

**MODELO GEOLÓGICO 2 D DEL MIEMBRO MEDIO CARBONÍFERO DE LA
FORMACIÓN AMAGÁ A PARTIR DE REGISTROS DE POZO EN TITIRIBÍ
ANTIOQUIA**

GERMÁN ANDRÉS HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

VICTORIA MORENO SÁNCHEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLGÍA
BUCARAMANGA
2014**

**MODELO GEOLÓGICO 2 D DEL MIEMBRO MEDIO CARBONÍFERO DE LA
FORMACIÓN AMAGA A PARTIR DE REGISTROS DE POZO EN TITIRIBÍ
ANTIOQUIA**

GERMÁN ANDRÉS HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

VICTORIA MORENO SÁNCHEZ

Proyecto de grado para optar el título de Geólogo

**DIRECTOR DEL PROYECTO:
Dr. Luis Enrique Cruz Guevara**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLGÍA
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

Quiero dedicar este triunfo a Dios, que me permitió durante todos estos años encontrar en El la fortaleza, la sabiduría, y la disciplina necesaria para cosechar este triunfo.

A mi madre, Rosalba Rodríguez, que con su ejemplo me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante las dificultades; quien fue, es y seguirá siendo mi norte para seguir alcanzando logros.

A todos mis amigos (Victoria Moreno, Luz Helena M, Alejandra Suarez, Alejandra Flórez, Camilo Anaya, Iván B, Fercho, Yesid Aguilar, Cote, Natalia “Garmer”, Juan Rozo, Leydi Castro, Camilo Arguello y Gilberto Suarez) y mis compañeros de Geología que gracias a su apoyo y conocimientos hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

Al CENTI, que me fortalecieron y se convirtieron en un sustento durante esta etapa de mi vida.

Al Ing. Juan Carlos Zúñiga, sin él esta tesis no habría sido posible.

Germán A. Hernández Rodríguez

A Dios por brindarme todas las herramientas necesarias para alcanzar este logro, a mi abuela Gladys, quien siempre ha creído en mí y ha sido un apoyo incondicional, a mis queridos padres que siempre han hecho de mí una mejor persona con todas sus enseñanzas .

Victoria Moreno

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	21
1 OBJETIVOS.....	22
1.1 OBEJTIVOS GENERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	22
2 GENERALIDADES	23
2.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO	23
2.2 FISIOGRAFÍA	26
2.2.1 Drenajes.....	27
2.2.2 Clima 27	
2.2.3 Topografía.....	27
2.2.4 Flora y Fauna	28
3 MARCO REFERENCIAL	30
3.1 REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS	30
3.1.1 Registro de Gamma Natural.....	30
3.1.2 Registro de Densidad	36
3.1.3 Registro de Resistividad.....	39
3.1.4 Registro Caliper.....	42
3.2 RESUMEN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS.....	44
4 GEOLOGÍA - EL BALSAL.....	45
4.1 GEOLOGÍA GENERAL DEL CARBÓN.....	45
4.1.1 Rango del Carbón	45
4.1.2 Formación del Carbón en Colombia.	47
4.1.3 Áreas de Carbón en Antioquia.....	49
4.2 ESTRATIGRAFÍA GENERAL	58
4.2.1 Formación Quebradagrande. Miembro Volcánico. Kivq.....	59
4.2.2 Grupo Ayurá Montebello. Pev	60
4.2.3 Formación Amagá. Toi, Tom, Tos.....	61

4.2.4 Formación Combia. Tcv	64
4.2.5 Miembro Volcánico	64
4.2.6 Miembro Sedimentario.....	65
4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	66
4.3.1 Fallas 67	
4.3.2 Pliegues.....	68
4.4 GEOLOGIA LOCAL	69
4.4.1 Formación Combia.....	70
4.4.2 Formación Amagá.....	71
4.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA	77
4.5.1 Cinta 1. Espesor 0.9 m	79
4.5.2 Cinta 2. Espesor 0.5 m	79
4.5.3 Manto 1. Espesor 0.9 m	79
4.5.4 Manto 2. Espesor 2.7 m.....	79
4.5.5 Manto 3. Espesor 1.3	80
4.5.6 Manto 4. Espesor 5 m.....	80
4.5.7 Manto 5. Espesor 5 m	81
4.5.8 Manto 6. Espesor 1.2 m.....	82
4.5.9 Manto 7. Espesor 4 m.....	82
5 METODOLOGÍA	83
5.1 FASE DE PRE-CAMPO.....	83
5.2 FASE DE CAMPO	84
5.2.1 Reconocimiento de Campo:.....	84
5.2.1.1 Descripción de Núcleos.....	84
5.3 FASE DE LABORATORIO.....	91
5.4 FASE DE OFICINA	92
5.5 FASE FINAL	92
6 RESULTADOS	94
6.1 GENERALIDADES DE LOS POZOS DE PERFORACIÓN.....	94
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.....	94
6.2.1 Descripción litológica del Pozo TP-L14-DH06.....	98

6.2.2 Descripción litologica del pozo TP-L14-TC07	103
6.2.3 Descripción Litologica del Pozo TP-L14-DH08:.....	106
6.3 REGISTRO-ROCA.....	109
6.3.1 Análisis cualitativo de los Registros y Propiedades Geofísicas de los Diferentes Tipos de Roca.	109
6.4 PETROGRAFÍA DE SECCIONES DELGADAS.....	115
6.4.1 Muestra tp-l14 -dh06_01 (136.45 m)	116
6.4.2 Muestra tp-l14 -dh06_02 (137 m).....	117
6.4.3 Muestra tp-l14 -dh08 (70.23 m)	119
6.5 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y ESTRUCTURAL.....	121
6.5.1 Descripción de los Mantos de Carbón cortados en los pozos de perforación. 126	
6.6 MODELO GEOLOGICO.....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
BIBLIOGRAFÍA.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación del Municipio de Titiribí. Gemi SA.2010	23
Figura 2. Localización del contrato minero. Tomado de Gemi SA. 2012.	25
Figura 3. Vías de acceso. Tomado de Gemi SA, 2010	25
Figura 4. Cartografía geológica del territorio carbonífero de Antioquia (izquierda). Tomado de Grosse E. (1926). Imagen del área general de Titiribí (derecha). Tomado de Google Earth ®.	26
Figura 5. Sonda GTC (caliper). Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	31
Figura 6. Sonda DD6 (densidad) La mayoría de las sondas Slimline tienen un sensor de Gamma Ray acoplado. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	31
Figura 7. Ejemplos de registros sintéticos. Comportamiento del registro gama Ray a un paquete de Arenisca. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013	32
Figura 8. Ejemplos de registros sintéticos. Shale, Pozo perforado en diámetro HQ (96 mm), con cavernas. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013	33
Figura 9. Registro geofísico del pozo TP-L14-DH08. En rojo, se observa el comportamiento del registro gamma ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.	35
Figura 10. Contraste entre arenisca típica, carbón y shale. DENB, DENL, CODE. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	36
Figura 11. Registro geofísico del pozo TP-L14-TC07. En rojo, comportamiento del registro Densidad ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS.....	37
Figura 12. Sonda DD6. La sonda viaja haciendo contacto con las paredes del pozo. Los valores de Densidad que se obtienen .corresponden al promedio dentro de los radios de penetración de cada sensor (separación S–D) Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013	38
Figura 13. Resistividad de los principales tipos de rocas. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	40

Figura 14. Sonda RR5. Realiza dos tipos de mediciones: Resistividad somera y profunda. Capacidad de investigación 20-30cm. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	40
Figura 15. Registro geofísico pozo TP-L14-DH06. En rojo se observa la respuesta del registro Resistivo ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.....	41
Figura 16. Sonda GTC. Realiza tres tipos de mediciones: Diámetro del pozo (caliper de 3 brazos)-Gama ray-Temperatura. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.	42
Figura 17. Ejemplo de un registro realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.....	43
Figura 18. Distribución Aproximada de los carbones en Colombia. Tomado del Servicio Geológico Colombiano 2012.	48
Figura 19. Sección transversal de la estructura geológica en el centro de Antioquia (Fallas en rojo - rocas ígneas en naranja)	53
Figura 20. Rocas intrusivas y metamórficas en la parte central de Antioquia. Tomado y Modificado de Ingeominas (1999), González (1990).....	54
Figura 21. Áreas de carbón en el sur de Antioquia. (Tomado y Modificado de Ingeominas, 2005).	55
Figura 22. Sección transversal A-A´ en la parte sur de Antioquia (rocas carboníferas se muestran en marrón) (Tomado y Modificado de Ingeominas, 2005).....	56
Figura 23. Geología Regional. Tomado y modificado de Plancha Geológica 146. 1:100.000. 1983.....	57
Figura 24. Columna estratigráfica generalizada mostrando los miembros de la formación amaga. (Tomado y modificado de Grosse, 1926)	59
Figura 25. Mapa estructural del título Minero el Balsal. Tomado de Gemi (2012). 67	
Figura 26. Localización de las concesiones el Balsal y el Silencio con geología de superficie. Gemi (2013).....	69
Figura 27. Lecho de la quebrada El Tambo en basaltos de la Formación Combia	70
Figura 28. Basaltos de la Formación Combia en la quebrada Larita	71

Figura 29. Columna Estratigráfica Generalizada para los carbones del Balsal Tomado y modificado de Ingeominas, 2005	72
Figura 30. Columna estratigráfica detallada del Miembro Tom. Tomada y modificada de Ingeominas, 2005	73
Figura 31. Estratos de arcillolitas reconocidas durante la fase de campo en el caño La Secreta – El Silencio	74
Figura 32. Paquete de limolitas en el Caño Arrayanal reconocidas durante la fase de campo.	75
Figura 33. Arenisca fresca que comienza a meteorizarse. Quebrada La Balsala. Fotografía tomadas durante el reconocimiento de campo	76
Figura 34. Estrato de arenisca en la quebrada La Balsala. Fotografía tomada durante el reconocimiento de campo	76
Figura 35. Columna con distancia estratigráfica entre mantos.	78
Figura 36. Localización de los pozos de perforación en la concesión el Balsal y el Silencio. (Cuadro rojo indicando los pozos entregados para esta tesis).Tomado Carbones de Titiribí SAS, 2013.....	85
Figura 37. Salida de los núcleos sobre el canal.Imagenes tomadas durante el reconocimiento de campo.....	86
Figura 38. Descripción del núcleo de perforación durante la fase de campo.....	86
Figura 39. A. Muestras de ripios de carbón del pozo TP-L14-TC07.B.Muestra de ripios empacadas y almacenadas en las cajas.	87
Figura 40. Registro SLIMLINE. Tomado de Weatherford 2013.	88
Figura 41. Generalidades del registro SLIMLINE. A. Unidades de Registro. B. Sistema de control de profundidad y tensión-SCI WellManager. Tomado de Weatherford 2013	89
Figura 42. Campo de configuración en El Balsal. Cable y el draw works montados en una carretilla. La grabadora de superficie se monta de forma similar. Tomado de Weatherford 2013.	90
Figura 43. Microscopio marca Nikon Eclipse E200.....	92

Figura 44. Formato Utilizado por Carbones de Titiribí SAS, para realizar la descripción litológica de los núcleos de perforación TP-L14-DH06, TP-L14-TC07 TP-L14-DH08.....	96
Figura 45. Formato utilizado por la Empresa Carbones de Titiribí SAS para designar la litología.....	97
Figura 46. Columna estratigráfica del pozo TP-L14-DH06	99
Figura 47. Areniscas presentando venas rellenas de carbonato.	100
Figura 48. Limolitas y arcillas sobre el canal	101
Figura 49: A. Carbón con brillo del 80%, sacado en el proceso de perforación a los 63 m aproximadamente de profundidad. B y C Nucleos organizado en las cajas con carbones en la base del pozo (134 a 136m). los núcleos con carbón han sido llevados para exámenes de laboratorio.	102
Figura 50. Columna Estratigráfica del pozo TP-L14-TC07	103
Figura 51. Muestra de zanja de las rocas conglomeraticas	104
Figura 52. Muestra de lodos y arcillas. Muestra de zanja	105
Figura 53. Columna estratigráfica del pozo TP-L14-DH08	106
Figura 54. Roca Volcánica Andesita	107
Figura 55. Areniscas con bioturbación.....	108
Figura 56. Muestra de Conglomerados.....	109
Figura 57. Respuesta de los registro Gamma Ray (curva verde), Resistivo (curva roja) y Densidad (curva negra) a las distintas litologías descritas para el pozo TP-L14-DH06 de donde se obtuvo núcleos de perforación.	112
Figura 58. Apartir de la comparacion de los registrso Gamma, Resistivo y densidad de los pozos TP-L14-DH06 y TP-L14-DH08 se determinaron las siguientes litologias para el pozo TP-L14-TC07 del cual solo se obtuvieron muestras de zanja.	113
Figura 59. Respuesta de los registro Gamma Ray (curva verde), Resistivo (curva roja) y densidad (curva negra) a las distintas litologías descritas para el pozo TP-L14-DH08 de donde se obtuvo núcleos de perforación.	114
Figura 60. Micropetrografia de la muestra TP-L14-DH06_01 correspondiente a una litarenita , tanto en la figura A y B (nicos paralelos y cruzados respectivamente) se	

observa plagioclasa con macla polisintetica. Notese algunos fragmentos liticos limosos. Aumento: x5.....	116
Figura 61. Micropetrografia de la muestra TP-L14-DH06_01 correspondiente a una litarenita , tanto en la figura A y B (nicoles paralelos y cruzados respectivamente) podemos ver la composicion del armazón de la roca moderadamente calibrada , la cual esta constituida por tamaños de grano fino a muy fino asi como los diferentes clastos de cuarzo que son subangulares, los colores típicos de esta seccion varian de colores parduzcos para nicoles paralelos y grisaceos para nicoles cruzados. Aumento: x5.....	117
Figura 62. Micropetrografia de la muestra TP-L14-DH06_02 correspondiente a una litoarenita , tanto en la figura A y B (nicoles paralelos y cruzados respectivamente) se observar el aumento de materiales liticos y granos de cuarzo que varian de tamaño arena muy fino a tamaño limo.....	118
Figura 63. Micropetrografia de la muestra TP-L14-DH08 correspondiente a una litarenita , tanto en la figura A y B (nicoles paralelos y cruzados respectivamente) se observa el bajo contenido de matriz (casi ausente) , un alto contenido de fragmentos liticos, limosos , el cuarzo se presenta distribuido homegeneamente en toda la seccion y su forma es subangular a redondeado.Aumento: x10	120
Figura 64. Correlación Estructural para los tres pozos de perforación.	123
Figura 65. Correlacion estratigrafica generalizada para los pozos TP-L14-TC07 (Imagen izquierda) y TP-L14-DH06 (Imagen derecha).....	125
Figura 66. Sección transversal Oeste-Este para el yacimiento Carbonífero el Balsal	130
Figura 67. Sección Transversal para el título minero el Balsal. Fallas Cauca Oeste y Sabanalarga encerrando los mantos de carbón en el área del Balsal.	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Alinderación del título minero HJBN-04 El Balsal	24
Tabla 2. Historia de los estudios acerca de la Formación Amagá. Tomado de Blandón M, 2006.....	52
Tabla 3. Estructuras y espesores de los mantos y las cintas del yacimiento El Balsal	82
Tabla 4. Propiedades físicas de los diferentes tipos de Rocas.....	111

LISTA DE APÉNDICE

- Apéndice 1 Formación del Carbón
- Apéndice 2 Características litológicas de cada Pozo.
- Apéndice 3 Análisis Petrográficos
- Apéndice 4 Registros Geofísicos

RESUMEN

TÍTULO: MODELO GEOLÓGICO 2 D DEL MIEMBRO MEDIO CARBONÍFERO DE LA FORMACIÓN AMAGA A PARTIR DE REGISTROS DE POZO EN TITIRIBÍ* ANTIOQUIA

AUTORES: GERMÁN ANDRES HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**
VICTORIA MORENO SANCHEZ**

PALABRRAS CLAVE: REGISTROS GEOFÍSICOS, GEOLOGÍA DEL CARBÓN, FORMACIÍN AMAGÁ, CORRELACIÓN ESTRATIGRAFICA, CORRELACIÓN ESTRUCTURAL.

DESCRIPCIÓN:

La empresa de Carbones Titiribí SAS, quien adelanta trabajos de exploración para el título minero HJBN-04 (El Balsal), en la cuenca carbonífera de Titiribí Antioquia, adelanto durante el 2013 una campaña de perforación acompañada de extracción de núcleos, ripios y corrida de registros de pozo con el propósito de tener más claridad del comportamiento de los carbones que aparecen en superficie.

La cartografía del área fue realizada por el geólogo alemán, Edwin Grosse en 1926, y reporto por primera vez la ocurrencia de carbón. Gemi SA (Gemi) hizo un estudio preliminar de campo a principios de la década de 1990, y durante el 2012 realizo trabajos en la zona con el fin de definir mejor la secuencia de carbón. Las principales unidades de rocas asignadas en la región incluyen el complejo Quebradagrande (Cretácico), el miembro inferior, medio (miembro TOM que aloja el carbón) y el superior de la formación Amagá (Terciario) y la suprayacente Formación Combia (Terciario).

Para esta tesis se puso a disposición la información de tres (3) pozos de una misma línea, para dos de ellos se tuvo núcleos (TP-L14-DH06, TP-L14-DH08) y uno de ellos tuvo muestra de zanja (TP-L14-TC07); los registros geofísicos que fueron corridos para estos tres pozos fueron Gamma Natural, Densidad, Resistivo y Caliper.

Con esta información se propone un modelo geológico 2D del perfil carbonífero del miembro TOM construido a partir de: mapa geológico y estructural de la zona, columnas litológicas construidas a partir de los núcleos, una correlaciones estratigráfica tomando como base la interpretación cualitativa de los registros los cuales permitieron la identificación y posterior caracterización de los mantos de carbón, una correlación estructural y una petrografía básica de tres muestras estudiadas.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Geólogo Dr Luis Enrique Cruz Guevara. Codirector Juan Carlos Zuñiga

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL MODEL 2 D AVERAGE MEMBER AMAGA COAL FORMATION FROM WELL LOGS IN TITIRIBÍ ANTIOQUIA*

AUTHORS: GERMÁN ANDRES HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ**
VICTORIA MORENO SANCHEZ**

KEY WORDS: GEOPHYSICAL LOGS, COAL GEOLOGY, TRAINING FAKES, STRATIGRAPHIC CORRELATION, STRUCTURAL CORRELATION.

DESCRIPTION:

The company Carbones Titiribí SAS, who advances exploration in coalfield of Titiribí Antioquia, advanced during the 2013 in it's drilling campaign accompanied coring, cuttings and well logs runned in order to have more clarity of coals behavior and appearance on surface.

The mapping of the area was conducted by the German geologist, Edwin Grosse in 1926, who first reported the occurrence of coal. Gemi SA (Gemi) made a preliminary field study in the early 1990s, and in 2012 performed work in the area in order to better define the sequence of coal. The main rock units mapped in the region include the means Quebradagrande complex (Cretaceous), the lower members (TOM member on which the coal is deposited) and the top of the Amagá (Tertiary) formation and the overlying Combia Formation (Tertiary).

For this thesis we had available the information of three (3) wells in the same line, for two of them core samples (TP- L14- DH06 , TP- L14- DH08) was held and one of which was obtained sample trench (TP- L14- TC07); geophysical logs that were runned for these three wells were Natural Gamma , Density, Resistive and Caliper .

With this information a 2D geological model of the coal TOM member profile constructed from proposed : geological and structural map of the area, lithologic columns constructed from cores , stratigraphic correlations based on the qualitative interpretation of the records which allowed the identification and further characterization of the coa seams , structural mapping and basic petrography three samples studied.

*Proyecto of grade

** Faculty of chemical engineering. School of Geology. Directed Geologist Dr Luis Enrique Cruz Guevara. CO- Juan Carlos Zuñiga

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países con mayores reservas de carbón en América Latina y el cuarto exportador de carbón del mundo con una tasa de explotación actual de reservas medidas que aseguran más de 120 años de producción. En este contexto Antioquia aporta una participación del 0,19% en la producción de carbón del país. Y es en este departamento, donde centraremos nuestro estudio que corresponde a la modalidad de tesis de investigación, realizado en el municipio de Titiribí, en la vereda Falda del Cauca, en la cual se encuentra el título minero, HJBN-04 (el Balsal) de 5508 m². Este título se encuentra en etapa de exploración por la empresa CARBONES DE TITIRIBI SAS cuyo mayor interés radica en la presencia de mantos de carbón los cuales están en el miembro Tom de la Formación Amagá.

En la exploración de depósitos carboníferos es de gran importancia obtener información del subsuelo mediante registros geofísicos con el fin de determinar las características del mismo y la determinación de las características geológicas tales como: espesor, inclinación, composición, litología de los estratos, entre otras.

Con el presente trabajo se busca realizar un modelo geológico 2D de dicha formación ya que esta es una herramienta básica para los estudios de ambientes de depositación, hidrogeología, correlación estratigráfica, interpretación de registros y estimación de reservas y recursos de carbón.

La primera fase de campaña de perforación se llevó a cabo durante los meses de Enero a Marzo del 2013 (realizada hacia la zona central del título minero) para un total de 21 pozos, de los cuales para el presente trabajo se pusieron a disposición 3 pozos de una línea de perforación con información relevante de registros geofísicos: Gamma Ray, Resistividad y Densidad, además de núcleos para la elaboración de columnas estratigráficas y secciones delgadas.

Con base en esta información y la interpretación nuestra se plantea el modelo geológico 2D del presente trabajo.

1 OBJETIVOS

1.1 OBEJTIVOS GENERAL

Realizar un modelo geológico 2D del miembro medio carbonífero de la Fm Amagá a partir de registros de pozo

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Interpretación litológica de los pozos perforados en el miembro medio carbonífero de la Fm Amagá a partir de núcleos y registros geofísicos.
- Realizar las columnas estratigráficas para cada pozo perforado del miembro medio carbonífero de la Fm Amagá, a partir de la descripción de núcleos de los pozos.
- Elaboración de registros-Roca a partir de las columnas estratigráficas y los registros geofísicos de los tres pozos de perforación.
- Plantear la correlación estratigráfica de los tres pozos de perforación.
- Petrografía básica del miembro medio carbonífero de la Fm Amagá (5 secciones delgadas) con el fin de realizar un estudio más detallado de sus características texturales, composicionales y a su vez complementar la descripción macroscópica previamente realizada.
- Determinar el modelo geológico 2D dentro de un marco litológico, estratigráfico y estructural.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área del contrato se encuentra ubicada al noroeste de la cabecera municipal del municipio de Titiribí, en la Vereda Falda del Cauca (El Balsal). El municipio de Titiribí se localiza en el suroeste del departamento de Antioquia (Ver figura1).

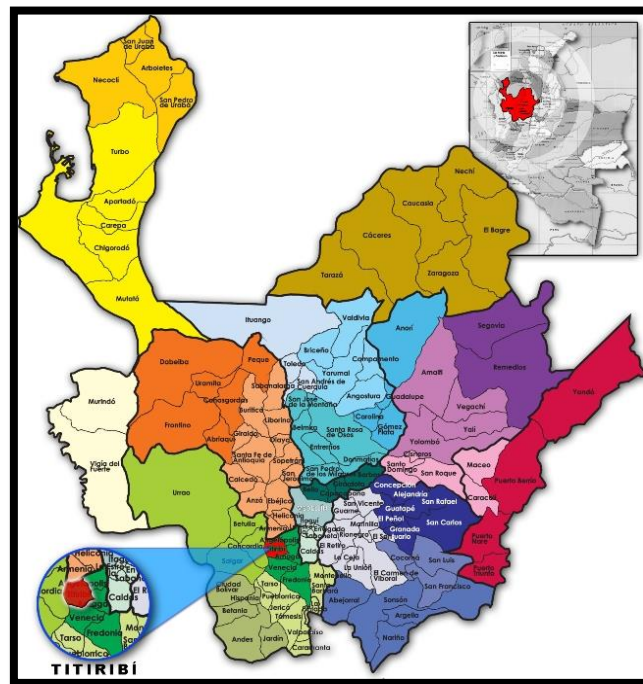


Figura 1. Mapa de Ubicación del Municipio de Titiribí. Gemi SA.2010

El título minero HJBN-04 (El Balsal) está ubicado en la plancha topográfica 146 – III – D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) escala 1:25.000 con una extensión de 52 Ha y 5.508 m². Las coordenadas del área del Título se ajustan a la siguiente alinderación en la tabla 1:

PUNTO	NORTE	ESTE
Punto Arcifinio	1'165.821	1'137.899
1	1'165.821	1'137.899
2	1'166.414	1'137.899
3	1'166.414	1'137.201
4	1'165.500	1'137.201
5	1'165.500	1'137.549
6	1'165.821	1'137.549

Tabla 1. Alinderación del título minero HJBN-04 El Balsal

El acceso principal al municipio de Titiribí es por medio de la troncal del Café, que comunica a Medellín con el suroeste antioqueño, el recorrido por esta vía se hace a lo largo de 62 km. desde Medellín, pasando por los municipios de Caldas y Amagá, hasta llegar al corregimiento de La Albania, por donde se desvía hacia la cabecera municipal de Titiribí. Al área del título se llega por vía carreteable de 18 km en regulares condiciones, que une a Titiribí con la Vereda Falda del Cauca (el Balsal). Otra vía es el carreteable de 21 km que se desprende de la vía Amagá-Bolombolo, en cercanía del puente sobre la Quebrada Sinifaná (ver Figura 2 y 3)

2.2 FISIOGRAFÍA

Los Mantos de carbón se encuentran en el flanco occidental de la Cordillera Central en el lado oriental del río Cauca, Cárdenas J.I y Restrepo M (2006). La zona está enmarcada dentro del relieve general de la Cordillera Central, caracterizada por zonas montañosas de pendiente variable, valles incisivos de fuertes pendientes en las partes altas de las cuencas y superficies depositacionales en las partes bajas de los valles. La zona de interés presenta una morfología de vertientes moderadas a altas y al acercarse a la quebrada Amagá se suavizan las pendientes para formar un valle relativamente estrecho que se prolonga hasta la desembocadura de esta quebrada en el Río Cauca. (Antioquia La Nuestra, Orgullo de Colombia 2013)

La figura 4 muestra el terreno en el área general de la concesión y los estratos proyectados que contienen carbón, Cartografiado por Grosse E. (1926)

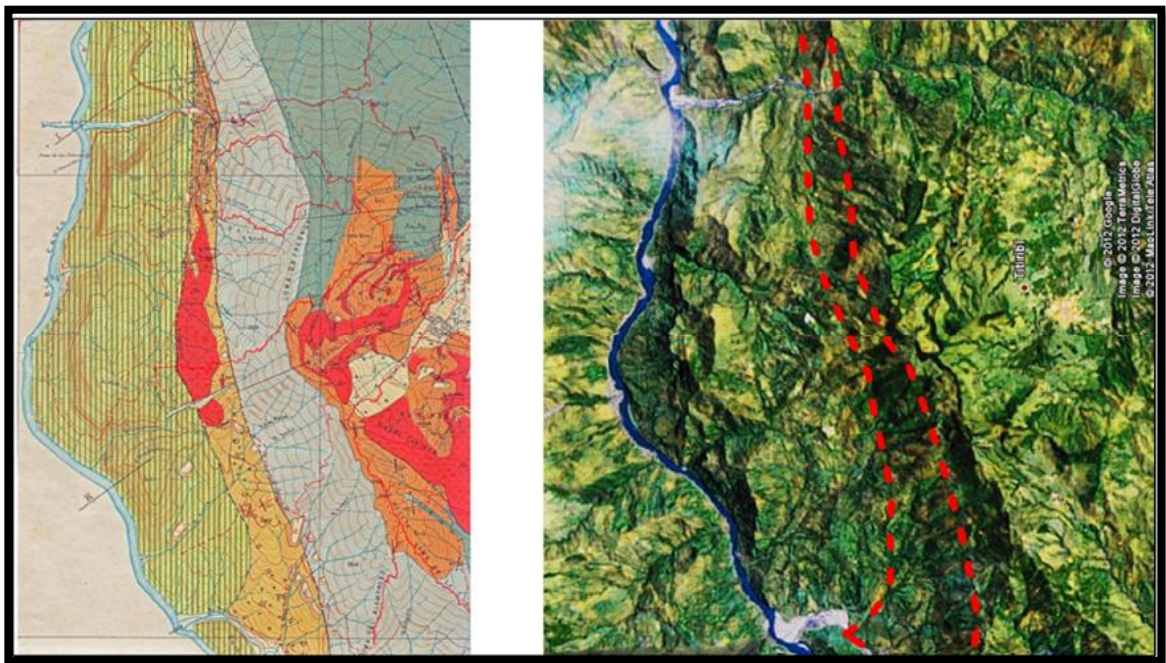


Figura 4. Cartografía geológica del territorio carbonífero de Antioquia (izquierda). Tomado de Grosse E. (1926). Imagen del área general de Titiribí (derecha). Tomado de Google Earth ®.

Las Características generales del campo son las siguientes:

2.2.1 Drenajes

El Río Cauca representa la característica fisiográfica dominante en la zona, el cual fluye de sur a norte desde su nacimiento en el suroeste de Colombia, cerca de la ciudad de Popayán. Desemboca en el Río Magdalena, cerca de la población de Pinillos en el Departamento de Bolívar, y tiene una longitud total de 1.350 kilómetros desde su origen hasta su desembocadura. El río corre de sur a norte aproximadamente a 2 kilómetros al oeste de la concesión el Balsal. El Río Amagá (también conocida como Quebrada Amagá) fluye de este a oeste y separa la concesión de El Balsal de la Concesión Lara. (Antioquia La Nuestra, Orgullo de Colombia 2013).

2.2.2 Clima

La zona de El Balsal recibe una precipitación anual de aproximadamente 2,2 metros durante la temporada de lluvias que se producen normalmente de abril a junio y de septiembre a noviembre. Julio y agosto también tiende a una mayor cantidad de precipitaciones. El resto del año, de diciembre a marzo, es esencialmente seco, con escasas precipitaciones donde ocurren diversas tormentas eléctricas. Las temperaturas son sub - tropical que oscila entre 12° C a 30 ° C. (Antioquia La Nuestra, Orgullo de Colombia 2013).

2.2.3 Topografía

La Topografía es la controlada fundamentalmente por el tipo de roca que aflora en un área determinada. Las areniscas son normalmente algo resistente a la

meteorización y tienden a reflejarse como montículos y escarpes. El Shale, es considerablemente más erosivo, y se ve reflejado por un terreno más plano. En las zonas tropicales, la caliza también tiende a reflejarse en un terreno más plano debido a la meteorización. En los climas áridos, la caliza con frecuencia se comporta como las areniscas que forman escarpes. En el carbón es lo opuesto. En climas más áridos, el carbón pierde su humedad y tiende a reflejarse topográficamente por caídas en pendientes o terreno más planos. En condiciones tropicales, el carbón es típicamente menos propenso a la erosión y con frecuencia constituye la base de las cascadas en pequeños arroyos o montículos en terrenos arcillosos. La concesión el Balsal se encuentran en un valle pequeño, formado entre colinas compuestas de rocas volcánicas de la Formación Combia en el oeste y el Complejo Quebradagrande en el este. El río Amagá corta el valle entre la Concesión Lara en el norte y las concesiones de El Balsal / El Silencio, al sur. Gemi (2012).

2.2.4 Flora y Fauna

Los diferentes tipos de roca tienen una gran influencia sobre los tipos de flora que se formaran en el área. La vegetación tiende a crecer en las areniscas ya que necesitan de suelos bien drenados y poco ácidos. Las Plantas arraigadas no crecen bien en suelos de grano muy fino debido a la meteorización de las lutitas y arcillas, por lo tanto, las zonas donde hay presencia de lutitas y arcillas hay menos árboles y crece mayormente maleza enraizada. Algunas rocas, tales como la caliza, tienden a formar suelos altamente alcalinos mientras que otros, como las rocas volcánicas, tienden a formar suelos muy ácidos. Todas estas condiciones se reflejan en los tipos de vegetación que cubren las rocas. Reconociendo estas condiciones se podrá hacer uso de fotografías aéreas con imágenes satelitales para ayudar en la cartografía geológica.

Esta área biogeográfica tiene una alta diversidad de especies, entre ellas numerosas aves (algunas incluyen mirlos, pavos, sinsontes, tucanes, colibríes), mamíferos (algunos incluyen osos, pumas, nutrias, armadillos, conejos, zorros), y anfibios y reptiles (algunas incluyen ranas, sapos, lagartijas, serpientes). (Antioquia La Nuestra, Orgullo de Colombia 2013).

3 MARCO REFERENCIAL

3.1 REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS

El procedimiento estándar para la exploración del carbón consiste en perforar un gran número de pozos relativamente cerca y registrar la litología de las muestras de núcleos y los ripios de perforación. Sin embargo, la pérdida de núcleo es un problema para determinar con precisión la profundidad y el espesor de una capa de carbón, causando dificultades en la estimación de recursos y la evaluación económica del yacimiento. En consecuencia, los registros geofísicos de pozo se suelen ejecutar con el fin de determinar la litología y otras propiedades geofísicas específicas de las unidades de roca. Estos gráficos a lo largo del pozo se pueden utilizar para identificar litologías y espesores con bastante precisión.

Los registros geofísicos incluyen:

- Registro Gama Ray
- Registro de densidad (densidad corto(SSD)) y la densidad larga (LSD))
- Registro de Resistividad
- Caliper
- Verticalidad
- Dipmeter

3.1.1 Registro de Gamma Natural

El sensor Gamma Ray mide la radiactividad natural de la roca, la cual es producida por las emisiones de algunos elementos contenidos en la estructura de los minerales (K, U, Th). Firth, D. 2002. En la figura 5 y 6, se observan las sondas Slimline con el sensor gamma Ray acoplado.

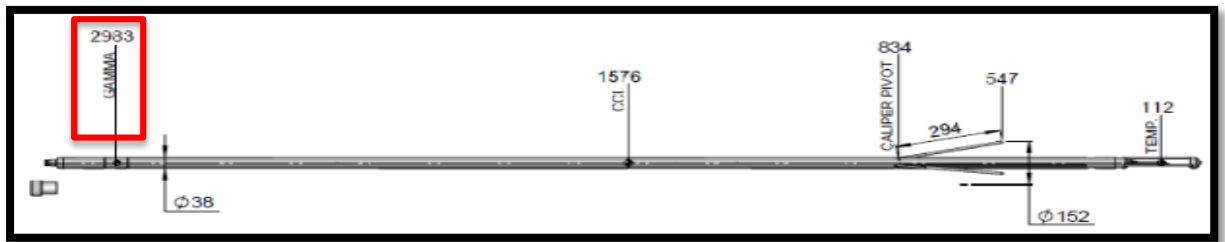


Figura 5. Sonda GTC (caliper). Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

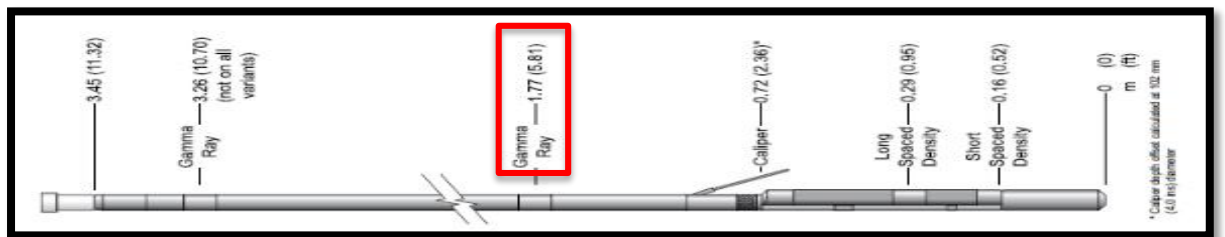


Figura 6. Sonda DD6 (densidad) La mayoría de las sondas Slimline tienen un sensor de Gamma Ray acoplado. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

El sensor detecta las emisiones de rayos gamma generadas por el decaimiento radiactivo de los elementos en un radio de penetración de hasta 10 cm. Las unidades de medida son grados API, un estándar del American Petroleum Institute

El principal elemento responsable de las lecturas de Gamma Ray es el potasio (más frecuente). Los Minerales más comunes con K en su estructura son:

- Feldespato Potásico
- Moscovita
- Biotita
- Illita
- Montmorillonita
- Clorita
- Caolinita

En ambientes sedimentarios, las lecturas de Gamma Ray se asocian principalmente a la presencia de arcillas (areniscas con matriz arcillosa o shales).

Los registros de Gamma Ray se utilizan principalmente como indicadores de litología, aunque deben analizarse de manera conjunta con otros registros (Densidad). En la figura 7 y 8 se utilizan ejemplos de registros sintéticos donde se observa el comportamiento del registro gamma natural a distintas litologías.

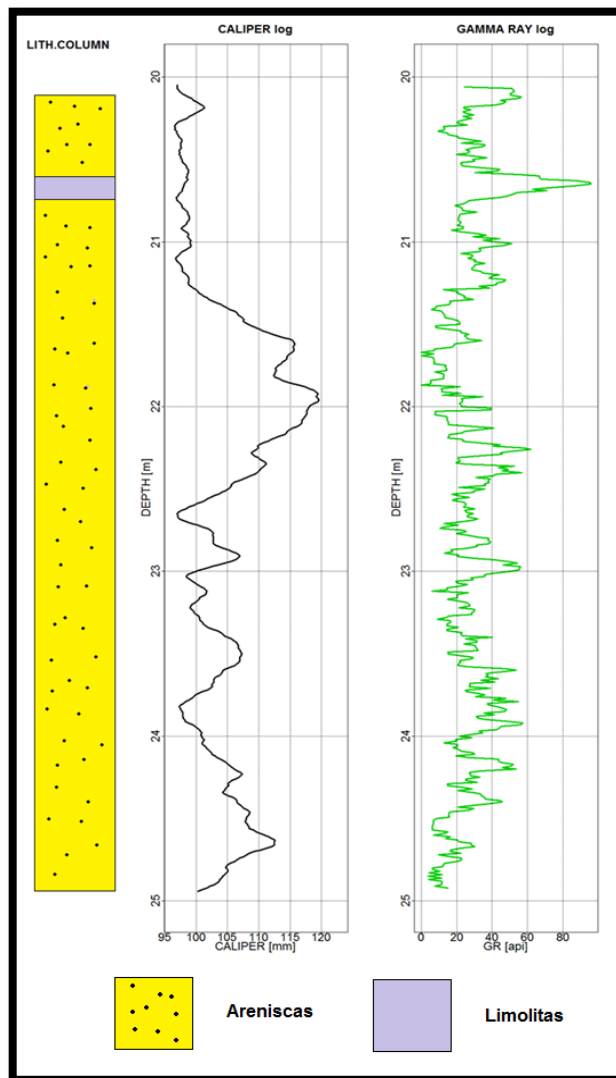


Figura 7. Ejemplos de registros sintéticos. Comportamiento del registro gama Ray a un paquete de Arenisca. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013

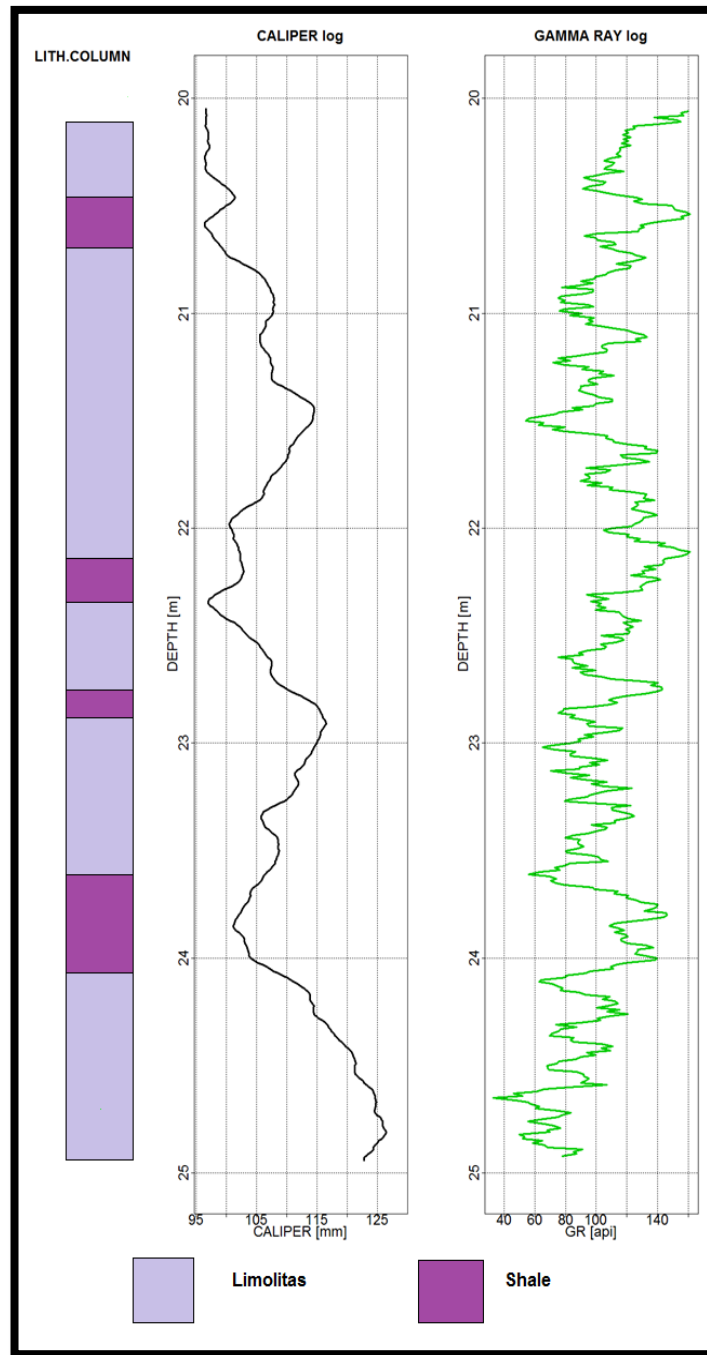


Figura 8. Ejemplos de registros sintéticos. Shale, Pozo perforado en diámetro HQ (96 mm), con cavernas. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013

Valores del gamma Rey en las principales litologías:

- Areniscas “limpias”: menos de 20 API
- Areniscas “sucias”: menos de 50 API
- Calizas, dolomías: menos de 20 API
- Carbón: menos de 20 API
- Sal: 0 API
- Shales: variable, de 80 a 250 API

Adicionalmente, al tener el mismo registro en varias herramientas, permite realizar un control de la profundidad para la entrega de los productos consolidados.

La radiactividad del carbón es baja, sin embargo, cuando contienen material no carbonoso (partings) y zonas de ceniza exhiben radiactividades altas dentro de los mantos de carbón. Con frecuencia, una de las características únicas de los mantos de carbón es su huella o firma en el registro ya que esto facilita en gran medida la correlación de las capas de carbón en cada pozo de perforación.

Los registros gamma también son útiles para la correlación de mantos de carbón y marcar otras litologías cuando se utiliza en combinación con registros de resistividad eléctrica, densidad, y otros. El registro de gamma refleja la proporción de lutitas en comparación con otros tipos de roca y es una de las mejores herramientas para identificar los mantos de carbón dentro de formaciones de shale y arenisca. Ver figura 9, ejemplo de un registro real tomado de uno de los pozos de perforación en el título minero El Balsal. La propiedad gamma natural es única y es capaz de ser probada en pozos cerrados, abiertos, y en pozos secos o mojados. La sonda de rayos gamma utiliza un detector de centelleo para medir la radiación gamma emitida por las rocas circundantes del pozo de sondeo. (Teoría y Aplicaciones a la Industrial del Carbón. Weatherford, 2013).

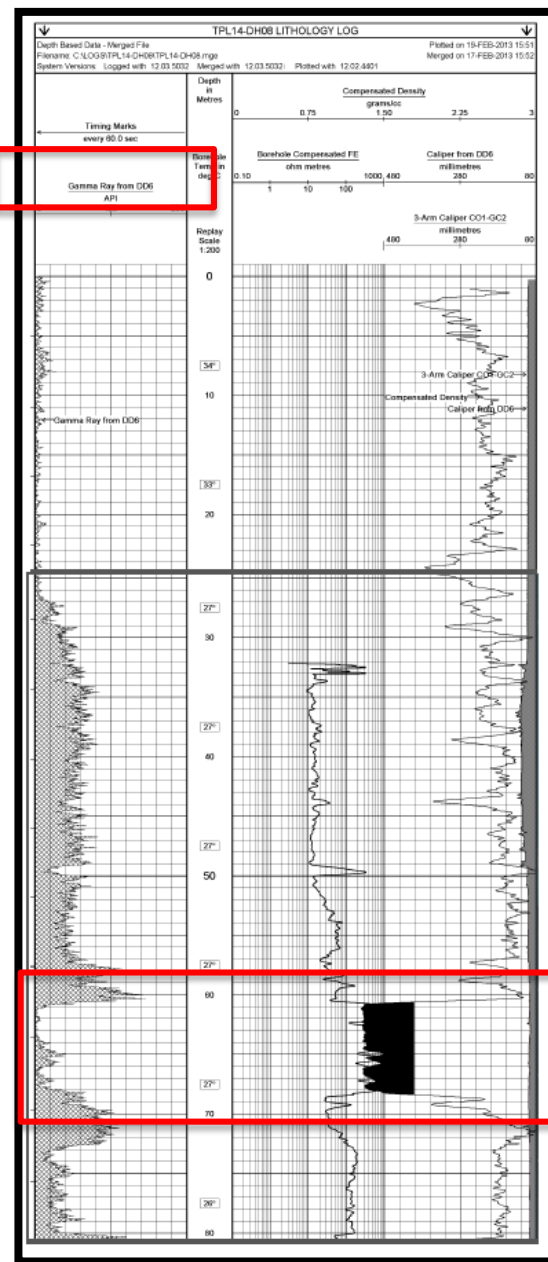


Figura 9. Registro geofísico del pozo TP-L14-DH08. En rojo, se observa el comportamiento del registro gamma ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.

3.1.2 Registro de Densidad

En la mayoría de las rocas sedimentarias, la medición de la densidad es útil para la identificación positiva de mantos carbonosos (el rango de densidad es de 1,3 g/cc a 1,8 g/cc). El rango de densidad para el Shale es de aproximadamente 1,85 g/cc a 2,2 g/cc, mientras que para las areniscas limpias los valores son 2,4 gm/cc a 2,6 g/cc, Firth, D. 2002; como se muestra en la figura 10 donde se observa un ejemplo de un registro sintético y en la figura 11 se muestra un registro real suministrado por Carbones de Titiribí SAS para esta tesis.

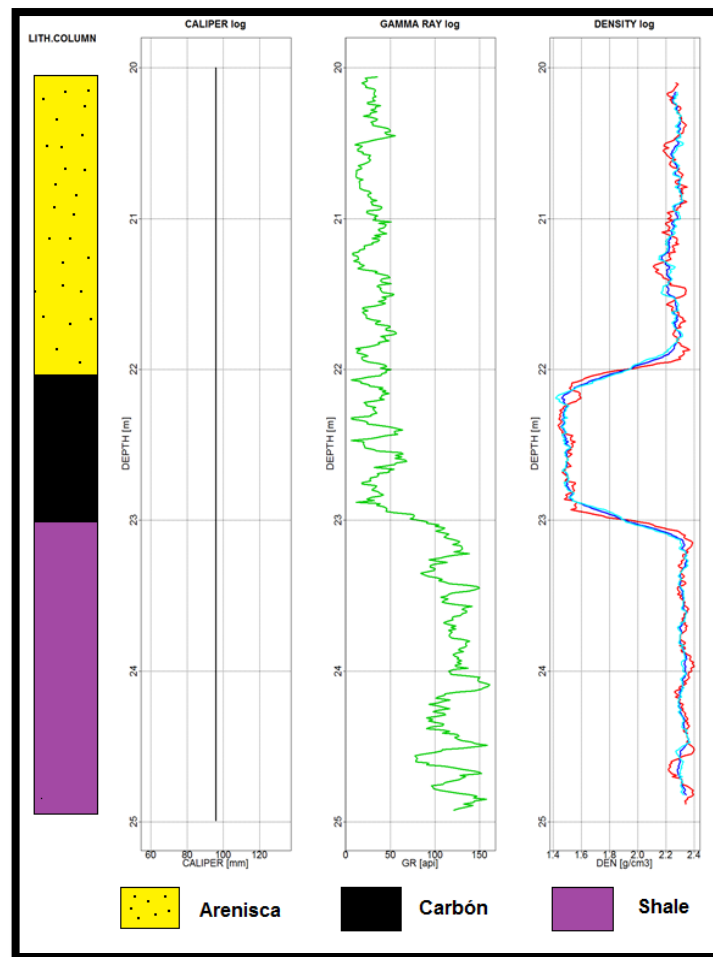


Figura 10. Contraste entre arenisca típica, carbón y shale. DENB, DENL, CODE.
Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

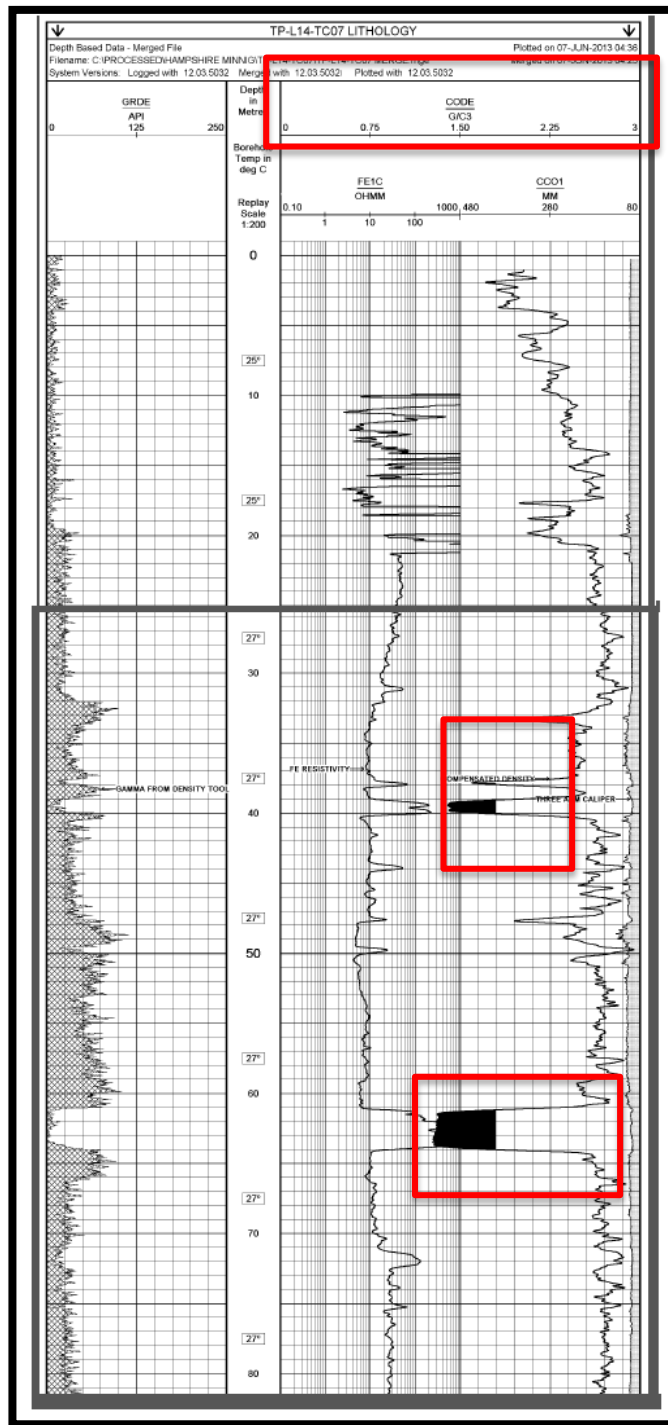


Figura 11. Registro geofísico del pozo TP-L14-TC07. En rojo, comportamiento del registro Densidad ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS.

La interpretación simultánea del registro de densidad con otros tipos de registros de pozos se puede utilizar para identificar las variaciones sutiles en el ambiente de depósito y para determinar las variaciones de porosidad dentro de una unidad litológica. La densidad de las principales litologías son:

- Areniscas puras: 2.65 g/cm^3
- Calizas: 2.71 g/cm^3
- Dolomías: 2.87 g/cm^3
- Shales: $2.2 \text{ a } 2.8 \text{ g/cm}^3$
- Carbón: $1.1 \text{ a } 1.5 \text{ g/cm}^3$

La sonda de densidad contiene una fuente de rayos gamma de baja energía (cesio 137 o cobalto 60) y uno o dos detectores de centelleo de rayos gamma, los cuales se propagan a través de la formación hacia dos sensores ubicados a 16 cm (corto) y 29 cm (largo) de la fuente. Ver figura 12.

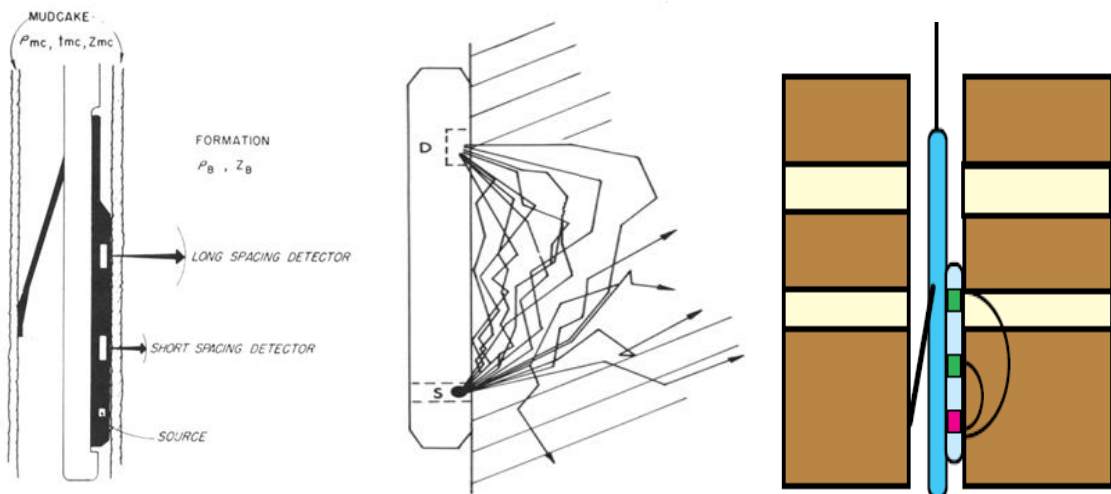


Figura 12. Sonda DD6. La sonda viaja haciendo contacto con las paredes del pozo. Los valores de Densidad que se obtienen corresponden al promedio dentro de los radios de penetración de cada sensor (separación S–D) Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013

Los rayos gamma emitidos por la fuente son dispersados por los electrones en la roca, y la radiación gamma medida por los detectores es inversamente proporcional a la densidad de la roca. (*Weatherford, 2013*).

3.1.3 Registro de Resistividad

La resistividad puede definirse como la capacidad que una substancia tiene de “resistir a” o impedir el flujo de una corriente eléctrica. Es una propiedad física de la substancia e independiente del tamaño o forma de la misma.

En el registro de pozos frecuentemente se utilizan los términos resistividad y conductividad, siendo uno recíproco del otro, por lo tanto, a una resistividad alta corresponde una conductividad baja y viceversa.

La unidad de resistividad que se usa en los registro es el ohmio-metro/metro² que puede abreviarse a ohmio-metro u ocasionalmente a ohmios.

Los materiales terrestres exhiben una amplia variabilidad de resistividades eléctricas, dependiendo del tipo de roca, porosidad, permeabilidad, naturaleza del fluido, y contenido de minerales metálicos.

De todas las propiedades geofísicas de las rocas, la resistividad eléctrica es la más variable, cambiando varios órdenes de magnitud para un mismo tipo de roca, ver figura 13.

- Areniscas: 1 a 6×10^8 ohm.m
- Calizas: 50 a 1×10^7 ohm.m
- Shales: 20 a 2×10^3 ohm.m
- Carbón: 100 a 5×10^3 ohm.m

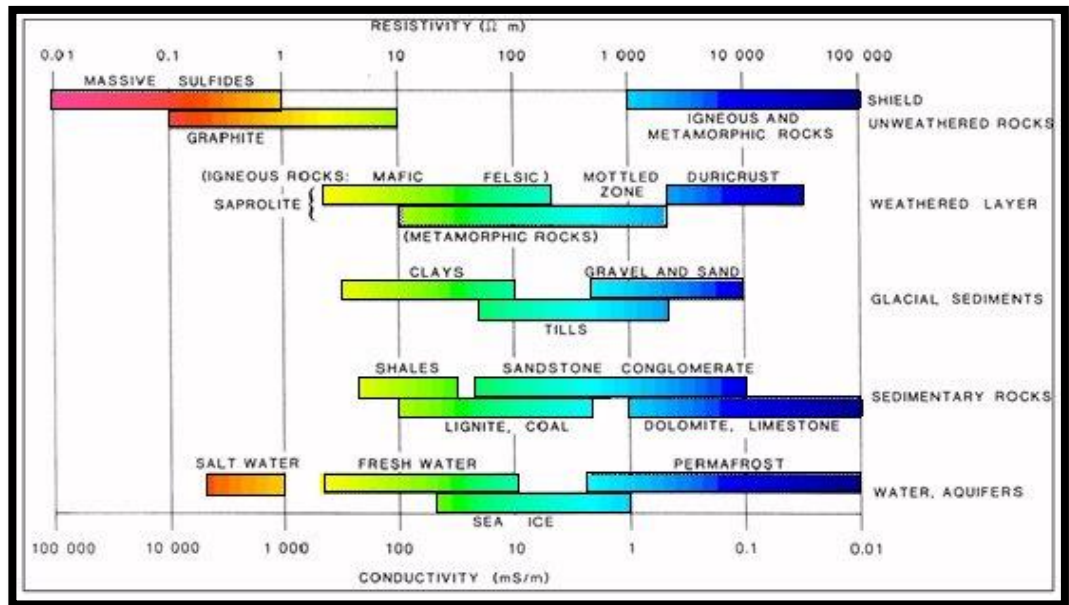


Figura 13. Resistividad de los principales tipos de rocas. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

En la figura 14 se reconoce la sonda RR5 usada en la toma de registros resistivos, la cual es capaz de realizar dos tipos de mediciones. El Registro de resistividad ayuda a delinear o marcar los yacimientos de carbón ya que estos tienen típicamente mayor resistividad que las areniscas y las lutitas, ver figura 15

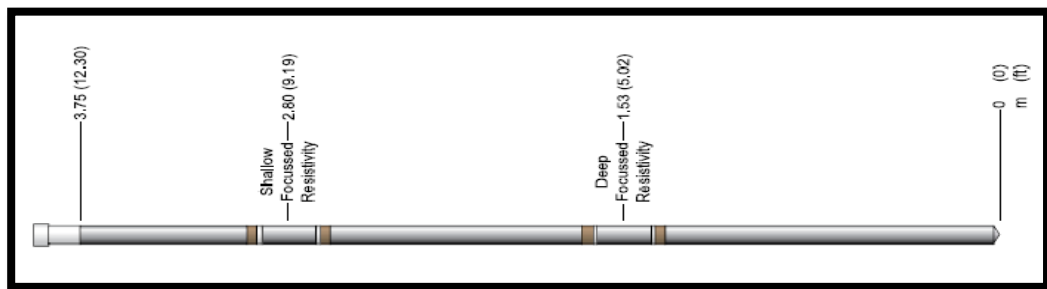


Figura 14. Sonda RR5. Realiza dos tipos de mediciones: Resistividad somera y profunda. Capacidad de investigación 20-30cm. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

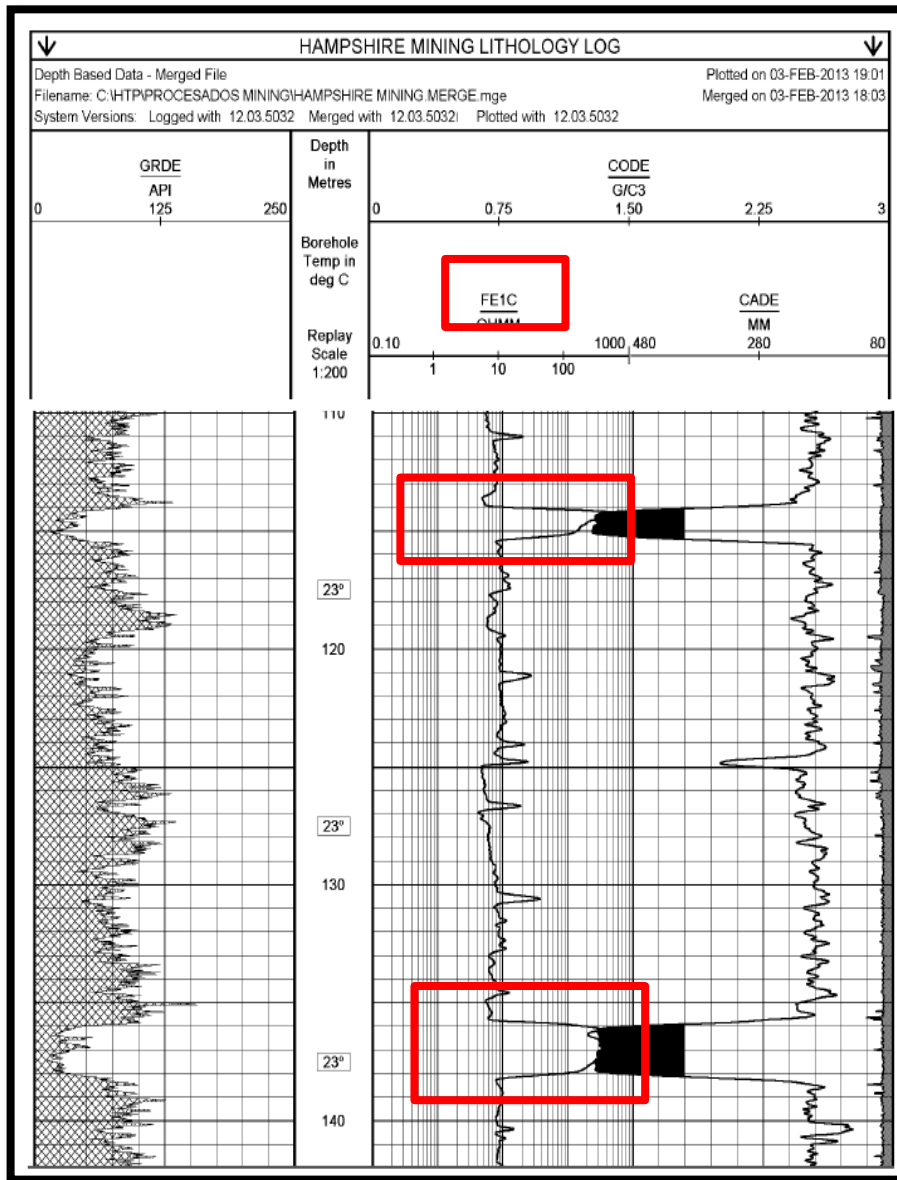


Figura 15. Registro geofísico pozo TP-L14-DH06. En rojo se observa la respuesta del registro Resistivo ante la presencia de carbones. Realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.

3.1.4 Registro Caliper

La sonda del Caliper es un componente básico de cualquier suite de registro y normalmente es la primera que se baja. En la figura 16 se muestra la sonda GTC, la cual permite medir el diámetro de los pozos de perforación y en ciertos casos puede ser utilizado para detectar cavernas y fracturas. El registro del diámetro se obtiene a partir de la información de los tres brazos que se despliegan en contacto con la roca. Esta información permite evaluar las condiciones generales de estabilidad de las paredes del pozo, identificar puntos críticos (cavernas o estrechamientos) y planificar el descenso de las demás herramientas.

Las cavernas (usualmente invadidas por lodo) tendrán efecto importantes en los demás registros, por lo que deben ser considerados durante la interpretación.



Figura 16. Sonda GTC. Realiza tres tipos de mediciones: Diámetro del pozo (caliper de 3 brazos)-Gama ray-Temperatura. Tomado de SLIMLINE, Weatherford, 2013.

El registro de Gamma Ray de esta sonda se usa como base para realizar el control de profundidad de las demás herramientas, como se presenta en la figura 17 de un registro real tomado de Weatherford 2013.

El registro de Temperatura se utiliza para:

- Determinación del nivel freático (punto de inflexión en el registro)

- Determinación de posible presencia de gas asociado a mantos de carbón (deflexión negativa del registro de temperatura)

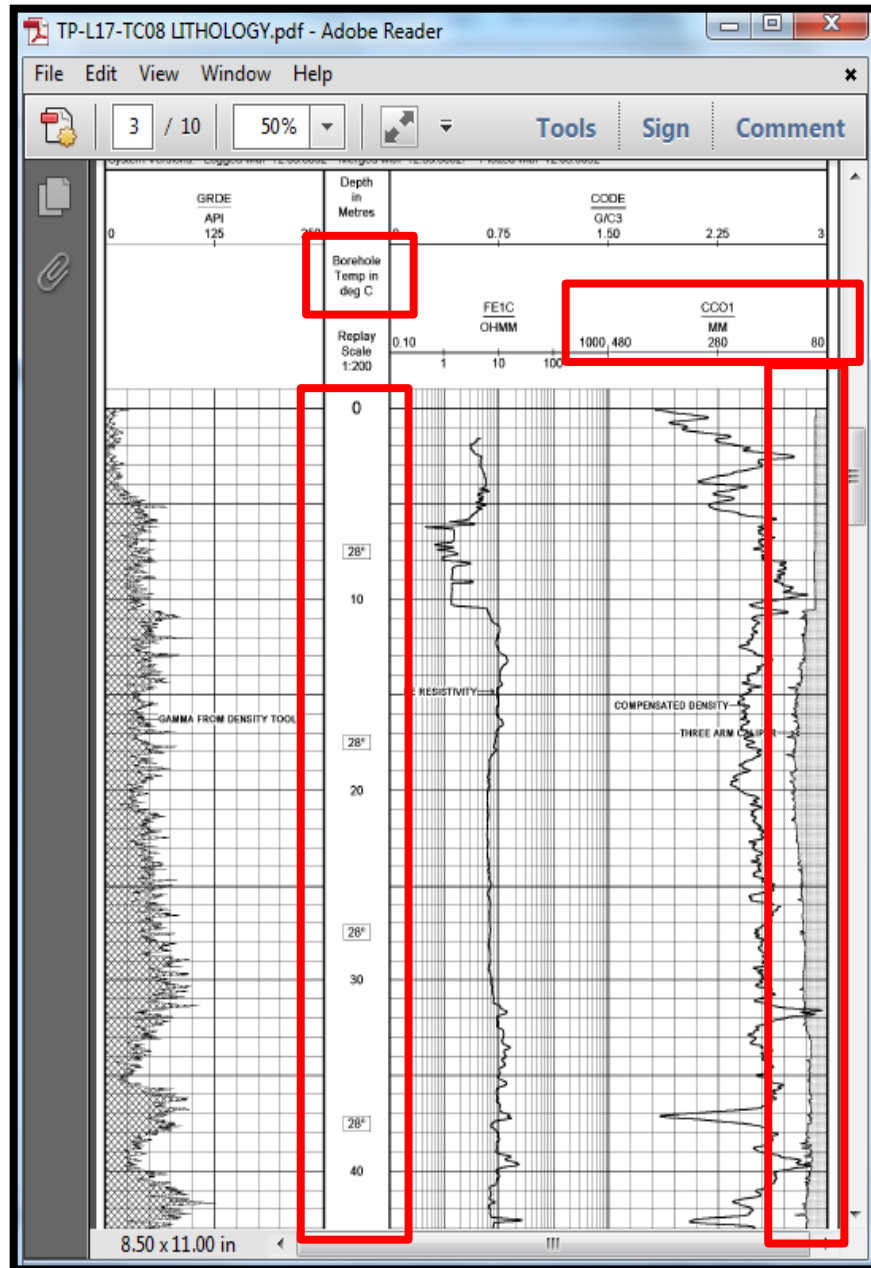


Figura 17. Ejemplo de un registro realizado por Weatherford y tomado de Carbones de Titiribí SAS, 2013.

3.2 RESUMEN DE LOS ASPECTOS MÁS RELEVANTES DE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS

- Los registros Geofísico son muy útiles para identificar con precisión los espesores de las distintas litologías de los núcleos del pozo y a su vez para demarcar con claridad los límites del carbón en pozos donde no se ha obtenido una recuperación del 100% del núcleo.
- La Identificación de los diferentes rangos del carbón, como la existencia de material no carbonoso (parting), a menudo hace que el equipo de geólogos de perforación se pierda al describir el carbón en los núcleos, por lo tanto los registros geofísicos proporcionan una correcta interpretación antes dichas eventualidades.
- Es una herramienta rápida de muestreo que permite determinar las propiedades físicas de un tipo de roca sin tomar muestras de núcleo o hacer análisis de laboratorio.

4 GEOLOGÍA - EL BALSAL

4.1 GEOLOGÍA GENERAL DEL CARBÓN

Comprender las condiciones geológicas en las que se deposita el carbón es fundamental para cualquier desarrollo en la minería. Cada yacimiento explotable tiene su propio conjunto de consideraciones básicas, y el carbón no es la excepción. No sólo es fundamental entender los parámetros físicos y químicos que controlan la calidad y formación del carbón, es igualmente importante entender el ambiente de depositación en el que este se formó. Este conocimiento es la clave para la comprensión de cómo los mantos de carbón pueden ser extraídos de manera eficiente y segura, así mismo la inclinación de los mantos y su continuidad nos permiten prever los cambios en las condiciones de la minería. Además, es importante entender los eventos geológicos posteriores que modificaron la calidad del carbón, para de esta forma, determinar la comerciabilidad del carbón producido, ya sea carbón térmico o de coque. En el **Apéndice 1.0** se analiza el proceso de formación del carbón.

4.1.1 Rango del Carbón

La Clasificación del rango del carbón se basa en el contenido de gases volátiles. Las normas específicas de clasificación varían de país a país, pero generalmente caen dentro de límites similares. Los tipos de carbón tratados en este documento son los básicos, aunque se hacen algunas descripciones adicionales como el de "de alta volatilidad". Blandón, A. (1999).

Además de la clasificación para los rangos del carbón, en la terminología común, generalmente, el carbón se considera carbón "térmico" o carbón "metalúrgico". El carbón es térmico, si sus características físicas y químicas lo hacen apto para uso

industrial (como la producción de vapor) o para el uso de servicios públicos, es decir, la generación de energía eléctrica. El carbón que tiene características físicas y químicas especiales y hace que se forme coque cuando se calienta en un espacio confinado en condiciones carentes de oxígeno se conoce como " metalúrgico " o el carbón de coque. Típicamente, todos los carbones metalúrgicos se pueden utilizar para fines térmicos, pero no todos los carbones térmicos se pueden utilizar para los propósitos metalúrgicos. Blandón, A. (1999)

En ciertos casos, las condiciones de presión y temperatura actúan sobre la macromolécula de carbón para impartir propiedades de coquización. Los Carbones de coque se encuentran generalmente en áreas con condiciones estructurales geológicas complejas como: buzamientos extremos, pliegues y fallas geológicas. En ciertos casos, los carbones se convierten en petróleo. Esto ocurre cuando se aplica calor, sin aumentar la presión en condiciones carentes de oxígeno.

El gas natural (metano) es producto del proceso de maduración de carbón y también se puede producir por calentamiento continuo de derivados del petróleo a partir de carbón. El gas se desarrolló a partir de la maduración del carbón que con frecuencia está asociada con carbones de mayor rango. Condiciones de saturación de agua en el carbón hacen que el gas se adhiere a la molécula de carbón, pero cuando se elimina el agua, el gas es liberado. Por esta razón, los carbones de mayor rango que se producen por debajo de la superficie de las aguas subterráneas contienen gas metano y este gas puede ser liberado durante el proceso de minería. En estos casos, dicho gas metano debe ser tratado para evitar que se desarrollen condiciones explosivas dentro de la mina. Blandón, A. (1999)

4.1.2 Formación del Carbón en Colombia.

El carbón se deposita en Colombia en dos momentos diferentes durante los últimos 65 millones años: al comienzo del Período Terciario (Paleoceno) y a mitad del Terciario (Oligoceno hasta principios del Mioceno) Shuler & Doubinger (1970), Pons (1984), y Escobar (1990) y Zegarra (1993). Las temperaturas cálidas, precipitaciones abundantes, y niveles elevados de dióxido de carbono (CO₂) en ese tiempo eran las predominantes, todo esto promovió el desarrollo del carbón en los pantanos que están en contacto con las montañas y los océanos a lo largo del oeste y este del continente. (Carmona, 1997, Delsahut & Tejada, 1982; Escobar & Rozo, 1984; Escobar, 1990.)

Los pantanos normalmente tenían una duración corta, lo que resultaba en la formación de espesores reducidos de carbón (cintas). Un manto grueso de carbón en Colombia es de aproximadamente 2,0 metros de espesor, aunque existen mantos más gruesos. Los mantos más comunes están entre 1,0 metro y 1,5 metros de espesor.

Cuando América del Sur se separó de África durante el Jurásico tardío y el cretácico, ésta se desplazó hacia el oeste, mientras lo hacía, las rocas sedimentarias menos densas colisionaron con rocas marinas más densas. Estas rocas marinas más densas "subdujeron" por debajo de las rocas continentales menos densas, esta colisión entre las rocas marinas y los sedimentos carbonosos produjeron una compresión que resultó en la formación de fallas y pliegues que terminaron afectando los sedimentos que tenían carbón. La actividad tectónica aumentó el rango del carbón y en algunos casos llevó al carbón a tener valores de coquización. Duque-Caro, H., (1990) Gemi (2011).

En Colombia, la posterior compresión dio lugar a la formación de una zona orientada generalmente de norte-sur en las rocas sedimentarias con carbón, que está

delimitada por fallas. Estos plegamientos y fallas inversas tienden a estar orientadas de norte a sur con el mayor grado de compresión de este a oeste. Eventos estructurales posteriores resultaron en fallas normales orientadas siguiendo a menudo el ángulo de estas importantes estructuras geológicas Toussaint J.F. y Restrepo J.J. (1996). La distribución y orientación de las zonas carboníferas en Colombia se muestra en la Figura. 18

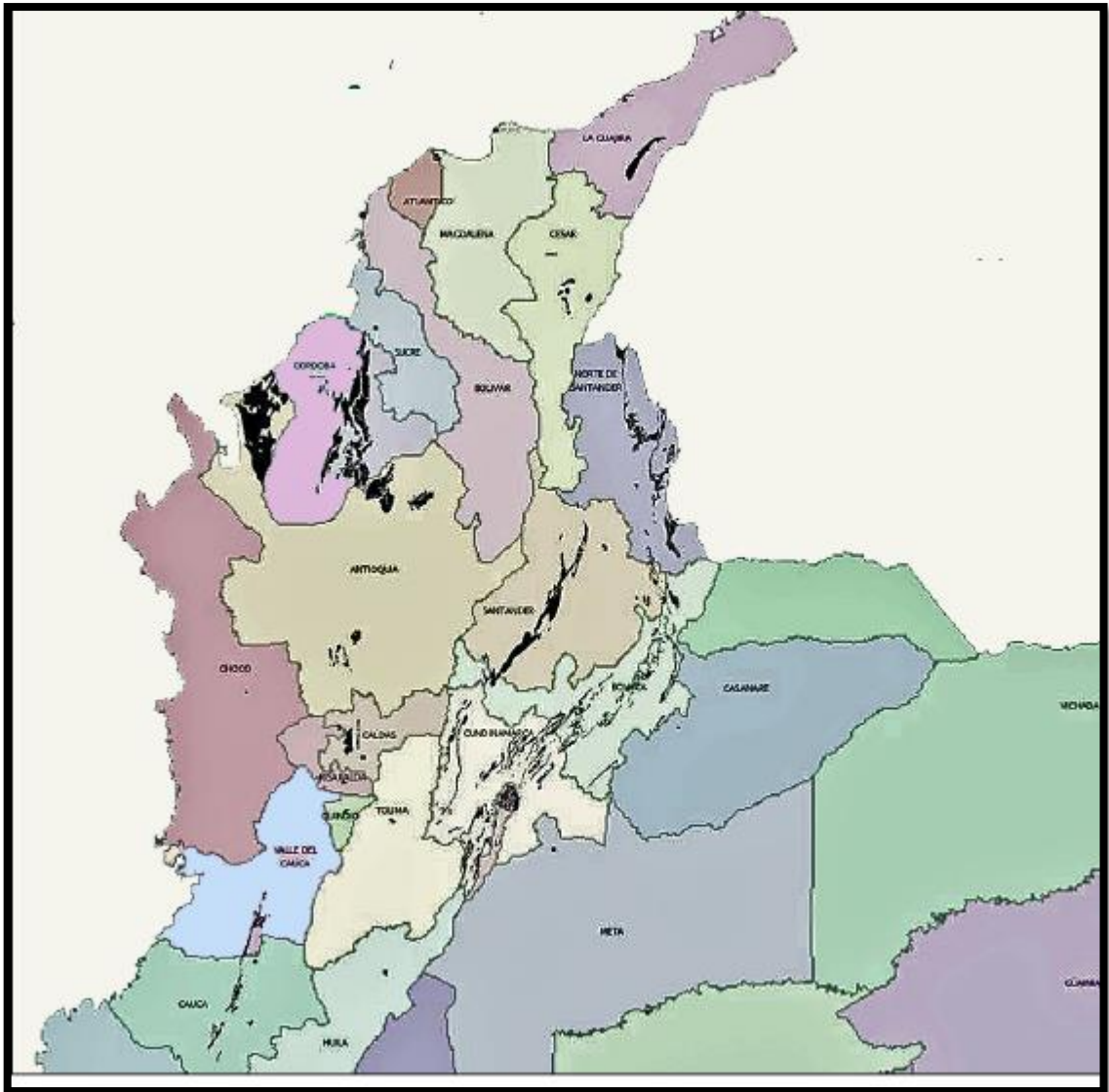


Figura 18. Distribución Aproximada de los carbones en Colombia. Tomado del Servicio Geológico Colombiano 2012.

Las medidas de carbón dentro de las zonas con mayor deformación y gradientes de presión con temperatura superior a la media, en ocasiones presentan características de carbón coquizable. Cuando la deformación es menos intensa, el rango del carbón mejora, pero en general sigue siendo un carbón térmico.

4.1.3 Áreas de Carbón en Antioquia

El Departamento de Antioquia se encuentra en la parte noroccidental de la Cordillera de los Andes, en la Cordillera Occidental. Fundamentalmente existen dos teorías con respecto al origen de las rocas de la Formación Amagá, una se refiere a una génesis asociada a ambientes transicionales (Delsahut & Tejada, 1982; Escobar & Rozo, 1984; Escobar, 1990; Zegarra, 1993; Carmona, 1997) y otra a una génesis continental (Mejía & Salinas, 1976; Campuzano 1977; Guzmán & Sierra, 1984; Guzmán, 1991). Los argumentos palinológicos (presencia de polen y esporas que son indicadoras de ambientes de manglar y microfauna de origen marino) “respaldan” la primera teoría (Escobar & Rozo, 1984; Escobar, 1990; Zegarra, 1993, Sucerquia, 2004; Arango, 2004). Los argumentos sedimentológicos (presencia de facies asociadas con abanicos aluviales, ausencia de sedimentos marinos someros y de frente deltáico) “respaldan” la segunda teoría (Guzmán & Sierra, 1984; Guzmán, 1991). No existen suficientes estudios que permitan confirmar las hipótesis planteadas respecto a su origen continental o transicional (ver tabla 2)

Año	Autor	Denominación o ambiente	Criterio	Localidad	Edad
1911	Ospina				Cretácico
1913	Posada	Formación carbonífera amagá	Estratigráfico		Cretácico
1919	Scheibe	Formación carbonífera de Antioquia			

1921	Restrepo		Estratigráfico		Cretácico superior Terciario inferior
1926	Grosse	Terciario carbonífero de Antioquia y la divide en tres pisos (inferior , medio y superior) origen continental	Gasterópodo menida del genero hemisinius		Neoterciario
1958	Van der Hmmer		Correlación con cauca superior		Oligoceno superior Mioceno inferior
1970	Shaler y Doubinger		Abundancia de Verrucatosporites Usmensis y Mauritidites Franciscoi, Retitricolporites Irregularis	Manto –1 Mina el Silencio	Eoceno superior- Oligoceno
1976	Mejía y Salinas	Terrestre continental y autoctonía de los carbones	Petrografía de carbones		
	Campuzano	Fluvial		Carretera Amagá-Bolombolo	
1977					
1980	González	Formación Amagá y divide en tres miembros (inferior, medio y superior)			
1983	Delsaut y Tejada	Dos miembros y una inconformidad		Sabaletas y Palomos	
1983	Dueñas y Duque	Correlación con Fm Ciénaga de Oro	Palinología		
1984	Escobar y Rozo	Plataforma marina poco profunda que corresponde a una llanura de inundación la cual se encontraba Relativamente cerca al mar.	Palinología Valores máximos de Mauritidites Franciscoi (palmera moriche) Verrucatomonosporites Usmensis, Retitricolporites Irregularis y Perisincolporites Pokorny. Dinoflagelados	Minas la Aurora, Hornilla y Paniagua estación la Clarita Mpio de Angelópolis	El piso medio de la Fm Amagá pertenece al Eoceno Medio o superior
1984	Guzmán y Sierra	Fluvial	Sedimentología y estratigrafía	Cuenca Amagá Angelópolis	
1984	Pons		Flora	Miembro medio Titiribí	Oligoceno superior y
1988	Herrera y Mejía	Sintema de Amagá Influencia marina para el miembro superior			

1990	Escobar	Estuario, manglar y bosques de morichales	auritidites Franciscoi y Psilamonocolpites Medius. Además hay Proxapertitescursus, Bombacidites Annae, Ephedripites Vanegensis, Ctenolophomidites Lisamae Zona II. Pteridophytes (Psilatriletes, Spiralis, Striatricolpites Catatumbus, Psilatricolporites Operculatus y microflora marina (Cyclusphaera Euribei)	Mina la Corona Vereda la Clarita Mpio de Angelopolis	Paleoceno Superior Eoceno inferior a Superior
1991	Guzman	Fluvial, cuenca intracontinental sin intervención marina. Define los miembros Peñitas, Sabaletas y Fredonia	Estratigrafía y sedimentología	Cuenca Amagá-Angelópolis Estación Minas y la Clarita	
1993	Zegarra	Llanura de inundación próxima al mar y cercana a regiones altas donde la presencia de bosque tropicales es dominante	Palinología Dinoflagelados (Oligosphaeridium) y Cyclusphaera y abundantes granos de angiospermas al igual que palmas (Mauritiidites Franciscoi, Psilamonolotes Medius) acompañados de Verrucatomonosporites Usmensis y Retriticolporites Irregularis	Sopetrán	Tentativa: Oligoceno superior a Mioceno inferior.
1997	Carmona	Fluviales con intervención marina transicional	Petrografía de carbones y palinología Zona 1. Angiospermas y esporas de hongos, separados por altos porcentajes de palmas Zona II. Dominio de las angiospermas sobre las palmas y Zona III Disminución de palmas, esporas de hongos y de Inaperturopollenites	Palomos Mpio de Fredonia	
1998	Murillo	Deltáico con dominio continental	Petrografía de areniscas	Quebrada la Sucia Palomos	
2004	Sucerquia	Continental con incursiones marinas en algunos intervalos	Palinofacies	Cuenca de Sopetrán	
2004	Arango	Parálico.	Petrografía y palinofacies de carbones (Zonocostites <i>duquei</i> , junto con granos de polen de palma (Mauritiidites) y escasos dinoflagelados	Manto 1 de las Minas Nechí y El Bloque	

Tabla 2. Historia de los estudios acerca de la Formación Amagá. Tomado de Blandón M, 2006.

Los resultados más importantes se pueden resumir así:

- Grosse (1926) fue el primero que estudió en detalle y cartografió las rocas de la Formación Amagá.
- Van Der Hammen (1958) y Dueñas (1983) hicieron la correlación regional de la Formación Amagá con la Formación Cauca Superior y con los Carbones de la Formación Ciénaga de Oro de la cuenca del alto San Jorge.
- Shuler & Doubinger (1970), Pons (1984), Escobar (1990) y Zegarra (1993) asignan edades para la Formación Amagá que van desde el Eoceno hasta el Oligoceno.
- Guzmán (1991) estudió las rocas de la Formación Amagá desde el punto de vista litoestratigráfico y les asigna nombres a los miembros, inferior, medio y superior.

El número de mantos de carbón varía de una zona a otra dentro de Antioquia. Debido a la complicada geología en este departamento, es difícil determinar si el carbón de un área es equivalente en edad al de un área adyacente.

Según trabajos realizados por Muñoz, P., Gorin, G., & Parra, N., (2004), Toussaint y Restrepo (1984, 1985) después de la depositación del carbón, continuo la compresión entre el continente sudamericano y la subducción de la Placa de Nazca causando sedimentos más jóvenes para ser plegados y fallados con un eje largo de plegamiento y fallas paralelas a la costa del Pacífico oriental. Las Fallas principales en esta área están orientados generalmente de norte-sur con un buzamiento de 60 ° hacia el este. La compresión aumento debido a las intrusiones volcánicas cerca del centro del departamento de Antioquia, que causó fuerzas de compresión del este hacia el oeste. Eventos geológicos posteriores han dado como

resultado fallas transversales (inversa o fallas normales) siguiendo el ángulo de estas fallas mayores. La figura 19 es una sección transversal generalizada que muestra estas relaciones.

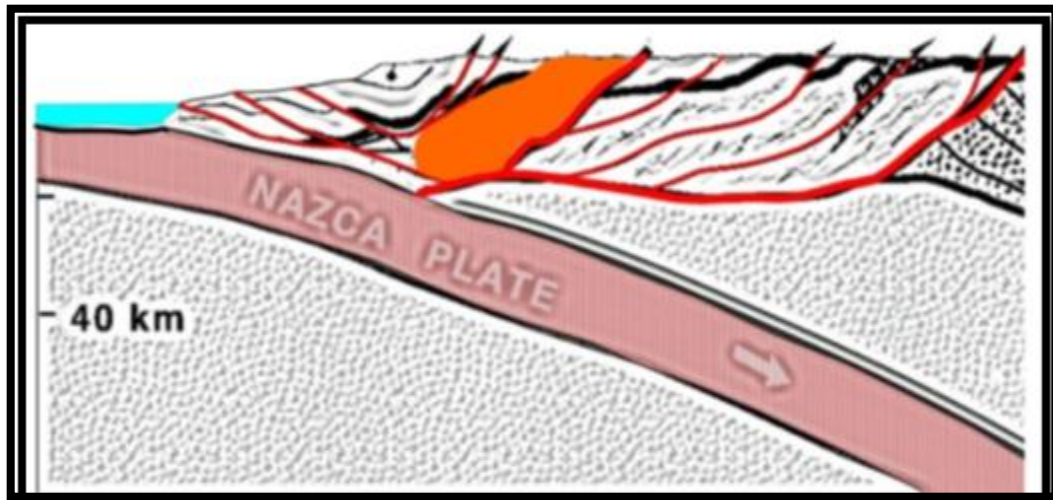


Figura 19. Sección transversal de la estructura geológica en el centro de Antioquia (Fallas en rojo - rocas ígneas en naranja)

La Subducción de la Placa de Nazca se tradujo en emplazamiento de rocas ígneas y vulcanismo asociado Barrero, D., Álvarez, J. & Kassen, T., (1969). Toda esta actividad estructural resultó afectando a la zona carbonífera, que al fracturarse en bloques, permitió que rocas sedimentarias quedaran orientadas de norte a sur (Sierra y Marín-Cerón, 2012) (Gonzales, 2001). La figura 20 muestra la magnitud de los emplazamientos de las rocas ígneas en las cercanías de Medellín.

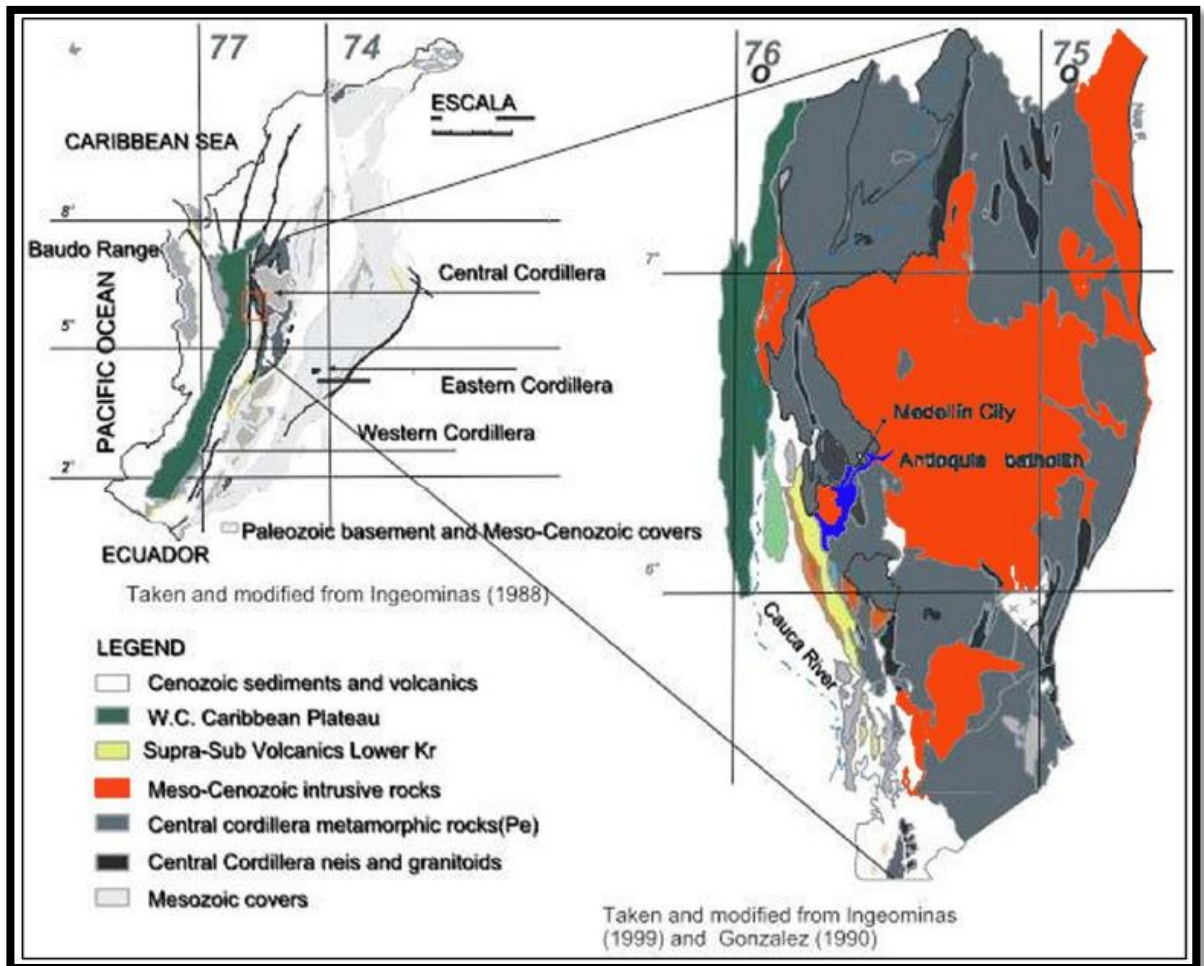


Figura 20. Rocas intrusivas y metamórficas en la parte central de Antioquia.

Tomado y Modificado de Ingeominas (1999), González (1990)

Las intrusiones ígneas y el vulcanismo asociado dieron como resultado un incremento en el rango del carbón y confirieron sus propiedades de coquización a parte del carbón, sobre todo en la zona cercana a Amagá. Otras áreas de carbón cerca de esta intrusión pueden tener propiedades de coque y necesitarán ser evaluadas para ese potencial Gemi (2009). La intrusión y el vulcanismo asociado pueden haber impartido propiedades de coquización al carbón en el área Titiribí. Las rocas volcánicas se han cartografiado en el Balsal y concesiones relacionadas al carbón, en las proximidades del rio Cauca.

La Concesión El Balsal se encuentra cerca al río Cauca en la mitad sur del Departamento de Antioquia. El mapa geológico generalizado de la zona sur de Antioquia (Figura 21) muestra las zonas de carbón de la formación Amagá de edad terciaria (TCM) en marrón. El Área de carbón en la zona de El Balsal, Titiribí y Amagá, se muestran con un círculo azul. El área está severamente fallada con la típica orientación norte-sur por la dirección general de las fallas. El Emplazamiento de la gran intrusión creó fuerzas de compresión hacia el oeste, dirigidos en el área de Titiribí y las rocas del Complejo Quebradagrande, haciendo que este complejo fuera empujado sobre las rocas más jóvenes del Miembro medio de la formación Amagá.

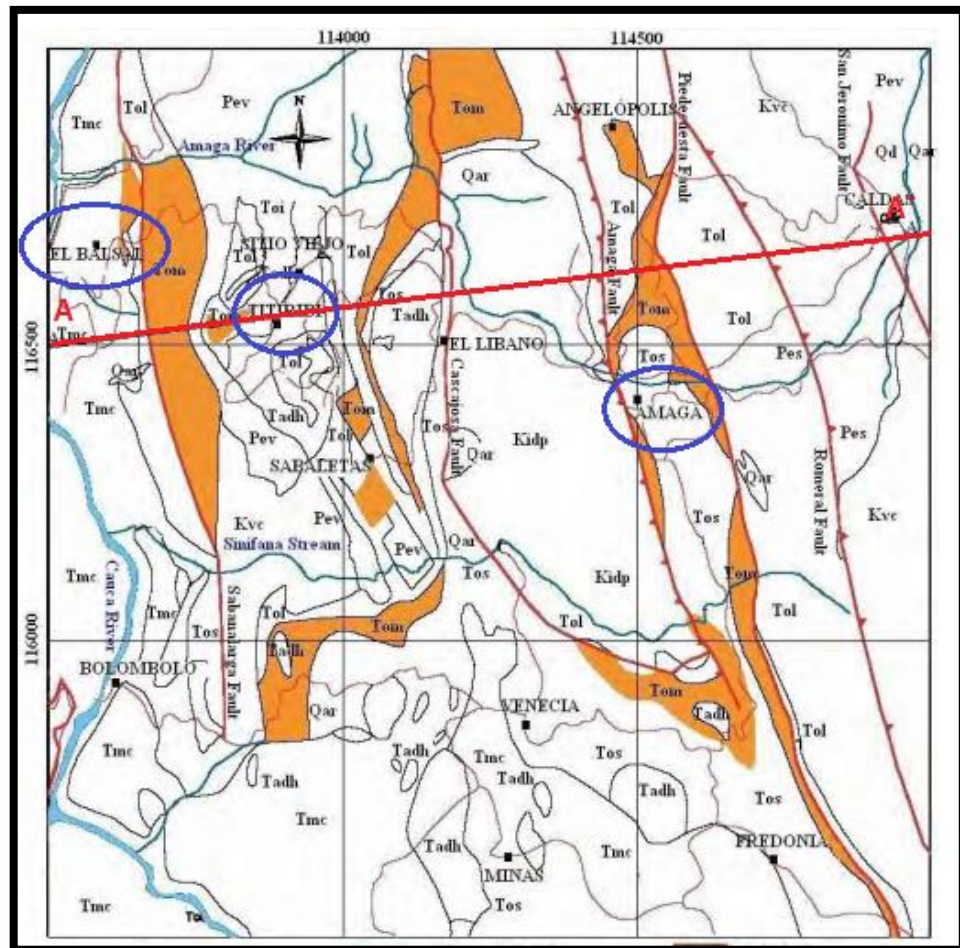


Figura 21. Áreas de carbón en el sur de Antioquia. (Tomado y Modificado de Ingeominas, 2005).

La figura 22 es una sección transversal a través de la parte norte de la zona cerca de las Concesiones Titiribí, y su ubicación se muestra en rojo y la etiqueta A y A'.

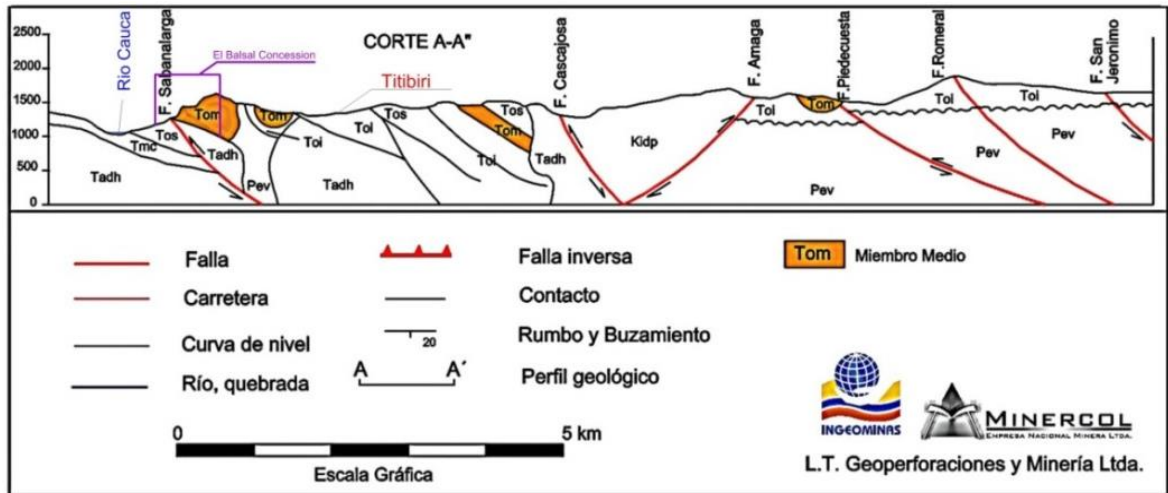


Figura 22. Sección transversal A-A' en la parte sur de Antioquia (rocas carboníferas se muestran en marrón) (Tomado y Modificado de Ingeominas, 2005).

La Sección transversal A-A' de Titiribí muestra la estructura geológica general en el área de El Balsal que se extiende hacia el este en la zona norte de Amagá. En esta sección se muestra la proyección de la falla inversa de alto Angulo (empuje) asociados a la compresión entre la placa de Nazca y la masa continental de sur américa. En el área de Titiribí, las rocas de carbón buzan hacia al este. El fallamiento ha resultado en montañas y cordilleras altas, laderas empinadas a moderadamente empinadas, que exhiben pequeños acantilados y escarpes formados por las capas de rocas más resistentes. La cobertura del suelo en estas laderas es relativamente delgada y con sujeción a solifluxión, lo que hace que la cobertura del suelo se deslice hacia abajo de las colinas, sobre todo durante los períodos de alta precipitación. Uno de los efectos secundarios de esta solifluxión es que los mantos de carbón son generalmente enterrados y difícil de discernir en el campo. Gemi (2013).

La geología regional, ver figura 23, representa una serie de intrusiones volcánicas (diques y stocks), sedimentos volcánicos erosionados, y depósitos sedimentarios costeros fluviales y deltas, sometidos a fuerzas de compresión de este a oeste, seguido por la relajación de extensión. Toussaint J.F. y Restrepo J.J. (1996).

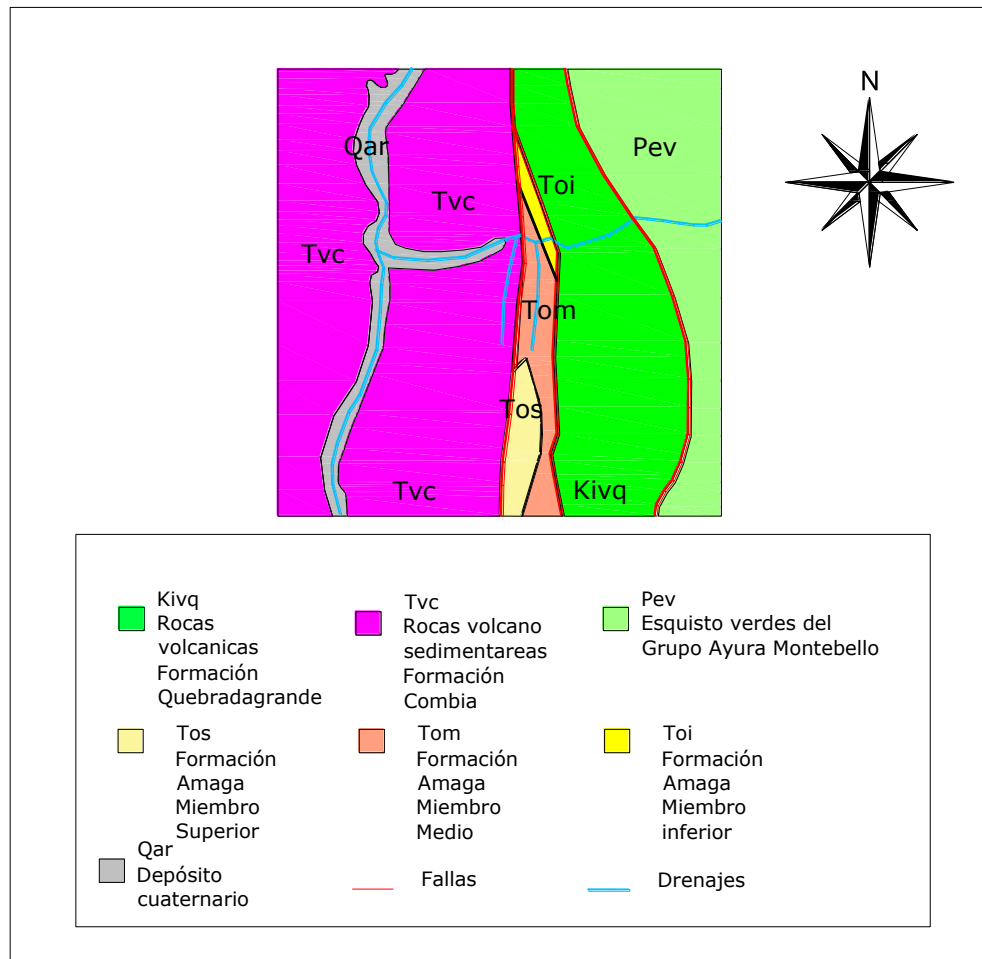


Figura 23. Geología Regional. Tomado y modificado de Plancha Geológica 146.

1:100.000. 1983

Una de las principales intrusiones ígneas se encuentra en el centro de Antioquia al norte y al este de la zona de Titiribí. Existen diques asociados e intrusiones más pequeñas que emanan de esta intrusión en y alrededor de la vecindad del municipio de Titiribí y que actúan como rocas caja para el oro que se encuentra en esta área. Estos intrusivos y rocas volcánicas asociadas también crearon las condiciones propicias para la formación de carbón de coque. La zona este de Amagá alberga carbón de coque de excelente calidad, lo que ha contribuido a la base manufacturera de Medellín.

4.2 ESTRATIGRAFÍA GENERAL

Las Unidades rocosas en la zona Titiribí comprenden el complejo Quebradagrande (Cretácico), Miembro superior, medio e inferior de la formación Amagá (Terciario) y la suprayace la Formación Combia (Terciario), así como unos depósitos recientes no consolidados: aluviales y coluviales (Gemi, 2013). En el miembro Tom se deposita el carbón y ha sido explotado por las minas artesanales pequeñas de la zona. La figura 24 muestra la sección estratigráfica general para la Formación carbonífera de Amagá en el área de Titiribí.

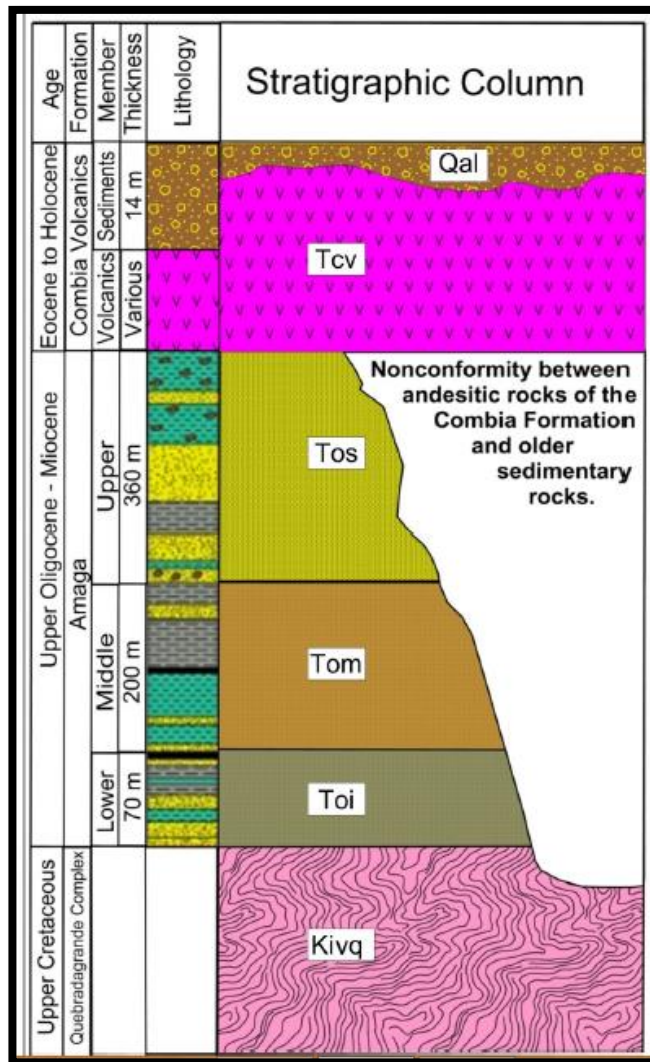


Figura 24. Columna estratigráfica generalizada mostrando los miembros de la formación amaga. (Tomado y modificado de Grosse, 1926)

A continuación se hace una descripción detallada de cada formación:

4.2.1 Formación Quebradagrande. Miembro Volcánico. Kivq

Nombre asignado al conjunto de rocas volcánicas con intercalaciones de grauvacas, limolitas y chert, que aflora en la parte septentrional de la Cordillera Occidental al occidente del río Cauca y en especial sobre el flanco oriental de esta cordillera.

Litológicamente está compuesta por espilitas, diabasas, basaltos y rocas piroclásticas, aglomerados y delgadas intercalaciones de grauvacas, en general se encuentran bastante alteradas caracterizados por el color verde producido por uralitización, epidotización y cloritización de los máficos originales. (González, 1980).

Las espilitas son de color verde, macizas, finogranulares a afaníticas, con textura pilotaxítica y compuestas por plagioclasa sódica, y por máficos uralitizados y cloritizados con abundantes venas de epidota. Los basaltos varían en color de gris oscuro a negros y de afaníticos a microporfiríticos, ocasionalmente amigdalares; están compuestos por plagioclasa cálcica, clinopiroxeno y abundante magnetita. La edad asignada es cretáceo inferior.

4.2.2 Grupo Ayurá Montebello. Pev

Conjunto de rocas metamórficas ubicadas en la cordillera central de Colombia, este grupo está conformado por anfibolitas, neises, cuarcitas y esquistos de composición diversa. La edad datada en anfibolitas y esquistos las ha ubicado como Cretáceo. La composición de los neises, cuarcitas y esquistos micáceos alumínicos es de cuarzo, como componente principal, plagioclasas, biotita, moscovita, sericita y granate, en los esquistos hay estauroлита, sillimanita y localmente cianita.

Los esquistos y filitas con metamorfismo de bajo grado se presentan como cuerpos alargados limitados por fallas, exhiben una laminación muy fina y repliegues, las rocas de composición pelítica tienen: cuarzo, sericita, grafito, y cantidades menores de biotita, plagioclasas, esfena y circón.

4.2.3 Formación Amagá. Toi, Tom, Tos

La Formación Amagá se refiere al conjunto sedimentario continental descrito por Grosse (1926) como Terciario Carbonífero de Antioquia y posteriormente por Van der Hammen (1958) como Formación Antioquia.

Esta formación, en el Departamento de Antioquia, cubre un área aproximada de 700 km² en una cuenca continua desde Amagá hasta el sur de Valparaíso y Supía y cuencas menores cerca de San Jerónimo, Sopetrán y Santa Fe de Antioquia. Básicamente está constituida por sedimentos continentales y lacustres depositados en cuencas de tracción de tamaño variable y ahora conservados en sinclinorios y sinclinales de zonas tectónicas de plegamiento.

Esta unidad reposa discordantemente sobre los Esquistos Verdes de Sabaletas y la Diorita de Pueblito, muestra contactos fallados con estas mismas unidades, con el Stock de Amagá y con rocas volcánicas básicas de la Formación Quebradagrande; esta intruida por stocks andesíticos del Mioceno-Plioceno y está cubierta en discordancia irregular hacia la cuenca del Cauca, por la secuencia volcano-sedimentaria de la Formación Combia.

Ha sido dividida en tres miembros: uno inferior esencialmente clástico, el medio caracterizado por la presencia de mantos explotables de carbón y el superior sin mantos de carbón y niveles de conglomerados. Guzmán (1991).

4.2.3.1 Miembro Inferior. Toi

Consta de conglomerados polimícticos con cantos de rocas metamórficas de bajo grado, dioritas, chert negro y cuarzo lechoso; areniscas conglomeráticas,

granodecrecientes hacia los niveles superiores y algunas capas de arcillolita arenosa o arenisca arcillosa, intercaladas con los bancos de arenisca.

Capas delgadas de carbón con espesor entre 0,10 y 0,50 m aparecen en los niveles superiores de la secuencia. Los bancos arenosos presentan una marcada lenticularidad, estratificación cruzada, así como superficies irregulares de depositación, lo cual sugiere un depósito de típico canal.

4.2.3.2 Miembro Medio. Tom

Este miembro aflora principalmente en la Cuenca de Amagá-Titiribí- Angelópolis; se caracteriza por la presencia de bancos y capas de carbón, de espesor variable y la ausencia de conglomerados. La mayor parte está compuesta por areniscas y arcillolitas de estratificación fina en bancos medios a gruesos.

Las areniscas son similares litológica y composicionalmente a las del Miembro Inferior y el tamaño del grano varía de grueso hasta fino con matriz sílico-arcillosa y pasan a areniscas arcillosas y arcillolitas, a medida que aumenta el porcentaje de arcilla a expensas de material silíceo. Las arcillolitas se presentan en bancos finos a medios, con buena estratificación, de color gris a gris verdoso, con ocasionales concreciones de siderita, restos de plantas y estructura nodular. En las arenitas se presenta estratificación cruzada, cambios de facies brusco laterales pasando lateralmente a arcillolitas y limolitas, con estratificación en algunos casos muy irregular indicando depósitos de canal.

Arcillolitas carbonosas de color negro, en capas de unos pocos centímetros de espesor, están asociadas a los mantos de carbón ya sea en el piso, en el techo o como intercalaciones dentro de éstos.

El espesor del Miembro Medio Tom no es mayor a 200 m y el de los mantos explotables de carbón es variable, y es debido a complicaciones tectónicas, a la forma de la cuenca y al relieve, factores que hacen que los mantos se adelgacen y en algunos lugares se interrumpan bruscamente.

El límite con los miembros Inferior y Superior es de carácter gradacional y se toma donde empiezan y terminan los carbones económicamente explotables, respectivamente.

4.2.3.3 Miembro Superior. Tos

Se caracteriza por la ausencia de mantos explotables de carbón y conglomerados y por el predominio de areniscas sucias de color oscuro y arcillolitas deleznales, de color ocre hacia el techo.

Las areniscas son de grano fino a medio, poco duras, de color gris oscuro a gris verdoso con fragmentos de cuarzo y ocasionalmente de líticos, en matriz arcillosa; localmente presentan cemento ferruginoso y contienen concreciones calcáreas esferoidales. En el contacto con el Miembro Medio Tom, algunas capas son ligeramente conglomeráticas y contienen fragmentos de carbón.

Las arcillolitas de la parte inferior son grises y compactas, mientras que hacia el tope son de color ocre, deleznales y contienen pequeñas concreciones calcáreas. El contacto con el Miembro Medio Tom es normal y está marcado por capas de areniscas grises, localmente conglomeráticas.

La edad de la Formación Amagá fue establecida por Van der Hammen (1958), con base en palinomorfos encontrados en arcillolitas y carbones y aunque algunos presentan un amplio rango de dispersión estratigráfica, se ha considerado que el

Miembro Inferior corresponde al Oligoceno Medio, mientras que el Superior sería del Mioceno Inferior.

4.2.4 Formación Combia. Tcv

Los sedimentos de la Formación Amagá son suprayacidos por estratos más modernos en dos facies diferentes: un conjunto de estratos esencialmente volcánicos denominados Estratos de Combia por Grosse (1926) y otro esencialmente de conglomerados.

La Formación Combia (González, 1980) comprende las dos facies anteriores, denominadas informalmente miembros volcánico y sedimentario, y tiene su sección tipo en el Cerro Combia (Fredonia) con secciones de referencia aún más completas y mejor expuestas, en el Cerro Amarillo (Damasco) y en la carretera Bolombolo-Puente Iglesias-La Pintada.

4.2.5 Miembro Volcánico

Este miembro corresponde al Neoterciario Volcánico o Estratos de Combia (Grosse, 1926) y se compone esencialmente de derrames basálticos y andesíticos, aglomerados, brechas volcánicas, tobas, conglomerados con matriz tobácea y areniscas tobáceas.

La mayor parte de los derrames corresponden a basaltos feldespáticos y ocasionalmente andesítico; son masivos a vesiculares con pasta densa, homogénea de color negro, pilotaxítica intersectoral, contiene augita como máfico caracterizante y sólo ocasionalmente está acompañada de olivino.

Los aglomerados y brechas están compuestos por fragmentos angulares a subredondeados hasta 40 cm de diámetro, de rocas volcánicas básicas, diorita y ocasionalmente jaspe, en una matriz gris verdosa hipocristalina de composición andesítica.

Las tobas son de colores claros predominantes y están constituidas, en proporciones altamente variables por cristales líticos volcánicos y vidrio. Tobas soldadas se encuentran en la parte baja del Río Amagá, cerca de su desembocadura al Río Cauca. Las capas de conglomerado tienen matriz arenosa, compuesta por cuarzo con algo de feldespato caolinizado, augita, hornblenda y biotita similar en composición y características, a la de areniscas tobáceas que se encuentran formando capas definidas dentro de la secuencia.

4.2.6 Miembro Sedimentario.

Las sedimentitas con aporte de material volcánico, similar al que constituye el Miembro Volcánico, se superponen en discordancia erosiva a los distintos miembros de la Formación Amagá. La secuencia está constituida esencialmente por niveles gruesos de conglomerados, mal cementados, separados por capas finas a medias de areniscas de grano medio a fino, a veces conglomeráticas, y arcillolitas cremas a rojizas.

El conglomerado contiene cantos redondeados a subredondeados de rocas porfídicas, areniscas y arcillolitas, en matriz arenosa sucia, con alto contenido en granos finos de cuarzo.

La arenisca es cuarzosa con algunos líticos sedimentarios. La presencia de fragmentos de andesitas porfídicas diferencia estos conglomerados y areniscas, de los del Miembro Superior de la Formación Amagá.

Dataciones K/Ar tanto en un flujo básico como de los plutones hipoabisales, indican una edad Mioceno tardío para este magmatismo; este magmatismo pertenece al cinturón magmático del Cenozoico, el cual habría comenzado en el borde occidental de la Cordillera Occidental durante el Eoceno y habría migrado hacia el este para alcanzar la Cordillera Central, en el Holoceno (Restrepo et al., 1981).

4.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio presenta un control estructural marcado por fallas con tendencia norte-sur, correspondiente al tren de fallas del sistema Cauca. Gross 1926, menciona que el contacto entre las rocas terciarias y las rocas cretácicas debe ser una dislocación tipo sobreescorrimiento, del mapa se construye una inclinación de 60°E para el trayecto entre las Quebrada Sinifaná y Quebrada Amagá. El sobreescorrimiento marginal, que es acompañado al W de un segundo sobreescorrimiento en el cual los estratos de la Formación Amagá, a partir del norte de la Quebrada Sinifaná, están sobreescorridos a los estratos de la Formación Combia. Ver figura 25

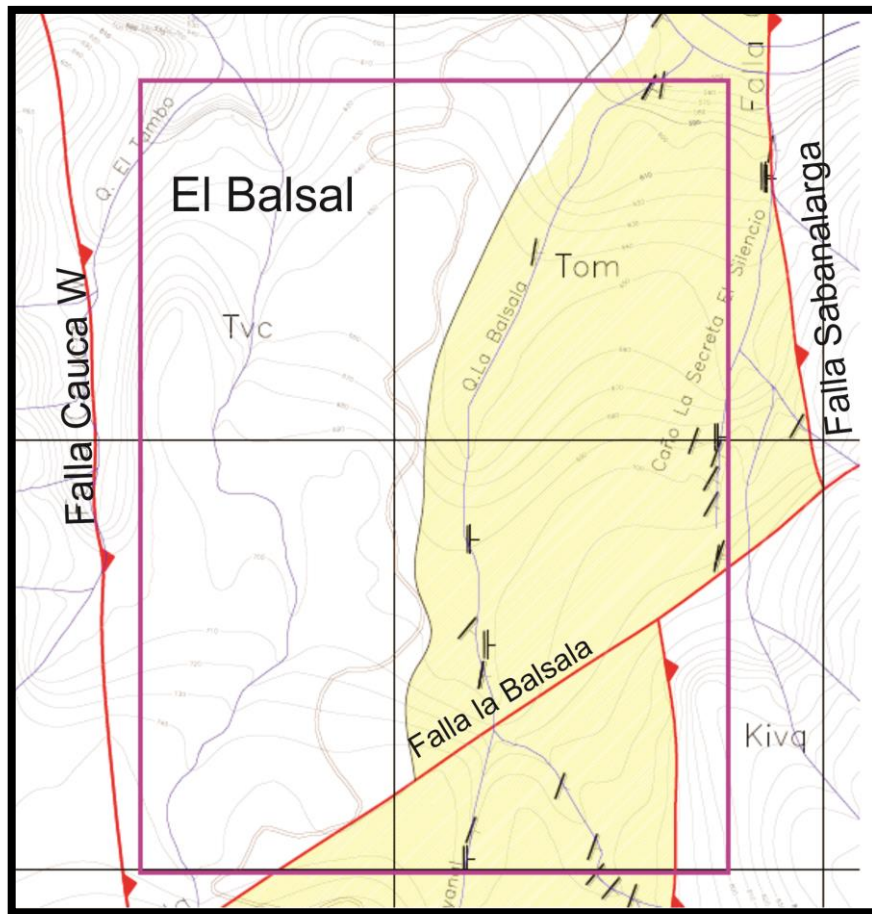


Figura 25. Mapa estructural del título Minero el Balsal. Tomado de Gemi (2012).

4.3.1 Fallas

Las fallas de la zona de estudio son la Cauca Oeste y la Sabanalarga, y ambas enmarcan el yacimiento de El Balsal, por este motivo las rocas que se encuentran en este bloque están diaclasadas y fracturadas. De acuerdo a la información anterior de la zona de estudio y a la encontrada en la fase de campo se observa que el rumbo es aproximadamente norte-sur para ambas fallas. Para la falla Sabanalarga el buzamiento en este sector es de 58° al E y la falla Cauca Oeste buza 82° al este.

4.3.1.1 Falla Sabanalarga

Tiene una dirección N-S., pertenece al sistema constituido por las fallas Sabanalarga Oeste y Sabanalarga Este. La zona tiene unos 90 km de longitud y se extiende hacia el norte de Liborina. Al norte de La Pintada este sistema presenta rasgos geomorfológicos más fuertes y continuos que cualquiera de las fallas de la región del Cauca. Las fuerzas mecánicas que dieron origen a la falla de Sabanalarga son atribuidas a esfuerzos posteriores que derivaron en las fallas de Santa Rita y Romeral según González (2001).

4.3.1.2 Falla Cauca

Corre paralelamente a la zona de falla Romeral y por lo general sigue por el costado occidental de la zona de cizalladura de Dolores (PAGE, 1986), su rumbo es N - NE. Entre Bolombolo y Santa Fe de Antioquia cubre una zona de 2 - 5 km de ancho con ramificaciones y fallas anostomasadas.

Esta falla se puede unir a la Falla de Sabanalarga Este, y hace parte del Sistema de Fallas Romeral. Cerca de Santa Fe de Antioquia, la Falla del Cauca gira al occidente y se confunde con una zona angosta delimitada por las fallas Buriticá y Peque.

4.3.2 Pliegues

Las sedimentitas de la Formación Amagá muestran pliegues representativos, posiblemente relacionados con la orogenia Andina Mioceno-Plioceno, poseen ejes paralelos a la dirección general de las cordilleras y se encuentran controlados por movimientos verticales a lo largo del sistema de fallas de Romeral, que controla la cuenca de depositacion González (2001).

4.4 GEOLOGIA LOCAL

La geología local refleja la geología regional a una menor escala. Los límites de las formaciones están claramente definidas por las rocas volcánicas (Quebradagrande y Combia) que encierran la formación. La Figura 26 muestra la ubicación de las dos concesiones con respecto a la geología de superficie. La Formación Amagá tiene aproximadamente 550 metros de espesor. El Miembro Tom, que es de transición entre el Miembro superior e inferior, acoge el carbón que tiene un valor potencial de comercialización; estos mantos están acompañados por **arcillolitas, limolitas y areniscas**. Por lo menos 14 capas de carbón afloran en esta formación dentro de la zona de El Balsal y la concesión el Silencio la cual no será estudiada ni detallada en este trabajo.

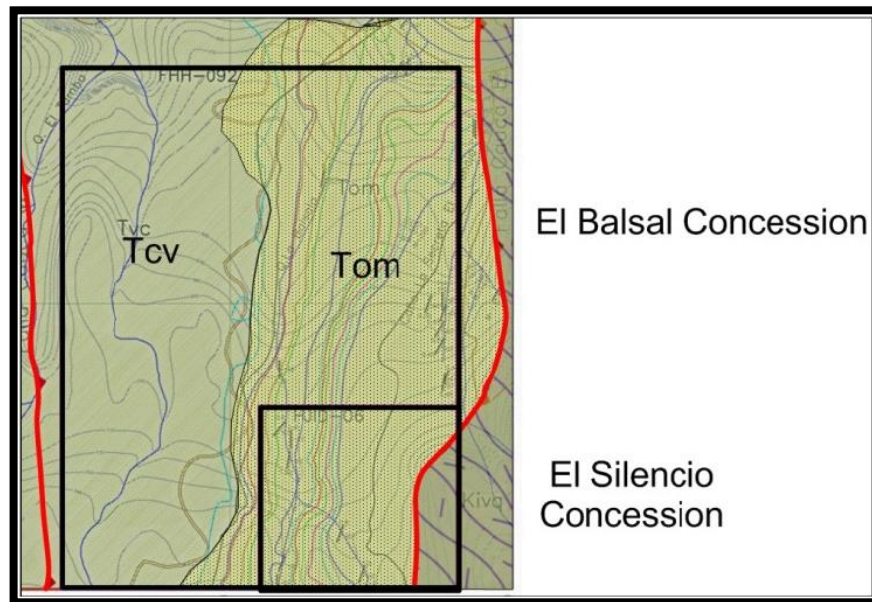


Figura 26. Localización de las concesiones el Balsal y el Silencio con geología de superficie. Gemi (2013)

4.4.1 Formación Combia

Presenta los mejores afloramientos en la Quebrada El Tambo, que se muestra en la figura 27, formando un lecho relativamente liso con saltos que generan pozos profundos. Corresponde a basaltos negros y grises, extremadamente resistentes a la meteorización. En la Quebrada Larita, que puede observarse en la figura 28 también afloran estas rocas pero por el tipo de pendiente se generan depósitos con grandes bloques de estas rocas.



Figura 27. Lecho de la quebrada El Tambo en basaltos de la Formación Combia



Figura 28. Basaltos de la Formación Combia en la quebrada Larita

4.4.2 Formación Amagá

En el área de estudio aflora el miembro Tom, diferenciable por la presencia de mantos de carbón explotables como lo muestra la figura 29 y 30, estos mantos están acompañados por arcillolitas, limolitas y areniscas.

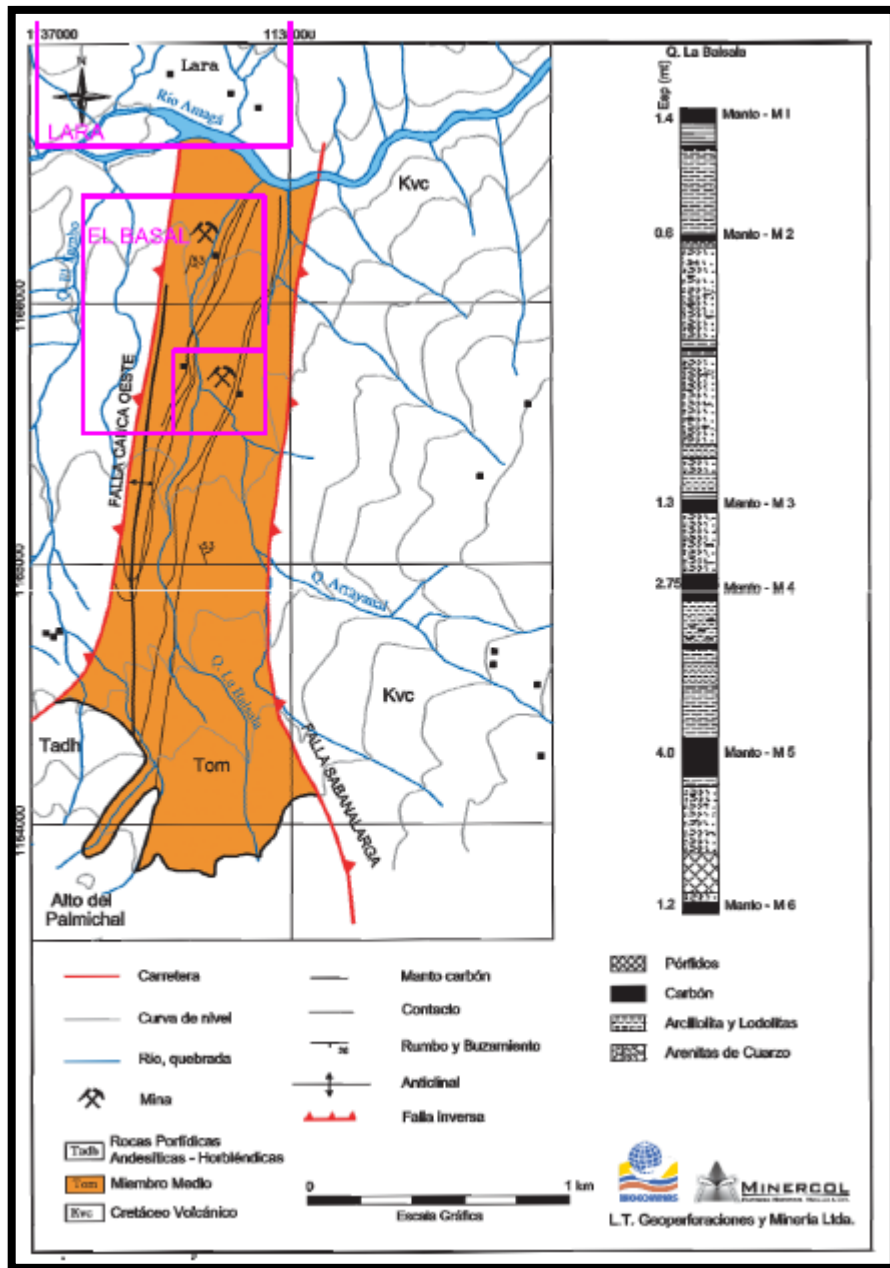


Figura 29. Columna Estratigráfica Generalizada para los carbones del Balsal Tomado y modificado de Ingeominas, 2005

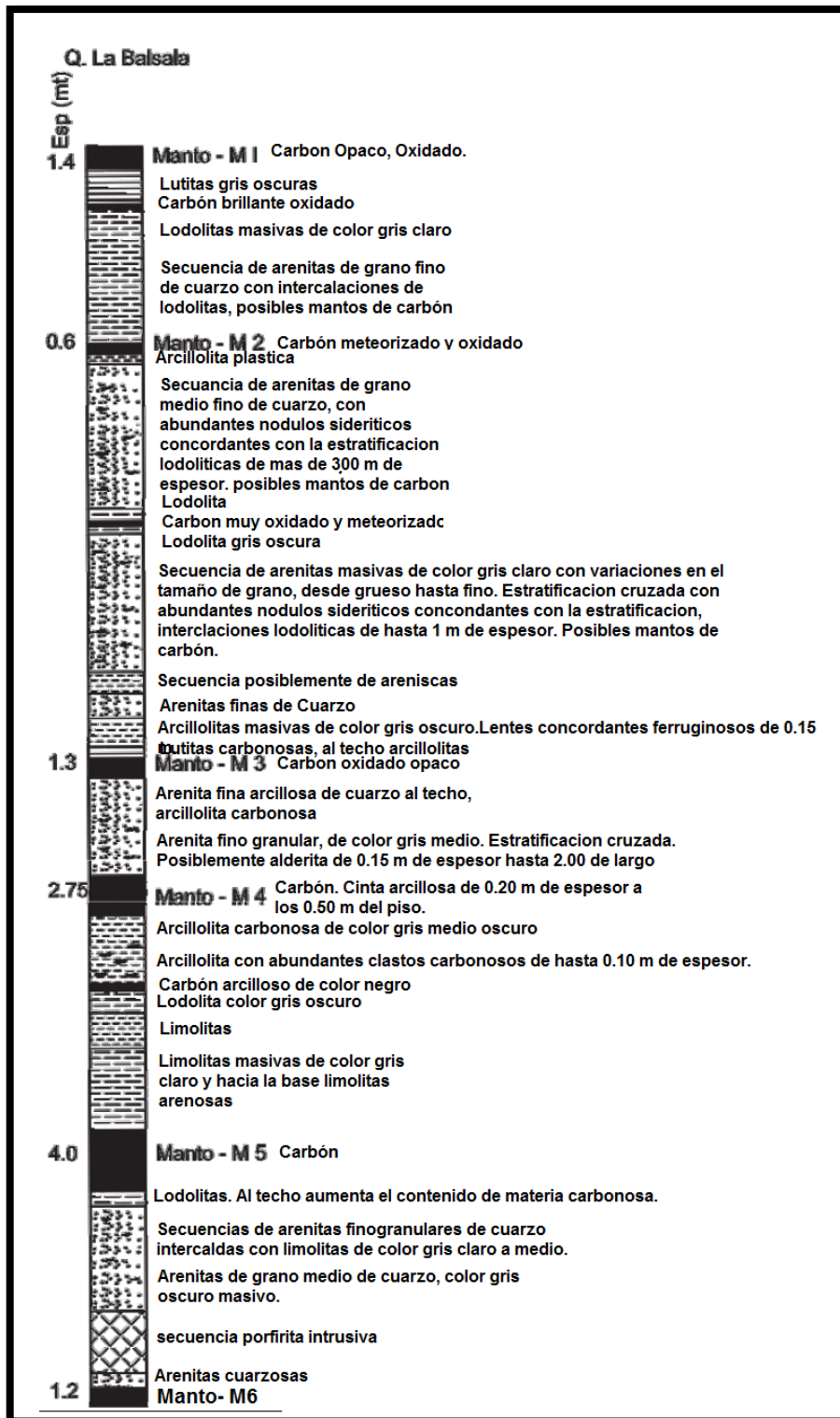


Figura 30. Columna estratigráfica detallada del Miembro Tom. Tomada y modificada de Ingeominas, 2005

4.4.2.1 Arcillolitas

Las arcillolitas que se presentan en la zona de estudio son de color gris y se encuentran afectadas por la tectónica local ya que son fácilmente deleznable, con frecuencia se encuentran como respaldo de las cintas y de los mantos encontrados en la zona de estudio. Los mejores afloramientos se presentan en el caño Arrayanal y en la caño de la Secreta – El Silencio, como el que se muestra en la figura 31.



Figura 31. Estratos de arcillolitas reconocidas durante la fase de campo en el caño La Secreta – El Silencio

4.4.2.2 Limolitas

Los estratos de limolitas se encuentran, al igual que las arcillolitas, acompañando los mantos y las cintas de carbón, son de color gris claro, fácilmente deleznable, se

presentan en paquetes gruesos de hasta 7 m, los mejores afloramientos se presentan en el caño Arrayanal, como el que se muestra en la figura 32. Se diferencian de las arcillolitas por su color, textura y tamaño de grano.

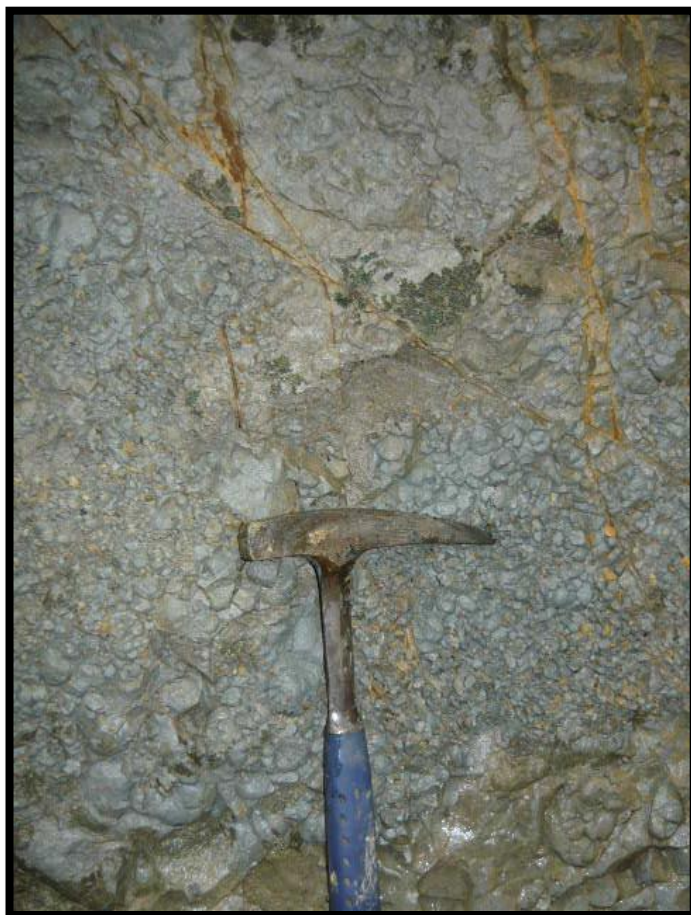


Figura 32. Paquete de limolitas en el Caño Arrayanal reconocidas durante la fase de campo.

4.4.2.3 Areniscas

Los mejores afloramientos de los estratos de areniscas se ubican en la vía El Balsal – Lara y en la quebrada La Balsala, que se presenta en la figura 33, son

rocas de color gris y al meteorizarse toman un color café, como el que se muestra en la figura 34, la mayoría son de grano medio a fino y son fuertemente competentes.



Figura 33. Arenisca fresca que comienza a meteorizarse. Quebrada La Balsala.
Fotografía tomadas durante el reconocimiento de campo



Figura 34. Estrato de arenisca en la quebrada La Balsala. Fotografía tomada durante el reconocimiento de campo

4.4.2.4 Carbón

Los mantos de carbón, cintas y manifestaciones son numerosos en el área de estudio, en los recorridos realizados se encontraron mantos y cintas de espesores entre los 0.5 m y 5 m.

Los mantos más gruesos se encuentran en la Quebrada La Balsala, cerca de su desembocadura y en el Caño Arrayanal, con espesores de 2.7m y 5 m. Una descripción más detallada se presenta en el capítulo de la Geología Económica.

Las cintas de carbón se encuentran en medio de las dos grandes fallas inversas de la zona, estas cintas tienen una dirección norte-sur y con buzamiento hacia el este, básicamente subparalela a las fallas inversas, Sergio Ltd (1993). Debido al relieve topográfico, los afloramientos tienen una tendencia en dirección norte-noreste a través del título minero. La cartografía reciente de Geominas (2012) interpreta una falla transversal, pero esto no fue apoyado por la posterior perforación en 2013. Catorce vetas de carbón se encuentran en esta zona de la Concesión, 7 de los cuales son lo suficientemente gruesas como para ser consideradas mantos "principales" con espesores individuales promedio que van desde 1,8 metros a 6,2 metros.

4.5 GEOLOGÍA ECONÓMICA

El yacimiento de carbón limitado por el título minero HJBN-04, está conformado por 7 mantos de carbón explotables, los cuales afloran en una franja de 600 metros de ancho por 900 de largo del Miembro Tom. En la figura 35 se presenta la columna estratigráfica entre mantos.

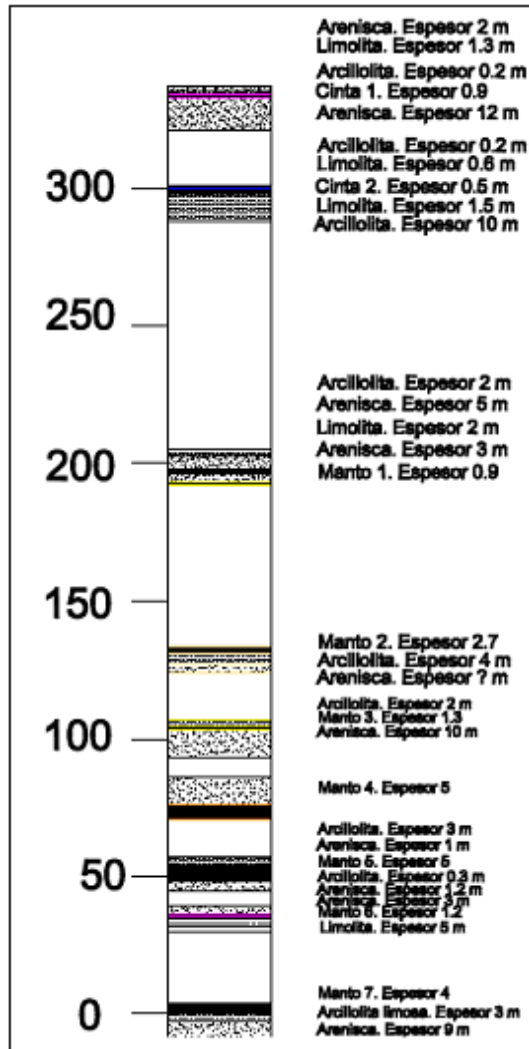


Figura 35. Columna con distancia estratigráfica entre mantos.

La dirección general del paquete sedimentario es N12°E/65°E, que de acuerdo a estudios anteriores hacen parte del flanco oriental de un anticlinal.

A continuación se describen los mantos de carbón:

4.5.1 Cinta 1. Espesor 0.9 m

Este manto aflora en el caño La Secreta – El Silencio, en el costado este de la zona de estudio, continua hacia el sur hacia la quebrada la Balsala donde vuelve a aflorar. Su espesor es de 0.9 en el norte y disminuye hasta 0.5 m en el sur, tanto su respaldo inferior como el superior están conformadas por arcillolita carbonosa. Hacia el piso debajo de la arcillolita carbonosa, hay 8 m de lodolita gris y bajo esta otra cinta de 0.4 m.

4.5.2 Cinta 2. Espesor 0.5 m

Esta cinta aflora en el caño La Secreta – El Silencio, en el costado este de la zona de estudio y se prolonga hacia el sur hasta la quebrada la Balsala donde aflora nuevamente, con el mismo espesor. Esta cinta presenta una intercalación de arcillolita carbonosa en el medio. El respaldo superior de arcillolita carbonosa hasta lutita de 0.6 m y el respaldo inferior está compuesto por lodolitas de 1.5 m.

4.5.3 Manto 1. Espesor 0.9 m

Aflora en la quebrada La Balsala, 80 m aguas arriba de la desembocadura del caño Arrayanal en la quebrada la Balsala, el techo está compuesto por un estrato de arenisca de 3 m de espesor y su base está tapada por el cauce de la quebrada, De este manto no hay más manifestaciones hacia el norte de la zona de estudio.

4.5.4 Manto 2. Espesor 2.7 m

Aflora en la quebrada la Balsala a 12 m aguas arriba de la desembocadura en el caño Arrayanal, También aflora en el caño Arrayanal a la altura de la cota 750 msnm y a 150 m aguas arriba de la desembocadura del caño Arrayanal en la Balsala. Su

base y su techo están compuestas por arcillolita gris, en el techo esta mide 1 m y en el piso se observa un espesor de 0.05 m.

4.5.5 Manto 3. Espesor 1.3

Este manto aflora cerca de la confluencia del caño Arrayanal y la Quebrada La Balsala y aguas abajo de este punto, a unos 65 m vuelve a aflorar con un espesor uniforme de 1.5 en ambos puntos. El piso de este manto está conformado por arenisca de 10 metros y el techo está compuesto por arcillolita gris muy meteorizada de 2m de espesor.

Del análisis (ECOCARBÓN, 1992) realizado al manto 3 se obtuvo:

Humedad Residual 5.6 %

Cenizas 2.1 %

Materias Volátiles 41 %

Carbono Fijo 51.3 %

Azufre Total 0.65 %

Poder Calorífico Superior Base Bruta 6982Cal/gr

4.5.6 Manto 4. Espesor 5 m

Este manto aflora en la quebrada la Balsala al norte del título el Silencio, aflora en dos puntos separados 120 m, con espesores de 5 m, y vuelve a aflorar en la desembocadura de la quebrada La Balsala en la Quebrada Amagá, con un espesor de 2.7 m. El piso es de arcillolita carbonosa gris y en la base presenta una transición a limolita carbonosa de unos pocos centímetros para luego presentar un estrato de arenisca de 1.5 m.

Del análisis realizado por el laboratorio de carbones de ECOCARBÓN (1992), para una muestra del manto 4, se obtuvo:

Humedad residual 3.1%

Cenizas 3.8 %
Materias Volatiles 41.4%
Carbono Fijo 51.7 %
Azufre Total 0.98 %
Poder Calorifico 7664 Cal/gr
Indice de Hichamiento 2.0

4.5.7 Manto 5. Espesor 5 m

Este manto se ubica a 200 metros aguas abajo de la confluencia del caño Arrayanal y quebrada La Balsala, en el techo presenta una arcillolita carbonosa muy delgada (0,1 m) y luego tiene 1m de arenisca, en el piso tiene 0.3 m de arcillolita gris y luego tiene 1.2 metros de arenisca, este manto vuelve a aflora a los 20 metros aguas arriba de este punto,

Del análisis realizado por el laboratorio de carbones para una muestra del manto 5 (ECOCARBÓN, 1992), se obtuvo:

Humedad residual 3.1%
Cenizas 3.0 %
Materias Volatiles 42.8%
Carbono Fijo 51.1 %
Azufre Total 0.94 %
Poder Calorifico 7704 Cal/gr
Indice de Hichamiento 3.5

4.5.8 Manto 6. Espesor 1.2 m

Este manto de carbón masivo y duro, aflora en la quebrada La Balsala y se ubica al norte del título El Silencio y vuelve a aflorar sobre la quebrada Amagá, con un espesor uniforme de 1.2 m, el techo está conformado por una arenisca de grano medio a fino y el piso está conformado por un estrato de limolita, su espesor total está cubierto. Es importante mencionar que este manto esta plegado localmente.

4.5.9 Manto 7. Espesor 4 m

Este manto de 4 m de espesor, aflora 300 m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada La Balsala en la quebrada Amaga, está cubierto por un deposito cuaternario que impide ver su techo, su base está conformada por un estrato de arcillolita limosa de color gris de 3m de espesor.

En la tabla 3 se realiza una síntesis de los mantos con sus respectivos datos estructurales y espesores.

Manto o cinta	Estructura	Espesor
Cinta 1	N2W/34NE	0.9
Cinta 2	N22E/42SE	0.5
Manto 1	N15E/65SE	0.9
Manto 2	N30E/40SE	2.7
Manto 3	N15E/51SE	1.3
Manto 4	N22E/63SE	5
Manto 5	N25E/64SE	5
Manto 6	N13W/40NE	1.2
Manto 7	N15E/50SE	4

Tabla 3. Estructuras y espesores de los mantos y las cintas del yacimiento El Balsal

5 METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una serie de etapas para alcanzar los objetivos propuestos, estructurando una metodología compuesta de 5 fases: pre-campo, campo, laboratorio, oficina y fase final. A continuación se describirá en detalle los aspectos relacionados a las etapas anteriormente planteadas.

5.1 FASE DE PRE-CAMPO.

Esta fase metodológica se centra en la recopilación integral de información de interés y va encaminada a reunir distintos trabajos realizados con anterioridad en el área, a fin de poder adquirir, mediante el análisis de esta información, una idea más estructurada de los aspectos geológicos de la zona de estudio, como son la estratigrafía, geología estructural, cartografía, etc.

Luego de recopilar la información se procede a filtrar y clasificar el material, teniendo en cuenta los elementos de mayor importancia que contribuyan a alcanzar los objetivos propuestos, para así lograr presentar los resultados de la información adquirida de los pozos en un marco de información previa objetiva y relevante del área de estudio y de la formación de interés.

Posteriormente se realiza una interpretación y análisis de todos los documentos recopilados, presentando una síntesis de los aspectos geológicos referentes a la zona donde se desarrolló la perforación de los pozos TP-L14-DH06, TP-L14-DH07, TP-L14-DH08.

Cabe resaltar que esta fase permanece abierta a lo largo de todo el desarrollo de la investigación.

5.2 FASE DE CAMPO

En esta fase se elaboró un plan de trabajo de campo el cual es importante para el seguimiento de los productos obtenidos y a su vez tener un aseguramiento de la información, el cual consta de tres etapas:

5.2.1 Reconocimiento de Campo:

En esta fase se llevaron a cabo una serie de salidas a campo con el fin de hacer una identificación de las unidades litológicas (en especial de la formación portadora de carbón), caracterizar los principales accidentes estructurales y geomorfológicos y de esta manera verificar la bibliografía presentada.

5.2.1.1 Descripción de Núcleos:

Carbones de Titiribí SAS completó un programa de perforación en el 2013 diseñado para determinar la geometría y para proporcionar una primera evaluación de las características físicas y químicas de las capas de carbón en la concesión de El Balsal. El programa de perforación siguió los procedimientos y protocolos de recogida de datos de campo diseñados por Asociado Senior de Behre Dolbear, el Sr. Gardar G. Dahl, Jr., quien es considerado como una persona competente a los efectos de presentación de informes JORC. Tomado de Carbones Titiribí SAS (2013).

Un total de 21 pozos se perforaron en El Balsal / (Figura 36) de los cuales la empresa carbones de Titiribí SAS permitió que se llevara a cabo una descripción detallada de los 3 núcleos obtenidos de los pozos ubicados en la línea 14 que se llevó durante la primera etapa de perforación en el 2013. Esta fase consistió en una caracterización de los pozos TP-L14-DH06, TP-L14-DH07, TP-L14-DH08, toma de fotografías y loggeo como se observa en las figuras 37 y 38 donde se hizo la descripción macroscópica metro a metro de los núcleos de roca recuperados, describiendo la mineralogía, textura, composición para establecer el respectivo

nombre textural- composicional de la roca (se utilizaron los formatos de la empresa los cuales se anexan en este trabajo) para esto se usaron elementos como: lupas de mano, tablas de granulometría, tablas de color, rayadores, ácido clorhídrico, cámara fotográfica y se siguió el formato establecido por la empresa.

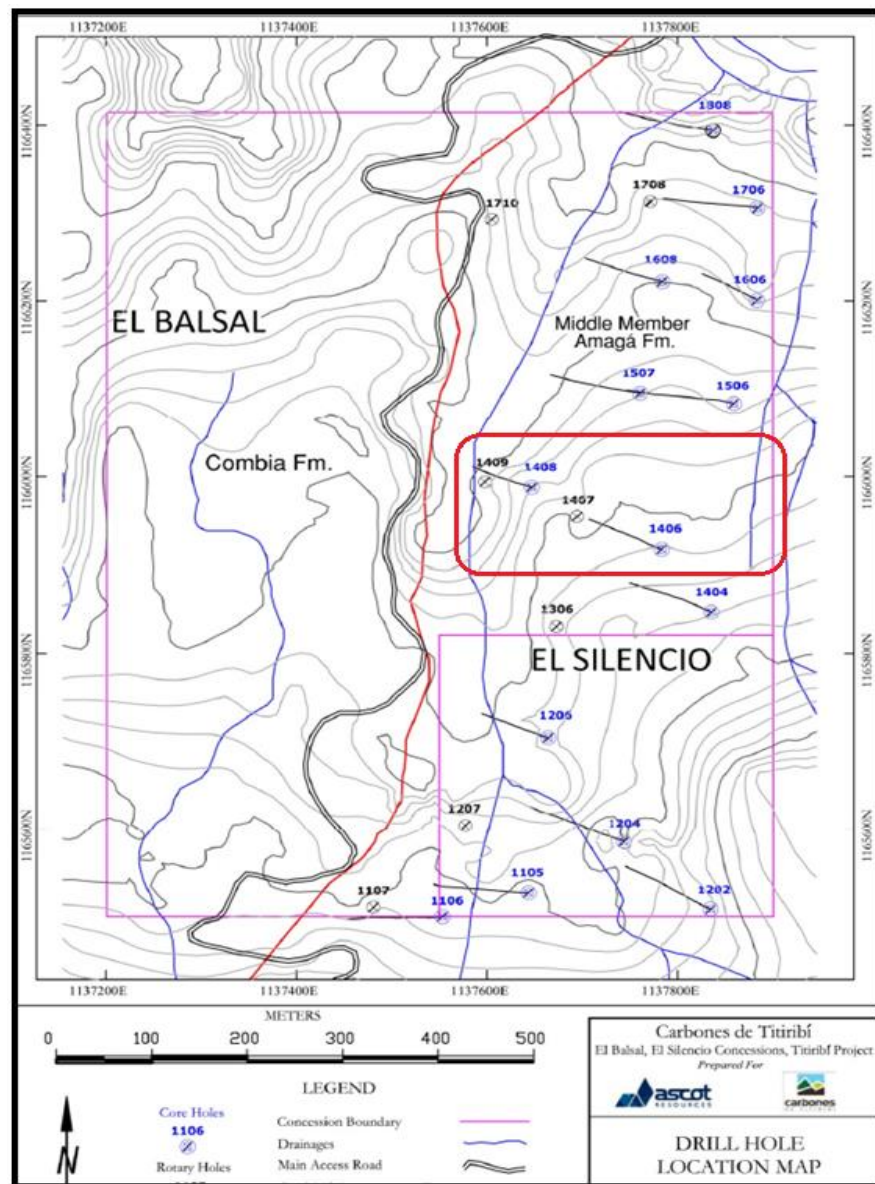


Figura 36. Localización de los pozos de perforación en la concesión el Balsal y el Silencio. (Cuadro rojo indicando los pozos entregados para esta tesis). Tomado Carbones de Titiribí SAS, 2013.

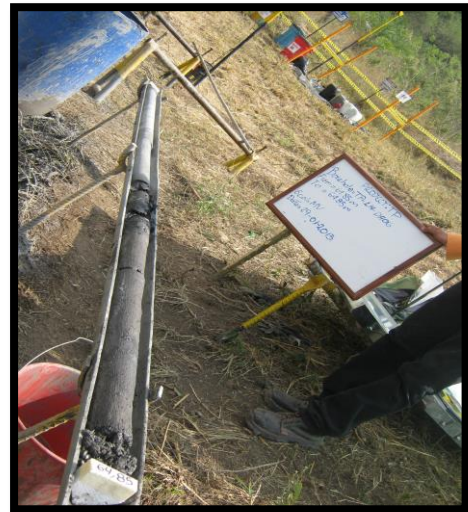


Figura 37. Salida de los núcleos sobre el canal. Imágenes tomadas durante el reconocimiento de campo.



Figura 38. Descripción del núcleo de perforación durante la fase de campo.

5.2.1.2 Muestras de Ripios

Los fragmentos rocosos de la perforación triconica eran de polvo fino, con tamaños de milímetros a centímetros de fragmentos detriticos de roca. Estas muestras se

recogieron a través de tamices en un intervalo regular de 1 metro, se lavaron se registraron y se empacaron en bolsa plastica de polietileno de alta densidad como se muestra en la figura 39, para posteriormente ser fotografiada y realizar su posterior descripción macroscópica teniendo en cuenta sus características texturales y composicionales para finalmente ser almacenada en las respectivas cajas.



Figura 39. A. Muestras de rípios de carbón del pozo TP-L14-TC07.**B.**Muestra de rípios empacadas y almacenadas en las cajas.

5.2.1.3 Adquisición de los Registros Geofísicos:

La empresa carbones de Titiribí SAS contrató los servicios de Weatherford International Ltd para la toma de los registros geofísicos. Weatherford proporcionó la unidad de registro geofísico, la mano de obra, y la movilización de los equipos de registros fuera de las oficinas de Medellín hacia Titiribí y la movilización entre pozos de perforación. Asimismo se contrataron los servicios de Century Geophysics, que también realizó registros de pozos para hacer una comparación con los registros de Weatherford, cuyos resultados fueron compatibles. Los registros geofísicos fueron

medidos y registrados en formato digital utilizando formato estándar “. LAS “y PDF. Para la realización de este trabajo la compañía CARBONES DE TITIRIBI SAS suministro las copias en PDF de todos los registros de Weatherford de los pozos TP-L14-DH06, TP-L14-DH07 y TP-L14-DH08 Ver **Apéndice 4**.

La empresa whetherford utilizó un sistema de medición básica de prospección geofísica en campo (SLIMLINE) que consta de sondas, cables conductores, SCI (system computer interface), Software de control y procesamiento y la unidad de registro. (Ver figura 40 y 41)

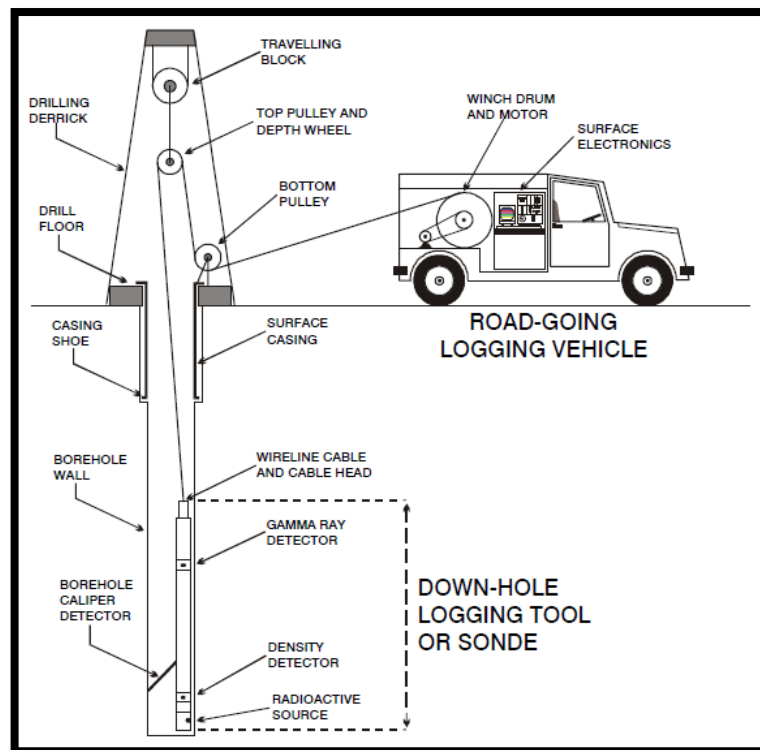


Figura 40. Registro SLIMLINE. Tomado de Weatherford 2013.



Figura 41. Generalidades del registro SLIMLINE. A. Unidades de Registro. B. Sistema de control de profundidad y tensión-SCI WellManager. Tomado de Weatherford 2013

Durante el procedimiento de registro en la concesión de El Balsal, este cable se sube y se baja por un sistema de Winch (velocidad del registro bajando es 15m/min y la velocidad del registro subiendo 4 a 8 m/min). La Profundidad se registra simultáneamente con la información geofísica a través de un codificador. El cable

de registro consta generalmente de uno, cuatro o siete cables eléctricos individualmente aislados, que están rodeados por una envoltura de acero trenzado y blindado que soporta la sonda. Las sondas digitalizan los datos antes de transmitirlos al sistema de grabación en superficie.

En la mayoría de los casos, la unidad de prospección geofísica, se monta en un vehículo junto con las sondas, pero debido a que la totalidad de los pozos de perforación no eran accesibles por caminos carrateables, se utilizaron otros medios portables para llevar la unidad de registro ver figura 42.



Figura 42. Campo de configuración en El Balsal. Cable y el draw works montados en una carretilla. La grabadora de superficie se monta de forma similar. Tomado de Weatherford 2013.

5.3 FASE DE LABORATORIO.

Durante esta etapa de laboratorio se colectaron y analizaron 5 muestras de areniscas del miembro medio Tom. Éstas se seleccionaron con el fin de realizarles un análisis microscópico consistente en la descripción mineralógica, textural y composicional. Las secciones fueron adquiridas a partir de las muestras recolectadas durante la fase de campo de los pozos TP-L14-DH06 y TP-L14-DH08 con el propósito de poder verificar la descripción macroscópica anteriormente realizada durante la fase de campo.

La fase de descripción se llevó a cabo en el laboratorio Petrográfico de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander donde se utilizó microscopio de luz transmitida de marca NIKON Eclipse E200 Y NIKON Alphaphot -2 YS2 tal como se muestra en la figura 43. Se realizó descripción textural, análisis de la composición mineralógica, clasificación de la roca de acuerdo a lo establecido por Folk (1974). Se hizo un análisis minucioso de la mineralogía, de las características texturales y composicionales de la rocas de la formación de interés, basándose en la clasificación de las rocas sedimentarias terrígenas según Folk (1968) y se elaboró un registro fotográfico con el fin de tener una evidencia de los rasgos petrográficos sobresalientes del miembro Tom.



Figura 43. Microscopio marca Nikon Eclipse E200.

5.4 FASE DE OFICINA

Posterior al desarrollo micro-petrográfico de la fase anterior, se realiza en esta etapa del trabajo una integración de todo el material recopilado, unificando la revisión bibliográfica, la información suministrada por los núcleos, ripios, registros de pozos y la petrografía de secciones delgadas, para llevar a cabo la correcta interpretación básica de los registros geofísicos, estableciendo una correlación entre los mantos de carbón que afloran la concesión del Balsal y así poder determinar el modelo geológico 2D del miembro medio Tom.

5.5 FASE FINAL

Finalmente se lleva a cabo la interpretación de los datos que suministran las diferentes fases anteriormente mencionadas con el propósito de compilar y redactar el documento final que incluye la descripción y análisis tanto macroscópico como microscópico de cada pozo estudiado, realizando para cada uno de ellos su respectiva columna estratigráfica, determinando al mismo tiempo la pertinente

respuesta de registro para cada litología presente en los núcleos y poder así hacer una interpretación litológica a partir de registro del pozo del cual no se tiene núcleo de perforación. Posteriormente se pretende hacer la correlación de los mantos de carbón que nos llevará al objetivo fundamental de este trabajo que es realizar el modelo geológico 2D para esta cuenca carbonífera. Hay que resaltar que para la construcción de dicho modelo se tiene en cuenta no solo los datos suministrados por los pozos, sino la de todo el material bibliográfico que se tiene disponible.

Para clausurar se presentaran las recomendaciones pertinentes y sus respectivas conclusiones.

6 RESULTADOS

6.1 GENERALIDADES DE LOS POZOS DE PERFORACIÓN

Antes de plasmar en este trabajo la descripción litológica que se realizó para cada pozo es importante aclarar algunas características de los pozos estudiados, en lo referente a la forma como se hizo la perforación para cada uno de ellos, el tipo de broca utilizado y el % de recuperación de cada pozo. La información disponible fue suministrada por Carbones de Titiribí SAS.

La Perforación con recuperación de núcleos realizada con broca cónica representa el 67% de los pozos de perforación en El Balsal/El Silencio (concesión continua, en el cual Carbones de Titiribí también hace trabajos de exploración). La recuperación de núcleos en general tuvo un promedio de 89.33%, de acuerdo a los registros geológicos que se hicieron en el lugar. La recuperación de núcleos de carbón fue variable, con un promedio de 80,7%, basados en los espesores de los registros geofísicos, y que van desde 29,22% a 100%. Todo núcleo de carbón se lavó cuidadosamente, se midió, se registró y fue fotografiado por el protocolo de muestreo estándar de la industria.

La mayoría de los pozos fueron revestidos a través de la parte más alta de ellos donde el material aluvial era inestable – este revestimiento se hizo en general entre los 20 metros y los 40 metros iniciales del pozo.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.

En las instalaciones de la empresa en el Balsal los núcleos de perforación fueron medidos, fotografiados y registrados y nuestro trabajo fue supervisado por los geólogos de la empresa Carbones de Titiribí SAS-

Los datos fueron registrados y almacenados como archivos de hoja de Excel, incluyendo el seguimiento de las descripciones litológicas y geotécnicas de cada

intervalo del núcleo. Las propiedades físicas de las rocas, incluyendo atributos de textura, estructuras sedimentarias y estructuras secundarias, como las fracturas, fallas, y sus manifestaciones, también se registraron. El Porcentaje de recuperación del núcleo se obtiene dividiendo la longitud del núcleo recuperado por la longitud total de la perforación para esa ejecución, usando la siguiente ecuación:

$$\text{Recuperación (\%)} = \frac{L_r}{L_d} \times 100$$

Dónde:

L_r = Longitud del núcleo Recuperado

L_d = Longitud de perforación.

Los datos litológicos y geotécnicos fueron detallados en un formato suministrado por la empresa (ver Figura 44 y 45), pero para el fin de este trabajo se trasladó a una hoja de cálculo con las características litológicas de cada pozo. Estos datos se pueden encontrar en el **apéndice 2.0**. A continuación se presenta la descripción litoestratigráficas del miembro medio Tom basado en el análisis de núcleos de roca y muestras de zanja de los pozos TP-L14-DH06, TP-L14-TC07 y TP-L14-DH08.

A.	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
	ProjectCode	Geolo	GeolFr	GeolTo	Veathe	Flag	Litho	LIT_GEOCL	RockAdj	TEXTU	ColorI	Color Inte	Grainsiz	Sortin	Packin	Roundn	RockRel	RockRel	Base1	MinRel	Min0tz	LIT_MIN	Fossil	FossilAb	Litho	LIT_GEOCL	RockA	TEXTU	
2	TP-L14-DH06	TP	JN	0,00	13,85	M	W	CGL	CG	CT	GR	GRE	DAK	FC			A	FG	80	IF	MX	60	QXD						
3	TP-L14-DH06	TP	JN	13,85	22,85	F		LMT	CY	SS	FG	GRY	MED				GN	70	SH	GN	95	QTZ			CLY	SL	FN	FG	
4	TP-L14-DH06	TP	JN	22,85	23,55	F		FOL	XH	LE	FG	GRY	DAK				BA	100	SH	LM	100	CLY							
5	TP-L14-DH06	TP	JN	23,55	23,92	F		CAM	C3	FN	FG	GRY	DAK				FG	100	SH	FR	100	CAR							
6	TP-L14-DH06	TP	JN	23,92	24,35	F		FOL	XH	LE	FG	GRY	DAK				BA	100	SH	LM	100	CLY							
7	TP-L14-DH06	TP	JN	24,35	36,30	F		LOO	SL	AG	FG	GRY	MED				GN	71	SH	GN	70	QTZ			LMT	CY	FN	FG	
8	TP-L14-DH06	TP	JN	36,30	40,85	F		LOO	SL	AG	FG	GRY	MED				GN	95	SH	GN	60	QTZ			FOL	XH	FN	FG	
9	TP-L14-DH06	TP	JN	40,85	51,85	F		CLY	SL	FN	FG	GRY	DAK				GN	60	SH	MX	100	CLY			LMT	CY	FN	FG	
10	TP-L14-DH06	TP	MV	51,85	63,56	F		ARE	SA	BC	GR	GRY	LGT	FC	M	M	SS	BN	90	IF	GN	85	QTZ			LMT	SA	IL	FG
11	TP-L14-DH06	TP	MV	63,56	63,83	F		CAM	C3	AR	PL	BLK	MED				FR	100	IF	MX	90	CAR							
12	TP-L14-DH06	TP	MV	63,83	67,80	F		CLY	XH	AR	PL	GRY	DAK				FG	55	IF	MX	85	CLY			LMT	SA	IL	FG	
13	TP-L14-DH06	TP	JN	67,80	70,85	F		LMT	SA	FN	FG	GRY	LGT	FV	M	M	SS	GN	61	IF	GN	100	QTZ			CLY	SL	FN	FG
14	TP-L14-DH06	TP	JN	70,85	76,85	F		LMT	SA	FN	FG	GRY	LGT	FV	M	M	SS	GN	65	IF	GN	100	QTZ			CLY	SL	FN	FG
15	TP-L14-DH06	TP	MV	76,85	78,50	F		LOO	SL	SZ	FG	GRY	MED				IC	85	IF	GN	55	QTZ			CLY	XH	LC	LM	
16	TP-L14-DH06	TP	MV	78,50	80,65	F		ARE	SA	SF	GR	GRY	LGT	MD	W	M	SS	GN	100	IF	GN	75	QTZ						
17	TP-L14-DH06	TP	MV	80,65	82,85	F		LOO	SL	FN	FG	GRY	MED				FR	55	IF	MX	70	CLY			ARE	SA	SS	GR	
18	TP-L14-DH06	TP	MV	82,85	86,15	F		LOO	SL	FN	FG	GRY	MED				IC	70	IF	MX	75	CLY			ARE	SA	SF	GR	
19	TP-L14-DH06	TP	MV	86,15	88,85	F		LMT	CY	FN	FG	GRY	MED				FG	100	IF	GN	80	QTZ							
20	TP-L14-DH06	TP	JN	88,85	94,85	F		CLY		FN	FG	GRY	DAK				GR	66	IF	MX	100	CLY			LMT	CY	FN	FG	
21	TP-L14-DH06	TP	JN	94,85	100,50	F		LMT	CY	FN	FG	GRY	MED				GN	62	IF	GN	100	QTZ			CLY		FN	FG	
22	TP-L14-DH06	TP	MV	100,50	103,55	F		LOO	SL	FN	FG	GRY	MED				IC	55	IF	MX	60	CLY			ARE	SA	GR	GR	
23	TP-L14-DH06	TP	MV	103,55	105,40	F		ARE	SA	GR	GR	GRY	LGT	MC	M	M	SS	BA	100	IF	GN	90	QTZ						
24	TP-L14-DH06	TP	MV	105,40	105,48	F		CAM	C3	AR	FG	GRY	DAK				BN	100	IF	MX	100	CAR							
25	TP-L14-DH06	TP	MV	105,48	107,25	F		LOO	SL	CL	FG	GRY	MED				FG	100	IF	MX	80	CLY							
26	TP-L14-DH06	TP	MV	107,25	112,25	F		ARE	SL	GR	GR	GRY	LGT	FM	M	M	SS	BA	100	IF	GN	95	QTZ						
27	TP-L14-DH06	TP	MV	112,25	112,72	F		CLY	SL	FN	FG	GRY	MED				FG	100	HS	MX	80	CLY							
28	TP-L14-DH06	TP	MV	112,72	113,97	F		CAM	C3	BD	FG	BLK	DAK				BN	100	IF	FR	100	CAR							
29	TP-L14-DH06	TP	MV	113,97	114,17	F		CLY	XH	FN	FG	GRY	DAK				FR	100	IF	MX	60	CLY							
30	TP-L14-DH06	TP	JN	114,17	116,05	F		LMT	CY	FN	FG	GRY	MED				IC	95	IF	GN	90	QTZ			ARE	SA	GN	GR	
31	TP-L14-DH06	TP	JN	116,05	117,85	F		CLY	XH	AR	FG	GRY	DAK				BA	100	SH	MX	95	CLY							
32	TP-L14-DH06	TP	JN	117,85	123,30	F		ARE	SL	BN	GR	GRY	LGT	VM	M	M	SS	IC	90	SH	GN	95	QTZ			LMT	CY	SI	FG
33	TP-L14-DH06	TP	MV	123,30	125,88	F		CLY	XH	AR	FG	GRY	MED				FG	100	IF	MX	80	CLY							

Figura 44. Formato Utilizado por Carbones de Titiribí SAS, para realizar la descripción litológica de los núcleos de perforación TP-L14-DH06, TP-L14-TC07 TP-L14-DH08.

	A	B	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	/AB	AC	/AE	AF	/AH	AI								
	B.		L I T H O L O G Y																																			
1																																						
2	Litko	LIT_GEOCLASS	RockAdj	Texture	COLOR	Color Intensity	GrainSize	Sorting	Packing	Roundness	RockRel	Base																										
3	CAM	Coal	SO	SOIL	AA	As above	AM	amygdaloidal	BEI	Beige	DAK	Dark	VF	very fine grained	B	bimodal sorting	L	loosely packed	A	angular	BA	banded	AB	distinct base														
4	LOO	Mudstone	SL	SILT	AB	Abundant	BR	brecciated	BLK	Black	LGT	Light	FV	very fine to fine grained	L	polymodal sorting	M	moderately packed	D	subrounded	BN	with bands of	DB	abrupt base														
5	LMT	Siltstone	CY	CLAY	BN	bands	FR	fibrous	BLU	Blue	MED	Medium	VM	very fine to medium grained	M	moderately sorted	T	tightly packed	R	rounded	BU	towards base of unit	EE	erosional base														
6	ALU	Alluvium	SA	SAND	BC	bands of coal	GR	granular	B/W	Brown			VE	very fine to very coarse grained	P	poorly sorted			S	subangular	CT	with clasts of	SH	sub horizontal														
7	ARE	Arcsrite	GY	GRAVEL	BT	towards the base	ND	nodular	CAF	Café			VG	very fine to granule size	X	mixed sorting			W	well rounded	FA	faulted against	VS	vertical to sub horizon														
8	CAL	Limestone	AL	ALLUVIUM	SS	sandstone	SO	soapy	CEL	Celeste			FA	fine to very fine grained	W	well sorted			ss	subrounded to subangular	FB	finely interbedded (0.03-0.10m)	HS	horizontal to sub horizon														
9	CGL	Conglomerate	CO	COAL	XH	carbonaceous shale	VS	vesicular	CRE	Cream			FN	fine grained							FG	fragments	IF	irregular sharp base														
10	FOL	Shale	C1	COAL, >90% Bright	AG	argillaceous	XL	crystalline	GRE	Green			FM	fine to medium grained							FR	fragmented	IG	slickensided at base														
11	CLY	Claystone	C2	COAL, 60-90% Bright	AM	amygdaloidal	FG	Fine Granular	GRY	Grey			FC	fine to coarse grained							GN	with grains	IN	laminated base														
12			C3	COAL, 40-60% Bright	AP	aphanitic	LM	Laminado*	MO	Morado			FE	fine to very coarse grained							GR	grading into	SO	wavy base														
13			C4	COAL, 10-40% Bright	BI	bituminous	PL	Plástico*	NAR	Naranja			FG	fine grained to granule							IB	interbedded	UB	bottom contact is ph														
14			C5	COAL, <10% Bright	BO	boulders			OCR	Ocre			MA	medium to very fine grained							IL	interlaminated with																
15			C6	COAL, Dull <1% Bright	BE	brecciated	*	Traducir	ORA	Orange			MF	medium to fine grained							IM	intermixed with																
16			C7	COAL, Dull, Conchoidal	BD	bright and dull (DB)			OTO	Otros			MD	medium grained							IF	interfingered																
17			C8	COAL, Fibrous	BR	bright (B)			PAR	Pardo			MC	medium to coarse grained							IR	irregularly interbedded																
18			C9	COAL, Weathered	BE	bright banded (Bd)			PNK	Pink			MV	medium to very coarse grained							LM	with laminae of																
19			XH	Carbonaceous Shale	BL	bright lustre			PUP	Purple			MG	medium grained to granule size							LN	with lenses of																
20			XL	Carbonaceous Siltstone	CC	calcareous			RED	Red			MP	medium to pebble size							MS	matrix supported																
21			XS	Carbonaceous Sandstone	AR	carbonaceous			ROS	Rosado			CA	coarse to very fine grained							MX	with a matrix of																
22			ST	SILTSTONE	CE	cement			TAN	Tan			CF	coarse to fine grained							PB	with pebbles of																
23			SH	Shale	CS	clast			VIO	Violeta			CM	coarse to medium grained							PC	repeatedly coarseening upwards																

Figura 45. Formato utilizado por la Empresa Carbones de Titiribí SAS para designar la litología.

6.2.1 Descripción litológica del Pozo TP-L14-DH06

El pozo TP-L14-DH06 ejecutado con perforación cónica, se realizó sobre la cota 700 específicamente a 711.20 m.s.n.m y alcanzó una profundidad máxima de 160.85 m, la columna estratigráfica para este pozo está representada en la figura 46 y presenta una secuencia litoestratigráfica de conglomerados, areniscas, shale, limolitas, lodolitas, arcillolitas y carbón. Los conglomerados aparecen hacia el tope del pozo presentando un color gris oscuro con clastos conglomeráticos.

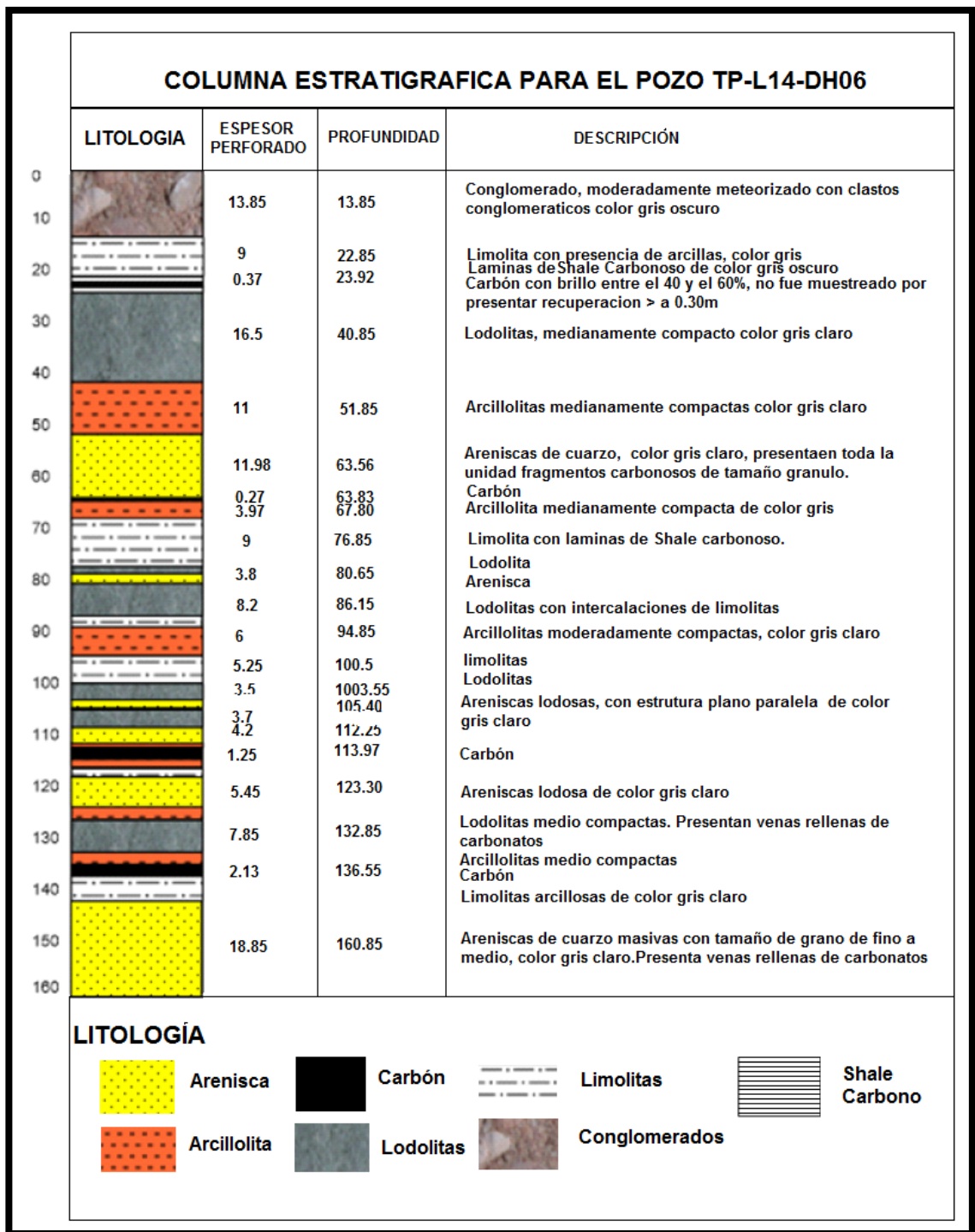


Figura 46. Columna estratigráfica del pozo TP-L14-DH06

En el intervalo entre 52 a 64 m de profundidad aparecen unas areniscas cuarzosas con tamaño de grano medio a grueso, redondeados y subangulares, con textura granular, colores grisáceos claros; y hacia la base (en profundidades de 107 a 112m y 140 a 160m) se encontro un potente paquete de areniscas con las mismas características anteriormente mencionadas y presencia de venas rellenas de carbonatos como se presenta en la figura 47.



Figura 47. Areniscas presentando venas rellenas de carbonato.

Lo que predomina en esta secuencia es el material limo-arcilloso, ver figura 48, con textura granular fina, los colores varían de tonalidades de gris claro a gris oscuro, los minerales que se observaron en mayor porcentaje fue el cuarzo y minerales arcillosos. En algunas limolitas arcillosas se presentaban esporádicas láminas de carbón.



Figura 48. Limolitas y arcillas sobre el canal

Durante la perforación se encontraron algunos mantos de carbon que van desde cintas < de 30 cm (63.53 a 63.83 m de profundidad) hasta mantos de 2.13 m de espesor hacia la base del pozo 134 a 136 m, ver figura 49. Estos carbones presentaban un textura laminar color negro oscuro y su brillo está en el rango de los 40-60% .



Figura 49: A. Carbón con brillo del 80%, sacado en el proceso de perforación a los 63 m aproximadamente de profundidad. B y C Nucleos organizado en las cajas con carbones en la base del pozo (134 a 136m). los núcleos con carbón han sido llevados para exámenes de laboratorio.

6.2.2 Descripción litológica del pozo TP-L14-TC07

El pozo TP-L14-TC07 con perforación triconica se hizo sobre una altura de 694.03 m.s.n.m y alcanzó una profundidad de 192 m y su perforación fue de manera vertical. La columna estratigráfica para este pozo se observa en la figura 50 donde se adquirieron muestras de zanja metro a metro donde se caracterizaron litologías de conglomerados, areniscas, lodolitas, lutitas, arcillolitas mantos de carbón y una roca volcánica descrita como Andesita.

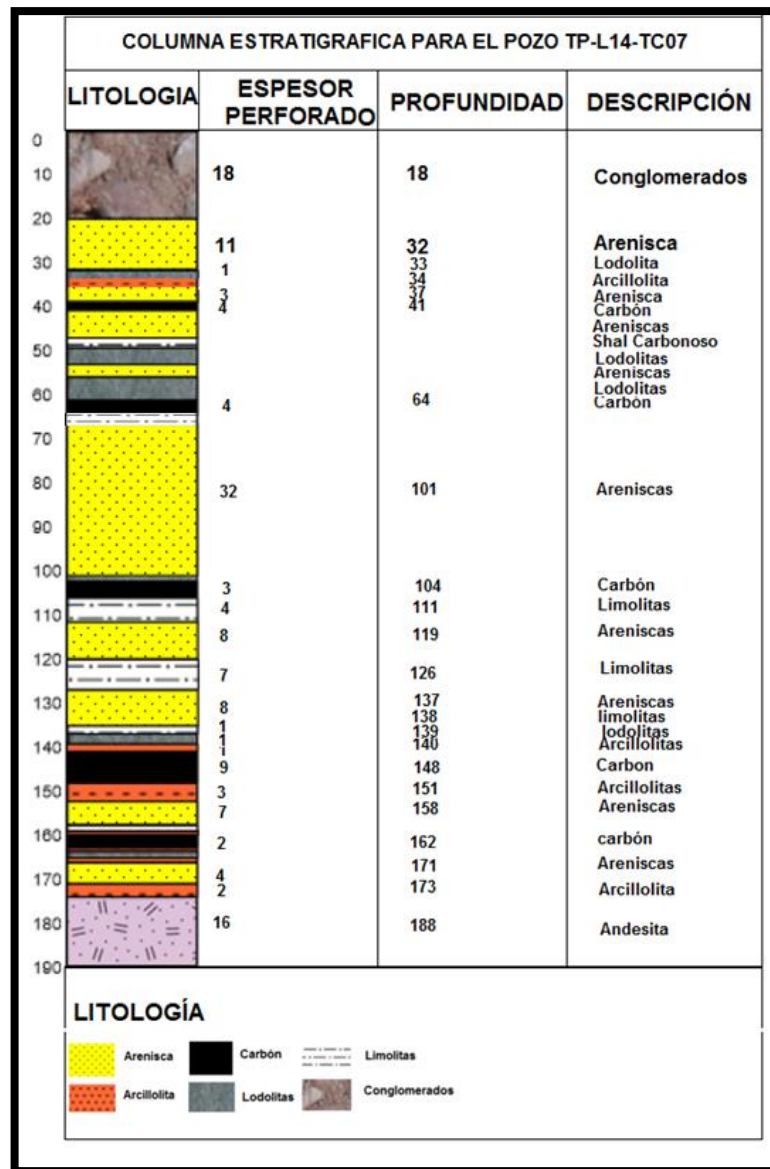


Figura 50. Columna Estratigráfica del pozo TP-L14-TC07

Los conglomerados aparecen en los primeros 21 m de perforación con clastos de limos, arcillas, gravas, ver figura 51. Estos últimos presentan textura granular y cristalina de color café y tonos verdosos. Se describió la presencia de fragmentos compuestos de roca ígnea intermedia volcánica andesíticas, los cuales están parcialmente meteorizados debido a los óxidos de hierro de colores verdosos amarillentos, algunos de estos fragmentos se encuentran embebidos en una matriz limo arcillosa de color café.

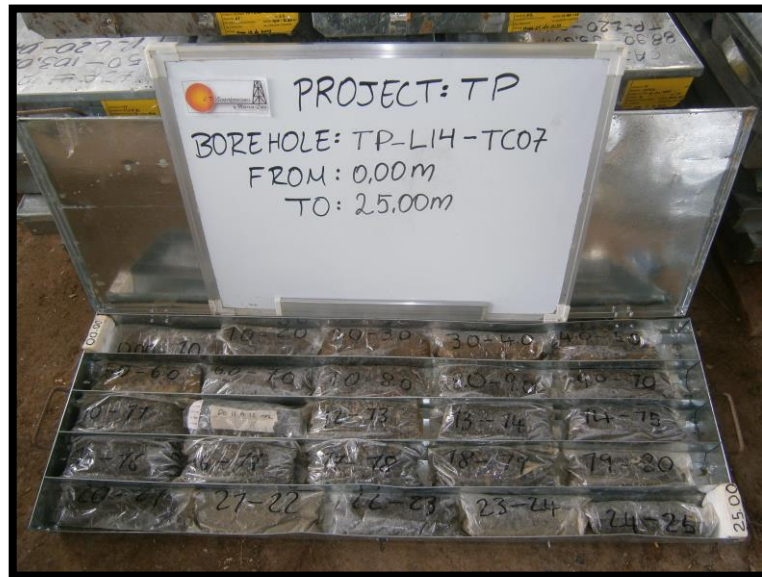


Figura 51. Muestra de zanja de las rocas conglomeraticas

Las areniscas predominan a lo largo del pozo y en algunos sectores alcanzan hasta 33 m de espesor (68 m a 101m de profundidad aparente). Estas areniscas presentan una textura granular de color grisáceos claro, con tamaño de grano que varía de fino a medio, los granos son subredondeados a subangulares, la distribución de los granos es moderadamente soportada. Otros paquetes de areniscas con menores espesores hacia el techo (25m-32m en profundidad) presentan colores de claros a medio, textura granular, tamaño de grano de muy fino a medio, con empaquetamiento y sorteamiento moderado; también se encontraron

fragmentos compuestos de rocas ígnea intermedia andesítica parcialmente meteorizados con presencia de óxidos de hierro de color verdoso a café medio. En este pozo se describieron unas litologías arcillo-lodosas con clastos de limo y arcilla, su textura de granular fina a granular, color gris de claro a medio; en algunos tramos del pozo se observan fragmentos de carbón, también fragmentos de roca meteorizada color café, además presencia de granos de arena de grano fino a medio. Ver figura 52



Figura 52. Muestra de lodos y arcillas. Muestra de zanja

El carbón presenta entre un 60-90 % de brillo, color negro, con textura granular fina. Se reportan bancos de carbón con espesores de 6 m en profundidades entre los 142-147 m. Hacia el tope estos espesores van menguando hasta alcanzar los 4 m en promedio.

La andesita se encuentra marcando el límite inferior de la Formación Amagá y el comienzo de la Formación Combia en profundidades cerca de los 174 m. Esta roca volcánica de composición intermedia a básica, tiene una textura cristalina, color verde claro a gris medio y presencia de feldespatos.

6.2.3 Descripción Litológica del Pozo TP-L14-DH08:

El pozo TP-L14-DH08 que se realizó a una altura de 679.24 m.s.n.m con perforación diamante y alcanzó una profundidad máxima de 130 m. Se sacaron muestras de núcleo y se caracterizaron litologías de areniscas, conglomerados, lodolitas, lutitas, arcillolitas mantos de carbón y roca volcánica parte de la formación Combia que infrayace la formación Amagá. Ver figura 53.

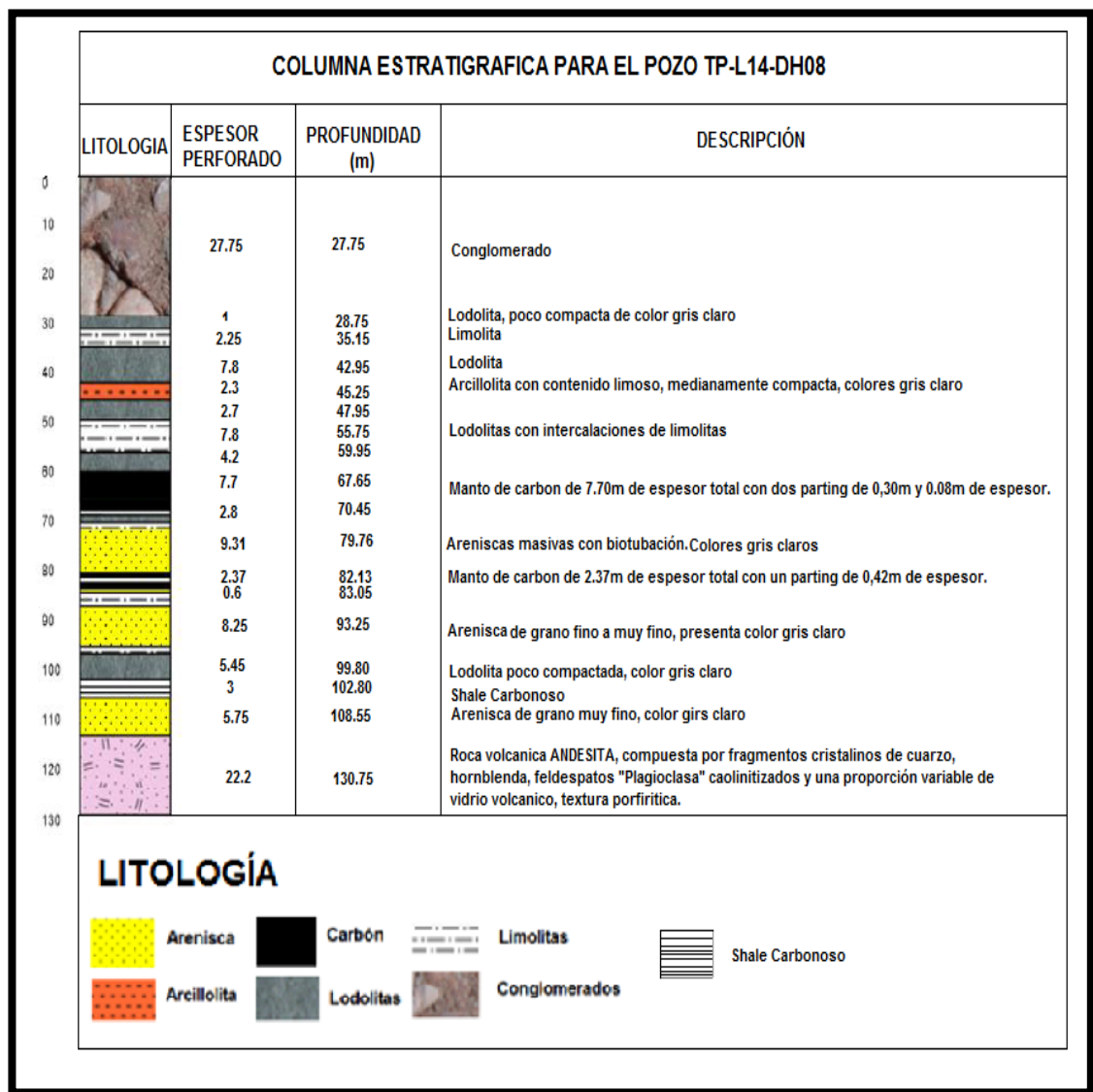


Figura 53. Columna estratigráfica del pozo TP-L14-DH08

Se caracterizaron rocas volcánicas (Andesita), ver figura 54, hacia la base del pozo entre los 110 hasta los 130 m de profundidad, compuesta por fragmentos cristalinos de cuarzo, hornblenda, feldespatos “ plagioclasas” caolinitizados y una proporción variable de vidrio volcánico, textura porfiritica, intermezclada con arcillolitas de coloración café.



Figura 54. Roca Volcánica Andesita

Se determinaron así mismo unas intercalaciones de arenas, ver figuras 55, (algunas con bioturbación), limolitas y mantos de carbón con las características para cada litología descritas en los anteriores pozos (TP-L14-DH06, TP-L14-TC07) hasta los 76 m de profundidad.



Figura 55. Areniscas con bioturbación.

Entre los 30 y 60 m de profundidad se presenta una secuencia de lodolitas con lutitas y arcillas y en el techo de la formación unos conglomerados recientes representados por coluviones compuestos por diabasas y basaltos como se presenta en la figura 56.



Figura 56. Muestra de Conglomerados

6.3 REGISTRO-ROCA

6.3.1 Análisis cualitativo de los Registros y Propiedades Geofísicas de los Diferentes Tipos de Roca.

A partir de los núcleos perforados y su posterior descripción se procede a realizar y construir la columna estratigráfica para cada pozo, en las figuras 57, 58 y 59 se propone un registro roca para este trabajo con el fin de ayudar en posibles descripciones litológicas de pozos donde no se tengan núcleos de perforación que permitan establecer con mayor precisión la litología de la zona el Balsal.

En el Balsal la prospección geofísica se llevó a cabo tanto para los pozos de perforación donde se obtuvieron núcleos como para los pozos de donde se obtuvieron muestras de ripios.

Las Muestras de núcleos de carbón extraídas de los pozos TP-L14-06 y TP-L14-08 pueden ser erróneamente registradas debido a que secciones del núcleo se pierden en el proceso de extracción y recuperación del núcleo del pozo de perforación; en ese sentido se hizo necesaria la corrida de registros para poder determinar con mayor precisión los distintos espesores de los carbones en el área.

El carbón en este caso tiene generalmente una firma de registro muy característico, (ver figuras 9, 11,15), donde la base y el techo de los mantos de carbón se determinan fácilmente en los registros. El carbón para la zona del Balsal presenta densidades en torno a 1.3 g/cc aunque también se observan caídas de 1.28 g/cc, para la curva de resistividad los valores fueron de 500 a 2000 ohm-m y el registro gamma fue de 50 a 100 API. El uso de estas firmas como marcadores es importante, ya que va permitir comparar y verificar la litología de los mantos o cintas encontrados en los demás registros y hacer su posterior correlación que se realizará en el capítulo siguiente.

Las areniscas para estos pozos se identificaron por la curva del registro Gamma Ray y presenta valores bajos entre 40 y 70 API, la curva de densidad es medio alta con valores aproximados de 2.3 a 2.6 g/cc y la resistividad es > 100 y aumenta con el tamaño de grano. Se debe tener en cuenta el grado de limpieza en las arenas ya que arenas sucias o con arcillas van afectar los registros en especial el gamma. Para el Balsal se reportaron algunas arenas lodosas las cuales fueron detectadas por el registro litológico incrementado sus valores radioactivos pero en general las arenas son limpias.

Las rocas arcillosas y con presencia de limolitas se comportan de manera similar en los registros geofísicos, pero en el registro litológico (gamma natural) puede observarse un ligero incremento en la curva debido los minerales arcillosos, hay que precisar cómo se mencionó en capítulos anteriores que la función de este registro

es detectar la radioactividad que generan los minerales arcillosos por lo tanto el nivel de arcillosidad de la roca será fundamental para la caracterización de la misma. Los registros también ayudaron a determinar algunos niveles de Shale carbonosos reportados en el capítulo anterior, ya que estos se comportan en el registro de una manera dual, los valores típicos para la curva gamma rey fueron de 100 a 125 API y la resistividad baja a media con valores de 300 a 500 ohm m y la curva de densidad fue 1.85 a 2.15 g/cc.

De esta manera se pudo interpretar la litología y construir la columna estratigráfica del pozo TP-L14-TC07 (del cual solo se tenía muestras de zanja) a partir de las distintas huellas expuestas por los registros TP-L14-06 y TP-L14-08 de los cuales se tenían no solo los registros geofísicos sino también se había realizado la descripción litológica de los núcleos extraídos durante la campaña de perforación del 2013. En la Tabla 4 se resume las distintas respuestas de los registros a la litología descrita de cada pozo.

Tabla 4 TIPOS DE ROCA Y SUS PROPIEDADES GEOFISICAS				
Litología	Rayos Gama (Unidades API)	Densidad (gm/cc)	Resistividad (Ohm m)	Velocidad-P (m/seg)
Carbón	10-50	1,40-2,00	500-1000	2000-2400
Shale Carbonoso	25-100	1,85-2,15	300-600	2300-2400
Shale	65-400	2,15-2,40	>200	3000-4000
Limolita	65-200	2,15-2,70	>200	3000-4000
Arenisca	45-65	2,30-2,70	>200	3500-4000

Tabla 4. Propiedades físicas de los diferentes tipos de Rocas.

Pozo TP-L14-DH06

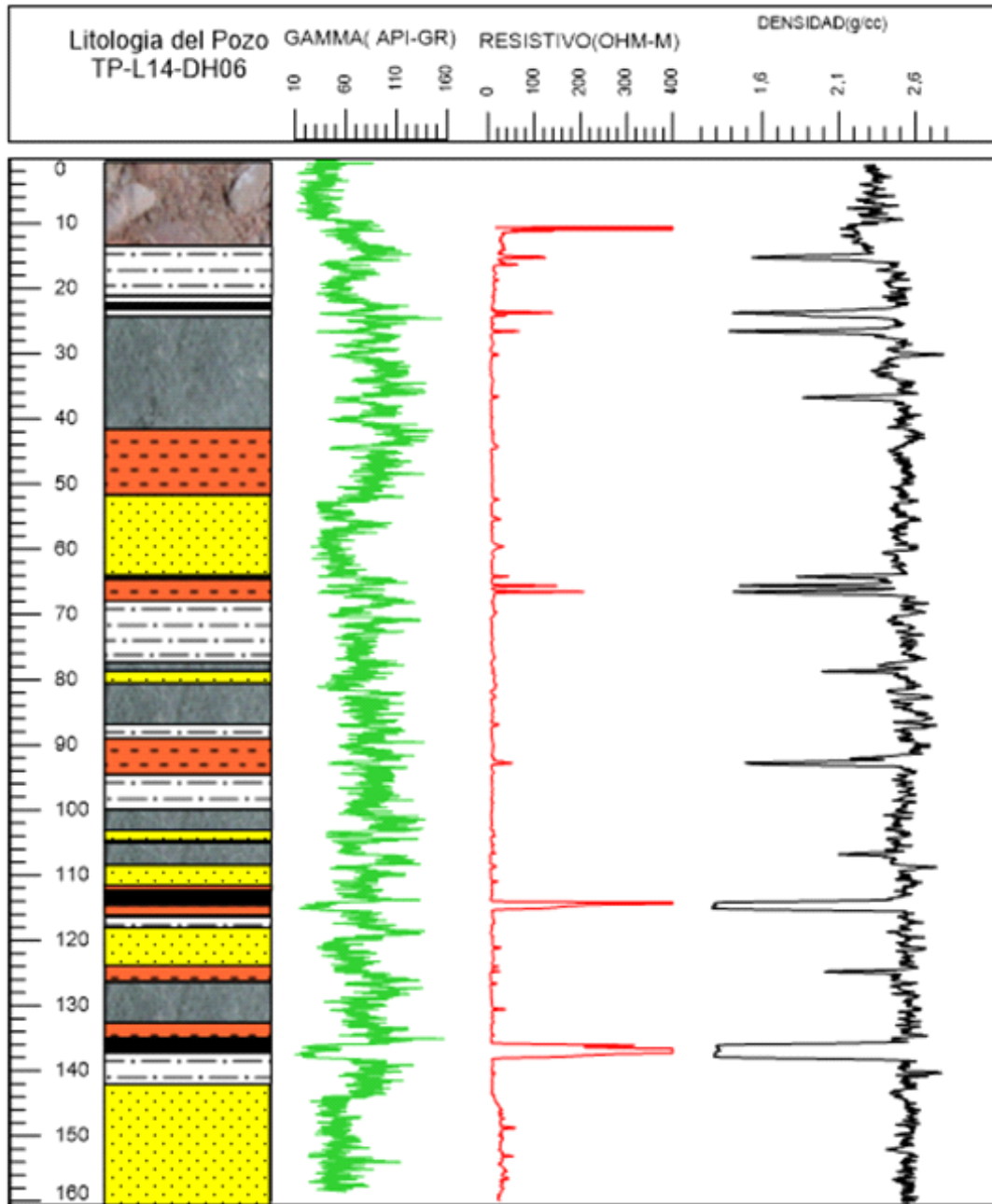


Figura 57. Respuesta de los registro Gamma Ray (curva verde), Resistivo (curva roja) y Densidad (curva negra) a las distintas litologías descritas para el pozo TP-L14-DH06 de donde se obtuvo núcleos de perforación.

Nota: Estas curvas se importaron del archivo Excel y se introdujeron en el Software Strater para la obtención de las respectivas curvas. Las columnas se realizaron en Corel.

POZO TP-L14-TC07

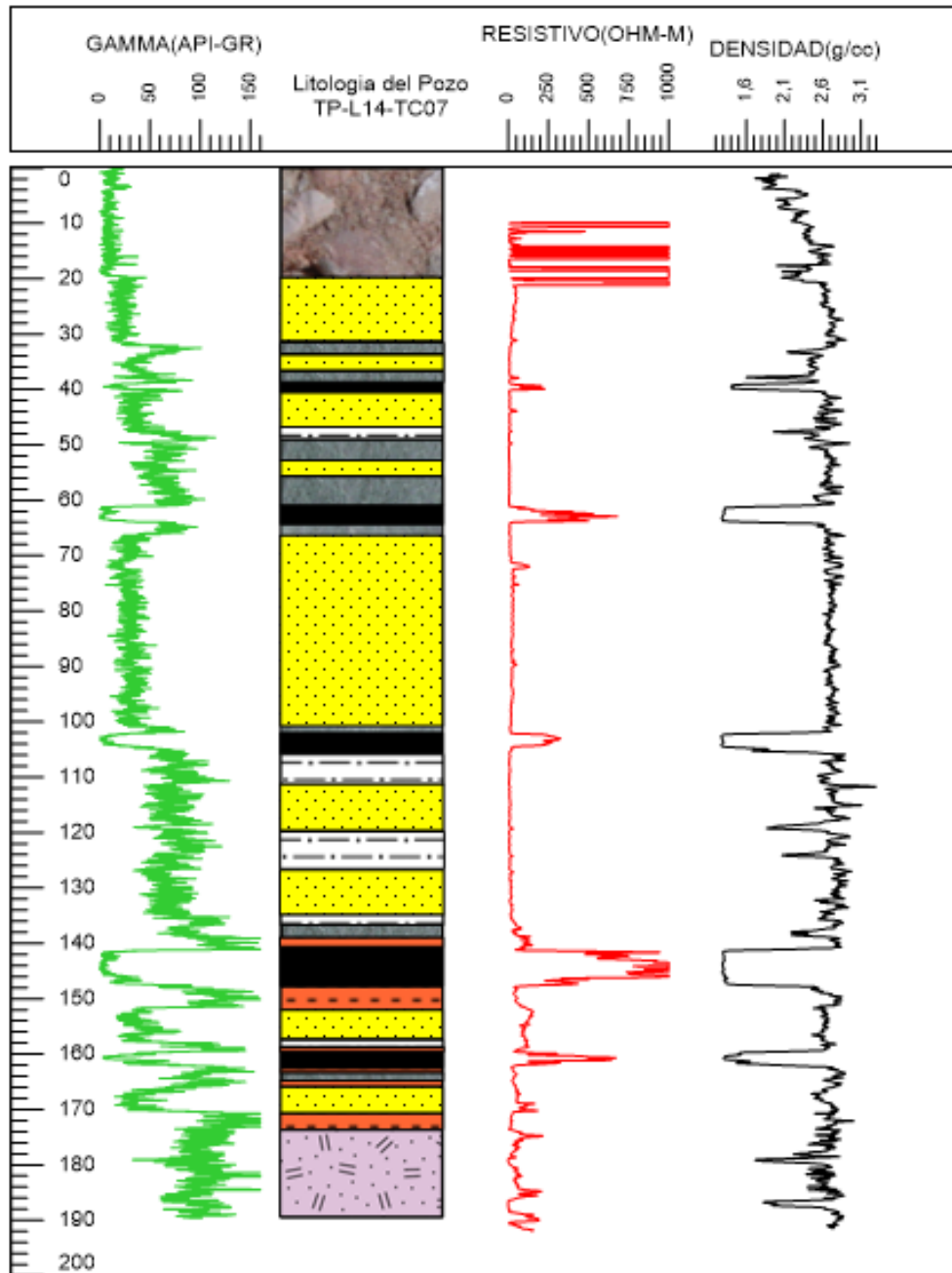


Figura 58. Apartir de la comparacion de los registros Gamma, Resistivo y densidad de los pozos TP-L14-DH06 y TP-L14-DH08 se determinaron las siguientes litologias para el pozo TP-L14-TC07 del cual solo se obtuvieron muestras de zanja.

Pozo TP-L14-DH08

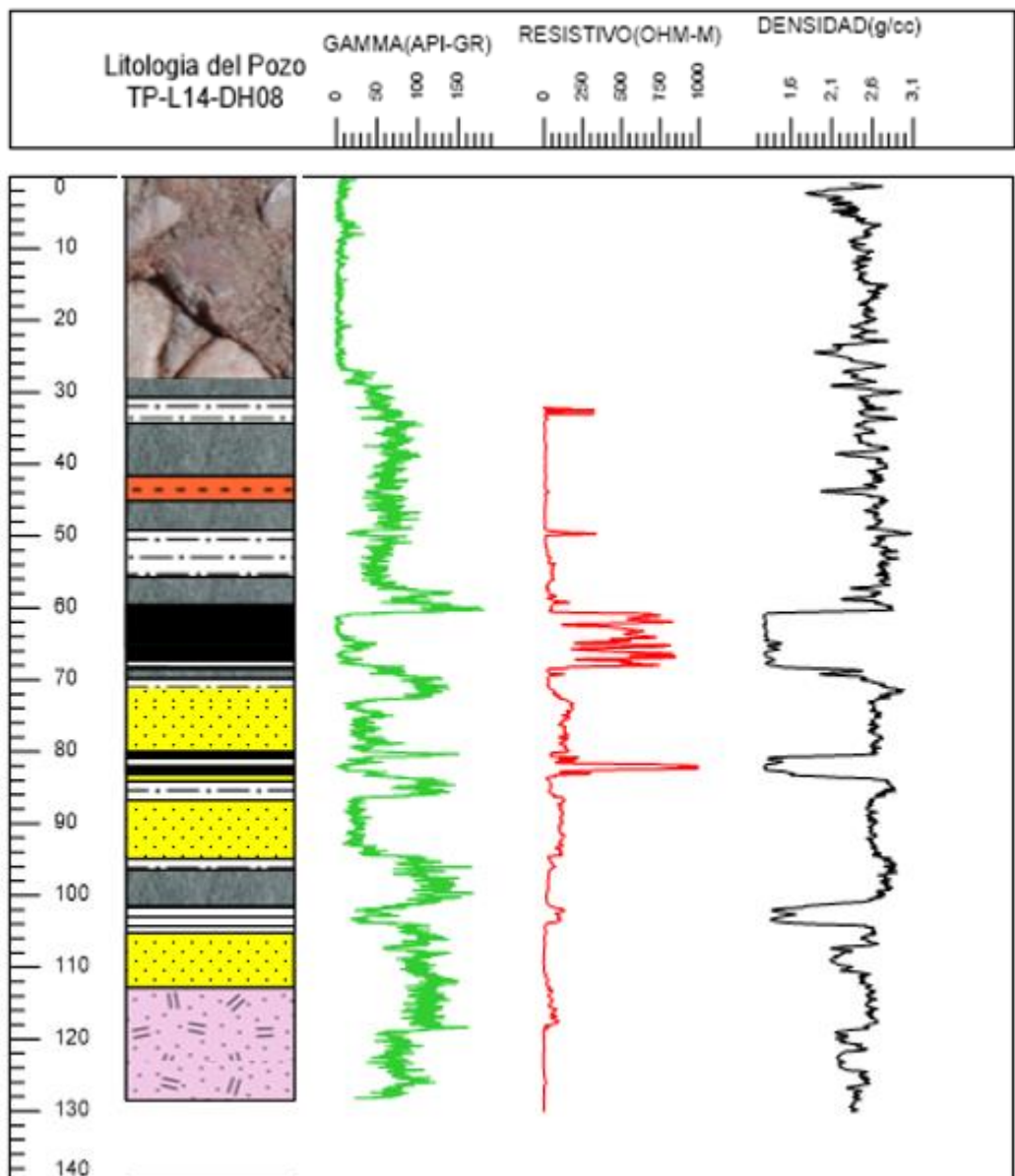


Figura 59. Respuesta de los registro Gamma Ray (curva verde), Resistivo (curva roja) y densidad (curva negra) a las distintas litologías descritas para el pozo TP-L14-DH08 de donde se obtuvo núcleos de perforación.

6.4 PETROGRAFÍA DE SECCIONES DELGADAS

Con el fin de complementar la descripción macroscópica de los núcleos de roca para los pozos de perforación TP-L14-DH06 y TP-L14-DH08 la empresa CARBONES DE TITIRIBI SAS puso a nuestra disposición pequeñas muestras de los testigos de dichos pozos para llevar a cabo un estudio petrográfico en profundidades específicas donde aparecen potentes paquetes de areniscas que fueron utilizados por los geólogos de la empresa como una herramienta clave en los diferentes trabajos que se llevaron a cabo, ya que estas aparecían en varios pozos de perforación y además son útiles para corroborar la litología pertenecientes al miembro medio Tom mediante un mayor detalle de los rasgos y elementos textuales. Se pudo analizar bajo el microscopio petrográfico de luz transmitida tres secciones de cinco que estaban previstas llevar a cabo pero que no fueron posibles culminar debido a que no presentaban una buena consolidación y estabilidad que garantizaran óptimos y confiables resultados. Las profundidades y pozos de las secciones delgadas se enuncian en la tabla 4.

Pozo	No. De Sección Delgada	Profundidad (m)	Formación
TP-L14-DH06	1	136.45	AMAGA (TOM)
TP-L14-DH06	2	137	AMAGA (TOM)
TP-L14-DH08	3	70.23	AMAGA (TOM)

Tabla 4. Profundidades y pozos de secciones tomadas del Miembro Tom

La descripción micro petrográfica se llevó a cabo teniendo en cuenta la clasificación de Folk para rocas sedimentarias, la tabla granulométrica propuesta por Wentworth, y el Atlas de Rocas Sedimentarias en láminas delgadas de (Adams y Mackenzie). Se identificó diferentes características de los granos y minerales que

componen el potente paquete de areniscas, teniendo en cuenta su forma, contacto entre los granos, cemento , tipo y porcentaje de matriz, entre otros.

A continuación se describen en forma general dos secciones delgadas con profundidades similares correspondientes a un mismo pozo de perforación: TP-L14-DH06. Ver **apéndice 3**. Con los análisis petrográficos.

6.4.1 Muestra TP-L14 -DH06_01 (136.45 m)

Teniendo en cuenta la clasificación de Folk (1974) se identificó una Litarenita la cual varía de tamaño de grano fino a muy fino, subangular y el contacto entre los granos oscila entre longitudinal y puntual. Su composición predomina en Cuarzo, seguido de fragmentos de roca y feldespatos. Entre los minerales accesorios se observó mica muscovita y algunos minerales opacos, la distribución de la matriz es moderada en toda la muestra. Ver figura 60 y 61.

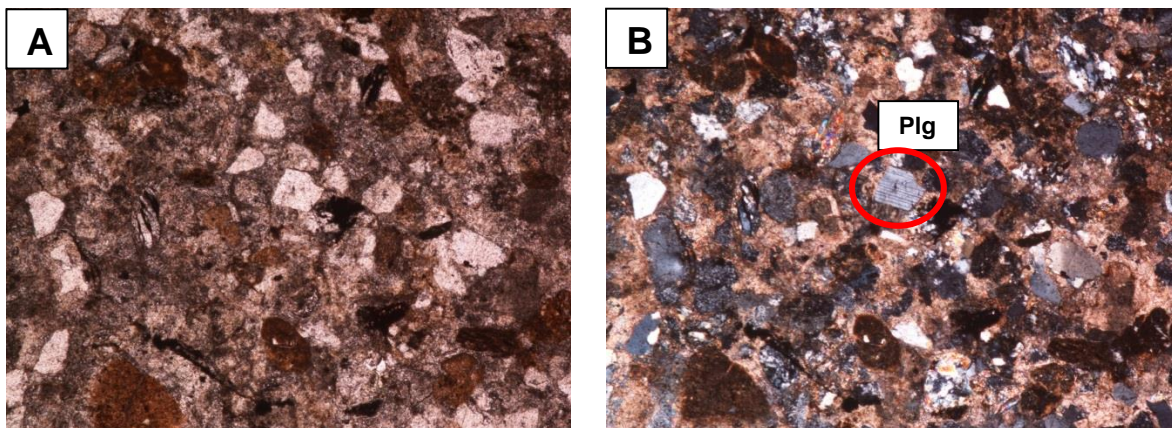


Figura 60. Micropetrografía de la muestra TP-L14-DH06_01 correspondiente a una litarenita, tanto en la figura A y B (nicoles paralelos y cruzados)

respectivamente) se observa plagioclasa con macla polisintética. Notese algunos fragmentos líticos limosos. Aumento: x5

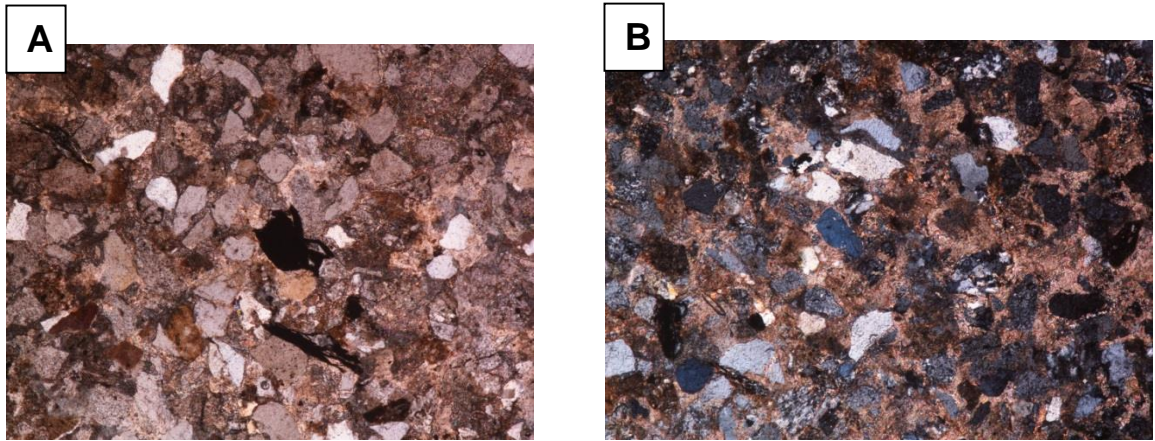


Figura 61. Micropetrografía de la muestra TP-L14-DH06_01 correspondiente a una litarenita, tanto en la figura A y B (nicos paralelos y cruzados respectivamente) podemos ver la composición del armazón de la roca moderadamente calibrada, la cual está constituida por tamaños de grano fino a muy fino así como los diferentes clastos de cuarzo que son subangulares, los colores típicos de esta sección varían de colores parduzcos para nicos paralelos y grisáceos para nicos cruzados. Aumento: x5

6.4.2 Muestra TP-L14 -DH06_02 (137 m)

Teniendo en cuenta la clasificación de Folk (1974) se identificó una Litarenita con características similares a la que afloró a 136.45 m de profundidad correspondiente al mismo pozo de perforación, la diferencia que se destaca es un pequeño aumento de materiales líticos, se observa granos de cuarzo los cuales varían de tamaño arena muy fino a tamaño limo, la matriz dispuesta entre los granos de cuarzo es limo-arcillosa. Ver figura 62.

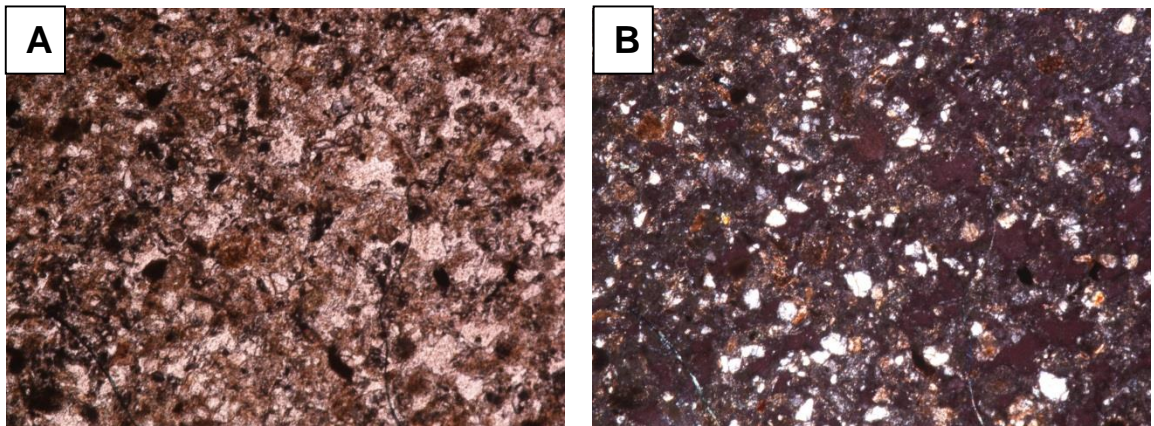


Figura 62. Micropetrografía de la muestra TP-L14-DH06_02 correspondiente a una litoarenita , tanto en la figura A y B (nicos paralelos y cruzados respectivamente) se observar el aumento de materiales liticos y granos de cuarzo que varian de tamaño arena muy fino a tamaño limo.

Enseguida se describen textural y composicionalmente las secciones correspondientes a las muestras TP-L14 -DH06_01 (136.45 m) y TP-L14 -DH06_02 (137 m) . Por tratarse de un mismo tipo de litología recolectada de un mismo pozo tiende a presentar los mismos porcentajes y características macroscópicas. Se tuvo en cuenta una sola descripción microscópica para ambas secciones .

- **CUARZO (57%)**

Se observan diferentes granos de cuarzo distribuidos uniformemente en toda la sección, estos granos tienen formas subangulares y presentan colores de interferencia de primer orden.

- **FRAGMENTOS LITICOS (31%)**

Tanto la muestra TP-L14-DH-06 _01 como la muestra TP-L14-DH-06 _02 correspondientes a un mismo pozo de perforación presentan fragmentos líticos, estos fragmentos no son fáciles de identificar debido al tamaño de grano que presentan, se alcanzan a distinguir pequeños fragmentos de cuarcitas, limolitas y arcillolitas.

- **FELDESPATOS (6%)**

El contenido de dichos minerales es homogéneo en ambas láminas delgadas, como características principales presentan un bajo relieve, se encontraron algunas plagioclasas macladas polisintéticamente y con algo de zonación, los colores presentes son grisáceos en las dos láminas delgadas.

Todo lo anterior tiene un total de 94%, el 6% restante corresponde a la porosidad, matriz y el cemento entre los granos.

A continuación se describe en forma general las secciones delgadas correspondientes al pozo de perforación: TP-L14-DH08.

6.4.3 Muestra TP-L14 -DH08 (70.23 m)

Teniendo en cuenta la clasificación de Folk (1974) el tipo de arenisca que aparece a una profundidad de 70.23 m y corresponde al pozo de perforación TP-L14-DH08 es litarenita, se caracteriza por su gran contenido en fragmentos de roca, poca matriz, el cuarzo es subangular a redondeado, el cemento entre los granos es silíceo y los colores que presenta son grisáceos. Ver figura 63.

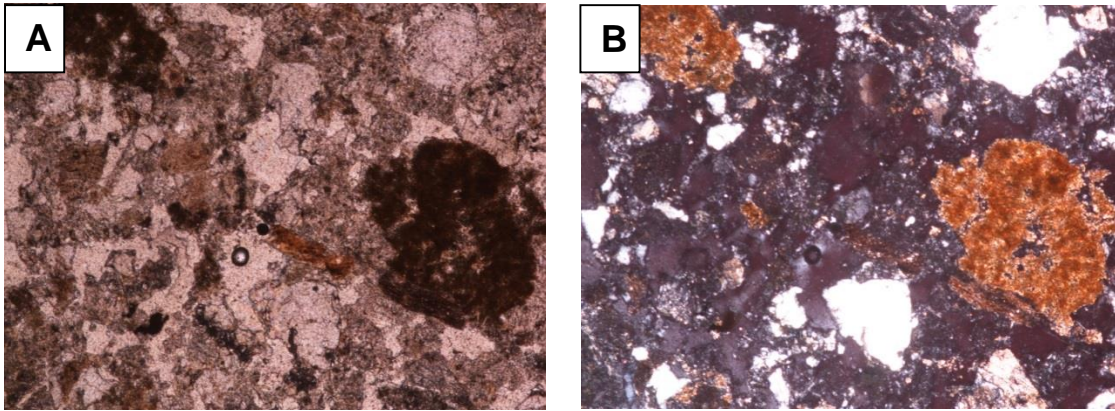


Figura 63. Micropetrografia de la muestra TP-L14-DH08 correspondiente a una litarenita , tanto en la figura A y B (nicos paralelos y cruzados respectivamente) se observa el bajo contenido de matriz (casi ausente) , un alto contenido de fragmentos liticos, limosos , el cuarzo se presenta distribuido homegeneamente en toda la seccion y su forma es subangular a redondeado. Aumento: x10

Enseguida se describe textural y composicionalmente la sección correspondiente a las muestra TP-L14 -DH08 (70.23 m

- **CUARZO (53%)**

La sección tiene distribuido en forma homogenea diferentes granos de cuarzo, los granos de cuarzo presentan una forma angular y subangular , sus colores caracteristicos son de primer orden (grisaceos).

- **FRAGMENTOS LITICOS (34%)**

La seccion delgada TP-L14-DH-08 contiene una cantidad considerable de fragmentos liticos , debido al tamaño de estos fragmentos no es fácil identificarlos, los fragmentos son generalmente limolitas y cuarcitas.

- **FELDESPATOS (6%)**

El feldespato presente en la sección está distribuido en forma homogénea por toda la lamina, además son incoloros y se resalta su característica de presentar un relieve bajo, las plagioclasas típicas encontradas estaban macladas y en algunos casos presentaban zonación, los colores presentes son pardizos y grisáceos para nicules paralelos y cruzados respectivamente.

Todo lo anterior tiene un total de 93%, el 7% restante corresponde a la porosidad del cemento y matriz entre los granos.

6.5 CORRELACIÓN ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRÁFICA

Para realizar la correlación de los mantos se invirtió una gran cantidad de tiempo en revisar la geología y los registros geofísicos de cada pozo en especial el registro de densidad y gamma natural. Los datos más importantes que se tuvieron en cuenta incluyen el ángulo de inclinación con el que se perforaron los pozos, la comparación de las firmas registradas en las diferentes litologías por los registros geofísicos, además de los espesores de los diferentes mantos reportados en la fase de campo y la información bibliográfica de geología de superficie. El proceso de correlación de los mantos se vio desfavorecido por el ángulo de buzamiento y la dirección con la que se perforaron los pozos, los cuales se realizaron perpendicularmente a los mantos de carbón.

Dos pozos el TP-L14-DH06 y el TP-L14-DH08 fueron perforados con cierto ángulo en un intento de interceptar las capas de carbón que tienen un buzamiento entre 50 y 60°. Resaltar que el pozo TP-L14-TC07 fue perforado casi verticalmente.

Para este trabajo se detectaron un total de cinco (5) mantos de carbón, de los cuales solo para cuatro (4) fue posible su correlación estructural, ya que uno de los mantos (manto 3) que fue cortado por el pozo TP-L14-TC07 no se identifica para los otros pozos de perforación. Para llevar a cabo esta correlación fue necesario establecer un datum de altura el cual fue 670 m.s.n.m. Los mantos no presentan discontinuidad ni acuñaamiento, lo que nos permite inferir que no hay fallas locales afectando el área donde se realizaron las perforaciones. Ver figura 64.

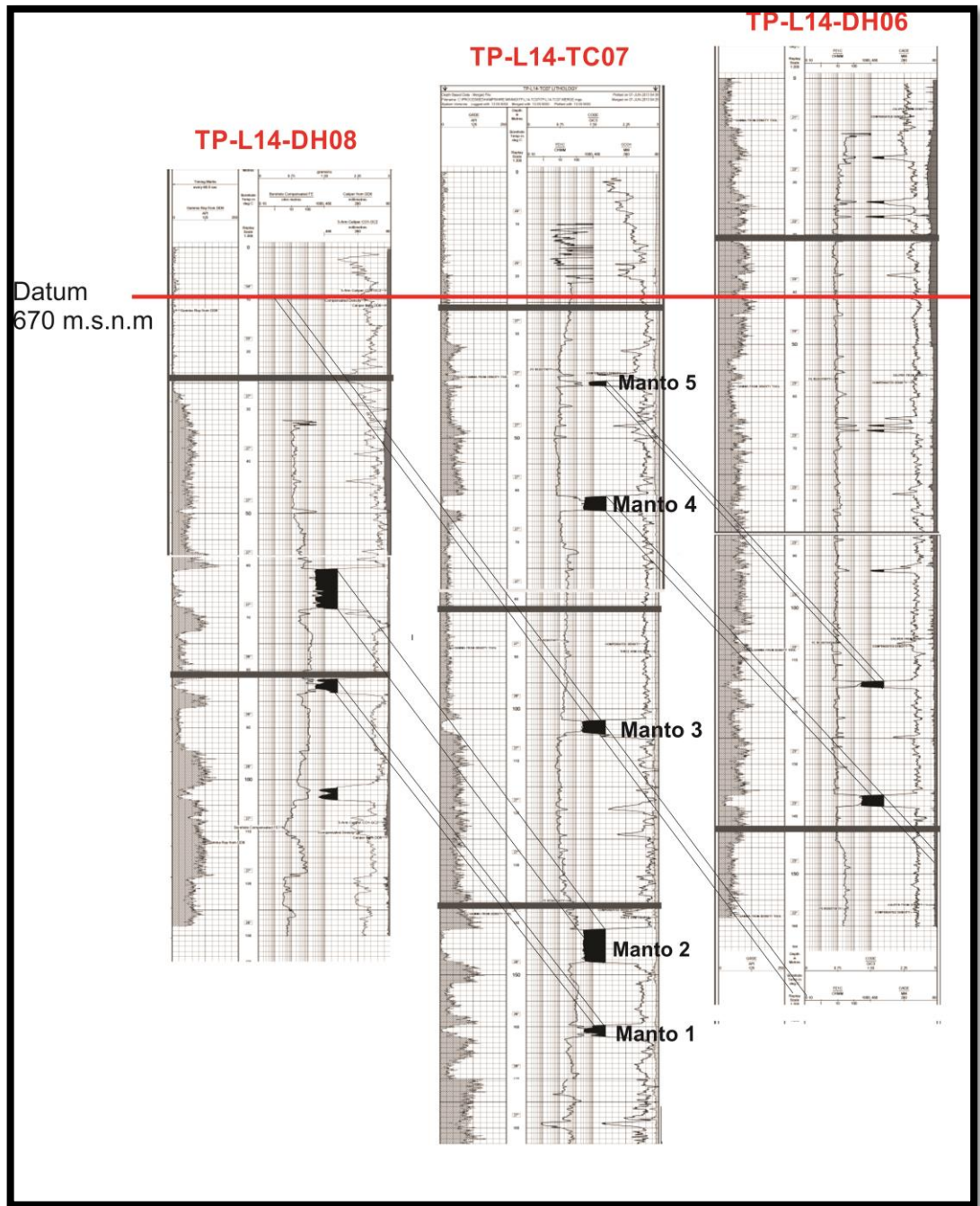


Figura 64. Correlación Estructural para los tres pozos de perforación.

La correlación estratigráfica sólo fue posible para dos pozos (TP-L14-TC07 y TP-L14-DH06), debido a que ninguna litología presentaba una correlación entre los tres

pozos; teniendo en cuenta lo anterior se correlacionaron los pozos TP-L14-TC07 y TP-L14-DH06 los cuales si presentaban una arenisca que en este documento fue bautizada como “barra de pan” y los mantos 4 y 5 que sirvieron para establecer tanto la correlación estratigrafica como estructural.

Para la correlación estratigrafica generalizada de los pozos TP-L14-TC07 y TP-L14-DH06 fue fundamental establecer un datum de referencia, el cual fue el manto 5, y apartir de este se pudo observar la continuidad que presentan los mantos de carbón 4, 5 y la arenisca “barra de pan” que tiene una traza distintiva en el registro gamma natural y exhibe un espesor considerable para ambos pozos, sin embargo el espesor de la arenisca no se puede indentificar con exactitud en el el pozo TP-L14-DH06 debido a la profundidad que alcanzó durante la campaña de perforación. Entre los mantos de carbón 4 y 5 que fueron cortados por el pozo TP-L14-TC07, se establece una litologia de rocas blandas (lutitas) hacia la base y unas areniscas lodosas hacia el techo apartir de los registros geofísicos, ya que para este pozo se obtuvo muestras de zanja, que no permitieron establecer con certeza dicha litologia y asi poder llevar acabo una correlación confiable entre los dos pozos, ver figura 65.

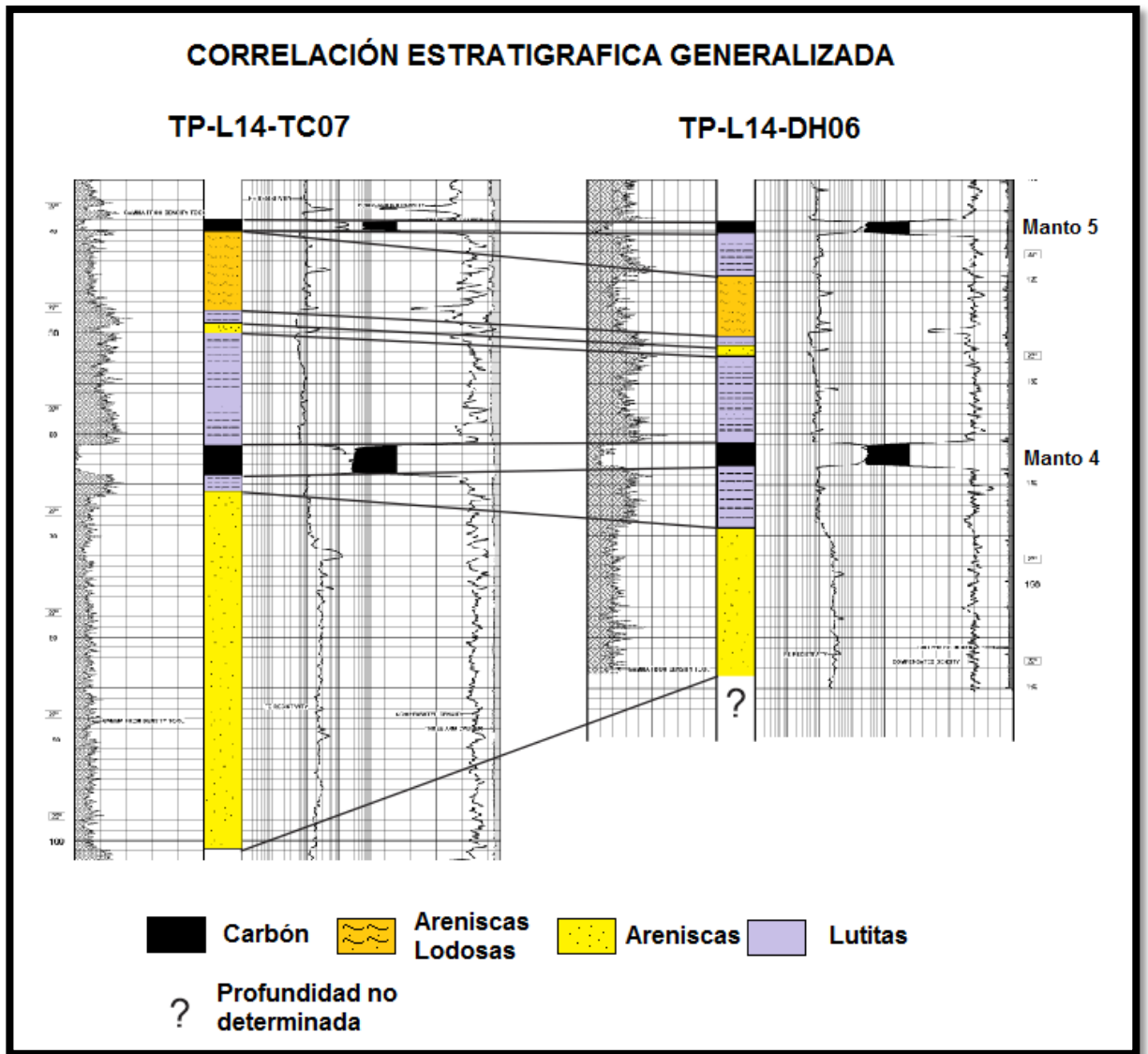


Figura 65. Correlación estratigráfica generalizada para los pozos TP-L14-TC07 (Imagen izquierda) y TP-L14-DH06 (Imagen derecha).

Normalmente se identificaron mantos de carbón a más de 21.8 m de profundidad. Los mantos son relativamente de aspecto limpio, duro y brillo bandeado, aunque bastante frágil, lo que resulta en algunos casos en pérdida de núcleo durante la campaña de perforación. Algunos mantos rara vez presentan intercalaciones, y

cuando se producen por lo general son muy delgadas y se componen típicamente de limolita o lodolita.

6.5.1 Descripción de los Mantos de Carbón cortados en los pozos de perforación.

6.5.1.1 Manto 1

Este manto esta inmediatamente por encima de shale Carbonos y es lo suficientemente grueso (2m) como para ser considerado un potencial minero. Se considera uno de los principales mantos en la zona y en la geología realizada en superficie reportada anteriormente en el capítulo de geología económica se conoce como manto seis (6) . Los pozos que perforaron este manto fueron el TP-L14-DH08 y el TP-L14-TC07 y en el pozo TP-L14-DH06 no logro identificarse.

6.5.1.2 Manto 2

El Manto 2 presenta el horizonte más grueso (6m) y es cortado por el pozo TP-L14-DH08 y es correlacionable con el cortado en el pozo TP-L14-TC07. En la geología realizada en superficie reportada anteriormente en el capítulo de geología económica se conoce como manto cinco (5) , se considera uno de los mantos principales ya que sirve como "horizonte índice" o guía para los propósitos de correlación. Es relativamente grueso y muy extendido y hace parte de los 7 mantos principales de la zona.

6.5.1.3 Manto 3

El manto 3 aparece en gran parte de la zona donde se depositó el carbón dentro de la concesión El Balsal y es considerado uno de los principales mantos en el área de estudio. EL manto 3 de 3 m de espesor es algo más delgado que el manto 2, pero

es todavía lo suficientemente grueso como para ser considerado de interés en la minería. Hacia el techo de este manto aparece un potente bloque de arenisca, que debido a la forma de su traza en el registro geofísico gamma natural le bautizaron los geólogos de la empresa, arenisca "Barra de Pan", lo que concuerda con la litología expuesta en el capítulo de geología económica donde se reconoce con el nombre de manto cuatro (4). Este manto aparece en el pozo TP-L14-TC07 y su huella en el registro geofísico no es correlacionable con ningún pozo por lo tanto no es guía.

6.5.1.4 Manto 4

El manto 4 se produce en gran parte de la zona donde se depositó el carbón en la concesión y se considera uno de los principales mantos del área debido a su espesor aproximadamente de 3 m. Por debajo de este manto se ha identificado un potente paquete de areniscas que en este trabajo se cree es el mismo que está por encima del manto 3. Esta roca de arenisca puede ser la roca arenisca "barra de pan" que le designaron los geólogos de la empresa, que se presenta normalmente por encima del manto 3. Este manto es generalmente más delgado que el manto 3 excepto en los pozos más septentrionales, donde se presenta inusualmente engrosada, probablemente a través de engrosamiento estructural y no estratigráfico (Gemi 2013). Este manto es cortado por el pozo TP-L14-TC07 y tiene correlación con el pozo TP-L14-DH06. En el capítulo de geología económica este manto es reconocido como el manto tres (3).

6.5.1.5 Manto 5

El manto 5 es interceptado y corelacionado con los pozos TP-L14-DH06 y TP-L14-TC07 de la concesión el Balsal. Este manto es más delgado que los anteriores, sin embargo presenta un espesor considerable (1.3 m). Este manto es reconocido en el capítulo de geología económica como manto seis (6).

6.5.1.6 Cintas

Para los diferentes pozos se reportaron unas cintas que en este trabajo no se tuvieron en cuenta en la correlación, ya que son muy discontinuas y sus espesores no son considerables (< a 30 cm).

6.6 MODELO GEOLOGICO

El modelo geológico construido para esta tesis consta de:

- Mapa geológico donde se encuentra el título minero el Balsal.
- Mapa estructural del área.
- Correlación estratigráfica de los pozos TP-L14-TC07 y TP-L14-DH06
- Correlación estructural para los tres pozos.
- Perfil del yacimiento carbonífero El Balsal, mostrando la correlación entre los mantos de carbón.
- Corte transversal en dirección Este-Oeste mostrando los mantos de carbón y las fallas regionales que encierran el miembro Tom.

Esta información permite identificar estratos inclinados entre 50, y 60° al E con un rumbo predominante norte sur, el paquete sedimentario está limitado hacia el occidente por la Falla Cauca Oeste y, hacia el oriente, por la Falla Sabanalarga. Estas dos fallas son regionales y cruzan de sur a norte toda la zona carbonífera de Antioquia, se conoce que la falla Sabanalarga es inversa, con plano inclinado hacia el este, cercano a la verticalidad en la mayoría de su recorrido y subparalela al eje del monoclinial, esta falla se encuentra muy cerca a los mantos en vecindades del Rio Amagá y hacia el sur se aleja de estos, la geología regional muestra que esta falla trunca toda la sucesión carbonífera al norte del rio Amagá. Mediante la correlación estructural que se llevó acabo para los pozos estudiados, no se detectó

la presencia de fallas locales en los mantos de carbón, permitiendo así una continuidad en los mantos mencionados.

Para el yacimiento del Balsal el perfil representativo se presenta en la figura 66 y en la sección transversal de la figura 67.

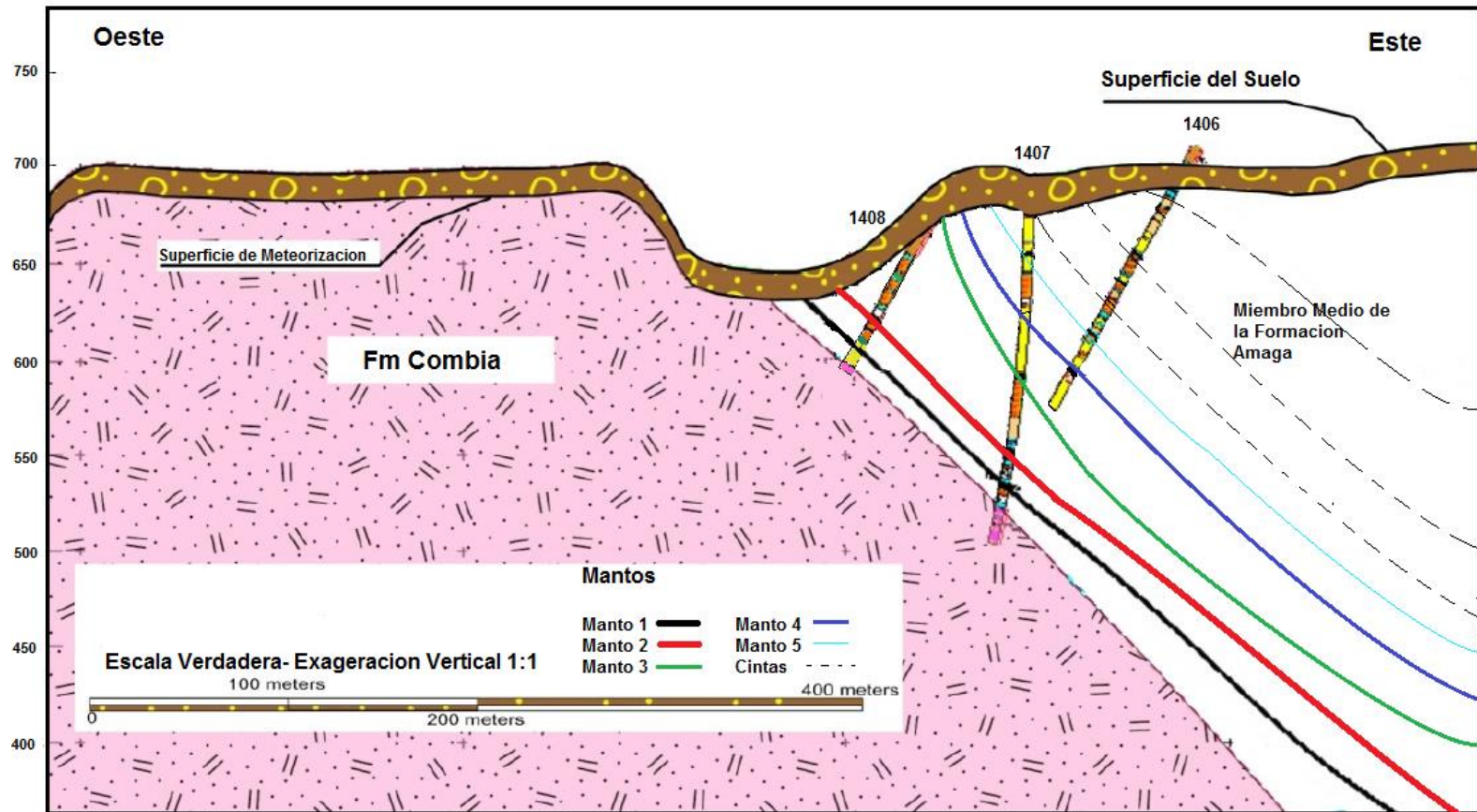


Figura 66. Sección transversal Oeste-Este para el yacimiento Carbonífero el Balsal

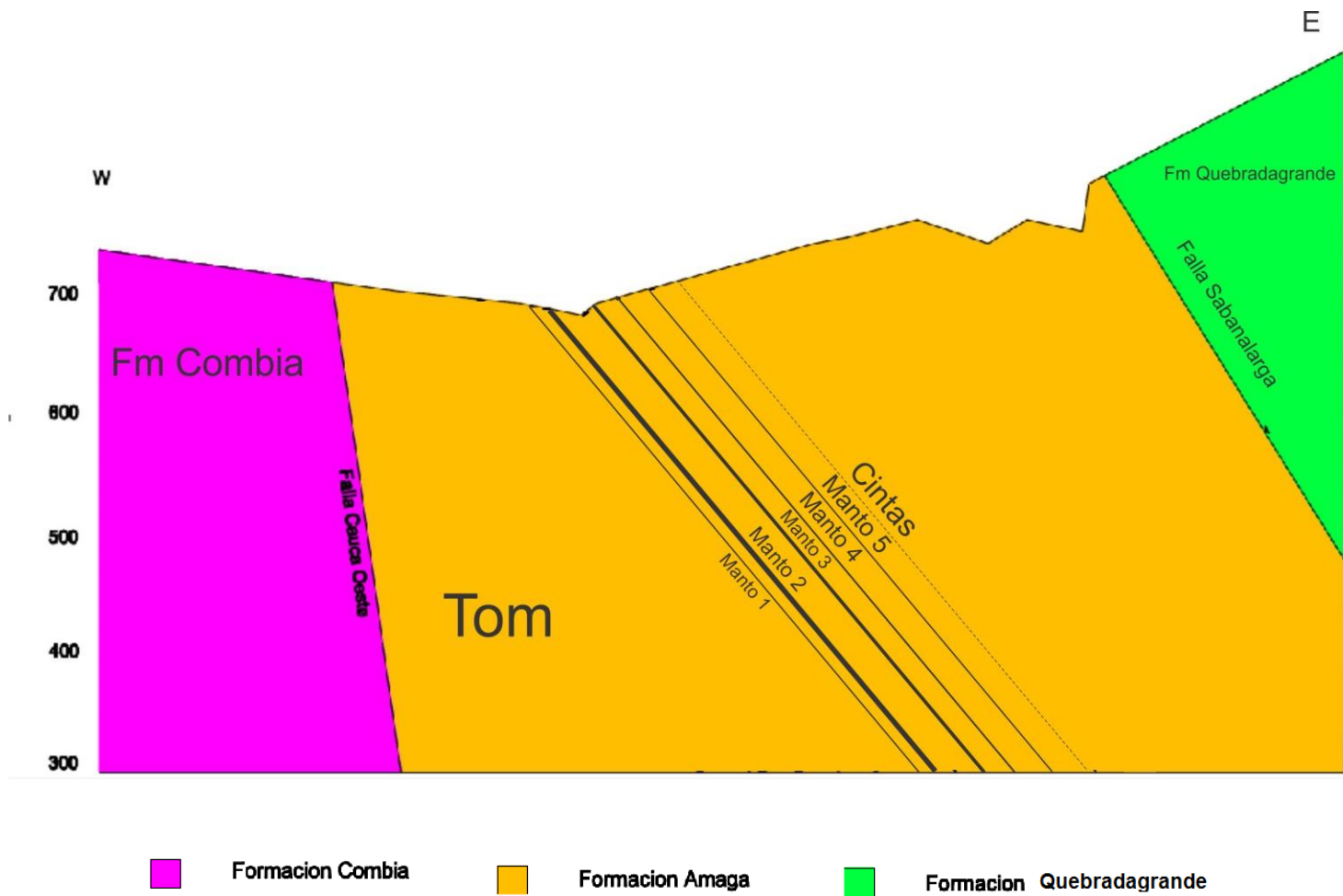


Figura 67. Sección Transversal para el título minero el Balsal. Fallas Cauca Oeste y Sabanalarga encerrando los mantos de carbón en el área del Balsal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo geológico en el título minero llamado El Balsal (HJBN-04), localizado en el municipio de Titiribí, Antioquia, permite concluir que:

- Los Registros Geofísicos (Gamma Natural, Densidad y Resistivo) puestos a disposición por la empresa carbones de Titiribí SAS, se utilizaron para correlacionar los mantos de carbón presentes en el miembro Tom y a su vez fueron indispensables para la construcción del modelo estratigráfico del depósito en el área el Balsal.
- GROSSE (1926) establece para esta zona carbonífera al menos cinco (5) mantos potencialmente económicos para la explotación DE CARBON, trabajos realizados más recientemente por Gemi (2012) establece siete (7) mantos explotables. Para esta tesis se identificaron 5 mantos y se pudo correlacionar cuatro (4) mantos de carbón en el sector el Balsal, los cuales presentan espesores promedios de 1.3 m hasta 6.0 m aproximadamente, lo cual hace de esta área, una zona atractiva y llamativa para la inversión y explotación de este recurso.
- Estudios realizados por ECOCARBÓN Castrillón (1995), Grosse (1926) Castaño (1993) mencionan que la estructura principal de la zona es un anticlinal, pero ponemos en evidencia a través de este trabajo, gracias a la información aportada por los registros geofísicos que llevó a cabo la Empresa Carbones de Titiribí SAS, que en el área de estudio la estructura geológica predominante es un MONOCLINAL. Las tendencias de estratificación dominantes están dentro del rango general N20° - 30° E, buzando 50-60° SE, con algunas desviaciones seguramente en cercanías a

la ocurrencia de fallas principales; se recomienda realizar exploración del subsuelo hacia las cercanías de dichas fallas.

- Se recomienda realizar más perforaciones hacia el Norte de la hacienda el Balsal, con el fin de determinar la continuidad de estos mantos, como también un estudio más detallado del subsuelo con el propósito de realizar un modelo más completo y fiable que sirva para la estimación de Recursos y Reservas, y de esta forma establecer que tan atractivo y viable pueda ser una explotación minera de carbón para la zona del Balsal.
- Para llevar a cabo la correlación estructural en este trabajo se tuvo en cuenta los mantos de carbón, para lo cual fue indispensable reconocer, las distintas huellas o firmas que se detectan en los registros geofísicos en especial el registro de densidad.
- Fue de gran utilidad reconocer la geología de superficie y todas sus implicaciones que van desde tomas de datos estructurales e identificaciones estratigráficas que afloraban en la zona, ya que todo esto permitió tener mayor claridad de los mantos de carbón y reconocimiento de litologías que cortaban los pozos estudiados, confirmando así todos los datos recolectados en superficie.
- Un bloque de areniscas denominado por los geólogos de Carbones de Titiribi SAS como “Barra de Pan” fue determinante para la correlación estratigráfica de los pozos TP-L14-TC07 y TP-L14DH08 el cual tiene una característica muy marcada en el registro Gamma Ray, y sirve como horizonte guía para realizar unas futuras correlaciones.
- Durante la descripción de los núcleos de perforación las areniscas fueron asociadas composicionalmente a una roca cuarzoarenisca, pero la petrografía

realizada en este trabajo permite establecer que los bloques de areniscas son de tipo Litoarenita.

- En el área se reconocen dos fallas de importancia regional con tendencia Norte-Sur: la Falla Cauca E con un buzamiento 82° al este y la Falla Sabanalarga con buzamiento en el sector 58° al E, que corresponden a los límites estructurales de la Formación Amagá y por lo tanto constituyen las barreras estructurales para la ocurrencia de carbón. Adicionalmente, existe otro sistema de fallas locales NE-SW más reciente reportados por Gemi (2012), pero estas no afectan la continuidad de los mantos correlacionados en la zona donde se desarrollaron las perforaciones para este trabajo.
- Los terrenos del área están conformados geológicamente por las unidades litológicas conocidas como Formación Amagá de edad Oligoceno y que contiene los mantos de carbón; el Miembro Volcánico e Intrusivo de la Formación Combia del Mioceno, que reposa discordante sobre la unidad carbonífera en parte del título minero y las Vulcanitas cretácicas del Complejo Quebradagrande que cabalgan sobre los estratos de la Formación Amagá a través de la falla Cauca Este. Las coberturas recientes por depósitos de vertientes se extienden en la mayor parte del área.

BIBLIOGRAFIA

- Antioquia la Nuestra, Orgullo de Colombia, 2013. <http://antioquia1.tripod.com/fauna.htm>.
- Barrero, D., Álvarez, J. & Kassen, T., 1969. Actividad ígnea y tectónica de la Cordillera Central de Colombia durante el mesocenoico, Boletín Geológico, INGEOMINAS, 18 (1-3): 145-173.
- Blandón, A., 1999. El carbón y sus posibilidades de uso. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, 209p.
- BLANDÓN MONTES, Astrid del Socorro. Contribución de la materia orgánica sedimentaria a la determinación del paleoambiente y del potencial de generación de hidrocarburos en los carbones de la Formación Amagá (Colombia). Thèse de doctorat. Univ. Genève, 2006, no. Sc. 3806.
- Boggs, S. (1987) Principles of sedimentology and stratigraphy. Merrill, Ohio. 784 pp. Burley et al, 1985.
- Cárdenas J.I y Restrepo M 2006. Patrimonio Geológico y Patrimonio minero de la cuenca Carbonífera del Suroeste Antioqueño, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra-Numero 18-Medellin.
- Carmona, I. (1997). Algunas consideraciones sobre la Petrología de la Formación Amagá. Boletín de Ciencias de la Tierra No. 12, p. 18-38.
- Thomas, L. 2012. Coal Geology. EEUU. Edition Wiley-Blackwell. Pag 3-33
- Duque-Caro, H., 1990. El Bloque Chocó en el Noroccidente Suramericano: Implicaciones Estructurales, Tectonoestratigráficas y Paleográficas. Boletín Geológico de Ingeominas, 31 (1), 47 – 71
- ECOCARBÓN. Normalización del cálculo de recursos y reservas de carbón en Antioquia. Área de Titiribí, sector El Balsal, 1995

- Escobar, L.H., 1990. Palinoestratigrafía de la Formación Amagá. (Msc. Thesis). Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 95p.
- FIRTH, D. 2002. Log análisis for mining application. REEVES. 49-56 p.
- Folk, R. Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas: Hemphill. 182 p.
- González, H., 2001. Mapa Geológico de Antioquia, INGEOMINAS, Colombia, pp.163-170.
- GEMI. Programa de trabajos y obras. Títulos mineros JID-06 y HJBN-04. Municipio de Titiribí, Antioquia. Enero 2012.
- GEMI. Programa de trabajos y obras Contrato de concesión N° 7569 B. Título Minero HJLI -01. Armenia/Titiribí – Antioquia. Enero 2012.
- GEMI. Actualización Mina El Balsal Recursos. Octubre 2011.
- Guzmán, C. A. 1991. Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. Tesis de Postgrado en Ciencia y Técnica del Carbón. U. Nal. Facultad de Minas. Medellín. 213 p.
- Guzmán, 2007. Estudio diagenético preliminar de la formación Amagá. Bol.Geol. INGEOMINAS Vol 26 (1).
- Guzmán, C. & Sierra, G., 1984. Ambientes sedimentarios en la Formación Amagá. (Undergrade Thesis). Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 303p
- Guzmán, C.A., 1991. Condiciones de depositación de la Formación Amagá entre Amagá y Angelópolis. (M. Sc. Thesis). Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 213p
- Grosse, Emil. El terciario Carbonífero de Antioquia. Berlín: J.J. Agustin, Gluckstadt y Hamburg.1926.p.106-162.
- INGEOMINAS. Mapa Geológico Plancha 146 Medellín Occidental. Escala 1:100000. 1983
- Muñoz, P., Gorin, G., & Parra, N., 2004. Reconstruction of palaeovegetation as derived from the palynological study of Lower Tertiary coals in Central

Colombia. Abstract XIth International Palynological Congress, Polen (Univ. Cordoba, Spain) 14, 464-465.

- Posada, J. Notas sobre la Formación Carbonífera de Amagá. Anales Escuela Nal. de Minas. Medellín, Vol. II(13), p. 232-237. 1913.
- Toussaint, J., 1993. Evolución geológica de Colombia. Tomo I: Precámbrico-Paleozoico. Universidad Nacional de Colombia. 229 p. Medellín.
- TOUSSAINT J.F. y RESTRESPO J.J. (1996) Mesozoic and Cenozoic Accretionary events in the Colombian Andes. III Inter. Symp. Andean Geodyn. Saint Malo, Francia: 4 p.
- Van der Hammen, T., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano y tectogenesis de los Andes Colombianos. Bol. geol. Bogotá, 6/2, 67-128
- SERGIO Ltd. Evaluación de carbones en el municipio de Titiribi 1993
- SLIMLINE, Weatherford Colombia Ltd. REGISTRO GEOFISICO DE POZOS: Teoría y aplicaciones a la industria del Carbón.
- Zegarra, M., 1993. Estudio palinológico de la Formación Amagá en la cuenca de Sopetrán. (Undergraduate Thesis). Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, 123p.

APÉNDICE 1

DEPOSITO DE CARBÓN

FORMACIÓN DE CARBÓN

El carbón se deriva de materia vegetal mezclada con materia inorgánica que se introduce en el sistema de depositación de carbón por causa de agentes externos tales como el viento y el agua (Blandón, A., 1999). Por su naturaleza, el carbón debe ser formado bajo condiciones anaeróbicas en aguas poco profundas. Si el agua es demasiado profunda, las plantas que forman el carbón no pueden crecer. Si es de baja profundidad, el agua se vuelve rica en oxígeno y la materia vegetal se oxida antes de que se pueda acumular. Además, estas condiciones tienen que ser estables durante períodos prolongados para un espesor suficiente de la materia carbonosa acumulada para así poder crear los mantos de carbón. Si las condiciones son estables durante un corto período de tiempo, sólo se forman capas de carbón delgadas o capas de shale carbonoso y mudstone. Cuanta más gruesa sea la acumulación de turba, más grueso será el manto de carbón. Se ha estimado que por cada metro de carbón que se forma, se necesita que se acumulen 10 metros de turba. La comprensión de esta turba es fundamental para poder prever el alcance y la naturaleza de las capas individuales de carbón. Thomas, L. 2012.

A continuación se presenta un diagrama simplificado que describe la formación del carbón (Figura A1.1) . El carbón se compone de materiales de plantas que han sido sometidas a calor y presión. Este material vegetal se depositó en agua dulce poco profunda que promueve la retención de material de la planta en una condición anóxica Blandón, A., (1999) . En caso de que el agua sea muy poco profunda la materia vegetal se oxidara . Si el agua es demasiado profunda , las plantas no pueden crecer adecuadamente. Como las plantas crecen y mueren en los pantanos de carbón , estos restos de vegetales cae en el agua poco profunda y se mantiene como la turba.

Cuando se deposita la turba , que es esencialmente una masa plana de materia vegetal pero luego de ser enterrada y comprimida estructuralmente cambia la turba a carbón, forzando a que el agua sea expulsada de la turba, causando la formación de macromoléculas de carbón de las masas de material vegetal . Este proceso se conoce como " carbonización " (Blandón, A., 1999)

Los procesos geologicos que actuan sobre la materia vegetal son la presion y con el tiempo y las condiciones adecuadas, estas se transforma en:

- Turba, la turba es un precursor de carbón. Como la turba es comprimido por el peso del material suprayacente, se cambia en lignito .
- El lignito o carbón pardo , es el rango más bajo de carbón y muy utilizados como combustible para la electricidad en la generación de energía . A Medida que se seca, el lignito se desmorona . A medida que más agua es expulsada del lignito, se vuelve más estable, esta deshidratación continua, junto al calor y la presión, hace que el lignito cambie a carbón sub -bituminoso .
- Las propiedades de carbón sub-bituminoso van desde lignito a las del carbón bituminoso .

El carbon sub-bituminoso es usado como combustible para la generación de energía termoeléctrica y es una fuente importante de hidrocarburos ligeros para la industria de síntesis química. Con la aplicación continua de calor y la presión , la humedad adicional es expulsada, la macromolécula de carbón se vuelve más densa y compacto , y el carbón sub-bituminoso se convierte en carbón bituminoso .

- El carbón bituminoso es generalmente más denso que el carbón sub -bituminoso, negro pero a veces marrón oscuro, a menudo con bandas bien definidas de material brillante y opaco. Se utiliza principalmente como combustible en la generación de energía termoeléctrica. Algunos carbones bituminosos tienen propiedades de coque.

La aplicación continua de calor y presión convierte progresivamente el carbón bituminoso en material más denso el cual tiene una menor humedad, aumentando el contenido de materiales volátiles. Thomas, L. 2012.

Eventualmente, el carbón bituminoso se convierte en antracita, a continuación, semi-antracita, y finalmente en grafito (que se compone principalmente de carbono). Figura A1.1 muestra un esquema de este proceso.

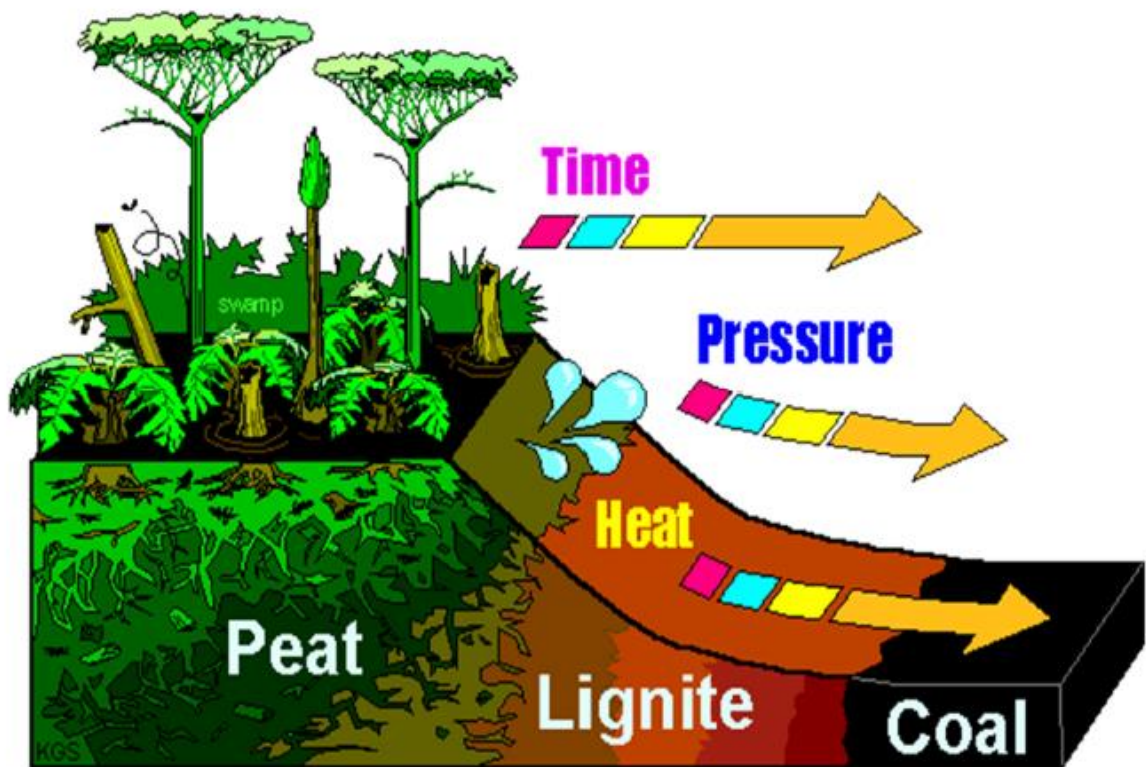


Figura A1. 1

AMBIENTES DE DEPÓSITO CARBÓN

El carbón se forma mejor cerca de las márgenes de los grandes cuerpos estables del agua, en los deltas, rios distributarios y arroyos que drenan un terrenos más altos. En estas zonas marginales hasta el mar, o en algunos casos marginales a

grandes lagos de agua dulce, existen condiciones deposicionales estables. Esta zona, la llanura deltaica, se divide en tres zonas principales . Thomas, L. 2012.

- Planicie o llanura deltáica
- Frente Deltáico
- Prodelta

Los principales canales de corriente dentro de la llanura deltaica tienden a ser un tanto limitados por montañas adyacentes, y el área de condiciones estables que conducen a la formación de carbón cae dentro de una distancia limitada entre la planta superior y el río o canal de flujo. Esta zona suele estar sujeta a cambios rápidos, y la deposición de carbón tiende a limitarse a una zona relativamente estrecha paralela a los principales canales de arroyos y ríos. El carbón desarrollado más cerca de los canales tiende a tener numerosas separaciones causadas por sedimentos.

El carbón formado en estrecha aproximación a corrientes de ríos y canales también tiende a tener más separaciones causadas por las inundaciones. El Carbón formado bajo estas condiciones también tiende a ser bajo en azufre, pero extremadamente variable en contenido de cenizas. Las condiciones de formación de carbón tienden a ser mejores en el frente deltaico. Aquí, los pantanos son mucho más estables y extensos porque la influencia de la sierra ya no entra en juego. Pantanos de carbón en esta zona tienden a ser extensos, y si las tasas de subsidencia y compactación imitan acumulaciones de materia vegetal en condiciones anaeróbicas, grandes acumulaciones de carbón se va a producir. Como en la zona Deltaica superior, las inundaciones provocan la introducción de materiales sedimentarios más gruesas en los pantanos, en particular adyacentes a los principales canales de arroyos y ríos. Thomas, L. 2012.

Los mantos de carbón formados en estas condiciones tienden a ser relativamente gruesos y lateralmente persistentes. La geometría de estos tiende a ser más ovoide que los depositados en condiciones de deltas superiores. El carbón depositado en esta zona también tiende a ser menor en el contenido de ceniza total que la de la zona deltaica superior. Tal carbón también tiende a tener un bajo contenido de azufre.

El prodelta tiende a estar dominada por el viento, y el efecto de la división de los arroyos y ríos en esta zona, lo que conduce al desarrollo de condiciones deltaicas verdaderas. La deshidratación de los sedimentos más profundos en esta zona se traduce en aumento de subsidencia que a su vez, da lugar a las condiciones rápidamente cambiantes de deposición. Estas condiciones dan como resultado generalmente mantos de carbón relativamente delgados. Condiciones deposicionales más estables dan como resultado carbón formando en zonas de tendencia paralela a la orilla del mar y está triturado. Arena y materiales más finos arrastrados por el viento, así como materiales transportados por las corrientes aumentan significativamente la cantidad de sedimento inorgánico introducido en el sistema. Incursiones repetidas de agua salada introducen considerables cantidades de azufre en el sistema por las bacterias de fijación, lo que hace que haya azufre de piritas. Thomas, L. 2012.

En consecuencia a todos estos factores, los mantos de carbón se forman en la llanura deltaica y tienden a ir limitando la extensión del área. Las condiciones exactas en las que se deposita el carbón juegan un papel importante en la cantidad de material sucio, tales como la materia inorgánica mineral (referido como " ceniza y azufre).

Los minerales que compone la ceniza son en gran medida de sílice, pero se han incluido otros elementos. Contenidos altos de materia mineral producen mayores niveles de ceniza en grado térmico. El espesor y la extensión del carbón están

dictadas por las condiciones de depositación en las que se formó el carbón. El ambiente de depósito también va a determinar el espesor del material y la cantidad de capas de carbón.

Los cambios geomorfológicos de superficies transforman las condiciones de depositación, y los pantanos donde se forma el carbón, migran con el fin de mantener las condiciones óptimas para la depositación del carbón. Este proceso dinámico afecta el tipo de material vegetal y la capacidad de la zona para producir una turba gruesa. También afecta la presencia de patrones de drenaje primarios / secundarios. Estos factores afectan los rangos de calor, cenizas y azufre, y por lo tanto en última instancia el valor del carbón. Thomas, L. 2012.

APÉNDICE 2

DATOS DE LOS POZOS DE PERFORACION EL BALSAL					Tipo de Perforación
POZO DE PERFORACION	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura	Profundidad	
1406	1,137,782.98	1,165,916.95	711.20	160.85	Diamond Drilling
1407	1,137,695.03	1,165,953.98	694.03	192.00	TriConic Drilling
1408	1,137,646.90	1,165,987.49	679.24	130.75	Diamond Drilling

Nomenclatura para las distintas litologías	
AND	Andesita
BO	Carbón sucio
CGL	Conglomerado
CLY	Arcillolita
CO	Carbón
CMS	Mudstone Carbonoso

MS	Mudstone
SS	Areniscas
ST	Lutitas
SSST	Intercalaciones de Areniscas con lutitas
VA	Aglomerado Volcánico

POZO DE PERFORACION	Desde	a	Litología	Andesite/Weathering
1406	0.00	9.50	CGL	WEA
1406	9.50	9.50	BO	WEA
1406	9.50	15.02	MS	
1406	15.02	15.40	CLY	
1406	15.40	15.65	MS	
1406	15.65	22.00	SS	
1406	22.00	23.54	SH	
1406	23.54	23.95	CO	
1406	23.95	24.12	CMS	
1406	24.12	24.32	CO	
1406	24.32	24.62	SH	
1406	24.62	26.12	MS	
1406	26.12	26.38	SH	
1406	26.38	26.75	CO	
1406	26.75	27.40	SH	
1406	27.40	29.64	MS	
1406	29.64	29.86	CLY	
1406	29.86	30.47	MS	
1406	30.47	36.37	SSST	
1406	36.37	36.55	MS	
1406	36.55	37.00	CLY	
1406	37.00	37.40	MS	
1406	37.40	39.60	ST	
1406	39.60	40.90	SS	
1406	40.90	44.50	SSST	
1406	44.50	44.80	SS	
1406	44.80	52.75	SSST	
1406	52.75	55.57	SS	
1406	55.57	57.05	SSST	
1406	57.05	64.05	SS	
1406	64.05	64.30	CLY	
1406	64.30	65.41	MS	
1406	65.41	65.78	CO	

1406	65.78	66.31	CLY	
1406	66.31	66.50	CO	
1406	66.50	66.54	BO	
1406	66.54	66.75	CO	
1406	66.75	67.00	CLY	
1406	67.00	68.16	ST	
1406	68.16	68.55	CLY	
1406	68.55	69.54	ST	
1406	69.54	69.69	MS	
1406	69.69	69.89	CLY	
1406	69.89	70.40	SS	
1406	70.40	73.70	ST	
1406	73.70	74.00	SS	
1406	74.00	77.00	ST	
1406	77.00	78.00	MS	
1406	78.00	79.00	CLY	
1406	79.00	81.80	SS	
1406	81.80	82.50	CLY	
1406	82.50	83.00	SS	
1406	83.00	86.60	ST	
1406	86.60	87.50	MS	
1406	87.50	91.90	SSST	
1406	91.90	92.50	CMS	
1406	92.50	93.30	CO	
1406	93.30	101.00	ST	
1406	101.00	103.30	MS	
1406	103.30	104.40	SS	
1406	104.40	104.80	MS	
1406	104.80	106.80	SS	
1406	106.80	108.40	MS	
1406	108.40	109.90	SS	
1406	109.90	113.10	SSST	
1406	113.10	114.02	CLY	
1406	114.02	115.35	CO	
1406	115.35	117.60	ST	
1406	117.60	119.20	MS	
1406	119.20	124.60	SS	
1406	124.60	126.40	ST	
1406	126.40	127.30	SS	
1406	127.30	128.30	ST	

1406	128.30	133.40	SS	
1406	133.40	134.00	MS	
1406	134.00	135.00	SS	
1406	135.00	135.30	MS	
1406	135.30	135.84	CLY	
1406	135.84	136.81	CO	
1406	136.81	136.92	BO	
1406	136.92	138.15	CO	
1406	138.15	140.00	ST	
1406	140.00	143.80	ST	
1406	143.80	160.85	SS	

POZO DE PERFORACION	Desde	a	Litoligia	Andesite/Weathering
1407	0.00	1.00	CLY	WEA
1407	1.00	20.00	CGL	WEA
1407	20.00	20.00	CGL	WEA
1407	20.00	21.00	SS	
1407	21.00	32.00	SS	
1407	32.00	33.00	CLY	
1407	33.00	34.00	ST	
1407	34.00	37.60	SS	
1407	37.60	38.10	CO	
1407	38.10	39.00	SS	
1407	39.00	40.10	CO	
1407	40.10	47.80	SS	
1407	47.80	49.40	CLY	
1407	49.40	61.20	ST	
1407	61.20	64.00	CO	
1407	64.00	66.00	ST	
1407	66.00	100.50	SS	
1407	100.50	102.00	ST	
1407	102.00	104.80	CO	
1407	104.80	105.10	MS	
1407	105.10	105.40	CO	
1407	105.40	124.00	ST	

1407	124.00	135.80	SSST	
1407	135.80	137.00	MS	
1407	137.00	139.00	STMS	
1407	139.00	141.10	MS	
1407	141.10	147.70	CO	
1407	147.70	150.00	MS	
1407	150.00	151.60	ST	
1407	151.60	157.50	SS	
1407	157.50	159.50	MS	
1407	159.50	162.00	CO	
1407	162.00	162.80	CLY	
1407	162.80	166.00	ST	
1407	166.00	170.00	SS	
1407	170.00	173.00	MS	
1407	173.00	177.00	AND	AND
1407	177.00	179.00	VA	AND
1407	179.00	181.00	AND	AND
1407	181.00	182.00	VA	AND
1407	182.00	192.00	AND	AND

POZO DE PERFORACION	Desde	a	Litología	Andesite/Weathering
1408	0.00	27.90	CGL	WEA
1408	27.90	27.90	BOW	WEA
1408	27.90	28.00	MS	
1408	28.00	29.00	ST	
1408	29.00	30.80	MS	
1408	30.80	38.40	ST	
1408	38.40	39.30	CLY	
1408	39.30	41.00	ST	
1408	41.00	43.10	MS	
1408	43.10	49.00	ST	
1408	49.00	50.00	MS	
1408	50.00	57.40	ST	
1408	57.40	58.50	MS	
1408	58.50	59.40	SS	

1408	59.40	60.55	MS	
1408	60.55	64.77	CO	
1408	64.77	65.07	BO	
1408	65.07	65.60	CO	
1408	65.60	65.94	BO	
1408	65.94	67.06	CO	
1408	67.06	67.22	BO	
1408	67.22	68.47	CO	
1408	68.47	69.04	LS	
1408	69.04	69.35	CO	
1408	69.35	69.80	MS	
1408	69.80	72.50	ST	
1408	72.50	80.40	SS	
1408	80.40	80.62	MS	
1408	80.62	81.33	CO	
1408	81.33	81.55	BO	
1408	81.55	82.74	CO	
1408	82.74	82.98	CMS	
1408	82.98	83.19	CO	
1408	83.19	83.33	CMS	
1408	83.33	83.52	CO	
1408	83.52	86.20	MS	
1408	86.20	94.40	SS	
1408	94.40	101.00	ST	
1408	101.00	101.30	CMS	
1408	101.30	101.35	CO	
1408	101.35	101.45	BO	
1408	101.45	102.43	CO	
1408	102.43	102.94	BO	
1408	102.94	103.64	CO	
1408	103.64	103.70	BO	
1408	103.70	103.95	CO	
1408	103.95	105.60	ST	
1408	105.60	106.20	MS	
1408	106.20	107.00	ST	
1408	107.00	130.75	AND	AND



**APÉNDICE 3
ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE GEOLOGIA**

REGISTRO PARA DESCRIPCIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS.

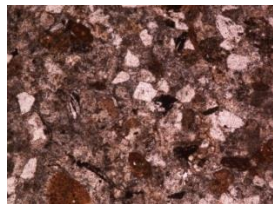
Unidad litoestratigráfica:
Miembro Medio de la
Formación Amagá

Localidad: El Balsal

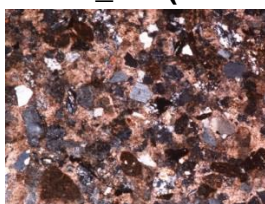
Municipio: Titiribí

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS MICROSCÓPICO

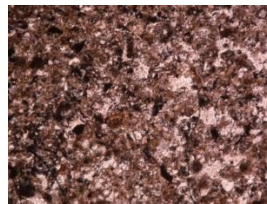
MUESTRA TP-L14 -DH06_01 (136.45 m) -MUESTRA TP-L14 -DH06_02 (137.m)



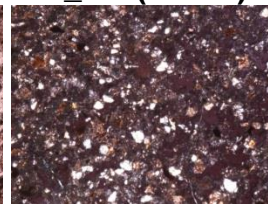
N/.Obj x5



Nx. Obj x5



N/.Obj x5



Nx. Obj x5

DESCRIPCIÓN TEXTURAL

HOMOGENEIDAD DE LA ROCA: Se aprecia que las secciones están compuestas en su gran mayoría por granos.

ARMAZON:

Arena muy fina a fina

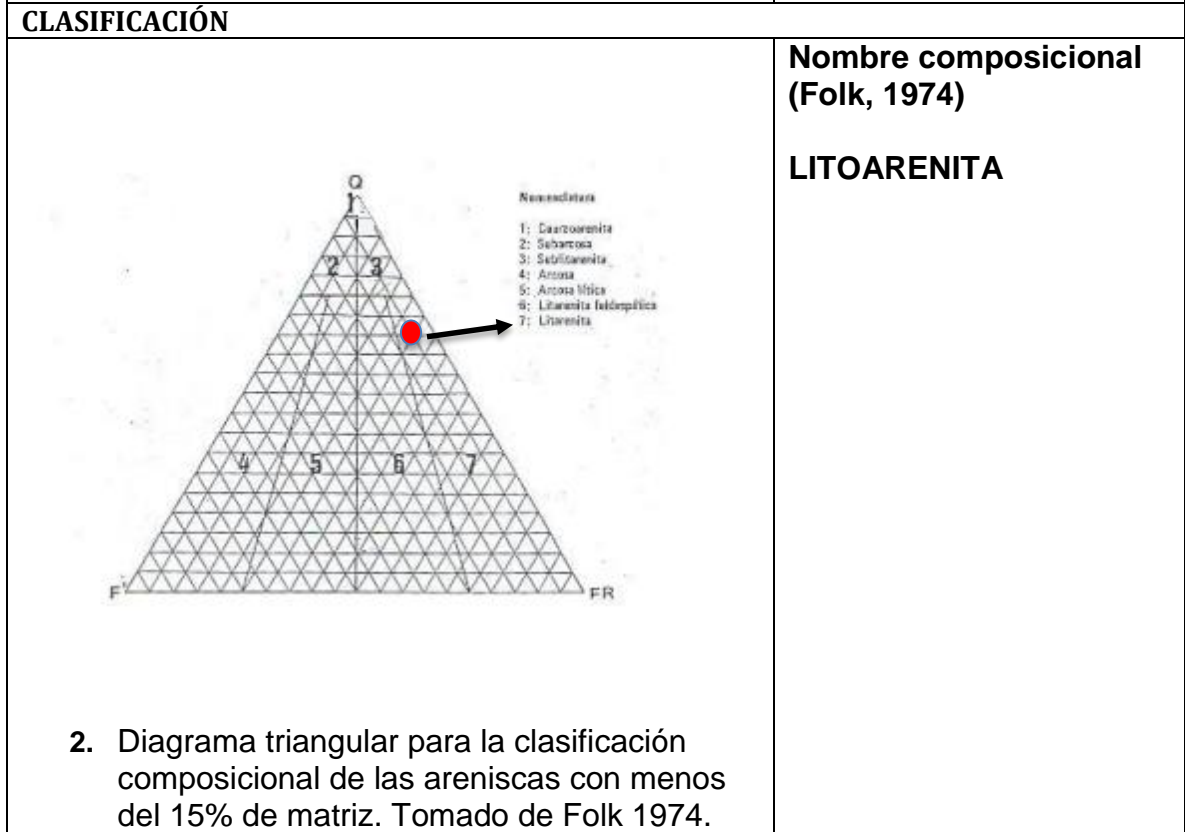
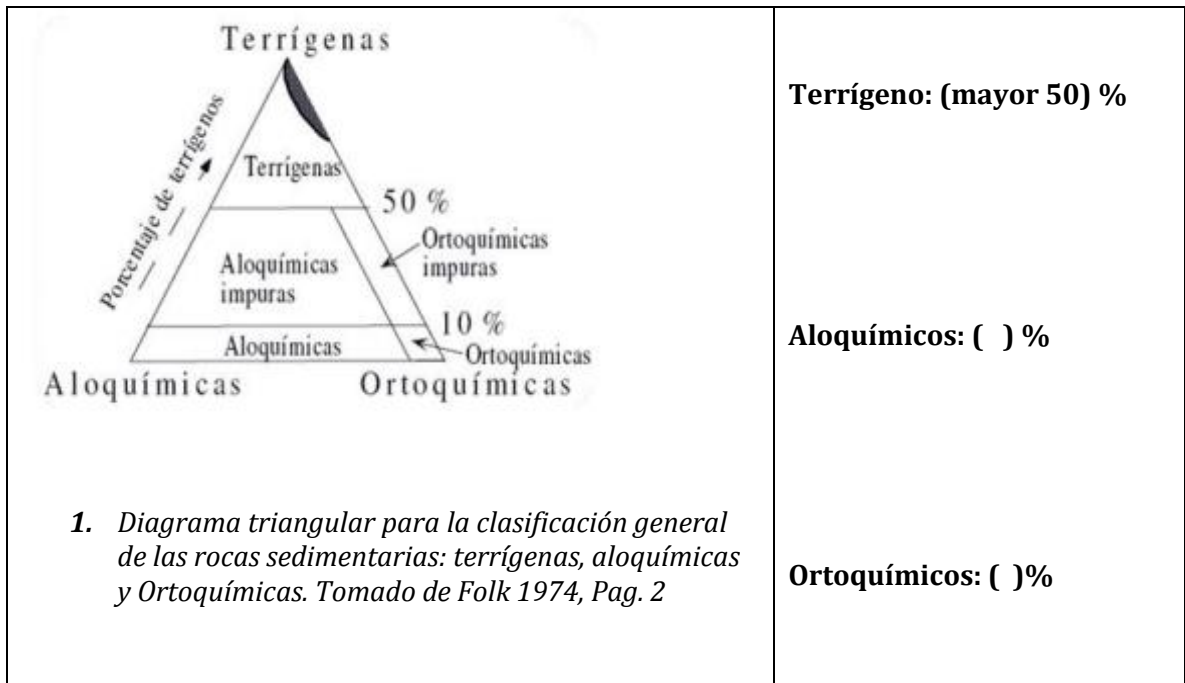
QTZ 57 % Feld 6% FR 31% **TOTAL 94%**

RANGO DE TAMAÑOS: 0.0091-0.2mm

SELECCIÓN: Moderadamente calibrado

(Según imagen de calibrado de las partículas Pettijhon, en Boggs, Jr. 1987, pag 113).

<p>REDONDEZ Y ESFERICIDAD PROMERIO: subangular - angular <i>(Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Power 1953, en Comptón 1962)</i></p>
<p>CONTACTO ENTRE GRANOS :</p> <p>Flotante (%) Tangencial (%) Longitudinal 65 (%) Cóncavo-convexo: 35 (%) Saturado (%)</p>
<p>MATRIZ: Limo-arcillosa</p> <p>TOTAL DE MATRIZ: 6 % Silíceo: 3% Fel:___% Caolínica:___% Glauconítica___% Fosfática___% Otra___%</p> <p>CEMENTO</p> <p>TOTAL DE CEMENTO:___% Silíceo: _2_ % Calcáreo ___% Ferruginoso:___%</p> <p>POROSIDAD: 1%</p> <p style="text-align: right;">TOTAL DE LA ROCA 100%</p>
<p>NOMBRE TEXTURAL (FOLK, 1974): Según el diagrama textural para tamaño de grano esta roca es una Arenisca. Recálculo textural: Armazon + Matriz: 94+3: 97 % -----100% de la roca Armazón: 96.90 y Matriz : 3.09%</p>
<p>DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL</p>





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE GEOLOGIA

REGISTRO PARA DESCRIPCION DE ROCAS SEDIMENTARIAS SILICICLÁSTICAS.

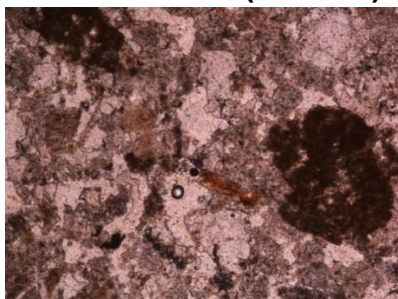
Unidad litoestratigráfica:
Miembro Medio de la
Formación Amagá

Localidad: El Balsal

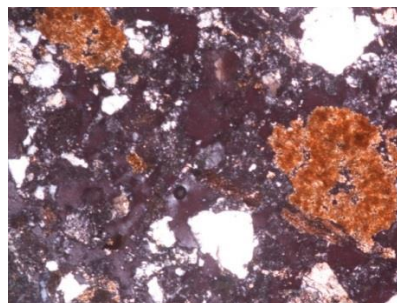
Municipio: Titiribí

DESCRIPCIÓN Y ANALISIS MICROSCOPICO

MUESTRA TP-L14 -DH08 (70.23 m)



N/.Obj x5



Nx. Obj x5

DESCRIPCIÓN TEXTURAL

HOMOGENEIDAD DE LA ROCA: La sección está compuesta principalmente por granos.

ARMAZON:

Arena muy fina a fina

QTZ 53 % Feld 6 % FR 34 % **TOTAL 93%**

RANGO DE TAMAÑOS: 0.0091-0.2mm

SELECCIÓN: Moderadamente calibrado

(Según imagen de calibrado de las partículas Pettijhon , en Boggs, Jr. 1987, pag 113).

REDONDEZ Y ESFERICIDAD PROMERIO: (*Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Power 1953, en Comptón 1962*)

CONTACTO ENTRE GRANOS :

Flotante (%) Tangencial 30 (%) Longitudinal 70 (%) Cóncavo-convexo: (%)
Saturado (%)

MATRIZ:

Limo arcillosa

TOTAL DE MATRIZ: _7_ % Silíceo: _4_ % Fel: __ % Caolínica: __ %
Glaucónica __ %
Fosfática __ % Otra __ %

CEMENTO

TOTAL DE CEMENTO: __ % Silíceo: _2_ % Calcáreo __ % Ferruginoso: __ %

POROSIDAD: 1 %

TOTAL DE LA ROCA 100%

NOMBRE TEXTURAL (FOLK, 1974): Según el diagrama textural para tamaño de grano esta roca es una Arenisca.

Recálculo textural: Armazon + Matriz: 93+4: 97% ---- 100% de la roca
Armazón 95.87 % Matriz 4.12%

DESCRIPCIÓN COMPOSICIONAL

