

GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS DEL YACIMIENTO DE CARBÓN UBICADO EN EL CERRO CULATAS, MUNICIPIO DE CORRALES, BOYACÁ.

ERIKA JOHANA ALBA RUBIO
JISETH ADRIANA ESCOBAR YELA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA
BOYACA
SOGAMOSO
2017



GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS DEL
YACIMIENTO DE CARBÓN UBICADO EN EL CERRO CULATAS, MUNICIPIO
DE CORRALES, BOYACÁ.



GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS DEL YACIMIENTO DE CARBÓN UBICADO EN EL CERRO CULATAS, MUNICIPIO DE CORRALES, BOYACÁ.

ERIKA JOHANA ALBA RUBIO
JISETH ADRIANA ESCOBAR YELA

TRABAJO DE TESIS

Director de tesis: WILSON ENARIO NARANJO MERCHÁN
INGENIERO GEOLOGO, DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA
BOYACA
SOGAMOSO
2017

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso 15 de marzo de 2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
INTRODUCCION	10
1. OBJETIVOS	11
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
2. METODOLOGIA.....	12
3. GENERALIDADES.....	16
3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL MUNICIPIO DE CORRALES	16
3.2 LOCALIZACION GEOGRÁFICA DEL AREA DEL PROYECTO	17
3.3 VIAS DE ACCESO	18
3.4 CLIMA Y VEGETACIÓN	19
3.5 HIDROGRAFIA.....	19
4. GEOLOGIA	20
4.1 GEOLOGIA REGIONAL	20
4.1.1 ESTRATIGRAFIA ¹	21
4.1.1.1 Formación Guaduas (KPgg)	21
4.1.1.2 Formación Arcillas de Socha (Pgas).....	22
4.1.1.3 Formación Arenas de Socha (Pgars).....	22
4.1.1.4 Formación Picacho (Pgp)	23
4.1.1.5 Formación Concentración (Pgc).....	23
4.1.1.6 Cuaternario (Q).....	24
4.1.2 TECTONICA REGIONAL ²	25
4.1.3 GEOMORFOLOGIA REGIONAL ³	26
4.2 GEOLOGIA LOCAL	29
4.2.1 ESTRATIGRAFIA.....	29
4.3 Bloque Norte.....	32
4.4 Bloque Sur	33

4.4.1	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	35
4.4.1.1	Fallas	35
4.4.1.2	Pliegues	37
5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES	38
5.1	PARAMETROS DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE LOS CARBONES	38
5.2	MUESTREO DE LOS CARBONES	40
5.3	ANALISIS Y RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL CARBON	42
5.4	CLASIFICACION DE LOS CARBONES	42
5.5	CONVERSIÓN DE RESULTADOS A OTRAS BASES	44
6.	CALCULO DE LOS RECURSOS DE CARBON	46
6.1	CATEGORIAS DE LOS RECURSOS	46
6.2	MAPA DE CONTORNOS ESTRUCTURALES	46
6.3	CÁLCULO DE ÁREAS DE LOS MANTOS	48
6.4	RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS RECURSOS	49
7.	CONCLUSIONES	52
8.	RECOMENDACIONES	53
9.	BIBLIOGRAFIA.	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Coordenadas del polígono del área de estudio	17
Tabla 2.	Relación de las muestras tomadas en el área de estudio	42
Tabla 3.	Resultados análisis de carbón.....	42
Tabla 4.	Clasificación ASTM de carbones por rango (1).	43
Tabla 5.	Datos recalculados (base libre de materia mineral).....	44
Tabla 6.	Resultado de la clasificación	45
Tabla 7.	Datos estructurales obtenidos en el área de estudio.....	47
Tabla 8.	Longitudes y espesores de los mantos presentes.....	49
Tabla 9.	Recursos de cada Manto.....	50
Tabla 10.	Recursos de los 7 mantos.....	51
Tabla 11.	Recursos Totales	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	División política del municipio de Corrales.	16
Figura 2.	Localización del área de estudio.	17
Figura 3.	Localización del área de estudio	18
Figura 4.	Mapa Geológico del área de estudio.	20
Figura 5.	Mapa geomorfológico de la zona de estudio.	28
Figura 6.	Estructura sinclinal del área de estudio.	31
Figura 7.	Columna estratigráfica	34
Figura 8.	Zona de estudio dentro Anticlinal de San Antonio.	37

LISTA DE FOTOS

Foto 1.	Exploración Geológica.....	14
Foto 2.	Elaboración de muestreo.....	15
Foto 3.	Vía de acceso al área de estudio.	18
Foto 4.	Cuaternario Aluvial.	25
Foto 5.	Escarpes Fuertes de las Areniscas de Socha.	27
Foto 6.	Areniscas de Socha interrumpidas por la falla Tenería.	29
Foto 7.	Arcillas interestratificadas con mantos de carbón.....	30

RESUMEN

El área de estudio se ubica en el Cerro Culatas, municipio de Corrales, cubriendo un área total de 155 Ha donde se encontraron tres formaciones aflorantes: la formación Guaduas, las Areniscas y Arcillas de Socha. En la formación Guaduas afloran siete mantos de carbón nombrados de forma descendente desde el A hasta el G y cuyos espesores oscilan entre 1,8 m y 3,5 m.

La estructura principal del área es un sinclinal, el cual se encuentra afectado por fallas locales como son la falla Tenería y la falla el Bujío con una dirección predominantemente NE-SW que afecta la explotación de los mantos de carbón allí encontrados.

En la zona se presentan actualmente 5 explotaciones activas, donde los mantos de mayor interés son el Manto C y el Manto D. Según el muestreo realizado en el interior de los mantos de carbón, los análisis de laboratorio arrojaron como resultado que estos mantos corresponden a un yacimiento carbonífero con muy buenas características entre las que se encuentra un buen poder calorífico entre 6000 y 8000 Cal / gr, contenido en cenizas entre el 6 y 19 %, materia volátil entre el 33% y 43%, cuyas características son típicas de carbones bituminosos.

El área cuenta con unos recursos inferidos de 15097073,35 Ton, Recursos Indicados de 16436537,38 Ton y Recursos Medidos de 4606425,196 Ton para un total de 36140035,92 Recursos Totales.

INTRODUCCION

En este proyecto se realizó un estudio geológico, caracterización y cálculo de recurso de los carbones, como herramienta de ayuda para la planificación de la explotación del mineral presente en el área de estudio, la cual se encuentra ubicada en el sector conocido como cerro culatas en jurisdicción del municipio de Corrales, el cual ha tenido un buen crecimiento económico gracias a la exploración y explotación de minería de carbón.

La formación Guaduas en el área de interés cuenta con siete mantos de carbón distribuidos para su manejo como bloque norte y bloque sur, divididos por una estructura local de tipo sinclinal de dirección SE, dichos mantos tienen espesores que oscilan entre los 1,8 a 3,5 metros; interestratificados por arenitas y cuarzoarenitas, al inferior con lodolitas grises con fragmentos de materia orgánica y hacia la parte superior y tope de la formación con arcillolitas de color gris.

Por último, se realizaron estudios de laboratorio a una muestra de carbón por cada uno de los mantos, dando como resultado una clasificación de carbón bituminoso alto volátil "A" comúnmente aglomerante según el método de la ASTM; así como también se hizo el cálculo de recursos del mineral, arrojando una cantidad total de recurso minero en el área de trabajo de 36140035,92 Ton.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la evaluación geológica, caracterización y cálculo de recursos del yacimiento de carbón ubicado en el Cerro Culatas, Corrales, Boyacá.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar y analizar información de estudios geológicos, geomorfológicos y estructurales de la zona de estudio.
- Establecer el modelo geológico del área de estudio.
- Desarrollar la caracterización de los mantos de carbón presentes.
- Elaborar la evaluación preliminar de los recursos existentes en el área de estudio.

2. METODOLOGIA

El desarrollo metodológico se planteó para cumplir con cada uno de los objetivos planteados anteriormente, de la siguiente manera:

Recopilación Bibliográfica: en esta etapa del proyecto se recopiló toda la información existente del área de estudio tales como:

NOMBRE DEL TEXTO	TIPO DE TEXTO	SECCION DE INTERÉS
E.O.T. Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Corrales.	Libro	Generalidades del municipio de Corrales.
Cálculo de reservas y E.I.A dentro del proyecto de exploración y explotación de un yacimiento de carbón para el contrato único de concesión N° GDD-082 localizado en el departamento de Boyacá, municipio de Corrales sector Vado Castro.	Tesis de grado. Ingeniería Geológica. UPTC. 2013.	Lectura guía para la elaboración del informe.
Geología de la Plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa.	Carlos Ulloa, Erasmo Rodríguez, Gloria Inés Rodríguez.	Geología regional y columna estratigráfica.
Geología de la Región de Duitama – Sogamoso- Paz del Rio (Departamento de Boyacá)	Ítalo Reyes Chittaro.	Geología y tectónica.
Estratimetría aplicada. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja –Colombia, 1998	REYES CHITARO. Ítalo.	Geología regional y columna estratigráfica.

NOMBRE DEL TEXTO	TIPO DE TEXTO	SECCION DE INTERÉS
SISTEMA DE CLASIFICACION DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBON	ECOCARBON	Calculo de recursos
MINERCOL. Programa de normalización de recursos y reservas del carbón sector Sogamoso- Jericó.	ALVARADO B y SARMIENTO R.	Calculo de recursos
NORMAS GENERALES SOBRE MUESTREO Y ANALISIS DE CARBONES. Gerencia de Planificación del carbón. División análisis de recursos.	ECOCARBON Ltda. República de Colombia Ministerio de Minas y Energía. Santa Fe de Bogotá D.C Mayo 1995.	Muestreo de las muestras de carbón
Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Minas y Energía. Guía Ambiental de Carbón en Minería Subteranea. Santa Fe de Bogotá , 2001	MINERCOL,	Guía en la toma de muestras y cálculo de recursos
Manual de Carbones y coquización UPTC Sogamoso 2004.	BAEZ Rodríguez, Ignacio	Clasificación de los carbones
Modelo Digital de Elevación "DEM" del departamento de Boyacá, base topográfica, fotografías aéreas.	-	Elaboración de mapas

Exploración Geológica: en esta etapa se logró un reconocimiento general del área de estudio. Durante el trabajo de campo se recolectó información tanto a nivel regional como local. Esta última se obtuvo a partir de los puntos de afloramiento de los siete mantos de carbón de los dos bloques norte-sur presentes en el área.

Foto 1. Exploración Geológica



Fuente: los autores.

Elaboración de muestreo: se llevó a cabo muestreo de seis mantos de carbón. Luego se les realizó los análisis inmediatos (carbono fijo, poder calorífico, humedad

residual, cenizas, material volátil, azufre e índice de hinchamiento) en los laboratorios del Instituto de Recursos Minero – Energéticos – IRME de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, seccional Sogamoso.

Foto 2. Elaboración de muestreo



Fuente: los autores

Construcción de Mapas de Contornos: mediante la superposición de la topografía a escala 1:5000 con los planos estructurales de cada uno de los mantos, se obtuvo el correspondiente trazo de afloramientos. Además sobre estos se proyectó las áreas para el posterior cálculo de recursos.

Cálculo de recursos: mediante la construcción del mapa de contornos y el análisis de la caracterización del carbón, se realizó el cálculo de recursos bajo el método radial.

3. GENERALIDADES

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE CORRALES

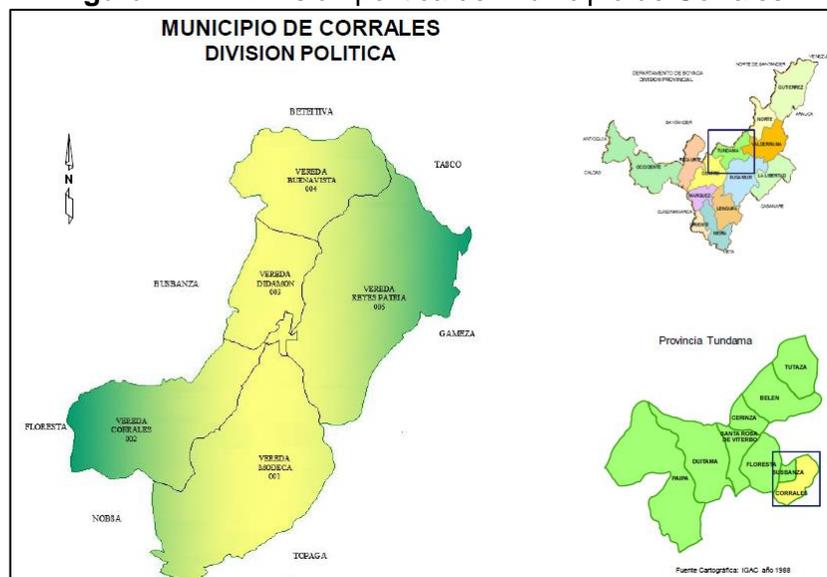
El municipio de Corrales se encuentra ubicado en el centro oriente del departamento de Boyacá sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental. Localizado a 18 km al Noreste del municipio de Sogamoso, a donde se llega por vía pavimentada. La carretera sigue paralela a la cuenca del río Chicamocha y a la vía férrea que conduce de Belencito al municipio de Paz del Río; esta carretera es su principal vía de comunicación.

Corrales cuenta una extensión de 59 km², la cabecera municipal se encuentra a una altura de 2390 m.s.n.m. y a una temperatura promedio de 14° C.

El municipio de Corrales corresponde a la vertiente del Río Magdalena, con su principal afluente el Río Chicamocha y corrientes secundarias como la Quebrada de Busbanzá, Quebrada Chorro Blanco, Quebrada de Mal Paso, Quebrada de Canelas (límite con el municipio de Tasco), Quebrada de Búntia (límites con el municipio de Betétiva).

Los límites municipales del municipio de Corrales son: por el Oriente con el municipio de Gámeza y Tópaga, por el norte con los municipios de Betétiva y Tasco, por el Sur con los municipios de Tópaga y Nobsa y por el Occidente con los municipios de Floresta y Busbanzá. Internamente Corrales está dividido en 5 veredas llamadas así: Vereda Modeca, vereda Corrales, vereda Didamon, vereda Buena Vista y vereda Reyes Patria; todas las veredas se encuentran comunicadas con la cabecera municipal por carreteables que son transitables.

Figura 1. División política del municipio de Corrales.

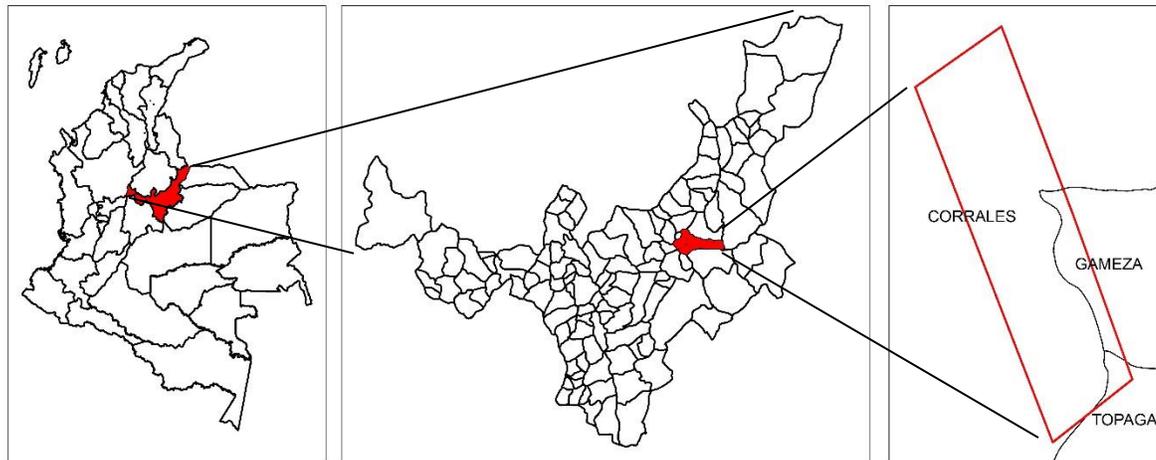


Fuente: Esquema de Ordenamiento territorial de Corrales

3.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL AREA DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra localizada al Sureste del municipio de Corrales en la vereda Modeca. Posee una extensión de 155 Ha con un perímetro de 6493 m² y una altura promedio de 2700 m.s.n.m.

Figura 2. Localización del área de estudio.



Fuente: Autores.

Topográficamente se ubica dentro de la plancha 172 correspondiente a la nomenclatura cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1: 10.000; el área en estudio corresponde a un polígono cerrado limitado por coordenadas de origen Bogotá:

Tabla 1. Coordenadas del polígono del área de estudio

PUNTO	COORDENADAS	
	NORTE	ESTE
1	1.136.747	1.134.702
2	1.137.297	1.135.090
3	1.138.130	1.132.831
4	1.137.623	1.132.428

Fuente: Autores.

Figura 3. Localización del área de estudio



Fuente: Google Earth.

3.3 VIAS DE ACCESO

La principal vía de acceso al área de estudio es por la carretera principal que de Sogamoso conduce hacia Corrales, se llega al sector conocido como “Vado Castro”, de ahí se avanzan 5.5 Km hasta llegar a Puente Reyes, antes de cruzar el puente al costado izquierdo de la vía se toma un carreteable que atraviesa el Río Chicamocha siguiendo el camino hacia el lado izquierdo se recorren 770 m aproximadamente para ingresar hasta las bocaminas de la mina Arizona.

Foto 3. Vía de acceso al área de estudio.



Fuente: Autores.

3.4 CLIMA Y VEGETACIÓN

El Municipio de Corrales posee un clima frío, correspondiendo a la zona de vida de Holdridge de bs-MB (Bosque seco- Montano Bajo) con una extensión de 59 Km², presenta una precipitación media anual de 726.6 mm. Siendo los meses más lluviosos de Abril, Mayo, Junio, Octubre y Noviembre y los más secos los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

La temperatura promedio es de 14°C, registrando los valores más altos hacia las riberas del río Chicamocha y los valores más bajos hacia los 2800 m.s.n.m. Las zonas de bosque seco montano bajo (bs-MB), presentan una vegetación escasa y de características xerofítica como se observa hacia la cuenca del río Chicamocha.

3.5 HIDROGRAFIA

El Municipio de Corrales se encuentra caracterizado por el recorrido que realiza en el sector oriental el río Chicamocha, siendo la principal arteria fluvial hacia la cual convergen una serie de quebradas temporales pequeñas, que la mayor parte del año permanecen secas y solamente en temporadas de lluvias, el agua recorre su cauce.

La quebrada de Malsitio que nace en límites con el municipio de Busbanzá, recorre el municipio con una dirección oeste-este, pasando por el casco urbano hasta su desembocadura en el río Chicamocha, se constituye en la subcuenca más importante a la cual convergen otras pequeñas quebradas de carácter temporal.

4.1.1 ESTRATIGRAFIA¹

En la región se encuentran rocas aflorantes que van del periodo Cretáceo Superior hasta el Cuaternario. El Cretáceo Superior está representado por las formaciones Ermitaño y Guaduas, el Terciario por las formaciones Guaduas, Socha Inferior, Socha Superior, Picacho y Concentración. El Cuaternario está representado por depósitos de tipo aluvial y coluvial.

4.1.1.1 Formación Guaduas (KPgg)

Definida de esta manera por Alvarado y Sarmiento 1994, como conjunto litológico de mantos de carbón explotables, similares a los de la columna estratigráfica tipo de la región Guaduas (Cundinamarca).

En la parte central del área de estudio aflora el miembro medio de la formación Guaduas, donde alcanza un espesor de 205 m con presencia de arcillolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas, con esporádicas intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises claras, amarillentas y rojizas por meteorización, cemento silíceo, matriz arcillosa, en capas delgadas y medias, con estratificación ondulosa no paralela; y forma sucesiones variables, cuyo espesor varía entre los 10 m y 50 m, dentro de esta sucesión se encuentran igualmente intercaladas siete capas de carbón con espesores que varían entre 1,8 m y 3,5 m.

Según REYES I. (1984), esta formación es un clásico depósito de facies parálicas, en lagunas de pantanos de gran extensión adyacentes a la línea de costa. Esta formación suprayace a la formación Ermitaño e infrayace a la formación Socha Inferior.

Según Ítalo Reyes la formación Guaduas está constituida por dos miembros. El inferior, compuesto casi exclusivamente de arcillolitas fisibles negruzcas, con esporádicas zonas arenosas, alcanza un espesor de 190 (Guaduas Estéril). Y el miembro superior que según la descripción aflora en la zona de estudio, consta de continuas alternancias de areniscas delgadas, arcillolitas y mantos de carbón, con un espesor total de aproximadamente 230m. Las areniscas afloran en estratos de 50 cm con marcas de oleaje y color rojizo. Los mantos de carbón de este miembro varían entre 8 a 10, de los cuales los explotables tienen espesores entre 1 y 3.5 m. Se trata de carbones bituminosos con contenido promedio de carbón fijo de 31% y un poder calorífico de 6,500 a 7,900 cal/g.

¹ REYES I. Estratigrafía de Boyacá

4.1.1.2 Formación Areniscas de Socha (Pgars)

ALVARADO Y SARMIENTO 1994, corresponde a una unidad de rocas aflorantes en la localidad de Socha Viejo en el departamento de Boyacá.

Según Reyes I. (1984), la existencia hacia la base de la formación de una serie de arcillolitas rojas abigarradas, alternantes con bancos de areniscas, la hacen asimilable con las facies continental del Terciario. Presenta esporádicas intercalaciones de arcillolitas de color gris a negro, con poco espesor generalmente no superiores a los 0,80 metros. El espesor de la formación varía entre los 100 y los 130 metros medidos en el sector Nor-Oriental de Tópaga, vereda San Juan Nepomuceno en el sector del Vado Castro.

La formación Socha Inferior está conformada por potentes bancos de arenisca de color amarillo –rojizo de grano fino a medio y en algunos sectores conglomerático de color blancuzco. Su estratificación preferencialmente es plana paralela, aunque en algunos sectores se puede observar una estratificación cruzada.

En la parte intermedia se encuentran areniscas amarillas de mejor selección y menor contenido de cuarzo, compactas de grano medio y algo conglomeráticas e intercaladas con arcillolitas.

En la parte superior aparecen areniscas amarillas compuestas de grano grueso a medio con niveles conglomeráticos. Su morfología típica es la de grandes escarpes.

El espesor promedio de la formación en la zona de estudio varía entre los 100 y 130 metros, medidos en el sector Sur-Este del municipio de Corrales. Donde forma un gran escarpe que presenta caídas de rocas. Aflora también en la vereda San Juan Nepomuceno en el sector del Vado Castro. Su rumbo predominante es NE.

El origen de esta formación se relaciona posiblemente con facies de estuario con algunos episodios lagunares. Determinando que corresponde a la edad del Paleoceno, la formación Socha Inferior suprayace de forma concordante a la formación Guaduas e infrayace a la formación Socha Superior.

4.1.1.3 Formación Arcillas de Socha (Pgas)

ALVARADO Y SARMIENTO 1994, predominan las arcillolitas arenosas de color oscuro sobre las intercalaciones de areniscas.

La secuencia estratigráfica está constituida principalmente por arcillolitas y limolitas poco compactas de color gris a gris verdoso en bancos de hasta 19 metros, con intercalaciones de bancos de areniscas compactas grises a amarillas de grano fino a muy fino. Algunos bancos presentan ichnofósiles y ondulitas de corriente. Hacia

la base aparece un nivel con delgadas cintas de carbón, se encuentran niveles de lignito con espesores de 0,3 a 0,5 metros, esto hace pensar que esta formación se comportó como una laguna en donde había acumulación de material vegetal. La parte media está conformada por arcillolitas verdosas superpuestas a un nivel de areniscas de grano medio hacia la parte superior las arcillolitas presentan yeso de origen secundario, atribuido a un origen continental. El espesor promedio de esta formación ha sido calculado entre los 250 y 300 metros.

Localmente aflora en el sector Vado Castro en donde forma una depresión al encontrarse en contacto concordante con las formaciones Socha inferior y Picacho. Esta formación suprayace a la formación Socha Inferior e infrayace a la formación Picacho. Se caracteriza por presentar un predominio de arcillolitas arenosas de color oscuro sobre las intercalaciones de areniscas.

4.1.1.4 Formación Picacho (Pgp)

ALVARADO Y SARMIENTO 1944, arenisca que forma el cerro de El Picacho, en el alto del Portillo al NE de Paz de Rio en el departamento de Boyacá

Conformada por areniscas fiabes de grano grueso y color blanco, predominante hacia la base. En su parte intermedia, las areniscas tienden a ser conglomeráticas y de color rojizo, presentan estratificación cruzada, finalmente se encuentran una serie de arcillolitas. El principal afloramiento se encuentra en el sitio denominado Peña Blanca. Según Van Der Hammen 11975, del Eoceno Inferior con origen continental en un ambiente posiblemente deltaico de gran extensión lateral.

Aflora en la parte occidental del municipio en la vereda San Juan Nepomuceno sector Vado Castro en donde se explota para material de construcción, tiene orientación NE y hacia la parte sur se encuentra en contacto fallado con la formación Guaduas.

También aflora en la finca de los Granados, en cerro Culatas y hacia el sector de Puente Cajones a lo largo del Rio Chicamocha, tiene un espesor de 150 m aproximadamente con buzamiento casi vertical.

La Formación Picacho yace concordante a la Formación Socha Superior e infrayace concordante a la Formación Concentración.

4.1.1.5 Formación Concentración (Pgc)

ALVARADO Y SARMIENTO 1944, secuencia litológica encontrada sobre el río Soapaga entre el puente de El Uvo y la población de Concentración, a 8 Km al oeste

de Paz de Rio. Se caracteriza por presentar arcillolitas amarillentas con venas y concreciones de óxido de hierro.

Aflora en la vereda San Juan Nepomuceno sector Vado Castro, como intercalaciones de arcillolitas y areniscas a lo largo de su sección.

La parte inferior de la formación esta esencialmente compuesta por arcillolitas grises oscuras, habanas y amarillas, algunas zonas arenosas y pequeñas bandas de yeso. Presenta ocasionales intercalaciones de arenisca bien compacta, de tonalidades parda y blanca de grano medio a fino, la base de la formación presenta un nivel de arenisca ferruginosa muy compacta de 80 cm de espesor que reposa sobre una arenisca parda de grano medio a fino, este nivel ferruginoso es de gran continuidad regional. En su parte superior está constituida por secuencias de arcillolitas blancas, abanas y grises que se intercalan con areniscas blancas de grano grueso a fino, compactas, que presenta niveles conglomeráticos y una secuencia potente de arcillolitas fisibles. Esta formación se encuentra de manera concordante sobre las areniscas de la formación Picacho y de forma discordante con el cuaternario fluvio – lacustre.

4.1.1.6 Cuaternario (Q)

Comprende materiales de origen coluvial, coluvio glaciar, aluvial antiguo, fluvio lacustre, glaciar, aluvial reciente, suelos de alteración y mixtos, se encuentran discordantemente sobre las rocas de las formaciones infrayacentes y constituyen las áreas donde se concentran las principales actividades humanas.

Los principales depósitos presentes en el área son de tipo coluvial y aluvial.

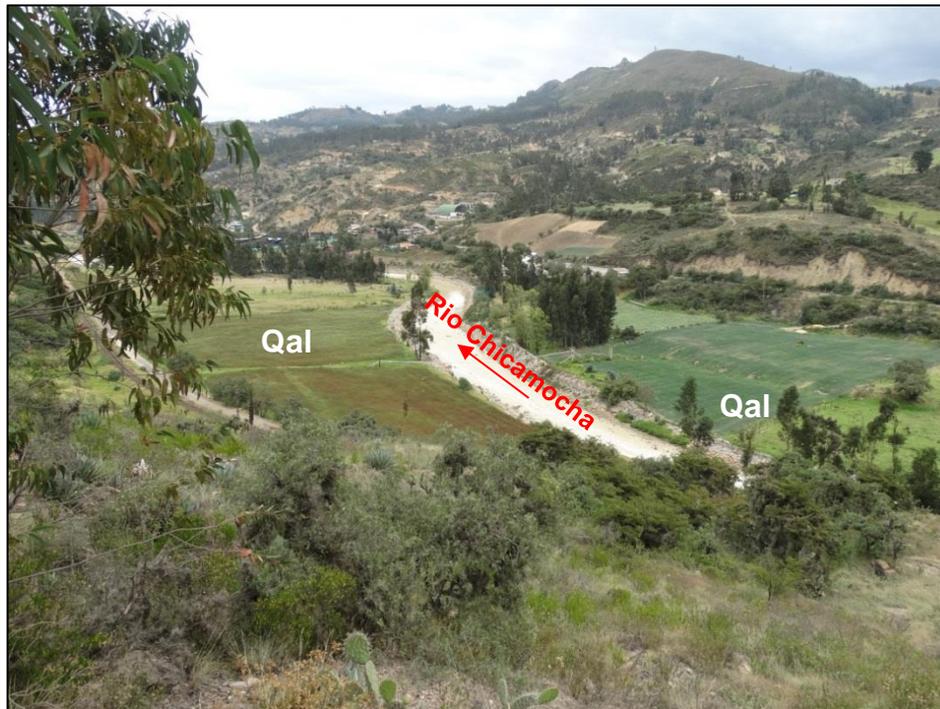
- Cuaternario Aluvial (Qal)

Constituido por depósitos recientes del río Chicamocha, representado por la terraza que aflora hacia el sector occidental del parque principal de Corrales y al margen izquierdo del río Chicamocha (Colegio Nacionalizado), compuesta por conglomerados heterogéneos, poco cementado, con fragmentados bien redondeados de arenisca con algunas concreciones de óxidos de hierro, los tamaños de los fragmentos de conglomerados oscilan entre 5 y 50 cm de diámetro, embebidos en una matriz arenosa de grano fino. Sobre el margen izquierdo del río Chicamocha, se observa claramente el contacto discordante de la Formación Concentración con los materiales de la terraza aluvial (discordancia angular). Los depósitos cuaternarios de este tipo se encuentran conformando las zonas planas a lo largo del río Chicamocha y pequeños valles como el de la Quebrada Malsitio.

- Cuaternario Coluvial (Qc)

Se presenta en las laderas y sobre las principales fallas que se localizan en la región de estudio y asociados generalmente a la actividad de estas fallas.

Foto 4. Cuaternario Aluvial.



Fuente: los autores

4.1.2 TECTONICA REGIONAL²

La falla de Soapaga representa un límite tectónico y geomorfológico de gran importancia para la geología estructural de la región. Esta gran falla separa dos regiones con estilo morfo estructural muy diferente y es evidente su influencia en las facies de los depósitos sedimentarios por lo menos durante todo el terciario. De igual manera, la falla de Gámeza, es uno de los principales sistemas de fallas normales en este sector, que afecta localmente el área de estudio. Esta falla se puede observar sobre la margen izquierda del río Gámeza con una inclinación no superior a 40° hacia el SE; presenta un desplazamiento vertical de aproximadamente 250 m. Disloca las Areniscas de Socha y la formación Guaduas por encima de la formación Socha superior. Influyendo de tal manera en la gran variabilidad tectónica de la región.

²Esquema de Ordenamiento Territorial de Corrales

La deformación de la serie sedimentaria es una combinación de pliegues y fallas, conservando los mayores plegamientos la orientación SW – NE, que es la directriz tectónica normal de la cordillera en el departamento de Boyacá.

Estos plegamientos están dislocados por numerosas fallas, en sistemas con orientación variables. En general, las fallas inversas longitudinales acompañan los anticlinales y se localizan preferentemente sobre un flanco. Las fallas transversales dislocan los pliegues en sentido diagonal al rumbo de los ejes, como es posible observar en el corte natural sobre las laderas del río Chicamocha.

Regionalmente el área de estudio se encuentra ubicada en el flanco occidental del Anticlinal de San Antonio, el cual es un pliegue estrecho simétrico, cuyo eje tiene una dirección NNE-SSW, y es truncado tanto al norte como al sur por fallas y se sitúa al oriente del Sinclinal de Betétiva. Su extensión no supera los 20 km.³

4.1.3 GEOMORFOLOGIA REGIONAL³

Para lograr determinar las unidades geomorfológicas, se tuvo en cuenta la composición de las rocas, la pendiente del terreno y los fenómenos morfodinámicos. La región corresponde a una zona de “laderas medias de montaña” con alturas promedio entre 2400 y 3000 m.s.n.m., el relieve se presenta desde zonas planas formadas por el río Chicamocha hasta las zonas escarpadas correspondientes a las rocas de mayor resistencia a la erosión; también se presentan zonas onduladas con gran influencia de la erosión sobre el modelado del paisaje.

El municipio de Corrales se encuentran aflorando formaciones rocosas duras como es el caso de Socha inferior, Picacho y Une y una parte del Ermitaño; las cuales marcan los principales escarpes que se observan al costado del río Chicamocha, contrastando las geoformas ligeramente onduladas de las formaciones blandas como el Guaduas, Socha Superior y Concentración.

Los depósitos cuaternarios representan otras geoformas que cubren las laderas de las principales micro cuencas por debajo de los escarpes rocosos, los cuales tienen una gran vulnerabilidad a presentar fenómenos de deslizamientos y remoción en masa ante la presencia de eventos detonantes como las precipitaciones fuertes y los sismos o terremotos. También podemos observar depósitos cuaternarios de origen aluvial en forma de terrazas a lo largo del río Chicamocha.

³Esquema de Ordenamiento Territorial de Corrales

Las formaciones blandas presentan erosión laminar, erosión en surcos y erosión en cárcavas, como se puede observar en las formaciones Guaduas, Socha Superior y Concentración. Este fenómeno se presenta debido a la escasa vegetación en la zona (arbustiva y xerofítica), ocasionando la degradación del suelo por efecto de las aguas de escorrentía y del elemento aire.

Las diferentes geoformas presentes en la zona son producto de la acción de los agentes erosivos y agentes geomorfológicos así como por efectos de procesos de sedimentación, íntimamente ligados con la litología y los eventos tectónicos.

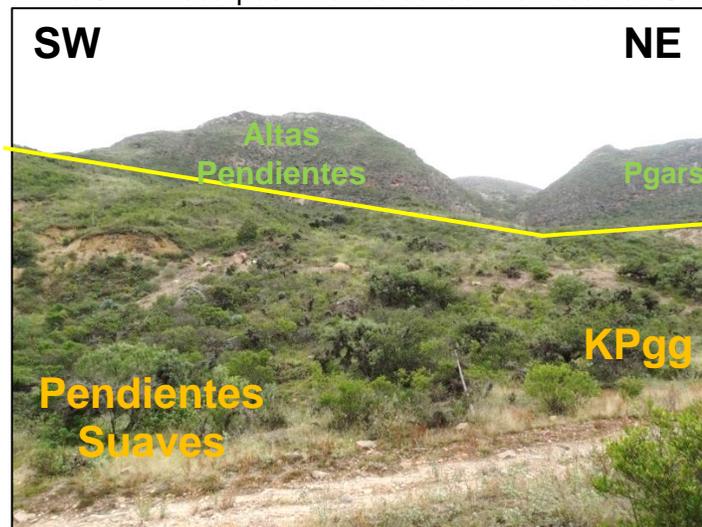
La principal red de drenaje la constituye el río Chicamocha que recorre la zona en dirección sur-norte aproximadamente. Las quebradas presentan cañones profundos causados por corrientes en materiales que se erosionan con facilidad como las arcillas y los depósitos cuaternarios.

Caracterización Geomorfológica del municipio de Corrales:

Para lograr determinar las unidades geomorfológicas, se tuvo en cuenta la composición de las rocas, la pendiente del terreno y los fenómenos Morfodinámicos. El orden a seguir en la descripción geomorfológica es el siguiente:

Unidad Geomorfológica I: Esta unidad resalta por formar pendientes fuertes (>55%) y escarpes predominantes y destacados y formar colinas empinadas fácilmente diferenciales. El drenaje presente es una red dendrítica de paralelo a subparalelo. Este tipo de geomorfología es típico de las formaciones arenosas y duras como son Ermitaño, Areniscas de Socha y Picacho.

Foto 5. Escarpes Fuertes de las Areniscas de Socha.



Coordenadas: N=1137206 E=1133893 A=2650 m.s.n.m

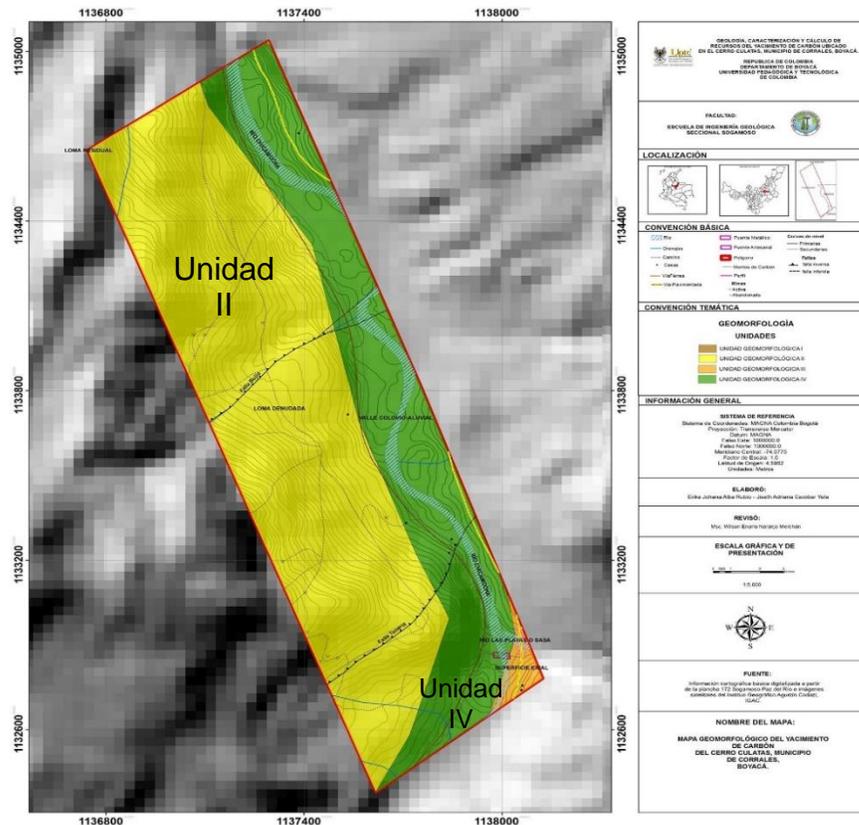
Fuente: los autores

Unidad geomorfológica II: esta unidad se caracteriza por presentar una geomorfología suave, ondulada debido al predominio de materiales arcillosos en su constitución. Presentar un drenaje de dendrítico o subdendrítico. En esta unidad se pueden observar con más facilidad todos los procesos erosivos en aquellos lugares donde la vegetación es inexistente, identificándose con facilidad canales y cárcavas. Esta geofomas son típicas de las formaciones Areniscas de Socha, Guaduas, Girón, Tibasosa, Belencito y Une.

Unidad geomorfológica III: morfológicamente está representada por una serie de lomas de baja altura, redondeadas en las partes donde las arcillas se encuentran interstratificadas con niveles duros de areniscas. El drenaje es dendrítico denso; su permeabilidad baja y su vegetación escasa obliga a las aguas de escorrentía a buscar caminos variados lo que origina erosión tanto laminar como en canales que se aprecian con facilidad en la zona estudiada.

Unidad geomorfológica IV: esta unidad corresponde a los depósitos cuaternarios que el río Chicamocha ha originado durante las diferentes etapas de su evolución, depositando materiales y originando una morfología típica, tales como terrazas y depósitos fluviales fácilmente identificables.

Figura 5. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.



Fuente: los autores

4.2 GEOLOGIA LOCAL

En el área de estudio se realizó un estudio de la geología de yacimiento, donde se encontraron las formaciones que se describen a continuación: (Ver Anexo 1)

4.2.1 ESTRATIGRAFIA

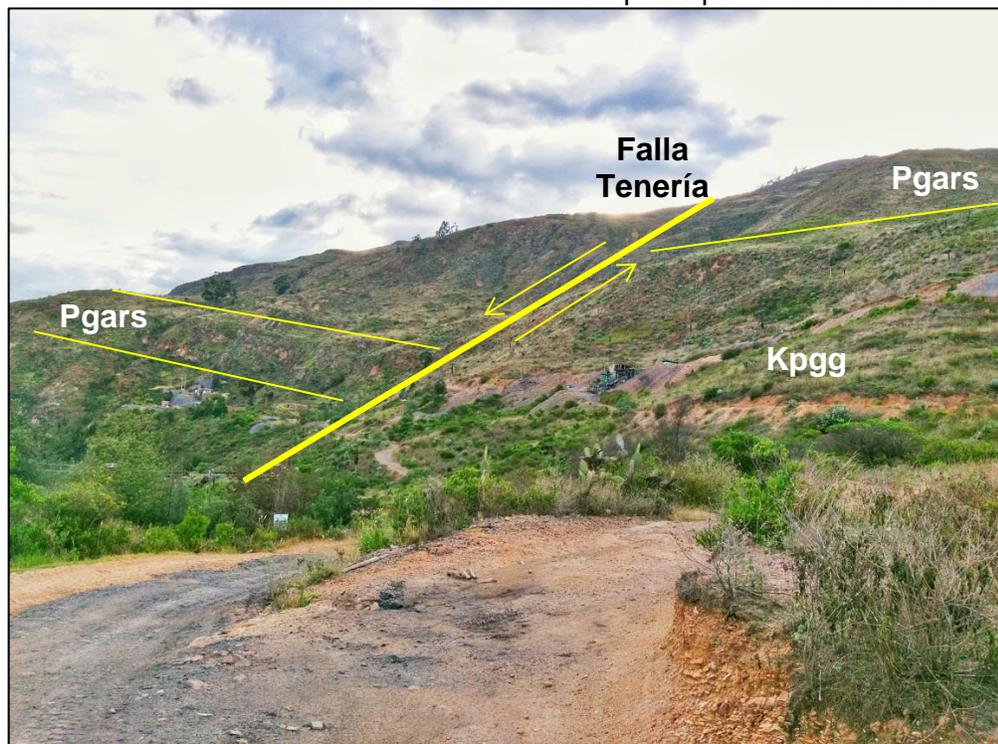
Arcillas de Socha (Pgas)

Se encuentra localizada en las partes topográficamente más altas, aunque en la zona SW del área de estudio debido a la presencia de la falla Tenería de tipo transpresivo, se pone en contacto con la formación Guaduas al nivel del río Chicamocha. Está constituida por una serie de arcillolitas abigarradas con intercalaciones de areniscas de poco espesor.

Areniscas de Socha (Pgars)

En el área de estudio afloran rocas de esta formación constituidas por grandes paquetes de areniscas cuarzosas compactas de color amarillo-ocre, de grano de tamaño variable y estratificación cruzada. Es fácilmente reconocible por sus características de escarpes y relieves fuertes que se aprecian en la zona de estudio.

Foto 6. Areniscas de Socha interrumpidas por la falla Tenería.



Fuente: los autores.

Guaduas (Kpgg)

La formación Guaduas es la principal formación de interés, ya que corresponde a la formación portadora de los mantos de carbón económicamente explotables en la región, para el área de interés del presente estudio encontramos siete mantos de carbón de los cuales cinco se encuentran en explotación actualmente.

En el área de estudio esta formación puede observarse a lo largo de la parte central, y se encuentra afectada por dos fallas: falla El Bujío y falla Tenería que tienen una dirección predominante de NE-SW.

En el área de estudio la formación Guaduas consta, en sus parte media, de lodolitas grises con fragmentos de materia orgánica, destacándose la presencia de siete mantos de carbón con espesores que varían entre 1,8 y 3,5 m, dichos mantos se encuentran interestratificados hacia la parte superior e inferior con arenitas y cuarzoarenitas, el tamaño de grano varia de fino a grueso, en algunos niveles se presentan lentes de grava, la parte superior presenta cuarzoarenitas con nódulos de limolitas, finamente hacia el tope de la formación se presentan arcillolitas de color gris, en algunos casos presenta coloraciones rojizas por meteorización. Hacia el extremo suroriental de la zona de estudio se presenta una falla (Falla Tenería) asociada a la falla de Gámeza, que presenta un comportamiento transpresivo.

Foto 7. Arcillas interestratificadas con mantos de carbón.



Descripción: afloramiento del Manto D sobre el carreteable.
Coordenadas: N= 1137733, E = 1133129 Altura: 2530 m.s.n.m.

Fuente: los autores.

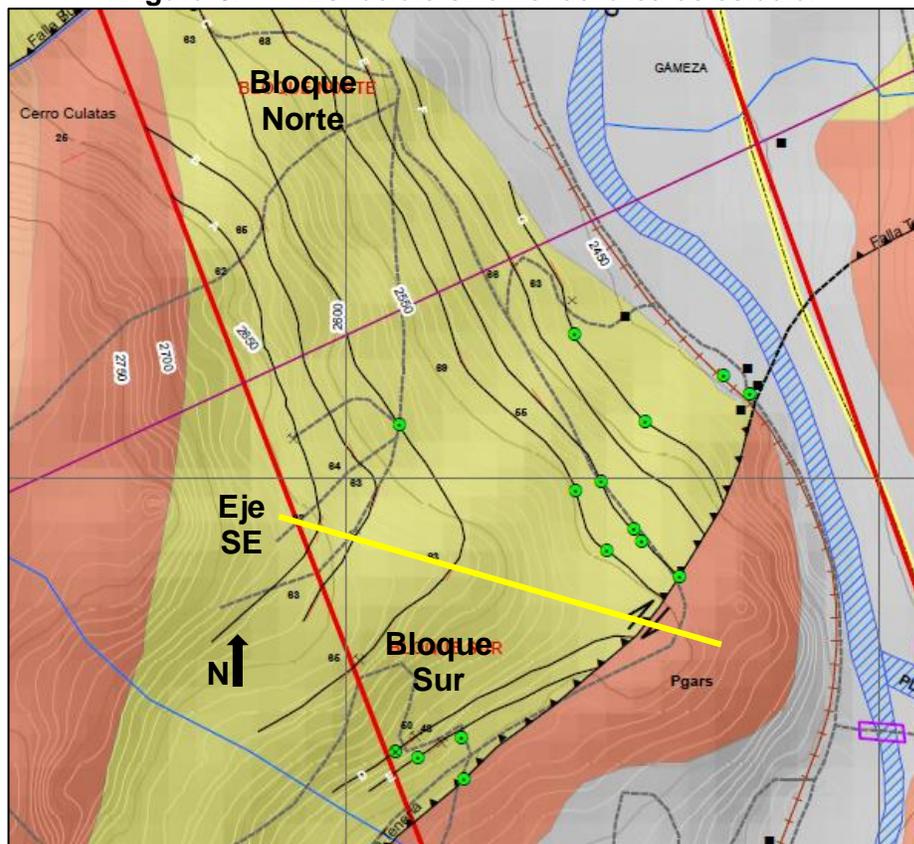
Según el seguimiento a los estratos de interés se encontró una estructura sinclinal cuyo eje tiene una dirección general SE – NW, en su flanco sur los estratos presentan un rumbo S45W buzando 65° NW, el flanco norte presenta un rumbo general N28°W con buzamiento 65°SW. El extremo norte de la estructura se encuentra limitado por una falla transpresiva (Falla el Bujío) con una dirección NE-SW, que pone en contacto la Formación Guaduas en sus miembros Superior y Medio con el miembro Inferior de la misma. Ver Figura 6.

Basados en la columna estratigráfica realizada sobre cortes de los carreteables donde se realizó un seguimiento de los mantos de carbón, a lo largo del área de estudio, se identificaron siete mantos de los cuales cinco actualmente están siendo explotados en las bocaminas que se encuentran activas. Ver Figura 7.

El yacimiento se ha dividido en dos bloques de desarrollo. El bloque Norte se localiza al norte del sinclinal y el Bloque Sur se localiza al sur del sinclinal. Cada uno de los flancos del sinclinal se desarrolla por separado.

El Bloque Norte cuenta con siete mantos G, F, E, D, C, B y A y el Bloque Sur cuenta con seis mantos F, E, D, C, B y A que se describen a detalle a continuación.

Figura 6. Estructura sinclinal del área de estudio.



Fuente: los autores.

4.3 BLOQUE NORTE

Para desarrollar los mantos existentes en el Bloque Norte se planteó organizar estos grupos de explotación, considerando la localización estratigráfica y topográfica y, se determinaron tres grupos:

- Grupo Inferior (GI): Manto F Y Manto G
- Grupo Intermedio (Gin): Manto E y Manto D
- Grupo Superior (GS): Manto C, B y A

Las labores de explotación se adelantan en los mantos A, B, C, D y E, de exploración en los mantos F y el G no se desarrolla debido a su cercanía con el cauce del río Chicamocha.

Manto F: tiene un espesor de 3,5 m y las labores actuales se concentran en dicho manto, localizado de techo a piso, en el último de los mantos a explotar. Suprayace al Manto G a una distancia estratigráfica de 20 m. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo N25°W y un buzamiento de 65°SW.

Manto E: tiene un espesor de 2 m y se localiza de techo a piso, encima del manto F a una distancia estratigráfica de 30 m, separados por un manto de lutitas grises. Este manto se desarrolla conjuntamente con el Manto D. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo N27°W y un buzamiento de 65°SW.

Manto D: tiene un espesor de 2m y se localiza de techo a piso, encima del manto E. Suprayaciendo al Manto E a una distancia estratigráfica de 15 m y separados por arcillas interestratificadas con areniscas de poco espesor. Este manto se desarrolla conjuntamente con el Manto E. Tiene un rumbo N28°W y un buzamiento de 65°SW.

Manto C: tiene un espesor de 2 m y se localiza de techo a piso. Suprayace al manto D a una distancia estratigráfica de 50 m. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo N29°W y un buzamiento de 65°SW.

Manto B: tiene un espesor de 2,5 m y suprayace al manto C a una distancia estratigráfica de 20 m. Tiene un buzamiento de 65°SW. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo N28°W.

Manto A: tiene un espesor de 1,8 m suprayace al manto B a una distancia estratigráfica de 15 m, separados por arcillas grises con coloraciones rojizas como consecuencia de la meteorización. Tiene un buzamiento de 65°SW. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo N25°W.

4.4 BLOQUE SUR

Para desarrollar los mantos existentes en el Bloque Sur también se planteó organizar estos por grupos de explotación, considerando la localización estratigráfica y topográfica y, se determinaron dos grupos:

- Grupo inferior (GI): Manto E, Manto D y Manto C
- Grupo Superior (GS): Manto B y Manto A

Las labores se adelantaron en los mantos D y C, el manto E no se desarrolla debido a su cercanía con el cauce del río Chicamocha,

Manto A: en este flanco del sinclinal el Manto A tiene un espesor de 1,8 m y se localiza de techo a piso, suprayaciendo al Manto B. Este manto se desarrolla conjuntamente con el Manto B. Este manto se desarrolla independiente de los demás mantos. Tiene un rumbo S45°W y un buzamiento de 65°NW.

Manto B: tiene un espesor de 2,5 m y se localiza de techo a piso, encima del Manto C y suprayaciendo al Manto A. Este manto se desarrolla conjuntamente con el Manto A. Tiene un rumbo S48°W y un buzamiento de 65°NW.

Manto C: tiene un espesor de 2 m y se localiza de techo a piso, encima del Manto D y suprayaciendo al Manto B. Este manto se desarrolla conjuntamente con los Mantos D y E. Tiene un rumbo S43°W y un buzamiento de 65°NW.

Manto D: tiene un espesor de 2 m y se localiza de techo a piso, encima del Manto E subyaciendo al manto C. Este manto se desarrolla conjuntamente con los Mantos C y E. Tiene un rumbo S45°W y un buzamiento de 65°NW. Este manto de carbón tiene intercalaciones de cuarzoarenitas con nódulos limolíticos denominada Arenisca lajosa.

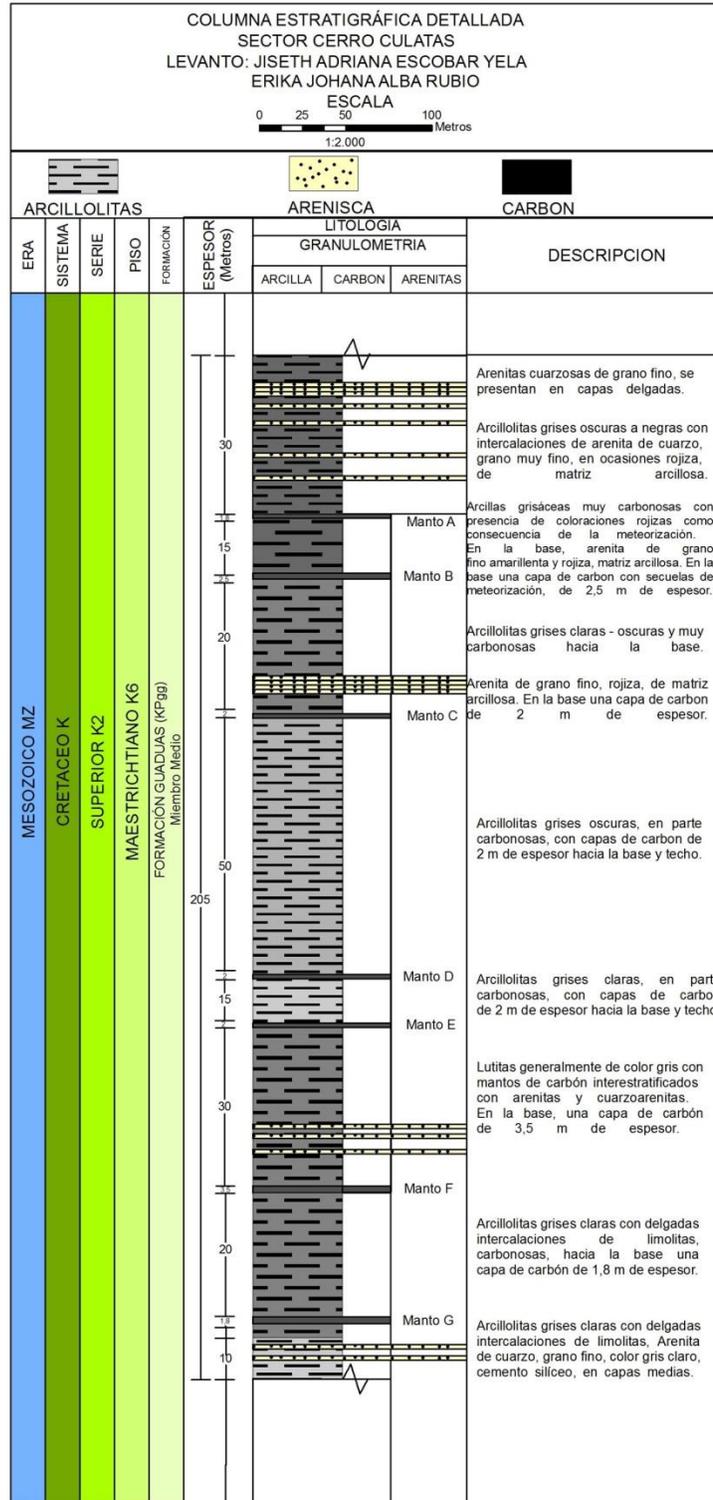
Manto E: tiene un espesor de 2 m y se localiza de techo a piso encima del Manto F y subyaciendo al Manto D. Este manto se desarrolla conjuntamente con los Mantos C y D. Tiene un rumbo S46°W y un buzamiento de 65°NW.

- **Columna estratigráfica**

Se realizó el levantamiento de la columna estratigráfica, correlacionando la litología encontrada en el área de estudio con las columnas de la formación Guaduas realizadas por el INGEOMINAS para la plancha 172 y con la columna realizada por Ítalo Reyes. Allí determinamos que por las características litológicas, en la zona de estudio aflora el miembro medio de la formación Guaduas.

La columna se realizó en el bloque norte del sinclinal, ya que las distancias de entre los mantos son más grandes en comparación con el bloque sur.

Figura 7. Columna estratigráfica



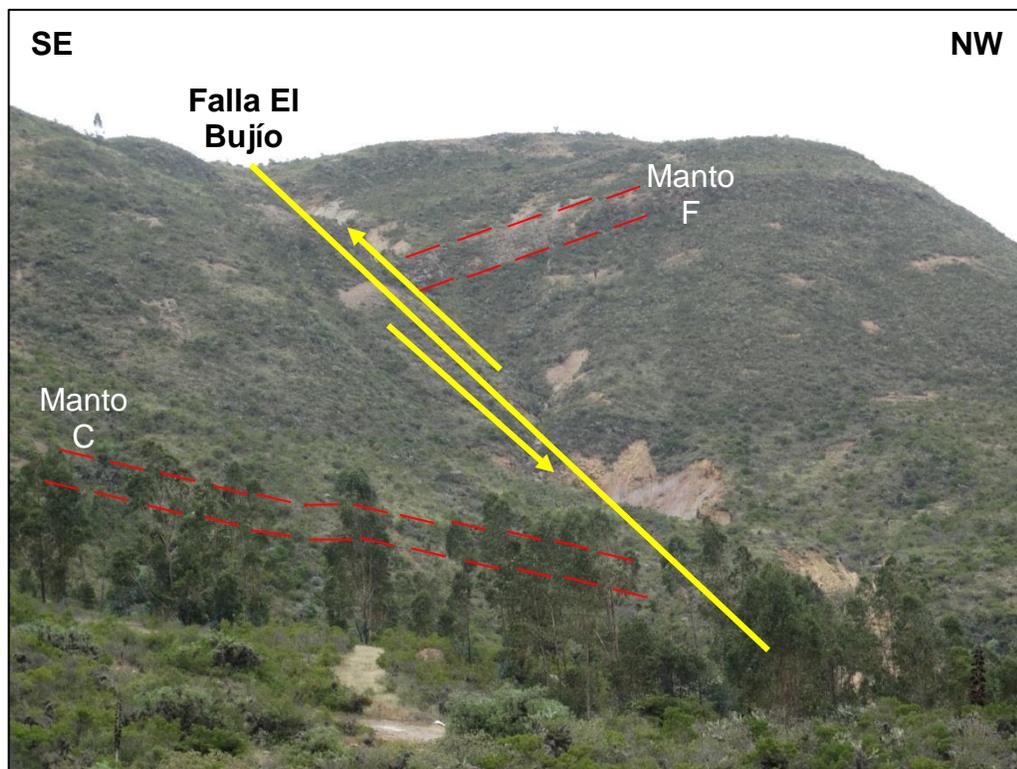
Fuente: los autores

4.4.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área se encuentra enmarcada dentro del complejo tectónico de la cordillera oriental de Colombia, sobre la cual se formaron diferentes estructuras afectadas y producidas por fallas que ponen en contacto a formaciones de diferente edad geológica.

4.4.1.1 Fallas

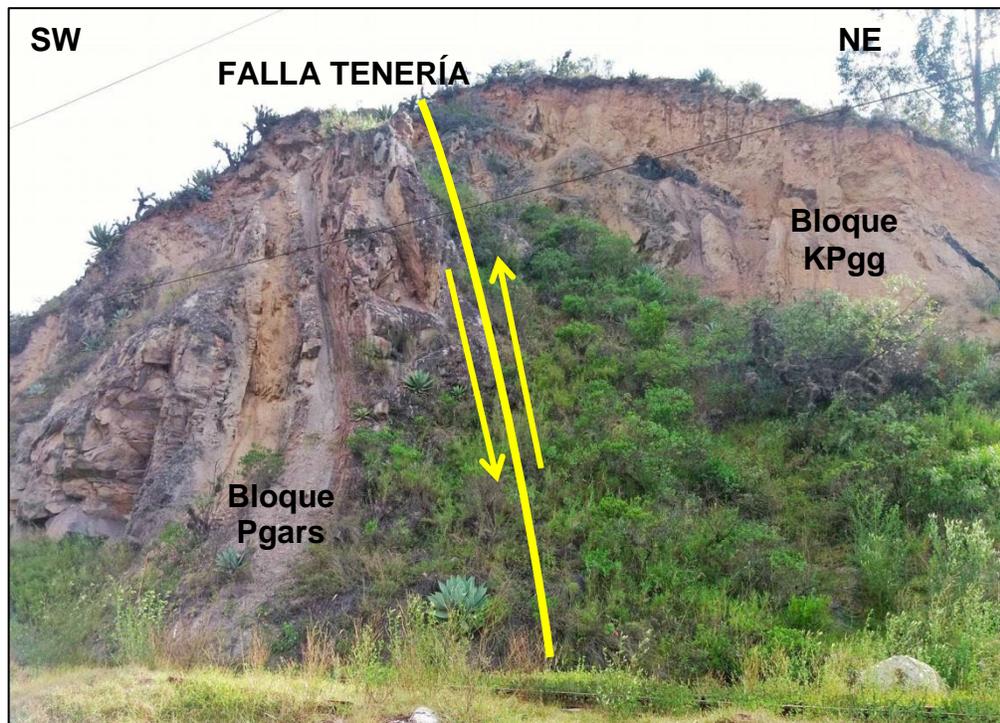
Falla El Bujío falla regional de tipo transpresivo que atraviesa la zona con una dirección NE-SW, a lo largo de su trayecto afecta la formación Guaduas evidenciando por desorden de estructuras en el sector centro. Hacia el sector noreste coloca en contacto rocas de las formación Guaduas con rocas de la formación Socha Inferior, levantando el bloque NW con respecto al bloque SE; presenta un salto de falla de aproximadamente 210 metros. Esta falla es de gran importancia ya que es la que divide los bloques carboníferos de Reyes Patria y Potosí- Tenería.



Fuente: los autores

Falla Tenería estructura de tipo regional que se localiza en el sureste del área, sigue el curso de la quebrada del mismo nombre. Esta falla es de tipo transpresiva y afecta rocas de las formaciones Guaduas, Areniscas y Arcillas de Socha; es la limitante en el sector sur de la continuidad de los carbones. En la zona de estudio presenta una dirección NE-SW y pone en contacto la formación Guaduas con las rocas de la formación Areniscas de Socha a nivel del río Chicamocho.

Foto Evidencia de la Falla Tenería.



Coordenadas: N=1137855 S=1133294 A=2363

Fuente: los autores

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES

5.1 PARAMETROS DE CALIDAD Y CLASIFICACION DE LOS CARBONES

Las muestras recolectadas y referenciadas en campo se trasladaron al laboratorio de carbones de UPTC seccional Sogamoso, se prepararon en sus respectivas etapas de acuerdo a la metodología realizada en INGEOMINAS con base en el “Método Estándar de la Preparación de Carbón para Análisis” (Norma D2013-86 de la ASTM).

Allí se determina el rango y tipo de carbón mediante el análisis de las siguientes variables:

Humedad residual: (A.S.T.M. -3173) localizada en el interior de los poros y capilares, retenidas por fuerzas de absorción y condensación capilar.

Es insensible a las condiciones atmosféricas se consideran una característica básica del carbón relacionada con el Rango, después de la remoción de esta humedad el carbón está en estado “seco”.

La humedad residual depende de las condiciones atmosféricas del laboratorio (temperatura, presión, humedad relativa) por lo tanto, los resultados no son iguales en los laboratorios, especialmente en muestras de carbón con un alto contenido de humedad de equilibrio.

Determinación:

$$\% Hr = [(m_2 - m_3) / (m_1 - m_2)] \times 100$$

Dónde:

Hr = Humedad residual

m_2 = Peso de crisol más la muestra

m_3 = Peso del crisol más el residuo

m_1 = Peso del crisol

Contenido de Cenizas: las cenizas de un carbón son el producto de la combustión, cuando el carbón es quemado en condiciones rígidamente controladas de temperatura, tiempo y atmosfera, es decir, un residuo de la calcinación a 750° C (ASTM) ó 815°(ISO) de minerales y sales existentes en el carbón. La cantidad de cenizas de un carbón es una medida para la cantidad de minerales que contiene, pero el porcentaje de cenizas de un carbón no es igual al porcentaje de minerales del mismo.

En esta combustión desaparece la materia orgánica y la materia mineral sufre transformaciones:

- Perdida de H₂O de combustión de los silicatos
- Descomposición de carbonatos
- Oxidación de sulfatos

A partir de las cenizas se dan valores para las materias minerales de las siguientes formulas:

- $Mm = 1.08 \text{ czs} + 0.56 \text{ ST}$
- $Mn = 1.09 * \% \text{ czs}$

Materia Volátil: porcentaje en producto como gas y vapor presente en el carbón y diferentes de la humedad. A medida que el carbón se calienta, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Los constituyentes gaseosos son principalmente agua, hidrogeno, metano, amoniac, benceno, tolueno, naftaleno y vapores de alquitranes.

Las materias volátiles son un parámetro fundamental en la clasificación ya que sirve para:

- Estimar la producción de coque y subproductos
- Seccionar carbones en la mezcla de coquización
- Escoger adecuadamente los equipos de combustión

El rango del carbón está relacionado con el contenido de materias volátiles en una proporción inversa.

Lignitos > 45% de MV

Subbituminosos 40- 45% de MV

Bituminoso 15-40%

Semiantracita 14-20 %

Antracita <14%

Carbono fijo: residuo sólido diferente a las cenizas, humedad y materia volátil obtenido por destilación destructiva del carbón y determinado mediante procesos prescritos. Además del carbono incluye también, H, O, S y N.

El contenido de carbono fijo se establece por diferencia después de la determinación de humedad, cenizas y materia volátil en la muestra.

Poder calorífico: cantidad de calor obtenible del carbón en calorías / gramo. Se agrupa dentro de las propiedades termoquímicas del carbón; y su objetivo es obtener la energía potencial presente en el mineral en forma de carbón combustión.

Su determinación es importante porque:

- Es la determinación más importante hecha para carbones términos.

- Su valor es determinable al momento de la clasificación.

Azufre total: cantidad de azufre en porcentaje retenido, ya sea piritita, azufre orgánico o en sulfatos. Es una impureza problemática y preocupante; la segunda después de las cenizas. El límite propuesto por la Environmental Protection Agency EPA para la consideración de carbones altos en azufre es de 1.2 lb de SO₂ por millón de BTU generado. Según esta agencia, carbones con S > 1% son altos contenidos y con S < 1% son bajos contenidos de S.

Es necesario conocer el porcentaje de azufre de un carbón porque:

- Puede formar compuestos corrosivos en calderas, dando lugar a los fenómenos de fauling (deposición) y slagging (encomstramiento).
- Originan gases venenosos que contaminan el ambiente.
- Se requiere para definir los procesos de limpieza en carbones altos en azufre.

Poder calorífico cantidad de calor obtenible del carbón en calorías / gramo. Se agrupa dentro de las propiedades termoquímicas del carbón; y su objetivo es obtener la energía potencial presente en el mineral en forma de carbón combustión.

Su determinación es importante porque:

- Es la determinación más importante hecha para carbones térmicos.
- Su valor es determinante al momento de la clasificación.

Índice de Hinchamiento: número que define por referencia a una serie de perfiles patrones, la magnitud y forma del residuo producido, cuando una masa de carbón se calienta en condiciones normalizadas, de forma que el carbón pueda expandirse libremente en dirección perpendicular a la superficie de calentamiento. Sirve para conocer las propiedades de aglutinamiento.

5.2 MUESTREO DE LOS CARBONES

El muestreo que se llevó a cabo siguiendo las normas establecidas por la American Estándar For Testing and Materials (A.S.T.M).

Se recolectaron 6 muestras en campo de los frentes de explotación de cada una de las minas. Cada una de las muestras recolectadas consta aproximadamente de 11 kg de peso y fueron lo más representativas posibles.

En cada manto se llevó a cabo el muestreo siguiendo el sistema de canal. Inicialmente se deben determinar los sitios donde van hacer extraídas las muestras. Dichos sitios deben cumplir con una serie de características importantes de tipo geológico que van a definir la calidad de la muestra; estos sitios no deben estar en

zonas que hayan sufrido fenómenos de tectonismo como fallamientos, acuñamientos, diaclasamiento.

Una vez definido el sitio se precede a la obtención de la muestra. Se coloca en el piso, limpiando previamente para evitar la incorporación de elementos extraños o de impurezas que alteren la muestra. Esta muestra será recolectada en un plástico que ayudará a aislarla de la humedad propia del piso.

La muestra se obtiene mediante la elaboración de un canal perpendicular a la estratificación de techo a piso. El corte del canal debe ser lo más uniforme y continuo posible. La superficie a muestrear se debe limpiar ya que el carbón debido a sus características puede fácilmente ser afectado por agentes oxidantes y contaminantes que en un momento determinado va a alterar su composición.

El canal debe tener las siguientes dimensiones: 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad; inicialmente se recomienda cavar en la parte intermedia del canal otro canal de 18 cm de ancho y 6 cm de profundidad, cabe anotar que en carbones blandos el ancho debe ser de 12 cm con una profundidad de 9 cm. Se deben coleccionar muestras cada 20 o 30 cm de techo a piso. Como se mencionó anteriormente, debido a que un manto puede cambiar su composición fisicoquímica, es recomendable tomar muestras de varios puntos, distribuidos de forma uniforme de acuerdo a la extensión que pueda presentar el manto.

Para realizar el muestreo de carbón este debe contar con un espesor mínimo de 60 cm, tomando las precauciones con las intercalaciones presentes y los mantos que se encuentran en forma consecutiva, de acuerdo a las normas establecidas por la A.S.T.M. Cuando el muestreo es llevado en una mina se debe extraer directamente del frente de explotación.

Una vez extraída la muestra, se prosigue con la realización de un cuarteo dentro de la mina, garantizando de esta forma la no pérdida de la humedad de la muestra; este procedimiento se repite varias veces mezclando y cuarteando la muestra hasta obtener un volumen aproximado de 20 kg. El cual es representativo del manto en su totalidad. La muestra se debe recoger con precaución, evitando así su pérdida.

Posteriormente la muestra es depositada en bolsas de 25 x 40 cm y 0,15 mm de grosor, sellada e identificada plenamente con una etiqueta donde va registrado el nombre de la mina. En estas condiciones la muestra está lista para ser llevada al laboratorio.

5.3 ANALISIS Y RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL CARBON

Tabla 2. Relación de las muestras tomadas en el área de estudio

MANTO	ESPESOR	BOCAMINA	COORDENADAS		OBSERVACIONES
			X	Y	
A	1,80	SAN PEDRO	1137249	1133015	Muestreo en canal.
B	2,50	SAN PEDRO	1137249	1133015	Muestreo en canal.
C	2,00	MINA LA FLORESTA	1 137 445	1 132 776	Muestreo en canal.
D	2,00	SAN ISIDRO	1 137 468	1 132 810	Muestreo en canal.
E	2,00	LAS ACACIAS	1137194	1134004	Muestreo en canal.
F	3,50	LAS ACACIAS	1137194	1134004	Muestreo en canal.

Fuente: Datos de estudio.

Tabla 3. Resultados análisis de carbón.

MANTO	HUMEDAD RESIDUAL (%)	CENIZAS (%)	MATERIAL VOLATIL (%)	CARBONO FIJO (%)	PODER CALORIFICO Cal/gr	AZUFRE (%)	INDICE DE HINCHAMIENTO
A	3,67	16,8	42,3	37,23	7048	0.89	4
B	3,68	18,3	41,2	36,82	7191	1.11	4
C	3,66	6,01	43,06	47,27	7345	2,52	1
D	3,52	19,73	35,82	40,93	6028	0,73	1
E	3,41	16,7	34,2	45,69	7586	0.93	5
F	3,4	15,8	33,8	47	8160	0.73	4

Fuente: Datos de estudio laboratorio de carbones

5.4 CLASIFICACION DE LOS CARBONES

El sistema más empleado en América es el ASTM, el cual establece dos formas de clasificación, una por rango, dependiendo del grado de alteración del lignito a la antracita, y la otra por grados refiriéndose a la calidad determinada por el tamaño, potencia calorífica, contenido de cenizas, temperatura de ablandamiento y azufre. Para la clasificación se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Carbono fijo
- Materia volátil
- Poder calorífico
- Carácter aglomerante

Tabla 4. Clasificación ASTM de carbones por rango .

CLASE	GRUPO	CARBONO FIJO % S/m.m		MATERIA VOLÁTIL % S/m.m		Poder calorífico Cal/gr hlmm		CARÁCTER AGLOMERANTE
		>	<	>	<	>	<	
Antracítico	1.Meta-Antracita	98			2			No Aglomerante
	2.Antracita	92	98	2	8			
	3.Semiantracita a	86	92	8	14			
Bituminoso	1.Bituminoso Bajo volátil	78	86	14	22			Comúnmente Aglomerante
	2.Bituminoso Medio volátil	69	78	22	31			
	3.Bituminoso Alto volátil A		69	31		7780 ^{b)}		
	4.Bituminoso Alto volátil B					7220	7780	
	5.Bituminoso Alto volátil C					6380 5830	7220 6380	Aglomerante
Sub – bituminoso	1.Sub bituminoso A					5830	6380	No Aglomerante
	2.Sub bituminoso B					5280	5830	
	1.Sub bituminoso C					4610	5280	
Lignito	1. Lignito A					3500	4610	No Aglomerante
	2. Lignito b						3500	

Fuente: Manual De Carbones Y Coquización. Ignacio Báez Rodríguez.

5.5 CONVERSIÓN DE RESULTADOS A OTRAS BASES.

Para la clasificación se tomaron los datos obtenidos de los análisis de laboratorio y se corrigiendo para encontrar el porcentaje de carbono fijo y materia volátil en base seca y el poder en base húmeda libre de materia mineral.

Para la conversión a las bases indicadas utilizamos las formulas abajo señaladas y los resultados se muestran en la **Tabla 5**.

$$X_{bs} = X_{csa} \times 100 / (100 - HR)$$

$$CF_{slmm} = (CF_{csa} - 0.15S_{csa}) \times 100 / (100 - (HR_{csa} + 1.08 Cz_{csa} + 0.55 S_{csa}))$$

$$MV_{slmm} = 100 - CF_{slmm}$$

$$PC_{hlmm} = (PC_{csa} - 50S_{csa}) \times 100 / (100 - (1.08 \times Cz_{csa} + 0.55S_{csa}))$$

Dónde:

X = parámetro

csa = base como se analizo

bs = base seca

slmm = base seca libre de materia mineral

hlmm = base húmeda libre de materia mineral

HR = % humedad residual

CF = % carbono fijo

PC = poder calorífico (Cal/gr)

Cz = % cenizas

MV = % materia volátil

S = % azufre

Tabla 5. Datos recalculados (base libre de materia mineral)

MANTO	Cz _{bs}	S _{bs}	CF _{bs}	CF _{slmm}	MV _{slmm}	PC _{hlmm}
A	17,44	0,92	38,64	47,74	52,25	8607,35
B	6,24	1,15	38,22	48,26	51,73	8961,32
C	6,23	2,61	49,06	53,01	46,99	7836,24
D	20,44	0,76	42,42	57,01	42,98	8040,08
E	17,28	0,96	47,30	60,64	39,35	9677,05
F	16,36	0,75	48,65	61,62	38,37	10279,92

Tabla 6. Resultado de la clasificación

MANTO	CLASE	GRUPO	CARÁCTER AGLOMERANTE
A	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante
B	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante
C	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante
D	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante
E	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante
F	BITUMINOSO	ALTO VOLATIL "A"	Comúnmente Aglomerante

Teniendo en cuenta la tabla de clasificación, podemos clasificar los carbones de este proyecto según la A.S.T.M. como Bituminoso alto volátil, con un carácter comúnmente aglomerante como se puede observar en la anterior tabla.

6. CALCULO DE LOS RECURSOS DE CARBON

Los recursos de carbón son volúmenes o depósitos o concentraciones de carbón ocurrentes de forma natural en la corteza terrestre. Son reconocidos por criterios físicos y químicos y discriminados por parámetros que subdividen en “identificados” y en “no descubiertos”, de acuerdo con el grado de certeza geológica. Se miden en toneladas que se obtienen multiplicando los volúmenes por la densidad del carbón; por ende, los recursos de carbón del área considerada, se obtienen sumando las toneladas calculadas para los depósitos de carbón en el área de estudio. Para categorizar los recursos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

6.1 CATEGORIAS DE LOS RECURSOS

Recursos medidos: en esta categoría de los recursos identificados están los volúmenes de carbón comprobados que tienen el más alto grado de confiabilidad geológica. Los cálculos de tonelaje para recursos medidos se llevan a cabo mediante la prolongación de espesores de carbón, de rango y de datos sobre la calidad si se tiene por una distancia de 250 metros a partir del punto de medición.

Recursos indicados: en esta categoría de recursos identificados esta los volúmenes de carbón que tienen un grado moderado de certeza geológica. Los cálculos de recursos inferidos se establecen con base en el conocimiento geológico, por medio de prolongación de espesores de carbón, de rango y de calidad de carbón, hasta una distancia de 1500 metros comprendida entre los 250 y los 750 metros contados a partir del punto de medición.

Recursos inferidos: en esta categoría de recursos están los volúmenes identificados de carbón que tienen un grado de certeza geológica. Los cálculos de recursos inferidos se establecen con base en el conocimiento geológico, por medio de prolongación de espesores de carbón, de rango y de calidad del carbón, con una influencia de 1,500 metros, comprendida entre los 750 m y los 2250m, contados a partir del punto de información.

6.2 MAPA DE CONTORNOS ESTRUCTURALES

El mapa de contornos estructurales es un tipo de mapa del subsuelo cuyas curvas de contorno representan la elevación de una determinada formación, yacimiento o marcador geológico en el espacio, de modo que los pliegues, fallas y otras estructuras geológicas se muestran con claridad. Su apariencia es similar a la de un mapa topográfico, salvo que este último muestra las elevaciones de la superficie terrestre en tanto que un mapa estructural exhibe la elevación de una determinada capa de roca.

Un contorno estructural es una línea imaginaria que une puntos de igual posición estructural (o igual profundidad) en el subsuelo, respecto a un plano de referencia Datum. Por consiguiente estos mapas representan la variación geométrica de la

superficie de base o techo de un estrato permitiendo entre otras cosas definir trampas.

Aunque en el área de estudio se están explotando cinco mantos, estos no cuentan con el levantamiento topográfico correspondiente, por esto se consideraron como puntos de información solo los afloramientos de carbón que fueron relacionados en el mapa, localizando con GPS y descritas sus características. Estos puntos de afloramiento fueron igualmente los que sirvieron para las correlaciones de los mantos. Ver **Tabla 7**.

Para realizar el mapa de contorno estructurales es necesario el mapa topográfico a escala 1:5000, las características y análisis del manto en estudio, datos estructurales de rumbo y buzamiento.

Tabla 7. Datos estructurales obtenidos en el área de estudio

MANTO	ESPESOR PROMEDIO (m)	COORDENADAS		DATO ESTRUCTURAL	BLOQUE
		ESTE	NORTE	RUMBO / BUZAMIENTO	
A	1,8	1137275	1133442	N28°W / 62°SW	NORTE
B	2,5	1137306	1133494	N25°W / 65°SW	
		1137408	1133225	N26°W / 64° SW	
C	2	1137245	1133708	N27°W / 63° SW	
D	2	1137331	1133708	N22°W / 68° SW	
		1137530	1133331	N21°W / 69° SW	
		1137080	1134092	N45°E / 45°NW	
E	2	1137425	1133656	N25°W / 65°SW	
		1137616	1133287	N35°W / 55°SW	
		1137158	1134101	N40°E / 50°NW	
F	3,5	1137586	1133439	N24°W / 66° SW	
		1137194	1134004	N41° E / 49° NW	
A	1,8	1137249	1133015	S30°W / 60° NW	SUR
		1137368	1133142	S28°W / 62° NW	
B	2,5	1137334	1133023	S27°W / 63°NW	
		1137433	1133182	S27°W / 63° NW	
C	2	1137300	1132915	S47°W / 43°NW	
		1137532	1133127	S27°W / 63°NW	
D	2	11372287	1132727	S21°W / 69° NW	
E	2	1137347	1132772	S22°W / 68°NW	

Fuente: los autores.

6.3 CÁLCULO DE ÁREAS DE LOS MANTOS

Teniendo presente los anteriores parámetros, se elaboraron los mapas de contornos estructurales, para todos los mantos de carbón, Sobre estos mapas de contornos se evaluaron los recursos para la zona.

A partir de los puntos de observación los cuales corresponden a los puntos extremos en la dirección del rumbo y el buzamiento con la distancia de la explotación asumida y proyectada para esta última en función del ángulo de inclinación. Cabe recalcar que para los cálculos de los mantos A, B, F y G se tomó una longitud en el buzamiento de aproximadamente 500 m y para los mantos C, D y E una longitud de 750 ya que a esta profundidad se puede explotar con condiciones normales de seguridad.

Se realizan los radios de influencia en el mapa de contornos estructurales para cada uno de los mantos y se determinan las áreas carboníferas proyectadas en superficie, con el espesor promedio del manto y la densidad del carbón, se procede al cálculo de los recursos, las cifras se obtienen de las siguientes formulas:

$$AI = AP \text{ Cos } B$$

AI = área inclinada

AP =área proyectada (es tomada de los mapas digitalizados en ARCGIS)

B = buzamiento

Luego de determinar el área carbonífera inclinada, con el espesor promedio del manto y la densidad del carbón se procede al cálculo de los recursos. La cifra se obtiene con la siguiente formula:

$$a \times e \times d = t$$

a = área

e = promedio ponderado del espesor del manto

d = densidad del carbón

t = toneladas

6.4 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS RECURSOS

Para los cálculos de recursos y teniendo como base el análisis de la exploración minera antes realizada, se pudo determinar que en la mina Carare y Arizona se conocen siete mantos de carbón económicamente explotables, sobre los cuales se hacen el cálculo de los recursos existentes.

Tabla 8. Longitudes y espesores de los mantos presentes.

MANTO	ESPESOR (m)	Longitud (m)
A	1,80	500
B	2,50	500
C	2,00	750
D	2,00	750
E	2,00	750
F	3,50	500
G	1,80	500

Fuente: los autores

Tabla 9. Recursos de cada Manto

MANTO	AREA(m2)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (M3)	DENSIDAD	Ton	TIPO DE RECURSO
A	29847,21	1,8	53724,978	1,3	69842,4714	Recurso Medido
	132429,64		238373,352		309885,3576	Recurso Indicado
	103656,38		186581,484		242555,9292	Recurso Inferido
					622283,7582	TOTAL MANTO
B	28342,42	2,5	70856,05	1,3	92112,865	Recurso Medido
	122255,13		305637,825		397329,1725	Recurso Indicado
	103606,38		259015,95		336720,735	Recurso Inferido
					826162,7725	TOTAL MANTO
C	702252,03	2	1404504,06	1,3	1825855,278	Recurso Medido
	1880745,07		3761490,14		4889937,182	Recurso Indicado
	1059470,07		2118940,14		2754622,177	Recurso Inferido
					9470414,637	TOTAL MANTO
D	568341,64	2	1136683,28	1,3	1477688,264	Recurso Medido
	1927952,87		3855905,74		5012677,462	Recurso Indicado
	1325037,5		2650075		3445097,5	Recurso Inferido
					9935463,226	TOTAL MANTO
E	245803,48	2	491606,96	1,3	639089,048	Recurso Medido
	918015,01		1836030,02		2386839,026	Recurso Indicado
	643406,65		1286813,3		1672857,29	Recurso Inferido
					4698785,364	TOTAL MANTO
F	64654,35	3,5	226290,225	1,3	294177,2925	Recurso Medido
	424840,96		1486943,36		1933026,368	Recurso Indicado
	971367,03		3399784,61		4419719,987	Recurso Inferido
					6646923,647	TOTAL MANTO
G	88743,58	1,8	159738,444	1,3	207659,9772	Recurso Medido
	643949,92		1159109,86		1506842,813	Recurso Indicado
	951068,26		1711922,87		2225499,728	Recurso Inferido

Fuente: los autores

Tabla 10. Recursos de los 7 mantos

MANTO	RECURSO MEDIDO	RECURSO INDICADO	RECURSO INFERIDO
A	69842,4714	309885,3576	242555,929
B	92112,865	397329,1725	336720,735
C	1825855,278	4889937,182	2754622,18
D	1477688,264	5012677,462	3445097,5
E	639089,048	2386839,026	1672857,29
F	294177,2925	1933026,368	4419719,99
G	207659,9772	1506842,813	2225499,73

Fuente: Datos de estudio

Tabla 11. Recursos Totales

TIPO DE RECURSO	TOTAL RECURSO (Ton)
MEDIDO	4606425,196
INDICADO	16436537,38
INFERIDO	15097073,35
TOTAL DE RECURSOS	36140035,92

Fuente: los autores

7. CONCLUSIONES

- En el área de estudio se encuentran aflorando rocas sedimentarias de la formación Guaduas, Areniscas de Socha y Arcillas de Socha; en el estudio se detalló principalmente en la formación Guaduas donde se encuentran los mantos de carbón explotables la cual constituye el 60% del área de estudio, además se encuentra afectada tectónicamente por la falla Tenería y la falla Bujío.
- En el área de estudio se identificó la presencia de siete mantos de carbón, con la siguiente denominación y espesor promedio: A: 1.8m; B: 2.5m; C: 2m; D: 2m; E: 2m; F: 3.5m y G: 1.8m. Pertenecientes al miembro medio de la formación Guaduas, los cuales en parte NE del área se encuentran afectados por la falla el Bujío.
- Se determinó mediante le recorrido de toda el área de estudio que a pesar de estar en zona de complejidad tectónica debido a las fallas regionales presentes, los mantos de carbón presentan una continuidad horizontal considerable y que según la correlación estratigráfica, en el área de estudio se presenta el miembro medio de la formación Guaduas.
- Según los resultados de los análisis del carbones y teniendo en cuenta la clasificación ASTM de carbones por rango, la clase de carbón analizada en el área de estudio es un carbón Bituminoso Alto Volátil A de carácter Comúnmente Aglomerante.
- Los resultados del cálculo de recursos por el método radial fueron: Recursos Medidos 4606425,196 ton, Recursos Indicados de 16436537,38 ton y Recursos Inferidos de 15097073,35 ton. Para un total del recurso de 36140035,92 Ton.

8. RECOMENDACIONES

- Utilizar métodos geofísicos para la obtención de los espesores reales, ya que estos se encuentran fracturados y existen intervalos de pérdida.
- Siendo el manto F el de mayor espesor, se recomienda realizar los análisis pertinentes para definir el manejo del recurso.
- Se recomienda continuar con las labores de exploración en el bloque sur, para explotar los mantos F y G.
- Puesto que es una zona tectónicamente muy compleja, se recomienda basar un estudio que tenga como objeto los cambios y repercusiones de la geología estructural en las formaciones geológicas del sector.
- Realizar análisis petrográfico a cada uno de los mantos de carbón, para obtener una información más detallada y así determinar los mantos con mayor rentabilidad económica.
- Monitorear las calidades y variaciones de los diferentes mantos de carbón mediante el análisis de laboratorio, con el propósito de tener certeza del uso del carbón encontrado.
- Se deben realizar un plan de perforación exploratoria, en el sector sur con el fin de encontrar los mantos F y G que no afloran en esta sección.

9. BIBLIOGRAFIA.

- Geología de la Región de Duitama – Sogamoso- Paz del Rio (Departamento de Boyacá). Reyes Chittaro, Ítalo. 1984.
- Cálculo de reservas y E.I.A dentro del proyecto de exploración y explotación de un yacimiento de carbón para el contrato único de concesión N° GDD-082 localizado en el departamento de Boyacá, municipio de Corrales sector Vado Castro. Trabajo de tesis de grado de Ingeniería Geológica. UPTC. 2013.
- E.O.T Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Corrales
- DEM ASTER de Boyacá a 30mts de resolución
- IGAC. Plancha topográfica 172 Paz de Río.
- IGAC. Geología de la Plancha 172 Paz de Río. Memoria Explicativa.
- SISTEMA DE CLASIFICACION DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBON , ECOCARBON
- ALVARADO B y SARMIENTO R. Yacimientos de hierro de Paz del Rio.
- MINERCOL. Programa de normalización de recursos y reservas del carbón sector Sogamoso- Jericó.
- Guías Minero ambientales
- NORMAS GENERALES SOBRE MUESTREO Y ANALISIS DE CARBONES. Gerencia de Planificación del carbón. División análisis de recursos ECOCARBON Ltda. República de Colombia Ministerio de Minas y Energía. Santa Fe de Bogotá D.C Mayo 1995.
- REYES CHITARO. Ítalo. Estratimetría aplicada. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja –Colombia, 1998.
- MINERCOL, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Minas y Energía. Guía Ambiental de Carbón en Minería Subterránea. Santa Fe de Bogotá , 2001

- REYES CHITARRO, Ítalo. Geología de la región Duitama – Sogamoso – Paz del Rio (Departamento de Boyacá). Facultad Seccional Sogamoso. Escuela de Ingeniería Geológica, 1984.
- BAEZ Rodríguez, Ignacio Manual de Carbones y coquización UPTC Sogamoso 2004.

ANEXOS