

Ciencia e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en Ciencias

Básicas e Ingenierías

ISSN 2389-9484

Año 2025, enero-junio, Vol. 12, N.º 1, e12548917

Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.

Universidad de La Guajira

La Guajira, Riohacha, Colombia

<http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>

Este documento fue depositado en Zenodo. DOI:

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.12548917>

Para cita prefiera el ARK:

<https://n2t.net/ark:/60540/12548917>

Daniel Andrés Cotes García*

<https://orcid.org/0000-0003-3936-2669>

dcotes@areandina.edu.co

Fundación Universitaria del Área Andina,

Valledupar, Cesar, Colombia

Esteban Olivella Bendeck

<https://orcid.org/0000-0002-2950-9770>

esolivella@areandina.edu.co

Fundación Universitaria del Área Andina,

Valledupar, Cesar, Colombia

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES LOCALIZADOS EN ÁREAS DE INFLUENCIA MINERA: CASO DE ESTUDIO BOQUERÓN CESAR (COLOMBIA)

Natural resources assessment in mining influence areas: study case Boquerón Cesar (Colombia)

RESUMEN

La explotación minera de carbón a cielo abierto genera impactos ambientales significativos asociados a la eliminación de cobertura boscosa, la remoción de suelos, desviación de corrientes hídricas, desplazamiento de fauna, erosión, deforestación y emisión de material particulado, los cuáles afectan a los centros poblados más cercanos. El propósito de esta investigación está centrado en evaluar los recursos naturales localizados en áreas de influencia minera: caso de estudio Boquerón, Cesar (Colombia). La metodología se basó en una revisión del estado del arte en bases de datos académicas y científicas, en una fase de campo para hacer reconocimientos de los procesos de la gestión ambiental basada en la medición de niveles de ruido, entrevistas y análisis de los datos reportados por el SISAIRE para las emisiones de material particulado en la estación de monitoreo de Boquerón, y en una fase de evaluación de los recursos naturales localizados en áreas de influencia minera. Como resultado se encontró que los niveles de emisión de material particulado no superaron los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (valor aceptable, por debajo del límite máximo permisible), altos niveles de emisión de ruido en la zona del colegio (89 dB, por encima del límite permisible), y niveles de pH neutro y capacidad de intercambio catiónico normales. Concluyendo a concluir que para el poblado de boquerón la contaminación en el aire por partículas producto de las actividades mineras se constituye en el principal impacto ambiental percibido por la comunidad, el cual se hace evidente en las enfermedades pulmonares que se han venido manifestando en la comunidad, así como también en las hojas de las plantas y árboles, en donde se puede apreciar una capa delgada de polvillo de carbón.

Palabras clave: Minería de carbón; recursos naturales; gestión ambiental, área de influencia.

ABSTRACT

Open pit coal mining generates significant environmental impacts associated with the elimination of forest cover, soil removal, diversion of water flows, displacement of fauna, erosion, deforestation and emission of particulate matter, which affect the closest population centers. The purpose of this research is focused on evaluating natural resources located in areas of mining influence: case study Boquerón Cesar (Colombia). The methodology was initially based on a bibliographic review in academic and scientific databases; subsequently field phases in order to carry out reconnaissance of the environmental management processes based on noise level measure, interviews and analysis of data reported by SISAIRE for particulate matter on the monitoring station Boquerón, and a phase of natural resources assessment located in mining influence areas. Leading to conclude that for the town of Boquerón, pollution in the air by particles resulting from mining activities constitutes the main environmental impact perceived by the community, which is evident in the lung diseases that have been manifesting in the community, as well as on the plants leaves and trees, where you can see a thin layer of charcoal dust.

Keywords: Coal mining; Natural resources; Environmental management; Influence area.

Recibido: 3 de mayo de 2024

Aceptado: 10 de junio de 2024

Publicado: 7 de enero de 2025



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el carbón se ha constituido en uno de los combustibles fósiles más importantes debido a sus considerables contribuciones a las economías nacionales de diversos países (Thakur et al., 2021; Zhu et al., 2021). Considerando lo anterior, a nivel mundial la minería a cielo abierto ha emergido como un método de explotación ampliamente utilizado debido a sus ventajas en términos de mayor seguridad y una mayor tasa de extracción en comparación con la minería subterránea (Wang et al., 2022; Sun et al., 2019). No obstante, los impactos ecológicos derivados de la degradación directa de la tierra por este tipo de minería son graves (Soumen. 2021; Shi et al., 2022; Zhang et al, 2023).

Cabe destacar, que la actividad minera a gran escala impacta significativamente en la modificación del paisaje, donde se transforman los ecosistemas del sitio de extracción de los minerales y se modifican los hábitats, todo esto se convierte en una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad (Blum, 2013; Franco et al., 2024). Además, en la minería de carbón a cielo abierto, el polvo producido durante la extracción de este recurso y demás procesos relacionados tales como perforación, voladura, transporte y beneficio, es una preocupación de salud constante (Trechera et al, 2021); así mismo, la acumulación constante de las emisiones contaminantes puede guiar al agotamiento del recurso y la contaminación del suelo, adicionalmente, empeora el ambiente ecológico frágil (Liu et al, 2023).

La cercanía a los sitios mineros incrementa el nivel de contaminación en componentes bióticos y abióticos, por ejemplo, los niveles de contaminantes en suelo y agua están fuertemente conectadas con incidentes meteorológicos, los cuáles cuando se presentan en altas concentraciones se pueden asociar a la trayectoria y dirección de los vientos (Mardonova y Han, 2023; Hu et al, 2023). En relación con lo anterior, el capital social es impactado significativamente por la injusticia social real y percibida relacionada con estas actividades mineras, y que puede surgir por diferentes razones, la mayoría de ellas asociadas a diferencias reales entre la distribución de los impactos ambientales, económicos y sociales (Li et al, 2019).

No obstante, hay que mencionar que la minería hace una contribución significativa a las economías locales y nacionales de Colombia, ya que sostienen el 1 % de las reservas de carbón global; las grandes multinacionales que extraen este recurso están concentradas en los departamentos del Cesar y La Guajira, mientras que las pequeñas empresas se encuentran en algunos municipios de Boyacá y Cundinamarca (Ministerio de Minas y Energía, 2012), pero estas tienen una limitada capacidad para evaluar y gestionar los impactos de la minería sobre el recurso hídrico (González et al, 2019). En la actualidad, Colombia tiene una legislación ambiental que regula las actividades de extracción a través de licencias ambientales, lo cual insta a las empresas a evaluar los impactos ambientales en las áreas de influencia de zonas de extracción o construcciones asociadas; basado en esas evaluaciones se formulan acciones para prevenir, mitigar, corregir, compensar, manejar y controlar esos impactos (Congreso de Colombia, 1993; Franco et al, 2024).

En el departamento del Cesar, la explotación minera de carbón a cielo abierto, se encuentra localizada en el centro del departamento, específicamente en los municipios de Chiriguana, Becerril, El Paso (corregimiento de La Loma) y la Jagua de Ibirico, dentro de las ecorregiones Serranía del Perijá (SP) y el valle del río Cesar (CORPOCESAR, 2019), en el primer trimestre de 2019 registró una producción de 20,9 millones de toneladas (ANLA, 2010), las cuáles generan gran cantidad de material particulado que se traducen en contaminación atmosférica. Debido a esta contaminación y las consecuencias para la salud de las poblaciones ubicadas en el área de influencia directa de las minas de carbón, en 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial solicitó el reasentamiento involuntario de tres de estas poblaciones, tal es el caso de Plan Bonito, El Hatillo y Boquerón comunidades ubicadas en el corregimiento

La Loma y el municipio de La Jagua de Ibirico, Cesar; estos reasentamientos estaban fundamentados en el hecho de que los niveles de material particulado de carbón en la atmósfera habían superado los límites permisibles, lo cual representaba un riesgo para la salud de las personas (Gerstenberg y Villegas, 2019).

Según un estudio realizado por Bejarano (2019) su infraestructura está constituida por casas de barro en su mayoría y en menor proporción por casas de ladrillo, de las cuáles algunas se han visto agrietadas por causa de las voladuras según lo manifestado por los habitantes de este corregimiento. En materia de educación, cuenta con un colegio que brinda servicios de primaria y bachillerato por ciclos, debido a este gran parte de los niños y jóvenes van a estudiar al municipio de La Jagua de Ibirico. Además, hay un puesto de salud básico, un lugar de recreación para personas mayores, un restaurante escolar y un parque central.

Debido a lo anterior, las personas de este corregimiento se han visto forzados a adaptarse a nuevas condiciones, principalmente en aspectos culturales y económicos. Sin duda alguna, el cambio de actividad económica es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, ya que anteriormente la agricultura fue una de las principales actividades económicas de esta comunidad, y esta se desarrolla en una escala mucho menor a causa de los impactos ambientales anteriormente expuestas (Cotes et al, 2021).

La evaluación y monitoreo ambiental de los contaminantes presentes en los recursos naturales, son esenciales para asegurar la preservación de ambientes frágiles y prevenir efectos adversos potenciales sobre la biodiversidad y la salud humana (Moreno et al., 2024), No obstante, se requiere consolidar en la región un sistema de monitoreo de recursos naturales integral que pueda ayudar a comunidades rurales como la de Boquerón a entender en qué condiciones están y qué pueden hacer para mejorar su calidad de vida. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo evaluar los recursos naturales localizados en áreas de influencia minera en este caso en Boquerón Cesar (Colombia).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Boquerón es un corregimiento del municipio de La Jagua de Ibirico (Cesar), se encuentra ubicado a 130 kilómetros de la capital del departamento en el norte de Colombia (Figura 1), se destaca porque está rodeado de grandes minas de carbón pertenecientes a las empresas Drummond y Prodeco.

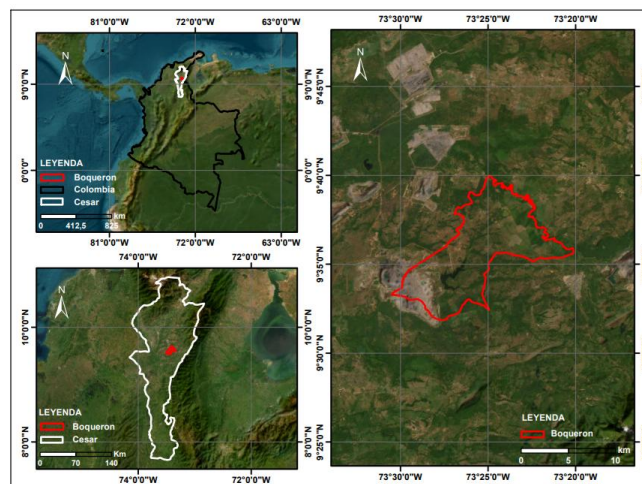


Figura 1. Localización de Boquerón.

Procedimiento

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos académicas y científicas con el fin de definir los aspectos a considerar en la evaluación de los recursos naturales de Boquerón y obtener los datos necesarios para cada una de las estimaciones; posteriormente se llevó a cabo la fase de campo en la cual se hicieron entrevistas y observación con el fin de hacer reconocimientos de los componentes agua, aire y suelo, así como también analizar los procesos de la gestión ambiental y evaluar los recursos naturales localizados en áreas de influencia minera. Para el cálculo del índice de calidad de aire primero se buscaron los datos de PM10 para 24 horas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos de la estación de monitoreo ZM06 ubicada en el colegio de Boquerón Cesar, la cual pertenece a la Red SISAIRE-CORPOCESAR, para ello se consultó la página del SISAIRE y se tuvieron en cuenta los datos del año 2019; a partir de estos datos se calculó el índice de calidad de aire ICA para cada uno de los meses del año 2019, utilizando la ecuación 1 propuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) y tomando como referencia el estudio realizado por Paz et al (2021).

$$ICAp = \frac{I_{\text{alto}} - I_{\text{bajo}}}{PC_{\text{alto}} - PC_{\text{bajo}}} \times (Cp - PC_{\text{bajo}}) + I_{\text{bajo}} \quad (1)$$

En donde:

ICAp=Índice de Calidad del Aire para el contaminante p

Cp= Concentración medida para el contaminante p

PCalto=Punto de corte mayor o igual a Cp

PC bajo= Punto de corte menor o igual a Cp

Ialto= Valor del ICA correspondiente al PC alto

Ibajo= Valor del ICA correspondiente al PC bajo

Para el análisis de ruido se empleó la metodología basada en la resolución 0627 propuesta por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006) y tomando como referencia el estudio realizado por Romero et al (2024), siguiendo las recomendaciones expresadas en la normatividad para la ejecución de las mediciones simétricas desarrolladas en Boquerón-Cesar. Se realizaron tres mediciones en tres puntos de la comunidad de Boquerón, los cuáles corresponde a el colegio, el cementerio y área cercana a la zona de voladuras de la mina; estas mediciones se llevaron a cabo en los momentos en los que mayor ruido se genera en cada uno de los puntos de muestreo, se tomaron en cada 15 minutos y se registró el promedio de las mediciones realizadas con el sonómetro marca Aktakom AK. Con base en los resultados obtenidos se calculó el nivel de presión sonora utilizando la ecuación 2 planteada en esta misma resolución.

$$LAeq = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{5} \cdot (10^{LN/10} + 10^{Lo/10} + 10^{Ls/10} + 10^{LE/10} + 10^{Lv/10}) \right) \quad (2)$$

Dónde:

LAeq; Nivel equivalente resultante de la medición

LN: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido Norte

LO: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido Oeste

LS: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido Sur

LE: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido Este

LV: Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical

El análisis del componente agua se realizó a través de entrevistas y observación, y tomando como referencia el estudio realizado por León et al (2022), con el fin de identificar si esta es apta para el consumo humano. La población entrevistada corresponde a los habitantes de la comunidad de Boquerón.

Se tomó una muestra de suelo a la cual se le realizó análisis fisicoquímico en el laboratorio de suelos del programa Ingeniería Ambiental de la Universidad Popular del Cesar, tomando como referencia el estudio realizado por Guzmán et al (2022), en el cual se midieron los siguientes parámetros: color, humedad, textura, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo y carbono, y los resultados se analizaron teniendo en cuenta los factores de formación del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnóstico de los componentes aire, agua y suelo de Boquerón

Indicador ambiental aire

Las entrevistas y el proceso de observación muestran que en la zona las principales fuentes generadoras de partículas suspendidas son la actividad industrial, la minería, la actividad transportadora, construcciones, vías destapadas, quemaduras, procesos de quema de combustibles fósiles, almacenamiento y molienda de material a granel, industria de la construcción y procesos de condensación de vapores y reacciones entre gases, etc. Además, las personas entrevistadas manifiestan que en la comunidad se han presentado en los últimos 10 años enfermedades pulmonares y enfermedades poco frecuentes generando una gran preocupación, tal como lo manifestó El Heraldo (3 de octubre de 2014), donde se expresa que el carbón ha causado 22 enfermedades en el corredor minero.

Los resultados del análisis de la calidad de aire en Boquerón se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Índice Pm10 calculado en la estación de monitoreo ZM06 Boquerón entre enero y septiembre de 2019.

No	Descripción	Fecha	Índice calculado	Rango	Descripción del nivel
1	Pm10	28/01/2019	35.827	0-50	Buena
2	Pm10	3/02/2019	43.644	0-50	Buena
3	Pm10	6/02/2019	49.674	0-50	Buena
4	Pm10	9/02/2019	39.224	0-50	Buena
5	Pm10	12/02/2019	57.564	51-100	Moderada
6	Pm10	15/02/2019	55.121	51-100	Moderada
7	Pm10	18/02/2019	55.256	51-100	Moderada
8	Pm10	21/02/2019	43.037	0-50	Buena
9	Pm10	24/02/2019	48.678	0-50	Buena
10	Pm10	27/02/2019	55.219	51-100	Moderada
11	Pm10	2/03/2019	57.108	51-100	Moderada
12	Pm10	5/03/2019	42.012	0-50	Buena
13	Pm10	8/03/2019	27.041	0-50	Buena
14	Pm10	11/03/2019	40.792	0-50	Buena
15	Pm10	14/03/2019	66.984	51-100	Moderada
16	Pm10	17/03/2019	47.958	0-50	Buena



No	Descripción	Fecha	Índice calculado	Rango	Descripción del nivel
17	Pm10	20/03/2019	54.694	51-100	Moderada
18	Pm10	23/03/2019	35.812	0-50	Buena
19	Pm10	26/03/2019	61.918	51-100	Moderada
20	Pm10	29/03/2019	46.920	0-50	Buena
21	Pm10	4/04/2019	39.902	0-50	Buena
22	Pm10	7/04/2019	62.050	51-100	Moderada
23	Pm10	10/04/2019	51.550	51-100	Moderada
24	Pm10	13/04/2019	66.273	51-100	Moderada
25	Pm10	16/04/2019	32.912	0-50	Buena
26	Pm10	19/04/2019	21.289	0-50	Buena
27	Pm10	22/04/2019	29.264	0-50	Buena
28	Pm10	25/04/2019	41.394	0-50	Buena
29	Pm10	28/04/2019	52.092	51-100	Moderada
30	Pm10	1/05/2019	41.135	0-50	Buena
31	Pm10	4/05/2019	44.169	0-50	Buena
32	Pm10	7/05/2019	41.686	0-50	Buena
33	Pm10	13/05/2019	34.053	0-50	Buena
34	Pm10	16/05/2019	25.994	0-50	Buena
35	Pm10	19/05/2019	25.994	0-50	Buena
36	Pm10	22/05/2019	24.065	0-50	Buena
37	Pm10	25/05/2019	16.195	0-50	Buena
38	Pm10	28/05/2019	13.334	0-50	Buena
39	Pm10	31/05/2019	15.582	0-50	Buena
40	Pm10	3/06/2019	20.275	0-50	Buena
41	Pm10	6/06/2019	19.744	0-50	Buena
42	Pm10	12/06/2019	31.317	0-50	Buena
43	Pm10	15/06/2019	27.899	0-50	Buena
44	Pm10	18/06/2019	28.640	0-50	Buena
45	Pm10	24/06/2019	26.344	0-50	Buena
46	Pm10	27/06/2019	37.467	0-50	Buena
47	Pm10	30/06/2019	22.688	0-50	Buena
48	Pm10	3/07/2019	28.797	0-50	Buena
49	Pm10	6/07/2019	23.375	0-50	Buena
50	Pm10	12/07/2019	43.793	0-50	Buena
51	Pm10	15/07/2019	27.967	0-50	Buena
52	Pm10	18/07/2019	24.096	0-50	Buena
53	Pm10	21/07/2019	34.414	0-50	Buena
54	Pm10	24/07/2019	23.679	0-50	Buena
55	Pm10	27/07/2019	33.315	0-50	Buena
56	Pm10	30/07/2019	11.824	0-50	Buena
57	Pm10	2/08/2019	21.013	0-50	Buena



No	Descripción	Fecha	Índice calculado	Rango	Descripción del nivel
58	Pm10	5/08/2019	28.047	0-50	Buena
59	Pm10	8/08/2019	27.136	0-50	Buena
60	Pm10	11/08/2019	53.851	51-100	Moderada
61	Pm10	14/08/2019	25.573	0-50	Buena
62	Pm10	17/08/2019	20.609	0-50	Buena
63	Pm10	20/08/2019	29.189	0-50	Buena
64	Pm10	23/08/2019	33.290	0-50	Buena
65	Pm10	26/08/2019	33.077	0-50	Buena
66	Pm10	29/08/2019	37.118	0-50	Buena
67	Pm10	1/09/2019	43.876	0-50	Buena
68	Pm10	4/09/2019	54.466	51-100	Moderada
69	Pm10	7/09/2019	20.885	0-50	Buena
70	Pm10	10/09/2019	41.135	0-50	Buena
71	Pm10	13/09/2019	32.182	0-50	Buena
72	Pm10	16/09/2019	23.867	0-50	Buena
73	Pm10	19/09/2019	9.199	0-50	Buena
74	Pm10	22/09/2019	17.145	0-50	Buena
75	Pm10	25/09/2019	24.079	0-50	Buena
76	Pm10	28/09/2019	35.403	0-50	Buena

Fuente: SISAIRE (2020).

En los resultados presentados se muestra que en la mayoría de los meses la calidad del aire en cuanto a PM10 es buena, aunque se puede ver un ligero aumento de estas en los meses de febrero, marzo y abril: debido a que durante estos meses se presenta escasez de lluvias, lo que produce un aumento del polvo de las carreteras que no se encuentran pavimentadas y se puede mezclar con el polvillo de carbón generado en la mina, entre otros factores (Tabla 1 y Figura 2).

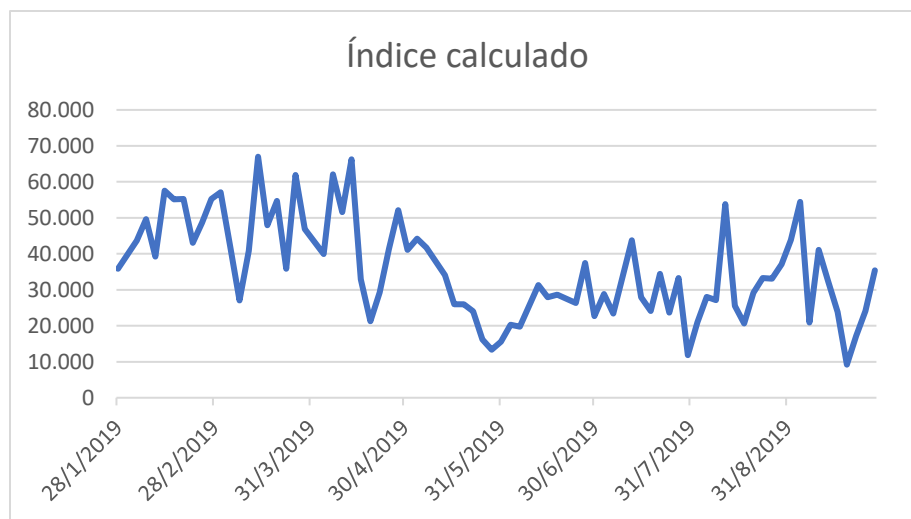


Figura 2. Resultados de la medición de PM10 para los meses de enero a septiembre de 2019.

Teniendo en cuenta lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) en la Resolución 2254, se destaca que para los meses en que la medición es buena, no existen efectos en la salud que puedan llegar a ser de gran impacto, por lo tanto, las acciones preventivas a realizar son mínimas. Mientras que en los meses en que la medición es moderada pueden existir posibles síntomas respiratorios en individuos sensibles y no sensibles, como por ejemplo posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores. Las acciones preventivas que se recomiendan es que personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardiovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Esto se relaciona con el estudio realizado por Rojano et al (2018), quienes demostraron que las emisiones de material particulado en la mina Cerrejón no superaron los límites permisibles establecidos por la normatividad colombiana.

Indicador ambiental ruido

Para evaluar la posible contaminación sonora debido a las actividades mineras, se obtuvieron tres tipos de registros que representan el promedio obtenido en cada una de las zonas escogidas en el momento más ruidoso del día, estos datos fueron tomados en un día normal en el mes de octubre del 2019, en el cual el colegio tiene clases y la voladura en la mina de carbón se lleva a cabo; la selección de los sitios de muestreo se fundamentó en la información suministrada por los miembros de la comunidad (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de los dB obtenidos en el corregimiento de Boquerón.

Puntos	Coordenadas	Promedio (dB)	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Hora	Lugar
1	E: 1071831	70,4	64,5	89	9:42 am; 9:57 am; 10:12 am	Colegio
	N: 1556899					
2	E: 9.634654	41,4	42	54,8	10:52 am; 11:07 am; 11:22 am	Cementerio
	N:73.414832					
3	E: 9.632823	56,41	56,1	61,6	12:45 pm; 1:00 pm; 1:15 pm	Voladura
	N: 73.42524					

Mediciones de los niveles de presión sonora en toda la zona entre el patio escolar, cementerio y voladura.

$$LAeq = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{1}{5} \right) \cdot (10^{LN/10} + 10^{Lo/10} + 10^{Ls/10} + 10^{LE/10} + 10^{Lv/10}) \right) \quad (2)$$

$$LAeq = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{1}{3} \right) \cdot (10^{89/10} + 10^{54,8/10} + 10^{61,6/10}) \right)$$

$$LAeq = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{1}{3} \right) \cdot (10^{8,9} + 10^{5,48} + 10^{6,16}) \right)$$

$$LAeq = 84,23 \text{ dB}$$

Según los resultados obtenidos, 89 dB es el nivel de presión sonora más alto al que está expuesto la comunidad, mientras que el nivel de presión sonora continuo equivalente o ruido ambiental corresponde a 84,23 dB. En la Figura 3 se observan los niveles de ruidos en dB, en las tres zonas que se muestrearon, la línea roja representa el límite máximo permisible de nivel de presión sonora para las áreas residenciales en un horario diurno, según la resolución 0627 propuesta por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). Con base a la información, se determinó que la zona crítica de contaminación auditiva

para horarios diurnos está enmarcada entre rangos de 70 a 90 dB, la cual corresponde a la zona escolar, donde se presentan registros de valores altos de nivel de ruido, principalmente en horas de recreo; por otro lado, en el punto de voladura aumenta un poco en comparación a un registro normal, pero no supera los límites permisibles de la presión sonora según lo establecido por la norma.

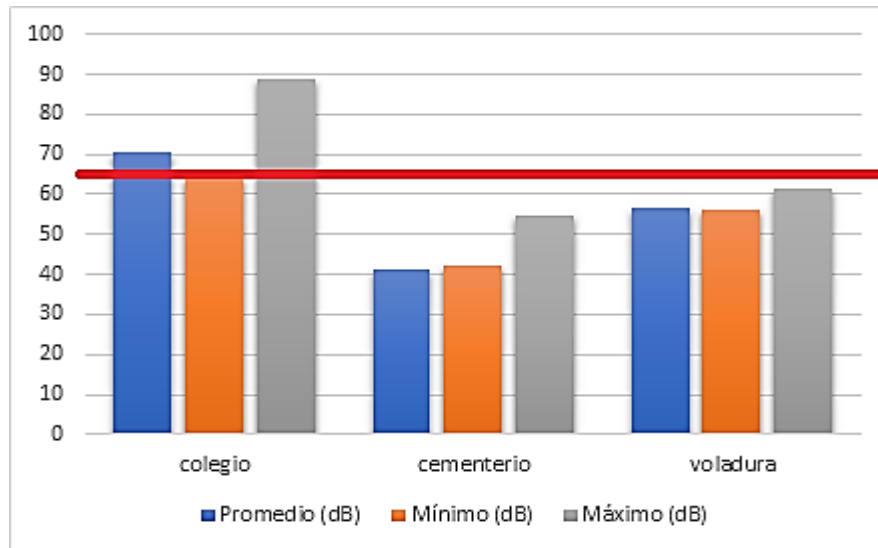


Figura 3. Resultados de la medición de los niveles de ruido obtenidos en Boquerón.

Indicador ambiental agua

Durante el proceso de observación se pudo apreciar la problemática que presenta la comunidad con respecto tanto a la cantidad como a la calidad de agua de la cual debe proveerse el poblado para sustentar sus necesidades básicas, ya que esta comunidad no cuenta con un río lo suficientemente cerca para sustentar estas necesidades, teniendo en cuenta que según los habitantes, el que se encontraba más cercano, ahora se encuentra seco, producto de las desviaciones que han debido hacer las empresas mineras para la ejecución de sus actividades de explotación del carbón.

La fuente hídrica más cercana que tiene la comunidad de Boquerón es un pozo de agua subterránea, que, aunque según los entrevistados esta agua sale del pozo clara, es necesario un tratamiento de la misma. En la zona se cuenta con una planta de tratamiento para estas aguas, pero en las entrevistas realizadas la comunidad manifiesta en que esta no funciona como debe ser, y que el agua en este corregimiento no es apta para el consumo humano.

Indicador ambiental suelo

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados del análisis físico químico realizado a la muestra de suelo que se tomó en la comunidad de Boquerón, de la cual se destaca que el suelo es de color marrón, tiene un contenido de humedad del 51 % y tiene una textura principalmente arenosa con un 45 % lo que significa que este suelo presenta bajo almacenamiento de nutrientes, permeabilidad alta y velocidad de infiltración alta tal como lo plantea Aguilar (2018), esto es coherente con los resultados obtenidos por Díaz et al (2013), quienes analizaron los suelos de estériles mineros y concluyeron que estos suelos son de color oscuro, tienen bajos contenidos en azufre pirítico, lo cual podría generar graves problemas de salinidad.

Tabla 3. Resultados de la caracterización física de la muestra de suelo de Boquerón.

Características físicas		
Color	8YR	
Humedad	51,46 %	
Textura	Arena	45 %
	Arcilla	24 %
	Limos	26 %

En cuanto a las características químicas, el suelo de Boquerón tiene un pH neutro, capacidad de intercambio normal y bajo contenido de fósforo y carbono, esto significa que la condición de este suelo puede limitar significativamente el crecimiento de las plantas y la salud general del ecosistema.

Tabla 4. Resultados de la caracterización química de los suelos de Boquerón

Características químicas	
PH	Neutro
Conductividad eléctrica	0,264 ds m ⁻¹
Capacidad de intercambio	Normal
Fosforo	Bajo
Carbono	Bajo

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en las entrevistas realizadas a los pobladores, el recurso natural que consideran los habitantes de la comunidad de Boquerón que se ve más afectado por la actividad minera de carbón es el aire, ya que el material particulado generado por estas actividades se relaciona con las enfermedades pulmonares que mencionaron estas personas que se han venido presentando en la comunidad. Además, de este se destaca el hecho de no contar con el acceso a agua potable como otro de los impactos ambientales percibidos por esta comunidad.

Aunque los registros de la estación para la medición de PM10 en Boquerón, dan a conocer resultados completamente diferentes a los que la comunidad refiere. Se puede decir que, aunque los niveles, en promedio se mantienen dentro de los límites permisibles, la permanente exposición a esta va a agravando las condiciones de la calidad del aire para la comunidad y que los resultados que arroja la estación tampoco se podrían considerar fiables, debido a la ubicación alrededor de una zona muy arborizada, como se evidenció en el proceso de observación.

La contaminación por ruido producto de las actividades mineras no es significativa, ya que, aunque se hace evidente las grietas en las viviendas y derrumbes de las paredes que los habitantes asocian con las voladuras de la actividad minera, los resultados de los dB asociados a estas actividades no superan los límites permisibles, lo cual significa que no presentan un riesgo para la salud auditiva de la comunidad.

Con base a la información suministrada por los habitantes de la comunidad, la calidad del agua se considera como no apta para el consumo humano, lo cual requiere que se implementen estrategias de innovación para el suministro de agua potable para esta población.

Finalmente, se puede concluir a partir del análisis físico y químico, y el proceso de observación, que el suelo presenta unas condiciones normales, lo cual favorece el desarrollo de diferentes tipos de cultivos que se pueden empezar a desarrollar en una mayor escala pensando en un escenario de post cierre de minas, lo cual es similar a lo concluido por Noriega et al. (2019), quienes mencionan que las condiciones del suelo de Boquerón son distintas a las que se presentan dentro de las minas de carbón.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Alínquer, B. (2018). <i>El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. AGAC0108: </i> (2ed.). IC Editorial. <https://elibronet.proxy.bidig.areandina.edu.co/es/ereader/areandina/106552?page=17>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA (2021). Resolución No 00640 "Por la cual se modifica vía seguimiento la Resolución 970 del 20 de mayo de 2010 y se adoptan otras determinaciones".
- Bejarano, D. (2019). Propuesta de transferencia tecnológica en tratamiento de suelos con modelo aplicativo en la zona carbonífera del Cesar (comunidad rural de Boquerón, municipio de La Jagua de Ibirico). Tesis para optar el título de Ingeniería de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar.
- Blum, W., (2013). Soil and land resources for agricultural production: general trends and future scenarios- A worldwide perspective. *Int. Soil. Water. Conserv. Res.* 1, 1–14. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30026-](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30026-).
- Congreso de Colombia (1993). Ley 99 de 1993. Bogotá, D.C.
- CORPOCESAR (2019). Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR / PLANEAR 2019-2040. Valledupar.
- Cotes, D., Noriega, A., Díaz, L. & Castellanos, P. (2021). Transferencia de conocimiento científico sobre variabilidad climática en entornos rurales (comunidad de Boquerón, Jagua de Ibirico). *Revista Agunkuyâa*. Volumen 12. Número 1: 64-80. DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1987>
- Díaz, L., Arranz, J. & Peñuela, G. (2013). Caracterización físico química y mineralógica de suelos en zona carbonífera del Cesar, Colombia. *INTERCIENCIA JAN 2013, VOL. 38 N° 1*. Recuperado de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/35711/4/DiazLuis_2013_Caracterizaci%3f3nFisico-Quimica.pdf
- Franco, M., Blanco, A., Gómez, B. & Etter, A. (2024). Biodiversity responses to landscape transformations caused by open-pit coal mining: An assessment on bats and dung beetles in a Colombian tropical dry forest. *Environmental and Sustainability Indicators* 21100335. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100335>.
- El Heraldo (2014). Carbón ha causado 22 enfermedades en corredor minero. Recuperado 13 de octubre de 2014 de <https://www.elheraldo.co/cesar/2014/10/13/carbon-ha-causado-22-enfermedades-en-corredor-minero/>

- El Pilón (2021). La resolución que durante diez años condenó a Boquerón a la pobreza. Recuperado 17 de febrero de 2021 de <https://elpilon.com.co/la-resolucion-que-durante-diez-anos-condeno-a-boqueron-a-la-pobreza/>
- Gerstenberg, F. & Villegas, P. (2019). La minería de carbón en Colombia y la situación económica de las mujeres rurales: la comunidad El Hatillo (Cesar, Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 23(45). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-45.mccs>.
- González, M., Huguet, C., Pearse, J., McIntyre, N. & Camacho, L. (2019). Assessment of potential contamination of paramo soil and downstream water supplies in a coal mining región of Colombia. *Applied Geochemistry* 108 104382. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104382>
- Guzmán, H., Perdomo, Y., Mosquera, H., Pérez, U. & Varón, M. (2022). Characterization of vegetation and the arbuscular mycorrhizal fungi community in soils impacted by gold mining in Colombia. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 23(3) Mosquera. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2394
- Hu, J., Zheng, L., Liu, S., Chen, Y., Li, C., Ni, J., Chen, Y. & An, S. (2023). Quantifying the impacts of coal mining activities on topsoil using Hg stable isotope: A case study of Guqiao mining area, Huainan City. *Environmental Pollution* Volume 335, 122378. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122378>
- León, L., Arada, M., Vila, L., Fernández, A. & Chibinda, C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del manantial "El Paraíso" en Santiago de Cuba. *Rev. Cubana Quím.* e-ISSN: 2224-5421. Vol 34:(2).
- Li, Q., Stoeckl, N. & King, D. (2019). Using the life-satisfaction approach to quantify the complex inter-related impacts of coal mining on host communities: A case study in Shanxi, China. *Resources Policy* 62 (2019) 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.03.021>
- Liu, Y., Heng, W. & Yue, H. (2023). Quantifying the coal mining impact on the ecological environment of Gobi open-pit mines. *Science of the Total Environment* 883 163723. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163723>
- Mardonova, M. & Han, Y. (2023). Environmental, hydrological, and social impacts of coal and nonmetal minerals mining operations. *Journal of Environmental Management* Volume 332, 117387. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117387>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). Resolución 2254. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). Resolución 627 de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-0627-de-2006.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía (2012). Censo 2010 de minas y energía para el departamento de Cundinamarca. Ministerio de Minas y Energía, Bogotá.
- Moreno, S., Vértiz, J., Paredes, C., Meseth, E., Vilchez, G., Espino, J. & Flores, L. (2024). Ecological risk of metals in Andean water resources: A framework for early environmental assessment of mining projects in Peru. *Heliyon* Volume 10, Issue 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30739>

- Noriega, A., Cotes, D. y Díaz, L. (2019). Propuesta de transferencia tecnológica en tratamiento de suelos con modelo aplicativo en la zona carbonífera del Cesar (comunidad de Boquerón, la Jagua de Ibirico). Fundación Universitaria del Área Andina. <https://doi.org/10.33132/26654644.1708> Propuesta de transferencia tecnológica en tratamiento de suelos
- Paz, H., Moreno, A. & Poveda, J. (2021). Air Quality Measurement Using an IoT Network: A Case Study. *ing.* vol. 26:(3). Bogotá. <https://doi.org/10.14483/23448393.17589>
- Rojano, R., Arregocés, H., Angulo, L. & Restrepo, G. (2018). Análisis y origen de las concentraciones de TSP y PM10 en minería de carbón a cielo abierto usando gráficos polares. *Inf. tecnol.* vol.29:(6). La Serena dic. 2018. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000600131
- Romero, M., Rivera, M., Cisneros, R. & Naranjo, A. (2024). Determinación y monitoreo de puntos críticos de ruido urbano considerando múltiples factores in situ. *Novasinerгия.* 7(1). 67-87. <https://doi.org/10.37135/ns.01.13.04>
- Shi, J. Q., Li, D. A., Chu, X. H., Yang, J. & Shen, C. Y., (2022). Intelligent classification of land cover types in open-pit mine area using object-oriented method and multitask learning. *J. Appl. Remote Sens.* 16 (3), 038504 <https://doi.org/10.1117/1.JRS.16.038504>
- Soumen, C., (2021). Impact of open pit coal mining on the forest landscape ecology using spatial metrics: a study of Barabani C.D. block, West Bengal. *Spat. Inf. Res.* 29 (5), 645–659. <https://doi.org/10.1007/s41324-021-00382-w>.
- Sun, S. Y., Sun, H., Zhang, D. S., Zhang, J. F., Cai, Z. Y., Qin, G. H. & Song, Y. M. (2019). Response of soil microbes to vegetation restoration in coal mining subsidence áreas at Huaibei Coal Mine, China. *Int. J. Env. Res. Pub. He.* 16 (10), 1757. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101757>.
- Thakur, T. K., Dutta, J., Upadhyay, P., Patel, D. K., Thakur, A., Kumar, M. & Kumar, A., (2021). Assessment of land degradation and restoration in coal mines of central India: a time series analysis. *Ecol. Eng.* 175, 106493 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106493>
- Trechera, P., Moreno, T., Córdoba, P., Moreno, N., Zhuang, X., Li, B., Li, J., Shanguan, Y., Domínguez, A., Kelly, F. & Querol, X. (2021). Comprehensive evaluation of potential coal mine dust emissions in an open-pit coal mine in Northwest China. *International Journal of Coal Geology* 235 103677. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2021.103677>
- Wang, S. F., Cao, Y. G., Pietrzykowski, M., Zhou, W. & Bai, Z. K. (2022). Research on the influence of vegetation restoration in loess open-pit coal mines of China: influencing factors and mechanism. *Ecol. Eng.* 177, 106549 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106549>
- Zhang, C., Li, F., Zhang, K., Ran, W., Du, M., Guo, J. & Hou, G. (2023). Assessing the effect, attribution, and potential of vegetation restoration in open-pit coal mines' dumping sites during 2003–2020 utilizing remote sensing. *Ecological Indicators* 155 (2023) 111003. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111003>
- Zhu, Q., Hu, Z.Q., Liu, X.R., Wu, Y.J., (2021). Topsoil alternatives selection for Surface coal-mined land reclamation in Inner Mongolia, China: an experimental study. *Int. J. Min. Reclam. Env.* 35 (6), 421–434. <https://doi.org/10.1080/17480930.2020.1846239>

BIODATA

Daniel Andrés Cotes García: Docente del programa Ingeniería Ambiental de la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar, ingeniero de minas, Especialista en Gestión Ambiental, Magíster en Ciencias Ambientales, miembro del Grupo de Investigación Minero Ambiental GIMA, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria del Área Andina. Autor de las siguientes publicaciones: (2023). Estimación de las variables microbiológicas de digestión anaeróbica de la mezcla estiércol bovino y caprino. <https://doi.org/10.24054/raaas.v14i2.2788>; (2022). Evaluación de la huella hídrica del café en la estación experimental Pueblo Bello. <https://doi.org/10.15649/2346030X.2526>

Esteban Alberto Olivella Bendeck: Docente del programa Ingeniería de Minas de la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar, ingeniero en minas, miembro del Grupo de Investigación Minero Ambiental GIMA, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria del Área Andina. Autor de las siguientes publicaciones: (2023). Uso de tecnologías de la información geográfica para la caracterización de la vía Zapayán - El Bongo, Magdalena, Colombia. <https://doi.org/10.24054/raaas.v14i1.2745>