

ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

SULMA YANETH SUÁREZ ARISTIZABAL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2018

ZONIFICACIÓN AMBIENTAL PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN
MINERA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

SULMA YANETH SUÁREZ ARISTIZABAL

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ingeniería Ambiental

Directora:

GLORIA LUCIA CAMARGO MILLÁN

Ingeniera Química, Magíster en Ingeniería Civil. Área Ambiental, Candidata a doctora en Desarrollo Sostenible

Codirector:

OMAR JAVIER DAZA LEGUIZAMÓN

Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería con énfasis en Infraestructura Vial, candidato a doctor en Ingeniería y Ciencia de los Materiales

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2018

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja, 12 de Junio de 2018.

A mi familia que son mi apoyo incondicional y mi aliento para cosechar grandes logros.

A mi hija Laurent Salomé mi gran amor, un ser de luz y felicidad.

La gloria sea para Dios hoy y siempre.

AGRADECIMIENTOS

A continuación manifiesto la profunda gratitud que tengo con las personas y entidades que me colaboraron para llevar a cabo este estudio.

En primer lugar doy gracias a Dios, por estar junto a mí, por guiarme e iluminar mi camino. Por permitir que grandes personas me apoyen y por darme soporte en los momentos difíciles. A mis seres amados, especialmente a mi hija Laurent y a mis padres Blanca y Manuel quienes me ayudan, me acompañan y me motivan para cosechar el éxito.

A los ingenieros: Gloria Lucia Camargo Millán y Omar Daza por su motivación, contribución, apoyo y paciencia en la elaboración del estudio.

Agradezco a las instituciones que hace parte del Sistema Nacional de Regalías que financió el proyecto “Aprovechamiento de recursos minero-energéticos y generación de un modelo de planeación para la prospección y explotación de minerales estratégicos del departamento de Boyacá – SGR2013000100206”, dentro del cual se enmarca el estudio presentado. También, al Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Materiales (INCITEMA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. A las entidades que aportaron información al proyecto entre ellas: el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Gobernación de Boyacá, la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACA) y la Secretaria de Minas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS.....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. ESTADO DEL ARTE.....	19
5. MARCO REFERENCIAL	23
5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
5.2 ANTECEDENTES DE LA ZONIFICACIÓN EN COLOMBIA.....	24
5.3 MARCO TEÓRICO.....	26
5.3.1 Minería.....	26
5.3.2 Sensibilidad Ambiental.....	33
5.3.3 Zonificación ambiental.....	33
5.3.4 Zonificación de manejo ambiental.....	35
5.3.5 Análisis Multi-Criterio - Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ).....	36
5.3.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	39
5.4 MARCO NORMATIVO.....	41
6. METODOLOGÍA.....	45
6.1 SELECCIÓN DE VARIABLES Y ESTRUCTURA JERÁRQUICA POR COMPONENTE AMBIENTAL.....	46
6.1.1 ¿Cómo se seleccionaron las variables?.....	46
6.1.2 Estructura de la jerarquía de decisión.....	47
6.1.3 Definición, valoración (cualitativa y cuantitativa) de las variables y relación con la operación minera.....	49
6.1.4 Variables físicas.....	49

6.1.5	Variables socioculturales.....	55
6.2	CONSTRUCCIÓN DE MATRICES DE COMPARACIÓN POR PARES.....	59
6.2.1	Ponderación componente abiótico.....	60
6.2.2	Ponderación componente sociocultural.....	61
6.2.3	Comprobación de la consistencia de los juicios.....	63
6.3	ADQUISICIÓN DE DATOS ESPACIALES.....	66
6.4	ESTANDARIZACIÓN DE DATOS ESPACIALES Y NO ESPACIALES.....	67
6.4.1	Determinación de la escala de trabajo.....	67
6.4.2	Control de calidad.....	67
6.5	IMPLEMENTACIÓN EN EL SOFTWARE – SIG.....	69
6.5.1	Procesamiento y análisis espacial de la información - componente abiótico.....	69
6.5.2	Procesamiento y análisis espacial de la información - componente Sociocultural.....	76
6.6	COMPONENTE BIÓTICO.....	82
6.6.1	Datos que utiliza el modelo.....	82
6.6.2	Selección y definición de las variables.....	85
6.6.3	Proceso metodológico.....	89
6.6.4	Resultados de aplicación del modelo.....	95
6.6.5	Zonificación ambiental.....	98
6.7	VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	101
6.7.1	Títulos mineros 095515 (1) ,092115 (2) y 098815 (3), localizados en el municipio de Sogamoso.....	101
6.7.2	Títulos mineros 105615, 128915 y 143015, localizados en los municipio de Iza y Tota.....	104
6.7.3	Título minero 00685, localizado en el municipio de Paz Del Rio, Tasco y Sativasur.....	107
7.	CONCLUSIONES.....	111
8.	RECOMENDACIONES.....	113
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Escalas de comparación de Saaty.....	37
Tabla 2.	Normatividad minero-ambiental en Colombia.	41
Tabla 3.	Normativa determinante en la zonificación ambiental.	43
Tabla 4.	Perfil profesional de la unidad de decisión.....	46
Tabla 5.	Valoración ambiental.	49
Tabla 6.	Valoración de las amenazas naturales.	51
Tabla 7.	Valoración de la capacidad agrológica.	52
Tabla 8.	Valoración aguas subterráneas.	53
Tabla 9.	Valoración aguas superficiales — drenajes.	54
Tabla 10.	Valoración de Vías.....	56
Tabla 11.	Valoración servicios públicos.	57
Tabla 12.	Valoración de Áreas con equipamientos públicos.	58
Tabla 13.	Valoración importancia cultural, histórica, arquitectónica y/o arqueológica.	58
Tabla 14.	Valoración asentamientos humanos.	59
Tabla 15.	Matriz consolidada componente abiótico.	60
Tabla 16.	Matriz consolidada criterio amenazas naturales.....	61
Tabla 17.	Matriz consolidada componente sociocultural.	62
Tabla 18.	Matriz consolidada criterio vías.	63
Tabla 19.	Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia componente Físico.	63
Tabla 20.	Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia criterio amenazas.	64
Tabla 21.	Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia para el componente sociocultural.....	65
Tabla 22.	Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia criterio vías.	66
Tabla 23.	Características iniciales de la información espacial recopilada para el estudio.	67

Tabla 24.	Codificación de las unidades de coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.	86
Tabla 25.	Áreas de protección y conservación.	88
Tabla 26.	Codificación y habitabilidad del territorio según cobertura de la tierra para el departamento de Boyacá.	90
Tabla 27.	Datos de amenaza.....	92
Tabla 28.	Sensibilidad de cada cobertura frente a las amenazas, para el departamento de Boyacá.	93
Tabla 29.	Información de los títulos mineros.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del departamento de Boyacá	24
Figura 2.	Prospectos, manifestaciones y yacimientos de esmeralda en Boyacá.	27
Figura 3.	Prospectos, manifestaciones y yacimientos de hierro en Boyacá.	28
Figura 4.	Prospectos, manifestaciones y yacimientos de carbón en Boyacá.	30
Figura 5.	Prospectos, manifestaciones y yacimientos de Caliza en Boyacá,	31
Figura 6.	Prospectos, manifestaciones y yacimientos de fosforita en Boyacá. ..	32
Figura 7.	Prospectos manifestaciones y yacimientos de diatomita en el departamento de Boyacá.	33
Figura 8.	Esquema proceso de análisis jerárquico.	37
Figura 9.	Etapas proceso metodológico.	45
Figura 10.	Estructura de la jerarquía de decisión.	48
Figura 11.	Control temático.	68
Figura 12.	Control cartográfico.	68
Figura 13.	Estructura Geodatabase (Feature dataset y feature class).	69
Figura 14.	Procesamiento y análisis espacial componente abiótico.	70
Figura 15.	Mapas temáticos variables Amenazas naturales.	71
Figura 16.	Mapas temáticos variables componente abiótico.	73
Figura 17.	Mapa componente abiótico para el departamento de Boyacá.	75
Figura 18.	Procesamiento y análisis espacial componente sociocultural.	77
Figura 19.	Mapas temáticos variables componente sociocultural.	78
Figura 20.	Mapa componente sociocultural para el departamento de Boyacá.	81
Figura 21.	Tipos de datos de los factores bióticos.	85
Figura 22.	Etapas del modelo de calidad del hábitat.	89
Figura 23.	Mapa de calidad de hábitat para el departamento de Boyacá.	96
Figura 24.	Mapa componente biótico para el departamento de Boyacá.	97
Figura 25.	Proceso para obtener la zonificación ambiental.	98
Figura 26.	Mapa de zonificación ambiental para el departamento de Boyacá. ..	99

Figura 27	Identificación de algunas áreas con potencial en recursos mineros.....	100
Figura 28.	Localización de los títulos mineros 085515,092115 y 098815.....	102
Figura 29.	Títulos mineros 095515 (1), 092115 (2) y 098815 (3).	103
Figura 30.	Localización de los títulos mineros 105615, 143015 y 128915.....	104
Figura 31.	Títulos mineros 105615,128915 y 143015.	105
Figura 32.	Localización del título minero 00685, municipio de paz del rio, Tasco y Sativasur.	108
Figura 33.	Título minero 00685, localizado en el municipio de Paz Del Rio, Tasco y Sativasur.	109

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1.	Vista regional del área donde se localiza el título minero 095515....	102
Fotografía 2.	Vista regional del área donde se localiza el título minero 105515....	105
Fotografía 3.	Explotación de mineral de puzolana.	106
Fotografía 4.	Acopio mineral de hierro, planta de beneficio Santa Teresa – Minas Paz Del Rio y Centro urbano Municipio de Paz del Rio.	108
Fotografía 5.	Intersección ríos Soapagá y Chicamocha. Municipio de Paz del Río.	109

RESUMEN

La afectación al ambiente, causada por las actividades asociadas con la explotación de minerales, es un tema de gran interés tanto a nivel nacional como para el departamento de Boyacá. En el presente estudio se desarrolló una metodología que permite sectorizar ambientalmente el departamento de acuerdo a las características que definen a cada uno de los componentes ambientales de tipo abiótico, biótico y sociocultural.

Con el procedimiento propuesto, se evalúa la capacidad de acogida del territorio donde se expresa la relación entre las actividades de explotación de minerales y el entorno. Adicionalmente, con el tratamiento de datos espaciales, la combinación de variables ambientales y la aplicación de herramientas de análisis espacial, se da un primer acercamiento de la viabilidad que tendría o tiene un proyecto minero en la región.

El proceso metodológico desarrollado involucra una categorización sustentada en valores cuantitativos y cualitativos que describen la importancia de los criterios de cada variable espacial. Para la obtención de dichos valores se consultó a expertos, quienes desde su perspectiva profesional y empírica realizaron una comparación por pares de cada uno de los criterios del componente abiótico y sociocultural, haciendo uso del método de análisis jerárquico alimentado por niveles.

Para el análisis del componente biótico se siguió el modelo de calidad de hábitat contenido en el paquete de InVest, donde se combinan variables que determinan el desarrollo de las especies en el ecosistema.

Luego, se aplicaron diferentes herramientas de análisis espacial y se realizó la sobreposición de información, así se obtuvieron mapas temáticos donde se identifican áreas ambientalmente sensibles a partir de factores que afectan o se ven afectados ante un proyecto minero.

Finalmente, se realizaron salidas de campo para validar los resultados arrojados por la metodología, específicamente se visitaron áreas donde se ubican títulos mineros que actualmente se encuentran en operación. A partir de estas labores se determinó que la metodología es consistente y la aproximación espacial tiene un alto grado de veracidad, siendo un instrumento de planeación que facilita a autoridades ambientales, operadores mineros e inversionistas tener un primer acercamiento con las condiciones ambientales del territorio a intervenir.

Palabras Claves: Zonificación ambiental, minería, abiótico, biótico, sociocultural.

INTRODUCCIÓN

Boyacá es una región en Colombia con gran potencial en la explotación de recursos mineros, se explotan minerales como el carbón, el hierro, la roca caliza, la diatomita, la roca fosfórica, entre otros. En consecuencia, el gobierno local y las autoridades territoriales implementan estrategias de apoyo a proyectos que potencialicen la explotación sostenible de éstos recursos. Por lo que se ha dispuesto de mecanismos que permiten canalizar los esfuerzos de carácter técnico y financiero, con el fin de planificar el correcto progreso de la actividad; además de la evaluación de los recursos naturales y el análisis de las limitaciones de producción asociadas a la planificación de su desarrollo. Es así, como las estrategias de zonificación del territorio, se enfocan en la utilización racional y acorde a las necesidades humanas y principios de la naturaleza.

Este estudio tiene como objetivo el diseño de una metodología de zonificación ambiental que se enmarca en el desarrollo de la actividad minera de forma adecuada, competitiva y responsable; procurando la conservación y protección de los recursos naturales. En este sentido, se aborda el ambiente como la integración del componente físico, biótico y sociocultural. El componente físico, involucra variables espaciales como las vías, los drenajes, amenazas naturales y la capacidad agrológica del suelo. El componente biótico, representado por la cobertura vegetal y la calidad del hábitat y por último, el componente sociocultural, en el cual se identifican áreas protegidas por su importancia cultural y arqueológica, infraestructura de servicios y los asentamiento humanos.

De esta manera, se presenta una aproximación espacial que plantea la planificación del territorio en términos de sensibilidad ambiental frente a la operación minera, considerando los aspectos que están inmersos en la aptitud, capacidad, vocación y estructura social que incorpora el concepto de zonificación. Así se integra lo ambiental con el uso del territorio minimizando los impactos negativos, potencializando la economía, valorando los recursos naturales a fin de establecer restricciones y prioridades de manera que se permita la sostenibilidad del sistema.

La propuesta metodológica es sistemática y dinámica; está diseñada para ser aplicada a cualquier escala de trabajo. Y en esta ocasión se aplica a nivel regional para el departamento de Boyacá.

1. PROBLEMA

Según el último censo minero hecho por el ministerio de minas y energía (MME)¹, de las 14.357 unidades de producción minera (UPM) censadas en Colombia, el 18% están ubicadas en Boyacá, siendo el departamento con más UPM en el país. Sin embargo, la operación de la actividad minera carece de estrategias de planificación que permitan el desarrollo sostenible de la misma. Por otro lado, los bajos índices de formalidad para el desarrollo de proyectos disminuye el potencial de aprovechamiento y valorización de los minerales con los que cuenta el departamento.

Por lo tanto, la explotación de los recursos mineros en el departamento se realiza sin la previsión económica y social que determine el impacto real sobre el entorno, el desarrollo de la minería a mediana y pequeña escala, realizada con técnicas artesanales, se caracteriza por el alto grado de informalidad. Según los datos de MME, sólo el 50% de las unidades de producción minera a pequeña escala y el 17% de las unidades mineras a mediana escala cuentan con título minero². En consecuencia, no se aplican los mejores estándares de desarrollo lo que genera impactos en el medio ambiente, las comunidades y la economía.

Por otro lado, con la expedición del decreto 2041 de 2014 y el decreto 1076 de 2015, mediante el cual se agiliza la expedición de permisos de exploración y explotación minera, se aumenta progresivamente la amenaza a los recursos y se discriminan los procesos de análisis de idoneidad del territorio previo a la ejecución de los proyectos. Además, ante la sesgada planificación minera los problemas ambientales se expresan en riesgos no previstos de carácter socio ambiental y el no cumplimiento de metas económicas. Por consiguiente, no se puede determinar con certeza como se deben utilizar de la mejor manera los espacios del territorio; desequilibrando la forma armónica entre quienes lo habitan y la oferta de los recursos naturales.

Adicionalmente, a nivel nacional, la participación del sector minero en el PIB total ha disminuido, según el ministerio de minas y energía el aporte al PIB del tercer trimestre de 2017 fue de 1,90%, llegando el PIB Minero a 2,62 billones de pesos, con una caída de 1,02% y 9,37%, con respecto al mismo trimestre de los años 2015 y 2016, que reportaron un valor de 2,65 y 2,89 billones de pesos³.

¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Censo minero departamental (2010-2011). Bogotá D.C. Julio de 2012.

² HIGUERA, Rodolfo. Minería de carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial de desarrollo. En Revista Zero (Universidad Externado de Colombia). ed. 33. Agosto de 2015. ISSN electrónico: 2344-8331, ISSN impreso: 2344 - 8431.

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA [Página oficial]. Análisis minero [En línea]. [Citada, junio de 2018]. Disponible en internet: https://www.minminas.gov.co/documents/10192/23966843/240118_comportamiento_pib_III_trim_2017.pdf/1639b17e-9a9e-42df-a4cd-7d60ef4ea930.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las zonas de restricción ambiental y prioridad para la operación minera en el departamento de Boyacá, considerando variables físicas, bióticas y socioeconómicas?

2. JUSTIFICACIÓN

El creciente aumento de operadores e inversionistas mineros en el país ha contribuido al desarrollo económico de las regiones, pero este desarrollo ha traído consigo consecuencias negativas para el ambiente, reflejadas en la degradación de los recursos naturales renovables, la generación de conflictos socio-ambientales, la pérdida de biodiversidad, entre otros.

Dado que el departamento de Boyacá no es ajeno al desarrollo de la actividad minera, se propone una metodología de zonificación ambiental para el apoyo en la planificación de la actividad en el departamento, la cual permite la centralización, organización y análisis de datos espaciales. Además de proporcionar información para delinear políticas de inversión que se ajustan a las necesidades específicas del territorio. Siendo un instrumento dinámico de planeación que permite la caracterización del área de influencia de un proyecto minero a través de una síntesis del diagnóstico ambiental, que considera una visión espacial de las condiciones físicas, bióticas y socioculturales del área de estudio.

En consecuencia, las autoridades ambientales contarán con una herramienta que permitirá regular la operación de las unidades mineras productivas a desarrollarse, teniendo en cuenta las condiciones del entorno, siguiendo los lineamientos socio-culturales que se ajusten adecuadamente a cada territorio y articulando a operadores mineros e inversionistas en el desarrollo de proyectos a largo plazo para que sean sostenibles ambientalmente.

Siendo la zonificación parte fundamental en el desarrollo de los Estudios de Impacto Ambiental con fines de licenciamiento, la metodología propuesta establece lineamientos de protección, sustentados en la normatividad vigente. Identificando las unidades de manejo ambiental, cuya caracterización, espacialización y representación cartográfica, constituyen el principal aporte para la planeación ambiental. Lo anterior, permite a los operadores mineros realizar una correcta proyección de la actividad donde se minimizan riesgos de carácter económico por inversiones futuras.

Siendo la minería un pilar de la economía nacional el análisis de idoneidad del territorio da garantías a los inversionistas, de manera que la minería responsable se potencializa en el departamento.

Adicionalmente, la metodología propuesta permite a las autoridades locales tener una visión espacial global, en el marco del ordenamiento del territorio que se está adelantando en el departamento.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una metodología para la zonificación ambiental que involucre variables físicas, bióticas y socioculturales para planear y potencializar el aprovechamiento de los minerales estratégicos en el departamento de Boyacá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar y delimitar las variables en las que se enmarcará la metodología objeto de estudio de acuerdo a la información disponible.
- Determinar la valoración cuantitativa y/o cualitativa para cada variable definida.
- Establecer los niveles de ponderación de los factores, para determinar las áreas de especial significado ambiental.
- Implementar la metodología en regiones con actividad minera en el departamento de Boyacá.

4. ESTADO DEL ARTE

A nivel mundial, el ambiente se deteriora aceleradamente debido las diferentes actividades socioeconómicas del ser humano y el aumento demográfico. Una de las actividades productivas más representativas para nuestro país es la minería, la cual de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018⁴ seguirá siendo uno de los motores de desarrollo a través de su aporte al crecimiento económico, al apartado productivo, al empleo rural y a la inversión privada.

En Colombia la valoración de áreas propicias para la explotación minera, se ha desarrollado en términos de impactos ambientales, desarrollo socioeconómico, lugar de la explotación y la generación de conflictos ambientales. Los cuales se han convertido en un factor clave para la viabilidad de los proyectos y el bienestar de las poblaciones afectadas. En estudios como el proyecto IGCEW desarrollado por Delgado & Romero⁵, se definen como criterios propensos a generar conflictos, el acceso al agua potable , la pobreza, el PIB per –cápita y el empleo, los cuales ocasionan una percepción negativa de las comunidades hacia la actividad mineray conducen a las empresas a impulsar programas que minimicen estas apreciaciones. Es allí donde surge la denominada responsabilidad corporativa, la cual juega un papel importante en la resolución de conflictos sociales. De esta manera, se identifican fortalezas y debilidades en los planes de inversión social, en los sistemas de contratación y en la identificación de las necesidades de las comunidades cercanas.

Estrategias como las aplicadas por Morales Méndez y Rodríguez⁶, basadas en la aplicación de censos y análisis de variables en diferentes planos permiten conocer el grado de responsabilidad corporativa alcanzado en los últimos años. Así mismo, Haslam & Ary Tanimoune, 2016⁷ dan crédito con sus investigaciones de que hoy en día las empresas mineras tienen políticas y acuerdos que demuestran una actitud positiva hacia la puesta en práctica de sistemas sociales que favorecen a las comunidades de las áreas de influencia de los proyectos mineros.

⁴ COLOMBIA. DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN NACIONAL. Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018). Bogotá

⁵ DELGADO, Alexi y ROMERO, I. Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy – weight method. En: Journal Environmental Modelling & Software. Vol 77. Marzo de 2016. p 08-121.

⁶ MORALES, Jhonatan y RODRÍGUEZ, Ramón. A profile of corporate social responsibility for mining companies present in the Santurban Moorland, Santander, Colombia. En: Science Direct. *Global Ecology and Conservation*. Vol.6, Abril de 2016. pág 25–35.

⁷ HASLAM, Paul y ARY-TANIMOUNE, Nasser. The Determinants of Social Conflict in the Latin American Mining Sector: New Evidence with Quantitative Data. En: Science Direct. *World Development*. Vol. 78. Febrero de 2016. pág 401–419.

Una aproximación a la identificación de las áreas ambientalmente compatibles con la minería, se realizó por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM en el año 2010 para la Sabana de Bogotá, en respuesta al Artículo 61 de La Ley 99 de 1993. En esta evaluación se aplicó el modelo de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, partiendo de definir a la explotación minera como una amenaza y evaluando como elementos vulnerables los ecosistemas estratégicos y las áreas productivas.

Los esfuerzos para desarrollar una minería sostenible se enfocan en la planificación del territorio. Lechner et al.,⁸ en su estudio identifican seis aspectos críticos; la naturaleza temporal de las operaciones mineras, la dimensión espacial, los cambios irreversibles que crean paisajes posteriores a la minería, las dimensiones sociales de los impactos mineros y la responsabilidad corporativa, dimensiones acumulativas de los impactos y la necesidad de integrar métodos de una variedad de disciplinas. Hoy en día, se considera que las metodologías de planeación para el aprovechamiento de los recursos naturales van de la mano con la demanda social implícita de los mismos, lo cual supone que deban justificarse con criterios de índole técnico, de modo que se adapten al medio sin cambiar o degradar su carácter. Lo que para Ranängen & Lindman⁹, se sustenta en prácticas operacionales justas, aspectos económicos, derechos humanos, prácticas laborales, sociedad y medio ambiente.

La caracterización del paisaje se asocia a la planificación ambiental desde el propio terreno de observación y centrado en la percepción del territorio, considerando las unidades del entorno que intervienen en la capacidad de áreas específicas para el desarrollo de las actividades humanas consideradas en el ordenamiento territorial, especialmente de las actividades de mayor interés socio-económico. La incorporación de técnicas para la valoración de la sensibilidad ambiental y calidad del paisaje son temas representativos de las Agencias Americanas que comenzaron a estudiar su valoración entre finales de los años 60 y la década de los 70; específicamente *Forest Service* dependiente del *USDA, Bureau of Land Management (USDI)* y el *Soil Conservation Service*. Es así, como la incorporación de los sistemas de información geográfica (en adelante SIG) a la planificación ambiental facilitan el desarrollo de metodologías ágiles que ayudan a identificar los elementos físicos y biológicos convirtiendo al paisaje en un elemento lineal, tal como se presenta en el estudio desarrollado por Navarra¹⁰ en el año 2011 mediante la

⁸ LECHNER, Alex. *al et.* Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. En: science Direct, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 93. Julio de 2017. pág. 268–281.

⁹ RANÄNGEN, Helena y LINDMAN, Åsa. A path towards sustainability for the Nordic mining industry. En: Science Direct, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 151, Mayo de 2017. pág. 43–52.

¹⁰ NAVARRA, Monica. Metodología de valoración del paisaje empleando ArcGis en la cañada de fuente lagarto (Garganta de Los Montes). Trabajo master en tecnologías de la información geográfica. Madrid. España. 2015.

Metodología de valoración del paisaje empleando ArcGIS en la Cañada de Fuente Lagarto, donde los resultados sirvieron al plan de ordenación de los recursos naturales para crear una nueva figura de protección tanto física, biológica y cultural en la zona.

Los sistemas de información geográfica se han convertido en la base fundamental para la solución de problemas ambientales y territoriales, que facilitan en gran medida el análisis espacial, integral y holístico del territorio, a partir de información que puede ser representada cartográficamente. Ejemplo de ello, es el estudio desarrollado por Rodríguez¹¹ que identifica zonas ambientales y territorialmente compatibles con la explotación minera en el municipio de Marmato Caldas en Colombia.

Mediante el análisis de diferentes variables ambientales, se realiza la evaluación implícita de impacto ambiental que se produce a causa de las actividades antrópicas. Hernández-jatib, Naisma, *et al*¹², realizaron la evaluación ambiental asociada a la explotación de un yacimiento de materiales de construcción donde se emplea una metodología que integra la propuesta de varios investigadores sobre la explotación del yacimiento de caliza la Inagua; también elaboraron el plan de medidas correctoras para minimizar los efectos negativos y compatibilizar la actividad minera con la protección del medio ambiente. Además, existen análisis multitemporales que reflejan el gran impacto ambiental que provocan las explotaciones mineras, es el caso de una zona en Bohemia del noroeste, república Checa, donde Hendrychová & Kabrna¹³, evaluaron el uso de la tierra en seis periodos diferentes de tiempo (1845, 1954, 1975, 2989, 2010, 2050), determinando que este espacio carece completamente de características eco-estabilizadoras que pudieran ser usadas como base de un nuevo paisaje.

En la actualidad los sistemas de información geografía han pasado a ser una herramienta de apoyo para la planificación ambiental y han permitido el desarrollo de proyectos de prevención para la actividad minera, ejemplo de ello es el estudio desarrollados por Ding, Q. *et al*¹⁴ en el que se analizan la distribución y los efectos de los metales pesados en los suelos que rodean las regiones mineras. Además del

¹¹ RODRIGUEZ, Sandra. Localización de áreas de potencial explotación minera que no afecten la dinámica ambiental y territorial del Municipio de Marmato, utilizando sistemas de información geográfica. Trabajo de grado Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Manizales. 2012. P 1-67.

¹² HERNANDEZ-JATIB, Naisma, *et al*. Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción la Inagua, Guatámo, Cuba. En: Luna Azul. Junio de 2014. No 38. ISSN 1909-2474. pág. 146-158.

¹³ HENDRYCHOVÁ, Markéta y KABRNA, Martin. An analysis of 200-year-long changes in a landscape affected by large-scale surface coal mining: History, present En: Science Direct, *Applied Geography*, Vol.74, Septiembre de 2016. Pág 151–159. and future.

¹⁴ DING, Q. *et al*. Effects of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. En: Science Direct. *Science of The Total Environment*, Vol. 578 Febrero de 2107. Pág 577–585.

desarrollo de un sistema de monitoreo y administración basado en sistemas de información geográfica, para la seguridad de las minas subterráneas en tres niveles, enfocados en la seguridad constructiva, vigilancia, mantenimiento y emergencia el cual fue desarrollado por Şalap, Karslıoğlu, & Demirel¹⁵.

Tanto a nivel nacional como internacional el uso de SIG adquiere mayor importancia en el análisis de la información espacial y se da en múltiples contextos, en China por ejemplo, se realizó un estudio que involucra el análisis de sensibilidad espacial mediante el análisis multicriterio, donde se evalúa la aptitud del territorio y se toman decisiones orientadas a la idoneidad de tierras para el cultivo. Por otro lado, el estudio desarrollado por Moeinaddini¹⁶ evalúa la idoneidad del emplazamiento para un vertedero de residuos sólidos urbanos en Karaj-Irán, mediante métodos de combinación lineal ponderada y analítica, utilizando multiplicidad de criterios de fácil manejo tanto cualitativos como cuantitativos. Adicionalmente, Zhon-wu.Li, *et al*¹⁷; presentan la evaluación ecológica, los cambios eco-ambientales y la base de datos del sistema de información ambiental mediante el uso de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para la región montañosa tierra roja en la ciudad de Changsha - China.

En este sentido, en Colombia se han desarrollado proyectos de zonificación ambiental en el marco de los planes binacionales, como es el caso del estudio de compatibilización de la zonificación ecológica¹⁸, desarrollado por países miembros de la cuenca amazónica, específicamente Colombia y Perú, el cual propone escenarios basados en el conocimiento de los ecosistemas y las culturas actuales, articulando las políticas propias, como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, conducentes al aprovechamiento y manejo adecuado de los recursos naturales y del ambiente, así como a la reorientación de las dinámicas económicas en cada región.

¹⁵ ŞALAP, Seda; KARSLIOĞLU, Mahmut y DEMIREL, Nuray. Development of a GIS-based monitoring and management system for underground coal mining safety. En: Science Direct, International Journal of Coal Geology, Vol.80 Noviembre de 2009. pág 105–112.

¹⁶ MOEINADDINI, Mazaher. et al. Siting MSWlandfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (Case study: Karaj).En: Science Direct. Vol 30. Mayo de 2010. p 912 920.

¹⁷ ZHON-WU. Li, *et al*. The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly region based in GIS – A case study in Changsha City, China. En: Science Direct. Vol 202. Abril 2007. P 540-546.

¹⁸ INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICA SINCHI; INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO (INADE). Zonificación ambiental de cuenca del río Putumayo. Colombia, Perú .2006.

5. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presenta la localización del área de estudio, los antecedentes relacionados con el tema de zonificación ambiental en Colombia, los conceptos generales en los que se enmarca la metodología propuesta en el estudio y el marco normativo minero ambiental que rige la actividad minera a nivel nacional.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Departamento de Boyacá está situado en el centro del país, en la cordillera oriental de los Andes; localizado entre los 04°39'10"y los 07°03'17"de latitud norte y los 71°57'49"y los 74°41'35" de longitud oeste (figura 1). Cuenta con una superficie de 23.189 km² lo que representa el 2.03 % del territorio nacional. Limita por el Norte con los departamentos de Santander y Norte de Santander, por el este con los departamentos de Arauca y Casanare, por el Sur con Meta y Cundinamarca, y por el Oeste con Cundinamarca y Antioquia. Políticamente está integrado por 123 Municipios y 10 corregimientos distribuidos en 12 provincias.¹⁹

Desde el punto de vista orográfico, el territorio departamental presenta diferencias bien marcadas debidas a su ubicación en la región andina, parte centro-oriental del país; dispone de parte de la zona de tierras planas del valle medio del Río Magdalena, la Cordillera Oriental lo atraviesa de suroeste a noreste, lo que le otorga una topografía compleja, que origina 6 regiones fisiográficas, con características diferentes entre sí. Por lo variado de su relieve se presentan todos los pisos térmicos desde el nival, en la Sierra Nevada del Cocuy, hasta el cálido, en el territorio Vásquez y la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, lo que favorece la diversidad de flora y fauna.

Geológicamente, el departamento se ha dividido, en cuatro cuencas sedimentarias que de occidente a oriente se designan así: 1. Valle Medio del Magdalena, 2. Cordillera Oriental, 3. Sierra Nevada de El Cocuy y 4. Piedemonte Llanero. Dentro de ellas y atendiendo las importantes similitudes litológicas, estratigráficas y la tectónica regional, se han establecido 8 subregiones o bloques naturales, los cuales denotan cada uno, una historia geológica muy similar²⁰.

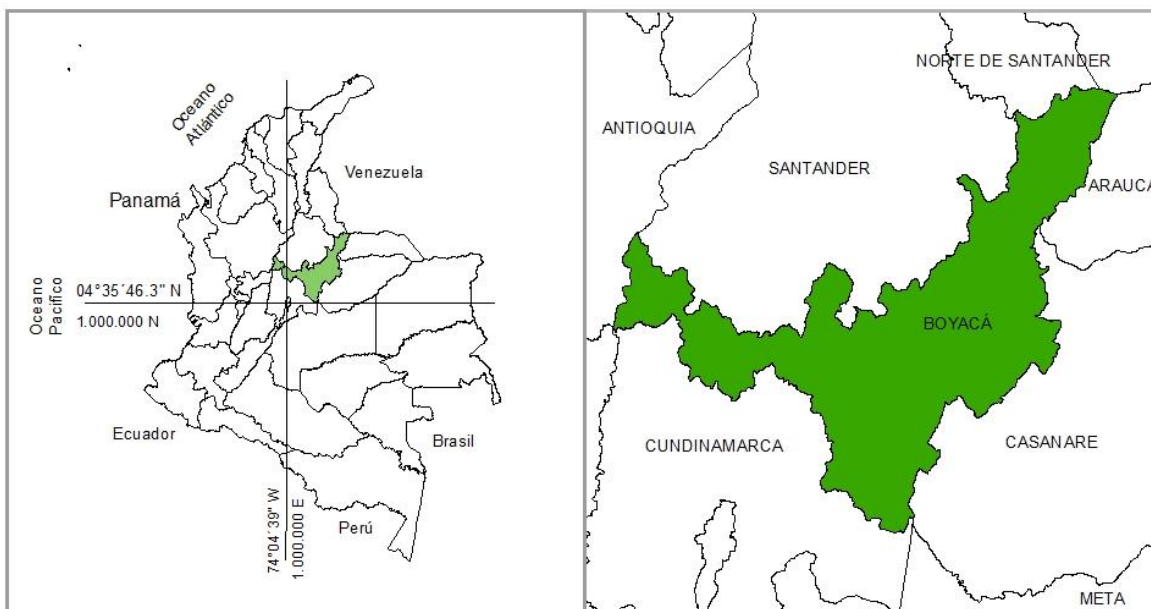
El sistema hidrográfico de Boyacá está constituido por numerosos ríos y quebradas que nacen en la cordillera Oriental, afluentes directos o de alguno de los tributarios de los ríos Magdalena, Meta y Arauca.

¹⁹ GOBERNACION DE BOYACÁ. Martínez Andrés. Toda Colombia. [En línea]. [Citado, 28 de Diciembre de 2017]. Disponible en internet: <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/boyaca.html>

²⁰ RODRIGUEZ, Antonio y SOLANO, Orlando. Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. Memoria Explicativa. Enero. 2008.

La economía de Boyacá se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación de minerales, la industria siderúrgica, el comercio y el turismo²¹.

Figura 1. Localización del departamento de Boyacá.



Fuente: La autora

5.2 ANTECEDENTES DE LA ZONIFICACIÓN EN COLOMBIA

Los temas de zonificación en Colombia se han concebido como función del estado y tiene su respaldo en actos administrativos de orden nacional como se enuncia a continuación:

Según el artículo 5 de la Ley 99 de 1993 es deber del estado actualizar o promover el estatuto de zonificación y uso adecuado del territorio; éste se constituye en uno de los principales instrumentos del ordenamiento ambiental territorial.

Además, el Decreto Ley 2811 de 1974 en su artículo 30 trata sobre la adecuada protección del ambiente y de los recursos naturales para lo cual ordena al Gobierno Nacional establecer políticas y normas sobre zonificación. Establece que los departamentos y municipios tendrán sus propias normas de zonificación, sujetas a las de orden nacional.

La zonificación también se ha dispuesto como herramienta de manejo de Parques Nacionales Naturales de Colombia, por el Decreto 622 de 1977, en el cual se

²¹ GOBERNACION DE BOYACÁ. Op. cit. Pág. 2.

establecen diferentes categorías de protección dentro de las áreas protegidas del Sistema de Parques.

El Decreto 216 de 2003 en su artículo 12, numeral 4 establece como función de la Dirección de Ecosistemas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, diseñar y proponer las reglas y criterios técnicos y metodológicos para la zonificación y ordenación ambiental de los ecosistemas de valor estratégico como apoyo a los procesos de ordenamiento territorial. El mismo, en el Artículo 16, numeral 5, con respecto a las funciones de la Dirección de Desarrollo Territorial establece que se deben formular políticas y regulaciones nacionales sobre zonificación y uso adecuado del suelo y desarrollar metodologías e instrumentos para su transferencia y aplicación. La resolución 196 de 2006 que define la zonificación como un proceso mediante el cual, a partir de un análisis integral y holístico, se busca identificar y entender áreas que puedan considerarse como unidades homogéneas.

El decreto 2041 de 2014, estableció que el estudio de impacto ambiental deberá incluir como mínimo la zonificación de manejo ambiental, la cual será definida para el proyecto, obra o actividad para la cual se identifican las áreas de exclusión, las áreas de intervención con restricciones y las áreas de intervención.

En la actualidad según la resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016, se adoptan los términos de referencia para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, requeridos para el trámite de licencias ambientales de los proyectos de explotación minera. Estos a su vez en el numeral 6 especifican los criterios que se debe tener en cuenta para elaborar la zonificación ambiental y la posterior zonificación de manejo.

5.3 MARCO TEÓRICO

Con el propósito de comprender el proceso metodológico, en los siguientes numerales se presenta una descripción conceptual de los principales términos a tener en cuenta.

5.3.1 Minería

La minería es, según el Ministerio de Minas y Energía, *“la ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. El término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie”*²².

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Casi desde el principio de la Edad de Piedra, hace 2,5 millones de años o más, viene siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores del Homo sapiens empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La minería de superficie se remonta a épocas mucho más antiguas que la agricultura.

En este contexto, el código de minas define el mineral *“como la sustancia cristalina, por lo general inorgánica, con características físicas y químicas propias debido a un agrupamiento atómico específico”*²³.

A continuación se describen algunos de los minerales más representativos para el departamento de Boyacá:

- Esmeraldas

La Esmeralda es la piedra más preciosa en el grupo de berilo. El nombre esmeralda viene del griego "smaragdus" a través del antiguo francés "esmeralde", y realmente

²² MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C, Agosto de 2003. Pág. 108.

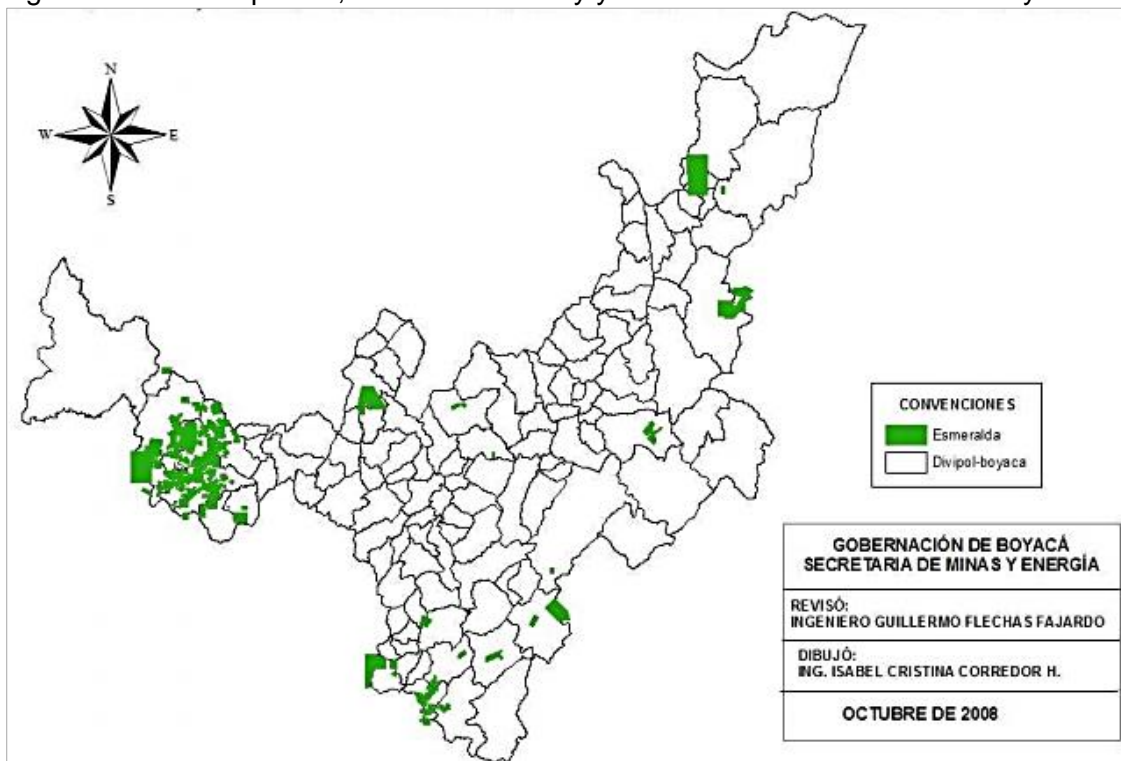
²³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Ley 685 de 2001 por la cual se expide el Código de minas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 2001. Art. 10.

significa "*pedra preciosa verde*". El maravilloso color verde de esmeralda es incomparable en el mundo de la gema²⁴.

En Boyacá se encuentra el distrito minero de Muzo que comprende las minas de Coscuez, Peñas Blancas, La Palma, Yacopí, La Pita, Quipama y Muzo, los cuales tienen una mineralogía, paragénesis y marco geológico muy similar²⁵.

Según la información existente sobre prospectos, manifestaciones y yacimientos, el departamento de Boyacá se divide en dos cinturones esmeraldíferos: El oriental y occidental, tal como ilustra en la figura 2.

Figura 2. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de esmeralda en Boyacá.



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

- Mineral de hierro

El hierro se encuentra en numerosos minerales y mineraloides, magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), siderita (FeCO_3), pirita (FeS_2), etc. Si

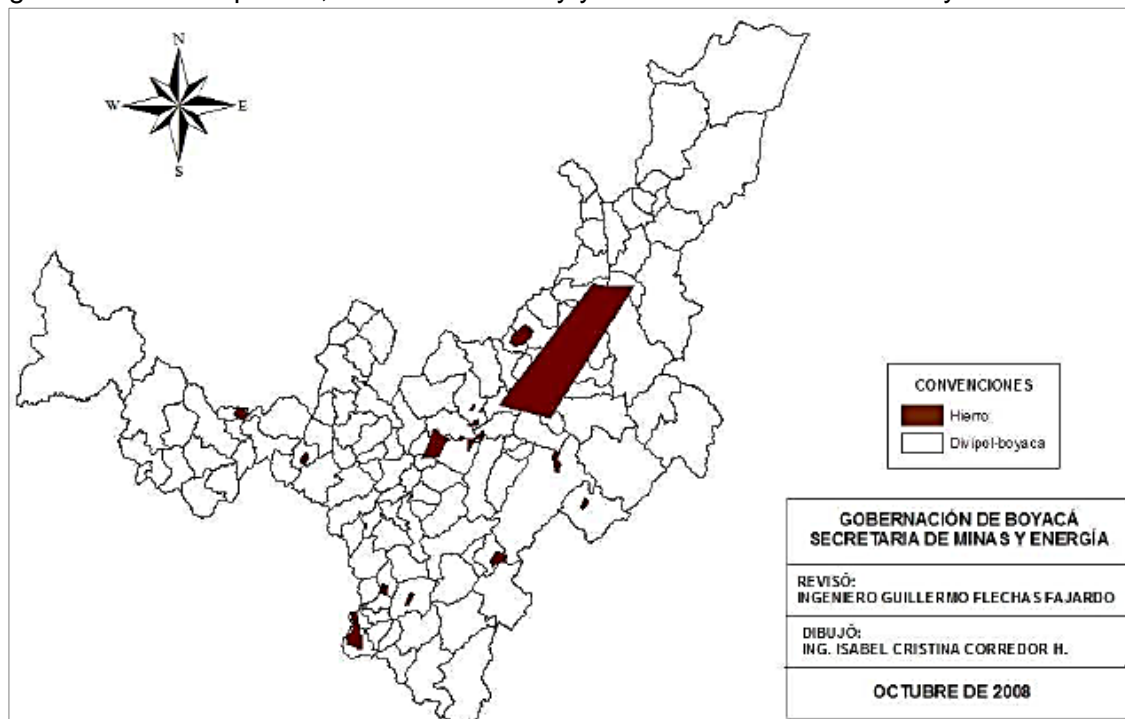
²⁴ GEMSELECT. Introducción sobre las Gemas. [En línea]. [Citado, 26 de Julio de 2017]. Disponible en internet: <https://www.gemselect.com/spanish/gem-info/emerald/emerald-info.php>.

²⁵ MINA DE PIEDRAS. Yacimientos de esmeraldas. [En línea]. [Citado, 27 de Julio de 2017]. Disponible en internet: <http://www.minadepiedras.com/es/la-esmeralda/yacimientos-de-esmeraldas.html>.

bien hay una diversidad de minerales de hierro son pocos los minerales usados comercialmente como fuente de hierro²⁶.

En el departamento de Boyacá se encuentran prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Hierro en los siguientes municipios: Aquitania, Belén, Busbanza, Chita, Chivata, Firavitoba, Garagoa, Guateque, Guayata, Pachavita, paipa, pajarito, paz del Rio, San Eduardo, Sattrivanorte, Tinjaca, Toca, y Tuta²⁷. Ver figura 3

Figura 3. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de hierro en Boyacá.



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

- Carbón

Roca sedimentaria, de color negro a negro pardo, de fácil combustión, que contiene más del 50% en peso y más del 70% en volumen de material carbonoso incluida la humedad inherente. Formada a partir de la compactación y el endurecimiento por calor y presión, de restos de plantas químicamente alteradas y carbonizadas, durante el tiempo geológico. Las diferencias en los materiales de las plantas (tipo), el grado de metamorfismo (rango) y la cantidad de impurezas (grado) son características del carbón y se usan en su clasificación. En general, su principal uso

²⁶ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA. Procesamiento de materias ferrosas. México. 2013

²⁷ SECRETARIA DE MINAS Y ENERGÍA. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de minerales. 2008. Boyacá. Pág. 7.

es en la producción de energía, pero el carbón también tiene aplicaciones industriales: es usado en calderas en la fabricación del cemento, papel, ladrillos, cerámica, vidrio, caucho; industria metalúrgica; ingenios de azúcar, entre otros, y como materia prima para la fabricación de pilas, lámparas de arco, aparatos eléctricos y carbón activado²⁸.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética en adelante (UPME)²⁹ Los yacimientos de carbón en Boyacá se distribuyen en las siguientes subcuencas:

- Subcuenca Tunja-Duitama: Está ubicada en el Departamento de Boyacá entre el Puente de Boyacá al sur y el municipio de Duitama al norte. Corresponde al sinclinal de Tunja y se extiende en una longitud de unos 35 Km con un ancho promedio de 8 Km. Los carbones se encuentran en el miembro medio de la Formación Guaduas en 8 mantos con espesores entre 0,70 y 2,0 metros. La mayoría de estos carbones están clasificados como subbituminosos A hasta bituminosos de altos volátiles C.
- Subcuenca Sogamoso-Jericó: La cantidad y espesores de los mantos es variable de 1 a 9 y 1,0 a 3,2 metros respectivamente, los espesores acumulados varían entre 8,30 y 10 m. Las reservas se calculan en 102.8 millones de toneladas, los cuales se tratan principalmente de carbones bituminosos altos en volátiles B y C.
- Subcuenca Chinavita-Umbita-Tinabá: Esta ubicada en el centro-sur del departamento de Boyacá en los municipios de su nombre y Machetá Cundinamarca. Los carbones se encuentran en los flancos del Sinclinal de Umbita.

En total las reservas medidas en la zona carbonífera de Boyacá ascienden a 170.4 millones de toneladas.

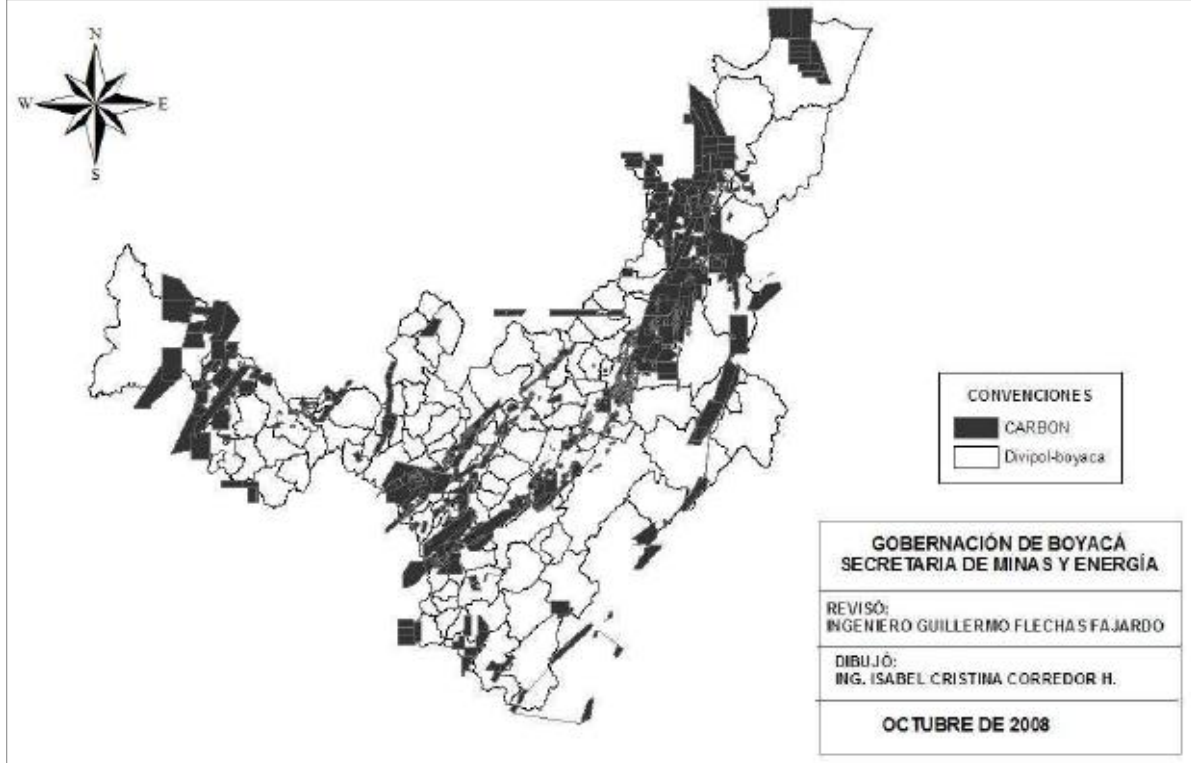
En Boyacá se destacan los Carbones térmicos, en las provincias de Sugamuxi, Tundama, Centro y Márquez. Carbones coquizables, en las provincias de Valderrama, Norte y Centro. Carbones antracíticos y semiantracíticos, en las provincias de Norte y Occidente³⁰. Ver figura 4.

²⁸ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C, Agosto de 2003. Pág.26.

²⁹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Plan de desarrollo del subsector carbón. Zonas Carboníferas de Colombia. 2010.

³⁰ SECRETARIA DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit. Pág. 16

Figura 4. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de carbón en Boyacá.



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

- Caliza

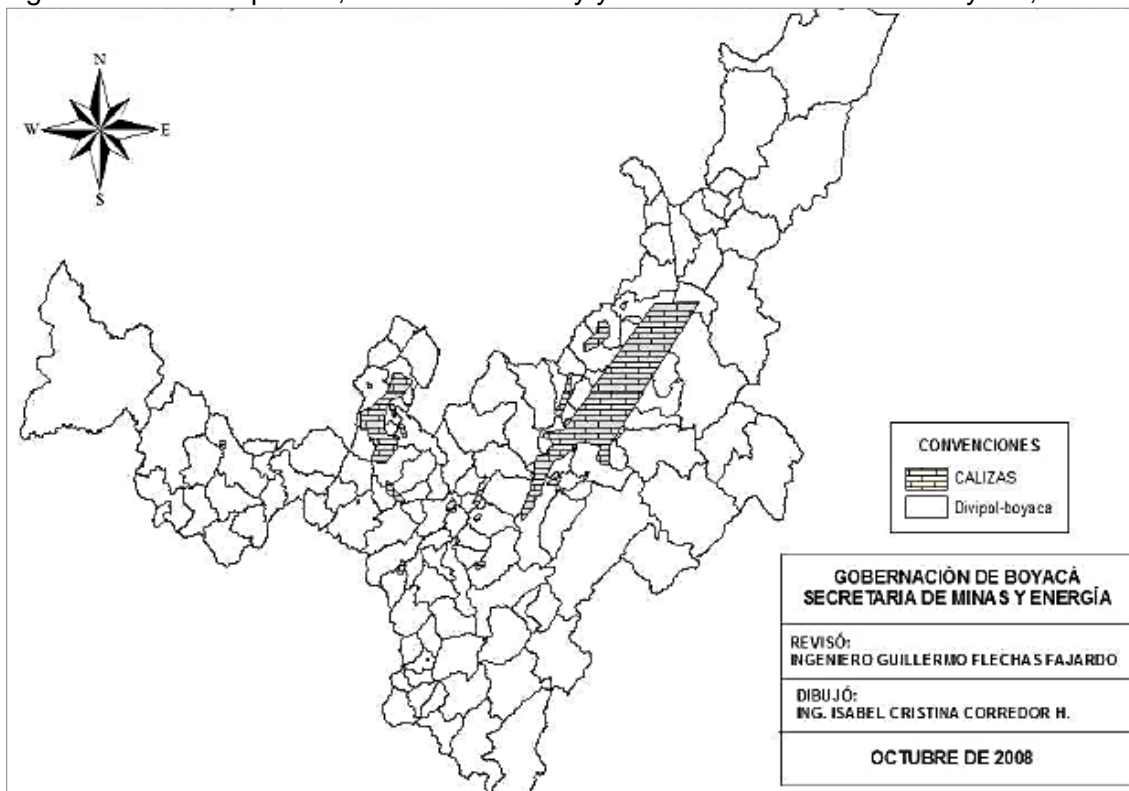
Roca sedimentaria (generalmente de origen orgánico) carbonatada que contiene al menos un 50% de calcita (CaCO_3), y que puede estar acompañada de dolomita, aragonito y siderita; de color blanco, gris, amarilla, rojiza, negra; y textura granular fina a gruesa, bandeada o compacta, a veces contiene fósiles. Minerales esenciales: calcita (más del 50%). Minerales accesorios: dolomita, cuarzo, goethita (limonita), materia orgánica. Las calizas tienen poca dureza y en frío reportan efervescencia (desprendimiento burbujeante de CO_2) bajo la acción de un ácido diluido. Contienen frecuentemente fósiles, por lo que son de gran importancia en estratigrafía, así como diversas aplicaciones industriales.

El mayor consumo de caliza se efectúa en la fabricación de cementos. Es materia prima de la industria química, grandes masas de caliza se utilizan anualmente como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas. La caliza de grano fino se emplea en litografía y se denomina caliza litográfica. Calizas de distintos tipos se emplean en construcción, tanto como piedra estructural, como para fachadas y recubrimientos sobre paredes de cemento, y como piedra de acabado para la

ornamentación interior. También se usa en la producción de azúcar y en la industria del vidrio³¹.

El departamento de Boyacá se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos en los siguientes municipios: Belén, Busbanza, Chitaraque, Corrales, Cuitiva, Firavitoba, Gachantiva, Labranzagrande, Macanal, Mongua, Moniquira, Nobsa, Paez, Pajarito, Paz del Rio, PESCA, Raquira, Rondon, Sachica, Santa Rosa de Viterbo, Santa Sofia, Sogamoso, Sora, Tenza, Tibasosa, Togui, Turmeque, Tutaza, Villa de Leiva³². Ver figura 5.

Figura 5. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de Caliza en Boyacá,



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

- Roca fosfórica

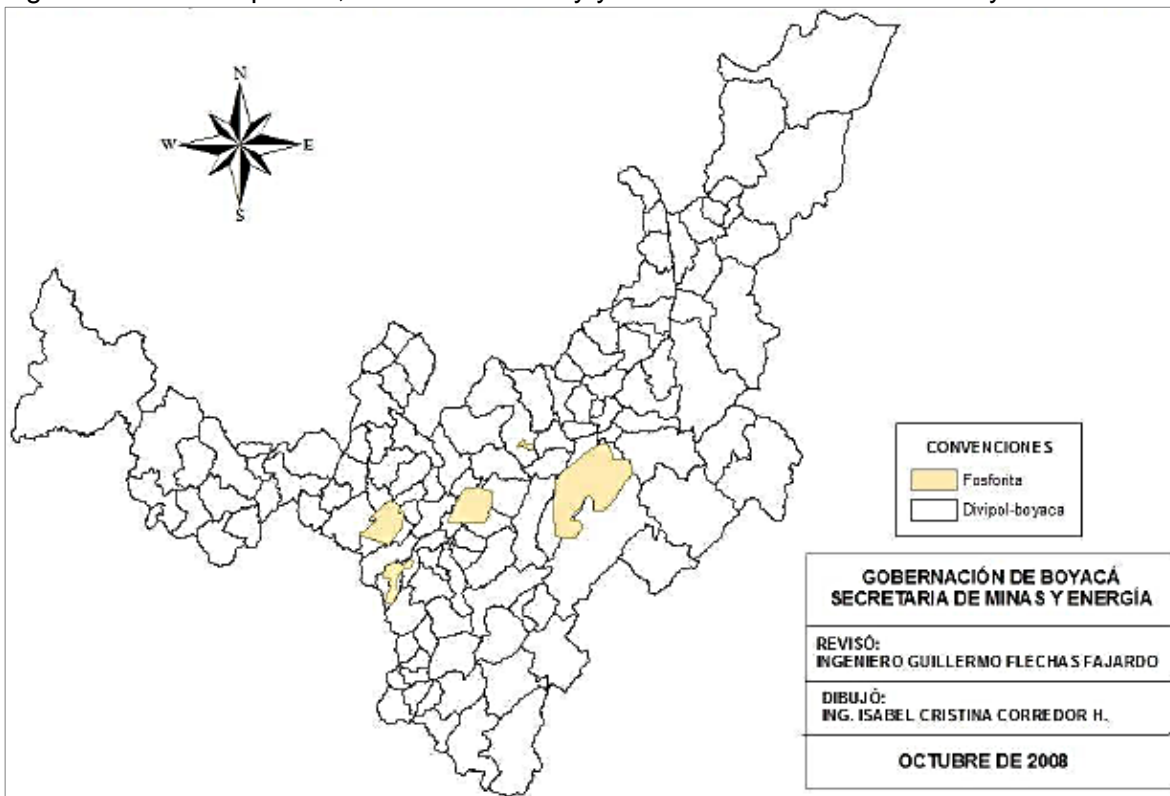
Las rocas fosfóricas son rocas compuestas por uno o más minerales fosfáticos, con la suficiente pureza para ser explotados económicamente. La roca es generalmente de color gris marrón y de consistencia fuerte. La fuente mineral potencial de fósforo más importante en el suelo es el apatito, que proviene de la palabra griega apatao, que quiere decir equivocar, porque se confundía con algunas gemas. Entre los usos

³¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Op. cit., Pág. 23-24.

³² SECRETARIA DE MINAS Y ENERGÍA. Op. Cit. Pág. 10.

se destacan fuente de fosfato de calcio y fósforo y producción de fertilizantes artificiales. En el departamento de Boyacá se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos de fosforita en los siguientes municipios: Sogamoso, Cuitiva, Iza, Nuevo Colon, Pesca, Tota y Turmeque³³. Ver figura 6.

Figura 6. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de fosforita en Boyacá.



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

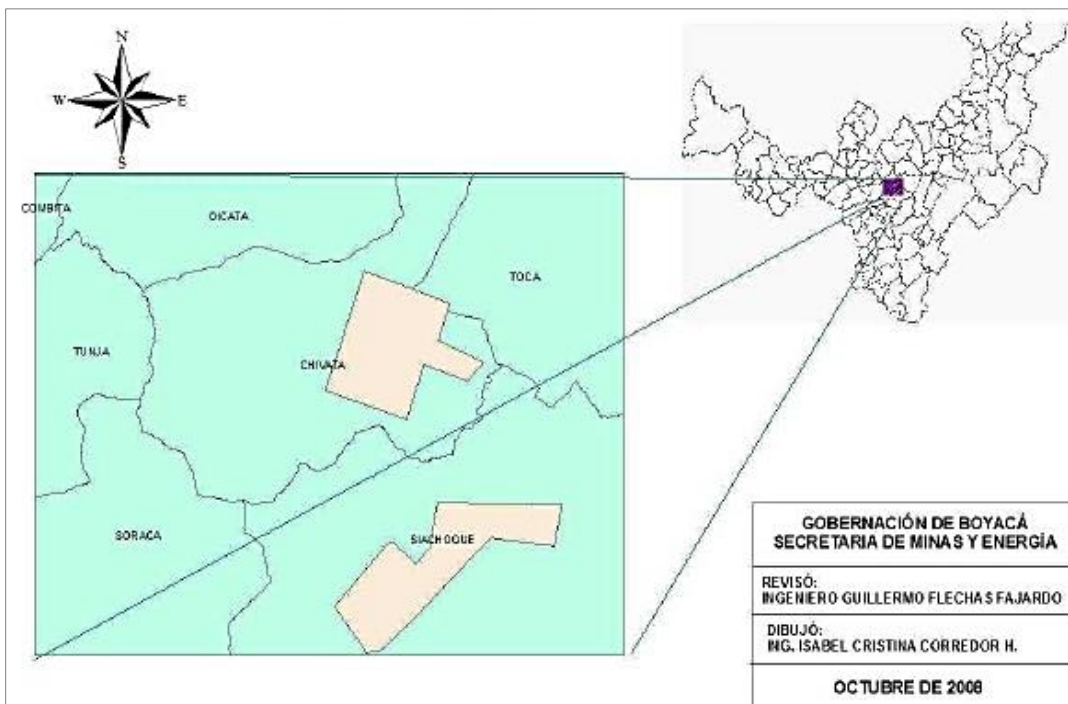
- Diatomita

La diatomita es una roca silíceá de origen sedimentario, está constituida principalmente de restos fosilizados de diatomeas, es extremadamente porosa, baja conductividad de calor y electricidad, químicamente inerte, capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto, su dureza oscila entre 4 y 6, su densidad in situ varía entre 0.32 y 0.64 ton/m³. En Boyacá se tiene información de manifestaciones y yacimientos de este mineral en la provincia centro³⁴. Ver figura 7.

³³ SECRETARÍA DE MINAS Y ENERGÍA. Op cit. Pag. 13.

³⁴íbid. Pág. 20

Figura 7. Prospectos manifestaciones y yacimientos de diatomita en el departamento de Boyacá.



Fuente: Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008.

5.3.2 Sensibilidad Ambiental

La sensibilidad ambiental implica la definición de una escala de valoración, para indicar el grado de susceptibilidad del medio en relación con el agente generador de perturbaciones. Las clases en cuestión y las valoraciones asignadas, de acuerdo con una escala que indica más bien cualidad que cantidad, están enfocadas particularmente en las variables consideradas más relevantes para el proyecto. El Análisis de Sensibilidad Ambiental (ASA) considera la susceptibilidad del ambiente a ser afectado en su funcionamiento y/o condiciones intrínsecas por la localización y desarrollo de cualquier proyecto y sus áreas de influencia³⁵.

5.3.3 Zonificación ambiental

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, señala que no existe una definición taxativa de zonificación ambiental ni en la normativa ni en las políticas ambientales de carácter general en Colombia. Sin embargo, en muchas de ellas se hace alusión a la misma. Al respecto, el IDEAM luego de efectuar una

³⁵ XIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN. Calatayud, 23-26 de Septiembre de 2009. Memorias . pag 229-232.

revisión a la definición de “zonificación” en la normativa ambiental colombiana asumió como definición de zonificación ambiental la siguiente:

“una actividad del proceso de ordenamiento ambiental en donde se divide el territorio en estudio, llámese, humedales, manglares, áreas de manejo especial, municipios, departamentos, ciudades entre otros, en áreas homogéneas desde sus contenidos biofísicos y socioeconómicos. El propósito de la Zonificación Ambiental es orientar el uso y manejo sostenible de los espacios, establecer su administración y su reglamentación y generar programas, proyectos y acciones de conservación, preservación, usos sostenidos restauración y recuperación que garanticen el desarrollo sostenible en lo ecológico, económico y sociocultural³⁶”

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible³⁷, para el caso del desarrollo de un proyecto o actividad, es el resultado del análisis de la caracterización ambiental del área de influencia directa e indirecta del proyecto y de la legislación vigente, que permite obtener una síntesis del diagnóstico y una visión espacial global de las condiciones físicas, bióticas y socioeconómicas que actualmente ofrece el área de estudio para establecer el grado de sensibilidad ambiental o vulnerabilidad de las unidades ambientales frente a la construcción u operación de un proyecto o actividad.

Se debe utilizar un sistema de información geográfica para realizar el cruce o superposición de la información de los mapas de cada medio para obtener la zonificación ambiental final de las áreas de influencia, donde se sintetizan espacialmente las condiciones ambientales actuales más relevantes

De esta manera, la zonificación ambiental se convierte en el insumo básico para a planificación del área que podrá ser intervenida por el proyecto. Esta busca evaluar la capacidad de acogida del territorio, donde se expresa la relación actividades – territorio y proporciona un método para lograr la integración de ambos aspectos.

De acuerdo con Gómez³⁸ la capacidad de acogida del territorio para una actividad se entiende como el grado de idoneidad para su desarrollo, teniendo en cuenta a la vez, la medida en que el territorio cubre los requerimientos locales de la actividad y los efectos de ésta sobre el medio; indica y representa el mejor uso que puede

³⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Guía técnica científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. 2006. Pág. 3.

³⁷ AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA). Términos de Referencia Para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA- Proyectos de Explotación Minera. 2016. Pág. 108.

³⁸ GÓMEZ, Domingo y GÓMEZ, María. Evaluación del Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Ed 7. España. ISBN 13: 9788484766438. 2013.

hacerse del territorio considerando el punto de vista de las actividades que en él se pueden dar y el del medio. En otras palabras, podría decirse que la capacidad de cogida concierne los puntos de vista del “promotor” y del “conservacionista” de la actividad y de su entorno. Representa la forma en que cada punto del territorio puede utilizarse en beneficio del hombre sin que sufra alteraciones inaceptables en sus características y valores.

De esta manera, para establecer la aptitud y el impacto sobre el territorio de una actividad, se deben evaluar los criterios que los afectan; es decir, aquellas variables territoriales que actúan positivamente en forma de atracción para la actividad y aquellas que pueden ser perjudicadas de alguna manera por la implantación de la actividad³⁹.

Para este estudio la zonificación ambiental está en función de las variables abióticas, bióticas y socioeconómicas.

5.3.4 Zonificación de manejo ambiental

Según los términos de referencia – Sector Minería de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales⁴⁰. A partir de la zonificación ambiental, los servicios ecosistémicos y la evaluación de impactos realizada, se debe determinar la zonificación de manejo ambiental. El análisis de cada una de las unidades de manejo debe realizarse de manera cualitativa y cuantitativa, utilizando un software de análisis de información geográfica. La evaluación debe definir las restricciones de tipo abiótico, biótico y socioeconómico.

Las unidades de manejo deben agruparse, en las siguientes áreas de manejo:

- Áreas de Intervención: corresponde a áreas donde se puede ejecutar el proyecto, con un manejo ambiental acorde a las actividades y fases del mismo.
- Áreas de intervención con restricciones: corresponde a áreas donde se deben tener en cuenta manejos especiales y restricciones propias acordes con las actividades y fases del proyecto y con la vulnerabilidad ambiental de la zona; se deben establecer grados, tipos de restricción y condiciones para la ejecución de las mismas. Estas áreas deben clasificarse según categoría de restricción (alta, media y baja), la cual determina las condiciones que se han de cumplir para la ejecución de actividades en las mismas.

³⁹ *Ibíd.* Pag 24- 52.

⁴⁰ AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Términos de Referencia Para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA- Proyectos de Explotación Minera. 2016. Pág. 130.

- Áreas de exclusión: corresponde a áreas que no pueden ser intervenidas por las actividades del proyecto. Para definir estas áreas se deben considerar criterios de exclusión tales como vulnerabilidad y funcionalidad ambiental y restricciones impuestas legalmente al uso del territorio (las cuales se detallan más adelante).

5.3.5 Análisis Multi-Criterio - Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ)

El proceso de Análisis jerárquico, en adelante PAJ, fue desarrollado a finales de los años sesenta por Thomas Saaty; es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio de la experiencia y el conocimiento de los actores; los cuales son tan importantes como los datos utilizados en el proceso⁴¹.

El procedimiento para usar el PAJ puede ser resumido en las siguientes premisas:

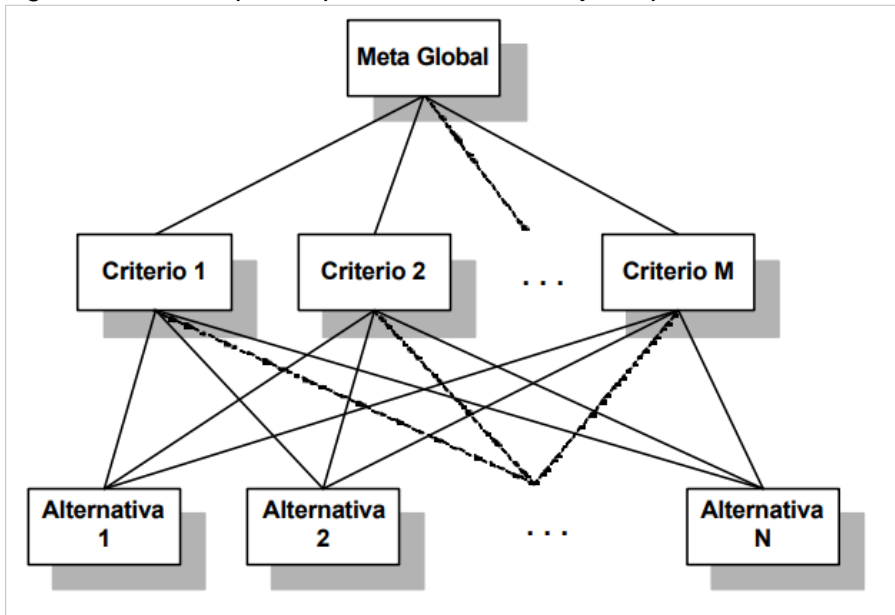
El primer paso del PAJ consiste en modelar el problema de decisión que se pretende resolver como una jerarquía, la toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos. Ver figura 8.

- Establecer prioridades de los elementos de la jerarquía haciendo una serie de juicios basados en comparaciones por pares de elementos.
- Sintetizar los juicios para producir un conjunto de prioridades globales de la jerarquía.
- Revisar la consistencia de los juicios.
- Llegar a una decisión final basada en los resultados de este proceso⁴².

⁴¹ SAATY, Tomas. Decision making with the analytic hieracchy process. En: Services Sciences. Vol 1. No 1. 2008.

⁴² HERBET, Simon, " The New Science of Management Decision", Harper and Row, New York. 1960.

Figura 8. Esquema proceso de análisis jerárquico.



Fuente: Saaty. 2008.

Los principios del PAJ son:

- El principio de descomposición: Para resolver la complejidad, el PAJ permite estructurar un problema complejo en subproblemas jerárquicos con dependencias de acuerdo con el nivel de descomposición en el que se encuentren. Ver tabla1.

Tabla 1. Escalas de comparación de Saaty.

Escala	Definición	Explicación
1	Igualmente preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Muy fuertemente preferida	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Extremadamente preferida	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro

Fuente: Saaty. 2008.

Los valores 2, 4, 6 y 8 se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los factores. Estos son valores intermedios de preferencia.

- Juicios Comparativos: Permite realizar combinaciones en parejas de todos los elementos de un sub-grupo con respecto al criterio principal del subgrupo, por ello se habla de comparaciones biunívocas.

- Composición Jerárquica o Síntesis de prioridades: Permite producir prioridades globales a través de las multiplicaciones de las prioridades locales, es decir, que una vez se tienen soluciones locales, se agregan para obtener la solución general que se está buscando.

5.3.5.1 Matriz de comparaciones

Para la comparación en pares de las alternativas y atributos se requiere de una matriz, (denominada matriz de comparación), allí se registran los pesos de los criterios, se determina el valor propio y luego se procede a calcular el índice de consistencia.

5.3.5.2 Axiomas

- Axioma de reciprocidad: si frente a un criterio, una alternativa A es n veces mejor que B, entonces B es 1/n veces mejor que A. Este principio es utilizado en el análisis matricial que se realiza a los criterios y las alternativas. Garantiza que el análisis se haga de manera bidireccional.
- Axioma de homogeneidad: Los elementos que son comparados no deben diferir en mucho en cuanto a la característica de comparación establecida.
- Axioma de la síntesis: Los juicios acerca de las prioridades de los elementos en una jerarquía no dependen de los elementos del nivel más bajo. Este axioma es rebatible y en algunos análisis no se aplica puesto que puede ser posible que exista dependencia de la importancia de un objetivo con el nivel más bajo⁴³.

5.3.5.3 Estimación del índice de consistencia

Este índice es útil para determinar si las comparaciones son consistentes; se calcula a partir de un Índice de Inconsistencia Aleatorio (IA) y una Razón de Consistencia (CR), para lo cual dicha razón debe tener un valor ≤ 0.10 ; cualquier valor superior a éste, indica juicios inconsistentes en la matriz de comparaciones⁴⁴.

El índice de consistencia se obtiene mediante la fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde, λ_{max} es el valor principal de la matriz de comparaciones; n es el número de criterios usados en la toma de decisión y λ es el valor promedio del vector de consistencia.

⁴³ Op. cit.

⁴⁴ MALCZEWSKI, Jacek. GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey Of The Literature. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 20, Nº 7. Agosto 2006, pág. 703 – 726.

Cuándo la matriz de comparación por pares es consistente, se cumple que $\lambda_{max} = n$ y por tanto el CI es igual a cero, en otros casos el valor de CI es positivo. Para superar el problema de la dependencia del índice al orden de la matriz, Saaty propuso una medida normalizada denominada razón de consistencia:

$$CR = \frac{CI}{IA} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde CR es un índice aleatorio para matrices de orden n , definido como el valor esperado del CI asociado a las matrices de orden n y es estimado mediante simulaciones de matrices aleatorias de orden n , donde las entradas de dichas matrices fueron llenadas usando elementos aleatorios del conjunto de valores $\{1, 2, \dots, 9, 1/2, 1/3, \dots, 1/9\}$.

Los valores de CR están en el rango entre cero y uno, donde $CR = 0$ indica una matriz totalmente consistente y $CR = 1$ indica una matriz completamente aleatoria. El criterio de Saaty para aceptar una matriz como consistente es $CR \leq 0,1$.

5.3.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Existen distintas definiciones formales del concepto de SIG que se complementan entre sí. Según Olaya⁴⁵, un SIG es un elemento complejo que engloba una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales desempeña una función particular. Estos elementos son, los datos, los procesos, la visualización, la tecnología y el factor organizativo. Una definición más precisa es decir que un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica⁴⁶, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados⁴⁷.

5.3.6.1 Componentes de un SIG

Cada uno de los siguientes componentes actúa como un pilar conceptual sobre el cual ha de sustentarse el estudio de la disciplina de los SIG. Estos componentes son cinco:

- **Datos:** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Análisis:** Métodos y procesos enfocados al análisis de los datos.

⁴⁵ OLAYA, Victor. Siatemas De Información Geográfica. CreateSpace Independent Publishing Platform (Amazon). España 2014. Pág. 8.

⁴⁶ ESRI. What is GIS. [En línea]. [Citado, 01 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.gis.com/whatisgis/index.html>.

⁴⁷ G. Korte. The GIS Book (5th Ed. Rev.). Autodesk Press, 2001.

- Visualización: Métodos y fundamentos relacionados con la representación de los datos.
- Tecnología: Software y hardware SIG.
- Factor Organizativo: Engloba los elementos relativos a la coordinación entre personas, datos y tecnología, o la comunicación entre ellos, entre otros aspectos⁴⁸

5.3.6.2 Las aplicaciones SIG

El crecimiento de los SIG ha dado lugar a aplicaciones sólidas y completas. Hoy en día la tecnología SIG no se entiende como una aplicación que engloba a todo el sistema, se entiende ese sistema como un conjunto de aplicaciones más especializadas, cada una de las cuales compone una pieza del mismo.

Dentro de las aplicaciones SIG se encuentra elementos que provienen, entre otros de los siguientes ámbitos.

- Análisis de imágenes
- Diseño asistido por ordenador
- Bases de datos
- Herramientas de diseño gráfico

Sin embargo la tarea primordial de un SIG es el trabajo con datos espaciales⁴⁹.

⁴⁸ OLAYA, Victor. Sistemas De Información Geográfica. CreateSpace Independent Publishing Platform (Amazon). España 2014. Pág. 40.

⁴⁹ ÍBID

5.4 MARCO NORMATIVO

Para el desarrollo de este estudio se consultaron los lineamientos generales de los términos de referencia del ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT) para Estudios de Impacto Ambiental aplicables a la explotación de recursos minerales, la ley 99 de 1993 reglamentada por el Decreto Nacional 2372 de 2010, la ley 23 de 1973 que concibió al medio ambiente como patrimonio común de los colombianos y autorizó al ejecutivo para la expedición de un código de recursos naturales, el cual fue concretado en el decreto ley 2811 de 1974, la Resolución 1415 del 17 de agosto de 2012, el Decreto 2041 de 2014, el decreto 1076 de 2015. Entre otras normas.

En la tabla 2, se presenta, entre otras, la normativa minero ambiental que reglamenta la operación minera a nivel nacional.

Tabla 2. Normatividad minero-ambiental en Colombia.

Año	Normativa	Tema
1991	Constitución Política de 1991	Establece como obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
1993	Ley 99 de 1993	Organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), creó el Ministerio de Medio Ambiente y reordenó el sector público para la gestión y conservación del medio ambiente.
2005	Resolución 1023 de 2005	De acuerdo con esta resolución las Guías Ambientales son documentos de "Consulta y orientación conceptual y metodológica para apoyar la gestión ambiental de los proyectos, obras o actividades"
2010	Ley 1382, la cual reformo el código de minas (Ley 685 de 2001).	Los propósitos de esta ley involucran la modernización de la industria minera, la promoción de la inversión y la agilización de los trámites de obtención de títulos mineros. Esta ley introdujo la prohibición de la actividad minera en zonas con los páramos y los humedales Ramsar. No obstante, la norma no fue consultada con los grupos étnicos del país por ello fue demandada ante la corte suprema. El 11 de mayo de 2011, la Corte Constitucional declaró que la ley 1382 de 2010 era inexecutable por haber omitido la consulta previa (Corte Constitucional, sentencia C-366 de 2011). Por su parte el Código Minero, establece áreas de exclusión o restricción de la minería por tener un carácter territorial de protección, y define los límites para explorar o explotar minerales en cauces y riberas.
2011	Decreto 4134 de 2011	Creó la Agencia Nacional en Minería (ANM) con el objeto de administrar integralmente los recursos minerales de propiedad del Estado, promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos mineros de conformidad con las normas pertinentes y en coordinación con las autoridades ambientales en los temas que lo requieran, lo mismo que hacer seguimiento a los títulos de propiedad privada del subsuelo cuando le sea delegada esta función por el Ministerio de Minas Y Energía de conformidad con la ley.

Año	Normativa	Tema																				
2011	Art. 108 de la Ley 1450 de 2011	Cataloga a los siguientes como Minerales estratégicos: Oro, platino, cobre, minerales de fosfato, minerales de potasio, minerales de magnesio, carbón metalúrgico, uranio, hierro y minerales de coltán.																				
2014	Decreto 2041	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.																				
2015	Resolución 396 de 2015	<p>Por medio de la cual se establecen los criterios para determinar las excepciones a la inscripción en el Rucom (Registro único de comercializadores de minerales)</p> <p>No tienen obligación de inscribirse en el Rucom siempre y cuando su consumo no supere las cantidades y /o valores que a continuación se detallan:</p> <p>Metales Preciosos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oro</td> <td>4 Kg por año calendario</td> </tr> <tr> <td>Plata</td> <td>40 kg por año calendario</td> </tr> <tr> <td>Platino</td> <td>300 gramos por año calendario</td> </tr> </tbody> </table> <p>Piedras preciosas y semipreciosas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Esmeraldas</td> <td>100 smmlv por año calendario</td> </tr> </tbody> </table> <p>Carbón</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbón</td> <td>600 ton por año</td> </tr> </tbody> </table> <p>Materiales de construcción y arcillas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Materiales de construcción y arcillas</td> <td>720 mts³ por año calendario</td> </tr> </tbody> </table>	Mineral	Cantidad	Oro	4 Kg por año calendario	Plata	40 kg por año calendario	Platino	300 gramos por año calendario	Mineral	Valor	Esmeraldas	100 smmlv por año calendario	Mineral	Cantidad	Carbón	600 ton por año	Mineral	Cantidad	Materiales de construcción y arcillas	720 mts ³ por año calendario
Mineral	Cantidad																					
Oro	4 Kg por año calendario																					
Plata	40 kg por año calendario																					
Platino	300 gramos por año calendario																					
Mineral	Valor																					
Esmeraldas	100 smmlv por año calendario																					
Mineral	Cantidad																					
Carbón	600 ton por año																					
Mineral	Cantidad																					
Materiales de construcción y arcillas	720 mts ³ por año calendario																					
2015	Resolución 40659 de 2015	Por la cual se define el esquema de incentivos por el aprovechamiento y la explotación integral de los recursos naturales no renovables y se establece la metodología para su aplicación y asignación.																				
2015	Resolución 1258 de 2015	Por la cual se adoptan los lineamientos, la guía ambiental y los términos de referencia para las actividades e formalización de minería tradicional a que se refiere el Decreto número 933 de 2013 y se toman otras determinaciones.																				
2015	Resolución 293 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros, criterios y la fórmula para la fijación del precio base de liquidación de las regalías y compensaciones de Níquel.																				
2015	Resolución 209 de 2015	Por medio de la cual se establece el procedimiento, trámite y criterios para la evaluación de las solicitudes de integración de áreas, de que trata el artículo 101 de la Ley 685 de 2001																				

Año	Normativa	Tema
2015	Resolución 127 de 2015	Por la cual se determinan los precios base de liquidación de regalías de piedras y metales preciosos, minerales de hierro, minerales metálicos y concentrados polimetálicos.
2015	Resolución 126 de 2015	Por la cual se determinan los precios base de los minerales no metálicos para la liquidación de regalías.
2015	Resolución 125 de 2015	Por la cual se fijan los precios base para la liquidación de regalías de carbón.

Fuente: La Autora

Teniendo en cuenta que la metodología se enmarca en términos de zonificación ambiental, se presenta la tabla 3 la cual contiene algunos de los lineamientos específicos que regulan la protección y conservación de los recursos del entorno.

Tabla 3. Normativa determinante en la zonificación ambiental.

Año	Normativa	Tema
1986	Ley 79 de 1986	Regula la conservación del agua, define en su artículo 1 como áreas de Reserva Forestal los bosques y vegetación que se encuentran en los nacimientos de agua permanentes o no en una extensión no inferior a 200 metros a la redonda; así como los que se encuentran en una franja no inferior a 100 metros a cuerpos de agua que presten alguno de los servicios especificados en dicha ley como son los hidroeléctricos, los acueductos, los agrícolas, etc.
1974	Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente. <ul style="list-style-type: none"> En el artículo 83, literal D, consagra que la franja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos.
1977	Decreto 1449 de 1977	En el artículo 3 establece las áreas forestales protectoras: <ol style="list-style-type: none"> Los nacimientos de fuentes de aguas en una extensión por lo menos de 100 metros a la redonda, medidos a partir de su periferia. Una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las 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. Los terrenos con pendientes superiores al 100%
2008	Ley 1228 de 2008	En el artículo 2. Establece las zonas de reserva para carreteras de la red vial nacional. Estableciendo las siguientes fajas de retiro obligatorio o áreas de reserva o de exclusión para las carreteras que forman parte de la red vial nacional: <ol style="list-style-type: none"> Carreteras de primer orden sesenta (60) metros. Carreteras de segundo orden cuarenta y cinco (45) metros Carreteras de tercer orden treinta (30) metros.
2007	Decreto 3600 de 2007	En el Capítulo II, establece el ordenamiento del suelo rural y en el artículo 4 establece las categorías de protección de suelo rural.

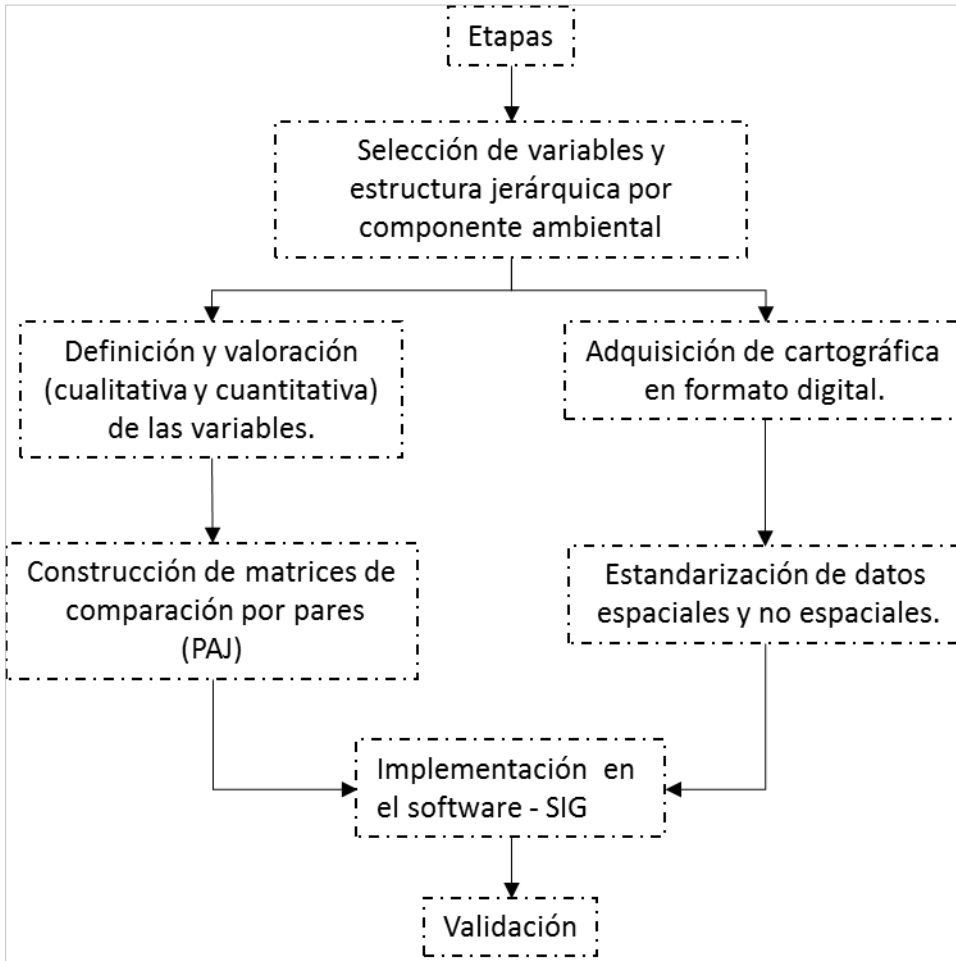
Año	Normativa	Tema
		<p>En el numeral. Determina las áreas de conservación y protección ambiental, dentro de esta categoría, se incluyen las establecidas por la legislación vigente, tales como.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las áreas del sistema nacional de áreas protegidas. 2. Las áreas de reserva forestal 3. las áreas de manejo especial 4. Las áreas de especial importancia ecosistémica, tales como páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna.
2010	Decreto 2372 de 2010	Por el cual se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el decreto Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones.
2012	Decreto 1640 de 2012	En el artículo 28 numeral 4 dice que para la armonización de los instrumentos de planificación y de los planes de manejo ambientales deben ser delimitadas las rondas hídricas.
2013	Ley 1675	<p>Por medio de la cual se reglamentan los artículos 63,70 y 72 de la constitución política de Colombia en lo relativo al patrimonio cultural sumergido.</p> <p>El patrimonio cultural sumergido, de conformidad con lo previsto en los artículos 63 y 72 de la Constitución Política, hace parte del patrimonio arqueológico y es propiedad de la Nación.</p>
2014	Decreto 1698 de 2014	Por medio del cual se reglamenta la Ley 1675 de 2013
2015	Decreto 1076 de 2015	<p>Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.</p> <p>Artículo 2.2.1.1.18.2 Protección y conservación de bosques. En relación con la protección y conservación de los bosques, los propietarios de predios están obligados a:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener la cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras. <p>Se entiende por áreas forestales protectoras:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Los nacimientos de fuentes de aguas en una extensión por lo menos de 100 metros a la redonda, medidos a partir de su periferia. b) Una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebrdas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua c) Los terrenos cobn pendientes superiores a 100% (45).
2018	Decreto 2245	<p>Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas.</p> <p>Entre otros.</p>

Fuente: La Autora.

6. METODOLOGÍA

La zonificación ambiental se elaboró a partir del diagnóstico a nivel biofísico y sociocultural. A continuación, se presenta el proceso metodológico desarrollado y se detalla cada una de sus etapas en los siguientes subcapítulos. (Ver figura 9).

Figura 9. Etapas proceso metodológico.



Fuente: La autora

Es preciso señalar que el proceso metodológico partió de los pasos descritos por Satty⁵⁰ en el desarrollo del PAJ, donde se siguieron los siguientes pasos:

1. Se definió el objetivo de la decisión. Que para este caso es establecer la zonificación ambiental.

⁵⁰ SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int J.Services Sciences. Vol 1 No .1, University of Pittsburgh, USA 2008.

2. Se estructuró la jerarquía de decisión y luego los objetivos desde una perspectiva amplia, a través de los niveles intermedios (criterios de los cuales dependen los elementos subsiguientes) al nivel más bajo.
3. Se construyó el conjunto de matrices de comparación por pares, con el propósito de establecer las prioridades en cada conjunto de criterios.
4. De acuerdo a las prioridades obtenidas de las comparaciones se ponderó en el nivel inmediatamente superior. De esta manera se obtiene la ponderación intermedia y global.

6.1 SELECCIÓN DE VARIABLES Y ESTRUCTURA JERÁRQUICA POR COMPONENTE AMBIENTAL

La zonificación ambiental del departamento se elaboró con base en los componentes abiótico, biótico y sociocultural, a partir de los cuales se delimitan las unidades homogéneas y establecen territorios idóneos desde un enfoque ambiental para el desarrollo de operaciones mineras.

6.1.1 ¿Cómo se seleccionaron las variables?

La selección de las variables para el presente estudio se soporta en dos aspectos principales. El primero se relaciona con la información espacial disponible y obtenida de las fuentes oficiales consultadas y el segundo aspecto involucra los conceptos emitidos por la unidad de decisión compuesta por cinco expertos en el tema.

6.1.1.1 Unidad de decisión

Para determinar la unidad de decisión se realizó una revisión detallada de los perfiles un grupo multidisciplinario de profesionales, de los cuales se escogieron cinco expertos con experiencia y formación en el tema minero ambiental, quienes han sido asesores, contratistas, consultores y han formado parte de la autoridad ambiental (tabla 4).

Tabla 4. Perfil profesional de la unidad de decisión.

Profesional	Formación Académica	Experiencia
Daniel Fernando Flórez	Ingeniero Geólogo, Magíster en ingeniería de petróleos. Especialista en Derecho Ambiental, Especialista en Ingeniería Ambiental, Especialista Gestión y Auditoría Ambiental.	Cuenta con 20 años de experiencia, ha laborado para la Agencia Nacional de Licencias Ambientales y la Corporación Autónoma Regional de Boyacá. Ha sido consultor y asesor de empresas como Cementos Argos, Minas paz del Rio, LOH Energy, entre otras. Actualmente es gerente de la empresa SICAM LTDA, la cual presta servicios de consultoría en temas de Ingeniería Civil y Ambiental
Genaro Angarita Chaparro	Ingeniero Geólogo, Especialista en Gestión Ambiental, Especialista	Cuenta con 20 años de experiencia. Fue secretario de desarrollo y medio ambiente de la misma ciudad. Se ha desempeñado como consultor en proyectos de viabilidad ambiental para diferentes proyectos.

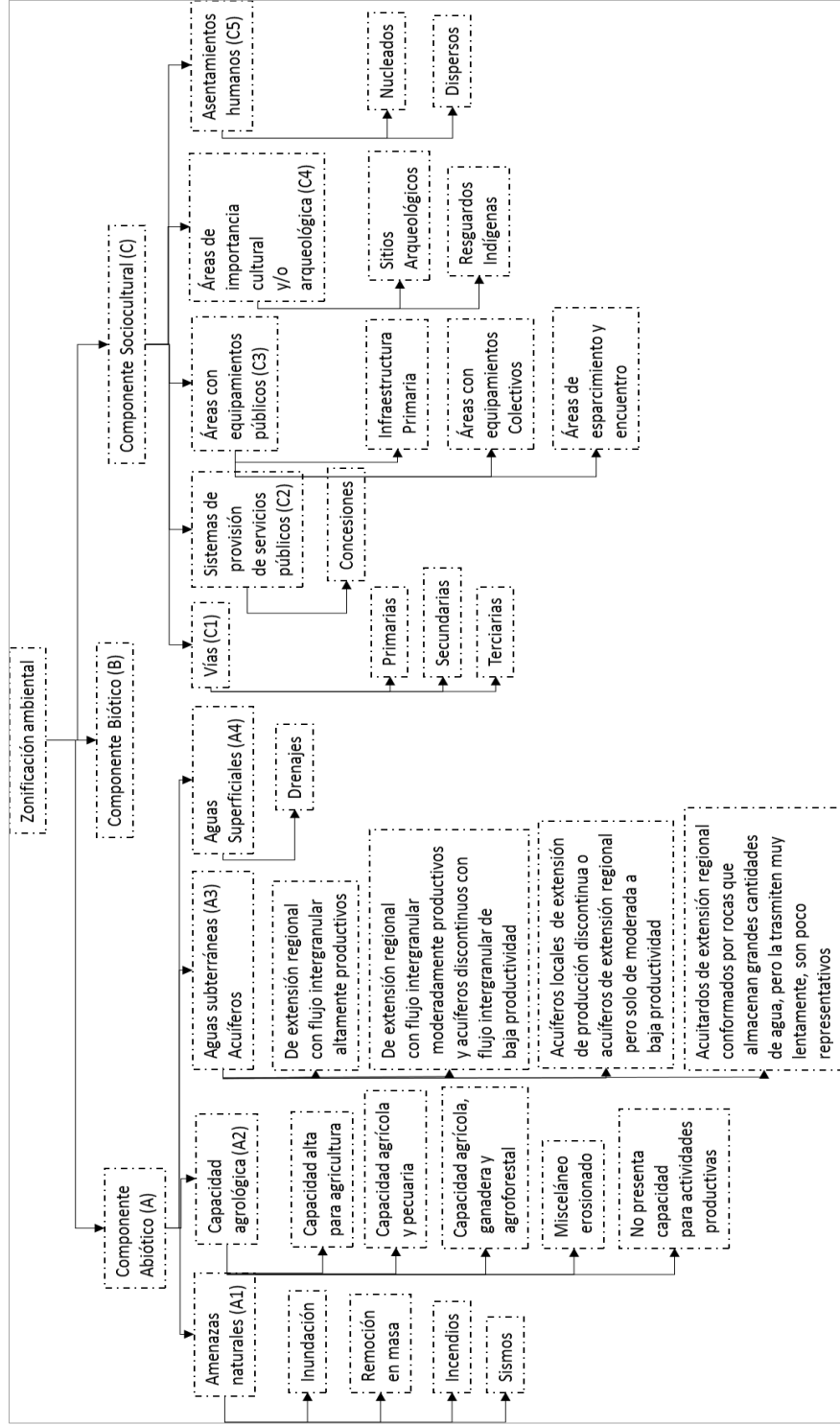
Profesional	Formación Académica	Experiencia
	en Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales	Actualmente es asesor en la oficina de planeación municipal de la ciudad de Sogamoso y encargado del Plan de Ordenamiento Territorial de este municipio
Daniel Buitrago Molina	Ingeniero Forestal. Magíster en conservación de los recursos naturales.	Cuenta con 10 años de experiencia. Ha desempeñado funciones como asesor en la secretaria distrital de medio ambiente. Coordinador de proyectos de conservación y programas de reforestación en el distrito. Con amplia experiencia en la elaboración de estudios de impacto ambiental para el sector minero.
Gloria Lucia Camargo Millán	Ingeniera Química, Magíster en Ingeniería Civil Área Ambiental. Candidata a doctora en Desarrollo Sostenible.	Cuenta con 16 años de experiencia. Actualmente es docente de planta del programa en ingeniería ambiental de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ha desempeñado funciones como asesora, consultora y coordinadora de diferentes proyectos ambientales. Ha liderado estudios para el tratamiento de aguas mineras residuales.
Omar Javier Daza Leguizamón	Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería con énfasis en Infraestructura Vial, candidato a doctor en Ingeniería y Ciencia de los Materiales	Docente de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Cuenta con seis años de experiencia en estudios que involucran análisis espacial y sistemas de información geográfica. Con experiencia en análisis espacial para proyectos de potencialización minera en el departamento de Boyacá. Ha desarrollado modelos para el estudio del territorio.

Fuente: La Autora

6.1.2 Estructura de la jerarquía de decisión

La zonificación ambiental conlleva un procedimiento en el que se combinan múltiples factores ambientales y para este caso, se considera como el problema de decisión a resolver. Así, mediante el proceso de Análisis jerárquico se construye la jerarquía de decisión a partir de las variables seleccionadas para el componente abiótico y sociocultural, como se presenta en la figura 10. Para el componente biótico, debido a su complejidad e importancia ambiental se estableció otro procedimiento el cual se detalla más adelante; por lo tanto, no se subdividen criterios adicionales.

Figura 10. Estructura de la jerarquía de decisión.



Nota* Las categorías que describen el tercer y cuarto nivel, corresponden a las consignadas en cada capa para el departamento de Boyacá, según las tablas de atributos. Para un proyecto en específico estas pueden ser correlacionadas y no precisamente deben existir todas.

Fuente: La Autora.

6.1.3 Definición, valoración (cualitativa y cuantitativa) de las variables y relación con la operación minera.

Para este estudio se entenderán como como variables los componentes del territorio, sus elementos constitutivos y la manera como estos se comportan bajo ciertas condiciones. Los cuales son abordados mediante el análisis espacial⁵¹.

La valoración se hace en función de la sensibilidad ambiental de cada variable ante un proyecto minero. Para lo cual se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, sobre una escala numérica que va de 1 a 9. Como se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Valoración ambiental.

Sensibilidad Ambiental	Valor
Muy alta	9
Alta	7
Media	5
Baja	3
Muy baja	1

Fuente: La Autora

6.1.4 Variables físicas

Dentro de las variables físicas se incluyen aquellos factores que definen la capacidad de soporte del suelo, como amenazas naturales, capacidad agrícola del suelo y el recurso hídrico.

6.1.4.1 Amenazas naturales

El término amenaza natural se refiere a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos geológicos y a los incendios que por su ubicación, severidad y frecuencia tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. Pese al término natural una amenaza tiene elementos de partición humana⁵².

La diversidad geológica, hidrológica y geomorfológica favorece potenciales amenazas que afectan el desarrollo social y económico. Según el Banco Mundial las amenazas de origen geológico (sismos y las erupciones volcánicas) son invariantes mientras que las áreas susceptibles a inundación y deslizamientos han

⁵¹ GÁMIR, Agustín. RUIZ, Mauricio y SEGUÍ Johana. Prácticas De Análisis espacial. Barcelona: Oikos-tau. 1995.

⁵² DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Organización de los Estados Americanos Washington D.C. 1991. Parte I.

ido en aumento, debido en gran parte a la intervención humana sobre el territorio y al consecuente deterioro ambiental⁵³. Para el propósito del estudio, se establecieron como prioritarias la amenaza por remoción en masa, amenaza por inundación, amenaza por actividad sísmica y amenaza de incendio.

- Amenaza por remoción en masa

De acuerdo con la unidad de decisión, la importancia del análisis de los procesos de remoción en masa radica en que son fenómenos que condicionan el desarrollo de la actividad minera y causan efectos poco predecibles desde el punto de vista operativo. Se relacionan con movimientos de cantidades significativas de tierra afectados por la gravedad. La inestabilidad, los deslizamientos y los hundimientos del terreno son características comunes de éste fenómeno.

- Amenaza por inundación

La presencia de llanuras bajas y valles aluviales favorece la inundación, ya sea por el desbordamiento de ríos como consecuencia de lluvias fuertes o continuas que aumentan el nivel de las aguas, así como por problemas asociados a la falta de mantenimiento y obstrucción de los cauces⁵⁴.

Según la unidad de decisión la determinación de áreas de inundación es de vital importancia para la planificación de un proyecto minero. Y no solo basta con la determinación, también se debe asegurar que el proyecto este fuera de esta área pues las consecuencias a nivel operativo son nefastas.

- Amenaza por actividad sísmica

Geográficamente, Colombia se ve afectada por la convergencia de las placas de Nazca, Suramericana y del caribe, generando fallas superficiales y subducción del pacífico que exponen la región a amenazas sísmicas altas⁵⁵. Un sismo, es un evento causado por la liberación repentina de esfuerzos acumulados en el contacto entre placas en la corteza terrestre generando vibraciones del terreno en todas las direcciones.⁵⁶

⁵³ CAMPOS, Ana, *et al.* Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. 1 ed. Bogotá D.C. Banco mundial de Colombia, 2012.

⁵⁴ DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Organización de los Estados Americanos Washington D.C. 1991. Capítulo 8.

⁵⁵ CAMPOS, Ana et al. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco mundial. Bogotá DC. 2012.

⁵⁶ GARZÓN, Pablo. Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería con énfasis en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

Para los proyectos mineros la amenaza sísmica es un evento latente e incrementa cuando se desarrollan actividades de voladura. Según la unidad de decisión este fenómeno al no estar determinado por escalas de tiempo y estar ligado a la fuerza de la naturaleza implica mayor atención durante la planeación de los proyectos.

- Amenaza de incendio

Los incendios de la cobertura vegetal son disturbios al ecosistema que traen efectos graves y destructivos y pueden suceder por causas naturales o intervención humana. Cuando un incendio causa pérdidas que superan la capacidad de resiliencia del ecosistema, se alteran permanentemente los procesos naturales base de la producción de bienes y servicios⁵⁷.

Para la unidad de decisión este es un fenómeno controlable, por lo tanto en la planificación del proyecto minero se deben establecer las medidas necesarias para evitar que se presente.

A continuación se presenta la valoración para las amenazas naturales.

Tabla 6. Valoración de las amenazas naturales.

Amenazas Naturales	Valor	Sensibilidad ambiental
Amenaza muy alta	9	Muy alta
Amenaza alta	7	alta
Amenaza media	5	media
Amenaza baja	3	Baja
Amenaza muy baja	1	Muy Baja

*Teniendo en cuenta que en el estudio se están analizando cuatro clase de amenazas (remoción en masa, inundación, sismos e incendios), cada una se califica y luego se combinan como se describe más adelante.

Fuente: La Autora

6.1.4.2 Capacidad agrológica de los suelos

El valor agrológico del suelo está determinado por su capacidad productiva, la cual depende de todos aquellos factores climáticos, fisiográficos y edáficos que repercuten en el rendimiento de los cultivos o son claves para el sostenimiento de la vida vegetal. La utilización del suelo entraña riesgos de pérdida de la capacidad productiva por erosión, salinización, entre otros. Por ello, se hace necesaria la ordenación y racionalización del suelo, en aras de sostener sistemas de producción con la mínima pérdida de potencialidad.

Mediante el análisis de condicionantes de capacidad productiva se llega a establecer ocho clases expresadas con números romanos (de I a VIII), ordenadas de mayor a menor capacidad productiva⁵⁸.

⁵⁷ PARRA-LARA, Á. et al. Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Universidad Autónoma de Occidente, PNUMA, y Red colombiana de formación ambiental, ed.1. Cali. 2011.

⁵⁸ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá. Bogotá D.C. 2005

- Clase I: Reúne aquellos suelos que no presentan limitaciones restrictivas para el cultivo de una amplia gama de plantas.
- Clase II: Presentan alguna limitación que restringe la gama de cultivos posibles, o necesitan de la puesta en práctica de medidas moderadas de conservación.
- Clase III: Presenta limitaciones más severas que inciden en la reducción de la gama de cultivos posibles por acortamiento de las épocas de laboreo, siembra o cosecha y requiere medidas de conservación más complejas.
- Clase IV: es la última que se presta al cultivo, pero con un manejo cuidadoso, aceptando sólo dos o tres cultivos de bajo rendimiento.
- Clase V: Permite el aprovechamiento de pastos con riesgo muy pequeño o nulo de erosión.
- Clase VI: Sólo admite el uso como pastos y bosques en unas condiciones en las que es posible la práctica de alguna labor de mejora (fertilización, siembra, drenaje, etc.)
- Clase VII: Ofrece las mismas posibilidades que la anterior, pero sus mayores limitaciones hacen que no merezca la pena la toma de medidas encaminadas a la mejora de los rendimientos.
- Clase VIII: reúne suelos que sólo pueden destinarse a recreo, reserva natural, abastecimiento de agua o fines estéticos. En general son suelos superficiales muy superficiales, Afloramientos Rocosos o áreas dominadas por erosión severa y muy severa.

Según la unidad de decisión la importancia de esta variable radica en que Boyacá se caracteriza por ser un departamento agropecuario y por tanto las presiones que se generan cuando se adelanta un proyecto minero afectan notablemente este pilar económico, generando efectos adversos como la pérdida de productividad de los suelos por la remoción de la cobertura vegetal, la demanda del recurso forestal y los procesos de cimentación.

A continuación se presenta la valoración para la variable capacidad agrológica del suelo, teniendo en cuenta la importancia de cada clase agrológica.

Tabla 7. Valoración de la capacidad agrológica.

Capacidad Agrológica	Valor	Sensibilidad ambiental
Clase I. Suelos sin limitaciones para el establecimiento de cultivo.	9	Muy alta
Clase II y III. Suelos con limitaciones que restringen la elección de plantas o requieren prácticas moderadas de conservación	7	Alta
Clase IV. Suelos con limitaciones que restringen la elección de plantas, y sólo permiten un laboreo ocasional.	5	Media
V -VIII Suelos con limitaciones son severas por lo cual no son adecuadas para cultivos limpios y	3	Baja

Capacidad Agrológica	Valor	Sensibilidad ambiental
densos; restringen su uso a ganadería extensiva, a bosques o vida silvestre		
Clase VIII. Afloramientos rocosos. O áreas dominadas por erosión severa y muy severa.	1	Muy Baja

Fuente: La Autora

6.1.4.3 Aguas subterráneas- Acuíferos

Las aguas subterráneas en Colombia constituyen un recurso importante y fuente alterna de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales⁵⁹. Las reservas de agua ocurren en el subsuelo y se depositan principalmente en ambientes vulcano-sedimentarios, teniendo mayor protección frente a fuentes potenciales de contaminación y variabilidad climática.

Para la unidad de decisión, se debe garantizar la calidad y cantidad de agua subterránea, así mediante modelos conceptuales y de detalle específicos para el terreno se debe desarrollar la evaluación y la predicción de la migración de la contaminación en el desarrollo del proyecto. Por otro lado, el estudio de esta variable previene sanciones de carácter ambiental debido a la fragmentación del nivel freático y la contaminación por vertimientos como consecuencia de los procesos de infiltración.

A continuación se presenta la valoración para la variable aguas subterráneas teniendo en cuenta la clasificación de cada zona o acuífero.

Tabla 8. Valoración aguas subterráneas.

Aguas subterráneas	Valor	Sensibilidad Ambiental
Zonas con potencial alto de recarga directa. Acuíferos altamente productivos	9	Muy alta
Zonas con potencial de recarga. Acuíferos con flujo intergranular altamente productivos	7	Alta
Zonas con potencial moderado de recarga directa. Acuíferos moderadamente productivos.	5	Media
Zonas con potencial bajo de recarga directa. Acuíferos con producción discontinua.	3	Baja
Zonas de recarga indirecta. Acuíferos con transmisión de flujo lenta. Son poco representativos	1	Muy baja

Fuente: La Autora

6.1.4.4 Aguas superficiales

El agua es un pilar de la vida en el planeta, necesaria para el consumo humano, y base de la economía. “La mitad de la fuerza laboral mundial está empleada en ocho

⁵⁹ MINANBIENTE. Diagnóstico de aguas subterráneas. 2012.

sectores que dependen del agua y de los recursos naturales”⁶⁰. Por lo tanto, la protección y conservación del recurso hídrico es una prioridad mundial, en Colombia se ha establecido su protección a partir del Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente⁶¹.

El decreto 2245 de diciembre de 2017 establece los criterios técnicos con base en los cuales las Autoridades Ambientales competentes realizarán los estudios para el acotamiento de las rondas hídricas. Y define lo siguiente: la ronda hídrica comprende la franja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho. Para el acotamiento se deben tener en cuenta:

- 1) Los criterios de delimitación de la línea de mareas máximas y la del cauce permanente.
- 2) Los criterios para la delimitación física de la ronda hídrica: El límite físico será el resultado de la envolvente que genera la superposición de mínimo los siguientes criterios: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico⁶².

Según la unidad de decisión, todo proyecto minero tiene inmerso un consumo de agua, bien sea para las facilidades que hacen parte del proyecto como campamentos, baños y oficinas o para los procesos operativos como tal. Por tanto, se debe evaluar la capacidad del recurso natural para suplir la demanda, como garantizar su protección teniendo en cuenta que la presión que ejercen los proyectos mineros sobre el recurso hídrico es alta.

La calificación de las aguas superficiales se da en función de la proximidad, teniendo en cuenta que existe una normativa que regula la franja de protección del recurso hídrico superficial en términos de distancia.

Tabla 9. Valoración aguas superficiales -- drenajes.

Proximidad (m) a al recurso hídrico	Valor	Sensibilidad ambiental
0 - 30	9	Muy alta
30 - 100	7	Alta
100 - 200	5	Media
200 - 300	3	Baja
>300	1	Muy baja

Fuente: La Autora

⁶⁰ United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). The United Nations World Water Development Report. 2016.

⁶¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C 1974.

⁶² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2245. “Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas. Bogotá D.C. Diciembre. 2017.

6.1.5 Variables socioculturales

Las variables socioculturales y económicas representan el uso y requerimientos que existen sobre el territorio. Sintetiza el conjunto de actividades que se realizan en el área y las formas de apropiación de los recursos naturales (agua, aire, suelo, flora, fauna, servicios)⁶³, a partir de los siguientes factores: infraestructura existente y/o valores culturales, históricos, arquitectónicos o arqueológicos.

6.1.5.1 Vías

Las vías son un eje en el desarrollo en el territorio, impulsan la economía y la producción. Una vía pública es cualquier espacio de dominio común por donde transitan los peatones o circulan los vehículos. Las vías públicas se rigen por la normativa internacional, nacional y local en su construcción, denominación, uso y limitaciones; con el objetivo de preservar unos derechos esenciales (a la vida, a la salud, a la libertad, a la propiedad, a transitar, etc.). A diferencia de las vías privadas, que las regulan sus dueños, tanto en sus características como accesibilidad⁶⁴.

Las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional se denominan arteriales o de primer orden, intermunicipales o de segundo orden y veredales o de tercer orden. Estas categorías podrán corresponder a carreteras a cargo de la Nación, los departamentos, los distritos especiales y los municipios. El Ministerio de Transporte será la autoridad que mediante criterios técnicos, determine a qué categoría pertenecen⁶⁵.

Según la unidad de decisión la presencia de estos ejes lineales favorece el desarrollo del proyecto minero y como tal se debe garantizar el buen estado de la infraestructura, así como sus franjas de retiro. Es importante señalar que en muchos proyectos viales se proyectan nuevas construcciones de este tipo o modificaciones a las existentes, siempre garantizando la accesibilidad de las comunidades del área de influencia.

Para la valoración se tiene en cuenta que se consideran tres tipos de vías, primarias, secundarias y terciarias y la ley 1228 de 2008 en el artículo 2 considera las

⁶³ RODRÍGUEZ, Paulo. CUBILLOS Alexander. Elementos para la valoración integral de los recursos naturales: un puente entre la economía ambiental y la economía ecológica Una revisión de bibliografía. Gestión y Ambiente. Volumen 15. N° 1. ISSN electrónico 2357 – 5905. ISSN impreso 0124 – 177X. 2012.

⁶⁴ INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Norma 3.1-I.C. Trazado. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras.2000.

⁶⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Ley 1228. Por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras y se dictan otras disposiciones. Art 1. 2008.

siguientes fajas de retiro obligatorio o áreas de reserva o de exclusión para las carreteras que forman parte de la red vial nacional:

- Carreteras de primer orden sesenta (60) metros.
- Carreteras de segundo orden cuarenta y cinco (45) metros
- Carreteras de tercer orden treinta (30) metros

Se establece la siguiente calificación.

Tabla 10. Valoración de Vías.

Proximidad a Vías primarias (m)	Valor	Sensibilidad ambiental
0 - 60	9	Muy alta
60 - 75	7	Alta
75 - 90	5	Media
90 -100	3	Baja
>100	1	Muy baja
Proximidad a vías secundarias (m)	Valor	Sensibilidad ambiental
0 - 45	9	Muy alta
45 - 60	7	Alta
60 - 75	5	Media
75 - 90	3	Baja
>90	1	Muy baja
Proximidad a vías terciarias y otras no consideradas en epígrafes anteriores (m)	Valor	Sensibilidad ambiental
0 -30	9	Muy alta
30-45	7	Alta
45 -60	5	Media
60-75	3	Baja
>75	1	Muy baja

Nota* Luego de la calificación se procede a la combinación como se explica más adelante.

Fuente: La Autora

6.1.5.2 Sistema de provisión de servicios públicos

Los servicios públicos resultan de gran importancia al estar relacionados con la satisfacción de necesidades básicas de la población. Además, la industria también se podría ver afectada por su ausencia o alteración. El sistema involucra las competencias y responsabilidades relativas a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, su cobertura, calidad y financiación, y el régimen tarifario que tendrá en cuenta además de los criterios de costos, los de solidaridad y redistribución de ingresos⁶⁶.

⁶⁶ HEREDIA-VIVEROS, Nohora "Gerencia de Compras: La nueva Estrategia competitiva", ed 1, ECOE Ediciones, Colombia.2007.

La unidad de decisión coincide en que los proyectos mineros deben satisfacer necesidades económicas de carácter local, contribuir con la provisión de infraestructura primaria y de servicios públicos a través del aporte de recursos económicos que beneficien a las comunidades del área de influencia.

Para el tema de servicios públicos en este estudio se analizó únicamente los puntos de concesión de aguas otorgados por la corporación autónoma regional. La valoración se da en términos de distancia, con el fin de garantizar el estado del sistema de captación, conducción y derivación, así como el de la fuente hídrica.

Tabla 11. Valoración servicios públicos.

Proximidad sitio de captación (m).	Valor	Sensibilidad ambiental
0 -50	9	Muy alta
50 -100	7	Alta
100 -200	5	Media
200 -300	3	Baja
>300	1	Muy baja

Fuente: La Autora

6.1.5.3 Áreas de equipamiento público

Es el conjunto de recursos e instalaciones cubiertas y/o libres, fijas o móviles, con distintas jerarquías y grados de complejidad, prestados por el estado u otras entidades para satisfacer diferentes necesidades de la comunidad. Los equipamientos puede clasificarse según:

- Funciones: educativo, sanitario, administrativo, institucional, religioso, social, financiero, recreativo, deportivo, turístico. Tendríamos guarderías, colegios, hospitales, centros de salud, parroquias municipalidades.
- Tamaño: según la demanda o necesidad, requerimiento de la cantidad de habitantes, tipo de población, edades, sexo, necesidades de salud, educación, administración.
- Espacios construidos y tributarios.
- Estándares Capacidad y posibilidad de ampliación.
- Estado, vida útil remanente y grado de obsolescencia funcional y tecnológica.
- Características constructivas, funcionales, tecnológicas y tipológicas de los edificios e instalaciones.⁶⁷

Según la unidad de decisión no solo basta con garantizar el estado de los equipamientos actuales del área de influencia, los proyectos mineros además deben garantizar los servicios existentes y en lo posible destinar recursos para mejorarlos. De esta manera se evitara traumatismos en las comunidades que generalmente desencadenan en conflictos sociales.

⁶⁷ BARZETTI, Valerie. Parques y progreso. Áreas protegidas y desarrollo económico en América Latina y el Caribe. UICN- BID. 1993.

Teniendo en cuenta la importancia social de las áreas con equipamientos públicos la valoración de este factor se da en función de la proximidad como se presenta en la tabla 12. Es importante señalar que la legislación vigente permite realizar reasentamientos de este tipo de infraestructura, con justa causa; dando viabilidad a los proyectos mineros.

Tabla 12. Valoración de Áreas con equipamientos públicos.

Proximidad (m)	Valor	Sensibilidad ambiental
0 - 50	9	Muy alta
50 - 100	7	Alta
100 - 150	5	Media
150 - 200	3	Baja
>200	1	Muy baja

Fuente: La Autora

6.1.5.4 Áreas de importancia cultural y/o arqueológica

Las áreas de importancia arqueológica son administradas por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) y cumplen una importante labor científica, pedagógica, de protección y de divulgación sobre la riqueza cultural colombiana. La ley 1675 de 2013, hace referencia al patrimonio cultural sumergido y señala que es propiedad de la nación. Adicionalmente se incluyen en esta categoría los resguardos indígenas, al ser tomados como territorios en los que se alberga una riqueza cultural e histórica del legado ancestral.

La unidad de decisión considera que es importante conservar el legado cultural y arqueológico, ya que es la herencia propia del pasado de una comunidad, con la que esta vive en la actualidad y que transmite a generaciones presentes y futuras.

Para este estudio se tomó como referencia los datos consignados en la plataforma del ICANH de los sitios arqueológicos hallados y reportados, guardando una franja de protección de 50m y la información espacial de las áreas pertenecientes a resguardos indígenas. Sin embargo en la tabla 13, se presentan todos los valores de sensibilidad, teniendo en cuenta que esta es una metodología diseñada para ser aplicada y/o adaptada para la planificación de cualquier proyecto minero.

Tabla 13. Valoración importancia cultural, histórica, arquitectónica y/o arqueológica.

Importancia cultural y/o arqueológica	Valor	Sensibilidad Ambiental
Sitios históricos, arquitectónicos, que ya hayan sido declarados como bienes de interés cultural. Territorios titulados a resguardos indígenas o títulos colectivos pertenecientes a comunidades negras	9	Muy alta
Áreas con potencial medio a alto de interés cultural y o arqueológico	7	Alta
Áreas con medio potencial de interés cultural y/o arqueológico	5	Media

Importancia cultural y/o arqueológica	Valor	Sensibilidad Ambiental
Áreas con bajo potencial de interés cultural y/o arqueológico	3	Baja
Áreas sin potencial arqueológico, cultural, histórico, arquitectónico y sin presencia de comunidades étnicas.	1	Muy baja

Fuente: La Autora

6.1.5.5 Asentamientos humanos

Asentamiento humano, es el establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales y las obras materiales que lo integran⁶⁸. Se clasifican dos tipos:

- Asentamientos humanos nucleados: están definidos en términos de la densidad de población, representan áreas en las que los miembros de la sociedad tienden a estar más concentrados.
- Asentamiento humanos dispersos: Para este estudio corresponde a las construcciones, o a infraestructura aislada de actividad económica como industrias, comercio o viviendas individuales especialmente en el área rural.

De acuerdo a la unidad de decisión, los centros poblados tienen una economía y condición social definida, que debe ser respetada y en lo posible mejorada por el desarrollo de la industria minera. Su fragmentación podría ocasionar desordenes socioeconómicos y entorpecer óptimo desarrollo del proyecto.

La calificación asignada al tema de asentamientos humanos (tabla 14) se da en función de la densidad poblacional por km². Incluye los asentamientos humanos nucleados y dispersos.

Tabla 14. Valoración asentamientos humanos.

Habitantes por km²	Valor	Sensibilidad ambiental
>750	9	Muy alta
87 - 750	7	Alta
45 - 87	5	Media
42 - 45	3	Baja
0 - 42	1	Muy baja

Fuente: La Autora

6.2 CONSTRUCCIÓN DE MATRICES DE COMPARACIÓN POR PARES

⁶⁸ MEXICO. Ley general de asentamientos humanos. 2014

Luego de conformada la unidad de decisión y definidas las variables, se procedió a la evaluación multicriterio de acuerdo a la estructura jerárquica definida, de esta manera se logra el establecimiento de prioridades aplicando la escala de Saaty en función de la comparaciones a pares para los criterios de tercer nivel (componente físico y componente sociocultural) y el criterio de cuarto nivel amenazas naturales y vías. Así se conforma una matriz para cada criterio de orden superior, la cual una vez completada se transforma en un problema de vectores y valores propios. De esta manera se obtienen los factores de ponderación para los componentes abiótico y sociocultural y los criterios amenazas naturales y vías.

6.2.1 Ponderación componente abiótico

En la tabla 15, se presenta la matriz obtenidas para el componente abiótico y su respectivo factor de ponderación.

Tabla 15. Matriz consolidada componente abiótico.

Componente abiótico									
	Matriz de Juicios				Matriz normalizada				Vector Propio (Ponderador)
	A1	A2	A3	A4					
A1	1	3,71	2,29	1,62	0,43	0,42	0,45	0,42	0,43
A2	0,27	1	0,47	0,51	0,12	0,11	0,09	0,13	0,11
A3	0,44	2,14	1	0,74	0,19	0,24	0,20	0,19	0,21
A4	0,62	1,94	1,35	1	0,27	0,22	0,26	0,26	0,25
Suma	2,32	8,79	5,10	3,88					1,00

Fuente: La Autora

Según el juicio de los expertos, el criterio de amenazas (A1) obtiene la mayor ponderación 0.43, pues representa el grupo de fenómenos sobre el cual el ser humano no tiene el control total para evitar la ocurrencia, en consecuencia pueden ocasionar impactos sumamente negativos a nivel social, económico y ambiental. Para el desarrollo de la actividad minera la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos debe abordarse rigurosamente, pues los daños y costos operacionales causados por la ocurrencia de estos fenómenos serían muy elevados e incluso implicarían vidas humanas.

Para el criterio aguas superficiales (A4) y aguas subterráneas (A3) se obtuvo una ponderación de 0.25 y 0.21 respectivamente, en función de la importancia ambiental que presenta el recurso hídrico. En el desarrollo de la operación minera se deben adoptar todas las medidas necesarias para mitigar los impactos ambientales que puedan generarse y se dará estricto cumplimiento a las legislación vigente relativa al tema de protección y conservación de este recurso.

El valor de ponderación más bajo se le asigna al criterio capacidad agrológica del suelo (A2), correspondiente a un valor de 0.11. Este valor se fundamenta en que la aptitud natural del suelo así como puede ser intervenida puede ser recuperada

mediante tratamientos continuos, adaptándola a usos específicos y sobre el cual el ser humano ejerce cierto grado de control. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en los proyectos mineros los procesos de restauración son lentos y complejos.

6.2.1.1 Ponderador criterio amenazas naturales

Teniendo en cuenta que para el criterio amenazas naturales se abordan cuatro tipos, se calculó un factor de ponderación para realizar la respectiva combinación. En la tabla 16, se presenta la matriz obtenidas para el criterio amenazas naturales y su respectivo factor de ponderación.

Tabla 16. Matriz consolidada criterio amenazas naturales.

Amenazas Naturales									
	Matriz de Juicios				Matriz normalizada				Vector propio (Ponderador)
	A1.1	A1.2	A1.3	A1.4					
A1.1	1	0.66	1.32	0.33	0.16	0.16	0.19	0.15	0.16
A1.2	1.52	1	2.35	0.49	0.24	0.24	0.34	0.22	0.26
A1.3	0.76	0.43	1	0.44	0.12	0.10	0.14	0.19	0.14
A1.4	3.00	2.05	2.30	1	0.48	0.50	0.33	0.44	0.44
Suma	6.27	4.13	6.97	2.26					1

Fuente: La Autora

Según el juicio de los expertos el criterio amenazas por sismos (A1.4) obtiene el mayor valor de ponderación, correspondiente a 0.44, debido a la dificultad de predicción y a las consecuencias negativas en caso de ocurrir un fenómeno natural asociado. En segundo lugar se tiene el criterio amenazas por remoción (A1.2), correspondiente a un valor de 0.26, Según la unidad de decisión este valor se da en función de la importancia del estudio de este factor a nivel de diseño y operativo en las actividades mineras. Donde se debe manejar un margen de seguridad laboral muy alto. Para el criterio amenazas por inundación (A1.1) se tiene un factor de ponderación de 0,16, según la unidad de decisión es un factor predecible y controlable. Por último para el criterio incendios forestales (A1.3) se determinó un factor de ponderación de 0,14. Según la unidad de decisión este factor es controlable.

Según la unidad de decisión aun cuando un factor sea predecible y controlable se deben adoptar todas las medidas necesarias para evitar que se presenten pues sin duda alguna afectaran el desarrollo de la unidad productiva.

6.2.2 Ponderación componente sociocultural

A continuación se presenta la matriz consolidada para el componente sociocultural y su respectivo factor de ponderación (tabla 17).

Tabla 17. Matriz consolidada componente sociocultural.

Componente Sociocultural											
	Matriz de Juicios					Matriz normalizada					Vector propio (Ponderador)
	C1	C2	C3	C4	C5						
C1	1	0,62	1,00	0,57	0,39	0,13	0,10	0,14	0,15	0,12	0,13
C2	1,62	1	1,12	0,64	0,51	0,20	0,17	0,15	0,17	0,15	0,17
C3	1,00	0,89	1	0,47	0,48	0,13	0,15	0,14	0,13	0,14	0,13
C4	1,76	1,57	2,12	1	0,98	0,22	0,26	0,29	0,27	0,29	0,27
C5	2,59	1,98	2,08	1,02	1	0,32	0,33	0,28	0,28	0,30	0,30
Suma	7,97	6,06	7,32	3,69	3,36						1,00

Fuente: La Autora

Según el juicio de los expertos, se determina que el criterio asentamientos humanos (C5) es el que presenta mayor valor de ponderación (0.30), pues es el ser humano el actor principal, quien utiliza y protege los recursos naturales. En minería el factor social ha cobrado gran importancia para la viabilidad de los proyectos.

El criterio cultural, histórico y arquitectónico, representado por los resguardos indígenas y sitios arqueológicos, ocupa el segundo lugar en importancia dentro del factor de ponderación con un valor de 0.27. Pues estos sitios hacen parte del patrimonio nacional (respaldo constitucional) donde se muestra la relación con la historia y legados ancestrales, así el desarrollo de la minería como actividad económica debe favorecer la conservación y por ningún motivo debe afectar su esencia y estructura.

El criterio de servicios públicos obtiene un valor de ponderación de 0.17, fundamentado con las responsabilidades intrínsecas de los proyectos mineros de garantizar el bienestar de las comunidades del área de influencia con el objeto de satisfacer las necesidades básicas.

Los valores más bajos de ponderación se asignan a los criterios equipamientos públicos y vías con un valor de 0.13 para cada uno. Debido a que estos criterios favorecen el desarrollo de las actividades antrópicas pero se determinan por hábitos, costumbres y mecanismos de adaptación.

6.2.2.1 Ponderador criterio vías

En la tabla 18, se presenta la matriz consolidada para el criterio vías y el respectivo factor de ponderación.

Tabla 18. Matriz consolidada criterio vías.

	Matriz de juicios			Matriz Normalizada			Vector Propio (Ponderador)
	C1.1	C1.2	C1.3				
C1.3	1.00	1.00	2.00	0.4	0.33	0.5	0.41
C1.1	1.00	1.00	1.00	0.4	0.33	0.25	0.33
C1.2	0.50	1.00	1.00	0.2	0.33	0.25	0.26
Suma	2.50	3.00	4.00				1

Fuente: La Autora

Según el juicio de los expertos se determina que el criterio vías primarias (C1.1) obtiene el mayor valor de ponderación correspondiente a 0.41, en función de la importancia en el desarrollo socioeconómico de las regiones y la nación.

Para el criterio vías secundarias (C1.2) se obtuvo un factor de ponderación de 0.33 y para vías terciarias (C1.3) de 0.26. De acuerdo con la unidad de decisión la presencia de este tipo de vías favorece la actividad pues facilita el transporte de suministros y materiales, y por tanto los operadores mineros deben contribuir al mantenimiento de esta infraestructura, con el propósito de minimizar los impactos ambientales que puedan generarse.

6.2.3 Comprobación de la consistencia de los juicios

Teniendo en cuenta que la matriz normalizada para ninguno de los componentes tiene las columnas iguales, es necesario realizar una prueba de consistencia de los resultados para garantizar la transitividad y proporcionalidad y con esto verificar que los juicios no estén sesgados. En teoría la relación de consistencia debe ser menor a 0,1⁶⁹.

6.2.3.1 Componente abiótico

En la tabla 19, se presenta los valores obtenidos para el componente abiótico.

Tabla 19. Cálculo de λ_{max} para hallar la relación de consistencia componente Físico.

Componente Físico						
	A1	A2	A3	A4	Vector propio	Vector para λ_{max}
A1	1	3,71	2,29	1,62	0,43	1,73
A2	0,27	1	0,47	0,51	0,11	0,45
A3	0,44	2,14	1	1	0,20	0,82

⁶⁹ MALCZEWSKI, Jacek. GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey Of The Literature. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 20, N° 7. Agosto 2006, pág. 703 – 726.

Componente Físico						
	A1	A2	A3	A4	Vector propio	Vector para λ_{\max}
A4	0,62	1,94	1,35	1,00	0,25	1,01
Suma	2,32	8,79	5,10	3,88	1	$\lambda_{\max} = 4,02$

Fuente: La Autora

Aplicando la ecuación 1.

$$CI = \frac{4,019 - 4}{4 - 1}$$

Se tiene que $CI = 0,0062$. Luego se aplica el índice aleatorio IA donde se tiene un valor estándar de 0,9 cuando se evalúan 4 criterios. Para finalizar se determina la relación de consistencia aplicando la ecuación 2.

$$CR = \frac{0,0062}{0,9} = 0,0069$$

Lo cual indica que los juicios no se encuentran sesgados y existe consistencia en el factor de ponderación.

De acuerdo a los valores obtenidos en el vector propio para la matriz del componente físico se establece el siguiente ponderador:

$$A = 0.43A1 + 0.11A2 + 0.21A3 + 0.25A4 \quad \text{Ecuación 3.}$$

6.2.3.2 Criterio amenazas naturales

A continuación se presentan los valores obtenidos para el criterio amenazas naturales.

Tabla 20. Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia criterio amenazas.

Amenazas Naturales						
	A1.1	A1.2	A1.3	A1.4	Vector propio	Vector para λ_{\max}
A1.1	1.00	0.66	1.32	0.33	0.16	0.67
A1.2	1.52	1.00	2.35	0.49	0.26	1.05
A1.3	0.76	0.43	1.00	0.44	0.14	0.56
A1.4	3.00	2.05	2.30	1.00	0.44	1.78
Suma	6.27	4.13	6.97	2.26	1	$\lambda_{\max} = 4,06$

Fuente: La Autora

Aplicando la ecuación 1.

$$CI = \frac{4,06 - 4}{4 - 1}$$

Se tiene que $CI = 0,0206$. Luego se aplica el índice aleatorio IA donde se tiene un valor estándar 0,9 cuando se evalúan 4 criterios. Para finalizar se determinó la relación de consistencia aplicando la ecuación 2.

$$CR = \frac{0,0206}{0,9} = 0.02$$

Lo cual indica que los juicios no se encuentran sesgados y existe consistencia en el factor de ponderación. De acuerdo a los valores obtenidos en el vector propio para la matriz de la variable amenazas naturales se establece el siguiente ponderador:

$$A1 = 0.16A1.1 + 0.26A1.2 + 0.14A1.3 + 0.44A1.4 \quad \text{Ecuación 4}$$

6.2.3.3 Componente sociocultural

En tabla 21, se presentan los valores obtenidos para el componente sociocultural.

Tabla 21. Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia para el componente sociocultural

Componente Sociocultural							
	C1	C2	C3	C4	C5	Vector propio	Vector para λ_{\max}
C1	1,00	0,62	1,00	0,57	0,39	0,13	0,63
C2	1,62	1,00	1,12	0,64	0,51	0,17	0,85
C3	1,00	0,89	1,00	0,47	0,48	0,14	0,68
C4	1,76	1,57	2,12	1,00	0,98	0,27	1,34
C5	2,59	1,98	2,08	1,02	1,00	0,30	1,52
Suma	7,97	6,06	7,32	3,69	3,36	1,00	$\lambda_{\max} = 5,025$

Fuente: La Autora

Aplicando la ecuación 1

$$CI = \frac{5,025 - 5}{5 - 1}$$

Por lo tanto $CI = 0,0063$. Luego, se aplica índice aleatorio donde se tiene un valor estándar 1,12 cuando se evalúan 5 criterios. Para finalizar se calcula la relación de consistencia, aplicando la ecuación 2.

$$CR = \frac{0,0063}{1,12} = 0.0056$$

Lo cual indica que los juicios no se encuentran sesgados y existe consistencia en los resultados.

De acuerdo a los valores obtenidos en el vector propio para la matriz del componente sociocultural se establece el siguiente ponderador:

$$C = 0.13C1 + 0.17C2 + 0.13C3 + 0.27AC4 + 0.30C5 \quad \text{Ecuación 5}$$

6.2.3.4 Criterio vías

En la tabla 22 se presentan los valores obtenidos para el criterio vías.

Tabla 22. Cálculo de λ_{\max} para hallar la relación de consistencia criterio vías.

Vías					
	C1.1	C1.2	C1.3	Vector propio	Vector para λ_{\max}
C1.3	1.00	1.00	2.00	0.41	1.3
C1.1	1.00	1.00	1.00	0.33	1.0
C1.2	0.50	1.00	1.00	0.26	0.8
Suma	2.50	3.00	4.00	1.00	$\lambda_{\max} = 3.05$

Fuente: La Autora

Aplicando la ecuación 1

$$CI = \frac{3,05 - 3}{3 - 1}$$

Por lo tanto $CI = 0,025$. Luego, se aplica índice aleatorio donde se tiene un valor estándar 0,58 cuando se evalúan 3 criterios. Para finalizar se calcula la relación de consistencia, aplicando la ecuación 2.

$$CR = \frac{0,025}{0,58} = 0,043$$

Lo cual indica que los juicios no se encuentran sesgados y existe consistencia en los resultados. De acuerdo a los valores obtenidos en el vector propio para la matriz del criterio vías se establece el siguiente ponderador:

$$C1 = 0.41C1.1 + 0.33C1.2 + 0.26C1.3 \quad \text{Ecuación 6}$$

6.3 ADQUISICIÓN DE DATOS ESPACIALES

Los datos espaciales se adquirieron en las diferentes entidades oficiales, tales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, El Sistema de Información Sobre Biodiversidad de Colombia - SIB COLOMBIA, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, el Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH y las Corporaciones Autónomas Regionales.

En la tabla 23 se resumen las principales características de la información obtenida. Todos los datos fueron adquiridos en formato shapefile, a escala 1:100.0000 y con cobertura para todo el departamento.

Tabla 23. Características iniciales de la información espacial recopilada para el estudio.

Temática	Tipo de Dato	Fuente
Amenazas por inundación	Polígono	Corpoboyacá
Amenazas por remoción en masa	Polígono	Servicio Geológico Colombiano
Amenazas por incendio	Polígono	Proyecto de investigación “Aprovechamiento de recursos minero-energéticos y generación de un modelo de planeación para la prospección y explotación de minerales estratégicos del departamento de Boyacá – SGR2013000100206”
Amenaza por sismos	Polígono	Servicio Geológico Colombiano
Capacidad agrológica de los suelos	Polígono	Gobernación
Cobertura de la tierra	Polígono	Gobernación
Aguas subterráneas	Polígono	Corpoboyacá
Zonas de protección y conservación (áreas protegidas)	Polígono	Corpoboyacá
Centros Poblados	Polígono	Corpoboyacá
Resguardos indígenas	Polígono	Corpoboyacá
Limite departamental	Polígono	IGAC
Municipios	Polígono	IGAC
Drenaje doble	polígono	IGAC
Drenaje sencillo	Polilínea	IGAC
Vía	Polilínea	IGAC
Captaciones de agua (Concesiones)	Punto	Corpoboyacá
Construcciones	Punto	Corpoboyacá
Sitios arqueológicos	Punto	ICANH
Puntos de muestreo de Flora y fauna	Punto	SIB- Colombia

Fuente: La Autora

6.4 ESTANDARIZACIÓN DE DATOS ESPACIALES Y NO ESPACIALES

6.4.1 Determinación de la escala de trabajo

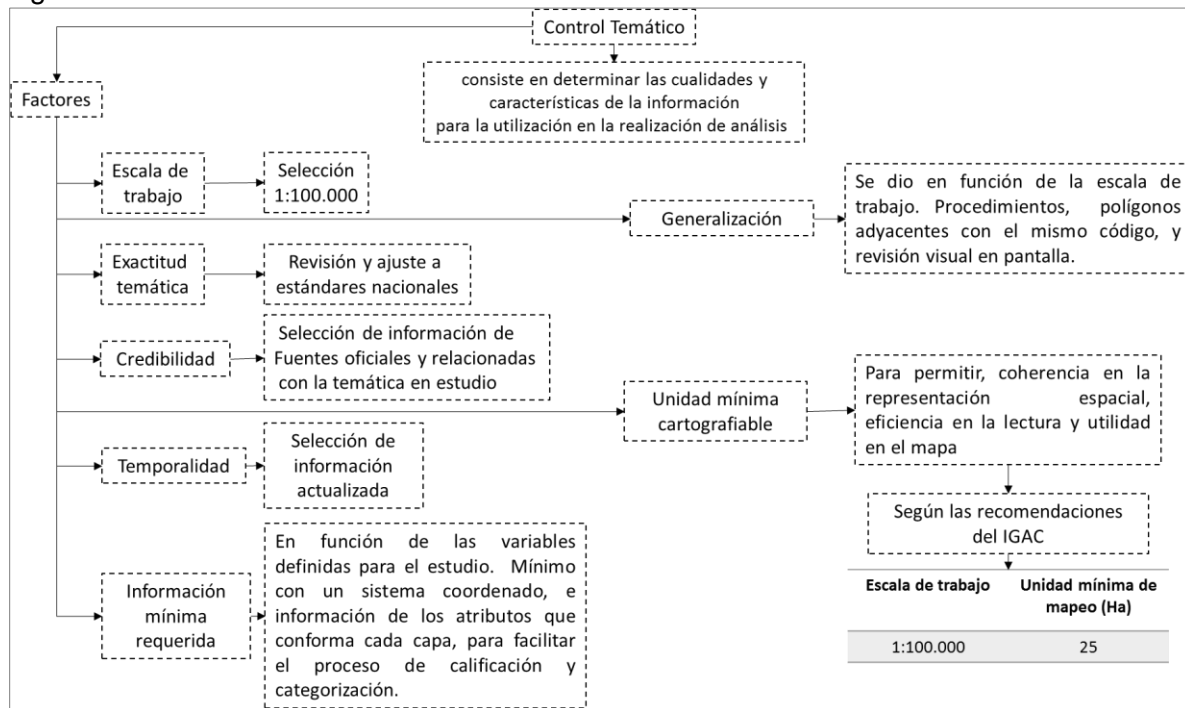
Para determinar la escala de trabajo se tuvieron en consideración dos aspectos, el primero se relaciona con el objetivo del estudio y el segundo con las características de escala de la información recopilada. De esta manera se seleccionó una escala de trabajo de 1:100.000. Para este caso no se utilizó información a una escala más pequeña que la definida.

6.4.2 Control de calidad

Se realizó un control de calidad de la información de entrada, como de la información de salida a nivel temático y cartográfico, en la figura 11 y figura 12 se presenta un resumen del procedimiento y los factores que se tuvieron en cuenta, tomando como referencia los lineamientos de la Memoria Técnica del Mapa de

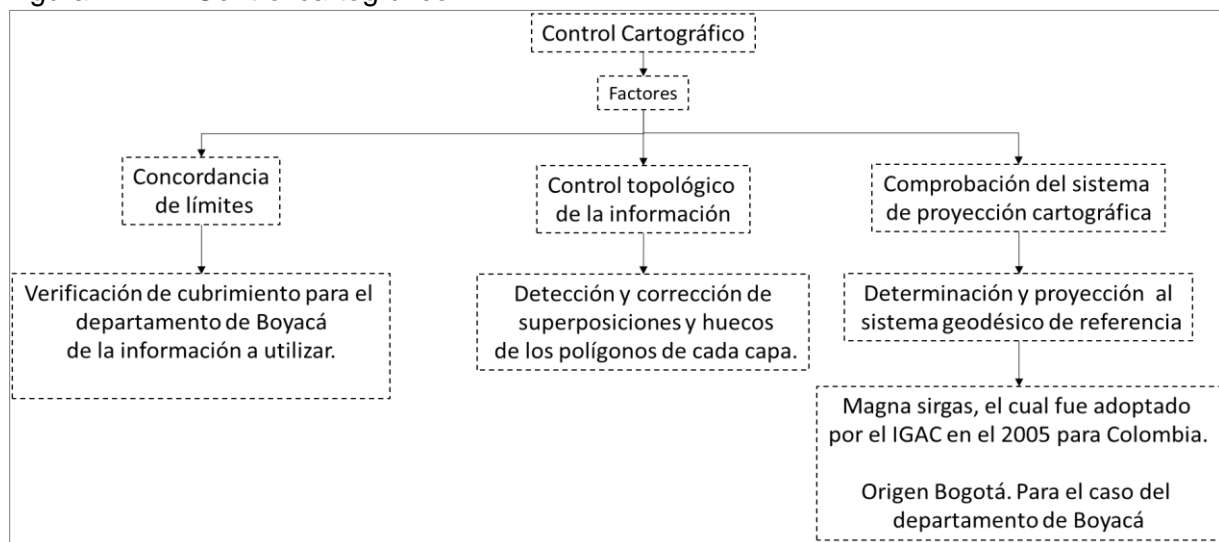
Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, la cual sigue los lineamientos del Protocolo para la Realización de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal escala 1:100.000, desarrollada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el IDEAM.

Figura 11. Control temático.



Fuente: La autora.

Figura 12. Control cartográfico.

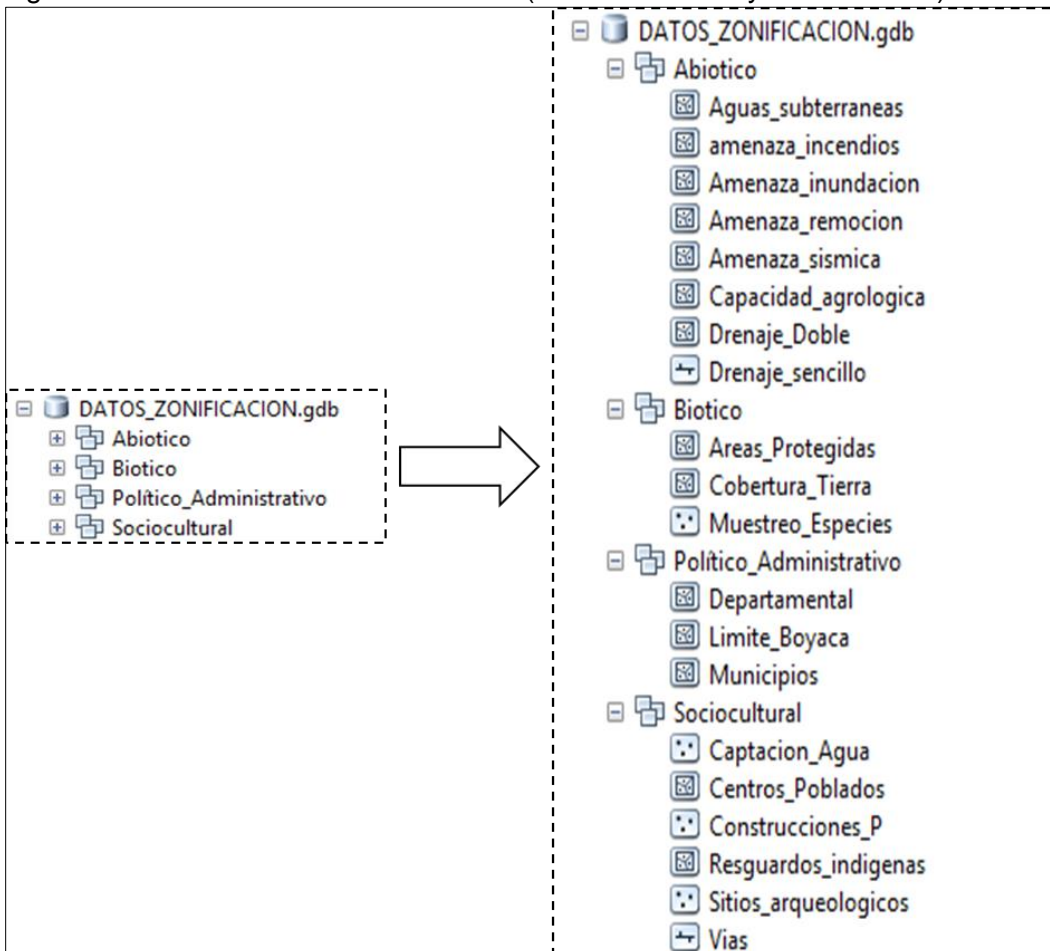


Fuente: La autora

6.5 IMPLEMENTACIÓN EN EL SOFTWARE - SIG

A partir de la metodología propuesta y con el uso del software ArcGis 10.2, la información recopilada se organizó en una geodatabase de acuerdo a la estructura presentada en la figura 13.

Figura 13. Estructura Geodatabase (Feature dataset y feature class).



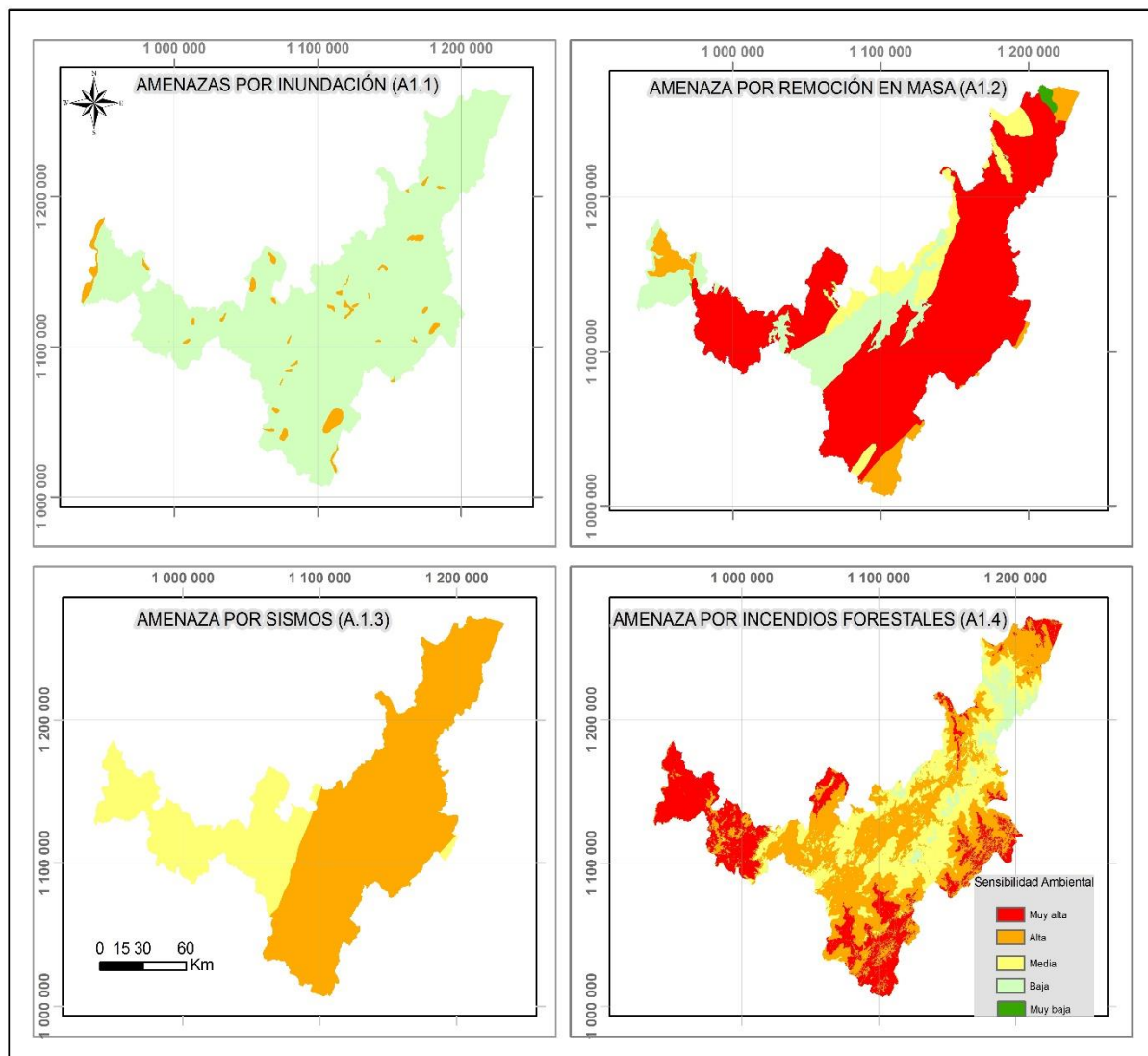
Fuente: La Autora

Luego se realizó el procesamiento y análisis espacial que se presenta en la figura 14 y figura 19, a partir del cual se obtuvieron los mapas temáticos para cada componente y así realizar la superposición para obtener la zonificación ambiental.

6.5.1 Procesamiento y análisis espacial de la información - componente abiótico

En la siguiente figura se presenta el procesamiento y análisis espacial desarrollado para las variables que determinan el componente abiótico. Además se presenta cada uno de los mapas intermedios que se obtuvieron durante el procesamiento espacial.

Figura 15. Mapas temáticos variables Amenazas naturales.



Fuente: La Autora

De la figura 15 se concluye lo siguiente:

- Amenaza por inundación

Para este estudio se consideraron como amenaza de inundación alta las zonas de los embalses, lagos, las zonas aledañas al río Magdalena en el municipio de Puerto Boyacá, entre otras. Las cuales ya han presentado antecedentes de inundación. Para el resto del territorio se considera una amenaza baja, pues pueden ser anegadas por eventos extraordinarios.

Es importante señalar que no se incluyen entre las zonas inundables los cauces mayores o rondas de los ríos, los cuales son ocupados con frecuencia del orden de una vez en 10 años⁷⁰.

- Amenaza por remoción en masa

De acuerdo al mapa de susceptibilidad por remoción en masa, se categoriza el 63% del territorio con una susceptibilidad muy alta a alta, las áreas clasificadas con susceptibilidad media corresponden al 19,52%, y el 17.49% las zonas que presentan susceptibilidad muy baja a baja⁷¹.

- Amenaza por sismos

Según el servicio geológico colombiano, el departamento de Boyacá se encuentra en zona de amenaza sísmica cuyo nivel de amenaza se distribuye entre alta para más del 60% del territorio y media alta para el restante⁷².

- Amenaza por Incendios forestales

Según Corpoboyacá el 52,5% del territorio tiene un nivel de amenaza muy alta ante incendios forestales, el 38,6% del territorio con una probabilidad alta, mientras que el 8,9 % del territorio la amenaza es media y tan solo el 0,3% se encuentra sobre una zona de bajo riesgo, esto es debido a las características intrínsecas de la cobertura vegetal y los ecosistemas⁷³.

En la figura 16, se presenta cada uno de los mapas temáticos que hacen parte del componente abiótico.

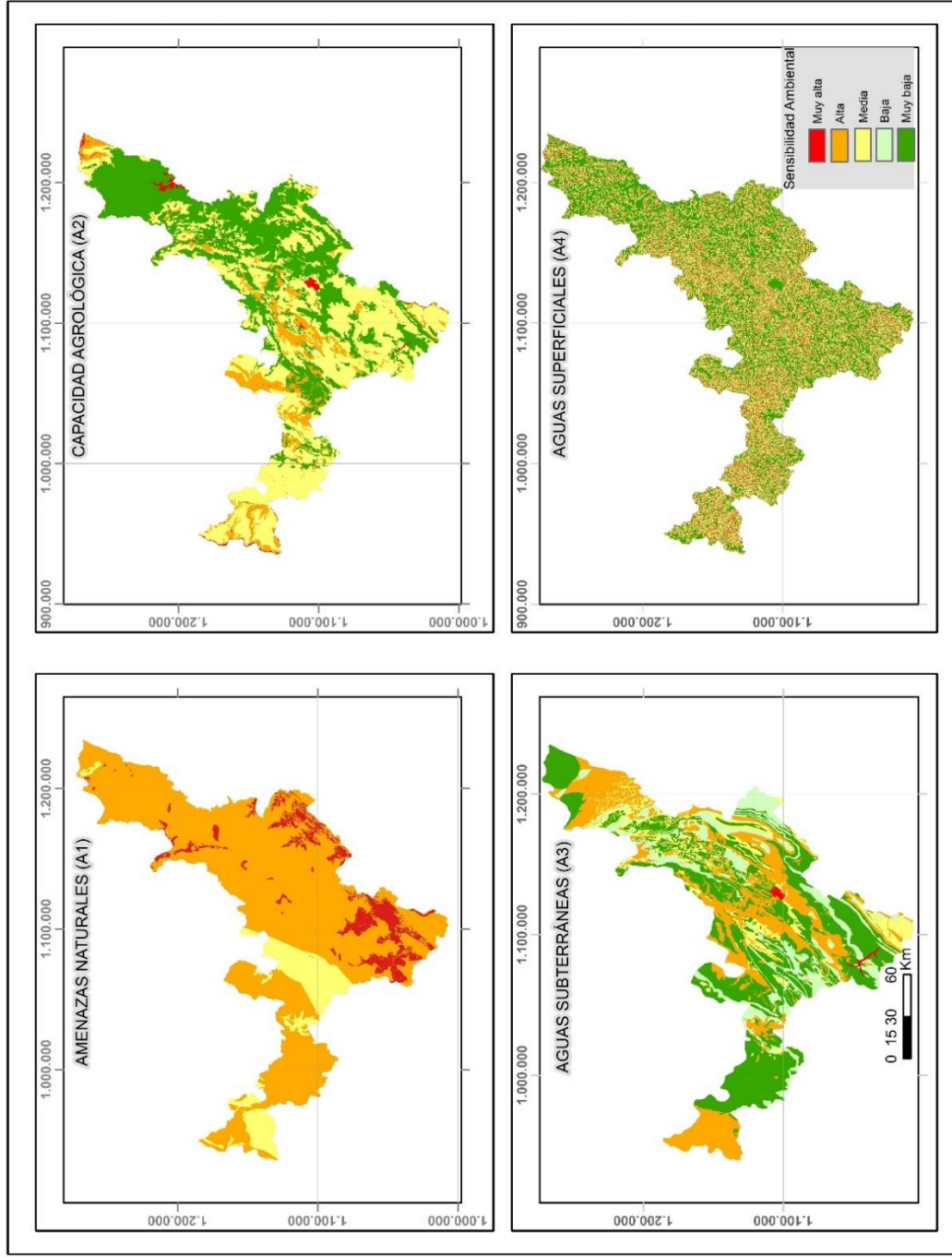
⁷⁰ UNIVERSIDAD EIA [Página oficial]. Fluidos [En línea]. Tema inundaciones [Citada, agosto de 2017]. Disponible en internet: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/inundaciones/index.html>.

⁷¹ CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE BOYACÁ. [Página oficial]. Gestión del riesgo capitulo VII [En línea]. [Citada, febrero de 2018]. Disponible en internet: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-del-riesgo.pdf>.

⁷² SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO [Página oficial]. Sismicidad en Colombia [En línea]. [Citada, febrero de 2018]. Disponible en internet: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/.

⁷³ Ibid.

Figura 16. Mapas temáticos variables componente abiótico.



Fuente: La Autora

6.5.1.1 Amenazas naturales

Teniendo en cuenta la metodología propuesta, luego del traslape de los mapas de las diferentes amenazas se obtiene que un 9,03 % del territorio presenta una muy alta sensibilidad ambiental frente al tema de amenazas naturales, el 79.55% del territorio presenta una sensibilidad ambiental alta y el restante 11, 43% presenta una sensibilidad media.

6.5.1.2 Capacidad agrológica

De acuerdo al mapa de capacidad agrológica se categoriza el 1, 24% del territorio con una susceptibilidad muy alta, el 11.03% del territorio con susceptibilidad alta el 45.21% con media susceptibilidad y el territorio restante con una baja a muy baja susceptibilidad.

6.5.1.3 Aguas subterráneas

De acuerdo al mapa de aguas subterráneas se categoriza sólo el 0,4% del territorio con sensibilidad muy alta, el 30.18% con sensibilidad alta representado por los acuíferos altamente productivos propios de la región andina, el 10% con sensibilidad media y el 59,3% del territorio con sensibilidad baja a muy baja, consecuencia de la utilización y las características propias de las cuencas hidrogeológicas presentes en el departamento.

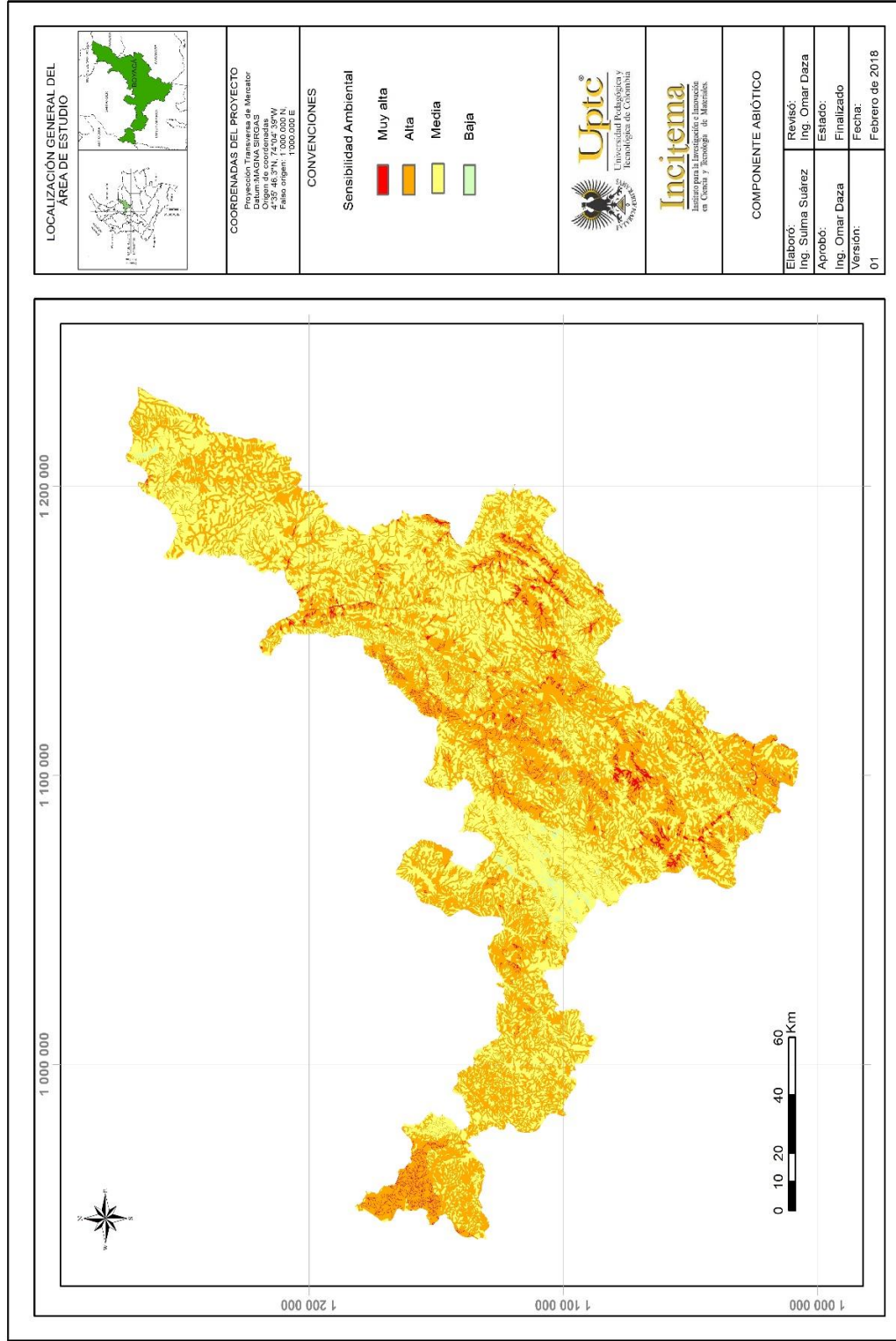
6.5.1.4 Aguas superficiales

Para este estudio se consideraron los drenajes como principal elemento para el análisis de esta variable y como se observa en el mapa temático, Boyacá es un departamento rico en recurso hídrico, sus tierras están surcadas por numerosos ríos que constituyen un gran potencial hídrico y eléctrico para el departamento y el país.

6.5.1.5 Componente abiótico

Luego de aplicar el respectivo factor de ponderación, la calificación para el componente abiótico muestra que el 2.00 % del territorio tiene una sensibilidad ambiental muy alta, el 50.16 % del territorio tiene una alta sensibilidad ambiental, seguido con una sensibilidad media del 47.45% del territorio. Solo el 0,36% del territorio tiene una baja sensibilidad ideal para desarrollar operaciones mineras. Estas estadísticas predicen una alta inversión ambiental para el desarrollo de un proyecto minero en la región. Figura 17.

Figura 17. Mapa componente abiótico para el departamento de Boyacá.

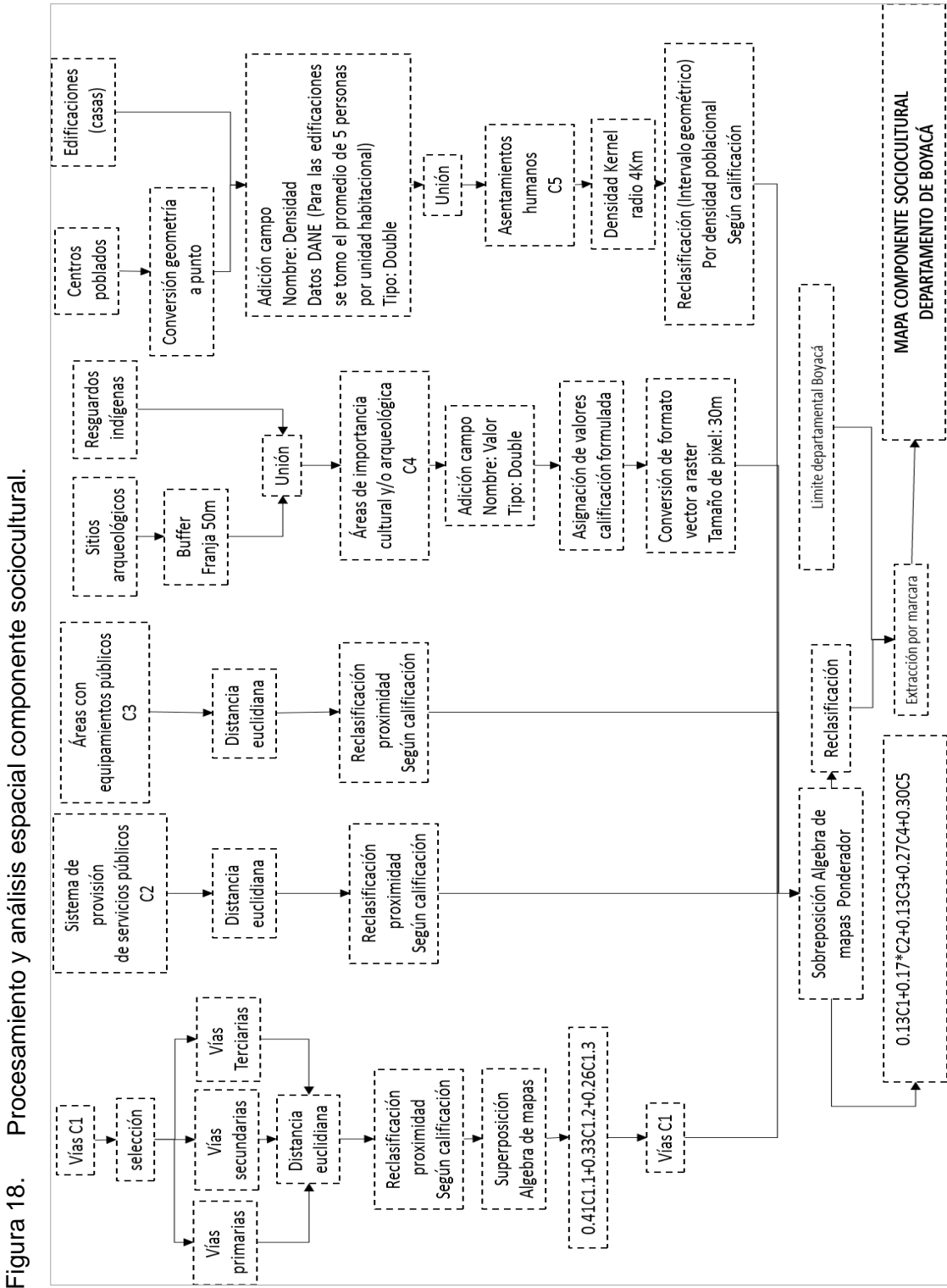


Fuente: La Autora

6.5.2 Procesamiento y análisis espacial de la información - componente Sociocultural

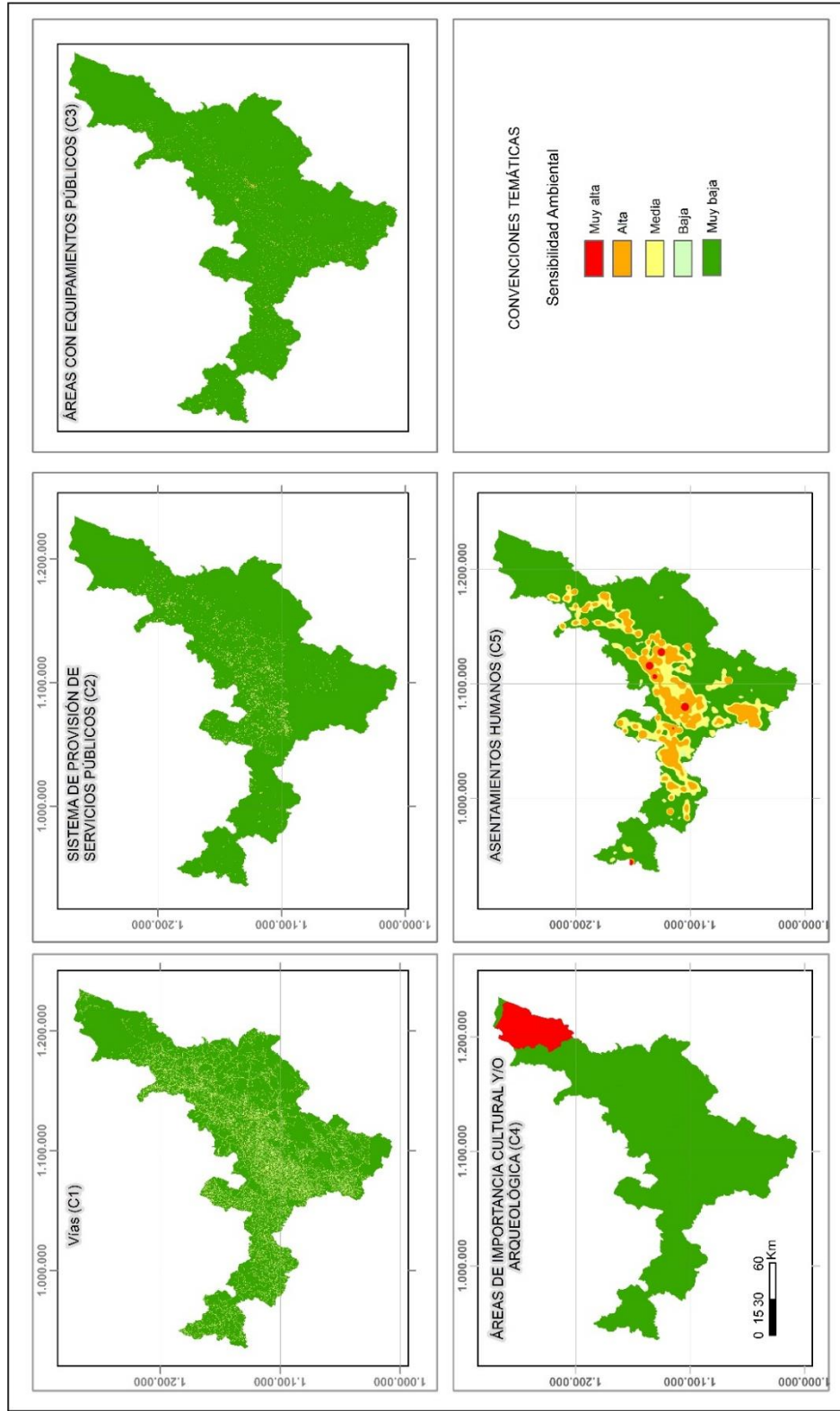
En la figura 18 se presenta el procedimiento adelantado para el componente sociocultural. Luego en la figura 19, se presenta cada uno de los mapas obtenidos para evaluar el componente sociocultural.

Figura 18. Procesamiento y análisis espacial componente sociocultural.



Fuente: La Autora

Figura 19. Mapas temáticos variables componente sociocultural.



Fuente: La Autora

De la figura 19, se concluye lo siguiente:

6.5.2.1 Vías

En lo referente a la infraestructura vial, el departamento de Boyacá, actualmente se encuentra comunicado con una extensa red vial que ofrece cobertura a un alto porcentaje del territorio especialmente en el área rural.

La calificación para el tema de vías presenta que el 85.88% del territorio presenta una sensibilidad muy baja en lo relacionado con este criterio. Solo el 8.13% del territorio presenta media sensibilidad y el 5,87% presenta sensibilidad baja, esta estadísticas se deben a la cobertura de ejes viales terciarios y rurales que existen en el territorio.

6.5.2.2 Sistema de provisión de servicios públicos

Es importante recordar que para este estudio sólo se tuvieron en cuenta los datos de concesiones de agua, donde predomina el uso doméstico, de acuerdo al mapa se evidencia que la mayor demanda se presenta en la provincia centro, que es donde más se han otorgado autorizaciones, debido a la concentración poblacional e industrial de esta parte del departamento.

6.5.2.3 Áreas con equipamientos públicos

Para este estudio se consideran como equipamientos públicos del departamento: los centros religiosos, cementerios, establecimientos educativos, establecimientos de salud, hoteles y sitios turísticos. Cuya mayor concentración se da en el centro del departamento en las áreas más densamente pobladas.

6.5.2.4 Áreas de importancia cultural y/o arqueológica

En el mapa se presentan las áreas de protección que hacen parte de la base de datos del ICANH, corresponde a aquellas áreas donde se han reportado hallazgos arqueológicos o se ha realizado alguna clase de sondeo validado por esta entidad. Junto con los territorios indígenas que actualmente se encuentran reconocidos y constituidos en el departamento.

6.5.2.5 Asentamientos humanos

El censo General 2005, contabilizó en Boyacá 1.210.982 habitantes, el 52% en cabeceras municipales y 581.272 en el sector rural, en veredas de los corregimientos y municipios.

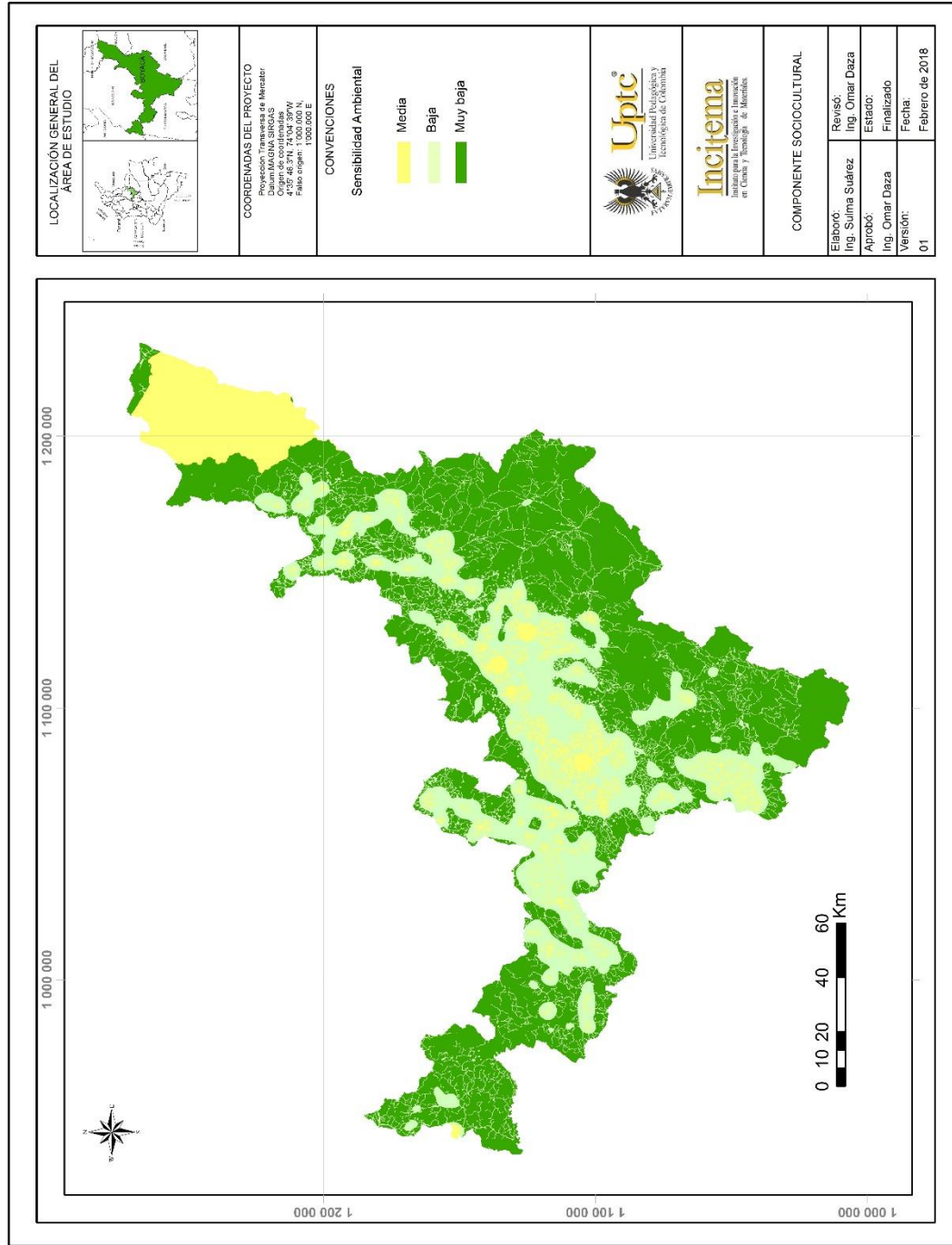
En cuanto a la población total de los municipios, Tunja, la capital departamental, ocupa el primer lugar, por tanto el mayor valor de sensibilidad se presenta en el centro del departamento como se observa en el mapa.

6.5.2.6 Componente sociocultural

Luego de la combinación de los diferentes mapas temáticos para el componente sociocultural, Se obtiene el mapa presentado en la figura 20, el cual presenta una calificación de sensibilidad ambiental media para el 12.86% del territorio Boyacense, así como una calificación de sensibilidad baja para el 31.80 % y el 55.33% del territorio con una sensibilidad muy baja.

Teniendo en cuenta los porcentajes del territorio que comprende cada calificación según el componente sociocultural, se estima que más del 60% del territorio, presenta condiciones que favorecen la actividad minera.

Figura 20. Mapa componente sociocultural para el departamento de Boyacá.



Fuente: La Autora

6.6 COMPONENTE BIÓTICO

A diferencia del componente abiótico y sociocultural, la metodología para analizar el componente biótico, se fundamenta en los principios del Proyecto de Capital Natural liderado por la Universidad de Stanford y la Universidad de Minnesota.

El proyecto de Capital Natural maneja una plataforma conocida como InVEST que es un conjunto de modelos de software libre y de código abierto que se usan para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sostienen la vida humana. El diseño modular multi-servicio de InVEST ofrece una herramienta eficaz para equilibrar los objetivos ambientales y económicos de las diversas entidades, siendo este uno de los propósitos fundamentales de la metodología de zonificación ambiental.

De esta manera se definió que el modelo de *Calidad del hábitat* contenido dentro del paquete de InVest se ajusta a los criterios del componente biótico, dando una aproximación espacial consistente.

El modelo de calidad de hábitat tiene como objetivo la conservación de la biodiversidad incluyendo la gama de genes, especies, poblaciones, hábitats y ecosistemas en un área de interés. Este señala, que los patrones de biodiversidad son intrínsecamente espaciales y como tales, se pueden estimar mediante mapas de uso de la tierra y/o cobertura vegetal. Además, contempla la calidad del hábitat como una función de cuatro factores: el impacto relativo de factores que se consideran amenazas, la sensibilidad relativa de cada tipo de hábitat a cada amenaza, la distancia entre los hábitats y las fuentes de amenaza y el grado en que la tierra está legal o institucionalmente protegida⁷⁴.

También considera que la presencia de un organismo en un ambiente dado, sugiere que éste, satisface los requerimientos básicos propios de la especie, así cada hábitat se caracteriza por una combinación específica de múltiples factores físicos y bióticos que ejercen un efecto conjunto⁷⁵.

6.6.1 Datos que utiliza el modelo

Para este caso el modelo utiliza seis tipos de datos de entrada listados a continuación:

1. Mapa de cobertura de la tierra para el departamento – escenario actual: corresponde a un conjunto de datos tipo ráster identificando cada pixel con un

⁷⁴ SHARP Richard, *al et.* InVEST 3.3.3 User Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. 2015.

⁷⁵ *Íbid.*

código numérico, este código se asigna según la metodología CORINE Land Cover. El ráster debe incluir el área de interés, así como un búfer que abarque la distancia máxima de la amenaza. El conjunto de datos debe estar en una proyección donde las unidades están en metros. Los códigos de cada pixel deben coincidir con los códigos de la tabla "Sensibilidad de los tipos de cobertura de la tierra a cada amenaza".

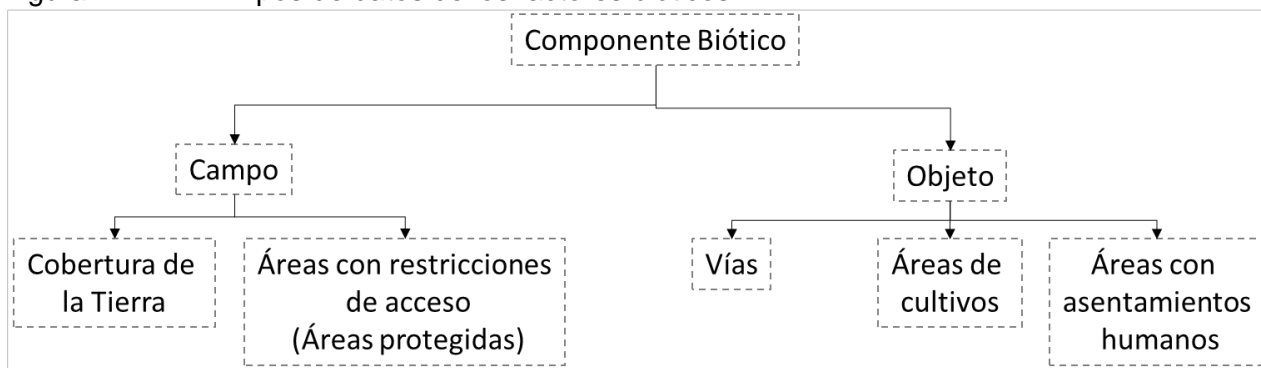
2. Datos de amenaza: Corresponde a un archivo con extensión.csv; donde se incluyen todas las amenazas que se consideran en el modelo, la tabla se elaborara de siguiente manera:
 - *Filas*: cada fila es una fuente de amenaza. El nombre de la amenaza no debe exceder los ocho caracteres.
 - *Columnas*: Se consideran cuatro columnas donde se identifica la amenaza, la distancia máxima a la cual la amenaza puede causar algún tipo de afectación al hábitat, el peso que representa el impacto de la amenaza sobre el hábitat y en la última columna se identifica el nivel de decadencia.
3. Fuentes de amenazas: corresponde a un ráster de la distribución e intensidad de cada amenaza individual. Cada amenaza debe estar mapeada en un raster diferente. Los mapas de amenazas deben cubrir el área de interés, así como un buffer de amortiguación que considere la distancia máxima de amenaza. Cada pixel contiene un valor que indica la intensidad o presencia de la amenaza, la extensión y resolución de estos conjuntos de datos ráster no necesita ser idéntica a la del raster anterior. InVEST no le pedirá estos rasters en la interfaz de la herramienta. En su lugar, encontrará y utilizará automáticamente cada uno, basado en los nombres de la tabla "Datos de amenazas". Por lo tanto, estos mapas de amenazas deben estar en un archivo denominado "input" que es un nivel por debajo del espacio de trabajo identificado en la interfaz del modelo. No se debe dejar ningún área en los mapas de amenazas como 'No Data'. En caso de no existir amenaza se debe consignar un valor de 0.
4. Accesibilidad a las fuentes de degradación (opcional): Corresponde a un archivo de polígonos que contiene datos sobre la protección relativa del hábitat en el ámbito legal, institucional y social contra las amenazas. Se considera que cuanto más protegida se encuentre un área menor va a ser su accesibilidad. Los polígonos con una accesibilidad mínima reciben un número menor que 1, mientras que los polígonos con máxima accesibilidad, reciben un valor de 1. El modelo asume que todas las celdas no cubiertas por un polígono son totalmente accesibles. El archivo tendrá extensión. shp y tendrá los siguientes campos un ID o FID con el código de identificación para cada polígono (LULC) y otro campo con los valores de accesibilidad relativa a cada polígono como se describió anteriormente.

5. Tipos de hábitat y sensibilidad de los tipos de hábitat a cada amenaza: corresponde a un archivo con extensión .csv donde se considera todos los tipos de uso del uso o cobertura de la tierra, y se les asigna un valor dependiendo si son o no considerados hábitats. A partir de valoración como hábitat se establece la sensibilidad específica a cada amenaza. La tabla se elabora de la siguiente manera:
- *Filas*: cada fila corresponde a un tipo de uso de suelo o cobertura.
 - *Columnas*: Las columnas contienen datos sobre los tipos de uso de la tierra y su sensibilidad frente a las amenazas. En las columnas se consignaran los siguientes datos:
 - *Código numérico para cada tipo de cobertura*. Los valores deben coincidir con los códigos utilizados en las entradas. Todos los tipos de suelo o cobertura que aparecen en el mapa deben aparecer como una fila en esta tabla.
 - *Nombre*: Debe asignarse a cada tipo de suelo o cobertura el nombre específico de acuerdo a la metodología corine land cover y el nivel que se esté trabajando.
 - *Hábitat*: Si desea simplemente clasificar cada tipo de suelo o cobertura como hábitat o no sin referencia a ningún grupo de especies en particular, solo se asignan valores de 0 y 1 donde 1 es considerado como hábitat. De lo contrario, si dispone de la información suficiente sobre las preferencias de hábitat de un grupo de especies, se asigna una calificación relativa de hábitat en un rango de 0 a 1, donde 1 indica la mayor idoneidad del hábitat.
6. Sensibilidad relativa de cada tipo de hábitat a cada amenaza. Tendrá tantas columnas como amenaza, los nombres deben coincidir con los nombres de las filas en la tabla "Datos de amenaza" indicada anteriormente. Los valores van de 0 a 1, donde 1 representa una alta sensibilidad a una amenaza y 0 no representa sensibilidad. No se debe dejar ningún campo en blanco, cuando no se considere hábitat se debe diligenciar con un valor 0.
7. Constante de media saturación: Este es el valor del parámetro k. Por defecto se establece en 0,5.

6.6.2 Selección y definición de las variables

La selección de las variables se dio en función de los datos de entrada que alimenta el modelo, los cuales corresponde a la cobertura de la tierra, áreas con restricción de acceso y amenazas para los distintos hábitat (vías, cultivos, áreas pobladas o edificaciones). Figura 21.

Figura 21 Tipos de datos de los factores bióticos.



Fuente: La Autora

6.6.2.1 Cobertura de la tierra.

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra⁷⁶, en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua⁷⁷.

Para Colombia, se adaptada la metodología CORINE Land cover (escala 1:100.000), para describir las coberturas terrestres. Específicamente para la Cuenca Magdalena-Cauca, (de la cual hace parte el departamento de Boyacá). Leyenda establecida con base en la información obtenida de imágenes Landsat, fotografías aéreas, control de campo y el conocimiento específico local que tenían los intérpretes y expertos de las áreas interpretadas. Tabla 24.

⁷⁶ DI GREGORIO, Antonio. LAND Cover Classification system, software versión 3. ISBN 978 – 92 - 5 109017-6. 2016

⁷⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Coberturas de la tierra. [En línea]. [Citado, 01 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>.

Tabla 24. Codificación de las unidades de coberturas de la tierra de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Categorías Corine Land Cover			
Nivel I	Nivel II	Nivel III	
1. Territorios artificializados	1.1 Zonas urbanizadas.	1.1.1 Tejido urbano continuo	
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo	
	1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación.	1.2.1 Zonas industriales o comerciales	
		1.2.2 Red Vial, ferroviarias y terrenos asociado	
		1.2.3 Zonas portuarias	
		1.2.4 Aeropuertos	
		1.2.5 Obras hidráulicas	
	1.3 Zonas de extracción minera y escombreras.	1.3.1 Zonas de extracción minera	
		1.3.2 Escombreras y vertederos	
	1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas.	1.4.1 Zonas verdes urbanas	
		1.4.2 Instalaciones recreativas	
	2. Territorios agrícolas	2.1 Cultivos transitorios.	2.1.1 Otros cultivos anuales o transitorios
			2.1.2 Algodón
2.1.3 Arroz			
2.1.4 Papa			
2.2 Cultivos permanentes.		2.2.1 Otros cultivos permanentes	
		2.2.2 Caña panelera	
		2.2.4 Banano y plátano	
		2.2.5 Café	
		2.2.6 Cacao	
		2.2.7 Palma africana	
		2.2.8 Frutales	
		2.2.9 Cultivos confinados	
		2.3 Pastos.	2.3.1 Pastos limpios
2.3.2 Pastos arbolados			
2.3.3 Pastos enmalezados o enrastrados			
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas.		2.4.1 Mosaico de cultivos	
		2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	
		2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
		2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	
3. Bosques y áreas seminaturales		3.1 Bosques.	3.1.1 Bosque natural denso
	3.1.2 Bosque natural fragmentado		
	3.1.3 Bosque de galería y/o ripario		
	3.1.4 Bosque de mangle		
	3.1.5 Bosque plantado		
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Pastos naturales y sabanas	
		3.2.2 Arbustos y matorrales	
		3.2.3 Vegetación esclerófila y/o espinosa	
		3.2.4 Vegetación de páramo y subpáramo	
		3.2.5 Vegetación rupícola	
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación.	3.3.1 Playas, arenales y dunas	
		3.3.2 Afloramientos rocosos	
		3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	

Categorías Corine Land Cover		
Nivel I	Nivel II	Nivel III
		3.3.4 Zonas quemadas
		3.3.5 Zonas glaciares nivales
4. Áreas húmedas	4.1 Áreas húmedas continentales.	4.1.1 Zonas pantanosas
		4.1.2 Turberas
		4.1.3 Esteros
		4.1.4 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2 Áreas húmedas costeras	4.2.1 Marismas costeras
		4.2.2 Salinas
		4.2.3 Zonas intermareales
5. Superficies de agua	5.1 Aguas continentales.	5.1.1 Ríos (50m)
		5.1.2 Lagunas , lagos y Ciénagas naturales
		5.1.3 Canales
		5.1.4 Embalses y cuerpos de agua
	5.2 Aguas marítimas	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Estuarios
		5.2.3 Mares y océanos
		5.2.4 Estanques para acuicultura

Fuente: Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena – Cauca, 2008.

6.6.2.2 Áreas con restricciones de acceso

Corresponde a las áreas de protección y conservación ecológica, que por sus especiales características ambientales, protegen suelos, aguas, diversidad biológica, valores escénicos o paisajísticos, valores históricos culturales, científicos y recreativos, que sólo pueden ser sujetos a usos sostenibles compatibles con su naturaleza⁷⁸. Se entiende por área protegida, un área definida geográficamente que es designada, regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación⁷⁹.

Colombia tiene un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) que a finales de 2010, comprendía más del 10 % de su territorio continental, además cuenta con 58 parques naturales nacionales.

Teniendo en cuenta en ámbito de estudio, en la tabla 25, se mencionan las áreas de protección y conservación que se tienen en cuenta en el modelo de datos de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales.

⁷⁸ INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA –IIAP. Zonificación Ecológica Económica de la Provincia de Tocache. Capítulo 6.2 numeral b. Perú, Agosto de 2010.

⁷⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2372, art 2. Bogotá D.C, 2010

Tabla 25. Áreas de protección y conservación.

Tema	Clasificación
Áreas de protección y conservación	Reserva Forestal Nacional
	Reserva Forestal Regional
	Áreas de Manejo Especial
	Parque Nacional Natural
	Reserva Natural
	Área Natural Única
	Santuario de Fauna y Flora
	Santuario de Flora
	Vía Parque
	Distrito de Manejo Integrado
	Áreas de Recreación
	Distrito de Conservación de Suelos
	Parque Natural Regional
	Reserva Natural de la Sociedad Civil
	Patrimonio Natural y Cultural
	Zonas de Protección del Paisaje
	Manglares
	Páramo
	Humedales
	Ecosistemas Xerofíticos y SubXerofíticos
	Áreas en proceso Desertificación
Reservas de la Biosfera	
Sitios RAMSAR	
AICAS	
Patrimonio de la Humanidad	
Otro	

Fuente Modelo de datos de la ANLA, 2016

6.6.2.3 Vías:

Para el componente biótico se tienen en cuenta como fuente de amenaza. Las vías se consideran una fuente de amenaza debido a que su construcción y tránsito genera efectos ecológicos significativos como fragmentación de ecosistemas, dispersión de especies exóticas, disminución de las poblaciones de especies de flora y fauna nativa, alteración del ciclo hidrológico, cambios microclimáticos, producción de material particulado y de ruido, y contaminación de las aguas y del suelo⁸⁰.

6.6.2.4 Densidad de población:

Para el componente biótico se consideran una fuente de amenaza. La densidad de población se asocia a la demanda de recursos naturales de manera concentrada, lo cual provoca insuficiencias en la disponibilidad de agua y energía para los

⁸⁰ ARROYAVE, María del Pilar, *et al.* Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. En: Revista EIA, Junio 2006, ISSN 1794-1237. No 5. p. 45-57.

ecosistemas naturales, sumados a la degradación ambiental que las actividades antrópicas generan⁸¹.

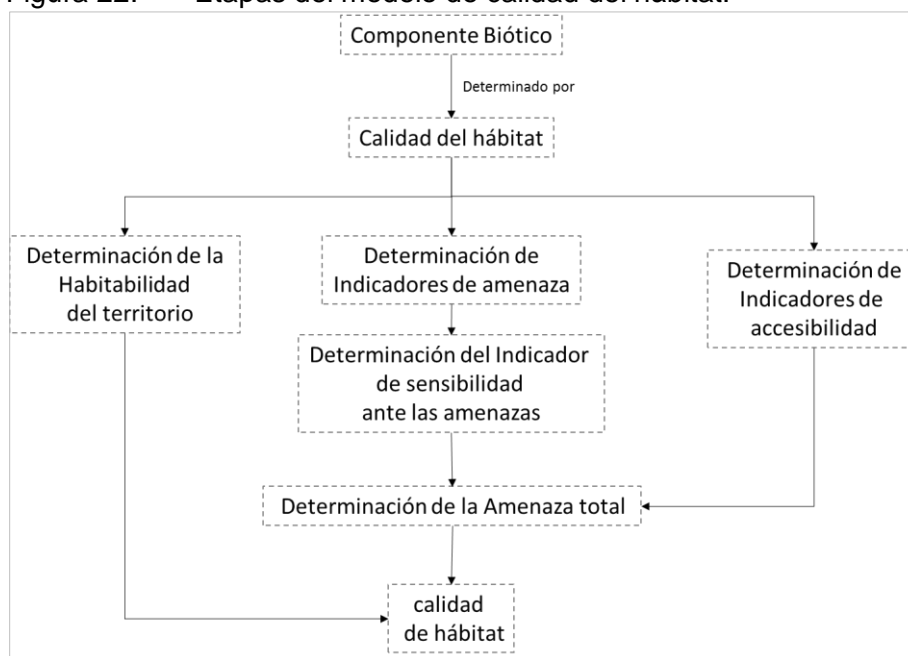
6.6.2.5 Áreas de cultivos:

Se consideran una fuente de amenaza para el ambiente natural debido a que la globalización y la progresiva liberación de los mercados agrícolas, han impulsado la intensificación productiva lo cual lleva consigo la degradación de los ecosistemas y los graves desequilibrios ecológicos que se marcan con la producción capitalista⁸².

6.6.3 Proceso metodológico

La aplicación del modelo de Calidad del hábitat, sigue el proceso que se presenta en la figura 22.

Figura 22. Etapas del modelo de calidad del hábitat.



Fuente: La Autora

⁸¹ NATIONAL GEOGRAPHIC [página oficial]. Amenazas de la Urbanización. [En línea]. 5 de Septiembre de 2010. [Citado, 10 de Marzo de 2017]. Disponible en internet:<<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/amenazas-de-la-urbanizacion>>

⁸² SEGRELLES, José. Problemas ambientales , agricultura y globalización en America Latina. En: Scripta Nova. Universidad de Barcelona. 1 de julio de 2001. No 92. ISSN: 1138-9788.

6.6.3.1 Determinación de la habitabilidad del territorio

De acuerdo con la metodología de InVest, se parte del mapa de cobertura para generar un mapa en el que se zonifique la habitabilidad del territorio. Para este caso se utilizó el mapa de cobertura vegetal producido a escala 1:100.000 para el departamento de Boyacá producido mediante la adaptación de la metodología Corine Land Cover en Colombia⁸³. Los valores para el indicador de habitabilidad (H_c) se muestran la tabla 26. La habitabilidad se determinó mediante criterios de nivel de intervención de las diferentes coberturas y los muestreos de fauna y flora disponibles en el Sistema de Información sobre Biodiversidad en Colombia (SIB – COLOMBIA). Para determinar estos valores se contó con el apoyo de la unidad de decisión.

Se supone que mientras menor sea la intervención y mayor sea la cantidad de especies, mayor será la habitabilidad del territorio, además, se asume que no hay ningún lugar en el departamento de Boyacá con un nivel de habitabilidad igual a cero.

Bajo el supuesto que la fauna y la flora nativa de una zona prevalecen en áreas menos antropizadas, se da mayor importancia a las áreas boscosas y menos a las áreas de mayor intervención. Se utilizan valores de 0 a 1 donde 1 es la mayor habitabilidad y 0 territorios donde la habitabilidad es nula, También se asignó un código LULC a cada cobertura, con el propósito que el modelo reconozca la información.

Tabla 26. Codificación y habitabilidad del territorio según cobertura de la tierra para el departamento de Boyacá.

Lulc	Nombre	Hábitat (H_c)
1	Mosaico de pastos y cultivos	0.5
2	Bosque Denso	1
3	Mosaico de pastos con espacios naturales	0.5
4	Lagunas lagos y ciénagas naturales	0.7
5	Herbazal	0.8
6	Arbustal	0.8
7	Nubes	0.5
8	Zonas glaciares y nivales	0.3
9	Pastos enmalezados	0.5

⁸³ COLOMBIA, IDEAM, IGAG y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuanca Magdalena –Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

Lulc	Nombre	Hábitat (H_c)
10	Bosque fragmentado	0.7
11	Zonas arenosas naturales	0.1
12	Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	0.5
13	Pastos limpios	1
14	Cultivos permanentes arbustivos	0.1
15	Tierras desnudas y degradadas	0
16	Vegetación secundaria o en transición	0.5
17	Zonas de extracción minera	0
18	Tubérculos	0.1
19	Ríos	0.9
20	Mosaico de cultivos	0.1
21	Bosque de galería y ripario	1
22	Zonas Pantanosas	0.6
23	Afloramientos rocosos	0.1
24	Tejido urbano continuo	0.5
25	Cultivos permanentes herbáceos	0.1
26	Mosaico de cultivos y espacios naturales	0.1
27	Plantación forestal	0.3
28	Hortalizas	0.1
29	Tejido urbano discontinuo	0.1
30	Otros cultivos transitorios	0.1
31	Cuerpos de agua artificiales	0.3
32	Aeropuertos	0
33	Cultivos confinados	0
34	Pastos arbolados	0.5
35	Red vial. ferroviarias y terrenos asociados	0
36	Tuberas	0.3
37	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0.6
38	Zonas industriales o comerciales	0
39	Zonas quemadas	0
40	Bosque Abierto	1

Fuente: La Autora

6.6.3.2 Determinación de Indicadores de amenaza (r_{ij})

Todas las amenazas mapeadas deben medirse en la misma escala y métrica. Para este caso se mide en términos de presencia ausencia. Donde 1 es que la amenaza está presente y 0 que la amenaza está ausente.

Es preciso tener en cuenta que el impacto de las amenazas sobre el hábitat para el modelo está mediado por 4 factores:

1. Tipo de amenaza: El modelo considera la presencia de amenazas para el hábitat, las cuales están relacionados con la actividad antrópica en el territorio. Las amenazas consideradas, corresponden a objetos geográficos, entre las que se encuentran, las carreteras, las áreas de cultivos, y la densidad poblacional.
2. El peso (w_j) de la amenaza, dado en términos de destructividad relativa, se pueden asumir valores entre 0 y 1. Donde 0 implica la menor incidencia y uno el valor más alto de destructividad con respecto al hábitat.
3. La distancia entre el hábitat y la fuente de amenaza, que determina el impacto de la amenaza en el espacio. En general, el impacto de una amenaza sobre el hábitat disminuye a medida que aumenta la distancia desde la fuente de degradación, de modo que las celdas de la grilla que están más próximas a las amenazas experimentarán impactos más altos. Para este caso se establecen las distancias máximas hasta las cuales la amenaza puede ocasionar algún impacto negativo. Estas distancias están dadas en kilómetros.
4. La función de decaimiento, el modelo acepta dos tipos, el lineal y el exponencial. Este se relaciona con la descomposición que tiene cada una de las amenazas en el espacio. Para este estudio se eligió una función lineal para todas las amenazas.

En la Tabla 27 se consignan los valores definidos en función de los factores que determinan las amenazas. Los nombres se presentan en inglés, para que el modelo los reconozca. Para determinar los valores de cada factor se contó con el apoyo de la unidad de decisión.

Tabla 27. Datos de amenaza.

Max_Dist	Weight	Threat	Decay
0.5	1	urb	linear
0.1	0.5	vias	linear
0.1	0.8	cult	linear

Fuente: La Autora

6.6.3.3 Determinación de Indicadores de accesibilidad

En algunos sectores se tiene una accesibilidad restringida por aspectos legales, institucionales, sociales o físicos. Esta restricción de acceso supone un factor de protección de los ecosistemas, por lo que el modelo InVest lo considera como un

elemento adicional. Se considera un indicador de accesibilidad (β_x) en una escala de cero a uno, en donde uno corresponde a lugares en donde hay accesibilidad total y cero en lugares donde el acceso está completamente restringido. En este proyecto se consideraron las áreas de protección nacional, regional y local dentro del departamento, contenidas en una capa geográfica tipo objeto. A estas áreas se les asignó un valor de cero (0) y al resto del departamento un valor de uno (1).

6.6.3.4 Indicadores de sensibilidad ante las amenazas (S^c_j)

Los diferentes ecosistemas pueden presentar mayor o menor sensibilidad ante el efecto de las amenazas consideradas. La sensibilidad se expresa para cada una de las coberturas especializadas en la capa de coberturas de la tierra y maneja un rango de asignación de 0 a 1, donde 0 representa el nivel más bajo de amenaza y 1 el nivel más alto de amenaza. En la tabla 28, se consignan los valores de sensibilidad definidos en función de las categorías para la cobertura de la tierra identificada en el departamento de Boyacá, y su posible afectación por cada una de las amenazas.

La determinación de los valores se realizó en conjunto con la unidad de decisión.

Tabla 28. Sensibilidad de cada cobertura frente a las amenazas, para el departamento de Boyacá.

Lulc	Nombre	Habitat	L_urb	L_vias	L_cult
1	Mosaico de pastos y cultivos	0.5	0.4	0.4	0.2
2	Bosque Denso	1	0.9	1	0.9
3	Mosaico de pastos con espacios naturales	0.5	0.5	0.5	0.4
4	Lagunas lagos y ciénagas naturales	0.7	0.6	0.7	0.9
5	Herbazal	0.8	0.4	0.4	0.3
6	Arbustal	0.8	0.4	0.4	0.3
7	Nubes	0.5	0.5	0.5	0.5
8	Zonas glaciares y nivales	0.3	0.5	0.5	0.5
9	Pastos enmalezados	0.5	0.3	0.3	0.1
10	Bosque fragmentado	0.7	0.6	0.7	0.7
11	Zonas arenosas naturales	0.1	0.2	0.1	0.1
12	Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	0.5	0.4	0.5	0.3
13	Pastos limpios	1	0.3	0.3	0.1
14	Cultivos permanentes arbustivos	0.1	0.2	0.3	0.2
15	Tierras desnudas y degradadas	0	0	0	0
16	Vegetación secundaria o en transición	0.5	0.5	0.5	0.5

Lulc	Nombre	Habitat	L_urb	L_vias	L_cult
17	Zonas de extracción minera	0	0	0	0
18	Tubérculos	0.1	0.5	0.5	0.5
19	Ríos	0.9	0.6	0.7	0.9
20	Mosaico de cultivos	0.1	0.4	0.4	0.2
21	Bosque de galería y ripario	1	0.4	0.5	0.5
22	Zonas Pantanosas	0.6	0.6	0.6	0.5
23	Afloramientos rocosos	0.1	0.1	0.1	0.1
24	Tejido urbano continuo	0.5	0	0	0
25	Cultivos permanentes herbáceos	0.1	0.2	0.3	0.2
26	Mosaico de cultivos y espacios naturales	0.1	0.4	0.5	0.3
27	Plantación forestal	0.3	0.4	0.5	0.5
28	Hortalizas	0.1	0.5	0.5	0.5
29	Tejido urbano discontinuo	0.1	0	0	0
30	Otros cultivos transitorios	0.1	0.5	0.5	0.5
31	Cuerpos de agua artificiales	0.3	0.5	0.6	0.7
32	Aeropuertos	0	0	0	0
33	Cultivos confinados	0	0.2	0.3	0.2
34	Pastos arbolados	0.5	0.3	0.4	0.2
35	Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	0	0	0	0
36	Tuberas	0.3	0.6	0.6	0.5
37	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0.6	0.6	0.6	0.5
38	Zonas industriales o comerciales	0	0	0	0
39	Zonas quemadas	0	0	0	0
40	Bosque Abierto	1	0.8	0.9	0.9

Fuente: La Autora

6.6.3.5 Índice de amenaza total

Los indicadores de amenaza r_j^i , accesibilidad (β_x) y sensibilidad (S_j^c) se combinan para tener un índice del nivel de amenaza total sobre el territorio. Se realiza una sumatoria ponderada para todos ellos. Así, el nivel de amenaza total en cada pixel del hábitat viene dado por la siguiente ecuación:

$$D_{ci} = \sum_{j=1}^4 w_j r_j^i \beta_x S_j^c \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde D_{ci} es el promedio ponderado de las amenazas en cada pixel i y para la cobertura c , w_j es el peso de cada amenaza sobre el hábitat teniendo en cuenta que:

$$\sum_{j=1}^3 w_j = 1 \quad \text{Ecuación 8}$$

6.6.3.6 Calidad de hábitat

En el modelo, la puntuación de degradación en cada pixel se traduce en un valor de calidad de hábitat utilizando una función media de saturación, por lo tanto se debe definir la constante media de saturación (k). Este valor puede ajustarse de acuerdo a la información disponible y se tomará como el valor de degradación de pixel más alto en el paisaje.

A medida que el índice de degradación de un pixel aumenta su calidad de hábitat disminuye. Así, la calidad del hábitat en cada pixel está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{ci} = H_c \left[1 - \left(\frac{D_{ci}^z}{D_{ci}^z + k^z} \right) \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

En donde Q_{ci} es la calidad del hábitat en cada pixel i y para la cobertura c , z es un valor constante de 2,5 según las recomendaciones del método.

6.6.3.7 Adaptación del modelo a la metodología

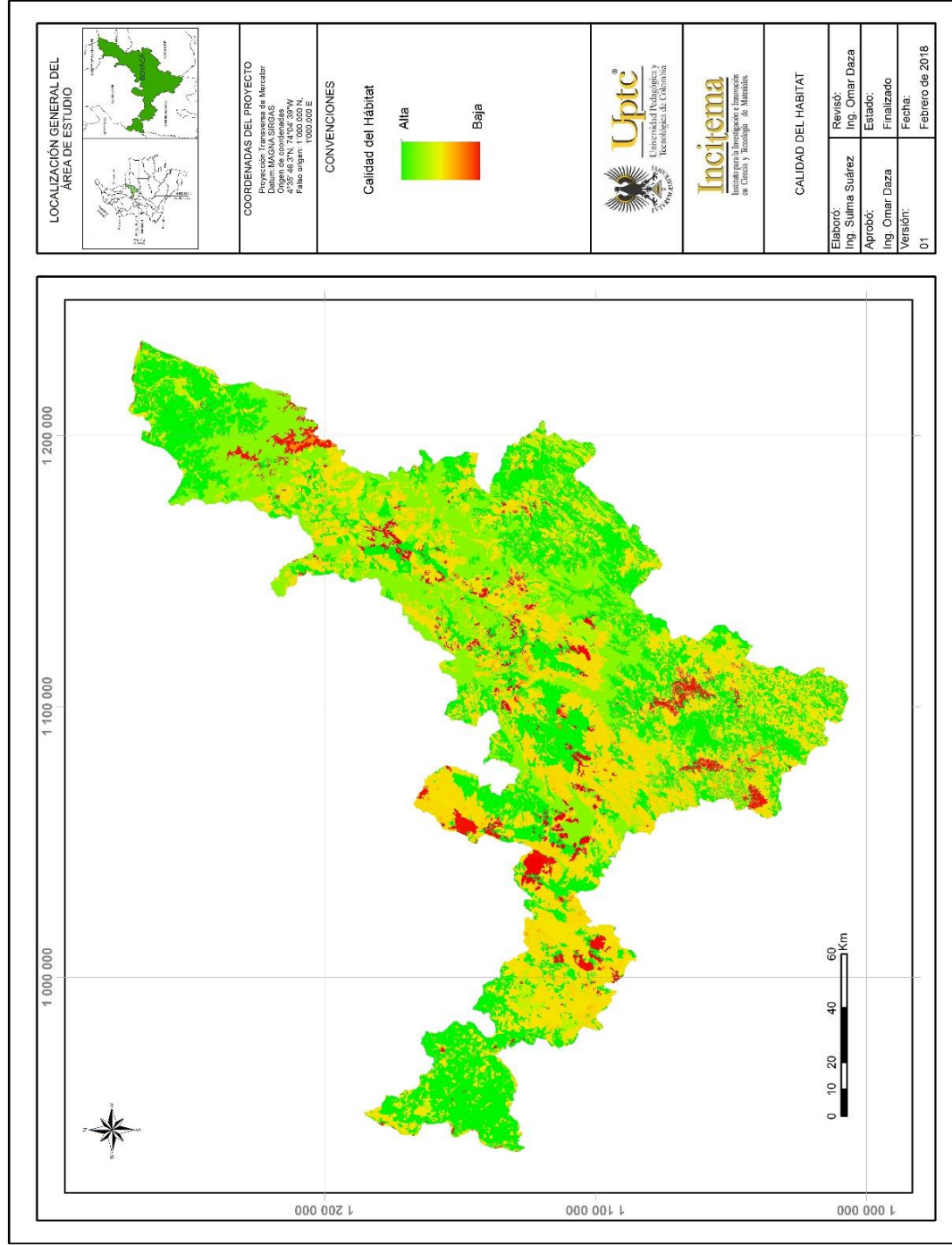
Teniendo en cuenta que para obtener la zonificación ambiental es necesario combinar los mapas de cada uno de los componentes, el mapa de calidad de hábitat obtenido se reclasifica siguiendo la escala de razón en términos de preferencia con la cual se ha trabajado el componente abiótico y sociocultural. De esta manera el mapa de calidad de hábitat pasa a ser el mapa del componente biótico ajustado al modelo de calificación establecido.

6.6.4 Resultados de aplicación del modelo

Luego de ejecutar el modelo con los datos de entrada antes listados, se obtiene el mapa de calidad de hábitat figura 23, donde se determina que más del 60% del territorio del departamento de Boyacá tiene una alta calidad de habitabilidad para las diferentes especies.

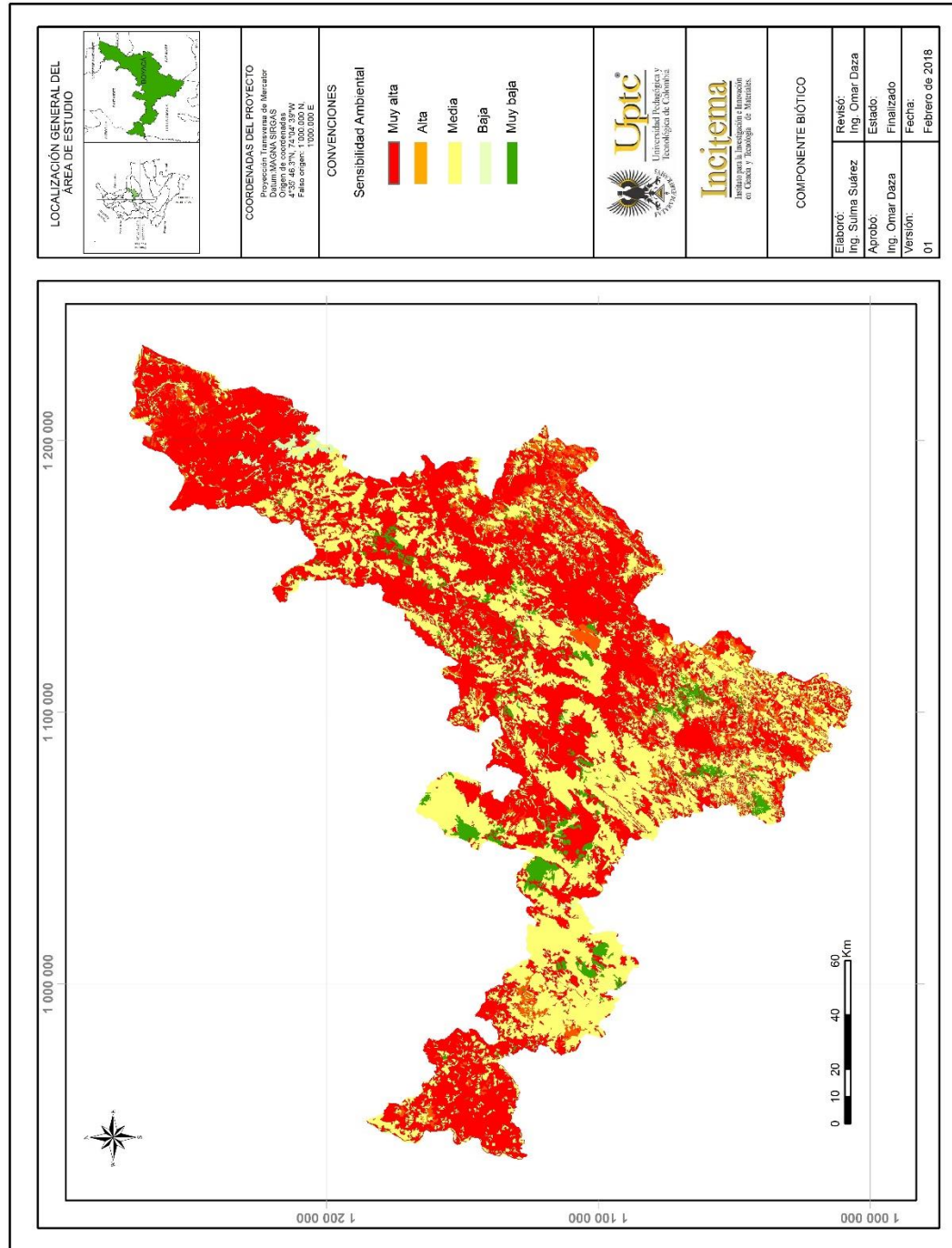
A partir de la reclasificación del mapa de calidad de habitad, se obtiene el mapa del componente abiótico presentado en la figura 24, donde la calificación para sensibilidad ambiental muy alta corresponde al 54.95% del territorio del departamento, seguido de un 36.97% del territorio con sensibilidad media. Resultados que dejan entrever la amplia inversión en temas de compensación en caso de adelantarse proyectos mineros.

Figura 23. Mapa de calidad de hábitat para el departamento de Boyacá.



Fuente: La Autora

Figura 24. Mapa componente biótico para el departamento de Boyacá.

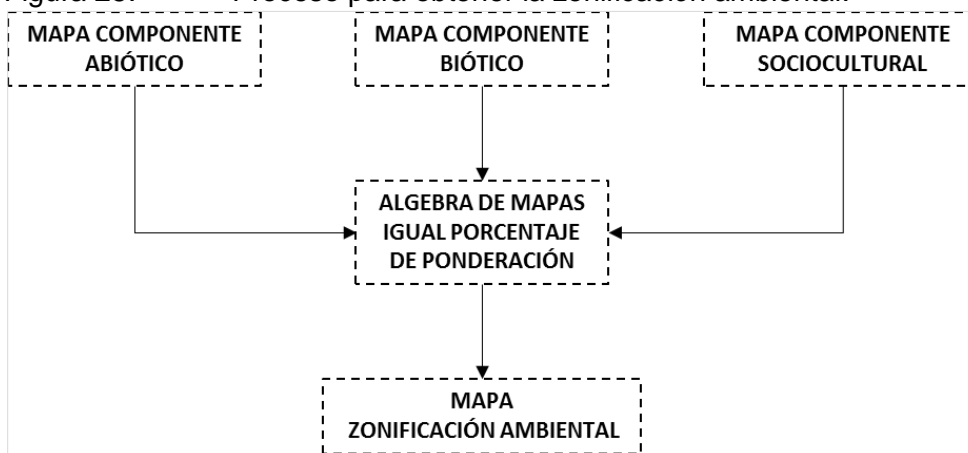


Fuente: La Autora

6.6.5 Zonificación ambiental

Luego de obtener los mapas temáticos por componente ambiental, se procede a la combinación de los mismos utilizando una media aritmética, teniendo en cuenta que para obtener la zonificación ambiental los componentes tienen igual grado de importancia. Figura 25.

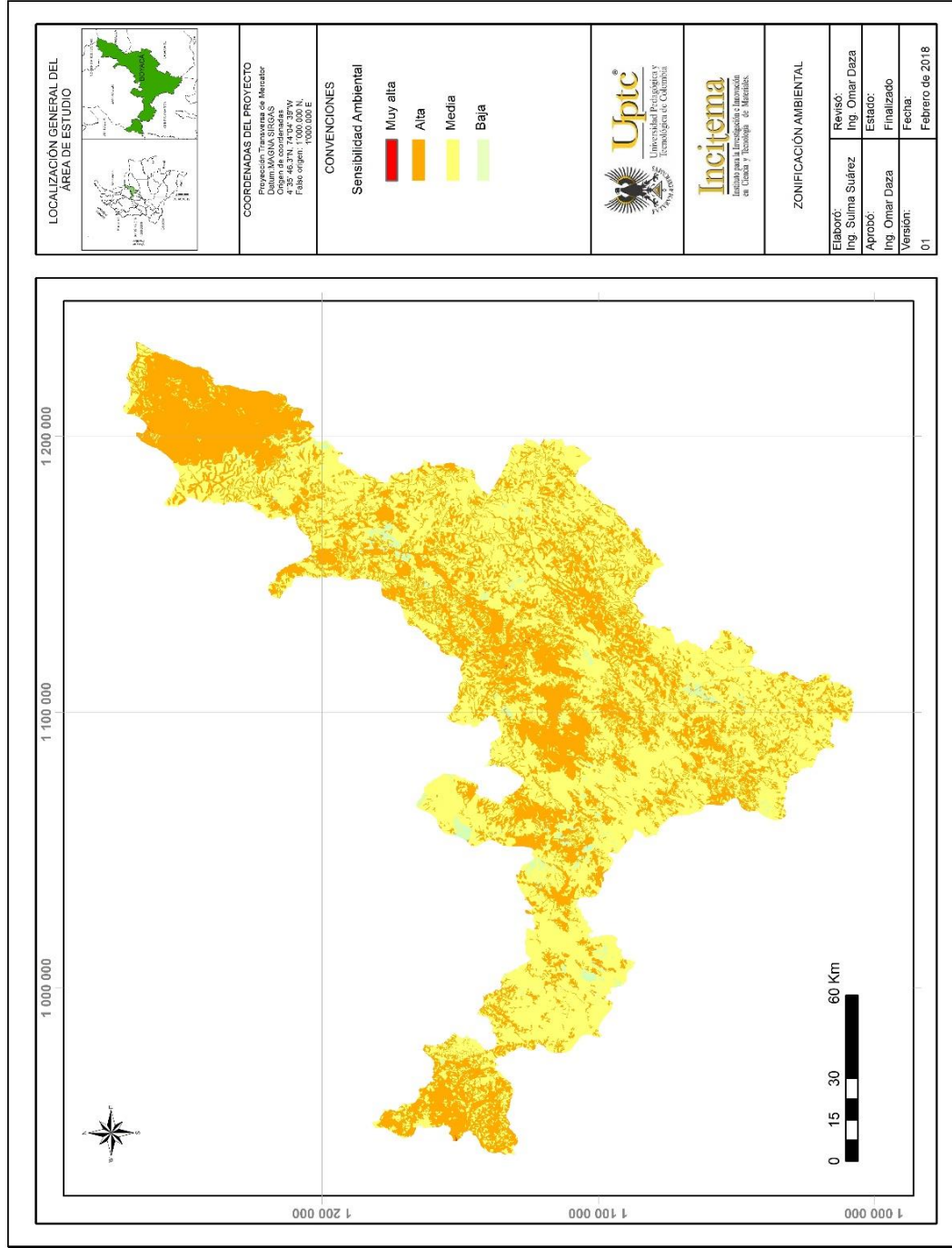
Figura 25. Proceso para obtener la zonificación ambiental.



Fuente: La Autora

A continuación se presenta el mapa de zonificación ambiental (figura 26), para el departamento de Boyacá, donde se distinguen cuatro categorías de sensibilidad ambiental (Muy alta, alta, media y baja). Siendo las más representativas la categoría de sensibilidad alta y media con porcentajes de territorio de 39.69% y 58.77% respectivamente. No se presenta ningún área en el departamento con sensibilidad muy baja lo cual indica que efectivamente para el desarrollo de un proyecto minero se deben tramitar los respectivos permisos ambientales que permitan el desarrollo de la actividad.

Figura 26. Mapa de zonificación ambiental para el departamento de Boyacá.

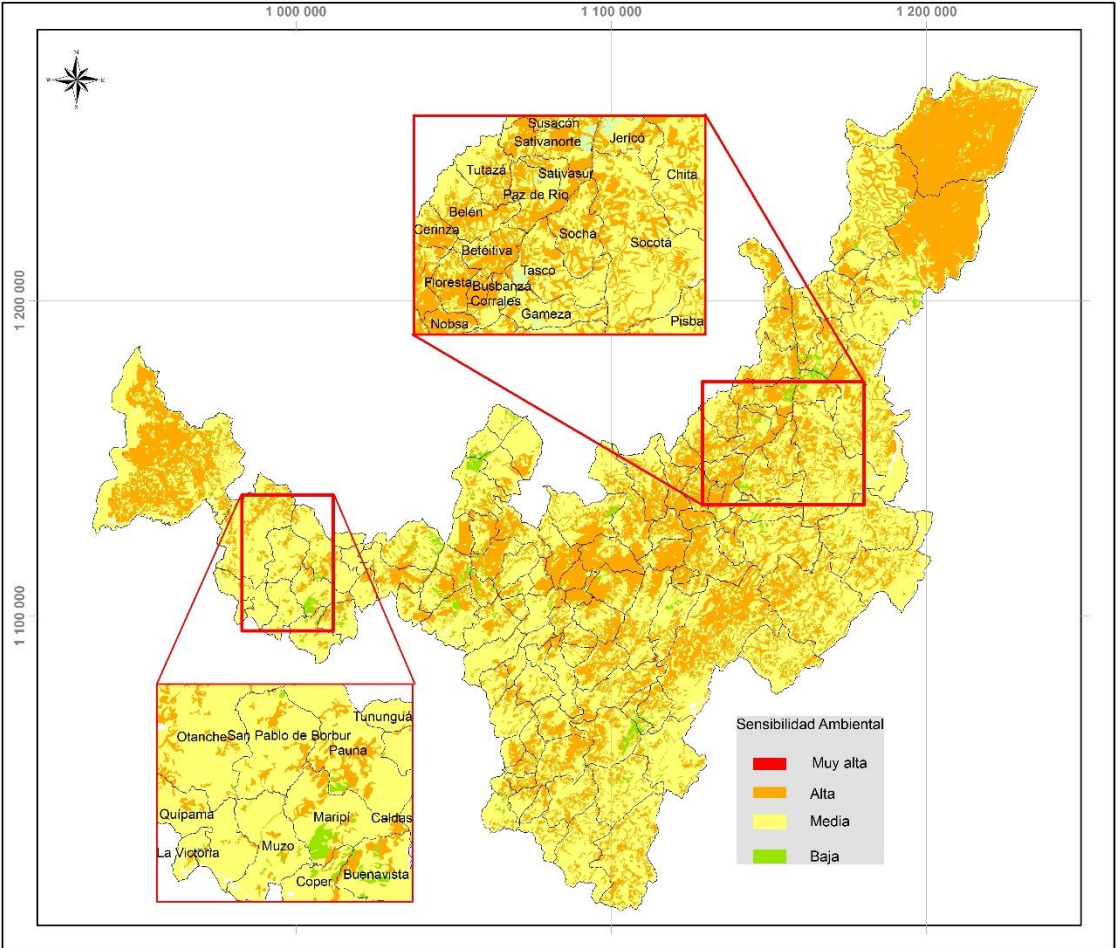


Fuente: La Autora

A partir de este resultado se presenta una aproximación espacial de las condiciones del territorio para planificar el aprovechamiento de los minerales. Por ejemplo se evidencia que la zona esmeraldífera del departamento de Boyacá presenta sensibilidad ambiental media, categoría que permite el aprovechamiento de minerales e involucra un costo de inversión en el tema ambiental. Figura 27.

Por otro lado la zona carbonífera localizada en los municipios de Jericó, sativa sur, paz del rio, entre otros, presenta sensibilidad ambiental en los rangos de media y alta, lo que representa estrictas medidas de manejo ambiental y operativo, para los titulares mineros.

Figura 27. Identificación de algunas áreas con potencial en recursos mineros.



Fuente: La Autora.

6.7 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para este momento se eligieron los títulos mineros (TM) contenidos en la tabla 29. La validación se realizó con la respectiva visita de campo. Es importante recordar que cuanto más sensible sea un área la idoneidad para las el desarrollo de unidades productivas es más baja.

Tabla 29. Información de los títulos mineros.

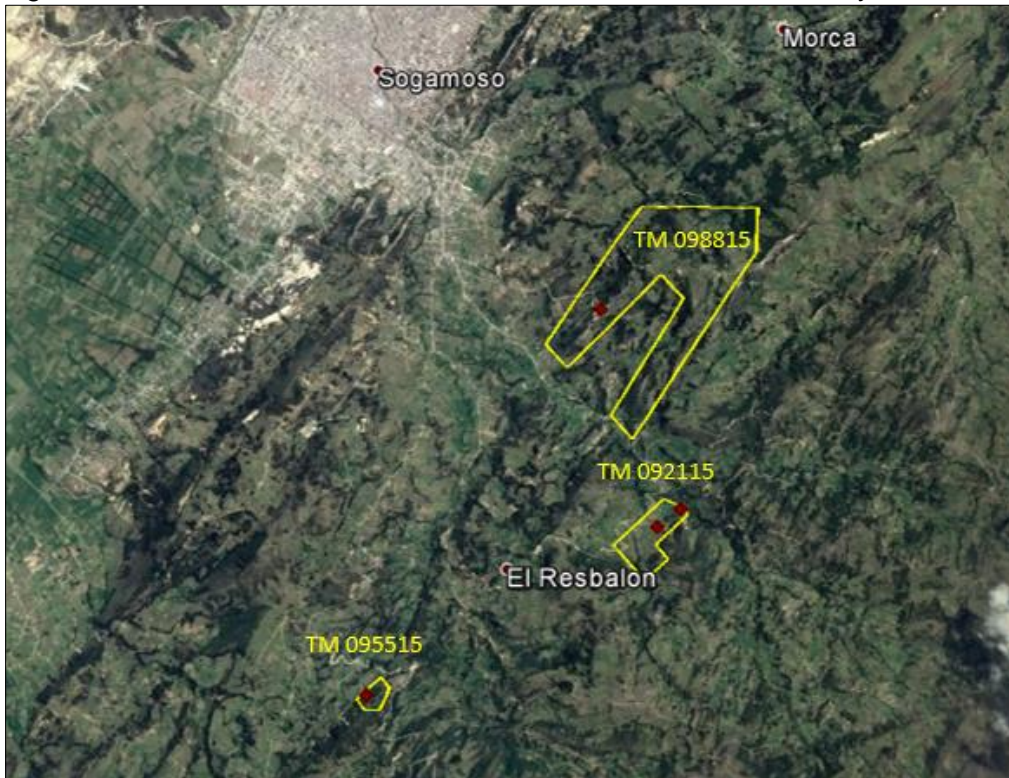
Título minero	Tipo mineral	Bocaminas	Municipio	Propietario
TM095515	ROCA FOSFORICA	BMTM08551 501	SOGAMOSO	Jaime patiño montañez
TM092115	ROCA FOSFORICA	BMTM09211 501 BMTM09211 502	SOGAMOSO	Empresa de fosfatos de boyaca
TM098815	ROCA FOSFORICA	BMTM09881 501	SOGAMOSO	Edgar octavio perez vanegas
TM105615	ROCA FOSFORICA	BMTM10561 501	IZA	Empresa de fosfatos de boyaca
TM128915	ROCA FOSFORICA	BMTM12891 501 BMTM12891 502	IZA	Genaro siachoque hernandez
TM143015	ROCA FOSFORICA	BMTM14301 501	TOTA	Ricardo alberto enciso sierra
TM00685M	MINERAL DE HIERRO	BMTM00685 01 BMTM00685 02 BMTM00685 03	PAZ DEL RIO	Minas paz del rio

Fuente: INCITEMA, UPTC, 2016

6.7.1 Títulos mineros 095515 (1) ,092115 (2) y 098815 (3), localizados en el municipio de Sogamoso.

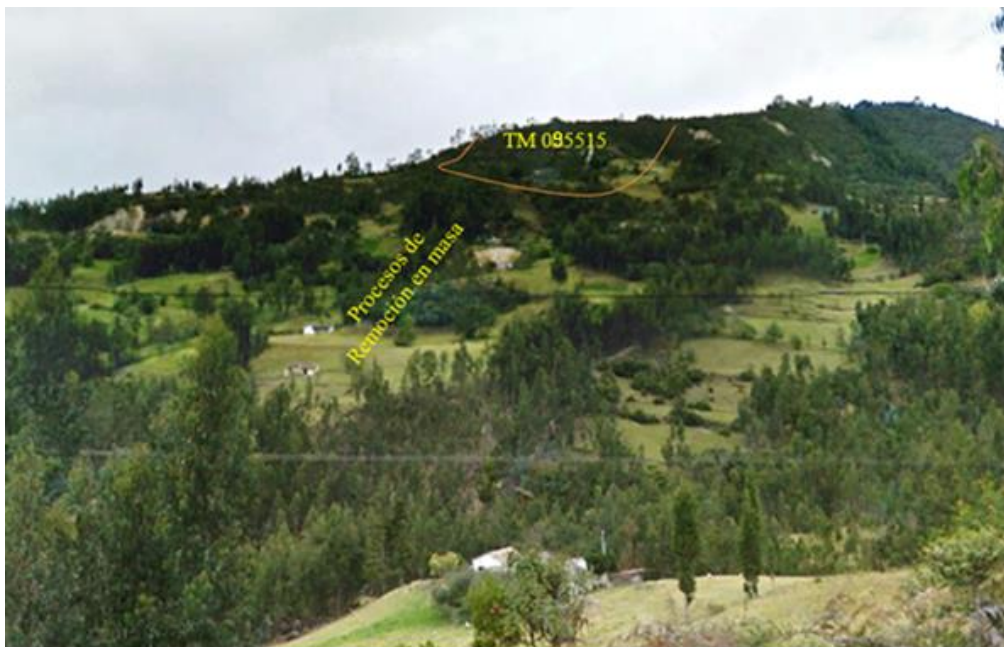
En la figura 28, se presentan la localización para los títulos mineros 085515, 092115 y 098815, donde se explota el mineral de roca fosfórica. La fotografía 1, evidencia las características paisajísticas del área donde se localiza el título minero 095515, obtenida en la validación realizada mediante trabajo de campo.

Figura 28. Localización de los títulos mineros 085515,092115 y 098815.



Fuente: Adaptado Google Earth, 2017

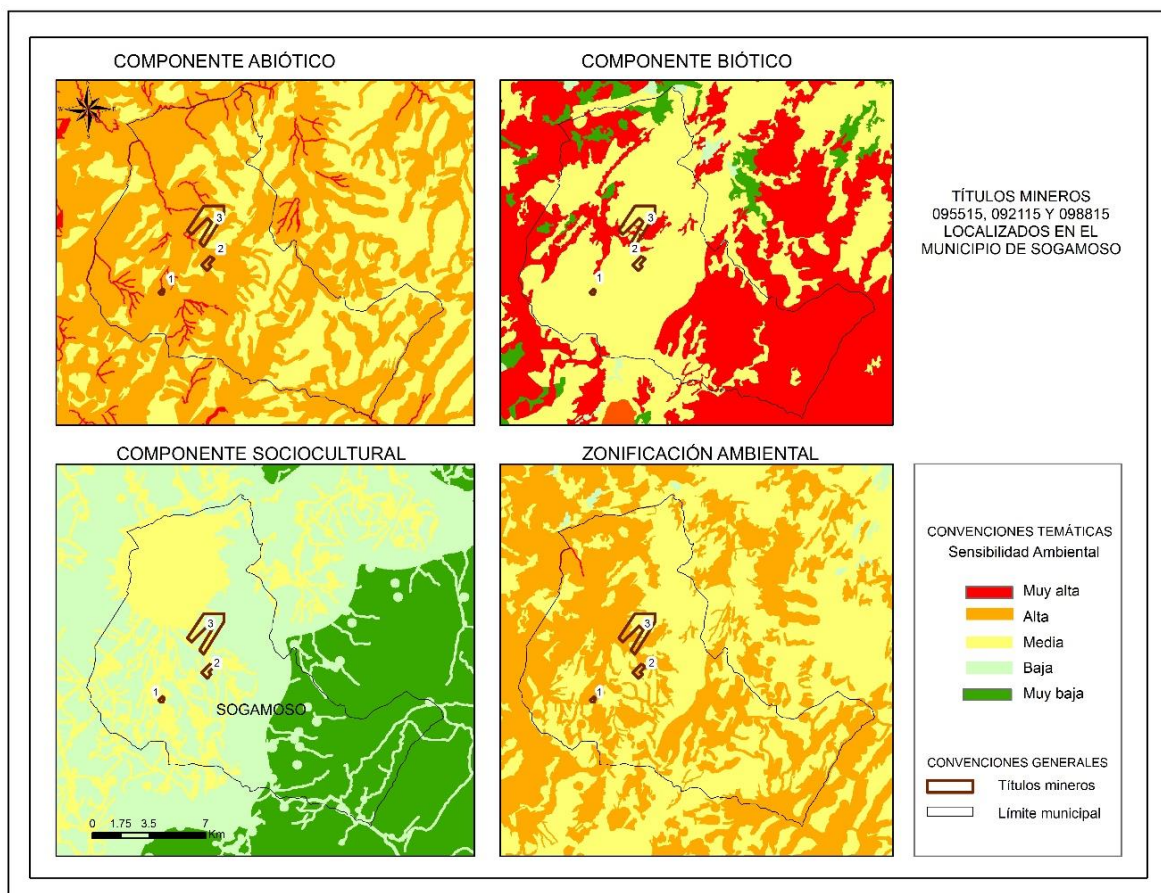
Fotografía 1. Vista regional del área donde se localiza el título minero 095515.



Fuente: La Autora

En la figura 29, se presenta el traslape de los títulos en estudio en cada uno de los mapas temáticos.

Figura 29. Títulos mineros 095515 (1), 092115 (2) y 098815 (3).



Fuente: La Autora

De la figura 29, se puede concluir lo siguiente: teniendo en cuenta el componente abiótico, los títulos mineros tienen una baja idoneidad para el desarrollo de proyectos mineros debido a su alta sensibilidad ambiental. Es un área donde se evidencian procesos de remoción en masa activos lo que evidencia la validez en la aplicación de la metodología.

Para el componente biótico se obtiene una idoneidad media para los proyectos mineros. Concepto que se valida en campo pues se observan pequeñas plantaciones forestales de eucalipto. No se observaron especies exóticas.

En cuanto al componente cultural se observa una idoneidad media, debido a las construcciones habitables que hay cerca de los títulos. Es de resaltar que en términos de licenciamiento minero no son una limitante por ser construcciones

dispersas. Sin embargo, debe velarse por el bienestar de sus habitantes conservando el buen estado de la infraestructura.

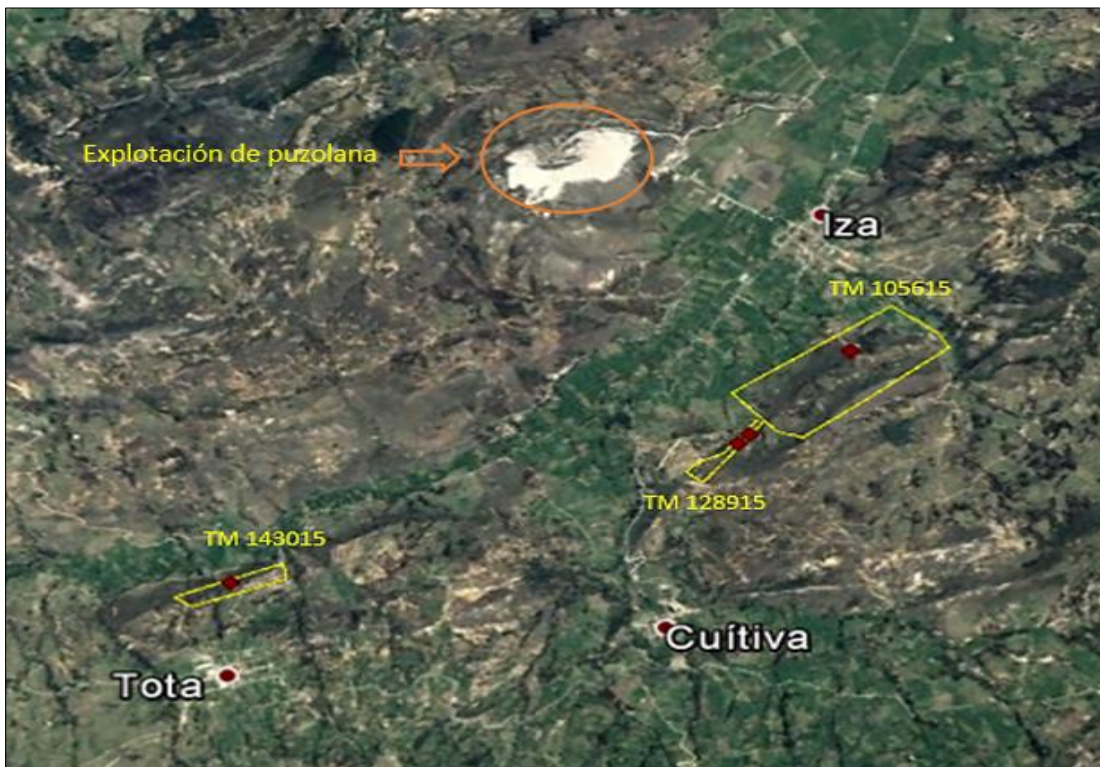
En términos generales la zonificación ambiental muestra que los títulos mineros se localizan en áreas donde la sensibilidad ambiental es media- alta, lo que implica la existencia de restricciones de carácter ambiental e inversiones económicas por parte de los operadores mineros.

6.7.2 Títulos mineros 105615, 128915 y 143015, localizados en los municipios de Iza y Tota.

En la figura 30, se presentan la localización regional de los títulos mineros 105615, 128915 y 143015, ubicados en los municipios de Iza, Cuitiva y Tota, el mineral explotado en las bocaminas que hacen parte de estos títulos es roca fosfórica.

La fotografía 2, muestra las características ambientales del territorio donde se localiza el título minero 105515. Una característica a resaltar es que las zonas de montaña a nivel regional presentan características físicas homogéneas.

Figura 30. Localización de los títulos mineros 105615, 143015 y 128915.



Fuente: Adaptado Google Earth, 2017.

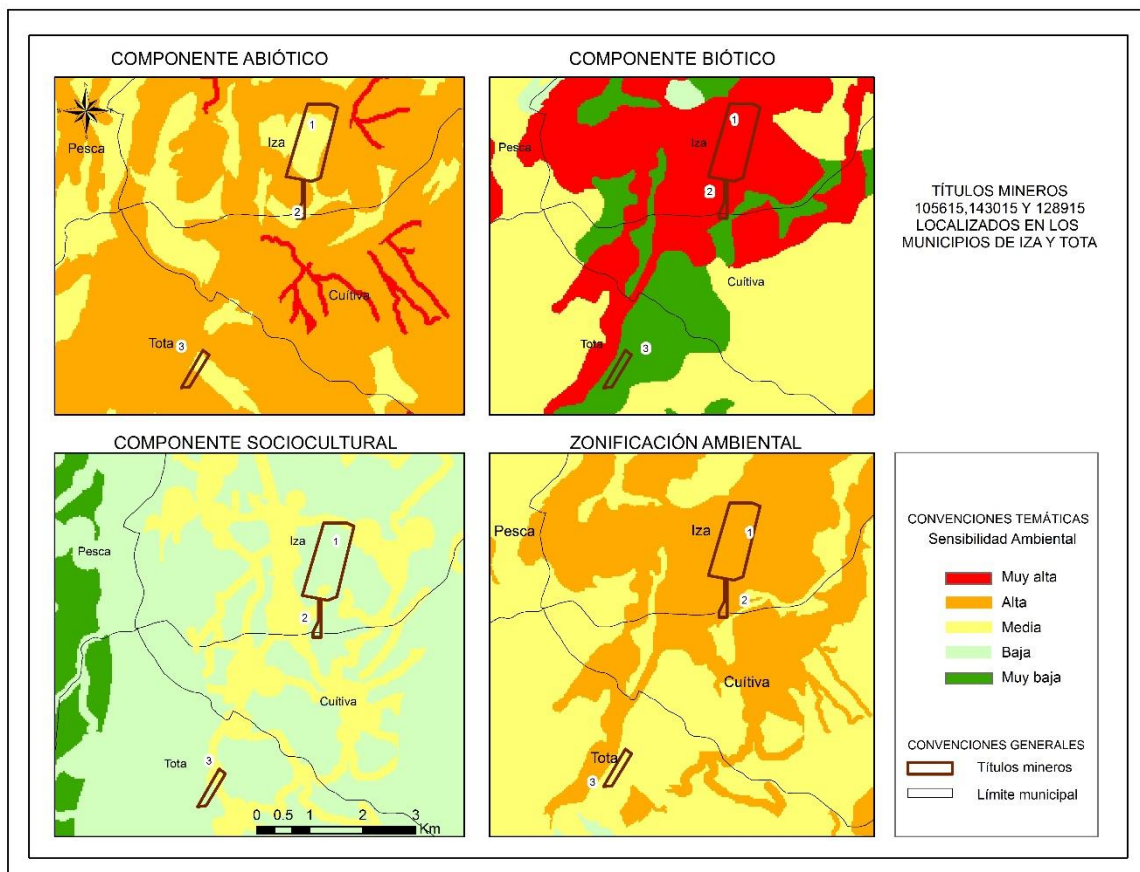
Fotografía 2. Vista regional del área donde se localiza el título minero 105515.



Fuente: La Autora

En la figura 31, se presenta el traslape de los títulos en estudio en cada uno de los mapas temáticos.

Figura 31. Títulos mineros 105615,128915 y 143015.



Fuente: La Autora

Luego del traslape de los títulos mineros con cada uno de los mapas temáticos (figura 31) se determinó que el territorio tienen una idoneidad categorizada de media a baja para el desarrollo de la actividad minera respecto al componente abiótico, en campo se evidencio que son características dadas por ser áreas montañosas, con susceptibilidad a presentar procesos de remoción en masa, incendios forestales y fenómenos sísmicos.

En cuanto al componente biótico se presenta un área con muy baja idoneidad en el área de los títulos minero 105615 y 128915 esto es debido a que existen zonas boscosas que corresponden a plantaciones forestales de eucaliptus y otras especies arbóreas, lo que favorece la habitabilidad de especies silvestres. Para el título 143015 se observa una alta idoneidad y de acuerdo a la imagen satelital se aprecia que es una zona desprovista de cobertura vegetal.

Para componente sociocultural se determinó que estas áreas tienen un grado de idoneidad alto, en campo se evidencio que son áreas con una mínima densidad poblacional y por tanto la demanda de bienes y servicios públicos es muy baja.

En términos de zonificación ambiental las áreas en estudio presentan una sensibilidad ambiental categorizada de media a alta, dada por las características fisiográficas de la zona. En este sentido los operadores mineros e inversionistas deben planificar los trabajos operativos con mayor rigor y estimar costos ambientales inherentes a la actividad.

A partir de la validación en campo se determinó que la explotación a cielo abierto de mineral de puzolana que se observa en la figura 30, localizada cerca de los títulos mineros en mención, se encuentra en una zona con baja sensibilidad ambiental y por tanto presenta condiciones que favorecen la operación minera. En la fotografía 3, se presenta una vista regional del área de explotación.

Fotografía 3. Explotación de mineral de puzolana.



Fuente: La Autora.

6.7.3 Título minero 00685, localizado en el municipio de Paz Del Rio, Tasco y Sativasur

En la figura 32, se presenta la localización del título minero 00685, donde se explota mineral de hierro, ubicado en los municipios de Paz Del Rio, tasco y sativa sur. Las fotografías presentadas hacen parte del área de influencia del título.

Figura 32. Localización del título minero 00685, municipio de paz del rio, Tasco y Sativasur.



Fuente: Adaptado Google Earth, 2017

Fotografía 4. Acopio mineral de hierro, planta de beneficio Santa Teresa – Minas Paz Del Rio y Centro urbano Municipio de Paz del Rio.



Fuente: La Autora

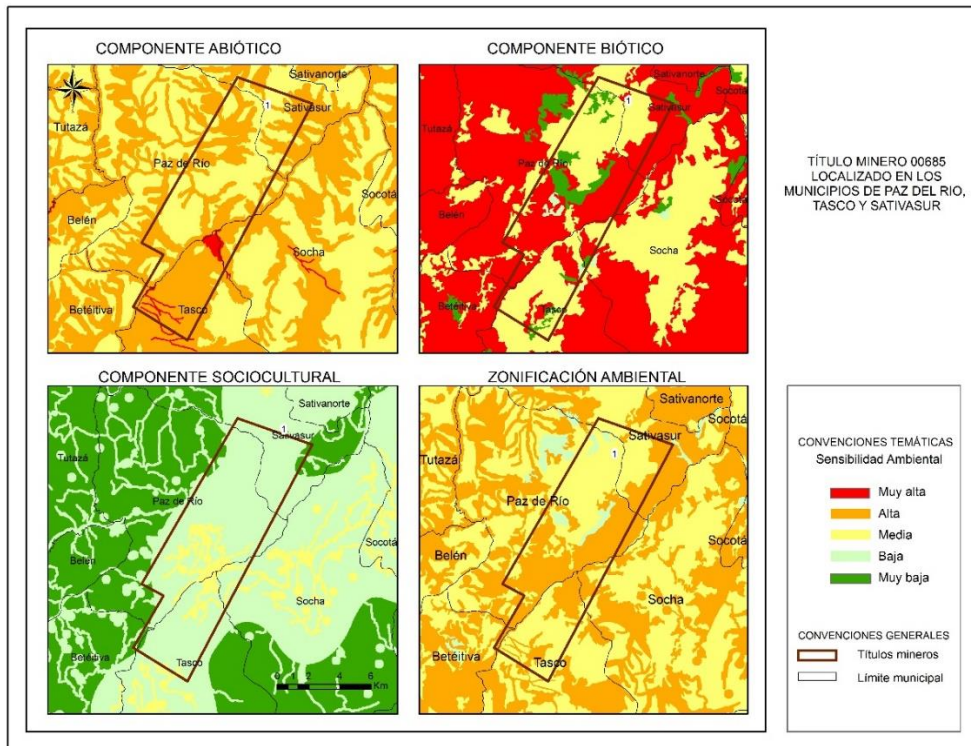
Fotografía 5. Intersección ríos Soapagá y Chicamocho. Municipio de Paz del Río.



Fuente: La Autora.

En la figura 33 se presenta el traslape de los títulos mineros en estudio con los mapas temáticos por componente.

Figura 33. Título minero 00685, localizado en el municipio de Paz Del Rio, Tasco y Sativasur.



Fuente: La Autora.

A partir de la caracterización ambiental se determinó que para componente abiótico se presenta una sensibilidad ambiental categorizada de media a alta, para el desarrollo de proyectos mineros, debido a que es un terreno susceptible a generar procesos de remoción en masa en algunas zonas. Así como inundaciones por la presencia de los drenajes permanentes denominados ríos Soapaga y Chicamocha importantes para la red hídrica departamental. Fotografía 5.

Para el componente biótico se tiene que la idoneidad es media, en campo se observó que las características florísticas corresponden a vegetación herbácea y arbustiva, con grandes extensiones de plantaciones forestales y en la ribera de los ríos se observa vegetación nativa lo que aumenta el valor ambiental de estas zonas.

En cuanto al componente sociocultural el sector norte tiene una alta idoneidad, no hay gran presencia de construcciones habitables en el sector y en el sector la demanda de servicios es nula. La idoneidad del sector sur es media, esto se debe a que se ubica la cabecera del municipio de Paz del Río y por lo tanto, aumentan la demanda de servicios y equipamientos públicos.

En términos generales, la zonificación ambiental muestra que este título tiene una media a baja idoneidad para el desarrollo de la actividad minera. Lo cual anticipa una alta inversión en el tema ambiental y social.

7. CONCLUSIONES

El departamento de Boyacá posee una gran riqueza ambiental que está inmersa en un proceso creciente de demanda de recursos naturales. Es el caso de los recursos mineros, que marcan uno de los sectores más importantes en la economía del departamento y el país, aun cuando sus sistemas de explotación y aprovechamiento en la mayoría de los casos, carecen de tecnificación y formalidad. De la revisión bibliográfica se puede concluir que los esfuerzos gubernamentales por potencializar esta actividad se enmarcan en los planes de desarrollo tanto de orden nacional como departamental, a partir de la inversión tanto de empresas nacionales como extranjeras.

En Colombia la actividad minera se fundamenta en el rendimiento industrial y financiero, basado en la percepción de regalías por parte del gobierno y la generación de empleos. De esta manera los mecanismos jurídicos y políticos vigentes para la reglamentación, obedecen a las necesidades marcadas en el desarrollo sostenible y la conservación del ambiente.

En este contexto, la metodología de zonificación ambiental propuesta, se presenta como una herramienta de gestión y diagnóstico que permite brindar una aproximación espacial de las condiciones del territorio boyacense, caracterizado por la abundancia y calidad en los recursos minerales, donde los resultados diferenciados por componente ambiental facilitan la interpretación, análisis y toma de decisiones; en la solución de conflictos e impactos a partir de la planificación ambiental de la actividad. Es preciso recordar, que si bien la metodología está diseñada para ser aplicada a proyectos mineros específicos en cualquier lugar, la confiabilidad de los resultados dependerá de la calidad de los datos de entrada.

Además, los resultados deben ser complementados con la correspondiente zonificación de manejo de la actividad sustentada en las bases jurídicas vigentes, lo cual permite brindar una especialización real del territorio.

En términos generales, la aplicación de la metodología muestra que el departamento de Boyacá presenta sectores propicios para el desarrollo de las operaciones mineras en municipios como Samacá, Sogamoso, Paz del Río, entre otros. Donde actualmente hay un porcentaje significativo de concesiones de títulos mineros y licencias ambientales aprobadas para la explotación de yacimientos. Sin embargo, las empresas mineras deben adoptar compromisos ambientales serios enfocados en el cumplimiento de los planes de manejo ambiental, así como atender los requerimientos que la autoridad competente considere pertinentes, siempre en procura de reducir los impactos ambientales adversos.

De acuerdo a las estadísticas obtenidas para la zonificación ambiental aproximadamente el 39,69% del territorio del departamento de Boyacá presenta una sensibilidad ambiental alta. Valor determinado por las variables y factores de ponderación con los cuales se desarrolló la metodología. Debido a la localización del departamento se puede concluir que entre los factores más incidentes se tienen la orografía y la vegetación que presenta.

Adicionalmente, en la zonificación final para el departamento no se presenta la categorización de sensibilidad ambiental muy baja, lo que indica que no existe un área en el territorio analizado totalmente idónea para el desarrollo minero, y aun cuando la sensibilidad es baja o media se deben aunar esfuerzos e invertir recursos para evitar las posibles afectaciones al ambiente.

Por otro lado, en el marco del desarrollo sostenible los pilares que deben conciliarse son el social, el ecológico y el económico. Factores que la zonificación ambiental persigue brindando las pautas técnicas necesarias para alcanzarlo. Sin embargo, a partir de las políticas del estado, en Colombia se ha creado una figura de decretos reglamentarios que facilitan el desarrollo de la operación minera aún en condiciones que representan un alto riesgo tanto ambiental como social. No obstante, es preciso señalar que la presencia de minerales en un área depende de condiciones netamente naturales, por lo que en muchos casos donde priman intereses generales es ineludible dar prioridad a esta clase de proyectos.

La zonificación ambiental contribuye a la ordenación y manejo del territorio, se constituye además en un ejercicio dinámico, flexible el cual debe ser revisado y ajustado constantemente de acuerdo a las dinámicas sociales optimizando los usos del territorio en unidades específicas, garantizar una oferta adecuada de bienes y servicios ambientales que respondan a los objetivos de manejo.

Por último, es importante recordar que la protección ambiental tiene un carácter estatal, social y personal, basado en un conjunto de medidas que se toman para cuidar el hábitat, donde el principal actor es el ser humano, individuo capaz de transformar. Esto implica, que la responsabilidad de frenar el deterioro ambiental y la contaminación es de todos, con la incorporación de nuevos hábitos y conductas que se transformen en ejemplos para las nuevas generaciones.

8. RECOMENDACIONES

Sí bien, el cálculo de ponderadores con el PAJ, presenta resultados consistentes que se ajustan con lo observado en campo. Se encuentra que hay dependencia entre los diferentes criterios analizados en la metodología, como es el caso de las vías que afecta el componente sociocultural y el componente biótico. Por lo tanto, se podrían aplicar otros métodos que consideren este tipo de dependencia espacial para evaluar el efecto sobre la zonificación ambiental.

Se recomienda la aplicación de la metodología en próximos trabajos a realizar, donde se disponga de información espacial de detalle de áreas mineras específicas, donde se evalúe y valide la consistencia de los resultados con la realidad del territorio.

También se recomienda la comparación de los resultados de esta metodología en proyectos específicos en operación, que cuenten con zonificación ambiental y se analicen los conceptos técnicos emitidos por la Corporación Ambiental, en este tema. Con el fin de determinar consistencia de juicios y resultados.

Se recomienda que las autoridades locales tengan en cuenta la metodología y los resultados de la zonificación ambiental en la formulación de los planes de ordenamiento territorial del departamento, los cuales se encuentran en actualización, con el fin de prevenir y mitigar los impactos generados por las actividades económicas y sociales. Y se establezcan lineamientos para que los planes de desarrollo estén acordes con los planes de ordenamiento territorial.

Para cada una de las partes, autoridades, inversionistas y operadores se recomienda analizar cada uno de los mapas temáticos obtenidos durante el desarrollo de la zonificación, de esta manera se establecerán prioridades y limitaciones específicas, para el desarrollo del proyecto.

Antes de aplicar la metodología es importante que se disponga de los datos espaciales mínimos establecidos para cada componente. Pues si bien es cierto, que esta metodología es dinámica, los datos de entrada deben presentar la misma escala y tener asociada una categorización que permita su valoración. Pues sólo de esta manera se garantiza la consistencia en los resultados.

9. BIBLIOGRAFÍA

AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES (ANLA). Términos de Referencia Para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental –EIA- Proyectos de Explotación Minera. 2016.

ARROYAVE, María del Pilar, *et al.* Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. En: Revista EIA, Junio 2006, ISSN 1794-1237. No 5. p. 45-57.

BARZETTI, Valerie. Parques y progreso. Áreas protegidas y desarrollo económico en América Latina y el Caribe. UICN- BID. 1993.

BELMONTE, P. Los impactos ambientales de las líneas e infraestructuras eléctricas. En: Ecologistas en acción. España: región murciana, 2015. p 1-11.

BURGGREN, W. *et al.* Torday J The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. Published by Oxford University Press. 2010.

CAMARGO, G y SALAZAR. Elementos de hidráulica para ingenieros. Ed. UACH. México. 1988.

CAMPOS, Ana, *et al.* Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas. 1 ed. Bogotá D.C. Banco mundial de Colombia, 2012.

COLOMBIA, Instrucción de carreteras. Norma3.1-IC. Trazado. Ministerio de Fomento. Dirección general de carreteras. 2000.

COLOMBIA. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÀ. Decreto 190. (22, junio, 2004). Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los decretos distritales 619 de 2000 y 469 de 2003. Registro distrital 3122. Bogotá D.C. 2004. Art. 77 y 78.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN NACIONAL. Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018). Bogotá D.C. 2014.

COLOMBIA. IDEAM, IGAG y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena –Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Programa de exploración de aguas subterráneas. Bogotá. 2004.

COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE INVIAS-INVIAS. Manual de diseño geométrico de carreteras. 2009. pág 1-12.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2245. "Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas. Bogotá D.C. Diciembre. 2017

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto Ley 2811 de 1974. Por el cual se establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C 1974.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. Bogotá D.C. 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041 de 2014. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Bogotá D.C. 15 de Octubre de 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2372, art 2. Bogotá D.C, 2010

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Censo minero departamental (2010-2011). Bogotá D.C. Julio de 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Informe de gestión 2016-2017. Bogotá D.C. 2017.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Política Nacional para la Formalización de la Minería en Colombia. Bogotá D.C. Julio de 2004.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Subdirección de Información Minero Energética. Cadena del carbon. Bogotá D.C. ISBN : 978-958-8363-12-7. 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Ley 1228. Por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras y se dictan otras disposiciones. Art 1. 2008.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ. Gestión del Riesgo. Capítulo VII. 2006. pág 227-239.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE BOYACÁ. [Página oficial]. Gestión del riesgo capítulo VII [En línea]. [Citada, febrero de 2018]. Disponible en internet: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-del-riesgo.pdf>

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA [Pagina Oficial]. Cobertura Vegetal [En línea]. [Citado, 08 de julio de 2107]. Disponible en internet: <http://www.crc.gov.co>.

DELGADO, Alexi y ROMERO, I. Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy – weight method. En: Journal Environmental Modelling & Software. Vol 77. Marzo de 2016. p 08-121.

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Organización de los Estados Americanos Washington D.C. 1991. Parte I.

DI GREGORIO, Antonio. LAND Cover Classification system, software versión 3. ISBN 978 – 92 -5 109017-6. 2016

DING, Q. *et al.* Effects of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. En: Science Direct. *Science of The Total Environment*, Vol. 578 Febrero de 2107. Pág 577–585.

ESRI. What is GIS. [En línea]. [Citado, 01 de febrero de 2017]. Disponible en internet: <https://www.gis.com/whatisgis/index.html>.

G. Korte. The GIS Book (5th Ed. Rev.). Autodesk Press, 2001.

GÁMIR. Agustín. RUIZ, Mauricio y SEGUÍ Joana. Prácticas De Análisis espacial. Barcelona: Oikos-tau. 1995

GARZÓN, Pablo. Evaluación de la Amenaza Sísmica de Colombia mediante análisis de valores extremos históricos. Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería con énfasis en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. 2011

GEMSELECT. Introducción sobre las Gemas. [En línea]. [Citado, 26 de Julio de 2017]. Disponible en internet: <https://www.gemselect.com/spanish/gem-info/emerald/emerald-info.php>.

GOMEZ, Juan. El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) y la Toma de Decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación. *Scientia et Technica* Año XIV, No 39, Septiembre de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701
GOBERNACION DE BOYACÁ. Martínez Andrés. Toda Colombia. [En línea]. [Citado, 28 de Diciembre de 2017]. Disponible en internet: <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/boyaca.html>

¹ Secretaria de Minas y energía. Gobernación de Boyacá.2008

GOBERNACION DE BOYACÁ. [Página Oficial]. Plan de desarrollo 2016-2019, “creemos en Boyacá”. [En línea]. 06 de Junio de 2016 [Citado, 04 de Agosto de 2016]. Disponible en internet: <<http://www.boyaca.gov.co/gobernacion/politicas-planes-y-programas/9498-pdd-boyaca-2016-2019>>.

GOBERNACION DE BOYACÁ [página oficial], Hidrografía Boyacense. [En línea], 21 de junio de 2012. [Citado, 04 de junio de 2016]. Disponible en internet:<<http://www.boyaca.gov.co/prensa-publicaciones/mi-boyac%C3%A1/hidrografia-boyacense>>.

GÓMEZ, Domingo y GÓMEZ, María. Evaluacion del Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Ed 7. España. ISBN 13: 9788484766438. 2013

HASLAM, Paul y ARY-TANIMOUNE, Nasser. The Determinants of Social Conflict in the Latin American Mining Sector: New Evidence with Quantitative Data. En: Science Direct. World Development. Vol. 78. Febrero de 2016. pág 401–419.

HEREDIA-VIVEROS, Nohora “Gerencia de Compras: La nueva Estrategia competitiva”, ed 1, ECOE Ediciones, Colombia.2007.

HENDRYCHOVÁ, Markéta y KABRNA, Martin. An analysis of 200-year-long changes in a landscape affected by large-scale surface coal mining: History, present and future. En: Science Direct, *Applied Geography*, Vol.74, Septiembre de 2016. Pág 151–159.

HERBET, Simon, “The New Science of Management Decision”, Harper and Row, New York. 1960.

HERNANDEZ-JATIB, Naisma, *et al.* Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción la Inagua, Guatámo, Cuba. En: Luna Azul. Junio de 2014. No 38. ISSN 1909-2474. pág. 146-158.

HIGUERA, Rodolfo. Minería de carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial de desarrollo. En Revista Zero (Universidad Externado de Colombia). ed. 33. Agosto de 2015.ISSN electrónico: 2344-8331, ISSN impreso: 2344 - 8431.

HUISMAN,O. Principles of Geographic Information Systems An introductory texbook. ed 4.. Eschede, The Netherlands: ITC Educational Textbook Series. 2009. INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICA SINCHI; INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO (INADE). Zonificación ambiental de cuenca del río Putumayo. Colombia, Perú .2006.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM. Coberturas de la tierra. [En línea]. [Citado, 01 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. 2006. Pág. 3.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA –IIAP. Zonificación Ecológica Económica de la Provincia de Tocache. Capitulo 6.2 numeral b. Peru, Agosto de 2010.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá. Bogotá D.C. 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA. Procesamiento de materias ferrosas. México. 2013.

INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Norma 3.1-I.C. Trazado. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras.2000.

LECHNER, Alex. *al et*. Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. En: science Direct, Environmental Modelling & Software, Vol. 93. Julio de 2017. pág. 268–281.

MALCZEWSKI, Jacek. GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey Of The Literature. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 20, N° 7. Agosto 2006, pág. 703 – 726.

MEXICO. Ley general de asentamientos humanos. 2014

MINA DE PIEDRAS. Yacimientos de esmeraldas. [En línea]. [Citado, 27 de Julio de 2017]. Disponible en internet: <http://www.minadepiedras.com/es/la-esmeralda/yacimientos-de-esmeraldas.html>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Diagnóstico de aguas subterráneas. 2012

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. [Página oficial]. Diagnóstico de las Aguas Subterráneas. [En línea]. [Citado, 04 de febrero de 2017]. Disponible en internet:<<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1631-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Glosario Técnico Minero. Bogotá D.C, Agosto de 2003. Pág. 108.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Ley 685 de 2001 por la cual se expide el Código de minas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. 2001. Art. 10.

MOEINADDINI, Mazaher. *et al.* Siting MSWlandfill using weigted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (Case study: Karaj).En: Science Direct. Vol 30. Mayo de 2010. p 912 920.

MORALES, Jhonatan y RODRÍGUEZ, Ramón. A profile of corporate social responsibility for mining companies present in the Santurban Moorland, Santander, Colombia. En: Science Direct. *Global Ecology and Conservation*. Vol.6, Abril de 2016. pág 25–35.

NATIONAL GEOGRAPHIC [página oficial]. Amenazas de la Urbanización. [En línea]. 5 de Septiembre de 2010. [Citado, 10 de Marzo de 2017]. Disponible en internet:<<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/amenazas-de-la-urbanizacion>>

NAVARRA, Monica. Metodología de valoración del paisaje empleando ArcGis en la cañada de fuente lagarto (Garganta de Los Montes). Trabajo master en tecnologías de la información geográfica. Madrid. España. 2015.

OLAYA, Víctor. Siatemas De Información Geográfica. CreateSpace Independent Publishing Platform (Amazon). España 2014.

OJASTI, Juhani. Manejo de fauna silvestre neotropical. Instituto de Zoología Tropical. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 2000. pag. 19-22.

PARRA-LARA, Á. et al. Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Universidad Autónoma de Occidente, PNUMA, y Red colombiana de formación ambiental, ed.1. Cali. 2011.

RAMIREZ, Mónica; MONTOYA-LERMA James y ARMBRECHT, Inge. Importancia de la heterogeneidad de hábitats para la biodiversidad de hormigas en los Andes de Colombia. En: Acta Agonómica. Vol 58. No 2. p. 97-102, 2009. ISSN electronico 2323-0118. ISSN impreso 0120-2812.

RANÄNGEN, Helena & LINDMAN, Åsa. A path towards sustainability for the Nordic mining industry. En: Science Direct, Journal of Cleaner Production, Vol. 151, Mayo de 2017. pág. 43–52.

RODRIGUEZ, Antonio y SOLANO, Orlando. Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. Memoria Explicativa. Enero. 2008.

RODRÍGUEZ, Héctor. Persiste la crisis en la minería de carbón térmico en Boyacá. [En línea]. El Tiempo. [Citado: 05 de marzo de 2017]. 2012. Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13057175>.

RODRÍGUEZ, Paulo. CUBILLOS Alexander. Elementos para la valoración integral de los recursos naturales: un puente entre la economía ambiental y la economía ecológica Una revisión de bibliografía. Gestión y Ambiente. Volumen 15. Nº 1. ISSN electrónico 2357 – 5905. ISSN impreso 0124 – 177X. 2012.

RODRIGUEZ, Sandra. Localización de áreas de potencial explotación minera que no afecten la dinámica ambiental y territorial del Municipio de Marmato, utilizando sistemas de información geográfica. Trabajo de grado Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Manizales. 2012. P 1-67

SAATY, Tomas. Decision making with the analytic hieracchy process. En: Services Sciences. Vol 1. No 1. 2008.

ŞALAP, Seda; KARSLIOĞLU, Mahmut y DEMIREL, Nuray. Development of a GIS-based monitoring and management system for underground coal mining safety. En: Science Direct, International Journal of Coal Geology, Vol.80 Noviembre de 2009. pág 105–112.

SECRETARIA DE MINAS Y ENERGÍA. Prospectos, Manifestaciones y Yacimientos de Minerales. Boyacá. 2008

SEGRELLES, José. Problemas ambientales , agricultura y globalización en America Latina. En: Scripta Nova. Universidad de Barcelona. 1 de julio de 2001. No 92. ISSN: 1138-9788.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO [Página oficial]. Sismicidad en Colombia [En línea]. [Citada, febrero de 2018]. Disponible en internet: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/

SHARP Richard, *al et.* InVEST 3.3.3 User Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. 2015.

SINCHI-IDEAM-HUMBOLDT-UAESPNN-IGAC. 2009.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Plan de desarrollo del subsector carbón. Zonas Carboníferas de Colombia. 2010.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). The United Nations World Water Development Report. 2016.

XIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TELEDETECCIÓN (Calatayud, 23-26 de Septiembre de 2009). Memorias . pag 229-232.

ZHON-WU. Li, *et al.* The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly región based in GIS – A case study in Changsha City, China. En: Science Direct. Vol 202. Abril 2007. P 540-546.