

# DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ACOGIDA PARA LA ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LIBERTADOR – CÓRDOBA

## DETERMINATION OF THE CAPACITY OF RECEPTION FOR MINING ACTIVITY OF PUERTO LIBERTADOR – CORDOBA

Viviana Soto<sup>1\*</sup>, Esteban J. Esquivel<sup>2</sup>, Dánika A. Castillo<sup>3</sup>, Zoraya Martínez<sup>4</sup>

Recibido para publicación: 20 f de ebrero 2015- Aceptado para publicación: 3 de marzo 2015

### RESUMEN

El municipio de Puerto Libertador, localizado en el Departamento de Córdoba, Colombia, es un territorio que desde hace muchos años ha sido fuente de recursos minerales de gran interés económico como son el oro, el carbón entre otros. Sin embargo, la explotación minera en la mayoría de los casos se ha venido realizando de manera ilegal y en sitios de gran interés ambiental, generando de esta manera conflictos entre el uso del suelo y el subsuelo y severos problemas de contaminación. Determinar la capacidad de acogida para la actividad minera en el municipio de Puerto Libertador, fue el propósito fundamental de esta investigación, que buscó establecer la aceptación o compatibilidad del territorio para dicha actividad. Para ello se aplicaron herramientas de análisis multicriterio y sistemas de información geográfica, obteniéndose un mapa de zonificación del municipio de las zonas aptas para la actividad minera y las áreas que deben ser objeto de protección o conservación ambiental.

**Palabras Clave:** capacidad de acogida, análisis multicriterio, sistemas de información geográfica.

### ABSTRACT

The town of Puerto Libertador, located in Cordoba, Colombia, is a territory that, for many years, has been the root of mineral resources of great economic interest such as gold, coal, and others. However, mining in most cases, has been conducted illegally and in places of great environmental interest, causing in this way conflicts between soil and subsoil use, as well as severe pollution problems. Determining the capacity of reception for mining activity of Puerto Libertador, was the main fundamental purpose of this research,

---

<sup>1</sup>M.Sc en Geografía, Docente, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Cra. 14a No 48-34 Barrio Los Ángeles. 301 636 89 42. Email: vcsoto@correo.unicordoba.edu.co.

<sup>2</sup>Estudiante de Ingeniería Ambiental, Departamento de ingeniería ambiental de la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia.

<sup>3</sup>Estudiante de Ingeniería Ambiental, Departamento de ingeniería ambiental de la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia.

<sup>4</sup>M.Sc en Geomorfología y Suelos, Docente, Universidad de Córdoba, Montería, Email:zoyasquin@gmail.com.

in where the acceptance or compatibility for mining activity of the territory was established. Multi-criteria analysis tools and Geographic Information System (GIS) were applied, obtaining a zoning map of Puerto Libertador, in where were outlined zones for mining work and zones of environment protection.

**Key words:** Acceptance Capacity, Multi-criteria analysis, Geographic Information System.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales no renovables han sido siempre de gran interés económico para empresarios como para las autoridades gubernamentales, dado que apuntan al desarrollo y crecimiento económico del país hasta el punto de convertirlas en objeto y pretexto de sus políticas públicas. Su extracción y explotación, generan presión sobre los recursos naturales y el ambiente, por tanto la necesidad de desarrollar procesos de gestión ambiental y ordenamiento del territorio que minimicen sus impactos y al mismo tiempo, garanticen una adecuada explotación y un desarrollo sostenible, es siempre de interés para las investigaciones académicas.

Sin embargo, es una idea universalmente aceptada que la garantía de que el desarrollo de las distintas actividades humanas se produzca de forma equilibrada con la protección y conservación del medio ambiente, pasa por una adecuada planificación sobre el territorio (Barettino et al. 1994).

La planificación como estrategia según lo citado por Godet, (2000) es vista como la acción de concebir un futuro deseado, así como los medios prácticos para lograrlo. Con base a esta premisa se puede decir que la planificación territorial persigue la localización más adecuada, dentro de un determinado ámbito geográfico, de las diferentes actividades humanas en función de los impactos ambientales generados por ellas (Barettino 2002).

El balance de los beneficios de la actividad minera y la protección ambiental es vital para la explotación sustentable de los recursos minerales (Huang et al. 2012). La minería, una actividad dedicada a la extracción de georrecursos para abastecer a la población de materias primas, debe ser obligatoriamente integrada a la planificación territorial, en función de la capacidad de acogida de los territorios para la actividad extractiva. Esto implica conocer la oferta del medio físico, el geopotencial del territorio y la demanda futura

permitiendo analizar la tolerancia de los usos supuestos respecto a la capacidad del medio para acogerlos (Molina 2008).

La capacidad de acogida para labores extractivas es definida según Ortega (2006) como la idoneidad del territorio con respecto a la minería, integrando variables como los impactos generados por ella, los factores que determinan la aptitud del medio para la minería y las restricciones del territorio para que se lleve a cabo esta actividad.

Existen dos modelos para determinar la capacidad de acogida de un territorio ante una actividad, el primero, consiste en calcular el impacto/ aptitud de forma sistemática con la información disponible sobre área de estudio, y el segundo es un modelo empírico, basado en la experiencia (Gómez 1994).

Para el desarrollo de esta investigación fue de interés el modelo de Impacto/aptitud el cual se fundamenta, según Gómez (1994) en que la mayor capacidad de acogida para una actividad determinada la proporcionan los puntos o unidades de integración donde se encuentran la máxima aptitud y el mínimo impacto negativo o el máximo positivo.

En el marco de la aplicación de la capacidad de acogida sobre el territorio, es concluyente considerar que los problemas territoriales no poseen una única respuesta, es por ello que varios autores (Yáñez 2010; Valerie 2002; Jiménez y Arrebola 2008; Frau 2010) consideran que la técnica más adecuada a aplicar en este tipo de estudio es el método de Evaluación Multicriterio (EMC) por ser multidimensional y útil para solucionar problemas de localización óptima y sostenible y de conflicto de objetivos como la maximización de la eficiencia y la disminución de externalidades negativas de cualquier actividad.

El análisis multicriterio es usado para tratar con las dificultades de la toma de decisiones, encontrando un manejo de grandes cantidades

de información compleja (Doumuya et al. 2012). Pero son los sistemas de información geográfica (SIG) una rápida evolución tecnológica que puede ser usada para el almacenamiento, análisis y manejo eficientes de la información espacial. Para el manejo de decisiones de los recursos naturales o del medio ambiente casi siempre se requiere del análisis de la información espacial (Tkach y Simonovic 1997).

No obstante, el uso de esta poderosa herramienta es aplicativo cuando se usa la evaluación multicriterio como técnica de toma de decisiones, gracias a su complementariedad. Mientras el SIG es comúnmente reconocido como una herramienta integrada con únicas capacidades para manejo, manipulación, análisis y visualización de datos espaciales para la toma de decisiones, la técnica multicriterio proporciona una rica colección de procedimientos y algoritmos para estructurar problemas de decisiones y para el diseño, evaluación y priorización de las alternativas de decisiones (Feizizadeh y Blaschke 2013).

En este sentido, la técnica de EMC usada en esta investigación fue The Analytic Hierarchy Process (AHP) creado por Saaty a mediados de 1970 (Ghanbari et al. 2014). Este modelo trabaja con una jerarquización que puede combinar criterios subjetivos (Intangibles) y objetivos (Tangibles) (Lee et al. 2008), los cuales suelen estar en conflicto. Aquí, las preferencias entre alternativas son determinadas por matrices de comparación por pares. En una comparación por par el decisor examina dos alternativas por criterio considerado e indica una ponderación (Ghanbari et al. 2014).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología desarrollada, comprendió 3 etapas:

### **Etapa 1: caracterización territorial.**

Comprendió dos fases, la revisión y análisis de la información existente y el levantamiento de información primaria en campo.

En la primera fase, se recopiló toda la información secundaria disponible actualizada para el municipio de Puerto Libertador, para ello se consultaron las diferentes instituciones del orden nacional, departamental y local que tienen relación con la minería en Colombia. Por otro lado, en la segunda fase se realizaron diferentes visitas de campo en el municipio en las cuales

se corroboraron los datos registrados en la información secundaria y se levantó información primaria de la zona de estudio.

Al finalizar la etapa 1 se pudo: Caracterizar física, biótica y socioeconómicamente el municipio de Puerto Libertador y establecer el estado actual de la minería en el territorio.

### **Etapa 2: zonas de aptitud minera, conservación y protección ambiental e impacto.**

Comprendió la determinación de la aptitud minera del municipio, la identificación y selección de criterios de exclusión y restricción para la actividad extractiva, y la valoración e integración de los criterios de impacto.

#### **Zonas de aptitud minera (ZAM):**

Se siguió como base la metodología propuesta en el manual de evaluación de recursos y potencial minero elaborada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú – INGEMMET (2013). En este sentido, en un SIG se elaboraron dos capas de aptitud: una de recursos metálicos y otra de recursos no metálicos, que posteriormente se sumaron ponderadamente según la ecuación número 1.

$$ZAM = (AMM)(\lambda_1) + (AMNM)(\lambda_2) \quad (1)$$

Dónde: AMM y AMNM son las aptitudes mineras metálicas y no metálicas respectivamente; y  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  son ponderadores, cuyos valores dependerán si en la zona de estudio predominan los recursos metálicos o no metálicos.

#### **Zonas de conservación y protección ambiental (ZPCA):**

De acuerdo las normativas establecidas para el sector minero-ambiental en Colombia, se identificaron y se seleccionaron criterios de exclusión y restricción, para establecer las zonas de protección y conservación ambiental. Las zonas de exclusión, son aquellas áreas prohibidas para la extracción minera por razones ecológicas, sociales y/o legales, la parte del territorio correspondiente a estas zonas, se considera en su conjunto como una estratégica para la planeación, ya que proporcionan ecosistemas críticos de bienes y servicios tal como comida, agua, abrigo, reciclaje de nutrientes entre otros y juegan un papel fundamental en el rol de la conservación de la biodiversidad (Keenan et al. 2015). Esta estrategia de protección es efectiva

si son detectados y prevenidos cualquier cambio ecológico significativo (Françoso, R et al. 2015).

De igual modo, las zonas de restricción, son las áreas en donde se restringe el desarrollo de la actividad minera mas no se imposibilita.

### Zonas de impacto para la actividad minera (ZIAM):

Se establecieron las áreas que son susceptibles a ser afectadas negativamente por la actividad minera. Para esto se llevó a cabo lo siguiente:

**1. Valoración de los criterios de impacto:** se siguió la técnica AHP, en donde la asignación de los valores en las matrices de comparación fue realizada por un conjunto de expertos relacionados con la temática; para ello se tuvo en cuenta cuál de las clases comparadas del criterio de impacto se afectaría más con el desarrollo de la minería.

**2. Integración de los criterios de impacto:** se normalizaron los pesos obtenidos de las clases que conforman los criterios de impacto, a través de funciones de transformación cuya escala de homogenización era de cero (0) a uno (1), correspondiéndole el máximo valor (1) al mínimo impacto y viceversa; luego se integraron a través del método de promedios ponderados siguiendo la ecuación número 2:

$$ZIAM = (I_1 * P_1) + (I_2 * P_2) + \dots + (I_n * P_n) \quad (2)$$

Dónde: I(n) son los valores normalizados de las clases del criterio de impacto y P(n) son los coeficientes de ponderación de los criterios de impacto; cabe anotar que estos últimos se determinaron usando la técnica AHP.

### Etapa 3: Capacidad de acogida para la actividad minera (CA)

Se integraron las zonas de impacto, aptitud, exclusión y restricción, siguiendo la ecuación número 3. Para ello previamente se normalizaron los valores de la capa de aptitud usando una función de transformación cuya escala de homogenización iba de 0 a 1, correspondiendo el mínimo valor a la mínima aptitud y viceversa. De tal manera que los máximos valores obtenidos en la integración de las capas de aptitud, impacto, exclusión y restricción indicaron la mayor capacidad de acogida (Mayor aptitud y mínimo impacto).

$$CA = ((\alpha * IG) + (\beta * AG)) / ER \quad (3)$$

Dónde:  $\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes de ponderación de las capas de impacto y aptitud respectivamente; IG y AG, los valores normalizados de las capas de impacto y aptitud respectivamente y ER la capa resultante de la unión de las zonas de exclusión y restricción con valores de 0 y 1, en donde el primer valor indica que el área se exceptúa para la actividad minera y el segundo valor indica que en el área podría existir la posibilidad de realizar actividades extractivas.

Los valores obtenidos de la implementación de la ecuación 3 variaron de cero a uno, obteniéndose 4 clases de capacidad de acogida:

**Clase I, Alta (rango CA  $\geq 0,75$ ):** Equivale a una capacidad de acogida en la cual el territorio es capaz de acoger la actividad minera.

**Clase II, Media (rango  $0,5 \leq CA < 0,75$ ):** Representa una capacidad de acogida compatible, en este caso la minería es aceptable y no existen limitantes.

**Clase III, Baja (rango  $0,25 \leq CA < 0,75$ ):** Equivale a una capacidad de acogida compatible con limitaciones, donde la localización de proyectos mineros es viable, siempre y cuando satisfaga alguna condición especial o prerrequisito.

**Clase IV, Muy baja (rango  $CA < 0,25$ ):** Equivale a una capacidad de acogida incompatible, en donde la localización de un proyecto minero no es admisible.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Etapa 1: caracterización territorial.

Con la información secundaria suministrada y la información primaria recolectada en campo, se obtuvo un inventario cartográfico de los elementos territoriales que conforman la zona de estudio, dando como resultado los mapas temáticos de: Geología, Geomorfología, Fallas, Vocación de uso del suelo, Uso actual del suelo, Coberturas terrestres, Recurso hídrico, Áreas de comunidades indígenas, títulos mineros, solicitudes mineras y puntos de extracción de materiales en el municipio.

**Etapas 2: zonas de aptitud minera, conservación y protección ambiental e impacto.**

Los resultados obtenidos de esta etapa fueron los siguientes:

**Zonas de aptitud minera (ZAM):**

En base al modelo cartográfico presentado en la figura 1, se elaboró el mapa de aptitud minera del municipio mostrado en la figura 2; para ello se aplicó la ecuación número 1 reescrita de la siguiente forma:

$$ZAM = (AMM)(0,45) + (AMNM)(0,55)$$

Los pesos ponderados de la capa ANM y AMNM corresponden al porcentaje de las áreas obtenidas por cada una de las aptitudes en el territorio.

La zonificación de la aptitud minera permitió identificar que:

- 1 El 68,69% del municipio tiene una aptitud minera baja, lo que corresponde a un área de 113.396,16 Ha que se distribuye de sur a norte en el municipio sobre los corregimientos de Juan José, La Rica, Puerto Belén, El Brillante y Centro Occidente.

- 2 El 3,7% del territorio presenta una aptitud minera media (6.111,28 Ha) que se localiza principalmente sobre el corregimiento Centro América.

- 3 El 27,54% de Puerto Libertador posee aptitud minera alta, lo que abarca un área de 45.472,48 Ha que se distribuye al noreste del municipio sobre los corregimientos Villanueva, Corozalito, Centro Occidente y Centro América sobre las formaciones Cerrito, El Carmen y Cuaternario Aluvial en su mayor parte.

**Zonas de conservación y protección ambiental (ZPCA):**

Estas áreas hacen referencia a las zonas de exclusión y restricción para la minería en Colombia y que se detallan a continuación:

**Zonas de exclusión (Zonas de Conservación ambiental):** el artículo 34 de la Ley 685 del 2001

y la sentencia C-339 de 2002 de la jurisprudencia de la corte constitucional enuncian cuáles son las zonas excluibles para la minería en Colombia, que para el caso de Puerto Libertador fueron aplicables las siguientes:

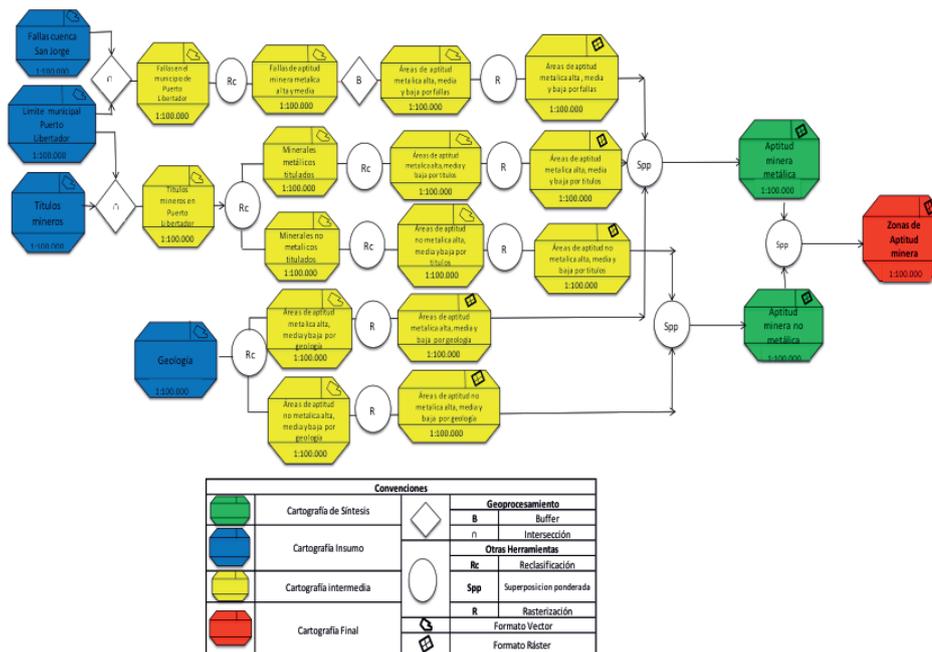


Figura 1. Modelo cartográfico para la determinación de la aptitud minera de Puerto Libertador

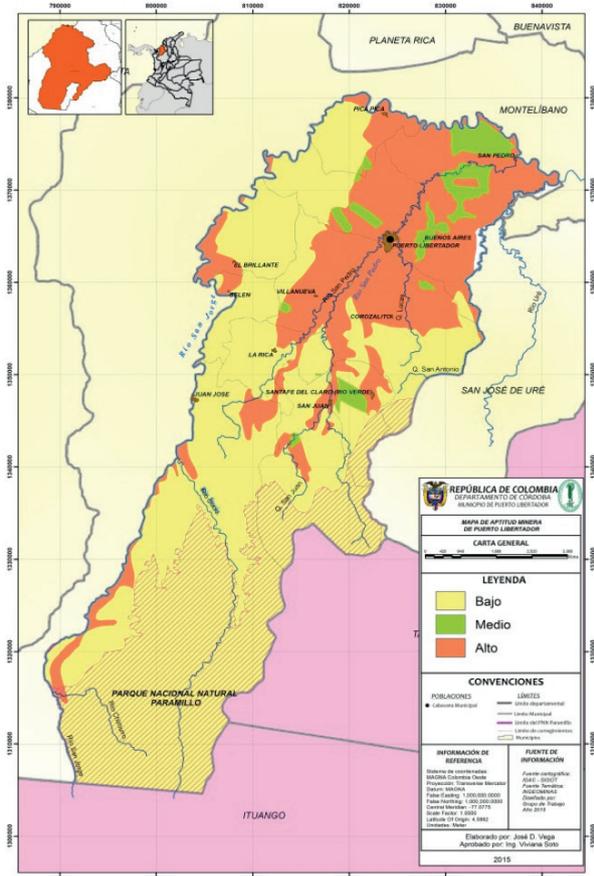


Figura 1. Modelo cartográfico para la determinación de la aptitud minera de Puerto Libertador

- **Parque Natural Nacional Paramillo (PNNP):** hace parte del sistema de parques nacionales y abarca 50.426 Ha del municipio, lo que representa el 30,54% del territorio.
- **Áreas forestales protectoras para la conservación y preservación del agua:** se encuentran enunciadas en el Artículo 204 del Decreto Ley 2811 de 1974 y se consideraron para esta investigación los nacimientos de fuentes de agua en una extensión de cien (100) metros a la redonda y una faja de treinta (30) metros de ancho, paralela a la corriente hídrica. En su conjunto, estas áreas abarcan 10.928 Ha del municipio, lo que representa 6,61% del territorio.
- **Áreas forestales protectoras en jurisdicción de la CVS:** hacen referencia a todos los bosques y la vegetación natural, existente en el área de jurisdicción de la CVS que se encuentre

sobre la cota trescientos (300) metros sobre el nivel del mar y una pendiente mayor o igual al 40%. Esta categoría de exclusión abarca 190 Ha del municipio y representan 0,11 % del territorio.

En base a lo anterior, el área total excluida para la minería en Puerto Libertador fue de 61.712 Ha lo que corresponde al 37,4 % el municipio.

La figura 3 muestra el mapa de Zonas de exclusión para la minería en Puerto Libertador.

**Zonas de restricción (Zonas de Protección ambiental):** se consideraron las zonas restringidas para la minería en Colombia enunciadas en el artículo 35 de la Ley 685 del 2001, además de otras áreas en las que se debe restringir la actividad extractiva. de esta manera en Puerto Libertador fueron aplicables las siguientes:

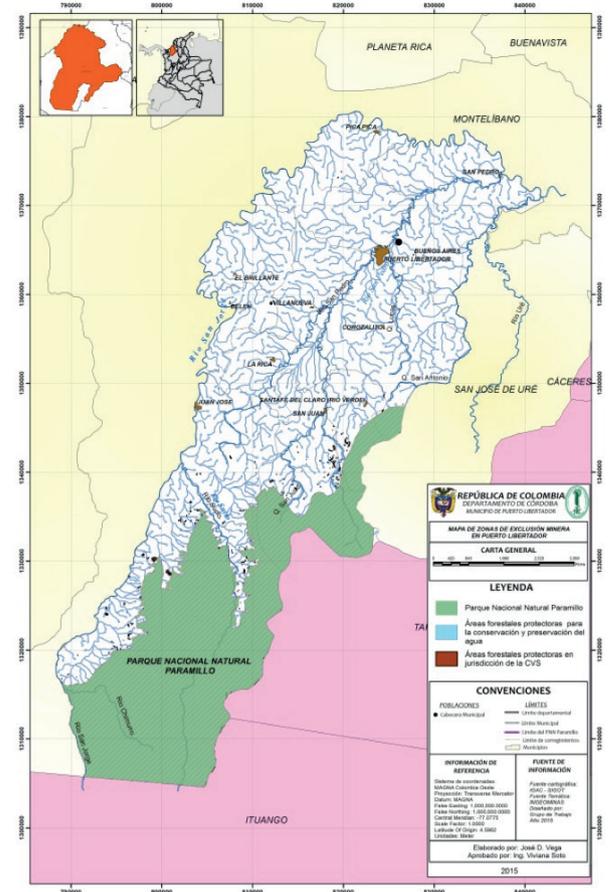


Figura 3. Zonas de exclusión para la minería en Puerto Libertador

**Áreas de Grupos Étnicos (Comunidades Indígenas):** corresponde al Resguardo Cañaveral de la comunidad indígena Embera Katio y los 11 predios no incorporados en donde existen asentamientos de este grupo étnico en Puerto Libertador. El área total es de 3.436 Ha, lo que representa el 2,1% del municipio.

**Áreas Forestales Protectoras - Productoras (Zona Amortiguadora del PNN Paramillo):** A pesar de que esta zona no está reglamentada, la administración del PNNP estableció una distancia de 5 kilómetros a partir de la línea limítrofe del parque en Puerto Libertador como posible zona amortiguadora, esto corresponde a un área de 30.404 Ha, es decir 18,4% del municipio.

**Áreas de Interés Ambiental (Bosques Primarios y Secundarios):** los bosques primarios cubren un área de 7.894 Ha, lo que conforma el 4,8% del Municipio, mientras que los bosques secundarios abarcan un área de 16.310 Ha, lo que conforma el 9,9% de Puerto Libertador.

El área total restringida para la minería en Puerto Libertador es de 30.404 Ha lo que corresponde el 18,41 % del municipio.

La figura 4 muestra el mapa de Zonas de restricción para la minería en Puerto Libertador.

**Zonas de impacto para la actividad minera:**

Se seleccionaron los criterios de impacto teniendo en cuenta los expuestos por Ortega (2006), señalados a continuación:

**La vocación de uso del suelo** el cual se valoró teniendo en cuenta la variable productividad para cultivos de ciclo corto de las subclases agrologicas que están presentes en el municipio.

**El uso actual del suelo** el cual se valoró teniendo en cuenta la variable índice de conflictividad con la actividad minera que posee cada una de las actividades actuales que se dan en el territorio.

**Cobertura terrestre** el cual se valoró teniendo en cuenta la variable Importancia ambiental en el ecosistema que posee cada una de las coberturas terrestres del municipio.

Los pesos (valores de impacto) de las clases que conforman los anteriores criterios, obtenidos a través de la técnica AHP, se observan en las tablas 1, 2 y 3.

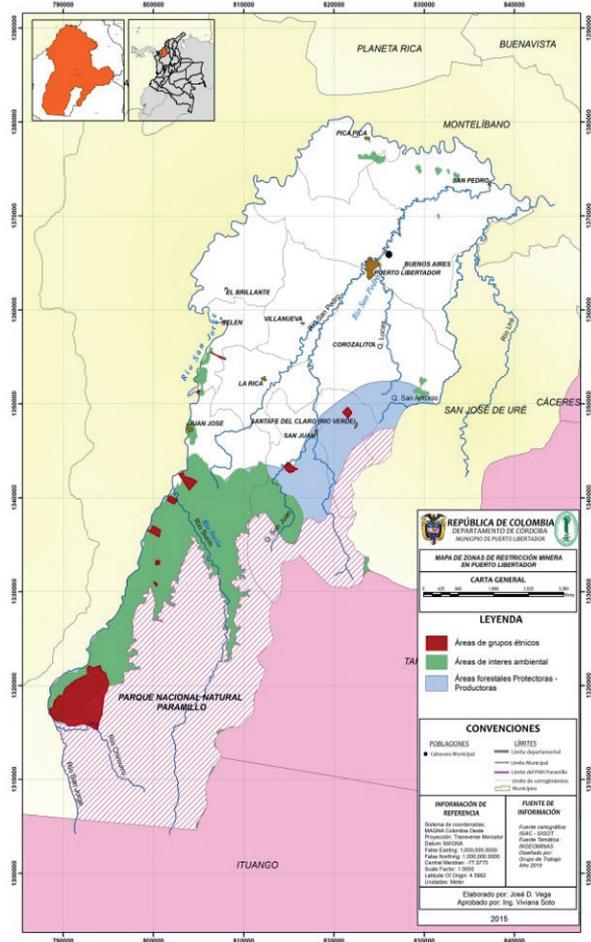


Figura 4. Zonas de restricción para la minería en Puerto Libertador

**Integración de los criterios de impacto:**

Con los valores de impacto normalizados para cada criterio se obtuvo el mapa de zonas de impacto para la actividad minera en Puerto Libertador mostrado en la figura 5, para ello se aplicó la ecuación 2 reescrita de la siguiente forma:

$$ZIAM = (IUAS*0,539)+(ICT*0,297)+(IUVS*0,164)$$

Dónde: IUAS, ICT, IUVS son los valores normalizados de las clases de los criterios uso actual del suelo, cobertura terrestre y uso vocacional del suelo respectivamente; y los valores **0,539**, **0,297**, **0,164** los coeficientes de ponderación de los criterios de impacto los cuales fueron obtenidos a través de la técnica AHP.

**Tabla 1.** Valores de impacto Xij de las clases del criterio “Vocación de uso del suelo”

CLASES (Subclases agrologicas)	Xij
<b>3hs</b>	0,292
<b>4hs</b>	0,224
<b>4s</b>	0,187
<b>5s</b>	0,075
<b>6es</b>	0,046
<b>6hs</b>	0,086
<b>6s</b>	0,056
<b>7pe</b>	0,035

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Valores de impacto Xij de las clases del criterio “uso actual del suelo”

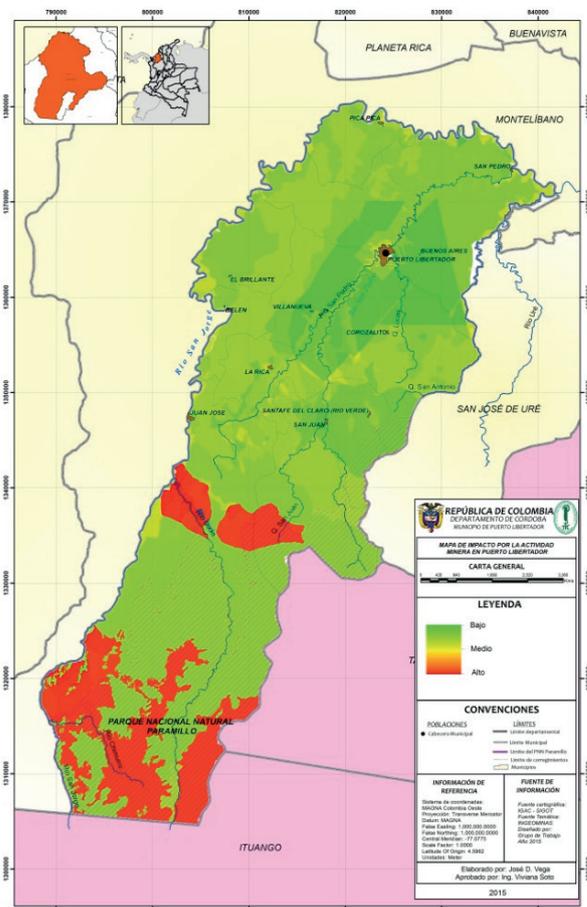
CLASES (Usos actuales)	Xij
<b>Agricultura Mecanizada</b>	0,058
<b>Ganadería Extensiva</b>	0,153
<b>Conservación</b>	0,396
<b>Urbano</b>	0,160
<b>Minería</b>	0,021
<b>Misceláneo (Agricultura Subsistencial)</b>	0,073
<b>Extracción Forestal</b>	0,135

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Valores de impacto Xij de las clases del criterio “Cobertura terrestre”

CLASES (Coberturas de suelo)	Xij
<b>Centro poblado</b>	0,020
<b>Áreas de Minería</b>	0,020
<b>Rastrojos</b>	0,036
<b>Vegetación baja</b>	0,036
<b>Pastos manejados</b>	0,047
<b>Pastos enrastrajados</b>	0,090
<b>Cultivos</b>	0,058
<b>Bosque secundario</b>	0,146
<b>Bosque primario</b>	0,274
<b>Cuerpos de agua</b>	0,274

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.** Zonas de impacto para la actividad minera en Puerto Libertador.

De esta manera se obtuvo que el 14,23% del municipio tiene un impacto alto con la actividad minera, equivalentes a 23.495,32 Ha que representan principalmente zonas de bosque primario con uso actual de conservación que están constituidas en su mayoría en área de jurisdicción del PNNP y en su zona de amortiguación; el 13,44% un impacto medio lo que abarca un área de 22.201,84 Ha en donde se presentan actividades como la ganadería extensiva y el 71,52% del territorio un impacto bajo lo que representa 118.062,52 Ha en donde se están llevando a cabo actividades mineras, extracción forestal selectiva, misceláneo y existen coberturas terrestres como rastrojos y vegetación baja principalmente.

**Etapas 3: Capacidad de acogida para la actividad minera (CA)**

En base al modelo cartográfico presentado en la figura 6, se elaboró el mapa de capacidad de acogida para la actividad minera del municipio mostrado en la figura 7; para ello se aplicó la ecuación número 3 reescrita de la siguiente forma:

$$CA = ((0,60*IG)+(0,40*AG))(ER)$$

Dónde: 0.60 y 0.40 son los coeficientes de ponderación de las capas de impacto y aptitud respectivamente. La asignación de estos valores se basó en un escenario Conservacionista en donde se busca que se salvaguarden los elementos, ecosistemas y/o áreas socio-ambientales valiosas para la zona de estudio.

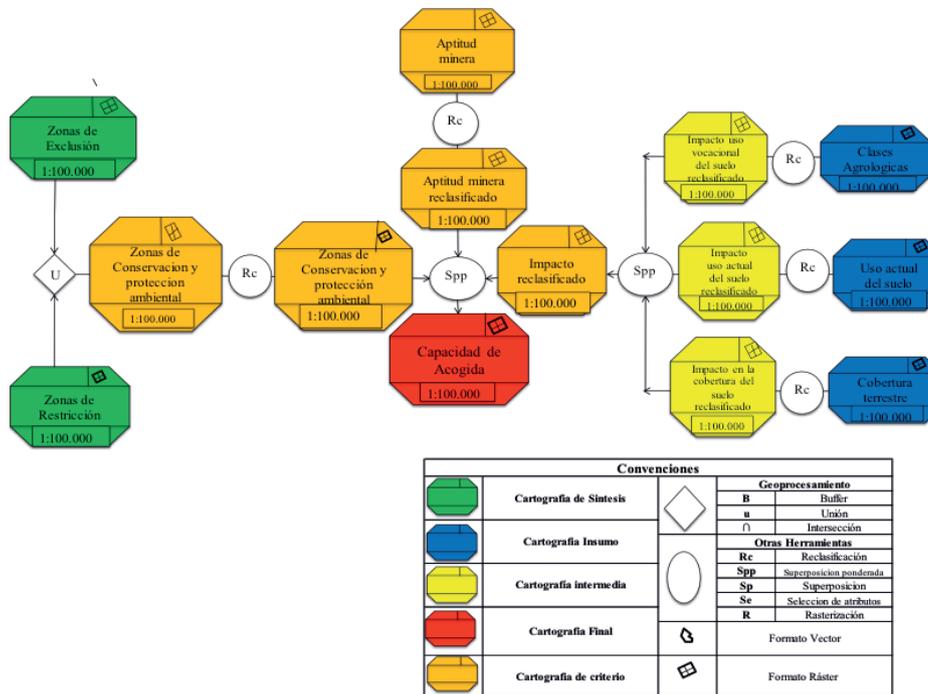
IG y AG, son los valores normalizados de las capas de impacto global y aptitud global respectivamente.

ER es la capa resultante de las zonas de exclusión y restricción, en donde se le asignó el valor de cero (0) a las áreas que deben ser exceptuadas para la actividad minera y uno (1) en las que existía la posibilidad de realizar minería. Para

esta investigación tanto a las zonas de exclusión y restricción se les asignó el valor de cero, ya que representan áreas de importancia socio-ambiental.

Los resultados obtenidos al aplicar la ecuación de capacidad de acogida son:

1. El 22,64% de la zona de estudio presenta una alta capacidad de acogida (Clase I), representado en 37.382,17 Ha, lo que quiere decir que en esta área coincide una aptitud minera alta con un impacto bajo, que es capaz de acoger la actividad extractiva.
2. El 3,87% del territorio tiene una capacidad de acogida media (Clase II), representado en 6.401,89 Ha, lo que indica que esto se presentó en áreas donde coincide una aptitud minera media con un impacto bajo, o una aptitud minera alta con un impacto medio; de esta manera la actividad minera es aceptable.
3. El 18,3% del municipio presenta una baja capacidad de acogida (Clase III), representado en 30.254,12 Ha, lo que quiere decir que esto se presentó en áreas donde coincide una



**Figura 6.** Modelo cartográfico para la determinación de la capacidad de acogida para la actividad minera en Puerto libertador.

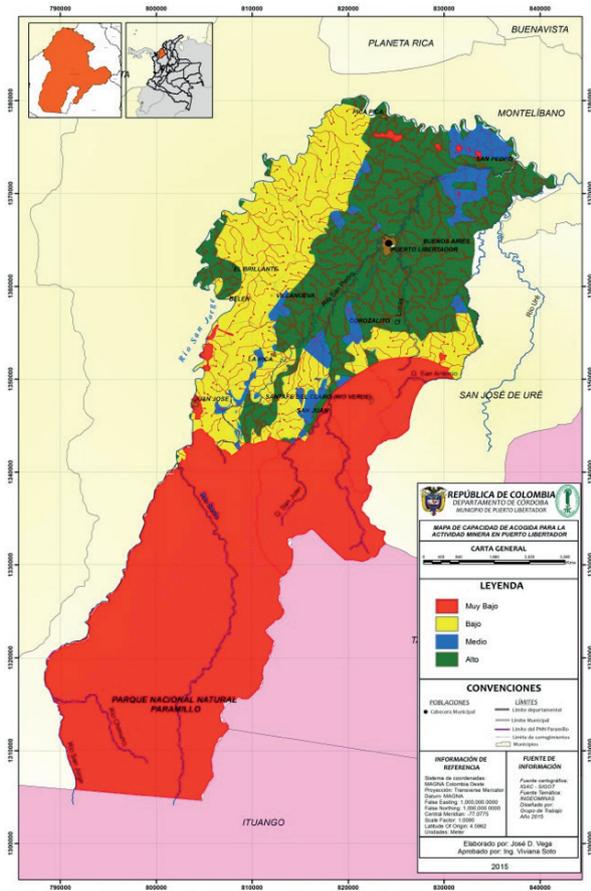


Figura 7. Mapa de capacidad de acogida para la actividad minera en Puerto Libertador.

aptitud media con un impacto medio o alto; o donde coincide una aptitud baja con un impacto medio; de esta manera la actividad minera es aceptable, pero con limitaciones.

- El 54,29% de la zona de estudio presenta capacidad de acogida Muy baja (Clase IV), representado en 89.619,97 Ha, lo que quiere decir que esto se presentó en áreas donde coincide una aptitud alta con un impacto alto, o una aptitud baja con impactos bajos o altos; de esta manera la actividad es incompatible y debe ser excluida. Esta clase de capacidad de acogida se ubica principalmente en las áreas de pertenecientes al PNNP, la zona de amortiguamiento de esta área protegida y las áreas forestales protectoras para la conservación y preservación del agua.

## CONCLUSIONES

El proyecto “Determinación de la capacidad de acogida para la actividad minera en el municipio de Puerto Libertador – Córdoba” se convierte en un importante insumo en el proceso de ordenación ambiental, territorial y minero del municipio, ya que este resultó de un análisis integral del territorio; en donde se determinaron varios aspectos fundamentales, como lo son: las áreas de aptitud minera, las zonas de conservación y protección ambiental y las áreas de impacto. Estos aspectos que fueron representados en mapas temáticos, se convierten en instrumentos de gran utilidad para los planificadores del territorio, y a su vez en herramientas en la toma de decisiones para autoridad ambiental y minera del país. De igual forma pueden ser útiles para las empresas extractivas, ya que se pueden orientar los esfuerzos de los inversionistas hacia aquellas zonas del territorio que obtuvieron mayor aptitud minera y menor impacto.

Las conclusiones que se derivan de esta investigación se pueden sintetizar en las siguientes:

- Al desarrollar el modelo de capacidad de acogida en un entorno SIG se logra un alto grado de automatización en el proceso metodológico, de tal forma que se puede manejar de manera más eficaz y sencilla un gran volumen de información cartográfica.
- Los resultados obtenidos de capacidad de acogida pueden mejorarse en la medida que se disponga de información actualizada, principalmente en la que tiene que ver con la aptitud minera del municipio, ya que en la actualidad no existe un mapa oficial del potencial minero de Puerto Libertador, el cual es el insumo fundamental para el objetivo general de esta investigación y a su vez, para los procesos de ordenación minero ambiental.
- La técnica de análisis de jerarquías (AHP), como herramienta de análisis multicriterio, permitió cuantificar la afectación relativa de cada una de las clases que componían los criterios de impacto y además facilitó la integración de estos criterios independientes.
- Si bien la capacidad de acogida del territorio para la actividad minera en el municipio de

Puerto Libertador representa, la expresión técnica y operativa de las áreas potenciales de explotación de minerales metálicos y no metálicos y el mejor uso que puede hacerse del territorio considerando las restricciones ambientales previstas de sustraer las áreas de interés ambiental, es un instrumento de ordenación y zonificación ambiental, que debe tenerse presente para previsión y la prevalencia hacia la sostenibilidad y protección de los sistemas ambientales y por tanto las instituciones gubernamentales deben favorecer la oferta ambiental del territorio.

5. El ejercicio consiente y responsable de la determinación de la capacidad de acogida, se traduce en una planificación estratégica y por tanto, de políticas de desarrollo local y regional que apunten a la reducción de los conflictos socio-ambientales presentes en el territorio, como el que ocurre en el municipio de Puerto Libertador donde los conflictos territoriales se estructuran en 2 vertientes: La primera desde el punto de vista de los conflictos del usos del suelo y el subsuelo de la actividad minera legal, en donde las confrontaciones se dan entre las empresas mineras y las comunidades indígenas, por las formas de abordar el ordenamiento jurídico ambiental para el consentimiento de la actividad de explotación. Y por otro lado, la vertiente de la actividad minera ilegal, donde se da la concurrencia de múltiples actores sociales armados que dominan el territorio, y que no respetan ningún proceso de ordenación y donde la dinámica del conflicto se gestan desde antecedentes históricos más complejos que pueden ser motivos de investigaciones del mundo académico que den explicación del origen del conflicto, no sólo desde el enfoque estructuralista sino desde el punto de vista psicosociológico.
5. El fin último de todas las investigaciones ambientales deben apuntar a la protección de áreas de alto valor ecosistémico y cultural, a la preservación de los recursos escasos y a la distribución equitativa de las cargas y beneficios en función de la satisfacción de las necesidades humanas básicas, traducido en la ordenación y gestión de la actividad-territorio.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a:

Al Centro de Investigación de la Universidad de Córdoba (CIUC), por depositar su confianza en este proyecto, lo que se reflejó en el apoyo financiero para el desarrollo del mismo.

A la Agencia Nacional Minera, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Servicio Geológico Colombiano, el Parque Nacional Natural Paramillo y demás entidades del orden nacional, regional y/o local relacionadas con el sector ambiental y minero en Colombia quienes se interesaron por este trabajo de investigación y aportaron la información actualizada que poseían para que se pudiera desarrollar este proyecto.

M.Sc. Zoraya Martínez por su colaboración fundamental en el proceso de investigación.

A los diferentes profesionales consultados, quienes con su preparación académica fueron de apoyo en el proceso metodológico de este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1]. Baretino, D., Arranz, J. C., Martínez-Plédel, B. y Alberruche, E. 1994. Ordenación Minero-Ambiental del yacimiento de pizarra de La Cabrera (León). Memorias del IX Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Tomo I. León 1994. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España, pp. 509-532.
- [2]. Baretino, D. 2002. Ordenación minero ambiental de recursos de rocas industriales: Aplicación a la reserva estatal de pizarras de la Cabrera (León).
- [3]. Doumouya, I., Dibi, B., Kouame, K. I., Saley, B., Jourda, J. P., Savane, I., y Biemi, J. 2012. Modelling of favourable zones for the establishment of water points by geographical information system (GIS) and multicriteria analysis (MCA) in the aboisso area (south-east of Côte d'Ivoire). Environmental Earth Sciences, ISSN: 1763-1780 (en línea), 67(6). <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-012-1622-2> Acceso: 06 Noviembre (2015).

- [4]. Feizizadeh, B., y Blaschke, T. 2013. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the urmia lake basin, iran. *Natural Hazards*, ISSN: 2105-2128, (en línea), 65(3). ¡Error! Referencia de hipervínculo no válida. Acceso: 05 Noviembre (2015).
- [5]. Françoso, R. D., Brandão, R., Nogueira, C. C., Salmona, Y. B., Machado, R. B. y Colli, G. R. 2015. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the cerrado biodiversity hotspot. *Natureza & Conservação*, ISSN: 35-40, (en línea), 13(1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001> Acceso: 06 Noviembre (2015).
- [6]. Frau, C. M. 2010. Localización de un relleno sanitario en la comuna de parral, chile, a través de evaluación multicriterio/localization of a landfill site in the comune of parral, chile, through multi-criteria evaluation. *Interciencia*, ISSN: 684-689, 35(9).
- [7]. Galacho, F. y Arrebola, J. 2008. Aplicación del modelo de evaluación de la capacidad de acogida para la valoración de la aptitud física del territorio respecto a sectores de planeamiento urbanístico. *Investigaciones Geográficas*, ISSN: 43-5, 60(1).
- [8]. Ghanbari, Y., Hezarkhani, A., Ataei, M. y Pazand, K. 2014. Mineral potential mapping for rare earth elements mineralization with AHP method in the kerman-kashmar tectonic zone, central iran. *Journal of the Geological Society of India*, ISSN: 457-465, (en línea), 83(4). <http://dx.doi.org/10.1007/s12594-014-0062-x> Acceso: 06 Noviembre (2015).
- [9]. Godet, M. 2000. The art of scenarios and strategic planning: Tools and pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, ISSN: 3-22, (en línea), 65(1). [http://dx.doi.org/consultaremota.upb.edu.co/10.1016/S0040-1625\(99\)00120-1](http://dx.doi.org/consultaremota.upb.edu.co/10.1016/S0040-1625(99)00120-1) Acceso: 09 Noviembre (2015).
- [10]. Gómez Orea, D. 1994. Ordenación del territorio. Una aproximación desde el medio físico. *Serie Ingeniería Ambiental*,
- [11]. Huang, S., Li, X. y Wang, Y. 2012. A new model of geo environmental impact assessment of mining: A multiple-criteria assessment method integrating fuzzy-AHP with fuzzy synthetic ranking. *Environmental Earth Sciences*, ISSN: 275-284. (en línea), 66(1). <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1237-z> Acceso: 09 Noviembre (2015).
- [12]. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú – INGEMMET. 2013. Manual de evaluación de recursos y potencial minero. Lima, Perú
- [13]. Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A. y Lindquist, E. 2015. Dynamics of global forest area: Results from the FAO global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, ISSN: 9-20. (en línea), 352, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014> Acceso: 09 Noviembre (2015).
- [14]. Lee, G. K., L., Chan, E. y W. 2008. The analytic hierarchy process (AHP) approach for assessment of urban renewal proposals. *Social Indicators Research*, ISSN: 155-168, (en línea), 89(1). <http://dx.doi.org/10.1007/s11205-007-9228-x> Acceso: 10 Noviembre (2015).
- [15]. Molina, J., y Mata, J. 2008. Consideración del subsuelo en el ordenamiento territorial. Universidad Politécnica de Cataluña
- [16]. Ortega, D. 2006. La minería y el ordenamiento territorial. estudio de caso. Área minera, empresa mineros S.A., el bagre. Universidad Nacional sede Medellín. Colombia
- [17]. Tkach, R. y Simonovic, S. P. 1997. A new approach to multi-criteria decision making in water resources. *J. Geogr. Inf. Decis. Anal.*, ISSN: 25-43, 1(1).
- [18]. Valerie, T. 2002. Multiple criteria decision analysis: An integrated approach. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [19]. Yáñez, I. 2010. Metodología de evaluación territorial estratégica en las actividades de interés para la minería, aplicada en SIG. Chile: B - Universidad de Santiago de Chile.