

Ordenamiento de la minería de materiales para la construcción en Namibe (Angola): escombrera para la cantera Bibala

Management mining of construction materials in Namibe (Angola): dump for Bibala quarry

Diosdani Guerrero-Almeida^{1*}, Teresa Hernández-Columbié¹, Igor Fernández-Damiao³

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

²Empresa cantera Bibala, Luanda, Angola.

*Autor para correspondencia: dguerreroa@ismm.edu.cu

Resumen

El trabajo aborda el ordenamiento de la actividad minera en la provincia angolana de Namibe, en el caso particular de la cantera Bibala, de donde se extrae grava, polvo de piedra, rajón triturado y arcillas para la construcción. El propósito fue diseñar y habilitar una escombrera para disponer los residuos del laboreo minero a fin de ordenar la disposición del estéril y minimizar los impactos ambientales negativos. La selección del sitio para la ubicación de la escombrera se basó en el valor del índice de calidad (Qe) obtenido para dos zonas (A y B) localizadas dentro de la concesión minera, lo que permitió seleccionar la zona A como el lugar propicio, de acuerdo con los requerimientos ambientales, de seguridad y riesgos, establecidos para esta región. La escombrera contribuye a ordenar la actividad minera en la cantera Bibala al darle uso a una zona subutilizada de la propia concesión, a la vez que reduce el impacto ambiental negativo por el vertimiento desordenado de los escombros y hace más eficiente el transporte al acortar la distancia de acarreo del estéril.

Palabras clave: ordenamiento minero; gestión ambiental; cantera Bibala; diseño de escombrera.

Abstract

Present study deals with the ordering of mining activity in Namibe, Angolan province in the particular case of Bibala quarry from which stone dust, gravel, crushed stone and clays for construction are extracted. The purpose of the present study was to design and enable a dump for disposing the mining tillage waste with the purpose of ordering the disposal of waste and minimizing negative environmental impacts. Selecting the site for locating the dump was based on the value of quality index (Q_e) obtained for two zones (A and B) located within the mining concession, which allowed selecting zone A as the suitable place, in accordance with the environmental, safety and risk requirements established for this region. The dump contributes to organize mining activity in the Bibala quarry by giving use to an underused area of concession itself, while reducing the negative environmental impact provoked by disorderly dumping of rubble and making transportation more efficient by shortening the distance of carrying the sterile.

Keywords: mining order; environmental management; Bibala quarry; dump design.

1. INTRODUCCIÓN

El ordenamiento del territorio permite hacer un aprovechamiento óptimo de las potencialidades de una región geográfica. Constituye la proyección en el espacio de las políticas social, ambiental, cultural y económica de una sociedad, cuyas estrategias implican usos y aprovechamientos del suelo (Montero-Matos, Otaño-Noguel y Guerrero-Almeida 2016).

Sin embargo, el ordenamiento del territorio en la esfera de la minería ha sido limitado en algunos países, por lo que se requieren decisiones relativas a la planificación, diseño, evaluación, ubicación y gestión de los recursos naturales que permitan organizar dicha actividad (Almeida 1999; Zoido 2006; Troitiño 2009; Gómez-Orea y Gómez-Villarino 2014; Guerrero-Almeida *et al.* 2014; Guerrero-Almeida, Guilarte y Montero-Matos 2016; Montero-Matos, Otaño-Noguel y Guerrero-Almeida 2016; Díez y Hernández 2016).

En la República de Angola, una de las actividades mineras que demanda ser ordenada es la explotación de las canteras de materiales para la construcción (mármol, calcáreos, yeso y agregados), pues constituyen un tipo de recurso generalmente caracterizado por su abundancia en la naturaleza, calidades naturales, baja mecanización y proximidad de los centros de consumo, en el que se emplea la minería a cielo abierto (Che-Viera y Guerrero-Almeida 2019).

En los últimos años, la explotación minera de las canteras de la República de Angola se ha tornado imprescindible y se ha expandido, estimulada por el descubrimiento de nuevos yacimientos o la actualización de sus reservas, así como por el crecimiento económico e industrial y por el desarrollo tecnológico (Ministerio de Geología y Minas 2016). De ahí que sea de vital importancia para su sostenibilidad la aplicación del concepto de ordenamiento minero territorial (Guerrero-Almeida, Guilarte y Montero-Matos 2016).

Un lugar destacado en la explotación de canteras en Angola lo tiene la provincia de Namibe, la cual, a través de la compañía Terponte S.A., explota y transforma la masa mineral que se destina a la producción de agregados de materiales para la construcción, tanto para el consumo interno como para la comercialización a terceros. Su producción principal es de alrededor de 320 t/h de grava, polvo de piedra, rajón triturado y arcillas, provenientes de la cantera Bibala.

El incremento de la productividad del trabajo y de la eficiencia de la producción de minerales en Terponte S. A. trae aparejados problemas ambientales relacionados con el volumen de escombros que desde hace años generan (cerca del 5 % de su producción) al no disponer de requerimientos minero-ambientales para su almacenamiento (Fernández 2017). En este contexto se sitúa el problema que aborda el presente trabajo, el cual tiene como objetivo diseñar una escombrera para contribuir con el ordenamiento minero de la cantera Bibala, y con ello minimizar los impactos ambientales negativos existentes en esa zona minera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante el método histórico-lógico se identificaron los antecedentes del tema de ordenamiento minero territorial y el diseño de escombreras; los métodos de análisis-síntesis e hipotético-deductivo se aplicaron para alcanzar una profundización en el conocimiento del objeto de estudio y precisar sus múltiples relaciones y comportamientos.

Para la ubicación geográfica de la concesión minera se utilizó el Google Earth y para el diseño de la escombrera, el Autocad 3D. Se aplicó, además, la medición, observación y técnicas estadísticas para el análisis del comportamiento geomecánico del material acumulado.

La propuesta de diseño de la escombrera se realizó a partir de la aplicación de la metodología de Fernández (Figura 1), resultante de una investigación para optar por el título de Máster en Minería (Fernández 2017). La metodología incluye la caracterización de la zona, selección del área, diseño,

construcción, desarrollo y monitoreo de la escombrera y plan de medidas para prevenir los impactos ambientales que se generan.

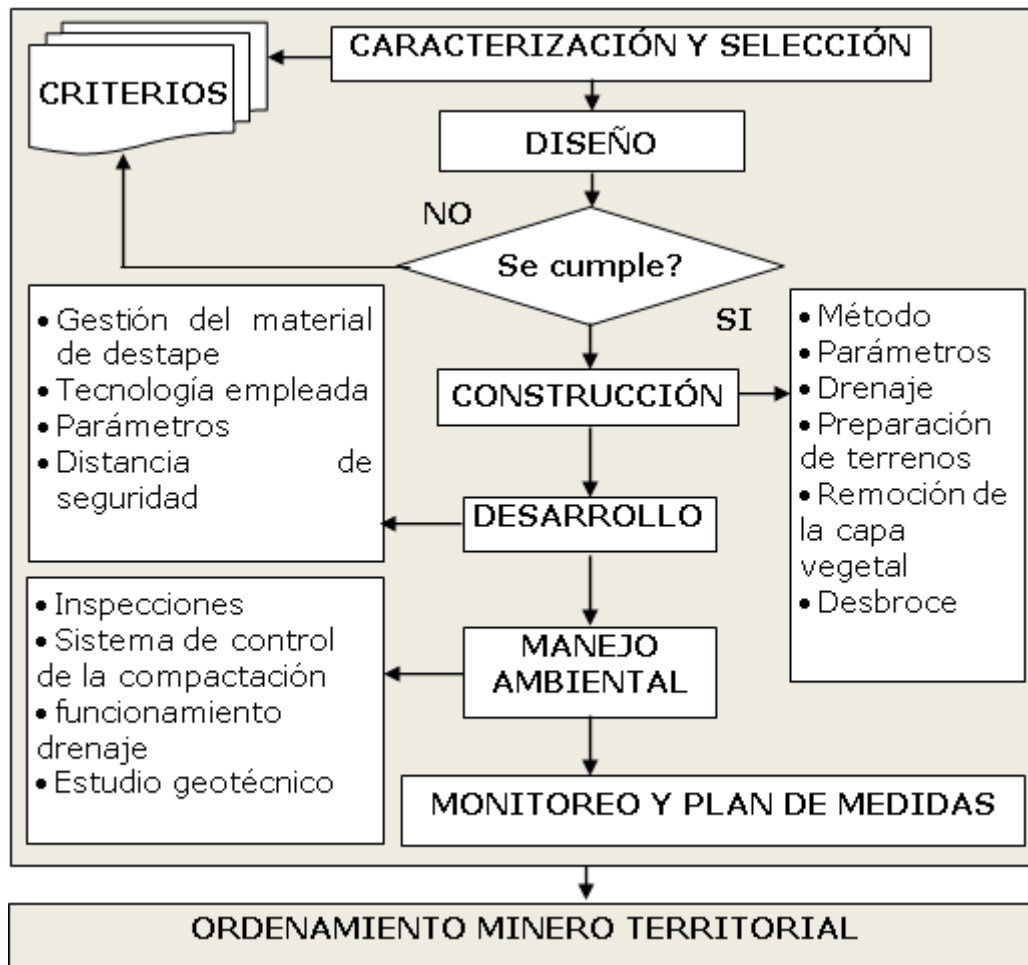


Figura 1. Metodología para el diseño de la escombrera Bibala (adaptado de Fernández 2017).

En el chequeo y evaluación del funcionamiento de los procesos productivos mineros se aplicaron los métodos de observación y la entrevista, así como el análisis de documentos. Los dos primeros para chequear y evaluar el funcionamiento general de los procesos mineros que se llevan a cabo en la cantera Bibala, y el último para conocer los cambios evolutivos experimentados por las tecnologías aplicadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la región de estudio

La región de Bibala, donde se ubica la cantera homónima, está situada en la franja costera de la República de Angola, en una superficie de erosión cuya altitud oscila entre 500-600 m. Tiene una extensión superficial de 7 612 km² y una población de 57 401 habitantes. Tiene fronteras al norte con el

municipio de Camacuyo; al este con la provincia de Huíla, municipios de Quilengues, de Cacula, de Lubango y de Humpata; al sur con el municipio de Virey; y al oeste con el municipio de Namibe.

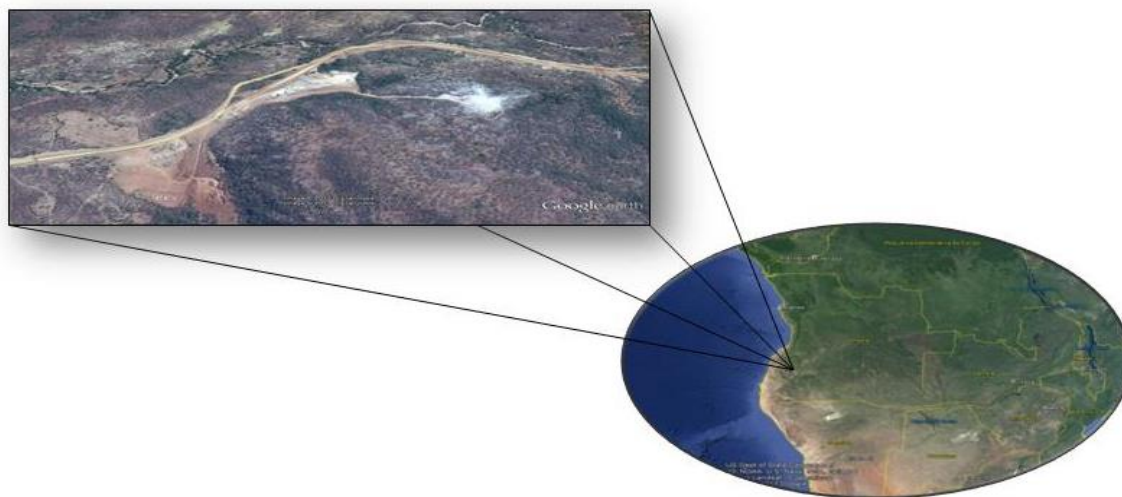


Figura 2. Ubicación geográfica de la cantera Bibala, Namibe. República de Angola (Tomado de Google Earth).

El clima de Bibala es tropical seco, con una temperatura media de 26 °C. Se caracteriza por la presencia de dos periodos, el de lluvias (octubre-abril) y un periodo de seca que va de mayo a septiembre. Existen redes hidrográficas que atraviesan el territorio, el cual está bañado por los ríos Curoca, Cunene. En la región existen sabanas como vegetación dominante y el relieve está cubierto por suelo vegetal, cuyo grosor varía entre 0,5 m y 1,5 m (Figura 2).

La mayoría de la población compone el complejo socio-cultural Mucubal. Su lengua es el Nianeka-Umbi, Herero y Mumuila. En la región se desarrollan actividades agrícolas, ganaderas, la pesca y la extracción de materiales para la construcción (agregados explotados en canteras, arenas y arcilla), y otros recursos como caolines, yeso, asfalto (roca asfáltica), cal, cuarzo, hierro, feldespatos y mica.

El granito proveniente de la cantera Bibala se utiliza ampliamente en pavimentación y revestimientos por su gran duración y adherencia, en forma de adoquines y losas.

Al área en estudio se accede a través de las carreteras Sierra de Ekimina y Sierra de La Leba que conectan la comuna de Ekimina y el municipio de Bibala, por el ferrocarril o por vía marítima a través del puerto de Namibe.

3.2. Caracterización geológica

En la zona se encuentra el granito como la roca plutónica por excelencia, muy abundante y de apariencia cristalina (Figura 3). Existe gran cantidad de pequeñas hojas de micas, debido a la forma alterada de esas rocas, cuyo espesor del filón oscila entre 1-2 m (Ministerio de Geología y Minas 2016); existen cuerpos de moscovita de 2 cm a 10 cm de espesor y 25 a 79 cm de longitud, casi siempre insertados en el feldespató.



Figura 3. Rocas graníticas de la cantera Bibala (tomado de Fernández 2017).

3.3. Labores mineras

Durante los trabajos de movimiento de tierra se construyó un camino de 10 m de ancho a partir del terraplén que da acceso al yacimiento, de forma tal que permita la circulación de los equipos, vehículos y personas. Los trabajos de desbroce se realizan con ayuda de un Buldócer D9H, de la firma Caterpillar. Esta operación es una de las que produce mayor cantidad de escombros, sin que se tenga un lugar específico para su vertimiento, ni un ordenamiento territorial minero, por lo cual la dirección de la unidad minera lo distribuye de forma desordenada dentro de su concesión.

Seguidamente se inician las operaciones de trazado de los frentes de destape de las rocas de menor calidad. La separación de la mena del macizo se realiza a través de la perforación y voladura. La carga del material es efectuada con ayuda de la excavadora hidráulica o el cargador frontal, de las firmas Caterpillar y Volvo, respectivamente. Los trabajos de laboreo en la cantera incluyen, además, la extracción del estéril y el arranque de minerales.

El sistema de explotación aplicado en este yacimiento está asociado a una minería a cielo abierto escalonada (Figura 4) cuyo método, en dependencia del lugar donde se explota, es sin profundización y unidireccional (Ministerio de Geología y Minas 2016). Los principales parámetros del sistema de explotación son: altura (h) 8 m, talud del escalón (75° - 80°) ancho de la banda de excavación (12 m), longitud del frente de trabajo (35 m), longitud del frente mineral (22 m), longitud del frente de destape (100 m), longitud total del frente de trabajo (180 m).



Figura 4. Explotación a cielo abierto de la cantera Bibala (Fernández 2017).

3.3.1. Principio del formulario

El arranque se realiza con explosivos y el método de explosión utilizado es a precorte con el uso del Anfo como carga de fondo y Riogel Kupula como carga de columna. Los barrenos se perforan inclinados (75° - 80°) y paralelos al talud del escalón. El disparo es eléctrico, utilizando detonadores microretardados de 25 ms y ubicando un detonador por barreno. Estos son perforados con la carretilla Atlas Copco Roc D7 hidráulica.

La tecnología empleada durante las operaciones de carga y transporte del mineral y el escombro está constituida por una excavadora (Doosan 340 LCV) y camiones basculantes (Volvo A40 D), destinándose uno de ellos como camión cisterna para regar los caminos mineros. El plan de producción anual es de 600 000 t ($226\ 400\ m^3$ "in situ") y se prevé una vida útil de la cantera de unos 50 años a partir de las reservas calculadas (29 000 000 t) (Ministerio de Geología y Minas 2016).

3.4. Selección del emplazamiento

En esta etapa se analizaron dos posibles sectores localizados en la concesión minera: zona A y B (Figura 5), a partir de criterios relacionados con la calidad del terreno, su geología y capacidad portante; distancia de transportación del escombro; integración y rehabilitación de la estructura en el entorno; el drenaje; impactos ocasionados; así como posibles riesgos sobre las operaciones y comunidades mineras.



Figura 5. Sectores evaluados para emplazamiento de escombrera en la cantera Bibala (Fernández 2017).

A cada sector se le determinó el índice de calidad (Q_e) para medir la resistencia de la cimentación donde se construiría la escombrera, el nivel freático, las pendientes del terreno, las modificaciones al drenaje; así como los posibles riesgos que pudiesen generarse por la construcción de la obra. Para determinar los parámetros que definen Q_e se tomaron en cuenta las investigaciones realizadas por Hernández-Columbié y Ulloa-Carcasses (2014), Hernández-Columbié y Guardado-Lacaba (2014) y Hernández-Columbié (2015), Senga (2016) y Fernández (2017). La expresión matemática aplicada fue la siguiente:

$$Q_e = a \cdot (\beta \cdot \theta)^{(\delta \cdot \eta)} \quad (1)$$

Donde:

a : Factor de alteración de la capacidad portante del terreno debido al nivel freático.

β : Factor de resistencia de la cimentación.

θ : Factor topográfico o de pendiente.

δ : Factor de alteración de la red de drenaje.

η : Factor relativo al entorno humano y material a ser afectados.

El sector A se caracteriza por ser un área no mineralizada, su topografía es de mediana complejidad al encontrarse ubicada en la ladera este del frente de explotación actual (cantera), con una escasa vegetación. Su parte central está compuesta por una semiplanicie y un afloramiento de rocas duras sanas, existiendo un recubrimiento de una capa vegetal inferior a los 0,50 m, lo que constituye un cimiento con condiciones muy favorables para este tipo de obra minera (Fernández 2017).

Al este se destaca la presencia de una carretera que rodea la zona, la que es muy estable, lo que garantiza la suficiente seguridad ante posibles roturas de sus elementos constructivos. La zona A se encuentra a 120 m del frente de explotación. Su Q_e fue de 0,56 lo que la clasifica como adecuada para el emplazamiento de la escombrera para estructuras de volumen moderado (Tabla 1).

El sector B está formado por pendientes suaves, sin embargo, por encontrarse a más de un kilómetro del frente de explotación (cantera) y a menos de 150 m del polvorín, lo ubican en una situación muy riesgosa para realizar operaciones de construcción de una escombrera a tan escasa distancia. El análisis de su Q_e alcanzó un valor de 0,19; por lo que lo califican como no adecuado (mediocre) para emplazar la escombrera (Tabla 1).

Tabla 1. Valor del índice de calidad Q_e (Hernández-Columbié 2015)

VALOR de Q_e	EMPLAZAMIENTO
$1 < Q_e < 0,90$	Óptimo para cualquier tipo de estructura Tolerable para estructura de gran volumen
$0,90 < Q_e < 0,50$	Adecuado para estructuras de volumen moderado
$0,50 < Q_e < 0,30$	Tolerable
$0,30 < Q_e < 0,15$	Mediocre
$0,15 < Q_e < 0,08$	Malo
$Q_e < 0,08$	Inaceptable

3.5. Diseño de la escombrera

El diseño de la escombrera en la zona A se realizó a través del AutoCAD 3D. El área es de 120 000 m², posee un solo banco cuya altura (H) es de tres metros y el ángulo del talud coincide con el de reposo del material

almacenado (37°), al considerar la estabilidad y el riesgo de rotura de la misma (Figura 6).

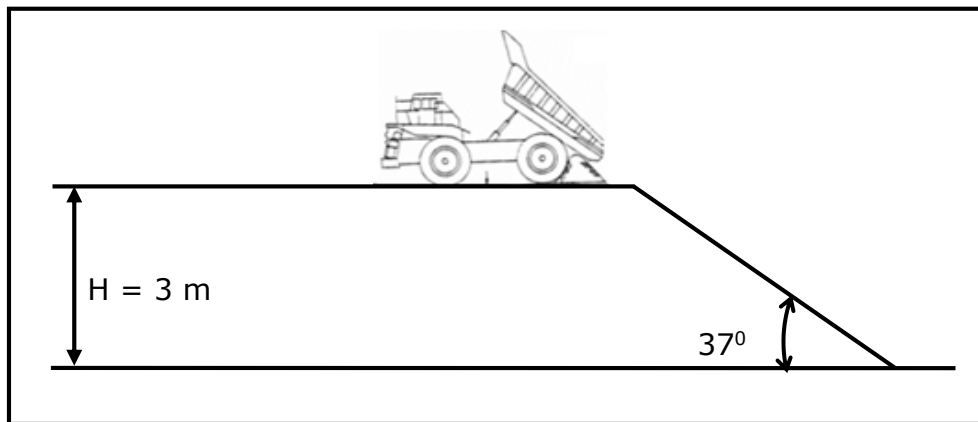


Figura 6. Principales parámetros constructivos de la escombrera (Fernández 2017).

3.6. Construcción de la escombrera

Se propuso como método de construcción el de fases ascendentes, en el cual el pie de cada plataforma estará soportado por la plataforma inferior, lo que favorece la estabilidad de la estructura. Para su elección se tuvo en cuenta la distancia de transporte (120 m), forma de vertido, grado de accesibilidad, capacidad disponible y estabilidad requerida. Se construyó una escombrera de un solo banco, la cual abarcó un área de unos 120 000 m², el material está conformado por capas de 0,50 m, compactadas con rodillos vibratorios, que garantizan un incremento de la densidad del material y de la resistencia de la plataforma que constituye el banco, con esto se asegura el futuro recrecimiento de la escombrera de forma estable (Figura 7).



Figura 7. Labores de construcción de la escombrera (Fernández 2017).

Como la obra propuesta está próxima a una vía de acceso principal, se dejó unos 50 m de franja de seguridad entre ambas para garantizar la seguridad de la vía ante la ocurrencia de un deslizamiento o accidente. Los trabajos de drenaje para el control de la erosión fueron ejecutados antes de la apertura de los trabajos de desbroce. En dependencia de las particularidades de las áreas se ejecutaron diferentes medidas para el control del drenaje de la escombrera, y de la cuenca que drena hacia la zona donde está ubicada la escombrera, las cuales pueden ser: canales perimetrales, canales de desviación de las aguas, zanjas de infiltración, sedimentadores, drenes, etc.

Los trabajos de preparación de los terrenos a ocupar inician con el desbroce antes del vertido, hasta una completa retirada selectiva de los horizontes de suelo más superficiales y su posterior aprovechamiento en los trabajos de restauración, así como la deforestación previa de esas superficies. La capa vegetal removida en la cantera posee una profundidad promedio de unos 1,60 m. En esta etapa se realizó la explotación de los recursos forestales de interés comercial; realización del desbroce de toda la zona ocupada por la vegetación; el almacenamiento de la capa de desbroce en los límites del área, con el objetivo de ser usada como pantalla mientras duren las operaciones de extracción del estéril; así como la extracción y transporte hacia la escombrera de la capa de estéril.

3.7. Desarrollo de la escombrera

Se trasladó y ubicó el material de destape que se almacena a lo largo en plazoletas especiales preparadas para este fin. Las labores de escombreo se realizan con buldócer y las rocas estériles son transportadas por camiones. Estos trabajos incluyen: descarga del material en el talud o en la plazoleta de descarga y el traslado del escombros por el talud con los buldóceres.

3.8. Manejo ambiental

En la plazoleta de la escombrera se realizan inspecciones diarias, se revisan la corona, el pie del talud y se presta especial atención a la aparición de grietas de tracción o de abultamientos que indiquen la posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento. Se estableció un sistema de control de la compactación y verificación del funcionamiento de las obras de control de drenaje, con el objetivo de detectar tempranamente posibles riesgos en el cimiento de la escombrera.

3.9. Monitoreo y plan de medidas

En esta etapa final se aprobó un sistema de supervisión y control con su correspondiente plan de medidas, relacionadas con la reforestación de las áreas minadas, estabilización de taludes y laderas, sistema de drenaje, minimización del polvo y gases, así como la gestión eficiente del material de desbroce. Se definió la utilización de otras zonas para el vertimiento de escombros y aplicación de la minería por transferencia (*stripping*), con la variante: sistema de descubierta americano, para lo cual, según Guerrero-Almeida, Guilarte y Montero-Matos (2016), así como Zenga (2016), se debe considerar el volumen del espacio minado, volumen de escombros extraídos, costo de escombreo, distancia de transportación, entre otros factores.

4. CONCLUSIONES

- La construcción de la escombrera ordena la actividad minera en la cantera Bibala al darle uso a una zona subutilizada de la propia concesión minera, a la vez que disminuye el impacto ambiental producido por el previo vertimiento desordenado de los escombros provenientes de las labores mineras.
- La ubicación de la escombrera disminuye a 120 m la distancia de transportación del estéril desde los frentes de extracción hasta la zona A y posibilita la acumulación del material de poca calidad o de baja ley.
- La creación de la escombrera posibilita la aplicación a futuro de la minería por transferencia (*stripping*), en la variante sistema de descubierta americano que disminuye el efecto visual que produce la formación de grandes cavidades en la superficie.

5. REFERENCIAS

- Almeida, F. 1999: *Análisis y propuestas de ordenación territorial para la costa del sol oriental: el conflicto entre la agricultura y el turismo en España*. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. España. 1 008 p.
- Che-Viera, A. C. y Guerrero-Almeida, D. 2019: Caracterización minero-ambiental de las canteras de materiales de construcción de la provincia Granma. En: VIII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, Cuba. ISSN: 2307-499X. 14 p.
- Díez, A. y Hernández, A. 2016: Patrimonio y ordenación territorial en áreas mineras en declive. *Revista Estudios Ambientales*, 4(1): 65-84. ISSN: 2347-094.

- Fernández, I. M. 2017: *Escombrera para el ordenamiento minero territorial de la cantera Bibala-Angola*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. 76 p.
- Gómez-Orea, D. 2007: *Ordenación territorial*. 2da ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 766 p.
- Gómez-Orea, D. y Gómez-Villarino, M. T. 2014: Marco conceptual para la ordenación territorial y reflexiones sobre el proceso ecuatoriano en la materia. En: IX Simposio nacional de desarrollo urbano y planificación territorial. Cuenca, 28-30 oct. 21 p.
- Guerrero-Almeida D.; Guilarte, Y. y Montero-Matos, J. 2016: Sustainability indicators for execution of mine closure in the Republic of the Angola. In: First International Congress on Planning for Closure of Mining Operations - Planning for Closure 2016. Santiago de Chile, November 20-22/2016.
- Guerrero-Almeida, D.; Chacón, Y.; Fonseca, D. y Court, M. 2014: Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable. *Minería y Geología*, 30(3): 85-103. ISSN: 193 8012.
- Hernández-Columbié, T. 2015: *Sistema de gestión por fallos en la presa de colas de la empresa Comandante Pedro Soto Alba*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. 100 p.
- Hernández-Columbié, T. y Guardado-Lacaba, R. 2014: Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel. *Minería y Geología*, 30(4): 55-69. ISSN: 1993 8012.
- Hernández-Columbié, T. y Ulloa-Carcasses, M. 2014: Impacto ambiental de la ampliación de una presa de colas de la industria cubana del níquel. *Minería y Geología*, 30(3): 33-48. ISSN: 1993 8012.
- Ministerio de Geología y Minas. 2014: Programa Nacional de Geología. Informe técnico. República de Angola. 125 p.
- Ministerio de Geología y Minas. 2016: Informe técnico de la cantera Bibala. Provincia de Namibe, República de Angola. 78 p. Consulta: 10/04/2019. Disponible en: <http://maqugam.com/tecnicas/mineria-11968/caterpillar/d9h.html>
- Montero-Matos, J.; Otaño-Noguel, J. y Guerrero-Almeida, D. 2016: Procedimiento para el cierre de canteras de materiales para construcción en Cuba. *Minería y Geología*, 32(1): 106-120. ISSN: 1993 8012.
- Sanabria-Pérez, S. 2014: La ordenación del territorio: origen y significado. *Terra*, 30(47): 13-32. ISSN: 1012-7089.
- Senga, Elsa 2016: *Propuesta de escombrera para la cantera "GEOMINERAL"*. Tesis de Diploma. Universidad Agostino Neto. Luanda, Angola. 100 p.
- Troitiño, M. 2009: El papel del patrimonio en la sostenibilidad territorial. Avanzando hacia nuevos modelos de desarrollo. En: Ayuso Álvarez, Ana María y Delgado Jiménez, Alexandra (coord.). *Patrimonio Natural*,

Cultural y Paisajístico: claves para la sostenibilidad territorial. Madrid: Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE).

Zoido, F. 2006: Paisaje, Territorio y Patrimonio. En: Actas del V Congreso Internacional "Restaurar la Memoria": patrimonio y territorio. Vol. 1: 227-230. Valladolid. ISBN 978-84-9718-511-0.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual

ORCID

DGA, <https://orcid.org/0000-0002-3962-7463>

THC, <https://orcid.org/0000-0002-6388-8997>

IFD, <https://orcid.org/0000-0002-7655-8276>

Recibido: 24/04/2019

Aceptado: 18/11/2019