



Análisis de viabilidad ambiental para la actividad minera en el municipio de Sogamoso, Boyacá

Analysis of environmental feasibility for mining in Sogamoso, Boyacá

Sulma Yaneth Suárez-Aristizabal¹, Omar Javier Daza-Leguizamón²,

Gladys Alcira Riaño-Cano³

Resumen

De acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018), la minería es uno de los pilares fundamentales de la economía colombiana, lo cual, indudablemente, supone retos de carácter ambiental para los entes territoriales. Este trabajo presenta un análisis espacial de los componentes abiótico, biótico y sociocultural para evaluar la viabilidad de la actividad minera. Las variables de tipo abiótico fueron: amenazas naturales, capacidad agrológica, aguas subterráneas y aguas superficiales. Las variables de tipo sociocultural incluyeron: carreteras, sistemas de provisión de servicios públicos, áreas con equipamientos públicos, áreas de interés cultural o arqueológico y asentamientos humanos. El componente biótico fue abordado con el modelo de calidad de hábitat de InVest; se consideraron las coberturas del suelo según la clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia y los puntos de muestreo de flora y fauna dispuestos en la plataforma del Sistema de Biodiversidad de Colombia. Mediante la aplicación de análisis jerárquico se adelantó la sobreposición ponderada de las variables para clasificar el territorio en tres categorías de manejo ambiental: exclusión, intervención con restricciones e intervención. La metodología propuesta se aplicó en el municipio de Sogamoso, el cual se caracteriza por albergar explotaciones de minerales como carbón y roca fosfórica, entre otros. Los resultados permitieron identificar zonas con diferentes conflictos territoriales que deben ser analizados para implementar programas y proyectos que permitan minimizarlos o eliminarlos. De esta manera, el análisis espacial permite a los operadores mineros, las autoridades ambientales y la comunidad en general articular esfuerzos para mantener los niveles de la economía regional y minimizar los efectos ambientales adversos.

Palabras clave: minería, abiótico, biótico, economía, sociocultural.

1. Ingeniero ambiental. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: sulma.suarez@uptc.edu.co.

2. Magíster en Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: omar.daza@uptc.edu.co.

3. Ingeniero civil. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo: gladys.riano@uptc.edu.co.





Abstract

According to the national development plan, mining is one of the fundamental pillars of the Colombian economy; which undoubtedly poses environmental challenges for local authorities. This paper presents a spatial analysis of the abiotic, biotic and sociocultural components to evaluate the viability of the mining activity. The variables of the abiotic type were: natural threats, agronomic capacity, groundwater and surface waters. Sociocultural variables included: roads, public service delivery systems, areas with public facilities, areas of cultural or archaeological interest, and human settlements. The biotic component was addressed with the InVest habitat quality model; considering the coverages of the soil according to the classification Corine Land Cover adapted for Colombia and the points of sampling of flora and fauna arranged in the platform of the System of Biodiversity of Colombia. Through the application of hierarchical analysis the weighted overlapping of variables was advanced to classify the territory into three categories of environmental management: exclusion, intervention with restrictions and intervention. The proposed methodology was applied in the municipality of Sogamoso, which is characterized to hold mineral exploitations such as coal, phosphoric rock, among others. The results allowed identifying areas with different territorial conflicts that must be analyzed to implement programs and projects that allow them to be minimized or eliminated. In this way, spatial analysis allows mining operators, environmental authorities and the community in general to articulate efforts to maintain the levels of the regional economy by minimizing adverse environmental effects.

Keywords: *mining, abiotic, biotic, economy, socio-cultural.*





Introducción

El municipio de Sogamoso se encuentra en la región del Alto Chicamocha del departamento de Boyacá, en Colombia, a una latitud de 5° 42' 57" norte y una longitud de 72° 55' 38" oeste. Está ubicado sobre la cordillera Oriental, entre las coordenadas norte = 1.109.000 – 1.130.000 m y este = 1.122.000 – 1.145.000 m, y a una altitud entre los 2.500 y 4.000 metros sobre el nivel del mar. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), para el año 2015 “el área total de extensión geográfica del municipio es de 214 km², de los cuales 30,54 km² corresponden a extensión urbana [15%] y 178 km² a extensión rural [85%]” (Alcaldía de Sogamoso, 2016, p. 26).

La ubicación geográfica del municipio de Sogamoso define, en gran medida, su posicionamiento como centro comercial y prestador de servicios, tanto para los municipios aledaños, pertenecientes a la provincia de Sugamuxi, como al departamento de Boyacá, mediante una serie de proyectos de carácter estratégico, y con departamento de Casanare, con el cual mantiene múltiples nexos económicos, sociales y culturales. La economía de Sogamoso se sustenta en las actividades agropecuarias, la industria, la explotación de minerales, el comercio y la prestación de servicios.

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Sogamoso Incluyente”, el sector minero realiza labores de extracción y comercialización de rocas o minerales, tales como carbón, roca fosfórica, arcillas, arena y recebo. En la tabla 1 se presenta la participación minera por producción para los diferentes minerales. Según datos de la Agencia Nacional de Minería (ANM), es importante señalar que el municipio de Sogamoso, para el año 2015, aportó el 45,55% de la producción nacional de roca fosfórica (Alcaldía de Sogamoso, 2016).

Tabla 1. Participación minera por producción

<i>Roca o mineral</i>	<i>Año 2015 (ton)</i>	<i>Participación (%)</i>
<i>Carbón (predominante térmico)</i>	147.152	73,72
<i>Roca fosfórica</i>	38.701	19,39
<i>Arcillas</i>	11.021	5,52
<i>Arenas (densidad promedio 1,55 ton/m³)</i>	2.440	1,22
<i>Recebo (densidad mezcla promedio 1,7 ton/m³)</i>	306	0,15

Fuente: datos de la Agencia Nacional de Minería tomados del Plan de Desarrollo Municipal (Alcaldía de Sogamoso, 2016, p. 114).





En el informe del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), elaborado por la Universidad Nacional de Colombia (2013), se describe que las unidades mineras de mayor participación municipal están en el sector de la arcilla, con 163 minas activas, seguidas por las unidades de carbón, con 64 minas activas (figura 1).

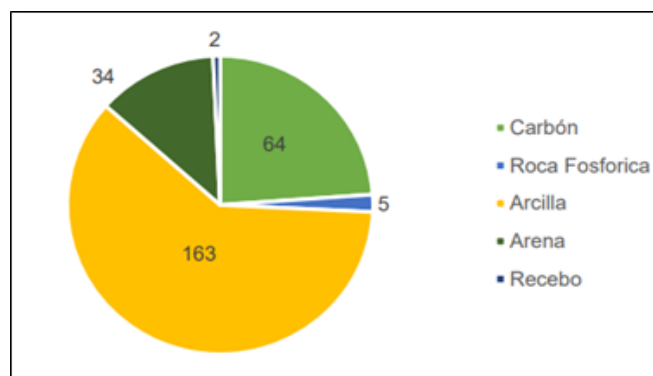


Figura 1. Detalle de unidades mineras activas, municipio de Sogamoso, 2012

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Proyecto POT (2013).

La cobertura de área de los contratos, licencias y solicitudes, según el diagnóstico para el POT realizado por la Universidad Nacional (2013), describe un total de área de cobertura de títulos mineros correspondiente a 7.129 ha, lo cual significa que el 34% del área total del municipio se encuentra en una zona de influencia de títulos.

En cuanto a los aspectos ambientales, el informe de la Corporación Regional Autónoma de Boyacá (Corpoboyacá, 2013), titulado *Ajuste al PGAR 2009-2019*, describe:

[...] la actividad de extracción, en especial el carbón, es insostenible ambientalmente, lo cual se combina con una labranza que afecta la calidad del suelo, lo vuelve improductivo y crea un círculo vicioso donde se amplía la frontera agrícola sacrificando los bosques para buscar tierra cultivables, que pronto son inservibles por las mismas prácticas agrológicas inadecuadas. A esta situación se agrega que cada vez el tamaño de las áreas de las propiedades rurales o de los terrenos cultivables es mínimo, imponiéndose el microfundio. El resultado se mide en un número mayor de familias campesinas atrapadas en la pobreza.

En este contexto, el análisis de viabilidad propuesto es un instrumento para la planificación de la operación minera y el procedimiento planteado busca evaluar la capacidad de acogida del territorio donde se expresa la relación entre las actividades de explotación y el entorno. Adicionalmente, con el tratamiento de datos georreferenciados, la combinación de variables ambientales y la aplicación de herramientas de análisis espacial, se pretende mostrar resultados espaciales en áreas de interés prioritario por su importancia ambiental.

Desarrollo teórico y metodológico

Metodología

El desarrollo del análisis de viabilidad ambiental partió de la recopilación de información de fuentes primarias, así como de la información producida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entidad encargada de producir la cartografía oficial para Colombia, las bases de datos de la Gobernación de Boyacá, a través del Sistema de Información Geográfica Territorial para el departamento (SIGTER-Boyacá), la información espacial registrada en el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia (SIB-COLOMBIA) y en el Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC).





El análisis de viabilidad se realizó a partir de variables espaciales, las cuales se seleccionaron para los componentes abiótico, biótico y sociocultural. Toda la información se estandarizó en una base de datos y se adoptó como único Datum oficial el dispuesto por el IGAC mediante la Resolución 068 de 2005.

Posteriormente se definieron los indicadores en términos de importancia ambiental para cada variable, se realizó el cálculo de ponderadores para cada componente ambiental empleando el método de análisis jerárquico y finalmente se implementó la metodología en el software, como se describe a continuación.

Componente abiótico y sociocultural

Para los componentes *abiótico* y *sociocultural* se aplicó el enfoque de análisis jerárquico (Saaty, 2008; 1990), se estructuró y determinó la importancia de cada variable ambiental y se obtuvo como resultado un factor de ponderación para cada uno de los componentes (tabla 2).

Tabla 2. Estructura por componente ambiental

Componente	Variable espacial	Factores de ponderación
Abiótico	Amenazas naturales	0,43
	Capacidad agrológica	0,11
	Aguas subterráneas	0,21
	Aguas superficiales	0,25
Sociocultural	Carreteras	0,13
	Sistema de provisión de servicios públicos	0,17
	Áreas con equipamientos públicos	0,13
	Áreas de importancia cultural o arqueológica	0,27
	Asentamiento humanos	0,30

Fuente: elaboración de los autores.

Cada una de las capas con información de las variables espaciales, dependiendo del tipo de fenómeno geográfico que representa, campo u objeto geográfico (Huisman & de By, 2009), fue procesada antes de realizar la suma ponderada para cada componente. Para las capas que representan campos geográficos discretos (amenazas naturales y capacidad agrológica) fueron asignados valores entre 0 y 1 en términos de vulnerabilidad ambiental, donde 0 representa poca o nula vulnerabilidad y 1 representa la mayor vulnerabilidad. Para las capas de tipo *objeto geográfico* (aguas subterráneas, aguas superficiales, carreteras, sistemas de provisión de servicios públicos, áreas de importancia cultural o arqueológica y asentamientos humanos), se obtuvieron capas de distancias euclidianas, que fueron normalizadas utilizando la siguiente ecuación:

$$y_i = 1 - \frac{x_i}{x_{i \max}} \quad (1)$$





En donde x_i es el valor de proximidad para el pixel i en cada capa, y $x_i \max$ es el máximo valor de distancia considerado para cada criterio. Con lo anterior, las capas de cada una de las variables se almacenaron en un rango de valores entre 0 y 1 para facilitar su posterior suma ponderada. Es importante señalar que el valor de las distancias se asignó en función de las franjas de protección ambiental reguladas por la legislación vigente.

Componente biótico

En relación al componente biótico, se obtuvo el mapa de idoneidad del territorio para el desarrollo de la actividad minera de acuerdo con la metodología de calidad de hábitat propuesta por InVest (Sharp et al., 2016), y se tuvo en cuenta el mapa de coberturas de la tierra, la cantidad de especímenes por cobertura y las áreas de protección ambiental.

La estandarización de los datos espaciales y las operaciones del análisis espacial fueron realizadas con el software ArcGIS 10.2 y la extensión Spatial Analyst. Se generaron mapas temáticos que permitieron determinar la idoneidad del territorio para el desarrollo de actividades mineras y, de esta manera, se estableció la viabilidad ambiental por componente, agrupando las áreas en categorías de sensibilidad ambiental como áreas de exclusión, intervención con restricciones e intervención. Esta fase se complementó con la validación de la información en campo, por ende, se realizaron visitas a algunos sitios de interés y se pudo comprobar la veracidad de los resultados.

Resultados

Al discriminar los resultados obtenidos en la zonificación del territorio en tres categorías, se facilitó la interpretación, el análisis y la toma de decisiones con el uso de herramientas de análisis espacial. Cada componente brinda información tanto para mitigar los impactos ambientales de proyectos mineros actuales como para otorgar **títulos y licencias mineras**, todo enmarcado en el principio de desarrollo sostenible.

La figura 2 presenta el mapa temático para el área de estudio. Esta salida gráfica permite identificar la viabilidad ambiental para el desarrollo de actividades mineras teniendo en cuenta el componente abiótico, y evidencia que el área correspondiente a las veredas Siatame, Villita y Valparaiso, Vanegas y la zona urbana se encuentran en la categoría de exclusión debido a que están en un área de amenaza por inundación. De igual manera, se identifican otros sectores que debido a las geoformas del terreno son susceptibles de presentar procesos de remoción en masa.

En la figura 3 se presenta el mapa de viabilidad para el componente sociocultural, donde se evidencia que el único sector que se encuentra en un **área de exclusión es la zona urbana de municipio**. Es importante señalar que el alto valor ambiental está complementado por la presencia del Museo Arqueológico y del Templo del Sol.



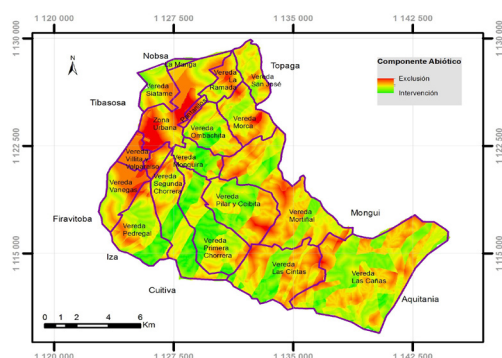


Figura 2. Viabilidad ambiental:
componente abiótico
Fuente: elaboración de los autores.

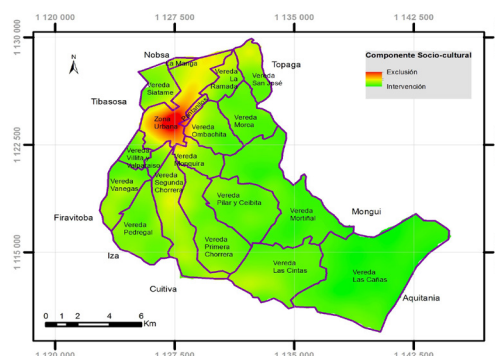


Figura 3. Viabilidad: componente
sociocultural
Fuente: elaboración de los autores.

Para el componente biótico, se evidencia que las veredas Las Cintas y Las Cañas son propicias para explotación de minerales (figura 4); sin embargo, se encuentran sobre los 2.700 metros sobre el nivel del mar, lo que implica que poseen ecosistemas de paramo, áreas que, de acuerdo con la ley del Sistema Nacional Ambiental (SINA), son objeto de protección especial (figura 5).

Otra veredas como El Pedregal, Morca, Ombachita, Pantanitos, El Mortiñal, Monquirá y Ceibita tienen unidades productivas activas de minerales como carbón, arcilla y roca fosfórica; de acuerdo al análisis de viabilidad, son áreas que se encuentran en la categoría de *intervención con restricciones*.

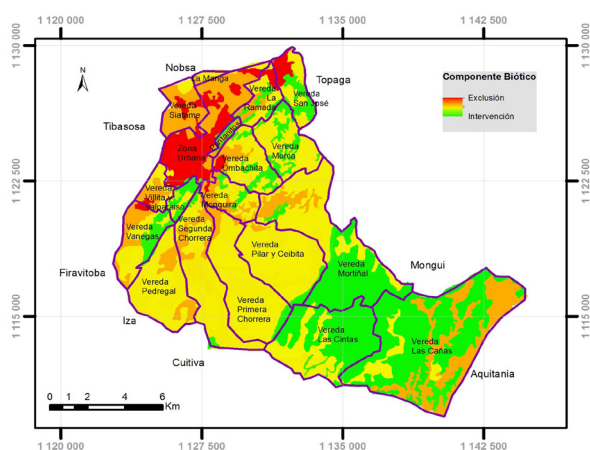


Figura 4. Viabilidad: componente biótico
Fuente: elaboración de los autores.

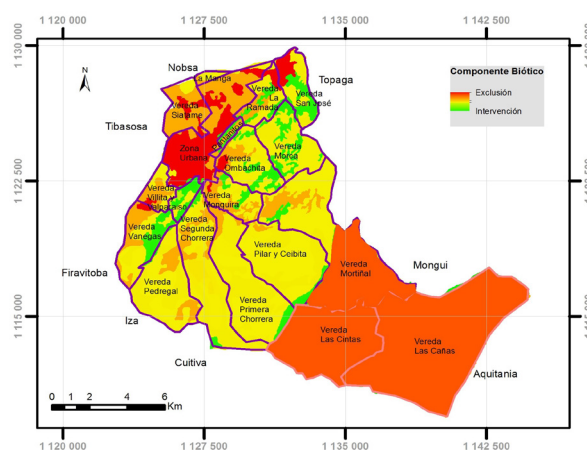


Figura 5. Viabilidad: componente biótico
y áreas protegidas
Fuente: elaboración de los autores.





Conclusiones

En el municipio de Sogamoso la explotación de minerales se realiza en la parte central, principalmente en las veredas Pedregal, Monquirá, Primera Chorrera, Morca, Ceibita y Ombachita, las cuales se encuentran en la categoría de áreas *de intervención con restricciones*, por lo cual es pertinente que se tengan en cuenta manejos especiales y restricciones propias de las actividades que se realizan. Según el Decreto 1076 de 2015, art. 2.2.1.1.18.2, los propietarios están obligados a mantener la cobertura boscosa dentro de los predios ubicados en las áreas forestales protectoras, que comprenden los nacimientos de fuentes de agua, en una extensión de por lo menos 100 metros a la redonda medidos a partir de su periferia; una franja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a la líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua, así como en los terrenos con pendientes superiores al 100% (45 grados), entre otros.

De acuerdo con los resultados, se evidencia que en el valle de Sogamoso la zona urbana correspondiente a las veredas Siatame, Vanegas, Villita y Malpaso se encuentra entre las áreas de exclusión, dadas las condiciones del terreno, el alto riesgo sísmico y los antecedentes de los últimos años en cuanto a inundaciones y deslizamientos. Por lo tanto, es necesario articular acciones con el Comité de Gestión del Riesgo y Desastres para facilitar la prevención de estos eventos y establecer acciones para la atención oportuna de los casos que se presenten.

Finalmente, en el estudio se encontraron dos limitaciones: la primera se asocia a la escala de trabajo, que es bastante general y no permite describir específicamente un sector determinado, y la segunda se relaciona con la disponibilidad de información, ya que existen áreas en el municipio que no tienen cartografía disponible y esto no permite efectuar el análisis espacial.

Agradecimientos

Los autores agradecen la gestión de recursos realizada por el Instituto de Investigación e Innovación en Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Secretaría de Minas del Departamento de Boyacá, en el marco del proyecto de investigación *SGR 2013000100206: Aprovechamiento de recursos minero-energéticos y generación de un modelo de planeación para la prospección y explotación de minerales estratégicos del departamento de Boyacá*.





Bibliografía

- Alcaldía de Sogamoso (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 “Sogamoso Incluyente”. Recuperado de http://sogamosoboyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/sogamosoboyaca/content/files/000061/3036_plandesarrollomunicipalsogamosoincluyente.pdf.
- Corporación Regional Autónoma de Boyacá (Corpoboyacá) (2013). *Ajuste al PGAR 2009-2019*. Recuperado de <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/10/ajuste-al-pgar-2009-2019.pdf>.
- Huisman, O., & de By, R. (2009). *Principles of Geographic Information Systems*. Enschede: ITC.
- Ley 99 de 1993. (Diciembre 22). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Service Sciences*, 1(1), 83-98.
- Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S. & Chaplin-Kramer, R. (Eds.). (2016). *INVEST 3.3.3 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. Recuperado de <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/#invest-user-guide>.
- Municipio de Sogamoso, Secretaría Local de Salud (2013). *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, año 2013*. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/ASIS_2013/ASIS%20SOGAMOSO%202013.pdf.
- Municipio de Sogamoso, Secretaría Local de Salud y Seguridad Social (2011). Plan Territorial de Salud. Municipio de sogamoso.
- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Documento de diagnóstico. Plan de ordenamiento territorial del municipio de Sogamoso*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://186.116.11.66/suimweb/ARCHIVOS/TERRITORIO/DIAGN%C3%93STICOS%20GENERALES/TEDIDODOMU1414694825.pdf>.

