

**JIFI2018**  
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN  
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

## PROPUESTA DE MÉTODO PARA PROTECCIÓN DE LA CUEVA PASO DEL MEDIO EN EL PROCESO DE DISEÑO Y PLANIFICACIÓN MINERA, SAN SEBASTIÁN DE LOS REYES, ESTADO ARAGUA.

Alexandra Ledezma<sup>1</sup>, Leonardo Castillo<sup>1</sup>, Alba Castillo<sup>1\*</sup>, Aurora Piña<sup>1</sup>,  
Franco Urbani<sup>2</sup>, Henry Ramírez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica (EGMG). FI-UCV.

<sup>2</sup>Departamento de Geología, EGMG. FI-UCV.

<sup>3</sup>Cantera San Sebastián de los Reyes, Industria Venezolana del Cemento (INVECEM).

\*[albajcastillo@gmail.com](mailto:albajcastillo@gmail.com).

### RESUMEN

Durante el ciclo de vida de un proyecto, la minería afecta el ambiente, directa e indirectamente. Las actividades de conservación ambiental en la industria minera están bajo creciente supervisión para prevenir, mitigar y/o corregir acciones que causan daño irreversible. En Venezuela, aún se encuentran en fase de desarrollo métodos de planificación y diseño minero, así como normas para protección específica de fauna silvestre endémica (lechuzas y murciélagos), cuyo hábitat está en cuevas de rocas calcáreas. En el presente Trabajo Especial de Grado, se propuso un plan y diseño minero aplicando un método de protección a la cueva Paso del Medio, San Sebastián de los Reyes, municipio San Sebastián, estado Aragua, la cual está incluida en la poligonal del derecho minero donde se pretende llevar a cabo la extracción de caliza para cal agrícola. Se revisaron normas internacionales y se encontró una en la Universidad Federal de Ouro Preto por medio de la Escuela de Minas, Departamento de Ingeniería de Minas, en Brasil, la cual aplica un estudio de Análisis de Viabilidad Económica debido a la alta presencia de cavidades subterráneas que se encuentran en el área. Esto se basó en el Decreto 6.640 del Ministerio del Medio Ambiente, en el cual se especifica el procedimiento para clasificar la o las cuevas en cuanto a su grado de relevancia, o importancia, tanto a nivel local como regional, en función de sus atributos espeleológicos, siguiendo la metodología en la normativa MMA02/2009. Resultó que la cueva Paso del Medio es clasificada de Alta Relevancia, por lo que la misma debe ser protegida con un área no menor a 250m. Partiendo de esta condición, se obtuvo un volumen minable de 638.200m<sup>3</sup> (Fase I) y 5 años de vida útil, así como de 7.127.750 m<sup>3</sup> (Fase II) y 50 años de vida útil, hasta la cota 650msnm, debido a que no se cuenta con la relación estéril-mineral. Se requieren dos (2) unidades como equipos de carga y acarreo, que garanticen el suministro continuo a la trituración primaria, ubicada en la Zona A para la Fase I. Para la Fase II se necesita una unidad más de acarreo debido a que existe una mayor distancia hasta la Zona E donde es reubicado el equipo de trituración. Se planificaron dos (2) voladuras semanales, con el fin de mitigar los efectos de vibración y contaminación sónica a la cueva Paso del Medio. Se modeló el *pit* final para las dos (2) fases, dejando una distancia de 50m de separación al área de protección para la Fase I y de 140m para la Fase II, con ángulo de *pit* final de 52° y ángulo de trabajo de 70°. Esto es un avance en la conservación de patrimonio natural y en la planificación y diseño minero.

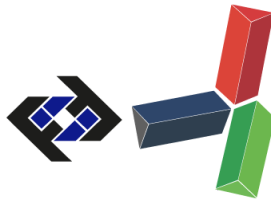
*Palabras Clave: cantera de áridos para construcción, criterios de cierre de mina, planificación minera a largo plazo, estabilidad de taludes, medidas de control ambiental.*

### ABSTRACT

*Mining practices affect environment along a project life cycle, in a direct and/or indirect way. Conservation measures in this industry are increasingly under supervision to prevent, mitigate and/or correct damage. In Venezuela, normative protection methods in mining are still in a*

#### SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053  
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>



*development phase, specifically to establish how to protect endemic animals, whose habitats are in carbonate rocks caves. It was proposed a mining design and plan, so “Paso del Medio cave”, located in San Sebastián de los Reyes, San Sebastian municipality, Aragua state, can be protected from irreversible damage. This cave is closed to the cement industry mining use rights to extract calcite to obtain calcium amendments for agricultural soils. After reviewing international regulations, the Mining Engineering Department of Ouro Preto Federal University, in Brazil, published a Feasibility Economic Analysis due to the high frequency in the presence of underground caves in that region. The Brazilian Environmental Ministry 6.640 Act describes the procedure to classify relevant or important caves, based on speleological attributes, following the MMA02/2009 normative. Paso del Medio cave was classified as of High Relevancy, so it should be protected; through an area no lower than 250 meters distance from the mine. With that environmental protection condition, it was estimated: Mine phase I, 638.200 m<sup>3</sup> mineral volume (MV) and 5 years of Mine Life Expectancy (MLE) and, Mine phase II, 7.127.750 m<sup>3</sup> MV and 50 years MLE, up to 650 meters from sea level, because there is no overburden ratio measured yet in this mining project. Final pits for the two (2) mining phases were modeled, preserving 50 and 140 meters distance, to separate mining and protection areas, respectively, with final pit slope angle of 52° and working slope angle of 70°. There will be two (2) units required for load and haul operations (I), to guarantee continuous feeding of crushing primary unit, located at Zone A and, one (1) more unit will be required (II), because there exists a longer distance up to Zone E, where it will be placed the crushing unit. Only two (2) weekly blasting operations, so vibration effects and sonic contamination are controlled. This research is an advance in Venezuelan natural heritage conservation to reach a development in ecologic mining planning and design.*

*Keywords: mining and environmental management, natural heritage conservation, carbonate rocks, mine planning and design, cave environmental classification.*

## INTRODUCCIÓN

La Caverna Paso del Medio fue descrita y registrada en el catastro Espeleológico de Venezuela, por relevancia en sus dimensiones (Sección de Espeleología de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, 1969). Ésta es de interés para grupos ecologistas, conservacionistas y excursionistas. En las Figuras siguientes se muestran la ubicación relativa, la topografía y la geología local. En los años 50, fue otorgada una concesión minera, a 1 y ½ kilómetro para explotación de roca caliza. La vigilancia ambiental aumentó por el riesgo a demolición, a raíz de un precedente en 1993, cuando fue dinamitada sin tener permiso, resultando en protestas hasta internacionales. Fue solicitada su inclusión como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) que no tuvo efecto en el tiempo (ver figuras 1 al 3).

El estudio técnico reciente (Urbani y Carreño, 2007), publicado en el boletín N°. 63 de la Sociedad Venezolana de Espeleología la caracteriza integralmente, por lo que fue utilizada como capa de información para completar estudios de impacto ambiental al planificar y diseñar la explotación de roca caliza (ver Figura 4).

La Industria Venezolana de Cemento (INVECEM) se ha propuesto realizar una nueva planificación minera a largo plazo, por la necesidad de cemento en urbanismos requeridos. Esta planificación asume la conservación ambiental de la caverna, por ser de carácter estratégico, buscando equilibrio entre minería y preservación ambiental, al norte de la carretera nacional San Sebastián de los Reyes – San Juan de los Morros, entre los kilómetros 16 y 18 de dicha carretera, al oeste de Quebrada

Honda (Ver figura 1). Está en una región dominada por 2 provincias geológicas, separadas por fallas de cabalgamiento con vergencia al sur y rumbo promedio W-E; al norte, un complejo de metamórficas, vulcanitas y rocas ígneas básicas y ultrabásicas; y hacia el sur, una secuencia sedimentaria cretácica y terciaria. (Ver figura 3).

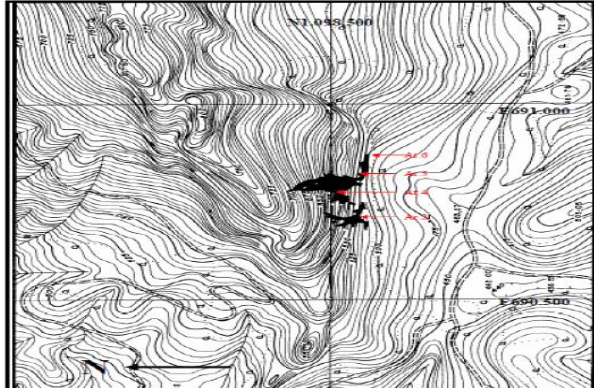
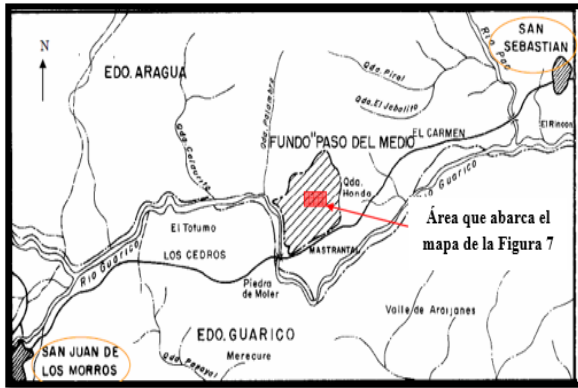


Figura 1. Ubicación de la Cantera y cueva Paso del Medio.

Figura 2. Plano parcial del morro superponiendo cuevas

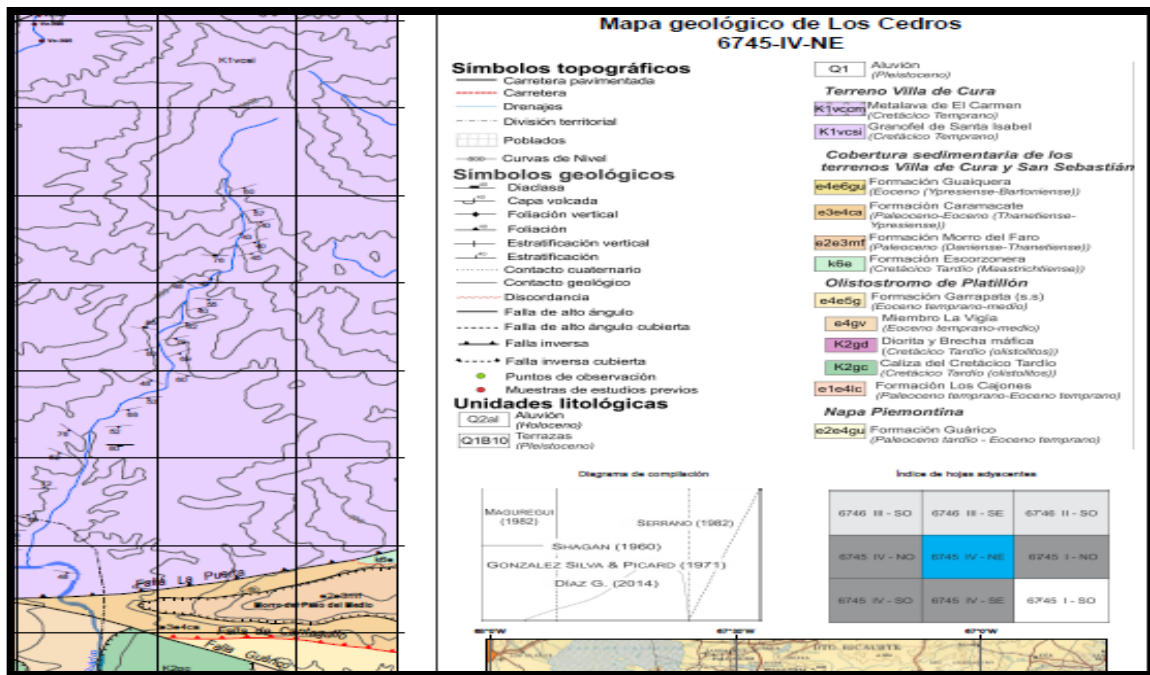


Figura 3. Mapa geológico de los Cedros

Los morros constituidos por calizas, con fuertes escarpes y paredes verticales, son muy visibles desde largas distancias. Decenas de estos cuerpos se extienden a lo largo del frente de montañas de Guárico, desde San Juan de los Morros hasta San Francisco de Maicara (al noreste de Altagracia de Orituco). Están descritas 4 cavidades en el Morro de Paso del Medio: Los Murciélagos, Paso del Medio y Grutas No. 1 y 2 del Abrigo de Paso del Medio. Las Figuras a continuación muestran foto y plano de corte de la caverna Paso del Medio (ver figuras 4 y 5).

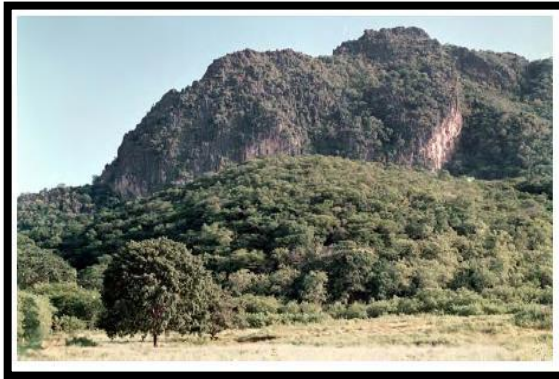
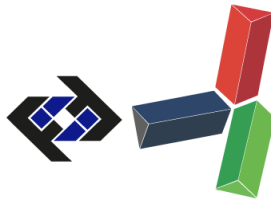


Figura 4. Mitad Occidental del Peñón de Paso del Medio

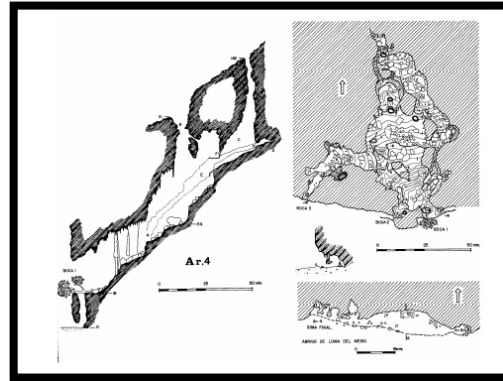


Figura 5. Plano Cueva Paso del Medio

El nivel superior con techo muy elevado y varias chimeneas, prácticamente imposibles de alcanzar. En este sector, después de salvar un escalón de 3 metros, una galería que termina en una profunda sima. La cueva de los Murciélagos (cueva del Guano) fue utilizada para extraer fertilizante producido por quirópteros (murciélagos), dejando excavaciones en el salón principal. Además, es importante resaltar que en dicho salón principal existen una serie de espeleotemas que datan de millones de años y han permitido realizar estudios de cambios climatológicos en el transcurrir de tiempo.

En Venezuela, el Artículo 22 de la Ley Orgánica del Ambiente (2006) establece que la planificación del ambiente constituye un proceso que tiene por finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable.

### METODOLOGÍA

Esta investigación fue de tipo descriptiva y de carácter exploratorio al evaluar características de la situación natural: variables, dimensiones y componentes, así como visualizar la viabilidad y sustentabilidad de la decisión económica, por primera vez. También es de campo, debido a que los datos de interés fueron recogidos en forma directa. Se basa en conceptualizaciones para la sustentabilidad del desarrollo minero y la planificación minera: Castillo (2009) plantea evaluar el potencial minero para establecer recursos y reservas minerales ambientalmente sustentables, mientras que Ortiz y otros (2001) definen indicadores para corregir modelos que sustentan la planificación minera, como: adaptación a cambios inevitables o ciclos, estilo de dirección, a actitud mental y laboral más que técnica, decisión o elección previa, creer y desear hacer algo que sucederá, tratar de no confundir el deseo con la realidad y de anticipar el posible futuro (ver figura 6).

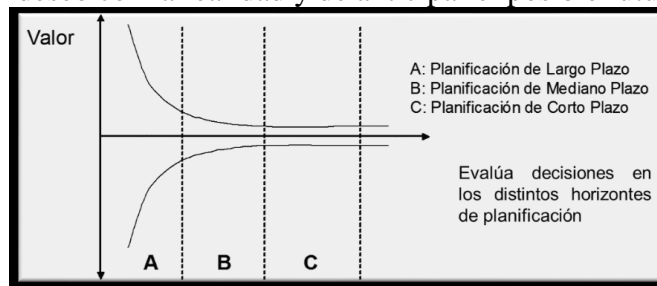


Figura 6. Horizontes de planificación y agregación de valor basada en evaluación de impacto ambiental por minería

En Brasil, el Decreto N° 99.556, del 01/10/1990, establece que las cavidades subterráneas naturales existentes en el territorio nacional deben ser protegidos con el fin de permitir que los estudios e investigaciones de la técnica-científica y actividades en la naturaleza de Espeleología, étnico-cultural, turístico, recreativo y educativo. En la Figura a continuación se presenta el flujograma de decisiones asumidas en la investigación desde la determinación de la importancia de la caverna hasta el diseño del talud final de la fosa minera. Como se aprecia, el proceso de toma de decisiones considera las variables geológicas y biológicas (ecológicas), así como las son de naturaleza económica minera, prevaleciendo la conservación ambiental (ver figura 7).

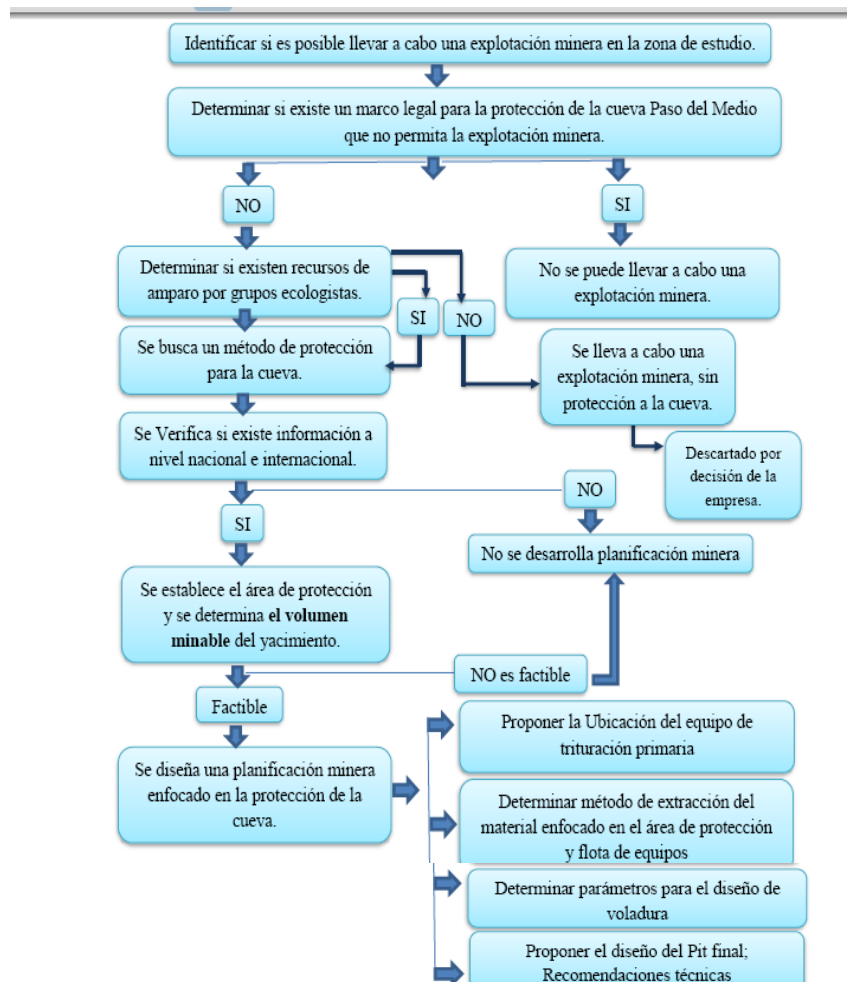
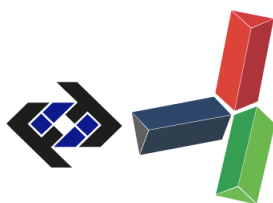


Figura 7. Esquema metodológico.

Según el Decreto 6.640 e Instrucción Normativa MMA02/2009, adscrito al Ministerio del Medio Ambiente, del Instituto de Conservación de la Biodiversidad Chico Mendes y el Centro Nacional de Investigación y Conservación de Cuevas, establece que la cavidad natural subterránea se clasifica de acuerdo a su grado de relevancia en la mayoría, alta, media o baja, determinada mediante el análisis de los atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, paisajísticos, históricos, culturales y socio-económico, evaluado por el enfoque regional y local (Artículo 2). Los instrumentos para la recolección de datos fueron: programa de



diseño y dibujo asistido por computadora, planos topográficos, equipo de computación y hoja de cálculo, software libre RecMin software libre computacional para el diseño de la secuencia de explotación, para la elaboración del *Pit* final y dimensionamiento en 3D.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se clasificó la cueva Paso del Medio como muestra la Tabla a continuación (ver Tabla 1).

Tabla 1. Atributos para la clasificación de la caverna Paso del Medio, San Sebastián de los Reyes.

Atributos considerados para la clasificación según el máximo grado de relevancia	Concepto	Variable
Génesis único o raro	Cavidad que en el universo de su entorno (escala local o regional) y la litología presenta algunas diferencias respecto a su formación y proceso dinámico evolutivo.	Presencia
		Ausencia
Morfología única	Cavidad que en el universo de su entorno (escala local o regional) y su litología no presenta ninguna ventaja en cuanto a la forma, la organización espacial de las galerías y características morfológicas internas (espeleogens), considerando toda o parte de la cavidad.	Presencia
		Ausencia
Notables dimensiones en longitud, área y volumen	Cavidad que presente en su totalidad o en parte, una gran extensión (horizontal o vertical), área o volumen para el enfoque local o regional.	Presencia
		Ausencia
Espeleotemas únicos	Cavidad que presenta espeleotemas de forma individual o en conjunto, poco frecuentes, con tamaño excepcional, la mineralogía, la belleza o la riqueza, especialmente si se considera la litología dominante de la cavidad (local o regional).	Presencia
		Ausencia
Aislamiento geográfico	Cavidad que se encuentra en un entorno donde no hay registro de incidentes y sucesos remanente de áreas degradadas bajo enfoque regional.	Presencia
		Ausencia
Refugio para la preservación de especies de animales en peligro de extinción u otros.	Cavidad que comprende un refugio, o una parte importante del hábitat de las especies que se encuentran en el área.	Presencia
		Ausencia
Hábitat de especies raras troglobio	Presencia de pequeños números de especies de troglobio o que se encuentran en una distribución geográfica restringida.	Presencia
		Ausencia
Interacciones ecológicas únicas	Aparición de interacciones ecológicas duraderas o inusuales, incluyendo las interacciones tróficas y considerando el contexto ecológico evolutivo.	Presencia
		Ausencia
Testimonio de la cavidad	Testimonio de los procesos ambientales o paleoambiental significativo o cavidad con alto grado de relevancia.	Presencia
		Ausencia

Fue ubicado el equipo de trituración primaria, como condición para iniciar la Fase I, a partir de los

valores en la Tabla a continuación (ver Tabla 2).

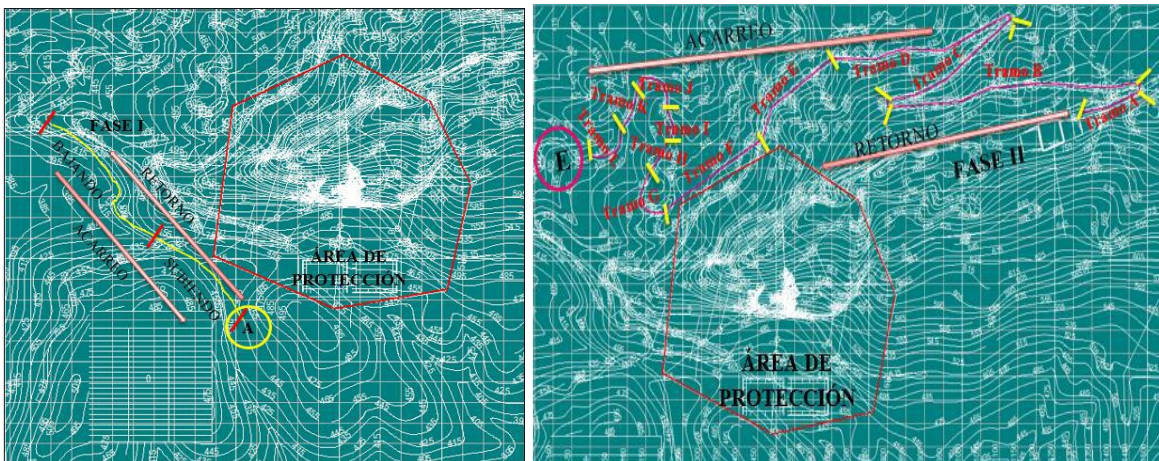
Tabla 2. Factores y pesos de las variables de importancia, con las ponderaciones en cada zona.

Factor	Peso	Zona	A	Zona	B	Zona	C	Zona	D	Zona	E
	%	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Protección a la cueva	0,40	8	3,2	7	2,8	8	3,2	10	4	9	3,6
Distancia de acarreo	0,30	8	2,4	5	1,5	3	0,9	3	0,9	8	2,4
Limitaciones de terreno	0,10	9	0,9	6	0,6	4	0,4	1	0,1	6	0,6
Acceso a suministros hídricos y eléctricos	0,10	9	0,9	8	0,8	6	0,6	1	0,1	5	0,5
Consideraciones técnicas	0,10	9	0,9	7	0,7	5	0,5	1	0,1	5	0,5
<b>Totales</b>	<b>1,00</b>	<b>43</b>	<b>8,3</b>	<b>33</b>	<b>6,4</b>	<b>26</b>	<b>5,6</b>	<b>16</b>	<b>5,2</b>	<b>33</b>	<b>7,6</b>

Fuente: Elaboración propia

### CONCLUSIONES

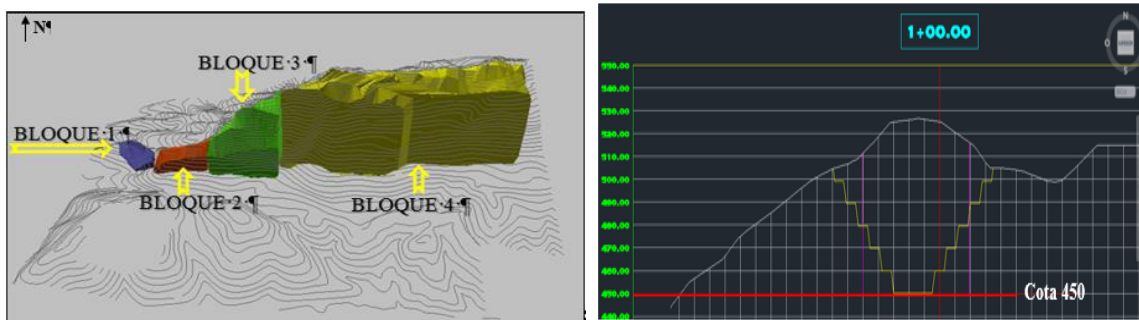
Gracias al Decreto 6.640 e Instrucción Normativa MMA02/2009, adscrito al Ministerio del Medio Ambiente, del Instituto de Conservación de la Biodiversidad Chico Mendes y el Centro Nacional de Investigación y Conservación de Cuevas de Brasil. La cueva fue clasificada relevante para su conservación ambiental, con ello se cumple con los artículos 22,30,48,49 de la Ley Orgánica del Ambiente, para ello se estableció un área de protección de 250 m de radio, representando el 16 % del volumen total del yacimiento, por lo que se presentó el plan y el diseño de mina, con protección ecológica. Se planificaron las Fases I y II, con volúmenes totales respectivos de 1.577.926 y 75.617.283 m<sup>3</sup>, para volúmenes minables de 638.200 y 7.127.750 m<sup>3</sup>. Esto de acuerdo con el software RecMin. La Fase II fue dividida en 4 etapas. La vida útil: Fase I, 5 años y Fase II, 50 años de acuerdo con la capacidad de producción establecida por la empresa. Se recomienda un estudio de instrumentación en la cota 520-680 (nivel de la cueva) que corrobore si los 250m establecidos para el área de protección garantizan la total conservación. Las figuras, siguientes, son los productos del modelaje minero (ver figuras 8<sup>a</sup> y 8b).



Figuras 8a. y 8b. Vista en planta del área de protección y del desarrollo minero.

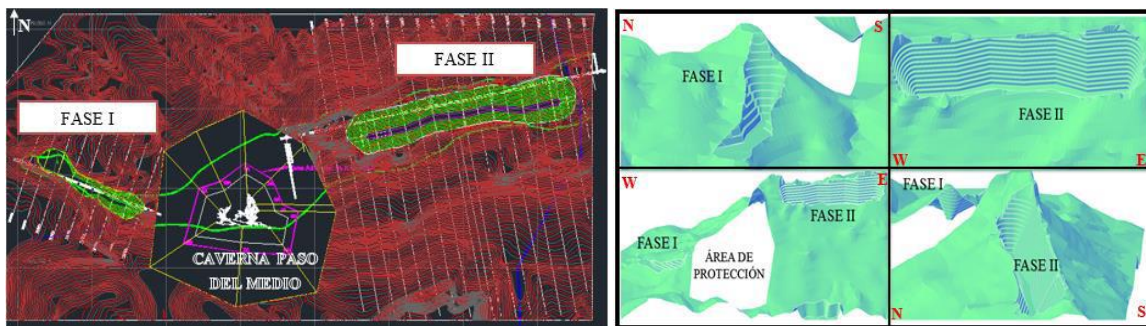
Fueron calculados los volúmenes de bloques minerales para explotación y sección del talud final,

como se muestra en las Figuras siguientes (ver figuras 9a y 9b).



Figuras 9a. y 9.b Secciones de los bloques mineros y del talud final de la fosa minera.

Representación en planta y en 3D del área de protección (a ser normativa) y del desarrollo minero en las Fases I y II de la extracción mineral, como muestran las Figuras a continuación (ver figuras 10<sup>a</sup> y 10b).

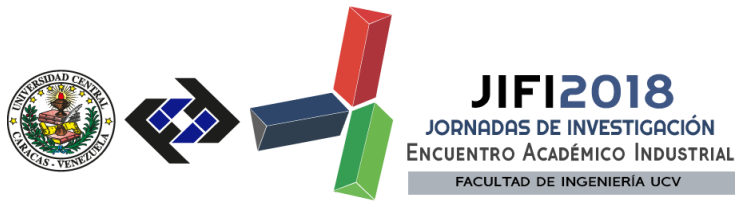


Figuras 10a. y 10b. Representaciones en planta y en 3D de la propuesta de diseño minero.

## REFERENCIAS

- Anjoul, V. & Utches, C., 2016. Adaptación del *Software Blastscheme* a la Operación Unitaria de Perforación y Voladura en Canteras. Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Borges de Moura Aquino, I. (2014). Análisis de Viabilidad Económica de un Proyecto Minero debido a la presencia de Cavidades Subterráneas Naturales. Brasil.
- Castillo, A. (2009). Identificación de Reserva Mineral Sustentable: Propuesta. Publicado en El Libro del Oro de Venezuela. Caracas, Banco Central de Venezuela.
- Díaz, P., 2014. Geología de la Región de Belén, San Juan de los Morros y San Sebastián de los Reyes, en los estados Carabobo, Guárico y Aragua. Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Fernández, C., Cereceda, J. & Orcaistegui, F., 2002. Estudio de Diseño Geotécnico de Taludes Mineros Cantera San Sebastián Grupo Holcim. San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua.
- Franco, R. (2002). Revisión geológica y estructural de la Formación Guárico, al oeste de Quebrada Honda, cantera San Sebastián, estado Aragua, Venezuela. Informe técnico.
- García, M. y Molinari, J. (2015). Programa para la conservación de los Murciélagos de Venezuela. Sociedad Venezolana de Espeleología, Caracas.
- Ortiz y otros. (2001). Curso de Evaluación y Planificación Minera. Madrid. España.
- Plá Ortiz y otros, 2001. Curso de evaluación y planificación minera. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.





- Piña, A., 2002. Indicadores de Sustentabilidad en la toma de decisiones para creación de distritos mineros, aplicados a minería metálica: Au y fe, en el estado bolívar. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Quintana, C. y López, G. (1992). Plan de explotación del yacimiento de Caliza Paso del Medio, municipio San Sebastián, Estado Aragua. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Soublette, Á., 2013. Preservación del patrimonio cultural existente en El Picacho en el proceso de evaluación de yacimiento mineral no metálico sector Los Cogollos, municipio Nirgua, estado Yaracuy. Caracas: Escuela de Geología, Minas y Geofísica. UCV.
- Urbani, F. y Carreño, R. (2007). Estudio espeleológico de las cuevas del sector centro sur del morro de Paso del Medio, estado Aragua. Sociedad Venezolana de Espeleología. Caracas.

**SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.**

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053  
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>