

BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA GESTIÓN DEL SUELO-SUBSUELO

CÉSAR ROJAS*
JOSÉ LEONARDO BOCANEGRA**
JUANA MARIÑO DE POSADA***

Resumen

Las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos de suelo y subsuelo proveen diferentes servicios ecosistémicos para el bienestar de la sociedad. No obstante, el desarrollo de actividades mineras ignora la estructura ecológica como herramienta para la planificación territorial, llevando a conflictos socioambientales que ponen de manifiesto la necesidad de establecer acciones de gestión a

partir de las sinergias entre políticas y normas intersectoriales que permitan la armonización de instrumentos de gestión territorial, procurando la conservación, la restauración, el conocimiento, el uso sostenible y la gestión del riesgo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: minería, política ambiental, gestión ambiental, biodiversidad, servicios ecosistémicos.

* Master en economía ambiental. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. crojas@humboldt.org.co

** M. Sc. en Microbiología. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. jbocanegra@humboldt.org.co

*** Especialista en ordenamiento territorial. Consultora en Ordenamiento Territorial, Bogotá, Colombia. jmarinod@gmail.com

Recibido: 25 de marzo de 2014 / Modificado: 28 de mayo de 2014 / Aceptado: 4 de junio de 2014.

Para citar este artículo

Rojas, C., Bocanegra, J. L., Mariño de Posada, J. (2014). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la gestión del suelo-subsuelo. *OPERA*, 14, pp. 9-26.

Agradecimientos al equipo de trabajo del Programa de Política Legislación Apoyo a la Toma de Decisiones del Instituto Humboldt. También a los evaluadores por sus pertinentes comentarios.

BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES IN SUBSOIL AND TOPSOIL MANAGEMENT

Abstract

Interactions between the abiotic and biotic components of topsoil and subsoil provide different ecosystem services key to human wellbeing. However, in many cases mining activity avoids the ecological structure as an opportunity and tool to strengthen land use planning strategies, resulting in socio-environmental conflicts. This situation makes evident the need to take actions to define and harmonize the different instruments on land use planning, in order to take actions for the conservation, restoration, knowledge, sustainable use and risk management of biodiversity and ecosystem services.

Key words: Mining, environmental policy, environmental management, biodiversity, ecosystem services.

INTRODUCCIÓN

La minería en los últimos años se ha convertido en la principal apuesta para el crecimiento económico de Colombia, producto de las expectativas de precios e inversión extranjera (Martínez, 2012). No obstante, este modelo extractivista basado en la explotación de minerales e hidrocarburos exige cambios en el rol del Estado, a fin de generar una legislación que facilite su promoción, que en la mayoría de los casos ha creado tensiones en la forma de uso y ocupación del territorio y la legislación ambiental del país. Estas tensiones

han sido particularmente evidentes en las decisiones relativas a la explotación del subsuelo, fundamentadas en las diferentes visiones de uso del suelo que han hecho que su conceptualización tienda a concebirse parcialmente desde visiones agropecuarias, económicas, catastrales, mineras y biológicas, entre otras, ya que esas perspectivas parciales ven al suelo como “recurso natural” sin las consideraciones adecuadas de biodiversidad (BD) y servicios ecosistémicos (SS.EE.).

Consiguientemente, las múltiples miradas del uso del suelo reflejan la variedad de intereses y han dado lugar a regulaciones sectoriales y parciales que, además, resultan ambiguas y contradictorias en algunos casos limitadas a principios de mercado. Este enfoque sectorial ha hecho que la gestión del suelo se haya considerado a partir de los subcomponentes de capa superior (suelo) y capa subterránea o no suelo (subsuelo). No obstante, en las dos últimas décadas se han realizado estudios que muestran la importancia de la interacción entre el suelo y el subsuelo en el control de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Wardle *et al.*, 2004; Bardgett y Wardle, 2010).

A pesar del reconocimiento de la importancia de las interacciones y los procesos de los componentes bióticos y abióticos que ocurren en el conjunto del suelo (suelo-subsuelo), y que se encuentran estrechamente vinculados a la funcionalidad de los ecosistemas y a su capacidad de generación de servicios básicos y vitales para la sociedad, la gestión del suelo ha sido objeto de aproximaciones sociales, económicas y normativas diferentes y, en muchos casos, independientes. Esta diferenciación se

ha fundamentado en dar preponderancia a la definición de la propiedad del suelo y el subsuelo y, por consiguiente, de las funciones y competencias en materia de intervenciones relacionadas con derechos y limitaciones sobre su uso y apropiación.

Lo anterior ha hecho que las tensiones por el uso y la ocupación del territorio sean cada vez más evidentes, a pesar de lo señalado por algunas disposiciones, como por ejemplo, el artículo 1 del Decreto 2811 de 1974, en el cual se dispone que: “el ambiente es patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. La preservación y el manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social”. Por ello, es evidente que si se da aplicación a lo dispuesto en el artículo anterior y los artículos 1 y 58 de la Constitución Política de Colombia, debería privilegiarse el interés general representado en el mejor uso del territorio a partir del cual se reconozca que a la propiedad y los derechos particulares les es inherente una función social y ecológica inaplazable.

Se hace entonces necesaria una reflexión de fondo sobre el carácter de la globalización como fenómeno físico, biológico y social, tanto negativo como positivo, la cual permita que la investigación, como el desarrollo legislativo asociado a la gestión del suelo (suelo-subsuelo), vaya más allá de la explotación y extracción de los recursos naturales no renovables. En este sentido, el presente documento propone una aproximación a la incorporación de consideraciones de la BD y los SS.EE. por medio de

acciones de política con el fin de promover su gestión integral a partir de la implementación de las acciones de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) en Colombia, de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socioecológicos a escalas temporales y espaciales en donde confluyan diferentes actores de manera coordinada y concertada.

EL SUELO Y EL SUBSUELO

La edafología define el suelo como la parte de la superficie terrestre en contacto con la atmósfera formado por un complejo de fragmentos orgánicos y minerales, el cual evoluciona y puede ser dividido en subcomponentes, generando una organización en horizontes que forman el conjunto denominado perfil edáfico, el cual está determinado por la influencia de cinco factores: clima, biota, naturaleza del material parental, relieve y tiempo (Bockheim, Gennadiyev, Hammerc y Tandarich, 2005). Los distintos horizontes que lo caracterizan buscan explicar los fenómenos asociados a su formación (génesis) y se clasifican en dos tipos (Soil Survey Staff, 1998):

- Horizontes genéticos: son aquellos que intentan interpretar la génesis de los suelos de maneras subjetivas y utilizadas para describir el perfil de los mismos.
- Horizontes de diagnóstico: son aquellos que tienen una serie de propiedades iguales y medibles, utilizadas para la identificación de las unidades de suelos.

De esta manera, con base en los fundamentos de clasificación y estructuración del suelo se hace una diferenciación entre lo que se entiende por suelo y no suelo. La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés) lo define como la capa superficial terrestre de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen—clima, topografía, biota (macro y microorganismos), material parental y tiempo—, y que debido a la interacción de estos difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por tanto, el suelo ya no es roca ni sedimento geológico, sino un producto proveniente de las alteraciones e interacciones que experimentan estos materiales (Bardgett, 2005).

Por otro lado, el no suelo se ha relacionado con el subsuelo, el cual es entendido como las capas de sedimentos y roca dura o materiales terrestres virtualmente desprovistos de animales, raíces u otras marcas de actividad biológica (Soil Survey Staff, 2006). No obstante, el límite inferior que separa al suelo del no suelo subyacente es el más difícil de definir, ya que la profundidad inferior de la actividad biológica y los procesos ecosistémicos no son fáciles de delimitar (Soil Survey Staff, 2006). Por ello, las funciones y los servicios que tienen lugar en el suelo y el subsuelo, tales como la regulación y la distribución del flujo de agua o como amortiguador de los efectos de diversos contaminantes, entre otros, sigue siendo algo poco conocido (Soil Survey Staff, 2006; Kennedy y Smith, 1995).

Sin embargo, los límites horizontales del suelo en su conjunto van a variar dependiendo de las regiones ya que cuando este cambia a aguas profundas, áreas estériles, rocas o hielo, la separación entre suelo y no suelo es tan gradual que no se pueden hacer claras distinciones por las dinámicas de las interacciones que existen entre los componentes bióticos y abióticos (Soil Survey Staff, 2006).

Adicionalmente, el suelo y el subsuelo se han definido en el marco jurídico relacionado con la tenencia, la cual indica de qué manera pueden asignarse dentro de las sociedades los derechos de propiedad de la tierra (se utiliza “tierra” para englobar suelo-subsuelo y todos los recursos naturales que en ellos se pueden encontrar), que a su vez orientan la forma como se otorga el acceso a los derechos de utilizar, controlar y transferir la tierra, así como las pertinentes responsabilidades y limitaciones. En síntesis, la forma, el tiempo y los criterios bajo los cuales se define cómo se usan los recursos son estipulados a través de los sistemas de tenencia de la tierra (FAO, 2003).

RELACIÓN SUELO, SUBSUELO Y BIODIVERSIDAD

Como se vio en el apartado anterior, desde diferentes niveles, tanto técnicos como jurídicos, se ha separado lo que se entiende como suelo y subsuelo. Sin embargo, esta visión no reconoce de manera integral los procesos y las funciones que se dan entre el suelo y el subsuelo llevando a que el suelo de forma particular carezca de una definición universal aceptada, siendo definido de diferentes maneras, dependiendo del área de interés y la época (Certini y

Ugolini, 2013). Desde una visión geotécnica, el suelo es el material sin consolidar que se encuentra sobre el lecho rocoso; la ingeniería civil señala que el suelo es un material en el cual se puede excavar, y que dicha propiedad se relaciona directamente con la obra que se va a construir sobre él o con él; desde la agricultura, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la tierra y que es explotada por las raíces de las plantas para obtener sostén, nutrimentos y agua (Parr, Papendick, Hornick y Meyer, 1992).

No obstante, tan solo cuando se analizan los diferentes procesos y funciones que se dan en el suelo y el subsuelo es cuando se logra entender el suelo como un todo, un solo ecosistema que integra la visión fragmentada de los dos (Wardle *et al.*, 2004). Entendiendo la complejidad de los suelos se puede pensar en diferentes interacciones entre sus propiedades biológicas, físicas y químicas, que influyen de diversas formas sobre los procesos que se llevan a cabo en el suelo; de ahí que separar las funciones del suelo y el subsuelo en químicas, físicas y biológicas no es fácil debido a que estos procesos son normalmente dinámicos e interactivos y cualquier propiedad del suelo puede ser relevante para muchos atributos o funciones del suelo-subsuelo simultáneamente (Paul, 2007).

Dado lo anterior, los procesos ecosistémicos en el suelo son las acciones químicas, físicas o biológicas que relacionan a los organismos con su entorno; ejemplos de aquellos procesos son la transferencia de energía, materia u organismos entre reservorios dentro de un ecosistema, la producción primaria, la descomposición, la respiración heterotrófica, el flujo

y ciclaje de elementos y la evapotranspiración (Lovett, Jones, Turner y Weathers, 2005). Por su parte, la función ecosistémica se refiere al comportamiento de un ecosistema, el cual es consecuencia de uno o varios procesos ecosistémicos, como la retención de nutrientes, la producción de biomasa y el mantenimiento de la diversidad, entre otras. Se puede decir que la función ecosistémica es la tasa o el nivel en el que se llevan a cabo procesos ecosistémicos (Lovett *et al.*, 2005), los cuales pueden proveer bienes y servicios de valor para los humanos (De Groot y Bousmann, 2002).

Las funciones de los ecosistemas están reguladas por la interacción de factores abióticos y bióticos (Six, Bossuyt, Degryze y Denef, 2004). Dicha interacción es controlada por diferentes mecanismos en los que de alguna manera tienen influencia la diversidad biológica (Myers, 1996) y la identidad de los organismos que componen el ecosistema. Un mecanismo por el cual se puede explicar el efecto de la diversidad en la función ecosistémica es el de los efectos de complementariedad (Loureau, 2001), que propone que en un ambiente con mayor riqueza hay más especies complementarias y no competitivas explotando diferentes nichos (Naeem *et al.*, 1999). La mayoría de datos existentes provienen de estudios observacionales donde ciertos indicadores de función se correlacionan con la diversidad (Girvan, Campbell, Killham, Prosser y Glover, 2005).

En consecuencia, existe una fuerte relación entre la biodiversidad y el mantenimiento de la estabilidad, la resistencia y la resiliencia de las propiedades de los ecosistemas (Wall, 2004). En el suelo la biodiversidad ha llamado la atención de los ecologistas en las últimas

décadas por su importancia en la estructuración y para dar fuerza a los ecosistemas terrestres (Bardgett y Wardle, 2010). Asimismo, la biodiversidad bajo el suelo posee un gran significado funcional para las comunidades vegetales y los procesos ecosistémicos, ya que junto con grandes gradientes de perturbación como el clima, las condiciones del suelo o la zona geográfica influyen en el número de especies sobre y debajo del suelo; así mismo, la composición de la comunidad vegetal afecta la estructura y función de los organismos bajo del suelo, y hay evidencia de correlación entre la distribución espacial de sus propiedades y la biomasa sobre y bajo el suelo en muchos sistemas naturales (Lipson y Schmidt, 2004; Wardle, 2006).

A pesar de la importancia de la biodiversidad presente en el suelo y en el subsuelo, y de sus interacciones para el mantenimiento de los ecosistemas terrestres, nuestra comprensión de las relaciones entre las comunidades existentes sobre y bajo el suelo es muy poca debido al hecho de que operan en intervalos relativamente amplios de escalas espaciales y temporales que dependen del tamaño del cuerpo y de la historia de vida del organismo en cuestión, y el tamaño de su unidad de hábitat o dominio (Bardgett y Wardle, 2010).

RELACIONES ENTRE BIODIVERSIDAD, SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y MINERÍA

Colombia cuenta con 311 tipos de ecosistemas continentales y costeros (IDEAM *et al.*, 2007) que ofrecen diferentes condiciones territoriales, geográficas y climáticas que determinan la oferta de la BD y los SS.EE. Del mismo

modo, las áreas que conforman el Sistema Nacional de Parques Nacionales representan un papel estratégico en la provisión de servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte (Carriazo, Ibáñez y García, 2003). A su vez, las características territoriales permiten la provisión de diversos servicios ecosistémicos los cuales influyen de manera directa e indirecta en el bienestar y la calidad de vida de la población (MADS, 2012). En este contexto, van der Hammen (2005) identifica a los geoecosistemas como unidades de análisis integradas por los siguientes componentes: vegetación con procesos biofísicos, de subsuelo con procesos geológicos y de suelo con procesos pedológicos.

El uso minero del territorio colombiano corresponde principalmente a la distribución de explotaciones y áreas de interés a partir de los diferentes distritos y títulos mineros del país. Esta actividad, según el censo minero 2009-2011, reporta 14.357 Unidades de Producción Minera de las cuales un 56 % no tienen título minero. En este contexto, según el sistema de información minero-energético, la producción minera nacional ha registrado un crecimiento para el periodo 2000 al 2012, sobresaliendo el carbón, el ferroniquel y el oro con una producción promedio de 62.845 kton, 47.741 ton y 37.593 kg respectivamente, así como las calizas para cemento en 11,1 millones de ton. Del mismo modo, la participación del PIB minero en el PIB total del país correspondió aproximadamente al 2 % y estaría valorada alrededor de \$4,5 billones para el mismo periodo.

En este sentido, para el 2011 Ingeominas reportaba 8.973 títulos mineros con un área de

4.848.472 ha, asignados principalmente a oro y otros metales preciosos, carbón, materiales de construcción, níquel, minerales industriales, metales básicos, esmeraldas, hierro, fosfatos, barita, sal, uranio y coltán. Estos títulos se distribuían en materiales de construcción, 4.556 (51 %); oro y metales preciosos, 1.997 (22 %); carbón, 1.664 (19 %); minerales industriales, 128 (1 %); esmeraldas, 333 (4 %); metales básicos, 92 (1 %); y otros en 203 (níquel, hierro, fosfatos, barita, sal, uranio y coltán constituyen menos del 2 %). No obstante, Fierro (2012) y Cabrera y Fierro (2013) señalan que alrededor de 203.000 ha correspondientes a 571 títulos se encuentran en zonas de protección ambiental o ecosistemas estratégicos, influyendo en la generación de conflictos socioecosistémicos en el desarrollo de esta actividad.

Muchos de estos conflictos se asocian a la transformación del territorio por aquellas actividades mineras relacionadas con: 1) trabajos de exploración y elaboración del programa de trabajos y obras; 2) prefactibilidad y factibilidad, construcción y montaje minero y, 3) extracción, procesamiento y desecho de minerales que repercuten en el estado de conservación de la BD y los SS.EE. (MME y MAVDT, 2002; ICMM, 2006). Lo cual se refleja en las diferentes etapas de un proyecto minero, que implican el despeje de vegetación, suelo, descarga de sustancias químicas y desechos peligrosos a los cuerpos de agua, disposición de estéril o material sobrante y emisiones al aire, entre otros, que generan impactos directos o indirectos sobre la BD y los SS.EE.

ELEMENTOS DEL USO MINERO DEL TERRITORIO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA RELACIÓN SUELO-SUBSUELO EN LA GESTIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Las consideraciones ambientales para la gestión de las formas de uso productivo del territorio deben ir más allá de la oferta de bienes, servicios y beneficios que provee a una actividad económica con el fin de garantizar el bienestar de la población (MEA, 2005). Por ello, la BD y los SS.EE. constituyen atributos integradores del uso del territorio a partir de la funcionalidad ecosistémica y la oferta de servicios ecosistémicos (MADS, 2012). Por esta razón es necesario consolidar instrumentos de política ambiental para implementar la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (GIBSE) que aseguren procesos de: preservación, restauración, gestión del riesgo, conservación y conocimiento, con el fin de que en desarrollo de actividades mineras se asegure, por ejemplo: el servicio hidrológico, el ciclado de nutrientes, el control del clima, entre otros, servicios fundamentales en el ordenamiento del territorio (MAVDT, 2010).

La Ley 388 de 1998 define el ordenamiento territorial (OT) como un acuerdo colectivo para disponer de instrumentos que orienten el desarrollo del territorio y regulen su utilización, transformación y ocupación, de acuerdo con las estrategias de intervención socioeconómica y en armonía con el medioambiente y las tradiciones históricas y culturales. A su vez, se establecen disposiciones sobre el suelo urbano, suelo de expansión urbana y suelo rural. Por otra parte, la Ley 1454 de 2011

considera el OT un aspecto dinámico y multidimensional a partir del cual se establece como un instrumento de planificación y de gestión de las entidades territoriales; del mismo modo, es un mecanismo conciliador del crecimiento económico, la sostenibilidad fiscal, la equidad social y la sostenibilidad ambiental. En este sentido, el OT representa una aproximación multiescalar y multitemporal con el fin de concertar entre los actores las mejores decisiones para la Gibse (MADS, 2012).

En este contexto, a partir de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se deben designar áreas que por obligación y competencia deben ser consideradas para la conservación y protección ambiental identificadas como: 1) las áreas protegidas, las áreas de manejo especial, las zonas de protección especial y las regiones prioritarias y estratégicas que hayan sido declaradas por parte de autoridades ambientales nacionales y regionales en el área de jurisdicción del municipio y que se constituyen en determinantes ambientales para el mismo; 2) las áreas protegidas y de conservación especial designadas por el municipio a través de acuerdos municipales y departamentales; 3) los predios privados que han sido registrados como reservas naturales de la sociedad civil ante Parques Nacionales Naturales; 4) las áreas protegidas municipales y los suelos de protección definidos por el municipio en el POT; 5) los predios que un municipio ha adquirido en cumplimiento al artículo 111 de la Ley 99 de 1993.

Por tanto, la BD no debe ser considerada una restricción del OT a los usos del suelo sino una decisión estratégica para garantizar la función ecológica del territorio y la oferta de servi-

cios ecosistémicos (MADS, 2012). Para tal fin, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010-2014 prioriza la sostenibilidad ambiental como uno de sus ejes transversales a partir del cual se establece que toda intervención productiva debe estar enfocada al cumplimiento de acciones que respondan a la gestión ambiental del territorio. En consecuencia, el OT es considerado una decisión fundamental en el desarrollo de las diferentes actividades productivas, para tal fin se promueve la formulación de un plan nacional de ordenamiento minero y la implementación de evaluaciones ambientales estratégicas para el fortalecimiento de las formas de uso y ocupación del territorio (DNP, 2011).

En este sentido, la definición de lineamientos para el uso minero del territorio parte de la incorporación de consideraciones normativas, políticas, evaluaciones de vulnerabilidad e iniciativas internacionales de gestión del sector minero, entre otros, que permitan incluir de manera estratégica la GIBSE. Asimismo, las acciones para incorporar la BD y los SS.EE. comprenden el fortalecimiento de la interrelación interinstitucional a partir de la armonización de la normatividad y los instrumentos de política ambiental y territorial establecidos en el ordenamiento jurídico tanto ambiental como minero, la generación del conocimiento a nivel regional, la apropiación de la GIBSE por los distintos actores a diferentes escalas del territorio, entre otros.

No obstante, el uso productivo del territorio en el país ha llevado a importantes transformaciones sobre el mismo que influyen en la continuidad de la función ecológica y la oferta de servicios ecosistémicos (Etter, McAlpine, Wilsona, Phinnb, Possingham, 2006a; Etter,

McAlpine, Phinna, Pullar y Possingham, 2006b; Romero, Flantuab, Tansey y Berriola, 2012; Castiblanco, Etter y Aidec, 2013). Del mismo modo, en el marco legal e institucional sectorial, por ejemplo, el interés público del uso minero del suelo privilegia las actividades extractivas sobre otros tipo de actividades productivas, e incluso sobre los derechos fundamentales y colectivos de los colombianos, convirtiendo esta actividad en generadora de conflictos sociales, ambientales, económicos y culturales (Negrete, 2013; Fierro, 2012). Del mismo modo, la existencia de expectativas de desarrollo minero, por la presencia de títulos mineros en zonas de exclusión –por ejemplo, parques nacionales naturales, complejos de páramos, reservas forestales, entre otros, repercuten en la transformación y pérdida de la BD y los SS.EE.–.

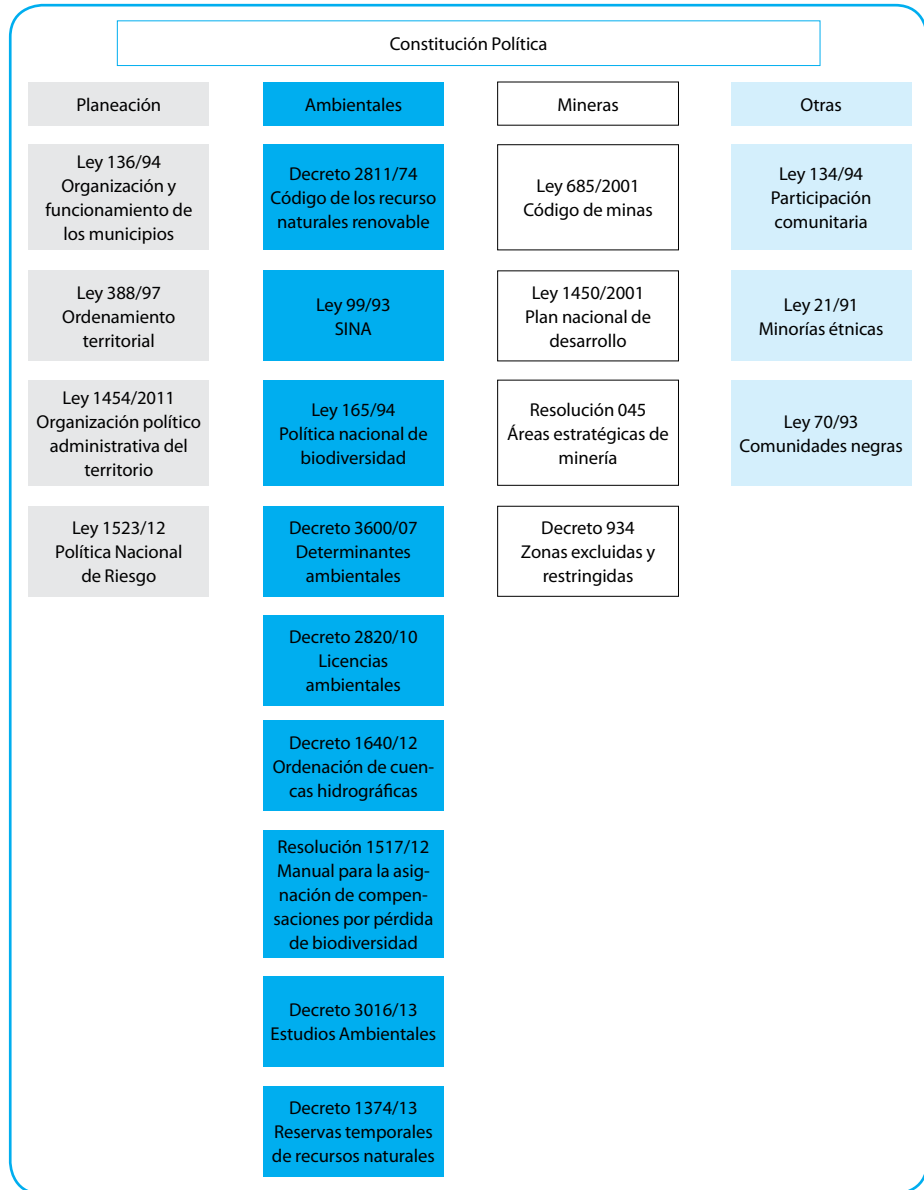
Consecuentemente, el desarrollo de la actividad minera en el país implica, según el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) (2006), una aproximación integral al uso del territorio a partir de la planificación espacial. A este respecto, según las normas mineras (Ley 685 de 2001 y Decreto 2201 de 2003), el potencial geomínero se considera como un determinante de los planes de ordenamiento, todo esto concebido bajo criterios de sostenibilidad del desarrollo del sector. La figura 1 presenta un panorama normativo para la incorporación de la BD y los SS.EE. en el ordenamiento de las zonas mineras del país.

En relación con la armonización del OT, la Ley 685 del 2001 (Código de Minas) establece de manera explícita la definición de zonas excluidas (art. 34) y restringidas para la minería (art. 35). Complementariamente,

el PND 2010-2014, consideró las siguientes áreas excluidas para el desarrollo de actividades mineras: Parque Nacional Natural, Parque Regional Natural, ecosistemas de páramos, humedales Ramsar, Reservas Forestales Protectoras, arrecifes de coral y manglares (tabla 1). No obstante, persiste la incertidumbre normativa en relación al ordenamiento minero, la definición de zonas de exclusión –por ejemplo, páramos y humedales–, la regulación de zonas estratégicas de minería, la inclusión de zonas estratégicas de recursos naturales, el establecimiento de criterios ambientales para la prórroga de contratos, la expedición de licencias, entre otros, principalmente por la caída de la reforma al Código Minero (Ley 1382 del 2010), producto de la falta de concertación pública y la no existencia de instrumentos de política para regulación y control ambiental en relación al desarrollo del sector, todo lo cual representa importantes retos para la GIBSE.

En consecuencia la UPME (2012), en la propuesta para la formulación del Plan Nacional de Ordenamiento Minero (PNOM), señala que se requiere información geológica, minera, ambiental, económica, social y de OT que permita evaluar de manera integral las relaciones del sector con su entorno de extracción. Para tal fin indica que es necesario precisar la pertinencia de la información disponible en cuanto a su fuente, escala y temporalidad en relación con los siguientes aspectos: base cartográfica, cartografía geológica, potencial geológico, titulación minera, información hidrogeológica, información hidrometeorológica, información de suelos, cobertura vegetal, fauna, información de amenazas naturales, información socioeconómica, entre otros (UPME, 2012).

FIGURA 1. PANORAMA LEGAL PARA LA INCLUSIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN EL ORDENAMIENTO MINERO



Fuente: modificado de Ortega (2006).

TABLA 1. CRITERIOS AMBIENTALES PARA LA ZONIFICACIÓN DEL USO MINERO DEL TERRITORIO EN COLOMBIA

Zonificación	Norma	Categoría	
Zonas excluidas	Ley 685 del 2001	Áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales	
		Parque Natural Regional	
		Reserva Forestal Protectora	
		Zonas de Interés arqueológico, histórico, cultural	
		Playas, zonas de bajamar y trayectos fluviales	
Zonas restringidas		Dentro del perímetro urbano	
		Áreas ocupadas por construcciones rurales, huertas, jardines y solares	
		Áreas ocupadas por una obra pública o adscritas a un servicio público (acueductos y otros).	
		Zona minera indígena	
		Zona minera de comunidades negras	
Zonas de uso minero		Zona minera mixta	
		Se pueden desarrollar actividades mineras previo otorgamiento del título minero y la obtención de la Licencia Ambiental, para iniciar los trabajos de construcción, montaje y explotación	
Zonas estratégicas		Ley 1450 de 2011	Ecosistemas de páramos, humedales, áreas forestales
Áreas de Interés para la preservación ambiental		Legislación nacional ambiental	Áreas Protegidas Privadas
			Zonas de Interés Ecológico Nacional (Sabana de Bogotá)
	Zonas ecológicamente críticas, sensibles o de importancia ambiental y social (áreas de humedales, áreas de páramos, recurso hídrico, áreas desérticas, Planes de Ordenamiento y manejo de Cuencas Hidrográficas - POMCAS).		

Adicionalmente, la PNGIBSE indica que es necesario generar información sobre la BD y los SS.EE., la estructura ecológica del territorio, las áreas excluidas y áreas restringidas, los determinantes ambientales, entre otros, que permitan la consolidación de la intervención del territorio con el fin de garantizar estrategias de desarrollo del país y sus regiones; en este sentido, es una prioridad su conservación para asegurar el crecimiento y la competitividad de los sectores de infraestructura, turismo,

agropecuario y minero-energético, entre otros (IDEAM, 2011; DNP, 2011; MADS, 2012).

van der Hammen (2005) establece la inclusión de la estructura ecológica de soporte de la nación para la toma de decisiones, para la cual se encuentra conformada, por una parte, la estructura ecológica correspondiente a la propuesta de ordenamiento de la cobertura vegetal, del uso y manejo de la tierra y del agua, que garantiza la conservación (preservación y restauración) de la biodiversidad, los recursos

biológicos y los servicios ambientales. Por otra parte, la infraestructura ecológica, conformada por las áreas fuertemente transformadas, como agroecosistemas y zonas urbanas e industriales, en donde también es importante el uso adecuado de la base natural para la funcionalidad ecológica del territorio.

Del mismo modo, Rincón (2008) considera que la estructura ecológica debe ser compatible y coherente con las determinantes ambientales para el OT, definidas por la autoridad ambiental competente. Esta debe ser construida participativamente, involucrando a los actores interesados durante su definición. Para garantizar la articulación con la planeación regional del territorio y los recursos, y de acuerdo con el Decreto 190 de 2004, esta construcción debe ser coherente con los planes de ordenamiento de cuencas (Rincón, 2008). La tabla 2 presenta elementos prioritarios en la definición de la estructura ecológica del territorio con el fin de incorporar la BD y los SS. EE. en las decisiones de uso minero del territorio.

En este contexto, la consolidación de objetivos de política ambiental y la armonización de instrumentos con el fin de garantizar acciones y aunar esfuerzos entre actores y en la asignación de recursos financieros en las diferentes iniciativas de gestión de recursos naturales –por ejemplo, agua, bosques, suelo, flora y fauna, entre otros– representa el principal esfuerzo intersectorial. A su vez, es necesario concretar esfuerzos institucionales en las orientaciones de la propuesta para la formulación de Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (suelo-subsuelo) con el fin de avanzar en revisar y precisar los alcances de las estrategias formuladas para el fortalecimiento

TABLA 2. ELEMENTOS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA ESTRUCTURA ECOLÓGICA DEL TERRITORIO

		Regional	Local
		Ecosistemas terrestres escala 1:25.000	Ecosistemas terrestres escala 1:10.000
Áreas protegidas		Declaradas de orden nacional, regional	Declaradas de orden nacional, local
		Proyectadas de orden nacional, regional, prioridades de conservación	Proyectadas de orden nacional, regional, prioridades de conservación
		Corredores ecológicos de nivel nacional	Corredores ecológicos de nivel nacional
Estructura ecológica	Humedales prioritarios y sus rondas		
	Áreas de infiltración y recarga de acuíferos priorizadas en los POMCAS		
	Fuentes hídricas superficiales de primer, segundo y tercer orden		
	Áreas en amenaza por remoción en masa (deslizamientos y erosión)		
	Áreas en amenaza por inundación, flujos torrenciales (avalancha)		
	Áreas con pendiente > 45°		
	Áreas naturales de importancia paisajística		
	Áreas de importancia arqueológica		
	Geoecosistemas		
	Embalses y rondas		
Infraestructura ecológica	Rellenos sanitarios		
	Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas		
	Agroecosistemas		
	Áreas de importancia paisajística (construidas), arqueológica e histórica		
	Corredores agroalimentarios		
	Distritos de riego		
	Distritos mineros		

Fuente: adaptado de Valbuena *et al.* (2008).

de normas y políticas para el uso y la gestión y el manejo sostenible del suelo.

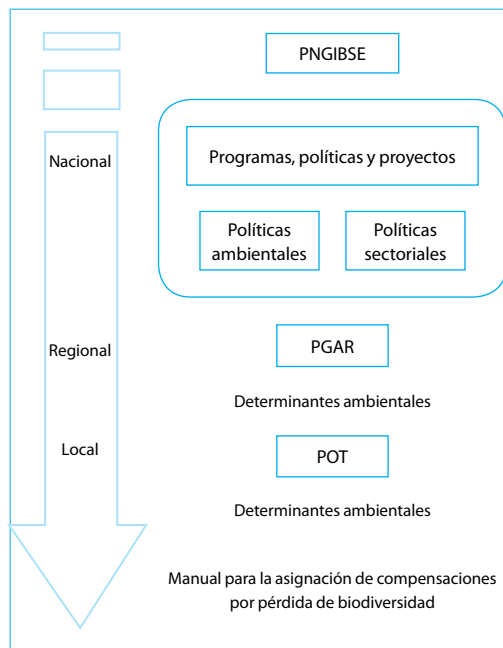
A su vez, la integración de la GIBSE en la relación suelo-subsuelo requiere la armonización de los instrumentos de política ambiental con instrumentos de política económica, de planificación y participación con el fin de generar un esquema de largo plazo y un marco normativo funcional que garantice la toma de decisiones (figura 2). Del mismo modo, es necesario construir sinergias en relación con las iniciativas de las políticas sectoriales y territoriales actuales expresadas en planes de desarrollo, POMCA, POT y otros instrumentos de planificación, contribuyendo a clarificar intervenciones para su implementación en diferentes escalas de acuerdo con las parti-

cularidades locales, por ejemplo, el Decreto 2820 del 2010, el Decreto 3016 de 2013, la resolución 1517 del 2010, entre otros.

La toma de decisiones en el uso del territorio implica la adecuada asignación de costos y beneficios por las formas de ocupación en términos ambientales, sociales y económicos, y consideraciones de cambio y adaptación antrópica. Es así que se deben considerar aspectos tanto por su rentabilidad como por la compatibilidad en el diseño de la explotación minera con la obligación de garantizar valores ambientales y por el beneficio económico y social que pueda significar el proyecto frente a otros posibles usos del suelo. Para tal fin, es necesario posicionar un proceso de valoración integral de la BD y los SS.EE. en la toma de decisiones a partir de la clara participación de actores involucrados a diferentes escalas territoriales, más allá de las limitaciones formales impuestas por las consideraciones normativas.

En este contexto el sector minero, según el ICMM (2006), busca que sus miembros cumplan con el principio 7 del Marco de Desarrollo Sustentable que busca “contribuir a la conservación de la biodiversidad y a los enfoques integrados respecto de la planificación de usos de la tierra”; para tal fin, el sector minero debe partir del conocimiento regional sobre la importancia y vulnerabilidad ambiental y territorial del desarrollo de esta actividad, de tal manera que en su planeación se determinen áreas de conservación adicionales a las establecidas como excluidas y restringidas que garanticen la funcionalidad ecológica del territorio y la oferta de servicios ecosistémicos, y se cumplan las consideraciones de OT.

FIGURA 2. ESQUEMA DE ARTICULACIÓN PARA LA INCLUSIÓN DE PNGIBSE EN EL OT



Fuente: modificado de MADS (2012).

En consecuencia, la implementación del OT para el uso minero necesita incorporar información y conocimiento que permita integrar la GIBSE a las diferentes formas de uso del suelo y subsuelo, con la finalidad de garantizar su funcionalidad, y no limitarse solamente al establecimiento de áreas excluidas. En este sentido, las áreas que merecen una valoración prioritaria corresponden a las rondas de ríos, los nacimientos de agua, los ríos, los humedales, las zonas de recarga de acuíferos, las zonas de interés cultural, los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas de la biosfera, las reservas de la sociedad civil, las zonas con especies en condición de amenaza, las áreas con presencia de especies en vía de extinción o endémicas, entre otras.

RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LA INCORPORACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA GESTIÓN DEL SUELO Y EL SUBSUELO

En el marco estratégico de la PNGIBSE se observa la necesidad de generar información y conocimiento a partir de las diferentes formas de uso del territorio para fortalecer el proceso de toma de decisiones (MADS, 2012). Por ende, es necesario establecer los siguientes ejes temáticos y líneas estratégicas: 1) biodiversidad, conservación y cuidado de la naturaleza; 2) biodiversidad, gobernanza y creación de valor público; 3) biodiversidad, desarrollo económico, competitividad y calidad de vida; 4) biodiversidad, gestión del conocimiento, tecnología e información; 5) biodiversidad, gestión del riesgo y suministro de servicios ecosistémicos;

6) biodiversidad, corresponsabilidad y compromisos globales.

En consecuencia, en el sector minero se evidencian los siguientes retos para la adecuada gestión integral de la BD y los SS.EE.: 1) la generación de información de la BD y los SS.EE. por áreas de uso minero; 2) la integración de herramientas de gestión con énfasis en prioridades ambientales, salud, seguridad alimentaria, aspectos financieros, elementos de participación y articulada a derechos colectivos asociados a los servicios ecosistémicos; 3) la implementación de una herramienta regional de evaluación de impacto que determine la afectación en la BD y los SS.EE.; 4) el mejoramiento de la zonificación de caracterización ambiental y zonificación de manejo ambiental de los estudios de impacto ambiental con la integración de criterios de la BD y los SS.EE.; 5) la implementación de evaluaciones ambientales integrales (evaluación ambiental estratégica) que reflejen la vulnerabilidad de la BD y los SS.EE., así como el establecimiento de indicadores clave de monitorización y seguimiento, 6) la generación de una política del suelo que incluya el carácter diferencial del subsuelo que reconozca la BD y los SS.EE. como factores estratégicos de gestión del territorio; 7) la aplicación del concepto de la función social y ecológica de la propiedad, y su extensión a la forma de uso del territorio, donde no solo prime un interés económico.

CONSIDERACIONES FINALES

El uso del suelo y el subsuelo no puede continuar tratándose en forma aislada de otros sectores de la economía, como el minero o la realización de obras de infraestructura, agricul-

tura, entre otros. La continuidad en la oferta de la BD y los SS.EE. implica la integración de consideraciones ambientales en las políticas productivas y de participación. En este sentido es necesaria la coordinación entre los marcos político y normativo que inciden en este tema, y generar las sinergias y la aceptación en los instrumentos de política ambiental.

Si bien existen políticas y normatividad que aborda la gestión del suelo y el subsuelo de forma tangencial, todavía no hay instrumentos normativos que garanticen su regulación, lo que evidencia un proceso desarticulado y sectorial. Sin embargo, en los desarrollos internacionales se han realizado avances para una gestión integral del suelo, dando preponderancia a las dimensiones de la biodiversidad en los procesos de toma de decisiones. En este sentido, es necesario un esfuerzo intersectorial que garantice un modelo de uso acorde con principios y orientaciones de la PNGIBSE frente a la integración de la BD y los SS.EE. a las decisiones de uso del territorio.

La concepción de separar el suelo en capa superficial (suelo) y capa interna (subsuelo) ha conllevado, en el caso del subsuelo, que los esquemas normativos de protección y salvaguarda de la BD y los SS.EE no sean contemplados en la toma de decisiones. Es importante que se incorporen estas dimensiones en su gestión a partir de la consolidación del geosistema como unidad de análisis.

Las decisiones del sector minero afectan el suelo y el subsuelo; la explotación de los minerales consume recursos naturales y genera efectos ambientales positivos y negativos tanto en el corto como en el largo plazo. Por tanto, es prioritario considerar decisiones correspon-

dientes a los siguientes aspectos: 1) fortalecer el estudio de las relaciones suelo-subsuelo con la oferta de BD y SS.EE.; 2) priorizar particularidades de los elementos socioambientales que debe incluir el ordenamiento minero; 3) posicionar la función social y ecológica de la propiedad, y su extensión al uso minero del territorio; 4) garantizar la sostenibilidad en las formas de uso del subsuelo a fin de incluir la función ecológica del territorio y la continuidad de la oferta de servicios ecosistémicos; 5) formular estrategias de restauración y rehabilitación que permitan darle al suelo un nuevo uso, después del cese de las actividades mineras.

Finalmente, el reto para las instituciones ambientales y mineras es lograr una sensibilización y reconocimiento de la importancia de la BD y los SS.EE. y de su vulnerabilidad frente a actividades productivas, entre sus costos y beneficios por el desarrollo de sus actividades, que conduzca a un trabajo interinstitucional que permita llegar a un ordenamiento ambiental del territorio a partir de su estructura ecológica, con énfasis en zonas mineras y con la participación activa del sector y de los beneficiarios de los servicios ecosistémicos.

REFERENCIAS

- Bardgett, R. D. (2005). *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Bardgett, R. D. y Wardle, D. A. (2010). *Aboveground and Belowground Linkages, Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change*. New York: Oxford Series in Ecology and Evolution. Oxford University.

- Bockheima, J. G., Gennadiyev, A. N., Hammer, R. D., y Tandariich, J. P. (2005). Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, 23-36.
- Cabrera, M. y Fierro, J. (2013). Implicaciones ambientales y sociales del modelo extractivista en Colombia. En Garay, L. (ed.). *Minería en Colombia. Fundamentos para superar el modelo extractivista*. Bogotá: Contraloría General de la República.
- Cárdenas, M. y Rodríguez, M. (eds.). (2013). *Desarrollo económico y adaptación al cambio climático*. Bogotá: Fescol y Foro Nacional Ambiental.
- Carriazo, F., Ibáñez, A. y García, M. (2003). Valoración de los beneficios económicos provistos por el Sistema de Parques Nacionales Naturales: una aplicación para el análisis de transferencia de beneficios. *Documento CEDE*, 33. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Castiblanco, C., Etter, A. y Aidec, M. (2013). Oil palm plantations in Colombia: a model of future expansion. *Environmental Science & Policy*, 27, 172-183.
- Certini, G. y Ugolini, F. C. (2013). An updated, expanded, universal definition of soil. *Geoderma*, 378-379.
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) (2006). *Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad*. Londres: ICMM.
- Contraloría General de la República (2011). *Estado de los recursos naturales y del ambiente 2010-2011. Minería y Medio Ambiente*. Bogotá: CGR.
- Contraloría General de la República (2010). *Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2009-2010*. Bogotá: CGR.
- De Groot, M. A. y Bousmann, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 393-408.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014* (tomo II). Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Etter, A., McAlpine, C., Phinna, S., Pullar, D. y Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of Environmental Management*, 79, 74-87.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilsona, K., Phinnb, S. y Possingham H. (2006a). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114 (Issues 2-4), 369-386.
- Etter, A., McAlpine, C., Phinna, S., Pullar, D. y Possingham, H. (2006b). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease? *Landscape and Urban Planning*, 77 (Issue 3, 30), 240-254.
- FAO (2003). Tenencia de la tierra y desarrollo rural. *Estudios sobre la tenencia de la tierra*, 3.
- Fierro, J. (2012). *Políticas Mineras en Colombia*. Bogotá: Instituto Latinoamericano para una Sociedad y un Derecho Alternativos.
- Flórez, D. (2008). Informe de Contrato de prestación de servicios n.º 05-01-24843-0426PS: Desarrollo y articulación de los instrumentos de planificación intersectorial regional y local, para prevenir y mitigar el impacto causado por el desarrollo de actividades mineras u obras de infraestructura vial sobre la biodiversidad en el páramo de Rabanal. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Girvan, M. S., Campbell, C. D., Killham, K., Prosser, J. I. y Glover, L. A. (2005). Bacterial diversity promotes community stability and functional resilience after perturbation. *Environmental Microbiology*, 7, 301-313.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) *et al.* (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2011). *Aportes del IDEAM para la definición y aplicación de la Estructura Ecológica Nacional*. Instituto de Hidrología, Bogotá: Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto de Estudios Ambientales y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Caracterización Ambiental de la Sabana de Bogotá* (vol. I). Bogotá.
- Kennedy, A. C. y Smith, K. L. (1995). Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soil. *Plant and Soil*, 75-86.
- León Sicard, T. y Palacios-Lozano, M. T. (eds.). (2010). *Incorporación de consideraciones de biodiversidad en la política sectorial agropecuaria, 1990-2002*. Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Lipson, D. A. y Schmidt, S. K. (2004). Seasonal changes in an alpine bacterial community in the Colorado Rocky Mountains. *Applied Environmental Microbiology*, 70, 2867-2879.
- Loureau, M. (2001). Microbial diversity, producer-decomposer interactions and ecosystem processes: a theoretical model. *Proceedings of the Royal Society of London Series Biological Sciences*, 268, 303-309.
- Lovett, G. M., Jones, C. G., Turner, M. G. y Weathers, K. C. (2005). *Ecosystem function in heterogeneous landscapes*. New York: Springer-Verlag.
- Martínez, A. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia*. Bogotá: Fedesarrollo.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2012). *Política Nacional de Gestión Integral para la Conservación de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Bogotá.
- Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (2005). Incorporación de la actividad minera en los procesos de Ordenamiento Territorial. *Serie Ambiente y Ordenamiento Territorial, Guía Metodológica 2*. Bogotá.
- Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá.
- Ministerio del Medio Ambiente (2002). *Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible*. Bogotá.
- Myers, N. (1996). Environmental services of biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93, 2764-2769.
- Naeem, S., Chair, F. S., Chapin, I., Costanza, R., Ehrllich, P. R., Golley, F. B. y Tilman, D. (1999). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes. *Issues in Ecology*, 4, 1-11.
- Negrete, R. (2013). Derechos, minería y conflictos. Aspectos normativos. En Garay, L. (dir.). (2013). *Minería en Colombia Fundamentos para superar el modelo extractivista*. Bogotá: Contraloría General de la República.
- Ortega, D. (2006). La minería y el ordenamiento territorial. Estudio de caso. Área minera de Mineros S.A., El Bagre, Tesis de Maestría, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín.
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B. y Meyer, R. E. (1992). Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 2-3.
- Paul, E. A. (2007). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Boston: Academic Press.
- Rincón, S. (2008). Informe de consultoría: Elementos para la incorporación de consideraciones de

- biodiversidad en los planes y esquemas de ordenamiento territorial. Recomendaciones para la incorporación de la biodiversidad en el proceso de revisión y ajuste de los EOT de los municipios de Guachetá, Lenguazaque, Villapinzón, Samacá, Ventaquemada y Ráquira. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Romero, M., Flantuab, S., Tansey, K. y Berriola, J. (2012) Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Applied Geography*, 32 (Issue 2), 766-776.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. y Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79, 7-31.
- Soil Survey Staff (1998). *Keys to soil taxonomy* (8 ed.). Washington: USDA.
- Soil Survey Staff (2006). *Claves para la taxonomía de suelos*. Texcoco: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Toro, C., Fierro, J., Coronado, S. y Roa, T. (eds.). (2012). *Minería, territorio y conflicto en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional, CENSAT Agua Viva y PCDHDD.
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2012). Informe Final. Consultoría de apoyo para dimensionar un plan nacional de ordenamiento minero. Unión Temporal Álvaro Ponce - Asesorías Técnicas Geológicas ATG.
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2009). *Plan Nacional de Desarrollo Minero 2019*. Bogotá: UPME.
- Valbuena, S., Tavera, H., Palacios, M. T. (2008). Propuesta de estructura ecológica regional para la región central. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca, Alcaldía Mayor de Bogotá.
- van der Hammen, T. (2005). La conservación de la biodiversidad: hacia una estructura ecológica de soporte de la nación colombiana. *Palimpsesto*, 5.
- Wall, D. A. (2004). *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments*. Fort Collins: Island Press.
- Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J. N., Setälä, H., Putten, W. H. y Wall, D. H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 1629-1633.
- Wardle, D. A. (2006). The influence of biotic interactions on soil biodiversity. Swedish. *Ecology Letters*, 9, 870-886.