

**DETERMINACIÓN DE LA MADUREZ TÉRMICA DE LOS CARBONES DE LA
FORMACIÓN GUADUAS EN EL SINCLINAL CHECUA – LENGUAZAQUE**

**PRESENTADO POR:
JAIRO ARTURO BARRERA PONGUTÁ**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO**

2016

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

JAIRO ARTURO BARRERA PONGUTÁ

**DIRECTORA: SANDRA ROCIO MANOSALVA SANCHEZ
M.sc. GEOLOGÍA, c.PHD. INGENIERÍA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

CONTENIDO

	pág.
0. INTRODUCCIÓN.....	16
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
3. METODOLOGÍA	16
3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	18
3.2 LECTURA DE LA PROBETA.....	20
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 EL CARBÓN.....	21
4.2 CLASIFICACION.....	22
4.3 CARACTERISTICAS PETROGRÁFICO	23
5. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO	25
6. GEOLOGÍA DEL ÁREA.....	27
6.1 MARCO DE REFERENCIA FORMACIÓN GUADUAS.	28
6.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL FORMACIÓN GUADUAS	28
6.3 NIVEL ESTRATIGRÁFICO INFERIOR DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G1).....	30
6.4 NIVEL ESTRATIGRÁFICO MEDIO DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G2).....	30
6.5 NIVEL ESTRATIGRÁFICO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G3).....	31
6.6 MANTOS DE CARBÓN MUESTREADOS.....	31
6.6.1 Descripción de los carbones sección Samacá	31
6.6.2 Nivel estratigráfico K2E1g1	32

6.6.3	Nivel estratigráfico K2E1g2	33
6.6.4	Descripción de los carbones sección Guachetá	35
6.6.5	Nivel estratigráfico K2E1g1	35
6.6.6	Nivel estratigráfico K2E1g2	36
6.6.7	Descripción de los carbones sección Sutatausá	40
6.6.8	Nivel estratigráfico K2E1g1	40
6.6.9	Nivel estratigráfico K2E1g1	41
6.7	ESTRUCTURAS GEOLOGICAS PRINCIPLALES.....	43
7.	CARACTERIZACIÓN MANTOS DE CARBÓN.....	44
7.1	CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN SUTATAUSA	45
7.2	8.1 CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN GUACHETÁ.....	48
7.3	CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN SAMACÁ	51
8.	GRADIENTE PALEOGEOTERMAL	55
8.1	GRADIENTE PALEOGEOTERMICO - SECCIÓN SUTATAUSA	57
8.2	GRADIENTE PALEOGEOTERMAL - SECCIÓN GUACHETÁ.....	59
8.3	GRADIENTE PALEOGEOTERMAL - SECCIÓN SAMACÁ	61
9.	CONCLUSIONES.....	62
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Correlación para el proyecto Uptc.....	29
Tabla 2. Numero de muestras y mantos analizados.....	44
Tabla 3. Resumen análisis próximos sección Sutatausa.....	46
Tabla 4. Clasificación ASTM e ISO para sección Sutatausá.....	47
Tabla 5. Clasificación ASTM e ISO para la sección Guachetá.....	48
Tabla 6. Resumen análisis próximos sección Guachetá.....	50
Tabla 7. Clasificación ASTM e ISO para la sección Samacá.....	52
Tabla 8. Resumen análisis próximos sección Samacá.....	53
Tabla 9. Resultados de reflectancia media de la vitrinita.....	56
Tabla 10. Temperatura y profundidad de la sección Sutatausa.....	58
Tabla 11. Temperatura y profundidad de la sección Guachetá.....	60
Tabla 12. Temperatura y profundidad de la sección Samacá.....	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología propuesta para el proyecto.....	17
Figura 2. Localización del área de estudio.....	26
Figura 3. Localización de las zonas estratigrafías levantadas.....	27
Figura 4. Miembros de Formación Guaduas en la zona de estudio.....	29
Figura 5. Columna general de la sección Samacá.....	34
Figura 6. Columna general de la sección Guachetá.....	38
Figura 7. Columna general de la sección Guachetá.....	42
Figura 8. Tabla de correlación materia volátil reflectancia media de la vitrinita....	54

GLOSARIO

Carbón: 1. Roca sedimentaria, de color negro a negro pardo, de fácil combustión, que contiene más del 50% en peso y más del 70% en volumen de material carbonoso incluida la humedad inherente. Formada a partir de la compactación y el endurecimiento por calor y presión, de restos de plantas químicamente alteradas y carbonizadas, durante el tiempo geológico. Las diferencias en los materiales de las plantas (tipo), el grado de metamorfismo (rango) y la cantidad de impurezas (grado) son características del carbón y se usan en su clasificación. En general, su principal uso es en la producción de energía, pero el carbón también tiene aplicaciones industriales: es usado en calderas en la fabricación del cemento, papel, ladrillos, cerámica, vidrio, caucho; industria metalúrgica; ingenios de azúcar, entre otros, y como materia prima para la fabricación de pilas, lámparas de arco, aparatos eléctricos y carbón activado.

Carbonización: 1. En el proceso de formación (génesis) del carbón, la carbonización caracteriza el cambio progresivo de la materia orgánica preservada y los productos de descomposición bioquímica desde la muerte de la planta o el animal y el estado de reducción completa a carbón, in situ. **2.** Decaimiento lento de materia orgánica, plantas o animales en ambiente acuático, que da como resultado la concentración de carbón en forma de una capa que preserva en algún grado la textura del tejido original. **3.** Proceso de conversión a carbón por remoción de otros componentes.

Rango (clasificación de carbones) 1. Grado de transformación (carbonificación o hullificación), que ha alcanzado un carbón a lo largo de su evolución geológica, en la serie natural de lignito a antracita. **2.** Clasificación del carbón, con base en el grado de metamorfismo o alteración progresiva, en una serie que va desde lignito hasta antracita. El carbón de alto rango es clasificado de acuerdo con el carbono fijo en condiciones secas y el de menor rango de acuerdo con el poder calorífico en condiciones húmedas. Rango desde el punto de vista estadístico es la diferencia entre el valor más alto y el más bajo de una serie de observaciones.

Probeta: 1 Es un bloque cilíndrico compuesto de partículas de carbón y comprimidas mezcladas con una resina epóxica.

Reflectancia: 1. Es el porcentaje de luz reflejada por un material cuando éste ha sido iluminado con una fuente de luz.

Macerales: 1. Constituyentes orgánicos individuales del carbón reconocibles microscópicamente. Ellos se reconocen en base a su reflectancia y su morfología. Un maceral dado puede diferir significativamente en composición y propiedades de un carbón a otro; para algunos macerales la variación depende principalmente del rango del carbón. Hay tres grupos macerales: vitrinita, exinita e inertinita.

Gradiente geotérmico: 1. Se define como el coeficiente de incremento en temperatura por profundidad en la tierra, cuando se avanza desde la superficie hacia el centro por un radio de su esfera.

Paleogeoterma: 1. Término que hace referencia al gradiente geotérmico al que estuvieron sometidas las rocas en el pasado, generalmente se encuentra por encima del gradiente geotérmico actual debido a los procesos de orogenia y erosión al que han sido sometidas las rocas sedimentarias.

RESUMEN

Se realizó un muestreo de los mantos de carbón en la formación Guaduas, flanco Occidental de la cuenca del sinclinal Checua-Lenguazaque, municipios de Sutatausa, Lenguazaque, Guachetá, Raquira y Samaca; con el fin de calcular el gradiente paleogeotérmico a partir del análisis reflectancia media de la vitrinita.

El estudio determinó que los carbones de la zona tienen un rango de reflectancia media de 0.64 a 1.6, clasificándose como carbones desde bituminosos bajos volátiles hasta bituminosos altos volátiles. Para la determinación del gradiente paleogeotérmico se utilizó la fórmula propuesta por Baker, C & Pawlewicz, M, en la cual el valor de la reflectancia se tiene como variable principal; estableciéndose que para esta cuenca el gradiente geotérmico está en un rango de 52° C/Km hacia el sector de Sutatausa y de 100° C/Km hacia el sector de Samacá; asumiéndose que esta variación en el gradiente se debe al mayor efecto del fallamiento en la zona de Samacá que en Suatausa.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se desarrolló en el marco del proyecto de investigación denominado: "Caracterización petrográfica y fisicoquímica de los carbones coquizables de la Formación Guaduas, bases para el modelamiento geológico y optimización del recurso". Contrato 070, UPTC-Colciencias.

Para el desarrollo se tomaron 64 muestras a lo largo del flanco occidental del Sinclinal Checua Lenguaque en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca estas muestras se obtuvieron en mantos explotados en minería bajo tierra, utilizando el muestreo de canal bajo norma ASTM D2234 / D2234M – 16.

Existen varios métodos para determinar la madurez térmica de los carbones de los cuales se destacan: Reflectancia media de la vitrinita, índice de color de conodontos, esporas y polen, cristalinidad de la illita, entre otros aplicándose a este proyecto la reflectancia de la vitrinita como un paleo termómetro. La vitrinita es el grupo maceral más abundante en los carbones, que proviene de la celulosa y la lignina de las plantas y de la gelificación de ácidos húmicos. La vitrinita está ligada a los cambios paulatinos de rango del carbón, su carbonificación y maduración depende principalmente de la máxima temperatura y presión que alcanza la roca.

Para el análisis de los carbones por reflectancia se realizó en tres secciones: Sutatausa, Guachetá y Samacá, las cuales permitieron establecer que para el sector Sutatausa la reflectancia media correspondió a valores entre 0,6 y 0,9 clasificados con bituminosos altos volátiles predominantemente y para los sectores Guachetá y Samacá, se encontraron valores superiores a 1,0 correspondiendo a carbones bajos y medios volátiles. Esta fluctuación en el rango se asocia a las variaciones en las condiciones de enterramiento y tectónica que presentan las tres secciones.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la madurez térmica de los carbones de la formación Guaduas en el sinclinal Checua – Lenguazaque.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar de la información geológica, cartográfica y trabajos relacionados con gradientes geotérmicos.

Realizar levantamiento de secciones estratigráficas de la Formación Guaduas en el sinclinal Checua–Lenguazaque.

Caracterizar los mantos de carbón a través de análisis próximos y reflectancia a la vitrinita.

Determinar e interpretar las paleogeotermas y relacionar los rangos de temperatura para la formación del carbón en el sinclinal Checua-Lenguazaque.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la cuenca carbonífera del sinclinal Checua – Lenguazaque no se han realizado suficientes estudios que permitan establecer el gradiente geotérmico que establezca la temperatura de formación de los carbones de la zona y posibles anomalías efecto del plegamiento y tectónica de la zona.

El presente estudio aporta al conocimiento una interpretación básica de las condiciones en las cuales fueron generados estos carbones a partir del análisis de reflectancia media de la vitrinita que permita establecer el gradiente de temperatura para su carbonificación.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se desarrolló en el proyecto se dividió en cinco etapas así:

Etapa uno. Recopilación de información, estudios anteriores: investigaciones, artículos, proyectos, información de empresas mineras, datos provenientes del Ingeominas, cartografía y generalidades de la zona de estudio.

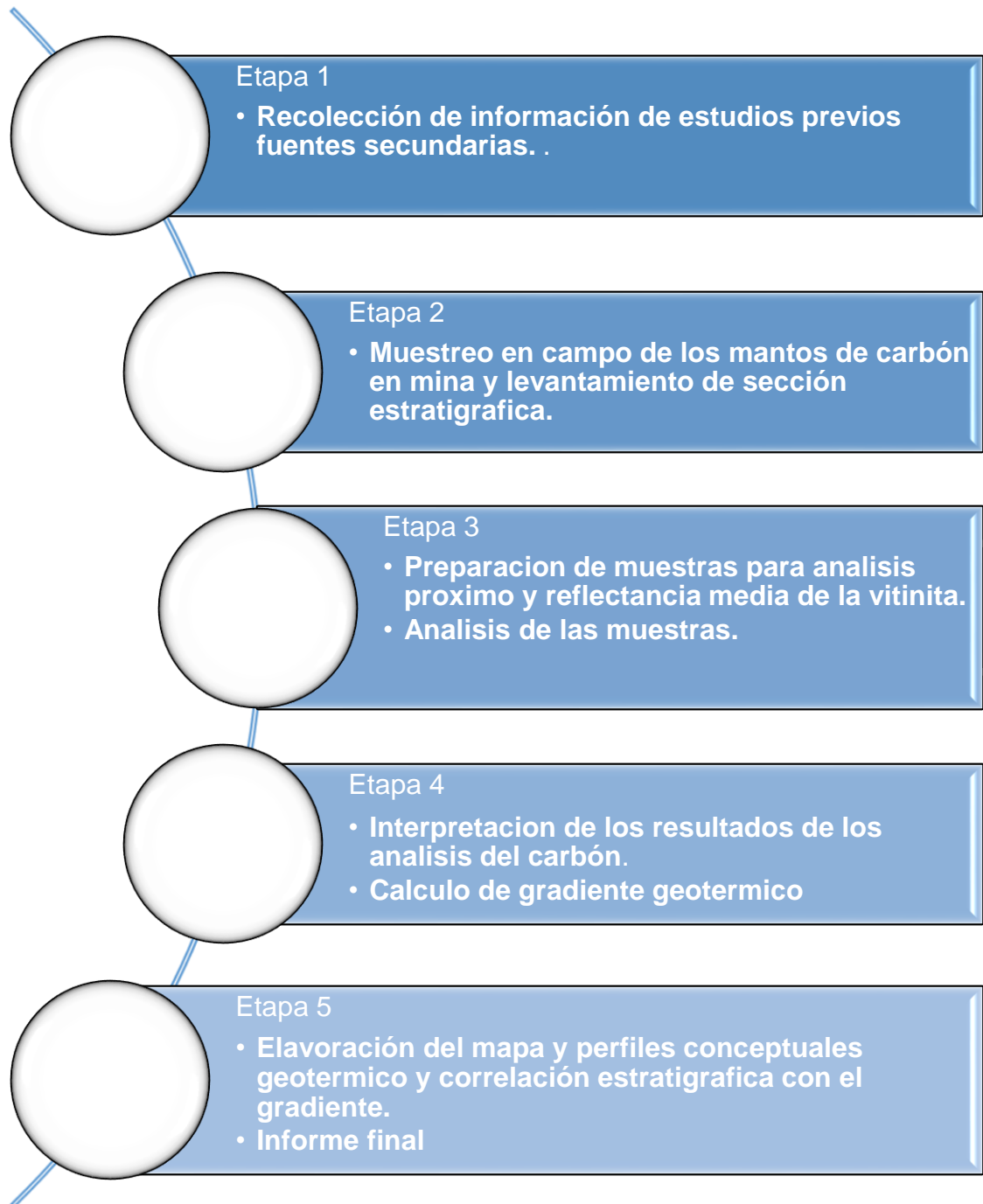
Etapa dos. Trabajo de campo, muestreo en minas de los mantos de carbón, levantamiento de columnas estratigráficas toma de datos estructurales.

Etapa tres. Preparación de muestras del carbón para análisis próximo y probetas pulidas para petrografía y reflectancia de la vitrinita, análisis de muestras preparadas.

Etapa cuatro. Interpretación de los resultados de las muestras, comparación de resultados, clasificación de los carbones y cálculo de gradiente geotérmico.

Etapa cinco. Elaboración de mapa geotérmico y perfiles conceptuales, correlación estratigráfica con el gradiente geotérmico, elaboración de informe final.

Figura 1. Metodología propuesta para el proyecto



3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Fueron recolectadas 64 muestras en campo, las cuales fueron homogenizadas, trituradas, pulverizadas (norma ASTM D2797/D2797M – 11^a Standard Practice for Preparing Coal Samples for Microscopical Analysis by Reflected Light), preparadas para análisis próximos y de reflectancia media aleatoria a la vitrinita (Ro). La reflectancia se determinó utilizando el fotómetro, ensayo por la iluminación de una superficie pulida de carbón en aceite de inmersión, que mide fotométricamente la cantidad de luz reflejada por la superficie. La luz reflejada se registra en porcentaje de reflectancia después de la calibración del equipo fotométrico midiendo patrones de reflectancia a partir de sus índices de refracción.

Lectura de Reflectancia Media Aleatoria de la Vitrinita

Para el análisis de reflectancia media aleatoria de la vitrinita (Ro) se debe contar con el siguiente equipo:

Microscopio. Equipado para microscopia de luz reflejada provisto de una combinación de lentes y objetivos que permitan el examen de la muestra con un aumento entre 400X y 750X, tal que se puedan reconocer las partículas de 1 μm . Los objetivos deben permitir la observación de las muestras en aceite, con plano de luz polarizada. El microscopio permite proyectar una imagen con una ampliación, una platina circular para rotar la muestra 360°.

Polarizador e Iluminador: La luz incidente sobre el iluminador vertical del microscopio se polariza por un prisma o lamina polarizadora. El iluminador vertical puede contener un prisma Berek, un iluminador Smith, o una lente de vidrio de alta calidad. El polarizador debe estar orientado a 45° con el prisma Berek o a 0° cuando se usa el iluminador Smith o la lente.

Tubo fotomultiplicador: En combinación con el sistema óptico del microscopio, la fuente de luz y el filtro usado, el fotómetro fotomultiplicador deberá ser capaz de detectar la mínima luz reflejada de la porción de carbón limitada por la apertura.

Amplificador del fotómetro: La señal del tubo fotomultiplicador ampliarse y mostrarse mediante un galvanómetro, medidor digital o registrador. Cuando se ajustan para la operación el amplificador y el medidor deberán ser capaces de distinguir diferencias de forma fiable en la señal equivalentes a 0.01 % de reflectancia y ser lineal en el rango de la medición de la reflectancia.

Registrador o medidor: Deberá tener un tiempo de respuesta para toda la escala de no más de 1s para detectar el nivel de la reflectancia máxima durante la rotación de la platina.

Fuente de luz: La fuente de luz deberá tener una fuente de alimentación regulada para proporcionar una salida estable. Algunos fotómetros y registradores requieren estabilizadores de voltaje adicionales si fluctúa la línea de voltaje.

Filtros: La luz deberá ser aproximadamente verde monocromática mediante el paso a través de un filtro de interferencia o combinación de filtros con un pico de transmitancia de 546 ± 5 nm y ancho de banda a la mitad del pico de transmitancia menor de 20 nm.

Diafragma de apertura: En material opaco no reflectivo colocado aproximadamente en el plano focal de los objetivos en el eje central para restringir el paso de luz a la ventana del tubo fotomultiplicador de manera que solo sea percibida una pequeña área de la reflectancia del patrón o de la muestra. El diámetro de la apertura se selecciona para lograr un campo efectivo de medición (punto detectado) con un diámetro de cerca $5 \mu\text{m}$ o con un área de cerca $20 \mu\text{m}^2$.

Patrones de calibración: Como patrones para calibrar el fotómetro en las medidas de reflectancia se usan prismas contruidos de vidrios de alto índice de reflectancia

o minerales sintéticos. Estos patrones son isotrópicos, imperceptibles a la absorción de luz. La forma más efectiva de los patrones es un prisma cuyos lados forman un triángulo con ángulos de 30-60-90.

Aceite de inmersión: El aceite no debe ser corrosivo, desecante, que no reaccione con el carbón ni contener productos carcinógenos y tener un índice de refracción entre 1.515 y 1.519 a 546 nm y 25°C.

Prensa niveladora de muestras: Se usa un nivelador convencional manual para nivelar las probetas y vidrios patrones cuando se montan con plastilina en el portaobjetos.

3.2 LECTURA DE LA PROBETA

Se recorre la probeta de la muestra en pasos de 1.0 mm cuando se use retícula de cuatro puntos y 0,5 mm con rejilla reticular, hasta cubrir toda la longitud deseada de la muestra en esa dirección. Luego avanzar un paso similar en ángulo recto y repetir el primer procedimiento en reversa. No contar los puntos que caen sobre resina. Contar un mínimo de 1000 puntos en una probeta o 500 puntos en cada una de dos probetas. La superficie de la probeta debe ser en todo lo posible cubierta durante estos recuentos.

4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los conceptos más importantes para la comprensión y análisis de la investigación en la cual se abarcan temas referentes a la formación, evolución, caracterización, comportamiento petrográfico y geotérmico del carbón en la cuenca de sinclinal Checua Lenguaque.

4.1 EL CARBÓN

Teniendo en cuenta que el carbón es una roca sedimentaria, de color negro a negro pardo, de fácil combustión. Formada a partir de la compactación y el endurecimiento por calor y presión, de restos de plantas químicamente alteradas y carbonizadas, durante el tiempo geológico, se clasifica en tres parámetros:

- **Rango:** Refleja el grado de cualificación y/o metamorfismo, que para la mayoría de los carbones depende de la máxima temperatura alcanzada y el tiempo en el cual se mantuvo esta temperatura, que es función por lo general de la profundidad de enterramiento y el gradiente geotermal prevaleciente al tiempo de cualificación en la cuenca sedimentaria.

En términos generales se reconocen tres tipos de carbones diferenciados por el rango.

- Ligníticos y Sub-bituminos, térmicos, de bajo rango.
- Bituminosos, medio rango, carbones metalúrgicos.
- Antracíticos, alto rango, de mayor madurez.
- **Tipo:** Refleja la naturaleza de los restos de plantas y el grado de degradación al cual fueron expuestas antes del enterramiento.

- **Grado:** Refleja la contaminación por material inorgánico (materia mineral) que tiene un carbón.

4.2 CLASIFICACION

La clasificación por rango establece categorías del carbón basadas en las propiedades que dependen principalmente del grado de metamorfismo al cual ha sido sometido. Estas categorías indican intervalos de características físicas y químicas, útiles generalmente para estimar el comportamiento del carbón en minería, preparación y uso.

Los análisis último o elemental del carbón que se le practican al carbón se describen a continuación

Determinación de humedad. Se determina estableciendo la pérdida en peso de la muestra para análisis cuando se calienta bajo condiciones estrictamente controladas de temperatura, tiempo y atmósfera, peso de la muestra y especificaciones del equipo.

Determinación de ceniza. Se determina pesando el residuo que queda después de la quema de carbón o coque bajo condiciones estrictamente controladas de pesaje de muestra, temperatura, tiempo, atmósfera y especificaciones del equipo.

Determinación de materia volátil. La determinación de materia volátil es empírica, debido a esta naturaleza, se requiere un cumplimiento estricto de sus principios básicos y de los procedimientos para obtener resultados aceptables. Se establece determinando la pérdida de peso causada por el calentamiento del carbón condiciones estrictamente controladas, la materia volátil determinada permite establecer el rango del carbón e indica.

Determinación de azufre. Se quema una muestra en un horno tubular a una temperatura mínima de 1350°C, en una corriente de oxígeno para oxidar el azufre,

los componentes de azufre contenidos en la muestra son descompuestos y oxidados casi exclusivamente en dióxido de azufre gaseoso.

Determinación del índice de hinchamiento. Método de ensayo además de indicar las propiedades de aglutinación de un carbón cuando se usa como combustible, Cuando se calienta una muestra de carbón pulverizada bajo condiciones de temperatura y tiempo definidas, se establece el grado de hinchamiento libre al compararlo con perfiles estándar de botones de coques, de diferente hinchamiento en una escala de 1 a 9.

4.3 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICO

Las propiedades físicas y químicas del carbón son dependientes del rango, tipo y grado que éste tenga, parámetros que son identificados a partir de la petrografía, técnica que determina: (Suárez-Ruiz, 2012)

- La reflectancia de la vitrinita indicador de rango
- El componente maceral indicador de tipo y
- La materia mineral indicador de grado.

En la composición macerar se identifican los componentes reactivos e inertes, términos que se refieren al comportamiento de tales materiales durante el proceso de carbonización. Los reactivos, son aquellos macerales que durante el calentamiento cambian su forma, comienzan a ser plásticos, emitiendo volátiles y se hinchan; y los inertes, es el material que no reacciona, y está incorporado y unido a los reactivos hinchables para formar el coque (Jordan, 2006).

La observación microscópica del carbón, realizada por reflexión sobre superficies pulidas del mismo, permite diferenciar diferentes entidades que se distinguen por su morfología y reflectancia (% de luz que reflejan para incidencia perpendicular).

Estas entidades han sido denominadas macérales, ya que algunas pueden aislarse por maceración, por analogía con los minerales en las rocas. Los macérales similares pueden reunirse en tres grupos que tienen características de reflectancia, de origen y de composición química análogas. (Aitemin, 1992)

Los tres grupos identificados en los carbones del proyecto son:

- Vitrinita: Los carbones estudiados presentan abundancia de macerales del grupo de la vitrinita, Se encontró que los macerales predominantes fueron la colodetrinita y la colotelinita, el primero originado a partir del fuerte deterioro de los tejidos parenquimatosos y leñosos del tallo y las hojas originalmente compuestas de celulosa y lignina, mientras que el segundo se origina a partir de los mismos componentes pero conservados en mayor medida. (Juan Sebastián, López, Rocio, Geológica, & Grupo, 2016)
- Liptinita: En las muestras analizadas las cantidades de liptinita fueron menores en comparación a los otros grupos macerales, sin embargo se presentaron concentraciones significativas de cutinita y resinita seguidas por las de esporinita, exudatinita, y liptodetrinita. (Juan Sebastián et al., 2016)
- Inertinita: Corresponde a materia vegetal que fue fuertemente alterada y degradada. Los macerales predominantes de este grupo fueron la micrinita, la semifusinita y la fusinita, los menores contenidos de inertinita se encontraron en el bloque Sutatausa, lo cual indica mayor protección en el área de depositación debido a la disminución de la tasa de oxidación. (Juan Sebastián et al., 2016).

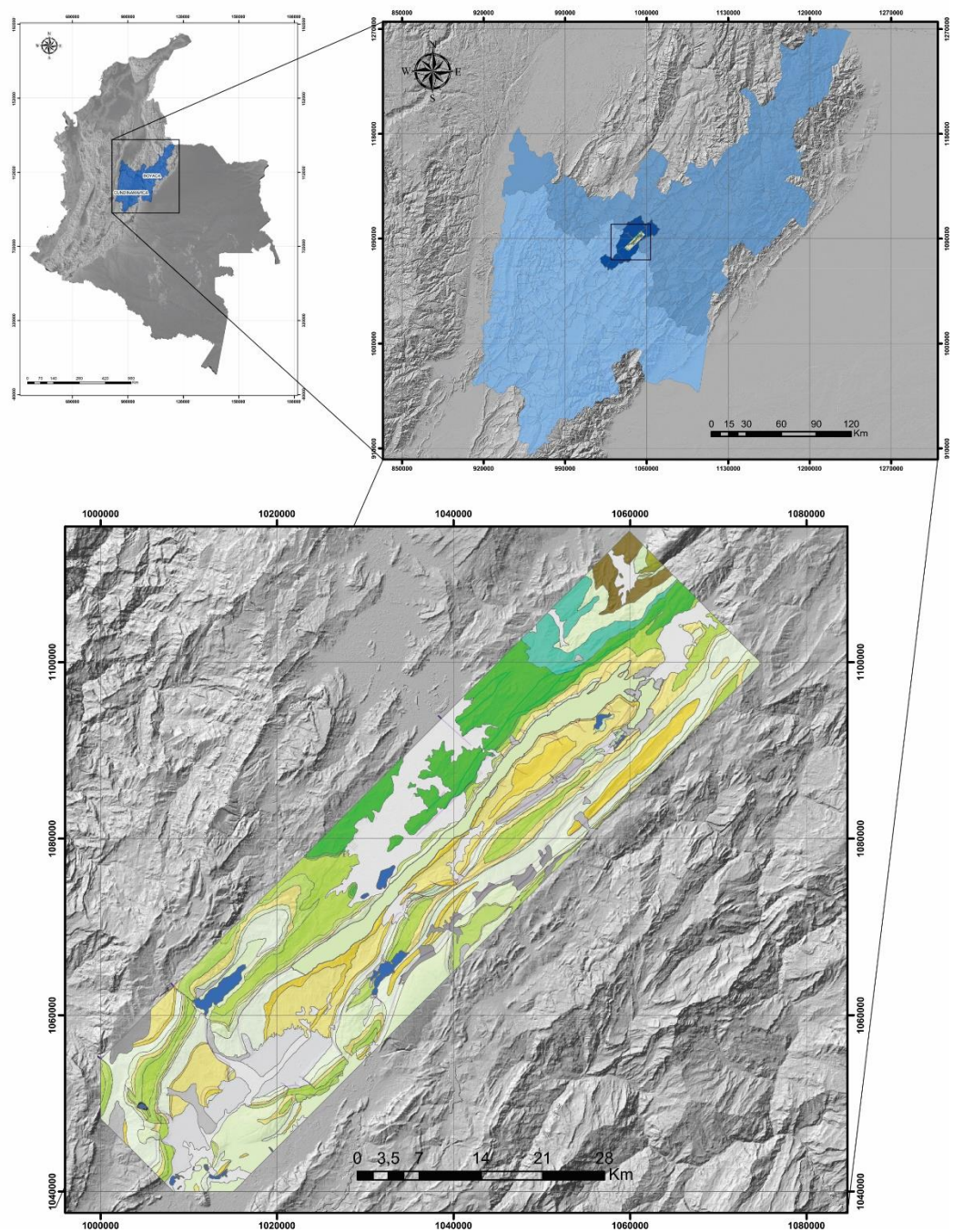
El grado de carbonificación se determinó mediante la reflectancia media de la vitrinita, a continuación se presentan unas ilustraciones del comportamiento petrográfico de los carbones de sinclinal.

5. LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio cubre un área de 86.876 Km^2 , se encuentra ubicada sobre la parte central de cordillera oriental, entre los departamentos de Boyacá y Cundinamarca comprendiendo los municipios de Sutatausa Lenguazaque Guachetá y Samacá. Esta zona se caracteriza por la explotación de carbón para los procesos de coquización y generación de energía eléctrica. Se tienen referenciados 16 mantos de carbón, de los cuales 13 son coquizables y 3 son predominantemente térmicos.

Sus principales vías de acceso son: Desde la ciudad de Bogotá hacia el norte a una distancia de 112 Km, desde la ciudad de Tunja hacia el occidente a una distancia de 64 Km y del municipio de Ubaté hacia el oriente a 30 Km.

Figura 2. Localización del área de estudio



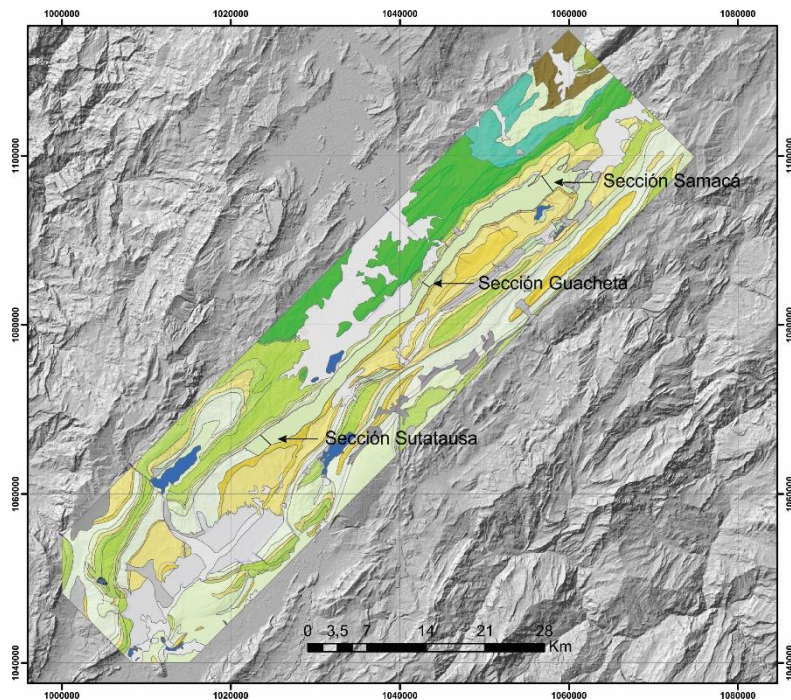
Fuente. Datos del estudio

6. GEOLOGÍA DEL ÁREA

El estudio se realizó en el Área Carbonífera de Checua - Lenguazaque, donde afloran rocas sedimentarias, de edades que van del Cretáceo al Paleógeno, representadas por las Formaciones: Conejo, Plaeners, Labor-Tierna, Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y Cuaternario.

La unidad de estudio fue la Formación Guaduas, en donde se levantaron 3 secciones estratigráficas, en los municipios de Samacá, Guachetá y Sutatausa. En estas secciones se levantó 1000 metros aproximadamente, en donde se presentan hasta 12 mantos de carbón explotables, en la figura siguiente se muestra la localización de las zonas estratigráficas.

Figura 3. Localización de las zonas estratigráficas levantadas



Fuente: datos del estudio.

Como referencia de la cartografía para el área de estudio, se trabajó las planchas 190 Chiquinquirá, 191 Tunja, y 209 Zipaquirá en escala 1:100.000 del Ingeominas.

6.1 MARCO DE REFERENCIA FORMACIÓN GUADUAS.

La Formación Guaduas fue descrita inicialmente por Hettner (1892), como una sucesión predominantemente arcillosa con carbones interestratificados que afloran en los alrededores de Ubaté. Van Der Hammer (1957) llevo a cabo estudios palinológicos y determino la edad de la Formación como Maestrichtriano/Paleoceno, considerando el límite en el tope de la Lajosa.

Laverde (1979). Sugiere la sección tipo al SE de Guatavita, la cual presenta una continuidad regional de tres conjuntos separados por dos paquetes arenosos (La Guía y la Lajosa) las cuales denomino Guaduas inferior hasta la base de las Areniscas La Guías, Guaduas Medio a la zona productiva por contener abundantes mantos de carbón explotables y que abarca hasta el tope de la arenisca La Lajosa y Guaduas Superior o de arcillolitas abigarradas hasta la base de la Formación Cacho.

Nigrinis et al. (1975). Subdividió la Formación Guaduas en cinco niveles informales de acuerdo con su productividad de carbón (KTg1, KTg2, KTg3, KTg4, KTg5,), (KTg2, KTg3 productivos y KTg1, KTg4, KTg5, no productivos).

6.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL FORMACIÓN GUADUAS

Para este estudio se levantaron tres secciones estratigráficas, donde se dividió la formación en tres miembros: miembro inferior (K2E1g1), miembro medio (K2E1g2), y miembro Superior (K2E1g3) los cuales se hace una descripción general a continuación, se elaboraron columnas estratigráficas para las tres secciones las cuales se denominaron sección Samacá, Sección Guachetá y Sección Sutatausa, Ver anexo 3.

Figura 4. Miembros de Formación Guaduas en la zona de estudio



Fuente: Panoramio-Oscar Plazas.

En la siguiente tabla, se presenta la subdivisión de la Formación Guaduas, propuesta por diversos autores, la división en el presente estudio se basa en aspectos mineros, en donde el K2E1g1 corresponden al miembro inferior donde están los mantos de carbón de mayor rango (Bituminoso Bajo a Medio Volátiles), por debajo de la Arenisca Guía; en el miembro K2E1g2, están los mantos de carbón de menor rango (Bituminosos Medios a Altos Volátiles) por debajo de la Arenisca La Lajosa; y el K2E1g3, aparecen cintas de carbón no explotables por su espesor.

Tabla 1. Correlación para el proyecto Uptc.

FORMACIÓN GUADUAS	Laverde (1979).	Nigrinis (1975)	Sarmiento (1992)	Proyecto Uptc (2016)
	Guaduas Superior	KTg5	KTg S -9	K2E1 g3
			KTg S-8	
			KTg S-7	
Guaduas Medio	KTg3	KTg S-6	K2E1 g2	
		KTg S-5		
		KTg S-4		
Guaduas Inferior	KTg2	KTg S-3	K2E1g1	
		KTg S-2		
		KTg S -1		

Fuente: datos de proyecto

6.3 NIVEL ESTRATIGRÁFICO INFERIOR DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G1)

Está compuesto por una sucesión de arcillolita y lodolitas grises que están en contacto neto con las areniscas del grupo Guadalupe, el límite superior de esta nivel corresponde al tope de la arenisca la guía y está constituida en la parte inferior por arcillolita finamente laminadas, con abundantes intercalaciones de limolitas grises claras, hacia la parte inferior, se presentan niveles delgados lodolitas fosilíferas con abundantes conchas de bivalvos y restos de dientes de pescados. La parte superior presenta en toda el área los carbones de más alto rango, aproximadamente cinco mantos, aunque el número y su posición estratigráfica varían, presenta una secuencia de capas medias y gruesas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color amarillo claro a blanco, interclastos en la base, estos bancos de areniscas de hasta tres metros, mostrando algunas veces acuñamiento y marcas de corrientes el espesor varía entre 250 a 300 metros siendo más potente hacia el sur del sinclinal, según Sarmiento (1992) este nivel corresponde a una zona supramareal y lacustre.

6.4 NIVEL ESTRATIGRÁFICO MEDIO DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G2)

Corresponde a la sucesión litológica comprendida entre el último nivel de las areniscas Guías y la base de las areniscas la Lajosa, está conformada por arcillolitas y lodolitas en la parte inferior del nivel presentan una laminación plana paralela y nódulos sideríticos paralelos a la estratigrafía, ocasionalmente se presentan intercalaciones de areniscas blancas con granos de cuarzo muy fino y limonitas, este es el segundo nivel que contiene mantos de carbón formando la secuencia estratigráfica más productiva. En la parte inferior de este nivel se presenta una secuencia de lodolitas y arcillolitas masivas poco laminadas, de color gris azulado, en la parte superior predominan las limolitas que alternan con potentes paquetes de arcillolita y lodolitas de color gris, también se presentan unas

intercalaciones de areniscas de grano de cuarzo de grano medio a muy fino, en capas medias a gruesas, el espesor varía entre 100 y 300 metros según Sarmiento (1992) es una zona de pantanos cerrados, pantanos abiertos, supramareales y canales de estuarios.

6.5 NIVEL ESTRATIGRÁFICO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN GUADUAS (K2E1G3)

Corresponde a la sucesión que se encuentra por encima de la arenisca la Lajosa y la base de las areniscas del Cacho, hacia la base se presentan areniscas grano cresientes, que inician con una arenisca gruesa con interclastos de tamaño no mayor a 2 mm que aparecen en la parte inferior, a partir de esta la granulometría disminuye hasta llegar a arena fina, con estratificación plana paralela, entre estas se intercalan algunos niveles delgados de arcillolitas y lodolitas de color gris a negro en partes se encuentran algunos mantos de carbón que no tienen continuidad lateral ni interés económico, hacia la parte superior está constituido por arcillolitas rojizas, azulosas y en parte verdosas con algunas intercalaciones delgadas de areniscas finas, el espesor aproximado es de 450 metros.

6.6 MANTOS DE CARBÓN MUESTREADOS

6.6.1 Descripción de los carbones sección Samacá

En el Municipio de Samacá se muestrearon 5 mantos, para en nivel K2E1g1 denominados: Consuelo, Pedro, Rubí, Bocatoma y Pérdida; en tres minas: La Manguita, Esperanza 1 y San Miguel.

Para el nivel K2E1g1 se muestreo los mantos que suprayacen la Arenisca la Guía en el cual se identificaron cinco mantos de carbón, son denominados en la región así: La Ligada, Limpia, La Tercera, La Grande, 7 Bancos. Los cuales fueron

muestreados en cuatro minas del municipio de Samacá, la posición estratigráfica se relaciona en la siguiente figura.

6.6.2 Nivel estratigráfico K2E1g1

Manto Consuelo. Este manto tiene un espesor promedio de 1,5 mts, con una intercalación que lo divide para su explotación. Se muestreo en la mina Esperanza 1 y La Manguita. La sección inferior no fue recolectada porque no es explotada actualmente.

Manto Piedro. Este manto se encuentra estratigráficamente a 40 m del manto Consuelo presenta un espesor promedio de 1.7 m el cual está conformado por tres secciones de carbón y dos intercalaciones de arcillolita; se muestreo en dos minas: La Manguita en el cual se tomaron tres muestras de cada una de las secciones, la superior con un espesor de 0.25 m, media con un espesor de 0.6 e inferior con 0.45 m. En la mina Esperanza 1 se tomaron dos muestras de la sección superior con un espesor de 0.55 m e inferior con un espesor de 0.56 m.

Manto Rubí. El manto presenta un espesor aproximado de 1.5 m está separado estratigráficamente a 10 m de del manto Piedro, está dividido en dos secciones de carbón la sección superior tiene un espesor aproximado de 0.8 m y la inferior de 0.2 m y una intercalación de arcillolita de 0.3 m lo cual se evidencio en la mina La Manguita.

Manto Bocatoma. Está estratigráficamente a 50 m por encima del manto Rubí, tiene un espesor aproximado de 1.7 m, no presenta intercalaciones considerables. Se muestreo en la mina San Miguel el cual presento un espesor de 1.6 m y en la mina La Manguita con un espesor de 1.1 m. Este mato es uno de los importantes en la zona, utilizado como base para las mezclas de coque.

Manto Pérdida. Este manto se encuentra separado estratigráficamente a 40 m del manto Bocatoma, presenta un espesor aproximado de 1.3 m con dos secciones de

carbón y una intercalación, la sección superior tiene un espesor de 0.55 m y la inferior de 0.4 se muestreo en la mina la Esperanza.

Manto Esperanza uno. Se tomó una muestra de la sección superior la cual presentaba un espesor de 0.92 m.

6.6.3 Nivel estratigráfico K2E1g2

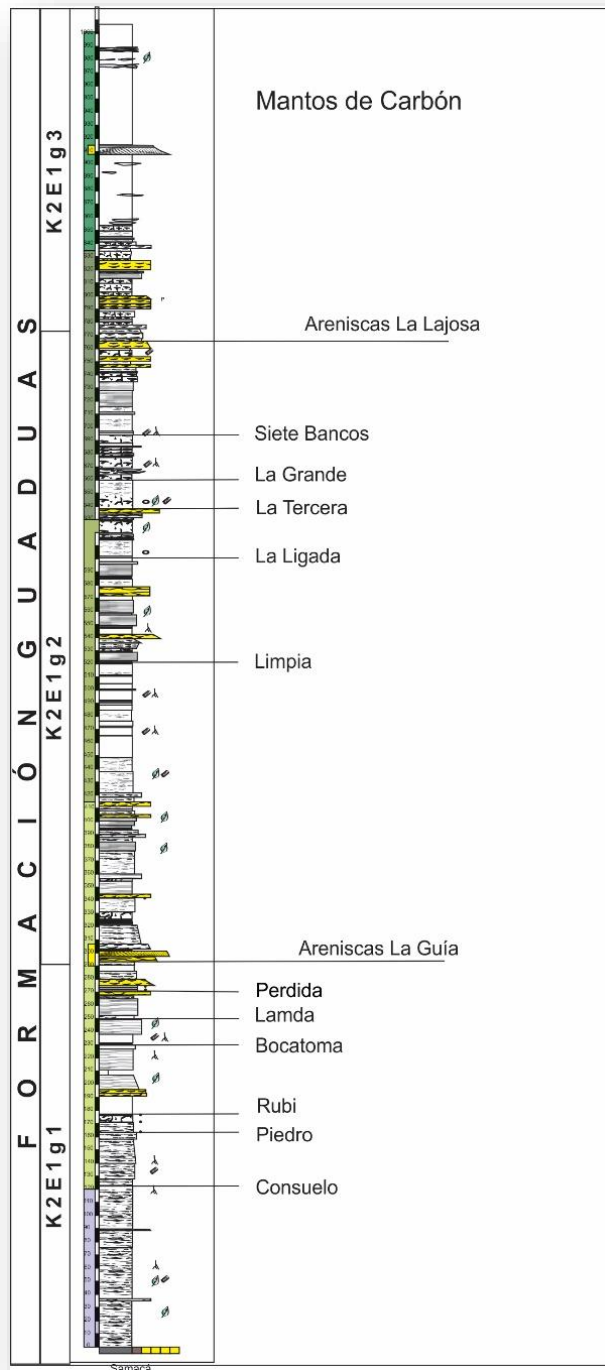
Manto La ligada. Presenta un espesor de 0.85 mts, y se encuentra estratigráficamente a 180 metros sobre la Arenisca Guía. Se muestreo en la mina Carbodiamante.

Manto La Tercera. Tiene un espesor aproximado de 0.8 metros; se encuentra sobre el manto La Ligada a 40 mts. Fue identificado y muestreado en las minas La Peña y Tintoque 1.

Manto La Grande. Presenta un espesor de 1.6 metros. Este manto se encuentra a una distancia de 20 metros sobre el manto La Tercera. Se muestreo en la mina San Cayetano.

Manto Siete Bancos. Presenta un espesor promedio de 1,0 mts. Este manto está presente a 35 metros sobre el manto La Grande fuel el último manto de la sección identificado.

Figura 5. Columna general de la sección Samacá



Fuente. Datos del estudio

6.6.4 Descripción de los carbones sección Guachetá

En el Municipio de Guachetá y Cucunubá se muestrearon 9 mantos en el nivel K2E1g1 los cuales de base a techo son: Cisquera, Tesoro, Tesorito, Milagros, Cuartas, Planta de Soda, Gemela, Consuelo y Consuelo Superior en cinco minas las cuales se denominan así: Las Cuartas, Tauro y San Gregorio.

En el nivel K2E1 fueron muestreados los mantos siete mantos en cinco minas del municipio de Guachetá, en la figura siguiente se observa la posición estratigráfica, de los mantos.

6.6.5 Nivel estratigráfico K2E1g1

Manto Cisquera. Es el primer manto presente en la sección de Guachetá con un espesor aproximado de 0.8 m, no presenta intercalaciones. se muestreo en la mina Las Cuartas.

Manto Tesoro. Estratigráficamente se encuentra a 5 m del manto Suncho Cisquera con un espesor aproximado de 1.5 m. Este manto se muestreo en las minas San Gregorio en el municipio de Cucunubá en la cual presenta un espesor de 0.7 y en la mina La Cuartas en el municipio de Guachetá con un espesor de 1.5 metros.

Manto Milagros. Está a 10 m estratigráficamente sobre el manto Tesorito con un espesor de 0.8 m. Fue muestreado en la mina Las Cuartas.

Manto Cuartas. El manto se encuentra sobre el manto Milagros a 10 metros estratigráficos se muestreo en la mina en San Gregorio en el municipio de Cucunubá donde presenta un espesor de 0.5 m.

Manto Planta de Soda. Se encuentra sobre el manto Cuartas a 10 m aproximadamente, fue muestreado en la mina Tauro donde presenta un espesor de 1.4 m.

Manto Gemela. El manto está a 10 m sobre el manto Planta de Soda fue muestreado en la mina Tauro donde esta presenta como un solo manto presenta un espesor de 1.44 m.

6.6.6 Nivel estratigráfico K2E1g2

Manto Consuelo. Está presente a 10 metros sobre el manto Gemelas con un espesor de 0.4 m que fue evidenciado en la mina Tauro donde fue muestreado.

Manto Milagros. Está a 10 m estratigráficamente sobre el manto Tesorito con un espesor de 0.8 m. Fue muestreado en la mina Las Cuartas.

Manto Cuartas. El manto se encuentra sobre el manto Milagros a 10 metros estratigráficos se muestreo en la mina en San Gregorio en el municipio de Cucunubá donde presenta un espesor de 0.5 m.

Manto Planta de Soda. Se encuentra sobre el manto Cuartas a 10 m aproximadamente, fue muestreado en la mina Tauro donde presenta un espesor de 1.4 m.

Manto Gemela. El manto está a 10 m sobre el manto Planta de Soda fue muestreado en la mina Tauro donde esta presenta como un solo manto presenta un espesor de 1.44 m.

Manto Consuelo. Está presente a 10 metros sobre el manto Gemelas con un espesor de 0.4 m que fue evidenciado en la mina Tauro donde fue muestreado.

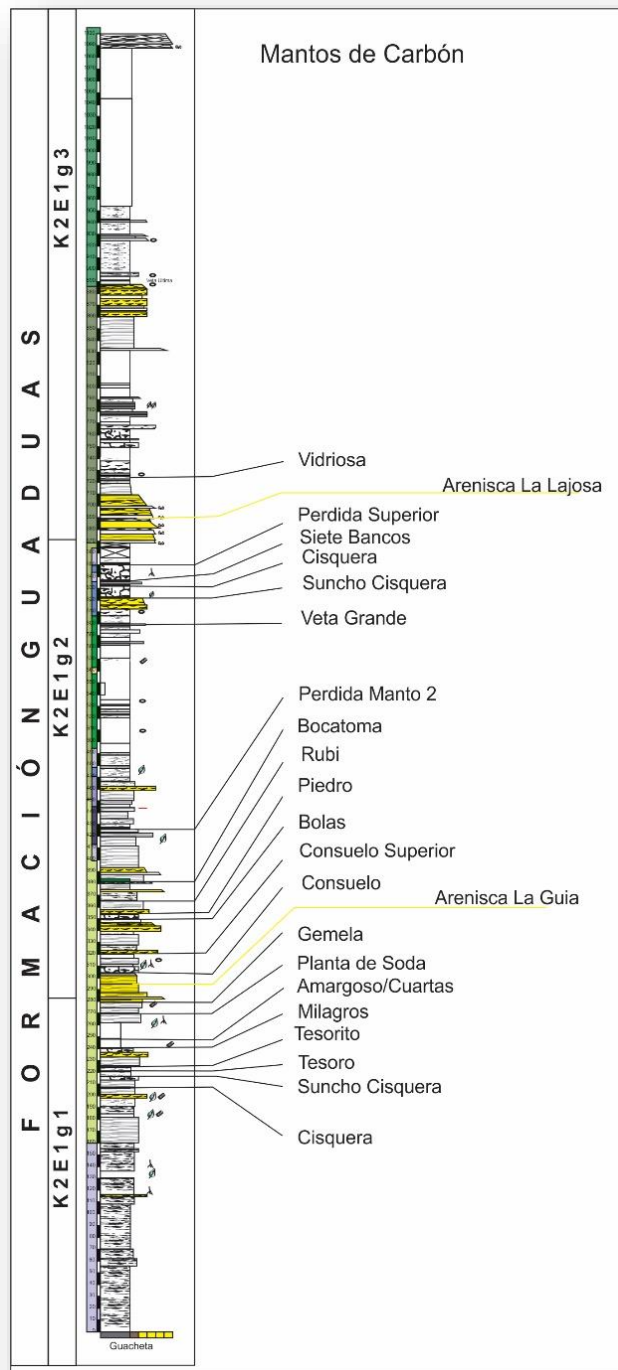
Manto consuelo superior. Esta sobre el manto Consuelo a 20 m estratigráficos fue muestreado en la mina Tauro donde presenta un espesor de 0.75 m.

Esta sobre el manto Consuelo a 20 m estratigráficos fue muestreado en la mina Tauro donde presenta un espesor de 0.75 m.

Manto Tesorito. Se encuentra sobre el manto Tesoro a 5 m aproximadamente. Fue muestreado en las minas San Gregorio en el Municipio de Cucunubá la cual presenta un espesor de 1 m y en la mina La Cuartas con un espesor de 0.9 mt.

Manto Consuelo. Está presente sobre las Areniscas Guía a una distancia de 5 a 10 metros un espesor de 0.4 m que fue evidenciado en la mina Tauro donde fue muestreado.

Figura 6. Columna general de la sección Guachetá



Fuente. Datos del estudio

Manto consuelo superior. Esta sobre el manto Consuelo a 20 m estratigráficos fue muestreado en la mina Tauro donde presenta un espesor de 0.75 m.

Manto Piedro / Bolas. Reposo sobre el manto consuelo superior 33 metros con un espesor promedio de 0.75 metros, fue muestreado en la mina Tauro.

Manto Bocatoma. Se presenta sobre el manto Piedro a una distancia aproximada de 75 metros con un espesor promedio de 1.4 metros fue muestreado en la mina Roble 3.

Manto Perdida / manto 2. Posicionado sobre el manto Bocatoma a 40 metros estratigráficos presenta un espesor de 0.7 metros fue muestreado en la mina Borinquén.

Manto Veta Grande. Este manto está presente sobre el manto perdida a 130 metros presenta un espesor de 0.7 metros fue muestreado en la mina Borinquén.

Manto Zuncho Cisquera. El manto se está presente sobre el manto Veta Grande a una distancia de 30 metros fue muestreado en la mina Géminis 2 donde presento un espesor de 0.41 metros.

Manto Cisquera. Se encuentra sobre el manto zuncho Cisquera a una distancia de 5 metros, fue muestreado en las minas Géminis 1 donde presenta un espesor de 1.6 metros y Géminis 2 con un espesor de 1.05 metros, se tomó una muestra en cada mina.

Manto Siete Bancos. Este manto el ultimo que se muestreo en la sección media de la formación, está presente sobre el manto Cisquera a 15 metros, fue muestreado en la mina Géminis 2 donde presenta un espesor de 2.35 metros.

6.6.7 Descripción de los carbones sección Sutatausá

Para esta sección se muestrearon cuatro mantos en el nivel K2E1g1 los cuales son denominados como: Primera, Chica 1, La Grande y Gemelas en cinco minas del municipio de Sutatausa.

Para el nivel K2E1g1 se muestrearon ochos mantos en minas las cuales se describen a continuación y se pueden observar en la figura siguiente.

6.6.8 Nivel estratigráfico K2E1g1

Manto Primera. Es el primer manto de la sección Sutatausa presenta un espesor de 0.5 m fue muestreado en la mina El Laurel 1.

Manto Chica Uno. Esta sobre el manto Primera a 10 metros, presenta un espesor de 1.02 m en la mina El lucero en donde fue muestreado.

Manto La Grande Uno. Estratigráficamente se encuentra a 10 m. sobre el manto Chica 1 fue muestreado en la mina El Eléctrico donde presenta un espesor de 1.4 m y en la mina San Francisco con un espesor de 1.35 m.

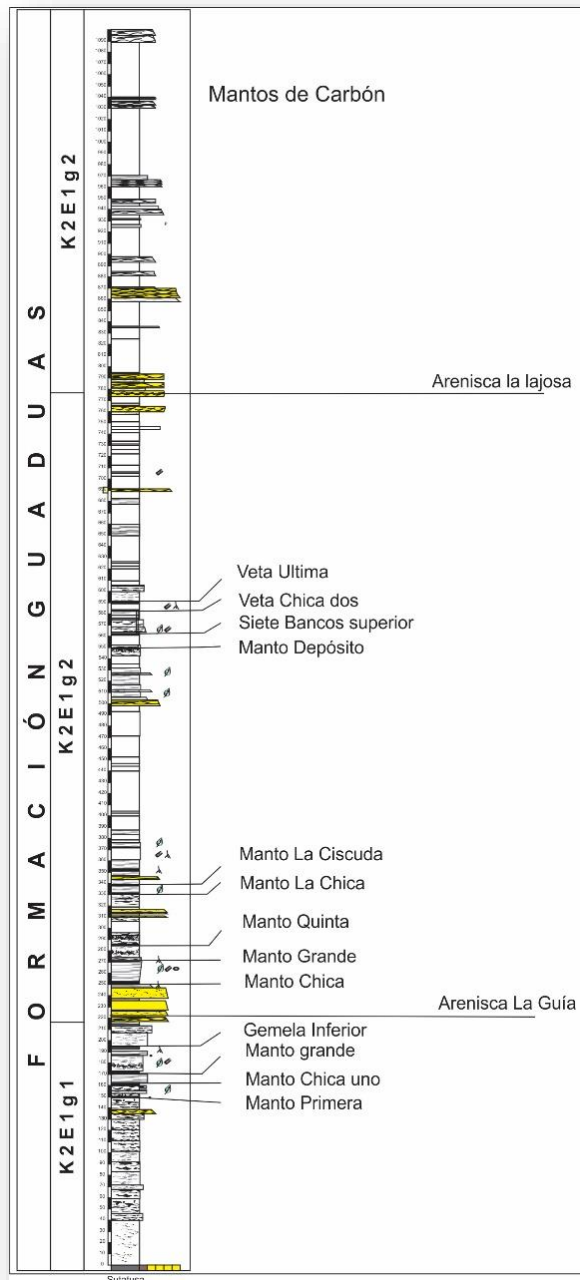
Manto la Gemelas. Se encuentra sobre el manto La Grande 1, a una distancia estratigráfica de 20 m, con un espesor aproximado de 2.0 m este manto presenta dos secciones de carbón y una intercalación de arcillolita de 0.9 m, para este estudio el manto se dividió en dos partes las cuales se denominaron como Gemela Inferior con un espesor 0.9 m y Gemela Superior con 0.8 m, este manto se muestreo en las minas, El Laurel 2 donde presenta un espesor de 0.8 m la sección superior, la intercalación y 0.9 m la sesión inferior, en la mina El Diamante se presenta la sección superior con un espesor 0.38 m, una intercalación de 0.9 m y el nivel inferior de 0.9 m, se tomó una muestra para cada sección en cada mina.

6.6.9 Nivel estratigráfico K2E1g1

Manto Chica dos. Se presenta sobre el manto 7 bancos inferior a una distancia de 20 metros estratigráficos, presenta un espesor promedio de 0.8 metros fue muestreado en la mina Chigua.

Manto Grande dos. Este manto está a ubicado sobre el manto chica 2 a una distancia de 15 metro, se muestreo en la mina chisgua donde predenta un epesor de 1.37 metros.

Figura 7. Columna general de la sección Sutatausá



Fuente. Datos del estudio

6.7 ESTRUCTURAS GEOLOGICAS PRINCIPALES

La estructura regional es el Sinclinal Checua-Lenguzaque, localizado entre las localidades de Zipaquirá y Lenguzaque; hacia el norte continúa hasta el municipio de Samacá con orientación NE- SW. Es una estructura asimétrica, con el flanco oriental más inclinado y en ocasiones invertido por efecto de la Falla de Cucunubá. Hacia el Sur, el sinclinal muestra algunos plegamientos menores y es cubierto por depósitos cuaternarios. El núcleo está en rocas de la Formación Bogotá y Regadera en los flancos las Formaciones Cacho y Guaduas.

En la parte norte, la estructura está afectada por Fallas de tipo inverso y transversal, que aumentan el grado de complejidad tectónica en la misma. En el flanco occidental afloran los estratos siguiendo un rumbo general de N40E, con buzamientos que van hasta 70° en la parte norte y hasta 45° al sur. (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2012).

7. CARACTERIZACIÓN MANTOS DE CARBÓN

Fueron colectadas 64 muestras de carbón en mina, en las tres secciones estratigráficas levantadas. Estas muestras se tomaron según norma ASTM D4596-09; que permitieron identificar 12 mantos en la sección Sutatausa, 16 mantos en la sección Guachetá y 14 mantos en la sección Samacá.

En el desarrollo del proyecto se realizaron 64 análisis próximos (Humedad, ceniza, materia volátil, carbono fijo, azufre, e índice de hinchamiento); y 64 análisis de reflectancia media de la vitrinita del carbón, utilizando para su análisis las normas ASTM D388-12 y la norma ISO 11760.

La clasificación de los carbones muestreados se realizó en base a la norma ASTM D388-12 la cual hace una clasificación del rango a partir del porcentaje de límite de materia volátil en base seca libre de materia mineral, se clasificaron en tres grupo, Bituminoso bajo volátil, bituminoso medio volátil y bituminoso alto volátil. De igual manera se clasificó por la norma ISO 11760 la cual tiene en cuenta la reflectancia media de la vitrinita determinando el rango del carbón y el grado de evolución que ha alcanzado la materia orgánica.

Tabla 2. Numero de muestras y mantos analizados

Municipios	Minas	Numero de Muestras	Mantos muestreados
Sutatausa	13	17	12
Guachetá	7	21	16
Samacá	8	26	14
Total	28	64	42

Fuente. Datos del estudio

7.1 CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN SUTATAUSA

En la sección Sutatausa fueron realizados 17 análisis próximos y de reflectancia media a la vitrinita; donde la materia volátil presenta un rango entre 29 % y 40 %, que permiten clasificar los carbones como bituminosos altos volátiles y algunos mantos como bituminosos medios volátiles, (normas ASTM D388-12)

Los contenido de azufre se mantiene por debajo de 1.0 %, excepto para los mantos superiores lo cuales marcaron un máximo de 1.61 %, correspondiente con un alto contenido de pirita que fue evidenciado durante el muestreo.

El análisis de reflectancia media a la vitrinita (R_o), teniendo en cuenta la Norma ISO 11760, clasifico estos carbones como carbones bituminoso tipo C (Bituminosos alto Volátil), los cuales varían entre un mínimo de R_o de 0.69 y un máximo de 0.98%.

Tabla 3. Resumen análisis próximos sección Sutatausa

Manto	Nivel	ID	Espesor (m)	Ro. Media	H.R.	H.T.	CZ (BS)	MV (bs)	CF (bs)	AZT (bs)	CF (bslm)	MV (bslmm)	FSI
Veta primera	K2E1g1	1945	0,50	0,95	0,82	1,68	6,25	28,52	62,17	0,94	67,50	33	8
Chica 1	K2E1g1	1940	1,02	0,98	0,73	2,68	3,24	29,24	64,28	0,53	69,92	30	8
La grande 1	K2E1g1	1939	1,35	0,94	0,65	1,66	7,31	28,41	67,52	0,50	70,10	30	8,5
La grande 1	K2E1g1	1938	1,40	0,93	0,86	2,21	7,14	30,69	65,32	0,56	70,66	29	8,5
Gemela inferior	K2E1g1	1941	0,90	0,95	0,74	2,99	6,87	27,81	63,49	0,42	66,71	33	8,5
Gemela inferior	K2E1g1	1943	0,70	0,94	0,81	1,84	7,04	31,09	61,87	0,59	67,10	33	7,5
Gemela superior	K2E1g1	1942	0,80	0,92	0,81	5,63	4,31	32,2	61,84	0,52	68,77	31	7
Gemela superior	K2E1g1	1944	0,30	0,91	0,69	2,06	9,17	28,99	65,23	0,54	70,19	30	8
7 bancos I	K2E1g2	1952	1,35	0,88	0,75	1,80	11,36	29,13	58,25	0,42	64,23	36	8
Chica 2	K2E1g2	1953	0,78	0,89	0,87	2,44	2,74	33,44	58,57	0,56	65,36	35	8,5
Grande 2	K2E1g2	1954	1,37	0,88	1,16	3,36	25,09	27,10	57,67	0,92	65,02	35	8,5
Quintas	K2E1g2	1949	1,70	0,85	1,49	3,75	5,93	31,42	62,65	0,44	67,04	33	8
Chica 3	K2E1g2	1946	1,02	0,82	1,01	2,36	8,43	33,32	44,56	0,67	59,79	40	8,5
Ciscuda	K2E1g2	1948	1,18	0,79	0,88	2,39	10,13	32,20	51,29	1,14	59,65	40	8,5
Ciscuda	K2E1g2	1947	1,70	0,81	0,87	2,08	9,40	32,03	59,51	0,74	67,94	32	8
Deposito	K2E1g2	1950	0,83	0,75	1,29	2,41	23,14	32,30	63,82	1,61	65,89	34	3
7 bancos s	K2E1g2	1951	2,34	0,69	1,15	2,47	12,57	36,14	47,81	1,48	65,85	34	4,5

Fuente. Datos del estudio.

Reflectancia media de la vitrinita (Ro)

Humedad residual (H.R.)

Humedad total (H.T.)

Ceniza en base seca (Cz bs)

Materia volátil base seca (MVbs)

Carbono fijo base seca libre de materia mineral (Cfbslm)

Azufre total base seca (AzTbs)

Materia volátil base seca libre de materia mineral (MVbslmm)

Índice de hinchamiento (FSI).

El análisis de reflectancia media a la vitrinita (Ro), teniendo en cuenta la Norma ISO 11760, clasifico estos carbones como carbones bituminoso tipo C (Bituminosos alto Volátil), los cuales varían entre un minino de Ro. de 0.69 y un máximo de 0.98%.

Tabla 4. Clasificación ASTM e ISO para sección Sutatausá

ID	MV (BSLMM)	Clasificación ASTM D388-12	RO. Media	Clasificación ISO 11760
1945	33	B.M.V	0,95	B.C
1940	30	B.M.V	0,98	B.C
1939	30	B.M.V	0,94	B.C
1938	29	B.A.V	0,93	B.C
1941	33	B.M.V	0,95	B.C
1943	33	B.A.V	0,94	B.C
1942	31	B.A.V	0,92	B.C
1944	30	B.M.V	0,91	B.C
1952	36	B.A.V	0,88	B.C
1953	35	B.A.V	0,89	B.C
1954	35	B.A.V	0,88	B.C
1949	33	B.A.V	0,85	B.C
1946	40	B.A.V	0,82	B.C
1948	40	B.A.V	0,79	B.C
1947	32	B.A.V	0,81	B.C
1950	34	B.A.V	0,75	B.C
1951	34	B.A.V	0,69	B.C

B.A.V. Bituminoso Alto Volátil - **B.M.V** Bituminoso Medio Volátil - **B.C.** Bituminoso tipo C

Fuente. Datos del estudio.

7.2 8.1 CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN GUACHETÁ

Para la sección Guachetá fueron realizados 18 análisis próximos y de reflectancia media a la vitrinita (Ro). En esta sección se presentan todos los tipos de carbones distribuidos así (normas ASTM D388-12): Ocho (8), mantos bituminosos bajos volátiles, con materia volátil entre 16.71 y 20.86 %, los cuales se presenta en su mayoría en el nivel K2E1g1, ocho (8), mantos de bituminosos medios volátiles, con materia volátil entre 18.88 y 29.78 %, y cinco (5) mantos de altos volátiles.

Tabla 5. Clasificación ASTM e ISO para la sección Guachetá

ID	MV (BS)	Clasificación ASTM D388-12	Ro. Media	Clasificación ISO 11760
2013	17	B.B.V.	1,60	B.A
1998	17	B.B.V.	1,52	B.A
2011	29	B.A.V	1,05	B.C
1997	18	B.B.V.	1,53	B.A
2009	29	B.A.V	1,01	B.C
2001	21	B.B.V.	1,45	B.A
1995	28	B.A.V	1,03	B.C
2006	19	B.M.V	1,40	B.B
1999	20	B.B.V.	1,44	B.B
2002	18	B.B.V.	1,48	B.A
2003	20	B.B.V.	1,38	B.B
2000	23	B.M.V	1,29	B.B
2004	20	B.M.V	1,25	B.B
2007	20	B.B.V.	1,39	B.B
2012	30	B.A.V	0,94	B.C
2008	28	B.A.V	0,96	B.C
1993	26	B.A.V	1,03	B.C
2010	27	B.M.V	1,08	B.B
1996	29	B.M.V	1,07	B.B
1994	30	B.M.V	1,06	B.B
2005	25	B.M.V	1,01	B.C

B.A.V. Bituminoso Alto Volátil - **B.M.V** Bituminoso Medio Volátil - **B.B.V** Bituminoso Bajo volátil
B.A. Bituminoso tipo A - **B.B** Bituminoso tipo B - **B.C** Bituminoso tipo C

Fuente. Datos del estudio

El análisis de reflectancia media a la vitrinita (R_o), teniendo en cuenta la Norma ISO 11760, clasifíco cinco carbones de tipo bituminosa tipo A (Bituminosos bajo volátil), con una variación de R_o 1.45 a 1.6 %, la cual es la reflectancia más alta que presento toda la cuenca, nueve mantos como bituminosos tipo B (bituminoso medio volati), que varía su reflectancia entre 1.06 a 1.44%, y seis mantos como bituminoso tipo C (bituminoso alto volátil), con una variación de su reflectancia entre 0.94%.

Tabla 6. Resumen análisis próximos sección Guachetá

Manto	Miembro	ID	Espesor (M)	RO Media	H.R.	H.T.	CZ(BS)	MV (BS)	CF (BS)	AZT (BS)	CF(BS LMM)	MV (BSLMM)	FSI
CISQUERA I.	K2E1g1	2013	0,80	1,60	0,55	5,5	3,88	17,11	79,01	0,4	67,50	33	8,0
TESORO	K2E1g1	1998	1,50	1,52	0,55	6,9	10,47	16,71	72,82	0,34	69,92	30	8,0
TESORO	K2E1g1	2011	0,70	1,05	0,51	2,3	8,2	28,78	63,02	0,62	70,10	30	8,5
TESORITO	K2E1g1	1997	0,70	1,53	0,48	5,4	6,78	17,75	75,47	0,35	70,66	29	7,5
TESORITO	K2E1g1	2009	-	1,01	0,79	3,3	5,93	29,48	64,59	0,57	66,71	33	8,5
MILAGROS	K2E1g1	2001	0,80	1,45	0,81	1,6	4,95	20,86	74,19	0,5	67,10	33	8,0
CUARTAS	K2E1g1	1995	0,50	1,03	0,48	3,01	4,43	28,19	67,38	0,46	68,77	31	8,5
P. DE SODA	K2E1g1	2006	0,20	1,40	0,84	1,9	13,42	18,88	67,7	0,63	70,19	30	8,5
GEMELAS	K2E1g1	1999	1,52	1,44	0,53	1,8	6,50	19,58	73,92	0,46	64,23	36	3,5
CONSUELO	K2E1g2	2002	0,40	1,48	0,25	3,2	10,78	17,54	71,68	0,41	65,36	35	8,0
CONSUELO	K2E1g2	2003	0,75	1,38	0,41	3,4	9,25	19,84	70,91	0,48	65,02	35	8,0
BOLAS	K2E1g2	2000	0,70	1,29	0,51	1,7	10,80	22,93	66,27	0,73	67,04	33	5,0
PIEDRO	K2E1g2	2004	0,75	1,25	0,71	5,9	5,97	20,41	73,62	0,66	59,79	40	8,5
BOCATOM	K2E1g2	2007	1,40	1,39	0,66	7,5	8,85	19,91	71,24	0,57	59,65	40	8,0
MANTO 2	K2E1g2	2012	0,70	0,94	0,63	3	10,48	30,34	59,18	0,49	67,94	32	8,0
V. GRANDE	K2E1g2	2008	0,70	0,96	0,87	3,1	9,58	27,69	62,73	1,36	65,89	34	8,5
SCISQUERA	K2E1g2	1993	0,41	1,03	0,26	3,37	15,35	25,99	58,66	1,85	65,85	34	8,5
CISQUERA	K2E1g2	2010	1,00	1,08	0,68	3,3	2,54	27,26	70,2	0,49	70,85	29	7,5
CISQUERA	K2E1g2	1996	1,60	1,07	0,54	4,49	5,20	29,18	65,62	0,91	69,06	31	8,0
CISQUERA	K2E1g2	1994	1,05	1,06	0,38	3,11	5,29	29,78	64,93	0,82	70,88	29	8,0
7 BANCOS	K2E1g2	2005	2,35	1,01	0,68	3,7	16,77	24,75	58,48	1,26	69,75	30	7,5

7.3 CARACTERIZACION CARBONES SECCIÓN SAMACÁ

En la sección Samacá se presentó una distribución así (normas ASTM D388-12): Diez (10) mantos bituminosos bajos volátiles, con valores de materia volátil (MV) entre 18.06 y 21.43 %; doce (12) mantos bituminosos medio volátil, con MV entre 22.42 y 27.58 %, cuatro (4) manto bituminosos alto volátil, con MV entre 30.71 y 33.73 %. Se resalta que esta sección presenta la mayor cantidad de mantos con carbones bajo volátil.

El análisis de reflectancia media a la vitrinita (R_o), teniendo en cuenta la Norma ISO 11760, clasifíco veinte (20) carbones de tipo bituminoso tipo C (Bituminosos alto volátil), con una variación de R_o de 1.22 a 1.45 %, y tan solo seis (6) mantos bituminosos tipo C (bituminoso bajo volátil) con variaciones de R_o . 0.84 a 0.93%.

Tabla 7. Clasificación ASTM e ISO para la sección Samacá

ID	MV(BS)	Clasificación ASTM D388- 12	Ro. Media	Clasificación ISO 11760
2096	18	B.B.V.	1,45	B.B
2093	20	B.B.V.	1,44	B.B
2092	21	B.B.V.	1,41	B.B
2095	18	B.B.V.	1,41	B.B
2083	21	B.B.V.	1,41	B.B
2097	19	B.B.V.	1,41	B.B
2087	19	B.B.V.	1,34	B.B
2142	22	B.M.V	1,33	B.B
2094	22	B.M.V	1,33	B.B
2091	21	B.B.V.	1,32	B.B
2088	21	B.M.V	1,31	B.B
2085	21	B.B.V.	1,30	B.B
2084	22	B.M.V	1,29	B.B
2090	23	B.M.V	1,29	B.B
2089	23	B.M.V	1,27	B.B
2140	21	B.B.V.	1,27	B.B
2141	24	B.M.V	1,25	B.B
2144	26	B.M.V	1,24	B.B
2145	24	B.M.V	1,23	B.B
2086	22	B.M.V	1,22	B.B
2143	27	B.M.V	0,93	B.C
2082	28	B.M.V	0,93	B.C
2146	31	B.A.V	0,91	B.C
2079	34	B.A.V	0,89	B.C
2080	33	B.A.V	0,85	B.C
2081	31	B.A.V	0,84	B.C

B.A.V. Bituminoso Alto Volátil - **B.M.V** Bituminoso Medio Volátil - **B.B.V** Bituminoso Bajo volátil

B.A. Bituminoso tipo A - **B.B** Bituminoso tipo B - **B.C** Bituminoso tipo C

Fuente. Datos del estudio

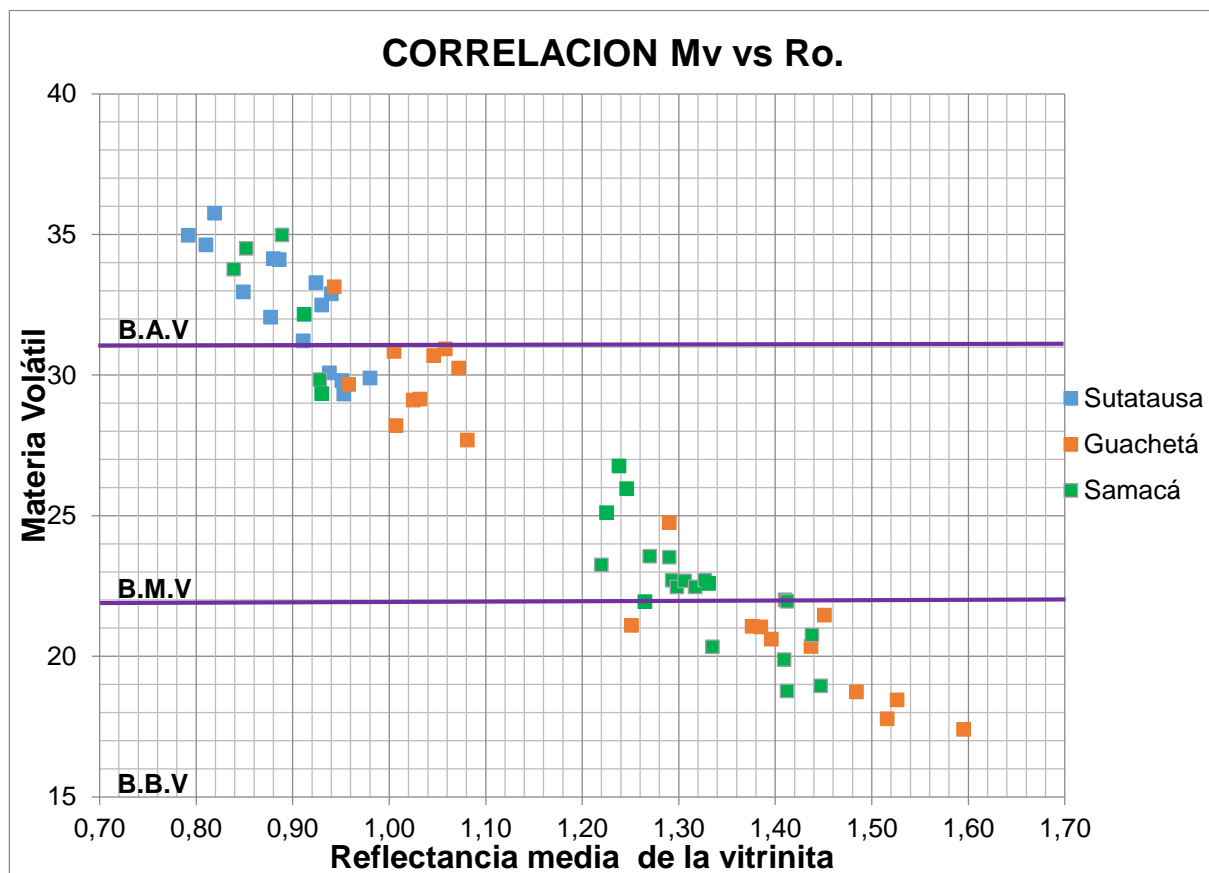
Tabla 8. Resumen análisis próximos sección Samacá

MANTO	ID	Espesor (m)	Ro Media	H.R.	H.T.	CZ (BS)	MV (BS)	CF (BS)	AZT (BS)	CF (BSLMM)	MV (BSLMM)	FSI
RUBI INFERIOR	2096	0,18	1,45	0,23	2,43	8,52	18,06	73,42	0,55	67,50	33	8,0
PIEDRO SUPERIOR	2093	0,25	1,44	0,56	3,34	8,25	19,75	72	0,62	69,92	30	8,0
PIEDRO MEDIO	2092	0,60	1,41	0,45	2,26	5,86	21,22	72,94	0,56	70,10	30	8,5
RUBI SUPERIOR	2095	0,80	1,41	0,54	2,72	6,07	18,19	75,74	0,55	70,66	29	8,5
BOCATOMA	2083	1,60	1,41	0,48	2,02	4,51	21,43	74,06	0,46	66,71	33	8,0
CONSUELO	2097	0,80	1,41	0,16	2,34	5,61	19,30	75,09	0,56	67,10	33	8,0
CONSUELO SUPERIOR	2087	0,70	1,34	0,69	4,32	8,11	19,37	72,52	0,57	68,77	31	8,5
CISCUDA (CISQUERA)	2142	0,90	1,33	0,64	2,78	4,89	21,92	73,19	0,45	70,19	30	8,0
BOCATOMA	2094	1,10	1,33	0,75	2,66	5,15	21,99	72,86	0,49	64,23	36	7,0
PIEDRO INFERIOR	2091	0,48	1,32	0,49	4,38	8,46	21,27	70,27	0,64	65,36	35	8,5
CONSUELO INTERMEDIO	2088	0,70	1,31	0,47	2,74	8,47	21,45	70,08	0,57	65,02	35	8,5
PIEDRO INTERMEDIO	2085	0,50	1,30	0,52	4,04	12,01	20,66	67,33	0,51	67,04	33	8,5
RUBI	2084	0,92	1,29	0,49	4,16	4,48	22,11	73,41	0,51	59,79	40	8,0
PERDIDA INFERIOR	2090	0,40	1,29	0,47	3,79	4,84	22,87	72,29	0,69	59,65	40	8,5
PERDIDA SUPERIOR	2089	0,55	1,27	0,41	1,97	4,23	22,99	72,78	0,60	67,94	32	8,5
TESORITO	2140	0,50	1,27	0,48	2,69	6,57	21,04	72,39	0,45	65,89	34	8,0
TESORO	2141	0,54	1,25	0,62	3,31	9,21	24,24	66,55	0,48	65,85	34	8,0
GEMELA SUPERIOR	2144	0,80	1,24	0,87	1,84	6,68	25,51	67,81	0,52	70,85	29	8,0
GEMELA INFERIOR	2145	0,87	1,23	0,90	1,65	4,50	24,39	71,11	0,53	69,06	31	8,0
PIEDRO INFERIOR	2086	0,56	1,22	0,61	3,17	8,10	22,06	69,84	0,70	70,88	29	8,5
SIETE BANCOS	2143	1,00	0,93	1,13	3,48	12,73	26,76	60,51	1,82	69,75	30	7,5
LA GRANDE	2082	1,6	0,93	0,77	2,14	10,40	27,58	62,02	1,08	81,55	18	8,0
LIGADA	2146	0,85	0,91	1,00	3,02	6,39	30,71	62,9	1,11	82,22	18	8,0
LA TERCERA SUPERIOR	2079	0,80	0,89	0,69	2,56	5,02	33,73	61,25	1,12	79,64	20	8,0
LA TERCERA INFERIOR	2080	0,80	0,85	0,63	2,86	6,02	33,07	60,91	1,55	75,24	25	8,0
LA TERCERA	2081	0,90	0,84	0,84	2,23	11,07	30,93	58	1,47	78,53	21	8,0

En la evaluación se correlaciono los resultados (Ro vs MV), de las 64 muestras tomadas en el área; concluyéndose que existe una relación directa entre la reflectancia y el contenido de materia volátil: (A mayor reflectancia menor contenido de materia volátil), que permite inferir que los carbones presentes en la sección de Guachetá tienen valores de reflectancias más altas, que en todas la secciones muestreadas y se clasifican en carbones bituminosos bajos volátiles, mientras que las muestras tomadas en la sección de Sutatausa presentaron los valores de reflectancia más bajas.

Se resalta que en los resultados de reflectancia a la vitrinita en ninguna de las tres secciones se presentaron datos entre 1.1 a 1.2.

Figura 8. Tabla de correlación materia volátil reflectancia media de la vitrinita



Fuente. Datos del estudio

8. GRADIENTE PALEOGEOTERMAL

El propósito de calcular la maduración térmica, es medir el grado de carbonificación; para lo cual se utilizó la reflectancia media aleatoria de la vitrinita (R_o), que permite determinar la temperatura máxima (T_{peak}), que alcanzó la cuenca para la maduración del carbón y obtener una reconstrucción inicial de la historia geológica de enterramiento (Barker, et al 1994), donde (R_o), es la variable independiente, y la temperatura máxima de carbonificación (T_{max}), se constituye en la variable dependiente.

$$T_{peak} = \left[\frac{(\ln(R_o.M) * 1.68)}{0.0124} \right]$$

Donde.

***T_{peak}**: Temperatura maxima*

***R_o.M**: Reflectancia media de la vitrinita*

Según Baker y Palewlewicz (1994), esta fórmula puede ser utilizada en cuencas sedimentarias que no han sido sometidas a procesos hidrotermales y o eventos térmicamente complejos como en este caso asumimos.

El cálculo del gradiente paleogeotermico se determina con base a la pendiente (m), que se obtiene de los datos de temperatura máxima Vs profundidad de enterramiento.

$$y = mx + b$$

Donde

***y** = Profundidad de enterramiento*

***x** = Temperatura*

***m** = Pendiente*

***b** = Intercepto con la profundidad*

En el cálculo del gradiente paleogeotermico se utilizaron para la sección de Sutatausa, 17 muestras con sus datos de Ro, en la sección Guachetá 21 muestras y para Samacá 21 muestras, los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 9. Resultados de reflectancia media de la vitrinita

Guachetá		Sutatausa		Samacá	
ID	Ro_M	ID	Ro_M	ID	Ro_M
2013	1,60	1940	0,98	2096	1,45
1997	1,53	1941	0,95	2093	1,44
1998	1,52	1945	0,95	2092	1,41
2002	1,48	1943	0,94	2095	1,41
2001	1,45	1939	0,94	2083	1,41
1999	1,44	1938	0,93	2097	1,41
2006	1,40	1942	0,92	2087	1,34
2007	1,39	1944	0,91	2142	1,33
2003	1,38	1953	0,89	2094	1,33
2000	1,29	1954	0,88	2091	1,32
2004	1,25	1952	0,88	2088	1,31
2010	1,08	1949	0,85	2085	1,30
1996	1,07	1946	0,82	2084	1,29
1994	1,06	1947	0,81	2090	1,29
2011	1,05	1948	0,79	2089	1,27
1993	1,03	1950	0,75	2140	1,27
1995	1,03	1951	0,69	2141	1,25
2009	1,01			2144	1,24
2005	1,01			2145	1,23
2008	0,96			2086	1,22
2012	0,94			2143	0,93
				2082	0,93
				2146	0,91
				2079	0,89
				2080	0,85
				2081	0,84

Fuente. Datos del estudio

8.1 GRADIENTE PALEOGEOTERMICO - SECCIÓN SUTATAUSA

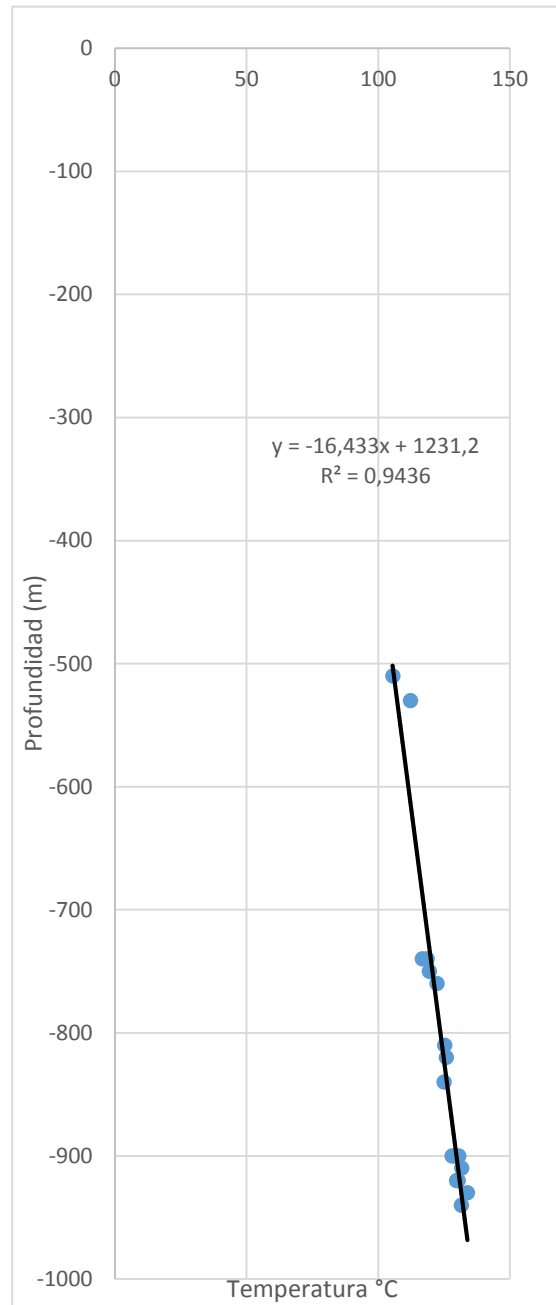
La sección Sutatausa, presentó una correlación lineal donde a mayor profundidad de ubicación de los mantos de carbón en la columna estratigráfica, mayor (Ro) y mayor Temperatura de carbonificación (Tmax).

El cálculo del gradiente paleogeotermico se calcula teniendo la relación la temperatura máxima (Tmax) Vs Profundidad de enterramiento, de la cual se deduce que por cada 313.5 metros de profundidad la temperatura aumenta 16.4°C, donde podemos inferir que el gradiente de temperatura por cada 1000 metros de profundidad es de 52 °C/ Km, para esta sección de la cuenca.

Tabla 10. Temperatura y profundidad de la sección Sutatausa

Temperatura máxima calculada (°C)	Profundidad De Los Mantos
105	-510
112	-530
118	-740
117	-740
119	-750
122	-760
125	-810
126	-820
125	-840
130	-900
129	-900
128	-900
132	-910
130	-920
130	-920
134	-930
131	-940

Paleogeoterma sección Sutatausa



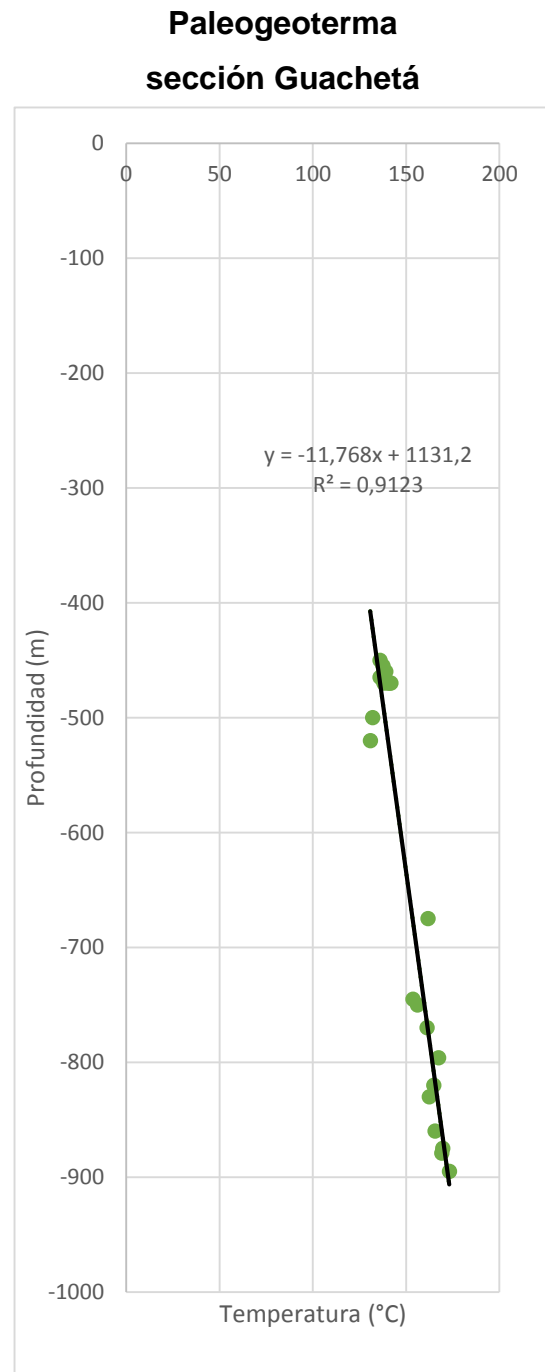
Fuente. Datos del estudio

8.2 GRADIENTE PALEOGEOTERMAL - SECCIÓN GUACHETÁ

Para el gradiente paleogeotermico de la sección Guachetá se obtuvo que por cada 1000 metros de profundidad la temperatura aumenta 82 °C. Mayor que la sección Sutatausa Comparándolo con las demás secciones es el segundo gradiente más alto. El valor del está en 0.9123 nos muestra un valor bastante aceptable para la los datos empleados, esto se puede ver en la siguiente figura.

Tabla 11. Temperatura y profundidad de la sección Guachetá

Temperatura máxima calculada (°C)	Profundidad De Los Mantos (m)
173	-895
170	-875
169	-879
167	-796
166	-860
165	-820
162	-830
162	-675
161	-770
156	-750
154	-745
142	-470
141	-470
140	-470
139	-460
138	-470
137	-455
136	-465
136	-450
132	-500
131	-520



Fuente. Datos del estudio

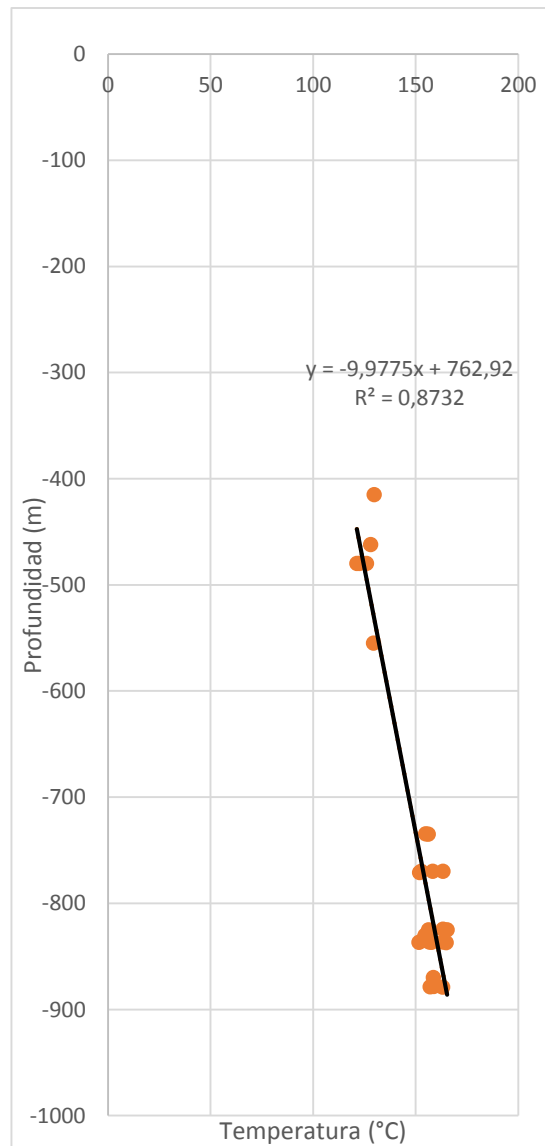
8.3 GRADIENTE PALEOGEOTERMAL - SECCIÓN SAMACÁ

La sección Samacá presenta un gradiente paleogeotermico de 100 °C/Km, presentado el mayor gradiente de las tres secciones. El valor de R^2 está 0.8732 nos muestra un valor aceptable para la los datos empleados.

Tabla 12. Temperatura y profundidad de la sección Samacá

Temperatura máxima calculada (°C)	Profundidad De Los Mantos (m)
130	-415
128	-462
126	-480
123	-480
121	-480
129	-555
155	-735
156	-735
163	-770
158	-770
153	-770
152	-771
163	-825
165	-825
156	-825
154	-830
153	-835
163	-837
157	-837
152	-837
158	-837
165	-837
159	-870
159	-879
157	-879
163	-879

Fuente. Datos del estudio



9. CONCLUSIONES

El gradiente paleogeotermal obtenido en las tres secciones varía entre 52 y 100 °C/Km es un gradiente normal, asociado a enterramiento, a mayor profundidad mayor Temperatura de carbonificación, que muestran como los carbones de mayor rango, BBV se formaron a temperaturas entre 165 y 170 °C, los BMV en rango entre 130 y 160 °C y los BAV entre 105 y 128 °C.

En los carbones analizados en la subcuenca Checua – Lenguazaque, no se encontraron valores de R_o entre 1.1 y 1.2, probablemente porque están asociados a La Arenisca La Guía, en donde sí se realizará un análisis de materia orgánica dispersa se presentaría este rango de reflectancia.

La sección de Samacá es la de menor correlación ($R^2 = 0,8732$), presenta mayor desviación asociado a aumentos de valores de R_o , y con mayor gradiente paleogeotérmico (100 °C/Km), debido a zonas de presión que generaron aumentos locales en las temperaturas de carbonificación, ya que geológicamente esta sección se encuentra en la zona del cierre del sinclinal Checua-Lenguazaque, y se evidencia una serie de fallas locales inversas y transversales, que dividen la formación guaduas en numerosos bloques, los buzamientos en promedio 35° NE, presentándose zonas con gran plegamiento local.

La sección de mejor correlación obtenida fue Sutatausa, con un valor de gradiente de 52 °C/Km, es de anotar que en esta sección no se presentan BBV, aparecen desde BMV hasta BAV, esta sección presenta baja intervención tectónica, lo cual se ve evidenciado con datos estructurales tomados del flanco occidental del sinclinal con capas con buzamientos de 30° SE en promedio, la zona de estudio no está afectada por fallas regionales, solo algunas fallas locales de tipo inverso que desplazan los mantos de carbón pocos metros.

Haciendo un análisis del entorno geológico para interpretar el valor del gradiente de la sección de Guachetá, que fue de 82 °C/Km, se presenta un aumento del

buzamiento, el cual es 55° SE, incrementándose 25° en proporción a la zona de Sutatausa, esta zona es afectada por grandes esfuerzos tectónicos, una evidencia de esto es el incremento del buzamiento, la cercanía al complejo de fallas de Cucunubá en el sector del boquerón de Cucunubá se observa que el flanco oriental se flexa hacia el NE, esto producido posiblemente por los esfuerzos asociados a las fallas regionales de Cucunubá y Nemocón.

BIBLIOGRAFÍA

AITEMIN. (1992). Investigación Técnica Carbón, Análisis automático de macérales y reflectividad.

ALLEN, P. a. (2005). Basin Analysis - Principles and Application 2nd ed. - Phillip A. Allen and John R. Allen (2005).pdf.

AMAYA., E. J. (2009). litofacies y ambiente de acumulación de la formación guaduas. Retrieved from <http://biogeodb.stri.si.edu/herbarium/>

BARKER, C. E. (1994). Calculation of Vitrinite Reflectance from Thermal Histories and Peak Temperatures.

BARREDO, S. P., & Stinco, L. P. (2010). Geodinámica de las cuencas sedimentarias: su importancia en la localización de sistemas petroleros en la Argentina. *Petrotecnica*, 48–68.

BICKFORD, C. G. C. (1988). Geological Fieldwork 1988 vitrinite reflectance study of nanaimo By Candace Kenyon and.

Eroglu S., Toprak S., Urgan O, MD, Ozge E. Onur, MD, Arzu Denizbasi, MD, Haldun Akoglu, MD, Cigdem Ozpolat, MD, Ebru Akoglu, M. (1984). Current Research Part A. *Saudi Med J* (Vol. 48–1a).
<http://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>

Garc, M., Uma, R. M., Enrique, L., & Guevara, C. (2010). Reconstrucción de la historia paleotermal de la subcuenca de la baja guajira, colombia, 32.

GEOLOGICO-MINERAS, I. N. D. I. I. (1987). CARBONES COQUIZANTES DE LA SABANA CUNDI - BOYACENSE.

GRAVITY, A. S. (2013). Standard Test Method for Apparent and True Specific Gravity and Porosity of Lump, 93(Reapproved), 11–13.
<http://doi.org/10.1520/D0167-12A.2>

GUATAME, C. L., & Sarmiento, G. (2004). Interpretación del Ambiente Sedimentario de los Carbones de la Formación Guaduas en el Sinclinal Checua-Lenguazaque a partir del Análisis Petrográfico. *Geología Colombiana*, (29), 41–57.

JUAN SEBASTIÁN, G. N. M. D., López, C., Rocio, S., Geológica, E. D. I. De, & Grupo, U. (2016). (Contributions to determine paleoenvironments of coals , Guaduas.

MARIÑO, J., Marshak, S., & Mastalerz, M. (2015). Evidence for stratigraphically controlled paleogeotherms in the Illinois Basin based on vitrinite-reflectance analysis: Implications for interpreting coal-rank anomalies. *AAPG Bulletin*, 99(10), 1803–1825. <http://doi.org/10.1306/04151513001>

MINISTERIO, M. Y. E. (2003). *Glosario Técnico Minero*, 168.

MONTOYA ARENAS, D. M., & Torres Reyes, G. A. (2005). *Geología de la sabana de Bogotá*. Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas, 104. Retrieved from http://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf http://choconta.files.wordpress.com/2007/12/informe_geologia_sabana_bta.pdf

MUKHOPADHYAY, P. K. (1994). Vitrinite Reflectance as Maturity Parameter. *Vitrinite Reflectance as a Maturity Parameter*, 570(570), 1–24. <http://doi.org/doi:10.1021/bk-1994-0570.ch001>

PARK, M. (1999). Chapter VR THERMAL MATURITY. *National Wildlife*.

PARRA, M., MORA, A., Jaramillo, C., Strecker, M. R., Sobel, E. R., Quiroz, L., Torres, V. (2009). Orogenic wedge advance in the northern Andes: Evidence from the Oligocene-Miocene sedimentary record of the Medina Basin, Eastern Cordillera, Colombia. *Bulletin of the Geological Society of America*, 121(5-6), 780–800. <http://doi.org/10.1130/B26257.1>

SUÁREZ-RUIZ, I. (2012). *Organic Petrology: An Overview*. *Petrology - New Perspectives and Applications*, 236. <http://doi.org/10.5772/23431>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA UPME. (2012). *República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía “Cadena del Carbón.”*

ANEXOS