

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe*

*Optimization of the exploitation system for the extraction of construction materials from the free use area GADMZ Bombuscaro code 50001081, Benjamín Carrión sector, Zamora canton, Zamora Chinchipe province*

*Otimização do sistema de exploração para a extração de materiais de construção da área de uso livre GADMZ Bombuscaro código 50001081, setor Benjamín Carrión, cantão de Zamora, província de Zamora Chinchipe*

Yhandry Joel Castillo Guerrero <sup>I</sup>  
[yhandry.castillo@unl.edu.ec](mailto:yhandry.castillo@unl.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-8289-7407>

Fabian Ricardo Ojeda Pardo <sup>III</sup>  
[fabian.ojeda@epoch.edu.ec](mailto:fabian.ojeda@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Goering Octavio Zambrano Cárdenas <sup>V</sup>  
[goering.zambrano@epoch.edu.ec](mailto:goering.zambrano@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0006-0166-1822>

Hernán Luis Castillo García <sup>II</sup>  
[hernan.castillogarcia@unl.edu.ec](mailto:hernan.castillogarcia@unl.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-5706-0132>

Diego Israel Castillo Jaramillo <sup>IV</sup>  
[diego.castillo@unl.edu.ec](mailto:diego.castillo@unl.edu.ec)  
<http://orcid.org/0000-0002-1749-3310>

Alex Danilo Merizalde Salas <sup>VI</sup>  
[a.merizalde19@gmail.com](mailto:a.merizalde19@gmail.com)  
<https://orcid.org/0009-0006-0166-1822>

**Correspondencia:** [yhandry.castillo@unl.edu.ec](mailto:yhandry.castillo@unl.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de marzo de 2023 \***Aceptado:** 12 de abril de 2023 \* **Publicado:** 10 de mayo de 2023

- I. Egresado de la Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- II. Ingeniero de minas, Docente de la carrera de Minas, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- III. Ingeniero en Minas, Máster en Metalurgia, Docente de la carrera de Minas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Master en Ingeniería Vial, Docente de la carrera de Minas, Universidad Nacional de Loja, Ecuador
- V. Ingeniero en Agroindustrias, Docente de las carreras: Ingeniería en Zootecnia y Ambiental, Escuela Politécnica Superior de Chimborazo Ecuador.
- VI. Ingeniero Mecánico, Docente de la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Industrial, “Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros”, Ecuador.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

## Resumen

El presente trabajo investigativo titulado “Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe”, tiene como propósito optimizar las actividades del sistema de explotación actual del área de libre aprovechamiento, mediante el levantamiento y análisis de información, se inicia con una descripción del área de estudio resaltando las particularidades de la misma como son: la topografía, geología, hidrología, precipitaciones, esto logrado mediante revisión bibliográfica y observación in situ. El levantamiento de información de los frentes de explotación y de las actividades realizadas en la zona de estudio a través de la observación, registro y tabulación in situ, nos da los indicios del comportamiento actual de la zona de estudio, es decir, nos proporciona los parámetros a los cuales está direccionado el presente trabajo investigativo. Las características actuales del sistema de explotación no son las óptimas, debido a que existen muchas irregularidades en los ciclos de trabajo, iniciando con poco aprovechamiento de las capacidades de la maquinaria, extracción del material desordenado, falta de clasificación del material, parámetros que han sido determinados mediante una investigación cualitativa y cuantitativa. Para lograr el planteamiento de un sistema de explotación optimizado, se tomó en cuenta los procesos y actividades del área de libre aprovechamiento mediante cálculos de rendimientos, capacidad, ritmo de producción, además de ello mediante el cálculo de las reservas de la zona de estudio se logró determinar el ritmo de producción diario del área, mediante un análisis económico se logró calcular el valor por metro cúbico explotado, y a través de una comparativa entre el sistema de explotación actual y el propuesto se logró definir que el sistema de explotación optimizado beneficia al área de estudio siendo sustentando técnica y económicamente.

**Palabras Claves:** sistema de explotación; optimización; rendimientos; capacidad; ritmo de producción.

## Abstract

The present investigative work entitled "Optimization of the exploitation system for the extraction of construction materials from the free use area GADMZ Bombuscaro code 50001081, Benjamín Carrión sector, Zamora canton, Zamora Chinchipe province", has the purpose of optimizing the

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

activities of the exploitation system of the free use area, through the collection and analysis of information, it begins with a description of the study area highlighting its particularities such as: topography, geology, hydrology, rainfall, this was achieved through bibliographic review and in-person observation. in situ. The collection of information from the exploitation fronts and the activities carried out in the study area through in situ observation, recording and tabulation, gives us indications of the current behavior of the study area, that is, it provides the parameters to which this investigative work is directed. The current characteristics of the exploitation system are not optimal, because there are many irregularities in the work cycles, starting with little use of the capacities of the machinery, extraction of the disordered material, lack of classification of the material, parameters that have been determined through qualitative and quantitative research. To achieve the approach of an optimized exploitation system, the processes and activities of the free use area were taken into account through yield calculations, capacity, production rate, in addition to this, by calculating the reserves of the study area, it was possible to determine the daily production rate of the area, through an economic analysis it was possible to calculate the value per exploited cubic meter, and through a comparative Between the current exploitation system and the proposed one, it was possible to define that the optimized exploitation system benefits the study area, being technically and economically supporting.

**Keywords:** exploitation system; optimization; yields; ability; Rhythm of production.

## Resumo

O presente trabalho investigativo intitulado "Otimização do sistema de exploração para a extração de materiais de construção da área de uso livre GADMZ Bombuscaro código 50001081, setor Benjamín Carrión, cantão de Zamora, província de Zamora Chinchipe", tem como objetivo otimizar as atividades do sistema de exploração da área de uso livre, por meio da coleta e análise de informações, inicia-se com uma descrição da área de estudo destacando suas particularidades como: topografia, geologia, hidrologia, pluviosidade, isso foi feito por meio de revisão bibliográfica e observação presencial. in situ. A recolha de informação das frentes de exploração e das actividades desenvolvidas na área de estudo através da observação in situ, registo e tabulação, dá-nos indicações sobre o comportamento actual da área de estudo, ou seja, fornece os parâmetros a que esta o trabalho investigativo é direccionado. As características atuais do sistema de exploração não são ótimas, porque

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

há muitas irregularidades nos ciclos de trabalho, começando com pouco uso das capacidades do maquinário, extração do material desordenado, falta de classificação do material, parâmetros que foram determinados por meio de pesquisas qualitativas e quantitativas. Para chegar à abordagem de um sistema de exploração otimizado, os processos e atividades da área de uso livre foram considerados por meio de cálculos de rendimento, capacidade, taxa de produção, além disso, calculando das reservas da área de estudo, foi possível determinar a taxa de produção diária da área, através de uma análise econômica foi possível calcular o valor por metro cúbico explotado, e através de um comparativo entre o sistema de exploração atual e o proposto, foi possível definir que o sistema de exploração otimizado beneficia a área de estudo, sendo técnica e economicamente viável.

**Palavras-chave:** sistema de exploração; otimização; rendimentos; habilidade; ritmo de produção.

## Introducción

La explotación de depósitos minerales es una actividad que se ha realizado desde tiempos de antaño en el cantón Zamora por lo que su economía se ha basado en esta actividad.

La explotación de materiales de construcción se la puede realizar con un alto grado de eficiencia implementando responsabilidad minera y buenas tecnologías, con ello se logrará una extracción de los materiales de manera sostenible y sustentable, sin embargo, la falta de un manejo técnico de esta actividad provoca impactos a nivel social, cultural, económico y sobretodo ambiental.

La explotación de los áridos y pétreos se ha convertido en una actividad con un gran potencial económico por lo que ha tenido un auge en los últimos años, este aumento en la explotación de áridos y pétreos se debe a que este material es utilizado en múltiples obras de construcción, que en conjunto son indispensables para el desarrollo de la sociedad. El cantón Zamora posee un crecimiento urbanístico e industrial en donde las obras como son vías, casas, muros de contención, requieren el material ya sea áridos o pétreos, que debido a la ubicación geográfica de Zamora y la hidrografía de la misma posee grandes reservas de este recurso.

El área de libre aprovechamiento GADMZ BOMBUSCARO CODIGO 50001081 ubicada en el cantón Zamora, la cual cuenta con una superficie de 10 hectáreas, no dispone de ritmo de producción óptimo, es decir, su sistema de explotación no es el adecuado, lo que se ve reflejado en una explotación desorganizada e ineficiente que, a su vez, produce problemas ambientales, sociales y económicos.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

## Objetivo General

Optimizar el sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, ubicada en el cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe”,

## Objetivos Específicos

Levantar información topográfica y geológica para la cubicación del depósito de material de construcción que dispone la concesión.

Describir los procesos mineros del sistema de explotación actual para la disposición de los parámetros a optimizar.

Plantear un sistema de explotación técnicamente óptimo y económicamente rentable basado en las condiciones actuales de operación.

## Metodología

### Área de estudio

El presente trabajo investigativo se lo desarrolló en la Provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, sector Benjamín Carrión, en el *área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 5000108*, la misma que se encuentra bajo la administración del municipio de Zamora, el área de estudio posee una extensión de 10 hectáreas, las cuales están divididas en dos zonas el área de extracción y el área de acopio para el material extraído de la misma concesión y de material arrancado de la concesión “El Tablón GADMZ código 592167”.



Figura 1: Mapa de Ubicación

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

## Topografía

### • Etapa de Campo

La primera parte de este objetivo que consiste en el levantamiento topográfico se lo realizó mediante el uso de Dron Phantom 4 pro v2 el cual lleva incorporado un receptor GNSS RTK a bordo que recopila datos de los satélites mientras vuela y toma fotos. Además de ello se colocaron puntos GCPS para obtener una mayor precisión del levantamiento topográfico por lo cual el levantamiento realizado resulta de una combinación del método RTK y PPK.

Una vez culminado el vuelo del dron se procedió a colocar dos puntos fijos que servirán como puntos de partida para posteriores levantamientos topográficos. En cada punto fijo se plantó el Robert por un tiempo de 30 minutos para que el punto sea tomado y georreferenciado adecuadamente.

### • Etapa de Gabinete

Posterior al levantamiento topográfico se procedió a realizar un tratamiento de todas las fotografías obtenidas durante el vuelo del Dron.

Luego de obtener los puntos post-procesados se procede a trabajar con las fotografías en crudo mediante el programa Pix4D Mapper en donde se cargan las ortofotos en crudo y se realiza el tratamiento de las mismas en donde el resultado es una ortofoto del área de estudio.

Para la elaboración del mapa topográfico se utilizó la metodología propuesta por Santamaría Peña & Sanz Méndez (2005) en la cual describen 6 fases para la elaboración del mapa como son:

- Generación del modelo digital del terreno a partir de la nube de puntos o de la ortofoto obtenida durante el levantamiento topográfico.
- Ubicar los puntos de control correspondientes al área de estudio.
- Realizar la triangulación de la superficie de estudio
- Analizar el modelado y generar las curvas de nivel conforme sea requerido
- Dibujar elementos auxiliares como son ríos, casas, vías, etc.

## Geología

Para la obtención de la Geología local de nuestra área de estudio se recopiló información de la geología regional obtenida mediante la hoja geología de Zamora (2017) la misma que se encuentra a

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

escala 1:100000 además de la geología que se encuentra en estudios previos realizados por el municipio de Zamora para la presentación de los informes de producción

Se realizó un reconocimiento en campo en el cual se levantó información geológica mediante descripción de afloramientos además de ello en la zona de stock se realizó una calicata la mismas que se realizó de manera manual

Además de ello para la obtención del material al cual se le realizaron los posteriores ensayos de laboratorio se realizaron 2 calicatas mismas que se realizaron de manera mecánica mediante una retroexcavadora Volvo BL60

Se realizaran 3 calicatas en las coordenadas que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1** Coordenadas de Ubicación de Calicatas UTM/17S Y WGS 1984

N° de Calicata	WGS-84		Dimensiones
	X	Y	Profundidad
1	727990	9550493	1 mt
2	727972	9550513	1.5 mts
3	727979	9550543	1.2 mts

Una vez abierto el pozo se testifica el terreno identificado, se toman muestras estas pueden ser alteradas mismas que nos servirán para una descripción rápida en el área de estudio identificando características físicas como son color, textura, consistencia.

Además de ello, se debe llevar un registro fotográfico de los diferentes tipos de materiales encontrados y finalmente luego de haber levantado la información necesaria se restituyó el terreno vertiendo el material, previamente excavado, en el pozo.

Con toda la información recolectada en campo se procedió a realizar un tratamiento de los datos, mediante columnas estratigráficas, tabulación de datos mismos que nos servirán para la elaboración de la geología local.

Las muestras inalteradas que fueron recolectadas en campo y llevadas al laboratorio bajo el protocolo de muestro serán sometidas a una serie de ensayos mismos que nos servirán para determinar la resistencia y calidad de los materiales extraídos

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

### **Ensayos de Laboratorio**

Los ensayos se los realizó en el laboratorio Delta A+I. Ltda. de la ciudad de Yantzaza, los mismos que estarán basados en las normas NTE INEN y ASTM acorde lo dictamina el libro amarillo del Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador.

Los ensayos a realizar son los siguientes:

- Granulometría por tamizado
- Límites de Atterberg; Limite Plástico de un suelo e índice de plasticidad
- Contenido de Humedad de Humedad
- California Bearing Ratio (CBR)
- Proctor Estandar
- Resistencia a la abrasión
- Desgaste a los sulfatos

### **Cubicación de reservas**

El método elegido para realizar el cálculo de las reservas es uno de los métodos clásicos o geométricos conocido como método de los perfiles. Se ha elegido este método debido a que nos indica que posee varias ventajas como la facilidad de aplicación, comunicación y entendimiento, y facilidad de adaptación a todo tipo de mineralización.

Según Bustillo López (1997), fijo que estimar reservas por el método de los perfiles es una metodología clásica para saber la cantidad de recursos en un yacimiento metálico o no metálico. Se determinan las reservas por bloques apoyándose de cortes o perfiles verticales u horizontales delimitados por la mineralización para luego hallar el total de reservas.

El método de perfiles consiste en trazar perfiles verticales del yacimiento (calicatas) y calcular las reservas delimitados por dos perfiles para luego hallar la cantidad de reserva total



Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

## Fase 2

### Descripción de actividades

- **Etapa de Campo**

Al ser una área de libre aprovechamiento en donde el responsable de dicha área es el alcalde, el mismo que es reelegido cada 4 años, para la obtención de información con bases fundamentadas en registros, la descripción del área y de los procesos mineros realizados en el área de libre aprovechamiento *GADMZ Bombuscaro código 50001081* se realizó una entrevista a los encargados de la parte técnica y ambiental de las áreas de libre aprovechamiento pertenecientes al cantón Zamora.

- Ing. Mariuxi Cabos → Directora del Dpto. de Gestión Ambiental del GAD Municipal de Zamora
- Ing. Carlota Ramírez → Analista Técnico de Áridos y Pétreos
- Ing. Neison Ordóñez → Técnico de Áridos y Pétreos.
- Ing. Darío Veintimilla → Operador del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro

Posterior a ello en el área de estudio se llenó una ficha de trabajo en donde se hace constar la descripción de las instalaciones, maquinaria y actividades.

- **Etapa de Gabinete**

Una vez recopilada la información mediante la entrevista y la ficha técnica de las actividades se procedió a realizar los cálculos necesarios para obtener el ritmo de producción del área de estudio.

Dentro de los cálculos a realizar se tienen los siguientes:

- Tiempo de vida útil.

Para el cálculo de la vida útil se tiene en cuenta que este va a depender directamente de la cantidad de reservas explotables consideradas en el pit final.

$$T = \frac{R}{RP}$$

En donde:

**T**= Tiempo de vida útil

**R**= Reservas

**Rp**= Ritmo de producción

- Calculo de rendimiento de la maquinaria

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Para el cálculo del rendimiento de la maquinaria se tiene en cuenta la capacidad de la maquinaria, tiempo que demora la maquinaria en realizar un ciclo de trabajo, factor de conversión de hora a segundos, esto nos da como resultado el rendimiento teórico

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{Tc}\right)$$

En donde:

**QT**= Rendimiento Teórico

**E**= Capacidad

**Tc**= Tiempo por ciclo de trabajo

Luego de ello se calcula el rendimiento experimental o practico para ello se inicia tomando en cuenta el rendimiento teórico, coeficiente de llenado, peso específico considerando el coeficiente de esponjamiento del material, tiempo de trabajo ininterrumpido por turno que es igual 8 Horas, tiempo de para inevitable en un turno de 8 horas.

$$QTEX = QT \times KLL \times KT * \left(\frac{Tt}{Tt + Tp}\right)$$

En donde:

**QTex**= Rendimiento experimental de la maquinaria

**QT**= Rendimiento teórico

**KLL** = **Coeficiente** de llenado

**KT**= Peso específico

**Tt**= Tiempo de trabajo ininterrumpido (8 horas)

**Tp**= Tiempo de perdida (1 hora)

- Ritmo de producción:

El ritmo de producción es el resultado de la cantidad de material extraído en un periodo de tiempo, el ritmo de producción se lo puede calcular por hora, por día, mes o por año

$$RP = \frac{\text{Cantidad de Material Extraido}}{\text{Tiempo de trabajo}}$$

En donde:

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

**RP**= Ritmo de producción

- Tiempo de vida útil.

Para el cálculo de la vida útil se tiene en cuenta que este va a depender directamente de la cantidad de reservas explotables consideradas en el pit final.

$$T = \frac{R}{RP}$$

En donde:

**T**= Tiempo de vida útil

**R**= Reservas

**Rp**= Ritmo de producción

### **FASE 3**

#### **Optimización**

Posterior a haber cumplido con los objetivos antes planteados y de haber analizado los resultados obtenidos de los mismos se procedió a plantear el sistema de explotación más idóneo para nuestra área de libre aprovechamiento el mismo que debe cumplir que parámetros técnico-económicos estén beneficio del titular minero.

Para el diseño de las graveras o de los bancos así como sus dimensiones están basadas en el diseño propuesto por Calvo Pérez, (2017). Además de ello se considera las características físico-mecánicas del material y se correlaciona con los propuestos por González de Vallejo (2002) estos datos nos sirven para la elección de la mejor maquinaria para la extracción del material así como los índices de cohesión y ángulo de fricción valores que nos sirvan para la optimización en la zona de Stock

Consecutivamente se estudió las actividades que se desarrollan actualmente en el área de libre aprovechamiento, así como las instalaciones de las que dispone la misma, ese estudio y análisis nos permitió tomar en cuenta los parámetros, actividades, instalaciones que necesitaron ser tomadas en cuenta en la optimización.

Una vez definidos todos los parámetros a optimizar en el área de libre aprovechamiento se procedió a plantear un sistema de explotación optimizado en donde se vuelve a calcular todos los parámetros inmersos en el sistema de explotación y de esta manera finalmente obtener una estimación económica

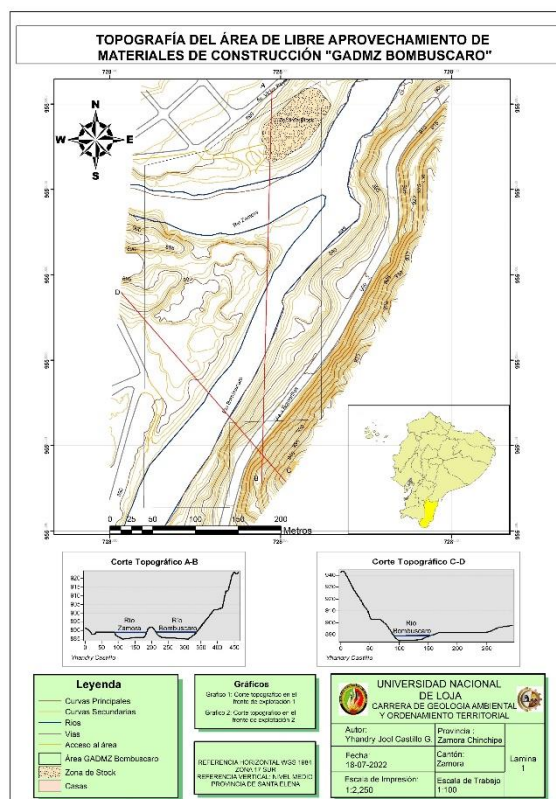
Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

con los procesos optimizados que comparados con el sistema de explotación actual deben ser mejores ya sea en aspectos economicos, tecnicos, o ambientales.

## Resultados

### 1. Topografía

Luego de haber levantado la topografía y haber procesado los datos se obtuvo que el área de libre aprovechamiento para materiales de construcción GADMZ Bombuscaro ubicada en el Sector Benjamín Carrión perteneciente al cantón Zamora con una extensión de 15 hectáreas se ubica dentro de una unidad fisiográfica con cotas que van desde los 845 msnm hasta los 947 msnm. Dentro del área de estudio se tiene un ascenso del relieve de 10.51% con dirección NW – SE lo que nos indica que el relieve es moderadamente inclinado.



**Figura 2:** Mapa Topográfico Área de Libre Aprovechamiento GADMZ Bombuscaro

El levantamiento topográfico nos permitió realizar un mapa de pendientes en donde se obtuvo como resultado que la mayor parte del área de estudio posee una pendiente comprendida entre 0 a 5°

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

ocupando el 57.86% del área total, de la misma manera ocupando un porcentaje del 19.37% del área total se encuentran las pendientes comprendidas de 5 a 15°.

## 2. Geología

Para el levantamiento geológico se inició con la caracterización de afloramientos circundantes al área de estudio.

Mediante la visita de campo se logró caracterizar 3 afloramientos los cuales se ubican en las coordenadas detalladas en la tabla # 2, mediante esta caracterización se logró levantar la geología local la cual se detalla a continuación.

**Tabla 2** Coordenadas de Afloramientos del área de libre aprovechamiento DATUM WGS 84

Afloramiento	Coordenada X	Coordenada Y
<b>1</b>	727869	9550227
<b>2</b>	728013	9550243
<b>3</b>	727880	9550005

El afloramiento 1 presenta una altura de 2.30 metros con un ancho de 190 metros está conformado por diferentes tipos de materiales como son, arenas limosas con clastos que van desde 7 cm hasta los 15 cm y arenas limosas con clastos de tamaño que van desde los 15 cm hasta los 32 cm, lo que podemos definir como un conglomerado.

El afloramiento 2 es de tipo antrópico, posee una altura de 21 metros y un ancho de 256,5 metros presenta una meteorización alta con un tipo de cobertura vegetal arbustiva, el material es tipo ígneo específicamente se determinó que es una andesita basáltica y intruida por una brecha volcánica y volcano sedimentaria pertenecientes a la unidad la Saquea.

De la misma manera el afloramiento 3 es de tipo antrópico producto de la abertura de una vía de segundo orden, el afloramiento tiene una altura de 16 metros y un ancho de 43 metros mismos que

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

están conformados por una brecha volcánica y volcano sedimentaria con intercalaciones de andesita basáltica, el afloramiento presenta una meteorización baja.

Además de ello para la obtención del material que se utilizó para los ensayos de laboratorio se lo extrajo de dos calicatas realizadas en el frente de explotación actual.

La calicata 1 tiene una profundidad de 1 m debido a que a esta profundidad se encontró el nivel freático lo que impidió continuar con la excavación ya que la calicata se llenaba de agua con rapidez. Seguidamente se presenta la columna estratigráfica de la calicata

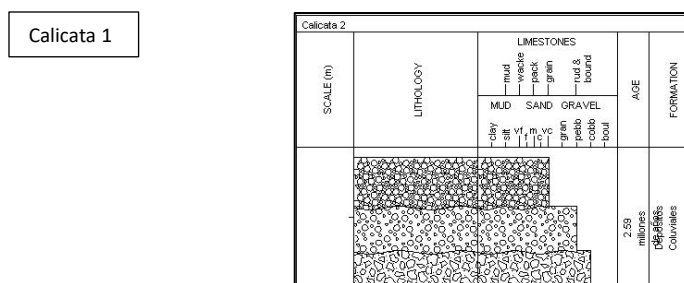


Figura 3 Columna Estratigráfica Calicata 1

La calicata 2 tiene una profundidad de 1.5 m, la misma que se la realizó en el frente de explotación actual, aquí se logró identificar un solo tipo de material el cual consiste en grava, misma que es producto del arrastre de la corriente, sin embargo, se consiguió notar diferentes granulometrías en dicha calicata, los resultados se presentan en la (Figura 4).

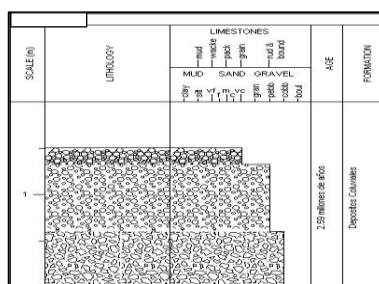
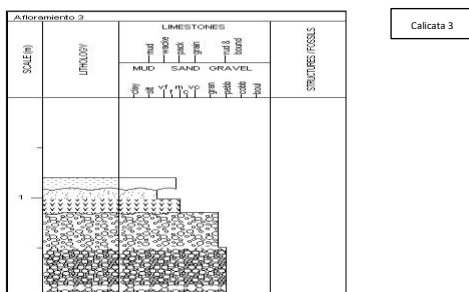


Figura 4 Columna Estratigráfica Calicata 2

Finalmente para lograr identificar el material presente en la zona de stock se realizó una calicata de tipo manual en las coordenadas DATUM WGS85 Y: 9550543 y X: 727979, en la que se logró

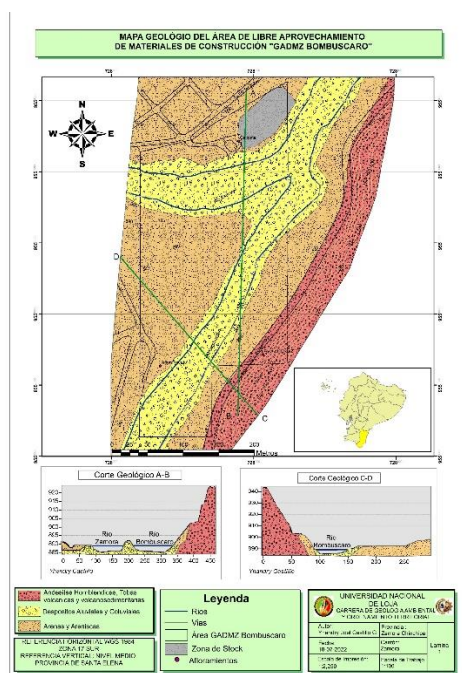
Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

identificar el material del subsuelo, la calicata se la realizó con una profundidad de 1.20 metros, en la que están presentes materiales como arenas, granodiorita meteorizadas, áreas con cantos rodados de diámetros menores a 6 cm y arenas con cantos rodados con diámetros entre 7 y 25 cm, en el siguiente gráfico se presenta la columna estratigráfica de la calicata.



**Figura 5** Columna estratigráfica calicata 3

Luego de haber sido levantada la geología local del área de estudio, se procedió a elaborar el mapa geológico, el mismo que nos permitió conocer el material presente.



**Figura 6** Mapa Geológico del área de estudio

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Al ser una escala detallada escala 1:1000 el mapa geológico representa las capas existentes en el área de estudio como son arenas, gravas, mismas que son el material de interés para el área de libre aprovechamiento.

### Ensayos de Laboratorio

Como se mencionó en el acápite de metodología los ensayos se los realizó en el laboratorio DELTA CIA Ltda. Ubicado en el cantón Yantzaza de la provincia de Zamora Chinchipe.

Los ensayos realizados en dicho laboratorio son: ensayo de granulometría, ensayo de índice de soporte California (CBR), ensayo de compactación Proctor, ensayo de Abrasión y ensayo de solidez en sulfato de sodio, a continuación, se presenta los resultados de los ensayos antes mencionados

**Tabla 3** Resultados de Ensayos de Laboratorio

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Abrasión</b>	36.2%
<b>CBR</b>	25.41%
<b>Limite Liquito</b>	0%
<b>Limite Plástico</b>	0%
<b>Índice de Plasticidad</b>	0%

### 3. Cubicación de Reservas

Antes de iniciar con la cubicación de las reservas se debe determinar los frentes de explotación y para ello se debe tener en cuenta diferentes características como:

- ❖ No se puede explotar sobre las terrazas en las que se encuentre la infraestructura del área de libre aprovechamiento o esté ubicada la zona de stock
- ❖ No se puede explotar sobre las terrazas que posean flora o fauna en peligro de extinción o tenga cultivos
- ❖ No se puede explotar sobre las terrazas ubicadas fuera del área de libre aprovechamiento.

Es por ello que el área de libre aprovechamiento posee dos frentes de explotación de los cuales se está extrayendo el material actualmente, sin embargo existe una terraza aluvial que posee las



Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

características para ser explotada pero debido a su difícil acceso ha sido descartada como frente de explotación.

El área de libre aprovechamiento posee dos frentes de explotación por lo que las reservas serán calculadas de ambos frentes como se detalla en la siguiente tabla

**Tabla 4** Cubicación de reservas del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro

<b>Frente de X</b>	<b>Y</b>	<b>Área m2</b>	<b>Prof.</b>	<b>V total (m3)</b>	
<b>Explo</b>			<b>calicatas (m)</b>		
<b>Frente 1</b>	727938	9550507	2504.40 mts	1.5	3756.6 m3
<b>Frente 2</b>	727870	9550190	3017.37 mts	1.5	4526.055 m3
			<b>Total</b>		<b>8282.6 m3</b>

El volumen total de material existente en el área de libre aprovechamiento es de 8282.66 m3 sin embargo este es el volumen total, mediante el análisis granulométrico realizado se obtuvo que el material aprovechable para el área de libre aprovechamiento representa el 84% de las reservas totales

$Reservas = Res. tot * \% de mat. aprovechables$

$$Reservas = 8282.66 * 84\%$$

$$Reservas = 6957.43 m3$$

#### 4. Descripción de actividades

Mediante la interpretación de las entrevistas realizadas al personal encargado de las áreas de libre aprovechamiento pertenecientes al cantón Zamora se obtuvo los siguientes resultados.

El área de libre aprovechamiento para materiales de construcción GADMZ Bombuscaro cuenta con un sistema de explotación a cielo abierto por bancos descendentes o graveras, las actividades se desarrollan vía húmeda con un arranque de material a una profundidad máxima de 2.5 mts.

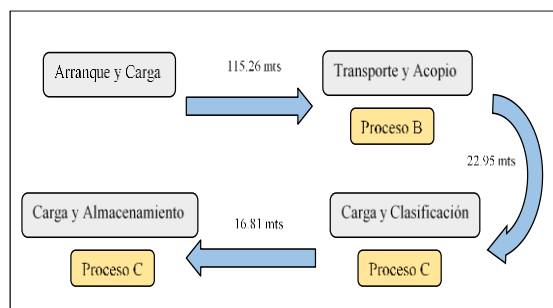
Las actividades que se desarrollan en el área son preparación, arranque, carga, transporte, clasificación, acopio y distribución a las obras del GAD municipal de Zamora de administración directa.

El material extraído es usado para la construcción de infraestructuras de administración directa del municipio, mantenimiento vial y para acceso al relleno sanitario.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Finalmente con respecto a la optimización del sistema de explotación los entrevistados acordaron que es necesaria su realización debido a que con dicha optimización se verá reflejada con un menor coste y mayor beneficio de la extracción del material, de la misma manera disminuirá los impactos generados por esta actividad como son polvo, ruido que afectan de manera directa al barrio Benjamín Carrión.

Luego de haber sido realizada la entrevista, se procedió a visitar el área de libre aprovechamiento para verificar los procesos mineros que se realizan en donde se tomaron tiempos de cada proceso como son arranque, carga, transporte, clasificación, almacenamiento, esta toma de tiempos se la realizó durante 3 ciclos de trabajo, en la (Figura 7) se sintetiza las actividades del área de libre aprovechamiento, así como la distancia existente entre cada actividad. Del levantamiento de información se obtuvieron los siguientes resultados.



**Figura 7** Distancia de actividades del área de libre aprovechamiento

**Tabla 5** Maquinaria que trabaja en el área de libre aprovechamiento

Cantidad	Modelo	Capacidad
1	Excavadora Caterpillar 324 DLN	1.42 m3
1	Cargadora Frontal Jhon Deer 544G	2.5 m3
2	Volquete Hino 700 Fs.	12 m3
1	Excavadora Caterpillar 320	1 m3
	Excavadora Caterpillar 323	1 m3
	Excavadora Liu Gong	1 m3
1	Volquete Nissan	12 m3

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

**Tabla 6** Tiempo promedio de las actividades realizadas en el área de libre aprovechamiento

<b>Tiempo promedio de Actividades</b>					
<b>Actividad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Ciclos</b>	<b>Tiempo Total (seg.)</b>
<b>Arranque</b>	Excavadora Caterpillar 324 DLN	1.8 m <sup>3</sup>	49	8	395
<b>Carga del material</b>	Excavadora Caterpillar 324 DLN	1.8 m <sup>3</sup>	47	8	379
<b>Transporte y descarga del material</b>	Volquete Hino 700 Fs.	14 m <sup>3</sup>	131	1	131
<b>Carga y clasificación</b>	Cargadora Frontal Jhon Deer 544G	2.5 m <sup>3</sup>	161	1	161

Seguidamente se procedió a realizar los cálculos correspondientes para determinar los rendimientos de la maquinaria además del ritmo óptimo de producción y el tiempo de vida útil del área de libre aprovechamiento es por ello que a continuación se describe cada una de las actividades.

### **Arranque y Carga del material**

Esta actividad se la realiza con la ayuda de la Excavadora Caterpillar 324 DLN, la misma dispone de una capacidad de 1.8 m<sup>3</sup>. La extracción se la realiza a una profundidad máxima de 2.5 metros debido a las regulaciones existentes en la explotación de áridos y pétreos.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### Capacidad real de la maquinaria

$$E_{real} = E * F_{llenado}$$

$$E_{real} = 1.42 \text{ m}^3 * 0.9 = \mathbf{1.278 \text{ m}^3}$$

### Calculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{T_c}\right)$$

$$QT = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{1.278 \text{ m}^3}{97 \text{ seg}}\right)$$

$$QT = \mathbf{47.431 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

### Calculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$QTEX = QT * KLL * KT * \left(\frac{Tt}{Tt + Tp}\right)$$

$$QTEX = 47.431 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 1.10 * 1 \text{ m}^3 * \left(\frac{4}{4 + 1}\right) = \mathbf{41.739 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

### Transporte y descarga del material

El cargado del material se lo hace directamente desde el frente de explotación, gracias al largo del brazo de la excavadora los volquetes no ingresan completamente a las terrazas ya que sufrirían un atascamiento.

Esta actividad se la realiza en dos volquetes Hino 700 Fs. de 14 m<sup>3</sup> de capacidad

Cabe recalcar que la capacidad del volquete es de 14 m<sup>3</sup>, sin embargo, su factor de llenado es de 0.9 debido a que el material no ocupa en su totalidad el cajón del volquete.

### Capacidad real del volquete

$$E_{real} = E * F_{llenado}$$

$$E_{real} = 14 \text{ m}^3 * 0.9 = \mathbf{12.6 \text{ m}^3}$$

### Velocidad media

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

$$V = \frac{0.115 \text{ km}}{0.0363 \text{ hora}} = \mathbf{3.16 \frac{\text{km}}{\text{hora}}}$$

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### Cálculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E \text{ real}}{Tc}\right)$$
$$QT = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{12.6 \text{ m}^3}{510 \text{ seg}}\right)$$
$$QT = 88.94 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

### Cálculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$Rve = \frac{60 * Cv * E}{Tc}$$
$$Rve = \frac{60 * 12.6 \text{ m}^3 * 0.8}{8.5 \text{ min}} = 71.15 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

### Carga y Clasificación

Se lo realiza mediante la cargadora frontal Jhon Deer 544G la cual posee una capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>. El área de libre aprovechamiento dispone de una criba de 335 cm de ancho x 300 cm de largo la cual dispone de una malla interna de 10 x 10 cm lo que nos permite que el material extraído de los bancos pueda ser clasificado en dos grupos, aquellos mayores a 10 cm y material menor a 10 cm.

### Capacidad real de la maquinaria

$$E \text{ real} = E * F_{\text{llenado}}$$
$$E \text{ real} = 2.5 \text{ m}^3 * 0.9 = 2.25 \text{ m}^3$$

### Velocidad media

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} = \frac{0.023 \text{ km}}{0.045 \text{ hora}} = 0.55 \frac{\text{km}}{\text{hora}}$$

### Calculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{Tc}\right) = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{2.25 \text{ m}^3}{161 \text{ seg}}\right)$$
$$QT = 50.31 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### Cálculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$Rcf = \frac{60 * E * Cv * K}{T * F * V}$$

$$Rcf = \frac{60 * 0.8 * 2.25 * 0.9}{3.05 \text{ min} * 0.90} = 35.41 \frac{m^3}{hora}$$

#### ❖ Ritmo de producción:

Luego de haber sido calculados los rendimientos de la maquinaria se procede a hacer el cálculo del ritmo de producción, que es el resultado de la cantidad de material extraído en un periodo de tiempo, el ritmo de producción se lo puede calcular por hora, por día, mes o por año.

$$RP = \frac{\text{Cantidad de Material Extraído}}{\text{Tiempo de trabajo}}$$

$$RP = \frac{333.84}{8 \text{ horas}} = 41.73 \frac{m^3}{hora}$$

#### ❖ Tiempo de vida útil

Para el cálculo de la vida útil se tiene en cuenta que este va a depender directamente de la cantidad de reservas explotables consideradas en el pit final.

$$T = \frac{R}{RP} = (6957.43 \text{ m}^3) / (41.739 \text{ m}^3/hora) = 166.72 \text{ horas}$$

#### ❖ Costos de producción

Al ser un área de libre aprovechamiento perteneciente al municipio del cantón Zamora, este es el encargado de asumir los gastos que conlleva las labores desarrolladas en nuestra zona de estudio.

Además de ello la explotación no es continua ni tampoco tiene un cronograma pre-establecido sumado a ello que los mismos trabajadores y maquinaria trabajan en las diferentes áreas de libre aprovechamiento a cargo del cantón Zamora, por lo que los sueldos de los trabajadores y mantenimiento de la maquinaria en su mayoría no son costos producto de la explotación del área de libre aprovechamiento.

El costo total que tiene la actividad de explotación es de 4802.61\$ costo que tiene incluido los sueldos de los trabajadores así como el costo del mantenimiento de la maquinaria.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### ❖ Costo por m<sup>3</sup> de material extraído

Finalmente, al realizar los cálculos se obtuvo que el área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro tiene una inversión mensual de 4802.61 dólares, laborando 12 días al mes lo que permite la extracción de un total de 4006.04 m<sup>3</sup> de material, por lo tanto, el costo por m<sup>3</sup> de material extraído se lo calcula de la siguiente forma:

$$\text{\$ m}^3 = \frac{\text{Inversión mensual}}{\text{Cantidad de material extraído mensualmente}}$$

$$\text{\$ m}^3 = \frac{4802.61 \text{ USD}}{4006.08 \text{ m}^3}$$

$$\text{\$ m}^3 = 1.198 \frac{\text{USD}}{\text{m}^3}$$

### Resultados tercer objetivo

Luego de haber obtenido la topografía, geología, cubicación del material disponible en el área, además de las actividades que se realizan y la maquinaria con la que se labora actualmente se puede definir que:

- El área de libre aprovechamiento se encuentra sobre terrenos llanos aluviales.
- La litología presente en el área de estudio corresponde arenas, depósitos coluviales siendo esta última el material de interés para el área de estudio
- La forma que presenta el yacimiento es de tipo lenticular y elongada de baja potencia. El material a extraer es denominado pétreos cuyos frentes de explotación son paralelos al río.
- Las reservas con las que cuenta el área de libre aprovechamiento son de 6957.43 m<sup>3</sup> sin embargo al ser un yacimiento aluvial las mismas son renovadas en las crecientes del río.
- La maquinaria que labora en el área es excavadora, volquetes, cargadora además de una clasificadora.

Esclarecidas las características del sistema de explotación actual se propone el análisis multicriterio de 2 sistemas de explotación para el área de estudio mismos que son elegidos bajo las siguientes condiciones:

- Adaptación al terreno del área de estudio
- Eficiencia y facilidad de ejecución
- Compatibilidad para extracción de material por vía húmeda

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

- Rentabilidad Económica
- Impactos ambientales y sociales

Análisis multicriterio de Sistemas de Explotación

### **Diques Longitudinales**

Los diques longitudinales son un sistema muy conocido en el campo de los materiales de arrastre. El beneficio principal de este sistema es, la buena producción que se puede obtener, por lo que la recaudación económica es alta. La parte negativa es que el impacto ambiental es alto, debido a que el dique longitudinal debe seguir a lo largo de río como su nombre lo indica. Los diques longitudinales están compuestos por una serie de materiales que están compactados, mismos que hacen de barrera para la acumulación de material arrastrado por el caudal del río, estos materiales usados en la barrera pueden ser muros de hormigones, muros de madera esto en dependencia del tamaño del material y fuerza del caudal.

### **Extracción paralela con pala hidráulica o retroexcavadora**

Este sistema de explotación es de extracción directa, consiste en extraer el material del lecho del río mediante un solo banco. Este sistema es usado para extraer en la zona seca del cauce o poca profundidad, sin embargo, también se puede trabajar parcialmente bajo agua. Para el arranque y carga de material se debe contar con retroexcavadoras o excavadoras. Y para el transporte se debe contar con: volquetas y una red de caminos temporales paralelos a la excavación. Entre sus ventajas tenemos la alta producción de material pétreo, además, la excavadora realiza una doble función de arranque y carga del material. Entre sus desventajas tenemos la erosión remontante del lecho del río. (UICN, 2009)

Analizadas las características de los métodos antes planteados y considerando los criterios productivos, ambientales y sociales se eligió el sistema de explotación a través de extracción paralela con pala hidráulica o retroexcavadora, iniciando porque geoméricamente se acopla a los frentes de explotación que dispone el área de libre aprovechamiento por lo que no se intervendrá de manera directa a lo que son los ríos, flora y fauna del sector, de la misma manera, la maquinaria que se dispone se acopla al sistema de explotación provocando que el costo de implementación se reduzca considerablemente, y finalmente al ser una área de libre aprovechamiento el sistema de explotación



Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

se puede acoplar al ritmo de producción de la zona de estudio y la rentabilidad no se verá afectada por los ritmos de producción.

### Implementación del sistema de explotación

#### Destape y preparación

La labor de destape consiste en desmontar o retirar la capa vegetal, presente en el área destinada a la extracción del material. Sin embargo, en nuestra área de estudio la labor de destape no aplica o es nula, puesto que no presenta vegetación.

La preparación hace referencia a mejorar las condiciones de los sitios para las obras complementarias, en este caso se utilizará la ampliación de la vía que corresponde al tramo del frente de explotación hasta la zona de stock del material.

Para ello se realizaron los cálculos para obtener el ancho de vía el mismo que está controlado por el ancho de la maquinaria más amplia, berma de seguridad y número de carriles.

Amplitud del carril = (Ancho de maquinaria \* 1.5m) + Berma de Seguridad

Amplitud del carril = (3.5m \* 1.5m) + 2m = 7.25m

Para el cálculo del peralte tenemos que tener en cuenta que la vía que conecta el frente de explotación con la zona de stock presenta una curva con radio de 3.09 m, una velocidad media de 3.5 km/hora además de que la vía al ser de arena gruesa con gravilla presenta un factor de fricción de 0.55 el peralte de la vía será calculado con la siguiente formula.

$$(N \cdot \sin \theta) / (N \cdot \cos \theta) = (m \cdot V^2 / R) / (m \cdot g)$$

Simplificando la formula obtenemos que:

$$(\sin \theta) / (\cos \theta) = V^2 / (g \cdot R) \therefore (\sin \theta) / (\cos \theta) = (3.5^2) / (9.8 \cdot 3.09) =$$

$$\text{Tg} \theta = 0.82 \therefore \theta = 22.02^\circ$$

En la extracción paralela por pala hidráulica o retroexcavadora no es necesario la conformación de bancos sin embargo, para tener un mayor control sobre la actividad extractiva se propone que con el uso de la excavadora se dimensionen los frentes de explotación con las medidas detalladas en la Tabla 22, esto se lo realiza con el fin de obtener un depósito natural de material cuyas dimensiones serán simétricas, además de permitir la implantación de un orden de explotación sistemático.

El área de libre aprovechamiento posee dos frentes de explotación por lo que las reservas serán calculadas de ambos frentes como se detalla en la siguiente tabla

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Para ello se propone la conformación de bancos descendentes en los frentes de explotación los mismos que tengan unas dimensiones simétricas para lograr obtener mayores reservas en el proceso de recarga del material proceso natural que se ejecuta en las crecidas del río.

Mediante el uso de la excavadora se formarán piscinas en los frentes de explotación con dimensiones detalladas en la **Tabla 15**, esto se lo realiza con el fin de obtener un depósito natural de material cuyas dimensiones serán simétricas, además de que nos permitirá implantar un orden de explotación sistemático por bancos descendentes.

**Tabla 7** Frentes de explotación propuestos

Frente de Explotación	X	Y	Longitud	Ancho	Área en m <sup>2</sup>	Prof. de calicatas (m)	Volumen total (m <sup>3</sup> )
<b>Frente 1</b>	727938	9550507	202.28	15.38	3111.26	1.5 m	4666.89
<b>Frente 2</b>	727870	9550190	169.26	36.28	6140.75	1.5 m	9211.13
<b>Total</b>							<b>13878.01</b>

**Nota:** Elaborado por el autor (2022)

### Arranque y Carga del material.

En el sistema optimizado se propone cambiar el cucharón de la excavadora por uno de mayor capacidad, específicamente un cucharón Doosan con capacidad de 2 m<sup>3</sup>, el cual es un cucharón tipo H con una dimensión con cortador de 1650 mm y la misma que soporta una fuerza de excavación nominal de 24.4 Toneladas fuerza o aumentada de 25.6 Ton/fuerza

### Capacidad real de la maquinaria

$$E_{real} =$$

$$E_{real} = E * F_{llenado} = 2 \text{ m}^3 * 1.1 = 2.2 \text{ m}^3$$

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### Cálculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{Tc}\right) = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{2.2 \text{ m}^3}{97 \text{ seg}}\right)$$
$$QT = 81.64 \text{ m}^3/\text{hora}$$

### Cálculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$QTEX = QT \times KLL \times KT * \left(\frac{Tt}{Tt + Tp}\right)$$
$$QTEX = 81.64 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \times 1.10 \times 1 \text{ m}^3 * \left(\frac{4}{4 + 1}\right) = 71.84 \text{ m}^3/\text{hora}$$

### Transporte y descarga del material

En esta actividad se proponen implementar lonas para cubrir el material cuando se lo trae de un frente de explotación alejado y de esta manera evitar la generación de material particulado

Además de ello, como propuesta de optimización se plantea el aumento del factor de llenado del volquete ya que actualmente tiene un factor de llenado de 0.9 y se propone un factor de llenado de 1.1

### Capacidad real del volquete

$$E_{real} = E * F_{llenado}$$
$$E_{real} = 14 \text{ m}^3 * 1.1 = 15.4 \text{ m}^3$$

De la misma forma en el rediseño de las vías internas del área de libre aprovechamiento se mejorará las vías por donde transita la maquinaria para realizar la descarga en la zona de stock, esto se lo realiza con el fin de que puedan aumentar la velocidad internamente en el área de libre aprovechamiento. Actualmente la maquinaria transita con una velocidad media de 3.16 km/h y se propone aumentar la velocidad a 5 km/h. Con el objetivo de transportar más cantidad de material hacia la zona de stock.

### Velocidad media

$$t = \frac{\text{Distancia}}{\text{Velocidad}}$$
$$t = \frac{0.115 \text{ km}}{5 \frac{\text{km}}{\text{hora}}} = 0.023 \text{ hora} = 82.8 \text{ seg}$$

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

### Cálculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{Tc}\right)$$
$$QT = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{15.4 \text{ m}^3}{411.8 \text{ seg}}\right)$$
$$QT = 134.62 \text{ m}^3/\text{hora}$$

### Cálculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$Rve = \frac{60 * Cv * E}{Tc}$$
$$Rve = \frac{60 * 15.4 \text{ m}^3 * 0.8}{6.86 \text{ min}} = 107.75 \text{ m}^3/\text{hora}$$

### Carga y Clasificación

Para la clasificación del material se propone la implementación de una criba vibratoria Modelo 3YA -1245 con las siguientes características:

### Factores de rendimiento y eficiencia

Para el cálculo del factor de rendimiento de la criba vibratoria debemos tener en cuenta que el producto que resulta del cribado puede variar en su granulometría debido a que las barras de la misma son ajustables y son estas las que determinan el tamaño del producto.

Para el factor de eficiencia tendremos en cuenta la granulometría del material tanto del mayor a 10cm y del menor a 10cm.

De acuerdo con el análisis granulométrico el 11% corresponde a materiales con un diámetro mayor a 10cm y el 89% corresponde al material menor a 10 cm.

Volumen de total de material	Vol. Material > 10cm	Vol. Material < 10cm
2.25 m <sup>3</sup>	0.25m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>
$Factor \ de \ rendimiento = 15 \frac{m^3}{hora} \times 11\% = 1.65 \frac{m^3}{hora} \ de \ material > 10 \ cm$		
$Factor \ de \ rendimiento = 15 \frac{m^3}{hora} \times 89\% = 13.35 \frac{m^3}{hora} \ de \ material > 10 \ cm$		

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

De la misma manera, para el cargado del material realizado por la cargadora frontal se recomienda aumentar el factor de llenado del cucharón, es decir, que aumente del 0.9 a 1.1 esto permitirá que dicha maquina logre realizar la clasificación del material de una manera más eficiente.

### Capacidad real de la cargadora

$$E_{real} = E * F_{llenado}$$
$$E_{real} = 2.5 \text{ m}^3 * 1.1 = 2.75 \text{ m}^3$$

### Cálculo de rendimiento de la maquinaria

$$QT = 3600 * \left(\frac{E}{T_c}\right)$$
$$QT = 3600 \left(\frac{\text{seg}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{2.75 \text{ m}^3}{161 \text{ seg}}\right)$$
$$QT = 61.49 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

### Cálculo de rendimiento experimental de la maquinaria

$$Rcf = \frac{60 * E * Cv * K}{T * F * V}$$
$$Rcf = \frac{60 * 0.8 * 2.75 * 0.9}{3.05 \text{ min} * 0.90} = 43.27 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

#### ❖ Ritmo de producción:

Luego de haber sido calculados los rendimientos de la maquinaria se procede a hacer el cálculo del ritmo de producción, que es el resultado de la cantidad de material extraído en un periodo de tiempo, el ritmo de producción se lo puede calcular por hora, por día, mes o por año.

$$RP = \frac{\text{Cantidad de Material Extraído}}{\text{Tiempo de trabajo}}$$
$$RP = \frac{574.72}{8 \text{ horas}} = 71.84 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

#### ❖ Tiempo de vida útil.

Para el cálculo de la vida útil se tiene en cuenta que este va a depender directamente de la cantidad de reservas explotables consideradas en el pit final.

$$T = \frac{R}{RP}$$

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

$$T = \frac{11657.53m^3}{71.84 \frac{m^3}{hora}} = 162.27 \text{ horas}$$

#### ❖ Costo por m<sup>3</sup> de material extraído.

Debido al aumento de la eficiencia de las maquinarias en el área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro no es necesario que se continúe laborando durante 12 días, debido a la propuesta de optimización se propone que se laboren 10 días en el área de libre aprovechamiento, esto nos permitirá que la maquinaria del municipio quede libre para que pueda intervenir en otros proyectos de administración directa del municipio de Zamora.

Finalmente, al realizar los cálculos se obtuvo que el área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro tiene una inversión mensual de 4264.69 dólares laborando 10 días al mes lo que permite la extracción de un total de 5747.2 m<sup>3</sup> de material por lo tanto el costo por m<sup>3</sup> de material extraído se lo calcula de la siguiente forma

$$\begin{aligned} \$ m^3 &= \frac{\text{Inversión mensual}}{\text{Cantidad de material extraído mensualmente}} \\ \$ m^3 &= \frac{4264.68 \text{ USD}}{5747.2 m^3} = 0.74 \frac{\text{USD}}{m^3} \end{aligned}$$

#### Discusión de Resultados

Mediante el presente trabajo investigativo se determinó que el material presente en el área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, corresponde a gravas de los depósitos coluviales, además de encontrar arenas y areniscas y finalmente andesita hornblendica correspondiente a la formación la saquea la misma que aflora en la parte sur-este de la zona de estudio, esta litología está relacionada con la geología regional del sector correspondiente a la carta geológica de Zamora a escala 1:100000. Para el cubicación del materia Jorge Espinoza (2019) en su trabajo de titulación realiza dentro de sus objetivos la estimación volumétrica de un depósito aluvial ubicado en el sector La Cruz, en el que, dado a la estructura plana, superficial, y regular del depósito, aplica con éxito una relación volumétrica simple, entre la superficie obtenida por levantamiento topográfico, y la profundidad media calculada por apertura de calicatas. Este mismo método fue aplicado en el presente trabajo investigativo donde el volumen de material aprovechable fue calculado mediante calicatas en campo

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

y en gabinete a partir de los cálculos correspondientes, donde se obtuvo un volumen de 6957.43 m<sup>3</sup> que representa el 84% de las reservas totales, mientras que el 16% restante es cedido a la comunidad, a diferencia de áreas de libre aprovechamiento de áridos nuestras reservas son renovables debido a los procesos de recarga por las crecidas de los ríos y de la misma manera estas reservas son las adecuadas para un ritmo de producción intermitente.

Para tener un conocimiento detallado del sistema de explotación actual, se realizó la aplicación de una entrevista a técnicos responsables del área, y a su vez, esta información fue corroborada en campo en donde, se levantó información topográfica, geológica y de parámetros técnicos mineros los cuales luego del análisis e interpretación nos presentan que el sistema de explotación no es ordenado ni sistemático, iniciando desde los frentes de explotación en donde los bancos utilizados para captar el material y regenerar las reservas son explotados desordenadamente, de la misma manera en las actividades de extracción y carga no se aprovecha toda la capacidad de la maquinaria, así mismo, las vías que conectan el frente de explotación con la zona de stock dificultan la circulación de la maquinaria lo que se refleja en el bajo rendimiento productivo del área.

Para la elección del sistema de explotación Fernanda León (2017) en su trabajo de titulación propone un sistema de explotación mediante tajos paralelos esta propuesta esta basada en la topografía, geología, geomorfología y batimetría del área de estudio. Bajo estas condiciones en el presente trabajo se propone utilizar un sistema de explotación similar con la diferencia de que en nuestra propuesta se hace un acondicionamiento de los frentes de explotación para tener un mayor control en la extracción. El sistema de explotación elegido para realizar la optimización es “Extracción paralela con pala hidráulica o retroexcavadora” por lo que queda demostrado que este sistema de explotación es adecuado para ser aplicado en la explotación de materiales de construcción (pétreos)

Iniciando la propuesta de optimización con los frentes de explotación actualmente se explota un solo frente de explotación debido a que en el segundo frente existe un conflicto social incitado por el mal arranque del material que ha generado socavones en el lecho del río, provocando impactos sociales, por lo que se propone modificar los frentes de explotación, las dimensiones propuestas para el primer frente es de 202.3 mts x 15.4 mts y en el segundo banco es de 169.3 x 36.3 la explotación de los bancos será longitudinalmente y se hará en una sola sección esto con el fin de no modificar el fondo del río, y tener un arranque del material más sistemático y organizado.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

Si bien es cierto las áreas de libre aprovechamiento no disponen de material para la venta sin embargo el valor por m<sup>3</sup> de material extraído nos permite verificar si la propuesta de optimización es viable o no para su aplicación, luego de levantar información sobre los procesos mineros actuales se obtuvo un ritmo de producción de 41.73 m<sup>3</sup>/hora con un costo de operación de 1.198 USD/m<sup>3</sup>, con las propuestas de optimización se volvieron a realizar los cálculos teniendo un nuevo ritmo de producción de 71.84 m<sup>3</sup>/hora el cual nos da un costo de operación de 0.74 USD/m<sup>3</sup>.

### Conclusiones

El área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe dispone de una superficie de 15 Ha, dentro de las mismas se dispone de dos frentes de explotación, de los cuales uno se explota actualmente, además de ello, cuenta con una zona de stock.

Las principales carencias del sistema de explotación actual se centran en una explotación anti técnica, desordenada en el desarrollo de las operaciones mineras, y un desaprovechamiento de la capacidad de la maquinaria.

La zona de estudio presenta una fisiografía con cotas que van desde los 845 msnm hasta los 947 msnm, lo que corresponde a una pendiente moderadamente inclinada.

La geología del área de libre aprovechamiento está conformada por depósitos coluviales y aluviales además de arenas y areniscas, sin embargo, al SE afloran andesitas hornbléndicas.

Actualmente solo se extrae material de un frente de explotación, debido a problemas sociales, en este frente el material predominante son los depósitos aluviales y coluviales, material que es depositado gracias al río Zamora y al río Bombuscaro.

La cubicación de las reservas se lo realizó mediante el método de los perfiles, a través de las calicatas realizadas en campo, en donde se obtuvo unas reservas totales de 6957.43 m<sup>3</sup> siendo estas reservas renovables además de ello, para la obtención de las reservas se utilizó una profundidad de 1.5 metros ya que esta es la profundidad máxima que se puede extraer material de un lecho de río de acuerdo a la normativa vigente.

El sistema de explotación actual se lo realiza mediante bancos descendentes, sin embargo se plantea un sistema de explotación denominado “Extracción paralela con pala hidráulica o retroexcavadora” ya que es el más ideal para ser ejecutado en nuestra zona de estudio debido a que se acopla tanto a las



Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

condiciones topográficas, geológicas, y a las reservas disponibles actualmente así como al ritmo de producción que poseen las áreas de libre aprovechamiento.

La optimización del sistema de explotación propuesta está orientada en aumentar la producción en el frente de trabajo así como de habilitar los otros dos frentes de explotación para lo cual se debe resolver los problemas sociales que presenta la concesión.

Para lograr aumentar la producción de los frentes de trabajo se lo realizó aumentando la capacidad del cucharón, es decir, cambiándolo por uno de mayor capacidad, pasando de 1.8m<sup>3</sup> a 2.5m<sup>3</sup> teóricamente esto aumentará el ritmo de producción de la excavadora y disminuirá el precio de extracción, este cambio es posible ya que el cucharón actual tiene un peso de 1218 kg y el peso del cucharón cambiado es de 1684 kg el cual no excede la capacidad máxima de carga del brazo de la excavadora.

Además de ello, en la propuesta de optimización se implementa una criba vibratoria para disminuir los tiempos en la etapa de clasificación así como aumentar las velocidades de trabajo de los volquetes y cargadora frontal, esto con el objetivo de aprovechar las capacidades de la maquinaria, aumentar el ritmo de producción y disminuir los costos de producción.

Los costos de producción actuales son de 1.198 USD/m<sup>3</sup>, con las propuestas de optimización se volvieron a realizar los cálculos y se obtuvo un costo de operación de 0.74 USD/m<sup>3</sup>.

Finalmente, como medidas auxiliares para el sistema de explotación, se propone un mejoramiento de la vía que conecta el frente de trabajo con la zona de stock, lonas para los volquetes y así evitar la caída del material, señaléticas y una mejor organización de la zona de stock que facilite la maniobrabilidad de la maquinaria.

## Referencias

1. ALONSO, T. B. (2019). ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS CON EL USO DE SOFTWARE MINERO PARA LA EXPLOTACION DEL PROYECTO MINERO "DON JAVIER". UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.
2. CODELCO. (2016). Metodología de clasificación de Recursos y Reservas. Gerencia de Recursos Mineros CODELCO.
3. Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgica CODIGEM. (1996). Hoja Geológica de Zamora. edepot.wur.nl: <https://edepot.wur.nl/486771>

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

4. GAD Zamora. (2016). INFORME SEMESTRAL DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA AUTORIZADA PARA EL LIBRE APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PARA OBRAS PÚBLICAS DENOMINADA “EL TABLÓN GMZ.”, CODIGO 592157. Informe Semestral de Producción “EL TABLÓN GMZ.”. Zamora: GAD Zamora.
5. GlobalMediterranea. (29 de Junio de 2018). LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS MEDIANTE DRON. [www.globalmediterranea.es:https://www.globalmediterranea.es/levantamientos-topograficos-mediante-dron/](http://www.globalmediterranea.es:https://www.globalmediterranea.es/levantamientos-topograficos-mediante-dron/)
6. Gutiérrez de Lopez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. <https://doi.org/958-9322-82-4>
7. Herrera Herbert, J. (2006). Metodos de minería a cielo abierto. Universidad Politecnica de Madrid departamento ded Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterranas. <https://doi.org/10.20868>
8. Herrmman, C., & Zappettini, E. O. (2014). Recursos, Minerales, Minería y Medio Ambiente (4ta ed.). Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. <https://doi.org/0328-2325>
9. INEGI Mexico. (s.f.). Modelos de elevación digital. [www.inegi.org.mx:https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf](http://www.inegi.org.mx:https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf)
10. Infaimon. (29 de Enero de 2018). Optimización de Recursos. [blog.infaimon.com:https://blog.infaimon.com/optimizacion-de-recursos/](http://blog.infaimon.com:https://blog.infaimon.com/optimizacion-de-recursos/)
11. Instituto Geologico Militar. (07 de 2013). Manual-Especificaciones-Técnicas-Escalas-Pequeñas. <https://www.geoportalignm.gob.ec:https://www.geoportalignm.gob.ec/portal/wp-content/uploads/2013/07/Manual-Especificaciones-Técnicas-Escalas-Pequeñas.pdf>
12. Ley de Minería. (2018). Ley de Minería. Quito: Ley 45, Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene.-2009.
13. Lopez Aburto, V. M. (2003). Fundamentos para la explotación de minas. México, UNAM, Facultad de Ingeniería.
14. López Jimeno, C. (1998). Manual de Prospección , Explotación y Aplicaciones. LOEMCO. [https://doi.org/8496140067\\_9788496140066](https://doi.org/8496140067_9788496140066)
15. LuLuis González de Vallejo. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.

Optimización del sistema de explotación para la extracción de materiales de construcción del área de libre aprovechamiento GADMZ Bombuscaro código 50001081, sector Benjamín Carrión cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

---

16. Manga Castilla, J. M. (2013). Etapas de la minería a cielo abierto. Corporación Bolivariana del Norte.
17. Mexicano, S. G. (22 de Marzo de 2017). [www.sgm.gob.mx](http://www.sgm.gob.mx).  
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/El-ciclo-de-las-rocas.html>
18. Meza Linares, D. E. (2017). Metodología para el cálculo de reservas en minas a cielo abierto utilizando drones. Universidad Nacional Autónoma de México.
19. Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). [sgm.gob.mx](http://sgm.gob.mx).  
[https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Yacimientos-minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html)
20. sisinternational. (10 de Abril de 2021). [www.sisinternational.com](http://www.sisinternational.com). La investigación cuantitativa: <https://www.sisinternational.com/investigacion-cuantitativa/>
21. Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra. PEARSON EDUCACIÓN S. A. <https://doi.org/10.1016/B978-0-203-04998-3>
22. Taylor, S., & Bogdan, R. (1987). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Buenos Aires: Paidós SAICF.
23. Torres Nieto, A., & Villate Bonilla, E. (2001). Topografía. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería. <https://doi.org/10.1016/B978-958-8060-12-5>
24. Valera, R. (2014). Manual de Geología. Universidad Nacional de La Plata - CONICET.