



Optimización del Sistema de Explotación para la Extracción de materiales de construcción del yacimiento minero "Zamora Bombuscaro" - código 500681, ubicado en la parroquia Zamora, cantón Zamora, provincia Zamora Chinchipe

Optimization of the Exploitation System for the Extraction of construction materials from the "Zamora Bombuscaro" mining deposit - code 500681, located in the Zamora parish, Zamora canton, Zamora Chinchipe province

Optimização do Sistema de Exploração de Extração de Materiais de Construção da Jazida Mineira "Zamora Bombuscaro" - código 500681, situada na freguesia de Zamora, cantão de Zamora, província de Zamora Chinchipe

Jean Darío Pardo-Rodríguez ^I

jdpardo@unl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8056-6933>

Hernan Luis Castillo-García ^{II}

hernan.castillogarcia@unl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5706-0130>

Fabián Ricardo Ojeda-Pardo ^{III}

fabian.ojeda@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Fernando Javier Rengel-Jiménez ^{IV}

Fernando.rengel@unl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9052-7476>

Correspondencia: jdpardo@unl.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de noviembre de 2022 * **Aceptado:** 28 de diciembre de 2022 * **Publicado:** 05 de enero de 2023

- I. Egresado de la carrera de ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- II. Ingeniero de Minas, por la Universidad Nacional de Loja. UNL- Ecuador, Magíster en Ingeniería Ambiental y Seguridad Industrial UNP, Perú, Doctor en Ciencias Ambientales UNP, Perú, Docente Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- III. Máster en Metalurgia, por la Universidad de Moa, Cuba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago Dirección: Don Bosco y José Félix Pintado, Macas, Morona Santiago, Ecuador.
- IV. Ingeniero de Minas, Magíster en Auditoría Ambiental, Docente de la Carrera de Ingeniería en Minas de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad la optimización del sistema de explotación para extracción de materiales de construcción. A través del levantamiento de información relacionada a los parámetros técnicos que se desarrollan en el sistema actual de explotación, como levantamiento de información geológica y topográfica, además determinar la situación actual del área minera, con el cual se puede elaborar un diseño óptimo de explotación que mejore la eficiencia de los procesos y de la maquinaria involucrada, considerando aspectos técnicos y económicos. Además, se determinó la producción y rendimiento, así como el valor monetario de dicha producción, llegando a establecer el costo por metro cúbico de materia prima extraída.

Para llevar a cabo el sistema de explotación optimizado, se describió los procesos y actividades de los ciclos de producción mediante cálculos de rendimiento, capacidad, producción de determinada maquinaria. Además, se realizó la estimación económica de la ejecución del nuevo sistema de explotación, haciendo de este nuevo sistema de explotación una proposición favorable para el desarrollo de las operaciones mineras.

Palabras clave: Geología; Materiales de construcción; Optimización; Topográfica; Producción; Sistema de explotación.

Abstract

The purpose of this research work is to optimize the exploitation system for the extraction of construction materials. Through the collection of information related to the technical parameters that are developed in the current exploitation system, such as the collection of geological and topographic information, as well as determining the current situation of the mining area, with which an optimal exploitation design can be elaborated that improve the efficiency of the processes and the machinery involved, considering technical and economic aspects. In addition, the production and performance were determined, as well as the monetary value of said production, establishing the cost per cubic meter of extracted raw material. To carry out the optimized exploitation system, the processes and activities of the production cycles were described through calculations of performance, capacity, production of certain machinery. In addition, the economic estimate of the execution of the new exploitation system was made,

making this new exploitation system a favorable proposition for the development of mining operations.

Keywords: Geology; Construction materials; optimization; topographic; Production; Exploitation system.

Resumo

O objetivo deste trabalho de pesquisa é otimizar o sistema de exploração para a extração de materiais de construção. Através da recolha de informação relacionada com os parâmetros técnicos que se desenvolvem no atual sistema de exploração, como a recolha de informação geológica e topográfica, bem como a determinação da situação atual da área mineira, com a qual pode ser elaborado um projeto de exploração óptimo que melhoram a eficiência dos processos e dos maquinários envolvidos, considerando aspectos técnicos e econômicos. Além disso, foram determinados a produção e desempenho, bem como o valor monetário da referida produção, estabelecendo o custo por metro cúbico de matéria-prima extraída. Para realizar o sistema de exploração otimizado, os processos e atividades dos ciclos de produção foram descritos por meio de cálculos de desempenho, capacidade, produção de determinado maquinário. Além disso, foi feita a estimativa econômica da execução do novo sistema de lavra, tornando esse novo sistema de lavra uma proposta favorável para o desenvolvimento das operações de mineração.

Palavras-chave: Geologia; Materiais de construção; otimização; topográfico; Produção; Sistema de exploração.

Introducción

El Área minera "Zamora Bombuscaro" Código: 500681, cuenta con una extensión de 22 Ha. y con un ritmo de producción no establecido con exactitud, en términos técnicos el método de explotación actual no es la adecuado debido a la carencia de información técnica, que ha llevado al desarrollo de un "modelo de explotación" desorganizado e ineficiente en procesos y utilización de maquinarias, llevando así a relativos problemas económicos para el titular. El área minera se ha visto en la necesidad de realizar un estudio que implemente un sistema de explotación eficiente y rentable al momento de ejecutar la explotación de los materiales de construcción, y así

eliminar la explotación antitécnica, contaminación ambiental y aprovechar al máximo las reservas determinadas.

En el ámbito social el cantón Zamora, requiere de obras que van de la mano con el crecimiento urbanístico, los materiales de construcción son utilizados en múltiples obras de construcción, que en conjunto son indispensables para el desarrollo de una zona o región, favoreciendo según (INEC, 2010) a 25.510 habitantes que se benefician con la extracción de materiales de construcción, por lo que es necesario que la explotación se realice de una manera ordenando a fin que pueda cumplir con lo requerido por parte de la sociedad.

Por lo tanto, la concesión consideró necesario realizar una investigación depara permitir que la información relacionada con las especificaciones de la minería de determinar el estado de la concesión y, por lo tanto, realizar la optimización depara mejorar la eficiencia de los procesos de las máquinas relacionadas sobre aspectos técnicos y económicos.

Metodología

Para desarrollar el proyecto, se ha considerado utilizar diversos métodos y técnicas como: el método descriptivo, en el cual se caracteriza el área de estudio, geología del sector, el método de explotación actual, detallando tiempos, maquinaria empleada y la naturaleza del depósito, el método deductivo, el mismo que permite descubrir información desconocida a partir de la información conocida, el método analítico en el cual el cual se pretende distinguir los diferentes elementos que abarcan fenómenos y se procede a revisar cada uno de ellos y su relación entre sí, y técnica de observación que se utilizara en el trabajo de campo; mismo que será aplicado conforme al desarrollo del proyecto de investigación, con la finalidad de cumplir los objetivos planteados.

Metodología para el primer objetivo

“Describir los procesos y actividades correspondientes al sistema explotación actual del área minera “Zamora Bombuscaro” – Código 500681”

Inicialmente se realizó una visita en campo para recorrer las instalaciones de la cantera y poder identificar mediante la observación exhaustiva para describir cada una de las actividades realizadas dentro de la concesión, así mismo se describirá los parámetros técnicos del sistema de

explotación actual de la concesión y finalmente la descripción de instalaciones y el estado actual del área minera.

- Se realizó el registro de la maquinaria utilizada en cada proceso, el rendimiento y producción de la misma.
- Se realizó una caracterización de la infraestructura de concesión mediante una ficha.
- De igual manera, se describió la maquinaria con la que cuenta la concesión para cada etapa, tomando en cuenta especificaciones técnicas correspondiente a su potencia, motor, capacidad del cucharón y de su rendimiento.
- Para determinar el tiempo de producción dentro del área minera, se lo realizó mediante fichas en cual se tomó en cuenta las jornadas de trabajo
- Se precedió a la descripción de cada uno de los insumos que se usa en la concesión.
- Para el análisis económico se hizo levantamiento de costos actuales, especialmente en el personal, maquinaria e insumos, realizando la descripción de cada uno, la cantidad con los que cuenta la concesión, sus costos por día y costo final por día.

Metodología para el segundo objetivo

“Levantar información geológica y topográfica del área minera, para la determinación de las reservas actuales de material”

Se desarrolló mediante la metodología de campo, levantando información topográfica y geológica, así como también ensayos de laboratorio para determinar la calidad de los materiales de construcción y posteriormente determinar las reservas actuales del material, por lo tanto, para lograr estos aspectos se procedió a efectuar las siguientes metodologías:

Topografía

Se realizó el levantamiento topográfico de la concesión “Zamora – Bombuscaro” con la ayuda de un GPS Garmin tomando el punto de partida, las coordenadas en las que se trabajó fueron en WGS-84 en la zona 17M, a continuación con la estación Total se procedió a levantar los puntos visibles, seguidamente se realizó los cambios de estación necesarios para cubrir toda el área de estudio, seguidamente culminado el levantamiento se procedió a guardar el trabajo y luego en

oficina se procedió a exportarlo a formato Excel para su la realización del mapa topográfico del Área minera “Zamora - Bombuscaro” a escala 1:4000.

Geología

Se levantó información de carácter geológico en el área de estudio, con el análisis previamente en gabinete mediante la geología regional, se usó la carta geológica “Zamora a escala 1:100.000”, donde se ubica el área de estudio, para la geología de carácter local se procedió a corroborar a través de la descripción de afloramientos con ayuda de herramientas y fichas de campo.

Muestreo

El muestreo se realizó mediante calicatas a lo largo de la zona explotable de la concesión el cual corresponde a una extensión de 12 ha, la ubicación de las calicatas se realizó en los sitios más representativos a lo largo la concesión. Tras considerar las áreas de explotación luego se determina zonas de muestreo, las cuales se localizan a lo largo del margen izquierdo del rio Zamora. Se realizaron 3 calicatas con ayuda de una excavadora Sunward SWE210 a una profundidad de excavación entre 2.00 y 2.80 metros, se usó una ficha de registro de la caracterización de las calicatas realizadas.

Ensayos de laboratorio

Los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio del material de construcción se hicieron de acuerdo con la norma INEN, A.S.T.M y ASSHTO, así como al artículo 39 de la Ordenanza Municipal del cantón Loja, los materiales de construcción que se analizaron poseen los siguientes parámetros y características.

Cálculo de reserva

La estimación de la reserva de material, se la realizo a través de metodologías aplicables a estimación volumétricas para comparar sus resultados y reducir el grado de incertidumbre, el método permitió obtener un análisis geométrico de los dos modelos digitales de terreno (M.D.T), esquematizado con la ayuda del software ArcGis con la base topográfica. El primer modelo (M.D.T) delimita el área de explotación dividida en 4 áreas a lo largo de los dos ríos, y el segundo obteniendo la profundidad del área de estudio.

Se utilizó la siguiente ecuación para calcular el volumen total:

$$Vm = \sum_{i=1}^n Vi$$

Dónde:

Vm = Volumen total

Vi = Volumen de cada polígono

Para la segunda metodología se realizó para el cálculo de reservas simple, calculando el volumen del material de construcción mediante la multiplicación del área de explotación por la cota media de las profundidades de excavación de las calicatas de investigación.

Se utilizó la siguiente ecuación para calcular el volumen total aproximado del terreno:

$$V_T = A * P_m$$

Dónde:

V_T = Volumen total

A = Área del polígono de reservas

P_m = Profundidad media de referencia

Metodología para el tercer objetivo

“Proponer procesos y actividades de explotación factible técnica y económicamente acorde a las condiciones actuales de operación”

Elección del sistema de explotación

Se eligió un método de explotación mediante análisis multicriterio que se realizara sobre la base de los parámetros técnicos y económicos antes descritos, mismos que deben ser los más viables para la optimización de actividades de explotación.

Rendimiento actual y su optimización

Para la optimización del sistema de explotación se tomó en cuenta:

- Las dimensiones geométricas del depósito y las características hidrológicas e hidráulicas del tramo local.
- La maquinaria de extracción de material

- La maquinaria para el cargado
- La maquinaria para el transporte

Análisis económico del proyecto

La parte económica demando la producción, y los ingresos a obtener por venta de material del sistema de explotación del área minera. Se tomó en cuenta las siguientes variables:

- Tiempo de vida útil
- Costo optimizado
- Costo de producción por metro cúbico
- Costo de la optimización

Resultados

Ubicación y acceso

El área minera “Zamora Bombuscaro, Código 500681”, se encuentra localizada en la región amazónica al Sur-Oriente del Ecuador, al Noroeste de la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, provincia Zamora, en el cauce de los ríos Zamora y Bombuscaro.

El acceso hacia el área de estudio se lo puede efectuar por distintos medios, por vía aérea se puede acceder desde la ciudad de Quito o Guayaquil hasta el aeropuerto de la ciudad de Catamayo durante aproximadamente 45 minutos de viaje, y luego por vía terrestre de primer orden que conecta Catamayo – Loja; desde allí por una vía de primer orden.

Fuente: Pardo (2022)

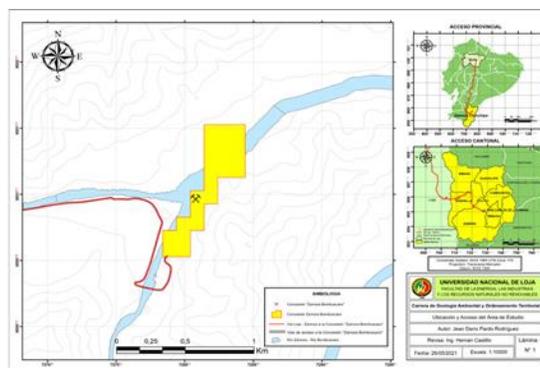


Figura 1: Ubicación y acceso del área de estudio

Información general de la concesión

La explotación del material de construcción se realiza casi siempre por medios mecanizados, esto es utilizando máquinas de diferentes tipos y capacidades, tomando en consideración el art. 138. De la Ley de minería; literal c. Para materiales de construcción; hasta 800 metros cúbicos para terrazas aluviales por día. Las maquinarias a usarse pueden variar, sean estas adquiridas por el proponente del proyecto, firmar contratos de operación con terceras personas naturales, jurídicas o extranjeros, o alquiladas.

En el área de estudio se da la formación de aluvión, llamada también canteras fluviales, en la cual los Ríos Bombuscaro y Zamora, como agente natural de erosión, transportará durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran la arena, la grava y la piedra, la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente que estas graveras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero susceptible de afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural.

Topografía

La topografía del Área Minera "Zamora Bombuscaro, Código 500681" posee un rango altitudinal que fluctúa entre los 890 m.s.n.m. y 920 m.s.n.m., la morfología del terreno hace referencia a depósitos aluviales, de formación temprana. También existen en el área minera paleo-causes y/o cursos antiguos del afluente, que para este caso es el río Bombuscaro.

Geología

Regional

Regionalmente el área de estudio se encuentra compuesta por las siguientes formaciones:

- **Unidad Sabanilla (Triásico):** (Litherland et al., 1994), consta de migmatitas, ortogneises y paragneises; afloran en la vía Zamora-Limón- La Fragancia y en el río Bombuscaro, entre otros lugares. Las migmatitas presentan estructuras microplegadas; en ellas, las micas forman bandas oscuras y las sílicas bandas blancas.

- **Unidad Yacuambi (Jurásico):** Consta de tobas, sedimentos fluvio-lacustres y lavas. Aflora al E de la falla Palanda, en el sector El Limón (vía Zamora-Loja), entre otros lugares. Cerca de la falla Palanda se presentan, areniscas volcánicas finas y tobas localmente solidificadas. La unidad está en contacto tectónico con el Complejo Intrusivo de Zamora tanto al E como al O.
- **Unidad Pucarón (Jurásico):** Es una diferenciación de la U. Isimanchi. Incluyen filitas, esquistos grafitosos y meta-areniscas. Aflora en el sector La Curintza en una franja de filitas negras con clivaje penetrativo, esquistos micáceos ligeramente grafitosos. En este sector el contacto es tectónico con la U. Yacuambi y con el Complejo Intrusivo de Zamora.
- **Complejo Intrusivo de Zamora (Jurásico medio):** (Litherland et al., 1994), es un batolito tipo-I esencialmente no deformado ni metamorfozado, elongado y segmentado en tres partes por las fallas La Canela y Nangaritza con dirección N-S. Predominan granodioritas hornbléndicas, equigranulares de grano grueso a medio, de textura fanerítica. Este intrusivo se encuentra cubierto discordantemente por rocas sedimentarias del cretácico y está en contacto tectónico con rocas metamórficas pertenecientes a la U. Sabanilla. La edad ha sido determinada entre 170 Ma., y 190 Ma. Jurásico Medio-Inferior.
- **Terraza Aluvial (Cuaternario):** principalmente consta de cantos y bloques redondeados heterolecitos, es frecuente encontrar terrazas gradadas en diferentes niveles y flanqueando a los depósitos aluviales de los ríos Zamora, Jambüe y Nangaritza. (INIGEMM, 2015)
- **Depósito Coluvial (Cuaternario):** se forman por fenómenos de remoción en masa en zonas de pendiente fuerte y donde hay cambios de pendiente que drenan a los ríos principales como: Jambüe, Bombuscaro y Nambija entre otros. Consisten en bloques y gravas; son heterogéneos y con fragmentos de roca mal clasificados y trabajados.
- **Depósito Aluvial (Cuaternario):** localizados a orillas de los ríos Zamora, Jambüe, Bombuscaro, Nambija, Nangaritza, entre otros. Están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a ácida y arenas gruesas y finas.

Local

El área minera “Zamora - Bombuscaro, Código 500681”, a partir del levantamiento en campo en el cual se levantó información de carácter geológico en el área de estudio, de acuerdo con la geología regional y correlación a través de la descripción de afloramientos en la concesión, se identificó la presencia del Complejo Intrusivo de Zamora que se constituye básicamente de granodiorita, diorita y andesitas. Sobre esta formación existen depósitos aluviales cuyos materiales poseen características sedimentarias del cuaternario, que descansan sobre las rocas de edad Jurásica que constituyen el basamento del área de estudio, A continuación, se detalla la descripción litológica de cada unidad.

- **Batolito de Zamora:** Las rocas intrusivas de la zona afloran por apertura de vía ubicados en el margen derecho del río Bombuscaro y Zamora, en donde localmente se caracterizado por roca granodiorítica intrusiva altamente meteorizada de coloración gris oscuro, con presencia de óxidos de hierro. Igualmente continúa aflorando rocas granodioríticas intrusivas, que se encuentran desclasadas de una coloración gris oscuro compactadas, ligeramente alteradas y se ha meteorizado a una arena gris moteada de color negro a una arcilla de color amarilla rojiza, intercalación de vetillas de cuarcita.



Figura 2: Rocas granodioríticas con capas cloríticas e intercalaciones de cuarcita

Depósitos Coluviales: Se observan capas de arena intercalada, parcialmente mezclada con abundante presencia de material fino (arcilla, limo, arena), con espesores de diferente potencia

(1.5m a 3m) producto del proceso de descomposición que se encuentra en un nivel superior, más cercano a las laderas del flanco este del rio Zamora.

Fuente: Pardo (2022)



Figura 3: Material producto de depósitos coluviales

Depósitos aluviales: El tipo de material depositado es de diferentes tamaños, constituidos por bloques, cantos rodados, gravas de rocas ígneas intrusivas y arenas gruesas y finas. La forma de los clastos en las terrazas aluviales es en su mayoría redondeada, debido a la gran trayectoria y al constante choque provocado por la acción de la energía cinética del agua.

Fuente: Pardo (2022)



Figura 4: Terraza formada por deposición material arrastrado por la corriente

Descripción de calicatas

Las calicatas nos ayudan a determinar la composición del suelo por inspección visual, que es el único método por el cual podemos ver y examinar el registro en su estado natural.

Figura 5: Número de calicatas y profundidades

Numero de calicatas	Profundidad máxima alcanzada	Profundidad mínima alcanzada	Presencia de agua
3	2.00 m	2.80 m	1.70 m

Fuente: Pardo (2022)

Clima

El área de estudio ubicada en el cantón Zamora es parte de la región natural de la Amazonía, por lo cual tiene un clima tropical húmedo, caracterizado por sus temperaturas cálidas, elevadas precipitaciones y humedad.

Las temperaturas en el cantón varían desde los 8 °C hasta los 22 °C en promedio en las zonas más calientes. Las épocas con mayor pluviosidad en el cantón Zamora, corresponden a los meses de febrero-marzo y junio-septiembre, ambos periodos seguidos por épocas más secas especialmente en los meses octubre-enero. (GAD Zamora, 2019)

Hidrografía

El área minera "Zamora Bombuscaro" constituida por llanuras aluviales formada por el río Zamora, son estas llanuras donde se realizan actividades de explotación de materiales de construcción, arrastrados por los cauces de los ríos mencionados, y así generar oferta de productos que beneficien al sector de la construcción.

Delimitación del área de explotación

El depósito de materiales de construcción explotado en el área minera "Zamora – Bombuscaro" de acuerdo con el levantamiento topográfico y según la distribución del área, tomando en cuenta que el área de Pequeña Minería cuenta con una superficie minera de 22 hectáreas de las que se ocupan 2.96 hectáreas dentro del placer aluvial y 2.71 hectáreas entre cancha mina y vías circundantes dentro del polígono, quedando como espacios libres una superficie de 16.33 hectáreas.

Composición granulométrica del material explotado

En base a los resultados del análisis granulométrico, límite líquido y límite plástico, los materiales se clasifican según los métodos SUCS y ASSHTO.

Figura 6: Ensayo de clasificación granulométrica del material explotado

Detalle	Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
Árido Grueso	3"	0,00	0	100
	2 ½"	1542,00	7	93
	2"	1972,00	9	91
	1 ½"	3719,00	18	82
	1"	5268,00	25	75
	¾"	5854,00	28	72
	½"	6999,00	33	67
	3/8"	7625,00	36	64
	No. 4	8873,00	42	58
Árido Fino	No. 10	52,50	6	51
	No. 40	293,80	34	24
	No. 200	482,80	56	2

Fuente: Pardo (2022)

Normas de calidad del material explotado

De acuerdo con normas INEN, y normas A.S.T.M se realizó ensayos de cumplimiento de calidad del material de construcción explotado, en el área minera “Zamora – Bombuscaro”, CÓD. 500681; los materiales de construcción que se extrae poseen los siguientes parámetros y características:

Figura 7: Resultados del material explotado de acuerdo con las normas INEN.

Material	Clasificación granulométrica			Norma que cumple
	Muestra No 1	Muestra No 2	Muestra No 3	
Grava	42%	31%	41%	NTE INEN 696, AASHTO T-27
Arena	56%	66%	56%	
Finos	2%	3%	3%	
Características	Otras características			Norma que cumple
Límite líquido	N. P	N. P	N. P	NTE INEN 696, ASTM D 4318
Límite plástico	N. P	N. P	N. P	
Índice de plástico	N. P	N. P	N. P	
Gravedad específica de s.s.s	2.053			NTE INEN 836, ASTM C- 128
Gravedad específica aparente	2.137			
% de Absorción	2.37			
Impurezas orgánicas	Nula			NTE INEN 855

Fuente: Pardo (2022)

Cálculo de reservas

Estimación de reservas existente

La primera metodología se aplicó la diferencia de volumen entre los dos modelos de terreno digitales (MDT) en el software ArcGIS; el segundo método utilizado, denominado análisis geométrico simple, calcula el volumen multiplicando el área de trabajo por la altura media de la profundidad del pozo.

La profundidad media del depósito aluvial se determinó mediante excavaciones al azar de 10 pozos, realizados por medios mecánicos (Excavadora Sunward 210).

Por lo tanto, el nivel de referencia se establece a una profundidad de 2.47 metros aplicando la siguiente ecuación:

$$\overline{Pm} = \frac{P1 + P2 + \dots + PN}{N}; m$$

Dónde:

\overline{Pm} : Profundidad media (nivel de referencia)

P: Profundidad máxima excavada

N: Numero de excavaciones

$$\overline{Pm} = 2.47 m$$

Las excavaciones se realizaron en el área de explotación, a nivel de los ríos Zamora y Bombuscaro y en base a los datos obtenidos, la profundidad promedio es de 2.47 metros; la profundidad máxima alcanzada fue de 3 metros, debido a la inestabilidad de las paredes al realizar la excavación y por seguridad del operador. Sin embargo, la excavadora utilizada tiene una profundidad máxima de 6 metros. Determinando que todas las terrazas tienen más de 2,47 metros de espesor. Esto significa la presencia de material a mayor profundidad, proporcionando una alternativa para el laboreo de extracción.

- a. Diferencia de volumen (M.D.T) en software ArcGIS

Haciendo uso del software ArcGis, se realizó la diferencia de volumen entre los dos modelos de terreno digitales (MDT), dándonos como resultado 82963.496 m³ de materiales de construcción.

- b. Análisis geométrico simple

Se realizó un análisis geométrico simple de 2.96 hectáreas de los ríos Bombuscaro y Zamora y se aplican las siguientes fórmulas para determinar su volumen:

$$V_T = A * Pm$$

a. Rio Bombuscaro

$$V_{T1} = 6,462.96 \text{ m}^2 * 2.47 \text{ m}$$

$$V_{T1} = 15963.51 \text{ m}^3$$

b. Rio Zamora

$$V_{T2} = 23,165.86 \text{ m}^2 * 2.47 \text{ m}$$

$$V_{T2} = 57219.67 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total} = V_{T1} + V_{T2}$$

$$\text{Volumen Total} = 73183.18 \text{ m}^3$$

- Volumen Total

Después de calcular los volúmenes utilizando las dos metodologías, las reservas probadas se definen por los resultados de un análisis geométrico simple con un volumen total de 73183.18m³. Esto se debe a que es un método directo realizado en campo obteniendo un valor evidente. Por otro lado, el segundo método de diferencia de volumen (MDT) del software ArcGIS es un método que se está evaluando actualmente y aún no se ha determinado la precisión de sus resultados.

- Volumen por tipo de material

Luego de obtener el volumen total y la clasificación granulométrica de los materiales de construcción proporcionada por el área minera, se calculó los porcentajes por muestras para obtener el volumen por tipo de material de construcción a explotar, como se describe a continuación:

Figura 8: Volumen para explotar por material según clasificación granulométrica

Volumen de Piedra	Volumen de Gravón	Volumen Grava	Volumen de Arena
14636.63 m ³	16100.30 m ³	19.027.63 m ³	23.418.62 m ³

Fuente: Pardo (2022)

Arrastre del material

Para determinar la recarga de los pozos de explotación se aplicó la metodología de coeficiente y arrastre de material, ello con el fin de determinar la viabilidad técnica del proyecto. El cálculo del coeficiente de recarga del material tomamos en consideración el principio de Takahashi y asume un flujo constante durante la operación, continuación se menciona se obtienen los siguientes resultados:

Figura 9: Coeficiente de arrastre de material

Río	Coefficiente de arrastre de material	Volumen diario de Explotación permitido por la ley de Minería
Bombuscaro	52.704 m ³ /día	800 m ³
Zamora	78.624 m ³ /día	800 m ³

Fuente: Pardo (2022)

La vida útil del área minera dependerá sin duda del material de arrastre, por ende, si el coeficiente de arrastre desciende por la erosión de las zonas altas de la cuenca de los ríos Zamora y Bombuscaro, el tiempo de vida útil del área también disminuirá.

Descripción de actividades del sistema de explotación actual

Fuente: Pardo (2022)

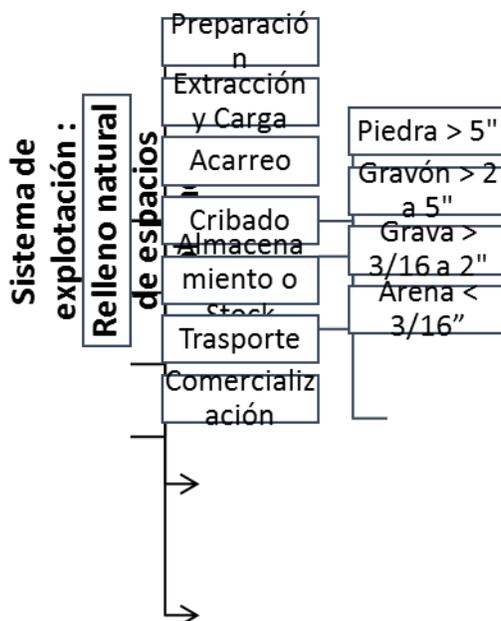


Figura 10: Esquema de explotación

Análisis del ciclo de producción actual

Tiempo de producción

Se procede con la determinación del número de ciclos por horas que se expresa mediante siguiente expresión:

$$\text{Ciclos por hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo de ciclo promedio (min)}}$$

$$\text{Ciclos por hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{11.27 \text{ (min)}}$$

$$\text{Ciclos por hora} = 5.32$$

Análisis del rendimiento de la maquinaria de extracción y carga

El análisis del rendimiento de la maquinaria utilizada para le extracción y carga de los materiales de construcción del área minera “Zamora Bombuscaro” se analizó el rendimiento de la cargadora utilizado la siguiente tabla donde consta, el terreno y sus coeficientes de los tipos de materiales para la eficiencia del cucharón.

- Rendimiento real de la cargadora (Rr)

$$Rr = Rt \times Eg ; m^3/hora$$

$$Rr = 89.10 \times 0.83 ; m^3/hora$$

$$Rr = 73.95 m^3/hora$$

- Ciclos de carga por hora (Cc)

$$Cc = \frac{60 \text{ min}}{T_{cc}} ; \text{ciclos/hora}$$

$$Cc = \frac{60 \text{ min}}{0.5 \text{ min}} ; \text{ciclos/hora}$$

$$Cc = 120 \text{ ciclos/hora}$$

- Ciclo efectivo de trabajo

$$Ce = Cc \times Eo \times Ec \times Eg ; \text{ciclos efectivos/hora}$$

$$Ce = 76.19 \text{ ciclos efectivos/hora}$$

- Número de palas para cargar el volquete

$$Np = \frac{Qv}{Qc \times Ec}$$
$$Np = \frac{5 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3 \times 0.90}$$
$$Np = 5.56$$
$$Np = 6$$

Rendimiento del equipo de acarreo

- Rendimiento real promedio del equipo de acarreo

$$r = Rt \times Eg ; \text{m}^3/\text{hora}$$
$$Rr = 19.36 \times 0.83 ; \text{m}^3/\text{hora}$$
$$Rr = 16.07 \text{ m}^3/\text{hora}$$

- Producción por jornada de trabajo

$$Pp = Rr \times Nv \times Jt ; \text{m}^3/\text{dia}$$
$$Pp = 16.07 \text{ m}^3/\text{hora} \times 2 \times 8 \text{ hora}/\text{dia} ; \text{m}^3/\text{dia}$$
$$Pp = 257 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Rendimiento de la máquina de acopio

- Rendimiento real de la cargadora

$$Rr = Rt \times Eg ; \text{m}^3/\text{hora}$$
$$Rr = 137.45 \times 0.83 ; \text{m}^3/\text{hora}$$
$$Rr = 114.08 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Análisis económico

Para poder realizar el análisis, se realiza un análisis de los costos de producción que interactúan en la fase de explotación actual de los materiales de construcción, evaluando la capacidad de que el proyecto genere beneficios para el área minera "Zamora – Bombuscaro".

Análisis económico del sistema actual de explotación

El análisis económico de costos de operación por metro cúbico, tomando en cuenta costos de mano de obra, costos de máquinas o equipos, costos indirectos, consumo de combustible, costos de reparación, mantenimiento, consumo de energía y especificando el número o cantidad de cada parámetro considerado. En el caso especial del área minera, los fines de semana no son días hábiles, por lo que el análisis se estima en el equivalente a 22 días hábiles.

El costo diario de producción actual es de 385,60 \$, con una producción diaria de 257 m³/día, generando un costo por metro cubico explotado de 1,50 \$ dólares.

Parámetros de explotación actual

Actualmente la explotación en el área minera se realiza mediante piscinas de inundación con relleno natural de las zonas explotadas; donde existe la sobrestimación de la cargadora CAT de 1m³ de capacidad, usada para la extracción y carga de materiales de construcción, misma que se encuentra en mal estado y con bajo rendimiento de producción. Mientras que la excavadora Sunward se desaprovecha en el sistema actual, utilizada para encausar el río para permitir la extracción con la cargadora frontal; lo cual se puede aprovechar y remplazar la cargadora frontal en el proceso de extracción y carga de material ya que la excavadora posee mejores características técnicas de esta manera aprovechando al máximo los equipos existentes y obteniendo mayor rentabilidad.

Las vías de transporte de materiales utilizadas en el sistema actual carecen de operaciones dependientes de máquinas, vías de un solo carril, que retrasan la operación del sistema y las vías internas no están interconectadas entre sus frentes para una mejor eficiencia

Análisis multicriterio entre los sistemas de explotación

Para seleccionar el método de explotación óptimo, se realizó un análisis multicriterio entre dos opciones: Explotación por Diques Transversales y Explotación por Diques Longitudinales. Teniendo en cuentas con las normas técnicas, ambientales y económicas. A continuación, se ofrece una breve descripción de ambos métodos.

- Adaptabilidad a terrenos llanos aluviales.
- Eficiencia y facilidad de uso del ciclo minero.
- La dinámica de los ríos únicamente permite la extracción de material por vía húmeda desde el lecho del río.

- Una reducción sustancial en los costos para la extracción del material.
- Impactos en el ambiente

Es así como, de acuerdo con los resultados obtenidos, se propone aumentar la producción diaria y aprovechar en su totalidad las reservas del área minera, recomendándose un nuevo diseño de explotación por el sistema de "Diques Transversales". Respecto a la extracción y acarreo del material se logra una reducción de costos operativos y aumento en la productividad de la maquinaria disponible

Descripción del sistema de explotación optimizado

La propuesta del sistema de explotación óptimo para la extracción de este material es el de "Diques Transversales" el cual ayuda a mantener el cauce natural del río evitando el deterioro de las riberas en épocas de invierno en el área minera "Zamora – Bombuscaro", mismo que un conjunto de actividades y procesos para la obtención de los materiales de construcción y el correcto aprovechamiento del material retenido el cual está en dependencia del caudal del río.

Actividades Principales

- Preparación

La ejecución de nuevo sistema de explotación se realiza primeramente la preparación del sitio de construcción de los diques aprovechando tempranamente los materiales removidos en este proceso. Una vez contruidos y con recarga de grava y arena, se realiza la remoción y carga de materiales empleando excavadoras Sunward SWE210 y las cargadoras frontales CAT.

El diseño de los diques es muy importante, ya que, de esto dependerá la factibilidad de la explotación. En el presente trabajo, los diques consistirán en la colocación de una línea de rocas que tengan un tamaño significativo, estas deben estar perpendiculares a la dirección del agua, con esto, logramos la retención del material y a su vez el aprovechamiento para su comercialización.

Los pozos de explotación, determinados en el cual se depositará los áridos y pétreos de manera natural arrastrado por el Río Zamora y Bombuscaro. De acuerdo con la maquinaria a usar se estableció las dimensiones de los pozos de explotación, el ancho de los pozos es el ancho máximo del alcance del brazo de la excavadora el cual es de 10 metros y de la misma manera la

profundidad máxima de excavación se toma en cuenta las especificaciones de la excavadora y basándose en parámetros obtenidos por los operadores y considerando la geología del terreno.

- Arranque - extracción

Luego de realizar la preparación, el siguiente proceso es la extracción de materiales de construcción está establecido en la forma de los diques transversales ubicados al margen derecho del cauce del río, la extracción la realiza la excavadora Sunward SWE210, la misma que alcanzando una profundidad máxima de extracción de 6.50 m. Este es un valor determinado en base a las medidas de la máquina.

El método de extracción será mecanizado; extrayendo el material del cauce del río conforme el diseño de los diques. La excavación se realizará mediante intervalos de extracción para obtener intercalaciones de profundidad, +/- 3 metros con +/- 2 metros, y luego volver repitiendo el ciclo, para precautelar las condiciones morfológicas del río, los pozos se explotaran hasta una profundidad de 3 metros sin tener contacto del BedRock, permitiendo que se recupere del mismo, beneficiando a que el material se recupere en las áreas de mayor profundidad, y por lo tanto favoreciendo de forma natural la búsqueda de un equilibrio el cual provoca que se acumule material en el fondo.

- Carga y acarreo

Carga y transporte de materiales minados en cada frente, desde la excavadora se cargan directamente los volquetes y se transporta el material al área de almacenamiento y posteriormente a la criba de clasificación. El medio de transporte utilizado los volquetes y las vías internas que conectan los diferentes frentes de explotación

- Cribado

En la zona de cribado el material se vierte directamente en la criba fija, transportado por una excavadora CAT 950A con una capacidad de 2m³, la clasificación se realiza en húmedo, se separan materiales rápidamente por la acción del agua Esta clasificación se hace por gravedad. Se mantiene una criba y se vierte el material en la tolva cargada y la criba fija que consta de cuatro tamices Constituidos por barras inclinadas aproximadamente a 45°, placas perforadas y rejillas de refuerzo, dividen el material en cuatro clases: piedra gruesa, gravón, grava y arena.

- Acopio o Estoqueo

Todo el material clasificado en la criba fija que tendrán una deposición primaria mediante canalones y luego serán transportados directamente por medio de la cargadora a sus lugares de

estoqueo final que se encuentran cercanos a la misma, obteniendo materiales de construcción listos para su comercialización.

Actividades Auxiliares

Infraestructura necesaria

El análisis en campo con ayudas de fichas del estado actual de la infraestructura se determinó la falta de infraestructura y el mal uso de los espacios.

Fuente: Pardo (2022)

Estado actual de la infraestructura del área minera "Zamora - Bombuscaro"							
Infraestructuras	Estado			Mantenimiento		Reparación	
	B	R	M	SI	NO	SI	NO
Criba fija		x			x		x
Vías de acceso		x		x			x
Bodega			x	x		x	
Servicios básicos (SSHH)			x	x		x	
Área de combustible			x	x		x	
Zona de parqueo y mantenimiento		x			x		x

B= Bueno, R= Regular, M= Malo

Figura 11: Estado actual de la infraestructura del área minera

Vías de acarreo de material

La infraestructura vial de estas zonas de explotación está conformada por vías carrozables de tercer orden que permiten el acceso tanto a la concesión como a sus diferentes instalaciones.

Según (Sosa, 1989) el ancho de la vía está en función del ancho de la maquinaria que va a transitar por la vía, que permita el tránsito ordenado dentro del área minera.

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

$$Av = 2.50 \text{ m} * (0.5 + 1.5 * 2)$$

$$Av = 8.75 \text{ m}$$

$$Av = 9 \text{ m}$$

Dónde:

Av: Ancho de la vía (m)

a: Ancho del volquete (2.50 m)

n: Número de carriles (2)

Maquinaria y personal requerido

La maquinaria en el sistema de explotación optimizado en el área minera “Zamora – Bombuscaro”, Código 50068; deberá desempeñarse de manera eficiente, aumentando la productividad con la maquinaria existente las cuales se harán unos ajustes para los cambios requeridos. Se determinó según las siguientes características en función de la operación que realizaran:

Figura 12: Maquinaria y equipo requeridos en el sistema de explotación optimizado

Maquinaria				
Operaciones	Tipo de maquinaria	Marca	Modelo	Capacidad
Extracción y carga	Excavadora	Sumiyard	SWE210	Cucharón 0.95 m ³
Acarreo	Volquete	Ford	700	Balde 5m ³
	Volquete	Ford	700	Balde 5m ³
Acopio	Cargadora Frontal	Caterpillar	950	Cucharón 2m ³
Equipos				
Operaciones	Tipo de maquinaria	Marca	Modelo	Capacidad
Operaciones auxiliares	Equipos manuales (palas, picos)	Varias	Varios	-
Taller y Mantenimiento	Equipo automotriz	Varias	Varios	-

Fuente: Pardo (2022)

El personal determinado en el sistema optimizado para el desarrollo minero está conformado por 5 personas, distribuidas de la siguiente manera:

Figura 13: Personal óptimo para laborar.

Área de Trabajo	Nº de Personas
Administrativo	1
Operador de Excavadora	1
Operador de Volquetes	2
Operador de Cargadora	1
Total	5

Fuente: Pardo (2022)

Rendimiento óptimo de la maquinaria

El rendimiento real de la excavadora Sunward SWE210 es de $77.65 m^3$ por hora de trabajo en el arranque y carga de material del área minera. El número de palas necesarias es de 5 para cargar los dos volquetes de $5m^3$.

El cambio de capacidad en el cucharón de la excavadora cambia el tiempo de manera evidente teniendo 2.38 minutos influyendo directamente en todo el ciclo de producción.

Obtenidos los datos del sistema actual de 11.36 minutos y el ciclo óptimo de producción de 8.95 minutos, relacionando los valores nos da una diferencia de 2.80 minutos que es valor que se ajusta al proceso de optimización. Y se determinó el número de ciclos óptimo por hora laboral que dio un valor de 7 ciclos.

Optimización de equipos de acarreo

El rendimiento real del equipo de acarreo que contempla a dos volquetes de $5 m^3$ dando un rendimiento de $20.23 m^3/hora$

Producción total de jornada de trabajo

El promedio de la producción de acarreo actual diario es de $323.68 m^3/día$, el cual es un valor considerable para su optimización, demostrando que el equipo de acarreo optimizado cuenta con lo preciso para cumplir con su labor.

Rendimiento óptimo de la maquinaria de acopio

El rendimiento real de la máquina de acopio (cargadora CAT 950 de $2m^3$), es de $173,47 m^3$ por cada hora de trabajo. Teniendo en cuenta que la cargadora actual se encuentra en las condiciones óptimas para realizar el acopio del material de construcción siendo rápido y eficiente.

Características de los equipos requeridos

- Cucharón de servicio pesado

Cuando se trabaja con materiales áridos y/o pedregosos, la condición abrasiva del residuo es muy severa y el requerimiento del cucharón debe ser analizado de acuerdo con sus características tales

como: el material sobre el que se trabajará, precio y disponibilidad existe localmente en el mercado; puede localizar el equipo adecuado para la explotación llevada a cabo.

Se optimizará la excavadora por lo cual se ensanchará y reforzara el cucharón de carga de la excavadora de 0.95 m^3 a una capacidad 1.05 m^3 .

Diseño de los Diques Transversales

La construcción de los diques será perpendicular al cauce del río, con rocas que formarán parte de los diques (glebas) de diámetro variable, mayores 700 mm de diámetro al inicio y al final del tramo de explotación conformado por el mismo material pétreo. En las zonas de explotación las terrazas de inundación son amplias, los diques se construirán con una altura entre 2.5m a 2.8m, precautelando que la crecida evite introducirse en el lecho de la avenida y cauce daños a la infraestructura y personal de la mina.

Fuente: Pardo (2022)

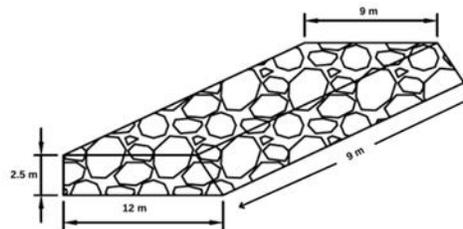


Figura 14: Características geométricas del dique transversal.

La longitud de cada dique transversal debe ser menor al 45% del ancho del río en la abscisa en la que se ubicara cada dique. La longitud del pozo de explotación se tomará con la longitud de alcance del brazo de la excavadora de 10m, esta será la misma para todos los pozos.

Fuente: Pardo (2022)

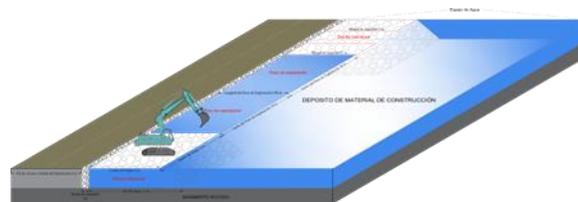


Figura 15: Distribución gráfica del sistema de explotación óptimo

Frente de explotación "A"

El frente de explotación "A" está ubicado al sur de la concesión en el río Bombuscaro, a 1km de la zona de cribado y stock, siendo uno de los más distantes del mismo el cual cuenta con un área de 4760.89 m², en el cual se han distribuido diques transversales y sus respectivos pozos de explotación en relación 1:2, se tomó en cuenta una berma de seguridad en el margen derecho el cual será donde se realizara la explotación a lo largo del río Bombuscaro, cabe recalcar que este sector conocido popularmente "la península" es un balneario turístico por los habitantes del cantón Zamora se realizara trabajos conjuntamente con el Municipio de Zamora; entre ellos la formación de un berma de seguridad de 300m de longitud aguas arriba para de 4m de ancho y 2m de alto. De esta manera en este frente de explotación los trabajos serán constantes. El frente de explotación "A" se divide en 5 diques y 10 pozos de explotación.

Fuente: Pardo (2022)

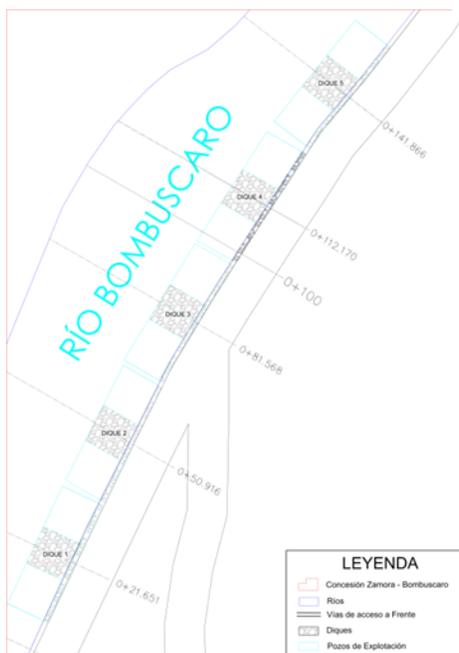


Figura 16: Frente de explotación "A"

Frente de explotación "B"

El frente de explotación “C” se encuentra ubicado a 4.20m del frente de explotación “A” el cual se usa la misma vía de acceso para el acarreo del material a la zona de cribado y stock siendo los frentes más lejos a la zona de producción, consta de una superficie de 1702 m²

Este frente de explotación está conformado por 4 diques transversales y 5 pozos de explotación.

Fuente: Pardo (2022)



Figura 17: Frente de explotación “B”

Frente de explotación “C”

El frente de explotación “C” se encuentra ubicado en la unión del río Zamora y Bombuscaro a una distancia máxima de 535m de la zona de producción, está constituido por 3 diques y 6 pozos de explotación debido al recodo natural que forma la unión del río Zamora y Bombuscaro, contiene una superficie de 3455m².

Fuente: Pardo (2022)

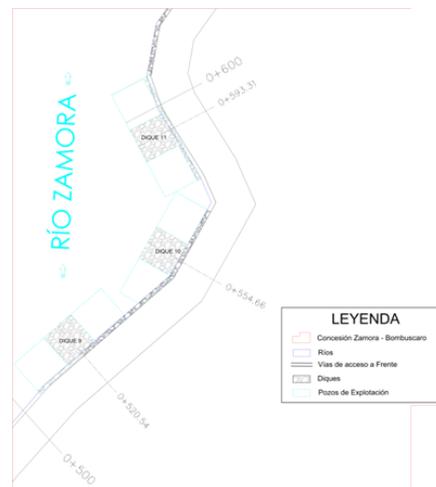


Figura 18: Frente de explotación "C"

Frente de explotación "D"

El frente de explotación "D" se encuentra en el río Zamora conformado por 19720m² siendo el frente más grande, el cual contiene 12 diques transversales y 24 pozos de explotación situados a sus lados. Se encuentra a una distancia máxima de 700m de la zona de producción, compartiendo vía de acceso a los frentes de explotación "C" el cual se encuentra a 120m de distancia.

Fuente: Pardo (2022)

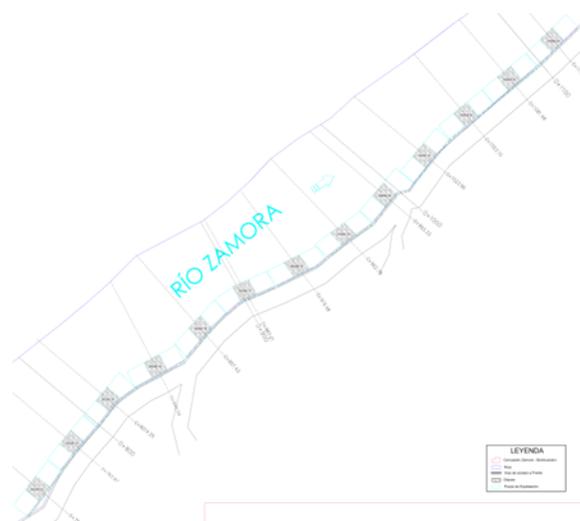


Figura 19: Frente de explotación "D"

Análisis económico

El análisis económico del proyecto requiere determinar los costos de producción actuales y compararlos con los costos de producción incurridos al inicio de la optimización del sistema operativo.

La designación USD/m³ se utiliza para materiales de construcción. Este es el costo en dólares por metro cúbico producido. Los costos de operación se calculan utilizando precios y datos obtenidos del área minera "Zamora Bombuscaro".

Para un mejor análisis, dividimos los costos en dos categorías según los costos actuales y esperados del sistema optimizado. Todos los costos de fabricación son todos los costos

directamente relacionados con el proceso de construcción del nuevo sistema de explotación. Es por tanto un esfuerzo que no debe subestimarse y que tiene un impacto directo en la producción.

Análisis económico en el sistema optimizado

El análisis económico de los costos operativos metro cúbico para el sistema optimizado muestra un ahorro de 0,48\$ centavos por cada metro cúbico, lo que mejora la producción diaria y se estima que tiene un ahorro de costos en comparación con los métodos de explotación actuales.

El costo diario de producción en el sistema optimizado es de \$ 330,50 dólares y el volumen de producción por día es de 323.68 m³/día. Con base en los costos de producción definidos, el costo de uso por metro cúbico es de \$ 1.02, un ahorro de \$ 0,48 por cada metro cúbico.

Rubro económico de la operación y preparación del sistema optimizado

Los trabajos relacionados con el sistema optimizado incluyen la preparación de la superficie minera y la construcción de diques transversales en el área minera. Desarrolle un repositorio integral y accesible para desarrollar procedimientos de extracción para evitar defectos en el ciclo de producción que, en última instancia, pueden afectar la economía de la implementación de sistemas optimizados.

los costó asociado a la operación del sistema óptimo se pueden resumir en 293,930.32 \$, esta cifra puede ser una suma difícil de solventar considerando que el área minera privadas produce materiales dependiendo de la demanda.

Inversión

Con la optimización del sistema de explotación la producción aumentó en 66.68 m³/día. Por otro lado, el costo de producción diario por metro cúbico se redujo de \$1.50 a \$1.02 por metro cúbico con el sistema óptimo.

Extrapolando aún más la economía, especialmente los costos de producción por día y por mes, genera ahorros significativos de aproximadamente \$55,10 por día y \$1212,20 por mes.

El área minera está concesionada por una entidad privada que explota materiales de construcción ha pedido o bajo contrato de operación, lo que limita un poco su capacidad para implementar el

sistema minero propuesto de \$293,930.32. Sin embargo, ahorros significativos en la producción diaria y mensual pueden cubrir pequeños gastos como las máquinas necesarias.

Los costos de operación y puesta en marcha del sistema optimizado (valorado en \$293,930.32) se financiarán a largo plazo, por lo que solicitar un préstamo a largo plazo, de esta manera logrando un rendimiento positivo en el área minera.

Como empresa, tiene las cualidades de tomar una posición privilegiada en el mercado local, generar un flujo de caja positivo y recuperar nuestra inversión dentro del plazo acordado con nuestros prestamistas; así mismo generar liquidez en el área minera y lograr un yacimiento accesible y adecuados y ser partícipe de un desarrollo ambiental y económicamente beneficioso, brindando un servicio de calidad en la explotación de materiales de construcción.

Fuente: Pardo (2022)

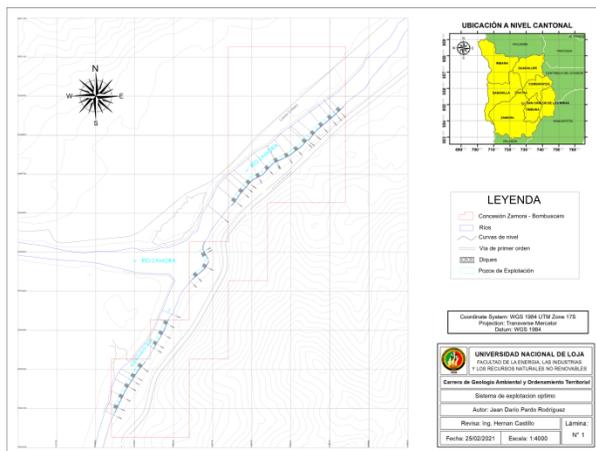


Figura 20: Sistema de explotación óptimo

Discusión de resultados

Para desarrollar adecuadamente el proyecto, los fundamentos teóricos desarrollados se enfocan en topografía, geología y explotación del yacimiento.

La optimización es primordial en el actual trabajo de investigación ya que radica con la aplicación de criterios técnicos para mejorar el rendimiento en cada procesos y actividades de explotación, para tener óptimos resultados en el aprovechamiento íntegro del área minera "Zamora – Bosbuscaro" de la explotación de 4 diferentes productos (piedra > 5", gravón > 2 a 5", grava > 3/16 a 2", arena < 3/16").

Tamayo (2016), indica que la forma eficiente de optimizar procesos es mediante la variación en el rendimiento de la maquinaria debido al cambio en las condiciones del trabajo, el autor manifiesta que la optimización radicará en la aplicación de criterios técnicos para el desarrollo de las operaciones, ya que esta es la principal falencia al carecer de una explotación ordenada y sistemática.

Pachar (2018), manifiesta que las actividades principales comienzan con la preparación, arranque, carga y transporte, cribado, trituración y clasificación, stock y finalmente con la comercialización de la concesión Yuma, similar a las actividades llevadas a cabo en el presente proyecto.

Gonzales (2016) menciona que los pozos de inundación en el sistema de explotación de diques transversales los cuales tendrán una profundidad por parámetros obtenidos por el concesionario y el operador de excavadora considerando la geología del terreno ya que el BedRock se encuentra a 15 a 20 metros determina sus pozos a 4 metros de profundidad, diferente en el área “Zamora – Bombuscaro” lo cual se tomó datos de profundidad máxima del brazo de la excavadora a usar en sus 4 frentes de explotación definidos, determinando una profundidad media la cual se explotara a una profundidad de 3 metros de profundidad.

Esta metodología es bastante acertada, pero, puede surgir dificultades durante el proceso debido a que juega un papel importante la libre interpretación en campo y el criterio de cada investigador al momento de definir un ciclo de producción acorde a la geología, topografía e hidrología del placer aluvial.

Finalmente se comprueba la validez de esta metodología y se considera que los resultados obtenidos guardan bastante relación con la realidad espacial y consecuentemente sirve para la correcta explotación de materiales de construcción en el sector.

Conclusiones

- El área minera “Zamora-Bombuscaro – código 500681”, presenta una extensión de 22 Ha, de los cuales se determinó cuatro frentes de explotación dos de ellos sobre el margen derecho del río Bombuscaro con una superficie de 0,65 Ha del área aluvial, un tercer frente ubicado en la unión del río Zamora y Bombuscaro con una superficie de 0,34 Ha de área aluvial y el cuarto frente de explotación y más extenso que se encuentra sobre el margen derecho del río Zamora comprendiendo 1,97 Ha.

- El sistema actual de explotación el cual se realiza en el área consiste en crear piscinas de inundación entre 12 a 30 metros de longitud, captando el material detrítico por la corriente de los ríos aguas abajo; posteriormente se carga el material con la cargadora frontal así mismo al volquete para luego ser transportado a una criba fija que clasifica el material y posteriormente llevado al área de stock depositado y finalmente comercializado.
- En lo que concierne a la geología del área de estudio está constituido por rocas granodiorita intrusiva con presencia de alteración, diorita y andesitas que corresponden al complejo intrusivo de Zamora del cual se desprende material dando lugar a la formación de depósitos coluviales que aflora en el flanco este del río Zamora. Finalmente yace sobre el batolito de Zamora depósitos aluviales conformados por material cuaternario como bloques, cantos rodados, gravas y arenas que son el producto de material arrastrado y erosionado.
- La topografía oscila entre los 890 m.s.n.m. y 920 m.s.n.m., por lo que se ha determinado un relieve plano en el cauce del río y un relieve colinado en sus flancos.
- Los volúmenes del depósito de material fueron calculados por el método informático de cálculo de volumen en ArcGIS y el cálculo geométrico simple con el apoyo de información de campo, levantamiento topográfico y datos de superficie y profundidad; obteniendo 73183.18 m³ de reservas de material de construcción, por tratarse de un depósito de roca y/o agregado aluvial, los materiales de depósito se renuevan constantemente.
- Se hizo un análisis multicriterio para la selección del sistema de explotación, teniendo en cuenta la topografía del área, el tipo de material, las maquinarias utilizadas, donde se planteó un sistema de explotación denominado diques transversales, que permite el aprovechamiento del depósito aluvial en los ríos Zamora y Bombuscaro, incluyendo con la construcción de diques paralelos. Del mismo modo se ha planteado la capacitación del personal para una mejor eficiencia, mejorar el ciclo de producción, optimizar el trabajo y aumentar la producción.
- La optimización de los proceso y actividades de explotación, se logró la disminución del costo de producción de \$55,10 dólares al día y aumentando la producción en 66.68

m³/día generando ganancia y aumento en el capital de ingreso para la concesión minera “Zamora - Bosbuscaro”.

Recomendaciones

- Se recomienda capacitar al personal referente al nuevo sistema de explotación y el correcto uso de la maquinaria para una mayor eficiencia al realizar los ciclos de producción.
- Es primordial tratar que el personal que trabajan en las áreas de cribado utilice EPI (equipos de protección individual) para evitar riesgos laborales o cualquier otro tipo de riesgo.
- Se recomienda establecer un seguimiento continuo por parte de un técnico, que asegure el control de las operaciones realizadas en la cantera, de acuerdo con el diseño propuesto.
- Realizar el mantenimiento adecuado de la máquina para evitar el tiempo de inactividad de la producción, ya que afectaría la producción diaria y causaría retrasos en la operación.
- Llevar a cabo un estudio de impacto ambiental en el área minera para conocer si se cumple con la normativa ambiental y así evitar problemas sociales y económicos a futuro.
- Finalmente se recomienda mejorar y controlar los márgenes de protección dispuestos en el nuevo sistema de explotación en los frentes de explotación.

Referencias

1. ANEFA. (2013). *Buenas prácticas para la extracción en zona de cauce y de policía facilitadas por la asociación nacional de fabricantes de áridos (ANEFA)*.
2. Annels, A. E. (1991). Ore-reserves by (classical methods). En *Mineral Deposit Evaluation* (págs. 134-158). London: CHAPMAN & HALL.
3. Blázquez, L. Baños. (2009). *Materiales Pétreos*.
4. Briones Sánchez, G., García Casillas, I., & Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Saltillo, C. (1997). *Aforo del agua: en canales y tuberías*. Obtenido de: https://books.google.com/books/about/Aforo_del_agua.html?hl=es&id=KoKOAAAACA AJ
5. Castro, E. A. (2010). *Cartilla de topografía*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

6. Cuartero, A. (2017). Guía Práctica de Topografía en Edificación. Colecciones manuales , 104, 1-112. Recuperado de: <https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/9788491270034.pdf>
7. Delgado, J. A. P., Garcés, M. O. C., & Véliz, J. J. J. (2020). Topografía I. 3Ciencias. <https://doi.org/10.17993/CcyLI.2020.34>
8. Espinosa, J. (2019). Diseño De Explotación De Los Agregados Pétreos Del Depósito Aluvial Del Río Macará, Ubicado En El Sector “La Cruz”, Perteneciente Al Cantón Macará, Provincia De Loja. In *Universidad Nacional De Loja* (Vol. 1).
9. *Ficha técnica para Sunward SWE*. (2020). Obtenido de: <https://www.lecturaspecs.es/es/excavadoras-de-orugas-swe210-sunward/datasheet/67274/11736972>
10. García Rivero, J. L. (2008). *Manual Técnico de Construcción*.
11. García, A., Rosique, M., & Torres, M. (2017). Topografía y cartografía mineras (2da edición; U. EDICIONES, Ed.). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
12. GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTON ZAMORA. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
13. Gutiérrez, A. L. (2017). La explotación minera a cielo abierto y su incidencia en los Derechos de la Naturaleza en el cantón Quito, parroquia Pintag, año 2015. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
14. Herrera, H., Sequeira, J., & González, F. (2014). Seminario de graduación para optar al título de Técnico Superior en Topografía. (UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA). Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/5856/1/68800.pdf>
15. Herrera, J. (2007). *Diseño de Explotaciones de Cantera*. Obtenido de: http://oa.upm.es/21839/1/071120_L3_CANTERAS-ARIDOS.pdf
16. Herrera, J., & Ortiz, F. (2006). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. *Métodos de La Minería a Cielo Abierto*, 119.
17. Instituto de ingenieros de minas de Chile. (2003). *Código para la certificación de prospectos de exploración, recursos y reservas*. https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2014/06/chico_espanol.pdf

18. López, C. (1988). Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión. In *Instituto Tecnológico GeoMinero de España*.
19. López, C. (1994). *Áridos – Manual de Prospección, Explotación y Aplicaciones*. E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid. Madrid. 607p.
20. Lutgens, E. T. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S. A.
21. Mantilla, H. R. (2005). *Geología General*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
22. Matera, L. C. (2002). Topografía Plana. Merida: Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería.
23. Mejia N. C. (2009). Principio de Topografía. Civil-UTPL, 9.
24. Mojica, R., & Alfonso, M. (2008). *Diques transversales: metodo de explotación minero – ambiental (Dam transversal: method of mining - environmental)*.
25. MOJICA, V. Rubén y MANRIQUE, A. Jenny (2008) “Diques Transversales: Método de explotación minero – ambiental.” Escuela de ingeniería de minas Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá.
26. Pachar, E. (2018). Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales áridos y pétreos del área minera “yuma, código 600011”, sector Nangóra, parroquia Malacatos cantón y provincia de Loja. *Universidad Nacional De Loja, 1*, 100.
27. Reglamento Especial para la Explotación de Materiales Áridos y Pétreos Decreto Ejecutivo No. 1279. (2012).
28. Schumann, W. (1988). *Rocas y Minerales*. Barcelona: Ediciones Omega.
29. Serra S., Rodríguez R., Solano S., Peces J., Merino S., Calderón C. (2014). Métodos de Trabajo y Utilización de Aparatos Equipos y Útiles Topográficos. España: Paraninfo, S.A.
30. Sosa, H. (1989). *Tecnología de la Explotación de Material pétreos Duros por el Método a Cielo Abierto*.
31. Varela. (2014). *Manual de Geología*. La Plata. Obtenido de: http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/pdf/varela_misclanea_21_manual_de_geologia.pdf
32. Wolf, P. R., & Ghiliani, C. (2008). TOPOGRAFÍA. MEXICO: ALFAOMEGA.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).