Artículos de investigación

Análisis de la estructura geomecánica de las minas de carbón en Guachetá (Cundinamarca-Colombia)

Nelly Yolanda Céspedes Guevara[1], Andrés Felipe Ruiz Ortiz[2], Julián Andrés Valera Maya[3]

Resumen

El análisis geomecánico de las estructuras en minas subterráneas permite caracterizar a través del modelo Bieniawski el comportamiento de las estructuras rocosas, siendo este un elemento de vital importancia para los procesos de seguridad y planeamiento minero.

El artículo evidencia la aplicación de la geomecánica de rocas a partir de un modelo predictivo que genera un nivel de fiabilidad. El enfoque metodológico estuvo centrado en una metodología mixta, en la que los aspectos cualitativos se emplean en la fundamentación del área de estudio y lo cuantitativo en el análisis numérico de las mediciones tomadas en el área de estudio.

Los resultados obtenidos evidencian que ambos métodos (RMR de Bieniawski y Q de Barton) presentan similitudes en las mediciones, y muestran calidades de macizos rocosos de clase II y III, calidad buena y regular, respectivamente. De esta manera, se propone la utilización de pernos y concreto lanzado, para su sostenimiento e impermeabilización, dejando en un segundo plano la utilización de estructuras en madera, siempre y cuando la excavación no presente fallas geotécnicas que pongan en riesgo el túnel a un posible derrumbe.

Palabras clave: estructura geomecánica, caracterización, mina subterránea, sostenimiento, macizo rocoso.

1 Docente Investigador. Fundación Universitaria del Área Andina, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Bogotá, Colombia. PhD en Ciencias, Doctora en Educación, Magíster en Docencia Universitaria, Licenciada en Física. (ncespedes@areandina.edu.co).

2 Estudiante del Programa Ingeniería de Minas. Fundación Universitaria del Área Andina, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Bogotá, Colombia. (aruiz58@estudiantes.areandina.edu.co).

3 Ibidem, (jvalera3@estudiantes.areandina.edu.co).

Introducción

La clasificación de macizos rocosos muestra la necesidad de explorar un esquema desde las teorías físicas, como la geomecánica, pero se debe profundizar en las mediciones en fuerzas y tensiones, si se quiere realmente conocer la estructura rocosa a evaluar. De acuerdo con Suárez (2016), el efecto de la tensión y la deformación del material rocoso puede describirse a partir de una modelación mecánica e hidráulica, pero no se tiene un modelo teórico preciso que dé cuenta de la deformación de las rocas. Este aspecto es esencial en el proyecto de investigación, ya que con la caracterización realizada se pueden establecer las amenazas y oportunidades, que proporcionan una visualización concreta del área de estudio y del entorno seguro que se debe tener en minería subterránea. Desde este escenario, se pueden establecer índices de caracterización como el índice RMR y el Q de Barton que permitan identificar los métodos de excavación, la estabilidad de los taludes utilizando parámetros fundamentales de medición. Según Figueroa *et al*. (2014), en la industria minera es preciso encontrar un modelo teórico eficaz que permita analizar el entorno rocoso.

Ubicación geográfica

El estudio se realizó en Colombia, en el municipio de Guachetá, Cundinamarca, en concordancia con la minería de carbón (Duarte y Monroy, 2012) (véase tabla 1).

Norte	Este	Altitud
1.081.363	1.045.381	Pendiente

Tabla 1.
Coordenadas mina de Guadalupe
Fuente: DATUM-GEODÉSICO: Bogotá Observatorio.

La mina está localizada en el municipio de Lenguazaque, Cundinamarca, a 103 km de Bogotá (véase figura 1), saliendo por la Autopista Norte con vía Ubaté. Llegando al municipio se observa una bomba de gasolina en una glorieta y se procede a girar a mano derecha con rumbo a la vereda El Boquerón. Se pueden tomar otras dos rutas alternas: la primera por la Autopista Norte con vía Tocancipá-Sesquilé y la segunda por La Calera con vía Sopó, repitiendo en ambos casos la entrada a la glorieta (véase figura 2).

Descripción del entorno geológico

La geología permite conocer el origen de ciertas formaciones rocosas, o de sedimentos que se pueden encontrar en campo. En esta área de estudio se pueden conocer características importantes de los macizos rocosos; por ende, es vital

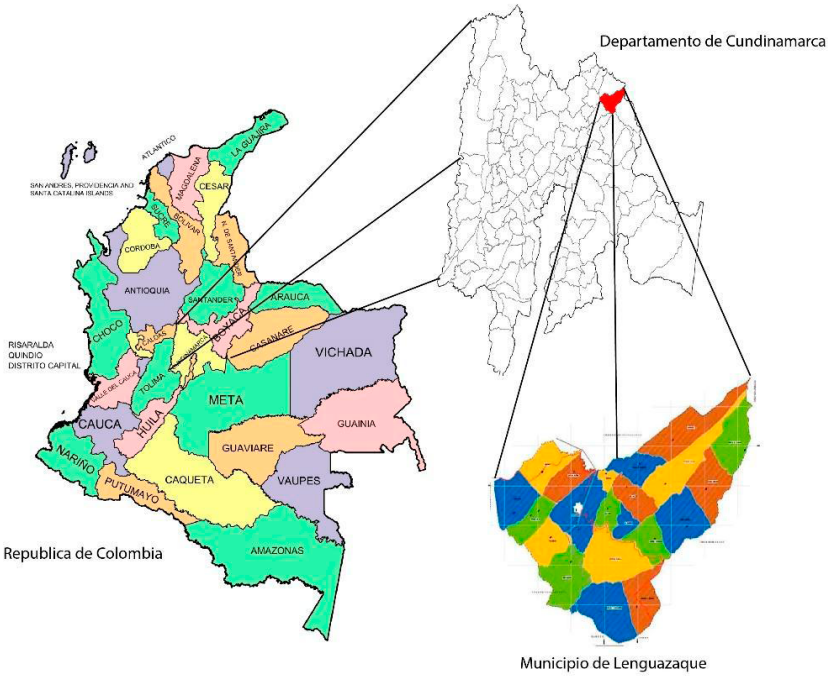

Figura 1. *Localización Lenguazaque*
Fuente: elaboración propia.

tener un conocimiento básico de la misma para realizar estudios o análisis de información, que tengan en su temática central relación directa con la geología (por ejemplo, la mecánica de rocas, el análisis de yacimientos, entre otros) (Figueroa *et al.*, 2014).

El estudio se plantea en la jurisdicción del municipio de Lenguazaque, en el departamento de Cundinamarca, la cual está conformada de un sinclinal (el sinclinal de Guachetá) y dos fallas (falla Cucunubá y Confites) (Fuentes *et al.*, 2011) (véase figura 3).

Sinclinal de Guachetá

Es una estructura localizada entre la quebrada Mojica y la quebrada Chiquito, compuesta por la sucesión Cretácica, de acuerdo con Fuquen y Osorno (2005):

> […] en la superficie del sinclinal se encuentra un sedimento de areniscas friables de color blanco en capas medias a gruesas, con intercalaciones de arcillolitas color gris con costras de óxido de hierro. Seguido de unos estratos de cuarzoarenitas de color amarillo, grano medio a grueso, localmente conglomerática, con intercalaciones de arcillolitas claras, y de arenisca cuarzosa de color gris claro

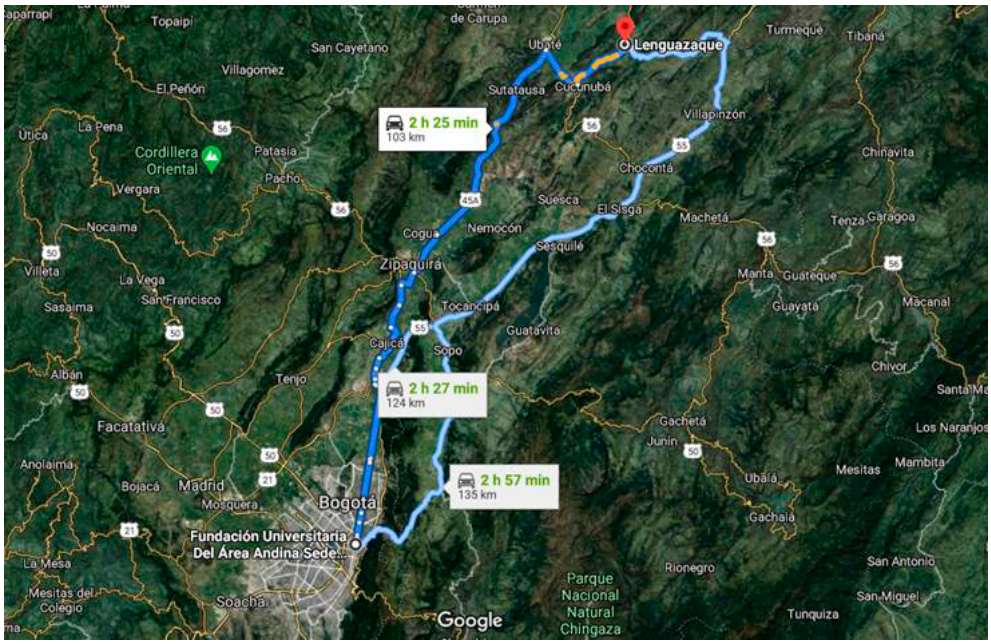

Figura 2.
Vías de acceso
Fuente: Google Maps.

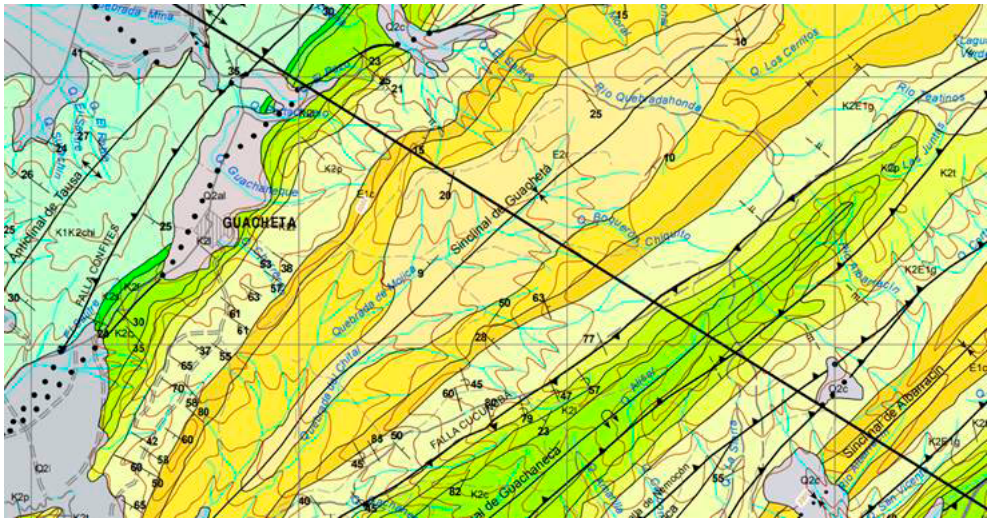

Figura 3.
Plancha 190 Chiquinquirá
Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

> grano grueso, en capas muy gruesas y estratificación cruzada. (p. 77)

Lo cual proporciona una imagen real del macizo rocoso analizado.

Falla Confites

Al oeste del sinclinal se encuentra la falla Confites, la cual tiene una dirección SW-NE, con un rumbo NW y esta es una de las que condiciona la dirección de las estructuras geológicas.

Falla Cucunubá

Al este del sinclinal se encuentra la falla Cucunubá, la cual tiene una dirección SW-NE, con un rumbo SE. Esta falla es otra de las que condiciona la dirección de las estructuras geológicas (Gil, 1996).

Metodología

La metodología descrita en el proyecto de investigación está centrada en el uso del índice RMR que, de acuerdo con Fuentes *et al*. (2011), es un método usado para caracterizar el macizo rocoso a través de la compresión simple; y del índice RQD (*Rock Quality Designation*), que permite generar procesos de sostenimiento en minería subterránea.

Una de las claves para determinar la calidad de un macizo rocoso, es dividirlo por zonas delimitadas por discontinuidades geológicas. Ello implica identificar las diferentes fallas geológicas y establecer los siguientes parámetros para obtener una medida más precisa del macizo rocoso. Así que se mide:

- Resistencia a la compresión simple
- RQD
- Separación de las discontinuidades
- Estado de las discontinuidades
    1. Distancia
    2. Apertura
    3. Rigidez
    4. Relleno
    5. Alteración
- Presencia de agua
- Discontinuidades en la roca

Una vez determinados estos seis parámetros, se clasifica el macizo rocoso en categorías, las cuales, partiendo de un valor primario igual a la suma de los cinco primeros parámetros, proporcionan el índice de calidad, siendo este dato fundamental para el diseño de sostenimiento, en donde se toma el valor primario y se resta la corrección por orientación, y así se obtiene el RMR del macizo rocoso (Suárez-Burgoa, 2009).

Descripción de las estaciones

La discontinuidad identificada corresponde a los planos de estratificación que proporcionan la geometría del espacio. En los niveles de análisis se logró identificar entre una y dos familias de diaclasas con tendencia general NW/NE y algunas pocas NE/NW.

Estación geomecánica 1. El macizo rocoso está representado por la presencia de lutitas, con resistencia a la compresión de 2 Mpa, calidad de la roca equivalente a 30%, con espaciamiento de 2 m a 3 m, persistencia mayor a 2 m, con una abertura de 0,2 mm y presencia de agua al piso y en el respaldo. Es ligeramente rugosa, además cuenta con un relleno duro mayor a 5 mm.

Estación geomecánica 2. El macizo rocoso presenta diaclasas existentes en las lodolitas, con una discontinuidad principal con dirección de buzamiento y buzamiento 54° (DB) y 72° (BUZ), con resistencia a la compresión de 1,5 Mpa, calidad de la roca equivalente a 32%, con espaciamiento de 2 m a 4 m, persistencia de 1 m a 3 m, con una abertura de 0,5 mm y una fractura por metro. Se observa la presencia de goteo de agua por el techo y hacia el respaldo.

Estación geomecánica 3. El macizo rocoso presenta diaclasas existentes en las lodolitas, presenta una discontinuidad principal con dirección de buzamiento y buzamiento 147° (DB) y 62° (BUZ), con resistencia a la compresión de 2,5 Mpa, calidad de la roca equivalente a 34%, con espaciamiento de 2 m a 6 m, persistencia de 1 m a 3 m, sin abertura y una fractura por metro. Su caudal de agua es menor a 10 litros por minuto.

Valoración del índice RMR de la roca

La valoración del índice RMR de la roca se realizó por medio de los índices en la estructura rocosa, a través de los cálculos realizados con el RMR (Ley-Paredes *et al*., 2019) (véanse tablas 2, 3, 4 y 5).

Los valores presentados en cada una de las tablas permiten caracterizar las estaciones geomecánicas de acuerdo con la calidad del macizo rocoso y al tipo de estructura presente en la roca. De tal manera que se pueden presentar los siguientes análisis mediante el método de medición:

- **Estación geomecánica 1**

Compresión simple = 1, RQD% = 6, Separación = 20, Persistencia = 4, Abertura = 3, Rugosidad = 3, Relleno = 4, Alteración = 6, Presencia de agua = 15.

PARAMETRO			ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES						
1	**Resistencia de la roca sana**	Carga Puntual Mpa	>10 100	4-10 40-100	2-4 20-40	1-2 10-20	Únicamente compresión simple		
		Compr Simple Mpa	>250 >2500	100-250 1000-2500	50-100 500-1000	25-50 250-500	5-25	**1-5**	<1
	Valoración		15	12	7	4	2	**1**	0
2	**RQD %**		90-100	75-90	50-75	**25-50**	<25		
	Valoración		20	17	13	**6**	3		
3	**Separación de discontinuidades**		**>2m**	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Valoración		**20**	15	10	8	5		
4	**Estado de las discontinuidades**		Muy rugosa Discontinuas Sin Separaciones Borde sano y duro	Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes duros	**Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes blandos**	Espejo de falla o con relleno <5mm o abiertas	Relleno blando >5mm Abertura >5mm Diaclasa continua		
	Valoración		30	25	**20**	10	0		
5	**Presencia de agua**	Caudal por 10m de túnel	**Nulo**	<10L/min	10-25L/min	25-125L/min	>125L/min		
		Relación entre la presión de agua	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	**Seco**	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		**15**	10	7	4	0		
6	**Dirección y buzamiento**		**Muy favorable**	**Favorable**	**Medio o regular**	**Desfavorable**	**Muy favorable**		
	Valoración para	**Túneles**	**0**	-2	-5	-10	-12		
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60		

Tabla 2.
Parámetros de RMR de Bieniawski estación 1
Fuente: elaboración propia.

Considerando el RMR obtenido, se cuenta con un macizo de calidad *buena*, de clase II. Dejando un tiempo de 6 meses con 8 metros de vano de longitud en el sostenimiento.

- **Estación geomecánica 2**

Compresión simple = 1, RQD% = 6, Separación = 20, Persistencia = 4, Abertura = 3, Rugosidad = 1, Relleno = 4, Alteración = 6, Presencia de agua = 10.

Considerando el RMR obtenido, se cuenta con un macizo de calidad *media*, de clase III. Dejando un tiempo de 1 semana con 5 metros de vano de longitud en el sostenimiento.

- **Estación geomecánica 3**

Compresión simple = 1, RQD% = 6, Separación = 20, Persistencia = 4, Abertura = 6, Rugosidad = 1, Relleno = 6, Alteración = 6, Presencia de agua = 10.

Considerando el RMR obtenido, se cuenta con un macizo de calidad *media*, de clase III. Dejando un tiempo de 1 semana con 5 metros de vano de longitud en el sostenimiento.

PARAMETRO			ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga Puntual Mpa	>10 100	4-10 40-100	2-4 20-40	1-2 10-20	Únicamente compresión simple		
		Compr Simple Mpa	>250 >2500	100-250 1000-2500	50-100 500-1000	25-50 250-500	5-25	**1-5**	<1
	Valoración		15	12	7	4	2	**1**	0
2	RQD %		90-100	75-90	50-75	**25-50**	<25		
	Valoración		20	17	13	**6**	3		
3	Separación de discontinuidades		**>2m**	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Valoración		**20**	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades		Muy rugosa Discontinuas Sin Separaciones Borde sano y duro	Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno <5mm o abiertas	Relleno blando >5mm Abertura >5mm Diaclasa continua		
	Valoración		30	25	**20**	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10m de túnel	**Nulo**	<10L/min	10-25L/min	25-125L/min	>125L/min		
		Relación entre la presión de agua	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	**Seco**	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		**15**	10	7	4	0		
6	Dirección y buzamiento		**Muy favorable**	**Favorable**	**Medio o regular**	**Desfavorable**	**Muy Desfavorable**		
	Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	**-12**		
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60		

Tabla 3.
Parámetros de RMR de Bieniawski estación 2
Fuente: elaboración propia.

PARAMETRO			ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga Puntual Mpa	>10 100	4-10 40-100	2-4 20-40	1-2 10-20	Únicamente compresión simple		
		Compr Simple Mpa	>250 >2500	100-250 1000-2500	50-100 500-1000	25-50 250-500	5-25	**1-5**	<1
	Valoración		15	12	7	4	2	**1**	0
2	RQD %		90-100	75-90	50-75	**25-50**	<25		
	Valoración		20	17	13	**6**	3		
3	Separación de discontinuidades		**>2m**	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Valoración		**20**	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades		Muy rugosa Discontinuas Sin Separaciones Borde sano y duro	**Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes duros**	Ligeramente rugosas Abertura<1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno <5mm o abiertas	Relleno blando >5mm Abertura >5mm Diaclasa continua		
	Valoración		30	**25**	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10m de túnel	Nulo	**<10L/min**	10-25L/min	25-125L/min	>125L/min		
		Relación entre la presión de agua	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	**Ligeramente húmedo**	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	**10**	7	4	0		
6	Dirección y buzamiento		**Muy favorable**	**Favorable**	**Medio o regular**	**Desfavorable**	**Muy favorable**		
	Valoración para	**Túneles**	0	-2	-5	**-10**	-12		
		Taludes	0	-5	-25	-50	-60		

Tabla 4.
Parámetros de RMR de Bieniawski estación 3
Fuente: elaboración propia.

Parámetros de clasificación	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Resistencia a la compresión simple	1	1	1
Índice RQD	6	6	6
Separación de las discontinuidades	20	20	20
Estado de las discontinuidades	20	18	23
Presencia de agua	15	15	10
Corrección por orientación de discontinuidades	0	-12	-10
Total RMR	62	48	50
Clasificación de la roca	Buena	Media	Media

Tabla 5.
Calidades del macizo rocoso
Fuente: elaboración propia.

Valoración índice Q de Barton

El índice Q de Barton muestra la posible clasificación de los macizos rocosos mediante la estimación de parámetros geotécnicos del macizo, lo cual permite generar una estrategia en el diseño de sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice Q está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión (1) (Gonzales Ccente, 2015).

$$Q = \left(\frac{RQD}{Jn}\right) + \left(\frac{Jr}{Ja}\right) + \left(\frac{Jw}{SRF}\right) \qquad (1)$$

Calidades de roca Q de Barton:

Entre 0,001 y 0,01: roca excfeocionalmente mala
0,01 y 0,1: roca extremadamente mala
0,1 y 1: roca muy mala
1 y 4: roca mala
4 y 10: roca media
10 y 40: roca buena
40 y 100: roca muy buena
100 y 400: roca extremadamente buena
400 y 1.000: roca excepcionalmente buena

Jn: índice de diaclasado que indica el fracturamiento del macizo rocoso. **Jr:** índice de rugosidad de las discontinuidades. **Ja:** índice que indica la alteración de las discontinuidades. **Jw:** coeficiente reductor por la presencia de agua. **SRF:** coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

- **Estación geomecánica 1** Media

RQD = 33, Jn = 3, Jr = 3, Ja = 1, Jw = 1, SRF = 4

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right) \qquad (2)$$

$$Q = \frac{33}{3} * \frac{3}{1} * \frac{1}{4} = 8,25$$

- **Estación geomecánica 2** Mala

RQD = 28,2, Jn = 3, Jr = 2, Ja = 1, Jw = 1, SRF = 5

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right) \quad (3)$$

$$Q = \frac{28,2}{3} * \frac{2}{1} * \frac{1}{5} = 3,76$$

- **Estación geomecánica 3** Mala

RQD = 40,9, Jn = 9, Jr = 3, Ja = 0,75, Jw = 1, SRF = 5

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right) \quad (4)$$

Discusión y análisis de resultados

Los resultados obtenidos a partir de la medición de los índices de RMR de Bieniawski y el Q de Barton, muestran que la calidad del macizo rocoso es baja, e identifican que la zona pudo haber tenido afectaciones exógenas por materiales presentes en la zona de estudio. Los métodos empleados se caracterizan por su confiabilidad, ya que permiten comprobar con información precisa y concreta los resultados de sostenimiento de un macizo rocoso.

- **Estación geomecánica 1**

En esta estación se logró un avance a toda la sección completa de 1 a 2,5 m con soporte a 30 m, así como un anclaje local en las bóvedas de 2 a 3 m de largo y espaciado a 2 m con malla electrosoldada ocasional y 5 cm de concreto lanzado para impermeabilizar. Para una calidad de roca típica, el índice Q de Barton establece un parámetro de sostenimiento con pernos a distancia de 1,5 a 2 mm y un concreto lanzado de 40 mm de espesor.

- **Estación geomecánica 2 y estación geomecánica 3**

Estas estaciones registraron un avance y desabombe de 1,5 a 3 m, lo que indica un sostenimiento completo. Se observó un anclado sistemático en bóvedas con tablas de 3 m y un espaciado entre ellas de 0,5 a 2 m con malla de techo y de 5 a 10 cm de concreto en la impermeabilización. En este sentido, el sostenimiento con pernos mostró un espaciado de 1,3 a 1,5 m y una longitud de 1,5 a 2,4 m y 40 mm de concreto lanzado para una roca de baja calidad.

Conclusiones

El trabajo de campo realizado en la zona minera estudiada, permitió establecer que las tres zonas estudiadas evidencian que, a una profundidad más alta en las estaciones, el macizo es más frágil, producido por los agentes exógenos de la zona en donde se encuentra ubicada la mina. En este sentido, al caracterizar los “agentes exógenos”, se puede notar

una modificación de la estructura física de la roca, siendo más vulnerable. Pero la estación geomecánica 1, que se encontraba a menor profundidad en el macizo, evidenció que al estar expuesta a todo agente ambiental que la lesione, es la más competente en términos de sostenimiento en el macizo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este análisis, un proyecto minero que se concentre en esta zona del país debe contar con un proceso de sostenimiento de alta calidad que proporcione una durabilidad en el tiempo; por lo que es una recomendación muy viable para realizar un nuevo estudio de caracterización geomecánica, que permita identificar si el macizo es competente o si, por el contrario, la zona estudiada ya no puede ser contemplada para un área de extracción minera.

Agradecimientos

A la Fundación Universitaria del Área Andina, y al programa de Ingeniería de Minas Bogotá en el desarrollo del proyecto de investigación en la convocatoria DNI 2020.

Referencias

Becerra, A. F., & Castillo, E. Y. (2017). *Estudio geomecánico para las minas Esperanza y Zarzal pertenecientes a la Concesión Minera FIU-151, municipio de Gámeza, Boyacá*. https://repositorio.uptc.edu.co/items/3c3a726c-4457-4db2-aa02-c62c-05ffe68a

Carrillo, Z. (2018). *Introducción a la mecánica de rocas y sus aplicaciones en la industria del petróleo*. Editorial UIS.

Duarte, C. I., & Monroy, W. O. (2012). *Exploración gas metano asociado al carbón. Área Checua-Lenguazaque. Sector GMAC Boquerón de Tausa-La Pluma, Cucunubá*. Ministerio de Minas y Energía. Servicio Geológico Colombiano.

Figueroa, M., Mendoza, N., & Ríos, S. (2014). Characterization and testing of rock aggregates of the Santa Marta batholith (Colombia). *Revista ION*, *27*(2), 87-104. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000200008&lng=en&tlng=en.

Fuentes, H., Carvajal, J., & Calderón, Z. (2011). Estimación de propiedades mecánicas de roca utilizando inteligencia artificial. *Ingeniería y Ciencia*, *7*(14), 83-103. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000200005&lng=en&tlng=es.

Fuquen, J. A., & Osorno, J. F. (2005). *Geología de la plancha 190 Chiquinquirá*. Ingeominas.

Gil, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, *18*(8), 889-901. *Universitaria*, *7*(5), 23-32 (2014).

Gonzales Ccente, B. C. (2015). *Clasificacion Q barton*. Clasificaciones geomecánicas, capítulo 7. https://es.slideshare.net/slideshow/clasificacion-q-barton/53355835Guba, E., & Lincoln Y. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 105-117). Sage Publications, Inc.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). (2010). *El carbón: muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas*. (2ª ed.). Publicaciones Geológicas Especiales No. 30.

Ley-Paredes, V. J., Ríos-Soberanis, C. R., Pérez-Pacheco, E., Vinajera-Reyna, C. E., Wakayama, Sh., & Sakai, T. (2019). Experimental studies on the mechanical behavior of Mayan archeological rocks. *DYNA*, *86*(208), 227-233. https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n208.73581

Marco nacional de cualificaciones de Colombia. (2017). Sector minero. Minerales, oro y carbón. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362826_recurso.pdf

Pérez, N., & Setién, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias. Una mirada a la teoría bibliológico-informativa. *Acimed*, 18–4. http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v18n4/aci31008.pdf

Suárez, L. (2016). *Mecánica del macizo rocoso*. http://geomecanica.org/publications/files/mono_files/enElaboracion/rockMassBook.pdf

Suárez-Burgoa, L. (2009). La falla de la roca. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (26), 87-107. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302009000200009&lng=en&tlng=es.