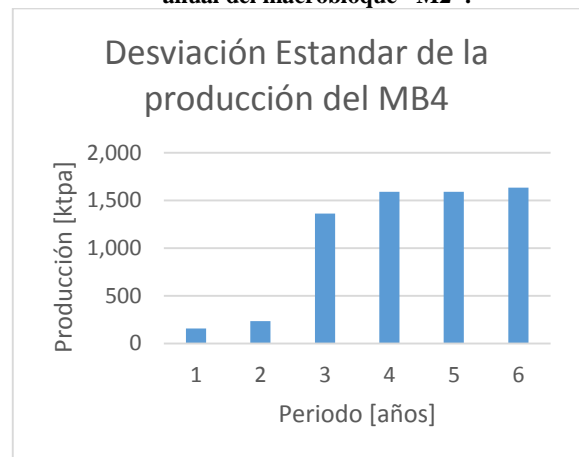
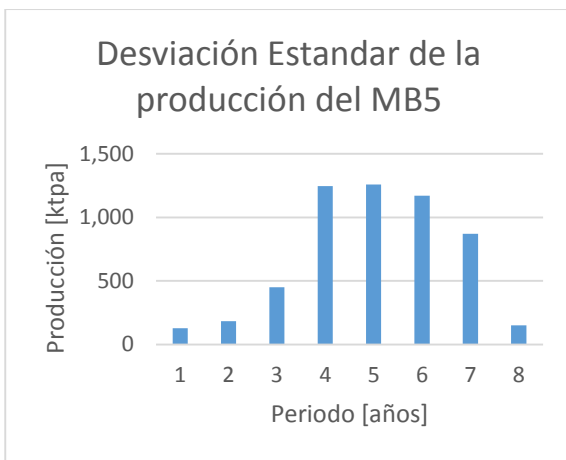
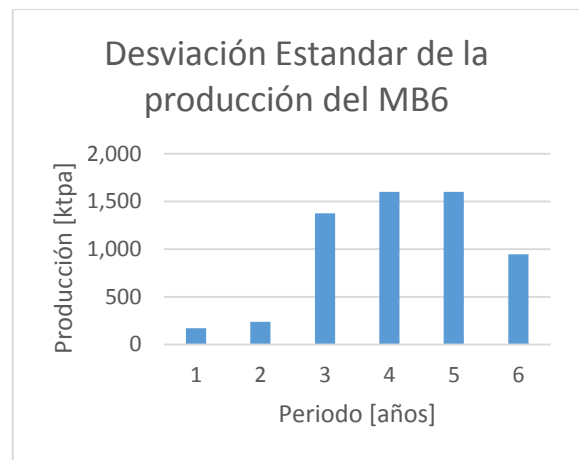


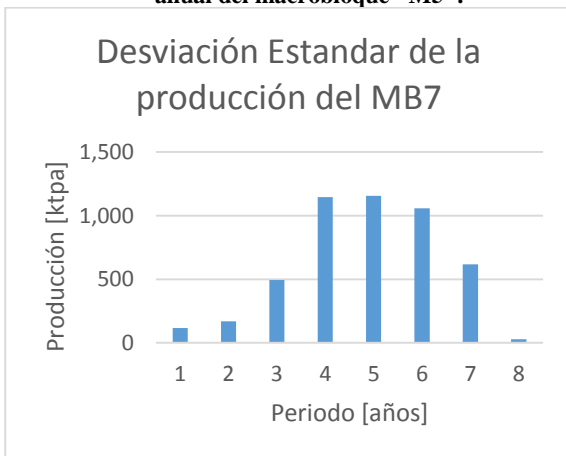
Figura 112: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M4".



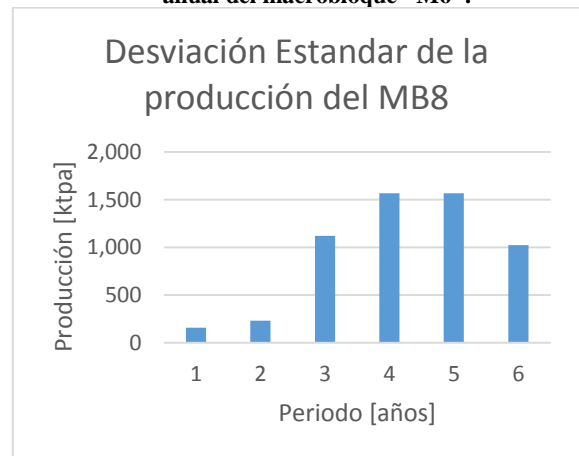
**Figura 113: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M5".**



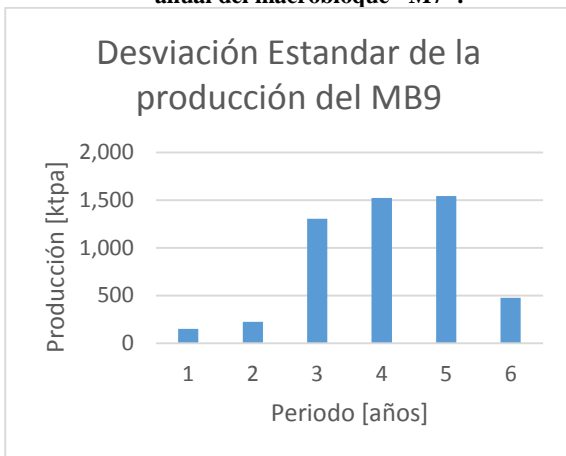
**Figura 114: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M6".**



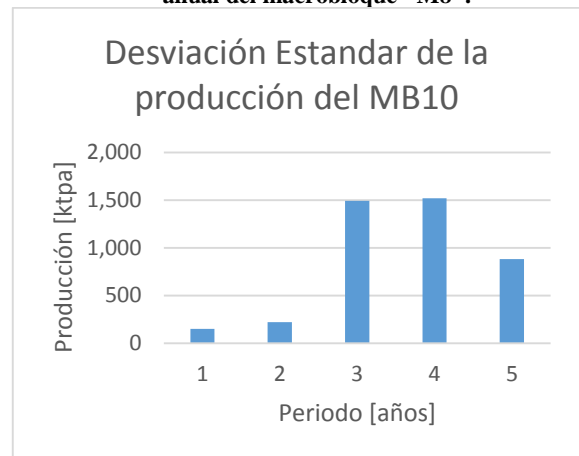
**Figura 115: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M7".**



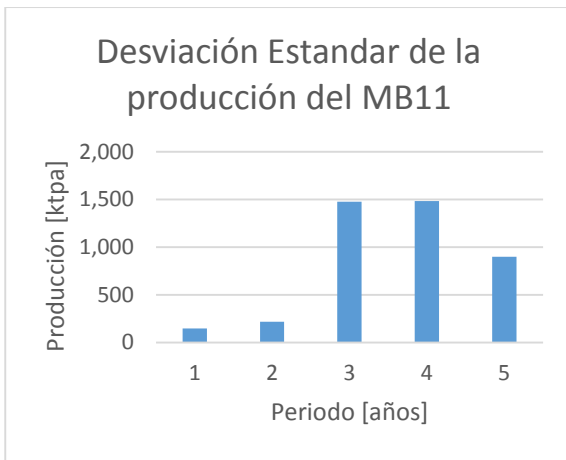
**Figura 116: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M8".**



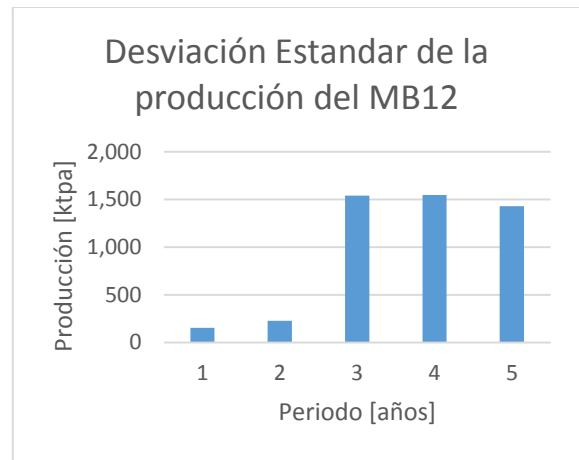
**Figura 117: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M9".**



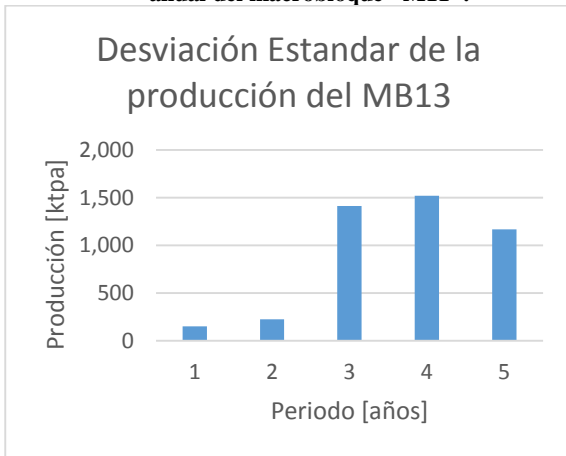
**Figura 118: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M10".**



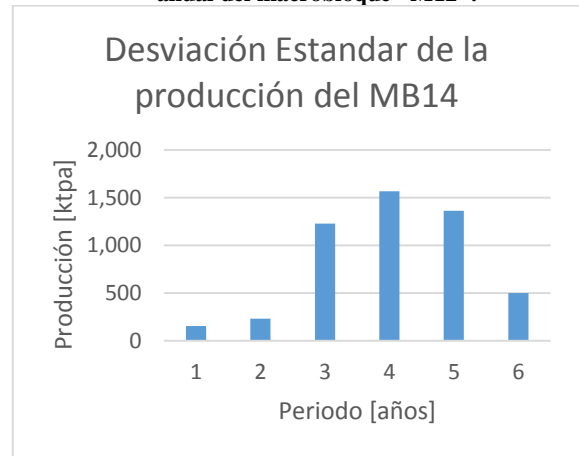
**Figura 119: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M11".**



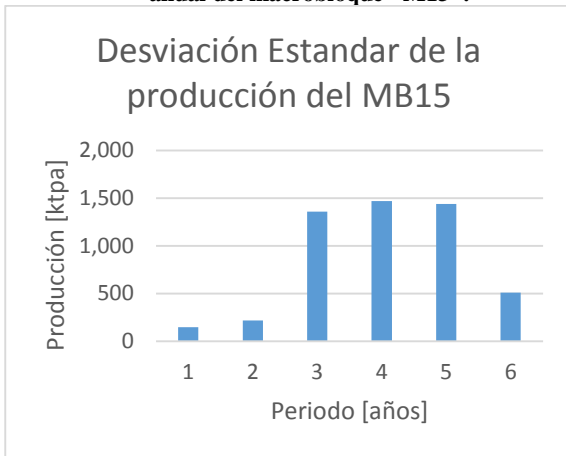
**Figura 120: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M12".**



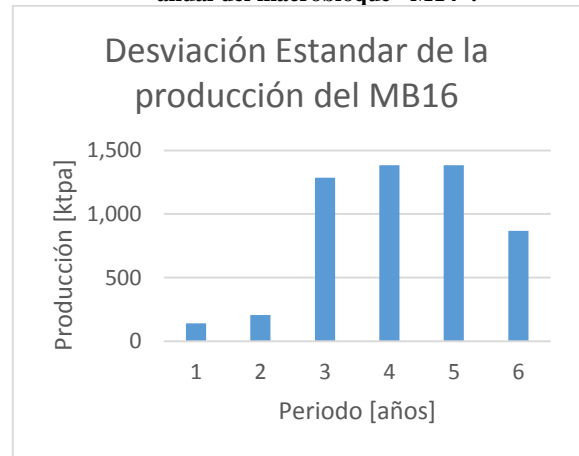
**Figura 121: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M13".**



**Figura 122: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M14".**



**Figura 123: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M15".**



**Figura 124: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M16".**

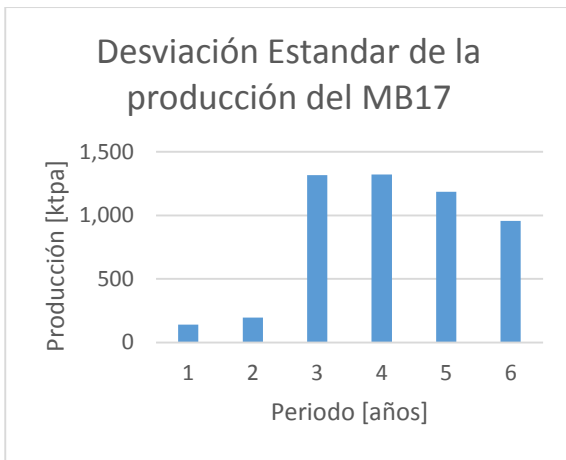


Figura 125: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M17".

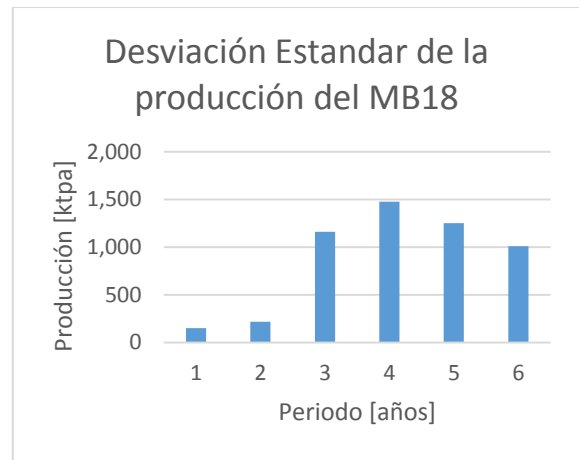


Figura 126: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M18".

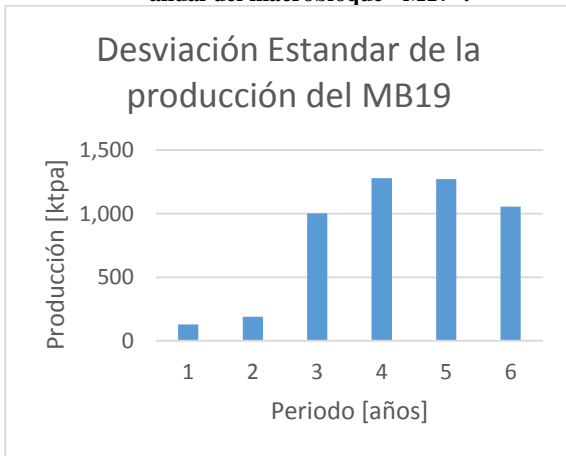


Figura 127: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M19".

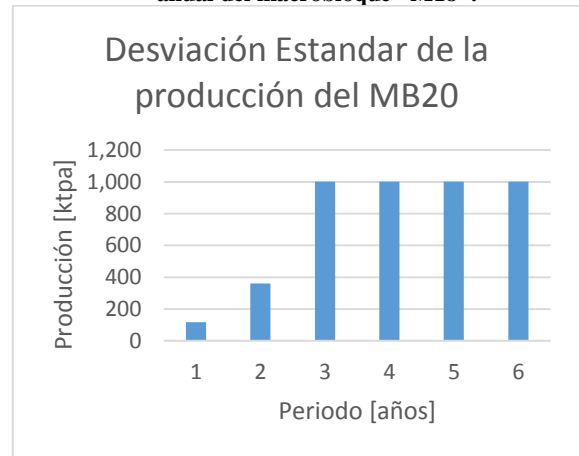


Figura 128: desviación estándar del plan de producción anual del macrobloque "M20".

## 11.6 Caso base

### 11.6.1 Variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base

Tabla 43: variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.

Periodo Plan	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 44: variable de decisión de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.**

Periodo Plan	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 11.6.2 Plan de producción de la frontera eficiente en la minería para el caso base

**Tabla 45: plan de producción en Mt de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.**

Periodo [años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.0	0.0	0.0	1.4
4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	3.5	0.0	1.5	2.9
5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	3.4	1.5	2.8	6.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	1.5	2.7	3.1	6.5	6.7
7	0.0	0.0	0.0	1.6	2.7	3.2	1.2	4.1	7.3	5.4
8	0.0	0.0	1.5	3.4	1.5	4.5	0.1	6.7	6.9	0.0
9	0.0	1.6	2.8	3.5	0.4	6.7	0.0	6.7	2.8	0.0
10	1.6	2.5	4.1	6.2	0.0	6.7	0.0	5.3	0.0	0.0
11	2.2	3.3	4.6	6.8	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	6.0	6.4	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	6.9	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	2.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Tabla 46: plan de producción en Mt de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.**

Periodo [años]	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	1.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2.7	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	6.0	5.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	6.3	6.3	2.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	5.0	5.2	6.0	2.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	7.1	6.3	3.1	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	5.9	7.3	4.1	3.2	1.6	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	7.0	6.7	4.5	3.5	1.5	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	3.5	6.6	6.2	3.5	2.7	1.6	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	6.7	5.2	3.3	2.5	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	6.3	5.8	3.1	1.6
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	6.7	6.0	2.1
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	6.9	3.2
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	3.3
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1

*11.6.3 Inversión asociada al plan de producción de la frontera eficiente en la minería para el caso base*

**Tabla 47: plan de inversión en MUS\$ de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.**

Periodo [años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
0	0	0	0	0	0	0	-46	0	0	0
1	0	0	0	0	-50	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-60
3	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0
4	0	0	0	0	0	0	0	-63	0	0
5	0	0	0	0	0	-64	0	0	0	0
6	0	0	0	-63	0	0	0	0	0	0
7	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0
8	0	-60	0	0	0	0	0	0	0	0
9	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 48: plan de inversión en MUS\$ de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.**

Periodo [años]	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
0	-59	-61	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	-61	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	-62	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	-58	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	-55	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	-53	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	-59	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	-51	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-40
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 49: participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.**

*11.6.4 Participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base*

Periodo [años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	8%	0%	14%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	6%	0%	11%	0%	0%	8%
4	0%	0%	0%	0%	8%	0%	13%	0%	6%	11%
5	0%	0%	0%	0%	10%	0%	9%	4%	7%	16%
6	0%	0%	0%	0%	9%	4%	6%	7%	15%	16%
7	0%	0%	0%	3%	6%	7%	3%	9%	15%	11%
8	0%	0%	3%	7%	3%	9%	0%	14%	14%	0%
9	0%	3%	6%	7%	1%	14%	0%	14%	6%	0%
10	3%	5%	9%	13%	0%	14%	0%	11%	0%	0%
11	5%	7%	11%	15%	0%	11%	0%	0%	0%	0%
12	15%	16%	0%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
13	22%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14	14%	36%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

**Tabla 50: participación anual por macrobloque de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.**

Periodo [años]	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	41%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	39%	39%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%



3	33%	33%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	23%	23%	11%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	13%	14%	16%	7%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6	0%	0%	17%	15%	7%	4%	0%	0%	0%	0%	0%
7	0%	0%	12%	15%	9%	7%	3%	0%	0%	0%	0%
8	0%	0%	0%	15%	14%	9%	7%	3%	0%	0%	0%
9	0%	0%	0%	7%	14%	13%	7%	6%	3%	0%	0%
10	0%	0%	0%	0%	7%	14%	11%	7%	5%	0%	0%
11	0%	0%	0%	0%	0%	12%	14%	13%	7%	4%	0%
12	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	17%	15%	5%	0%
13	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	23%	11%	0%
14	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	30%	19%	0%
15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

*11.6.5 Desviación estándar del tonelaje obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base*

**Tabla 51: desviación estándar del tonelaje en Mt obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.**

Periodo [años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2
4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	1.1	0.0	0.2	0.2
5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.2	0.2	0.2	1.5
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	1.1	0.2	1.3	1.5
7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.6	1.1	1.5	0.9
8	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	1.4	0.0	1.6	1.5	0.0
9	0.0	0.2	0.9	1.4	0.0	1.6	0.0	1.6	0.5	0.0
10	0.1	0.2	1.3	1.6	0.0	1.6	0.0	1.0	0.0	0.0
11	0.3	1.1	0.8	1.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
12	1.3	1.5	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	1.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**Tabla 52: desviación estándar del tonelaje en Mt obtenida mediante la simulación de variabilidad para la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.**

Periodo [años]	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.5	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1.5	1.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.9	1.4	1.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6	0.0	0.0	1.5	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	1.2	1.6	1.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	1.4	1.5	1.3	0.2	0.1	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	1.4	1.3	0.2	0.1	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	1.3	1.2	0.2	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.2	1.5	1.0	0.1
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	1.3	0.4
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.3	1.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

11.6.6 Flujo de caja detallado obtenido de la frontera eficiente en la minería para el caso base

Tabla 53: flujo de caja en MUS\$ detallada de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB1 al MB10.

Año	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0
2	0	0	0	0	13	0	27	0	0	0
3	0	0	0	0	26	0	55	0	0	69
4	0	0	0	0	52	0	95	0	60	138
5	0	0	0	0	91	0	91	59	114	287
6	0	0	0	0	87	52	74	123	264	319
7	0	0	0	51	62	108	33	163	294	256
8	0	0	41	111	36	153	2	268	276	0
9	0	41	73	112	9	228	0	266	112	0
10	37	64	106	199	0	229	0	209	0	0
11	50	83	121	218	0	171	0	0	0	0
12	134	163	0	219	0	0	0	0	0	0
13	154	177	0	0	0	0	0	0	0	0
14	54	152	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 54: flujo de caja en MUS\$ detallado de la frontera eficiente en la minería del caso base para los macrobloques MB11 al MB20.

Año	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	61	65	0	0	0	0	0	0	0	0
2	129	131	0	0	0	0	0	0	0	0
3	283	281	69	0	0	0	0	0	0	0
4	297	300	135	53	0	0	0	0	0	0
5	237	247	282	104	45	0	0	0	0	0
6	0	0	331	232	94	41	0	0	0	0

7	0	0	276	268	125	82	41	0	0	0
8	0	0	0	256	204	117	90	48	0	0
9	0	0	0	128	201	160	90	84	50	0
10	0	0	0	0	107	173	135	104	76	0
11	0	0	0	0	0	131	164	180	96	41
12	0	0	0	0	0	0	146	207	186	54
13	0	0	0	0	0	0	0	205	215	83
14	0	0	0	0	0	0	0	0	156	83
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79

## 11.7 Riesgo estimado para el caso de estudio

### 11.7.1 Riesgo estimado para el MBI del caso de estudio

Tabla 55: riesgo estimado a la operación del macrobloque MBI de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	14	2.720	0,1765	14	0,0368	3
a10m2	29	5.440	0,1765	43	0,0368	6
a10m3	43	8.160	0,1756	86	0,0368	9
a10m4	43	9.520	0,1504	129	0,0368	11
a10m5	116	13.600	0,2844	245	0,0368	15
a10m6	137	16.048	0,2844	382	0,0168	8
a10m7	158	18.496	0,2844	540	0,0168	9
a10m8	179	20.944	0,2844	719	0,0168	11
a10m9	200	23.392	0,2844	918	0,0168	12
a10m10	220	25.840	0,2844	1139	0,0168	13
a10m11	241	28.288	0,2844	1380	0,0168	14
a10m12	260	30.736	0,2824	1640	0,0168	15

Tabla 56: riesgo estimado a la operación del macrobloque MBI de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	184	30.736	0,2000	1825	0,0168	15
a11m2	184	30.736	0,2000	2009	0,0168	15
a11m3	184	30.736	0,2000	2194	0,0168	15
a11m4	184	30.736	0,2000	2378	0,0168	15
a11m5	184	30.736	0,2000	2562	0,0168	15
a11m6	184	30.736	0,2000	2747	0,0168	15
a11m7	184	30.736	0,2000	2931	0,0168	15

a11m8	184	30.736	0,2000	3116	0,0168	15
a11m9	184	30.736	0,2000	3300	0,0168	15
a11m10	184	30.736	0,2000	3484	0,0168	15
a11m11	184	30.736	0,2000	3669	0,0168	15
a11m12	184	30.736	0,2000	3853	0,1136	105

**Tabla 57: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a12m1	357	30.736	0,3872	4210	0,1136	105
a12m2	403	30.736	0,4373	4613	0,1136	105
a12m3	496	30.736	0,5375	5109	0,1136	105
a12m4	523	30.736	0,5674	5632	0,1136	105
a12m5	523	30.736	0,5674	6156	0,1136	105
a12m6	523	30.736	0,5674	6679	0,1136	105
a12m7	523	30.736	0,5674	7202	0,1136	105
a12m8	523	30.736	0,5674	7725	0,1136	105
a12m9	523	30.736	0,5674	8248	0,1136	105
a12m10	523	30.736	0,5674	8772	0,1136	105
a12m11	523	30.736	0,5674	9295	0,1136	105
a12m12	523	30.736	0,5674	9818	0,1136	105

**Tabla 58: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a13m1	650	30.464	0,7112	10468	0,1198	109
a13m2	650	30.464	0,7112	11118	0,1198	109
a13m3	646	30.192	0,7132	11764	0,1198	108
a13m4	645	30.192	0,7122	12409	0,1198	108
a13m5	639	29.920	0,7124	13049	0,1198	107
a13m6	632	29.648	0,7105	13681	0,1198	107
a13m7	617	29.376	0,6999	14297	0,1198	106
a13m8	575	28.016	0,6837	14872	0,1198	101
a13m9	535	26.384	0,6756	15407	0,1198	95
a13m10	473	23.392	0,6739	15880	0,1198	84
a13m11	431	21.216	0,6775	16311	0,1198	76
a13m12	378	19.584	0,6431	16689	0,1198	70

**Tabla 59: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB1 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a14m1	209	17.408	0,3992	16897	0,1198	63
a14m2	209	16.864	0,4121	17106	0,1198	61
a14m3	209	16.320	0,4259	17314	0,1198	59
a14m4	209	15.776	0,4405	17523	0,1198	57
a14m5	208	15.232	0,4563	17731	0,1198	55
a14m6	208	13.872	0,5010	17940	0,1198	50
a14m7	208	12.784	0,5436	18148	0,1198	46
a14m8	209	11.424	0,6084	18357	0,1198	41
a14m9	209	10.608	0,6552	18565	0,1198	38
a14m10	192	9.248	0,6923	18757	0,1198	33
a14m11	177	8.432	0,7005	18935	0,1198	30
a14m12	156	7.616	0,6812	19090	0,1198	27

*11.7.2 Riesgo estimado para el macrobloque MB2 del caso de estudio*

**Tabla 60:** riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a9m1	13	3.264	0,1324	13	0,0368	4
a9m2	26	6.528	0,1324	39	0,0368	7
a9m3	39	9.792	0,1324	78	0,0368	11
a9m4	52	13.056	0,1324	130	0,0368	14
a9m5	109	16.048	0,2274	239	0,0368	18
a9m6	131	19.040	0,2289	370	0,0168	10
a9m7	152	22.032	0,2301	522	0,0168	11
a9m8	173	25.024	0,2310	695	0,0168	13
a9m9	195	28.016	0,2317	890	0,0168	14
a9m10	216	31.008	0,2322	1106	0,0168	16
a9m11	237	34.000	0,2327	1343	0,0168	17
a9m12	259	36.992	0,2331	1602	0,0168	19

**Tabla 61:** riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a10m1	210	36.992	0,1892	1812	0,0168	19
a10m2	210	36.992	0,1892	2022	0,0168	19
a10m3	210	36.992	0,1892	2232	0,0168	19
a10m4	210	36.992	0,1892	2442	0,0168	19

a10m5	210	36.992	0,1892	2652	0,0168	19
a10m6	210	36.992	0,1892	2862	0,0168	19
a10m7	210	36.992	0,1892	3072	0,0168	19
a10m8	210	36.992	0,1892	3282	0,0168	19
a10m9	210	36.992	0,1892	3492	0,0168	19
a10m10	210	36.992	0,1892	3702	0,0168	19
a10m11	210	36.992	0,1892	3912	0,0168	19
a10m12	210	36.992	0,1892	4122	0,0168	19

**Tabla 62: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	251	36.992	0,2264	4374	0,0168	19
a11m2	251	36.992	0,2264	4625	0,0168	19
a11m3	251	36.992	0,2264	4876	0,0168	19
a11m4	251	36.992	0,2264	5127	0,0168	19
a11m5	251	36.992	0,2264	5379	0,1136	126
a11m6	251	36.992	0,2264	5630	0,1136	126
a11m7	251	36.992	0,2264	5881	0,1136	126
a11m8	251	36.992	0,2264	6132	0,1136	126
a11m9	251	36.992	0,2264	6384	0,1136	126
a11m10	291	36.992	0,2623	6675	0,1136	126
a11m11	348	36.992	0,3139	7023	0,1136	126
a11m12	363	36.992	0,3274	7387	0,1136	126

**Tabla 63: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a12m1	490	36.992	0,4419	7877	0,1136	126
a12m2	503	36.992	0,4531	8380	0,1136	126
a12m3	512	36.992	0,4616	8892	0,1136	126
a12m4	522	36.992	0,4700	9414	0,1136	126
a12m5	528	36.992	0,4756	9941	0,1136	126
a12m6	534	36.992	0,4812	10475	0,1136	126
a12m7	534	36.992	0,4812	11010	0,1136	126
a12m8	540	36.992	0,4869	11550	0,1136	126
a12m9	550	36.992	0,4953	12099	0,1136	126
a12m10	553	36.992	0,4981	12652	0,1136	126
a12m11	578	36.992	0,5206	13230	0,1136	126
a12m12	590	36.992	0,5318	13820	0,1136	126

**Tabla 64: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a13m1	505	36.992	0,4555	14326	0,1136	126
a13m2	521	36.992	0,4696	14847	0,1136	126
a13m3	537	36.992	0,4836	15384	0,1136	126
a13m4	549	36.992	0,4949	15933	0,1136	126
a13m5	559	36.992	0,5033	16491	0,1136	126
a13m6	565	36.992	0,5089	17056	0,1136	126
a13m7	590	36.992	0,5319	17646	0,1136	126
a13m8	606	36.720	0,5501	18252	0,1136	125
a13m9	606	36.720	0,5497	18858	0,1136	125
a13m10	650	36.720	0,5904	19508	0,1136	125
a13m11	650	36.720	0,5904	20159	0,1136	125
a13m12	650	36.720	0,5904	20809	0,1136	125

**Tabla 65: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB2 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a14m1	513	36.448	0,4694	21322	0,1198	131
a14m2	513	36.448	0,4694	21835	0,1198	131
a14m3	513	36.448	0,4694	22349	0,1198	131
a14m4	511	36.448	0,4678	22860	0,1198	131
a14m5	508	36.176	0,4678	23368	0,1198	130
a14m6	508	36.176	0,4677	23875	0,1198	130
a14m7	500	35.904	0,4645	24376	0,1198	129
a14m8	497	35.632	0,4645	24872	0,1198	128
a14m9	497	35.632	0,4645	25369	0,1198	128
a14m10	497	35.632	0,4645	25865	0,1198	128
a14m11	492	35.632	0,4605	26358	0,1198	128
a14m12	452	34.272	0,4392	26809	0,1198	123

*11.7.3 Riesgo estimado para el macrobloque MB3 del caso de estudio*

**Tabla 66: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	14	2.720	0,1765	14	0,0368	3
a8m2	29	5.440	0,1765	43	0,0368	6
a8m3	43	8.160	0,1739	86	0,0368	9

a8m4	43	8.432	0,1702	129	0,0368	9
a8m5	111	13.328	0,2781	240	0,0368	15
a8m6	132	15.776	0,2781	372	0,0168	8
a8m7	152	18.224	0,2781	524	0,0168	9
a8m8	172	20.672	0,2781	696	0,0168	10
a8m9	193	23.120	0,2781	889	0,0168	12
a8m10	213	25.568	0,2781	1102	0,0168	13
a8m11	222	28.016	0,2645	1325	0,0168	14
a8m12	222	30.464	0,2432	1547	0,0168	15

**Tabla 67: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	231	30.464	0,2530	1778	0,0168	15
a9m2	231	30.464	0,2530	2010	0,0168	15
a9m3	231	30.464	0,2530	2241	0,0168	15
a9m4	231	30.464	0,2530	2472	0,0168	15
a9m5	231	30.464	0,2530	2703	0,1136	104
a9m6	231	30.464	0,2530	2935	0,1136	104
a9m7	231	30.464	0,2530	3166	0,1136	104
a9m8	231	30.464	0,2530	3397	0,1136	104
a9m9	231	30.464	0,2530	3628	0,1136	104
a9m10	231	30.464	0,2530	3860	0,1136	104
a9m11	231	30.464	0,2530	4091	0,1136	104
a9m12	231	30.464	0,2530	4322	0,1136	104

**Tabla 68: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	338	30.464	0,3703	4661	0,1136	104
a10m2	338	30.464	0,3703	4999	0,1136	104
a10m3	338	30.464	0,3703	5338	0,1136	104
a10m4	338	30.464	0,3703	5676	0,1136	104
a10m5	338	30.464	0,3703	6014	0,1136	104
a10m6	338	30.464	0,3703	6353	0,1136	104
a10m7	338	30.464	0,3703	6691	0,1136	104
a10m8	338	30.464	0,3703	7030	0,1136	104



a10m9	338	30.464	0,3703	7368	0,1136	104
a10m10	338	30.464	0,3703	7707	0,1136	104
a10m11	338	30.464	0,3703	8045	0,1136	104
a10m12	338	30.192	0,3737	8383	0,1198	108

**Tabla 69: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB3 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	655	29.648	0,7363	9038	0,1198	107
a11m2	650	29.648	0,7308	9688	0,1198	107
a11m3	650	29.376	0,7373	10338	0,1198	106
a11m4	643	28.560	0,7499	10981	0,1198	103
a11m5	631	28.016	0,7512	11612	0,1198	101
a11m6	605	26.928	0,7487	12217	0,1198	97
a11m7	552	25.296	0,7275	12769	0,1198	91
a11m8	244	11.968	0,6792	13013	0,1198	43
a11m9						
a11m10						
a11m11						
a11m12						

#### 11.7.4 Riesgo estimado para el macrobloque MB4 del caso de estudio

**Tabla 70: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	13	3.264	0,1324	13	0,0368	4
a7m2	7	6.528	0,0376	20	0,0368	7
a7m3	20	9.792	0,0692	41	0,0368	11
a7m4	33	13.056	0,0849	74	0,0368	14
a7m5	104	16.320	0,2121	178	0,0368	18
a7m6	128	19.584	0,2184	306	0,0168	10
a7m7	153	22.848	0,2229	459	0,0168	11
a7m8	177	26.112	0,2263	636	0,0168	13
a7m9	202	29.376	0,2289	838	0,0168	15
a7m10	226	32.640	0,2310	1064	0,0168	16
a7m11	251	35.904	0,2328	1315	0,0168	18
a7m12	273	38.896	0,2341	1588	0,0168	20

**Tabla 71: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	287	38.896	0,2457	1875	0,0168	20
a8m2	287	38.896	0,2457	2161	0,0168	20
a8m3	287	38.896	0,2457	2448	0,0168	20
a8m4	287	38.896	0,2457	2735	0,0168	20
a8m5	287	38.896	0,2457	3022	0,0168	20
a8m6	287	38.896	0,2457	3308	0,0168	20
a8m7	287	38.896	0,2457	3595	0,0168	20
a8m8	287	38.896	0,2457	3882	0,0168	20
a8m9	287	38.896	0,2457	4168	0,0168	20
a8m10	287	38.896	0,2457	4455	0,0168	20
a8m11	287	38.896	0,2457	4742	0,0168	20
a8m12	287	38.896	0,2457	5029	0,0168	20

**Tabla 72: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	290	38.896	0,2482	5318	0,0168	20
a9m2	290	38.896	0,2482	5608	0,0168	20
a9m3	290	38.896	0,2482	5897	0,1136	133
a9m4	290	38.896	0,2482	6187	0,1136	133
a9m5	290	38.896	0,2482	6477	0,1136	133
a9m6	290	38.896	0,2482	6766	0,1136	133
a9m7	290	38.896	0,2482	7056	0,1136	133
a9m8	290	38.896	0,2482	7346	0,1136	133
a9m9	290	38.896	0,2482	7635	0,1136	133
a9m10	290	38.896	0,2482	7925	0,1136	133
a9m11	290	38.896	0,2482	8215	0,1136	133
a9m12	290	38.896	0,2482	8504	0,1136	133

**Tabla 73: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	448	38.896	0,3835	8952	0,1136	133
a10m2	462	38.896	0,3957	9413	0,1136	133
a10m3	466	38.896	0,3998	9880	0,1136	133

a10m4	474	38.896	0,4058	10353	0,1136	133
a10m5	509	38.896	0,4363	10863	0,1136	133
a10m6	509	38.896	0,4363	11372	0,1136	133
a10m7	519	38.896	0,4444	11890	0,1136	133
a10m8	554	38.896	0,4749	12444	0,1136	133
a10m9	559	38.896	0,4790	13003	0,1136	133
a10m10	559	38.896	0,4790	13562	0,1136	133
a10m11	559	38.896	0,4790	14121	0,1136	133
a10m12	559	38.896	0,4790	14680	0,1136	133

**Tabla 74: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	563	38.896	0,4821	15243	0,1136	133
a11m2	563	38.896	0,4821	15805	0,1136	133
a11m3	563	38.896	0,4821	16368	0,1136	133
a11m4	563	38.896	0,4821	16930	0,1136	133
a11m5	563	38.896	0,4821	17493	0,1136	133
a11m6	563	38.896	0,4821	18055	0,1136	133
a11m7	563	38.896	0,4821	18618	0,1136	133
a11m8	563	38.896	0,4821	19180	0,1136	133
a11m9	563	38.896	0,4821	19743	0,1136	133
a11m10	563	38.896	0,4821	20305	0,1136	133
a11m11	563	38.896	0,4821	20868	0,1136	133
a11m12	563	38.896	0,4821	21430	0,1136	133

**Tabla 75: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB4 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a12m1	567	38.896	0,4856	21997	0,1136	133
a12m2	567	38.896	0,4856	22563	0,1136	133
a12m3	567	38.896	0,4856	23130	0,1136	133
a12m4	567	38.624	0,4890	23697	0,1198	139
a12m5	567	38.624	0,4890	24263	0,1198	139
a12m6	567	38.624	0,4890	24830	0,1198	139
a12m7	567	38.624	0,4890	25397	0,1198	139
a12m8	567	38.624	0,4890	25963	0,1198	139
a12m9	567	38.080	0,4960	26530	0,1198	137
a12m10	567	37.808	0,4996	27097	0,1198	136
a12m11	567	37.808	0,4996	27663	0,1198	136

a12m12	567	37.808	0,4996	28230	0,1198	136
--------	-----	--------	--------	-------	--------	-----

### 11.7.5 Riesgo estimado para el macrobloque MB5 del caso de estudio

**Tabla 76: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a2m1	11	2.720	0,1324	11	0,0368	3
a2m2	13	5.440	0,0807	24	0,0368	6
a2m3	20	8.160	0,0807	44	0,0368	9
a2m4	26	10.880	0,0799	70	0,0368	12
a2m5	37	13.328	0,0919	107	0,0368	15
a2m6	44	15.776	0,0919	150	0,0168	8
a2m7	50	18.224	0,0919	200	0,0168	9
a2m8	57	20.672	0,0919	257	0,0168	10
a2m9	64	23.120	0,0919	321	0,0168	12
a2m10	71	25.568	0,0919	392	0,0168	13
a2m11	77	28.016	0,0919	469	0,0168	14
a2m12	84	30.464	0,0919	553	0,0168	15

**Tabla 77: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a3m1	92	30.464	0,1008	645	0,0168	15
a3m2	92	30.464	0,1008	737	0,0168	15
a3m3	92	30.464	0,1008	829	0,0168	15
a3m4	92	30.464	0,1008	922	0,0168	15
a3m5	92	30.464	0,1008	1014	0,0168	15
a3m6	92	30.464	0,1008	1106	0,0168	15
a3m7	92	30.464	0,1008	1198	0,0168	15
a3m8	92	30.464	0,1008	1290	0,0168	15
a3m9	92	30.464	0,1008	1382	0,0168	15
a3m10	92	30.464	0,1008	1475	0,0168	15
a3m11	92	30.464	0,1008	1567	0,0168	15
a3m12	92	30.464	0,1008	1659	0,0168	15

**Tabla 78: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
-----------------	-----------------	------------------	---------------	---------------------------	----------------	------------------

a4m1	166	30.464	0,1820	1825	0,0168	15
a4m2	166	30.464	0,1820	1992	0,0168	15
a4m3	166	30.464	0,1820	2158	0,0168	15
a4m4	166	30.464	0,1820	2324	0,0168	15
a4m5	166	30.464	0,1820	2490	0,0168	15
a4m6	166	30.464	0,1820	2657	0,0168	15
a4m7	167	30.464	0,1833	2824	0,0168	15
a4m8	180	30.464	0,1972	3005	0,0168	15
a4m9	194	30.464	0,2124	3199	0,0168	15
a4m10	215	30.464	0,2352	3414	0,1136	104
a4m11	225	30.464	0,2466	3639	0,1136	104
a4m12	232	30.464	0,2536	3871	0,1136	104

**Tabla 79: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	268	30.464	0,2936	4139	0,1136	104
a5m2	275	30.464	0,3008	4414	0,1136	104
a5m3	285	30.464	0,3117	4699	0,1136	104
a5m4	295	30.464	0,3225	4994	0,1136	104
a5m5	321	30.464	0,3513	5315	0,1136	104
a5m6	346	30.464	0,3783	5660	0,1136	104
a5m7	347	30.464	0,3795	6007	0,1136	104
a5m8	347	30.464	0,3795	6354	0,1136	104
a5m9	347	30.464	0,3795	6701	0,1136	104
a5m10	347	30.464	0,3795	7048	0,1136	104
a5m11	347	30.464	0,3795	7395	0,1136	104
a5m12	347	30.464	0,3795	7741	0,1136	104

**Tabla 80: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	308	30.464	0,3372	8050	0,1136	104
a6m2	308	30.464	0,3372	8358	0,1136	104
a6m3	308	30.464	0,3372	8666	0,1136	104
a6m4	308	30.464	0,3372	8974	0,1136	104
a6m5	308	30.464	0,3372	9282	0,1136	104
a6m6	308	30.464	0,3372	9590	0,1136	104

a6m7	308	30.464	0,3372	9899	0,1136	104
a6m8	308	30.464	0,3372	10207	0,1136	104
a6m9	308	30.192	0,3402	10515	0,1198	108
a6m10	308	29.920	0,3433	10823	0,1198	107
a6m11	308	29.648	0,3465	11131	0,1198	107
a6m12	308	29.376	0,3497	11439	0,1198	106

**Tabla 81: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	222	28.832	0,2570	11662	0,1198	104
a7m2	222	28.832	0,2570	11884	0,1198	104
a7m3	222	28.560	0,2594	12106	0,1198	103
a7m4	222	28.560	0,2594	12329	0,1198	103
a7m5	222	28.288	0,2619	12551	0,1198	102
a7m6	222	28.016	0,2645	12773	0,1198	101
a7m7	222	27.200	0,2724	12995	0,1198	98
a7m8	222	26.384	0,2808	13218	0,1198	95
a7m9	222	26.112	0,2838	13440	0,1198	94
a7m10	222	25.296	0,2929	13662	0,1198	91
a7m11	222	25.024	0,2961	13885	0,1198	90
a7m12	222	24.480	0,3027	14107	0,1198	88

**Tabla 82: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	127	24.208	0,1752	14234	0,1198	87
a8m2	127	24.208	0,1752	14361	0,1198	87
a8m3	127	23.936	0,1772	14488	0,1198	86
a8m4	127	23.120	0,1834	14616	0,1198	83
a8m5	127	22.576	0,1878	14743	0,1198	81
a8m6	127	22.304	0,1901	14870	0,1198	80
a8m7	127	20.400	0,2079	14997	0,1198	73
a8m8	127	19.040	0,2227	15125	0,1198	68
a8m9	127	17.952	0,2362	15252	0,1198	64
a8m10	127	17.136	0,2475	15379	0,1198	62
a8m11	127	14.688	0,2887	15506	0,1198	53
a8m12	127	12.512	0,3389	15633	0,1198	45

**Tabla 83: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB5 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	115	10.608	0,3620	15749	0,1198	38
a9m2	98	9.248	0,3531	15847	0,1198	33
a9m3	83	8.160	0,3401	15930	0,1198	29
a9m4	64	7.072	0,2996	15993	0,1198	25
a9m5	27	4.080	0,2222	16021	0,1198	15
a9m6	8	1.360	0,1965	16029	0,1198	5
a9m7	5	544	0,3037	16034	0,1198	2
a9m8	3	544	0,1640	16036	0,1198	2
a9m9						
a9m10						
a9m11						
a9m12						

*11.7.6 Riesgo estimado para el macrobloque MB6 del caso de estudio*

**Tabla 84: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	6	3.264	0,0627	6	0,0368	4
a6m2	19	6.528	0,0975	25	0,0368	7
a6m3	32	9.792	0,1091	57	0,0368	11
a6m4	45	13.056	0,1150	102	0,0368	14
a6m5	103	16.320	0,2111	206	0,0368	18
a6m6	125	19.584	0,2134	331	0,0368	22
a6m7	147	22.848	0,2151	478	0,0168	11
a6m8	169	26.112	0,2163	648	0,0168	13
a6m9	191	29.376	0,2173	839	0,0168	15
a6m10	214	32.640	0,2180	1053	0,0168	16
a6m11	236	35.904	0,2187	1288	0,0168	18
a6m12	258	39.168	0,2192	1546	0,0168	20

**Tabla 85: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	264	39.168	0,2249	1810	0,0168	20

a7m2	264	39.168	0,2249	2075	0,0168	20
a7m3	264	39.168	0,2249	2339	0,0168	20
a7m4	264	39.168	0,2249	2603	0,0168	20
a7m5	264	39.168	0,2249	2867	0,0168	20
a7m6	264	39.168	0,2249	3132	0,0168	20
a7m7	264	39.168	0,2249	3396	0,0168	20
a7m8	264	39.168	0,2249	3660	0,0168	20
a7m9	264	39.168	0,2249	3925	0,0168	20
a7m10	264	39.168	0,2249	4189	0,0168	20
a7m11	264	39.168	0,2249	4453	0,0168	20
a7m12	269	39.168	0,2289	4722	0,0168	20

**Tabla 86: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	301	39.168	0,2558	5023	0,0168	20
a8m2	301	39.168	0,2558	5323	0,0168	20
a8m3	301	39.168	0,2558	5624	0,1136	133
a8m4	301	39.168	0,2558	5924	0,1136	133
a8m5	301	39.168	0,2558	6225	0,1136	133
a8m6	324	39.168	0,2757	6549	0,1136	133
a8m7	361	39.168	0,3068	6909	0,1136	133
a8m8	402	39.168	0,3424	7312	0,1136	133
a8m9	428	39.168	0,3646	7740	0,1136	133
a8m10	460	39.168	0,3913	8200	0,1136	133
a8m11	488	39.168	0,4157	8688	0,1136	133
a8m12	528	39.168	0,4490	9216	0,1136	133

**Tabla 87: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	449	39.168	0,3824	9665	0,1136	133
a9m2	480	39.168	0,4086	10145	0,1136	133
a9m3	547	39.168	0,4655	10692	0,1136	133
a9m4	584	39.168	0,4966	11276	0,1136	133
a9m5	584	39.168	0,4966	11859	0,1136	133
a9m6	584	39.168	0,4966	12443	0,1136	133
a9m7	584	39.168	0,4966	13026	0,1136	133



a9m8	584	39.168	0,4966	13610	0,1136	133
a9m9	584	39.168	0,4966	14194	0,1136	133
a9m10	584	39.168	0,4966	14777	0,1136	133
a9m11	584	39.168	0,4966	15361	0,1136	133
a9m12	584	39.168	0,4966	15944	0,1136	133

**Tabla 88: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	562	39.168	0,4782	16506	0,1136	133
a10m2	562	39.168	0,4782	17068	0,1136	133
a10m3	562	39.168	0,4782	17630	0,1136	133
a10m4	562	39.168	0,4782	18192	0,1136	133
a10m5	562	38.352	0,4884	18754	0,1198	138
a10m6	562	37.808	0,4954	19316	0,1198	136
a10m7	562	37.808	0,4954	19877	0,1198	136
a10m8	562	37.264	0,5026	20439	0,1198	134
a10m9	562	36.992	0,5063	21001	0,1198	133
a10m10	562	36.720	0,5101	21563	0,1198	132
a10m11	562	36.448	0,5139	22125	0,1198	131
a10m12	562	35.904	0,5217	22687	0,1198	129

**Tabla 89: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB6 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	660	35.632	0,6174	23347	0,1198	128
a11m2	660	35.632	0,6174	24007	0,1198	128
a11m3	660	35.360	0,6222	24667	0,1198	127
a11m4	660	35.088	0,6270	25327	0,1198	126
a11m5	660	34.816	0,6319	25987	0,1198	125
a11m6	660	34.544	0,6369	26647	0,1198	124
a11m7	660	34.544	0,6369	27307	0,1198	124
a11m8	408	17.136	0,7941	27715	0,1198	62
a11m9						
a11m10						
a11m11						
a11m12						

### 11.7.7 Riesgo estimado para el macrobloque MB7 del caso de estudio

**Tabla 90: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a1m1	10	2.448	0,1324	10	0,0368	3
a1m2	12	4.896	0,0807	22	0,0368	5
a1m3	18	7.344	0,0807	39	0,0368	8
a1m4	23	9.792	0,0791	63	0,0368	11
a1m5	34	12.240	0,0919	96	0,0368	14
a1m6	41	14.688	0,0919	137	0,0168	7
a1m7	47	17.136	0,0919	184	0,0168	9
a1m8	53	19.312	0,0919	237	0,0168	10
a1m9	59	21.488	0,0919	297	0,0168	11
a1m10	65	23.664	0,0919	362	0,0168	12
a1m11	71	25.840	0,0919	433	0,0168	13
a1m12	74	28.016	0,0876	507	0,0168	14

**Tabla 91: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a2m1	84	28.016	0,1005	591	0,0168	14
a2m2	84	28.016	0,1005	676	0,0168	14
a2m3	84	28.016	0,1005	760	0,0168	14
a2m4	84	28.016	0,1005	845	0,0168	14
a2m5	84	28.016	0,1005	929	0,0168	14
a2m6	84	28.016	0,1005	1014	0,0168	14
a2m7	84	28.016	0,1005	1098	0,0168	14
a2m8	84	28.016	0,1005	1183	0,0168	14
a2m9	84	28.016	0,1005	1267	0,0168	14
a2m10	84	28.016	0,1005	1352	0,0168	14
a2m11	84	28.016	0,1005	1436	0,0168	14
a2m12	84	28.016	0,1005	1521	0,0168	14

**Tabla 92: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
-----------------	-----------------	------------------	---------------	---------------------------	----------------	------------------

a3m1	154	28.016	0,1829	1674	0,0168	14
a3m2	154	28.016	0,1829	1828	0,0168	14
a3m3	154	28.016	0,1829	1982	0,0168	14
a3m4	154	28.016	0,1829	2136	0,0168	14
a3m5	154	28.016	0,1829	2289	0,0168	14
a3m6	154	28.016	0,1829	2443	0,0168	14
a3m7	157	28.016	0,1871	2600	0,0168	14
a3m8	169	28.016	0,2009	2769	0,0168	14
a3m9	178	28.016	0,2120	2947	0,1136	95
a3m10	192	28.016	0,2286	3139	0,1136	95
a3m11	201	28.016	0,2397	3341	0,1136	95
a3m12	207	28.016	0,2466	3548	0,1136	95

**Tabla 93: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	240	28.016	0,2859	3788	0,1136	95
a4m2	249	28.016	0,2957	4037	0,1136	95
a4m3	258	28.016	0,3075	4295	0,1136	95
a4m4	272	28.016	0,3231	4567	0,1136	95
a4m5	291	28.016	0,3467	4858	0,1136	95
a4m6	313	28.016	0,3721	5171	0,1136	95
a4m7	321	28.016	0,3818	5492	0,1136	95
a4m8	321	28.016	0,3818	5813	0,1136	95
a4m9	321	28.016	0,3818	6134	0,1136	95
a4m10	321	28.016	0,3818	6455	0,1136	95
a4m11	321	28.016	0,3818	6775	0,1136	95
a4m12	321	28.016	0,3818	7096	0,1136	95

**Tabla 94: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	283	28.016	0,3364	7379	0,1136	95
a5m2	283	28.016	0,3364	7662	0,1136	95
a5m3	283	28.016	0,3364	7945	0,1136	95
a5m4	283	28.016	0,3364	8227	0,1136	95
a5m5	283	28.016	0,3364	8510	0,1136	95
a5m6	283	28.016	0,3364	8793	0,1136	95

a5m7	283	28.016	0,3364	9076	0,1136	95
a5m8	283	28.016	0,3364	9358	0,1136	95
a5m9	283	28.016	0,3364	9641	0,1136	95
a5m10	283	27.744	0,3397	9924	0,1198	100
a5m11	283	27.744	0,3397	10207	0,1198	100
a5m12	283	27.472	0,3431	10490	0,1198	99

**Tabla 95: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	228	27.472	0,2766	10718	0,1198	99
a6m2	228	27.472	0,2766	10945	0,1198	99
a6m3	228	26.656	0,2851	11173	0,1198	96
a6m4	228	26.656	0,2851	11401	0,1198	96
a6m5	228	26.384	0,2880	11629	0,1198	95
a6m6	228	25.568	0,2972	11857	0,1198	92
a6m7	228	24.208	0,3139	12085	0,1198	87
a6m8	228	23.120	0,3287	12313	0,1198	83
a6m9	228	22.848	0,3326	12541	0,1198	82
a6m10	228	22.304	0,3407	12769	0,1198	80
a6m11	228	21.216	0,3582	12997	0,1198	76
a6m12	228	20.400	0,3725	13225	0,1198	73

**Tabla 96: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	111	19.312	0,1916	13336	0,1198	69
a7m2	111	19.312	0,1916	13447	0,1198	69
a7m3	111	19.040	0,1943	13558	0,1198	68
a7m4	111	18.496	0,2000	13669	0,1198	66
a7m5	111	18.224	0,2030	13780	0,1198	65
a7m6	111	16.048	0,2306	13891	0,1198	58
a7m7	111	14.416	0,2567	14002	0,1198	52
a7m8	111	12.512	0,2957	14113	0,1198	45
a7m9	111	12.512	0,2957	14224	0,1198	45
a7m10	97	9.520	0,3408	14321	0,1198	34
a7m11	74	7.072	0,3490	14395	0,1198	25
a7m12	50	5.440	0,3093	14446	0,1198	20

**Tabla 97: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB7 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	41	4.624	0,2952	14487	0,1198	17
a8m2	15	2.176	0,2370	14502	0,1198	8
a8m3	3	544	0,2054	14506	0,1198	2
a8m4	3	272	0,3897	14509	0,1198	1
a8m5	1	272	0,1320	14510	0,1198	1
a8m6						
a8m7						
a8m8						
a8m9						
a8m10						
a8m11						
a8m12						

*11.7.8 Riesgo estimado para el macrobloque MB8 del caso de estudio*

**Tabla 98: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	8	3.264	0,0868	8	0,0368	4
a5m2	21	6.528	0,1096	30	0,0368	7
a5m3	34	9.792	0,1172	64	0,0368	11
a5m4	47	13.056	0,1209	112	0,0368	14
a5m5	99	16.320	0,2027	211	0,0368	18
a5m6	120	19.584	0,2042	331	0,0168	10
a5m7	141	22.848	0,2053	472	0,0168	11
a5m8	161	26.112	0,2061	633	0,0168	13
a5m9	182	29.376	0,2067	815	0,0168	15
a5m10	201	32.368	0,2072	1016	0,0168	16
a5m11	220	35.360	0,2076	1237	0,0168	18
a5m12	239	38.352	0,2079	1476	0,0168	19

**Tabla 99: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	258	38.352	0,2239	1733	0,0168	19

a6m2	258	38.352	0,2239	1991	0,0168	19
a6m3	258	38.352	0,2239	2249	0,0168	19
a6m4	258	38.352	0,2239	2506	0,0168	19
a6m5	258	38.352	0,2239	2764	0,0168	19
a6m6	258	38.352	0,2239	3022	0,0168	19
a6m7	258	38.352	0,2239	3279	0,0168	19
a6m8	258	38.352	0,2239	3537	0,0168	19
a6m9	258	38.352	0,2239	3795	0,0168	19
a6m10	258	38.352	0,2239	4052	0,0168	19
a6m11	258	38.352	0,2239	4310	0,0168	19
a6m12	258	38.352	0,2239	4568	0,0168	19

**Tabla 100: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	203	38.352	0,1767	4771	0,0168	19
a7m2	203	38.352	0,1767	4974	0,0168	19
a7m3	206	38.352	0,1790	5180	0,0168	19
a7m4	245	38.352	0,2130	5425	0,0168	19
a7m5	292	38.352	0,2538	5717	0,1136	131
a7m6	329	38.352	0,2856	6046	0,1136	131
a7m7	363	38.352	0,3151	6409	0,1136	131
a7m8	399	38.352	0,3469	6808	0,1136	131
a7m9	430	38.352	0,3741	7238	0,1136	131
a7m10	464	38.352	0,4036	7702	0,1136	131
a7m11	480	38.352	0,4172	8182	0,1136	131
a7m12	488	38.352	0,4240	8670	0,1136	131

**Tabla 101: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	562	38.352	0,4883	9232	0,1136	131
a8m2	562	38.352	0,4883	9794	0,1136	131
a8m3	562	38.352	0,4883	10356	0,1136	131
a8m4	562	38.352	0,4883	10917	0,1136	131
a8m5	562	38.352	0,4883	11479	0,1136	131
a8m6	562	38.352	0,4883	12041	0,1136	131
a8m7	562	38.352	0,4883	12603	0,1136	131

a8m8	562	38.352	0,4883	13165	0,1136	131
a8m9	562	38.352	0,4883	13726	0,1136	131
a8m10	562	38.352	0,4883	14288	0,1136	131
a8m11	562	38.352	0,4883	14850	0,1136	131
a8m12	562	38.352	0,4883	15412	0,1136	131

**Tabla 102: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	571	38.352	0,4963	15983	0,1136	131
a9m2	571	38.352	0,4963	16554	0,1136	131
a9m3	571	38.352	0,4963	17125	0,1136	131
a9m4	571	38.352	0,4963	17696	0,1136	131
a9m5	571	38.352	0,4963	18267	0,1136	131
a9m6	571	38.352	0,4963	18838	0,1136	131
a9m7	571	38.352	0,4963	19409	0,1136	131
a9m8	566	38.352	0,4919	19975	0,1136	131
a9m9	559	38.352	0,4855	20534	0,1136	131
a9m10	547	38.352	0,4757	21081	0,1136	131
a9m11	530	38.352	0,4604	21611	0,1136	131
a9m12	497	38.352	0,4323	22108	0,1136	131

**Tabla 103: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB8 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	660	38.352	0,5736	22768	0,1136	131
a10m2	660	38.352	0,5736	23428	0,1136	131
a10m3	660	38.352	0,5736	24088	0,1136	131
a10m4	660	37.536	0,5861	24748	0,1198	135
a10m5	660	37.264	0,5904	25408	0,1198	134
a10m6	660	35.632	0,6174	26068	0,1198	128
a10m7	660	33.728	0,6520	26728	0,1198	121
a10m8	643	31.552	0,6798	27371	0,1198	113
a10m9						
a10m10						
a10m11						
a10m12						

11.7.9 Riesgo estimado para el macrobloque MB9 del caso de estudio

**Tabla 104: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	14	3.184	0,1430	14	0,0368	4
a4m2	28	6.351	0,1454	41	0,0368	7
a4m3	42	9.505	0,1464	83	0,0368	11
a4m4	51	12.689	0,1352	135	0,0368	14
a4m5	50	14.095	0,1193	185	0,0368	16
a4m6	123	19.023	0,2158	308	0,0168	10
a4m7	144	22.177	0,2161	452	0,0168	11
a4m8	164	25.344	0,2162	616	0,0168	13
a4m9	185	28.511	0,2162	801	0,0168	14
a4m10	206	31.665	0,2164	1007	0,0168	16
a4m11	239	34.592	0,2299	1245	0,0168	17
a4m12	242	37.232	0,2166	1487	0,0168	19

**Tabla 105: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	237	37.232	0,2118	1724	0,0168	19
a5m2	237	37.232	0,2119	1961	0,0168	19
a5m3	237	37.232	0,2118	2197	0,0168	19
a5m4	237	37.232	0,2118	2434	0,0168	19
a5m5	237	37.232	0,2118	2671	0,0168	19
a5m6	237	37.232	0,2118	2907	0,0168	19
a5m7	237	37.232	0,2118	3144	0,0168	19
a5m8	237	37.232	0,2118	3380	0,0168	19
a5m9	237	37.232	0,2118	3617	0,0168	19
a5m10	237	37.232	0,2118	3854	0,0168	19
a5m11	237	37.232	0,2118	4090	0,0168	19
a5m12	237	37.232	0,2119	4327	0,0168	19

**Tabla 106: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	393	37.232	0,3518	4720	0,0168	19



a6m2	424	37.232	0,3798	5144	0,0168	19
a6m3	445	37.232	0,3985	5589	0,1136	127
a6m4	482	37.232	0,4312	6071	0,1136	127
a6m5	508	37.232	0,4546	6579	0,1136	127
a6m6	534	37.232	0,4780	7112	0,1136	127
a6m7	565	37.232	0,5060	7678	0,1136	127
a6m8	586	37.232	0,5247	8264	0,1136	127
a6m9	633	37.232	0,5668	8897	0,1136	127
a6m10	651	37.232	0,5831	9548	0,1136	127
a6m11	660	37.232	0,5909	10208	0,1136	127
a6m12	660	37.232	0,5909	10868	0,1136	127

**Tabla 107: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	608	37.232	0,5447	11476	0,1136	127
a7m2	608	37.232	0,5447	12085	0,1136	127
a7m3	608	37.232	0,5447	12693	0,1136	127
a7m4	608	37.232	0,5447	13302	0,1136	127
a7m5	608	37.232	0,5447	13910	0,1136	127
a7m6	608	37.232	0,5447	14518	0,1136	127
a7m7	608	37.232	0,5447	15127	0,1136	127
a7m8	608	37.232	0,5447	15735	0,1136	127
a7m9	608	37.232	0,5447	16344	0,1136	127
a7m10	608	37.232	0,5447	16952	0,1136	127
a7m11	608	37.232	0,5447	17560	0,1136	127
a7m12	608	37.232	0,5447	18169	0,1136	127

**Tabla 108: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	622	37.232	0,5568	18791	0,1136	127
a8m2	622	37.232	0,5568	19413	0,1136	127
a8m3	621	37.232	0,5564	20034	0,1136	127
a8m4	615	37.232	0,5505	20649	0,1136	127
a8m5	602	37.232	0,5394	21251	0,1136	127
a8m6	597	36.992	0,5384	21849	0,1198	133
a8m7	586	36.752	0,5312	22435	0,1198	132

a8m8	569	36.512	0,5192	23003	0,1198	131
a8m9	533	36.032	0,4932	23536	0,1198	129
a8m10	519	35.792	0,4832	24055	0,1198	129
a8m11	493	35.552	0,4623	24548	0,1198	128
a8m12	472	35.312	0,4460	25021	0,1198	127

**Tabla 109: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB9 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	630	33.872	0,6200	25651	0,1198	122
a9m2	616	29.520	0,6961	26267	0,1198	106
a9m3	561	25.648	0,7285	26828	0,1198	92
a9m4	477	21.776	0,7297	27304	0,1198	78
a9m5	381	17.634	0,7195	27685	0,1198	63
a9m6	108	4.129	0,8709	27793	0,1198	15
a9m7						
a9m8						
a9m9						
a9m10						
a9m11						
a9m12						

**11.7.10 Riesgo estimado para el macrobloque MB10 del caso de estudio**

**Tabla 110: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a3m1	1	3.152	0,0144	1	0,0368	3
a3m2	15	6.321	0,0812	17	0,0368	7
a3m3	29	9.488	0,1034	46	0,0368	10
a3m4	39	12.655	0,1026	85	0,0368	14
a3m5	97	15.809	0,2039	182	0,0368	17
a3m6	119	19.023	0,2078	300	0,0168	10
a3m7	140	22.177	0,2111	441	0,0168	11
a3m8	161	25.104	0,2133	602	0,0168	13
a3m9	181	28.031	0,2151	783	0,0168	14
a3m10	201	30.945	0,2166	984	0,0168	16
a3m11	221	33.872	0,2177	1205	0,0168	17
a3m12	240	36.512	0,2189	1445	0,0168	18

**Tabla 111: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	232	36.512	0,2115	1676	0,0168	18
a4m2	232	36.512	0,2115	1908	0,0168	18
a4m3	232	36.512	0,2115	2140	0,0168	18
a4m4	232	36.512	0,2115	2371	0,0168	18
a4m5	232	36.512	0,2115	2603	0,0168	18
a4m6	232	36.512	0,2115	2835	0,0168	18
a4m7	232	36.512	0,2115	3066	0,0168	18
a4m8	232	36.512	0,2115	3298	0,0168	18
a4m9	232	36.512	0,2115	3530	0,0168	18
a4m10	232	36.512	0,2115	3761	0,0168	18
a4m11	263	36.512	0,2397	4024	0,0168	18
a4m12	310	36.512	0,2830	4334	0,0168	18

**Tabla 112: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	343	36.512	0,3129	4677	0,1136	124
a5m2	390	36.512	0,3562	5067	0,1136	124
a5m3	421	36.512	0,3842	5488	0,1136	124
a5m4	452	36.512	0,4122	5939	0,1136	124
a5m5	474	36.512	0,4326	6413	0,1136	124
a5m6	488	36.512	0,4454	6901	0,1136	124
a5m7	507	36.512	0,4632	7408	0,1136	124
a5m8	538	36.512	0,4910	7946	0,1136	124
a5m9	547	36.512	0,4996	8493	0,1136	124
a5m10	578	36.512	0,5276	9071	0,1136	124
a5m11	634	36.512	0,5785	9705	0,1136	124
a5m12	660	36.512	0,6025	10365	0,1136	124

**Tabla 113: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	609	36.512	0,5558	10974	0,1136	124
a6m2	599	36.272	0,5505	11573	0,1198	130

a6m3	594	36.272	0,5460	12167	0,1198	130
a6m4	590	36.032	0,5461	12757	0,1198	129
a6m5	587	36.032	0,5431	13344	0,1198	129
a6m6	586	35.552	0,5490	13930	0,1198	128
a6m7	581	35.552	0,5446	14511	0,1198	128
a6m8	549	35.072	0,5220	15060	0,1198	126
a6m9	518	35.072	0,4923	15578	0,1198	126
a6m10	505	35.072	0,4798	16083	0,1198	126
a6m11	494	34.352	0,4789	16576	0,1198	123
a6m12	479	32.912	0,4847	17055	0,1198	118

**Tabla 114: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB10 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	645	30.992	0,6933	17700	0,1198	111
a7m2	633	29.552	0,7143	18333	0,1198	106
a7m3	619	28.095	0,7343	18952	0,1198	101
a7m4	609	27.375	0,7416	19561	0,1198	98
a7m5	586	26.895	0,7263	20147	0,1198	97
a7m6	550	24.720	0,7411	20696	0,1198	89
a7m7	520	23.505	0,7380	21217	0,1198	84
a7m8	496	22.785	0,7261	21713	0,1198	82
a7m9	466	21.088	0,7362	22179	0,1198	76
a7m10	241	10.735	0,7474	22420	0,1198	39
a7m11						
a7m12						

*11.7.11 Riesgo estimado para el macrobloque MB11 del caso de estudio*

**Tabla 115: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a1m1	14	3.137	0,1492	14	0,0368	3
a1m2	28	6.321	0,1481	42	0,0368	7
a1m3	42	9.518	0,1475	84	0,0368	11
a1m4	49	12.496	0,1317	134	0,0368	14
a1m5	96	15.440	0,2081	230	0,0368	17
a1m6	115	18.414	0,2077	345	0,0168	9
a1m7	133	21.362	0,2077	478	0,0168	11
a1m8	151	24.302	0,2078	629	0,0168	12

a1m9	168	27.280	0,2059	798	0,0168	14
a1m10	168	30.275	0,1855	966	0,0168	15
a1m11	168	33.279	0,1687	1135	0,0168	17
a1m12	168	36.081	0,1556	1303	0,0168	18

**Tabla 116: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a2m1	223	36.081	0,2064	1527	0,0168	18
a2m2	223	36.081	0,2064	1750	0,0168	18
a2m3	223	36.081	0,2064	1973	0,0168	18
a2m4	223	36.081	0,2064	2197	0,0168	18
a2m5	223	36.081	0,2064	2420	0,0168	18
a2m6	223	36.081	0,2064	2643	0,0168	18
a2m7	223	36.081	0,2064	2867	0,0168	18
a2m8	223	36.081	0,2064	3090	0,0168	18
a2m9	226	36.081	0,2089	3316	0,0168	18
a2m10	241	36.081	0,2228	3558	0,0168	18
a2m11	241	36.081	0,2228	3799	0,0168	18
a2m12	241	36.081	0,2228	4040	0,0168	18

**Tabla 117: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a3m1	399	36.081	0,3685	4439	0,1136	123
a3m2	412	36.081	0,3805	4851	0,1136	123
a3m3	422	36.081	0,3895	5272	0,1136	123
a3m4	457	36.081	0,4224	5729	0,1136	123
a3m5	473	36.081	0,4373	6203	0,1136	123
a3m6	503	36.081	0,4643	6705	0,1136	123
a3m7	535	36.081	0,4942	7240	0,1136	123
a3m8	559	36.081	0,5163	7799	0,1136	123
a3m9	559	36.081	0,5163	8358	0,1136	123
a3m10	559	36.081	0,5163	8917	0,1136	123
a3m11	559	36.081	0,5163	9476	0,1136	123
a3m12	559	36.081	0,5163	10035	0,1136	123

**Tabla 118: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a4m1	525	36.081	0,4849	10560	0,1136	123
a4m2	525	36.081	0,4849	11084	0,1136	123
a4m3	525	36.081	0,4849	11609	0,1136	123
a4m4	525	36.081	0,4849	12134	0,1136	123
a4m5	525	35.841	0,4882	12659	0,1198	129
a4m6	525	35.361	0,4948	13184	0,1198	127
a4m7	525	34.881	0,5016	13709	0,1198	125
a4m8	525	34.881	0,5016	14234	0,1198	125
a4m9	525	34.401	0,5086	14759	0,1198	124
a4m10	525	33.921	0,5158	15284	0,1198	122
a4m11	525	33.681	0,5195	15809	0,1198	121
a4m12	525	32.481	0,5387	16333	0,1198	117

**Tabla 119: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB11 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a5m1	525	31.007	0,5643	16858	0,1198	111
a5m2	525	29.998	0,5833	17383	0,1198	108
a5m3	525	27.997	0,6250	17908	0,1198	101
a5m4	525	26.225	0,6672	18433	0,1198	94
a5m5	525	23.680	0,7389	18958	0,1198	85
a5m6	480	22.671	0,7056	19438	0,1198	81
a5m7	424	19.153	0,7386	19862	0,1198	69
a5m8	390	17.664	0,7366	20253	0,1198	63
a5m9	346	15.487	0,7449	20599	0,1198	56
a5m10	291	14.032	0,6913	20890	0,1198	50
a5m11	253	11.840	0,7120	21143	0,1198	43
a5m12	212	10.368	0,6824	21355	0,1198	37

*11.7.12 Riesgo estimado para el macrobloque MB12 del caso de estudio*

**Tabla 120: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 1 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a1m1	14	3.263	0,1434	14	0,0368	4
a1m2	28	6.464	0,1448	42	0,0368	7
a1m3	42	9.791	0,1434	84	0,0368	11

a1m4	53	12.928	0,1355	137	0,0368	14
a1m5	92	16.048	0,1920	229	0,0368	18
a1m6	111	19.168	0,1929	340	0,0168	10
a1m7	129	22.463	0,1920	470	0,0168	11
a1m8	148	25.792	0,1911	617	0,0168	13
a1m9	165	28.864	0,1905	782	0,0168	15
a1m10	182	31.936	0,1900	964	0,0168	16
a1m11	199	34.816	0,1906	1163	0,0168	18
a1m12	206	37.696	0,1825	1370	0,0168	19

**Tabla 121: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 2 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a2m1	205	37.696	0,1815	1575	0,0168	19
a2m2	205	37.696	0,1815	1780	0,0168	19
a2m3	205	37.696	0,1815	1985	0,0168	19
a2m4	205	37.696	0,1815	2191	0,0168	19
a2m5	205	37.696	0,1815	2396	0,0168	19
a2m6	205	37.696	0,1815	2601	0,0168	19
a2m7	205	37.696	0,1815	2806	0,0168	19
a2m8	205	37.696	0,1815	3011	0,0168	19
a2m9	205	37.696	0,1815	3217	0,0168	19
a2m10	234	37.696	0,2072	3451	0,0168	19
a2m11	298	37.696	0,2631	3748	0,0168	19
a2m12	361	37.696	0,3191	4109	0,0168	19

**Tabla 122: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a3m1	420	37.696	0,3710	4529	0,1136	128
a3m2	426	37.696	0,3767	4955	0,1136	128
a3m3	442	37.696	0,3910	5397	0,1136	128
a3m4	455	37.696	0,4025	5852	0,1136	128
a3m5	494	37.696	0,4369	6346	0,1136	128
a3m6	520	37.696	0,4598	6866	0,1136	128
a3m7	522	37.696	0,4618	7388	0,1136	128
a3m8	522	37.696	0,4618	7911	0,1136	128
a3m9	522	37.696	0,4618	8433	0,1136	128

a3m10	522	37.696	0,4618	8955	0,1136	128
a3m11	522	37.696	0,4618	9477	0,1136	128
a3m12	522	37.696	0,4618	10000	0,1136	128

**Tabla 123: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	524	37.696	0,4629	10523	0,1136	128
a4m2	524	37.696	0,4629	11047	0,1136	128
a4m3	524	37.696	0,4629	11570	0,1136	128
a4m4	524	37.696	0,4629	12094	0,1136	128
a4m5	524	37.696	0,4629	12617	0,1136	128
a4m6	524	37.696	0,4629	13141	0,1136	128
a4m7	524	37.696	0,4629	13664	0,1136	128
a4m8	524	37.696	0,4629	14188	0,1136	128
a4m9	524	37.696	0,4629	14711	0,1136	128
a4m10	524	37.696	0,4629	15235	0,1136	128
a4m11	524	37.696	0,4629	15758	0,1136	128
a4m12	524	37.456	0,4659	16282	0,1198	135

**Tabla 124: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB12 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	432	37.456	0,3840	16713	0,1198	135
a5m2	432	37.456	0,3840	17145	0,1198	135
a5m3	432	37.456	0,3840	17576	0,1198	135
a5m4	432	36.704	0,3919	18008	0,1198	132
a5m5	432	36.449	0,3946	18439	0,1198	131
a5m6	432	34.992	0,4111	18871	0,1198	126
a5m7	432	33.983	0,4233	19302	0,1198	122
a5m8	432	31.956	0,4501	19734	0,1198	115
a5m9	432	30.176	0,4767	20165	0,1198	108
a5m10	432	28.946	0,4969	20597	0,1198	104
a5m11	432	28.194	0,5102	21029	0,1198	101
a5m12	432	24.141	0,5959	21460	0,1198	87

*11.7.13 Riesgo estimado para el macrobloque MB13 del caso de estudio*

**Tabla 125: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 3 el plan de producción de la mina “M1”.**



Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a3m1	14	3.201	0,1462	14	0,0368	4
a3m2	28	6.351	0,1474	42	0,0368	7
a3m3	42	9.535	0,1472	84	0,0368	11
a3m4	51	12.689	0,1348	136	0,0368	14
a3m5	98	15.856	0,2066	234	0,0368	18
a3m6	118	18.976	0,2072	352	0,0168	10
a3m7	138	22.143	0,2071	489	0,0168	11
a3m8	157	25.297	0,2072	647	0,0168	13
a3m9	179	28.464	0,2096	826	0,0168	14
a3m10	197	31.391	0,2096	1023	0,0168	16
a3m11	216	34.305	0,2096	1239	0,0168	17
a3m12	232	37.232	0,2077	1471	0,0168	19

**Tabla 126: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	234	37.232	0,2096	1705	0,0168	19
a4m2	234	37.232	0,2096	1939	0,0168	19
a4m3	234	37.232	0,2096	2173	0,0168	19
a4m4	234	37.232	0,2096	2407	0,0168	19
a4m5	234	37.232	0,2096	2641	0,0168	19
a4m6	234	37.232	0,2096	2875	0,0168	19
a4m7	234	37.232	0,2096	3109	0,0168	19
a4m8	234	37.232	0,2096	3343	0,0168	19
a4m9	234	37.232	0,2096	3578	0,0168	19
a4m10	234	37.232	0,2096	3812	0,0168	19
a4m11	267	37.232	0,2389	4079	0,0168	19
a4m12	267	37.232	0,2389	4345	0,0168	19

**Tabla 127: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	298	37.232	0,2671	4644	0,0168	19
a5m2	400	37.232	0,3578	5043	0,1136	127
a5m3	508	37.232	0,4551	5552	0,1136	127

a5m4	534	37.232	0,4785	6086	0,1136	127
a5m5	534	37.232	0,4785	6621	0,1136	127
a5m6	534	37.232	0,4785	7155	0,1136	127
a5m7	534	37.232	0,4785	7690	0,1136	127
a5m8	534	37.232	0,4785	8224	0,1136	127
a5m9	534	37.232	0,4785	8759	0,1136	127
a5m10	534	37.232	0,4785	9293	0,1136	127
a5m11	534	37.232	0,4785	9828	0,1136	127
a5m12	534	37.232	0,4785	10362	0,1136	127

**Tabla 128: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	588	37.232	0,5262	10950	0,1136	127
a6m2	588	37.232	0,5262	11538	0,1136	127
a6m3	588	37.232	0,5262	12125	0,1136	127
a6m4	588	37.232	0,5262	12713	0,1136	127
a6m5	588	37.232	0,5262	13301	0,1136	127
a6m6	588	37.232	0,5262	13889	0,1136	127
a6m7	588	37.232	0,5262	14476	0,1136	127
a6m8	588	37.232	0,5262	15064	0,1136	127
a6m9	588	37.232	0,5262	15652	0,1136	127
a6m10	588	37.232	0,5262	16240	0,1136	127
a6m11	588	37.232	0,5262	16828	0,1136	127
a6m12	588	37.232	0,5262	17415	0,1136	127

**Tabla 129: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB13 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	588	37.232	0,5262	18003	0,1136	127
a7m2	588	37.232	0,5262	18591	0,1136	127
a7m3	588	36.992	0,5296	19179	0,1198	133
a7m4	588	36.752	0,5331	19766	0,1198	132
a7m5	588	35.985	0,5445	20354	0,1198	129
a7m6	588	29.441	0,6655	20942	0,1198	106
a7m7	588	28.449	0,6887	21530	0,1198	102
a7m8	518	26.514	0,6518	22048	0,1198	95
a7m9	405	18.594	0,7256	22453	0,1198	67

a7m10	365	16.160	0,7524	22818	0,1198	58
a7m11	284	14.688	0,6452	23102	0,1198	53
a7m12	201	10.754	0,6231	23303	0,1198	39

**11.7.14 Riesgo estimado para el macrobloque MB14 del caso de estudio**

**Tabla 130: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 4 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a4m1	15	3.424	0,1472	15	0,0368	4
a4m2	29	6.591	0,1475	44	0,0368	7
a4m3	43	9.745	0,1478	87	0,0368	11
a4m4	76	12.929	0,1968	164	0,0368	14
a4m5	95	16.079	0,1970	259	0,0368	18
a4m6	114	19.216	0,1973	373	0,0168	10
a4m7	132	22.353	0,1976	505	0,0168	11
a4m8	151	25.537	0,1974	656	0,0168	13
a4m9	170	28.687	0,1974	826	0,0168	14
a4m10	189	31.871	0,1973	1015	0,0168	16
a4m11	207	35.025	0,1973	1222	0,0168	18
a4m12	228	38.192	0,1988	1450	0,0168	19

**Tabla 131: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	236	38.192	0,2059	1686	0,0168	19
a5m2	236	38.192	0,2059	1922	0,0168	19
a5m3	236	38.192	0,2059	2158	0,0168	19
a5m4	236	38.192	0,2059	2394	0,0168	19
a5m5	236	38.192	0,2059	2630	0,0168	19
a5m6	236	38.192	0,2059	2865	0,0168	19
a5m7	236	38.192	0,2059	3101	0,0168	19
a5m8	236	38.192	0,2059	3337	0,0168	19
a5m9	236	38.192	0,2059	3573	0,0168	19
a5m10	236	38.192	0,2059	3809	0,0168	19
a5m11	236	38.192	0,2059	4045	0,0168	19
a5m12	236	38.192	0,2059	4281	0,0168	19

**Tabla 132: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	316	38.192	0,2754	4597	0,0168	19
a6m2	316	38.192	0,2754	4912	0,0168	19
a6m3	363	38.192	0,3168	5275	0,0168	19
a6m4	427	38.192	0,3731	5703	0,1136	130
a6m5	472	38.192	0,4115	6174	0,1136	130
a6m6	533	38.192	0,4648	6707	0,1136	130
a6m7	611	38.192	0,5328	7317	0,1136	130
a6m8	646	38.192	0,5638	7963	0,1136	130
a6m9	660	38.192	0,5756	8623	0,1136	130
a6m10	660	38.192	0,5760	9283	0,1136	130
a6m11	660	38.192	0,5760	9943	0,1136	130
a6m12	660	38.192	0,5760	10603	0,1136	130

**Tabla 133: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	608	38.192	0,5310	11211	0,1136	130
a7m2	608	38.192	0,5310	11819	0,1136	130
a7m3	608	38.192	0,5310	12428	0,1136	130
a7m4	608	38.192	0,5310	13036	0,1136	130
a7m5	608	38.192	0,5310	13645	0,1136	130
a7m6	608	38.192	0,5310	14253	0,1136	130
a7m7	608	38.192	0,5310	14861	0,1136	130
a7m8	608	38.192	0,5310	15470	0,1136	130
a7m9	608	38.192	0,5310	16078	0,1136	130
a7m10	608	38.192	0,5310	16687	0,1136	130
a7m11	608	38.192	0,5310	17295	0,1136	130
a7m12	608	37.952	0,5344	17903	0,1198	136

**Tabla 134: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	582	37.712	0,5144	18485	0,1198	135
a8m2	582	37.232	0,5211	19067	0,1198	134

a8m3	582	36.032	0,5384	19649	0,1198	129
a8m4	582	34.815	0,5572	20231	0,1198	125
a8m5	582	33.855	0,5730	20813	0,1198	122
a8m6	582	32.880	0,5900	21395	0,1198	118
a8m7	582	31.903	0,6081	21977	0,1198	115
a8m8	582	29.422	0,6594	22559	0,1198	106
a8m9	582	28.207	0,6878	23141	0,1198	101
a8m10	582	26.480	0,7326	23723	0,1198	95
a8m11	582	25.728	0,7540	24305	0,1198	92
a8m12	565	25.233	0,7467	24871	0,1198	91

**Tabla 135: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB14 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	630	24.513	0,8570	25501	0,1198	88
a9m2	620	23.793	0,8688	26121	0,1198	85
a9m3	598	22.816	0,8733	26719	0,1198	82
a9m4	585	22.576	0,8633	27303	0,1198	81
a9m5	518	20.896	0,8271	27822	0,1198	75
a9m6	368	16.735	0,7335	28190	0,1198	60
a9m7	177	8.241	0,7162	28367	0,1198	30
a9m8						
a9m9						
a9m10						
a9m11						
a9m12						

*11.7.15 Riesgo estimado para el macrobloque MB15 del caso de estudio*

**Tabla 136: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 5 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a5m1	14	3.201,1	0,1462	14	0,0368	4
a5m2	28	6.350,9	0,1474	42	0,0368	7
a5m3	42	9.534,9	0,1472	84	0,0368	11
a5m4	50	12.449,1	0,1346	135	0,0368	14
a5m5	101	15.376,0	0,2196	236	0,0368	17
a5m6	121	18.256,0	0,2202	356	0,0168	9
a5m7	140	21.153,1	0,2205	496	0,0168	11
a5m8	159	24.080,0	0,2204	656	0,0168	12

a5m9	178	27.006,9	0,2203	834	0,0168	14
a5m10	198	29.921,1	0,2203	1032	0,0168	15
a5m11	217	32.848,0	0,2203	1249	0,0168	17
a5m12	230	35.792,0	0,2142	1479	0,0168	18

**Tabla 137: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	251	35.792,0	0,2339	1730	0,0168	18
a6m2	251	35.792,0	0,2339	1981	0,0168	18
a6m3	251	35.792,0	0,2339	2232	0,0168	18
a6m4	251	35.792,0	0,2339	2483	0,0168	18
a6m5	251	35.792,0	0,2339	2735	0,0168	18
a6m6	251	35.792,0	0,2339	2986	0,0168	18
a6m7	251	35.792,0	0,2339	3237	0,0168	18
a6m8	251	35.792,0	0,2339	3488	0,0168	18
a6m9	251	35.792,0	0,2339	3739	0,0168	18
a6m10	251	35.792,0	0,2339	3990	0,0168	18
a6m11	287	35.792,0	0,2676	4278	0,0168	18
a6m12	287	35.792,0	0,2676	4565	0,0168	18

**Tabla 138: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	343	35.792,0	0,3195	4908	0,0168	18
a7m2	343	35.792,0	0,3195	5251	0,1136	122
a7m3	343	35.792,0	0,3195	5594	0,1136	122
a7m4	343	35.792,0	0,3195	5937	0,1136	122
a7m5	343	35.792,0	0,3195	6280	0,1136	122
a7m6	343	35.792,0	0,3195	6623	0,1136	122
a7m7	343	35.792,0	0,3195	6967	0,1136	122
a7m8	343	35.792,0	0,3195	7310	0,1136	122
a7m9	343	35.792,0	0,3195	7653	0,1136	122
a7m10	343	35.792,0	0,3195	7996	0,1136	122
a7m11	343	35.792,0	0,3195	8339	0,1136	122
a7m12	343	35.792,0	0,3195	8682	0,1136	122

**Tabla 139: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	561	35.792,0	0,5225	9243	0,1136	122
a8m2	561	35.792,0	0,5225	9804	0,1136	122
a8m3	561	35.792,0	0,5225	10365	0,1136	122
a8m4	561	35.792,0	0,5225	10926	0,1136	122
a8m5	561	35.792,0	0,5225	11487	0,1136	122
a8m6	561	35.792,0	0,5225	12048	0,1136	122
a8m7	561	35.792,0	0,5225	12609	0,1136	122
a8m8	561	35.792,0	0,5225	13170	0,1136	122
a8m9	561	35.792,0	0,5225	13731	0,1136	122
a8m10	561	35.792,0	0,5225	14292	0,1136	122
a8m11	561	35.792,0	0,5225	14853	0,1136	122
a8m12	561	35.552,0	0,5260	15414	0,1198	128

**Tabla 140: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	551	35.552,0	0,5164	15965	0,1198	128
a9m2	551	35.312,0	0,5199	16515	0,1198	127
a9m3	551	35.072,0	0,5235	17066	0,1198	126
a9m4	551	34.592,0	0,5308	17617	0,1198	124
a9m5	551	34.352,0	0,5345	18168	0,1198	123
a9m6	551	33.872,0	0,5420	18719	0,1198	122
a9m7	551	33.632,0	0,5459	19269	0,1198	121
a9m8	551	33.152,0	0,5538	19820	0,1198	119
a9m9	551	32.897,1	0,5581	20371	0,1198	118
a9m10	551	31.682,2	0,5795	20922	0,1198	114
a9m11	551	30.962,2	0,5930	21473	0,1198	111
a9m12	551	29.282,2	0,6270	22023	0,1198	105

**Tabla 141: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB15 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	637	25.905,1	0,8193	22660	0,1198	93
a10m2	590	23.710,9	0,8293	23250	0,1198	85
a10m3	528	21.053,8	0,8367	23778	0,1198	76

a10m4	468	18.653,8	0,8365	24247	0,1198	67
a10m5	417	17.181,8	0,8099	24664	0,1198	62
a10m6	333	13.728,0	0,8090	24997	0,1198	49
a10m7	288	11.486,9	0,8369	25286	0,1198	41
a10m8	262	10.254,9	0,8532	25548	0,1198	37
a10m9						
a10m10						
a10m11						
a10m12						

11.7.16 Riesgo estimado para el macrobloque MB16 del caso de estudio

Tabla 142: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 6 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a6m1	13	2.944,0	0,1467	13	0,0368	3
a6m2	26	5.870,9	0,1472	39	0,0368	6
a6m3	39	8.785,1	0,1475	78	0,0368	10
a6m4	48	11.712,0	0,1360	126	0,0368	13
a6m5	125	14.638,9	0,2857	251	0,0368	16
a6m6	151	17.536,0	0,2862	402	0,0168	9
a6m7	176	20.462,9	0,2861	577	0,0168	10
a6m8	201	23.137,1	0,2897	778	0,0168	12
a6m9	201	25.806,9	0,2598	979	0,0168	13
a6m10	201	28.481,1	0,2354	1181	0,0168	14
a6m11	201	31.168,0	0,2151	1382	0,0168	16
a6m12	201	33.872,0	0,1979	1583	0,0168	17

Tabla 143: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	263	33.872,0	0,2585	1845	0,0168	17
a7m2	263	33.872,0	0,2585	2108	0,0168	17
a7m3	263	33.872,0	0,2585	2371	0,0168	17
a7m4	263	33.872,0	0,2585	2634	0,0168	17
a7m5	263	33.872,0	0,2585	2896	0,0168	17
a7m6	263	33.872,0	0,2585	3159	0,0168	17
a7m7	263	33.872,0	0,2585	3422	0,0168	17
a7m8	263	33.872,0	0,2585	3685	0,0168	17
a7m9	263	33.872,0	0,2585	3947	0,0168	17



a7m10	263	33.872,0	0,2585	4210	0,0168	17
a7m11	263	33.872,0	0,2585	4473	0,0168	17
a7m12	263	33.872,0	0,2585	4735	0,0168	17

**Tabla 144: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	375	33.872,0	0,3691	5111	0,0168	17
a8m2	375	33.872,0	0,3691	5486	0,1136	115
a8m3	375	33.872,0	0,3691	5861	0,1136	115
a8m4	375	33.872,0	0,3691	6236	0,1136	115
a8m5	375	33.872,0	0,3691	6611	0,1136	115
a8m6	375	33.872,0	0,3691	6986	0,1136	115
a8m7	375	33.872,0	0,3691	7361	0,1136	115
a8m8	375	33.872,0	0,3691	7736	0,1136	115
a8m9	375	33.872,0	0,3691	8111	0,1136	115
a8m10	375	33.872,0	0,3691	8486	0,1136	115
a8m11	375	33.872,0	0,3691	8862	0,1136	115
a8m12	375	33.872,0	0,3691	9237	0,1136	115

**Tabla 145: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	515	33.872,0	0,5066	9751	0,1136	115
a9m2	515	33.872,0	0,5066	10266	0,1136	115
a9m3	515	33.872,0	0,5066	10781	0,1136	115
a9m4	515	33.872,0	0,5066	11296	0,1136	115
a9m5	515	33.872,0	0,5066	11811	0,1136	115
a9m6	515	33.872,0	0,5066	12325	0,1136	115
a9m7	515	33.872,0	0,5066	12840	0,1136	115
a9m8	515	33.872,0	0,5066	13355	0,1136	115
a9m9	515	33.872,0	0,5066	13870	0,1136	115
a9m10	515	33.872,0	0,5066	14385	0,1136	115
a9m11	515	33.872,0	0,5066	14899	0,1136	115
a9m12	515	33.872,0	0,5066	15414	0,1136	115

**Tabla 146: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina “M1”.**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	556	33.872,0	0,5474	15970	0,1136	115
a10m2	556	33.872,0	0,5474	16527	0,1136	115
a10m3	556	33.872,0	0,5474	17083	0,1136	115
a10m4	556	33.872,0	0,5474	17639	0,1136	115
a10m5	556	33.872,0	0,5474	18195	0,1136	115
a10m6	556	33.872,0	0,5474	18752	0,1136	115
a10m7	556	33.872,0	0,5474	19308	0,1136	115
a10m8	556	33.872,0	0,5474	19864	0,1136	115
a10m9	556	33.872,0	0,5474	20420	0,1136	115
a10m10	556	33.872,0	0,5474	20976	0,1136	115
a10m11	556	33.872,0	0,5474	21533	0,1136	115
a10m12	556	33.872,0	0,5474	22089	0,1136	115

**Tabla 147: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB16 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	660	33.872,0	0,6495	22749	0,1136	115
a11m2	660	33.872,0	0,6495	23409	0,1136	115
a11m3	660	33.614,9	0,6545	24069	0,1198	121
a11m4	660	33.614,9	0,6545	24729	0,1198	121
a11m5	660	33.134,9	0,6640	25389	0,1198	119
a11m6	660	30.462,9	0,7222	26049	0,1198	109
a11m7	637	27.565,8	0,7707	26686	0,1198	99
a11m8	452	18.846,9	0,8001	27139	0,1198	68
a11m9						
a11m10						
a11m11						
a11m12						

*11.7.17 Riesgo estimado para el macrobloque MB17 del caso de estudio*

**Tabla 148: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 7 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a7m1	12	2.686,9	0,1474	12	0,0368	3
a7m2	24	5.376,0	0,1473	36	0,0368	6
a7m3	36	8.048,0	0,1476	71	0,0368	9
a7m4	44	10.705,1	0,1355	115	0,0368	12

a7m5	121	13.392,0	0,3002	235	0,0368	15
a7m6	145	16.081,1	0,3000	380	0,0368	18
a7m7	169	18.800,0	0,2994	549	0,0168	9
a7m8	205	21.472,0	0,3179	754	0,0168	11
a7m9	205	24.144,0	0,2827	959	0,0168	12
a7m10	205	26.816,0	0,2545	1163	0,0168	13
a7m11	205	29.488,0	0,2315	1368	0,0168	15
a7m12	205	32.192,0	0,2120	1573	0,0168	16

**Tabla 149: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	288	32.192,0	0,2980	1861	0,0168	16
a8m2	288	32.192,0	0,2980	2148	0,0168	16
a8m3	288	32.192,0	0,2980	2436	0,0168	16
a8m4	288	32.192,0	0,2980	2724	0,0168	16
a8m5	288	32.192,0	0,2980	3012	0,0168	16
a8m6	288	32.192,0	0,2980	3299	0,0168	16
a8m7	288	32.192,0	0,2980	3587	0,0168	16
a8m8	288	32.192,0	0,2980	3875	0,0168	16
a8m9	288	32.192,0	0,2980	4163	0,0168	16
a8m10	288	32.192,0	0,2980	4451	0,0168	16
a8m11	288	32.192,0	0,2980	4738	0,0168	16
a8m12	288	32.192,0	0,2980	5026	0,0168	16

**Tabla 150: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	289	32.192,0	0,2989	5315	0,1136	110
a9m2	289	32.192,0	0,2989	5603	0,1136	110
a9m3	289	32.192,0	0,2989	5892	0,1136	110
a9m4	289	32.192,0	0,2989	6181	0,1136	110
a9m5	289	32.192,0	0,2989	6469	0,1136	110
a9m6	289	32.192,0	0,2989	6758	0,1136	110
a9m7	289	32.192,0	0,2989	7047	0,1136	110
a9m8	289	32.192,0	0,2989	7336	0,1136	110
a9m9	289	32.192,0	0,2989	7624	0,1136	110
a9m10	289	32.192,0	0,2989	7913	0,1136	110

a9m11	289	32.192,0	0,2989	8202	0,1136	110
a9m12	289	32.192,0	0,2989	8490	0,1136	110

**Tabla 151: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	432	32.192,0	0,4477	8923	0,1136	110
a10m2	432	32.192,0	0,4477	9355	0,1136	110
a10m3	432	32.192,0	0,4477	9787	0,1136	110
a10m4	432	32.192,0	0,4477	10220	0,1136	110
a10m5	432	32.192,0	0,4477	10652	0,1136	110
a10m6	432	32.192,0	0,4477	11085	0,1136	110
a10m7	432	32.192,0	0,4477	11517	0,1136	110
a10m8	432	32.192,0	0,4477	11949	0,1136	110
a10m9	432	32.192,0	0,4477	12382	0,1136	110
a10m10	432	32.192,0	0,4477	12814	0,1136	110
a10m11	432	32.192,0	0,4477	13246	0,1136	110
a10m12	432	31.952,0	0,4511	13679	0,1198	115

**Tabla 152: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	528	31.472,0	0,5589	14207	0,1198	113
a11m2	528	30.032,0	0,5857	14734	0,1198	108
a11m3	528	29.312,0	0,6001	15262	0,1198	105
a11m4	528	28.832,0	0,6101	15790	0,1198	104
a11m5	528	27.854,9	0,6315	16317	0,1198	100
a11m6	528	27.854,9	0,6315	16845	0,1198	100
a11m7	528	27.374,9	0,6426	17373	0,1198	98
a11m8	528	26.640,0	0,6603	17900	0,1198	96
a11m9	528	26.142,9	0,6728	18428	0,1198	94
a11m10	522	25.408,0	0,6854	18951	0,1198	91
a11m11	519	24.430,9	0,7081	19470	0,1198	88
a11m12	519	24.430,9	0,7081	19989	0,1198	88

**Tabla 153: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB17 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
-----------------	-----------------	------------------	---------------	---------------------------	----------------	------------------

a12m1	517	24.430,9	0,7054	20506	0,1198	88
a12m2	509	23.936,0	0,7083	21014	0,1198	86
a12m3	503	23.936,0	0,6998	21517	0,1198	86
a12m4	492	23.169,1	0,7084	22009	0,1198	83
a12m5	485	22.912,0	0,7051	22494	0,1198	82
a12m6	479	22.654,9	0,7054	22973	0,1198	81
a12m7	464	22.160,0	0,6982	23437	0,1198	80
a12m8	451	21.648,0	0,6951	23889	0,1198	78
a12m9	444	20.928,0	0,7077	24333	0,1198	75
a12m10	436	20.688,0	0,7024	24769	0,1198	74
a12m11	421	20.176,0	0,6950	25190	0,1198	72
a12m12	400	19.216,0	0,6940	25590	0,1198	69

11.7.18 Riesgo estimado para el macrobloque MB18 del caso de estudio

Tabla 154: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 8 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a8m1	14	3.166,9	0,1478	14	0,0368	3
a8m2	28	6.350,9	0,1474	42	0,0368	7
a8m3	42	9.505,1	0,1477	84	0,0368	11
a8m4	51	12.654,9	0,1345	135	0,0368	14
a8m5	106	15.569,1	0,2271	241	0,0368	17
a8m6	126	18.513,1	0,2268	367	0,0168	9
a8m7	146	21.422,9	0,2270	513	0,0168	11
a8m8	166	24.337,1	0,2270	679	0,0168	12
a8m9	186	27.264,0	0,2270	865	0,0168	14
a8m10	206	30.161,1	0,2271	1070	0,0168	15
a8m11	225	33.088,0	0,2271	1296	0,0168	17
a8m12	245	36.032,0	0,2262	1540	0,0168	18

Tabla 155: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	226	36.032,0	0,2093	1766	0,0168	18
a9m2	226	36.032,0	0,2093	1993	0,0168	18
a9m3	226	36.032,0	0,2093	2219	0,0168	18
a9m4	226	36.032,0	0,2093	2445	0,0168	18
a9m5	226	36.032,0	0,2093	2671	0,0168	18
a9m6	226	36.032,0	0,2093	2897	0,0168	18
a9m7	226	36.032,0	0,2093	3124	0,0168	18

a9m8	226	36.032,0	0,2093	3350	0,0168	18
a9m9	226	36.032,0	0,2093	3576	0,0168	18
a9m10	226	36.032,0	0,2093	3802	0,0168	18
a9m11	226	36.032,0	0,2093	4028	0,0168	18
a9m12	226	36.032,0	0,2093	4255	0,0168	18

**Tabla 156: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	278	36.032,0	0,2570	4533	0,0168	18
a10m2	278	36.032,0	0,2570	4810	0,0168	18
a10m3	278	36.032,0	0,2570	5088	0,0168	18
a10m4	278	36.032,0	0,2570	5366	0,1136	123
a10m5	278	36.032,0	0,2570	5644	0,1136	123
a10m6	278	36.032,0	0,2570	5922	0,1136	123
a10m7	278	36.032,0	0,2570	6199	0,1136	123
a10m8	278	36.032,0	0,2570	6477	0,1136	123
a10m9	278	36.032,0	0,2570	6755	0,1136	123
a10m10	278	36.032,0	0,2570	7033	0,1136	123
a10m11	278	36.032,0	0,2570	7311	0,1136	123
a10m12	278	36.032,0	0,2570	7589	0,1136	123

**Tabla 157: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	360	36.032,0	0,3327	7948	0,1136	123
a11m2	391	36.032,0	0,3613	8339	0,1136	123
a11m3	431	36.032,0	0,3985	8770	0,1136	123
a11m4	483	36.032,0	0,4471	9253	0,1136	123
a11m5	514	36.032,0	0,4757	9767	0,1136	123
a11m6	515	36.032,0	0,4764	10282	0,1136	123
a11m7	515	36.032,0	0,4764	10797	0,1136	123
a11m8	515	35.777,1	0,4798	11312	0,1198	129
a11m9	515	34.785,1	0,4934	11827	0,1198	125
a11m10	515	34.305,1	0,5004	12342	0,1198	123
a11m11	515	33.808,0	0,5077	12857	0,1198	121
a11m12	515	32.590,9	0,5267	13372	0,1198	117

**Tabla 158: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a12m1	554	32.590,9	0,5671	13926	0,1198	117
a12m2	554	31.121,1	0,5939	14481	0,1198	112
a12m3	554	30.881,1	0,5985	15035	0,1198	111
a12m4	554	30.641,1	0,6032	15590	0,1198	110
a12m5	554	30.161,1	0,6128	16144	0,1198	108
a12m6	554	29.921,1	0,6177	16698	0,1198	107
a12m7	554	29.201,1	0,6329	17253	0,1198	105
a12m8	554	27.726,9	0,6666	17807	0,1198	100
a12m9	554	26.766,9	0,6905	18362	0,1198	96
a12m10	554	26.526,9	0,6967	18916	0,1198	95
a12m11	554	26.286,9	0,7031	19471	0,1198	94
a12m12	554	26.046,9	0,7096	20025	0,1198	94

**Tabla 159: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB18 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a13m1	553	25.552,0	0,7217	20579	0,1198	92
a13m2	553	25.057,1	0,7359	21132	0,1198	90
a13m3	553	24.817,1	0,7430	21685	0,1198	89
a13m4	553	24.097,1	0,7652	22238	0,1198	87
a13m5	553	23.857,1	0,7729	22791	0,1198	86
a13m6	553	23.617,1	0,7808	23345	0,1198	85
a13m7	553	23.377,1	0,7888	23898	0,1198	84
a13m8	553	23.137,1	0,7970	24451	0,1198	83
a13m9	553	22.400,0	0,8232	25004	0,1198	80
a13m10	545	21.902,9	0,8300	25550	0,1198	79
a13m11	541	21.662,9	0,8329	26091	0,1198	78
a13m12	537	21.182,9	0,8448	26628	0,1198	76

*11.7.19 Riesgo estimado para el macrobloque MB19 del caso de estudio*

**Tabla 160: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 9 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a9m1	12	2.689,1	0,1473	12	0,0368	3
a9m2	24	5.408,0	0,1464	36	0,0368	6
a9m3	36	8.062,9	0,1473	71	0,0368	9
a9m4	43	10.737,1	0,1343	115	0,0368	12
a9m5	118	13.424,0	0,2925	232	0,0368	15

a9m6	141	16.110,9	0,2925	374	0,0168	8
a9m7	165	18.785,1	0,2927	539	0,0168	9
a9m8	188	21.454,9	0,2929	727	0,0168	11
a9m9	210	23.872,0	0,2931	937	0,0168	12
a9m10	226	26.318,9	0,2866	1163	0,0168	13
a9m11	226	28.736,0	0,2625	1390	0,0168	14
a9m12	226	31.200,0	0,2418	1616	0,0168	16

**Tabla 161: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a10m1	205	31.200,0	0,2188	1821	0,0168	16
a10m2	205	31.200,0	0,2188	2026	0,0168	16
a10m3	205	31.200,0	0,2188	2230	0,0168	16
a10m4	205	31.200,0	0,2188	2435	0,0168	16
a10m5	205	31.200,0	0,2188	2640	0,0168	16
a10m6	205	31.200,0	0,2188	2845	0,0168	16
a10m7	205	31.200,0	0,2188	3049	0,0168	16
a10m8	205	31.200,0	0,2188	3254	0,0168	16
a10m9	205	31.200,0	0,2188	3459	0,0168	16
a10m10	205	31.200,0	0,2188	3664	0,0168	16
a10m11	205	31.200,0	0,2188	3868	0,0168	16
a10m12	205	31.200,0	0,2188	4073	0,0168	16

**Tabla 162: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a11m1	258	31.200,0	0,2755	4331	0,0168	16
a11m2	258	31.200,0	0,2755	4589	0,0168	16
a11m3	258	31.200,0	0,2755	4847	0,0168	16
a11m4	258	31.200,0	0,2755	5105	0,1136	106
a11m5	258	31.200,0	0,2755	5362	0,1136	106
a11m6	258	31.200,0	0,2755	5620	0,1136	106
a11m7	258	31.200,0	0,2755	5878	0,1136	106
a11m8	258	31.200,0	0,2755	6136	0,1136	106
a11m9	258	31.200,0	0,2755	6394	0,1136	106
a11m10	258	31.200,0	0,2755	6652	0,1136	106
a11m11	258	31.200,0	0,2755	6909	0,1136	106
a11m12	258	31.200,0	0,2755	7167	0,1136	106

**Tabla 163: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".**



Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a12m1	502	31.200,0	0,5366	7670	0,1136	106
a12m2	502	31.200,0	0,5366	8172	0,1136	106
a12m3	502	31.200,0	0,5366	8674	0,1136	106
a12m4	502	31.200,0	0,5366	9176	0,1136	106
a12m5	502	31.200,0	0,5366	9679	0,1136	106
a12m6	502	31.200,0	0,5366	10181	0,1136	106
a12m7	502	31.200,0	0,5366	10683	0,1136	106
a12m8	502	31.200,0	0,5366	11185	0,1136	106
a12m9	502	31.200,0	0,5366	11688	0,1136	106
a12m10	502	31.200,0	0,5366	12190	0,1136	106
a12m11	502	31.200,0	0,5366	12692	0,1136	106
a12m12	502	30.960,0	0,5407	13194	0,1198	111

**Tabla 164: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a13m1	583	30.960,0	0,6275	13777	0,1198	111
a13m2	583	30.705,1	0,6327	14360	0,1198	110
a13m3	583	30.705,1	0,6327	14943	0,1198	110
a13m4	583	30.465,1	0,6377	15525	0,1198	109
a13m5	583	30.465,1	0,6377	16108	0,1198	109
a13m6	583	30.225,1	0,6427	16691	0,1198	109
a13m7	583	29.488,0	0,6588	17274	0,1198	106
a13m8	583	29.230,9	0,6646	17857	0,1198	105
a13m9	583	28.750,9	0,6757	18439	0,1198	103
a13m10	582	28.510,9	0,6800	19021	0,1198	102
a13m11	566	28.030,9	0,6725	19587	0,1198	101
a13m12	552	26.801,1	0,6868	20139	0,1198	96

**Tabla 165: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB19 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a14m1	421	26.561,1	0,5284	20560	0,1198	95
a14m2	421	26.081,1	0,5382	20981	0,1198	94
a14m3	421	26.081,1	0,5382	21402	0,1198	94
a14m4	421	25.584,0	0,5486	21823	0,1198	92
a14m5	421	25.584,0	0,5486	22244	0,1198	92
a14m6	421	25.104,0	0,5591	22665	0,1198	90
a14m7	421	24.097,1	0,5825	23086	0,1198	87
a14m8	421	23.840,0	0,5888	23507	0,1198	86

a14m9	421	23.120,0	0,6071	23929	0,1198	83
a14m10	421	23.120,0	0,6071	24350	0,1198	83
a14m11	421	22.622,9	0,6204	24771	0,1198	81
a14m12	421	22.142,9	0,6339	25192	0,1198	80

11.7.20 Riesgo estimado para el macrobloque MB20 del caso de estudio

Tabla 166: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 10 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a10m1	14	3.120,0	0,1500	14	0,0368	3
a10m2	28	6.286,9	0,1489	42	0,0368	7
a10m3	42	9.441,1	0,1487	84	0,0368	10
a10m4	50	12.608,0	0,1321	134	0,0168	6
a10m5	139	15.774,9	0,2942	273	0,0168	8
a10m6	167	18.912,0	0,2945	441	0,0168	10
a10m7	195	22.096,0	0,2941	635	0,0168	11
a10m8	198	24.496,0	0,2688	833	0,0168	12
a10m9	198	24.496,0	0,2688	1031	0,0168	12
a10m10	198	24.496,0	0,2688	1228	0,0168	12
a10m11	198	24.496,0	0,2688	1426	0,0168	12
a10m12	198	24.496,0	0,2688	1623	0,0168	12

Tabla 167: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 11 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
a11m1	175	24.496,0	0,2384	1798	0,0168	12
a11m2	175	24.496,0	0,2384	1974	0,0168	12
a11m3	175	24.496,0	0,2384	2149	0,0168	12
a11m4	175	24.496,0	0,2384	2324	0,0168	12
a11m5	175	24.496,0	0,2384	2499	0,0168	12
a11m6	175	24.496,0	0,2384	2674	0,0168	12
a11m7	175	24.496,0	0,2384	2850	0,0168	12
a11m8	175	24.496,0	0,2384	3025	0,0168	12
a11m9	175	24.496,0	0,2384	3200	0,0168	12
a11m10	175	24.496,0	0,2384	3375	0,1136	83
a11m11	175	24.496,0	0,2384	3550	0,1136	83
a11m12	175	24.496,0	0,2384	3726	0,1136	83

Tabla 168: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 12 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m <sup>2</sup> ]	VE [t/m <sup>2</sup> /día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m <sup>2</sup> /día]	dProducción [kt]
-----------------	-----------------	-------------------------------	----------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------

a12m1	270	24.496,0	0,3670	3995	0,1136	83
a12m2	270	24.496,0	0,3670	4265	0,1136	83
a12m3	270	24.496,0	0,3670	4535	0,1136	83
a12m4	270	24.496,0	0,3670	4804	0,1136	83
a12m5	270	24.496,0	0,3670	5074	0,1136	83
a12m6	270	24.496,0	0,3670	5344	0,1136	83
a12m7	270	24.496,0	0,3670	5613	0,1136	83
a12m8	270	24.496,0	0,3670	5883	0,1136	83
a12m9	270	24.496,0	0,3670	6153	0,1136	83
a12m10	273	24.496,0	0,3712	6425	0,1136	83
a12m11	273	24.496,0	0,3712	6698	0,1136	83
a12m12	273	24.496,0	0,3712	6971	0,1136	83

**Tabla 169: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 13 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a13m1	271	24.496,0	0,3691	7242	0,1136	83
a13m2	271	24.496,0	0,3691	7513	0,1136	83
a13m3	271	24.496,0	0,3691	7785	0,1136	83
a13m4	271	24.496,0	0,3691	8056	0,1136	83
a13m5	271	24.496,0	0,3691	8327	0,1136	83
a13m6	271	24.496,0	0,3691	8598	0,1136	83
a13m7	271	24.496,0	0,3691	8870	0,1136	83
a13m8	271	24.496,0	0,3691	9141	0,1136	83
a13m9	271	24.496,0	0,3691	9412	0,1136	83
a13m10	271	24.496,0	0,3691	9683	0,1136	83
a13m11	271	24.496,0	0,3691	9955	0,1136	83
a13m12	271	24.496,0	0,3691	10226	0,1136	83

**Tabla 170: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 14 el plan de producción de la mina "M1".**

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a14m1	257	24.496,0	0,3504	10483	0,1136	83
a14m2	257	24.496,0	0,3504	10741	0,1136	83
a14m3	257	24.496,0	0,3504	10998	0,1136	83
a14m4	257	24.496,0	0,3504	11256	0,1136	83
a14m5	257	24.496,0	0,3504	11513	0,1136	83
a14m6	257	24.496,0	0,3504	11771	0,1136	83
a14m7	257	24.496,0	0,3504	12028	0,1136	83
a14m8	257	24.496,0	0,3504	12286	0,1136	83
a14m9	257	24.496,0	0,3504	12543	0,1136	83
a14m10	257	24.496,0	0,3504	12801	0,1136	83
a14m11	257	24.496,0	0,3504	13058	0,1136	83

a14m12	257	24.496,0	0,3504	13316	0,1136	83
--------	-----	----------	--------	-------	--------	----

Tabla 171: riesgo estimado a la operación del macrobloque MB20 de forma independiente para el año 15 el plan de producción de la mina "M1".

Periodo [Meses]	Producción [kt]	Área activa [m2]	VE [t/m2/día]	Producción Acumulada [kt]	dVE [t/m2/día]	dProducción [kt]
a15m1	259	24.496,0	0,3521	13575	0,1136	83
a15m2	259	24.496,0	0,3521	13833	0,1136	83
a15m3	259	24.496,0	0,3521	14092	0,1136	83
a15m4	259	24.496,0	0,3521	14351	0,1136	83
a15m5	259	24.496,0	0,3521	14610	0,1136	83
a15m6	259	24.496,0	0,3521	14869	0,1136	83
a15m7	259	24.496,0	0,3521	15127	0,1136	83
a15m8	259	24.496,0	0,3521	15386	0,1136	83
a15m9	259	24.496,0	0,3521	15645	0,1136	83
a15m10	259	24.496,0	0,3522	15904	0,1136	83
a15m11	259	24.496,0	0,3521	16162	0,1136	83
a15m12	259	24.496,0	0,3522	16421	0,1136	83

### 11.8 Matriz de covarianza obtenida para el caso de estudio

Tabla 172: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB1 y MB2 que se encuentran en serie.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB1	6.9	2.1		48.0
MB2	7.0	2.2		55.0

Tabla 173: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB3 y MB4 que se encuentran en serie.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB3	4.6	1.4		37.8
MB4	6.8	2.1		68.2

Tabla 174: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB5 y MB6 que se encuentran en serie.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB5	3.9	1.2		28.2
MB6	6.7	2.1		71.2

Tabla 175: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB7 y MB8 que se encuentran en serie.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB7	3.5	1.1		29.7
MB8	6.7	2.1		83.2

Tabla 176: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 1 para los MB1, MB2, MB3, MB4, MB5, MB6, MB7 y MB8 que se encuentran en series en paralelo.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB1	6.9	0.7		14.9
MB2	7.0	0.7		17.1
MB3	4.6	0.4		11.7
MB4	6.8	0.7		21.2
MB5	3.9	0.4		8.8
MB6	6.7	0.7		22.2
MB7	3.5	0.3		9.2
MB8	6.7	0.7		25.9

Tabla 177: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 2 para los MB9, MB10, MB11, MB12, MB13 y MB14 que se encuentran en paralelo.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB9	7.3	0.2		8.5
MB10	6.7	0.2		9.2
MB11	6.3	0.2		8.6
MB12	6.3	0.2		8.7
MB13	7.1	0.2		9.6
MB14	7.3	0.2		7.7

Tabla 178: desviación estándar del tonelaje del nivel de transporte asociado al módulo 2 para los MB15, MB16, MB17, MB18, MB19 y MB20 que se encuentran en paralelo.

Macrobloque	Tonelaje [Mt]	Desviación [Mt]	Tonelaje	Valorización [MUS\$]
MB15	6.7	0.2		5.9
MB16	6.7	0.2		5.0
MB17	6.3	0.2		4.8
MB18	6.7	0.2		6.0
MB19	6.9	0.2		6.2
MB20	3.3	0.1		2.4

## 11.9 Resultados de los sets óptimos de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio

### 11.9.1 Primer set óptimo de macrobloques

Tabla 179: variable de decisión “ $t_{i,a}$ ” para los macrobloques MB1 al MB20 del set óptimo 1 de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 180: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques del set óptimo 1 de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 181: plan de producción del primer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	7,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	6,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 182: desviación del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	1,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	1,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 183: inversión del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	-59,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	-62,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	-49,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Tabla 184: valorización del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	83	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	163	0	0	0	0	0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	177	0	0	13	0	0	163	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	152	0	0	26	0	0	268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	52	0	0	266	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	91	0	0	209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 185: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	27	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	38	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	38	0	0	3	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	39	0	0	4	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	11	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	29	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 186: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-59,9
1	37,52
2	-7,9
3	112
4	160,1
5	239,9
6	280,5
7	185,2
8	161,8
9	43,28
10	28,91
11	15,32
12	3,743
13	0
14	0
15	0
VAN	1201

**Tabla 187: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
0	0	0
1	3,855	0
2	5,646	0
3	33,6	1,72
4	47,44	1,72
5	85,63	3,449
6	105,7	3,449
7	72,73	0,99
8	69,75	0,99
9	29,44	0
10	27,37	0
11	20,35	0
12	3,498	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
TOTAL	505	12,32

### 11.9.2 Segundo set óptimo de macrobloques

**Tabla 188: variable de decisión “ $t_{i,a}$ ” para los macrobloques del segundo set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 189: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques del segundo set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 190: plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0

3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
9	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
10	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0
11	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabla 191: desviación del plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0

7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
9	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
10	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
12	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 192: inversión del plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	-63	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-51	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 193: valorización del plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	69	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	123	0	0	0	0	135	0	0	0	0	48	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	163	0	0	0	0	282	0	0	0	0	84	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	268	0	0	0	0	331	0	0	0	0	104	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	266	0	0	0	0	276	0	0	0	0	180	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	209	60	0	0	0	0	0	0	0	0	207	0	0
7	0	0	0	51	0	0	0	0	114	0	0	0	0	0	0	0	0	205	0	0
8	0	0	0	111	0	0	0	0	264	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
9	0	0	0	112	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0
10	0	0	0	199	0	0	0	0	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0
11	0	0	0	218	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186	0
12	0	0	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	215	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 194: valorización de la desviación plan de producción del segundo set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	11	0	0	0	0	5	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	66	0	0	0	0	7	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	71	0	0	0	0	36	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	55	0	0	0	0	46	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	41	6	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0
7	0	0	0	5	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0

8	0	0	0	8	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
9	0	0	0	44	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
10	0	0	0	51	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0
11	0	0	0	51	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0
12	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 195: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-123
1	59,32
2	261,8
3	420,2
4	515,9
5	430,3
6	236,2
7	165,4
8	229,3
9	241,2
10	264,4
11	221,1
12	172,3
13	57,45
14	0
15	0
VAN	3152

**Tabla 196: valorización de la desviación plan de producción del primer set óptimo de macrobloques (MB1 al MB20) de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Riesgo Componente 1 [MUS\$]	Riesgo Componente 2 [MUS\$]
0	0	0
1	13,35	0
2	24,32	0
3	117,6	0
4	169,6	0
5	162,8	0
6	85,5	0
7	45,45	0
8	64,15	0
9	111,1	0
10	144,4	0
11	110	0
12	92,06	0
13	32,65	0
14	0	0
15	0	0
TOTAL	1,173	0

### 11.9.3 Tercer set óptimo de macrobloques

**Tabla 197: variable de decisión “ $t_{i,a}$ ” para los macrobloques MB1 al MB20 del tercer set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 198: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques MB1 al MB20 del tercer set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 199: plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**



Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	1,6
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	1,5	1,6	0,0	1,5	3,1	2,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	3,1	3,2	1,6	2,7	6,0	3,2
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	4,1	4,5	3,5	3,3	6,9	3,3
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,2	3,5	5,8	5,1	3,1
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,7	5,2	6,7	0,0	3,1
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,0	6,3	6,6	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabla 200: desviación del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0

2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	0,4
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	1,1	1,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,4	1,3	0,2	1,2	1,3	1,0	1,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,4	1,3	1,5	1,1	1,0	1,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	1,3	1,2	0,0	1,0	1,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,9	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabla 201: inversión del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	51	0
1	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	55	0	59	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0

4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 202: valorización del plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0	0	50	0
2	0	0	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0	76	41
3	0	0	0	0	0	0	0	123	0	0	0	0	282	0	45	41	0	48	96	54
4	0	0	0	0	0	0	0	163	0	0	0	0	331	0	94	82	41	84	186	83
5	0	0	0	0	0	0	0	268	0	0	0	0	276	0	125	117	90	104	215	83
6	0	0	0	0	0	0	0	266	60	0	0	0	0	0	204	160	90	180	156	79
7	0	0	0	0	0	0	0	209	114	0	0	0	0	0	201	173	135	207	0	79
8	0	0	0	0	0	0	0	0	264	0	0	0	0	0	107	131	164	205	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	0	146	0	0	0
10	0	0	0	0	0	52	0	0	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	108	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	228	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 203: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	4	0
2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	6	3
3	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	66	0	4	4	0	5	31	9
4	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	71	0	7	5	4	7	40	26
5	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	55	0	41	33	5	36	39	26
6	0	0	0	0	0	0	0	62	6	0	0	0	0	0	45	36	34	46	33	26
7	0	0	0	0	0	0	0	41	9	0	0	0	0	0	44	36	34	39	0	26
8	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	15	23	31	31	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
10	0	0	0	0	0	6	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	8	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 204: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-112
1	8
2	94
3	494
4	782
5	808
6	753
7	653
8	471
9	156
10	152
11	94
12	61
13	84

**Tabla 205: valorización de la desviación plan de producción del tercer set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
0	0	0
1	11	0
2	26	0
3	128	4
4	203	6
5	298	6
6	287	6
7	228	4
8	153	3
9	86	0
10	68	0
11	27	0
12	47	0

14	78
15	54
VAN	4630

13	54	0
14	54	0
15	32	0
TOTAL	1703	29

#### 11.9.4 Cuarto set óptimo de macrobloques

Tabla 206: variable de decisión " $t_{i,a}$ " para los macrobloques del cuarto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 207: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques del cuarto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0

10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 208: plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	2,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	1,5	6,0	2,7	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	2,8	6,7	6,0	0,0	2,9	0,0	1,5	0,0	0,0	1,5	1,6	2,1
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,5	5,4	6,3	0,0	6,0	0,0	3,1	1,6	1,6	2,7	2,5	3,2
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	7,3	0,0	5,0	0,0	7,1	0,0	4,1	3,2	3,5	3,3	3,1	3,3
7	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	6,7	4,5	3,5	5,8	6,0	3,1
8	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,2	5,2	6,7	6,9	3,1
9	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	6,7	6,3	6,6	5,1	0,0
10	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	5,0	5,6	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 209: desviación del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2	1,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2	1,5	1,5	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,3	0,9	1,5	0,0	1,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	1,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	0,9	0,0	1,5	0,0	1,4	0,2	0,2	1,2	1,0	1,0
7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	1,3	1,3	1,5	1,3	1,0
8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	1,3	1,2	1,3	1,0
9	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,4	1,2	1,0	1,1	0,0
10	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabla 210: inversión del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	-63	0	-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	-40
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-58	0	0	59	51	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-55	-53	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 211: valorización del plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	59	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	123	0	138	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	163	60	287	129	0	69	0	0	0	0	0	0	0	41
4	0	0	0	0	0	0	0	268	114	319	283	0	135	0	45	0	0	48	50	54	
5	0	0	0	0	0	0	0	266	264	256	297	0	282	0	94	41	41	84	76	83	
6	0	0	0	0	0	0	0	209	294	0	237	0	331	0	125	82	90	104	96	83	
7	0	0	0	51	0	0	0	0	276	0	0	0	276	0	204	117	90	180	186	79	
8	0	0	0	111	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	201	160	135	207	215	79	
9	0	0	0	112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	173	164	205	156	0	
10	0	0	0	199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	131	146	0	0	0	
11	0	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	232	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	268	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256	0	0	0	0	0	0	



15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	---	---	---	---	---	---

**Tabla 212: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	6	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	9	0	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	45	6	71	10	0	7	0	0	0	0	0	0	3
4	0	0	0	0	0	0	0	62	9	72	70	0	11	0	4	0	0	5	4	9
5	0	0	0	0	0	0	0	62	53	42	70	0	66	0	7	4	4	7	6	26
6	0	0	0	0	0	0	0	41	61	0	42	0	71	0	41	5	5	36	31	26
7	0	0	0	5	0	0	0	0	62	0	0	0	55	0	45	33	34	46	40	26
8	0	0	0	8	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	44	36	34	39	39	26
9	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	36	31	31	33	0
10	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	23	25	0	0	0
11	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0

**Tabla 213: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-122
1	59
2	114
3	427
4	858
5	1213
6	976
7	852
8	659
9	397
10	245
11	138
12	179

**Tabla 214: valorización de la desviación plan de producción del cuarto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
0	0	0
1	13	0
2	27	1
3	142	6
4	246	9
5	345	12
6	360	9
7	345	7
8	245	6
9	190	4
10	104	0
11	60	0
12	98	0

13	98
14	87
15	40
VAN	6222

13	58	0
14	50	0
15	18	0
TOTAL	2301	55

### 11.9.5 Quinto set óptimo de macrobloques

Tabla 215: variable de decisión “ $t_{i,a}$ ” para los macrobloques del quinto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 216: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques del quinto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
5	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
6	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
7	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
8	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
9	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
10	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1

11	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabla 217: plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	1,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	2,0	0,0	1,5	0,0	6,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
4	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	6,7	3,5	1,5	2,8	1,4	6,3	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
5	0,0	1,6	0,0	3,4	0,6	6,7	3,4	3,1	6,5	2,9	5,0	0,0	7,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	3,1	0,0
6	0,0	2,5	0,0	3,5	1,1	5,0	2,7	4,1	7,3	6,0	0,0	0,0	5,9	0,0	1,5	3,2	1,6	0,0	6,0	0,0
7	0,0	3,3	1,5	6,2	2,2	0,0	1,2	6,7	6,9	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	4,5	3,5	1,5	6,9	0,0
8	0,0	6,4	2,8	6,8	3,9	0,0	0,1	6,7	2,8	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	6,2	3,5	2,7	5,1	0,0
9	1,6	7,0	4,1	6,8	3,7	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	5,2	3,3	0,0	1,6
10	2,2	6,0	4,6	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	6,6	5,0	6,3	5,8	0,0	2,1
11	6,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	3,5	0,0	5,6	6,7	0,0	3,2
12	6,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	3,3
13	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 218: desviación del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,5	0,0	0,2	0,0	1,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,6	1,1	0,2	0,2	0,2	1,5	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
5	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	1,6	1,2	0,2	1,3	0,2	0,9	0,0	1,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0
6	0,0	0,2	0,0	1,4	0,2	0,9	1,1	1,1	1,5	1,5	0,0	0,0	1,2	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	1,3	0,0
7	0,0	1,1	0,1	1,6	0,4	0,0	0,6	1,6	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,3	0,2	0,1	1,3	0,0
8	0,0	1,5	0,9	1,6	1,2	0,0	0,0	1,6	0,5	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,4	1,3	0,2	1,1	0,0
9	0,1	1,5	1,3	1,6	1,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,4	1,3	1,2	0,0	0,1
10	0,3	1,5	0,8	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	0,9	1,2	1,5	0,0	0,4
11	1,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	1,2	0,0	1,0
12	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
13	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 219: inversión del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	-64	-46	0	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-51	0
3	0	0	0	-63	0	0	0	-63	0	-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	-60	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-55	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	-53	0	0	0
6	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-59	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-40
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 220: valorización del plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	52	14	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	108	27	0	0	0	129	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	153	55	0	60	0	283	0	135	0	0	0	0	0	0	50	0
4	0	0	0	51	0	228	95	59	114	69	297	0	282	0	0	0	0	0	0	76	0
5	0	41	0	111	13	229	91	123	264	138	237	0	331	0	0	41	0	0	96	0	0
6	0	64	0	112	26	171	74	163	294	287	0	0	276	0	45	82	41	0	186	0	0
7	0	83	41	199	52	0	33	268	276	319	0	0	0	0	94	117	90	48	215	0	0
8	0	163	73	218	91	0	2	266	112	256	0	0	0	0	125	160	90	84	156	0	0
9	37	177	106	219	87	0	0	209	0	0	0	0	0	0	204	173	135	104	0	41	0
10	50	152	121	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	53	201	131	164	180	0	54	0
11	134	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	104	107	0	146	207	0	83	0
12	154	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	232	0	0	0	205	0	83	0

13	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	268	0	0	0	0	0	79
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256	0	0	0	0	0	79
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0

**Tabla 221: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	6	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	10	0	7	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	47	13	0	6	0	70	0	11	0	0	0	0	0	4	0
4	0	0	0	5	0	54	31	6	9	7	70	0	66	0	0	0	0	0	6	0
5	0	4	0	8	3	54	31	9	53	10	42	0	71	0	0	4	0	0	31	0
6	0	6	0	44	4	32	28	45	61	71	0	0	55	0	4	5	4	0	40	0
7	0	27	3	51	11	0	17	62	62	72	0	0	0	0	7	33	5	5	39	0
8	0	38	23	51	29	0	1	62	19	42	0	0	0	0	41	36	34	7	33	0
9	3	38	33	53	29	0	0	41	0	0	0	0	0	0	45	36	34	36	0	3
10	6	39	20	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	6	44	23	31	46	0	9
11	28	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	0	25	39	0	26
12	27	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	31	0	26
13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	26
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	26
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0

**Tabla 222: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-168
1	57
2	174
3	397
4	770
5	1055
6	1039
7	1069
8	879
9	684
10	541

**Tabla 223: valorización de la desviación plan de producción del quinto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
0	0	0
1	16	1
2	30	2
3	150	4
4	255	17
5	321	28
6	399	27
7	395	32
8	417	32
9	350	36
10	250	16

11	350
12	272
13	147
14	114
15	40
VAN	7421

11	162	3
12	132	1
13	96	0
14	76	0
15	18	0
TOTAL	3066	199

### 11.9.6 Sexto set óptimo de macrobloques

Tabla 224: variable de decisión " $t_{i,a}$ " para los macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 225: variable de decisión  $X_{i,a}$  para los macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6	MB7	MB8	MB9	MB10	MB11	MB12	MB13	MB14	MB15	MB16	MB17	MB18	MB19	MB20
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	
8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
9	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
10	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
11	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
12	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 226: plan de producción del primer set óptimo de macrobloques del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Period o [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	2,0	0,0	0,0	1,4	6,0	5,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	3,5	0,0	1,5	2,9	6,3	6,3	2,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	3,4	1,5	2,8	6,0	5,0	5,2	6,0	2,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	1,5	2,7	3,1	6,5	6,7	0,0	0,0	7,1	6,3	3,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	1,6	2,7	3,2	1,2	4,1	7,3	5,4	0,0	0,0	5,9	7,3	4,1	3,2	1,6	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	1,5	3,4	1,5	4,5	0,1	6,7	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	6,7	4,5	3,5	1,5	0,0	0,0
9	0,0	1,6	2,8	3,5	0,4	6,7	0,0	6,7	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	6,6	6,2	3,5	2,7	1,6	0,0
10	1,6	2,5	4,1	6,2	0,0	6,7	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	6,7	5,2	3,3	2,5	0,0
11	2,2	3,3	4,6	6,8	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	6,3	5,8	3,1	1,6
12	6,0	6,4	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	6,7	6,0	2,1
13	6,9	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,9	3,2
14	2,4	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	3,3



15	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	3, 1
----	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

**Tabla 227: desviación del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [Mt]	MB2 [Mt]	MB3 [Mt]	MB4 [Mt]	MB5 [Mt]	MB6 [Mt]	MB7 [Mt]	MB8 [Mt]	MB9 [Mt]	MB10 [Mt]	MB11 [Mt]	MB12 [Mt]	MB13 [Mt]	MB14 [Mt]	MB15 [Mt]	MB16 [Mt]	MB17 [Mt]	MB18 [Mt]	MB19 [Mt]	MB20 [Mt]
1	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 1	0, 0	0, 0	0, 0	0, 1	0, 2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 1	0, 0	0, 2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 2	0, 2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
3	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 2	0, 0	0, 5	0, 0	0, 0	0, 2	1, 5	1, 5	0, 2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
4	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 4	0, 0	1, 1	0, 0	0, 2	0, 2	1, 5	1, 5	0, 2	0, 2	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 2	0, 0	1, 2	0, 2	0, 2	1, 5	0, 9	1, 4	1, 4	0, 2	0, 1	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
6	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 3	0, 2	1, 1	0, 2	1, 3	1, 5	0, 0	0, 0	1, 5	1, 2	0, 2	0, 1	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0
7	0, 0	0, 0	0, 0	0, 2	1, 2	0, 2	0, 6	1, 1	1, 5	0, 9	0, 0	0, 0	1, 2	1, 6	1, 4	0, 2	0, 1	0, 0	0, 0	0, 0
8	0, 0	0, 0	0, 1	0, 2	0, 9	1, 4	0, 0	1, 6	1, 5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 4	1, 5	1, 3	0, 2	0, 1	0, 0	0, 0
9	0, 0	0, 2	0, 9	1, 4	0, 1	1, 6	0, 0	1, 6	0, 5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 5	1, 4	1, 4	1, 3	0, 2	0, 1	0, 0
10	0, 1	0, 2	1, 3	1, 6	0, 0	1, 6	0, 0	1, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 5	1, 4	1, 3	1, 2	0, 2	0, 0
11	0, 3	1, 1	0, 8	1, 6	0, 0	0, 9	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 9	1, 2	1, 5	1, 0	0, 1
12	1, 3	1, 5	0, 0	1, 6	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 0	1, 2	1, 3	0, 4
13	1, 2	1, 5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 0	1, 3	1, 0
14	0, 6	1, 5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 1	1, 0
15	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	1, 0

**Tabla 228: inversión del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	-46	0	0	0	59	61	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-60	0	0	-	61	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	-61	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	-63	0	0	0	0	0	0	-	58	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	0	0	0
6	0	0	0	-63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	-	0	0
7	0	0	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	-	0
8	0	-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	-
9	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 229: valorización del plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	61	65	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	13	0	27	0	0	0	129	131	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	26	0	55	0	0	69	283	281	69	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	52	0	95	0	60	138	297	300	135	53	0	0	0	0	0	0

5	0	0	0	0	91	0	91	59	114	287	237	247	282	104	45	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	87	52	74	123	264	319	0	0	331	232	94	41	0	0	0	0
7	0	0	0	51	62	108	33	163	294	256	0	0	276	268	125	82	41	0	0	0
8	0	0	41	111	36	153	2	268	276	0	0	0	0	256	204	117	90	48	0	0
9	0	41	73	112	9	228	0	266	112	0	0	0	0	128	201	160	90	84	50	0
10	37	64	106	199	0	229	0	209	0	0	0	0	0	0	107	173	135	104	76	0
11	50	83	121	218	0	171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131	164	180	96	41
12	134	163	0	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146	207	186	54
13	154	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	215	83
14	54	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	156	83
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79

**Tabla 230: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	MB1 [MUS\$]	MB2 [MUS\$]	MB3 [MUS\$]	MB4 [MUS\$]	MB5 [MUS\$]	MB6 [MUS\$]	MB7 [MUS\$]	MB8 [MUS\$]	MB9 [MUS\$]	MB10 [MUS\$]	MB11 [MUS\$]	MB12 [MUS\$]	MB13 [MUS\$]	MB14 [MUS\$]	MB15 [MUS\$]	MB16 [MUS\$]	MB17 [MUS\$]	MB18 [MUS\$]	MB19 [MUS\$]	MB20 [MUS\$]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3	0	5	0	0	0	10	11	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	4	0	13	0	0	7	70	74	7	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	11	0	31	0	6	10	70	74	11	6	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	29	0	31	6	9	71	42	68	66	8	4	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	29	6	28	9	53	72	0	0	71	45	7	4	0	0	0	0
7	0	0	0	5	27	8	17	45	61	42	0	0	55	58	41	5	4	0	0	0
8	0	0	3	8	20	47	1	62	62	0	0	0	0	50	45	33	5	5	0	0
9	0	4	23	44	3	54	0	62	19	0	0	0	0	18	44	36	34	7	4	0
10	3	6	33	51	0	54	0	41	0	0	0	0	0	0	15	36	34	36	6	0
11	6	27	20	51	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	31	46	31	3
12	28	38	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	39	40	9
13	27	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	39	26
14	13	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	26
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26

**Tabla 231: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de macrobloques de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	Valor Actualizado [MUS\$]
0	-166

**Tabla 232: valorización de la desviación plan de producción del sexto set óptimo de la frontera eficiente en la minería para el caso de estudio.**

Periodo [Años]	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL
0	0	0

1	80
2	137
3	498
4	710
5	941
6	902
7	918
8	753
9	727
10	627
11	538
12	440
13	307
14	152
15	25
VAN	7587

1	17	1
2	29	1
3	175	7
4	218	15
5	337	19
6	324	16
7	367	22
8	341	33
9	353	36
10	315	42
11	270	31
12	232	11
13	161	6
14	110	5
15	26	0
TOTAL	3275	245