

**PLANTEAMIENTO DE LÍNEAS DE ACCIÓN PARTICIPATIVAS PARA LA  
EFICIENTE IMPLEMENTACIÓN DE ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN  
GEOLECTRICA PARA CARBÓN EN LA VEREDA TRAS DEL ALTO, TUNJA**

**ANDREA VALDIVIESO GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES E INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2018**

**PLANTEAMIENTO A PARTIR DE MÉTODOS GEOELÉCTRICOS, DE LÍNEAS DE  
ACCIÓN PARTICIPATIVAS PARA LA EFICIENTE IMPLEMENTACIÓN DE  
ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN DE CARBÓN EN LA VEREDA TRAS DEL ALTO,  
TUNJA**

**ANDREA VALDIVIESO GUTIERREZ**

**Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniera Geógrafa y Ambiental**

**Directora**

**Lorena Paola Cárdenas**

**Físico – MSc Ciencias geofísica**

**Codirector**

**Oscar Luis Pyszczek**

**Prof. De Geografía**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES E INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.**

**2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia quiero agradecer a mi familia en especial a mis padres y a mi hermano quienes siempre estuvieron pendientes durante este proceso para brindarme palabras de apoyo, aconsejarme, acompañarme, guiarme y ayudarme en cualquier cosa que necesitara.

Quiero agradecer de manera muy especial a la profesora Lorena Cárdenas, quien asumió el papel como mi directora de tesis y asumió el reto, una persona que siempre me acompañó, me guió y me dio todas las bases necesarias para enfrentarme a la realización de este trabajo. También de manera muy especial al profesor Oscar Luis Pyszczek quien tomo el papel de codirector del presente trabajo para aconsejarme e infundirme una visión socioambiental dentro del trabajo.

A la empresa Subsuelo3d desarrolladora de los equipos llevados a campo y en especial a sus empleados quienes siempre estuvieron pendientes de enseñarme todas las bases teóricas y prácticas con respecto a la geofísica y a los equipos usados, quienes siempre estuvieron pendientes del presente trabajo y me guiaron para que este fuese bien desarrollado.

A los estudiantes del curso de geofísica del programa de Ingeniería Geográfica y Ambiental durante el periodo 2018-1 quienes, durante su práctica de este curso, me ayudaron con la adquisición de datos en campo.

Por último, a tres de mis compañeros que cursaron el pregrado conmigo: María Fernanda Gutiérrez, Pablo Quicazán y Tatiana La Rotta quienes me ayudaron en las labores de campo o me aconsejaron y estuvieron pendientes con respecto a lo que necesitara para la realización de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABLAS .....	8
LISTA DE IMÁGENES .....	9
LISTA DE ANEXOS.....	9
GLOSARIO .....	10
RESUMEN .....	13
1. INTRODUCCIÓN .....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	16
2.2 HIPÓTESIS.....	19
2.3 OBJETIVOS .....	20
2.4 JUSTIFICACIÓN .....	21
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	24
3.1 ANTECEDENTES .....	24
3.1.1 Datos generales del carbón .....	24
3.1.2 Aspectos geológicos.....	28
3.1.3 Aspectos Geográficos .....	33
3.1.4 Aspectos sociodemográficos.....	35
3.2 MARCO CONCEPTUAL .....	38
3.2.1 Geofísica .....	38
3.2.2 Geoeléctrica .....	39
3.2.3 Tipos de arreglos de los electrodos.....	42
3.2.4 Técnicas para la medición de resistividades .....	45
3.2.5 Prospección .....	47
3.2.6 Eje social.....	48
3.3 ESTADO DEL ARTE.....	50
3.3.1 Ámbito internacional .....	51
3.3.2 Ámbito nacional.....	52
4. METODOLOGÍA.....	56
4.1 Área de estudio .....	56
4.2 Equipos de geoeléctrica .....	58

4.3 Desarrollo metodológico.....	59
4.3.1 Estudio geofísico.....	59
4.3.2 Perspectiva de los actores sociales.....	65
4.3.2 Protocolo participativo.....	66
5. RESULTADOS.....	68
5.1 Estudio geoelectrico.....	68
5.2 Perspectiva de los actores sociales.....	82
5.3 Protocolo participativo.....	90
5.3.1 Etapa 1 .....	90
5.3.2 Etapa 2 .....	93
5.3.3 Etapa 3 .....	97
6. DISCUSIÓN .....	100
6.1 Estudio geoelectrico.....	100
6.2 Perspectiva social.....	101
6.3 Protocolo participativo.....	103
RECOMENDACIONES.....	105
CONCLUSIONES .....	107
REFERENCIAS.....	109
ANEXOS .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribución de las áreas carboníferas de Colombia.....	26
Figura 2 - Distribución de las 12 zonas con potencial carbonífero en el país .....	27
Figura 3 - Potencial carbonífero en el departamento de Boyacá .....	28
Figura 4 - Espesores y columna estratigráfica de la plancha J-12 Tunja.....	29
Figura 5 - Plano geológico del área de estudio .....	30
Figura 6 - Columna estratigráfica de la Formación Guaduas en la sección de Sutatausa .....	32
Figura 7- Plano de pendientes del contrato de concesión minera.....	34
Figura 8 - Pirámide poblacional de la vereda Tras del Alto según el censo agrario del 2014.....	37
Figura 9 - Principio métodos geoelectricos .....	40
Figura 10 - Disposición de electrodos para el arreglo Wenner.....	43
Figura 11 - Disposición de electrodos para el arreglo Schlumberger.....	43
Figura 12 - Disposición de electrodos para el arreglo Dipolo-Dipolo.....	44
Figura 13 - Disposición de electrodos para el arreglo Polo-Dipolo.....	44
Figura 14 - Disposición de electrodos para el arreglo Polo-Polo .....	45
Figura 15 - Principio de las mediciones de los SEV.....	46
Figura 16 - Principio para la adquisición de una calicata .....	46
Figura 17 -Principio de la adquisición de una tomografía eléctrica .....	47
Figura 18 - Plano de la ubicación de la concesión minera.....	57
Figura 19 - Plano de la ubicación de los sondeos eléctricos verticales .....	64
Figura 20 - Resultados SEV 1.....	70
Figura 21 - Resultados SEV 2.....	73
Figura 22 - Resultados sev 3.....	76

Figura 23 - Resultados SEV 4.....	79
Figura 24 - Resultados SEV 5.....	81
Figura 25 – Esquema del protocolo participativo propuesto .....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Clasificación de carbones .....	24
Tabla 2 - Valores de resistividad para algunos materiales presentes en el subsuelo .....	41
Tabla 3 - Factores de planeación de entrevistas.....	65
Tabla 4 - Datos adquiridos en campo en el SEV 1 .....	69
Tabla 5 - Datos adquiridos en campo en el SEV 2 .....	71
Tabla 6 - Datos adquiridos en campo en el SEV 3 .....	74
Tabla 7 - Datos adquiridos en campo en el SEV 4 .....	77
Tabla 8 - Datos adquiridos en campo en el SEV 5 .....	80
Tabla 9 - Sistematización entrevista de los actores sociales: líderes sociales y mineros .....	85
Tabla 10 - Sistematización actor social - Alcaldía.....	88
Tabla 11 - Sistematización entrevista actor social - empresa .....	89



## **LISTA DE IMÁGENES**

Imagen 1 - Componentes del equipo GeoAmp202.....	59
Imagen 2 - Entrada a la bocamina.....	61

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1 - Formato de parámetros para adquisición de datos en campo .....	115
Anexo 2 - Formato entrevistas actor social - líderes sociales.....	116
Anexo 3 - Formato entrevistas actor social - mineros .....	116
Anexo 4 - Formato entrevistas actor social - alcaldía.....	116
Anexo 5 - Formato entrevistas actor social - empresa minera.....	116

## GLOSARIO

**Afloramiento:** Lugar donde se asoma a la superficie un mineral o una masa rocosa que se encuentra en el subsuelo (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

**Ambiente:** Sistema dinámico definido por las interacciones físicas, biológicas, sociales y culturales, percibidas o no, entre los seres humanos y los demás seres vivos y todos los elementos del medio en el cual se desenvuelven (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

**Arcilla:** En edafología y sedimentología frecuentemente se usa el término arcilla, como un tamaño ( $<2\mu$ ) que identifica un material heterogéneo, compuesto de minerales propios de la arcilla y otras sustancias, incluyendo fragmentos de roca, óxidos hidratados, geles y sustancias orgánicas. Petrográficamente se llama arcilla a una gran cantidad de materiales sedimentarios, de granulometría fina y mineralógicamente poco definidos (Besoain, 1985).

**Arenisca:** Roca sedimentaria compuesta principalmente por material de arena (mínimo en un 85%) intercalada generalmente con granos de cuarzo (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

**Conductividad eléctrica:** Propiedad de los materiales que cuantifica la facilidad con que las cargas pueden moverse cuando un material es sometido a un campo eléctrico (García & Ramírez, 2010).

**Corriente:** es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe a un movimiento de electrones en el interior de un material. (García & Ramírez, 2010).

**Diferencia de potencial:** También conocido como voltaje o tensión, el cual es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica (García & Ramírez, 2010).

**Eficiente:** Grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible (Mokate, 1999).

**Electrodo:** Son transmisores en levantamientos eléctricos, pueden ser una estacas de metal (Dentith & Mudge, 2014).

**Escasez:** Proceso al que se llega por las limitaciones que presentan los procesos sociales, como los arreglos institucionales deficientes, las aspiraciones humanas excesivas, el comercio ineficiente, las tecnologías inadecuadas y la información limitada que guían equivocadamente los procesos económicos dando fin a la existencia de un recurso (Enríquez, 2008).

**Formación geológica:** Unidad fundamental de la clasificación estratigráfica. Una formación es un cuerpo de roca identificado por sus características litológicas y posición estratigráficas (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

**Geología:** Ciencia que estudia la composición y la disposición de los materiales que constituyen la litosfera terrestre, su naturaleza y sus causas o fenómenos que originaron esa disposición y por último, los agentes que la alteran (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

**Mineral:** Elemento sólido formado naturalmente, compuesto por estructuras cristalinas, con características físicas y químicas especiales, ya que se asocia a un grupo atómico específico (Ministerio de Minas y Energía, 2012).

**Multímetro:** Instrumento que permite medir diferentes magnitudes eléctricas como corrientes, diferencias de potencial y resistencias (Universidad del País Vasco, s.f.).

**Ohm:** Unidad de resistencia eléctrica del Sistema Internacional, su nombre se debe a el descubridor de la ley de resistencia Georg Simon Ohm (Universidad Nacional Autónoma de México, 2001)

**Pendiente:** Hace referencia a la inclinación del terreno, la cual se relaciona con la morfología y dinámicas de las formas del relieve, a partir de la pendiente se clasifica o jerarquiza un terreno por su geometría (Orozco, s.f.).

**Política pública:** Son reflejo de los ideales y anhelos de la sociedad, expresan los objetivos de bienestar colectivo y permiten entender hacia dónde se quiere orientar el desarrollo y cómo hacerlo, evidenciando lo que se pretende conseguir con la intervención pública y cómo se distribuyen las responsabilidades y recursos entre los actores sociales (Torres & Santander, 2013).

**Potencial carbonífero:** Corresponde a la sumatoria de los recursos y reservas de carbón en sus categorías de medidos, indicados e inferidos (Servicio Geológico Colombiano, 2012).

**Protocolo:** Secuencia detallada de un proceso de actuación científica, técnica, médica, etc (RAE, s.f.).

**Reserva mineral:** Recurso mineral identificado de ubicación, cantidad y calidad conocida a través de evidencia geológica, el cual al extraerse puede traer un beneficio económico (Duarte, 1993).

**Sostenibilidad:** Preservación de la base natural que sustenta a los sistemas vivientes y uso racional de sus componentes, con el fin de asegurar la viabilidad de la vida humana y su perdurabilidad en el tiempo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

**Topografía:** es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de una porción relativamente pequeña de la Tierra (Fuentes, 2012).

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio geofísico en una concesión minera ubicada en la vereda Tras del Alto en el municipio de Tunja para verificar la presencia de carbón en un área caracterizada por la presencia de este mineral al ubicarse en la Formación Guaduas como se muestra en la plancha 191 elaborada por el Servicio Geológico Colombiano y conocida como la subzona carbonífera Tunja-Paipa-Duitama, a partir del método geoelectrico se evidencio la presencia de dos capas de carbón.

Se reconoció la presencia de cuatro actores sociales que se ven directamente involucrados en el estudio de prospección geoelectrica desarrollado en la vereda Tras del Alto para conocer la percepción de los actores con respecto a la aplicación de métodos geofísicos en la búsqueda de los recursos naturales, especialmente los no renovables. Se desarrollaron entrevistas a personas claves dentro de cada uno de los grupos de actores sociales encontrados con el fin de responder a diferentes objetivos propuestos para cada actor social y de esta manera determinar las ventajas o desventajas de la implementación de este tipo de proyectos.

Se planteó un protocolo participativo que involucrara a los actores sociales en las metodologías para prospección geoelectrica de carbón, para ello se realizaron tres etapas, la primera consistió en la identificación de las debilidades a la hora de realizar proyectos de prospección, la segunda es la propuesta de una serie de acciones que promueven la participación de todos los actores en diferentes fases del proyecto y por último se evaluaron los resultados que se podrían obtener al implementar el protocolo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación nace de un proyecto con una doble problemática: la primera involucra la existencia de una concesión minera dentro de un área caracterizada por la presencia de carbón, sin identificar su disposición y ubicación, la segunda, que parte de esta misma concesión se encuentra dentro de una zona de páramo delimitada por el Instituto Alexander Von Humboldt a partir de un estudio regional. Para el presente trabajo se realizará un estudio de la incidencia que puede tener, la prospección geofísica para la determinación de la posible existencia y distribución de yacimientos de carbón, sobre las poblaciones y actores sociales de la vereda Tras del Alto en el municipio de Tunja.

El Ministerio de Minas y Energía (2016) se encarga de formular, adoptar y dirigir políticas del sector minero; sin embargo, hay tres entidades adscritas a este ministerio: la Agencia Nacional Minera (ANM), encargada del Catastro Minero y del Registro Minero Nacional, por lo cual es el responsable de las políticas y de todos los procesos de titulación minera, además de ser el encargado de vigilar que en las titulaciones se cumplan las diferentes normativas. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) maneja la planeación integral, indicativa y permanente del desarrollo del sector minero y se responsabiliza de la producción e información requerida por los actores dentro del sector para la toma de decisiones y la formulación de políticas. Por último, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el cual procede con las investigaciones científicas del subsuelo en el territorio nacional.

El reconocimiento de un depósito mineral resulta entonces una de las tareas más importantes dentro de una Nación, ya que de allí se desprenden todas las políticas, planes y/o programas encaminados actualmente en el desarrollo sostenible; al reconocimiento de recursos se les conoce

como prospección, la cual consiste en determinar la ubicación y distribución de estos. Según el recurso, existen diferentes técnicas para realizar esta tarea, las metodologías de prospección específicamente de carbón prevén que un geólogo es quien determina una zona prometedora en cuanto a la ubicación de un posible yacimiento de carbón, sin embargo, se hace necesaria una complementación con métodos geofísicos para poder caracterizar mejor los depósitos.

La prospección geofísica es un conjunto de metodologías que se pueden usar para complementar análisis geológicos del subsuelo, ya que permiten “*efectuar un diagnóstico de la constitución y estructura del subsuelo mediante la interpretación de una serie de parámetros físicos del terreno obtenidos a partir de una serie de mediciones y de su posterior procesamiento*” (Carrasco, 2013, p.3) con el fin de detectar la posible presencia de yacimientos minerales.

A lo largo de la historia las actividades mineras y su crecimiento a nivel global han generado un conflicto que como lo enmarca Carrillo (2014) se debe a los intereses entre las operaciones mineras y las comunidades aledañas y a pesar de que la prospección geoelectrica no necesariamente hace parte del proceso de las actividades mineras, cada vez que se habla de prospección en una comunidad, suele ser sinónimo de extracción mineral, lo cual manifiesta el descontento por parte de las poblaciones sobre el desempeño de las empresas mineras a nivel general.

Este trabajo se enfoca en buscar líneas de acción para la eficiente implementación de estudios de prospección de carbón en la vereda Tras del Alto Tunja, que consideren las perspectivas que tienen los actores sociales involucrados y la implementación de metodologías de estudio del subsuelo.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Colombia es un país que cuenta con una gran riqueza de recursos naturales tanto renovables como no renovables, pues su variedad climática, su geología y sus diferentes relieves que van desde muy escarpados hasta planicies o llanuras permiten que se desarrollen todo tipo de recursos. Los recursos naturales según World Trade Organization (2012) son los materiales existentes en el entorno natural, escasos y económicamente útiles en la producción y consumo de bienes y servicios, que satisfacen al hombre, sin embargo, para el caso de los recursos no renovables como su nombre lo indica son finitos y no hay manera de que se regeneren a corto plazo; ejemplo de estos son los minerales e hidrocarburos.

Los recursos naturales y en especial los no renovables se encuentran distribuidos de una manera no equitativa en la Tierra, no obstante, para el caso del carbón que es el mineral de interés en el presente trabajo, se considera que es uno de los minerales más abundantes en el mundo y se encuentra en los cinco continentes, se estima que las reservas mundiales de este mineral son de aproximadamente 250 años como menciona (Villanueva, 2009).

En Colombia los estudios realizados en el sector minero y publicados por la UPME aseguran que el país cuenta con la mayor reserva de carbón en América Latina, a pesar de esto, no hay estudios que comprueben la cantidad neta de reservas que tiene, se han realizado diferentes estimaciones como las de la UPME (2016) que indican que el país tiene una reserva de 16180 millones de toneladas (Mt) potenciales, de las cuales 6252 Mt son medidas, 4237 Mt inferidas, 1119 Mt hipotéticas y 4571 Mt indicadas, es importante resaltar que las medidas de las tres últimas no han



sido actualizadas desde el año 2004, lo que significa que no existe con certeza un valor neto de las reservas de carbón en el país.

Ramírez & Yepes (2011) aseguran que existe un problema por parte del Estado al no reconocer y no tener un buen control sobre los recursos estratégicos con los que cuenta, ya que, a nivel internacional existe una demanda elevada de los diferentes recursos y si un país no cuenta con un inventario sólido de los suyos es muy probable que llegue a escasear.

Para el caso puntual de los minerales, es el Servicio Geológico Colombiano (SGC) el que se encarga de realizar la investigación científica del potencial de los recursos existentes en el subsuelo del país; si bien los informes, la cartografía y demás documentos presentados por esta entidad con respecto a las potencialidades del país se basan en sus estudios, la empresa privada juega un papel muy importante ya que esta también brinda información del sector minero. Por consiguiente, las cifras estimadas del potencial minero específicamente de carbón son muy dinámicas ya que deben ajustarse conforme se realicen más estudios o se hacen publicaciones de estos.

Los estudios que ayudan a definir las reservas de carbón son los estudios de prospección, los cuales establecen la ubicación y distribución de los depósitos. En nuestro país la industria carbonífera no es muy grande comparada con la de países como China, sin embargo, el cerrejón en La Guajira y en menor medida el distrito carbonífero de Cogua – Samacá son las minas más grandes de carbón del país, y es por esta razón que los estudios no cuentan con una gran inversión y se hacen de manera artesanal principalmente, además las perspectivas de los actores sociales involucrados en este proceso no son tenidas en cuenta.

Normalmente, la actividad de prospección de carbón se realiza mediante estudios geológicos a partir de afloramientos, es decir rocas que se encuentran en la superficie, una vez exista presencia

de éstos afloramientos se realizan excavaciones para tomar muestras e identificar las capas de carbón en el subsuelo, sin embargo, se han identificado casos como el que mencionan Gella & Bruggen (1930) en donde las capas superficiales de gran espesor y en posición horizontal cubren las capas que se encuentran más profundas, al presentarse esto se debe realizar un gran número de excavaciones y así lograr identificar la distribución de las capas en el subsuelo, teniendo en cuenta que no siempre se tiene éxito al aplicar esta metodología ya que puede que no se encuentre ni sea clara su distribución.

Las excavaciones que se realizan en busca de carbón no tienen ningún tratamiento, si no se encuentra el depósito se abandonan dejando vacíos en el subsuelo. Si se necesitan realizar varias excavaciones los costes de la prospección son muy altos ya que se requiere más material para mantener las excavaciones (normalmente madera), mano de obra por un tiempo prolongado y tratamiento de los materiales extraídos en las diferentes excavaciones.

La prospección minera se viene desarrollando entonces de manera artesanal, lo que ha ocasionado un conflicto por parte de la opinión pública ya que como lo menciona Carrillo (2014), la principal preocupación de las comunidades y por lo que se han visto afectadas es por los impactos ambientales que estas actividades conllevan. Además de esto, existe un conflicto social permanente con respecto al control, uso y acceso de los recursos naturales lo que ha presentado una resistencia en la mayoría de las poblaciones que conviven con actividades mineras.

## **2.2 HIPÓTESIS**

Los proyectos de prospección geoelectrica que involucran a los actores sociales reducen los posibles conflictos socioambientales que se generan en la implementación de estudios de reconocimiento del carbón.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Plantear líneas de acción participativas para la eficiente implementación de estudios de prospección geoelectrica para carbón en la vereda Tras del Alto en el municipio de Tunja.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la pertinencia del método geoelectrico en la prospección de carbón en la Vereda Tras del Alto, Tunja.
- Analizar la perspectiva de los actores sociales que intervienen en el estudio de prospección geoelectrica, sobre la aplicación de estos métodos en la determinación de la presencia del carbón en la vereda Tras del Alto.
- Proponer un protocolo participativo que involucre a los actores sociales intervinientes en la implementación proyectos para la prospección de carbón utilizando metodologías geoelectricas.

## 2.4 JUSTIFICACIÓN

Si bien nuestro país es reconocido a nivel mundial por la diversidad de recursos naturales que posee, es necesario que se haga un inventario de los recursos y reservas mineras con que cuenta la Nación para realizar un buen control estatal que permita desarrollar políticas de sostenibilidad bajo criterios que se ajusten cada vez más a la realidad. Al tener certeza del potencial de los recursos naturales se pueden plantear mecanismos que aseguren que estos no se verán escaseados gracias al desconocimiento de su existencia y ubicación.

Aunque el SGC es el encargado principal de realizar los estudios del potencial carbonífero del país, no significa que únicamente sea este quien pueda desarrollar trabajos con fines prospectivos de un recurso. El Código de Minas en su Artículo 42 define que la investigación del subsuelo es de interés público por lo tanto además del SGC y los Institutos de Investigaciones mineras, cualquier centro de educación superior y de investigación científica y tecnológica puede realizar trabajos a nivel regional o global del subsuelo, con la finalidad de obtener y complementar el conocimiento del potencial de los recursos mineros en el país.

Los estudios de prospección de carbón, aparte de los desarrollados por el SGC se llevan a cabo por las diferentes empresas mineras que realizan estos estudios con fines exploratorios para luego definir si es rentable o no extraer el mineral; si no es rentable extraerlo, las excavaciones elaboradas generalmente quedan expuestas y se pueden presentar derrumbes dentro de estas con el paso del tiempo o la maleza puede cubrirlas, en cualquiera de los dos casos se generan vacíos en el subsuelo. Aunque el Código de Minas establece en el Artículo 44 que debe existir un resarcimiento por parte de las personas que llevan a cabo los estudios de prospección, si quienes se encuentran habitando

el lugar donde se realizan dichos estudios no realizan seguimiento y verificación que esto se cumpla, no existirá ningún resarcimiento.

Los métodos geofísicos son poco usados en la industria del carbón ya que se consideran costosos, por tal motivo, se realizará un levantamiento geoeléctrico que por su relativo bajo costo y la facilidad de implementación comparada con otros métodos geofísicos en campo, se consolida como la herramienta más útil, apoyada por la prospección tradicional y cartografía e informes geológicos del área de estudio.

Para el presente caso de estudio se plantea que la prospección geoeléctrica es una opción viable para el reconocimiento de carbones debido a su valor de conductividad, el cual puede llegar a hacer contrastante con las areniscas que las rodean. Aunque estos métodos no han sido muy implementados en la prospección de carbones y no existe certeza de la disposición de estos en el lugar de estudio, se espera que se tenga una respuesta geoeléctrica viable que permita identificar la presencias y disposición de estos dentro de la formación geológica Guaduas la cual se caracteriza por presentar dentro de sus capas altos contenidos de areniscas, arcillolitas y carbón como describe (INGEOMINAS, 1976).

Los métodos de prospección geoeléctrica resultan ser una opción bastante factible tanto para las empresas que promueven este tipo de estudios, como para los habitantes de los territorios en donde se implementan los estudios. Para las empresas o particulares aplicar este tipo de métodos es inclusive menos costoso que realizar varias excavaciones en una misma área de estudio, por el otro lado, para los habitantes es una buena alternativa ya que no se necesita que se haga ningún tipo de construcción, no son necesarios los explosivos para fracturar las rocas del subsuelo y por consiguiente no existirá ninguna alteración en las propiedades de quienes se involucran en los

proyectos. Es de resaltar que la prospección geoelectrica no es invasiva y no requiere de ninguna alteración al ambiente.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 ANTECEDENTES

##### 3.1.1 Datos generales del carbón

El carbón es uno de los combustibles fósiles con mayor presencia en la naturaleza, y como expone Sierra (1992) su origen se debe a la descomposición vegetal, bajo condiciones de poca influencia del aire y alta presencia de agua, es decir que los carbones pasan por procesos de metamorfismo o más precisamente de carbonización, y según sea su grado de carbonización, este se clasifica en:

Tabla 1- Clasificación de carbones. Fuente: (UPME, 2006)

<b>Tipo</b>	<b>Carbono Fijo (%)</b>	<b>Material Volátil (%)</b>	<b>Contenido Humedad (%)</b>	<b>Poder Calorífico (Btu/lb)</b>	<b>Poder Calorífico (MJ/Kg)</b>	<b>Poder Calorífico Kcal/Kg</b>
<b>Antracita</b>	86 - 98	1	< 15	>14.000	>32.6	>7.780
<b>Bituminoso</b>	45 - 86	32	15 - 20	10.500-14.000	24.5 - 32.6	5.800-7.780
<b>Subbituminoso</b>	35 - 45	50	20 - 30	7.800 - 10.500	18.2 - 24.5	4.300- 7.780
<b>Lignito y Turba</b>	25 - 35	96	> 30	4.000 - 7.800	9.3 – 18.2	2.200 – 4.300

Dependiendo del tipo de carbón será su uso, la antracita se utiliza como combustible para la generación de calor o vapor en las industrias térmicas y siderúrgicas, el bituminoso se reconoce como carbón coquizable el cual se usa en los procesos de obtención de acero y en la generación de energía, el subbituminoso al igual que el bituminoso se usa en la producción de energía pero tiene un rendimiento menor por su bajo contenido de carbono y, por último, el lignito o turba se usa para la producción de vapor y para la quema en hornos.



A nivel mundial, los principales productores de carbón son China, Estados Unidos, India, Australia, Rusia y Sudáfrica los cuales aportan más del 80 % de la producción mundial, sin embargo, aunque Colombia no se encuentra como potencia de los productores de carbón, Rodríguez & Dimate (2012) aseguran que si es el país más privilegiado de la región por la cantidad de reservas y recursos que se encuentran además de su posición geográfica estratégica.

En Colombia, las reservas de carbón se sitúan a lo largo de las tres cordilleras y en la parte de la costa Atlántica, estas reservas se encuentran distribuidas en siete áreas carboníferas (Figura 1) ubicadas en los departamentos de Antioquia, César, Córdoba, Cundinamarca y Boyacá, La Guajira, Norte de Santander y Santander, Valle del Cauca y Cauca, sin embargo, en la zona Atlántica conformada por los departamentos de La Guajira, Cesar y Córdoba es en donde mayores reservas de carbón se encuentran en el país y por consiguiente se encuentran las minas más grandes y tecnificadas como la de El Cerrejón, conocida como una de las minas a cielo abierto más grandes del mundo.

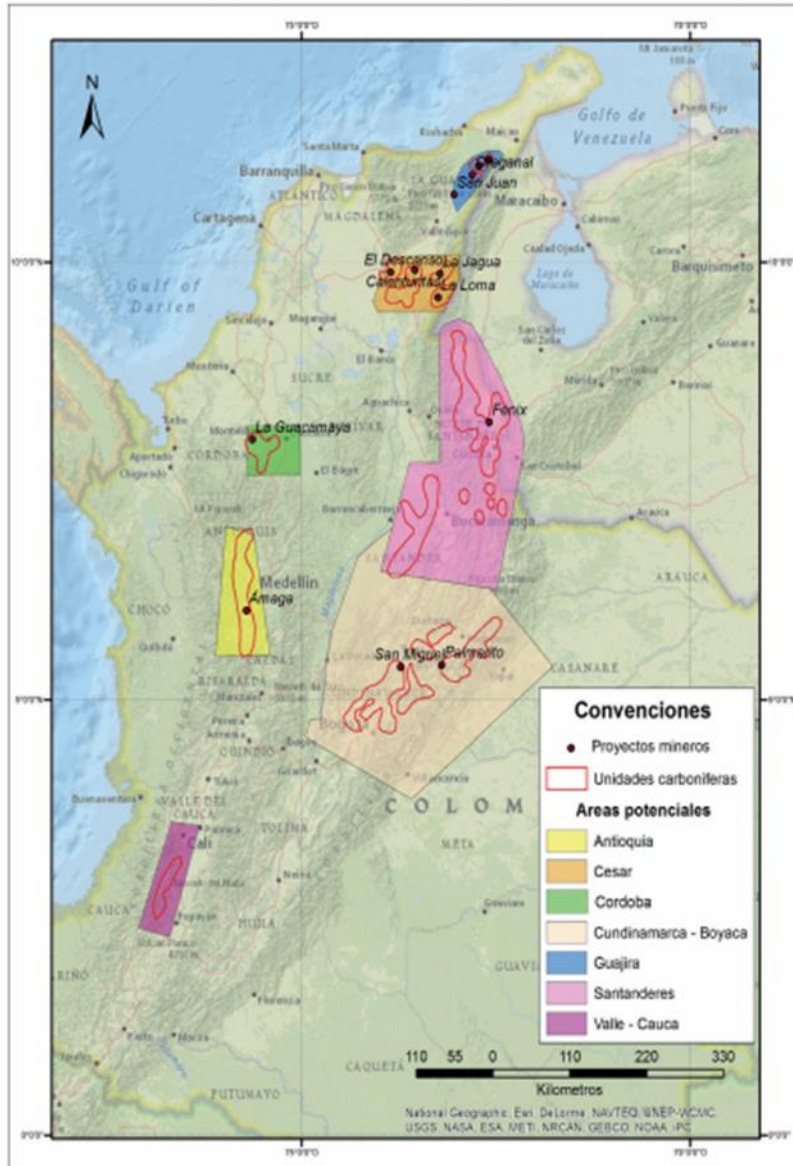


Figura 1- Distribución de las áreas carboníferas de Colombia. Fuente: (ANM, s.f)

Aunque la ANM establece siete áreas carboníferas, el Servicio Geológico Colombiano reconoce doce zonas de potencial carbonífero distribuidas de la siguiente manera: (1) La Guajira, (2) Cesar, (3) Córdoba y el norte de Antioquia, (4) Antioquia y antiguo caldas, (5) Valle del Cauca, (6) Huila y Tolima, (7) Cundinamarca, (8) Boyacá, (9) Santander, (10) Norte de Santander, (11) Borde llanero y (12) la llanura amazónica. En este mapa se destaca que el potencial carbonífero del país



de potencial carbonífero, evidenciando que la zona de estudio se encuentra entre los municipios con alto potencial en el departamento de Boyacá.

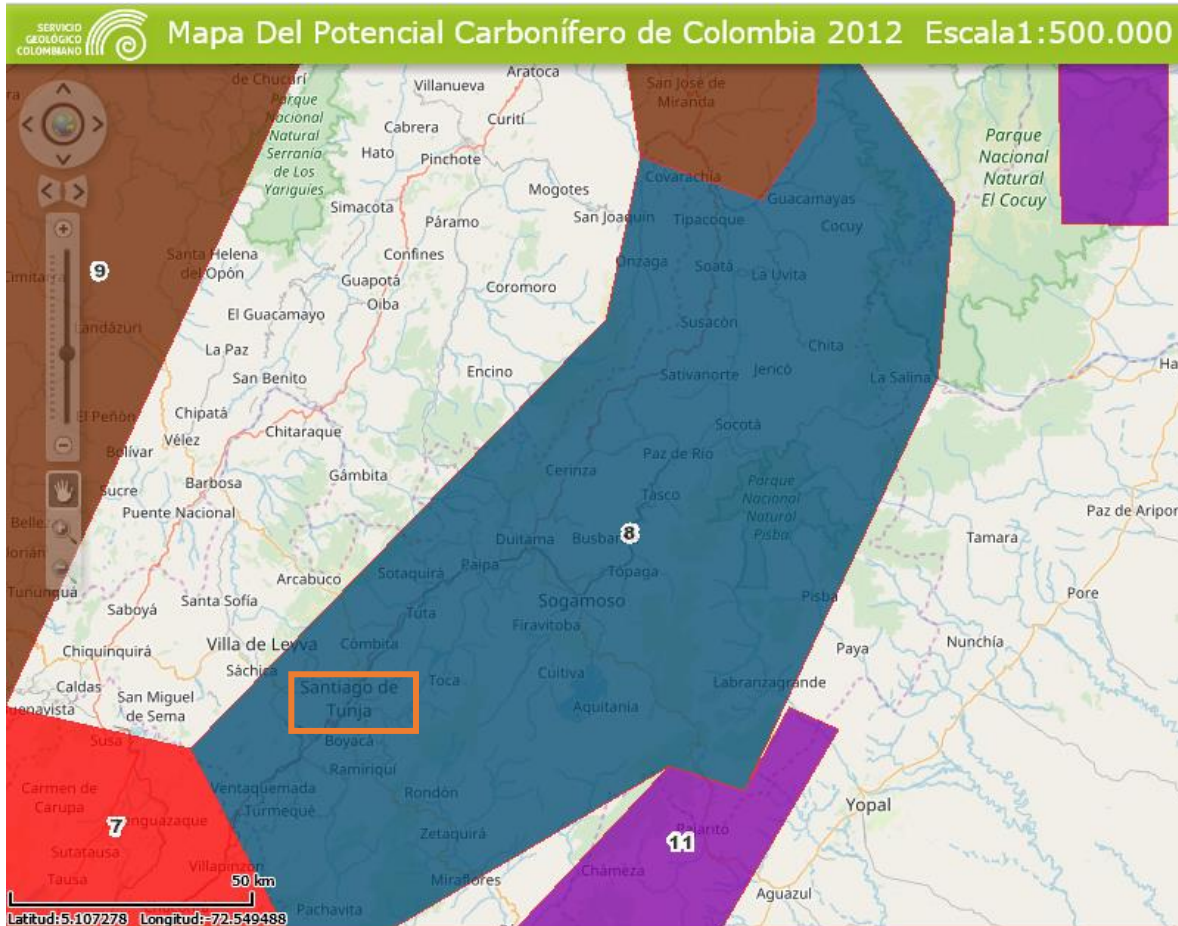


Figura 3 - Potencial carbonífero en el departamento de Boyacá. Fuente: (SGC, 2012)

### 3.1.2 Aspectos geológicos

Según el mapa geológico a escala 1:100.000 elaborado por el Servicio Geológico Colombiano, la zona de estudio se ubica en la plancha 191 correspondiente a el municipio de Tunja. La concesión minera en la cual se está realizando el presente estudio se encuentra en la Formación Guaduas (KTg) (como se muestra en el plano de la figura 5), la cual fue depositada en la transición entre el cretácico y el terciario. La memoria de la plancha 191, (INGEOMINAS, 1976) describe que esta formación está compuesta por 250 metros de arcillas grises y algunas areniscas friables en la parte



inferior de la formación, seguida de 270 metros de arcillas grises, arenisca friable y carbón (el cual es la capa de interés) y en la parte superior cuenta con 50 metros de arcillas verduzcas y violáceas y areniscas, lo cual indica un espesor de la formación de 570 metros (Figura 4).

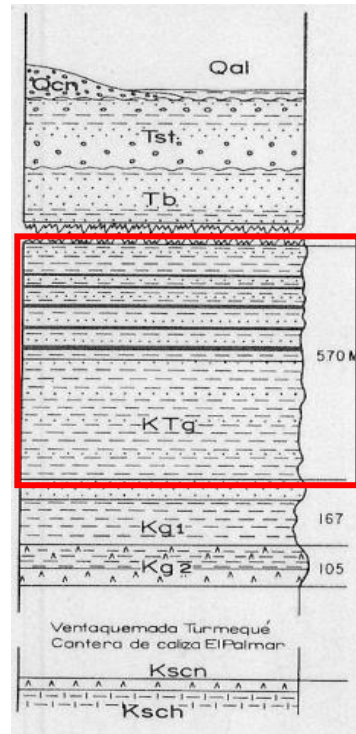


Figura 4 - Espesores y columna estratigráfica de la plancha J-12 Tunja.  
Fuente: (INGEOMINAS, 1976)

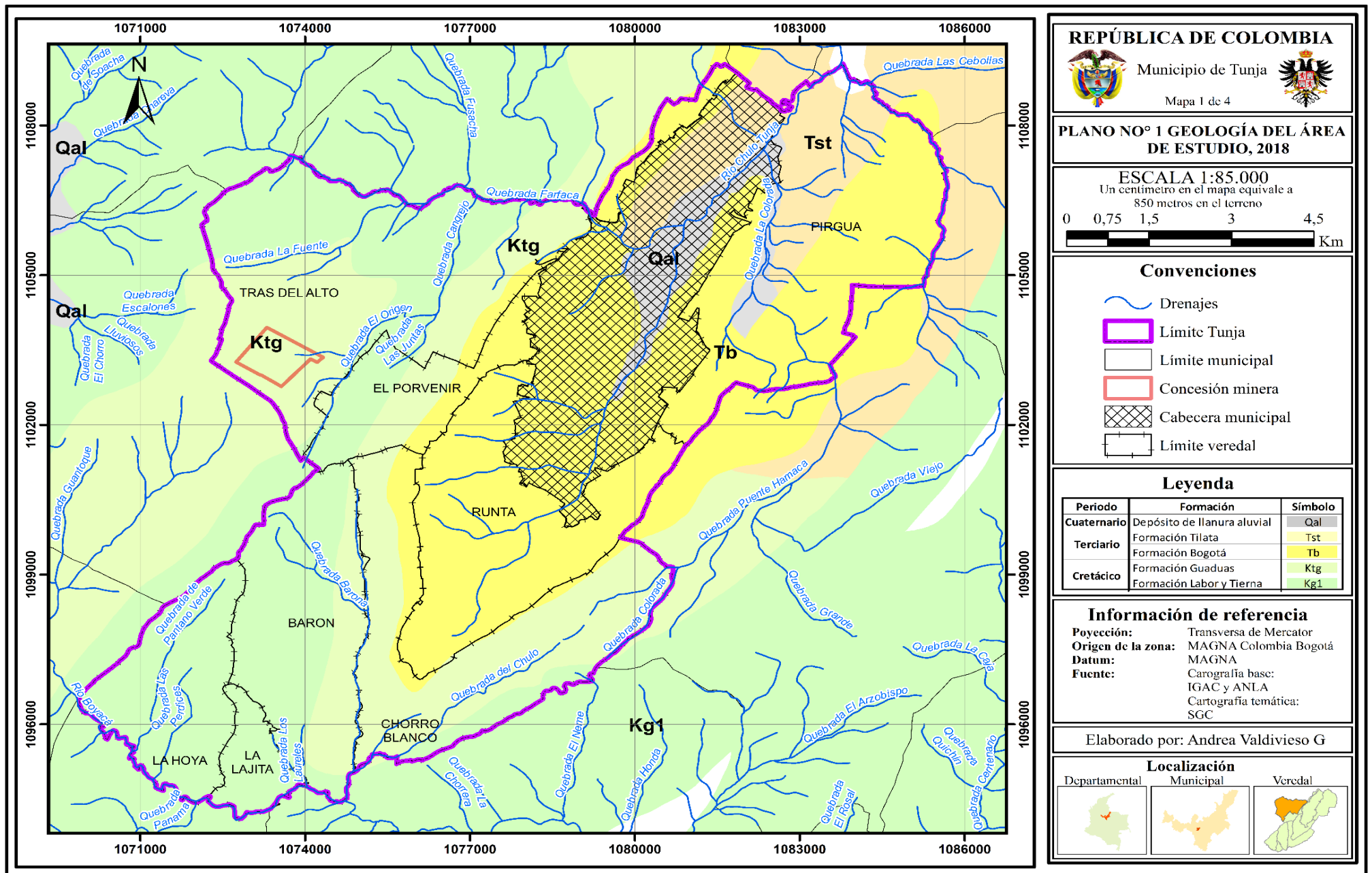


Figura 5 - Plano geológico del área de estudio

Aunque es claro que en Colombia una de las formaciones portadoras de carbón es la Formación Guaduas, la composición, profundidad y espesor varía según el sector de la formación; por ejemplo, en un estudio denominado geología de la sabana de Bogotá, Montoya & Reyes (2005), se describe que esta formación cuenta con un espesor de más de 1000 metros y es dividida en cinco segmentos (Figura 6), las capas de carbón en este sector de la formación se encuentran a más de 400 metros de profundidad desde la superficie.

Por otro lado, el léxico estratigráfico que habla de las formaciones del terciario y cuaternario descrito por Porta (1974), aunque no especifica el espesor de la formación ni de los materiales que la componen se refiere a que los materiales que predominan, en la Formación Guaduas son arenas y arcillas de diferente tipo de grano según el depósito. El autor resalta que esta formación se destaca por dos cosas, la primera es la presencia de carbones en el miembro medio e inferior de la formación y la segunda es una pequeña manifestación marina.

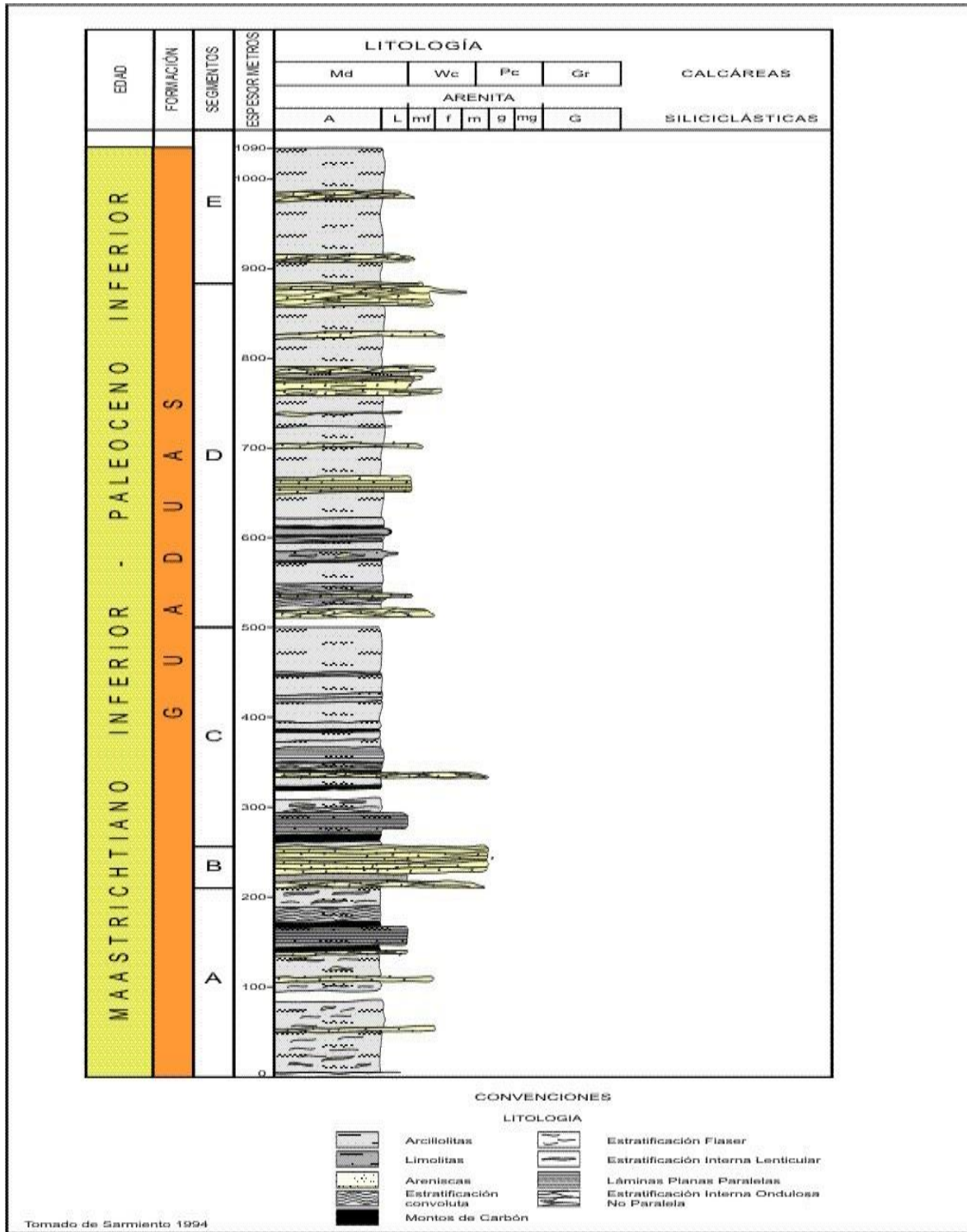


Figura 6 - Columna estratigráfica de la Formación Guaduas en la sección de Sutatausa.  
Fuente: Montoya & Reyes (2005)



### **3.1.3 Aspectos Geográficos**

El municipio de Tunja se encuentra ubicado en una meseta sobre la cordillera oriental en el altiplano cundiboyacense, el cual se caracteriza por presentar relieves quebrados. En general, el municipio se encuentra en alturas superiores a los 2700 m.s.n.m y presenta paisajes característicos de clima frío como las colinas y los valles aluviales.

Para el caso de la zona de estudio, la concesión minera se encuentra en la parte noroccidental del municipio de Tunja en cotas superiores a los 2800 m.s.n.m, en la figura 7, se mostrará un mapa de pendientes generado a partir de imágenes adquiridas en campo con el dron phantom 3.

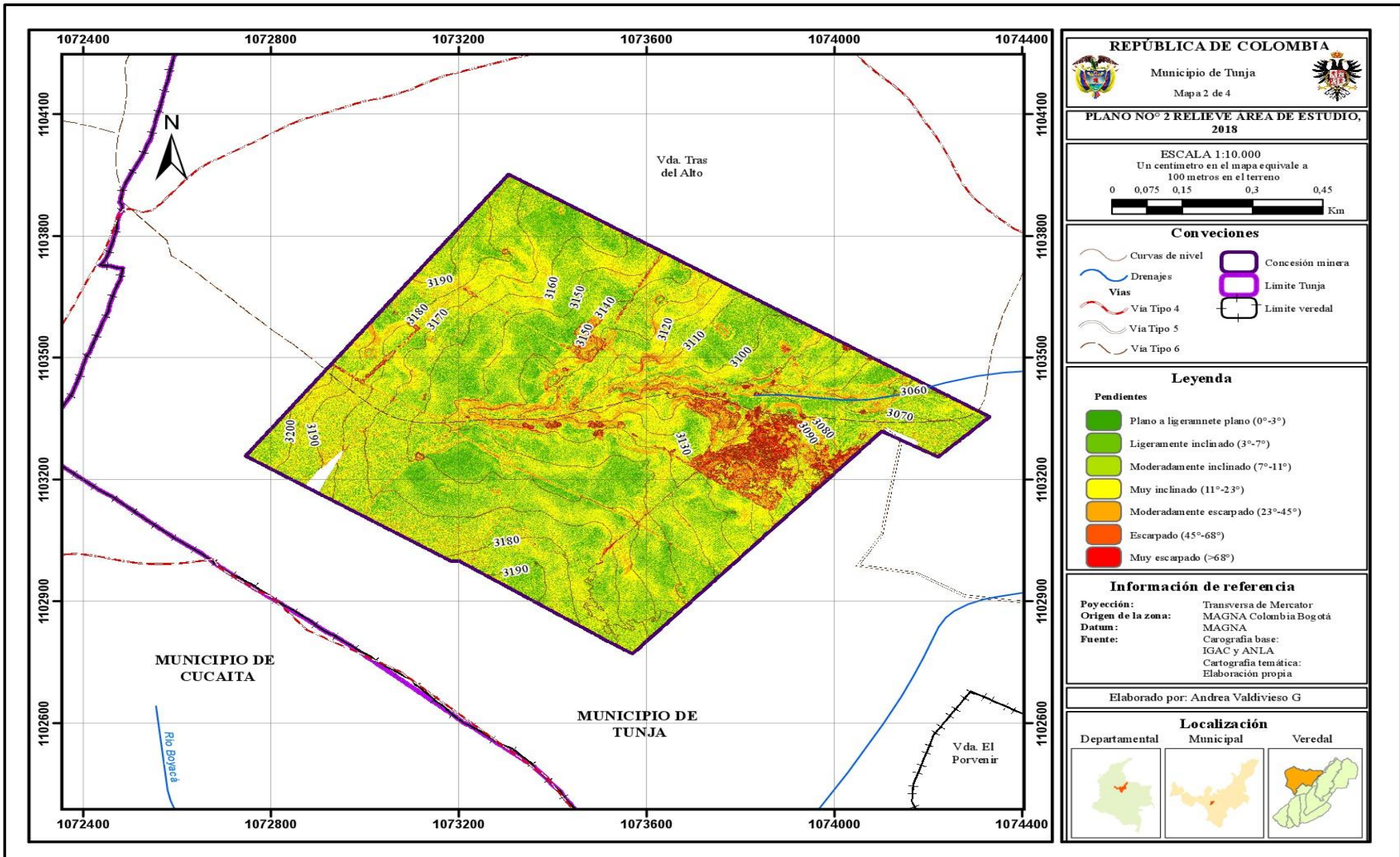


Figura 7- Plano de pendientes del contrato de concesión minera

### **3.1.4 Aspectos sociodemográficos**

La ciudad de Tunja fue fundada el 6 de agosto de 1539 sobre uno de los poblamientos más importantes para los Muiscas, Tuncha (conocido por los españoles como Hunza), dentro del altiplano cundiboyacense; el cual se consideraba una de las tierras más importantes porque se creía que estaban llenas de oro, pero más que eso porque era un lugar perfecto para establecer sus casas debido a la facilidad para conseguir alimentos.

Durante un largo periodo de tiempo el municipio de Tunja se dedicó a las actividades agrícolas de producción típica de clima frío, sin embargo, hoy en día para el siglo XXI Tunja es reconocida por su importancia dentro del sector educativo, sus esfuerzos han sido resaltados y se ha reconocido como la ciudad del país con mejor nivel de educación especialmente en la educación superior. Este reconocimiento ha generado la misma dinámica que se presenta a nivel mundial y es el crecimiento de poblacional en áreas urbanas.

La vereda Tras del Alto por su parte también se vio afectada por este crecimiento poblacional, ya que al encontrarse tan cerca del centro poblado parte de su área pasó a ser barrios del área urbana del municipio. Esta vereda no sólo perdió extensión por este acontecimiento sino también por una división que se realizó hace aproximadamente 20 años en donde se consideró que esta gran vereda debía dividirse en tres: Tras del Alto, El Porvenir y La Esperanza. Sin embargo, legalmente esta división no ha sido del todo reconocida ya que dentro de la cartografía presentada por el IGAC no existe la vereda La Esperanza. Para efectos de este trabajo y bajo la cartografía base presentada por el IGAC el área de estudio se encuentra ubicada en lo que hoy en día es la vereda Tras del Alto, el área que ocupa esta vereda se reconoce por la población como el sector de Florencia, debido a que la primer y única hacienda ubicada cuando la vereda fue delimitada tenía ese nombre.

Al igual que la mayoría del municipio, la vereda Tras del Alto basaba su economía en actividades agrícolas y ganaderas, sin embargo los cambios que se han presentado en el clima, han generado que los épocas de sequía cada vez sean más extensas y las épocas de lluvia más cortas, lo que ha conllevado a que los habitantes de las veredas se desplacen a el casco urbano para desempeñar diferentes labores, las mujeres principalmente en actividades domésticas y los hombres en trabajos como conductores, albañiles y en menor proporción parte de la población de la vereda se dedica a el comercio como relatan los habitantes de esta vereda.

La caracterización demográfica que se muestra en la figura 8 de la vereda Tras del Alto se realizó a partir de los datos otorgados por el DANE en el censo agrario nacional desarrollado en el año 2014. Se expone la pirámide poblacional de la vereda para el año nombrado, en donde para ese entonces se presentaba una población de 682 habitantes de los cuales 349 son hombres y 333 son mujeres, esto indica que no existe una predominancia de género muy pronunciada y que las vocaciones de las actividades desarrolladas en la vereda pueden ser variadas.

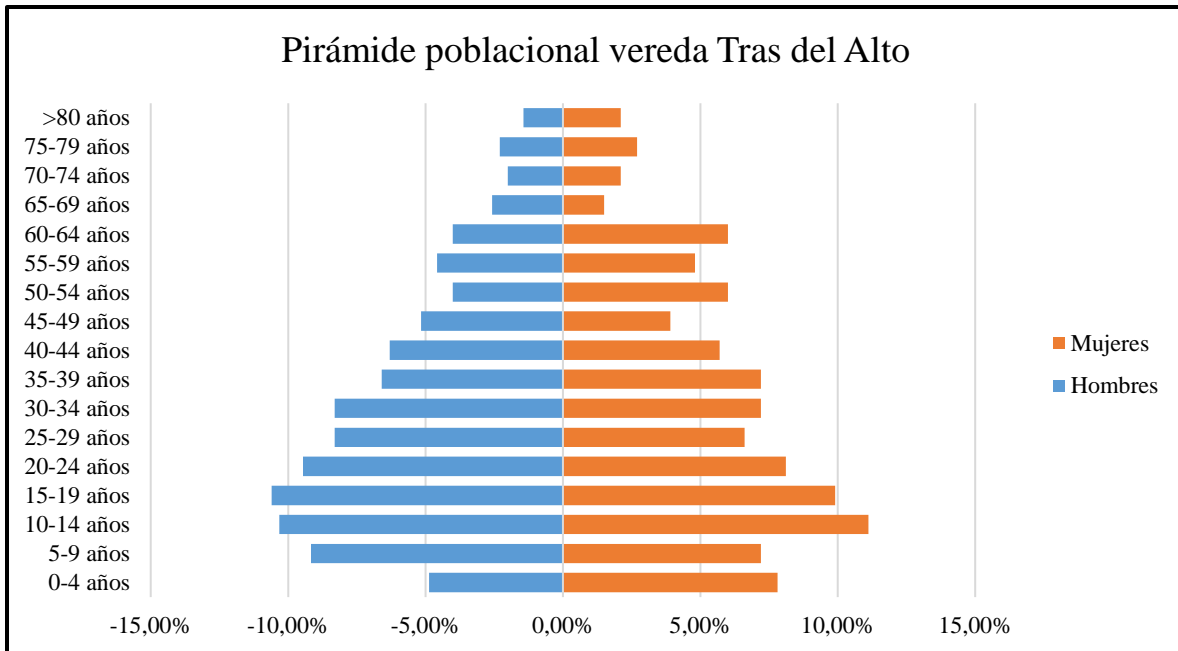


Figura 8 - Pirámide poblacional de la vereda Tras del Alto según el censo agrario del 2014.  
Fuente: DANE (2014)

## **3.2 MARCO CONCEPTUAL**

Con el fin de cumplir con los objetivos, es necesario brindar bases conceptuales de algunos parámetros fundamentales en la realización de la presente investigación.

### **3.2.1 Geofísica**

Geofísica es un área de las ciencias en la que según se aplica la física en la investigación del subsuelo y la Tierra, es decir, el estudio las propiedades físicas del subsuelo tales como: densidad, magnetismo, velocidad acústica, conductividad eléctrica, entre otras. La geofísica realiza mediciones de estas propiedades físicas, en el subsuelo y como afirma Lei (2015) puede mostrar valores anómalos, las anomalías se interpretan a partir de la desviación de valores obtenidos con respecto a unos teóricos, lo que significa que tanto valores altos como bajos pueden ser anómalos, respecto al promedio de la zona de estudio. En geofísica estos valores son de gran interés, ya que con ellos se puede obtener *“información sobre la geometría, las dimensiones y las propiedades de densidad, magnetismo o en este caso eléctricas, de las fuentes”* (Dentith & Mudge, 2014, p.236).

Esta rama de las ciencias tiene dos objetivos principales y son el mapeo geológico y los blancos de exploración (hidrocarburos, aguas subterráneas, minerales, fósiles, etc), las mediciones obtenidas de las propiedades físicas permiten inferir la geología y su composición para lugares donde esta no aflora. La geofísica posee diferentes técnicas de estudio, llamados métodos geofísicos, que dependiendo del problema en particular a resolver y según sea el tipo de propiedad física de estudio, se recurre a uno de estos. Telford et al.(1990) afirma que los métodos utilizados para la exploración de minerales e hidrocarburos son: la gravimetría, la magnetometría, la sísmica, la geoelectrónica, los métodos electromagnéticos y los radioactivos. Los métodos geofísicos se clasifican en pasivos y activos, los primeros son aquellos que utilizan fuentes naturales existentes en el subsuelo (como el campo magnético terrestre y campo gravitacional), y los segundos

necesitan la generación de señales de una fuente externa que se introduce en el subsuelo y mide la respuesta generada (por ejemplo, algunos métodos eléctricos y la sísmica).

Lei (2015), especifica que existen tres métodos geofísicos típicos aplicados en la minería de carbón que son: el método geoelectrico o corriente directa, los métodos electromagnéticos y la sísmica. Los métodos geoelectricos y electromagnéticos implican la medida de potenciales eléctricos asociados con el flujo de corriente en el subsuelo. El método geoelectrico según Dentith & Mudge (2014) proporciona información sobre la conductividad eléctrica, la cual es la medida de la facilidad con la que la corriente fluye por el subsuelo.

### **3.2.2 Geoelectrica**

El trabajo se enfoca en el método geoelectrico que mide la resistividad de los materiales, la cual se considera como el inverso de la conductividad eléctrica y se expresa generalmente en Ohmios por metro ( $\Omega \cdot m$ ). La resistividad ( $\rho$ ) se define como la resistencia de un material al paso de una corriente por un factor geométrico, por su parte la resistencia se presenta en la Ley de Ohm de la siguiente manera:

$$R = \frac{I}{V} \quad (1)$$

Donde:

R= Resistencia

I= corriente

V= Voltaje

Esta ley muestra la relación existente entre una diferencia de potencial, corriente y resistencia, siendo estas dos últimas directamente proporcionales.

El método geoelectrico para la medición de resistividades ( $\rho$ ) parte de considerar un cuerpo semi-infinito con resistividades uniformes, en donde a partir del uso de cuatro electrodos en contacto

con el suelo, dos de ellos inyectan corriente en el subsuelo (A, B) y los otros dos miden la diferencia de potencial resultante (M, N) de un centro fijo, como se muestra en la figura 10, esta diferencia se mide con un voltímetro integrado al multímetro del equipo. Sin embargo, como describen Dentith & Mudge (2014) cualquier heterogeneidad presente en el subsuelo por pequeña que sea distorsionará el campo eléctrico creado a partir de los electrodos y causará que la diferencia de potencial difiera. Por lo que en este caso la resistividad se conoce como resistividad aparente ( $\rho_a$ ) del subsuelo, la cual supone que las medidas son tomadas en un campo eléctrico homogéneo, aunque es poco probable que sea así. Esta resistividad depende de la distribución de la resistividad real y de la configuración o arreglos de electrodos utilizada para la medición. El desafío entonces en las técnicas de interpretación de estos datos consiste en transformar el conjunto de datos de resistividad aparente en la distribución de resistividad real del subsuelo.

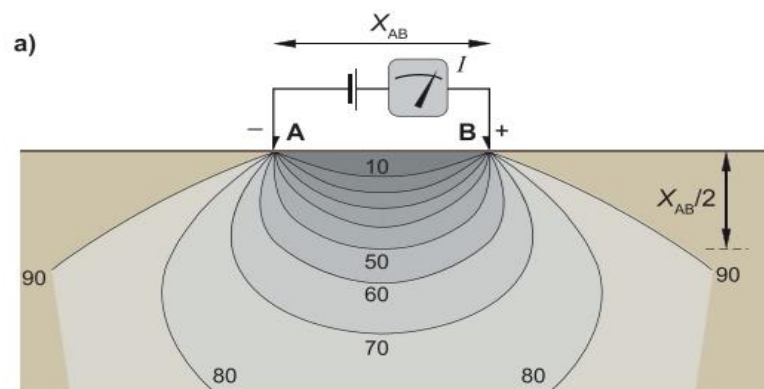


Figura 9 - Principio métodos geoelectrónicos. Fuente: (Dentith & Mudge, 2014)

Es importante resaltar que la resistividad de los materiales encontrados en el subsuelo es una variable y los rangos de sus valores son extensos, la resistividad depende de los materiales que conforman las rocas, de los líquidos y gases que se encuentran en sus poros, del tamaño y distribución de éstos, de las sales disueltas, la temperatura etc. En la tabla 2 se evidencian los rangos de los valores de resistividad que tienen algunos materiales presentes en el subsuelo.



A continuación, se resaltarán algunas propiedades de las rocas y minerales descritas por Dentith & Mudge (2014) que resultarán de gran importancia para el desarrollo de este trabajo:

- La mayoría de los materiales encontrados en un ambiente geológico son semiconductores, a excepción de los metales nativos.
- La resistividad eléctrica no diagnostica el tipo de roca, ya que los valores tanto de resistividad como de conductividad describen principalmente los minerales formadores de la rocas y aguas subterráneas, éste fenómeno se presenta porque las propiedades eléctricas tienden a estar dominadas por los componentes más conductivos de la roca.
- Generalmente las rocas sedimentarias son más conductoras que las ígneas, debido a su mayor porosidad y humedad.
- Los materiales ricos en minerales de arcilla se encuentran entre los tipos de rocas más conductivas. Estos se vuelven muy conductores cuando están húmedos y su presencia en los poros de la roca aumenta la conductividad significativamente.
- Los carbones tienen propiedades eléctricas similares a otros litotipos con el que es probable que estén asociados.

Tabla 2 - Valores de resistividad para algunos materiales presentes en el subsuelo. Fuente: autor con base en Reynolds (1997)

<b>Material</b>	<b>Resistividad eléctrica (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
Antracita	$10^3 - 2 \times 10^5$
Areniscas	$1 - 1,74 \times 10^8$
Arcillas	$1 - 10^2$
Arenas arcillosas/ arcillas arenosas	30 - 215
Arcillas (muy secas)	50 - 150

Carbón mezclado con arcillas	50
Coque	0,2 – 8
Cuarzo	$3 \times 10^2 - 10^6$
Limonita	$10^3 - 10^7$

Para expresar matemáticamente, la resistividad aparente ( $\rho_a$ ) es medida de la siguiente manera:

$$\rho_a = RK, \text{ donde } R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

La constante geométrica (K) depende de la configuración de los electrodos, y dependiendo del arreglo es definida por la fórmula (3), estas configuraciones se refieren a la disposición y separación existente entre los electrodos, tanto los que inyectan corriente como los que miden la diferencia de potencial, según sea esta hay varios tipos de arreglos o configuración de electrodos los principales o más usados son: Wenner, Schlumberger, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo y Polo-Polo.

$$k = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right)^{-1} \quad (3)$$

### 3.2.3 Tipos de arreglos de los electrodos

El arreglo de Wenner consiste en una distancia equipotencial de los electrodos, esa distancia será conocida como “a” por lo tanto, AM=MN=NB=a; según Reynolds (1997) este arreglo es el que mayor resolución en la vertical tiene en las regiones cercanas a la superficie debido a que las áreas negativas y positivas se anulan y la respuesta principal es originada en la profundidad.

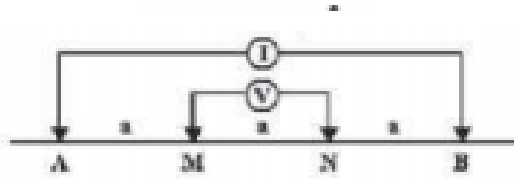


Figura 10 - Disposición de electrodos para el arreglo Wenner. Fuente: Montaña & Vega (2009)

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

El arreglo de Schlumberger consiste en que la separación de los electrodos A, B siempre será mayor a la distancia entre los electrodos M,N. Se propone que se pueden tomar hasta cinco medias máximas haciendo aperturas de los electrodos A,B y manteniendo la misma distancia entre los electrodos M,N. Aunque este método tiene casi tan buena resolución en la vertical como el anterior, se debe tener en cuenta que la señal detectada en profundidad será cóncava.

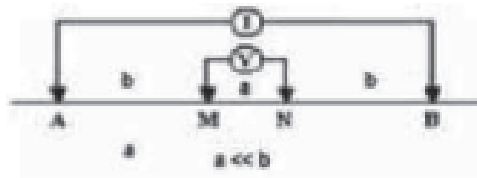


Figura 11 - Disposición de electrodos para el arreglo Schlumberger. Fuente: Montaña & Vega (2009)

$$\rho_a = \pi \frac{b^2 \Delta V}{a I} \quad (5)$$

El arreglo Dipolo-Dipolo consiste en dejar a un lado los electrodos A, B (los inyectores) y al otro lado los electrodos M, N (los receptores), la distancia que separa los electrodos debe ser la misma y se denomina como “a” mientras que la distancia que separa los pares de electrodos debe ser mayor y se denomina “b”. La señal que transmite este arreglo es lobular lo que indica que la resolución en la vertical es muy pobre.

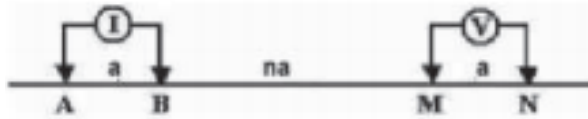


Figura 12 - Disposición de electrodos para el arreglo Dipolo-Dipolo. Fuente: Montaña & Vega (2009)

$$\rho_a = \pi n a (n + 1)(n + 2) \frac{\Delta V}{I} \quad (6)$$

En el arreglo Polo-Dipolo uno de los electrodos de inyección es llevado a una gran distancia (conocida teóricamente como el infinito) de los demás electrodos (M, N), en este arreglo se resalta que solo existe la presencia de tres electrodos, dejando de un lado uno de los electrodos de inyección.

En el arreglo Polo-Dipolo uno de los electrodos de inyección es llevado a una gran distancia (conocida teóricamente como el infinito) de los demás electrodos (M, N), en este arreglo se resalta que solo existe la presencia de tres electrodos, dejando de un lado uno de los electrodos de inyección.

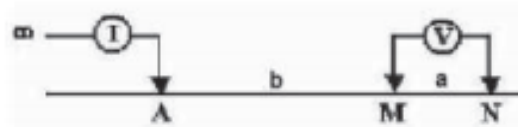


Figura 13 - Disposición de electrodos para el arreglo Polo-Dipolo. Fuente: Montaña & Vega (2009)

$$\rho_a = 2\pi \frac{(a + b) \Delta V}{b I} \quad (7)$$

El arreglo Polo-Polo cuenta únicamente con dos electrodos, uno de inyección y uno receptor, la disposición de estos electrodos se realiza en extremos también conocidos como el infinito. La distancia que separa a los dos electrodos es conocida como “a” por lo cual la constante geométrica se hallará de la misma manera que en el arreglo Wenner.

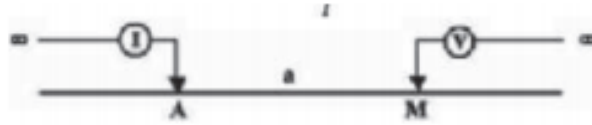


Figura 14 - Disposición de electrodos para el arreglo Polo-Polo. Fuente: Montaña & Vega (2009)

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (8)$$

### 3.2.4 Técnicas para la medición de resistividades

Los sondeo eléctricos verticales (SEV) como menciona Díaz (2010) tienen por finalidad inferir la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo un punto (este punto es el centro de los electrodos en profundidad dependiendo la separación de los electrodos) a partir de las medidas de la diferencia de potencial, normalmente esta técnica se utiliza para detectar y establecer los límites de capas horizontales en suelos estratificados. La profundidad a la que alcanza la penetración depende de la separación de los electrodos A, B, ya que estos dan la extensión total del tendido, se estima que la profundidad es 1/5 de la longitud total del tendido. Por lo tanto, a medida que incrementa la distancia entre los electrodos también aumentara la distancia de penetración, pero se puede perder resolución.

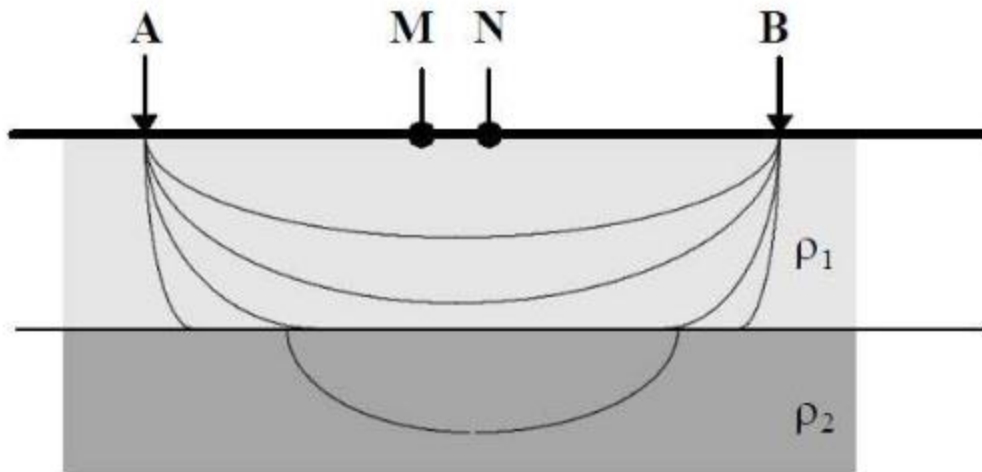


Figura 15 - Principio de las mediciones de los SEV. Fuente: Arias (2011)

Las calicatas eléctricas tienen como fin representar la distribución de las resistividades en sentido horizontal en una misma profundidad. A diferencia de los SEV, las calicatas emplean el mismo distanciamiento entre los electrodos, moviéndose horizontalmente sobre el terreno. Esta técnica se utiliza principalmente para detectar cambios en las facies litológicas o alteración en la estratigrafía por presencia de fracturas.

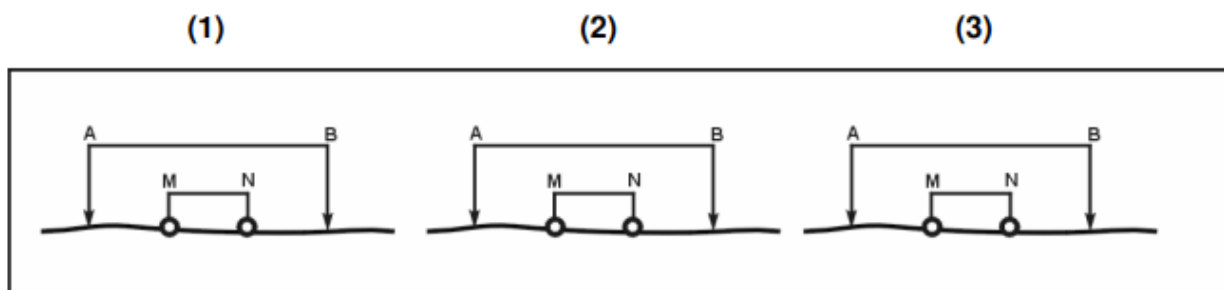


Figura 16 - Principio para la adquisición de una calicata. Fuente: Auge (2008)

La tomografía eléctrica (TE) obtiene mediciones en la vertical y en la horizontal de un área de estudio para obtener un perfil continuo con datos de resistividad del subsuelo. La tomografía eléctrica emplea un arreglo multielectrodico, con el fin de obtener datos en la horizontal se toman

medidas conmutando cada cuatro electrodos, dos serán los que inyectan y dos los receptores, es importante que para estos datos “a” tenga siempre la misma medida hasta escanear todos los puntos necesarios para abarcar la longitud total del tendido (n=1); luego con el fin de obtener datos en la vertical la medida de “a” aumentará y repetirá la conmutación dicha anteriormente (n=2), el número de niveles que se pueden obtener dependerá de la cantidad de electrodos y las combinaciones que se logren realizar.

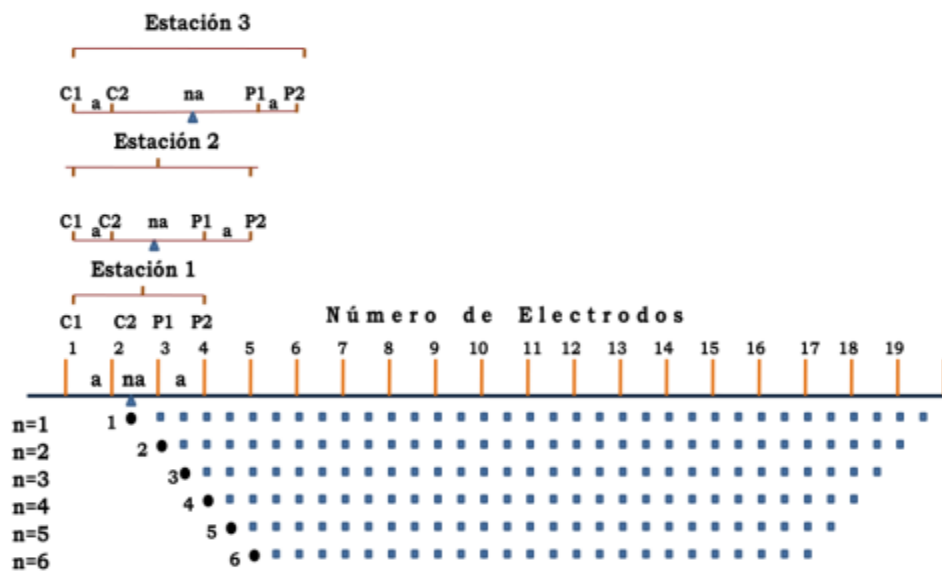


Figura 17 -Principio de la adquisición de una tomografía eléctrica. Fuente: Díaz (2010)

### 3.2.5 Prospección

El primer objetivo del presente trabajo se basa en la prospección geoelectrica, el Código de Minas define en su artículo 40 la prospección como un proceso para investigar la existencia de minerales delimitando zonas prometedoras y sus métodos consisten, entre otros, en la identificación de afloramientos, la cartografía geológica, los estudios geofísicos y geoquímicos, realizados en áreas que no se encuentren sujetas a derechos exclusivos. La prospección no debe confundirse con la exploración, aunque son labores consecutivas ya que la exploración se realiza luego de la

prospección, en esta última solo realiza un reconocimiento del subsuelo, donde posiblemente pueda existir un mineral como es el caso, por el contrario, la exploración consiste en la estudiar la viabilidad económica que puede traer la explotación de ese mineral.

En cuanto a la prospección geoelectrica, Auge (2008) establece que el objetivo principal de esta es la reconstrucción de la conformación del subsuelo a partir de la ubicación espacial de las capas resistivas obteniendo de ésta manera un perfil geoelectrico, el cual será transformado en un posible perfil geológico. Es importante que en este tipo de prospección se logren ver contrastes pronunciados en los valores de resistividad que logren indicar la presencia de una anomalía. La prospección geoelectrica permite intuir valores de la profundidad de las capas más o menos resistivas que su entorno, junto con su espesor, su distribución y su geometría.

El presente trabajo se realizó sobre un contrato de concesión minera, el cual se denomina según el Código de Minas como el acto jurídico mediante el cual el Estado otorga una titularidad minera a un tercero, éste tendrá la facultad de efectuar los estudios y obras necesarias para establecer la presencia del mineral objeto bajo su propia cuenta y asumiendo los riesgos. El mineral objeto de la concesión en la que se realizó el estudio es el carbón el cual *“puede ser considerado como una bio-roca (para hacer énfasis en su origen orgánico), de color oscuro (negro o pardo), combustible, de origen sedimentario, constituida básicamente por materia vegetal, con algunos minerales presentes”* (Sierra, 1992. p.2)

### **3.2.6 Eje social**

Los últimos dos objetivos van relacionados con la perspectiva y la participación de actores sociales en la prospección geoelectrica, entendiendo perspectiva como el punto de vista que tiene una persona frente a una situación y la manera en que la analiza, y, los actores sociales como grupos u



organizaciones que interactúan en la sociedad, más específicamente los grupos que interactúan en el área de estudio y que pueden llegar a tener un interés en común.

### 3.3 ESTADO DEL ARTE

Los métodos eléctricos de prospección aunque son considerados como técnicas jóvenes, datan desde los años 1700's, Van Nostrand & Cook (1966) exponen que en el año 1720 se realizaron los primeros estudios eléctricos de las rocas en el cual se obtuvieron los valores de conductividad para éstas, el estudio fue realizado por Gray y Wheeler, años más tarde en 1746 Robert Fox, quien fue un gran exponente de la prospección eléctrica, descubrió que el suelo tiene propiedades conductivas y que una corriente eléctrica podría ser inducida en el suelo mediante el uso de dos electrodos separados a una distancia prudente.

Los primeros estudios de prospección de yacimientos minerales se sitúan en 1815 por el inglés Robert Fox, quien identificó el fenómeno de la polarización espontánea “*que consiste en que los yacimientos de ciertos minerales producen débiles corrientes eléctricas apreciables desde la superficie. Fox sugirió el uso de este fenómeno para la prospección de yacimientos*” (Daza, 2012, p.19). Sus experimentos lo llevaron a realizar un estudio en la mina de cobre de Cornualles en el año 1930, donde descubrió que existe una corriente eléctrica natural asociada con algunos depósitos minerales. Ese mismo año después de varios experimentos, Fox realizó una lista de 21 minerales los cuales clasificó como conductores, poco conductores y no conductores. La Pirita la clasificó como uno de los mejores conductores; la plata, el cobre y el zinc son buenos conductores mientras no contengan sulfuros.

Aunque Fox realizó hallazgos muy importantes para la prospección eléctrica, Conrad Schlumberger es quien se considera como el padre de esta, puesto que en 1913 descubrió el yacimiento de sulfuros en Bor (Serbia), que se consideró como el primer hallazgo, de mineral no magnético, por medio del potencial espontáneo, mismo método utilizado por Fox. Años más tarde,

el mismo padre de la prospección eléctrica reconoció la importancia de este método en la prospección de carbón, pues:

En el año 1932 se realizaron los primeros trabajos de exploración eléctrica para la prospección e investigación de yacimientos de carbón. En este sector de las investigaciones geológicas, la exploración eléctrica encontró aplicación como método de estudio de las estructuras geológicas de las cuencas carboníferas y para la prospección de las capas de carbón y de los tramos carboníferos (Iakubovskii et al,1980, p.18).

### **3.3.1 Ámbito internacional**

Los estudios de prospección geoelectrica aplicados al reconocimiento del carbón han tenido un gran auge en países como China, en donde además de utilizar métodos como la polarización inducida y la resistividad para determinar las vetas de carbón presentes en un área de estudio, estos también se han utilizado dentro de las minas para ver la influencia que tiene el agua en estas y posteriormente prevenir daños principalmente estructurales en las mismas.

En Nigeria, Nwafor (2011) elaboró un trabajo enfocado en la delimitación y la evaluación de las reservas de carbón ubicadas al norte de un campo minero conocido como Okaba, en éste se realizaron estudios de resistividad usando la técnica de sondeos eléctricos verticales con dos tipos de arreglo, Schlumberger y Dipolo-Dipolo, efectuando cuatro sondeos por cada arreglo, esto permitiría evaluar cuál técnica geoelectrica es más efectiva a la hora de realizar estudios de prospección de carbón. El autor resalta que para el estudio de carbones el arreglo tipo Dipolo-Dipolo presenta una mejor resolución en la lateral y a su vez intuye que el arreglo Wenner también sería una buena opción ya que el carbón es un depósito que se encuentra estratificado. En cuanto a la técnica geoelectrica recomendada para estos estudios, el autor concluye que depende de

factores como la geología, la topología, la hidrología y de cuestiones financieras para la realización del proyecto.

En la India se adelantaron trabajos para obtener imágenes 2D de las resistividades presentes en el subsuelo, Singh et al (2004) estudiaron la veta de carbón encontrada en el norte de un campo minero ubicado en Jharia en el distrito de Dhanbad a partir de un método multielectrodico, en donde usaron el principio de tomografía eléctrica, emplearon más de 48 electrodos. Las imágenes 2D que se obtuvieron permitieron identificar una anomalía con altos niveles de resistividad ( $980 \Omega \cdot m$ ) correspondientes a una veta de carbón que se ubicaba a entre los 10 y 31 metros de profundidad, en las imágenes obtenidas se ven blancos que indican que no existe la continuidad de la capa de carbón probablemente por la presencia de galerías.

### **3.3.2 Ámbito nacional**

En Colombia fue hasta la década de los cuarenta que la geofísica tomó un papel importante porque *“en 1940 inicia labores el Servicio Geológico Nacional, el cual, dentro de sus funciones debería realizar trabajos de prospección geológica y geofísica”* (Briceño & Mojica, 1993, p.171). Los estudios que se encuentran documentados en el Servicio Geológico Colombiano demuestran que la prospección geofísica en el país se concentró en la búsqueda de petróleo, cobre y oro. En el año 1987 se realizaron estudios geofísicos en las áreas mineras de Chete y Cotaje (minas de oro) ubicadas en el departamento de Cauca; y, en 1989 se llevaron estudios para prospección de oro en el municipio El Bagre, Antioquía.

En cuanto a la prospección geoelectrica, la cual se basa en buscar contrastes de resistividad eléctrica en el subsuelo, los estudios elaborados en Colombia se han dedicado principalmente a la identificación de aguas subterráneas. De los primeros estudios que se tienen registro elaborados por INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano), fueron los elaborados en los

municipios de Uribia y Maicao con el fin de determinar posibilidades acuíferas locales profundas y situar puntos de perforaciones exploratorias o de producción que sirvieran para abastecer con agua potable subterránea a las diferentes localidades (INGEOMINAS, 1985).

En 1994 en el departamento del Cesar se realizó un estudio de este tipo el cual consistía en determinar las áreas en donde se encontraba el recurso hídrico y que su calidad permitiera ser utilizada para el uso doméstico. En el municipio de Sutamarchan, Boyacá; INGEOMINAS (1989) realizó investigaciones orientadas en calcular los valores de resistividad de las capas del subsuelo a conocer las características litológicas, calidad del agua subterránea y la factibilidad de pozos profundos, durante el estudio se realizaron seis sondeos eléctricos que permitieron proponer la perforación de dos pozos. Años más tarde efectuó un estudio en el departamento de Santander en los municipios de Cabrera INGEOMINAS (2003a) y Villa Nueva INGEOMINAS (2003b) en busca de la factibilidad de encontrar capas potencialmente acuíferas en el subsuelo; el estudio se realizó mediante sondeos eléctricos en cada uno de los municipios y se identificó para Villa Nueva la posibilidad de perforar tres pozos exploratorios, y para Cabrera dos.

Los métodos geoelectricos para prospección o exploración de carbón no han sido muy documentados, sin embargo, dentro de los informes encontrados en el Servicio Geológico Colombiano se localiza el documento que dio inicio y comprobó que estos métodos son exitosos para la prospección del carbón. INGEOMINAS (1982) realiza un análisis de las rocas ubicadas en el sector carbonífero San Nicolás – Salitre el cual se ubica en el área carbonífera Tunja-Paipa-Duitama, con condiciones similares a la zona de estudio del presente proyecto, en el trabajo se realizaron sondeos eléctricos verticales, y aunque no se logró identificar claramente la distribución de las capas de carbón debido a una topografía muy escarpada y a la presencia de varias fallas y fracturas en el subsuelo, a pesar de esto se concluye que la investigación de los depósitos de carbón

se puede realizar bajo los métodos geoelectricos en áreas tectónicas más tranquilas, sin asegurar que se pueden llegar a obtener resultados con un 100 % de éxito.

En Colombia el único trabajo que se registra de prospección geoelectrica para carbones es la tesis de maestría de geofísica Cuellar (2004) en la Universidad Nacional de Colombia, donde presenta un trabajo realizado a partir de dos métodos geofísicos, la sísmica y la geoelectrica para la prospección de carbón en el municipio de Guaduas, Cundinamarca el cual se encuentra en la misma formación geológica que el área de estudio del presente trabajo. Las técnicas que se usaron en el método geoelectrico fueron sondeos eléctricos verticales y tomografías eléctricas. El estudio se basó en una correlación de datos obtenidos dentro de una mina en el municipio de Cucunubá y los adquiridos en Guaduas, concluyendo que los valores más altos de resistividades correspondían a una misma capa de carbón, en Guaduas la capa de carbón tuvo valores de resistividad mayores a  $80 \Omega \cdot m$ , mientras que en Cucunubá los valores superaban los  $600 \Omega \cdot m$ . El autor llega a la conclusión de que observó las tres capas que se encuentran en la mina de Cucunubá en el municipio de Guaduas.

Por su parte, en el departamento de Boyacá se han utilizado métodos geoelectricos en diferentes aplicaciones, especialmente en exploración de acuíferos, pero se resaltan proyectos aplicados en el ambiente, lo que se conoce como geofísica ambiental como lo es el trabajo dirigido a la identificación de plumas de contaminación, para el caso de estudio se trataba de ver la infiltración de lixiviados del relleno sanitario Carapacho ubicado en el municipio de Chiquinquirá.

Marín & Avendaño (2017) utilizaron los métodos geoelectricos para determinar si los lixiviados se canalizan hasta llegar a un acuífero. En el estudio se realizaron 24 sondeos eléctricos verticales distribuidos en tres líneas bases, las líneas 1 y 2 contaron con 10 sondeos cada uno, distanciados cada diez metros y la línea 3 tuvo 4 sondeos con la misma separación entre los sondeos que en las

otras líneas. Los autores realizaron esta metodología para luego poder adaptar los sondeos de cada línea a una tomografía eléctrica, por consiguiente, se obtuvieron tres de estas. Los resultados que obtuvieron demuestran que la Formación Areniscas, sobre la cual se encuentra el relleno, es permeable por lo menos en los primeros 60 metros de profundidad ya que no se encontró saturación de los materiales de la Formación.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Área de estudio**

La vereda Tras del Alto es una de las ocho veredas reconocidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el área rural del municipio de Tunja, limita al norte con el municipio de Motavia y Sora, al este con el límite urbano y la vereda El Porvenir, al sur con la vereda El Porvenir y la vereda Barón, y al oeste con el municipio de Cucaita. Esta vereda se encuentra al noroeste del municipio de Tunja y tiene un área de aproximadamente 21 km<sup>2</sup>.

El contrato de concesión minera en el que se desarrolló el trabajo se encuentra al sur de la vereda Tras del Alto y cuenta con un área de 90 ha lo que equivale a 0,9 km<sup>2</sup>. Este contrato de concesión se encuentra en un estado vigente en ejecución lo que significa que dentro del área se pueden desarrollar las actividades pertinentes a la prospección de carbón, para el caso de este contrato de concesión.



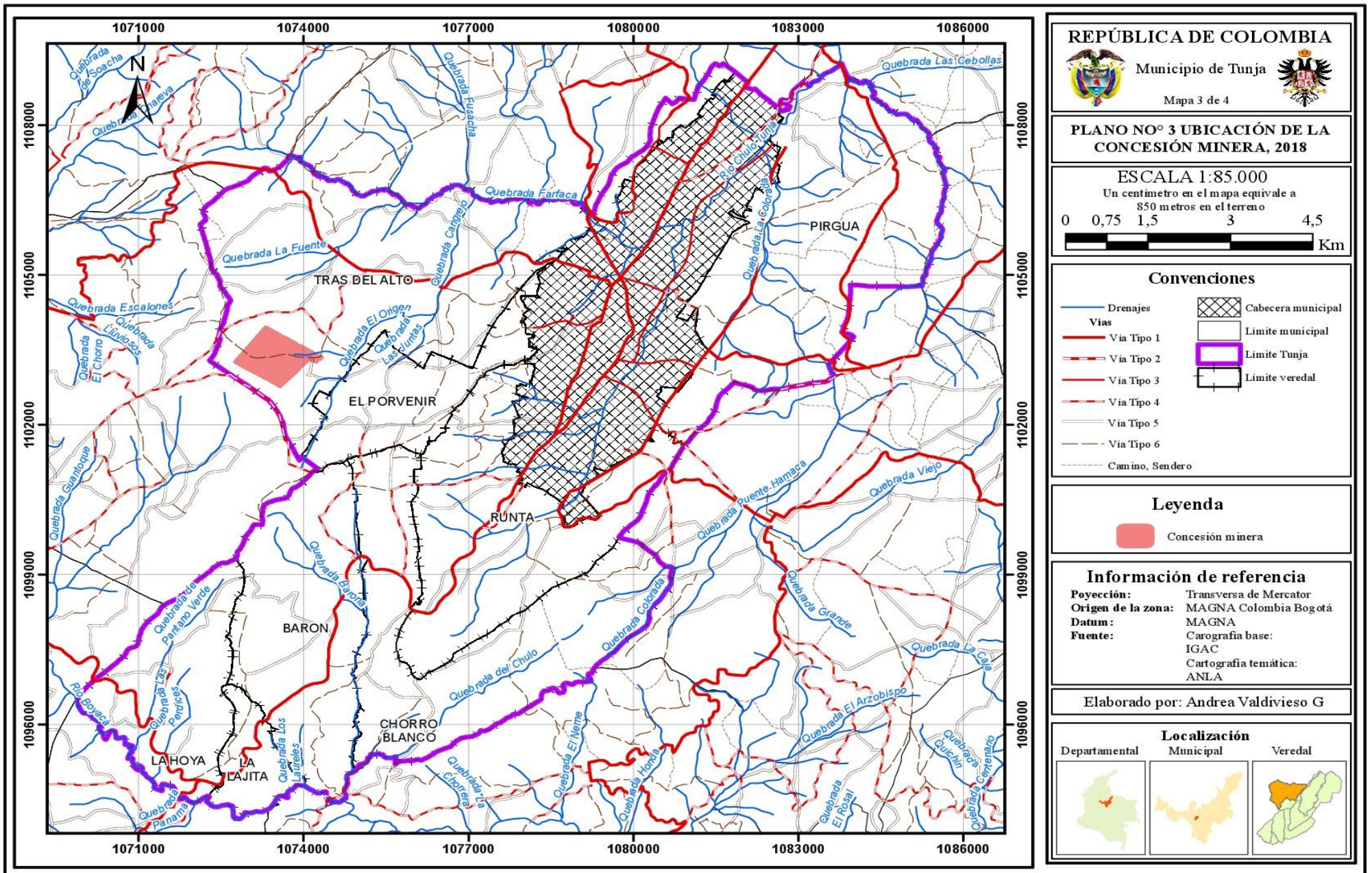


Figura 18 - Plano de la ubicación de la concesión minera

## 4.2 Equipos de geoelectrica

La adquisición de datos correspondientes al método geoelectrico se hizo mediante el equipo GeoAmp202, el cual es un equipo fabricado por la empresa Subsuelo 3d, para realizar prospección geoelectrica a partir de sondeos electricos verticales.

El equipo GeoAmp202 permite obtener valores de potencial espontáneo, voltaje y corriente, estos valores se obtienen a partir de dos multímetros los cuales se encargan de registrar la corriente que circula entre los electrodos A y B, y la diferencia de potencial que se genera entre los electrodos M y N, estos datos permiten obtener valores de resistividad aparente.

Los componentes que conforman y hacen parte del equipo son los siguientes:

- 2 multímetros, uno para registrar voltaje y el otro para registrar corriente
- 4 electrodos correspondientes a A, B, M y N
- 2 carretes metálicos con 300 metros de cable cada uno correspondientes a A, B
- 2 carretes metálicos con 100 metros de cable cada uno correspondientes a M, N
- 4 soportes metálicos para los carretes
- Batería de 12 voltios
- 2 martillos
- Cinta métrica





Imagen 1- Componentes del equipo GeoAmp202.

### **4.3 Desarrollo metodológico**

#### **4.3.1 Estudio geofísico**

El estudio de prospección geoelectrica consistió en dos partes, la primera se basó en un trabajo de oficina mediante el cual según las características geológicas y topográficas del área de estudio se estableció la técnica a utilizar y la configuración de electrodos. La técnica que se empleo fue el sondeo eléctrico vertical (SEV) bajo la configuración de Wenner, debido a que las capas de carbón se encuentran en intercalaciones con otros materiales y su espesor no es muy alto, lo cual requería una buena resolución en la vertical.

Una vez definido el método y su configuración de electrodos (SEV con Wenner) el parámetro más importante a evaluar fue la profundidad a la que se quería llegar en el estudio, ya que el carbón según los datos geológicos consultados se encuentra principalmente en el miembro medio de la formación, es decir, a más de 50 metros de profundidad, por tal motivo se pretendió aprovechar al máximo el cable del equipo que se utilizó para lo cual se diseñó la tabla presentada en el anexo 1 con la configuración de electrodos a emplear en campo.

La tabla se diseñó con el fin de obtener un tendido de 600 metros, lo cual representaría una profundidad en el terreno de 120 metros (correspondientes a 1/5 del total del tendido); la constante geométrica ‘k’ fue hallada a partir de la fórmula (4) teniendo en cuenta que el tendido aumentaría de a cinco metros (d) y que los valores correspondientes a “a” en ésta caso sería AB/3. Los valores de potencial espontáneo (SP), voltaje (V) y corriente (I) se medirían en campo con el equipo y la resistividad aparente se hallaría de igual manera con la fórmula (4), la cual al ser reemplazada sería:

$$Rho_a = \rho_a = 2\pi a \frac{V - SP}{I}, \text{ donde } 2\pi a = k \quad (9)$$

La segunda parte, correspondiente al trabajo de campo consistió en realizar cinco sondeos eléctricos verticales distribuidos en la zona de estudio donde se encuentra una bocamina abandonada.

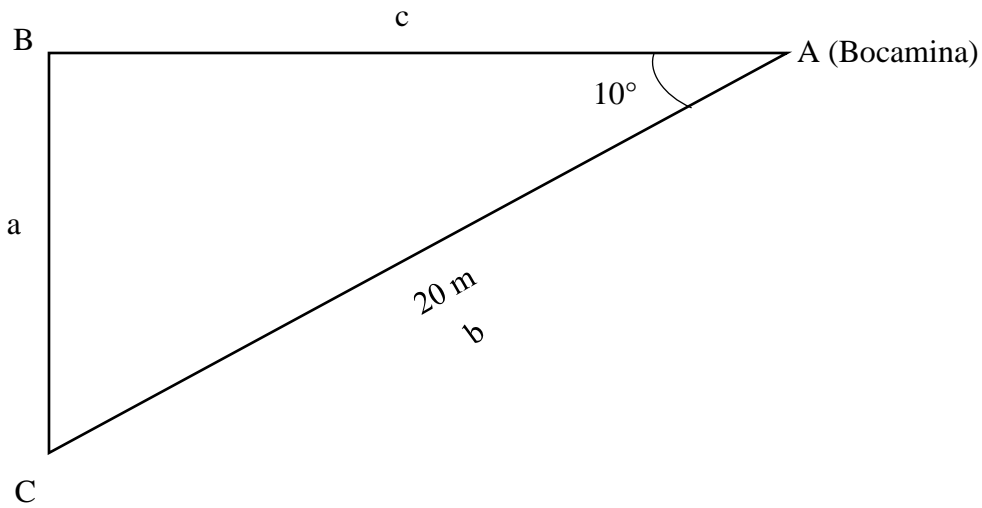
El primer sondeo eléctrico vertical que se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la tabla mostrada en el anexo 1, lo cual mostró dos variables importantes para la continuación del estudio: la primera variable corresponde a la ubicación de los tendidos ya que se apreció que no se podían hacer horizontales a la bocamina por la presencia de cableado eléctrico y pozos artificiales que intervendrían en los datos adquiridos con el equipo, por otro lado, el terreno presentaba pequeñas fallas que impedían que los electrodos tuvieran una continuidad, por lo cual el tendido no alcanzaría la apertura que se esperaba (600 m) es decir que tampoco alcanzaría la profundidad de los 120 metros.

La segunda variable mostró que la resolución en la vertical no era la más adecuada porque el tendido al crecer cada cinco metros tenía una resolución de tres metros en profundidad, según los

datos geológicos observados en campo, las capas de carbón varían entre 0,8 y 2 metros de espesor, por lo cual se podrían saltar capas de carbón sin ser reconocidas por el equipo, esto fue rectificado al entrar en una bocamina (Imagen 2) y encontrar una capa de carbón de alrededor de 80 cm a 20 metros de la entrada de la bocamina, para determinar la profundidad a la que se encontraba la capa de carbón que fue vista se utilizó trigonometría luego de reconocer que el ángulo de inclinación de la bocamina es de  $10^\circ$ , el cálculo se realizó como se muestra en la ecuación 10.



Imagen 2- entrada a la bocamina.



Donde:

A= Ángulo de inclinación con el cual fue cavada la bocamina (pendiente)

B= Ángulo de inclinación entre la superficie y la perpendicular

C= Ángulo de inclinación entre la perpendicular y la pendiente de la bocamina

a= Distancia perpendicular entre la superficie y la primera capa de carbón (profundidad)

b= Distancia entre la entrada de la bocamina y la primera capa de carbón

c= Distancia en la horizontal de la entrada de la bocamina a la capa de carbón

$$\sin \theta = \frac{CO}{h} \quad (10)$$

$$\sin A = \frac{a}{b}$$

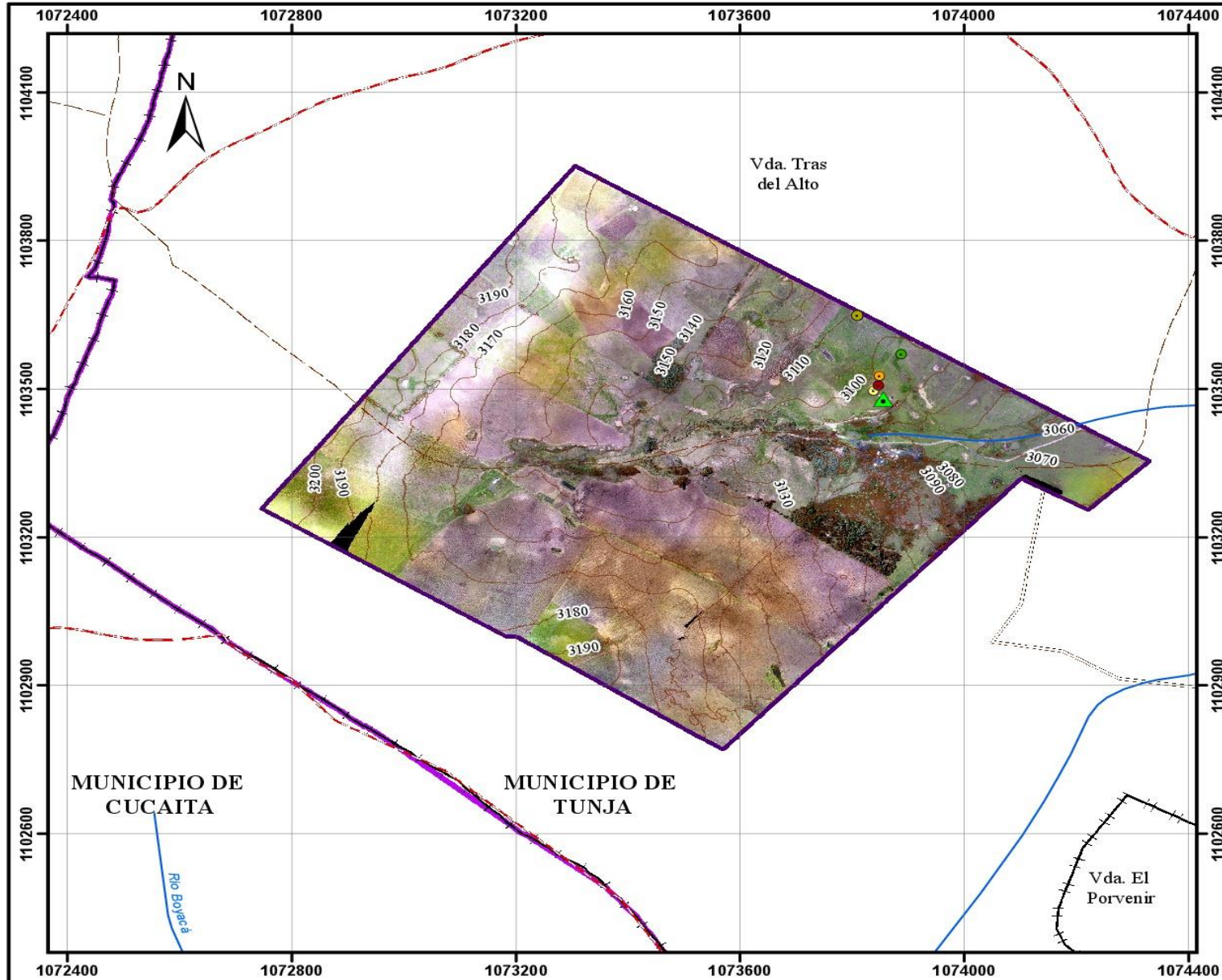
$$a = \sin A * b$$

$$a = \sin(10) * 20$$

$$a = 3,47 \text{ m}$$

Las variables que se observaron en el primer sondeo eléctrico vertical permitieron realizar un ajuste para el trabajo en campo y que los siguientes cuatro sondeos se efectuaron de la siguiente manera: el sondeo eléctrico vertical 2 se realizó con una resolución vertical de 0,54 metros en profundidad, en donde se capturaron 40 puntos para una extensión total del tendido de 108 metros y una profundidad en el terreno de 21 metros aproximadamente. El sondeo eléctrico vertical 3 al igual que el anterior contó con una resolución vertical de 0,54 metros, con adquisición de 49 puntos para una extensión de 132,3 metros de tendido la cual representa una profundidad de alrededor de 27 metros. El sondeo eléctrico vertical 4 fue el que más lejano a la bocamina se realizó y se esperaba encontrar alguna capa con un espesor mayor a los 80 cm por lo cual se realizó con los parámetros establecidos y aplicados en el SEV 1, es decir con una resolución vertical de 3 metros, en este sondeo se tomaron 41 puntos para una extensión de 205 metros y una profundidad alcanzada de 41 metros. Por último, el sondeo eléctrico vertical 5 se realizó para hacer un control de la capa encontrada en la bocamina, ya que, aunque en los sondeos 2 y 3 se logró identificar esa pequeña capa, el programa en el cual se procesaron los datos cogía esos valores como ruido; este sondeo tuvo una resolución de 0,54 metros y se tomaron valores de 21 puntos los cuales representan una extensión de 56,7 metros y una profundidad de más o menos 11 metros. La distribución de los sondeos se puede observar en la figura 19.





**REPÚBLICA DE COLOMBIA**

Municipio de Tunja

Mapa 4 de 4

---

**PLANO NO° 4 UBICACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES, 2018**

---

ESCALA 1:10.000  
Un centímetro en el mapa equivale a  
100 metros en el terreno

0 0,075 0,15 0,3 0,45 Km

---

**Convenciones**

Curvas de nivel	Concesión minera
Drenajes	Límite Tunja
<b>Vías</b>	Límite veredal
Vía Tipo 4	
Vía Tipo 5	
Vía Tipo 6	

---

**Leyenda**

Bocamina	SEV 3
SEV 1	SEV 4
SEV 2	SEV 5

---

**Abrebiaturas**

Vda = Vereda  
SEV= Sondeo Eléctrico Vertical

---

**Información de referencia**

<b>Poyección:</b>	Transversa de Mercator
<b>Origen de la zona:</b>	MAGNA Colombia Bogotá
<b>Datum:</b>	MAGNA
<b>Fuente:</b>	Carografía base: IGAC y ANLA
	Cartografía temática: Elaboración propia

---

Elaborado por: Andrea Valdivieso G

---

**Localización**

Departamental	Municipal	Veredal

Figura 19 - Plano de la ubicación de los sondeos eléctricos verticales



### 4.3.2 Perspectiva de los actores sociales

Para el segundo objetivo, orientado a la percepción de los actores sociales, se realizaron entrevistas semiestructuradas<sup>1</sup> a cuatro grupos identificados que se ven involucrados en el presente trabajo, el primer grupo hace referencia a los líderes sociales de la comunidad de la vereda Tras del Alto, el segundo a los mineros vinculados a la empresa dueña del contrato de concesión, el tercero la empresa dueña del contrato de concesión minera en donde se realizó el estudio y por último la alcaldía quien representa el Estado.

La entrevista se conoce como una técnica de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; Sampieri (2014) define la entrevista como una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona (el entrevistador) y otra (el entrevistado) u otras, en donde el propósito es el de obtener respuestas sobre un tema, problema o tópico de interés en los términos y lenguaje del entrevistado.

Para cada actor social se establecieron criterios de realización de las entrevistas, un objetivo por cumplir con dicha entrevista y a las personas que iba dirigida la entrevista, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 - Factores de planeación de entrevistas

<b>Actor social</b>	<b>Criterios</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Personas entrevistadas</b>
Líderes sociales de la vereda	Mayores de 55 años	Determinar el grado o nivel de disposición por parte de la comunidad a que se realice prospección	Mujer líder social
	Líder social		Presidente de la Junta de Acción Comunal
	Residentes de la vereda por más de 15 años		

<sup>1</sup> Se entiende por entrevistas semiestructuradas aquellas que se realizan mediante la implementación de un cuestionario preestablecido, pero a su vez se brinda el espacio al entrevistado para que pueda expresarse sobre aspectos no contemplados en el mismo. A diferencia de las encuestas, la técnica de entrevista implica seleccionar a informantes claves o personas que puedan cubrir las preguntas preestablecidas en el cuestionario.

<b>Actor social</b>	<b>Criterios</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Personas entrevistadas</b>
Mineros vinculados a la empresa dueña del contrato de concesión	Dedicación de esta actividad de por lo menos 10 años	geoeléctrica de carbón en la Vereda.	Jefe de mina
			Minero residente de la vereda
Alcaldía	Empleado de la alcaldía que maneje las cuestiones relacionadas a la minería	Determinar el nivel de disposición que tiene la alcaldía para la exploración y el reconocimiento de los recursos en el municipio	Asesor de planeación del municipio
	De ser posible un empleado de carrera		
Empresa dueña del contrato de concesión minera	Vinculación directa con la empresa que posee el título minero	Indagar el procedimiento de la empresa con respecto a las labores de prospección	Jefe de proyectos mineros

Los formatos de las entrevistas para cada actor se encuentran en los anexos del 2 al 5: la entrevista dirigida a los líderes sociales de la vereda en el anexo 2, la efectuada a los mineros en el anexo 3, la realizada en la alcaldía en el anexo 4 y por último la que se llevó a cabo a la empresa en el anexo 5.

#### **4.3.2 Protocolo participativo**

Para dar cumplimiento a el último objetivo, el cual se basó en un protocolo de acción participativa, se realizaron tres etapas que se representan a través del antes, durante y después de la propuesta:

- La primera etapa referente al antes, consistió en hacer un diagnóstico para establecer los lineamientos a tener en cuenta para la aplicación de la técnica de prospección de carbón, estos se basaron principalmente en las debilidades manifestadas por los diferentes actores sociales frente a la prospección y que puedan ser solucionadas o mejoradas, no obstante, los aspectos positivos identificados subyacen en la etapa del diagnóstico.

- La segunda etapa consiste en el durante, se trató en proponer una serie de acciones que respondieran a la pregunta ¿Cómo implementar la prospección disminuyendo la conflictividad entre los actores sociales que involucra la prospección geoelectrica?
- La tercera etapa consiste en el después, en donde se pretende demostrar la pertinencia que tiene la implementación de la propuesta para disminuir los conflictos que se presentan entre los actores involucrados.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Estudio geoelectrico

Los datos adquiridos en campo de los cinco sondeos eléctricos verticales fueron procesados en el software IPI2win luego de haber obtenido las resistividades aparentes. Este programa está diseñado para realizar inversiones automáticas, para que las inversiones den buenos resultados el error debe ser menor al 10 % dependiendo algunos factores como calidad de los datos, humedad, topografía entre otros, las cuales a partir de curvas de resistividad permiten intuir la geología de la zona con respecto a los valores de resistividad real de los materiales presentes en el subsuelo, el espesor de las capas y la profundidad en la que se encuentran dichas capas.

Una vez obtenidos los resultados de las gráficas curvas y valores de resistividad en IPI2win se hizo una interpretación de los datos para realizar los perfiles geológicos de cada uno de los sondeos eléctricos verticales, esta interpretación se hizo partiendo de un conocimiento previo de la geología de la zona y de la tabla 2 diseñada por Reynolds (1997), en donde se muestran los valores de resistividad para los materiales encontrados en el subsuelo. Es bastante importante resaltar que los perfiles son aproximaciones de lo que se puede encontrar en el subsuelo en los puntos donde se realizaron los sondeos eléctricos verticales, ya que como ya se había mencionado los materiales tienen rangos de valores muy grandes.

Aunque no hay un rango de valores específicamente para el carbón, a partir de la capa que se observó dentro de la bocamina se puede interpretar que los valores más bajos corresponden a las capas de carbón, gráficamente ese contraste se vería también en las curvas realizadas por el IPI2win.

Con fines de interpretación del presente trabajo, a la capa que se visualizó en la bocamina se le llamó Capa A y, a una segunda capa encontrada a más de 20 metros, Capa B.

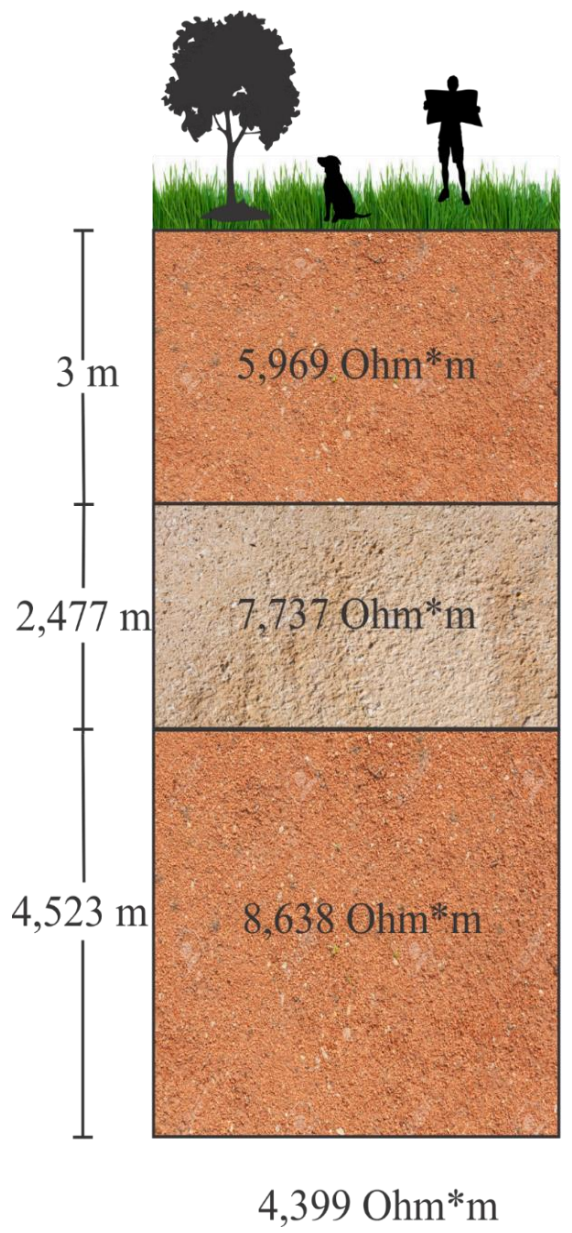
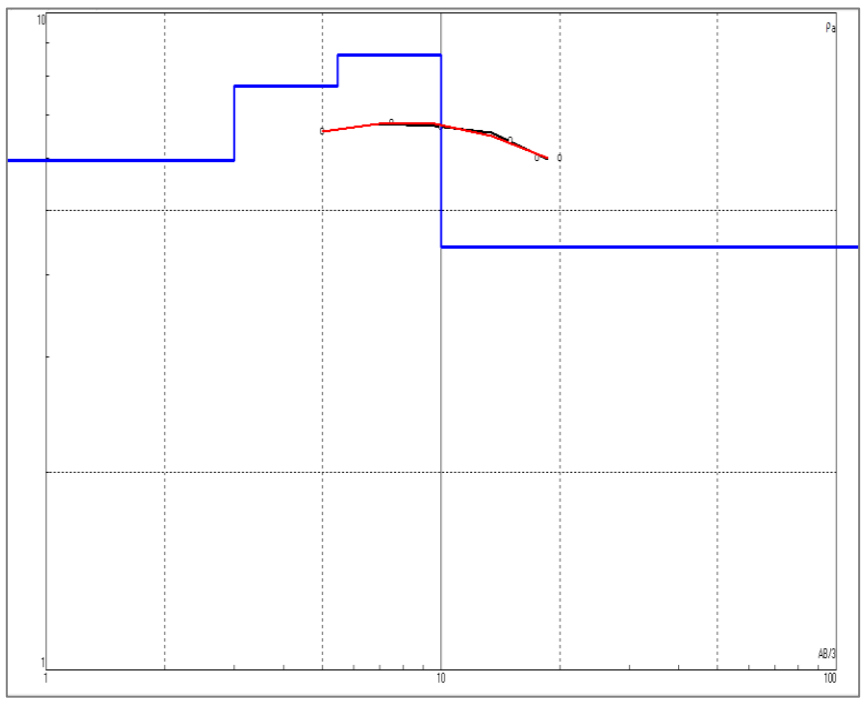
### Sondeo eléctrico vertical 1

El sondeo eléctrico vertical 1 tuvo una extensión del tendido de 60 metros en donde se lograron tomar cuatro puntos iniciales, sin embargo, se realizaron dos puntos intermedios entre los puntos 1 y 2 y 3 y 4 para determinar si existía algún contraste en los valores, resultó que con la configuración de los electrodos (con aumento de cada 5 metros) y hasta la profundidad alcanzada no se mostró un contraste significativo de los valores de resistividad, la cual representaría valores para el carbón.

Tabla 4 - Datos adquiridos en campo en el SEV 1

<b>SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 1</b>										
<b>No</b>	<b>d</b>	<b>AB</b>	<b>AB/3</b>	<b>MN/2</b>	<b>AB/2</b>	<b>K</b>	<b>SP (V)</b>	<b>V (V)</b>	<b>I(A)</b>	<b>Rhoa (Ohm-m)</b>
1	5	15	5	2,5	7,5	31,416	14	143,7	620	6,6
<b>I</b>	2,5	22,5	7,5	3,75	11,25	47,124	8,2	66,1	400	6,8
2	5	30	10	5	15	62,832	4,9	80,4	710	6,7
3	5	45	15	7,5	22,5	94,248	31,2	73,9	630	6,4
<b>I</b>	2,5	52,5	17,5	8,75	26,25	109,956	-46,3	-20,1	480	6,0
4	5	60	20	10	30	125,664	60,9	87,1	550	6,0

SEV 1			
Error		0,56%	
N	$\rho$	h	d
1	5,969	3	3
2	7,737	2,477	5,477
3	8,638	4,523	10
4	4,399		



**CONVENCIONES**

- Arcillas
- Areniscas

Figura 20 - Resultados SEV 1

## Sondeo eléctrico vertical 2

El sondeo eléctrico vertical 2 no obtuvo valores en el primer punto ya que el equipo se saturó por la cercanía de los electrodos; se notaron dos contrastes de valores de resistividad aparente importantes (resaltados en verde), el primero correspondiente al punto 8 y el segundo de los puntos 34 al 37 los cuales pueden representar la presencia de una anomalía. Sin embargo, al hacer el procesamiento en el IPI2win el valor del octavo punto tuvo que suprimirse debido a que el programa lo consideraba como ruido y el error de los resultados era muy alto. En las curvas de resistividad se evidencia notoriamente el contraste de los valores, en el cual se distingue una anomalía a los 19,8 metros de profundidad con un poco más de metro y medio de espesor.

Tabla 5 - Datos adquiridos en campo en el SEV 2

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 2										
No	d	AB	AB/3	MN/2	AB/2	K	SP (V)	V (V)	I(A)	Rhoa (Ohm-m)
1	0,9	2,7	0,9	0,45	1,35	5,655	-	-	-	-
2	0,9	5,4	1,8	0,9	2,7	11,310	28,3	486,7	280	18,5
3	0,9	8,1	2,7	1,35	4,05	16,965	74,6	342,6	320	14,2
4	0,9	10,8	3,6	1,8	5,4	22,619	24,4	141,6	200	13,3
5	0,9	13,5	4,5	2,25	6,75	28,274	63,5	186,3	320	10,9
6	0,9	16,2	5,4	2,7	8,1	33,929	45,3	88,7	140	10,5
7	0,9	18,9	6,3	3,15	9,45	39,584	16,7	75,2	270	8,6
8	0,9	21,6	7,2	3,6	10,8	45,239	30	54,9	450	2,5
9	0,9	24,3	8,1	4,05	12,15	50,894	15	95	460	8,9
10	0,9	27	9	4,5	13,5	56,549	4,2	64,3	390	8,7
11	0,9	29,7	9,9	4,95	14,85	62,203	53,8	108	390	8,6
12	0,9	32,4	10,8	5,4	16,2	67,858	24,5	50,1	180	9,7
13	0,9	35,1	11,7	5,85	17,55	73,513	9	40,8	230	10,2
14	0,9	37,8	12,6	6,3	18,9	79,168	66	78,2	110	8,8
15	0,9	40,5	13,5	6,75	20,25	84,823	27,5	63,5	320	9,5
16	0,9	43,2	14,4	7,2	21,6	90,478	7,5	49,5	400	9,5
17	0,9	45,9	15,3	7,65	22,95	96,133	8,2	35,9	300	8,9
18	0,9	48,6	16,2	8,1	24,3	101,788	25,3	53,9	320	9,1
19	0,9	51,3	17,1	8,55	25,65	107,442	72,3	97,1	300	8,9
20	0,9	54	18	9	27	113,097	34,5	60,7	320	9,3
21	0,9	56,7	18,9	9,45	28,35	118,752	83,3	126,9	630	8,2

22	0,9	59,4	19,8	9,9	29,7	124,407	98,7	145	720	8,0
23	0,9	62,1	20,7	10,35	31,05	130,062	96,3	126,1	510	7,6
24	0,9	64,8	21,6	10,8	32,4	135,717	58,4	97,8	750	7,1
25	0,9	67,5	22,5	11,25	33,75	141,372	52,7	78,8	550	6,7
26	0,9	70,2	23,4	11,7	35,1	147,026	68,2	145,5	1740	6,5
27	0,9	72,9	24,3	12,15	36,45	152,681	70,7	127,7	1400	6,2
<b>I</b>	0,45	74,25	24,75	12,375	37,13	155,509	99,9	149,4	1180	6,5
28	0,9	75,6	25,2	12,6	37,8	158,336	68,7	122,5	1200	7,1
29	0,9	78,3	26,1	13,05	39,15	163,991	93,9	142,7	1280	6,3
30	0,9	81	27	13,5	40,5	169,646	50,8	100,2	1310	6,4
31	0,9	83,7	27,9	13,95	41,85	175,301	23,9	61,7	1050	6,3
32	0,9	86,4	28,8	14,4	43,2	180,956	-0,4	31,4	940	6,1
33	0,9	89,1	29,7	14,85	44,55	186,610	-13,1	24	1120	6,2
34	0,9	91,8	30,6	15,3	45,9	192,265	86	120,5	1250	5,3
35	0,9	94,5	31,5	15,75	47,25	197,920	76,3	90,7	700	4,1
36	0,9	97,2	32,4	16,2	48,6	203,575	42,9	63,2	810	5,1
37	0,9	99,9	33,3	16,65	49,95	209,230	59,6	69,7	440	4,8
38	0,9	102,6	34,2	17,1	51,3	214,885	84,5	132	770	13,3
39	0,9	105,3	35,1	17,55	52,65	220,540	31,8	65,6	570	13,1
40	0,9	108	36	18	54	226,194	56,8	79,8	440	11,8



SEV 2			
Error		9,59%	
N	$\rho$	h	D
1	21,1	1,35	1,35
2	8,69	16,9	18,3
3	0,884	1,57	19,8
4	71,9	30,2	50
5	5,99		

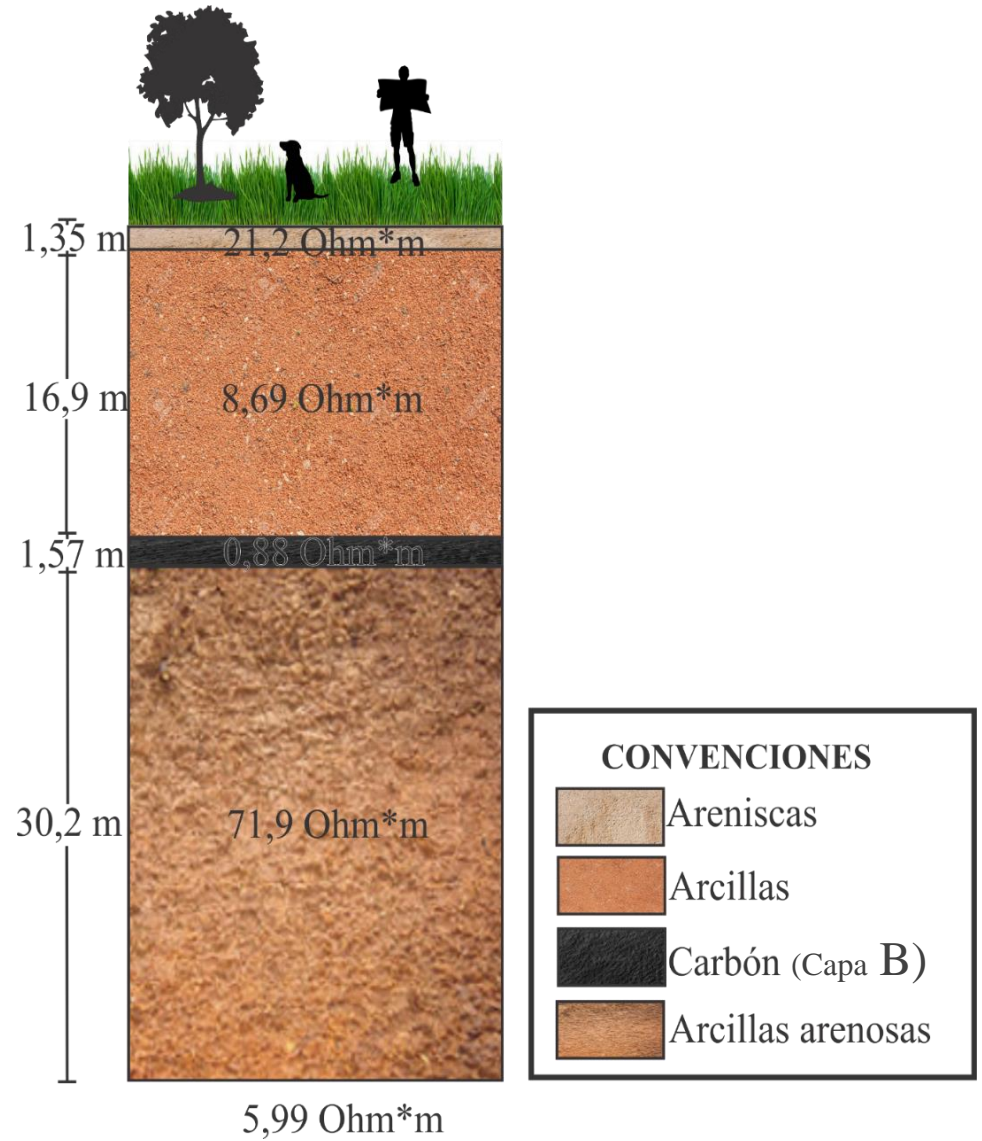
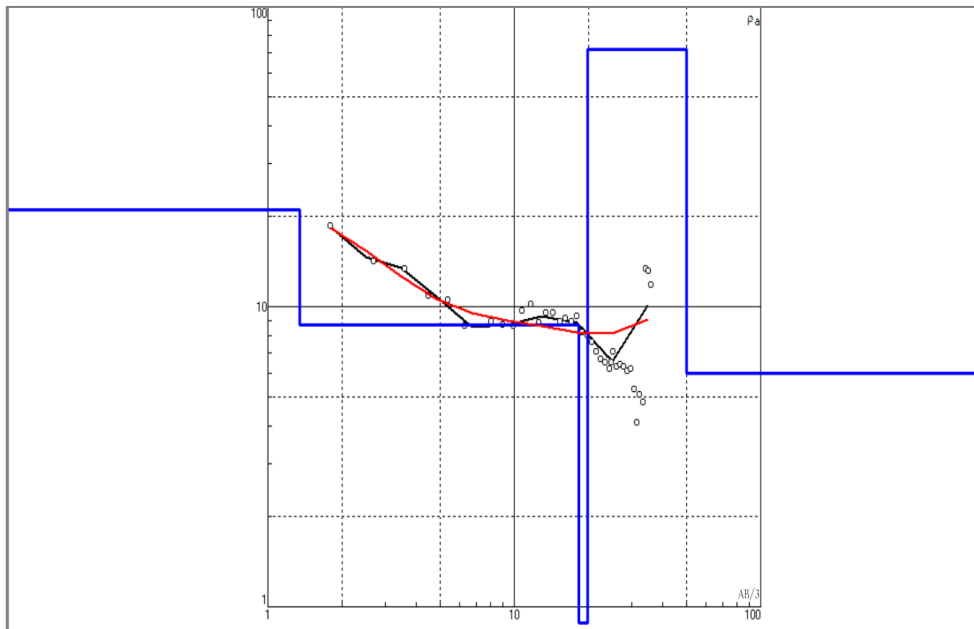


Figura 21 - Resultados SEV 2

### Sondeo eléctrico vertical 3

En el sondeo eléctrico vertical 3 se obtuvieron valores de resistividad aparente más altos que en los dos anteriores, esto debido a que los sondeos fueron realizados con una semana de diferencia, teniendo en cuenta que la resistividad es un factor muy cambiante se evaluaron los contrastes presentados más que la similitud con los valores de los primeros sondeos. Al igual que en el SEV 2 se evidenciaron dos contrastes relevantes (los que se muestran resaltados), el primero es el más notorio en el punto 10 y el segundo es menos apreciable entre los puntos 45 y 48, este último fue más difícil de distinguir ya que el día anterior a la realización del sondeo había llovido durante toda la noche, lo cual aumentó el nivel freático, al ser el agua conductiva y revolverse con los materiales presentes en el suelo hizo que los valores de resistividad de todos los materiales disminuyeran, a pesar de esto, la curva de la inversión identificó la anomalía a los 24,6 metros de profundidad con un espesor de casi dos metros; pero no evidenció el valor anómalo presentado en el punto 10 aun siendo el más notorio en la tabla de los datos adquiridos en campo.

Tabla 6 - Datos adquiridos en campo en el SEV 3

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 3										
No	d	AB	AB/3	MN/2	AB/2	K	SP (V)	V (V)	I(A)	Rhoa (Ohm-m)
1	0,9	2,7	0,9	0,45	1,35	5,655	-10,6	2724	60	257,7
2	0,9	5,4	1,8	0,9	2,7	11,310	-3,6	914	52	199,6
3	0,9	8,1	2,7	1,35	4,05	16,965	386,4	1283	89	170,9
4	0,9	10,8	3,6	1,8	5,4	22,619	-12,6	432,8	75	134,3
5	0,9	13,5	4,5	2,25	6,75	28,274	38,9	341,9	74	115,8
6	0,9	16,2	5,4	2,7	8,1	33,929	190,4	386,5	64	104,0
7	0,9	18,9	6,3	3,15	9,45	39,584	-94,2	69,7	61	106,4
8	0,9	21,6	7,2	3,6	10,8	45,239	-174,4	28,6	95	96,7
9	0,9	24,3	8,1	4,05	12,15	50,894	113,9	284,5	96	90,4
10	0,9	27	9	4,5	13,5	56,549	21,3	190,2	117	81,6
11	0,9	29,7	9,9	4,95	14,85	62,203	7,7	105,1	63	96,2
12	0,9	32,4	10,8	5,4	16,2	67,858	158,4	248	70	86,9
13	0,9	35,1	11,7	5,85	17,55	73,513	9	191	147	91,0
14	0,9	37,8	12,6	6,3	18,9	79,168	-95,6	-0,7	79	95,1

15	0,9	40,5	13,5	6,75	20,25	84,823	89,2	174,8	72	100,8
16	0,9	43,2	14,4	7,2	21,6	90,478	-5,8	111,5	113	93,9
17	0,9	45,9	15,3	7,65	22,95	96,133	67,7	173,3	99	102,5
18	0,9	48,6	16,2	8,1	24,3	101,788	121,5	223,6	116	89,6
19	0,9	51,3	17,1	8,55	25,65	107,442	7,7	91	102	87,7
20	0,9	54	18	9	27	113,097	13,9	86,9	96	86,0
21	0,9	56,7	18,9	9,45	28,35	118,752	23,3	97,9	104	85,2
22	0,9	59,4	19,8	9,9	29,7	124,407	-3,6	56	90	82,4
23	0,9	62,1	20,7	10,35	31,05	130,062	-11,5	59	110	83,4
24	0,9	64,8	21,6	10,8	32,4	135,717	48,7	112,5	117	74,0
25	0,9	67,5	22,5	11,25	33,75	141,372	-28,5	34,3	122	72,8
26	0,9	70,2	23,4	11,7	35,1	147,026	164,4	191,4	62	64,0
27	0,9	72,9	24,3	12,15	36,45	152,681	84,1	132	108	67,7
28	0,9	75,6	25,2	12,6	37,8	158,336	36,5	75,4	92	66,9
29	0,9	78,3	26,1	13,05	39,15	163,991	-12,2	18,1	77	64,5
30	0,9	81	27	13,5	40,5	169,646	114,9	158,9	116	64,3
31	0,9	83,7	27,9	13,95	41,85	175,301	44	82,1	107	62,4
32	0,9	86,4	28,8	14,4	43,2	180,956	33,3	84,9	155	60,2
33	0,9	89,1	29,7	14,85	44,55	186,610	130	179,7	162	57,3
34	0,9	91,8	30,6	15,3	45,9	192,265	-26,2	37,8	219	56,2
35	0,9	94,5	31,5	15,75	47,25	197,920	-15,2	5,1	76	52,9
36	0,9	97,2	32,4	16,2	48,6	203,575	67,3	88,4	83	51,8
37	0,9	99,9	33,3	16,65	49,95	209,230	-28,3	1,2	123	50,2
38	0,9	102,6	34,2	17,1	51,3	214,885	-19,9	-3,1	72	50,1
39	0,9	105,3	35,1	17,55	52,65	220,540	-27,8	-5,5	103	47,7
40	0,9	108	36	18	54	226,194	4	41,2	186	45,2
41	0,9	110,7	36,9	18,45	55,35	231,849	-20,3	-7,3	67	45,0
42	0,9	113,4	37,8	18,9	56,7	237,504	11,7	35,8	130	44,0
43	0,9	116,1	38,7	19,35	58,05	243,159	2,4	21,4	108	42,8
44	0,9	118,8	39,6	19,8	59,4	248,814	-53,6	-36,7	99	42,5
45	0,9	121,5	40,5	20,25	60,75	254,469	18,7	35,9	105	41,7
46	0,9	124,2	41,4	20,7	62,1	260,124	-1,8	8,5	65	41,2
47	0,9	126,9	42,3	21,15	63,45	265,779	7,2	21,6	92	41,6
48	0,9	129,6	43,2	21,6	64,8	271,433	-16,4	-7	61	41,8
49	0,9	132,3	44,1	22,05	66,15	277,088	1,7	12,5	70	42,8

SEV 3			
Error		5,05%	
N	$\rho$	h	D
1	267	1,45	1,45
2	94,7	21,2	22,6
3	1,1	1,95	24,6
4	135		

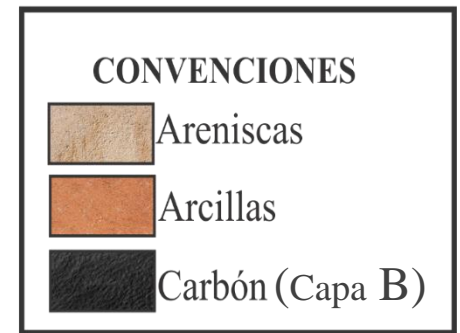
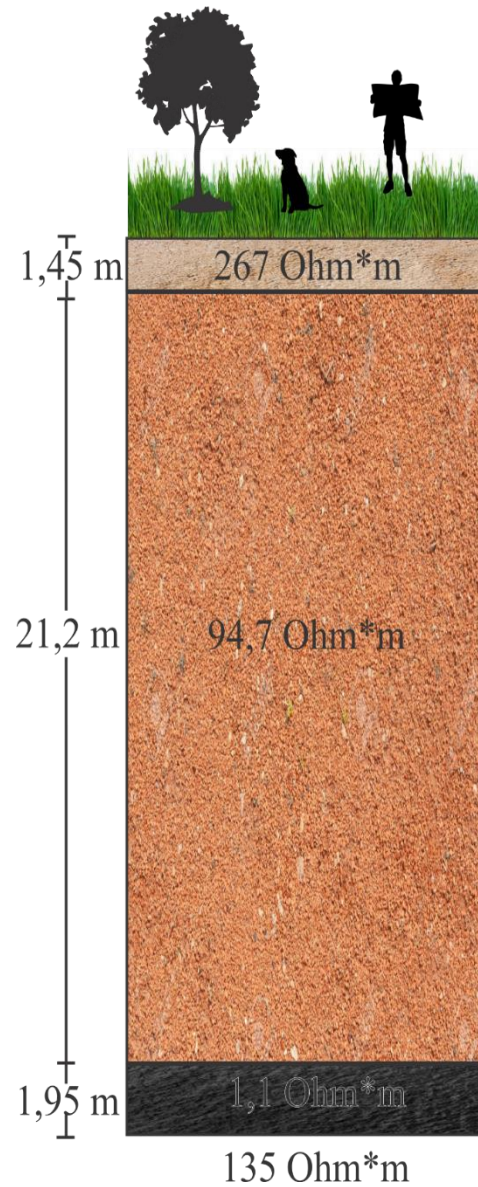
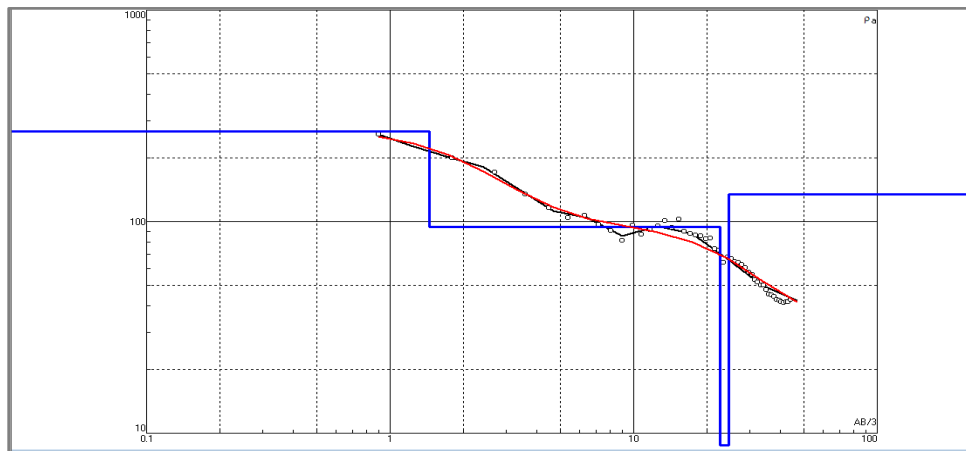


Figura 22 - Resultados sev 3

#### Sondeo eléctrico vertical 4

El sondeo eléctrico vertical 4 se realizó con una configuración de electrodos igual al primer sev ya que se pretendió llegar a una mayor profundidad para identificar si se presentaban otras capas diferentes a las ya vistas. Los registros obtenidos en los primeros cuatro puntos no se tuvieron en cuenta por una mala conexión del equipo que podría alterar los resultados, este sondeo presentó tres contrastes en los puntos 26, 30 y 33 (como se evidencia en los valores resaltados), teniendo en cuenta que la resolución del sondeo fue de tres metros en la vertical no se presentaron valores consecutivos que representara la anomalía, por lo cual fue necesario realizar puntos intermedios para identificar si se debía a una anomalía o a un valor ruidoso. Aunque los puntos intermedios no presentaron contrastes el programa si evidencio un contraste tanto en las curvas como en los valores de resistividad real a 26,3 metros de profundidad.

Tabla 7 - Datos adquiridos en campo en el SEV 4

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 4										
No	d	AB	AB/3	MN/2	AB/2	K	SP (V)	V (V)	I( A)	Rhoa (Ohm-m)
1	5	5	1,67	0,83	2,5	10,472	-	-	-	-
2	5	10	3,33	1,67	5	20,944	-	-	-	-
3	5	15	5,00	2,50	7,5	31,416	-	-	-	-
4	5	20	6,67	3,33	10	41,888	-	-	-	-
5	5	25	8,33	4,17	12,5	52,360	-395,6	-344,4	27	99,29
6	5	30	10,00	5,00	15	62,832	-44,4	50,4	80	74,46
7	5	35	11,67	5,83	17,5	73,304	-51,6	9,5	66	67,86
8	5	40	13,33	6,67	20	83,776	-28	15,4	54	67,33
9	5	45	15,00	7,50	22,5	94,248	38,9	68,1	50	55,04
10	5	50	16,67	8,33	25	104,720	-358,4	-330,5	58	50,37
11	5	55	18,33	9,17	27,5	115,192	-79,2	-58	46	53,09
12	5	60	20,00	10,00	30	125,664	-25,2	-3,3	55	50,04
13	5	65	21,67	10,83	32,5	136,136	-87,6	-72,8	42	47,97
14	5	70	23,33	11,67	35	146,608	-79,3	-65,9	44	44,65
15	5	75	25,00	12,50	37,5	157,080	-189,3	-178,9	43	37,99
16	5	80	26,67	13,33	40	167,551	-21,5	-12,9	41	35,14
17	5	85	28,33	14,17	42,5	178,023	-60,2	-48,2	60	35,60
18	5	90	30,00	15,00	45	188,495	-31,5	-25,4	34	33,82

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 4										
No	d	AB	AB/3	MN/2	AB/2	K	SP (V)	V (V)	I( A)	Rhoa (Ohm-m)
19	5	95	31,67	15,83	47,5	198,967	-272,5	-268,6	47	16,51
20	5	100	33,33	16,67	50	209,439	-151,6	-144,5	29	51,28
21	5	105	35,00	17,50	52,5	219,911	-132,7	-125,6	47	33,22
22	5	110	36,67	18,33	55	230,383	-7,8	-2,2	45	28,67
23	5	115	38,33	19,17	57,5	240,855	-302,6	-289,7	50	62,14
24	5	120	40,00	20,00	60	251,327	-7,4	-5	24	25,13
25	5	125	41,67	20,83	62,5	261,799	-141,2	-137,7	33	27,77
I	2,5	127	42,40	21,20	63,6	266,407	2,1	7,6	55	26,64
26	5	130	43,33	21,67	65	272,271	16	16,9	38	6,45
I	2,5	133	44,17	22,08	66,25	277,507	15,4	17,9	47	14,76
27	5	135	45,00	22,50	67,5	282,743	14,7	15,8	20	15,55
I	2,5	138	45,83	22,92	68,75	287,979	-12,8	-9,5	55	17,28
28	5	140	46,67	23,33	70	293,215	-148,7	-144,4	30	42,03
29	5	145	48,33	24,17	72,5	303,687	-63,2	-60,9	32	21,83
I	1,3	149	49,58	24,79	74,38	311,541	-49,1	-47	33	19,83
30	5	150	50,00	25,00	75	314,159	29,3	30,3	45	6,98
I	1,3	151	50,42	25,21	75,63	316,777	-110,1	-107,7	32	23,76
I	2,5	153	50,83	25,42	76,25	319,395	-72,9	-70,6	35	20,99
31	5	155	51,67	25,83	77,5	324,631	-71,9	-70,8	29	12,31
32	5	160	53,33	26,67	80	335,103	-90,8	-89,3	25	20,11
33	5	165	55,00	27,50	82,5	345,575	-90,4	-90,1	16	6,48
34	5	170	56,67	28,33	85	356,047	-113,4	-109,6	61	22,18
35	5	175	58,33	29,17	87,5	366,519	-78,6	-76,3	48	17,56
36	5	180	60,00	30,00	90	376,991	-71,9	-68,9	53	21,34
37	5	185	61,67	30,83	92,5	387,463	-115,6	-111,5	78	20,37
38	5	190	63,33	31,67	95	397,935	-41,2	-39,2	40	19,90
39	5	195	65,00	32,50	97,5	408,407	21,6	21,7	23	1,78
40	5	200	66,67	33,33	100	418,879	-35,2	-33,8	33	17,77
41	5	205	68,33	34,17	102,5	429,351	15,6	16,3	22	13,66



SEV 4			
Error		8,27%	
N	$\rho$	h	d
1	138	4,15	4,15
2	55,7	9,65	13,8
3	25,2	9,79	23,6
4	1,39	2,67	26,3
5	70,1	4,46	30,7
6	26		

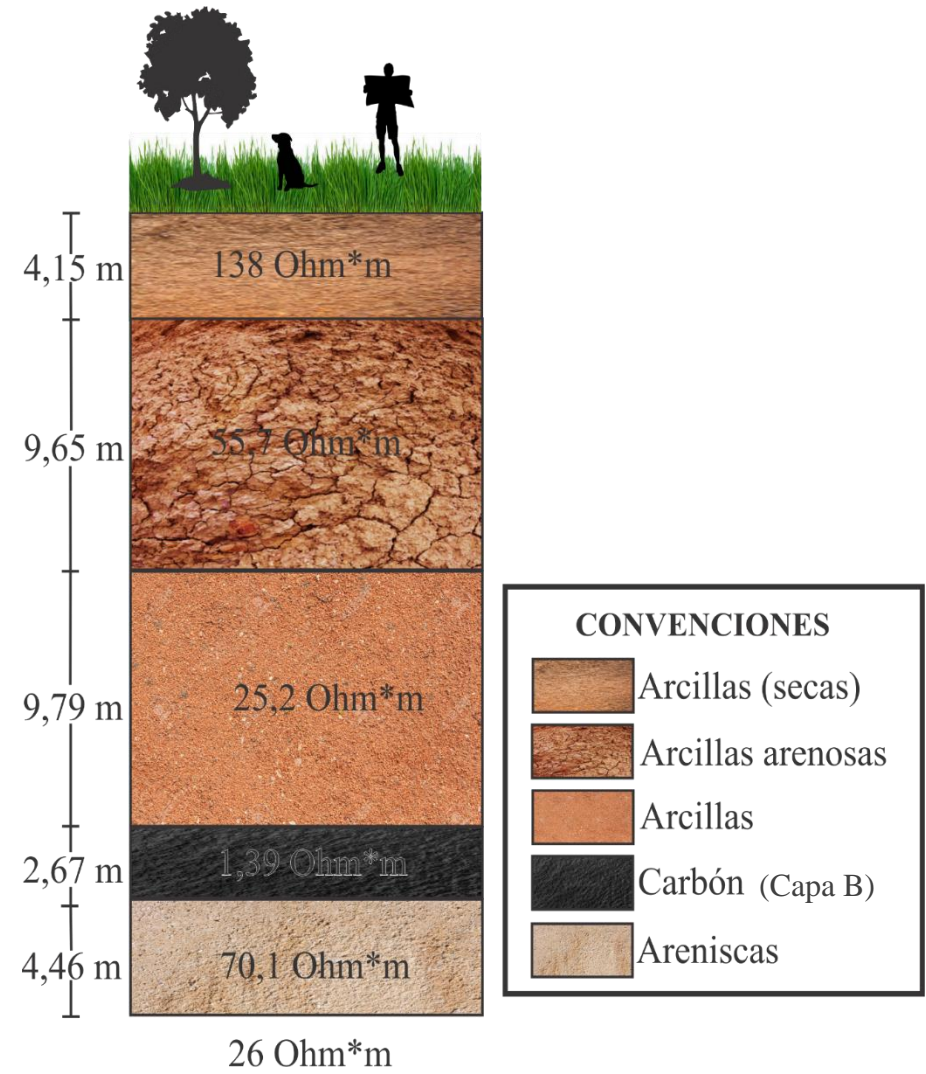
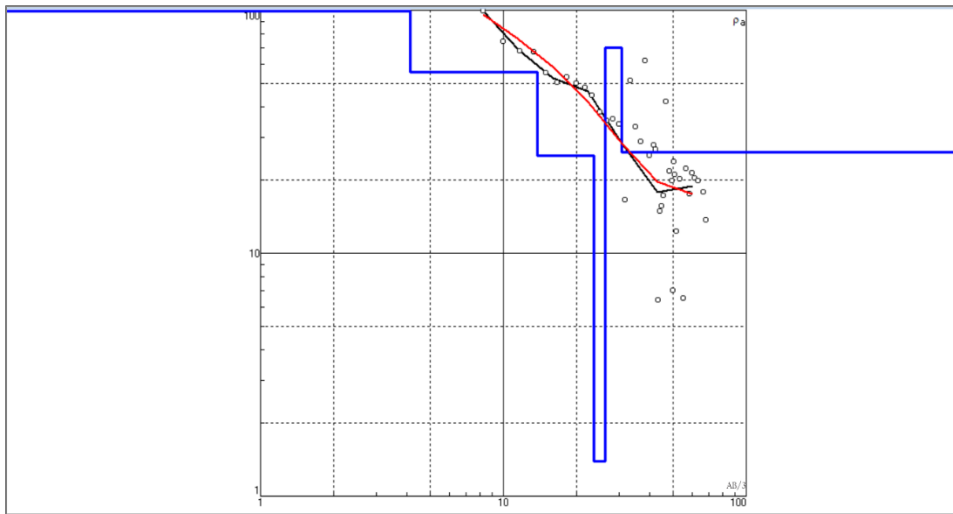


Figura 23 - Resultados SEV 4

### Sondeo eléctrico vertical 5

Por último, el sondeo eléctrico vertical 5 tuvo como fin verificar que las anomalías presentadas en el SEV 2 y SEV 3 representaran la capa de carbón que se había visualizado en la bocamina y no respondieran a datos ruidosos, por lo cual solo se realizaron 21 puntos entre los cuales se identificó un contraste de valores en el punto 7, al ser procesados los datos la gráfica mostró dos curvas que se acercaban a cero, sin embargo en la tabla de resultados el contraste se presentó a los 3,56 metros de profundidad y, según los cálculos trigonométricos la capa se encuentra a los 3,47 metros de profundidad.

Tabla 8 - Datos adquiridos en campo en el SEV 5

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) 5										
No	d	AB	AB/3	MN/2	AB/2	K	SP (V)	V (V)	I(A)	Rhoa (Ohm-m)
1	0,9	2,7	0,9	0,45	1,35	5,6549	-99	2220	95	138,04
2	0,9	5,4	1,8	0,9	2,7	11,3097	-11,1	1053	80	150,43
3	0,9	8,1	2,7	1,35	4,05	16,9646	437,4	838	51	133,26
4	0,9	10,8	3,6	1,8	5,4	22,6194	46,4	450	87	104,93
5	0,9	13,5	4,5	2,25	6,75	28,2743	12,3	265,3	70	102,19
6	0,9	16,2	5,4	2,7	8,1	33,9292	266,6	466	82	82,51
7	0,9	18,9	6,3	3,15	9,45	39,5840	9,7	207	167	46,77
8	0,9	21,6	7,2	3,6	10,8	45,2389	-34,1	123,1	95	74,86
9	0,9	24,3	8,1	4,05	12,15	50,8938	193,1	360,3	116	73,36
10	0,9	27	9	4,5	13,5	56,5486	1,5	106,7	79	75,30
11	0,9	29,7	9,9	4,95	14,85	62,2035	-24	118,6	117	75,81
12	0,9	32,4	10,8	5,4	16,2	67,8583	151,5	253,4	90	76,83
13	0,9	35,1	11,7	5,85	17,55	73,5132	79,8	196,1	113	75,66
14	0,9	37,8	12,6	6,3	18,9	79,1681	-61,6	15,7	79	77,46
15	0,9	40,5	13,5	6,75	20,25	84,8229	86,8	133,2	52	75,69
16	0,9	43,2	14,4	7,2	21,6	90,4778	-140,7	-80,7	76	71,43
17	0,9	45,9	15,3	7,65	22,95	96,1327	-99	-22,5	102	72,10
18	0,9	48,6	16,2	8,1	24,3	101,7875	151,3	226,9	104	73,99
19	0,9	51,3	17,1	8,55	25,65	107,4424	16,8	105,9	133	71,98
20	0,9	54	18	9	27	113,0972	70,6	139,5	111	70,20
21	0,9	56,7	18,9	9,45	28,35	118,7521	379,9	489,5	176	73,95



SEV 5			
Error		9,00%	
N	$\rho$	h	d
1	118	0,488	0,488
2	175	2,41	2,9
3	4,33	0,665	3,56
4	1113	1,69	5,25
5	19,4		

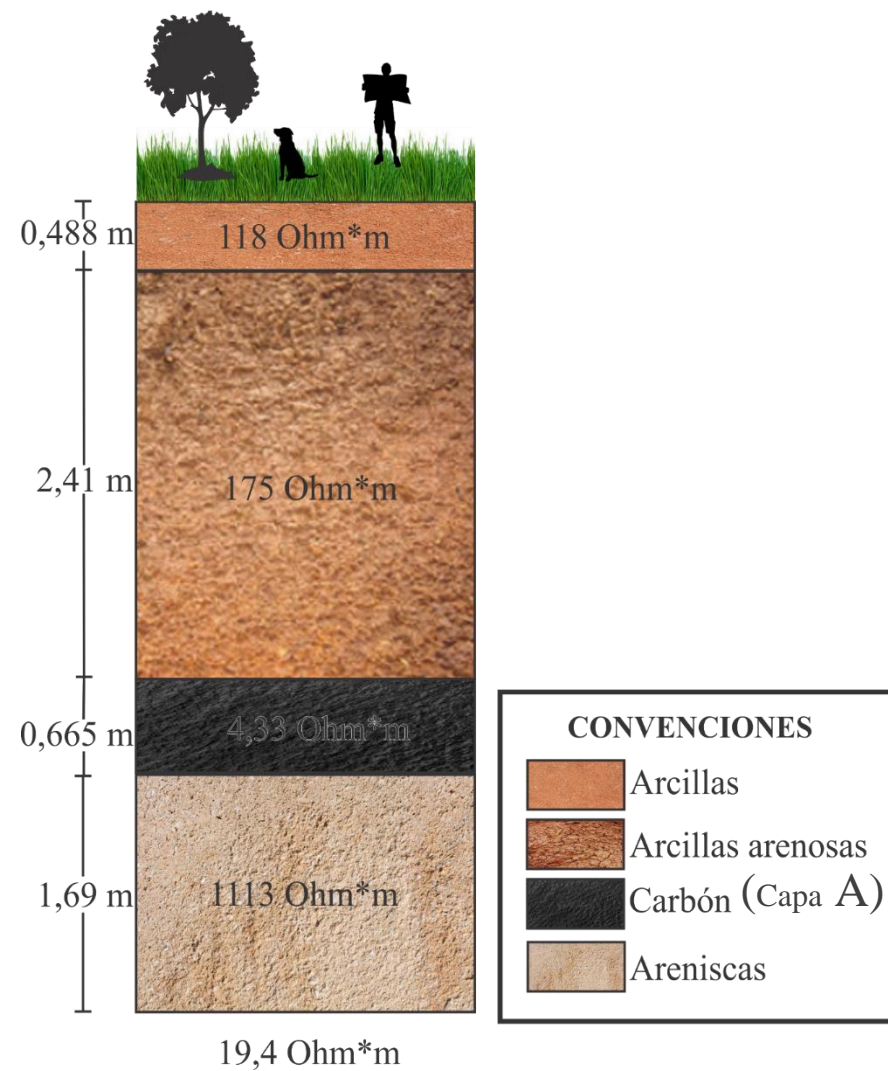
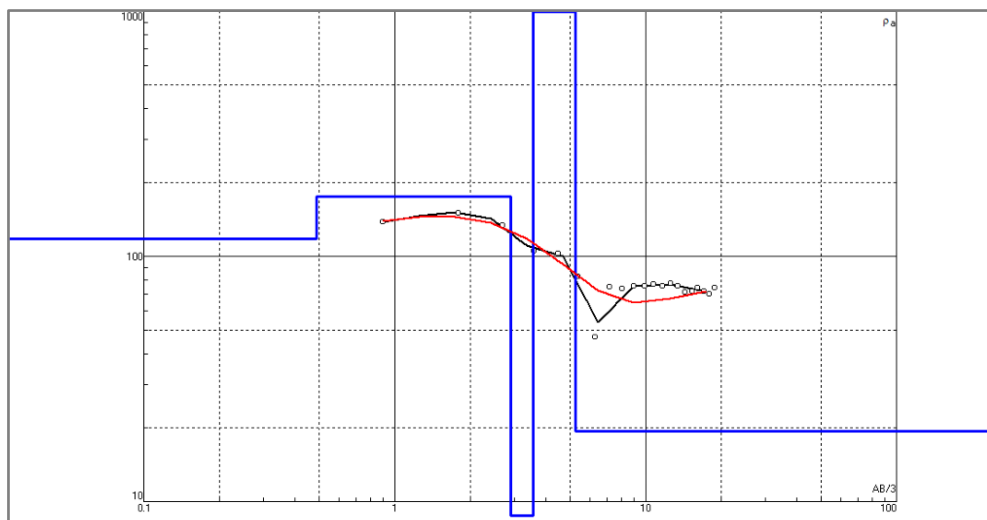


Figura 24 - Resultados SEV 5

## **5.2 Perspectiva de los actores sociales**

La percepción social de los actores intervinientes es un factor importante dentro de los estudios que involucran proyectos productivos de intervención en el espacio; pues permiten explorar las posiciones y puntos de vistas sociales referidas a las actividades económicas y en cierta forma, prever el grado de conflictividad social que puede acarrear la ejecución de las mismas a futuro. Como ya se había mencionado, los cuatro actores sociales reconocidos (líderes sociales, mineros, empresas mineras y Alcaldía local) se ven involucrados de forma directa en el estudio llevado a cabo.

Por un lado, la comunidad, representada por sus líderes sociales, es quien se asienta en el territorio y requiere del desarrollo de actividades productivas para poder subsistir. La comunidad de mineros son los encargados de llevar a cabo las actividades específicas de explotación del subsuelo. La alcaldía es quien representa al Estado, cumpliendo las funciones de planeación, ejecución y control de las acciones en su área de influencia: puede dirigirlas, inspeccionarlas o ejecutarlas y a su vez debe cumplir y a hacer cumplir las leyes que rigen al municipio. Por último, la empresa dueña del contrato de concesión minera quien se encarga de realizar los estudios de un mineral, empezando por la prospección, garantizando metodologías efectivas en su búsqueda. Existen diferentes técnicas para identificar las percepciones sociales de los actores sociales. En este caso de estudio específico, dado lo limitado del espacio vinculado a la concesión minera y los actores puntuales que se han contemplado, se ha seleccionado la técnica de entrevistas semiestructuradas como instrumento más adecuado para sondear percepciones en profundidad de cada uno de los actores.

Los líderes sociales resaltan que la comunidad residente de esta vereda se dedica a actividades requeridas principalmente en el área urbana del municipio (servicios domésticos, de transporte, comercio, construcción, entre otros), en menor medida a la agricultura basada en pequeñas huertas

o pocas extensiones de cultivos transitorios como la papa y a la ganadería que no supera las cinco cabezas de ganado por predio.

En este sentido, por parte de la comunidad residente de la vereda Tras del Alto se contó con la apreciación del señor Antonio Castro de 56 años, presidente de la JAC (Junta de Acción Comunal), y la señora Transito Infante de 66 años, líderes sociales de la comunidad, ambos residentes de la vereda desde su nacimiento, ellos son conscientes de la existencia de carbón en la vereda pues se encuentran alrededor de cinco minas en las que se extrae este mineral, sin embargo, no consideran que exista un gran potencial de éste en Tras del Alto.

Según los datos recabados, en general, la comunidad tiene el conocimiento de que a la hora de reconocer y encontrar un recurso debe ser explotado, por lo cual al hablar sobre las ventajas o desventajas del reconocimiento de un mineral como el mencionado, se remitían a pensar en lo que trae la explotación de este recurso, como la generación de empleo, las regalías, la función como generador de energía y el daño que se produce en el ambiente, especialmente en el agua y en el suelo. La comunidad reconoce que las excavaciones que se realizan en la prospección del carbón tienen un gran impacto ambiental ya que al hacer agujeros en el subsuelo se genera un desequilibrio, además de esto porque al realizar los agujeros se llega a los acuíferos y se pueden presentar alteraciones en éstos, lo que preocupa mucho especialmente a los habitantes de la vereda Tras del Alto ya que sus acueductos veredales se abastecen de estos.

En cuanto a la disposición que tenían frente a la realización de proyectos geofísicos, especialmente el método geoelectrico en sus tierras, se notó que la población que se encuentra económicamente activa estaría dispuesta a colaborar, pero por el simple hecho de que a la hora de encontrar algún recurso este pudiese ser explotado, por el otro lado, la población de adultos mayores prefiere que sus tierras no sean fruto de ningún experimento.

Por parte de los mineros se contó con la presencia del señor Oscar Molina (jefe de una mina) y el señor Maurilio Carvajal (piquero de una mina), los dos mineros por tradición ya que sus familiares como padres y abuelos también desarrollaban esta actividad económica como fuente de sustento. Se evidencia que la mayoría de los mineros que se encuentran en la vereda son residentes de esta o de otra dentro del municipio. Al igual que los líderes sociales, los mineros también tienen el ideal de que si se encuentra un depósito mineral es para ser explotado y por ello consideran que la aplicación de métodos geofísicos en sus predios sería una oportunidad para ellos, por consiguiente, al hablar de temas como las ventajas y desventajas del reconocimiento del carbón tienen un pensamiento muy similar al de la comunidad.

No obstante, los mineros tienen una percepción muy diferente sobre el daño que se genera en el ambiente con las labores de prospección, consideran que no existe una afectación pronunciada al ambiente ni a la calidad de vida de las personas por dos razones: la primera se trata directamente de las excavaciones ya que aseguran que con hacerle un tratamiento a el material que es extraído es suficiente y que con el tiempo la excavación será cubierta; la segunda razón va enfocada a la calidad de vida de las personas, ya que argumentan que el carbón siempre ha existido y las personas han aprendido a convivir con ello si se encuentran involucrados directamente y de lo contrario les es indiferente el tema.

En la tabla 9 se muestra la sistematización de las entrevistas realizadas a los actores sociales correspondientes a los líderes sociales y a los mineros, resaltado algunos tópicos y señalando lo que cada uno de ellos respondió al respecto.

Tabla 9 - Sistematización entrevista de los actores sociales: líderes sociales y mineros

<b>ACTORES: LÍDERES SOCIALES - MINEROS</b>		
<b>Actor</b>	<b>Tópico</b>	<b>Referencia</b>
Sr. Antonio Castro	Conocimiento de actividades económicas	La actividad principal de la vereda era la actividad agrícola, pero con los cambios en el clima esta actividad quedó renegada y la gente ha migrado a la parte urbana para montar negocios pequeños.
Sra. Transito Infante		En la zona se encuentran pocas minas de recebo especialmente y una que otra actividad pequeña de agricultura
Sr. Oscar Molina		La minería y la agricultura son las economías que más se dan y tal cual ganadería
Sr. Maurilio Carvajal		La agricultura y la minería
Sr. Antonio Castro	Importancia de reconocer los recursos naturales	Mejor saber que se tiene, ¿qué tal yo este parado en una mina de oro?
Sra. Transito Infante		Sería una buena oportunidad para saber que hay y que se puede recuperar en un futuro
Sr. Oscar Molina		Es bueno que todo el mundo sepa que tiene el subsuelo, el dilema está en la explotación que ya depende de las normatividades
Sr. Maurilio Carvajal		Es importante porque generan un sustento
Sr. Antonio Castro	Ventajas y desventajas del reconocimiento del carbón	Se genera empleo y las regalías son buenas, pero se da una afectación al medio ambiente especialmente los cuerpos de agua
Sra. Transito Infante		Se emplean a los habitantes de la zona, pero el daño a los acuíferos es muy grande y en la vereda los acueductos veredales se abastecen de estas aguas
Sr. Oscar Molina		Generación de empleo, ayuda a nivelar la economía de la gente de la zona, no genera mucho daño porque tanto al agua como al material extraído se le hace un tratamiento
Sr. Maurilio Carvajal		Una ventaja en la parte económica del sustento de las familias en cuanto a las desventajas, contaminación de pronto
Sr. Antonio Castro	Disposición frente estudios geofísicos en sus propiedades	Estaría de acuerdo siempre y cuando no impacte nada negativo
Sra. Transito Infante		Estoy de acuerdo con los métodos, pero no para que los hagan en mis tierras
Sr. Oscar Molina		Cualquier opción que no haga daño al ambiente es viable
Sr. Maurilio Carvajal		Estaría de acuerdo con cualquier método que de precisión

<b>ACTORES: LÍDERES SOCIALES - MINEROS</b>		
<b>Actor</b>	<b>Tópico</b>	<b>Referencia</b>
Sr. Antonio Castro	Afectación del ambiente por la búsqueda del carbón	Claro que se da una afectación, por ejemplo, al dejar esos huecos vacíos se rompen los puntos de equilibrio
Sra. Transito Infante		Es una afectación muy grande porque se deja todo destapado
Sr. Oscar Molina		A la hora de explorar se hacen huecos por aquí y por allá pero no siempre se encuentra algo, al abandonarse no se rellena
Sr. Maurilio Carvajal		La minería siempre ha existido en la vereda y no se ha visto afectación en la naturaleza

Para el caso del tercer actor social, la alcaldía, se habló directamente con el asesor de la oficina de planeación el señor Juan Carlos Quevedo quien lleva desempeñando este cargo desde el año 2017, es importante resaltar que no se encuentra ningún empleado de carrera dentro de la alcaldía, ya que en cada periodo de gobierno el alcalde electo escoge su equipo de trabajo para desempeñar las diferentes labores dentro de la alcaldía.

Esta entidad reconoce que el desarrollo de Tunja ha sido promovido por el comercio y del sector de educación, por lo que las actividades primarias pasan a un segundo plano dentro de este municipio, por otra parte, los proyectos que tiene la alcaldía con respecto a la prospección de recursos actualmente no se llevan a cabo; sin embargo La secretaría de desarrollo promueve las actividades agropecuarias y mineras a partir de diferentes programas y proyectos encaminados para el caso de la minería en la fase de extracción.

Dentro de la ordenación del territorio con respecto a los recursos naturales encontrados en el municipio, la alcaldía considera que conocer las potencialidades de estos puede definir los usos del suelo y ser un aspecto relevante en la actualización de Plan de Ordenamiento Territorial que no ha sido renovado desde hace 16 años. La definición y delimitación de estos usos de acuerdo

con las potencialidades del ambiente se consideran una tarea muy importante para el municipio, aun así, la alcaldía reconoce que este tipo de cambios puede generar malestar en la población. Actualmente el Plan de Desarrollo Municipal y el Plan de Ordenamiento Territorial tienen en cuenta únicamente el recurso hídrico dentro de su formulación de programas y estrategias.

En cuanto a los métodos geofísicos que han sido utilizados en el municipio para exploración de hidrocarburos a partir de sísmica, y para exploración de aguas subterráneas con métodos geoelectrónicos. Estos proyectos han sido realizados por parte de empresas privadas en el caso de los hidrocarburos y por la Corporación Autónoma de Boyacá (CORPOBOYACÁ) en el caso de los acuíferos de los cuales se abastecen gran parte de los acueductos verdales del municipio como ya se había mencionado. Sin embargo, la alcaldía no ha tenido ningún papel dentro de estos estudios, pero considera que la implementación de estos métodos son una buena opción para el municipio.

La alcaldía considera que la opción de que la población se vea implicada en este tipo de proyectos es muy baja porque existe mayor interés en temas como la vivienda y no en los recursos naturales, por el otro lado, considera que las implicaciones ambientales son manejadas a partir de otras entidades como CORPOBOYACÁ y la Agencia Nacional Minera (ANM). En efecto quien informa sobre las actividades mineras del municipio es COPOBOYACA y le presenta los datos directamente a la alcaldía, esta entidad sólo se hace presente en estos temas cuando algún tercero quiere ampliar su polígono de título minero ya que debe contar con la aprobación de esta.

Los temas mencionados anteriormente por parte de la alcaldía se representan en la tabla 15 según las respuestas obtenidas por el asesor de la oficina de planeación.

Tabla 10 - Sistematización actor social - Alcaldía

<b>ACTOR SOCIAL - ALCALDÍA</b>		
<b>Actor</b>	<b>Tópico</b>	<b>Referencia</b>
Sr. Juan Carlos Quevedo	Conocimiento de actividades económicas	La principal actividad económica del municipio es el comercio y en menor media la parte de educación. En la parte rural se destaca la agricultura de cultivos de clima frío como papa y zanahoria en veredas como La Lajita, La hoya y Germanía (sector sur)
	Liderazgo en proyectos de prospección	La Secretaría de Desarrollo tiene programas y proyectos para incentivar el desarrollo tanto agrícola como minero. En cuanto al liderazgo de estos proyectos considero bastante importante conocer los potenciales del recurso ya que hoy por hoy el municipio depende de las actividades del comercio y la educación.
	La ordenación del territorio y la prospección	Se pueden generar cambios en el ordenamiento porque seguramente nuestro ordenamiento desde en su inicio no ha sido tan preciso en la determinación de la calidad de los suelos y los recursos existentes entonces en función de esos nuevos conocimientos se deben generar cambios porque se deben limitar usos.
	¿Cómo tiene en cuenta el POT o el PD a los recursos naturales?	Se limitan los recursos naturales que son de protección como áreas de interés de los distintos ámbitos ambientales e inclusive turísticos y todas las áreas de interés hídrico. Existe un Área de Reserva Minera de material de extracción que actualmente se quiere reducir porque los propietarios de los predios no tienen interés en los temas mineros.
	Implicaciones sociales y ambientales de la prospección	Los temas ambientales están muy puestos en la población, la gente prefiere tener agricultura y agua que tener minería, es un tema difícil de manejar entonces es importante balancear todas las actividades, aunque considero que la población hoy por hoy prefiere asegurar un futuro inmobiliario que minero.
	Control ejercido sobre empresas mineras	La Alcaldía no ejerce ninguna labor sobre las empresas mineras, únicamente si alguna empresa quiere aumentar su polígono de título minero deben contar con el visto bueno del municipio. Sin embargo, CORPOBOYACÁ entrega un inventario de los títulos mineros existentes en el municipio.

En relación con la empresa dueña del contrato de concesión minera en donde se realizó el estudio, se contó con la participación del señor Uriel Vargas, jefe de proyectos mineros de la empresa. En cuanto al procedimiento general de la empresa para las labores de prospección se tiene en cuenta



el tipo de yacimiento y la ubicación de este, principalmente se evalúa que no sea una zona cercana al casco urbano, que no pase algún cuerpo de agua y que no se encuentren viviendas cercanas.

La manera de proceder para evaluar si las reservas presentes son económicamente rentables de ser explotadas, es realizar perforaciones con implementación de registros eléctricos para determinar la profundidad y espesor del yacimiento de interés, en este caso el carbón. Aunque la empresa no ha presenciado una situación conflictiva extrema con la comunidad, si se tiene conocimiento de las incomodidades que se generan por la entrada de maquinaria al área de estudio. En cuanto a la afectación ambiental, la empresa es consciente de que las perforaciones producen cambios temporales en el hábitat de flora y fauna.

Los métodos geofísicos son vistos por la empresa como una herramienta que permite tener una mayor certeza sobre la presencia de un yacimiento y reduce los impactos generados en el ambiente, aunque no con todos los métodos geofísicos. Si la prospección se realiza a partir de métodos sísmicos la empresa debe acudir a pedir el permiso de CORPOBOYACA para poderlo realizar según lo establecido en la resolución 3831 de 2012, en donde se adoptan los lineamientos ambientales para la ejecución de proyectos de prospección sísmica en su jurisdicción. De lo contrario la empresa no debe tener ningún contacto con esta autoridad ambiental, y, tampoco tiene vínculos con la alcaldía. La sistematización y prueba de la entrevista realizada se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 11 - Sistematización entrevista actor social - empresa

<b>ACTOR SOCIAL – EMPRESA</b>		
<b>Actor</b>	<b>Tópico</b>	<b>Referencia</b>
Ing. Uriel Vargas	Evaluación de las áreas para determinar el interés minero	Se mira el tipo de yacimiento y la cantidad de reservas que existen para determinar si es económicamente viable, además de esto se buscan lugares lejanos a viviendas y cuerpos de agua.

<b>ACTOR SOCIAL – EMPRESA</b>		
<b>Actor</b>	<b>Tópico</b>	<b>Referencia</b>
	Conflictos con la comunidad	Nosotros no hemos presenciado ningún conflicto con la comunidad, pero si hemos escuchado que se incomodan por la entrada de maquinaria a los predios.
	Impactos ambientales	Las labores de prospección que se realizan consisten en excavar huecos para determinar la profundidad a la que se encuentran los yacimientos y el espesor de estos, siguiendo ese orden de ideas se puede generar cambios temporales en el hábitat de la fauna y flora
	Prospección geofísica (método geoeléctrico)	La geofísica es una herramienta que brinda una mayor certeza de la ubicación y la cantidad de un yacimiento, esta herramienta facilitaría las labores de exploración para excavar en lugares donde sea mayor la probabilidad de encontrar un yacimiento
	Rendición de cuentas a autoridades locales	El contacto que se tiene con alguna autoridad local es por parte de la corporación, en especial por temas de licencias, si se quiere realizar sísmica, por ejemplo, se debe seguir la resolución 3831 del 2012. De resto nos entendemos con la Agencia Nacional de Minería.

### **5.3 Protocolo participativo**

#### **5.3.1 Etapa 1**

El diagnóstico ha sido realizado mediante la triangulación de las entrevistas ejecutadas en conjunto con lo evidenciado en campo, se identificaron once debilidades principales que pueden ser mejoradas dentro de los procesos de prospección, a continuación, se hará una descripción de cada una de estas:

1. Información: dentro del municipio existen diferentes títulos mineros o contratos de concesión minera que son intervenidos por las empresas que los adquieren, sin embargo, no existe un mecanismo que informe a la alcaldía y a la comunidad sobre la existencia de estos, especialmente a la comunidad que se ubica en los predios pertenecientes a los polígonos otorgados. La información debe ser constante, no simplemente informar sobre el inicio de los

proyectos, en este caso de prospección, sino brindar un vínculo que mantenga informada tanto a la comunidad como a la alcaldía de lo que se está haciendo, los avances y lo que se espera obtener.

2. Rechazo a las empresas mineras por parte de la comunidad: los diferentes movimientos a nivel mundial en contra de la minería, en especial la minería a cielo abierto, generados por el daño ambiental que estas actividades traen, han ocasionado que las poblaciones tachen todo lo relacionado con los temas mineros. En Colombia, en los últimos años se han presentado varios casos de rechazo minero por parte de las comunidades y en gran parte se debe a la entrada de multinacionales que buscan explotar los recursos naturales del país, esto ha provocado que la población se sienta predispuesta al tratar con empresas mineras.
3. Desconocimiento del potencial carbonífero del municipio: aunque el municipio de Tunja se encuentra dentro de una de las zonas de potencial carbonífero establecidas por el Servicio Geológico Colombiano, para la comunidad y la alcaldía este tipo de mineral no representa una abundancia significativa, esto debido a que la explotación de carbón en el municipio no es de las principales actividades económicas y, por consiguiente, consideran que no existe un potencial.
4. Conciencia ambiental enfocada en el recurso hídrico: las preocupaciones mundiales con respecto a los impactos ambientales relacionados con las actividades desarrolladas por el hombre han tomado cada vez más fuerza generando una conciencia ambiental en las personas, sin embargo, se notó durante las entrevistas de los diferentes actores sociales, que existe una aprehensión por el cuidado de los recursos naturales, pero se limita a el recurso hídrico y en menor medida a los bosques. El carbón no es percibido como parte de los recursos naturales, al encontrarse en el subsuelo es visto más como un bien económico.

5. Vinculación entre los actores sociales: los lazos de comunicación e interacción entre los actores sociales son muy débiles; cada actor realiza sus labores desde su papel, pero no intervienen de manera activa entre estos mismos. La alcaldía no tiene lazos de comunicación directos con las empresas mineras y lo que es peor, con los habitantes ubicados dentro de las titulaciones mineras tampoco. La empresa minera logra un esfuerzo por cumplir la normativa impuesta para las actividades mineras, pero se limitan a lo técnico y dejan de lado la comunidad; además de esto, y no hay un mecanismo de comunicación empresa-alcaldía. Por último, gran parte de la comunidad no aprovecha los espacios creados inclusive por los mismos habitantes para discutir asuntos que le conciernen al colectivo para llegar a generar discusiones con las entidades competentes.
6. Pensamiento erróneo sobre la prospección: dentro de los actores sociales se identificó que, al hablar de prospección o reconocimiento de un mineral la posición de las personas era inmediatamente pensar en la explotación y las consecuencias que esta actividad trae. Ante esto, es preciso decir que las labores de prospección no necesariamente llevan a la explotación ya que se puede encontrar el carbón a unas profundidades muy altas y no es viable considerar su extracción, o encontrarse este mineral en zonas de protección, sin embargo, hace parte del territorio nacional y deben ser inventariados.
7. Beneficios privados: las actividades de prospección, diferentes a las que son realizadas por el Servicio Geológico Colombiano, son dirigidas por empresas que buscan lograr una explotación; a la hora de encontrar un recurso las personas que se ven directamente afectadas normalmente no cuentan con ningún beneficio ni hacen parte de los proyectos, son en gran parte excluidos de estos.

8. Desconfianza hacía algunas instituciones: a medida que se van afianzando las políticas del país y se les ejercen funciones específicas a las diferentes entidades gubernamentales, estas deben velar por su cumplimiento, en la mayoría de los casos se debe ejercer un control que modifica las actividades a las que las poblaciones estaban acostumbradas por lo cual se generan discordias. En el caso preciso de la vereda Tras del Alto se notó suspicacia por parte de la comunidad hacia CORPOBOYACÁ y el Servicio Geológico Colombiano.
9. Uso del suelo: al igual que la mayoría de los municipios del país, Tunja tiene un Plan de Ordenamiento Territorial desactualizado (desde hace más de 16 años), dentro de este no está definido con objetividad el potencial del uso del suelo dentro del municipio, como lo reconocen los mismos funcionarios de la alcaldía, sin embargo, es importante para un municipio limitar y establecer sus potencialidades para con base en ello desarrollar su ordenamiento.
10. Poca participación por parte de la alcaldía: la alcaldía como ente gobernante del municipio debe de ser quien maneje, controle y dirija proyectos que beneficien al municipio, pero, actualmente la alcaldía presenta poco interés en temas de prospección de carbón ya que económicamente no les trae un beneficio significativo.
11. Conocimiento limitado sobre la producción y el consumo sostenible: es poco real pensar que la extracción no hará parte de la economía productiva del país, pero, si hay parámetros que cada día se hacen más fuerte con respecto a la producción de los diferentes bienes y la utilización de los recursos que velan porque se genere el menor impacto posible y todo empieza desde una primera etapa, en este caso la prospección.

### **5.3.2 Etapa 2**

La Sociedad Nacional de Minería y Petróleo (2006) de Perú, establece que las labores de prospección se dividen en dos fases, el cateo y la prospección, el primero se refiere a la búsqueda

visual de afloramientos que den indicios de la presencia de un mineral, y el segundo trata de las técnicas usadas para corroborar la existencia de éste. En términos de este trabajo, aunque esas dos fases son indispensables, se vió la necesidad de remitirse al antes y al después de la prospección para establecer proyectos sólidos en donde actuasen todos los actores sociales y se lograra una disminución de las debilidades enunciadas en el diagnóstico.

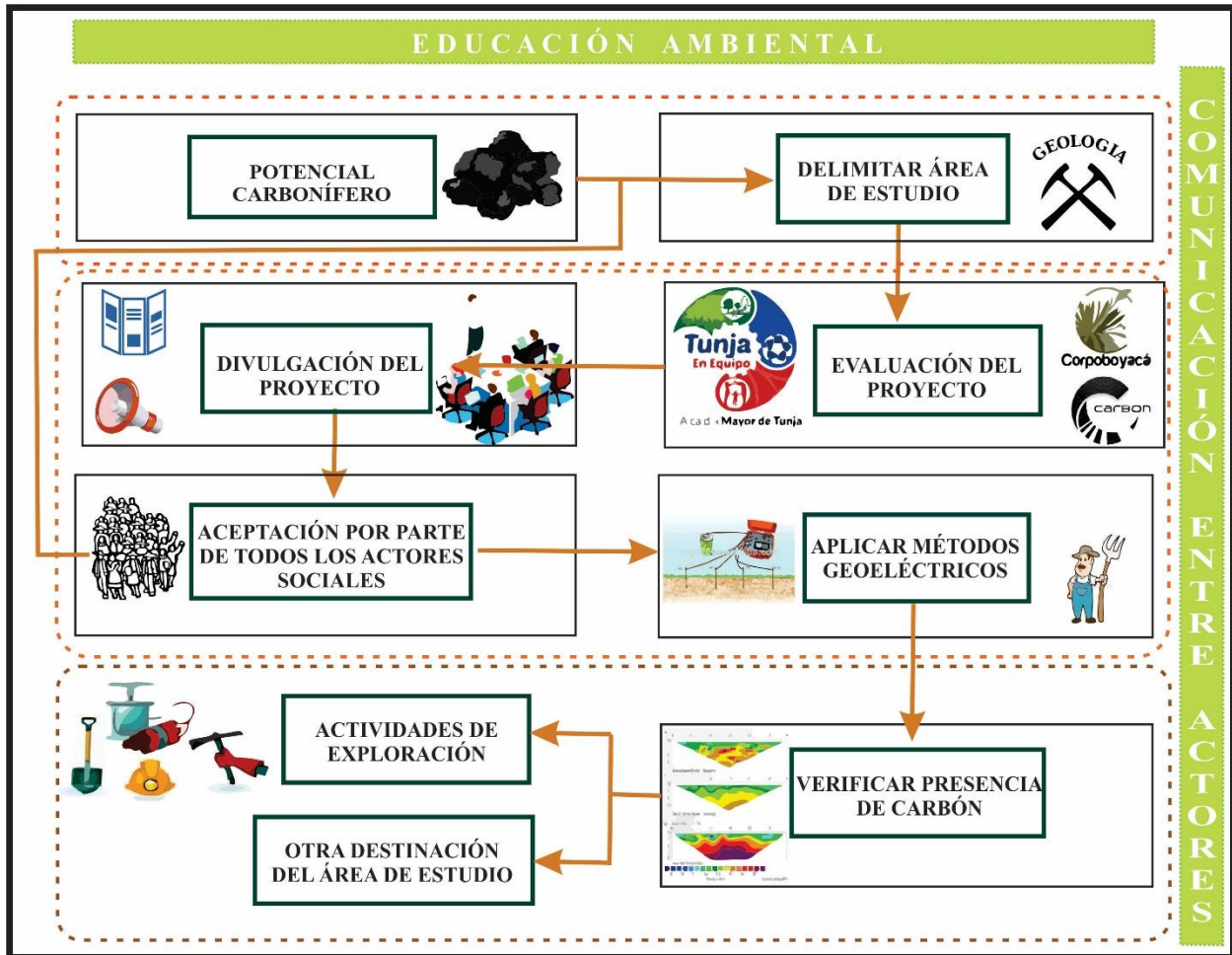


Figura 25 – Esquema del protocolo participativo propuesto

La propuesta realizada consta de tres fases: la primer fase trata de la planeación del proyecto de prospección en la cual, a partir del potencial carbonífero ya evidenciado en la figura 3, se puede delimitar un área de estudio, la segunda fase consiste en la implementación y contiene cuatro

etapas, la evaluación del proyecto, la divulgación y la aplicación de métodos geoelectrónicos, por último, la tercer fase se debe a los resultados obtenidos en la fase anterior, por lo tanto contempla la verificación de la presencia de carbón y lo que puede suceder según los resultados.

Además de las tres fases descritas hay dos actividades que deben llevarse a cabo en paralelo en todas las fases del proyecto para fortalecerlo, la educación ambiental es primordial dentro de este tipo de proyectos, aunque se notó que ya existe un nivel alto de conciencia ambiental, es importante que todos los actores sociales y en especial la comunidad reconozcan como parte del ambiente a los recursos naturales no renovables y por lo tanto se busquen alternativas sostenibles para el manejo de estos. La comunicación entre los actores sociales debe presentarse en todas las fases de los proyectos, no se trata sólo de comunicar sobre lo que se quiere y pretende hacer sino de presentar los resultados y las inquietudes que se surgen a medida que avanza el proyecto, que exista información constante que sea expuesta ante todos los actores sociales independientemente de la tarea que cada uno ocupe dentro del proyecto.

Se propone que la fase en la cual se planea el proyecto de prospección se tenga en cuenta el mapa de potencial carbonífero estructurado por el Servicio Geológico Colombiano, partiendo de estos datos se pueden delimitar el área de estudio partiendo de dos aspectos, el primero consta en el aspecto geológico en donde a partir de inspecciones visuales de afloramientos e investigaciones históricas sobre la presencia del carbón en la zona se refleja un área de interés para el estudio, posterior a ello, el segundo aspecto se basa en tener en cuenta dos factores: el geológico y el ambiental, en éste último se deberán contemplar las limitantes ambientales y las declaratorias a nivel nacional, departamental y municipal, por parte del aspecto geológico se deberá hacer una visualización de afloramientos seguido de un estudio histórico geológico sobre la zona de interés.

La segunda fase, a cual se basa en la implementación del proyecto empieza con la evaluación del proyecto en donde la alcaldía, la empresa o empresas mineras, y la autoridad ambiental (representada a nivel local por CORPOBOYACÁ) evalúen la factibilidad del proyecto y de esta manera se lleve un consenso entre las tres partes de la forma de proceder y las tareas que cada una cumplirá dentro del proyecto; una vez sean asignadas las tareas, se continua la fase con la etapa de la divulgación, en esta etapa se plantea la aparición de un quinto actor social que se vería representado por grupos de investigación universitarios (aprovechando el reconocimiento que tiene el municipio de Tunja en temas de educación superior), el papel de este actor social es ser un intermediario entre la comunidad y los otros actores ya que es evidente el rechazo que la comunidad tiene hacia las instituciones tanto privadas como públicas.

En la etapa de divulgación se plantea que el quinto actor social respaldado por la alcaldía y las empresas mineras sea el que se encargue de realizar convocatorias a la comunidad, en especial la que se ubica más cerca del área de estudio anteriormente delimitada, para que a través de diferentes medios como folletos, diapositivas, carteleras o talleres se les informe del proyecto planteado, atendiendo a todas las sugerencias e inquietudes que surjan a la comunidad. Una vez sea divulgado el proyecto se necesitará entonces que este sea aceptado y aprobado por todas las partes, de lo contrario si no se pretende participar en conflictos, se deberá volver a delimitar un área de estudio diferente, pero, si es aceptado se podrá proceder con la etapa de la aplicación de los métodos geoelectricos; en esta, se proponen pequeñas capacitaciones a las personas de la comunidad que quieren intervenir en el proyecto para posterior a ello realizar la adquisición de datos en campo, esto bajo la supervisión de un equipo técnico que cuente con personas de los otros actores sociales (la alcaldía, las empresas mineras y los grupos de investigación).



La última fase, se basa en los resultados obtenidos en donde a partir del procesamiento de datos se verifica la presencia de carbón junto con los cálculos y estudios que identifiquen las reservas del área de estudio, esto deberá ser realizado por el grupo técnico que reúne a tres de los actores sociales, teniendo en cuenta que los resultados deben ser compartidos e informados a toda la comunidad, no únicamente a la que participó en la adquisición de datos. Si se identificó presencia de carbón el área de estudio podrá ser usada para los trabajos de exploración y las reservas deberán ser inventariadas dentro de los recursos de la Nación, de lo contrario, se pretende darle un uso sostenible a esta área en donde se tengan en cuenta la necesidad de desarrollo de las comunidades sin comprometer de manera significativa el ambiente.

### **5.3.3 Etapa 3**

Al implementar el protocolo participativo se pretende principalmente otorgar bases para disminuir el conflicto entre los actores sociales y el sesgo hacía la prospección minera. Como primera medida, contar con un enfoque multidisciplinar, ya que intervienen varias instituciones que, permite una mayor credibilidad y confianza, aunque los intereses sean diversos velan por el cumplimiento de un mismo objetivo basado en el buen uso del territorio.

Involucrar al quinto actor social, los grupos de investigación de las universidades, permite que se abra paso a la posibilidad de tener ideas innovadoras que puedan enriquecer el proyecto, ya que se extiende la oportunidad para que estos grupos diseñen todo tipo de propuestas para ser aplicadas dentro de las diferentes fases o etapas de este. El apoyo a este actor social y el emprendimiento otorgado a los jóvenes brindara cada vez más confianza por parte de la comunidad a los proyectos de prospección minera.

Promover la participación de la comunidad en los trabajos prácticos del proyecto, resulta muy importante para que se deje de lado la desconfianza hacia las instituciones y empresas que hasta el

momento realizan las actividades de prospección, la comunidad al sentirse parte de algo y ver que se les tiene en cuenta para este tipo de proyectos verán que se les está dando la importancia que se merecen y al darse cuenta ellos mismos de lo que se hace, podrán tener las bases necesarias para juzgar si los proyectos afectan de alguna manera sus territorios.

Los casos de inconformidad minera en el país y la lucha por parte la comunidad e inclusive las alcaldías con las empresas mineras son cada vez más, principalmente esto se debe a que realmente no existe un ordenamiento territorial en los municipios que recree la realidad con base a las necesidades que se presentan. Aunque en el artículo 332 de la Constitución Política de Colombia se establece que el Estado es el dueño del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, el buen ordenamiento territorial de los municipios podría disminuir estos conflictos, cabe resaltar que este ordenamiento debe tener en cuenta las variables necesarias para permitir el desarrollo de todas las actividades económicas sin generar un gran impacto, ya que quienes quieran realizar actividades de tipo minero sabrían específicamente los lugares aptos para realizarlas teniendo en cuenta la sostenibilidad.

Mantener en paralelo actividades de educación ambiental durante todo el proyecto en donde se incluyan todos los actores sociales, resulta fundamental para como lo menciona el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) cambiar la cultura relacionada con la producción y el consumo actual, para reflexionar sobre un enfoque integral basado en el ciclo de vida de los productos y diseñar formas para reducir los impactos ambientales. Esto puede generar diferente tipo de iniciativas que motiven a las empresas mineras, a la comunidad, a la alcaldía y a los grupos de investigadores a proponer e implementar acciones que vayan de la mano con la Política Nacional de Producción y Consumo y de esta manera servir como ejemplo a seguir en los

diferentes convenios de producción más limpia, los centros de producción más limpia y las ferias como Bioexpo y por qué no participar en concursos de iniciativas verdes.

Mantener una comunicación constante entre los actores disminuye de manera significativa los conflictos entre estos, por un lado no va a existir una segregación de ningún actor dentro del proyecto lo que permite que pueda ser realizado con facilidad, ya que no habrá quien busque atar alguna fase del proyecto porque todos tendrán un mismo objetivo, aunque no todos los actores piensan de la misma manera y tiene las mismas técnicas esto puede brindar una ganancia al proyecto porque se consideran puntos que antes no habían sido evaluados; por otro lado, mantener el vínculo constante entre los actores e informar sobre los avances, las inquietudes, los inconvenientes y todo lo que se presente en el desarrollo de este da la facultad para que exista una sintonía sobre lo que sucede y se genere un conocimiento por parte de todos los actores sobre la prospección y el potencial carbonífero local.

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1 Estudio geoelectrico

Aunque en algunos de los trabajos presentados en el estado del arte, los valores del carbón tomaban los datos de resistividad más altos, como en el caso del estudio en Nigeria y Guaduas (Cundinamarca); en el presente trabajo los valores correspondientes a ese mineral fueron los más bajos. No significa que alguno de los trabajos sea erróneo, por el contrario, se demuestra cómo la resistividad es una propiedad muy cambiante y cómo los materiales responden diferente según sus características ya mencionadas (porosidad, humedad, etc). En el estudio se pretendía ver un contraste, se esperaba que conociendo que en la Formación Guaduas hay predominancia de arcillas estas fuesen más resistivas que los carbones como se evidencia en los rangos de valores de resistividad en la tabla 2.

Pese a que se interpreta que los valores anómalos que se identificaron en los contratos corresponden a carbón, se puede evaluar de una manera más precisa el tipo de carbón teniendo en cuenta los valores presentados por Telford et al.(1990): en donde se establece que la antracita tiene valores de resistividad de 0,001 a  $2 \times 10^5 \Omega \cdot m$  y el carbón bituminoso de 0,6 a  $1 \times 10^5 \Omega \cdot m$ , se puede interpretar que realmente el carbón encontrado en el área de estudio corresponde a el carbón bituminoso lo cual, confirmaría el potencial carbonífero de la zona centro del país, caracterizada por la presencia de carbones metalúrgicos y térmicos.

Al haber aumentado el nivel freático en el área de estudio dificultó el análisis de los datos ya que no se encontraba un contraste pronunciado de la capa de carbón al presentarse saturada, no se logró reconocer la capa de manera directa como se logró hacer en la mayoría de los sondeos eléctricos verticales, sino que se necesitó directamente de visualizar el contraste a partir de la inversión generada en el programa IPI2win.

Si bien en el área de estudio directamente donde se ubicaron los SEV no se presentan pendientes muy pronunciadas, si se identifica que es un área muy fracturada al exponerse en la superficie varias ondulaciones (visualmente tienen apariencia de escalones), esto también se evidenció en el subsuelo especialmente teniendo como referencia las capas de carbón encontradas ya que una de estas desaparece (Capa A) y la otra tiene una gran variación en sus medidas de profundidad (Capa B).

## **6.2 Perspectiva social**

Explorar y prever los puntos de vista de los actores sociales involucrados en los estudios de prospección geoelectrica es fundamental, ya que se va a tener en cuenta la perspectiva de la comunidad con respecto a la intervención en el espacio que habitan, de esta manera lograr identificar los factores o parámetros que influyen dentro de los estudios y que puedan generar una oposición frente a estos estudios.

Existe una evidente inclinación de los actores por considerar que el reconocimiento de un recurso natural, especialmente los encontrados en el subsuelo, son sinónimo de explotación, Esto debido al paradigma de la sociedad a que el consumo y la satisfacción de algunas necesidades priman sobre los recursos naturales. Esta es una idea global que viene desde el capitalismo y aunque en la actualidad los temas de la sostenibilidad han sido recalcados a nivel mundial desde la creación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el 2015, la sociedad aún no es consciente del campo tan amplio que abarca la sostenibilidad. Se aprecia que, si hay un interés por parte de la comunidad con respecto al cuidado del ambiente, pero se limitan a temas del cuidado de las fuentes hídricas y los bosques.

La comunidad dentro del presente trabajo se representa a través de los líderes sociales y los mineros, quienes son los únicos que aportan una visión in situ de la implementación de los

proyectos de prospección, por un lado los líderes sociales testifican sobre lo que ocurre directamente sobre su territorio, en este caso la vereda Tras del Alto, y por el otro lado los mineros son quienes normalmente llevan a cabo las actividades de prospección, por lo tanto cuentan con el conocimiento suficiente para exponer lo que ocurre en este proceso.

Por otra parte, la alcaldía de Tunja presenta un poco de desinterés con respecto a los proyectos de prospección de los recursos naturales, reconocen que como entidad gobernante del municipio deben saber con exactitud los potenciales que este tiene, pero deciden que sean otras entidades como CORPOBOYACA, la ANM e inclusive empresas privadas que buscan estos recursos con fines de explotación, las que desarrollen este tipo de estudios. El desconocimiento del potencial carbonífero del municipio se debe a que la minería de carbón no representa una de las economías principales dentro de este, por lo cual, no se genera gran expectativa con respecto al reconocimiento de las reservas de este mineral.

La manera mediante la cual la alcaldía ejerce un control sobre el cuidado de los recursos naturales es la delimitación de zonas hídricas importantes, como las zonas de recarga de los cuerpos de agua y sus rondas hídricas. Temas como el cambio climático son de gran importancia y a nivel mundial se ha generado una preocupación muy grande con respecto a la escasez de agua que va a existir en un futuro gracias a que se va a presentar una demanda mayor que la oferta. Sin embargo, aunque el agua es indispensable para los seres vivos, no es el único recurso que debe ser protegido, por el contrario, como se estima que pasará con el agua, hay recursos que si siguen siendo explotados simplemente se van a acabar, los recursos no renovables, y si no se ejerce un control para estos llegará el día en que escaseen.

La percepción con respecto a los factores sociales y ambientales son muy vagos para la empresa, ya que la única manera en la que tienen en cuenta a la comunidad es ubicando, en lo posible, los

proyectos en lugares donde no se hallan viviendas, por parte del factor ambiental, al igual que los demás actores sociales sólo se tiene en cuenta el recurso hídrico. Respecto a los métodos geofísicos son resaltados por presentar una ayuda en la certeza de la ubicación del yacimiento, pero no se tiene en cuenta que especialmente en el método geoelectrico no se presenta ninguna alteración en el ambiente, es decir, la empresa se preocupa más por los resultados que en el proceso para la obtención de estos.

### **6.3 Protocolo participativo**

En el proceso de la minería existen siete fases como lo menciona el Ministerio de Educación (2017), estas son (1) la prospección, (2) la exploración, (3) la construcción y montaje, (4) la explotación, (5) el transporte, (6) el beneficio y (7) el cierre y abandono. El Ministerio de Minas y Energía contempla guías minero ambientales para las fases de exploración y explotación, sin embargo, la fase de prospección no cuenta hasta el momento con ninguna guía para saber los pasos a seguir en esta fase. Dentro de los métodos geofísicos, la exploración sísmica también cuenta con una guía ambiental para los programas de exploración sísmica terrestre. El protocolo propuesto pretende cubrir los pasos que se deben seguir en la prospección geoelectrica para reducir los conflictos socioambientales, lo cual no ha sido contemplado por ninguna entidad.

Los conflictos sociales presentados en los proyectos mineros generalmente se producen por la inconformidad de los diferentes actores sociales una vez hayan sido realizadas las diferentes fases de los proyectos, por lo tanto, tener en cuenta a todos los actores que intervienen en estos desde un principio minimiza la vulnerabilidad de los proyectos a ser objetos de conflictos socioambientales.

Dentro de las debilidades encontradas, la mayor parte de ellas se ven estrechamente ligadas a una falta de conocimiento por parte de todos los actores sociales, por lo que las fases de divulgación, de comunicación y de educación ambiental son claves dentro de este tipo de proyectos.

Tener en cuenta a todos los actores sociales e incluir uno más dentro de los proyectos de prospección geoelectrica puede parecer un nuevo conflicto, sin embargo, las incomodidades que genera este tipo de proyectos es la falta de información y conocimiento sobre lo que se plantea hacer, por lo cual mantener un vínculo sobre todo lo pertinente del proyecto resulta de suma importancia. Mantener el liderazgo por parte de la alcaldía que es un moderador entre los intereses de cada uno de los actores brinda confiabilidad del proyecto, además de que sea el municipio el que se encargue de velar por el conocimiento de sus propios recursos.



## RECOMENDACIONES

Al realizar estudios de prospección geoelectrica para carbones se recomienda además de usar técnicas como los sondeos eléctricos verticales, hacer uso de las tomografías eléctricas ya que estas permiten obtener una visión 2D, en donde se podrá establecer con mayor facilidad la distribución de las capas de carbón, además de esto disminuirá el tiempo de procesamiento ya que el área que se puede cubrir con más de dos sondeos puede ser la misma con una sola tomografía. Aunque en el presente estudio se realizó un arreglo Wenner el cual también debería ser usado en las tomografías, el arreglo tipo Polo-Polo tiene la misma resolución en la vertical que el arreglo Wenner, sería interesante replicar este estudio con ese tipo de arreglo para verificar si el método funciona de la misma manera.

En cuanto a las condiciones del área de estudio se recomienda que no existan interferencias como cableados o maquinaria que pueda generar ruido en los datos. La lluvia es un factor muy importante dentro de estos estudios por lo cual se sugiere que se realicen en épocas secas para evitar cualquier contratiempo en campo que pueda poner en riesgo la salud de los participantes del estudio.

Este trabajo busca promover labores de prospección de carbón encaminadas a la aplicación de métodos geofísicos, en especial los métodos geoelectricos. Actualmente no existe ningún marco de control para las actividades de prospección, considero que una línea para continuar este trabajo podría consistir en proponer líneas de vinculación entre este tipo de actividades y la Política Minera de Colombia, en donde su base sea el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 “garantizar modalidades de producción y consumo sostenibles”.

Se observó que los tres actores sociales tienen falencias con respecto a la importancia del reconocimiento de un recurso natural ya que la presencia de un recurso es sinónimo de explotación

como ya lo he venido mencionando, este trabajo podría continuarse en la parte social para identificar, proponer e implementar estrategias para los diferentes actores sociales y lograr que vean los recursos como algo más que un beneficio económico.

Se recomienda que a la hora de replicar trabajos como el expuesto se evalúen los actores intervinientes, ya que no en todos los lugares serán los mismo, pueden ser más e inclusive menos, y ver el interés o disposición que tiene los actores para involucrarse en proyectos de este tipo y trabajar en conjunto con otros actores.

Se recomienda implementar el protocolo participativo propuesto en estudios de prospección geoelectrica, dentro del presente trabajo no se logró desarrollar porque se requirió primero de una investigación para definir si el carbón respondía satisfactoriamente a los métodos geoelectricos, el protocolo propuesto entonces tuvo que haber sido implementado luego de esta fase, lo que conllevaba a un segundo alquiler de los equipos de geoelectrica para que la comunidad participase en la adquisición de datos. Por otro lado, el contrato de concesión minera donde se realizó el estudio pertenece a una empresa, la cual limitó en cierta medida la divulgación del proyecto por temas de confidencialidad.

## CONCLUSIONES

- La prospección geoelectrica logró identificar la presencia de carbón en el área de estudio, en la profundidad a la que se pudo llegar en los diferentes SEV se evidenciaron dos capas de carbón, una ubicada aproximadamente a 4 metros de profundidad con un espesor de 80 cm (Capa A) la cual se pierde a los 34,2 metros de la bocamina y la otra se encuentra a más de 20 metros de profundidad con espesores que oscilan entre 1,50 y 2,70 metros (Capa B), la cual se muestra en los sondeos 2, 3 y 4, que representan una distancia de 168,5 metros.
- La prospección geoelectrica puede ser considerada como un método costoso, sin embargo, si se tiene una concepción costo beneficio, esta metodología reduce tiempos de prospección de un mineral, no altera el ambiente y además de esto los equipos necesarios para este estudio son pequeños por lo cual no se necesita tránsito de maquinaria pesada que pueda disgustar a la comunidad.
- Es evidente que la prospección geoelectrica no es vista como una amenaza para los actores sociales, por el contrario, consideran que cualquier método que sean amigable con el ambiente y no cause ninguna afectación a este es bastante válido. Sin embargo, cada actor social está de acuerdo con este tipo de métodos con intereses muy variados, para la comunidad y para quienes hacen parte de empresas privadas lo ven como una oportunidad para impulsar la economía; para la alcaldía no es visto como algo muy importante dentro del municipio ya que prefieren invertir en otro tipo de proyectos que les genere un desarrollo en el municipio, pero si consideran que es una oportunidad para conocer los potenciales del municipio.
- Se logró proponer un protocolo el cual involucrará a los actores sociales dándoles un rol específico en las diferentes fases de éste, también, la implementación de este protocolo

sistematizará este tipo de proyectos de prospección geoelectrica, para que al ser desarrollados no sólo se logre el reconocimiento de un yacimiento de carbón, sino que también se consiga una visión social y ambiental.

- La identificación de los actores sociales que se involucran de manera directa o indirecta dentro de un proyecto son la base fundamental para lograr la aplicación e implementación de cualquier proyecto, ya que se disminuye de manera significativa todo tipo de conflicto.
- Involucrar a la población que reside en un lugar donde se va a realizar algún proyecto permite que este se desarrolle de una mejor manera porque los habitantes de este lugar son los que mejor conocen las dinámicas allí presentes y la manera apropiada para hablar con la comunidad sin generar discordias.
- Este trabajo pretende presentar métodos apropiados que puedan reflejar la realidad cada vez más cercana de las reservas de los recursos naturales (en este caso el carbón) del país, con el fin de aportar a la Política Minera en especial en temas como los sistemas de información mineros que actualmente se consideran deficientes, como lo menciona el mismo Ministerio de Minas y Energía (2016), es necesario contar con mayor información geológica y estudios del subsuelo con información actualizada y que opere eficientemente y además de esto puede aportar a la ordenación de un territorio.
- El buen ordenamiento del territorio reduce los conflictos especialmente con los temas mineros ya que se plantea desde un principio los lugares aptos para llevar a cabo las diferentes actividades que este sector requiere.

## REFERENCIAS

- ANM. (n.d.). *Carbón*. Recuperado de <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/carbon.pdf>
- Arias, D. (2011). *EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA – RELACIONES GEOELECTRICAS*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5468/1/71790053.2011.pdf>
- Auge, M. (2008). Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. *Geología Colombiana*, (18), 161–201. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31319>
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Briceño, L. A., & Mojica, J. (1993). La Geología y la Geofísica en Colombia: Desarrollo, estado actual y perspectivas. *Geología Colombiana*, (18), 161–198. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31319>
- Carrasco, P. (2013). *AVANCE EN TÉCNICAS GEOFÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE INNOVACIÓN Y EL USO DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN ESPACIAL*. Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/124089>
- Carrillo, S. (2014). *CONFLICTOS MINEROS: EXPLORANDO LOS PROBLEMAS DE COMUNICACIÓN EN ETAPAS CLAVE DEL CICLO PRODUCTIVO*. Pontificia Universidad Católica de Perú. Recuperado de <http://congreso.pucp.edu.pe/alaic2014/wp-content/uploads/2014/10/GI5-Sandra-Carrillo.pdf>
- Cuellar, J (2004). Evaluación sísmica y geoeléctrica de mantos superficiales de carbón en el municipio de Guaduas.
- DANE. (2014). Tercer Censo Nacional Agropecuario - 2014 -3er CNA. Recuperado Abril 17, 2018, de [http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/513/get\\_microdata](http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/513/get_microdata)
- Daza, F. (2012). MÉTODOS GEOELÉCTRICOS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y TERMALES. Recuperado de [http://www.dgeo.udec.cl/red-de-ex-alumnos/wp-content/uploads/2012/09/felipe\\_daza\\_tesis.pdf](http://www.dgeo.udec.cl/red-de-ex-alumnos/wp-content/uploads/2012/09/felipe_daza_tesis.pdf)
- Dentith, M., & Mudge, S. (2014). Geophysics for the mineral exploration geoscientist. *AusIMM Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0557-9>

Díaz, E. (2010). *IMPLEMENTACIÓN DEL CÓDIGO ZONDRES2D PARA LA MODELACIÓN DIRECTA E INVERSA DE DATOS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1292/Tesis.pdf?sequence=1>

Duarte, R. (1993). *GLOSARIO MINERO*. Recuperado de <http://www.memoriachilena.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf>

Enríquez, R. (2008). *Introducción al análisis económico de los recursos naturales y del ambiente*. (Departamento de Editorial Universitaria, Ed.). Baja California. Recuperado de <http://fcm.ens.uabc.mx/~enriquez/complementos/cursos/LibroMedioambiente.pdf>

Fuentes, J. (2012). *Topografía*. (RED TERCER MILENIO, Ed.). Estado de México. Recuperado de <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/ingenieria/Topografia.pdf>

García, N., & Ramírez, E. (2010). *DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN PROTOTIPO CON DISEÑO NACIONAL PARA LA REALIZACIÓN DE PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA DEL SUBSUELO*. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de [http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/14799/Desarrollo\\_y\\_Aplicacion\\_de\\_un\\_prototipo\\_con\\_diseño\\_nacional\\_para\\_la\\_realización\\_de\\_prospección\\_geoeléctrica\\_del\\_subsuelo.pdf?sequence=1&is](http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/14799/Desarrollo_y_Aplicacion_de_un_prototipo_con_diseño_nacional_para_la_realización_de_prospección_geoeléctrica_del_subsuelo.pdf?sequence=1&is)

Gella, N; Bruggen, J. (1930). La exploracion geofisica del subsuelo.

Iakubovskii et al (1980). *Exploración eléctrica (3°)*. España: Reverté s.a. Recuperado de: [https://books.google.com.co/books?id=EF3iQ4bpNH4C&printsec=frontcover&source=gs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=EF3iQ4bpNH4C&printsec=frontcover&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

INGEOMINAS. (1976). GEOLOGÍA DE LAS PLANCHA 171 DUITAMA, 191 TUNJA, 211 TAURAMENA Y 230 MONTERREY CUADRÁNGULOS J – 12 Y K – 13 ESCALA 1:100.000. *Boletín Geológico*, 24(2).

INGEOMINAS (1982). Aplicación del método geoelectrico para los cuerpos volcánicos del Sector carbonífero San Nicolás- Salitre (1897).

INGEOMINAS (1985). Prospección geoelectrica en los municipios de Uribia y Maicao y La Alta Guajira (1957).

INGEOMINAS (1989). Prospección geoelectrica para el municipio de Sutamarchan- Boyacá. (ct - 79).

INGEOMINAS (2003a). Prospección geoelectrica en el municipio de Cabrera departamento de

Santander. (LGF-015)

INEOMINAS (2003b). Prospección geoelectrica en el municipio de Villa Nueva departamento de Santander. (LGF - 019)

Lei, Y. (2015). Application of Geophysical Technique in the Coal Mining. *International Journey of Online Engineering*, 11, 11–13. Recuperado de <http://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/4759>

Marín, E. ., & Avedaño, F. . (2017). *Prospección geofísica ambiental aplicada a la detección de plumas contaminantes debidas a la infiltración de lixiviados en un relleno sanitario, bajo la adaptación de sondeos eléctricos verticales de resistividad y polarización inducida, para obtener tomo*. Universidad Dsitrital Francisco José de Caldas.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional de Producción y Consumo. Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva. Bogotá D.C. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/154-#políticas>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). AGENDA 21: Colombia, 20 años siguiendo la Agenda 21. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-años-siguiendo-la-agenda-21/040512\\_balance\\_agenda\\_21.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/colombia-20-años-siguiendo-la-agenda-21/040512_balance_agenda_21.pdf)

Ministerio de Educación. (2017). SECTOR MINERO: MINERALES ORO Y CARBÓN. Bogotá. Recuperado de [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362826\\_recurso.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362826_recurso.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2001). Código de Minas - Ley 685 de 2001. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley\\_0685\\_2001.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2003). GLOSARIO TÉCNICO MINERO. Recuperado de <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2012). Cartilla ABC MINERO. Recuperado de <http://portalterritorial.gov.co/apc-aa-files/7515a587f637c2c66d45f01f9c4f315c/abc-minero.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2016). POLÍTICA MINERA DE COLOMBIA Bases para la minería del futuro. Bogotá. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Política+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fcad-76da-41ca-8b11-2b82c0671320>

- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). POLITICA NACIONAL DE EDUCACION AMBIENTAL SINA. Recuperado de [http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703\\_152904399\\_919/politi-ca\\_educacion\\_amb.pdf](http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703_152904399_919/politi-ca_educacion_amb.pdf)
- Mojica, L., & Mariño, J. (2013). ESTADO DE LA EXPLORACIÓN Y POSIBILIDADES DE GAS ASOCIADO AL CARBÓN (GAC) EN BOYACÁ (COLOMBIA), 35(2). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/boge/v35n2/v35n2a02.pdf>
- Mokate, K. (1999). EFICACIA, EFICIENCIA, EQUIDAD Y SOSTENIBILIDAD: ¿QUÉ QUEREMOS DECIR? Recuperado de [https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/9/37779/gover\\_2006\\_03\\_eficacia\\_eficiencia.pdf](https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/9/37779/gover_2006_03_eficacia_eficiencia.pdf)
- Montaño, F., & Vega, P. (2009). Aplicación de métodos eléctricos de prospección geofísica. *Revista CIER*, (53), 61–76. Recuperado de [http://sg.cier.org.uy/publicaciones/revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/2f6610e1ca627d25832576ef004fbe02/\\$FILE/09\\_AplicacionProspGeofisica.pdf](http://sg.cier.org.uy/publicaciones/revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/2f6610e1ca627d25832576ef004fbe02/$FILE/09_AplicacionProspGeofisica.pdf)
- Montoya, Diana; Reyes, G. (2005). *Geología de la sabana de Bogotá*. Bogotá. Recuperado de [https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe\\_geologia\\_sabana\\_bta.pdf](https://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf)
- Nwafor, G. (2011). *RESOURCE EVALUATION AND GEOELECTRIC RESPONSE OF OKOBO COAL DEPOSIT*. University of Nigeria Nsuka. Recuperado de <http://www.unn.edu.ng/publications/files/images/NWAFOR C. GIDEON.pdf>
- Orozco, O. (n.d.). PENDIENTE DEL TERRENO. In *Atlas regional de impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz* (pp. 26–28). Veracruz. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/629/pendiente.pdf>
- Porta. (1974). *COLMBIE. Tertiaire et Quaternaire*. Paris. Recuperado de <https://lamineriaencolombia.files.wordpress.com/2015/09/lexico-estratigrafico-j-de-porta.pdf>
- RAE. (n.d.). protocolo. Recuperado junio 17, 2018, de <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=protocolo>
- Ramírez, M. F., & Yepes, M. J. (2011). GEOPOLÍTICA DE LOS RECURSOS ESTRATÉGICOS: CONFLICTOS POR AGUA EN AMÉRICA LATINA. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 6(1), 149–165. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ries/v6n1/v6n1a08.pdf>
- Reynolds, J. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. (John Wiley & Sons Ltd, Ed.). Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley



& Sons Ltd.

Rodriguez,Pablo; Dimate, J. (2012). *CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DEL CARBÓN EN COLOMBIA*. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co:8443/bitstream/handle/10554/13675/RodriguezNarvaezPabloGilberto2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. (S. . INTERAMERICANA EDITORES, Ed.) (Sexta). McGRAW-HILL. Recuperado de [www.elosopanda.com%7Cjamespoetrodriguez.com](http://www.elosopanda.com%7Cjamespoetrodriguez.com)

Servicio Geológico Colombiano. (2012). Memoria explicativa: MAPA DE POTENCIAL CARBONÍFERO DE COLOMBIA 2011. Recuperado de <http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/PDF/MapaCarboniferodeColombia.pdf>

Sierra, M. (1992a). *CARBÓN: ORIGEN, COMPOSICIÓN Y ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE SUS YACIMIENTOS*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/43151/1/8393449.19923.Parte1.pdf>

Singh, K. K. K., Singh, K. B., Lokhande, R. D., & Prakash, A. (2004). Multielectrode resistivity imaging technique for the study of coal seam. *Journal Of Scientific \& Industrial Research*, 63(63), 927–930. Recuperado de <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/5499>

Sociedad Nacional de Minería y Petroleo. (2006). *El ciclo productivo de la minería. Informe quincenal de la snmpe*.

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. (Cambridge University Press, Ed.). Cambridge. Recuperado de [https://www.academia.edu/5146009/Applied\\_Geophysics\\_-\\_Telford\\_Geldart\\_Sheriff?auto=download](https://www.academia.edu/5146009/Applied_Geophysics_-_Telford_Geldart_Sheriff?auto=download)

Torres, J., & Santander, J. (2013). *Introducción a las políticas públicas (IEMP EDICIONES)*. Bogotá. Recuperado de [http://www.funcionpublica.gov.co/eva/admon/files/empresas/ZW1wcmVzYV83Ng==/imgprodutos/1450056996\\_ce38e6d218235ac89d6c8a14907a5a9c.pdf](http://www.funcionpublica.gov.co/eva/admon/files/empresas/ZW1wcmVzYV83Ng==/imgprodutos/1450056996_ce38e6d218235ac89d6c8a14907a5a9c.pdf)

Universidad del País Vasco. (n.d.). El Multímetro. Euskadi. Recuperado de <http://www.ehu.eus/rperez/TE1/docu/multimetros.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2001). George Simon Ohm, 1(6). Recuperado de <http://dcb.fi->

c.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/FisicaQuimica/ElectricidadMagnetismo/biografias/  
6 Georg Simon Ohm.pdf

UPME. (2006). El carbón Colombiano, fuente de energía para el mundo. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/docs/cadena\\_carbon.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/cadena_carbon.pdf)

UPME. (2016). *Boletín estadístico de minas y energía 2012-2016*. Recuperado de [http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin\\_Estadistico\\_2012\\_2016.pdf](http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2012_2016.pdf)

Van Nostrand, R., & Cook, K. (1966). *Interpretation of Resistivity Data* (U.S Government). Washington. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/pp/0499/report.pdf>

Villanueva, T. (2009). *EL CARBÓN EN CASTILLA Y LEÓN*. (S. A. Domènech e-learning multimedia, Ed.) (Segunda). Recuperado de [http://www.siemcalsa.com/images/pdf/El\\_Carbon.pdf](http://www.siemcalsa.com/images/pdf/El_Carbon.pdf)

World Trade Organization. (2012). *II-INFORME SOBRE EL COMERCIO MUNDIAL*. Recuperado de [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/anrep\\_s/wtr10-2b\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/anrep_s/wtr10-2b_s.pdf)

## ANEXOS

<b>FORMATO PARA SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES</b>										
<b>No</b>	<b>d</b>	<b>AB</b>	<b>AB/3</b>	<b>MN/2</b>	<b>AB/2</b>	<b>K</b>	<b>SP (V)</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>Rhoa (Ohm-m)</b>
1	5	15	5	2,5	7,5	31,42				
2	5	30	10	5,0	15,0	62,83				
3	5	45	15	7,5	22,5	94,25				
4	5	60	20	10,0	30,0	125,66				
5	5	75	25	12,5	37,5	157,08				
6	5	90	30	15,0	45,0	188,50				
7	5	105	35	17,5	52,5	219,91				
8	5	120	40	20,0	60,0	251,33				
9	5	135	45	22,5	67,5	282,74				
10	5	150	50	25,0	75,0	314,16				
11	5	165	55	27,5	82,5	345,57				
12	5	180	60	30,0	90,0	376,99				
13	5	195	65	32,5	97,5	408,41				
14	5	210	70	35,0	105,0	439,82				
15	5	225	75	37,5	112,5	471,24				
16	5	240	80	40,0	120,0	502,65				
17	5	255	85	42,5	127,5	534,07				
18	5	270	90	45,0	135,0	565,49				
19	5	285	95	47,5	142,5	596,90				
20	5	300	100	50,0	150,0	628,32				
21	5	315	105	52,5	157,5	659,73				
22	5	330	110	55,0	165,0	691,15				
23	5	345	115	57,5	172,5	722,57				
24	5	360	120	60,0	180,0	753,98				
25	5	375	125	62,5	187,5	785,40				
26	5	390	130	65,0	195,0	816,81				
27	5	405	135	67,5	202,5	848,23				
28	5	420	140	70,0	210,0	879,65				
29	5	435	145	72,5	217,5	911,06				
30	5	450	150	75,0	225,0	942,48				
31	5	465	155	77,5	232,5	973,89				
32	5	480	160	80,0	240,0	1005,31				
33	5	495	165	82,5	247,5	1036,72				
34	5	510	170	85,0	255,0	1068,14				
35	5	525	175	87,5	262,5	1099,56				
36	5	540	180	90,0	270,0	1130,97				
37	5	555	185	92,5	277,5	1162,39				
38	5	570	190	95,0	285,0	1193,80				
39	5	585	195	97,5	292,5	1225,22				
40	5	600	200	100,0	300,0	1256,64				

Anexo 1 - Formato de parámetros para adquisición de datos en campo

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
FORMATO ENTREVISTA LÍDERES SOCIALES**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Edad:** \_\_\_\_\_

1. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la vereda? \_\_\_\_\_
2. ¿Cuál es la actividad económica que desarrolla? \_\_\_\_\_
3. ¿Tiene algún familiar que también viva en la vereda? \_\_\_\_\_
4. ¿Conoce cuáles son las actividades económicas principales de la vereda?  
\_\_\_\_\_
5. ¿Sabe qué recursos naturales se encuentran en la vereda? (agua subterránea, minerales, carbón, petróleo, gas natural)  
\_\_\_\_\_
6. ¿Considera que es importante conocer los recursos que posee la vereda? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
7. ¿Cuál o cuáles considera usted que pueden ser las ventajas del conocer el potencial de los recursos naturales, específicamente el carbón?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
8. Por el contrario, ¿cuál o cuáles considera usted que pueden ser las desventajas de conocer el potencial de los recursos naturales, específicamente el carbón?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
9. ¿Cree usted que el identificar la presencia de recursos como el carbón puede influir de alguna manera la calidad de vida de las personas que habitan la vereda? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
10. ¿Cuál sería su actitud si en su propiedad se quisiera desarrollar un proyecto con el fin de hacer un inventario de recursos naturales, incluyendo exploración del subsuelo?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
11. Siguiendo la pregunta 10, ¿Permitiría que el estudio se hiciese implementando métodos similares a los empleados en el cuerpo humano como radiografías, ecografías, etc?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
12. ¿Considera que en la búsqueda de recursos naturales se puede lograr una afectación al ambiente?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES**  
**INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL**  
**FORMATO ENTREVISTA ACTOR MINEROS**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Edad:** \_\_\_\_\_

**Cargo que desempeña en la mina:** \_\_\_\_\_

1. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en minería? \_\_\_\_\_
2. ¿Tiene algún familiar que también se dedique a la minería? \_\_\_\_\_
3. ¿Usted vive en la Vereda? ¿O en dónde? \_\_\_\_\_
4. ¿La minería es su principal sustento económico?  
\_\_\_\_\_
5. ¿Conoce la edad promedio de los trabajadores de las minas?  
\_\_\_\_\_
6. ¿Conoce cuáles son las actividades económicas principales de la vereda?  
\_\_\_\_\_
7. ¿Sabe qué recursos naturales se encuentran en la vereda? (agua subterránea, minerales, carbón, petróleo, gas natural)  
\_\_\_\_\_
8. ¿Considera que es importante conocer los recursos naturales que posee la vereda? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
9. ¿Cuál o cuáles considera usted que pueden ser las ventajas del reconocimiento de los recursos naturales, específicamente el carbón?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
10. Por el contrario, ¿cuál o cuáles considera usted que pueden ser las desventajas del reconocimiento de los recursos naturales, específicamente el carbón?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
11. ¿Cree usted que el descubrimiento de carbón puede influir de alguna manera la calidad de vida de las personas que habitan la vereda? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
12. ¿Cuál sería su actitud si en su propiedad se quisiera desarrollar un proyecto con el fin de hacer un inventario de recursos naturales?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
13. Siguiendo la pregunta 12, ¿Permitiría que el estudio se hiciese implementando métodos similares a los empleados en el cuerpo humano como radiografías, ecografías, etc?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
14. ¿Considera que en la búsqueda de recursos naturales se puede lograr una afectación al ambiente?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
FORMATO ENTREVISTA ACTOR ALCALDÍA**

Nombre \_\_\_\_\_

Profesión \_\_\_\_\_

Cargo que desempeña y tiempo que lleva desempeñándolo  
\_\_\_\_\_

1. ¿Cuál es la principal actividad económica del municipio?  
\_\_\_\_\_
2. ¿Conoce la actividad económica en la que se especializan las diferentes veredas? ¿Cuáles son?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. ¿La alcaldía desarrolla o apoya labores de prospección para reconocer los recursos naturales que posee el municipio?  
\_\_\_\_\_
4. ¿Considera usted que los proyectos de prospección pueden generar cambios en la ordenación del territorio?  
\_\_\_\_\_
5. ¿Qué control ejerce la alcaldía sobre las empresas y/o instituciones que realizan labores de prospección en el municipio?  
\_\_\_\_\_
6. ¿El Plan de Desarrollo Municipal o el Plan de Ordenamiento Territorial tienen en cuenta los recursos naturales que tiene el municipio?  
\_\_\_\_\_
7. ¿La alcaldía estaría dispuesta a encabezar proyectos dirigidos al reconocimiento de los recursos naturales del municipio?  
\_\_\_\_\_
8. ¿Considera que la prospección geofísica es una buena opción para el reconocimiento de los recursos? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
9. ¿Qué implicaciones sociales y ambientales cree que se pueden presentar al utilizar métodos geofísicos para la prospección?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Anexo 4 - Formato entrevistas actor social - alcaldía

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES  
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL  
FORMATO ENTREVISTA ACTOR EMPRESA**

Nombre \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_

Profesión \_\_\_\_\_

Cargo en la empresa \_\_\_\_\_

1. ¿Hace cuánto trabaja en la empresa?

2. ¿Cómo está constituida la empresa (organigrama)?

3. ¿Necesita de algún permiso especial para realizar una prospección geofísica?

4. ¿Cuáles son los factores que determinan que una zona o área sea de interés minero?

5. ¿Considera necesario contar con la aprobación de la comunidad para poder llevar a cabo un proyecto de prospección geofísica? ¿Por qué?

6. ¿Cómo realiza generalmente la empresa los procesos de prospección del carbón?

7. ¿Cree que, implementando metodologías de prospección geofísica, se mejoran los procesos que usted menciona? ¿Por qué?

8. ¿La empresa cómo tiene en cuenta el ambiente y el territorio para llevar a cabo las labores de prospección?

9. ¿La empresa debe rendirle cuentas a alguna autoridad local y/o ambiental para realizar una prospección geofísica?

10. ¿Cuál ha sido la situación extrema más conflictiva con una comunidad?

11. ¿Considera que la prospección geofísica es una buena opción para el reconocimiento de los recursos? ¿Por qué?

12. ¿Qué implicaciones sociales y ambientales cree que se pueden presentar al utilizar métodos geofísicos para la prospección?