

MONOGRAFÍA DE ESTUDIO: MINERÍA DEL CARBÓN EN BOYACÁ Y SUS IMPACTOS
AMBIENTALES

LEIDY JOHANA ROCHA SUAREZ

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2018

MONOGRAFÍA DE ESTUDIO: MINERÍA DEL CARBÓN EN BOYACÁ Y SUS
IMPACTOS AMBIENTALES

LEIDY JOHANA ROCHA SUAREZ

Trabajo Monográfico

Presentado como requisito para optar al título

Ingeniera Ambiental

MERY ROCÍO FONSECA LARA

Directora de proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2018

RESUMEN

En este trabajo se aborda el tema de la minería del carbón, qué es, tipos de minería, tipos de carbones, sus diferentes usos y los impactos ambientales que presenta en la zona del departamento de Boyacá, siendo de gran importancia para mantener el equilibrio en el medio ambiente.

La minería es uno de los grandes consumidores de recursos naturales, usados para transformar energía, en procesos industriales y no industriales, pero el principal problema de esta actividad radica es en la forma como se desarrolla, debido a que los procesos de extracción y procesamiento, acarrear consecuencias relacionadas con deterioro ambiental, como la pérdida de suelos, contaminación de corrientes de agua y contaminación atmosférica.

Boyacá, un departamento con diversidad geológica, ha permitido el hallazgo de diferentes vetas de minerales uno de ellos el carbón. Como cuarto productor de este mineral con zonas mineras a lo largo y ancho del departamento presentando problemáticas ambientales por la minería ilegal y la minería legal en zonas donde no es permitida la explotación.

Palabras claves: Explotación minera, Carbón, impacto ambiental, drenajes mineros, atmosfera, agua, suelo, vegetación, fauna y paisaje.

ABSTRACT

This work deals with the issue of coal mining, what is it, types of mining, types of coal, its different uses and the environmental impacts that it presents in the area of the department of Boyacá, being of great importance to maintain the balance in environment.

Mining is one of the great consumers of natural resources, used to transform energy, industrial and non-industrial processes, but the main problem of this activity lies in the way it is developed, due to the extraction and processing processes, they have consequences on environmental deterioration, such as the loss of soils, pollution of water currents and air pollution.

Boyacá, a department with geological diversity, has allowed the discovery of different veins of minerals, one of them being coal. As the fourth producer of this mineral with mining areas throughout the department presenting environmental problems for illegal mining and legal mining in areas where exploitation is not allowed.

Keywords: Mining, coal, environmental impact, mining drainages, atmosphere, water, soil, vegetation, fauna and landscape.

Keywords: Mining, coal, environmental impact, mining drainage, atmosphere, water, soil, vegetation, fauna and landscape.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
MARCO DE REFERENCIA	13
Marco teórico.....	13
Minería 13	
Historia 14	
Minería del carbón.....	16
Carbón16	
Lignito y Turba.....	17
Hulla Bituminosa.....	18
Antracita 18	
Formas de extracción.....	19
Minería subterránea o de profundidad.....	19
Minería de superficie o a cielo abierto	20
Marco legal minero ambiental	21
Localización de la zona de estudio	26
MINERÍA EN BOYACÁ Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES.....	27
Minería del carbón en Boyacá	27
Principales impactos ambientales generados por la minería	32
Impactos sobre la Atmosfera	34
Impactos sobre el Agua	39
Impactos sobre el Suelo	44
Impactos sobre la Vegetación.....	47
Impactos sobre la Fauna	50
Impactos sobre el Paisaje.....	54
Impactos sociales generados por la minería del carbón.....	55
Algunas recomendaciones para mitigar los impactos ambientales.....	58
CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Legislación Minera.	22
Tabla 2. Legislación ambiental.	23
Tabla 3. Recursos de carbón en Boyacá.	30
Tabla 4. Reservas medidas de carbón por zonas.....	31
Tabla 5. Títulos mineros en páramos de Boyacá.	33
Tabla 9. Características fisicoquímicas del agua residual minera en Boyacá.....	44

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa Ubicación departamento de Boyacá.	26
Ilustración 2. Minería tradicional de carbón en socavón Socha.	28
Ilustración 3. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de carbón en Boyacá.....	30
Ilustración 4. Algunos impactos medio ambientales causados por la minería del carbón.....	32
Ilustración 5. Emisiones por combustión del carbón.	34
Ilustración 6. Emisiones atmosféricas del carbón. Samacá – Boyacá.	35
Ilustración 7. Emisiones en hornos coquizadores. Samacá – Boyacá.....	36
Ilustración 8. Contaminación del agua por minería del carbón en la zona de influencia Paramo de Pisba.....	40
Ilustración 9. Drenaje de las minas.	41
Ilustración 10. Inestabilidad del suelo zona minera de Samacá – Boyacá.....	45
Ilustración 11. Daño en el suelo y falta de cobertura vegetal. Tasco – Boyaca.....	46
Ilustración 12. Disposición de estériles en zona minera Samacá. Vereda la chorrera.....	46
Ilustración 13. Quema de vegetación por polvillo de carbón Samacá.	48
Ilustración 14. Perdida de cobertura vegetal por minería de carbón en Samacá.	49
Ilustración 15. Daño en la vegetación por minería del carbón en paramo de Pisba.	50
Ilustración 16. Agua contaminada por drenajes ácidos y alcalinos. Tasco- Boyacá	51
Ilustración 17. Cabra de monte en busca de alimento en zona minera de Samacá.	52
Ilustración 18. Alteracion al paisaje por mineria y transformacion del carbon. Samacá.....	54
Ilustración 19. Deslizamiento en zona minera del carbón en Tasco.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del ciclo minero.	13
Figura 2. Tipos y usos del carbón	17
Figura 3. La cadena del carbón.	21
Figura 4. Concentración promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) intramural de partículas respirables en suspensión, en los municipios estudiados.	37
Figura 5. Concentración intramural promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de mercurio en los municipios estudiados	38
Figura 6. Concentración intramural promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de plomo en los municipios estudiados .	38
Figura 7. Resultados de indicadores de calidad de agua en la quebrada el Tirque en Socha-Boyacá.....	42
Figura 8. Resultados de indicadores de calidad de agua en el rio Sopaga en Paz del Rio-Boyacá	43
Figura 9. Resultados de indicadores de calidad de agua en el Rio Guachaneca en Samacá-Boyacá	43
Figura 10. Algunos estudios realizados en Colombia con relación a la minería del carbón	53

INTRODUCCIÓN

Los adelantos y la evolución, despiertan en el ser humano un afán en satisfacer las necesidades para avanzar y sumarse al desarrollo, sin tener en cuenta los daños que producen al medio ambiente. Ligado a esto viene el desequilibrio de los ecosistemas debido al agotamiento de los recursos naturales, a la contaminación del aire y de las fuentes hídricas.

La actividad minera es uno de los grandes consumidores de recursos naturales, usados para la generación de energía, obtener insumos necesarios para la construcción de infraestructura, aparatos electrónicos, entre otros, el principal problema de esta actividad es la forma en que se desarrolla, la cual ocasiona impactos negativos en el aire, agua, suelo, vegetación, fauna y paisaje provocando el deterioro de la calidad e incluso la pérdida de estos recursos.

Boyacá, un departamento con diversidad geológica, ha permitido el hallazgo de diferentes vetas de minerales uno de ellos el carbón. Como cuarto productor de este mineral con zonas mineras a lo largo y ancho del departamento ha presentado problemáticas ambientales por la minería ilegal y la minería legal en zonas donde no es permitida la explotación.

Es de gran importancia abordar el tema de la minería del carbón, qué es, tipos de minería, tipos de carbones, sus diferentes usos y los impactos ambientales que presenta en la zona del departamento de Boyacá. Ya que los procesos de extracción y procesamiento, acarrear consecuencias en el deterioro eco sistémico.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el impacto ambiental causado en el departamento de Boyacá, a partir de la minería del carbón.

Objetivos específicos

- Identificar mediante la investigación las diferentes formas de extracción, evolución e importancia del carbón en el departamento de Boyacá,
- Reconocer los principales impactos ambientales generados por la minería del carbón.
- Investigar la afectación en los recursos naturales, por la minería del carbón en la zona de estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento de Boyacá se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental, con un paisaje montañoso sobre el cual existe una amplia variedad de recursos mineros y recursos naturales (Simco, n.d). Uno de estos recursos hallados en la región es el carbón, siendo Boyacá el cuarto productor en Colombia por su gran cantidad de yacimientos y por la posibilidad de seguir explotándolos por mucho tiempo (Higuera, 2015).

Esto hace que se prenda una alerta en cuanto a la explotación minera; ya que el impacto y el deterioro ambiental ha ido aumentando a través del tiempo lo que ocasiona que nuestros recursos naturales desaparezcan. Por lo tanto, es necesario analizar esta problemática para así conocer la magnitud de esta actividad y sus grandes consecuencias. Los procesos para la extracción de minerales dejan efectos negativos en el medio ambiente, perjudicando el equilibrio del ecosistema.

JUSTIFICACIÓN

Existen varios tipos de minería: minería subterránea, minería de superficie, minería de pozos de perforación y minería submarina o dragado.

Es importante identificar los daños que ocasiona la actividad minera con el fin de establecer el impacto ambiental; reconocer como ha sido su evolución a lo largo del tiempo permite identificar que se ha hecho a favor o en contra del medio ambiente.

Conocer el impacto de la extracción carbonífera del departamento de Boyacá permite el reconocimiento del estado actual del medio ambiente en esta región del país a fin de tener un punto de referencia para medir los efectos ambientales.

Así mismo la investigación nos permite interpretar estudios sobre la minería y así como futuros ingenieros ambientales reconocer los campos de acción en este sector; además de evaluar posibles soluciones para prevenir, controlar y mitigar los impactos que presenta esta actividad industrial.

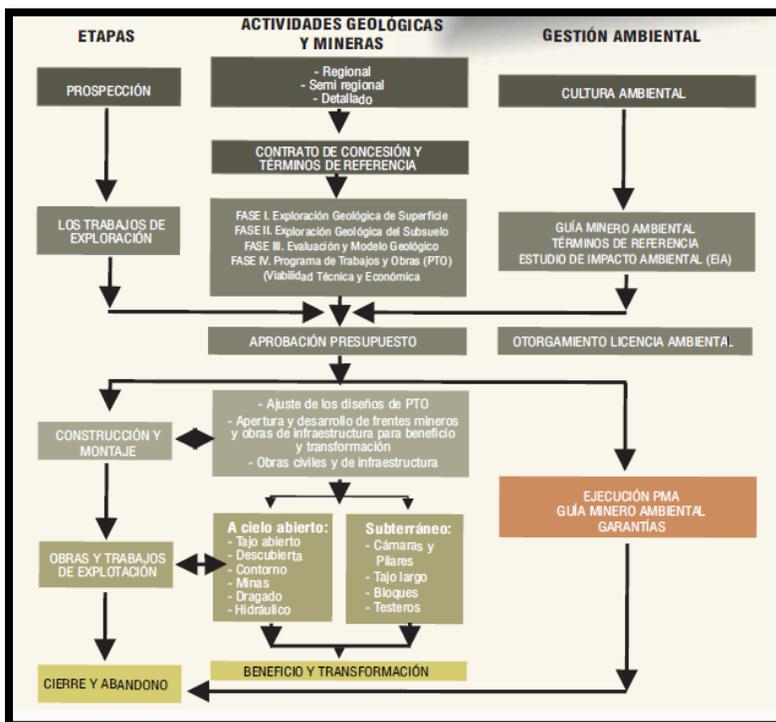
MARCO DE REFERENCIA

Marco teórico

Minería

La minería consiste en un proceso de extracción de materiales de la corteza terrestre. Estos depósitos minerales se comportan como un lugar donde hay ciclos biogeoquímicos que al ser retirados ocasionan una alteración de estos ciclos lo que puede provocar diferentes tipos de contaminación (Verbel, s.f.). Reúne un conjunto de actividades que relacionan el descubrimiento, exploración y explotación de yacimientos. Se conocen más de 7000 tipos de minerales. (Martínez, 2009). En la ilustración 1 se puede ver de forma resumida las etapas del ciclo minero.

Figura 1. Etapas del ciclo minero.



Tomado de: Cartilla Minera.

Historia

La minería ha sido un proceso que viene desde la aparición del hombre, cuando el hombre prehistórico descubrió la utilidad de los diferentes tipos de roca, nace debido a la necesidad de la construcción de civilizaciones (Armengot, Espi & Vásquez, s.f.) de igual manera para ser usada en las diferentes labores diarias, luego como elementos de trabajo y defensa (Peña, 2003).

Al paso del tiempo, con nuevos conocimientos y debido a las exploraciones descubren que algunas rocas son más resistentes que otra (Armengot et al., s.f.). Con estas nuevas exploraciones más adelante descubren el uso de algunos metales como el oro, la plata, el cobre, el hierro, el mercurio, el estaño y el plomo (Banco de la república, A. s.f.); como también el descubrimiento del carbono y el azufre, dos elementos no metálicos (Peña, 2003).

Con el descubrimiento del fuego aprendieron a formar estos metales haciendo aleaciones de dos o más de estos por ejemplo el bronce se obtiene de la aleación del cobre y el estaño (Armengot et al., s.f.). Mediante la evolución del hombre se fueron desarrollando diferentes herramientas que permitieron la extracción de recursos. Y así la creación de armas de ataque y defensa militar (Banco de la república, A. s.f.).

Historia de la minería en Colombia

La minería en Colombia aparece en las diferentes regiones donde habitaban indígenas, ya que esta actividad ofrecía herramientas para la construcción, agricultura y caza; de igual manera usaban el oro en el comercio que en ese entonces era el trueque (Peña, 2003). Con la llegada de los españoles y su interés por los minerales que se encontraban, usaban a los nativos con el fin de

conocer la ubicación de estos (Poveda, 2002), por lo que los nativos aprendieron a utilizar y trabajar los diferentes tipos de minerales dándole uso a las esmeraldas, las ágatas, los cuarzos de colores y la turquesa. (Peña, 2003) Todo esto permitió el crecimiento de la minería; debido al agotamiento de la mano de obra indígena, para los españoles fue necesario traer esclavos de origen africano. (Poveda, 2002) La rápida expansión del imperio español aumentó la producción de metales y con el crecimiento de la minería los impactos ambientales fueron más notorios (Peña, 2003).

La minería más representativa era donde se obtenía oro, por su papel estratégico como moneda, atesoramiento de riquezas y divisas. Los demás minerales carecían de importancia frente al oro por lo tanto su explotación tenía ausencia de técnicas como las canteras, las salinas de azufre, sal cal o arcilla (Campuzano, s.f.).

Robert West (1972) señaló que los conquistadores no tenían mucho conocimiento sobre técnicas mineras y adoptaron la experiencia aborígen en las variantes de aluvión y veta. Originalmente había dos formas de explotación: La minería a cielo abierto sobre los márgenes de los ríos, extrayendo oro y plata; una minería que resultaba beneficiosa ya que no requería de tanta inversión y tecnología. Y la minería subterránea sobre terrenos rocosos creando túneles para la extracción y transporte de los minerales. Para lograr la separación del oro y la plata usaban mercurio o azogue (Peña, 2003). Este modelo aplicado en toda Latinoamérica y el cual es aún es usado en la actualidad.

En 1850 aparece la explotación de depósitos de hidrocarburos y empieza la búsqueda de yacimientos en todo el mundo. Luego aparece la energía eléctrica permitiendo comodidades en la

vida humana (Poveda, 2002).

La ausencia de conocimientos tecnológicos y de capital fue una restricción en la producción minera; sin embargo, con la industrialización la minería colombiana creció en la explotación de otros minerales diferentes al oro (Campuzano, s.f.).

Con la construcción de ferrerías como la ferrería de Amaga (Antioquia), la ferrería la pradera en Subachoque (Cundinamarca) y en Samacá (Boyacá) hubo un despegue en la industrialización dando inicio a la época de hierro y el acero, a la producción maquinaria. Con la construcción del ferrocarril se fortaleció la explotación de las minas de carbón (Romero, s.f.).

Minería del carbón

Carbón

El carbón es un mineral rocoso de color negro, principalmente formado por carbono en combinación con hidrogeno, nitrógeno, oxígeno y azufre (Mejía, 2005.); El registro de su formación aparece hace millones de años (Crofton, 1995). Suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla (Simco, s.f.).

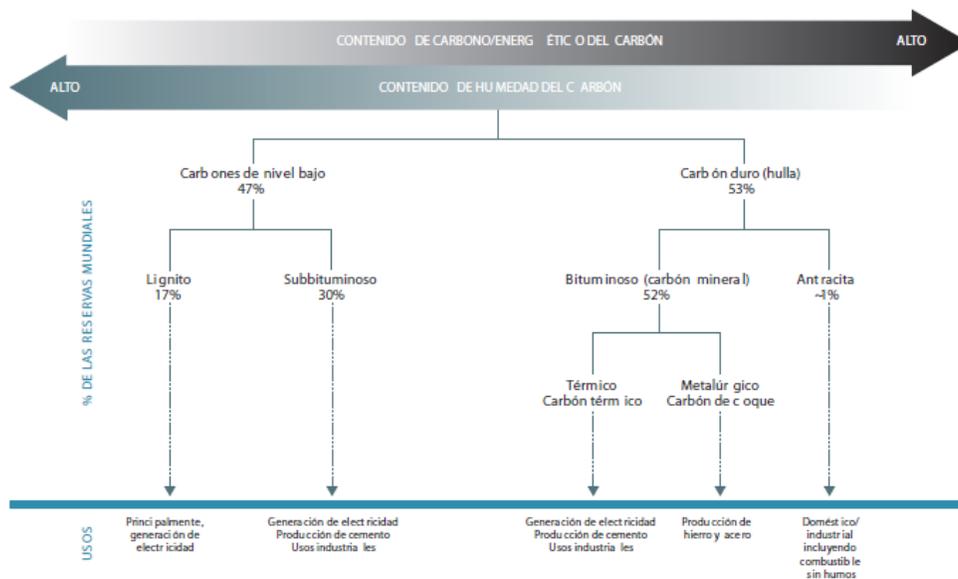
El origen de este se debe a la descomposición de vegetales, hojas, maderas, cortezas y esporas que se acumulan en zonas de poca profundidad de pantanos, lagos o desembocadura de los ríos. Estos se van acumulando en el fondo de estas cuencas pocos profundas cubriéndose de agua y sedimentos (arcillosos), protegiéndolos del aire, comenzando una lenta transformación y descomposición de estos restos vegetales por la acción de bacterias anaerobias; estas bacterias transforman los componentes de los restos vegetales en ácidos húmicos. Luego compacta por presión de capas sucesivas, que junto con la temperatura culmina en el enriquecimiento en

carbono y pérdida de gases (N₂, O₂) y humedad (Rodríguez, s.f.).

Debido a su temperatura, humedad e inflamabilidad, existen cinco tipos de carbón (Figura 2): Turba, lignito, Hulla (bituminosa y sub-bituminosa) y antracita. El carbón en su etapa de formación es llamado turba, este se genera por acumulaciones vegetales en suelos y ciénagas (Melo, 2003); en aguas estancadas donde no se permite la descomposición de restos vegetales que van desde los musgos hasta los árboles.

Tipos y usos del carbón

Figura 2. Tipos y usos del carbón



Tomado de: Carbunion.com.

Lignito y Turba

Los depósitos de turba, enterrados hace millones de años han liberado agua y gas que se

desprende de la materia orgánica en descomposición que al volverse compacto empieza la formación de la roca que conocemos como carbón (Melo, 2003).

Según su clasificación en función en su contenido de carbono, la turba con 45-60% de C y el lignito con un 60-75% de C. Carbones con alto contenido de humedad, ceniza y de material volátil, por lo que contienen un bajo poder calorífico. En cuanto a sus usos la turba generalmente es usada en la fabricación de combustibles y a la producción de abono; mientras que el lignito es muy apreciado en la joyería (Rodríguez, s.f.).

Hulla

Es dura, quebradiza de color negro, densidad intermedia y de brillo mate. Con un contenido de carbón de 80-90% (Gómez, Menéndez, Arenillas, Prieto, García, Puente, & Rayón, s.f.).

Hulla Sub-bituminosa

Con un contenido elevado de material volátil algunas coquizables. Su uso es en la generación de energía eléctrica y en procesos industriales (Mejía, 2005).

Hulla Bituminosa

Carbones que por su forma de uso son coquizables, usados en procesos de obtención del acero y carbones térmicos usados en la producción de vapor para la generación de energía (Mejía, 2005).

Antracita

Carbón de color negro brillante, denso y duro con alto contenido de carbono entre el 90 al 98%, con bajo contenido de material volátil y poder calorífico superior a 32.6 MJ/kg. Se

encuentra en la naturaleza en capas a distinta profundidad (Gómez Borrego et al., s.f.). Es usado como combustible en generación de calor o vapor en la industria térmica y siderúrgica, en la fabricación de goma sintética, colorantes y purificación de agua para el consumo humano (filtros) (Mejía, 2005); aunque también tiene usos menores como en micrófonos, aditivos de coque, etc. (Gómez Borrego et al., s.f.).

Además de generación eléctrica, gasificación y producción de coque, el carbón es empleado en la producción de benzol, aceites, alquitrán y, mediante la licuefacción, como sustituto del petróleo (Mejía, 2005).

Formas de extracción

Inicialmente para que haya una extracción como tal es necesaria la exploración, esto con el fin de definir su potencial uso y calidad. De igual manera esto permite según la geología del terreno, determinar su tipo de extracción y costos a asumir (Mejía, 2005). Para la obtención del carbón en cualquiera de sus formas hay dos métodos de extracción: en superficie o a cielo abierto y mediante extracción subterránea o de profundidad (Carbounion.com, s.f.).

Minería subterránea o de profundidad

La mina subterránea es la que se realiza en el interior de la tierra, siendo posible su acceso por medio de túneles ya sean verticales u horizontales. Al túnel ingresan las personas que trabajarán en la mina y la maquinaria, para que, al excavar, se pueda retirar en coches a la superficie. Dichos túneles tienen un sistema de ventilación que lleva el aire fresco a los mineros y evita la acumulación de gases peligrosos (Martínez, 2009).

Las operaciones necesarias en la minería subterránea son: Arranque, cargue,

sostenimiento, transporte y descargue (UPME C, s. f.).

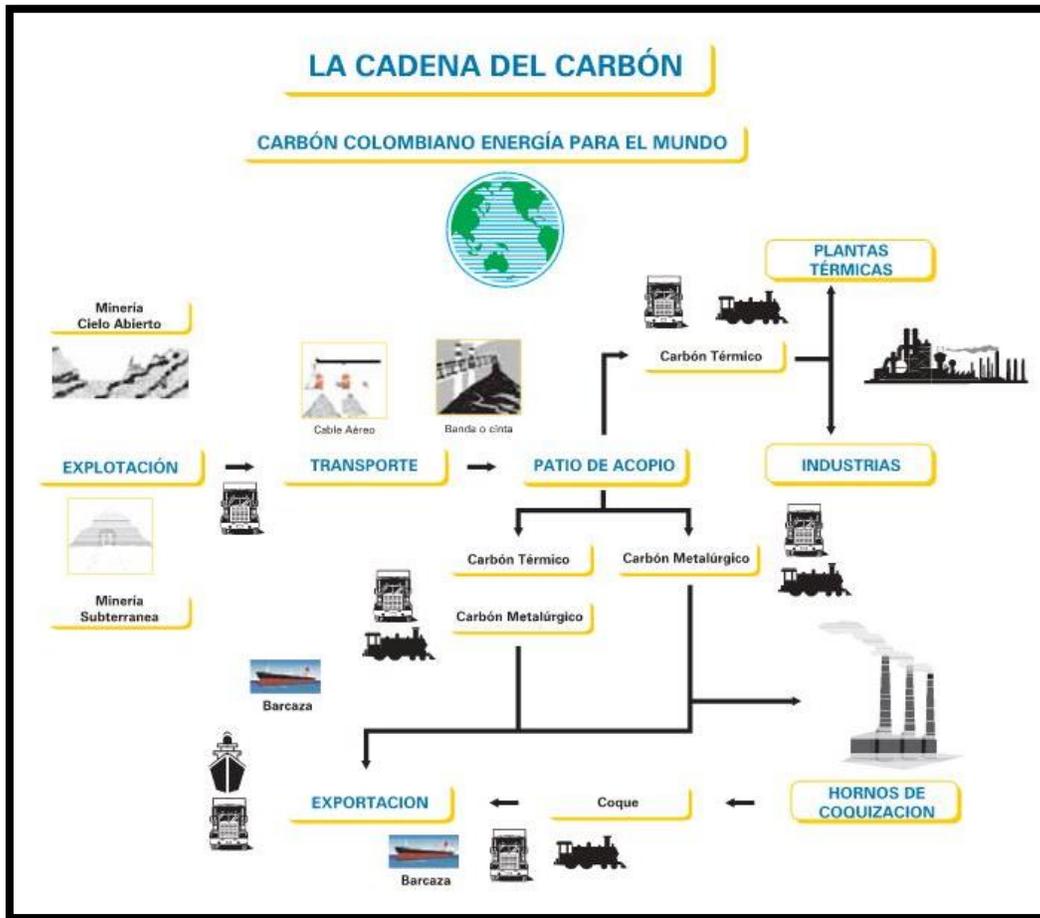
Minería de superficie o a cielo abierto

La minería a cielo abierto consiste en un proceso donde se remueve la capa superficial de la tierra con el fin de que el acceso a los yacimientos de minerales sea menos complicado para su explotación. En este proceso se usa una gran variedad de maquinaria que permite la remoción de montañas (Martínez, 2009).

Por este método se puede explotar la mayor cantidad de carbón más o menos el 90% a diferencia de la subterránea, ya que su trabajo es sobre las vetas de carbón. Las explotaciones a cielo abierto pueden cubrir una zona de cuantiosos kilómetros cuadrados y utilizan piezas de maquinaria como: dragas excavadoras, que retiran el material sobrante; excavador; camiones de gran tonelaje, para el transporte de material sobrante y carbón, excavadoras de cuba y cintas transportadoras (UPME B, s.f.). El proceso consiste en dinamitar la roca superficial logrando pulverizarla para así extraer el mineral por medio de diferentes procesos fisicoquímicos en los cuales los reactivos más usados son el cianuro, mercurio y ácido sulfúrico; también haciendo uso de grandes cantidades de agua y energía eléctrica (Martínez, 2009).

En la figura 3 se evidencia el proceso del carbón desde su extracción hasta su aprovechamiento.

Figura 3. La cadena del carbón.



Tomado de: (Mejía, 2005)

Marco legal minero ambiental

Durante el desarrollo de la minería en Colombia existían pocos controles sobre los lugares intervenidos, y empezaba a evidenciarse el gran impacto que sobre el ambiente esta actividad ocasionaba, había grandes extensiones de tierras explotadas y abandonadas sin tener en cuenta los planes de recuperación, restauración o compensación de los impactos negativos. La

alerta de la comunidad ocasionó que las autoridades se preocuparan y crearan normas en cuanto al uso y vertimiento de aguas. Cuando se iba ampliando la minería aumentaban los cambios por usos del suelo y los impactos en el agua, los cuales empezaron a preocupar a la comunidad que se dedicaba a la agricultura y ganadería, que al reclamar a las autoridades no hallaron legislación relacionada con esto. De esta forma y por el crecimiento de la minería se establecieron aspectos legales con respecto a límites, uso del agua y al abandono de las explotaciones (Peña, 2003).

Tabla 1. Legislación Minera.

Norma	Descripción
Decreto 2636/1944	<ul style="list-style-type: none"> • Legaliza las explotaciones de hecho de la pequeña minería
Decreto 1335/1987	<ul style="list-style-type: none"> • Establece disposiciones sobre la higiene y seguridad minera en las labores subterráneas
Ley 141/1994	<ul style="list-style-type: none"> • Crea el fondo nacional de regalías, la comisión nacional de regalías y regula el derecho a percibir regalías por la explotación de los recursos naturales no renovables
Decreto 501/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamenta la inscripción en el registro minero de los títulos para la exploración y explotación de minerales de propiedad nacional
Decreto 1184/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Modifica la forma de pago del canon superficiario en un plazo de 10 días siguientes a la inscripción del registro minero
Decreto 1385/1995	<ul style="list-style-type: none"> • Establece el mecanismo de conciliación para los eventos de superposiciones de áreas entre exploradores de hecho y títulos mineros otorgados
Decreto 1481/1996	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos para la inscripción títulos en el registro minero. • Establece la obtención de la licencia ambiental para la inscripción de los aportes en el registro minero nacional
Ley 685 de 2001. Código de minas	<ul style="list-style-type: none"> • Decreto que regula la ejecución de las actividades mineras. • Regula las relaciones entre los organismos y las entidades del estado y de los particulares entre sí, sobre las actividades de prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte, aprovechamiento y comercialización de los recursos no renovables que se encuentren en el suelo o subsuelo, así sean de propiedad de la nación o privada • También indica cuales son las zonas en las que no se puede

desarrollar actividades minería, teniendo en cuenta el decreto 2811/1974

- En los artículos 16 y 17 del Código Minero se definen los títulos mineros, su clasificación y su utilidad. Así mismo se establecen tres clases de minería: pequeña, mediana y gran minería.

Fuente: .Upme.D

Tabla 2. Legislación ambiental.

Norma	Descripción
Ley 2 de 1959	Reserva forestal y protección de suelos y agua
Decreto 2811/1974	
Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente	Regula lo relacionado con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico: captación, vertimiento, ocupación de cauces, ordenamiento de cuencas, entre otros.
Decreto 877 de 1976	Uso del recurso forestal. Áreas de reserva forestales
Resolución 257 de 1977	Manejo y control de recursos hidrobiológicos y del medio ambiente
Decreto 622 de 1977	Sobre parques nacionales naturales
Decreto 1449 de 1977	Disposiciones sobre conservación y protección de aguas, fauna terrestre y acuática
Ley 1715 de 1978	Reglamenta la protección del paisaje en carreteras. Prohíbe la alteración de elementos de paisaje
Ley 09/1979	Código Sanitario Nacional, donde se establecen los procedimientos y medidas para legislar, regular y controlar las descargas de los residuos y materiales. Indica, además los parámetros para controlar las actividades que afecten el medio ambiente.
Resolución 8321 de 1983	Ruido
Decreto 1594 de 1984	Normas de vertimientos de residuos líquidos
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso agua
Ley 29 de 1986	Regula áreas de reserva forestal protectora
Constitución 1991	Constitución política de Colombia consagro el derecho a un ambiente sano y la protección del patrimonio natural. Art 80. Deber del estado prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, además de recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución.

Ley 99/1993	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones
Ley 299 de 1995	Por lo cual se protege la flora colombiana
Decreto 948 de 1995	Normas para la protección y control de la calidad del aire
Resolución 989 de 1995	Criterios ambientales de calidad de combustibles líquidos y sólidos
CONPES 1750 de 1995	Políticas de manejo de aguas
Ley 164 de 1995	Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
Documento CONPES 2834 de 1996	Política de bosques
Resolución 619 de 1997	Permisos de emisiones atmosféricas para fuentes fijas
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Ley 629 de 2000	Protocolo de Kioto
Resolución 769 de 2002	Por lo cual se dictan disposiciones para contribuir a la protección y conservación de los paramos
Ley 1333/2009	Por el cual se establece el régimen Sancionatorio Ambiental
Resolución 918/2011	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades consideradas de utilidad pública o interés social y se adoptan otras determinaciones
Decreto 3573/2011	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y se dictan otras disposiciones
Decreto 953/2013	Por el cual se promueve la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas áreas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ambientales
Decreto 1374/2013	Por el cual se establecen parámetros para el señalamiento de unas reservas de recursos naturales de manera temporal y se dictan otras disposiciones
Decreto 2041/2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
Decreto 2691/2014	Por el cual se definen los mecanismos para acordar con autoridades territoriales las medidas necesarias para la protección del ambiente sano y, en especial, de sus cuencas hídricas; el desarrollo económico, social, cultural de sus comunidades y la salubridad de su población, en desarrollo del proceso de autorización de actividades de exploración y explotación minera

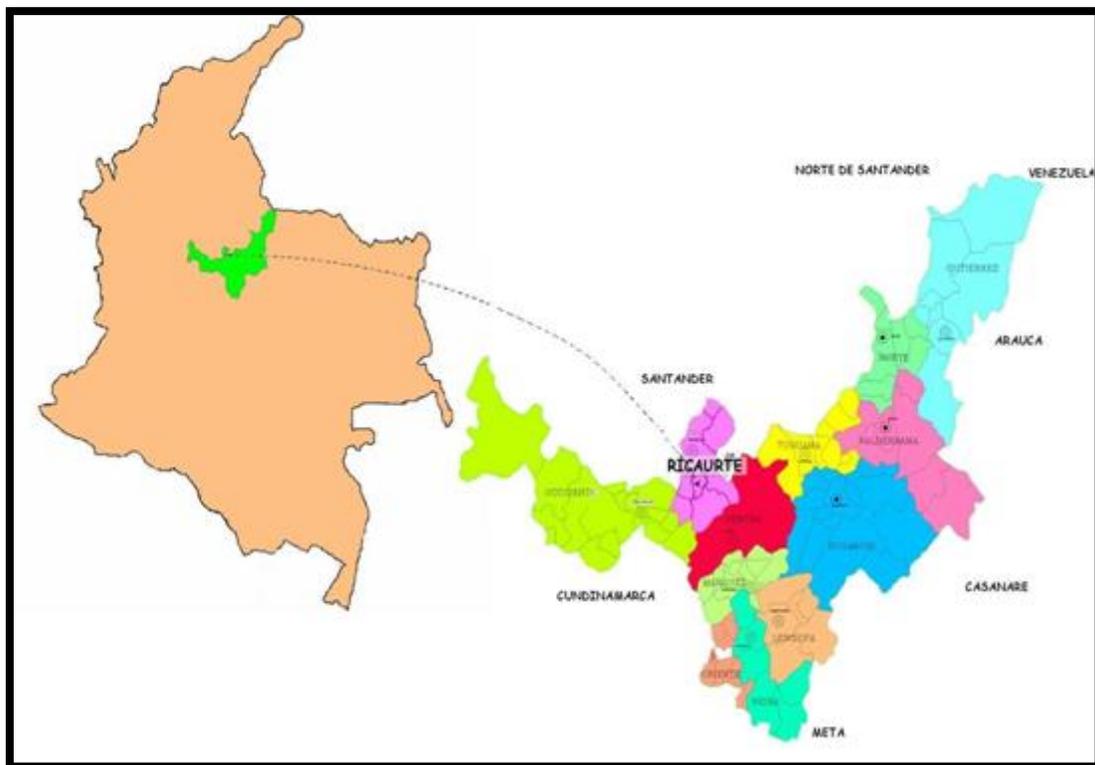
Decreto 1076/2015	<p>Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.</p> <p>Libro 2. Título II: Biodiversidad (Capítulo 1, 2 y 7)</p> <p>Título II: Gestión ambiental</p> <p>Título III: Aguas no marítimas</p> <p>Título IV: Aire</p> <p>Título VI: Residuos peligrosos</p>
Decreto 2220/2015	<p>Por el cual se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con las licencias y permisos ambientales para Proyectos de Interés Nacional y Estratégicos (PINE)</p>

Tomado de: (Ibáñez, 2015) y (Peña, C, 2005)

Localización de la zona de estudio

El departamento de Boyacá se encuentra ubicado en la cordillera oriental de Los Andes localizado entre los $04^{\circ}39'10''$ y los $07^{\circ}03'17''$ de latitud norte y los $71^{\circ}57'49''$ y los $74^{\circ}41'35''$ de longitud oeste. 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. El departamento está conformado por 123 municipios y su capital es la ciudad de Tunja (Simco, s.f.).

Ilustración 1. Mapa Ubicación departamento de Boyacá.



Tomado de: Boyacá Turismo Mapa.

MINERÍA EN BOYACÁ Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

Minería del carbón en Boyacá

La minería del carbón en Boyacá fue apareciendo paulatinamente mientras se iba descubriendo el potencial minero y la cantidad de yacimientos carboníferos de la región. Uno de los primeros en acceder a la minería del carbón es la empresa Acerías Paz del Rio en el municipio de Samacá (Cely, 2013). Todo este auge de la minería permitió el crecimiento y desarrollo económico de las regiones como también el deterioro de algunos sectores como el agrícola. Con el aumento empezaron a aparecer los impactos al medio ambiente afectando fuentes de agua usadas para el consumo y riego de cultivos; los suelos para pastoreo, cultivo de frutas y hortalizas. Toda esta situación fue empeorando con el aumento de la minería y los procesos de transformación del carbón, lo que ocasiono la preocupación de los habitantes (Avellaneda, 2013).

Todo este auge minero del carbón por su uso para la transformación de energía permitió la creación de Termo Paipa y Termo Sochagota en el departamento. La construcción de Termo Paipa causo el embalsamiento del rio Chicamocha en el valle de Paipa y la siembra intensiva de eucaliptus en las vertientes del valle; con la entrada en funcionamiento de Termo Sochagota quedo enajenado gran parte del caudal del rio Chicamocha al sector eléctrico movido con carbón. Con esta actividad y por medio de estudios se pudo determinar que se estaba perdiendo el 25% del caudal del rio lo que empezó a afectar el clima debido a que la evaporación de litros de agua por segundo ha contribuido a la generación de alteraciones micro climáticas haciendo que la lluvia disminuya y aumenten los incendios forestales (Avellaneda, 2013).

Boyacá debido a su ubicación en la región andina cuenta con una orografía bien variada. Con tierras planas del valle medio del río Magdalena, la cordillera oriental lo atraviesa de sureste a noreste lo que le otorga una completa topografía. Las condiciones geológicas han beneficiado al territorio con una gran variedad de manifestaciones mineralógicas de excelentes calidades y abundantes volúmenes. Dentro de los minerales que se encuentran están: las esmeraldas, el hierro, la caliza, la roca fosfórica, el carbón, el cobre, materiales de construcción (arcillas, arenas, gravas y mármol travertinos) (Simco, s.f.).

El departamento es el cuarto productor de carbón en Colombia y con más posibilidad de expandirse, con cerca del 3.21% de la producción nacional (Higuera, 2015). Las condiciones geológicas del departamento hacen que las vetas se encuentren a gran profundidad por lo que es necesaria la construcción de túneles subterráneos para extraer el carbón. (Cely, 2013). En la ilustración 2 se puede observar la minería tradicional de carbón en socavón.

Ilustración 2. Minería tradicional de carbón en socavón Socha.



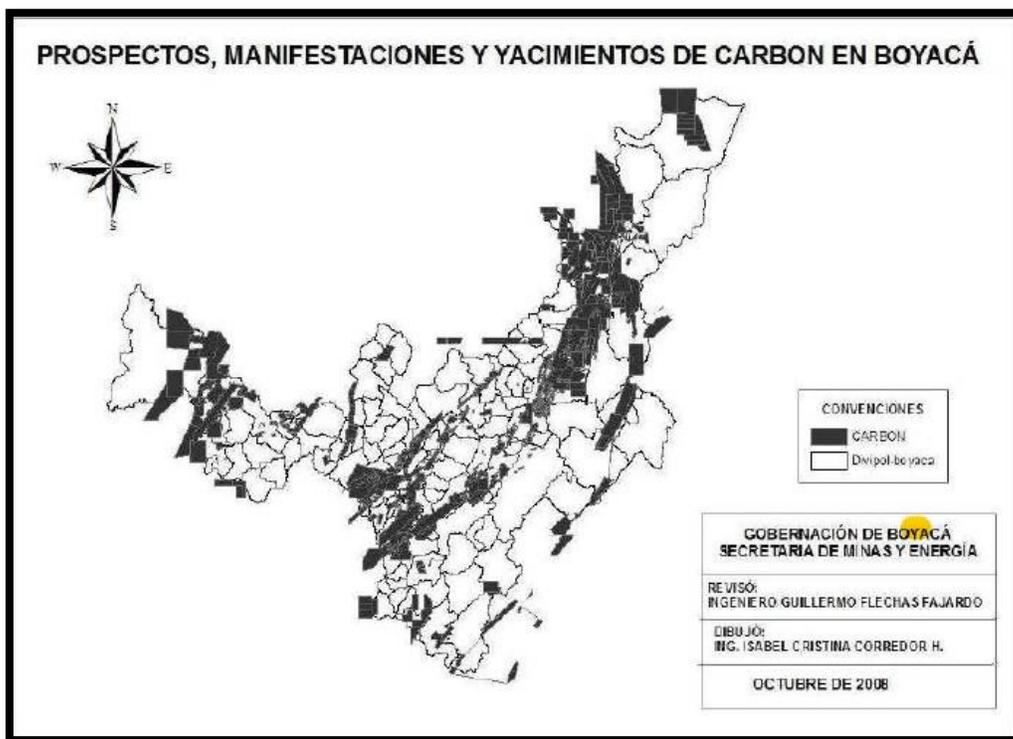
Tomado de: Ibáñez, 2015.

Este tipo de minería subterránea a pequeña y mediana escala, se caracteriza por el uso de

pico y pala o técnicas semimecanizadas con herramientas como martillos neumáticos y compresores (Higuera, 2015). Sin embargo, la extracción de este mineral se caracteriza por ser entre el 70% y 80% ilegal (Benavides & Rosso, 2012), algunas de estas se encuentran en transición hacia la formalidad (Ibáñez, 2015); según datos del Ministerio de minas y energía MME, solo el 50% de la minería a pequeña escala y el 17% de la minera a mediana escala cuentan con título minero (Higuera, 2015), aun así, se siguen manteniendo prácticas de explotación inseguras y ambientalmente insostenibles. (Ibáñez, 2015). En el departamento es evidente como la actividad minera está reemplazando a las actividades primarias de la región como lo son la agricultura y ganadería (Benavides & Rosso, 2012). Se estima que en Boyacá existen 600 títulos mineros y cerca de 3000 minas entre legales e ilegales (Rudas, 2014).

En el departamento de Boyacá se encuentra carbón a lo largo y ancho del departamento como lo muestra (ilustración 3).

Ilustración 3. Prospectos, manifestaciones y yacimientos de carbón en Boyacá.



Tomado de: (Simco, s.f)

A partir de lo observado en el mapa, el departamento de Boyacá cuenta (Observar tabla 3):

Tabla 3. Recursos de carbón en Boyacá.

Carbón en Boyacá	
Recursos de carbón	172 toneladas
Área efectiva	1097.9 Km ²
Área adjudicada	168.9 Km ²
Área libre	929.0 Km ²
Calidad	Metalúrgico, térmico

Tomado de: (Mejía, 2005)

En Boyacá se encuentran carbones bituminosos y antracitas en menor medida. El área carbonífera de Boyacá va desde el municipio de Jericó hasta los límites con el departamento de Cundinamarca, siendo la principal área minera la que se encuentra entre los municipios de Sogamoso y Jericó con carbones tipo bituminosos; otras áreas de importancia son: Tunja – Paipa - Duitama, Suesca - Albarracín, y Chequa – Lenguazaque compartidos con Cundinamarca; (Mejía, 2005) descritos en la tabla 4 así:

Tabla 4. Reservas medidas de carbón por zonas.

Zona	Cantidad (mt)
Sogamoso - Jericó	102..84
Tunja – Paipa - Duitama	24.03
Suesca - Albarracín	7.81
Chequa - Lenguazaque	35.69

Tomado de: (Mejía, 2005).

Samacá, uno de los municipios de mayor importancia por su gran cantidad de reservas de carbón con 35.7 millones de toneladas medidas y 129.9 millones de toneladas indicadas (Cely, 2013), con características para su transformación en coque (Rudas, 2014). La explotación comenzó con acerías paz del río, lo que proporcionó un crecimiento en la economía y generó grandes avances en vivienda, educación, comercio y servicios. En el año 2000 la producción mensual de carbón se acercaba a las 22.000 ton (Cely, 2013).

La minería del carbón representa la base de la economía para el 25% de los municipios de Boyacá, 12 de los cuales dependen exclusivamente de los recursos que esta genera (Higuera, 2015). Los principales consumidores del carbón metalúrgico y carbón térmico que se produce en

el norte y suroccidente del departamento son las siderúrgicas y las termoeléctricas, y las empresas dedicadas a la coquización del carbón para exportación son los principales consumidores del que se produce en la zona centro (Higuera, 2015).

Principales impactos ambientales generados por la minería

El carbón en todas las etapas de producción, explotación minera, transporte, almacenamiento, transformación, consumo, en el abandono y cierre de las minas genera problemas de contaminación en el ambiente (Mamurekli, 2010). La alta demanda de este mineral ha causado el aumento de la exploración, explotación y transporte; poniendo en riesgo el medio ambiente, principalmente a los páramos quienes son los grandes abastecedores de agua del país (Avellaneda, 2013).

Ilustración 4. Algunos impactos medio ambientales causados por la minería del carbón.



Tomado de: (Contraloría general de la república, 2013).

Los páramos son uno de los principales ecosistemas afectados por la minería del carbón, ocasionado en gran medida por los títulos mineros que se encuentran cerca de estos o a la zona de amortiguación, de igual manera por la falta de normatividad más estricta y a la delimitación incorrecta de los páramos; en la tabla 5 se puede ver la cantidad de títulos mineros y el área al que corresponden estos títulos (Greenpeace, 2013).

Tabla 5. Títulos mineros en páramos de Boyacá.

Paramo	Cantidad títulos mineros	Área total de los títulos (ha)
Pisba	88	23.380
Tota-Bijagual-Mamapacha	79	9.354
Rabanal	17	8.395
Guantiva	17	5.937
Cocuy	3	1.979
Iguaque	1	5

Tomado de: (Greenpeace, 2013).

En el departamento de Boyacá, la explotación agrícola es muy importante, tanto para alimentarse como para la manutención económica, sin embargo, las aguas y suelos del área de influencia de la explotación no son los más aptos para cultivos por el uso indebido del suelo y la contaminación de estos, por esto algunos campesinos han recurrido a otras labores para conseguir así su sustento (Alfaro, s.f). Esto ha ocasionado el interés de las comunidades por los impactos que la minería produce, especialmente en las zonas de páramo (Avellaneda, 2013) y en otros que cambien su actividad por convertirse en empleados de las minas o a desplazarse a otras zonas del país para buscar nuevas oportunidades (Alfaro, s.f).

Impactos sobre la Atmosfera

El impacto a la atmosfera que causa esta minería se da generalmente en las actividades extractivas, durante los procesos de carga y transporte y en su transformación para la producción de coque (Lillo, s.f). Cuando una fuente emite contaminantes en la atmosfera, estos son transportados en el aire donde se mezclan y son sujetos a cambios fisicoquímicos en la atmosfera para así llegar al receptor (salud humana, ambiente, infraestructura y clima mundial) (Melo, Peña, Rocha & Torres, 2015).

Ilustración 5. Emisiones por combustión del carbón.



Tomado de: Autor.

En el proceso se genera una diversidad de material particulado (Verbel, s.f) rico en cenizas y CO (Pulido, 2014) el cual es esparcido por la manipulación y acción del viento (Cely, 2013). En el material particulado hay presencia de hidrocarburos aromáticos poli cíclico, flúor y

metales pesados entre estos el plomo, el mercurio, níquel, vanadio, berilio, cadmio, bario, cromo, cobre, molibdeno, zinc y selenio; metaloides como el arsénico; algunos isotopos radioactivos como el radio, uranio y torio. Los cuales pueden esparcirse en la atmosfera durante la combustión del carbón, lo que provoca la alteración de diversos ecosistemas (citado por Keating, 2001) (Contraloría general de la república, 2013). En las ilustraciones 5, 6 y 7 es notable la presencia de emisiones atmosféricas en una planta coquizadora ubicada en la vereda la chorrera del municipio de Samacá.

Ilustración 6. Emisiones atmosféricas del carbón. Samacá – Boyacá.



Tomado de: Autor.

Así mismo se producen una serie de gases que en primer lugar provienen de la descomposición de la roca y en algunos casos a los gases productos de voladuras (UPME, C n.d), estos gases producidos durante la extracción son Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO₂) y Metano (CH₄) (Lillo, s.f). Una vez extraído y lavado el carbón es transportado, puede ser en tren, camión o barco (Lockwood, Welker-Hood, Rauch, & Gottlieb, 2009).

Generalmente el carbón en Boyacá es transportado desde la mina en volquetas de 10 ton, doble troques de 20 ton y tracto mulas de 40 ton (Mejía, 2005). En el transporte del carbón puede liberarse toneladas de Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de carbono (CO), Óxido de nitrógeno (NO), Dióxido de azufre (SO_2) y de material particulado producto de la combustión del Diésel (Lockwood, et al, 2009).

Ilustración 7. Emisiones en hornos coquizadores. Samacá – Boyacá.



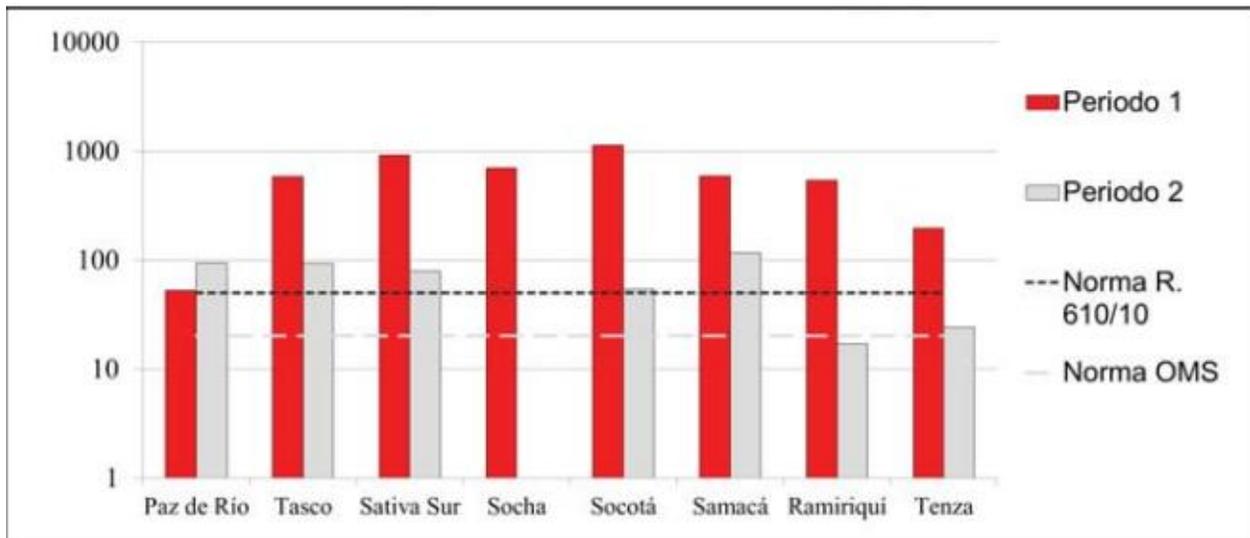
Tomado de: Autor.

Durante el proceso de transformación del carbón también hay presencia de impactos debido a la combustión de este se producen una serie de gases CO_x , NO_x , y SO_x (Lillo, s.f); siendo el CO_2 el más producido tanto en el proceso de conversión en energía en las centrales eléctricas como en su transformación en coque (Pulido, 2014). De igual manera se han encontrado emisiones de Mercurio (Agudelo, Quiroz, García, Robledo & García, 2015); como

también la formación de Smog mediante la liberación de óxidos de nitrógeno que reaccionan con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz sola para producir ozono troposférico. (Lockwood, et al, 2009).

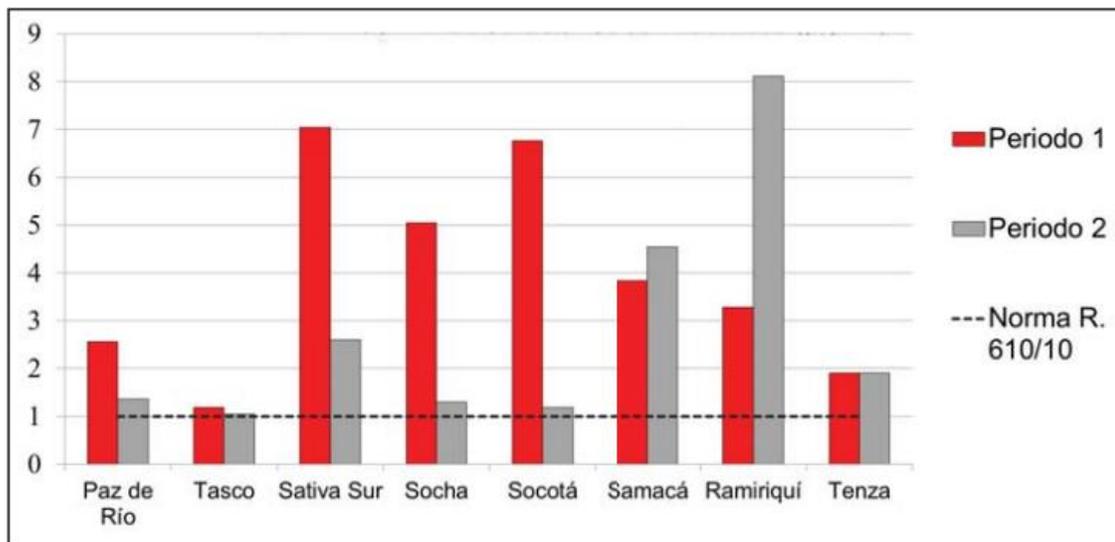
Estudios realizados por la Unidad de planeación minero-energética UPME, se hicieron mediciones de PM10, mercurio y plomo en 6 municipios donde hay actividad minera (Paz del Rio, Samaca, Socota, Tasco, Socha y Sativa sur) y en 2 municipios de la zona de influencia (Ramiriqui y Tenza); realizadas en 2 periodos, dando como resultados ver figuras 4, 5 y 6 (Agudelo, et. al, 2015).

Figura 4. Concentración promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) intramural de partículas respirables en suspensión, en los municipios estudiados.



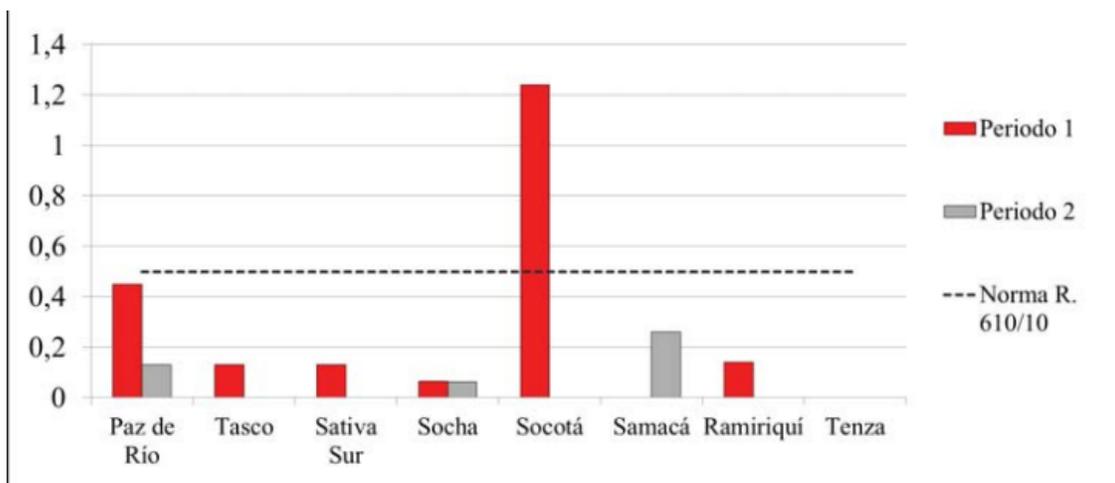
Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Figura 5. Concentración intramural promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de mercurio en los municipios estudiados



Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Figura 6. Concentración intramural promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de plomo en los municipios estudiados



Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Impactos sobre el Agua

Uno de los problemas más significativos que ocasiona el carbón, su proceso de extracción y transformación es el causado a los cuerpos de agua, siendo este el recurso más afectado, puesto que al contaminarse difícilmente se recupera (Corpoboyacá, 2017). En consecuencia hay variaciones en la calidad de agua y en su cantidad, por lo que agua usada para el consumo humano ahora se utiliza en la minería del carbón (Pulido, 2014). Desde el lavado de maquinaria, pasando por el riego de vías y la modificación de ríos o de terrenos para la creación de embalses usados para la refrigeración en las termoeléctricas (Melo, et. al, 2015).

El aumento de la minería del carbón especialmente en zonas de páramo ha ocasionado la pérdida de vegetación propia de páramo la cual contribuye a la generación de fuentes de agua cristalina que finalmente es usada para el consumo de los habitantes de las diferentes regiones del departamento; un ejemplo de esto es el en páramo El rabanal donde hay contaminación de aguas subterráneas debido a su cercanía a la zona de explotación minera de Samacá (Greenpeace, 2013). En el municipio de Tasco la contaminación ocasionada por la existencia de bocaminas en zonas de yacimientos hídricos, han alterado las aguas de la quebrada de Guaza (tributario del Río Chicamocha), carbonera y las aguas que van hacia el río Cravo que desemboca en el Orinoco (UPME, A, s.f.).

En la ilustración 8 se puede observar como los drenajes ácidos de las minas han contaminado los cuerpos de agua.

Ilustración 8. Contaminación del agua por minería del carbón en la zona de influencia Paramo de Pisba



Tomado de: Acueductos comunitarios Tasco, Boyacá.

La contaminación al recurso hídrico incluye aguas subterráneas y superficiales (Verbel, s.f). Estas aguas que provienen de las minas salen con sedimentos y metales pesados que llegan directamente a los ríos y quebradas (Alfaro, s.f); la descarga de sedimentos genera contaminación química, incremento en la turbidez, aumento de sólidos en suspensión y disueltos, alteración del curso de los cauces y variación de niveles freáticos (Cely, 2013).

A los cuerpos de agua cercanos a la mina son liberados metales y químicos altamente tóxicos (Greenpeace, 2013). Cuando el azufre (S) y la pirita (FeS_2) entran en contacto con el O_2 , se oxida al mezclarse con el agua produciendo acidez (Agudelo, et.al, 2015), formando ácido sulfúrico y hierro disuelto; otros de los contaminantes que se encuentran presentes en los drenajes de las minas como consecuencia del polvillo del carbón son hidrocarburos aromáticos

poli cíclicos, flúor y metales pesados entre estos el plomo, el mercurio, níquel, vanadio, berilio, cadmio, bario, cromo , cobre, molibdeno, zinc y selenio; metaloides como el arsénico; algunos isótopos radioactivos como el radio, uranio y torio (Contraloría general de la república, 2013); estos drenajes ácidos son luego arrojados a la superficie sin tratamiento ni canalización, lo que aumenta el riesgo de exposición de los suelos y fuentes hídricas (Mojica, 2013). El agua de la mina en la mayoría de los casos sale con un pH de 3, lo que significa que es altamente acida y contiene concentraciones significativas de los químicos antes mencionados (Alfaro, s.f). Muestra de esto es un análisis hecho por el profesor Jaime Fernando Gonzalez y la estudiante Sonia Carolina Pardo de la universidad nacional en el rio Samacá presento un valor de pH de 4.8, en el análisis de un efluente de una mina se tuvo un valor de 7.8 y otra tuvo un valor de 2.7 todos estos efluentes son descargados a los acuíferos por medio de los drenajes mineros como se puede observar en la ilustración 9 (Contraloría general de la república, 2013).

Ilustración 9. Drenaje de las minas.



Tomado de: Autor.

Partiendo de mismo estudio ya mencionado en donde se analizaron las aguas de la quebrada el Tirque en Socha, en el río Sopaga en Paz del Río y en el río Guachaneca en Samaca se obtuvieron los siguientes resultados, ver figuras 7, 8 y 9.

Figura 7. Resultados de indicadores de calidad de agua en la quebrada el Tirque en Socha-Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,23	0,01	No cumple	0,2
	2	0,15	0	Cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	40	NA	No cumple	15
	2	50	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	0,6	0,03	No cumple	0,3
	2	1,5	0,01	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	1,26	NA	Cumple	36
	2	1,25	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,015	0,00	Cumple	0,1
	2	0,034	NA	Cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	0,0009	0,00	Cumple	0,001
	2	0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,0003	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0,00	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0003	No cumple	0,01
	2	0,013	0,00	No cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	19,8	NA	No cumple	2
	2	43,4	NA	No cumple	

Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Figura 8. Resultados de indicadores de calidad de agua en el río Sopaga en Paz del Río-Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,22	0,01	No cumple	0,2
	2	1,55	0,03	No cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	70	NA	No cumple	15
	2	75	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	1,3	0,09	No cumple	0,3
	2	4	0,03	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	2,02	NA	Cumple	36
	2	1,9	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,12	0,02	No cumple	0,1
	2	0,142	NA	No cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	0,0013	0	No cumple	0,001
	2	<0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,0003	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0,00	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0003	No cumple	0,01
	2	<0,010	0	Cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	26	NA	No cumple	2
	2	81,2	NA	No cumple	

Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Figura 9. Resultados de indicadores de calidad de agua en el Río Guachaneca en Samacá-Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,19	0,01	Cumple	0,2
	2	0,06	0,00	Cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	67,5	NA	No cumple	15
	2	32,5	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	0,86	0,02	No cumple	0,3
	2	0,81	0,02	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	0,309	NA	Cumple	36
	2	1,35	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,017	0,002	Cumple	0,1
	2	0,09	0,01	Cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	<0,0007	0,00	Cumple	0,001
	2	<0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,002	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0005	No cumple	0,01
	2	0,021	0,00	No cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	17,2	NA	No cumple	2
	2	2,82	NA	No cumple	

Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Antes de ser transportado el carbón a las plantas de generación de energía, tiene que ser

lavado para separarlo de impurezas, en este se utilizan polímeros químicos y grandes cantidades de agua, lo que provoca la creación de un residuo líquido con la consistencia del cemento con alto contenido en metales pesados o que hace necesario su almacenamiento; para poder retener estos sedimentos se construyen estanques o los depositan en las minas cerradas, sin embargo, esta práctica puede filtrar productos químicos a los suministros de agua subterránea (Lockwood, et.al, 2009).

Algunas mediciones realizadas por la Unidad de planeación minero energética en las aguas residuales mineras arrojaron los datos consignados en la tabla 9 (UPME,A s.f.).

Tabla 6. Características fisicoquímicas del agua residual minera en Boyacá.

Características Fisicoquímicas	
pH	3.51
Solidos disueltos	1362.50 mg/l
Solidos suspendidos	ND
Hierro	ND
Sulfatos	ND

Tomado de: Umpe, s.f

Uno de los impactos ambientales evidenciados en el recurso hídrico con relación a la minería del carbón, nace con la necesidad de usar madera en la construcción de las minas por lo que usan eucalipto el cual en ocasiones son plantados en nacimientos de corriente hídricas provocando la alteración de caudales y cauces de los ríos (Alfaro, s.f).

Impactos sobre el Suelo

Otro de los impactos representativos de la minería del carbón se da debido a que el aprovechamiento del subsuelo conduce a la alteración de áreas de suelo, la explotación minera

causa el hundimiento (subsistencia) de este, así mismo se ve alterada la distribución de los metales en el suelo y alteran la topografía del suelo (Contraloría general de la república, 2013). Con la explotación y exploración se genera inestabilidad en el suelo y puede provocar deslizamientos (Osorio, 2015). La ilustración 10 muestra cómo sería la reacción del suelo ante una actividad minera.

Ilustración 10. Inestabilidad del suelo zona minera de Samacá – Boyacá.



Tomado de: Autor.

En la minería del carbón hay presencia de pérdida de suelo por la extracción, arranque y acumulación de vertidos. Hay subsidencia por depresión en el nivel freático, desestabilización de laderas (Lillo, s.f). Por otro lado, también se han encontrado metales pesados como el cromo, cadmio, plomo y concentraciones mínimas de mercurio (Agudelo, et.al., 2015).

De igual manera las grandes plantaciones de eucalipto con lo que también hacen reforestación, plantaciones que originalmente no eran nativas de esos suelos provocando, erosión (Alfaro, s.f), deforestación, pérdida del suelo fértil, variación en la textura de los suelos (Lillo, s.f) y afectando los usos de suelos. No solo las plantaciones de eucalipto han sido las causantes

de la erosión, sino que también la acumulación de estériles los cuales también impiden la regeneración vegetativa, residuos de la explotación del carbón (Mojica, 2103), y residuos que normalmente incineran y esparcen sobre el suelo (Cely, 2013). Un ejemplo de esto lo muestran las ilustraciones 11 y 12.

Ilustración 11. Daño en el suelo y falta de cobertura vegetal. Tasco – Boyaca



Tomado de: Greenpeace (2013).

Ilustración 12. Disposición de estériles en zona minera Samacá. Vereda la chorrera.



Tomado de: Autor.

Estudios realizados en 6 municipios donde hay presencia de actividad minera (Tasco, Paz del Rio, Samaca, Socota, Socha) hallaron concentraciones de mercurio mínimas y con contenido

de plomo mayores pero muy variables (Agudelo, et.al, 2015). Ver tabla 7.

Tabla 7. Resultados indicadores de la calidad de suelo en los lugares de estudio

MUNICIPIO	MUESTRA	C _{Hg} en solución de análisis (µg/mL)	C _{Pb} en solución de análisis (µg/mL)	C _{Hg} en suelo (µg/mL)	C _{Pb} en suelo (µg/mL)
Blanco absoluto (solución)	-	<0,05	<0,05	-	-
Socota	1	<0,05	0.255	0.03	0.4091
	2	<0,05	0.129	0.03	0.1573
	3	<0,05	0.066	0.03	0.0314
Socha	1	<0,05	0.192	0.03	0.2832
	2	<0,05	0.192	0.03	0.2832
	3	<0,05	0.192	0.03	0.2832
Paz del Rio	1	<0,05	0.129	0.03	0.1573
	2	<0,05	2.081	0.03	4.0616
	3	<0,05	0.192	0.03	0.2832
	4	<0,05	0.192	0.03	0.2833
Tasco	1	<0,05	<0,05	0.03	0
	2	<0,05	0.255	0.03	0.4092
	3	<0,05	0.318	0.03	0.5351
Samacá	1	<0,05	0.569	0.03	1.0387
	2	<0,05	0.066	0.03	0.0314
	3	<0,05	0.129	0.03	0.1573

Tomado de: Agudelo, et. al, 2015.

Impactos sobre la Vegetación

La minería del carbón genera impactos a la vegetación por su explotación y daño a las características fisicoquímicas del suelo, también, por el daño que produce el polvillo del carbón a las plantas una muestra de esto se ve en la ilustración 13. El problema radica en que las reservas carboníferas se encuentran en lugares con altos porcentajes de reservas forestales lo que amenaza con reducirlo de forma legal e ilegal (Melo, et al, 2015). En Boyacá cuando Acerías Paz del Rio llego a Samacá a hacer la exploración y análisis de las vetas de carbón fueron afectadas 10.000 m² de vegetación nativa en zonas donde no se podía conceder licencia ambiental por su

importancia hídrica (Greenpeace, 2013).

Ilustración 13. Quema de vegetación por polvillo de carbón Samacá.



Tomado de: Autor.

El daño en la vegetación comienza cuando esta es intervenida para la construcción de obras de infraestructura, vías, campamentos, patios de acopio y botaderos de estéril (UPME, C s.f). En estos lugares generalmente se producen grandes plantaciones de eucalipto muy usadas para la construcción y refuerzos internos de los túneles de la mina causando deforestación, sin embargo, aseguran que con esta especie reforestan la zona (Alfaro, s.f). Varias de estas plantaciones realizadas en zonas de páramos, subpáramos y bosques andinos causan daño y agotamiento de vegetación nativa provocando la erosión del suelo (Avellaneda, 2013).

En las zonas donde hay explotación minera, la inadecuada disposición final de materiales estériles ocasiona la pérdida de cobertura vegetal (Corpoboyaca, 2017), un ejemplo de esto lo muestra la ilustración 14.

Ilustración 14. Perdida de cobertura vegetal por minería de carbón en Samacá.



Tomado de: Autor.

Con la quema del carbón se generan grandes cantidades de cenizas, que cuando es esparcida por el viento llega a cultivos y plantas produciendo la quema de estos (Avellaneda, 2013). Las descargas de iones ferrosos y férricos lo mismo que de sulfatos y metales, tienen potencial tóxico para especies vegetales (Agudelo, et. al, 2015). Estos extractos de partículas de carbón han afectado a la flora presente generando efectos como clorosis, necrosis e inhibición del crecimiento (Contraloría general de la república, 2013).

Otra de las grandes preocupaciones en el departamento es en el páramo de Pisba se realizó minería de manera ilegal y sumado a esto es de conocimiento que fueron otorgadas licencias ambientales a una multinacional que por información de la comunidad de Tasco esta multinacional con el fin de hacer actividades de exploración y estudios hidrogeológicos arrancaron gran parte de frailejones (Acueductos comunitarios de Tasco, Boyacá).

Ilustración 15. Daño en la vegetación por minería del carbón en paramo de Pisba.



Tomado de: Greenpeace

Impactos sobre la Fauna

Todos los impactos ambientales relacionados a la minería del carbón afectan directa e indirectamente a las especies animales que se encuentran en la zona de influencia y cerca a esta. Principalmente la fauna acuática la cual se ve perjudicada por las descargas de aguas ácidas con alto contenido de sedimentos (UPME, C s.f); causando daños ecológicos que alteran o eliminan las comunidades biológicas de los ríos y disminuyen la diversidad de organismos (Melo, et.al, 2015), como en la ilustración 16 donde es clara la contaminación en la zona de Tasco. Estos drenajes pueden permanecer por tiempo indefinido aun cuando la mina ha sido abandonada o inapropiadamente cerrada. En algunos casos estos drenajes pueden ser alcalinos lo que implica la liberación de metales con capacidad de afectación a los ecosistemas (Contraloría general de la

república, 2013).

Ilustración 16. Agua contaminada por drenajes ácidos y alcalinos. Tasco- Boyacá



Tomado de: Greenpeace, 2013.

Otro de los impactos causados por la minería del carbón que puede afectar a la fauna es la deforestación ya que esta reduce la disponibilidad de hábitat a las especies (UPME, C s.f). La erosión de los suelos ocasiona la perdida de cobertura vegetal ocasionando la desaparición de vegetación que es usada por los animales como alimento afectándolo de esta manera (Corpoboyaca, 2017). En la ilustración 17 se observa una cabra de monte en busca su alimento en un lugar donde claramente hay poca presencia de vegetación.

Ilustración 17. Cabra de monte en busca de alimento en zona minera de Samacá.



Fuente. Autor.

Varias investigaciones como se muestran en la figura 10 realizadas en zonas donde hay presencia de minería del carbón han encontrado la existencia de genotoxicidad en ratas (*Rattus rattus*), ratones (*Mus musculus*) e iguanas silvestres procedentes de estas zonas (Contraloría general de la república, 2013). Aunque no hay evidencia de que esto haya ocurrido en Boyacá, el hecho de que la presencia de alteraciones genéticas en algunos animales se haya presentado en Colombia por la intervención de la minería del carbón deja un precedente de que si no hay control ni cuidado puede llegar a ocurrir y dañar significativamente la diversidad de la fauna en la región.

Figura 10. Algunos estudios realizados en Colombia con relación a la minería del carbón

Lugar	Unidad experimental	Ensayo	Efectos	Referencia
Laboratorio	<i>Lemna minor</i> (planta acuática)	Fito-toxicidad por exposición a extractos metanólicos de polvillo de carbón.	Clorosis, reducción en el tamaño de las hojas, abscisión de hojas y raíces, presencia de tejido necrótico.	Coronado-Posada et al. (2013)
Departamento del Cesar (La Loma y La Jagua de Ibirico)	<i>Mus musculus</i> (ratón) e <i>Iguana iguana</i> (iguana)	Genotoxicidad mediante ensayo cometa y micronúcleos en células de sangre periférica.	En ambas especies los marcadores de daño en el ADN son significativamente superiores a los medidos en el grupo de referencia (no expuesto).	Cabarcas-Montalvo et al. (2012)
Departamento de La Guajira (mina a cielo abierto "El Cerrejón")	Trabajadores de la mina examinados por grupos, de acuerdo con las actividades que desarrollan, tales como transporte, mantenimiento, extracción y embarque de carbón.	Genotoxicidad mediante ensayo cometa y micronúcleos en linfocitos.	Trabajadores que desarrollan diferentes actividades mineras presentaron marcadores de daño al ADN significativamente superiores a los registrados para un grupo de referencia.	León-Mejía et al. (2011)
Departamento de Córdoba (Municipio de Puerto Libertador)	<i>Rattus rattus</i> (rata) y <i>Mus musculus</i> (ratón).	Genotoxicidad mediante ensayo cometa en sangre periférica	Ambas especies demostraron ser indicadores sensibles de genotoxicidad ambiental causada por las actividades de extracción de carbón	León et al. (2007)

Tomado de: (Contraloría general de la república, 2013)

Impactos sobre el Paisaje

Uno de los más claros impactos producidos por la minería del carbón y su transformación, es el cambio en el paisaje. La ilustración 18 es la evidencia de cómo se pierde el paisaje en esta actividad. La explotación minera es una actividad que no pasa desapercibida, porque aunque sea de manera subterránea, se producen cambios sobre el relieve natural por el montaje y adecuación de las bocaminas y vías de acceso a esta (Álvarez, 2008).

Ilustración 18. Alteración al paisaje por minería y transformación del carbón. Samacá.



Tomado de: Autor.

Los cambios en el paisaje se han dado debido a la eliminación de vegetación autóctona, disminución de territorios agrícolas y acumulación de residuos mineros (Contraloría general de la república, 2013). La inadecuada conservación de las infraestructuras ha generado zonas con poca vegetación y discontinuidad del paisaje (UPME, C s.f). Debido a la inestabilidad de los terrenos donde existe explotación hay riesgo de generación de avenidas torrenciales con

elementos contaminantes acabando a su paso la vegetación, la estructura de los ríos y quebradas (Greenpeace, 2013). Ver ilustración 19.

Ilustración 19. Deslizamiento en zona minera del carbón en Tasco.



Tomado de: Greenpeace. (2013)

Otro impacto notorio que ha deteriorado el paisaje es la acumulación de cenizas como residuo de la transformación del carbón depositadas en las laderas de los ríos han transformado el paisaje de verde a tonos grisáceo (Avellaneda, 2013).

Impactos sociales generados por la minería del carbón

Además de los impactos ambientales, la minería genera impactos de ámbito social, pues aparte de las afectaciones en las comunidades aledañas a las zonas de concesión minera, hay efectos directos e indirectos sobre las poblaciones aguas abajo (Guerrero, 2009), uno de estos relacionado con las explotaciones en zona de paramo ha generado la contaminación de nacimientos de agua necesarios para el abastecimiento de agua potable en las regiones, lo que

puede afectar la vida futura con el eventual desabastecimiento del recurso hídrico, debido a no sería apto para el consumo ni de animales, humanos y plantas (Pineda, 2014). Cuando las minas son cerradas hay reacción del agua lluvia con las rocas que quedan expuestas causando la oxidación de minerales de sulfuro de metal. Esta reacción libera hierro, aluminio, cadmio y cobre en el sistema de aguas circundante y puede contaminar el agua potable (Lockwood, et al, 2009).

Algunas de las minas localizadas en inmediaciones de los Paramos de Pisba, Corraeras y Rabanal (Pineda, 2014) han generado alertas en las comunidades, quienes han luchado para que los organismos encargados de la protección de los páramos se fijen en esta problemática y tomen acciones (Acueductos comunitarios Tasco, Boyacá).

De igual manera es de gran preocupación que la actividad minera reemplace las actividades primarias de las regiones (agricultura y ganadería), por su gran importancia para los habitantes tanto como para alimentarse, como para su manutención económica, debido a una reconfiguración territorial y productiva que implica que extensiones de tierra usadas normalmente para la agricultura y pastoreo sean reemplazadas por extensiones de tierra destinadas a la búsqueda y explotación de minerales como el carbón (Pineda, 2014); ocasionando el cambio de actividad, pobreza e inequidad, lo que retrasa el desarrollo de comunidades y genera la migración de campesinos a otras zonas afectando los vínculos sociales y de identidad cultural (Pardo & Sánchez, 2013).

En las zonas rurales que hacen parte del entorno de las minas hay condiciones de pobreza, de difícil acceso a la educación y a sistemas de salud de los trabajadores mineros y de sus familias, además de la falta de información y educación sobre la prevención de patologías y

accidentes laborales, reduciendo la expectativa de vida de los mineros. La inestabilidad laboral también es una de las problemáticas que se presentan debido a la terminación repentina de contratos, ya sea por los cierres de la mina, por la variación de precios en los mercados o por el aumento de la tasa de accidentalidad del personal que trabaja en ellas (Pardo, et. Al, 2013).

El cambio de la cultura en las regiones donde hay minería es evidente por el incremento de bares, discotecas, prostitución y delincuencia generando inseguridad ciudadana (Guerrero, 2009). Es común que empiezan a llegar ciudadanos de otras regiones, cambiando las costumbres propias de la región; además de invasión por grupos ilegales al margen de la ley.

En cuanto a la salud de la población los riesgos son altos puesto que se han asociado efectos negativos para la salud a cada aspecto del ciclo de vida del carbón incluyendo la extracción, transporte, preparación en la central eléctrica, combustión y desecho de residuos postcombustión. La neumocosis en los mineros es la enfermedad más común relacionada con la minería del carbón y el gran riesgo por accidentes fatales por falta de higiene y seguridad industrial. Además de los mineros la población aledaña a las zonas de concesión minera se ve afectada por diversos factores como lo son explosiones de las minas, derrumbes y dispersión de material particulado (Lockwood, et al, 2009).

Análisis de la situación de la salud en el municipio Samacá da como resultados que los problemas cardiovasculares como la principal causa de mortalidad, los cuales aumentaron con el incremento de la actividad minera, sin embargo, no hay estudios que relacionen el carbón con esta enfermedad. Además de la presencia de enfermedades respiratorias agudas, siendo la población infantil la más afectada (Acosta, 2016).

Algunas recomendaciones para mitigar los impactos ambientales

Con el fin de evitar la problemática ambiental que presenta la minería del carbón y partiendo de que la recuperación de estos ecosistemas puede tardar cerca de 200 años a excepción del recurso hídrico que no podrá recuperarse (Corpoboyacá, 2017).

El mundo ha ido evolucionando y la aparición de la tecnología ha significado diferentes avances que pueden permitir una mejor calidad de vida, pasa igual en la industria ya que el uso de tecnologías actuales permiten reducir o mitigar las emisiones de contaminantes asociadas al uso del carbón. De igual manera es necesario considerar alternativas para el aprovechamiento de mecanismos de desarrollo limpio como el convenio de Río de Janeiro y el protocolo de Kyoto, relacionados con el efecto de los gases invernadero (Mejía, s.f.).

Propuestas de mejora

Para lograr un menor impacto al ambiente es necesario tener en cuenta la formulación e implementación de diferentes programas entre estos pueden estar:

- Rehabilitación de áreas intervenidas
- Manejo y conservación de suelos
- Control de procesos erosivos y manejo de aguas lluvias
- Manejo de recursos hídricos
- Manejo y disposición final de residuos
- Protección de fauna y flora

- Control de emisiones atmosféricas
- Manejo paisajístico y repoblación forestal
- Seguimiento y monitoreo:
- Calidad de agua y cuerpos de agua afectables y en riesgo de afectación
- Aguas residuales antes y después del tratamiento
- Procesos erosivos y producción de sedimentos
- Sistema de tratamiento de disposición de residuos
- Restitución morfológica en las áreas de explotación
- Manejo y disposición de suelos removidos

Estos programas pueden ser puestos en práctica teniendo en cuenta las siguientes estrategias:

- Elaborar el Estudio de impacto ambiental que determina el estado del medio ambiente antes de iniciar el proyecto para así tener con que medir y comparar los efectos ambientales que aparezcan durante y después.
- Implementar un sistema de bombeo para el drenaje de las aguas de la mina, garantizando la recirculación de estas en los casos que sea necesario, esto contribuye a minimizar los efectos producidos por el descenso de nivel de las aguas subterráneas.
- Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales de la mina con el fin de lograr su purificación, hasta alcanzar que su calidad cumpla con los parámetros

que exige la resolución 1207 de 2014, para luego ser utilizados para riego.

- Haciendo la reutilización de las aguas tratadas de las minas, regar los caminos, lavar el equipo de transporte, aspersion y restablecimiento de la cubierta vegetal en las escombreras y de las superficies expuestas, así como el uso de aglomerantes para contribuir a evitar las emisiones de polvo. Siempre y cuando el agua usada sea reciclada.
- La siembra de vegetación nativa que permita la recuperación parcial de los terrenos debido a que estas ayudan a eliminar sustancias solidas en suspensión; neutralizan y purifican las aguas residuales. Modificar los programas de reforestación con vegetación nativa para que sean más estrictos y se pueda cumplir con la recuperación parcial del suelo y la conservación de fuentes de agua. Además, que permiten la conservación de especies de fauna y flora de las zonas de influencia minera.
- Los perímetros de la mina, al igual que las pilas de desmonte externas y las antiguas superficies de explotación, deben tratar de recuperarse inmediatamente con vegetación autóctona a fin de limitar o prevenir una erosión mayor.
- Hacer una adecuada disposición final de residuos de la mina, en los lugares autorizados por la corporación autónoma regional debido a que estos residuos están catalogados como especiales, para que estos no lleguen a las quebradas o afecten los suelos aledaños que puedan ser utilizados para otra actividad.
- Realizar campañas de capacitación y sensibilización en materia de protección

ambiental y salud dirigidas a encargados y a quienes participen en las actividades mineras.

- Mayor seguimiento y control para el cumplimiento estricto de normas y en el caso de que se presenten fallas hacer las respectivas correcciones para que así no se presenten multas millonarias que puedan afectar el funcionamiento de la empresa.

CONCLUSIONES

El departamento de Boyacá es un gran productor de carbón lo que provoca el crecimiento en su explotación por el aumento de la demanda de estos tipos de carbón hacia al exterior.

Tanto como la minería legal como la ilegal están generando grandes problemáticas ambientales, un ejemplo de esto es la situación ocurrida en Tasco donde la población tuvo que movilizarse para así impedir que siguiera causando daño en los ecosistemas propios de paramo.

Los impactos ambientales asociados a la minería del carbón han sido significativos a lo largo de los años, evidenciándose en la desaparición de fuentes hídricas, flora y fauna.

Aunque algunas minas cuentan con tratamientos para evitar que el impacto sea mayor, falta más desarrollo de estos tratamientos teniendo en cuenta la tecnología actual.

La minería ha modificado radicalmente el uso de los suelos, provocando así la disminución de terrenos agrícolas y el desplazamiento de campesinos que viven de esta actividad.

Es de gran preocupación todo lo que está sucediendo en los páramos del departamento por la explotación minera del carbón, por lo tanto, es necesario que las entidades encargadas de ejercer control se encarguen de velar por la protección de estos santuarios tan importantes para la

subsistencia humana.

Es de vital importancia que se les dé un mayor seguimiento a las industrias de explotación minera, como también evitar la minería ilegal, para disminuir los daños que se le están ocasionando al medio ambiente.

Crear planes que contribuyan a mejorar el medio ambiente a través políticas y acciones que permitan el control y seguimiento de los impactos ambientales y sociales generados por las empresas mineras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. (2016.) Impactos ambientales de la minería de carbón y su relación con los problemas de salud de la población del municipio de Samacá (Boyacá), según reportes ASIS 2005-2011. Universidad distrital. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4130/1/Final%20tesis%202016.%20biblioteca.pdf>
- Acueductos comunitarios de Tasco- Boyacá, Minería de carbón afecta al municipio de Tasco, Boyacá, páramo y Parque Natural Pisba - Noticias - Censat. Retrieved 14 March 2017, de <http://censat.org/es/noticias/mineria-de-carbon-afecta-al-municipio-de-tasco-boyaca-paramo-y-parque-natural-pisba>.
- Aguledo, C., Quiroz, L., Garcia, J., Robledo, R., & Garcia, C. (2015). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. Scielo. de <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v18n1/v18n1a05.pdf>.
- Alfaro, C. (s.f.) Procesos locales en la globalización: Afectación de la minería del carbón en el páramo el rabanal. Universidad de Monserrate. Retrieved 14 March 2017, from <http://www.unimonserrate.edu.co/publicaciones/administracion/impacto3/6articulo.pdf>
- Álvarez, B. (2008). Estudio de impacto ambiental en el área de reserva especial, municipios de Puerto Boyacá, Puerto Nare y Puerto Triunfo. Revistas Uptc. Recuperado el 14 de Marzo 2017, de http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/885/884

- Armengot, J., Espi, J., & Vásquez, F. (s.f.) Orígenes y desarrollo de la minería. Ingenieros de minas de Madrid. Recuperado 3 abril 2017, de http://ingenierosdeminas.org/publica/IM/IM365-origenes_mineria.pdf
- Avellaneda, J. (2013). Aproximación a la historia ambiental de la minería en Boyacá. Universidad el Bosque. Recuperado el 14 de marzo 2017 de <https://revistas.unicentro.br/index.php/halac/article/viewFile/3438/2486>
- Banco de la república, a. (s.f.). Qué son la minería, la metalurgia y el beneficio. Actividad cultural. Obtenido de URL: <http://www.banrepcultural.org/museo-del-oro/sociedades/metalurgia-prehispanica/mineria-metalurgia-y-beneficio>.
- Benavides, J., & Rosso, J. (2012). Propuesta de estructura para la minería del carbón en Boyacá. Uptc. Retrieved 14 March 2017, de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/eventos/2012/cim/documentos/prop_carbon.pdf.
- Campuzano, R. (s.f.) Bibliografía de la historia minera colombiana: Balance y perspectivas. Biblioteca digital Universidad Nacional. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/23355/1/20227-68139-1-PB.pdf>.
- Carbunion.com. (s.f.) ¿Cómo se extrae? Publicado 5 abril 2017, de http://www.carbunion.com/panel/carbon/uploads/extraccion_carbon_2.pdf.
- Cely, A. (2013). “Formulación del plan de manejo ambiental en la mina cochinillos (Samaca - Boyacá)”. Universidad distrital Francisco José de Caldas <http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/138588/3192123/TRABAJO+DE+GRADO+FINAL.pdf>.

Contraloría general de la república. (2013). Minería en Colombia: Institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos. Red por la justicia ambiental en Colombia. Recuperado 24 Junio 2017, de <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2014/01/mineria-en-colombia-contraloria-vol-ii.pdf>

Corpoboyaca. (2017). Grave afectación al medio ambiente causó la minería ilegal en Samacá. Corpoboyaca. Recuperado 26 Mayo 2017, de <http://www.corpoboyaca.gov.co/noticias/grave-afectacion-al-medio-ambiente-causo-la-mineria-ilegal-en-samaca/>.

Crofton, I. (1995). Enciclopedia temática Guinness (1st ed., pp. 304-312). Barcelona: Ediciones Folio S.A.

Gómez Borrego, Á., Menéndez Díaz, J., Arenillas de la Puente, A., Prieto Alas, C., García Fernández, H., Puente Alcubierre, E., & Rayón Álvarez, J. (s.f.) La baraja del carbón. Digital.csic.es. Obtenido de URL: <https://digital.csic.es/handle/10261/8587>.

González, C. (s.f.) Mapa virtual de seguridad minera para el departamento de Boyacá. Uptc. Obtenido de URL: http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_sogamoso/pregrado/minas/documentos/MAPA_VIRTUAL_DE_SEGURIDAD_MINERA_PARA_EL_DEPARTAMENTO_DE_BOYACA.pdf.

Greenpeace. (2013). Paramos en peligro. El caso de la minería de Carbón en Pisba. Greenpeace. Obtenido de URL: <http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/images/2013/paramos/12/Informe%20P%C3%A1ramos%20en%20peligro.pdf>.

- Greenpeace. (2015). Paramo de Pisba. Irregularidades e inacción en el caso Hunza Coal. Greenpeace. Obtenido de URL: <http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/escandaloPisba.pdf>
- Guerrero, E. (2009). Implicaciones de la minería en los paramos de Colombia, Ecuador y Perú. Biblioteca virtual. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de <http://www.bibliotecavirtual.info/2011/04/implicaciones-de-la-mineria-en-los-paramos-de-colombia-ecuador-y-peru-documento-de-trabajo/>
- Higuera, R. (2015). Minería del carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial para el desarrollo – Revista Zero. Universidad externado de Colombia. Obtenido de URL: <http://zero.uexternado.edu.co/mineria-del-carbon-en-boyaca-entre-la-informalidad-minera-la-crisis-de-un-sector-y-su-potencial-para-el-desarrollo/> [Recuperado 14 Marzo. 2017].
- Ibáñez, M. (2015). Eficacia del Marco Normativo Ambiental Colombiano en la Previsión, Prevención, Mitigación y Remediación de los Impactos Socio Ambientales de la Minería. Creer. Obtenido de URL: <http://creer-ihrb.org/wp-content/uploads/2016/04/Final.-Iban%CC%83ez-2015-Eficacia-marco-normativo.pdf>
- Lillo, J. (s.f.) Impactos de la minería en el medio natural. UCM. Obtenido de URL: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>.

- Lockwood, A., Welker-Hood, K., Rauch, M., & Gottlieb, B. (2009). Coal's Assault on Human Health. PSR. Physicians for social responsibility. Obtenido de URL: <http://www.psr.org/assets/pdfs/psr-coal-fullreport.pdf>.
- Mamurekli D. 2010. Environmental impacts of coal mining and coal utilization in the UK. Acta Montanistica Slovaca Rožník. 15: 134-144.
- Martínez, H. (2009). Así es la minería. Cartilla minera. SIMCO. Obtenido de URL: http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla_Mineria.pdf
- Mejía, S. (s.f.). La cadena del carbón. El carbón colombiano fuente de energía para el mundo. UPME (Unidad de planeación minero energética). Obtenido de URL: http://www.upme.gov.co/docs/cadena_carbon.pdf.
- Melo, D., Peña, R., Rocha, J., & Torres, A. (2015). El Carbón de Colombia: ¿Quién Gana? ¿Quién Pierde? Minería, Comercio global y Cambio climático. Tierra digna. Obtenido de URL: <http://tierradigna.org/pdfs/informe-carbon.pdf>
- Melo, V. (2003). Enciclopedia temática ilustrada la aventura del conocimiento (1st ed., pp. 37 - 38). Bogotá: Editorial Norma.
- Mojica, H. (2013). Estudio para la recuperación del Medio ambiente ocasionado por la explotación de Minas de carbón en el municipio del El Espino. Unad. Obtenido de URL: <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1265/1/1052676.pdf>.
- Osorio, Y. (2015). Explotación Minera en el páramo de Pisba Boyacá. Universidad militar Nueva granada. Obtenido de URL:

- <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7798/3/OSORIOFERNANDEZAURAYYESIKA2015.pdf>. [Recuperado de 14 Marzo. 2017].
- Pardo, L., Sanchez, L. (2013). Estudio exploratorio sobre la responsabilidad social en el sector minero del carbón del departamento de Boyacá, con base en los lineamientos de la Guía ISO 26000*. Universidad Santo Tomas. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de <http://revistas.usta.edu.co/index.php/signos/article/viewFile/1942/2061>
- Peña, C. (2005). Guía minero ambiental. Unidad de planeación Minero energética. Biblioteca digital UPME. Tomado de: <https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/865/1/01%20Gu%C3%ADa%20minero%20ambiental%20-%20Exploraci%C3%B3n.pdf>
- Peña, J. (2003). Minería y medio ambiente en Colombia. Universidad Sergio Arboleda Bogotá. Obtenido de URL: de <http://www.usergioarboleda.edu.co/investigacion-medioambiente/MINERIA%20Y%20MEDIO%20AMBIENTE%20EN%20COLOMBIA.pdf>.
- Pineda, F. (2014). Boyaca: carbón y resistencia civil. Corporacion viva la ciudadanía. Recuperado el 22 de octubre de 2018, de http://viva.org.co/cajavirtual/svc0429/pdfs/Articulo746_429.pdf
- Poveda, G. (2002). La minería colonial y republicana. Banco de la república. Actividad cultural. Obtenido URL: de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial/julio2002/lamineria.htm>.

- Pulido, T. (2014). Impacto ambiental del polvillo del carbón en la salud en Colombia. Universidad CES. Obtenido de URL: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4804776.pdf>.
- Rodríguez, P. Lignito. (s.f.). Universidad de Malaga-Uciencia. Obtenido de URL: <http://www.uciencia.uma.es/Coleccion-cientifico-tecnica/Mineralogia/Galeria/Lignito>.
- Romero, A. (s.f.) La minería y la industrialización del país. Una mirada desde. Antioquia. Universidad de Antioquia. Obtenido de URL: de <http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/57455fdb-3a2c-4597-bfa7-49ff41d056a9/mineria-industrializacion-pais-mirada-antioquia-economia.pdf?MOD=AJPERES>.
- Rudas, G. (2014). La minería de carbón a gran escala en Colombia: impactos económicos, sociales, laborales, ambientales y territoriales. Bibliothek der Friedrich-Ebert-Stiftung. Obtenido de URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/11067.pdf>.
- Simco. (s.f.) Minería en el Departamento (Reseña general, municipios productores de minerales, Distritos Mineros en el Departamento, etc.). Recuperado el 14 de Marzo de 2017 de: <http://www.simco.gov.co/portals/0/delegadas/gobboyaca.pdf>
- UPME. A (s.f.). Incidencia real de la minería del carbón, del oro y del uso del mercurio en la calidad ambiental con énfasis especial en el recurso hídrico - diseño de herramientas para la planeación sectorial. Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. Obtenido de URL: http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Incidencia_real_de_la_mineria_sobre_el_recurso_hidrico.pdf.

- UPME. B (s.f). Guía ambiental minería de carbón a cielo abierto. Upme (Unidad de planeación minero energética). Obtenido de URL: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_cab/contenid/analisis.htm.
- UPME. C (s.f). Guía ambiental minería subterránea del carbón. UPME (Unidad de planeación minero energética). Obtenido de URL: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/analisis.htm.
- UPME. D (s.f). Marco Legal Minero. Upme (Unidad de planeación minero energética). Obtenido de URL: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/marco/marco.htm.
- Verbel, J. (s.f.). Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana. UPME. Unidad de planeación minero energética. Obtenido de URL: http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/forum_topic/3655/files/efectos_mineria_colombia_sobre_salud_humana.pdf.
- West, R. (1972). La Minería de Aluvión en Colombia Durante el Periodo Colonial. Imp. Nacional.