



Libertad y Orden
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

***EXPLORACIÓN GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN. ÁREA
CHECUA- LENGUAZAQUE. GUACHETÁ - SAMACÁ***

Bogotá, julio de 2013

República de Colombia
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO



Libertad y Orden

**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO**

RECURSOS ENERGÉTICOS

***EXPLORACIÓN GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN. ÁREA
CHECUA-LENGUAZAQUE. GUACHETÁ-SAMACÁ***

Por

**Claudia Inés Duarte Barrera
Ingeniera Geóloga
Fernando Andrés Parra Cristancho
Ingeniero Geólogo**

**Supervisor
Marco Antonio Rincón
Geólogo**

Bogotá, julio 2013

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. METODOLOGÍA	16
3. EXPLORACIÓN DE GMAC (Gas Metano Asociado al Carbón)	19
3.1 GENERALIDADES	19
3.1.1 Localización y extensión del área de estudio	19
3.1.2 Vías de comunicación	20
3.1.3 Clima y vegetación	20
3.1.4 Hidrografía	21
3.1.5 Hidrogeología	21
3.1.6 Población	23
3.1.7 Economía	25
3.2 GEOLOGÍA	25
3.2.1 Estratigrafía	25
3.2.1.1 Formación Simití (K _{1s})	26
3.2.1.2 Areniscas de Chiquinquirá (K ₁ K ₂ chi)	26
3.2.1.3 Formación Simijaca (K _{2s})	27
3.2.1.4 Formación La Frontera (K _{2f})	27
3.2.1.5 Formación Conejo (K _{2c})	28
3.2.1.6 Formación Lidita Superior (K _{2l})	28
3.2.1.7 Formación Plaeners (K _{2p})	29
3.2.1.8 Formación Labor Tierna (K _{2t})	30
3.2.1.9 Formación Guaduas (K ₂ E _{1g})	32
3.2.1.10 Formación Cacho (E _{1c})	33
3.2.1.11 Formación Bogotá (E _{1b})	36
3.2.1.12 Formación Regadera (E _{2r})	36
3.2.1.13 Depósito Fluvioglacial (Qfg)	37
3.2.1.14 Depósitos Aluviales (Qal)	37
3.2.2 Tectónica	38
3.3. SECTORES EVALUADOS PARA EXPLORACIÓN DE GMAC	46
3.3.1. Sector Ruchical, Samacá	49
3.3.2. Sector Loma Redonda (Samacá)	51

3.3.3	Sector Firita Peña Arriba Norte (Ráquira)	53
3.3.4	Sector Alto del Trigo, Ráquira	54
3.3.5	Sector El Santuario, Guachetá	56
4.	DESARROLLO DE LAS PERFORACIONES	59
4.1	ANÁLISIS GEOLÓGICO DE LOS POZOS PERFORADOS.....	59
4.1.1	Registros.....	59
4.1.2	Resultados obtenidos en los registros de pozos	60
4.1.2.1	Pozo Samacá-2.....	60
4.1.2.2	Pozo Ráquira-1.	63
4.2	INCONVENIENTES REGISTRADOS DURANTE LA PERFORACIÓN.....	65
4.3	SELLAMIENTO.....	66
5.	CARACTERIZACIÓN DE CARBONES	67
5.1	MUESTRAS ANALIZADAS	67
5.2	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	67
5.2.1	Análisis próximos.	68
5.2.2	Poder calorífico	68
5.2.3	Análisis elemental	69
5.2.4	Índice de hinchamiento.....	71
5.2.5	Humedad de equilibrio.....	71
5.2.6	Gravedad Específica Verdadera (GEV).....	72
5.2.7	Índice de Molienda Hardgrove, (IHG).....	73
5.2.8	Plastometría.....	73
5.2.9	Análisis químico de cenizas.....	74
5.3	ANÁLISIS PETROGRÁFICOS	74
5.3.1	Análisis del contenido maceral.....	75
5.3.2	Análisis Reflectancia de la Vitrinita (Ro).....	75
5.3.3	Determinación del rango por Ro.....	76
6.	MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS	78
6.1	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA CALCULAR EL CONTENIDO DE GAS EN LOS MANTOS DE CARBÓN (GMAC).....	78
6.1.1	Equipos y montaje para la determinación del contenido de gas	79
6.1.2	Procedimiento en la medición de contenidos de GMAC	81
6.2	RESULTADOS OBTENIDOS	87
6.2.1	Pozo Samacá-2	87
6.2.2	Pozo Ráquira-1	87
6.2.3	Frentes de Mina	88
7.	CÁLCULO DE RECURSOS Y RESERVAS DE GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN.....	91
7.1	DEFINICIÓN DE RECURSO Y RESERVA.	91
7.2	LÍMITES PARA LA EVALUACIÓN DE RESERVAS Y RECURSOS.	92

7.2.1	Zona explotada	92
7.2.2	Zona de dilución.....	92
7.2.3	Zona de concentración.....	92
7.3.	EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE GMAC.....	93
7.3.1	Categorías de evaluación	93
7.3.1.1	Categorías Recursos y Reservas Medidos, Indicados, Inferidos.....	93
7.3.1.2	Categorías de Recursos Hipotéticos y Especulativos.....	94
7.3.2	Cálculo del Potencial de GMAC.....	94
7.3.2.1	Recursos y Reservas de GMAC. Descripción de los mantos.....	95
7.3.2.2	Recursos Hipotéticos.....	135
7.3.3	Categoría de Especulativos.....	136
8.	CONCLUSIONES	137
9.	RECOMENDACIONES	140
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases en el desarrollo de un proyecto de Gas Metano asociado al carbón	16
Figura 2. Localización área de estudio	23
Figura 3. Localización sectores de interés GMAC y perforaciones.	24
Figura 4. Afloramiento de la Formación Plaeners, Vereda Peñas, Guachetá. .	30
Figura 5. Afloramiento de la Formación Labor-Tierna.	31
Figura 6. Formación Guaduas. Nivel productivos K2E1g2 y K2E1g3	34
Figura 7. Arenisca la Guía del K2E1g2	34
Figura 8. Contacto entre la Formación Guaduas y la Formación Cacho.....	35
Figura 9. Expresión morfológica de la Formación Bogotá.....	37
Figura 10. Depósito Fluvioglacial, vía a Samacá.....	38
Figura 11. Depósito Aluvial.....	38
Figura 12. Núcleo Sinclinal Checua-Lenguazaque.....	40
Figura 13. Flanco oriental, Sinclinal Checua-Lenguazaque	40
Figura 14. Flanco Occidental, Sinclinal Checua-Lenguazaque..	41
Figura 15. Replegamientos estratos de la Formación Guaduas, vía Samacá..	42
Figura 16. Replegamientos estratos de la Formación Guaduas, vía Samacá..	42
Figura 17. Efectos de las Fallas de Ancón y Falla El Pedregal.	45
Figura 18. Desplazamiento de capas de carbón en el Nivel K2E1g3.....	47
Figura 19. Falla local de tipo normal	47
Figura 20. Localización sectores analizados para exploración de GMAC en la zona de estudio.....	50
Figura 21. Sector Ruchical	51
Figura 22 Sector de interés denominado Loma Redonda	52
Figura 23. Localización general Sector Firita Peña Arriba Norte, Ráquira.	53
Figura 24. Localización general sector Alto del Trigo, Ráquira.	55
Figura 25. Vista general, sector Santuario, municipio de Guachetá.....	56
Figura 26. Montaje del Pozo Samacá-2	61
Figura 27. Equipos empleados en la realización de registros en el Pozo Samacá-2.....	62

Figura 28. Montaje de la perforación Pozo Ráquira-1	64
Figuras 29, 30. Equipos empleados en la ejecución de Registros Eléctricos Pozo Ráquira-1	64
Figura 31. Sellado del Pozo Samacá-2	66
Figura 32. Generación de gas en el carbón	77
Figura 33. Estados de carbonificación de acuerdo a la clasificación americana (ASTM, 1978).....	77
Figuras 34 y 35. Equipos empleados en la medición de gas metano en capas de carbón	80
Figuras 36. Pruebas de hermeticidad en los canister.	81
Figura 37. Obtención de muestra en frente de mina para medición de contenido de gas metano.	82
Figuras 38. Sistema de medición del gas perdido en muestras de carbón pozo Samacá-2.....	83
Figura 39. Curva de desorción.	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas área de estudio Checua-Lenguazaque	19
Tabla 2. Coordenadas Sector GMAC El Santuario.....	20
Tabla 3. Coordenadas Sector GMAC Loma Redonda.....	20
Tabla 4. Selección de puntos de interés para adelantar las perforaciones de GMAC.	58
Tabla 5. Número y tipo de muestras obtenidas en el área de estudio. Guachetá-Samacá	67
Tabla 6. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Pozo Samacá-2.....	88
Tabla 7. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Pozo Ráquira-1	89
Tabla 8. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Frente de mina.....	90
Tabla 9. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Guachetá-Samacá. Sector El Santuario.....	108
Tabla 10. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Guachetá-Samacá. Sector Loma	112
Tabla 11. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá.	114
Tabla 12. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Vidriosa	117
Tabla 13. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Siete Bancos.....	118
Tabla 14. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Piedro 2.....	119
Tabla 15. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Cisquera 2.....	120
Tabla 16. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Bocatoma.....	121
Tabla 17. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Rubí.	122

Tabla 18. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Piedro.....	123
Tabla 19. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Consuelo.....	124
Tabla 20. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Tesorito.....	125
Tabla 21. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Tesoro.....	126
Tabla 22. Resumen Cálculo de Reservas y Recursos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector El Santuario.....	127
Tabla 23. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto Siete Bancos.....	128
Tabla 24. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Grande.....	129
Tabla 25. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Tercera.....	130
Tabla 26. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Limpia.	131
Tabla 27. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Ligada.	132
Tabla 28. Cálculo de Recursos y Reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto Bocatoma.....	133
Tabla 29. Resumen Cálculo de Reservas y Recursos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector Loma Redonda.....	134
Tabla 30. Recursos Hipotéticos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector El Santuario	136
Tabla 31. Recursos Hipotéticos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector Loma Redonda	136

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Informe Perforaciones
- Anexo B.** Resultados Análisis Elemental
- Anexo C.** Resultados Análisis Formas de S, C, IH, GEV, IMH, HE, Hg, Ht
- Anexo D.** Resultados Análisis Plastometría
- Anexo E.** Resultados Análisis Cenizas
- Anexo F.** Resultados Análisis Petrográfico
- Anexo G.** Medición de contenido de gas metano Pozo Samacá-2
- Anexo H.** Medición de contenidos de gas Pozo Ráquira-1
- Anexo I.** Medición de contenido de gas metano Frentes de Mina
- Anexo J.** Cartografía

Mapa 1 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 2 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 3 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 4 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 5 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 6 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 7 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 8 de 26. Mapa Geológico Área Checua-Lenguazaque. Guachetá-Samacá.

Mapa 9 de 26. Mapa Geológico. Sector El Santuario.

Mapa 10 de 26. Mapa Geológico. Sector Loma Redonda.

Mapa 11 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Vidriosa.

Mapa 12 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Siete Bancos.

Mapa 13 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Piedro 2.

Mapa 14 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Cisquera 2.

Mapa 15 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Bocatoma.

Mapa 16 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Rubí.

Mapa 17 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Piedro.

Mapa 18 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Consuelo.

Mapa 19 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Tesorito.

Mapa 20 de 26. Contornos Estructurales. Sector El Santuario. Manto Tesoro.

Mapa 21 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto Siete Bancos.

Mapa 22 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto La Grande.

Mapa 23 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto La Tercera.

Mapa 24 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto La Limpia.

Mapa 25 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto La Ligada.

Mapa 26 de 26. Contornos Estructurales. Sector Loma Redonda. Manto Bocatoma.

Columna1. Columna estratigráfica Mina El Santuario. K2E1g3.

Columna 2. Columna estratigráfica Mina Carbones Suramericanos. K2E1g2 Inferior.

Columna 3. Columna estratigráfica Mina Carbones Suramericanos. K2E1g2 Superior.

Columna 4. Columna estratigráfica Mina Carbonera. K2E1g3.

Columna 5. Pozo Samacá-2.

Columna 6. Pozo Ráquira-1.

Registro Eléctrico Pozo Samacá-2.

Registro Eléctrico Pozo Ráquira-1.

RESUMEN

Con el fin de continuar con la investigación sobre la generación y almacenamiento de gas metano (CH_4) en los mantos de carbón de la Formación Guaduas en el área carbonífera Sogamoso-Jericó, se estableció un área de trabajo de 200 Km^2 , comprendida entre los municipios de Guachetá y Samacá. En esta se realizaron actividades de exploración con el fin de adelantar dos perforaciones para mediciones de contenidos de gas metano.

De acuerdo al análisis realizado, se establecieron cinco sectores de evaluación denominados de norte a sur: Ruchical, Loma Redonda, Firita Peña Arriba Norte, Alto del Trigo y Santuario. Por su proximidad geográfica, los dos primeros se consolidaron en uno denominado Loma Redonda y los dos últimos en uno llamado El Santuario, en los cuales se realizaron las perforaciones. En el primero de ellos se realizó el Pozo Samacá-2, con una profundidad de 300m y siete capas de carbón identificadas; en el segundo sector se llevó a cabo el Pozo Ráquira-1 con 400m de profundidad y cuatro capas de carbón cortadas. Además de estas muestras, mediciones de contenidos de gas metano se realizaron en 20 muestras de frente de mina. Para el estudio, se definió el muestreo de capas de carbón con espesor mayor e igual a 0.40m. En cada pozo se corrieron registros de resistividad eléctrica, temperatura, gamma natural, densidad.

Las mediciones de CH_4 se efectuaron aplicando métodos directos; las muestras de carbón del pozo Samacá-2 arrojaron valores entre 1,46 a 37,03 pie^3/ton . En el pozo Ráquira-1, los contenidos de CH_4 variaron entre 7,41 a 87,94 pie^3/Ton ; en los frentes de mina se obtuvo valores entre 3,32 a 53,84 pie^3/Ton . Los mayores volúmenes los registraron los mantos: Vidriosa, Siete Bancos, Cisquera 2, Ligada, del nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas.

Adicionalmente, se realizó una caracterización de carbones, en total se obtuvieron 55 muestras, 46 de carbón, siete respaldos y dos arenitas (tanto de pozo como de frente de mina). Los carbones muestreados fueron clasificados como subbituminosos C a bituminoso bajo volátil.

Finalmente, se determinó el potencial de gas metano en los mantos de carbón de interés, para lo cual se estructuró una metodología que permitió determinar recursos y reservas de GMAC en las categorías de Medido, Indicado, Inferido, Hipotético y Especulativo. El Potencial obtenido correspondió a 1,92 Billones de pies cúbicos (Bcf).

ABSTRACT

In order to continue with the research on the generation and storage of methane gas (CH₄) in the coal beds in the Guaduas Formation in the coal Área of Sogamoso-Jericó, established an Área of 200 km², between the municipalities of Guachetá and Samacá. In this Área, exploration activities were conducted with the purpose of performing two perforations to measure the methane gas content.

According to the analysis, five Áreas of evaluation were established which were called, from north to south: Ruchical, Loma Redonda, Firita Peña Arriba Norte, Alto del Trigo and El Santuario. With its geographic proximity, the first two were consolidated into one called Loma Redonda and the last two into one called El Santuario, where the holes were made. In the first one, the Samacá-2 Well was carried out, with a depth of 300m and 7 coal layers identified; in the second sector the Ráquira-1 Well was made with a depth of 400m deep and 4 coal bed cut. Besides these samples, measurements of methane gas content were performed on 20 samples of the mine. For the study, the sampling of coal seams was defined as thicker than and equal to 0.40m. In each well, logs were carried out of Electrical Resistivity, Temperature, Natural Gamma and Density.

CH₄ measurements were made using direct methods, the coal samples from the Samacá-2 well yielded values between 1,46 to 37,03 cf/ton. In the Ráquira-1 well, CH₄ contents ranged from 7,41 to 87,94 cf/ton, the values obtained at the mines were between 3,32 to 53,84 cf/ton. The highest volumes were recorded on the following mantles: Vidriosa, Siete Bancos, Cisquera 2, Ligada, K2E1g3 level of the Guaduas Formation.

Additionally, characterizations of coals were performed, in total 55 samples were obtained, 46 of coal, 7 backs and 2 sandstones (of the well as in front of the mine). The coals sampled were classified as Subbituminous C to Low volatile Bituminous.

Finally, the potential of methane gas in the coal seams of interest were determined, for which a methodology were structured to determine CBM reserves and resources in the Measured, Indicated, Inferred and Hypothetical categories. The Potential obtained corresponded to 1,92 Bcf.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del interés mundial que ha suscitado el aprovechamiento del gas metano asociado al carbón (GMAC o CBM), Colombia ha dado algunos pasos para acceder al conocimiento particular de la exploración y explotación de este tipo de gas no convencional, estando en proceso la legislación al respecto. La tecnología del gas asociado al carbón es relativamente nueva y todavía está en desarrollo, a nivel del país se cuenta con ciertos estudios que han determinado el potencial del recurso en algunas zonas carboníferas, especialmente hacia las zonas de Cundinamarca y Boyacá (Pulido, 1992), Rodríguez y Bonett, 1996, García, 1997 (Sinclinal Checua-Lenguazaque), ANH (2010, 2011) y Guajira Geo Met Inc (1994), Drummond Ltd (MAVDT, 2009).

Recientemente, el Servicio Geológico Colombiano, planteó la necesidad de desarrollar el conocimiento de este recurso, por lo cual, ha iniciado una investigación, teniendo en cuenta dos directrices fundamentales, el carbón y su potencialidad en la generación de gas metano y el gas metano como factor de riesgo en el desarrollo de la actividad minera. Razón por la cual ha adelantado en el año 2011, un proyecto piloto en el área Checua Lenguazaque, por ser una de las más estudiadas, caracterizada además por un gran potencial carbonífero que incide en el incremento del desarrollo minero en la zona. En este, se adelantaron perforaciones para medición de contenidos de metano, obteniéndose un potencial de GMAC en una zona comprendida entre los municipios de Tausa y Guachetá.

Con base en esta experiencia, se ha determinado que se debe continuar con las mediciones de contenidos de CH_4 a nivel del territorio nacional para seguir con el estudio de las condiciones que favorecen la generación y almacenamiento de este recurso. En esta ocasión, se continuó el estudio sobre la misma estructura geológica, el Sinclinal Checua - Lenguazaque, definiendo un área de trabajo comprendida entre los municipios de Guacheta y Samacá. El estudio de los contenidos de gas metano en el Sinclinal, permitirá identificar el comportamiento del recurso en el mismo, su potencialidad y las medidas de seguridad a tener en cuenta en la actividad minera.

Con el desarrollo de estas actividades, se prosigue en la consolidación de una metodología de exploración que permita conocer el potencial de GMAC en el país.

2. METODOLOGÍA

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto piloto desarrollado en el área Checua - Lenguazaque, sector GMAC Boquerón de Tausa – La Pluma, Cucunubá en el año 2011, se ha revisado la propuesta metodológica de Mariño, 2010 para desarrollar proyectos de gas metano asociado al carbón, estructurándose las siguientes fases de trabajo (ver Figura 1):

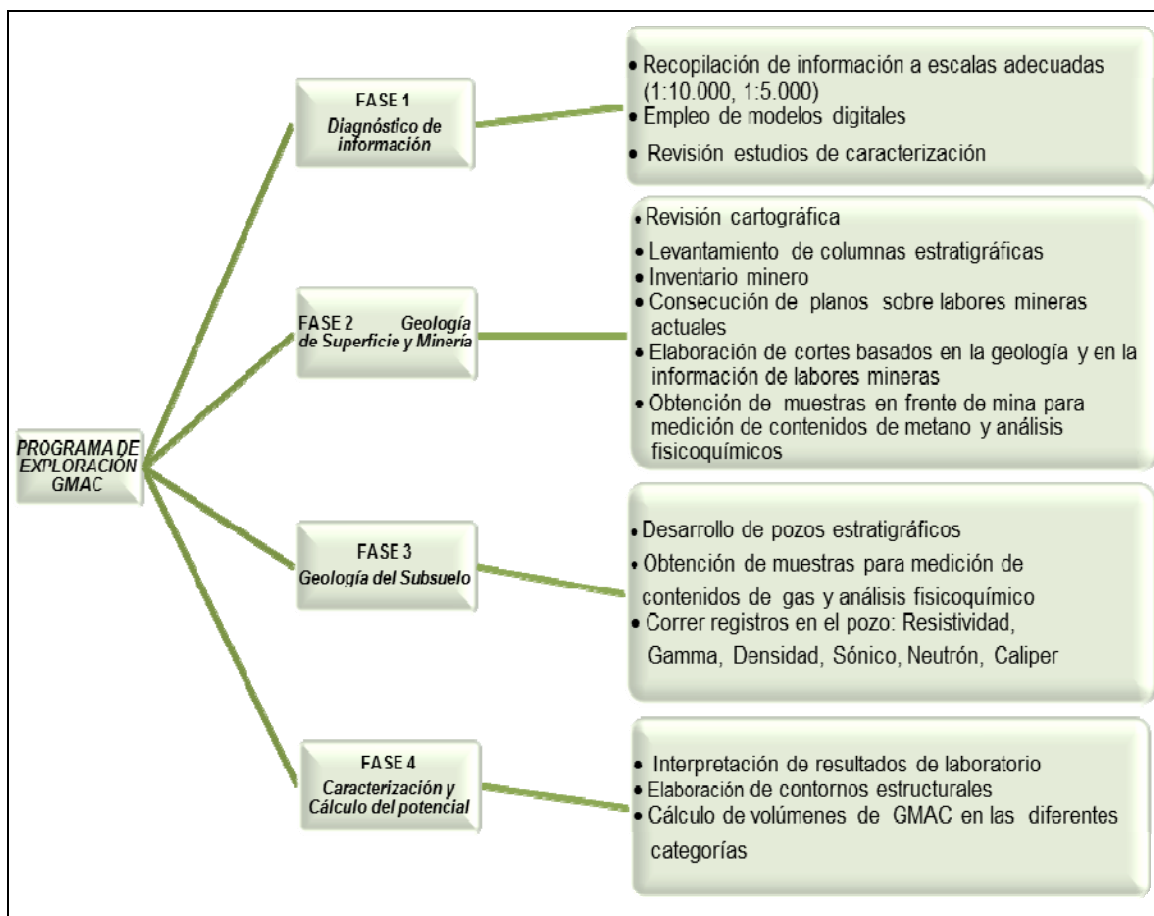


Figura 1. Fases en el desarrollo de un proyecto de Gas Metano asociado al carbón. Fuente: Modificado de Mariño, 2010.

De esta manera, en el proyecto piloto adelantado, se desarrollaron las Fases que corresponden a la etapa de exploración en un proyecto de gas metano asociado al carbón, las cuales parten del análisis adelantado a las características geológicas de las diferentes zonas carboníferas del país, identificando así las que presentan mayor favorabilidad para adelantar estudios de investigación desde el punto de vista de estudios adelantados, escalas de trabajo adecuadas, desarrollo minero. Estas fases se describen a continuación:

Fase I Preliminar

Recopilación de información. Se tomó como referencia el estudio: Programa de normalización de recursos y reservas de carbón en algunas áreas del departamento de Cundinamarca y Boyacá (Ecocarbón, 1997), igualmente la información contenida en los estudios sobre la geología de las planchas 190 Chiquinquirá y 191 Tunja.

Fase II. Geología de superficie e información minera

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Sobre las áreas de interés, se realizó la recopilación y corrección de información geológica y minera a escalas 1:10.000, 1:25.000, 1:100.000.
2. Levantamiento geológico del área de estudio a escala 1:10.000 que incluyó entre otros, definición de contactos, determinación de estructuras geológicas: dichas actividades tuvieron especial énfasis en la formación portadora de los carbones (Formación Guaduas).
3. Determinación de sectores con mejores expectativas, evaluación de parámetros para la definición de sitios de perforación: Vías de acceso, cobertera, Rango del carbón, reportes de mediciones de gases en las minas y de accidentalidad.
4. Localización de los pozos sobre la base de consideraciones geológicas, estructurales y técnicas.
5. Elaboración de columnas estratigráficas en los sectores de interés donde se adelantaron las perforaciones para mediciones de contenidos de gas metano.
6. Realización de cortes geológicos soportados con información obtenida en superficie, labores mineras actuales y perforaciones.
7. Cálculo de recursos y reservas, a partir de la elaboración de mapas de contornos estructurales de acuerdo con los parámetros establecidos por el Sistema de Clasificación ECOCARBON 1995, El Servicio Geológico de Los Estados Unidos en (Wood et al, 2003) y de acuerdo al análisis realizado para la

exploración de este tipo de recurso que incluyó información de labores mineras y las normatividad sobre exploración y explotación de Gas Metano Asociado al Carbón por parte del Ministerio de Minas y Energía.

Fase III. Geología del subsuelo

- Realización de perforaciones, con el fin de precisar estructuras, la ubicación y características de los mantos y de la litología en general de las áreas de interés, obtención de las muestras y corazones sobre los que se determinará el contenido de gas.

Fase IV. Prueba piloto

A partir de las perforaciones realizadas se obtuvieron las muestras sobre las que se determinó el contenido de gas para evaluar posteriormente el potencial, en donde se desarrollaron actividades como:

- Descripción de núcleos
- Muestreo para análisis próximos, reflectancia de la vitrinita y contenido de gas.
- Mediciones de contenidos de gas metano en los mantos de carbón
- Registros eléctricos y de Temperatura.
- Análisis de la información obtenida, de acuerdo a la caracterización geológica y minera realizada, las perforaciones, las curvas de desorción, los contenidos de metano, los resultados de los análisis de laboratorio y los registros eléctricos.

Fase V. Informe

Cuyo contenido describe las actividades realizadas para la estimación del potencial de gas metano asociado al carbón en el sector de interés.

La fase V de desarrollo, corresponde a la realización de proyectos para aprovechamiento de gas metano en los mantos de carbón, que el interesado deberá adelantar.

3. EXPLORACIÓN DE GMAC

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Localización y extensión del área de estudio

El área de estudio corresponde al área carbonífera 706 y 801 denominada Checua-Lenguazaque que forma parte de las zonas carboníferas 7 Cundinamarca y 8 Boyacá (Ingeominas, 2004), localizada en la cordillera oriental, al noreste de la ciudad de Bogotá. Para el presente trabajo se seleccionó un área que cubre 200 km² que comprende los municipios de Guachetá, Ráquira y Samacá. (ver Figura 2) enmarcada dentro de las siguientes coordenadas (ver Tabla1):

Tabla 1. Coordenadas área de estudio Checua - Lenguazaque.

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1.044.984,000	1.089.923,000
2	1.048.327,000	1.094.031,000
3	1.054.643,000	1.099.488,000
4	1.059.728,000	1.102.984,000
5	1.066.356,000	1.096.676,000
6	1.060.120,000	1.090.535,000
7	1.051.021,000	1.082.984,000

Esta área se encuentra delimitada dentro de las planchas del IGAC a escala 1:10.000, referenciadas a continuación: 190-IV-B-1, 190-IV-B-2, 190-IV-B-3, 190-IV-B-4, 190-IV-D-2, 190-II-D-4, 191-III-A-1, 191-III-A-3, 191-I-C-3, 190-IV-D-1, 190-IV-D-3.

Del estudio del área general, se establecieron dos sectores de interés para adelantar las perforaciones con las cuales se obtuvieron mediciones de contenidos de gas metano, estos sectores se denominaron de sur a norte del área: El Santuario (ver Tabla 2, Figura 3) y Loma Redonda (ver Tabla 3, Figura 3).

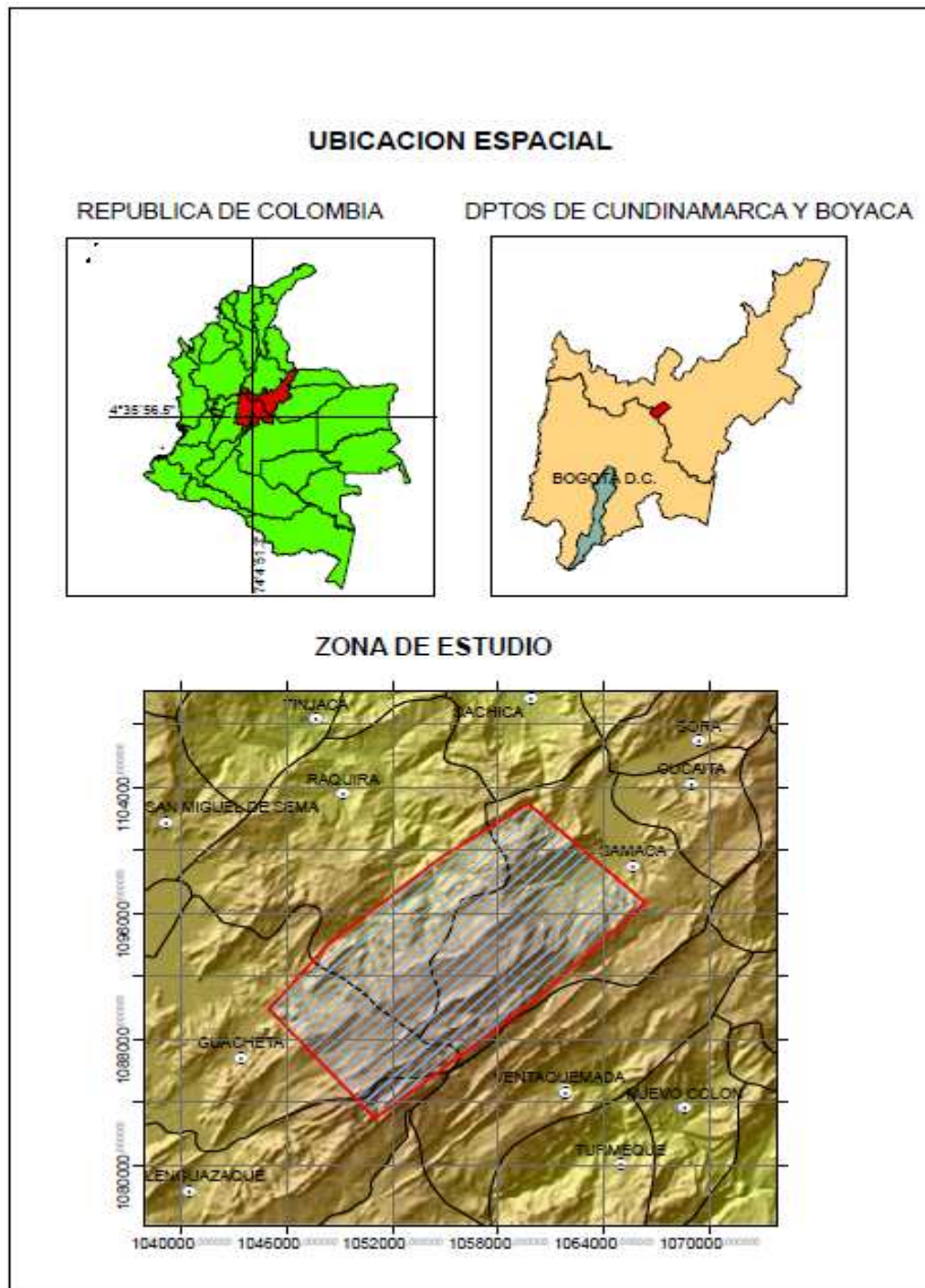


Figura 2. Localización área de estudio.

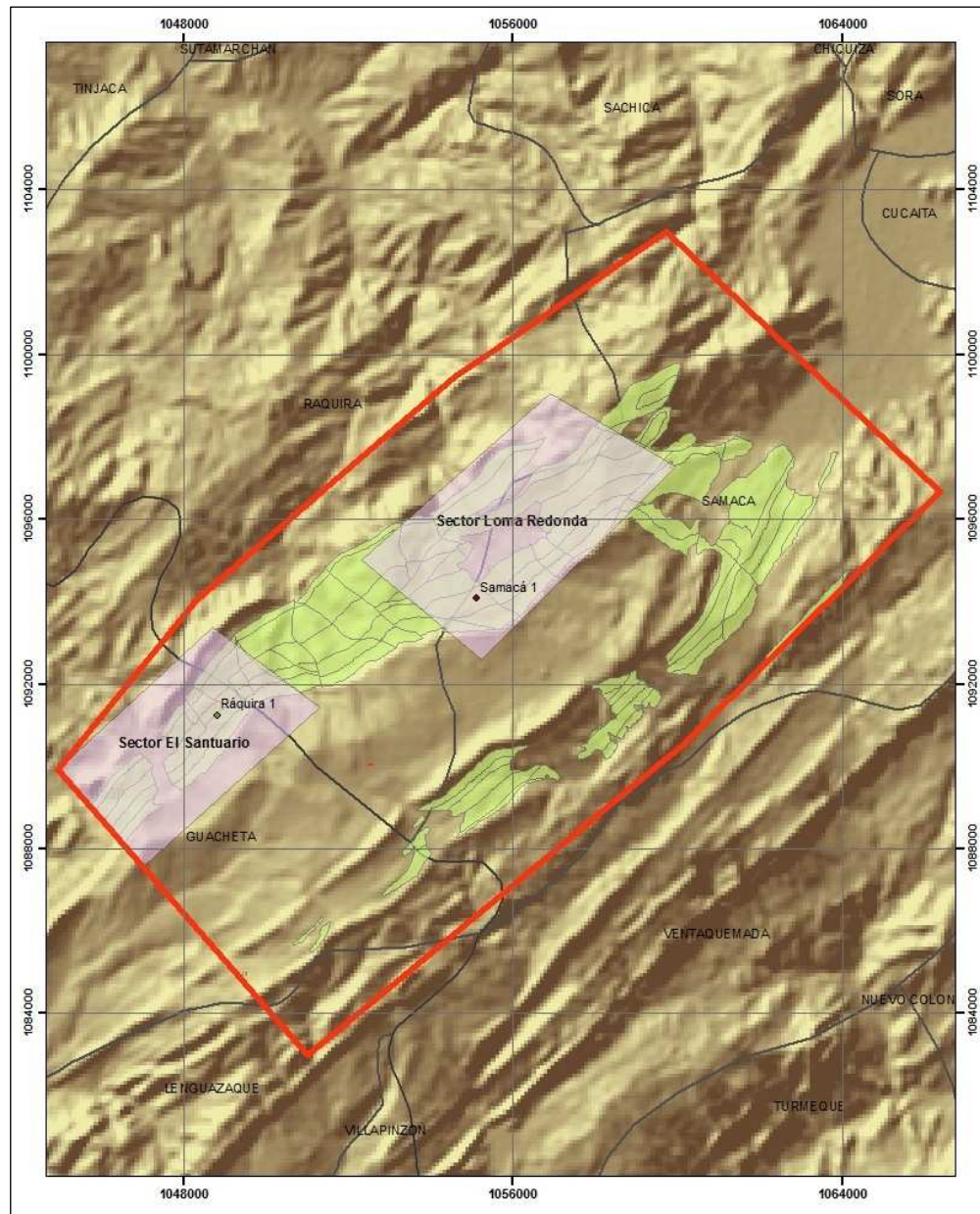


Figura 3. Localización sectores de interés GMAC y perforaciones.

El área del sector El Santuario, corresponde a 17 km² y está delimitada por las siguientes coordenadas:

Tabla 2. Coordenadas Sector GMAC El Santuario.

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1.044.986,000	1.089.925,000
2	1.048.729,000	1.093.386,000
3	1.051.328,000	1.091.429,000
4	1.047.040,000	1.087.561,000

El segundo sector de análisis, identificado como Loma Redonda Central, posee un área de 22.72 Km², y está definido por las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Coordenadas Sector GMAC Loma Redonda.

PUNTO	ESTE	NORTE
1	1052331,000	1095012,000
2	1056914,000	1099068,000
3	1059951,000	1097296,000
4	1055250,000	1092606,000

3.1.2 Vías de comunicación

Para acceder a la zona de estudio en general, se cuenta con vías como las carreteras: Bogotá-Zipacquirá- Ubaté-Guachetá, Ubaté-Guachetá-Samacá, o la vía que de Bogotá conduce al Puente de Boyacá, para luego tomar la carreta que va a Samacá. En este mismo sentido, se puede tomar la vía Bogotá-Puente de Boyacá-El Desaguadero, pasando por la vía que conduce a Tunja, Villa de Leiva y Chiquinquirá.

3.1.3 Clima y Vegetación

En general los municipios que conforman la zona de estudio, poseen temperaturas medias entre los 12 a 17 °C, con alturas que oscilan entre 2100 msnm a 3600 m.s.n.m, definiéndose un relieve de tipo plano a montañoso.

El clima, corresponde a zonas climáticas entre templadas a frías y de Páramo. Se presenta un comportamiento bimodal de la precipitación, presentándose máximos valores durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre y mínimos en enero y febrero.

Existen zonas de páramo establecidas como el de Rabanal, ubicado entre los municipios de interés. En el municipio de Ráquira además, existen zonas de reserva natural como “El Chaute” o Robledal.

Teniendo en cuenta las características de la zona, se encuentra vegetación con especies foráneas (pinos y acacias), en pequeños sectores vegetación arbustiva de tipo xerofítica, bosque secundario o matorrales, pastos, especies nativas como: el encenillo, las orquídeas, los tunos, el agras, la uva camarona, vegetación herbácea, cultivos de alta montaña, entre otros.

Hacia Samacá, se tiene: eucaliptos, pinos, alisos, sauces, urapanes, arrayanes, mortiños, cucharos, encenillos, gaques, fique, borrachero, nogal, ciprés, espino, plantas frutales, aromáticas y medicinales.

En el municipio de Guachetá, sobresale la vegetación nativa, el bosque de galería, bosques plantados con fines agrícolas, comerciales y forestales.

3.1.4 Hidrografía

La red hidrográfica principal hacia el municipio de Samacá, la compone principalmente, el río Teatinos que nace en el páramo del mismo nombre y forma parte de la laguna llamada Laguna Verde, el río Gachaneca o Samacá, que nace en los pantanos de la Bolsa hasta llevar sus aguas al río Moniquirá. Este sistema hídrico se complementa con la presencia de otras fuentes de interés como las quebradas: El Mineral, Churuvita, El Ancón, Juntas, Honda, Tintoque, Churuvita, Alcalá, Ranchería, Chorrerilla, Pedregal, Los Cerritos, Los Ajíes, Las Cruces, El Chulo, El Venado, Tintoque, Mana de Riaño, Quebrada Grande, El Puerto, El Laurel, El Venado, etc.

El municipio de Ráquira, cuenta con la presencia de fuentes hídricas como los ríos Gachaneca, Dulce, laguna de Confites. Hacia el sur de la zona de estudio, se encuentra parte del municipio de Guachetá, el cual forma parte de la cuenca de la Laguna de Fúquene. Los municipios de Samacá y Ráquira, pertenece a la cuenca de drenaje del Río Moniquirá, drenada principalmente por el río Gachaneca y Sutamarchán conformando las subcuencas del mismo nombre.

3.1.5 Hidrogeología

La presencia de cuerpos de agua subterráneos, como los acuíferos, en una zona de exploración de GMAC, incide en la retención de este recurso al estar confinado por el agua, la liberación de la presión confinante permite a su vez el flujo del mismo para su aprovechamiento. El estudio del comportamiento geológico de los acuíferos presentes por encima o por debajo de las capas de carbón, el conocimiento de los sitios de recarga, entre otros, permite definir mejor el planeamiento de un proyecto de GMAC, ya que dependiendo de esto, se debe manejar en un principio grandes volúmenes de agua antes de obtener los volúmenes de gas esperados.

A continuación se mencionan de forma general algunos aspectos hidrogeológicos de la zona de estudio, ya que no se cuenta con estudios

detallados que permitan precisar el modelo hidrogeológico característico en la misma. Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona de estudio pertenece a la Provincia Hidrogeológica Andina (Ingeominas, 2003), en donde los valles y las mesetas son los grandes centros de almacenamiento de agua tanto superficial como subterránea y en donde se han identificado las siguientes unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio:

La Formación Cacho E1c. Corresponde a un sistema acuífero de extensión regional, confinado, continuo (Sistema acuífero Paleógeno), con una capacidad específica baja (0.1-0.5 l/s/m) compuesto por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso y conglomeráticas y delgadas capas de arcillolitas.

Las zonas de recarga están conformadas por agua lluvia y en menor proporción por las corrientes superficiales que discurren por las pendientes empinadas que conforman estos materiales.

La Formación Guaduas, unidad portadora de carbones, se constituye en un acuífero confinante del Cretácico, clasificada como un acuitardo, teniendo en cuenta su composición litológica, de arcillolitas no permeables, con solo algunos niveles de arenisca, que presentan algún grado de permeabilidad.

Los depósitos aluviales (Qal), hacia el norte de la zona de estudio, corresponden a acuíferos discontinuos de carácter local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados que desarrollan acuíferos libres; por sus características han sido clasificados como Acuíferos de baja productividad, con una capacidad específica entre 0.05 a 1.0 l/s/m.

De acuerdo a lo anteriormente citado, se tiene que las condiciones sobre la influencia del agua subterránea en cuanto a la retención del gas metano pueden ser favorables en la zona de estudio, ya que se cuenta con unidades suprayacentes correspondientes a acuíferos como la Formación Cacho que podría estar facilitando la retención del gas en la formación portadora de los carbones, lo cual se constituye en factor de interés en el desarrollo del proyecto. Sin embargo, es importante mencionar la necesidad de adelantar estudios hidrogeológicos en las zonas de interés para GMAC, que puedan aportar toda la información necesaria al momento de realizar el análisis correspondiente a la viabilidad de un proyecto de estas particularidades.

3.1.6. Población

La zona de estudio, está ubicada en el extremo nororiental del departamento de Cundinamarca, comprende los municipios de: Guachetá, Ráquira y Samacá. El primero de ellos, forma parte de las poblaciones que conforman la provincia de Ubaté, el segundo, forma parte de la provincia de Ricaurte del departamento de Boyacá, Samacá, pertenece a la provincia centro del mismo.

De acuerdo al censo Dane, 2005, la población del Municipio de Samacá corresponde a 17614 habitantes, la de Guachetá a 12375 y la de Ráquira a 12.522, consolidando entre los tres un total de 42.511 habitantes.

3.1.7 Economía

La base de la economía de los municipios que conforman el área de estudio, la representan actividades como: la ganadería, la agricultura, predominando las tierras de pastos; los cultivos más representativos son: papa, arveja, zanahoria, maíz, trigo, cebada, habas, nabos, arracacha, cebolla, remolacha, tomate, frijól, etc; igualmente, sobresale la minería del carbón, producción de coque, explotación de arcillas y arenas entre otros y de otra parte, las artesanías, el turismo, el comercio, el transporte de pasajeros y de carga, la electromecánica y la industria textil.

3.2 GEOLOGÍA

En el área carbonífera Checua-Lenguazaque, afloran rocas de origen sedimentario con edades Cretácico y Paleógeno, como las Formaciones Areniscas de Chiquinquirá, Simijaca, Frontera, Conejo, Lidita Superior, Plaeners, Labor-Tierna, Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y Cuaternario como los depósitos de origen Fluvioglacial, Aluvial y Coluvial.

Como referencia de la cartografía presentada para el área de interés, se trabajó con base en la geología del estudio de Normalización de reservas de Cundinamarca y Boyacá (Ecocarbón, 1997) en escala 1:10.000 y las planchas 191 Tunja (Ingeominas, 1998) y 190 Chiquinquirá (Ingeominas, 2005) en escala 1:100.000.

En general, las rocas que forman parte de las formaciones geológicas identificadas en la zona de estudio, fueron depositadas en ambientes someros de frente de playa (Areniscas de Chiquinquirá), marinos profundos (Formación Frontera, Lidita Superior), de plataforma profunda a media (Formación Conejo), de plataforma externa a media (Formación Plaeners), de isla de barrera (Formación Labor – Tierna) hasta de laguna costera (Formación Guaduas); luego de estos eventos de depositación, se desarrollaron procesos sedimentarios continentales asociados a medios fluviales de ríos y llanuras aluviales y de inundación (Formaciones Cacho, Bogotá, Regadera) seguidos de la acumulación de rocas provenientes de estas formaciones por efecto de la erosión que dieron origen a los depósitos cuaternarios.

3.2.1 Estratigrafía

Las unidades litológicas presentes en el área de estudio, corresponden a rocas sedimentarias desde el Cretácico Inferior al Superior, representadas por las formaciones: Simití (K_1s), Areniscas de Chiquinquirá (K_1k_2chi), Simijaca (K_2s),

Frontera (K₂f), Conejo (K₂c), Lidita Superior (K₂l), Plaeners (K₂p), Labor – Tierna (K₂t) y Guaduas (K₂E1g); hasta rocas del Paleógeno, representadas por las formaciones Cacho (E₁c), Bogotá (E₁b), Regadera (E₂r) y el cuaternario con depósitos de tipo Fluvioglacial, Aluvial y Coluvial, que se describen a continuación en orden cronológico, desde la más antigua a la más reciente (ver Mapas Geológicos 1 a 10).

3.2.1.1 Formación Simití (K₁s)

Inicialmente fue conocida como Formación San Gil, nombre dado por los Geólogos de Intercol, 1953, según Morales et al. 1958, (en Julivert, 1968).

La unidad, de acuerdo a la sección levantada por Etayo (1968) entre el municipio de Sáchica y el Puente de Samacá, está constituida por arcillolitas arenosas abigarradas, con muscovita y predominio de colores rojo y amarillo debido a la presencia de óxidos, bancos de caliza de color gris, maciza y fosilífera, con delgadas intercalaciones de arenisca de color gris con presencia de yeso y muscovita, capas gruesas de arenisca cuarzosa de color gris, grano fino con muscovita e intercalaciones de arcillolita color gris, en alternancia con calizas en capas gruesas con arcillolitas gris oscuras y areniscas arcillosas muy micáceas y oxidadas, lutitas con arenisca y caliza en capas gruesas, shales grises oscuros, con nódulos arcillosos e intercalaciones de calcoarenitas. El espesor registrado en la sección es de 1150 m.

La edad considerada para la Formación Simití, de acuerdo a Etayo (1968) y Burgl (1954) estaría entre el Aptiano superior y el Albiano superior.

3.2.1.2 Areniscas de Chiquinquirá (K₁K₂chi)

Nombre asignado por Etayo (1968) a la unidad litológica que aflora en la plancha 191-Tunja y que es infrayacida por la Formación San Gil Superior y suprayacida por la Formación San Rafael. La sección tipo está ubicada entre Sáchica y Puente Samacá con un espesor de 323m. En este sitio la unidad fue dividida en tres segmentos; el segmento A, constituido por bancos gruesos de areniscas con intercalaciones de arcillolitas y limolitas. El segmento B, se caracteriza por la presencia de bancos lumaquéllicos con intercalaciones de capas gruesas de lutitas y areniscas. El segmento C, lo constituyen bancos macizos de areniscas, arcillolitas y limolitas calcáreas.

En la plancha 190-Chiquinquirá la Formación Churuvita tal como la definió Etayo (1968) se encuentra aflorando en el extremo noreste. Ulloa y Rodríguez (1991) le asignan el nombre de Areniscas de Chiquinquirá a la prolongación cartográfica de esta unidad hacia el sur, separándola por un cambio de facies y considerando como sección tipo los afloramientos que aparecen sobre la

carretera Sutamarchán-Chiquinquirá donde levantaron una columna estratigráfica compuesta por cinco segmentos con un espesor de 337m y donde el 95% de la litología se encontró cubierta.

3.2.1.3 Formación Simijaca (K₂s)

El nombre de esta unidad fue propuesto por Ulloa & Rodríguez (1991) para referirse a una secuencia de lutitas y limolitas, de color gris oscuro, localizadas entre la unidad denominada “Areniscas de Chiquinquirá” y la Formación La Frontera. La Formación Simijaca fue medida por estos autores en la Quebrada Don Lope, al sur de Simijaca y se correlaciona con el segmento A de la Formación San Rafael.

Morfológicamente y en toda su extensión, la Formación Simijaca forma un valle angosto debido a que las unidades circundantes forman prominentes escarpes quedando esta unidad blanda en el intermedio.

La Formación Simijaca se encuentra suprayaciendo las areniscas de la Formación Churuvita, en contacto neto y concordante. El límite superior está marcado por el cambio de las lodolitas negras de la Formación Simijaca a las limolitas silíceas de la Formación La Frontera en contacto neto concordante.

El espesor de la Formación, de acuerdo a lo reportado por José Osorno, en la plancha 209, corresponde a 107 m, en una sección estratigráfica levantada en la vereda Apartadero (Ubaté).

La edad que se le ha asignado a la Formación Simijaca es Turoniano, la misma que Etayo (1968) le dio al segmento A de la Formación San Rafael. En el anexo 2 aparecen fósiles de esta unidad.

3.2.1.4 Formación La Frontera (K₂f)

El término de La Frontera fue utilizado por Burgl (1961c), Burgl & Dumit (1954) y Hubach (1957b) en la región de Bogotá para referirse a la parte más alta del Turoniano y más inferior del Cenomaniano (Julivert, 1968). Posteriormente Cáceres y Etayo (1969) lo elevan al rango de formación en trabajos realizados en la región de Apulo. Este mismo nombre se ha venido extendiendo para la región de la Sabana de Bogotá y aún más hacia el norte.

El espesor para esta Formación, de acuerdo a lo reportado en la Plancha 190-Chiquinquirá es de 35m.

La Formación La Frontera está constituida por una secuencia de limolitas silíceas, y presenta siempre una morfología de pequeños montículos alargados que se pueden seguir fácilmente en toda su extensión.

3.2.1.5 Formación Conejo (K₂c)

Nombre dado por Renzoni (1967) a una secuencia de shale de color gris oscuro a amarillento con algunas intercalaciones de arenisca, cuya sección tipo se localiza en el camino que se desprende del carretable Oicatá – Chivatá que conduce a la vereda San Rafael y que bordea el alto de El Conejo; la cual fue dividida por Etayo (1968b), en tres conjuntos A, B, C en el sector Sáchica-Tunja.

La Formación Conejo en la plancha 209 Zipaquirá (Montoya y Reyes, 2005), corresponde a un conjunto arcilloso arenoso que aflora en la parte central de la Cordillera Oriental, (occidente del río Bogotá y río Tunjuelito), en los anticlinales de Zipaquirá, Nemocón y Tabio y que descansa sobre la Formación La Frontera.

En el área de Simijaca tiene un espesor de 1.270 m y está constituida en su parte inferior por lutitas de color gris oscuro a negro, con delgadas intercalaciones de limolitas micáceas ferruginosas y areniscas arcillosas, a veces cuarzosas, de grano fino a medio, de color blanco y rojizo, estratificadas con niveles fosilíferos; la parte media consta de lutitas de color gris oscuro o negro, con intercalaciones de areniscas arcillosas, de grano fino, de color gris oscuro, estratificación gruesa, con frecuentes concreciones arcillosas y ferruginosas. El techo de la formación consiste en una alternancia de areniscas arcillosas, de grano fino a medio, de color pardo a amarillento, arcillolitas y lutitas de color gris oscuro, de color amarillo, con presencia de moscovita.

De acuerdo a lo registrado en la carretera Ubaté-Carmen de Carupa y los alrededores de Lenguazaque por Montoya & Reyes (2005), el espesor de esta formación es de 848 m. En el área de estudio el espesor de la Formación se encuentra entre 700 y 800 m., teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia.

La edad asignada a la Formación Conejo según Etayo (1968) abarca desde el Coniaciano al Santoniano en parte (RENZONI, 1967, en ULLOA y RODRIGUEZ, 1991). En la plancha 209 (Zipaquirá) por Montoya y Reyes (2003), se tiene que la Formación Conejo es de edad Turoniano *pars* a Santoniano a través de determinaciones de amonitas.

3.2.1.6 Formación Lidita Superior (K₂l)

De Porta (1965), redefine el Grupo Olini y mantiene el sentido dado por Petters (1954); lo subdivide en tres niveles, La Lidita Inferior, un nivel de lutitas y la Lidita Superior. Para De Porta (1965), la Lidita Superior está constituida por capas de chert que alternan con lutitas y shales; los chert están representados por porcelanitas y chert carbonáceos y son comunes foraminíferos bentónicos.

Montoya y Reyes (2003), reportan, en la posición estratigráfica de la Formación Arenisca Dura, una secuencia lidítica que se extiende desde las Lagunas de Neusa y Suesca en dirección NE y que había sido denominada por Renzoni (1981), como Formación Plaeners en la región de Villa de Leyva pero es claro que esta secuencia lidítica se encuentra por debajo de la Formación Plaeners. Por lo anterior se acoge para esta secuencia lidítica la denominación Lidita Superior (Montoya y Reyes, 2003), en el sentido dado por De Porta (1965).

En la Sabana de Bogotá, esta unidad aflora en la parte norte en los flancos de los anticlinales de Tausa, Guachaneca, Chocontá y Ventaquemada, se caracteriza por ser una sucesión silíceas con foraminíferos bentónicos (siphogenerinoides) que genera una morfología abrupta.

El espesor de esta Formación, de acuerdo a lo reportado en la Plancha 190 Chiquinquirá, es de 72 m, correspondiente a una sección levantada sobre la carretera que de la vereda Gachaneca conduce al sector donde se localizan las minas de carbón. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 190m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia.

Follmi et al. (1992) con amonitas, asigna para la Formación Plaeners una edad Campaniano Tardío, por lo tanto la Formación Lidita Superior se restringe al Campaniano temprano. De acuerdo con Montoya y Reyes (2005) la edad para la Formación Lidita Superior es Campaniano Inferior.

3.2.1.7 Formación Plaeners (K₂p)

Julivert (1962a, 1962b, 1963a 1968), la denominó Nivel de Plaeners dentro de lo llamado Formación Guadalupe. Renzoni (1962, 1968), en los trabajos de la Sabana de Bogotá el rango de Formación Plaeners. Pérez y Salazar (1978) redefinen esta formación propuesta por Hubach (1931) que aflora en el Alto del Cable, por el camino de la Estación de La Cuchilla, al norte de Usaquén y que está constituida por interestratificaciones delgadas de limolitas silíceas fracturadas, porcelanitas y arcillolitas silíceas.

En la zona de Tausa, está representada por arcillolitas negras, bancos de arcillolitas con intercalaciones de capas medias y gruesas de limolitas silíceas y lodolitas arenosas con abundancia de foraminíferos bentónicos; suprayaciendo intercalaciones de chert y liditas, limolitas silíceas y areniscas de grano muy fino, los foraminíferos bentónicos son comunes hasta el techo de la formación.

Con respecto al espesor de esta Formación, en la Plancha 190 Chiquinquirá, se reporta el levantamiento de una sección estratigráfica hacia el SE del municipio de Guachetá, de 223m. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 200m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia.

En la zona de estudio esta formación está representada por arcillolitas caoliníticas, de color blanco con tonalidades rojizas, en algunos sectores se evidencia la presencia de arcillolitas limosas, limolitas silíceas y lodolitas arenosas de color gris claro a amarillo con un entrecruzado, también se observan arcillolitas limosas de color gris a gris oscuro con presencia de foraminíferos bentónicos en su estructura (ver Figura 4).

El ambiente de depositación corresponde a zonas marinas de aguas tranquilas de poca profundidad, formando depósitos lodosos.

La edad datada paleontológicamente por Diana Gutiérrez es Campaniano – Maastrichtiano. De acuerdo con Folmi et al. (1992) en Vergara y Rodríguez (1997) se ha datado como Campaniano Superior a Maastrichtiano temprano.



Figura 4. Afloramiento de la Formación Plaeners, Vereda Peñas, Guachetá.

3.2.1.8 Formación Labor Tierna (K₂t)

Renzoni, G. (1968) utiliza este término para referirse conjuntamente a las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna, miembros del Grupo Guadalupe. Pérez y Salazar (1978), separa la Formación Labor y Tierna en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna. Ulloa y Rodríguez (1991), no separan claramente los miembros superiores de la Formación Guadalupe, mencionan al Miembro Los Pinos como una unidad blanda. Montoya y Reyes (2005), de acuerdo a la similitud litológica y expresión

morfológica emplean en una sola unidad a las dos formaciones Arenisca Labor y Arenisca Tierna y la denominan Arenisca de Labor-Tierna, con lo cual se está de acuerdo en este estudio.

Montoya y Reyes (2005), han registrado para esta formación un espesor de 123m en cercanías de Cucunubá. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 200m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia.

Esta formación se constituye por areniscas grano fino a muy fino intercaladas con limolitas y arcillolitas, potentes bancos de arenitas masivas silíceas, de color amarillo de grano medio, bien seleccionadas, friables, con intercalaciones de lutitas grises, niveles de limolitas silíceas y arcillolitas grises, en algunos sectores se torna blanca - amarilla competente y en algunos lugares se observa la presencia de micas con mínima presencia de restos de materia orgánica y un bajo grado de bioturbación. En la figura 5 se observa la formación arenisca Labor Tierna, la cual se encuentra estratigráficamente debajo de la formación Guaduas (ver Figura 6).

Etayo (1964) asigna la edad como Maastrichtiano medio. (Pérez y Salazar, 1978), como Maastrichtiano Inferior. Martínez (1989 en Sarmiento, 1992) reporta la zona bentónica Siphogenerinoides bramlettei, a la que considera de edad Maastrichtiano tardío. (Fúquen y Osorno, 2005) Sugieren como edad para la Formación Arenisca Tierna el Maastrichtiano medio.

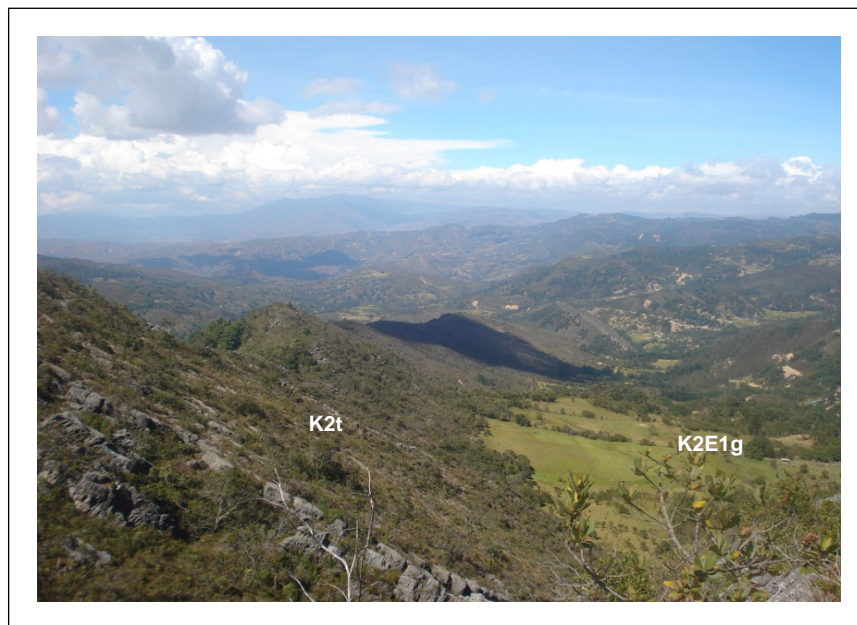


Figura 5. Afloramiento de la Formación Labor-Tierna, Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.

3.2.1.9 Formación Guaduas (K₂E_{1g})

La Formación Guaduas fue descrita originalmente por Hettner (1892, en De Porta, 1974) para referirse a una secuencia de arcillolitas varicoloreadas, areniscas, limolitas y mantos de carbón. Hubach (1931), denomina piso Guaduas a la secuencia que suprayace sobre el Grupo Guadalupe e infrayace el Horizonte del Cacho. Alvarado y Sarmiento (1944) denominaron Formación Guaduas al conjunto de estratos de areniscas y arcillolitas que contienen mantos de carbón explotables (ver Figura 6).

En la Plancha 190 Chiquinquirá, se reporta como espesor de la Formación 1.083 m, tomando como base el trabajo de Sarmiento (1992c) en los alrededores de la quebrada Portachuelo, localizada 4 Km al noreste de Guachetá.

Esta Formación está constituida por una alternancia de arcillolitas grises, amarillas o cafés, homogéneas y laminadas, arenitas cuarzosas blancas a amarillentas de grano fino a grueso, friables e intercalaciones de limolitas silíceas y carbonosas. En el área del Sinclinal de Checua Lenguazaque, Nigrinis (1975) la subdivide en cinco niveles denominados K₂E_{1g}1, K₂E_{1g}2, K₂E_{1g}3, K₂E_{1g}4 y K₂E_{1g}5. La división de Nigrinis se utilizó durante el presente estudio.

- Nivel K₂E_{1g}1. Corresponde al primer nivel de la Formación Guaduas, hacia la base, constituido por arcillolitas laminares de color gris a gris claro, las cuales presentan laminación lenticular con lentes limolíticos a arenosos en la parte media y superior, hacia el techo de este nivel se observa lodolitas de color gris oscuro con presencia de materia orgánica. El espesor varía para el área de estudio de 120 a 160 m.

- Nivel K₂E_{1g}2. Está constituido hacia la base por una secuencia de areniscas de grano muy fino con intercalaciones de limolitas lodosas, hacia la parte media por una alternancia de areniscas de grano muy fino a medio de color blanco, limolitas de color gris a gris oscuro y lodolitas con presencia de materia orgánica, la parte superior presenta una secuencia de limolitas, areniscas de grano muy fino a medio y arcillolitas limosas a arcillolitas con presencia de macrorestos vegetales, materia orgánica, concreciones irregulares. Se identifican 10 capas de interés con espesores que varían entre 0.60 a 1.60 m. Este nivel también se denomina como "Arenisca de la Guía". Su espesor para la zona de estudio, tiene en promedio 250 m. En el sector Ruchical se ha identificado la parte inferior de la Arenisca la Guía, en la cual se observa replegamientos en estratos menos competentes, esto debido a los esfuerzos tectónicos que se presentan hacia la zona del cierre del sinclinal Checua-Lenguazaque (ver figura 7).

Este nivel se considera el de mayor importancia por ser el que contiene los carbones de más alto rango.

- Nivel K_2E_1g3 . Hacia la base se constituye de arcillolitas de color gris a gris oscuro, con presencia de láminas de carbón, restos de materia orgánica, macrorestos vegetales, arcillolitas de color gris claro con manchas rojizas y esferulitas, arcillolita limosa de color gris a gris oscuro, limolitas con láminas de arenisca de grano muy fino y areniscas de grano muy fino a medio. Hacia la parte media, arcillolitas de color gris a gris claro con intercalaciones de limolitas de color pardo, arcillolitas de color gris claro con presencia de óxidos y materia orgánica dispersa, presencia de concreciones de siderita y hacia el techo arcillolitas, arcillolitas carbonosas, arcillolitas limosa con presencia de esferulitas, limolitas, concreciones, macrorestos vegetales, mantos y cintas de carbón. Su espesor varía entre 200 a 250 m. En la zona de estudio se trabajan hasta 6 mantos de carbón con espesores entre 0.60 a 2.70 m.

- Nivel K_2E_1g4 . En este nivel se han identificado hacia la base de 6 a 8 paquetes de arenisca de grano fino en capas medias a muy gruesas, con lodolitas limosas, areniscas limosas de color verde con presencia de esferulitas y limolitas, hacia la parte media, se presentan de dos a tres paquetes arenosos y hacia el techo areniscas de grano muy fino con laminación interna inclinada, flaser de lodo, estratificación ondulosa, secuencias granodecrecientes, en alternancia con lodolitas limosas. Su espesor en el área de estudio varía entre 200 a 250 m. Se ha encontrado hacia la base de este nivel capas de carbón de hasta 0.70 m de espesor, que hacia el cierre del Sinclinal alcanzan solo 0.60m.

- Nivel K_2E_1g5 . Corresponde a la parte superior de la Formación Guaduas. Está constituido por una serie de arcillolitas varicoloreadas que alternan con limolitas con laminación plana paralela discontinua y areniscas de grano muy fino de color verde en capas gruesas. Hacia la parte inferior se observan delgadas capas de carbón muy arcillosos de hasta 0.20 m de espesor. El espesor en el área de estudio varía de 120 a 230 m.

Van Der Hammen (1957), palinológicamente asigna la edad de la Formación Guaduas como Maastrichtiano-Paleoceno. Por palinología también, Sarmiento (1992) asigna una edad Maastrichtiano superior-Paleoceno inferior.

3.2.1.10 Formación Cacho (E_1C)

De acuerdo con Hubach, (1931), se denomina Horizonte del Cacho al conjunto inferior ubicado en el Piso Bogotá, el cual tiene una naturaleza "arenisco-riposo" y está constituido por areniscas granulosas, tiernas, de colores amarillos hasta ocre o rosado, con algunos bancos de arcillas abigarradas. Juliver (1963), utiliza este nombre, asignado por la Colombian Society

Petroleum Geologists and Geophysicists (1961, en Julivert, 1963) a un conjunto de areniscas conglomeráticas de color rojizo con estratificación cruzada.



Figura 6. Formación Guaduas. Nivel productivos K2E1g2 y K2E1g3 . Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Sector Alto del Trigo.



Figura 7. Arenisca la Guía del K2E1g2 con replegamiento en la parte inferior, observada en el Sector GMAC Ruchical.

Alvarado (B.) y Sarmiento (R.), 1944, nombran esta Formación como predominantemente arenosa en capas potentes y masivas de arenitas color blanco y amarillo cuarzosas, de grano medio a grueso, friables, bandeadas, con estratificación gradada y cruzada y con algunos niveles de guijos subredondeados.

De acuerdo a lo reportado en la Plancha 190-Chiquinquirá, se registra para esta formación, un espesor de 62m, en una sección levantada en El Boquerón de Lenguazaque. Para la zona de estudio se consideró un espesor de 200m, teniendo en cuenta las planchas a escala 1:100.000 tomadas como referencia.

En la zona de estudio, se identifican areniscas friables, de color blanco amarillento, de grano medio, con buena a mala selección, en ocasiones conglomeráticas, con areniscas de grano grueso a fino, dispuestas en capas gruesas, con algunas capas delgadas de arcillolitas, presencia de lentes de arcillolita de color gris y laminación cruzada (ver Figura 8).

Según Van der Hammen (en Hubach, 1957), la edad de la Formación Cacho es Paleoceno inferior dada la presencia de *Proxapertites operculatus*. MacLaughlin & Arce (1972), asigna la edad de Paleoceno con base en paleoflora estudiada por Van der Hammen (1957). Sarmiento (1994 b) con base en los contactos le asigna como edad Paleoceno Superior.

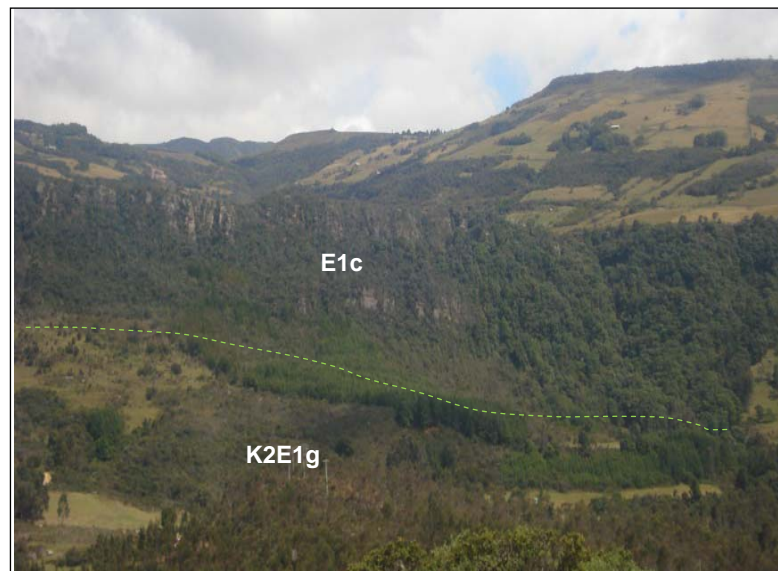


Figura 8. Contacto entre la Formación Guaduas y la Formación Cacho, flanco Occidental del Sinclinal Checua-Lenguazaque, Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.

3.2.1.11 Formación Bogotá (E₁b)

Hubach (1931), denominó piso de Bogotá a la secuencia del terciario medio que está constituida por tres conjuntos: el inferior, es arenoso y arcilloso e incluía el Horizonte de Cacho en la parte basal; el conjunto medio, conformado por arcillolitas abigarradas entre las cuales se intercalan algunos bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas y el conjunto superior, formado por bancos de areniscas de grano grueso, blandas que alternan con arcillolitas abigarradas.

Hubach (1957a) hace una redefinición reconociendo el techo de la Formación Bogotá y separa la parte inferior de la Arenisca del Cacho elevándola al rango de formación. Julivert (1963), asigna como sección tipo de esta formación la sección ubicada en la quebrada Zo Grande (flanco occidental del Sinclinal de Usme). Alvarado (B.) y Sarmiento (R.), 1944, nombran a esta formación, como un paquete rocoso predominantemente arcillolítico, que ocasionalmente contiene láminas centimétricas de carbón.

Litológicamente está compuesta por areniscas de color amarillo y gris de grano fino a medio. El nivel superior lo conforman arcillolitas abigarradas de color amarillo, gris y violeta, presenta niveles de areniscas con estratificación cruzada. El techo de la formación lo constituyen arcillolitas de color gris y amarillo, (ver Figura 9).

En la plancha 209 Montoya y Reyes (2005) levantaron una columna estratigráfica en el Sinclinal de Checua con un espesor de 575m.

La edad asignada para esta Formación es Paleoceno, de acuerdo a muestras palinológicas analizadas por Van der Hammen (1957). Van der Hammen (en Hubach, 1957) por análisis de fauna considera como edad el Paleoceno, Hubach (1957) le asigna una edad Paleoceno tardío y posiblemente Eoceno?, Hoorn (1988) determina una edad Paleoceno Superior Eoceno Inferior.

3.2.1.12 Formación Regadera (E₂r)

Hubach (1957), reconoce esta unidad como miembro basal de la Formación Usme. Julivert (1963) llama Formación Regadera a la parte baja de la Formación Usme definida por Hubach (1957), constituida por areniscas no consolidadas de grano grueso y capas de conglomerados que alternan con arcillolitas de color rosado y rojizo, que suprayacen a la Formación Bogotá.

De acuerdo a Julivert (1963), reporta en la sección tipo un espesor de 400m.

En la zona de estudio se observan areniscas de color blanco a amarillo oscuro, friables, de grano medio a fino en capas medias con arcillolitas de color gris, presencia de costras de óxido y pirita (ver Figura 9).

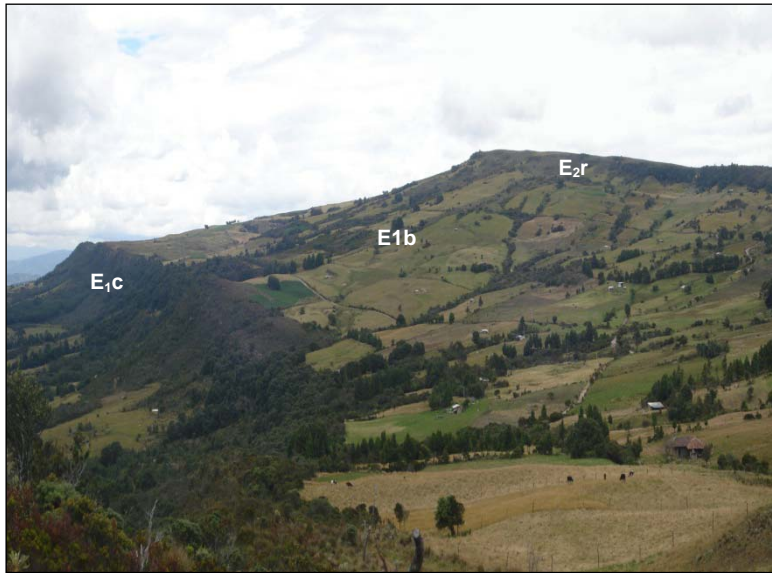


Figura 9. Expresión morfológica de la Formación Bogotá con respecto a las formaciones infra y suprayacentes, en el flanco occidental del Sinclinal Checua-Lenguazaque, Ráquira.

La edad asignada para esta formación por Van der Hammen (1957) con base en correlaciones hechas entre esta unidad y la parte más superior de la Formación Mirador en la región de Catatumbo es Eoceno Medio que coincide con Hoorn et al. (1987) el cual asigna la edad basado en datos palinológicos.

3.2.1.13 Depósito Fluvioglacial (Qfg)

Constituido por capas muy gruesas con bloques y fragmentos subangulares de areniscas de grano fino a medio envueltos en una matriz arcillosa a arenosa, clastosoportadas y localmente imbricados. Forman abanicos, con longitud larga, laderas rectas, convexas e inclinadas (Carvajal, 2005), (ver Figura 10).

3.2.1.14 Depósitos Aluviales (Qal)

Son depósitos que se caracterizan por la acumulación de material de arrastre originado por sedimentos de ríos y lagunas, el cual varía en tamaño y composición siendo los fragmentos subredondeados y subesféricos. Se destaca esta unidad hacia el municipio de Samacá, en el cierre de la estructura sinclinal (ver Figura 11).



Figura 10. Depósito Fluvioglacial, vía a Samacá, Troncal del carbón. Vereda Fitrita Peña Arriba, Ráquira.



Figura 11. Depósito Aluvial, que forma el valle donde se localiza el municipio de Samacá.

3.2.2 Tectónica

La zona de estudio, forma parte de la Cordillera Oriental, donde se observan fuertes plegamientos que forman anticlinales y sinclinales a gran y pequeña escala; así como fallamientos de la secuencia cretácico-terciaria, como producto

de la acción de los esfuerzos de tipo compresivo a que ha sido sometida. Los nombres de las estructuras han sido retomados de los que se mencionan en el estudio de Normalización de Cundinamarca y Boyacá (Ecocarbón, 1997) y de las planchas 190 Chiquinquirá y 190 Tunja.

Los principales rasgos estructurales del área los constituyen amplios sinclinales de tectónica relativamente sencilla, con buena continuidad, con el núcleo ocupado por rocas del Paleógeno, entre estos se destaca el sinclinal de Checua-Lenguazaque, fallas de tipo inverso como las fallas de: Gachaneca-Tintoque-Cucunubá, Salamanca, Quebrada Grande, Loma Redonda, El Mineral; fallas transversales, de rumbo, con pequeños desplazamientos tanto en la horizontal como en la vertical que interrumpen la continuidad de los estratos en diferentes bloques, entre estas cabe mencionar la Falla El Portachuelo, El Pajonal.

La principal estructura en el área de estudio, es el sinclinal Checua-Lenguazaque, de carácter regional, caracterizado por presentar en el flanco oriental buzamientos con ángulos que oscilan entre 15° a 85° e incluso invertidos hacia el sur de la zona, mientras que en el flanco occidental se aprecian ángulos entre 10° a 70°.

3.2.2.1 Pliegues

Sinclinal Checua Lenguazaque. Es la estructura regional, predominante en la zona de estudio, de tipo asimétrico, con orientación NE- SW. El núcleo de este, está conformado por las Formaciones Bogotá y Regadera. Los buzamientos hacia el flanco Oriental son más suaves que hacia el flanco Occidental, presentándose en el primero de ellos inversiones de los estratos por influencia de la Falla Cucunubá, Tintoque-Gachaneca y escasa a nula actividad minera, con disminución en el espesor de las capas (ver Figura 12, 13 y 14). En el flanco Occidental se identifican varios sistemas de plegamiento a diferentes escalas que interrumpen la continuidad de las capas, presentando igualmente sectores de aumento de espesor en las capas.

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

Anticlinal de Gachaneca. Este pliegue está localizado hacia el sur-este de la zona de estudio, con inversiones de estratos debido a su ubicación con respecto a las fallas de Cucunubá y de Samacá - Tintoque. En el núcleo de este anticlinal aflora la Formación Conejo y en sus flancos las formaciones Lidita Superior, Plaeners y Labor-Tierna. Esta estructura es buzante al Nor-Este.

Anticlinal del Consumidero. Estructura que presenta una orientación NE – SW, conformado por rocas de la Formación Labor y Tierna, localizado entre los municipios de Ventaquemada y Samacá.

Anticlinal Quebrada Grande. Estructura con dirección NE-SW. Está conformado por rocas de la Formación Bogotá y afectado por las fallas de tipo inverso Quebrada Burras y Quebrada Grande. Hacia el NE su eje se ve truncado por la presencia de la Falla Quebrada Burras.



Figura 12. Núcleo Sinclinal Checua-Lenguazaque, compuesto por las formaciones Cacho y Bogotá. Municipio de Samacá.

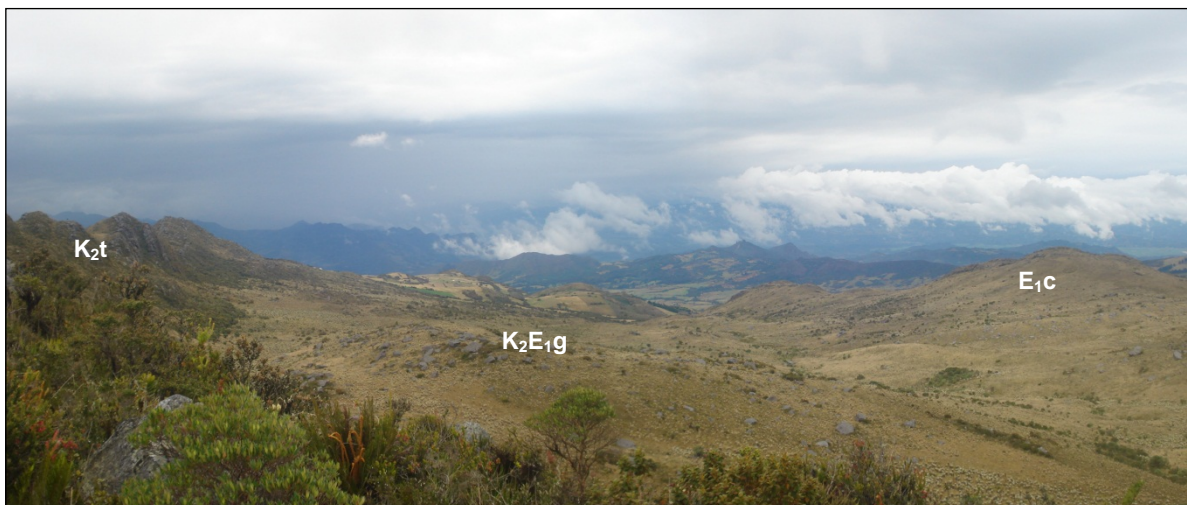


Figura 13. Flanco oriental, Sinclinal Checua-Lenguazaque hacia el sur de la zona de estudio, Vereda San Antonio, Guachetá.

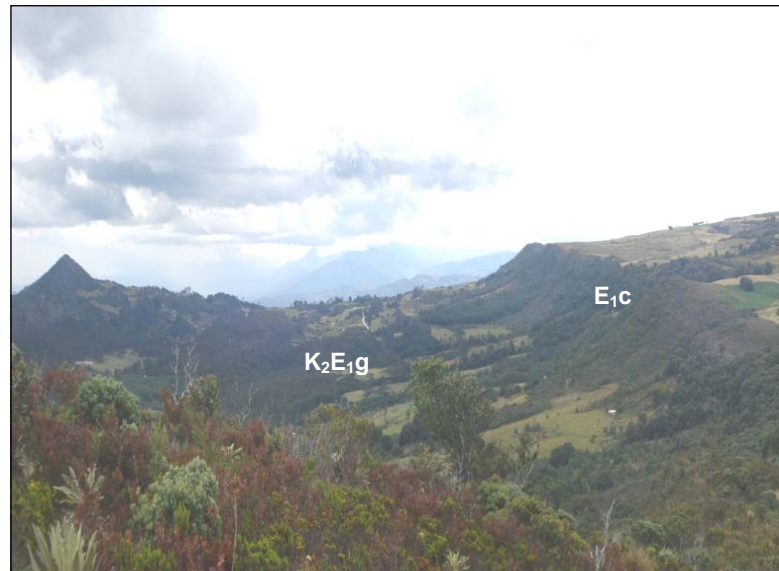


Figura 14. Flanco Occidental, Sinclinal Checua-Lenguazaque. Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.

Anticlinal Loma Gorda. Posee una dirección NE, atraviesa la formación Arenisca Tierna (K_2t) y es afectado por la Falla El Ancón en la parte sur, ya que desplaza su núcleo y flanco oriental hacia el E, aproximadamente 500 m.

Anticlinal de Salamanca. Tiene su origen en la Falla Mina Samacá, con rumbo NE, pasando por los niveles K_2E_{1g5} , K_2E_{1g4} y K_2E_{1g3} de la Formación Guaduas (K_2E_{1g}), en los cuales se observa un adelgazamiento del flanco occidental.

Anticlinal de Samacá. Esta estructura presenta rumbo NE, con incidencia en las formaciones Plaeners (K_2p), Lidita Superior (K_2l) y Conejo (K_2c), este anticlinal es afectado por la Falla El Gacal, la cual desplaza el núcleo y el flanco oriental de dicho anticlinal 500 a 1000 m aproximadamente.

Pliegues Menores

Debido a la fuerte influencia de la tectónica en la zona de estudio que como se ha mencionado aumenta su complejidad hacia el norte, se ha identificado tanto en trabajos de minería como en afloramientos, la existencia de pliegues a menor escala de acuerdo a la acción de fuerzas de tensión en períodos largos y continuos, que se disponen en una secuencia de anticlinales y sinclinales, que afectan principalmente los materiales blandos de la Formación Guaduas, ocasionando entre otras de forma local aumento de espesores y repetición de capas (ver figuras 15 y 16).



Figura 15. Replegamientos estratos de la Formación Guaduas, vía Samacá.



Figura 16. Replegamientos estratos de la Formación Guaduas, vía Samacá.

3.2.2.2 Fallas

Falla de Cucunubá. Es una falla de tipo inverso, con el Bloque Oriental levantado por encima del Occidental, lleva una dirección N35°E con buzamiento hacia el SE, mantiene su continuidad hacia el norte. Esta falla pone en contacto rocas de la Formación Arenisca Tierna (K_{2t}) por encima de rocas del nivel K_{2E1g1} de la Formación Guaduas (K_{2E1g}) ocasionando inversión en los estratos.

Falla de Samacá-Tintoque. Falla de tipo regional e inverso de rumbo NE SW, evidenciada en el flanco oriental del sinclinal que pone en contacto la formación Arenisca Tierna (K_{2t}) y Plaeners (K_{2p}) con los niveles K_{2E1g1}, K_{2E1g2} de la Formación Guaduas, en algunos sectores el nivel K_{2E1g1} de la formación Guaduas desaparece o disminuye su espesor por su efecto.

Falla El Portachuelo. Falla de desplazamiento de rumbo sinistral con dirección NW, buza hacia el Oeste con una inclinación de 80° a 90°. Presenta un desplazamiento horizontal aproximado de 30 m; afectando principalmente los estratos que conforman la Formación Guaduas. Limita la zona de estudio al sur occidente.

Falla Laguna Verde. Falla de tipo inverso, con dirección NE- SW, que afecta rocas de la Formación Arenisca Tierna (K_{2t}), ocasionando junto con la Falla de Samacá-Tintoque, el aumento de espesor en la formación; hacia el norte afecta rocas de las formaciones Plaeners (K_{2p}), Lidita Superior (K_{2l}) y Conejo (K_{2c}). Al SW se une con la Falla de Samacá – Tintoque y al NE con la falla El Galcal.

Falla Bloque Dos. Falla de tipo inverso, con dirección NE- SW, que afecta rocas de la Formación Arenisca Tierna. Hacia el SW y NE, se une con la Falla de Samacá – Tintoque.

Falla Quebrada Grande. Falla de tipo inverso, identificada hacia el flanco oriental del Sinclinal Checua Lenguazaque, afecta la continuidad de los estratos en la formación Guaduas y en la Formación Cacho, posee un desplazamiento vertical de aproximado de 60m.

Falla Quebrada Burras. Falla de tipo inverso, localizada en el flanco oriental del Sinclinal Checua-Lenguazaque, afecta rocas de la Formación Bogotá (E_{1c}) y Formación Cacho (E_{1b}). Al norte parece ser la prolongación de la Falla de Cucunubá. Con un desplazamiento entre 50 a 100m.

Falla Alto del Trigo. Falla de rumbo sinistral con dirección NW – SE. Presenta un desplazamiento horizontal en promedio de 30 m; afectando parte de las rocas del Cretácico Superior y del Paleógeno. Hacia el Sur-Este se une con la Falla El Arrayán.

Falla El Arrayán. Falla de rumbo sinistral con dirección NE – SE. Presenta un desplazamiento horizontal en promedio de 150 m; afectando la Formación Guaduas. Hacia el Nor-Este, se une con la Falla Pajonal.

Falla Pajonal. Falla de rumbo dextral con dirección NW-SE, que afecta principalmente las rocas de la Formación Guaduas en el flanco Occidental del Sinclinal Checua Lenguazaque, con desplazamiento en la horizontal de hasta 100m. Hacia el Nor-Oeste, se une con la Falla La Fiera.

Falla la Fiera. Falla de rumbo sinistral con dirección NW-SE. Presenta un desplazamiento horizontal aproximado de 40 m; afectando los niveles productivos de la Formación Guaduas y las rocas que conforman las formaciones Arenisca Tierna, Plaeners y Lidita Superior.

Fallas Las Puertas. Falla de rumbo sinistral con dirección NW-SE. Presenta un desplazamiento horizontal aproximado entre 30 a 50 m; afecta rocas de la Formaciones: Guaduas, Arenisca Tierna, Plaeners y Lidita Superior.

Falla Loma Gorda. Falla de tipo inverso con dirección NE-SW, identificada hacia el flanco occidental del Sinclinal, pone en contacto los niveles $K_2E_{1g_1}$ y $K_2E_{1g_2}$, con el nivel $K_2E_{1g_3}$ de la Formación Guaduas (K_2E_{1g}), y la Formación Arenisca Tierna (K_{2t}), con los niveles $K_2E_{1g_1}$ y $K_2E_{1g_2}$. Posee un desplazamiento vertical aproximado de 250m; es afectada por la falla los Robles en la parte sur, en donde se presenta un desplazamiento aproximado de 700 m

Falla El Mineral. Falla de tipo inverso con dirección NE-SW, identificada hacia el flanco occidental del Sinclinal, afecta principalmente las capas que conforman el nivel $K_2E_{1g_2}$ de la Formación Guaduas y la Formación Arenisca Tierna K_{2t} con los niveles $K_2E_{1g_1}$ y $K_2E_{1g_2}$ de la Formación Guaduas (K_2E_{1g}), es afectada por la Falla Los Robles en la parte Sur y por la Falla El Ancón en la parte Norte. Posee un desplazamiento vertical entre 30 a 150 m.

Falla de Salamanca. Falla de tipo inverso, que afecta la continuidad de los estratos en la formación Guaduas, posee un desplazamiento aproximado de 100m.

Falla de Pedregal. Falla de tipo inverso con dirección NE-SW, la cual pone en contacto los niveles de la Formación Guaduas $K_2E_{1g_4}$ con $K_2E_{1g_5}$ y $K_2E_{1g_3}$ con $K_2E_{1g_4}$, esta falla tiene su origen en el cierre del sinclinal Checua-Lenguazaque y llega a su fin hacia el norte en la Falla de Ancón (ver Figura 17).



Figura 17. Efectos de las Fallas de Ancón y Falla El Pedregal, origen de bloques dentro de la Fm Guaduas. Vereda Ruchical, municipio de Samacá.

Falla Los Buitres. Falla de rumbo sinistral presentando un desplazamiento aproximado de 50 m, afectando las formaciones Guaduas (K_2E_1g), Arenisca Tierna (K_2t), Plaeners (K_2p), Lidita Superior (K_2l) y Areniscas de Chiquinquirá (K_1K_2chi), uniéndose hacia el norte en la Falla de Confites.

Falla El Zanjón. Falla de rumbo sinistral, la cual genera un desplazamiento horizontal que varía entre 200 a 400 m, afectando los niveles $K_2E_1g_3$, $K_2E_1g_4$ y $K_2E_1g_5$ de la Formación Guaduas, interrumpiendo la continuidad de los estratos, llegando a su fin al NE al entrar en contacto con la Falla El Ancón.

Falla Los Robles. Falla de rumbo dextral, que presenta un desplazamiento horizontal promedio de 500 m, desplazando las formaciones Arenisca Tierna (K_2t) y Guaduas (K_2E_1g), llegando a su fin hacia el norte al unirse con la Falla Los Buitres.

Falla Mina Samacá. Falla de rumbo sinistral, con dirección NW-SE, la cual desplaza horizontalmente los niveles $K_2E_1g_2$, $K_2E_1g_3$ y $K_2E_1g_4$ de la Formación Guaduas entre 50 y 250 m aproximadamente.

Falla Cortaderal. Falla de tipo inverso, con dirección NE-SW, la cual atraviesa La Formación Guaduas (K_2E_1g), de sur a norte, pone en contacto la Formación Arenisca Tierna (K_2t) con la Formación Guaduas (K_2E_1g), con un desplazamiento entre 200 a 400m.

Falla El Gacal. Falla de tipo inverso, con dirección NE-SW, desplaza parte del Sinclinal de Albarracín –Tunja, afectando las Formaciones que lo componen. Esta falla se extiende desde la vereda San José del Gacal, hasta el municipio de Samacá en las veredas de El Gacal y El Abejón. Presenta desplazamientos horizontales que varían entre 500 y 1000 m aproximadamente, los cuales se evidencian en dicho sinclinal, a esta falla convergen las fallas Zamora y Matanegra, en la parte norte afecta el Anticlinal de Samacá y presenta desplazamientos horizontales en las formaciones de este anticlinal que varían entre 700 y 2000 m, esta falla converge con la Falla de Laguna Verde.

Falla El Ancón. Es una falla de tipo inverso, la cual pone en contacto la Formación Arenisca Tierna (K_2t) con el nivel $K_2E_1g_2$ de la Formación Guaduas (K_2E_1g), esta falla está en contacto con la falla el Pedregal (ver figura 17).

Falla Tres Chorros. Falla de tipo inverso con dirección NE-SW, la cual pone en contacto el nivel $K_2E_1g_3$ con el nivel $K_2E_1g_4$ de la Formación Guaduas (K_2E_1g).

Falla Confites. Está conformada por un sistema de fallas de cabalgamiento que afecta las rocas de la Formación Areniscas de Chiquinquirá y las formaciones del Cretácico Superior. Se evidencia en el área de los municipios de Ráquira y Guachetá en la zona de estudio, tiene vergencia al oriente y el rumbo general del plano de falla es NE.

Fallas Menores. A lo largo de la zona de estudio y principalmente en el flanco occidental del Sinclinal Checua Lenguazaque, se han identificado por el avance de las labores mineras varias fallas de tipo transversal y de rumbo con desplazamientos de hasta 12m, que causan pequeñas alteraciones en la continuidad de los mantos. Esta situación se incrementa hacia la parte media y norte de la zona de estudio, con mayor acentuación hacia el norte en donde se evidencia el cierre de la estructura Sinclinal (ver Figuras 18 y 19).

3.3 SECTORES EVALUADOS PARA EXPLORACION DE GMAC

La selección de las áreas más favorables para realizar el estudio de GMAC, partió del análisis efectuado al avance en el estudio de las principales zonas carboníferas del país, donde se destaca las zonas de Cundinamarca y Boyacá entre otras y que geológicamente pertenecen a la estructura denominada Sinclinal Checua –Lenguazaque, en cuyos flancos se encuentra la unidad portadora de los carbones correspondiente a la Formación Guaduas (K_2E_1g).



Figura 18. Desplazamiento de capas de carbón en el Nivel K2E1g3 Formación Guaduas, originando fallas locales de tipo normal. Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.



Figura 19. Falla local de tipo normal, identificada en un afloramiento del manto Siete Bancos, Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.

El área Checua-Lenguazaque, está conformada principalmente por el Sinclinal Checua-Lenguazaque, donde se aprecia la continuidad de los niveles carboníferos de la Formación Guaduas (K₂E₁g) en sus dos flancos, con mayor número de mantos explotados en el flanco Occidental; en el estudio de Normalización de Cundinamarca (Ecocarbón, 1997), esta área fue dividida en dos sectores en el departamento de Cundinamarca, el primero correspondiente al flanco occidental de la estructura y el segundo al flanco oriental, denominados: Sector Cogua-Sutatausa-Guacheta y Sector Guacheta-Cucunubá-Nemocón respectivamente. En el estudio adelantado en Boyacá (Ecocarbón, 1997), en el área Checua-Lenguazaque, fue identificado el Sector Samacá – Ráquira.

Para el presente estudio, se tuvo en cuenta las actividades de exploración adelantadas en los sectores Cogua - Sutatausa – Guachetá, Samacá – Ráquira y otros estudios realizados con anterioridad en esta zona, ya que el polígono de interés, cubre parte de estos, en especial la información registrada para los Bloques carboníferos: Guachetá del Sector Cogua - Sutatausa –Guachetá, zona Cundinamarca y los Bloques: Salamanca, Loma Redonda, Ruchical, Los Robles, Firita Peña Arriba, Gachaneca, Gachaneca Flanco Occidental del Sector Samacá-Ráquira, zona Boyacá.

A partir de la información recopilada en el área de trabajo, se adelantó una revisión cartográfica, en cuanto a las principales estructuras geológicas, la existencia de capas de carbón de interés en la formación portadora como lo es la formación Guaduas (K₂E₁g) y su continuidad de acuerdo a las estructuras definidas, que junto con la información obtenida sobre labores mineras y mediciones de gas metano en los frentes de mina permitió centrar el estudio en dos paquetes carboníferos que se localizan estratigráficamente en los niveles definidos por Sarmiento (1995), como K₂E₁g₃ y K₂E₁g₂. Para la zona de Boyacá, la secuencia carbonífera está definida por los mantos denominados: 7 Bancos, La Grande, Tercera, Limpia, Ligada en el primer nivel estratigráfico mencionado y en el segundo de ellos, los mantos: Bocatoma, Rubí, Pedro, Consuelo, Gemela, Santa Bárbara, Planta de Soda, Aliso, Tesorito, Tesoro, Cisquera 1 (siendo estos los principales mantos explotables del nivel). En la zona de Cundinamarca, se ha definido la secuencia con los mantos: Vidriosa, Siete Bancos, Pedro 2 y Cisquera del Santuario o Cisquera 2 para el nivel K₂E₁g₃ y Bocatoma, Rubí, Pedro, Bolas, Consuelo, Las Gemelas, Planta de Soda, Santa Bárbara, Amargoso, Aliso, Milagro, Tesorito, Tesoro, Cisquera 1 para el nivel K₂E₁g₂.

De estos, resultan de interés para el proyecto los mantos: Cisquera 2 o Cisquera del Santuario, Bocatoma y Cisquera 1, estos dos últimos, corresponden de techo a base a los mantos del primer y último paquete de interés del Nivel K₂E₁g₂ de la Formación Guaduas.

Del área de estudio, objeto de revisión cartográfica, se definieron 5 sectores GMAC con el fin de puntualizar los aspectos geológicos y estructurales de los mismos y así definir los sitios donde se adelantaron las perforaciones, teniendo en cuenta como se mencionó anteriormente los bloques carboníferos identificados en la zona de estudio (Ecocarbón, 1997), de esta forma estos sectores se denominaron de norte a sur: Ruchical, Loma Redonda, Firita Peña Arriba Norte, Alto del Trigo, El Santuario (ver Figura 20).

Estos se caracterizaron por presentar información representativa de mediciones de metano en frente de mina de acuerdo a la información suministrada por trabajadores, encargados, e Ingenieros de las minas objeto de referencia para el presente estudio. Además de la información anterior, en los sectores se evaluó las características topográficas, de vías de acceso, fuentes hídricas presentes, ángulos de inclinación de las capas. La delimitación de los mismos, comprende el área de influencia en donde se localizaron minas cuya actividad minera registró mayores mediciones de metano.

Del análisis realizado en cada sector, se seleccionó como mejores alternativas para el desarrollo de las perforaciones, los sectores: Loma Redonda, Ruchical, Alto del Trigo y Santuario, los cuales se consolidaron por su proximidad en dos sectores, así: Loma Redonda (comprende los sectores Loma Redonda y parte del Sector Ruchical) y El Santuario (con los sectores Alto del Trigo y Santuario). Sin embargo, para futuros trabajos se hace mención a continuación de las características de todos los sectores evaluados en el estudio.

3.3.1 Sector Ruchical, Samacá

Localización. Este sector se encuentra localizado en la Vereda Ruchical ubicada al costado occidental del municipio de Samacá (ver Figura 21)

Vías de acceso. Para acceder a este sector se toma la vía que de Samacá conduce a Guachetá, vía conocida como la troncal del carbón hasta llegar al lugar conocido como la Fábrica, desde allí, y hacia la margen derecha se encuentra un carretable que conduce al sector de interés.

Características de los mantos. En este sector se identifica la secuencia de los mantos de carbón del Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas, que de base a techo corresponde a los mantos: Consuelo o La Limpia con un espesor de 1.20 m y una intercalación de 0.20 m, Piedro con un espesor de 1.50 m y una intercalación de 0.30 m, Rubí con un espesor de 1.10 m y Bocatoma con un espesor de 1.40 m, presentando estos mantos propiedades coquizables.

Información minera. De acuerdo al reconocimiento, recorrido y socialización realizada en las minas de este sector, se tiene que las mediciones de Metano realizadas en los frentes de mina que trabajan los mantos anteriormente

mencionados, registran valores importantes en los mantos Piedro, Rubí y Bocatoma, con valores que superan los límites permisibles ($\text{CH}_4 > 1\%$).

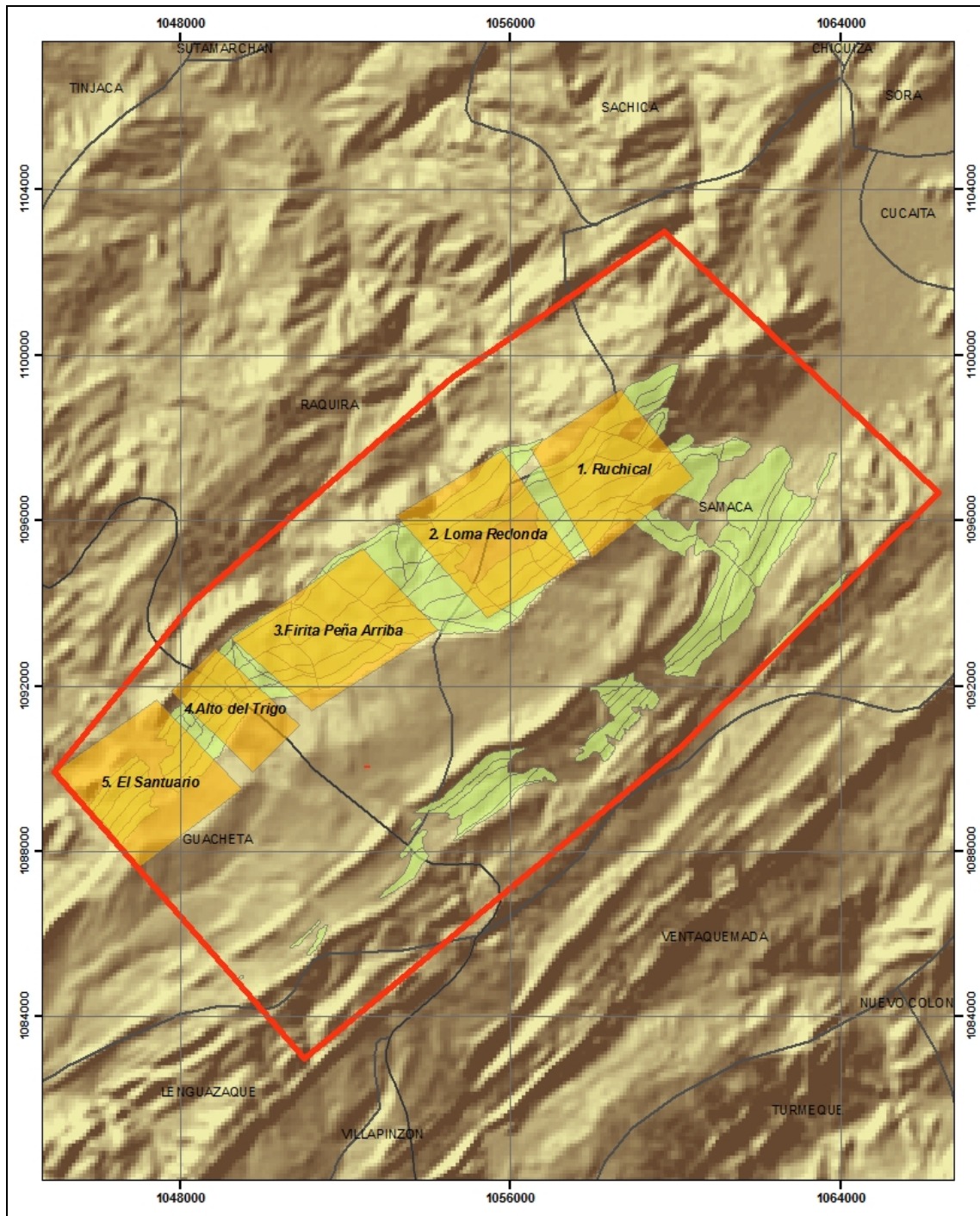


Figura 20. Localización sectores analizados para exploración de GMAC en la zona de estudio.

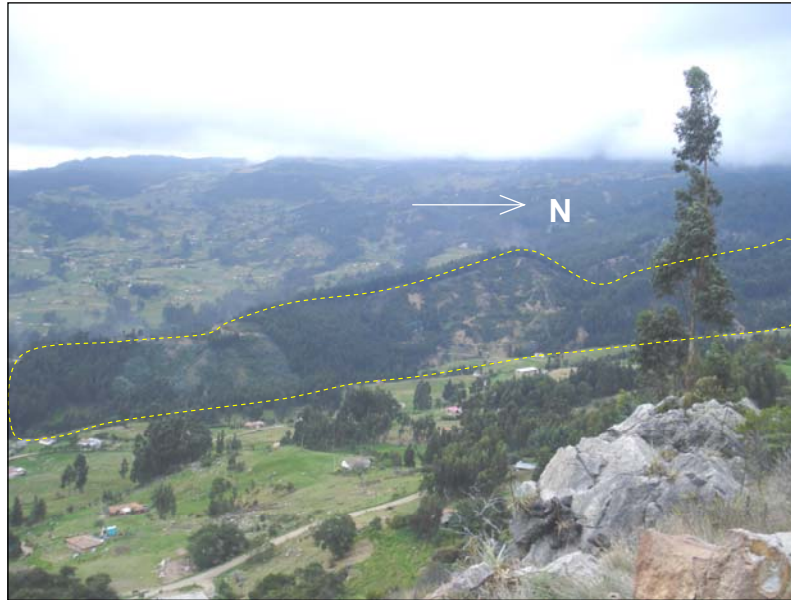


Figura 21. Sector Ruchical, ubicado al Occidente del municipio de Samacá (Boyacá).

Geología. Los carbones de interés forman parte de la formación Guaduas (K2E1g), en el nivel K2E1g2, donde se encuentra el sector Ruchical, este sector presenta gran complejidad estructural, debido a que se encuentra ubicado en el cierre del sinclinal Checua Lenguazaque, zona donde se generan y se han generado grandes esfuerzos tectónicos, presentando ángulos de inclinación elevados en las capas de la formación K2E1g, de entre 40° a 50°. Entre las Fallas que se destacan en este sector están la Falla El Pedregal, falla El Ancón.

Análisis del sector. De acuerdo a los factores anteriormente mencionados, se concluye que es un sector que podría presentar un buen contenido de Gas Metano Asociado al Carbón (GMAC), puesto que en la mayoría de las minas se registra de manera significativa concentraciones de metano, pero debido a la complejidad estructural aquí presente evidenciada en la influencia de fallas de tipo inverso que originan replegamientos y altos grados de inclinación de las capas (entre 40° y 50°), no se observa una buena continuidad en los mantos de carbón de interés, por lo tanto es un sector en el cual se torna difícil y riesgoso el desarrollo de una perforación.

3.3.2 Sector Loma Redonda (Samacá)

Localización. Este sector se encuentra localizado en la Vereda Loma Redonda, ubicada al SW del municipio de Samacá (Boyacá), (ver figura 22).

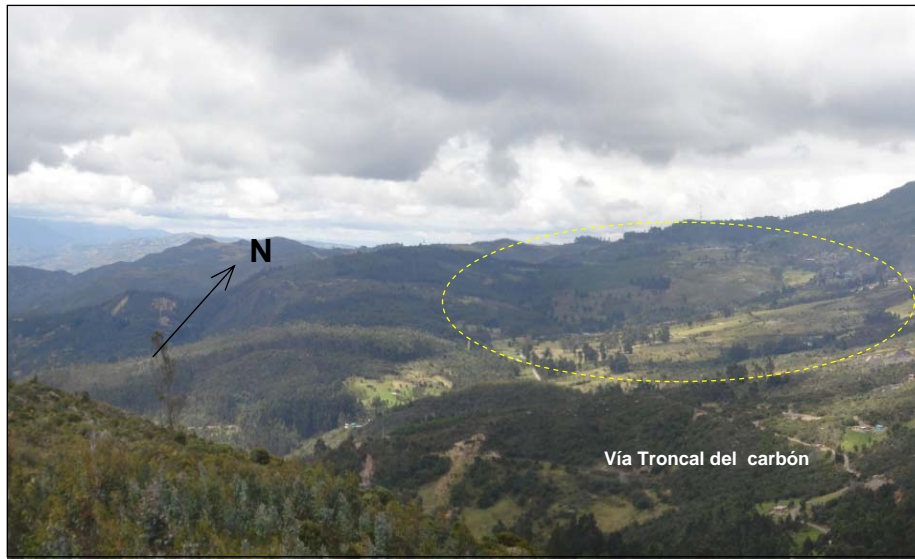


Figura 22. Sector de interés denominado Loma Redonda, localizado en La Vereda Loma Redonda del municipio de Samacá.

Vías de acceso. Para acceder a este sector se toma la vía troncal del carbón que de Samacá conduce a Guachetá, aproximadamente a 15 Km del casco urbano, se deriva un carretable a la margen izquierda, el cual conduce al sector de interés.

Características de los mantos. En este sector se identifica la secuencia de los mantos de carbón de interés que de base a techo están representados por: La Primera o la Ligada con un espesor de 1.20 m y una intercalación de 0.20 m, la Segunda o la Limpia con un espesor de 0.90 m, la Tercera con un espesor de 0.90 m, la Grande con un espesor de 2.00 m y una intercalación de 0.20 m, Siete Bancos con un espesor de 3.22 m (con intercalaciones entre 0.20m a 0.30m, de arcillolitas).

Información minera. De acuerdo a la información suministrada en las minas de este sector, se tiene que en minas como la Carbonera se registra mediciones de Metano de manera significativa en el manto Siete Bancos y en el manto La Grande, en cuyas labores mineras se mantiene un sistema de ventilación funcionando de manera permanente.

Geología. Los carbones de interés forman parte de la formación Guaduas, en el nivel K2E1g3, la geología en este sector presenta relativa calma en comparación con el sector Ruchical, puesto que no se evidencia la presencia de fallas de gran envergadura, por lo cual se han identificado ángulos de

inclinación de las capas de la formación Guaduas relativamente bajas, con valores entre 15° a 20° .

Análisis del sector. De acuerdo a las características descritas en este sector, se tiene como un sector con relativa calma en cuanto a las condiciones estructurales, que no presentan grandes zonas de fallamiento o replegamiento y cuyos grados de inclinación de las capas de la formación Guaduas son bajos, presentando un promedio de 20° ; estas condiciones hicieron que este sector se considerara para la proyección de las perforaciones respectivas.

3.3.3 Sector Firita Peña Arriba Norte (Ráquira)

Localización. El sector objeto de estudio se localiza en la Vereda Firita Peña Arriba (Ráquira) hacia el norte de la misma. (ver Figura 23).

Vías de acceso. Se toma la vía conocida como Troncal del carbón, que conduce del casco urbano del municipio de Samacá a Guachetá, a la altura del sitio que conduce al Batallón de entrenamiento militar, se puede acceder a la zona de la mina La Peña, y Bocaminas La Hoyada, que hacen parte del sector.



Figura 23. Localización general Sector Firita Peña Arriba Norte, Ráquira.

Geología. Los carbones de interés forman parte de la Formación Guaduas, en los niveles K_2E1g2 y K_2E1g3 . Los límites del sector se han establecido hacia el norte hasta la falla Los Robles y al sur hasta la Falla El Pajonal.

En este sector, las capas presentan buzamientos entre 8° a 60°, en la zona norte se evidencian los buzamientos suaves, mientras que hacia el sur se incrementa el ángulo de inclinación, con presencia de fallas de rumbo como la falla El Pajonal, la Fiera, El Arrayán, Las Puertas entre otras, que truncan la continuidad de las capas, donde se evidencian al igual fallas de tipo local que originan pequeños desplazamientos en los mantos. Entre estas fallas, se ha identificado en los trabajos mineros la presencia de pliegues a menor escala, que inciden en la repetición de estratos y en el aumento de espesor de los mismos.

Características de los mantos. Los mantos de interés, poseen espesores que varían entre 0.30 m a 1.80m, en los mantos superiores del nivel K2E1g2, se observa un sistema de fracturamiento definido principalmente con respecto a los face cleats, con fracturas sin relleno y en algunos mantos del nivel K2E1g3 un sistema de fracturamiento definido a poco definido y denso.

Los respaldos de los mantos de interés son principalmente arcillolitas y limolitas.

Información minera. De acuerdo a información de las minas en los trabajos de los mantos Pedro, La Grande, Cisquera 2, se ha registrado mediciones de CH₄ con valores de 0 a 1.0% . De acuerdo a lo registrado en campo, el avance en las labores mineras hacia el norte, en algunos casos supera los 500m, hacia la zona sur, el avance alcanza los 350m, contándose igualmente con trabajos recientes. Vestigios de labores antiguas de las cuales no se tiene conocimiento en cuanto a su avance, se evidencian en todo el sector.

Análisis del sector. El sector posee una topografía suave a inclinada, identificándose hacia el norte, un aumento en la complejidad tectónica, debido a la presencia de fallas de rumbo acompañadas de fallas locales que lo dividen en pequeños bloques. De acuerdo a la información de mediciones de metano en frente de mina, se tiene que hacia el norte, siendo las características topográficas mejores, se ha registrado mayores valores de % de CH₄, con respecto a la zona sur del sector. En general, la complejidad tectónica del sector es un factor de riesgo frente al desarrollo de las perforaciones, razón por la cual este sector no se consideró dentro de los más opcionados para continuar en las siguientes fases del estudio.

3.3.4 Sector Alto del Trigo, Ráquira

Localización. El sector objeto de estudio se localiza en la zona sur de la Vereda Firita Peña Arriba, municipio de Ráquira (ver Figura 24).

Vías de acceso. Para acceder al sector, se toma la vía que desde Guachetá conduce a Samacá, la vía conocida como la Troncal del carbón, para ubicarse

posteriormente en la vereda Firita Peña Arriba de Ráquira a la altura del sitio conocido como Alto del Trigo, de donde proviene el nombre del sector.



Figura 24. Localización general sector Alto del Trigo, Ráquira.

Geología. Los carbones de interés forman parte de la Formación Guaduas, en los niveles K₂E1g₂ y K₂E1g₃. Los límites del sector se han establecido hacia el norte hasta la falla El Arrayán y al sur hasta el Río Quebrada Honda.

La zona presenta buzamientos entre 13° a 60°, con influencia de fallas de rumbo como la Falla Alto del Trigo y Falla El Arrayán.

Características de los mantos. En algunos mantos del Nivel K₂E1g₃ de la Formación Guaduas, se evidencia un sistema de fracturamiento definido, con pequeñas fracturas sin relleno.

Información minera. De acuerdo a la información obtenida en las diferentes minas, se tiene que los valores de CH₄ registrados son muy bajos y en algunos casos no se registra. El avance en las labores mineras, se ha registrado hasta 350m, existiendo además labores antiguas de las cuales se desconoce su avance.

Análisis del sector. Hacia este sector las condiciones topográficas son muy favorables, aunque persiste la variación en los ángulos de inclinación de las diferentes capas como en el sector Firita Peña Arriba Norte. Hacia los niveles K₂E1g₃, K₂E1g₄ y K₂E1g₅, los buzamientos se hacen más suaves, lo que orientó la ubicación de las perforaciones con inicio en estos.

3.3.5 Sector El Santuario, Guachetá

Localización. El sector objeto de estudio se localiza en la Vereda Peñas del municipio de Guachetá (ver Figura 25).

Vías de acceso. Desde el casco urbano del municipio de Guachetá, se toma el carretable por el cementerio, que conduce a la vereda Santuario y posteriormente a la Vereda Peñas del mismo, la cual hacia el norte limita con la vereda Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira.

Geología. Los carbones de interés forman parte de la Formación Guaduas, en los niveles K₂E1g2 y K₂E1g3 y corresponden a los mantos denominados: Piedro 2 y Cisquera del Santuario (Cisquera 2) respectivamente. El sector se limita hacia el norte por el río Quebrada Honda y hacia el sur por la Falla El Portachuelo.

En la zona se evidencian algunas fallas de tipo transversal que afectan la continuidad de los mantos, como la Falla El Portachuelo, los buzamientos de los estratos en la Formación portadora de los carbones varían entre 30° a 60°, de acuerdo a la información registrada en las minas, se ha identificado la presencia de fallas de tipo local, con desplazamientos cortos en las dos componentes tanto horizontal como vertical.



Figura 25. Vista general, sector Santuario, municipio de Guachetá.

Características de los mantos. De acuerdo a las observaciones realizadas en campo, los mantos de carbón que se trabajan en la zona, no poseen un sistema de fracturamiento definido. El espesor de estos varía entre 0.30m a 2.00m, presentando los mayores valores en los mantos del nivel K₂E₁g₃ de la Formación.

Los respaldos de los mantos de interés, están constituidos por limolitas y arcillolitas limosas.

Información minera. Los mantos de carbón que se trabajan en el sector, registran mediciones de metano entre 0 y 2.5%. El avance en las labores mineras alcanza los 400m, presentándose hacia el nivel K₂E₁g₄, vestigios de antiguos trabajos, de los cuales se desconoce su avance.

Análisis del sector. El sector presenta características topográficas favorables hacia la zona norte del mismo que se hacen más complejas hacia el sur. Este es uno de los sectores en que se registra datos importantes de metano en la mayoría de labores mineras, razón por la cual se ha tomado como una alternativa en el cual se pueda desarrollar parte de las perforaciones. Teniendo como alcance principalmente los mantos del nivel K₂E₁g₃.

De acuerdo a la evaluación realizada en cada uno de los sectores, se pudo establecer que las mejores condiciones para adelantar las perforaciones corresponden a los sectores: Ruchical, Loma Redonda, Alto del Trigo y Santuario, de los cuales como se mencionó anteriormente debido a la proximidad geográfica, se conformaron unieron algunos de ellos, estableciendo finalmente dos para continuar el estudio, denominados: Loma Redonda (comprende los sectores Loma Redonda y parte del Sector Ruchical) y El Santuario (con los sectores Alto del Trigo y Santuario), en donde se definieron algunos puntos de interés (Ver Tabla 4), como fueron:

De los puntos señalados anteriormente, de acuerdo al análisis de todas las variables de relevancia como es: vías de acceso, disponibilidad de agua, información sobre presencia de metano, condiciones geológicas favorables, se optó finalmente por seleccionar para los trabajos los puntos 2 y 3. En el punto 2, se proyectó la perforación a una profundidad de 300m, para cortar los mantos del nivel K₂E₁g₃ de la Formación Guaduas, de techo a base, denominados: 7 Bancos, La Grande, Tercera, Limpia, Ligada. En el punto 2 se proyectó otra perforación con una profundidad de 400m, para cortar los mantos del nivel K₂E₁g₃ denominados de techo a base: Vidriosa, Siete bancos, Pedro 2 y Cisquera 2 y el primer manto del nivel K₂E₁g₂, Bocatoma, el cual no se pudo cortar por inconvenientes de tipo estructural que no pudieron ser identificados en la fase de campo.

Tabla 4. Selección de puntos de interés para adelantar las perforaciones de GMAC.

SECTOR	PREDIO	COORDENADAS		VIAS DE ACCESO	OBSERVACIONES
		N	E		
Loma Redonda (Samacá)	1	1.095.200	1.055.950	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	Al occidente de la zona de manejo de ventilación de MILPA
	2	1094074	1055136	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	Al oriente de las minas Villa Catalina y Villa Carolina
El Santuario (Guachetá-Ráquira)	3	1.091.233	1.048.837	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	Al occidente, norte y sur de la Bomba Alto del Trigo
	4	1.091.850	1.048.550	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	
	5	1.091.650	1.049.300	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	
	6	1.090.650	1.048.271	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	Al norte de las minas El Santuario
	7	1.090.200	1.048.050	La principal es la Troncal del carbón, al sitio se cuenta con carreteables	Al norte de las minas El Santuario

Fuente: Datos del Estudio.

4. DESARROLLO DE LAS PERFORACIONES

4.1 ANÁLISIS GEOLÓGICO DE LOS POZOS PERFORADOS

Con el fin de conocer las características de los mantos y realizar las mediciones de contenidos de gas en los mismos, se llevaron a cabo dos perforaciones una con una profundidad de 300,0 m y otra de 400 m. La primera de ellas alcanzó igualmente una profundidad de 400m, teniendo en cuenta el interés de la empresa propietaria de los predios donde se adelantaron los trabajos.

Los pozos perforados se denominaron, de acuerdo al municipio donde se localizaban, como Pozo Samacá-2 y Pozo Ráquira-1. En cada uno de ellos, se realizó la descripción de núcleos y se corrieron registros tales como: resistividad, densidad, Gamma Ray, Temperatura, de los cuales se hace una breve descripción para posteriormente presentar los aspectos técnicos que caracterizaron cada uno de las perforaciones adelantadas.

4.1.1 Registros

Los registros eléctricos se constituyen en una herramienta importante en la exploración de recursos minerales en general; en el caso de los mantos de carbón, permiten determinar tanto propiedades físicas como algunas características de los mismos en contraste con las rocas que infrayacen y suprayacen estas capas, tales como baja radioactividad natural, baja densidad, alta resistencia a la corriente eléctrica, espesor de las capas, características litológicas, contenido de fluidos, profundidad de los diferentes estratos de forma rápida, económica y detallada.

Con el fin de determinar las características de las rocas presentes en cada uno de los pozos perforados, en especial identificar los mantos de carbón, en el presente estudio, se adelantaron registros eléctricos tales como: Gamma Natural, Gamma Ray, Temperatura, Resistividad, los cuales se describen a continuación:

Registro de Rayos Gamma

Este registro mide la radioactividad natural del carbón proveniente de la desintegración de tres elementos Uranio, Torio, Potasio. Se emplea en la

determinación de la arcillosidad en las formaciones permeables, puede contribuir a detectar los mantos de carbón a través del revestimiento, ya que el carbón tiene una radioactividad natural baja en comparación con otros tipos de roca (Wood et al, 2003).

Registro de Densidad

El registro de densidad en un pozo, permite identificar la densidad media de las capas presentes a través de una fuente radioactiva dispuesta en una sonda, que detecta el número de rayos gamma emitidos por las rocas. A mayor densidad de las rocas más rayos gamma son absorbidos y menos retornan al detector (Wood et ál.,2003). Las unidades empleadas para expresar el valor de densidad son gramos/cm³. La mayoría de capas de carbón poseen una densidad baja entre 0.7 a 1.8 gramos/cm³, por tanto este registro se considera importante en la determinación de los espesores de estas capas. De acuerdo a Wood et ál. (2003), el registro de Densidad, puede también aportar información referente a composición y rango del carbón, ya que carbones con altos contenidos de cenizas poseen un valor mayor de densidad comparado con capas de carbón con bajos porcentajes en cenizas.

Registro Temperatura

El registro de Temperatura, permite determinar un perfil a lo largo del pozo con el fin de identificar las variaciones de la misma con respecto a la profundidad y a los materiales que atraviesa. Con este registro se pretende establecer la temperatura de cada manto de carbón in situ, de tal manera que esta información permita simular luego en el laboratorio las condiciones propias del yacimiento para la realización de las mediciones de contenidos de gas metano.

Registros de Resistividad

A través de este registro, se mide la resistividad eléctrica o capacidad que presentan las rocas de conducir la electricidad cuando están saturadas por agua. Las unidades en que se expresa estas medidas corresponden a ohm-m. Este registro se emplea entre otras, para determinar espesores de capas, teniendo en cuenta que la resistividad en una roca varía según su dureza y el fluido que contiene. Las arcillolitas presentan resistividades bajas y constantes, comparadas con el carbón, que posee resistividades altas.

4.1.2 Resultados obtenidos en los registros de pozos

4.1.2.1 Pozo Samacá-2

Localización. Este pozo, se ubicó en el sector GMAC Loma Redonda, en la vereda del mismo nombre del municipio de Ráquira (Ver Figuras 3 y 26), cuyas coordenadas corresponden a:

N: 1.094.074

E: 1.055.136

Z: 3.115

El equipo empleado en la perforación correspondió a un Taladro Maxidrill Max-10C. La perforación se adelantó en diámetro HQ, con brocas de matriz dura, con revestimiento en HW en los 73.40 m iniciales.

Estratigrafía. El material principalmente que cortó este pozo fue arcillolitas de color gris claro a rojizo, se registraron 7 capas de carbón de interés, entre los cuales están los mantos: 7 Bancos, La Grande, Tercera, Limpia, Ligada, de las cuales todas fueron objeto de muestreo para medición de contenidos de CH₄.

Los ángulos de buzamiento oscilaron entre 7° y 14°.

La recuperación en general de los núcleos fue del 100%.

El almacenamiento de los núcleos se realizó desde los 73.40m de profundidad, con la respectiva descripción litológica.



Figura 26. Montaje del Pozo Samacá-2, Vereda Loma Redonda, municipio de Samacá.

Registros. En el Pozo Samacá-2, se corrieron registros de Temperatura y Registros Eléctricos como: Rayos Gamma y Densidad hasta una profundidad de 300,0 m (Anexo A).

La toma del registro eléctrico se realizó por dentro de la tubería HQ, una vez culminó el pozo; inicialmente se corrió el registro de temperatura, luego los registros Gamma y Densidad; finalmente, se intentó tomar los registros de resistividad, pero al quitar la tubería de revestimiento el pozo se desestabilizó en buena parte, lo cual impidió el análisis del pozo en su totalidad.

Registro Eléctrico. El registro eléctrico del pozo Samacá-2, se corrió empleando un equipo de registros marca Mount SoprisMgX II digital, dotado con las sondas Gamma Natural, Potencial Espontáneo, Temperatura, Resistencia de Punto Único, Resistividad normal, Larga –Corta. Como se mencionó anteriormente no se obtuvo la información correspondiente debido a la inestabilidad del pozo (ver Figura 27).

Registro de Rayos Gamma Natural. Este registro, se tomó utilizando una escala de 0 a 160 cuentas por segundo, los valores promedios presentes en el registro son medios altos en razón a la predominancia de capas arcillo limosas, los niveles de carbón presentan valores medios altos de radiactividad entre 20 y 150 cps.



Figura 27. Equipos empleados en la realización de registros en el Pozo Samacá-2, vereda Loma Redonda, municipio de Samacá.

Registro de Densidad. Respecto al registro de Densidad corrido, se toma como referencia una escala entre 0 a 3 g/cm³. La sonda indicó valores entre 1.2 a 1.3

g/cm³ para las capas de carbón y valores de 1.8 a 2.3 para las capas de arcillolitas y limolitas.

Registro de Temperatura. Para este registro, se empleó una escala entre 15 y 23 °C, con un valor cerca de la superficie de 16.8 °C. En la curva correspondiente, se observa que a los 298 m, la temperatura asciende a 21.9 grados, presentándose en general un aumento de la temperatura con la profundidad. De otra parte, se tiene que, la variación en temperatura no es muy notoria en los mantos de carbón, esta se presenta entre valores de 18.2 a 20.3 °C.

4.1.2.2 Pozo Ráquira-1

Localización. Se ubicó en la vereda Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira (Ver Figuras 3 y 28) en las coordenadas:

N: 1.091.233

E: 1.048.837

Z: 3055

El equipo empleado en la perforación correspondió a un Taladro Maxidrill 10C.

Los primeros 50,40 m se realizaron en perforación destructiva colocando revestimiento HW, para luego seguir en diámetro HQ hasta una profundidad de 362,40m, donde hubo cambio de tubería por aumento en la presión y torque en la máquina; los últimos 37,60, se avanzaron en diámetro NQ, alcanzando el pozo una profundidad total de 400,0m. Luego de los 50.40m, se realizó el almacenamiento de núcleos y la descripción litológica de los mismos.

Estratigrafía. La secuencia corresponde a rocas de la formación Guaduas, conformadas por limolitas y arcillolitas de color gris claro a gris oscuro, se registraron 4 capas de carbón de interés, con espesores variables, algunos de ellos con intercalaciones (partings) de arcillolita o lutita carbonosa, que fueron muestreadas para medición de CH₄, entre los cuales están los mantos: Vidriosa, 7 Bancos, Piedro 2, Cisquera 2.

Los ángulos de buzamiento oscilan entre 10° a 35°.

La recuperación en general de los núcleos fue del 98%.

Registros. Los registros corridos en el Pozo Ráquira-1, corresponden a Temperatura, Gamma Natural y Densidad. La toma de los registros eléctricos se realizó por dentro de la tubería una vez terminado el pozo. Inicialmente se realizó el registro de Densidad, luego el registro Gamma y por último el de Temperatura. Los dos primeros registros se realizaron sin ninguna dificultad por dentro de la tubería NQ hasta una profundidad de 399.82m. Para el registro de

Temperatura, se sacó la tubería NQ, dejando solo la HQ, pero debido a problemas de inestabilidad en los últimos 28 metros del mismo, este se realizó hasta una profundidad de 362.40m (ver Figuras 29, 30).



Figura 28. Montaje de la perforación Pozo Ráquira-1, vereda Firita Peña Arriba, municipio de Ráquira.



Figuras 29, 30. Equipos empleados en la ejecución de Registros Eléctricos Pozo Ráquira-1, vereda Firita Peña Arriba, municipio de Ráquira.

La toma del registro eléctrico se realizó utilizando el equipo de marca Mount Sopris, modelo MGX-II, Matrix, acoplado directamente a un computador Portátil, HP, utilizando el software Logshell Matrix y Wellcad, para el manejo de las sondas y procesamiento de la información, las curvas se graficaron en escala 1:200.

Registro Rayos Gamma. Los intervalos del registro presenta valores que varían entre 0 y 150 cuentas por segundo (cps), los valores promedios presentes en el registro son medios altos debido a la presencia de material tipo arcillolitas y limolitas. Las capas de carbón, presentan valores medios de radioactividad con valores entre 6 y 70 cps.

Registro de Densidad. La escala empleada para este registro esta entre 0 a 3 g/cm³., registrándose en el caso de las capas de carbón valores entre 1.17 g/cm³., a 1.40 g/cm³., para los demás materiales como las arcillolitas y limolitas se registraron valores entre 1.8 g/cm³. a 2.2 g/cm³.

Registro de Temperatura. La escala de valores empleada en este registro esta entre 13 y 25 °C. la curva obtenida, permite identificar un aumento de la temperatura con la profundidad, teniendo en cuenta el valor registrado en superficie de 16.5 °C y a pesar de que el registro fue corrido dentro de la tubería. A los 382m, la temperatura aumenta a 24°C, registrándose en las capas de carbón valores entre 18.78 a 20 °C.

4.2 INCONVENIENTES REGISTRADOS DURANTE LA PERFORACIÓN

En el desarrollo del Pozo Ráquira-1, se presentaron los siguientes inconvenientes:

- Pérdidas de circulación por las fracturas generadas en capas de areniscas y de carbón.
- Presencia de material muy fino en el lodo de perforación en cantidades considerables que ocasionó deterioro en los equipos de circulación y bombeo.
- A una profundidad de 302,4 m, se presenta dificultades en el avance del pozo, el material es muy fracturado, por lo cual se decide mover unos cuantos metros (6m) el pozo para finalizarlo, para ello se realizó una perforación tricónica hasta una profundidad de 302,4, para luego continuar con el sistema de recuperación de núcleos. Posteriormente a una profundidad de 362,4 m fue necesario cambiar de tubería por aumento en presión y torque en la máquina y se continuó la operación en diámetro NQ hasta los 400 m contratados.

Dentro de las dificultades presentes en el desarrollo del pozo Samacá-2, se mencionan las siguientes:

- Pérdidas de circulación por las fracturas generadas en capas de areniscas y de carbón.
- Corte de niveles resistentes en la formación Guaduas, como lo son las arenitas cuarzosas, que en algunos casos complicaron el normal desarrollo de la perforación. Para lo cual se probó con diferentes tipos de broca hasta identificar la adecuada para el material presente.
- Derrumbes, los cuales fueron estabilizados con la utilización de polímeros. Para mantener el pozo estabilizado y lubricado se utilizó Bentonita, con la adición de otro polímero cuya referencia es EZ – MUD GOLD (Clay/shalestabilizer) distribuido por Halliburton.

4.3 SELLAMIENTO

Una vez terminado los pozos con sus respectivos registros eléctricos se procedió al sellado de los mismos, para lo cual se construyó un mojón con una placa en cemento, en la cual se registró la información sobre: nombre del pozo, las coordenadas, Entidad contratante, Contratista, profundidad alcanzada y año (ver Figura 31).



Figura 31. Placa en cemento que representa el sellado del Pozo Samacá-2, municipio de Samacá.

5. CARACTERIZACIÓN DE CARBONES

A continuación se presenta la caracterización fisicoquímica de los carbones objeto de muestreo en la zona de estudio, que aporta información importante acerca de su comportamiento y naturaleza química. Los análisis realizados corresponden a: Análisis próximo (humedad residual, materia volátil, cenizas y carbono fijo), análisis elemental (carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre total), Químico de cenizas (diez elementos mayores), elementos menores, poder calorífico, mercurio, Índice de Hinchamiento, plastometría y petrografía.

5.1 MUESTRAS ANALIZADAS

En la zona de estudio se colectaron 55 muestras de diferente tipo de material entre carbones, respaldos e intercalaciones, niveles de arenitas, tanto en frente de mina como en las perforaciones, para realizar tanto análisis fisicoquímicos como medición de contenido de gas metano (ver Tabla 5); las cuales se discriminan así:

Tabla 5. Número y tipo de muestras obtenidas en el área de estudio. Guachetá-Samacá.

Sector	Perforaciones					Frente de minas			Total
	Samacá-2			Ráquira-1		Carbón	Respaldos	Intercalaciones	
	Carbón	Respaldos	Arenitas	Carbón	Respaldos				
Loma Redonda	7	2	2			35	1		55
El Santuario				4	4				

Fuente: Datos del estudio

5.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Los diferentes análisis se realizaron bajo las metodologías que están documentadas en los métodos de ensayo del grupo de laboratorios del Servicio Geológico Colombiano, basados en las normas internacionales ASTM Volumen 05.06, Gaseous Fuels; Coal and Coke.

La relación de los análisis realizados y sus resultados, se presentan a continuación:

5.2.1 Análisis próximos

El análisis próximo de las muestras estudiadas se realizó según la norma ASTM D 5142-09, y cubre las determinaciones de humedad residual, materia volátil, cenizas, carbono fijo, las cuales resultan de la pérdida de peso de las muestras después del calentamiento en un ambiente controlado de temperatura y presión, empleando para ello el equipo Analizador Termogravimétrico LECO TGA-601.

De acuerdo a las muestras analizadas, se han registrado los siguientes valores para los diferentes parámetros de evaluación, así: Humedad Residual valores entre 0.61 – 1.12%, con un promedio de (0.82%); Materia Volátil un rango entre 14.78 – 38.66%, con un promedio de 25.01%, Cenizas un rango entre 2.24 – 64.43%, con un promedio de 11.97%, Carbono Fijo un rango entre 20.78 – 79.88%, con un promedio de 63.02%.

En el pozo Ráquira-1, el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3, registró el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, posee un valor de Humedad Residual de 0.98%, Materia Volátil de 14.78%, Cenizas de 64.43%, Carbono Fijo de 20.78% En el Pozo Samacá 2, el manto la Ligada del nivel K2E1g3, registró el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, con valores de Humedad Residual de 0.61%, Materia Volátil de 33.65%, Cenizas de 14.89%, Carbono Fijo de 51.46% . En frente de mina, el manto Siete Bancos, registró el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, con una Humedad Residual de 1.12%, Materia volátil de 29.06%, Cenizas de 14.54%, Carbono Fijo de 56.40%.

De estos análisis cabe destacar el correspondiente al contenido de cenizas, pues en una muestra de carbón, este puede disminuir el potencial de metano, ya que actúa como diluyente de la materia orgánica en el mismo. Por tal razón se puede mencionar que entre mayor sea el contenido de cenizas del carbón menor será su potencial de generación (Das y otros, 1991). Con respecto a las muestras que obtuvieron mayores contenidos de metano, se tiene que en el caso del Pozo Ráquira-1, el manto Siete Bancos tiene un valor menor de Cz; en el Pozo Samacá-2, los dos mantos que arrojaron mayor contenido de metano poseen valores de Cz muy cercanos y que en el caso de las muestras en frente de mina, los mantos La Limpia y Cisquera 2 son los que poseen los valores más bajos de Cz.

5.2.2 Poder calorífico

Análisis efectuado para conocer la capacidad calorífica del carbón; a través de la quema de una muestra de carbón, en una bomba calorimétrica en condiciones

normalizadas, se determina el aumento de temperatura producido en el calorímetro y se calcula el poder calorífico bruto de acuerdo a la Norma ASTM D-5865-04, empleando para ello el calorímetro isoperibol PARR-6200.

El valor calorífico bruto en carbón, coque y materiales afines es utilizado en:

- Contratos de compraventa para carbones térmicos.
- Evaluación de rendimientos de procesos térmicos.
- Investigación y clasificación de carbones.
- Cálculos para determinar con el azufre, el cumplimiento de los requerimientos para combustibles industriales.

Los valores registrados de Poder Calorífico (PC) en las muestras analizadas en los niveles K2E1g2 y K2E1g3 de la formación Guaduas (K2E1g) determinan rangos en general entre 2667 cal/gr a 8589 cal/gr. En el nivel K2E1g2, se tienen valores promedio de 7769,52 cal/gr, mientras en el nivel K2E1g3 valores promedio de 7516,17 cal/gr.

Para el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se observa el valor de 2667 cal/gr, mientras que para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se registra un valor de 7391 cal/gr. Para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, el cual registra el mayor contenido de metano, el PC fue de 7361 cal/gr.

5.2.3 Análisis elemental

Este tipo de análisis se emplea para identificar la composición elemental de cada muestra, con valores de contenidos de Carbono total, Hidrógeno total, Nitrógeno total, Oxígeno total y Azufre total compuesto por Azufre pirítico, Azufre sulfato, Azufre orgánico, Estos elementos no se encuentran como tal en el carbón, sino que forman compuestos orgánicos complejos con grupos aromáticos y alifáticos y también forman parte de la materia mineral del carbón.

Para la determinación del Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, se siguió la norma ASTM D - 5373-08, cuyo fundamento indica la determinación automática, quemando una cantidad pesada de muestra en medio de una corriente de oxígeno puro a 950°C. El carbono y el hidrógeno son determinados por un detector infrarrojo, mientras que el nitrógeno es determinado por conductividad térmica, el equipo empleado es el Analizador LECO TruSpec CHN.

Los valores que se registran a continuación hacen referencia a las muestras enumeradas en el anexo B, como 01 a 35 (Frente de mina) y 41 a 46 (pozos de perforación) para un total de 41 muestras. El análisis elemental en las muestras analizadas en los niveles K2E1g2 y K2E1g3 de la formación Guaduas (K2E1g), en general, determinan rangos de Carbono entre 54.62 a 90.26%; Hidrogeno entre 3.40 a 5.31%; Nitrógeno entre 0.70 a 1.88%, Oxígeno entre 0.92 a 74.09%.

En el pozo Ráquira-1, la muestra correspondiente al manto la Vidriosa del nivel K2E1g3, obtuvo un valor en Carbono de 16.94%, en Hidrogeno de 1.77%, en Nitrógeno de 0.70%, en Oxígeno de 14.82%. En el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se determina un valor en Carbono de 73.96%, en Hidrogeno de 4.86%, en Nitrógeno de 1.70%, en Oxígeno de 4.04%.

De esta forma se ha identificado que en el nivel K2E1g2 de la formación Guaduas (K2E1g) hay valores promedio de Carbono entre 54.62% a 90.26%, en Hidrogeno entre 3.40% a 5.09%, en Nitrógeno entre 1.28 % a 1.79%, en Oxígeno entre 0.92% a 4.67%; mientras que en el nivel K2E1g3, se determinan valores promedios en Carbono entre 16.94% a 84.92%, en Hidrogeno entre 1.77% a 5.31%, en Nitrógeno entre 0.70% a 1.88%, en Oxígeno entre 2.15% a 74.09%.

Cabe resaltar, que el contenido de Nitrógeno se utiliza en la evaluación de óxidos de nitrógeno, los cuales son contaminantes atmosféricos, aunque por parte del carbón la producción de NO_x es casi nula frente a los óxidos de nitrógeno que se producen por contacto del nitrógeno de la atmósfera con las altas temperaturas generadas en el proceso de combustión.

En cuanto a la determinación de azufre total en las muestras de carbón realizado con base en la norma D-4239-08, entre otros tiene como objetivo, definir los procesos de limpieza de carbones altos en azufre, evaluar los procesos de beneficio del carbón, las emisiones potenciales de azufre en la combustión del carbón o en otros procesos de conversión. Se realiza utilizando el método instrumental de combustión en horno tubular a alta temperatura y detección infrarrojo mediante el equipo LECO S144-DR.

Los diferentes tipos de Azufre, fueron obtenidos aplicando la Norma ASTM D-2492-02(07); para el azufre piritico, se realiza la extracción con ácidos y la determinación por absorción atómica, por gravimetría, se obtiene el azufre sulfato y por diferencia entre los anteriores, el valor de azufre orgánico. Los equipos empleados son: el Espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 3100, Mufla Lab – Line, Balanza analítica.

Los valores registrados en las formas de azufre en las muestras analizadas en los niveles K2E1g2 y K2E1g3 de la formación Guaduas son: Azufre piritico, un rango

entre 0.00 a 1.94%, con un promedio de 0.34%; azufre sulfato, un rango entre 0.00 – 0.43%, con un promedio de 0.01%; azufre orgánico, un rango entre -0.01 a 1.86%, con un promedio de 0.70%.

Para el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se tiene un valor de azufre pirítico de 1.94%, azufre sulfato de 0.02%, azufre orgánico de 0.03%; para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se registran valores de azufre pirítico de 0.63%, azufre sulfato de 0.00%, azufre orgánico de 0.67%. Para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina (Muestra 15646801007), se observan valores de azufre pirítico de 0.40%, azufre sulfato de 0.00%, azufre orgánico de 1.63%.

La importancia de este análisis, que hace una diferenciación del contenido de azufre dependiendo de su forma química, como pirítico, sulfato y orgánico, permite identificar características importantes al momento de la combustión de los carbones

5.2.4 Índice de hinchamiento

Análisis empleado para obtener información sobre las propiedades de hinchamiento libre del carbón; indica las propiedades de aglomeración de un carbón cuando se quema como combustible y el grado de oxidación aproximado de un carbón. Este método sigue la norma ASTM D - 720-91-04 Standard Terminology of Coal and Coke.

Los valores registrados en el análisis de índice de hinchamiento (IH) en general, determinan rangos entre 0 a 9. Para el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1 (muestra 15600801045), se observa el valor 0 y para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2 (muestra 15646801040), se observa el valor 2½; para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina (muestra 15646801007), se determina un valor de índice de hinchamiento de 7½.

De acuerdo a las muestras analizadas, se puede observar que al poseer mayores propiedades aglomerantes el carbón, este genera menor contenido de gas total libre de cenizas y viceversa. Los valores de IH, en los carbones del nivel K2E1g2 de la formación Guaduas (K2E1g), corresponden a valores entre 5 a 9, en el nivel K2E1g3, valores entre 0 a 9; con lo cual, se han determinado mayores valores de índice de hinchamiento en el nivel K2E1g3.

5.2.5 Humedad de equilibrio

Teóricamente, es la humedad que el carbón puede retener cuando está en equilibrio a una atmósfera de presión y 100% de humedad relativa; para su determinación se logra una humedad relativa aproximada del 96%. Su valor es

requerido para calcular el poder calorífico en base húmeda y así clasificar los carbones según su rango con la norma ASTM. Este análisis se fundamenta en la norma ASTM D-1412-07.

Los valores registrados en el análisis de Humedad de Equilibrio en general, determinan rangos entre 1.02 a 2.66%. Para las muestras que registraron mayor contenidos de metano, se menciona a continuación los valores obtenidos de HE, así: en el pozo Ráquira 1, un valor de 2.66%; para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, un valor 1.02%; para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, un valor de 1.53%. De acuerdo a estos resultados, se tiene que a mayor contenido de Humedad de Equilibrio, mayor contenido de gas total libre de cenizas.

El comportamiento obtenido en el nivel K2E1g2 de la formación Guaduas (K2E1g) corresponde a valores promedios entre 1.02 - 1.70%; mientras que en el nivel K2E1g3 se determinan promedios entre 1.02 - 2.66%; Observándose así valores mayores de humedad de equilibrio en el nivel K2E1g3.

5.2.6 Gravedad Específica Verdadera (GEV)

Se entiende como la densidad referida a la densidad del agua a 4°C. Este análisis se fundamenta en la determinación de la gravedad específica verdadera del carbón o coque pulverizado, con relación al agua, de acuerdo a la Norma ASTM D167-93.

La gravedad específica varía de acuerdo al rango del carbón y tiene una relación directa con el contenido de cenizas. Se emplea en el cálculo de recursos y reservas de carbón.

Los valores registrados en gravedad específica verdadera en las muestras analizadas en los niveles K2E1g2 y K2E1g3 de la formación Guaduas (K2E1g) en general, determinan rangos entre 1.23 a 1.93. El manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1 (muestra 15600801045), presenta un valor de 1.93; para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2 (muestra 15646801040), se registra un valor de 1.29, el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, posee una gravedad específica verdadera de 1.33. De acuerdo a los valores obtenidos, se tiene que las muestras con mayor contenido de metano, poseen mayor valor de gravedad específica verdadera.

El comportamiento obtenido en el nivel K2E1g2 de la formación Guaduas (K2E1g) fue de valores promedios entre 1.25 a 1.58, mientras que en el nivel K2E1g3 se determinan promedios entre 1.23 a 1.93. Observándose así mayores valores de gravedad específica verdadera en el nivel K2E1g3.

5.2.7 Índice de Molienda Hardgrove, (IHG)

Es el indicativo del grado de triturabilidad de un carbón. Este análisis, permite identificar el grado de triturabilidad de un carbón en los procesos de transformación del mismo, de acuerdo a la norma D-409/D409M-09.

Los valores registrados en el Índice de molienda Hardgrove (IHG) en las muestras analizadas en los niveles K2E1g2 y K2E1g3 de la formación Guaduas (K2E1g) en general, determinan rangos entre 70 a 189. Para el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1, el cual registra mayor contenido de metano, se determina un valor de IHG de 72; para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, el cual registra mayor contenido de gas total libre de cenizas, se determina un IHG de 85; para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, que registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se determina un valor de IHG de 94. Las muestras con mayor contenido de metano, poseen menor Índice de Molienda Hardgrove (IHG).

5.2.8 Plastometría

Teniendo en cuenta que los carbones de la zona de estudio se caracterizan por sus propiedades coquizables, se realizó a algunas de las muestras recopiladas análisis de Plastometría; método que tiene como finalidad determinar las propiedades plásticas del carbón mediante el método Gieseler de torque constante, de acuerdo con el estándar ASTM D-2639-08, proporcionando información de valores semicuantitativos, tales como: Rango de plasticidad, fluidez máxima, que se utilizan para determinar qué mezclas de carbones son óptimas para el coque.

De las muestras colectadas, se realizó análisis de Plastometría a 37 (Muestras 1 a 32, Frente de mina y 36 a 40 pozos de perforación). Se obtuvo en el nivel K2E1g2 de la formación Guaduas, valores promedios de temperatura de máxima fluidez, entre 441.9 a 468.9 °C, Rango plástico, valores promedio entre 51.9 a 108.2°C; máxima fluidez, valores promedio entre 25 a 10833.0 ddpm. En el nivel K2E1g3, se determinan promedios de temperatura de máxima fluidez, entre 436.2 a 464.2 °C, Rango plástico entre 99.1 a 25583.3°C; máxima fluidez, valores promedio entre 106.6 a 46599.2 ddpm.

Para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, el cual registra mayor contenido de gas total libre de cenizas, se determina un valor de temperatura de máxima fluidez de 441.5 °C; Rango plástico de 121.9 °C; máxima fluidez 46599.2 ddpm. Para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se determina un valor de temperatura de máxima fluidez de 447.4°C, Rango plástico de 111.3°C, máxima fluidez de 32868 ddpm.

5.2.9 Análisis químico de cenizas

La composición química de las cenizas de carbón es un factor importante porque provee datos que pueden predecir el comportamiento de las cenizas del carbón y la escoria en los procesos de combustión, tales como el escoriamiento, deposición, suciedad y viscosidad de las cenizas de carbón en el fondo de los hornos y calderas, de acuerdo a la norma D-3682-01-(06). Se realiza Análisis Elemental de Trazas

De las muestras objeto de análisis químico de cenizas se obtiene los siguientes valores: Silicio (SiO_2), 44.69 a 71.80; Aluminio (Al_2O_3), 20.08 a 35.87; Hierro (Fe_2O_3), 0.54 a 21.82; Calcio (CaO), 0.13 a 13.41, Magnesio (MgO), 0.11 a 0.98, Sodio (Na_2O), 0.25 a 0.49, Potasio K_2O , 0.03 a 2.23; Titanio (TiO_2), 0.85 a 1.26, en Fosforo (P_2O_5), 0.08 a 9.64, Azufre (SO_3), 0.00 a 0.29; Estroncio (SrO), 0.02 a 0.20; Bario (BaO), 0.00 a 0.14.

Para el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3 del pozo Ráquira-1, se observa un valor en Silicio de 68.54, Aluminio de 20.55, Hierro de 6.04, Calcio de 0.23, Magnesio 0.98, Sodio Na_2O 0.15, Potasio 2.09, Titanio TiO_2 0.96, Fosforo P_2O_5 0.11, Azufre 0.16; Estroncio 0.016, Bario 0.042. Para el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá-2, se determina un valor en Silicio de 66.61, Aluminio de 24.15, Hierro de 5.35, Calcio de 0.22, Magnesio de 0.40; Sodio de 0.54, Potasio de 0.98, Titanio de 1.23, Fosforo de 0.21, Azufre de 0.08, Estroncio 0.04, Bario de 0.07. Para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina (muestra 15646801007), se determina un valor en Silicio de 61.90, Aluminio 22.16, Hierro 11.73, Calcio 0.29, Magnesio 0.32, Sodio 0.42, Potasio 0.86; Titanio 1.16, Fosforo 0.37, Azufre 0.03, Estroncio 0.07, Bario 0.08.

Se obtuvo en el nivel K2E1g2 de la formación Guaduas, valores de Silicio entre 56.82 a 71.63, Aluminio 21.11 a 33.13, Hierro 0.54 a 13.12), Calcio 0.13 a 4.94, Magnesio 0.11 a 0.81, Sodio 0.44 a 3.05, Potasio 0.03 a 2.05, Titanio 0.93 a 1.87, Fosforo 0.08 a 3.52, Azufre 0.00 a 0.57, Estroncio 0.02 a 0.21), Bario 0.00 a 0.16; en el nivel K2E1g3, se determinan valores promedios de Silicio entre 44.69 a 71.80, Aluminio 20.08 a 35.87, Hierro 0.86 a 21.82, Calcio 0.17 a 13.41, Magnesio 0.12 a 0.983, Sodio 0.25 a 0.49, Potasio 0.14 a 2.23, Titanio 0.85 a 1.26, Fosforo P_2O_5 0.09 a 9.64, Azufre 0.00 a 0.29, Estroncio 0.02 a 0.20, Bario 0.04 a 0.14.

5.3. ANÁLISIS PETROGRÁFICOS

Se realizó análisis petrográfico por el método de luz reflejada a 44 muestras (35 muestras recopiladas en frentes de mina a través del sistema de canal y 10 muestras recopiladas en las perforaciones), con el fin de establecer características como la composición maceral y el poder reflector medio promedio de la vitrinita o Reflectancia de la Vitrinita (R_o), de acuerdo a las

normas establecidas por el Comité Internacional de Petrografía del Carbón (ICCP, 1963) con el equipo Microscópio petrográfico Lietz ORTHOLUX II POL-MK.

A través de este análisis, es posible determinar el rango del carbón, considerado como uno de los factores relevantes en el estudio de GMAC y las posibles fuentes que pueden originar la presencia del mismo en los mantos de carbón, conociendo su composición maceral, mediante la cual, se hace la determinación cuantitativa de la composición microscópica de un carbón; estos macerales se distinguen por su color, reflectividad, forma y relieve.

El análisis de reflectancia media de la vitrinita es una medida del rango del carbón y el análisis de macerales ayuda a visualizar una caracterización del origen y de los posibles usos tecnológicos, dependiendo de los porcentajes de vitrinita, exinita e inertinita.

5.3.1 Análisis del contenido maceral

El análisis del contenido maceral permite realizar la determinación del tipo de carbón a través de la identificación de los componentes orgánicos del mismo de acuerdo a la norma D-2799-05a, con el equipo Microscópio petrográfico Lietz ORTHOPLAN.

El valor de la vitrinita, se utiliza para la medición del rango, debido a que se considera como el grupo maceral más abundante en el carbón y es relativamente fácil de aislar.

Respecto a los resultados obtenidos en las muestras analizadas, se registra en la vitrinita un rango entre 30.20 a 90.8%, con un promedio de 72.18%; Inertinita, un rango entre 2.80 a 37.3% ; con un promedio de 16.87% . Exinita (Liptinita), un rango entre 0.1 a 1.8% , con un promedio de 0.38%. En cuanto a los dos mantos la Vidriosa y la Ligada que más registran contenido de gas metano, correspondientes a los 2 pozos de perforación (Ráquira-1 y Samacá-2 respectivamente), se determinaron datos de análisis de contenido maceral así: Manto La Ligada, vitrinita 69.40%, Inertinita 4.50% y materia mineral 26.00%; para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina (muestra 15646801007), se determina un valor de vitrinita de 78%, Inertinita 16.6% y materia mineral 5.0%.

5.3.2 Análisis Reflectancia de la Vitrinita (Ro)

Este análisis tiene como objetivo determinar cuantitativamente los componentes minerales del carbón de acuerdo a la norma ASTM D-2798-06. El valor determinado se expresa como reflectancia media promedio y máxima promedio; de los cuales, se ha empleado para determinación del rango y ajuste de las

mediciones de contenidos de gas metano en las muestras recopiladas el valor de Reflectancia media promedio de la vitrinita.

En las 35 muestras tomadas en frentes de mina se observa un rango de Reflectancia media promedio de la vitrinita “Ro” de 0.75 a 1.26% ; con un promedio de 1.0%. En el Pozo Ráquira-1, el manto la Vidriosa del nivel K2E1g3, registró mayor contenido de gas total libre de cenizas, sin embargo debido a su alto contenido en cenizas, no se realizó el análisis de Ro, los demás mantos de carbón en este pozo, poseen valores de Ro entre 0.96 a 1.06%; en el pozo Samacá-2, el manto la Ligada del nivel K2E1g3 del pozo Samacá 2, el cual registra mayor contenido de gas total libre de cenizas, posee un valor de “Ro” de 0,94 y para el manto Siete Bancos muestreado en frente de mina, el cual registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se determina un valor de “Ro” de 0,75.

En el manto Cisquera 1 del nivel K2E1g2 se observa un valor de “Ro” de 1.26% con un contenido en cenizas de 3.67%, en comparación con el manto Siete Bancos del nivel K2E1g3, el cual presenta una “Ro” de 0.75% y un contenido en cenizas de 14.54%; el manto Cisquera 1 presenta mayor “Ro” y por ende mayor madurez térmica,

El carbón al presentar un alto contenido en “Ro” Reflectancia media de la vitrinita, se dice que es un carbón que ha tenido mayor madurez térmica y por lo tanto tiene menos contenido en cenizas, siendo estas características de interés en carbones con buenas perspectivas para la generación de GMAC.

De los valores de Ro registrados, se puede concluir que existe una relación inversa entre la “Ro” y el contenido de cenizas, a mayor contenido de “Ro” menor contenido de cenizas.

5.3.3 Determinación del rango por Ro

Además de la determinación del rango de los carbones objeto de análisis a través de la norma ASTM D-388, se procedió a definir este mismo a partir de los valores de reflectancia de la Vitrinita, empleando para ello las figuras 32 y 33, en la cual se relacionan valores de Ro desde 0 hasta 4.0 y se comparan varios sistemas de clasificación, obteniéndose para los carbones con mayores contenidos de metano un rango Bituminosos Alto Volátil B y A.

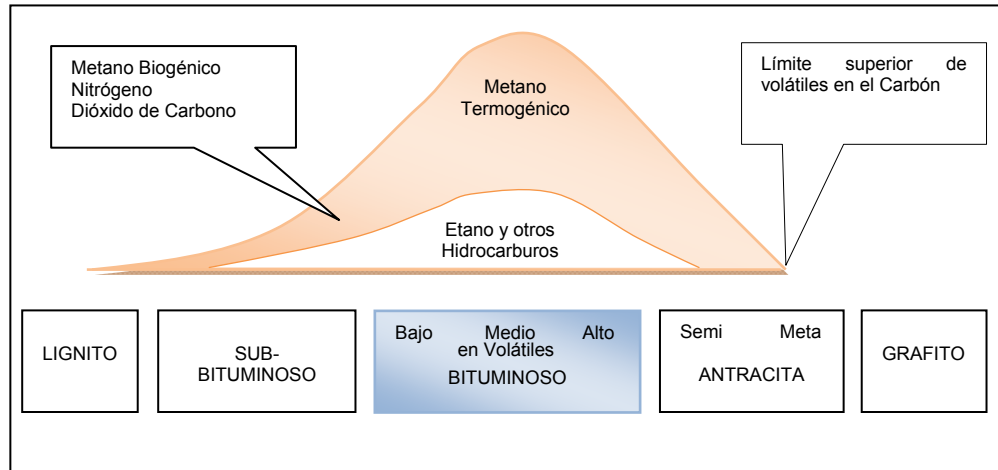


Figura 32. Generación de gas en el carbón Fuente: Law and Rice (1991).

RANGO	REFL. Rm	M. V. %SLCz	CARBONO VITRITA %SL Cz	HUMEDAD DE EQUILIBRIO	PODER CALORIFICO CAL/gr	APLICABILIDAD DE LOS DIFERENTES PARAMETROS
TURBA	0.2	68				
LIGNITO	0.3	60	75			
Sub. C	0.4	60		35	4000	
Bit. B	0.5	52	71	25	5500	
C	0.6	48		8-10	7000	
B	0.7	44				
A	0.8	40				
BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL	1.0	36				
BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL	1.2	32	87		8650	
BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL	1.4	28				
SEMI-ANTRACITA	1.6	24				
	1.8	20				
	2.0	16				
	3.0	12				
	4.0	8	91		8650	
META-ANT		4				

Figura 33. Estados de carbonificación de acuerdo a la clasificación americana (ASTM, 1978). Fuente: Uribe y Pérez, 1987.

6. MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS

Para determinar el potencial de GMAC que un área de interés pueda llegar a tener, es necesario adelantar mediciones de contenidos de gas en los mantos de carbón de interés o en toda la secuencia carbonífera existente, que como en el presente caso, están basadas en el empleo de métodos directos que permiten medir tanto la desorción de núcleos de perforación en un equipo hermético (canister) una vez extraídos en campo, como el gas desorbido y residual en función del tiempo en cada muestra y bajo condiciones de presión y temperaturas que simulan las características del yacimiento en un ambiente de laboratorio. El empleo de los métodos Directos, es importante teniendo en cuenta que una de las características que diferencia los reservorios de GMAC de los convencionales, es el hecho de que el metano puede encontrarse almacenado en los carbones de diversas maneras: como gas disuelto en el agua de la formación, como gas libre dentro de las fracturas o poros, como moléculas de gas absorbidas en el carbón, siendo este último el principal proceso de almacenamiento del gas en el carbón que puede llegar a representar el 98% del gas contenido en estas capas¹.

Las mediciones estuvieron a cargo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), sede Sogamoso y se realizaron en el laboratorio de GMAC de la misma.

6.1. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA CALCULAR EL CONTENIDO DE GAS EN LOS MANTOS DE CARBÓN (GMAC)

El contenido de gas presente en un manto de carbón, se puede calcular a través de la estimación y sumatoria de tres componentes:

$$\text{CONTENIDO DE GAS} = \text{gas perdido} + \text{gas desorbido} + \text{gas residual}$$

De donde:

¹ Determinación del bloque con mejores posibilidades de gas asociado al carbón GAC de la zona carbonífera ubicada al Nor-oriente del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá, Luis Carlos López Walteros, Fonseca Rojas Jessel Andrea, UPTC-Sogamoso. Trabajo de grado. 2003.

- El *Gas perdido*, corresponde al gas escapado del carbón, entre el tiempo en que el manto de carbón es penetrado por la broca y el tiempo en que la muestra es colocada y sellada dentro del canister (recipiente hermético). Su valor se calcula mediante la extrapolación de los datos de la prueba de desorción durante las dos primeras horas por los métodos de U.S Bureau of Mines y Smith y Williams (1984) y se expresa en cm^3/gr , pies^3/Ton , pie^3/ton .

- El *Gas desorbido*, es el gas adsorbido en la muestra de carbón que se mide en el canister a través de la desgasificación del mismo, durante un período de 2 a 3 meses; las unidades corresponden a cm^3 gas/gr carbón, o $\text{pies}^3/\text{gas}/\text{Ton}$ carbón. La determinación del gas desorbido corresponde a la sumatoria de todos los volúmenes medidos en esta prueba (Anexos G,H, I).

- El *Gas residual*, es el gas que permanece atrapado o absorbido en la matriz del carbón, después que se ha completado la prueba de desorción. Este contenido de gas se expresa en cm^3/gr , pies^3/Ton o pie^3/ton con la previa estandarización de la presión y la temperatura (STP).

6.1.1 Equipos y montaje para la determinación del contenido de gas

Entre los equipos empleados para medir los contenidos de gas metano en una muestra de carbón, sobresale, el canister o recipiente sellado herméticamente, de los cuales sobresalen los canister con control de temperatura, buretas, termostato.

El equipo canister utilizado para la determinación del contenido de gas en una muestra de carbón consta de una cámara hermética hecha en PVC en forma de cilindro, sellado en uno de sus extremos (inferior), en el otro extremo (superior) tiene una tapa la cual debe garantizar su sellado hermético. Las longitudes de este equipo son: Canister largo 37 cm y un diámetro de 4" y el largo de la tapa es de 20 cm, junto con la válvula, la cual va conectada con el manómetro de 0-15 psi y tiene un orificio que se conecta a una manguera para la medición del gas (ver Figuras 34 y 35). Se utilizan canister de varios tamaños con volúmenes de 2,5 litros.

Adicional a los canister se utiliza un sistema de medición del gas por desplazamiento de una columna de agua que consiste en una bureta conectada al canister con un sistema de mangueras. La bureta puede ser de 250 ml en adelante.



Figuras 34 y 35. Equipos empleados en la medición de gas metano en capas de carbón.

El montaje se realiza conectando dos acoples en cada extremo de la bureta con un soporte metálico de tal manera que la bureta quede totalmente vertical. Se conecta un embudo con una manguera flexible al soporte por medio de acoples, el otro extremo de la manguera es conectado a la parte inferior de la bureta. La bureta es llenada de agua coloreada para poder observar mejor el desplazamiento de gas metano, el nivel del agua es arbitrario de acuerdo a la capacidad de la bureta.

Por último se conecta la manguera de una longitud adecuada que no sea muy larga al extremo superior de la bureta quedando así un orificio libre de la manguera que será conectado en uno de los canister para su posterior cálculo de volumen de gas desplazado (evidenciado en el desplazamiento de agua).

6.1.2 Procedimiento en la medición de contenidos de GMAC

El procedimiento para conocer el contenido de gas en una muestra de carbón, posee varias etapas de desarrollo que comprende tres Fases principales: campo, laboratorio y procesamiento de información.

6.1.2.1. Obtención de muestras en campo

Con el fin de obtener muestras representativas en cada una de las perforaciones adelantadas y en los frentes de mina, se realizaron las siguientes actividades:

a. Prueba de hermeticidad en los canister a utilizar. Con una bomba de aire se le aplica aire a presión al canister, luego se deja unos minutos y se sumerge en agua para poder verificar que no haya ninguna fuga y este, se encuentre en condiciones adecuadas para ser utilizado (prueba que se realiza tanto en laboratorio, como en campo) (ver Figura 36).



Figuras 36. Pruebas de hermeticidad en los canister. Muestreo frente de mina.

b. Registro de los tiempos en que se empieza y termina de perforar el manto de carbón, el tiempo en que se comienza a subir el núcleo de perforación y el tiempo de llegada a la superficie de la misma, esto con el fin de calcular el volumen de gas perdido en la muestra. En el muestreo en frente de mina, se

tienen en cuenta los tiempos en los cuales se obtiene la muestra y el tiempo en que es sellado el canister.

- c. Recepción y lavado de los núcleos de perforación en superficie.
- d. Descripción de la muestra.
- e. Trituración de la muestra para facilitar el desplazamiento del gas e introducción de la misma en el recipiente sellado (canister), donde se debe tener presente llenar completamente el canister con carbón y material inerte cuando la muestra de carbón sea muy reducida.
- f. Sellamiento del canister, se emplea para mayor seguridad la aplicación de silicona en la ranura del canister y en la tapa del mismo (ver Figura 37).



Figura 37. Obtención de muestra en frente de mina para medición de contenido de gas metano.

- g. Registro del tiempo de sellado

6.1.2.2. Prueba de desorción en campo (Gas Perdido)

A través de esta prueba, se mide la desgasificación del carbón, permitiendo su salida. El gas, es medido por el desplazamiento del agua en una columna volumétrica.

Una vez introducida la muestra en el canister y realizado el sellado correspondiente, se adelantan las siguientes acciones:

- a. Se conecta una bureta al canister a través de una manguera flexible.
- b. Se registra la hora, la temperatura y la presión del lugar donde se realiza el muestreo.
- c. Se abre la válvula del canister que permite la salida del gas el cual es medido por el desplazamiento del agua en una columna volumétrica (bureta) (ver Figura 38). El dato de gas Desorbido, corresponde a la diferencia entre el volumen final y el volumen inicial registrado en la bureta.
- d. Se cierra la válvula y se desconecta la manguera del canister, se espera a que se estabilice el volumen inicial en la bureta. La medición se hace durante las dos primeras horas, cada 15 minutos o a intervalos de tiempo que el muestreador considere, en el cual se haya recuperado la muestra para nuevamente ser objeto de medición.

El gas medido corresponde al gas perdido de la muestra de carbón y se calcula a través del método de U.S Bureau of Mines (Diamond and Levine, 1981).



Figuras 38. Sistema de medición del gas perdido en muestras de carbón pozo Samacá-2.

6.1.2.3. Mediciones en laboratorio

Prueba de desorción. Una vez los canister han sido sellados herméticamente, se debe iniciar la medición de gas desorbido en campo hasta que estos sean enviados al laboratorio para proseguir allí el protocolo correspondiente, en el cual se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Pesar el canister sellado herméticamente y por diferencia de pesos (con respecto al peso del canister) obtener el peso de la muestra.
- b. Introducir los canister en un tanque con un sistema de termostato, para mantener la temperatura constante y simular la Temperatura del yacimiento.
- c. Conectar el canister a la bureta, abrir la válvula, si se presenta succión la válvula del canister debe ser cerrada inmediatamente registrando la cantidad de gas succionado, la cual se le resta a las lecturas acumulativas del gas de-adsorbido.
- d. Desconectar la manguera y esperar que el nivel del agua en la bureta vuelva al punto arbitrario o cero (volumen inicial V_o).
- e. Conectar nuevamente, abrir la válvula y tomar la primer lectura del volumen de gas liberado (volumen final V_f). El volumen de gas liberado se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\text{Gas medido} = V_o - V_f$$

- f. Cerrar la válvula y desconectar la manguera del canister, se espera a que se establezca el nivel de agua en el manómetro y se conecta repitiendo el proceso anterior para las siguientes lecturas (durante un período aproximado de 2 a 3 meses, tiempo que depende de la cantidad de gas contenido en la muestra analizada).
- g. Adicionalmente se consigna en el formato dispuesto para tal fin, al momento de cada medición la temperatura, presión, hora y fecha. Este procedimiento se repite para cada muestra de corazón obtenida de cada uno de los mantos de carbón encontrados durante la perforación del pozo (Anexos G,H,I).

Los canister deben mantenerse en un tanque o tina con un sistema de termostato para conservar la temperatura constante durante el tiempo de medición. La temperatura debe ser aproximada a la del yacimiento de carbón, para lo cual, in situ, se mide la temperatura del subsuelo del área o sitio de la perforación. Si no se puede medir la temperatura directamente, se utiliza el gradiente geotérmico que es de 1°C por cada 33 metros o se determina el gradiente geotérmico de la zona y se extrapola a la profundidad de la muestra.

- h. Se continúan realizando las pruebas de desorción periódicamente, consistentes en medir la cantidad de gas liberado y presión a intervalos de tiempo cada vez mayores hasta que la tasa de liberación de gas sea prácticamente nula.

Medición Gas Residual. Una vez finalizadas las pruebas de desorción, se realiza la medición del gas residual, teniendo en cuenta que parte de este es absorbido en la matriz del carbón; para ello, se retira la muestra de carbón del canister y partiéndola en cuartos. Se toma una de estas partes y se coloca en un contenedor para mezclas de gases o en un molino de bolas que debe ser sellado herméticamente y conectado a un manómetro para medir el contenido de gas residual. El carbón es pulverizado a malla 60 para liberar el gas remanente de la muestra y así poder realizar la medición de la misma manera que se hace la medición del gas de desorción.

Luego de finalizadas las mediciones, se envía la muestra de carbón al laboratorio para análisis próximos, determinando humedad, % de cenizas, poder calorífico y contenido de azufre y el análisis petrográfico que incluye reflectancia a la vitrinita y análisis maceral, con esta información se puede analizar las características de la historia del enterramiento e identificar las partes de la cuenca donde la reflectancia de la vitrinita está entre 0,5 y 1,6%, rango que se ha señalado en algunos estudios de los años 90s, (ECOPETROL-ICP), como de interés para establecer los carbones con mayores perspectivas para adelantar proyectos de GMAC. De esta forma se eliminan áreas con poco o excesivo enterramiento no óptimas para la explotación.

6.1.2.4 Procesamiento de la información

Con los datos obtenidos de las pruebas de desorción (tiempos, volúmenes, presiones y temperaturas registradas), se procede a calcular el contenido total de gas a condiciones estándar de la siguiente manera:

- Cada lectura de gas medido y acumulado es dividida entre el peso de la muestra seca para así obtener el contenido de gas de la muestra.
- Se realiza la corrección a presión y temperatura estándar (STP) de los datos obtenidos en la medición de gas perdido, gas desorbido y gas residual. Dicha estandarización se hace mediante la ecuación generada por Close, 1989:

$$\text{Volumen STP} = \frac{\text{Volumen medido} * (\text{Presión ambiente}/29.92) * 520}{460 + \text{Temperatura ambiente } ^\circ\text{F}}$$

Dónde:

Volumen medido = Es aquel tomado en la prueba de de-adsorción

Presión Estándar = Equivale a 29.92 pulgadas de mercurio

Temperatura ambiente = Es expresada en grados Fahrenheit.

- Posteriormente se grafica el contenido de gas acumulado Vs tiempo (pies³/ton Vs √horas), para obtener la curva acumulativa de desorción, obtenida de las pruebas de desorción (ver Figura 39).

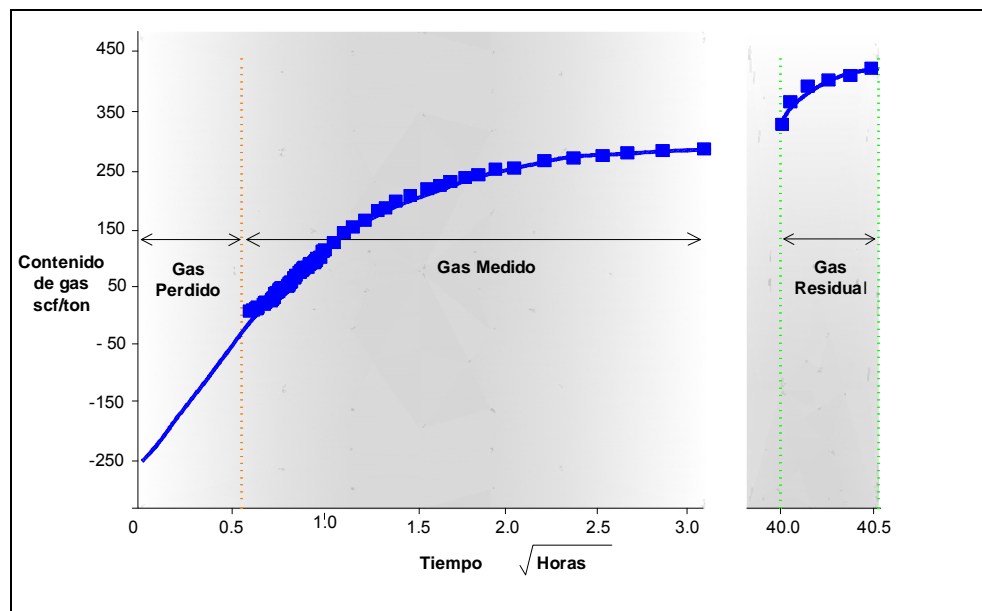


Figura 39. Curva de desorción, donde se aprecia los intervalos para los contenidos de gas perdido, medido y residual.

Cuando el canister ha succionado aire se puede detectar graficando el contenido acumulado de gas Vs. tiempo, pues la curva se vuelve asintótica para algunos valores. En el caso que el aire entre a la cámara, la actividad biológica

resultante provoca que la curva se rompa con este acercamiento asintótico y diverge de su trayectoria normal.

6.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez calculados los valores de gas perdido, desorbido y residual, se procedió a realizar los ajustes a los mismos con base en la información de los análisis fisicoquímicos de las muestras colectadas objeto de medición de contenidos de GMAC, obteniéndose el valor de gas total libre de cenizas (sin tener en cuenta parámetros que no generan metano como La humedad, ceniza y azufre para cada caso), como se muestra a continuación:

6.2.1 Pozo Samacá-2

Los valores de contenidos de metano libres de materia mineral en las muestras analizadas de acuerdo a la información registrada en la Tabla 6, varían para las capas de carbón entre 2,73 y 37,03 pies³/ton, este último valor corresponde al manto la Ligada, ubicado a la base de la secuencia carbonífera presente en el nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas, identificado a 194.40m de profundidad, con una Ro de 0,94 y un rango ASTM subC; los valores más bajos corresponden al Manto Chica1, ubicado en el Nivel K2E1g4 de la formación, identificado a los 104.75m de profundidad, con una Ro de 0,73 y un rango ASTM subC.

En este pozo tampoco se encontró un aumento del contenido de GMAC con la profundidad, a pesar de que la cobertera estuvo siempre sobre 100 m y en algunos estuvo cerca a los 200 m.

Con respecto a los respaldos muestreados, se tiene valores de contenidos de metano entre 3 y 40,13 pies³/ton, siendo el mayor valor el registrado por la muestra del respaldo superior del manto 7 Bancos Inferior, conformado por arcillolitas limosas.

6.2.2 Pozo Ráquira-1

De acuerdo con la Tabla 7, en el pozo Ráquira-1, los valores de contenidos de GMAC libres de materia mineral varían entre 7,41 y 87,94 pies³/ton (Muestra PR1-33), siendo este último valor el registrado por el Manto denominado Vidriosa, que se ubica hacia el techo del Nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas, identificado a 97,68 m de profundidad; el valor más bajo corresponde al manto conocido como la Cisquera 2, del mismo nivel estratigráfico, con valores de 7,41 pies³/ton; ambos mantos corresponden al rango Bituminosos Medio Volátil (bmv), este último con un valor de Ro de 1,06.

En la muestra PR1-33 los contenidos de Ceniza fueron superiores a 60% por lo que la corrección por ceniza elevó el contenido de gas a 87,94 pies³/ton. Ese porcentaje de ceniza está muy por encima de lo normal, por lo que el valor del contenido podría considerarse muy alto.

En el Pozo Ráquira-1, no se encontró un incremento del contenido de gas con la profundidad como se esperaba por que los valores mayores se encontraron en los mantos superiores atravesados por la perforación. Los bajos valores se podrían explicar por la baja cobertera que en las muestras superiores es inferior a 100 m y en las muestras inferiores no sobrepasa los 170 m. Las bajas cobertera permiten la desorción natural del gas.

6.2.3 Frentes de Mina

Los valores de contenidos de gas metano libres de materia mineral en las muestras obtenidas en los frentes de mina presentados en la Tabla 7, varían entre 3 y 54 pies³/ton. Los mayores valores corresponden a las muestras de los mantos Cisquera 2 y Siete Bancos, de las Minas El Santuario y Coralitos respectivamente con valores de 46,16 y 53,84 pies³/ton, Reflectancia de la vitrinita (Ro) de 0,75 y 0,96 y rango ASTM correspondiente a carbones subC bmv. Los valores más bajos de gas total libre de cenizas se encontraron en el Manto Grande en la mina La Carbonera con 3,32 pies³/ton de contenido de GMAC, un valor de Ro de 0,82 y un rango bmv (ver Tabla 8).

Tabla 6. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Pozo Samacá-2.

Nombre mantos Techo a Base	ID Muestra Medición Metano / Análisis Físicoquímico	Espesor Real (m)	Profundidad (m)		Material	Gas perdido (pies ³ /Ton)	Gas Desorbido (pies ³ /Ton)	Gas Residual (pies ³ /Ton)	Gas Total (pies ³ /Ton)	Gas total libre de materia mineral (pie ³ /Ton)	Ro (%)	Materia Mineral	Rango ASTM
			Desde	Hasta									
Chica 2	PS-2 21 15646801043	0,53	102,30	102,80	Carbón	-	24,32	2,5	26,82	32,11	0,80	10,9	subC
Chica 1	PS-2 22 15646801036	0,50	104,75	105,25	Carbón	-	1,30	0,50	1,80	2,73	0,73	66,80	subC
7 Bancos	PS-2 23 15646801037	0,85	110,80	111,90	Carbón	-	2,21	7,47	9,68	11,60	0,78	38,20	bmv
La Grande	PS-2 24 15646801038	2,50	144,50	145,00	Carbón	-	0,96	6,96	7,92	9,42	0,78	13,40	subC
La Grande	PS-2 25 15646801038	2,50	145,85	146,25	Carbón	-	0,93	0,30	1,23	1,46	0,95	13,40	subC
La Tercera	PS-2 26 15646801039	0,85	154,45	154,80	Carbón	0,23	14,02	3,80	18,05	20,19	0,92	21,00	subC
La Ligada	PS-2 27 15646801040	0,55	194,40	194,95	Carbón	10,67	15,21	4,70	30,58	37,03	0,94	26,00	subC
Arenita	PS-2 28	5,00	275,50	275,90	Arenita	2,12	6,06	-	8,18	-	-	-	-
Arcillolita	PS-2 29	3,50	321,0	324,50	Arcillolita	23,94	16,19	-	40,13	-	-	-	-
La limpia	PS-2 30 15646801044	0,45	175,40	175,85	Carbón	-	15,88	4,90	20,78	24,19	0,76	8,1	subC
Arenita	245 o 31	3,45	332,50	335,95	Arenita	-	2,99	0,90	3,89	-	-	-	-

Fuente: Datos del Estudio

**Tabla 7. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas
Pozo Ráquira-1.**

Nombre mantos Techo a Base	ID Muestra Medición Metano / Análisis Físicoquímico	Espesor Real (m)	Profundidad (m)		Material	Gas perdido (pies ³ /Ton)	Gas Desorbido (pies ³ /Ton)	Gas Residual (pies ³ /Ton)	Gas Total (pies ³ /Ton)	Gas total libre de materia mineral (pie ³ /ton)	Ro (%)	Materia Mineral	Ran go ASTM
			Desde	Hasta									
Respaldo	PR1-32	0,40	97,36	97,68	Arcillolita	0,66	10,13	-	10,79	-	-	-	-
Vidriosa	PR1-33 15600801045	0,40	97,68	98,08	Carbón	0,14	10,39	15,00	25,59	87,94	-	-	bmv
Respaldo	PR1-35	0,30	125,70	126,00	Arcillolita	0,96	24,35	-	25,31	-	-	-	-
7 Bancos	PR1-34 15600801041	2,70	126,40	127,30	Carbón	0,65	12,00	9,30	21,95	24,26	0,99	4.30	subC
7 Bancos	PR1-36 15600801041	2,70	129,30	128,65	Carbón	0,34	6,30	3,25	9,89	10,93	0,99	4.30	subC
Respaldo	PR1-38	0,30	140,20	140,50	Arcillolita	0,48	14,65	-	15,13	-	-	-	-
Piedro 2	PR1-37 15600801042	1,20	140,50	141,70	Carbón	0,98	8,46	4,50	13,94	19,55	0,93	15.1	bmv
Respaldo	PR1-40	0,40	170,60	171,00	Arcillolita	0,71	2,12	-	2,83	-	-	-	-
Cisquera 2	PR1-39 15600801046	1,50	171,00	171,50	Carbón	0,04	4,10	2,47	6,61	7,41	1,06	4,4	bmv

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 8. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Frente de mina.

No	Nombre mantos Techo a Base	ID Muestra Medición Metano / Análisis Físicoquímico	Espesor Real (m)	Ubicación	Material	Gas perdido (pie ³ /Ton)	Gas Desorbido (pie ³ /Ton)	Gas Residual (pie ³ /Ton)	Gas Total (pie ³ /Ton)	Gas total libre de materia mineral (pie ³ /ton)	%Ro	Materia Mineral	Rango ASTM
1	La Grande	237 (FM-01) 15646801001	1,72	Mina la Carbonera a 62 m de la cruzada	Carbón	0,26	2,68	0,00	2,94	3,32	0,82	6,6	bmv
2	La Limpia	250 (FM-02) 15646801002	0,95	Mina la Carbón. nivel izq. tamb.5	Carbón	1,16	31,68	7,25	40,09	43,18	0,85	1,4	bmv
3	Manto El Rubí	P7-100 (FM-03) 15646801003	0,80	Mina la Banda Segundo nivel inf. Frente sur	Carbón	1,79	4,94	12,53	19,26	20,74	1,13	2,2	bbv
4	Bocatoma	252 (FM-04) 15646801004	1,70	Frente segundo nivel inf. Sec. N	Carbón	2,83	11,51	0,00	14,34	15,79	1,11	14,2	bbv
5	Bocatoma	228 (FM-05) 15646801005	1,30	Mina Carboinsa Frente de mina	Carbón	0,53	22,17	10,40	33,14	36,12	1,17	3	bbv
6	Bocatoma	247 (FM-06) 15646801006	1,50	Mina la Choza	Carbón	0,51	11,76	8,59	20,86	22,96	1,08	5,1	bbv
7	Siete Bancos	8-130 (FM-07) 15646801007	1,10	Mina Corralitos	Carbón	0,99	33,62	9,61	44,18	53,84	0,75	5	subC
8	La Ligada	4-45 (FM-08) 15646801009	0,45	Mina Corralitos BM La Ligada	Carbón	0,172	1,12	7,55	8,84	10,02	0,89	11,9	bmv
9	La Tercera	9-125 (FM-09) 15646801010	0,60	Mina Corralitos BM La Tercera	Carbón	1,73	3,4	12,56	17,69	20,48	0,93	7	bmv
10	Cisquera 2	229 (FM-10) 25317706011	1,10	Mina El Santuario BM Cisquera 1	Carbón	5,19	28,69	8,25	42,13	46,16	0,96	3	bmv
11	Vidriosa	233 (FM-11) 25317706012	0,70	Mina El Santuario	Carbón	0,85	10,19	4,70	15,74	20,8	0,84	13,9	bmv
12	Consuelo	(FM-12) 15600801013	0,45	Mina Lidiar BM Consuelo	Carbón	0,73	6,3	3,60	10,63	11,99	1,05	2,9	bmv
13	Aliso	243 (FM-13) 15600801014	0,45	Mina Lidiar BM Consuelo	Carbón	1,31	8,36	6,54	16,48	17,54	1,03	4,3	bbv
14	Tesoro	P7-106 (FM-14) 15600801015	0,45	Mina Lidiar BM Consuelo	Carbón	0,18	2,02	2,02	4,22	4,66	1,06	2,2	bmv
15	Tesorito	P7-3R (FM-15) 15600801016	0,45	Mina Lidiar BM Bocatoma	Carbón	0	15,35	5,31	20,66	21,75	1,09	6	bmv
16	Cisquera 2	221 (FM-16) 25317706019	0,45	Mina El Roble	Carbón	0,75	11,29	7,50	19,54	21,84	1,04	2,9	bmv
17	Bocatoma	220 (FM-17) 25317706020	0,45	Mina El Roble	Carbón	0,53	7,89	9,25	17,67	18,9	1,14	5,4	bmv
18	Rubí	P7-4 (FM-18) 25317706021	0,70	Mina S. Franci. Guacheta	Carbón	0,64	12,87	3,53	17,04	18,77	1,15	5,6	bmv
19	Piedro	(FM-19) 25317706028	0,60	Inversiones Qda Honda .BM Rubi	Carbón	0,51	5,08	7,40	12,99	22,08	1,02	30	bbv
20	Bocatoma Resp. Superior.	242 (FM-20)		Mina La Banda	Arcillolita	0,43	13,48	5,50	19,41	-	-	-	

Fuente: Datos del Estudio

7. CÁLCULO DE RECURSOS Y RESERVAS DE GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN

Para el área de estudio denominada Guachetá-Samacá, los mantos de carbón de la Formación Guaduas que presentan mayor interés para adelantar estudios de exploración de GMAC, se encuentran ubicados en el flanco occidental del Sinclinal Checua-Lenguazaque, el cual posee buena continuidad en el rumbo y en buzamiento. Las condiciones de la zona, denotan que los esfuerzos compresivos, desde el occidente hacia el oriente producidos por el movimiento de las placas tectónicas han generado fallas de tipo inverso y carácter regional y han ocasionan consecuentemente el origen de fallas transversales locales, como expresión de reactivación de fallas del basamento que dislocan las unidades preexistentes, permitiendo la formación e identificación de bloques carboníferos, caracterizados por la continuidad de los diferentes mantos de interés con una certeza geológica aceptable. A partir del estudio de estos, se cuantificaron los volúmenes de GMAC como recursos y reservas en diferentes categorías.

7.1 DEFINICIÓN DE RECURSO Y RESERVA

Recurso. Corresponde al volumen u ocurrencia de gas metano presente en el yacimiento carbonífero, el cual ha sido cubicado con base en un estudio geológico detallado, pero los puntos de control no contienen datos puntuales de concentración de metano por tonelada de carbón, se tiene conocimiento por las manifestaciones observadas en las labores mineras y la concentración de gas metano se toma como el promedio de los resultados obtenidos en otros puntos de control sobre el mismo manto de carbón o de estudios que hayan realizado la determinación de las concentraciones por manto. También se clasifican como recursos los volúmenes de gas metano cuantificados mediante puntos de control con datos de medición de contenidos de gas metano expresados en pies cúbicos estándar por tonelada (pie^3/ton), pies cúbicos por tonelada (pc/ton o pie^3/ton), centímetros cúbicos por gramo (cc/gr), o metros cúbicos por tonelada (m^3/ton), pero el estudio geológico base es de carácter regional (Escala 1:25.000, 1:50.000 o más grande).

Los recursos de gas metano se subdividen en categorías, dependiendo de la certeza geológica, la distancia de los puntos de control y la densidad de las mediciones de contenidos de gas metano en el área de estudio, las cuales

correspondieron a: recursos medidos, recursos indicados, recursos inferidos, recursos hipotéticos y recursos especulativos.

Reserva. Corresponde al volumen de gas metano presente en el yacimiento carbonífero, el cual ha sido cubicado con base en un estudio geológico en escala detallada (1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 o más detallada) y mediante puntos de control donde se haya realizado un muestreo sistemático que determine la concentración de metano por tonelada de carbón, tomado de perforación y/o túneles mineros suficientes para determinar la continuidad tanto en rumbo como en buzamiento de los mantos. Estos volúmenes calculados se subdividen en categorías de acuerdo al grado de certeza geológica y densidad de mediciones de CH₄ en el área como Reserva Medidas, Reservas Indicadas y Reservas Inferidas.

7.2. LIMITES PARA LA EVALUACIÓN DE RESERVAS Y RECURSOS

7.2.1 Zona explotada

Zona que ha sido intervenida por la actividad de extracción de carbón (zonas abandonadas y que actualmente se labora), donde las labores mineras permiten la migración del gas a la atmosfera, puesto que se aumenta la permeabilidad del manto con la actividad de explotación. En los planos de los mantos se limitó hasta la línea denominada avance de la explotación minera.

7.2.2. Zona de Dilución

Se determinó como una zona de 200 metros medidos en el buzamiento del manto desde la línea de avance de Explotación Minera hasta la línea denominada Inicio de exploración de GMAC (ver Mapas 11 a 26). En esta zona se pretende que los contenidos de metano vuelven a registrar valores reales, es el paso de una zona de alteraciones y migraciones a una zona sin intervenir.

7.2.3 Zona de Concentración

En los estudios realizados por la empresa privada (Drummond Ltd, 2005) sobre GMAC, se tiene como referencia para determinar las profundidades adecuadas de exploración y explotación del recurso, el valor de 600m, lo cual es compartido en estudios realizados por Universidades como la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), en donde se ha determinado que a partir de esta profundidad se marca un cambio considerable en el valor de los contenidos de Metano (Mariño, 2011). Sin embargo teniendo en cuenta la profundidad alcanzada con las perforaciones realizadas que corresponde a 300m y 400m y los valores de contenidos de gas metano obtenidos, se ha adelantado el cálculo de recursos y reservas de GMAC en las diferentes capas de carbón identificadas hasta el valor de 600m, denominada Profundidad (ver Mapas 11 a 26).

7.3 EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE GMAC

7.3.1 Categorías de evaluación

7.3.1.1 Categorías de recursos y reservas medidos, indicados, inferidos

Las categorías de medido y/o medida, indicado y/o indicada e inferido y/o inferida, se definen mediante distancias máximas contadas a partir del punto de medición más cercano (Punto de Control); estos valores se han fijado hasta 400 m., hasta 1200 m. y hasta 3600 respectivamente. El valor de 400 metros se consideró teniendo en cuenta que el avance de la actividad minera supera los 350m en profundidad, apreciándose la continuidad de los mantos. Cada área establecida se identificó en los mapas estructurales (Ver Planos 11 a 26) con un literal desde la A a la F. De acuerdo a lo anterior, se ha establecido las siguientes definiciones:

Reservas Medidas (A)

Se ha establecido como el área representada por 400 metros de radio de influencia desde el punto de control, y se cuenta con un volumen de metano por tonelada.

Reservas Indicadas (B)

Área de influencia del punto de control entre 400 m y 1.200 m. y se cuenta con un valor de volumen de metano por tonelada.

Reservas Inferidas (C)

Área de influencia del punto de control entre 1.200 m y 3.600 m. y se cuenta con un valor de volumen de metano por tonelada.

Recursos Medidos (D)

Área de influencia del punto de control con un radio de 400 m, no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

Recursos Indicados (E)

Área de influencia del punto de control con un radio desde 400 m a 1.200 m, no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

Recursos Inferidos (F)

Área de influencia del punto de control con un radio desde 1200 m a 3.600 m, no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

7.3.1.2 Categorías de Recursos Hipotéticos y Especulativos.

En la categoría de recurso hipotético se consideran los volúmenes cuantificados de capas de carbón con espesores variables a lo largo del bloque carbonífero y en el cual solamente se cuenta con un solo dato de contenido de gas metano por tonelada de carbón y no se cuenta con labores o destapes que nos garanticen la continuidad de estas capas de carbón.

La categoría de especulativo se tomó para la evaluación de las capas de carbón que no son comercialmente explotables, pero que fueron identificadas en las perforaciones, correlacionadas con las columnas estratigráficas levantadas en campo y objeto de medición de GMAC. Para determinar estos valores, se tomó como referencia el área total de estudio de 200km², la cual fue afectada por el valor de GMAC más alto que se obtuvo, teniendo en cuenta la continuidad en el sector evaluado. Para estos mantos, no se realizaron Mapas de contornos estructurales, ya que no se tiene certeza de su continuidad lateral.

7.3.2. Cálculo del Potencial de GMAC

La evaluación de reservas y recursos se realizó mediante círculos generados a partir de los puntos de control establecidos en frentes mineros y las dos perforaciones realizadas, estos círculos se deforman en el buzamiento dependiendo del ángulo de inclinación del manto de carbón.

En cada punto de información se grafican círculos de 400m, 1.200 m, y 3.600m de radio, que determinan las áreas de influencia para las categorías de medido, indicado e inferido. Estos círculos se deforman a elipses conservando la longitud verdadera en el lado paralelo al rumbo del manto, mientras que el lado paralelo al buzamiento se corrige multiplicando la dimensión del lado por el coseno del buzamiento. Se considera, igualmente, la influencia de los límites de avance de explotación minera, el Inicio de exploración GMAC y la profundidad.

Posteriormente, se calcula y digitalizan las áreas de influencia, obteniendo el valor de la proyección planimétrica del área. El valor real se recalcula dividiendo el valor planimétrico por el coseno del ángulo de buzamiento del manto, este valor se multiplica por el espesor, la densidad y el contenido de gas metano por tonelada para así calcular el volumen de gas metano en las diferentes categoría y zonas limitantes.

Es así, como el cálculo del volumen de GMAC, se efectúa, considerando los siguientes parámetros:

$$\text{Volumen de GMAC} = a \times e \times d \times cg$$

De donde:

a	=	Área de cálculo
e	=	espesor de la capa de interés
d	=	densidad del carbón
cg	=	contenido de gas metano en la capa de interés

En el cálculo del potencial de GMAC se ha especificado valores de Recursos y Reservas que corresponden a las áreas por encima y por debajo de la zona de Dilución, esto con el fin de tener en cuenta que las zonas por encima de la zona de Dilución están afectadas por la minería y su influencia, lo cual incide directamente en el valor de las reservas y recursos allí ubicados. Por debajo de la zona de Dilución se tendrían valores de Recursos y Reservas más cercanos a lo que realmente el manto de carbón podría llegar a registrar con respecto al potencial de GMAC.

Igualmente sobre los mapas de contornos estructurales se trazó la línea de profundidad de 600 m desde superficie, que indica la cobertura en metros de cada punto de control y el límite final para el cálculo de reservas y recursos de gas metano asociado al carbón.

7.3.2.1 Recursos y reservas de GMAC. Descripción de los mantos

Para determinar los recursos y reservas de GMAC en la zona de estudio, se tomó para análisis las capas de carbón con un espesor ≥ 0.40 m, que fueron colectadas tanto en las perforaciones como en frente de mina. Considerando en las mediciones de los mantos con intercalaciones la fracción correspondiente a carbón.

De acuerdo al objetivo del estudio, solo se evaluaron recursos y/o reservas para los mantos de interés, que corresponden a los que las perforaciones cortaron (ver Columnas 1 a 6), los cuales se describen a continuación de acuerdo al Sector GMAC evaluado y en posición estratigráfica de techo a base:

Sector El Santuario

Manto Vidriosa. Corresponde al primer manto de interés comercial en el sector, que se ubica al techo de la secuencia carbonífera del nivel K2E1g3 de la

Formación Guaduas. El Respaldo inferior está compuesto por una arcillolita limosa de color gris, laminación planoparalela continua a discontinua y el Respaldo Superior por una arcillolita limosa de color gris con algunos niveles de limolita y presencia de concreciones subredondeadas.

Este manto, presenta un espesor promedio de 0,60 metros. El rumbo varía entre N34°E a N65°E, con buzamientos entre 20° a 54° SE. Los buzamientos más altos se encuentran hacia el sur del sector analizado.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 33.926%(bs), materia volátil de 21.86%(bs), azufre de 1.51%(bs), un contenido de carbono de 71.51%(slmm) y un poder calorífico de 8769.74 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso Medio Volátil (bmv) (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,55 y el índice de hinchamiento varía entre 6½ y 8½. Este carbón, posee propiedades coquizantes, usado como correctores en mezclas con carbones destinados a la producción de coque.

Se utilizaron tres puntos de control desde el ES01 al ES03, en dos de los cuales (ES02 y ES03) (ver Tabla 9), se tomaron muestras para la determinación de Gas Total Libre de Cenizas, con valores entre **87,94 pie³/ton** en el Pozo Ráquira-1 y **20,84 pie³/ton** (ver Tabla 7) en un frente de mina (Mina El Santuario); estos valores fueron utilizados para la evaluación del potencial, donde se calculó un total de 110.491.585,25 pies³ equivalente a **0,11 Bcf** (Billones de pies³) de metano para este manto en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 12).

Manto Siete Bancos. De acuerdo a la información estratigráfica levantada en campo, se tiene que este manto está separado del manto anterior por un intervalo en promedio de 30 metros, compuesto por arcillolitas limosas de color gris oscuro con algunas intercalaciones de láminas de limolita de color gris y delgadas capas de limolita de color café oscuro con concreciones irregulares de limolita.

Estratigráficamente se encuentra ubicado en el nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas (K2E1g). Se constituye por varias capas de carbón y algunas intercalaciones, presentando la siguiente composición de base a techo: 1,50c+0,40r+0,40c+0,10r+0,15c+0,10r+0,65c; las intercalaciones presentes corresponden a arcillolitas carbonosas. Los respaldos están constituidos por arcillolitas limosas de color gris oscuro.

El espesor promedio para el sector de estudio es de 2,6 metros. El rumbo varía entre N40°E a N80°E, con buzamientos entre 20° a 54° SE. Los buzamientos más altos se encuentran hacia el sur del sector analizado.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 14,36% (bs), materia volátil de 27,66% (bs), azufre de 0,95%(bs), un contenido de carbono fijo de 69,66%(slmm) y un poder calorífico de 8740,13 cal/gr (Hlmm), lo que permite clasificar el carbón como Subbituminoso C a Bituminoso medio volátil (subC a bmv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,32 y el índice de hinchamiento varía entre 5½ a 7. El principal uso que se le da a este carbón es para la generación de energía como carbón térmico y para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Se utilizaron cinco puntos de control desde el ES04 al ES08 (ver Tabla 9), en uno de los cuales (ES06), se tomaron dos muestras para la determinación del Gas Total Libre de Cenizas, con valores entre **10,93 pie³/ton** a **24,96 pie³/ton** en el Pozo Ráquira-1(ver tabla 7); estos valores fueron utilizados para la evaluación del potencial, donde se calculó un total de 116.037.517,74 pies³, equivalente a **0,12 Bcf** (Billones de pies³) de metano en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 13).

Manto Piedro 2. Estratigráficamente está localizado a 11 metros del manto anterior (de acuerdo a la distancia reportada en la perforación del Pozo Ráquira-1), y a una distancia de 7.50m por la columna levantada en el sector Minas El Santuario, intervalo correspondiente a arcillolitas limosas de color de color gris con algunos niveles de arcillolitas carbonosas; este manto pertenece al Nivel K₂E1g3 de la Formación Guaduas (K₂E1g). Los respaldos están conformados por arcillolitas limosas de color gris a gris oscuro con presencia de concreciones irregulares de limolita de color café claro.

El espesor promedio con intercalaciones es de 1,2 metros. El rumbo del manto varía entre N28°E a N60°E y el buzamiento fluctúa entre 35° a 51° al SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 13.02%(bs), materia volátil de 29.08%(bs), azufre de 1.21%(bs), un contenido de carbono de 68.43%(slmm) y un poder calorífico de 8704.44 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Sub Bituminoso C (subC), (ver Tabla 11). El manto también presenta una gravedad específica de 1,32 y el índice de hinchamiento es de 4½. Se usa principal para la generación de energía como carbón térmico.

Los puntos de control utilizados para su evaluación van desde el ES09 al ES13 (ver Tabla 9) de los cuales en el punto ES11, se tomó muestra para determinar el valor de Gas Total Libre de cenizas, correspondiente a la perforación Ráquira-1 (ver Tabla 7), cuyo valor fue **19.55 pie³/ton**. Valor empleado para el cálculo del potencial equivalente a 114.582.517,08 pies³ equivalente a **0,11 Bcf** (Billones de pies³) de metano en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 14).

Manto Cisquera 2. Separado del manto anterior por una distancia estratigráfica que varía entre 2,20 a 29,0 metros de arcillolitas limosas de color gris con presencia de concreciones irregulares de color café claro. Sus respaldos están conformados por arcillolitas limosas de color gris a gris claro. Se ubica en el Nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas (K2E1g).

El espesor promedio es de 0,95 metros, siendo ligeramente más potente hacia el norte donde el espesor es de 1,20 metros. El rumbo varía entre N34°E a N65°E, con buzamientos entre 9° a 54° SE.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 7.234%(bs), materia volátil de 27.32%(bs), azufre de 0.798%(bs), un contenido de carbono de 71.82%(slmm) y un poder calorífico de 8759.38 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso Medio Volátil (bmv), (ver tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,27 y el índice de hinchamiento presenta un promedio de 8.2, se usa principal para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Se utilizaron 7 puntos de control desde el ES14 al ES20 (ver Tabla 9), tres de los cuales se utilizaron para calcular contenidos de gas metano y por ende valores de Gas Total libre de cenizas en los puntos ES14, ES16, ES17 con valores de **7,41 pie³/ton** en el Pozo Ráquira-1 (ver Tabla 7), **21,84 pie³/ton**, Mina El Roble y **46,16 pie³/ton** mina El Santuario (ver Tabla 8). Con estos valores se calculó el potencial de Metano equivalente a 109.816.601,56 pies³ equivalente a **0,11 Bcf** (Billones de pies³) en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 15).

Manto Bocatoma. Separado estratigráficamente del manto anterior aproximadamente por un intervalo de 225 metros de arcillolitas de color gris a gris oscuro a arcillolita limosa de color gris oscuro y concreciones irregulares de de limolita. Antes de este se encuentra un manto de en promedio 0,70m, conocido como la Perdida, del cual se cuenta con pocos puntos de control.

Estratigráficamente corresponde al manto número 1 de techo a base de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g) que es explotable en la zona de estudio.

El espesor promedio es de 1,20 metros. El rumbo varía entre N39°E a N60°E, el buzamiento varía entre 21° a 54° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 4,93% (bs), materia volátil de 25,21% (bs), azufre de 0,76%(bs), un contenido de carbono fijo de 72,10% (slmm) y un poder calorífico de 8753,03 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (bmv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de

1,26 y el índice de hinchamiento varía entre 8 a 8½. Se usa principal para mezcla con los carbones metalúrgicos.

El cálculo del potencial, se llevó a cabo teniendo en cuenta 4 puntos de control, desde el ES21 al ES24 (ver Tabla 9), donde el punto ES21, fue muestreado para medición de contenidos de metano y determinación del Gas Total Libre de Cenizas, con un valor de **18.90 pie³/ton** en frente de mina (mina El Roble), (ver Tabla 8). El valor obtenido fue de 128.630.913,87 pies³ equivalente a **0,13 Bcf** en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 16).

Manto Rubí. Separado estratigráficamente del manto anterior por un intervalo de 54 metros constituido por una alternancia de limolitas de color gris laminadas, capas delgadas a medias de arenitas de grano fino y algunas cintas de carbón (Columna No3 Carbones Suramericanos). Los respaldos están conformados por limolitas arcillosas de color gris.

Estratigráficamente corresponde al manto número 2 de techo a base de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g) que es explotable en la zona de estudio.

El espesor promedio es de 0,65 metros. El rumbo varía entre N45°E a N60°E, el buzamiento varía entre 50° a 60° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 5.96%(bs), materia volátil de 21.9%(bs), azufre de 0.57%(bs), un contenido de carbono de 77,97%(slmm) y un poder calorífico de 8700,43 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso bajo Volátil (bbv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,29 y el índice de hinchamiento presenta en promedio 7.33, se usa principal para mezcla con los carbones metalúrgicos.

La evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta 5 puntos de control, desde el ES25 al ES29 (ver Tabla 9), de los cuales en el punto de control ES25 se registró un valor de contenido de metano de **18,77 pie³/ton** en frente de mina (Mina San Francisco), (ver Tabla 8), con este valor se obtuvo un potencial de 82.608.277,79 pies³ equivalente a **0,08 Bcf** de GMAC (Billones de pies³), como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 17).

Manto Piedro. Separado estratigráficamente del manto anterior por un intervalo de 14 metros de limolita de color gris con presencia de láminas y capas de areniscas de grano muy fino y algunas capas delgadas de limolita sílicea hacia techo. El respaldo inferior lo conforman limolitas arcillosas de color gris,

laminación plano paralela continua, el respaldo superior limolitas de color gris con capas delgadas de limolita silícea.

Estratigráficamente corresponde al manto número 3 de techo a base de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g) que es explotable en la zona de estudio.

El espesor promedio es de 0,70 metros. El rumbo varía entre N45°E a N52°E, el buzamiento varía entre 34° a 55° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 26,72%(bs), materia volátil de 20,58%(bs), azufre de 1,90%(bs), un contenido de carbono de 76.29%(slmm) y un poder calorífico de 8689,25 cal/gr (Hlmm), lo que permite clasificar el carbón en un rango de Bituminoso medio volátil a Bituminoso bajo Volátil (bmv a bbv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,46 y presenta un promedio de índice de hinchamiento de 6.16, se usa principalmente para mezcla con los carbones metalúrgicos.

La evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta 5 puntos de control, desde el ES30 al ES34 (ver Tabla 9), de los cuales en el punto de control ES31 se obtuvo un valor de **22,08 pie³/ton** en frente de mina (Mina Inversiones Quebrada Honda), (ver Tabla 8), con este valor se obtuvo un potencial de 89.531.899,03 pies³ equivalente a **0,09 Bcf** de GMAC (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto, (ver Tabla 18).

Manto Consuelo. Separado estratigráficamente del manto anterior por una secuencia de 33 metros de limolitas de color gris con presencia de lentes y láminas de arenita a limolitas arcillosas hacia base, hacia la parte media arenitas de grano fino en capas y láminas delgadas. Los respaldos están conformados por limolitas arcillosas de color gris con presencia de lentes y láminas de arenita de grano muy fino.

Estratigráficamente se ubica en la parte media de la secuencia carbonífera del Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g).

El espesor promedio es de 0,70 metros. El rumbo varía entre N50°E a N60°E, el buzamiento varía entre 45° a 54° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 9,44%(bs), materia volátil de 23,14%(bs), azufre de 0,56%(bs), un contenido de carbono de 75,97%(slmm) y un poder calorífico de 8797,40 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio Volátil (bmv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,30 y

presenta un índice de hinchamiento de 8, se usa principalmente para mezcla con los carbones metalúrgicos.

La evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta 4 puntos de control, desde el ES35 al ES38 (ver Tabla 9), de los cuales en el punto de control ES38 se obtuvo un valor de **11,99 pie³/ton** en frente de mina (Mina Lidiar), (ver Tabla 8), con este valor se obtuvo un potencial de 55.572.212,92 pies³ equivalente a **0,06 Bcf** de GMAC (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 19).

Manto Tesorito. Se encuentra separado estratigráficamente del manto anterior por una secuencia de 78 metros (Ecocarbón, 1997) de arcillolitas a arcillolitas limosas de color gris con algunas capas y mantos de carbón. Suprayaciendo este manto se encuentra a 7,0m el manto conocido como Aliso, que se trabaja hacia la parte sur del sector GMAC Santuario con un espesor de 0.40m, de este manto y hacia techo se encuentra a 10,0m un manto denominado Planta de Soda de 0.37m de espesor y a 2.30m de este el manto llamado Planta de Soda de 0.55m; a estos no se les realizó evaluación del potencial, debido a que se conoce de su existencia solo hacia la parte sur del sector GMAC analizado, sin embargo se mencionan para fines posteriores.

El respaldo superior de este manto, está conformado por arcillosas limosas de color gris con presencia de macrorestos vegetales y nódulos silíceos. El respaldo inferior, lo constituyen arcillolitas limosas de color gris con presencia de venillas de carbón tipo vitreno.

Estratigráficamente corresponde al manto número 3 de base a techo de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g) que es explotable en la zona de estudio.

El espesor promedio es de 0,70 metros. El rumbo varía entre N45°E a N67°E, el buzamiento varía entre 45° a 64° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 2,95%(bs), materia volátil de 21,79% (bs), azufre de 0,73%(bs), un contenido de carbono fijo de 78,48% (slmm) y un poder calorífico de 8796,44 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil a Bituminoso bajo volátil (bmv a bbv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,27 y el índice de hinchamiento varía entre 9½ a 9. Se usa principal para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Teniendo en cuenta la cercanía con el manto denominado Tesoro, se realizó la evaluación del potencial tomando como referencia el diseño de una traza para los dos mantos. Para el manto Tesorito, se tuvo en cuenta la información de 5 puntos de control, desde el ES39 al ES43 (ver Tabla 9), de los cuales en el punto de

control ES42 se obtuvo un valor de **21,75 pie³/ton** en frente de mina (Mina Lidiar), (ver Tabla 8), con este valor se obtuvo un potencial de 84.663.511,18 pies³ equivalente a **0,08 Bcf** de GMAC (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto, (ver Tabla 20).

Manto Tesoro. Se encuentra separado estratigráficamente del manto anterior por 5.20m de arcillolita limosa de color gris con presencia de macrorestos vegetales y láminas de carbón tipo vitreno. El respaldo superior de este manto, está conformado por arcillosas limosas de color gris con presencia de macrorestos vegetales y nódulos silíceos. El respaldo inferior, lo constituyen limolitas arcillosas de color gris; el respaldo superior, arcillolita limosa de color gris.

Hacia base y a 10,0m desde el manto Tesoro, se encuentra el manto denominado Cisquera 1. Estratigráficamente corresponde al manto número 2 de base a techo de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K2E1g2 de la Formación Guaduas (K2E1g) que es explotable en la zona de estudio. El espesor promedio es de 0,70 metros. El rumbo varía entre N60°E a N70°E, el buzamiento varía entre 44° a 66° SE. A este no se realizó medición de contenido de metano, por tal razón, no se evaluó su potencial.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados para el manto Tesoro, arrojaron un contenido de cenizas de 6,38% (bs), materia volátil de 23,16%(bs), azufre de 0,57% (bs), un contenido de carbono fijo de 76,37%(Slmm) y un poder calorífico de 8806,02 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil a Bituminoso bajo volátil (bmv a bbv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1,29 y el índice de hinchamiento de 9. Se usa principal para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Teniendo en cuenta la cercanía con el manto denominado Tesorito, se realizó la evaluación del potencial tomando como referencia el diseño de una traza para los dos mantos. Para el manto Tesoro, se tuvo en cuenta la información de 6 puntos de control, desde el ES44 al ES49 (ver tabla 9), de los cuales en el punto de control ES47 se obtuvo un valor de **4,66 pie³/ton** en frente de mina (Mina Lidiar), (ver Tabla 8), con este valor se obtuvo un potencial de 18.412.034,86 pies³, equivalente a **0,02 Bcf** de GMAC (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados e inferidos para este manto (ver Tabla 21).

Sector GMAC Loma Redonda

Manto Siete Bancos. Ubicado hacia el techo del nivel K₂E1g3, de la formación Guaduas (K2E1g), según la columna levantada en la mina la carbonera este manto se encuentra ubicado estratigráficamente encima del manto la grande a 33,2 m y según la columna del pozo Samaca-2 el manto Siete Bancos se

encuentra encima del manto la grande a 31 m, sus respaldos corresponden a secuencias de arcillolitas de color gris y limolitas de color gris claro, con laminación plano paralela continua.

El espesor del manto es de 2,3 metros, según la columna levantada en la mina la carbonera, presenta hasta 3 intercalaciones con espesores entre 0,40 a 0,10m de arcillolitas. El espesor promedio efectivo es de 1.1 metros; el rumbo fluctúa entre N45°E y N60°E y el buzamiento entre 7° a 28° SE.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 14,32%(bs), materia volátil de 27.79 (bs), azufre de 1.16%(bs), un contenido de carbono de 69,602%(slmm) y un poder calorífico de 8743,31 cal/gr (Hlmm), lo que permite clasificar el carbón en un rango de Sub Bituminoso C a Bituminoso medio Volátil (subC a bmv), (ver Tabla 11). Presenta una gravedad específica promedio de 1.32 y un índice de hinchamiento en promedio de 6.9. El principal uso que se le da a este carbón es para la generación de energía como carbón térmico y para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Para la evaluación de recursos se utilizaron 3 puntos de control (LRC 01 hasta LRC 03), (ver Tabla 10), de los cuales en el punto LRC 01 se tomó una muestra de contenido de gas metano en el pozo Samaca-2 (ver Tabla 6), el cual arrojó un total de gas libre de materia mineral de 11.60 pies³/ton.

El potencial de metano calculado fue de 211.971.688,59 pies³ equivalente a **0,21 Bcf** (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medido, indicado e inferido (ver Tabla 23).

Manto La Grande. Se ubica estratigráficamente a una distancia 33,2 m por debajo del manto Siete Bancos y a 12,0 metros por encima del manto La Tercera, según la columna levantada en la mina la Carbonera y según la columna del pozo Samaca-2 respectivamente, el manto la Grande se ubica estratigráficamente 31 m debajo del manto Siete Bancos, nivel constituido por arcillolitas de color gris, laminadas. Está localizado en el Nivel K2E1g 3 de la Formación Guaduas (K2E1g). Los respaldos están conformados por arcillolitas limosas de color gris con estratificación paralela y presencia de concreciones.

Presenta un espesor de 2.27 metros de carbón según la columna en la mina la Carbonera dispuesto así; 0.7 m de carbón seguidos por 0.10 m de arcillolita, luego 1.0 m de carbón, seguido por 0.07 m de arcillolita carbonosa y luego 0.40 m de carbón y según la columna del pozo Samaca-2, este manto presenta un espesor de 3,35 m dispuesto así: 0,8 m de carbón, 0,45 m de arcillolita, 1,10 m de carbón, 0,73 m de arcillolita limosa, 0,27 m de carbón, para un total de dos intercalaciones en ambas columnas. Siendo el espesor efectivo en promedio de 2.1 m.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 11,37% (bs), materia volátil de 28,59%(bs), azufre de 0,75%(bs), un contenido de carbono de 69,32%(slmm) y un poder calorífico de 8708.13 cal/gr (Hlmm), lo que permite clasificar el carbón en un rango de Sub Bituminoso C a Bituminoso medio volátil (subC a bmv), (ver Tabla 11). Presenta una gravedad específica promedio de 1.30 y un índice de hinchamiento en promedio de 8,5. El principal uso que se le da a este carbón es para la generación de energía como carbón térmico y para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Los puntos de control LRC 04 hasta LRC 07 (ver Tabla 10), se utilizaron para la evaluación de reservas y recursos en sus diferentes categorías, de los cuales en los puntos LRC 04 y LRC 06 se toman muestras de contenido de gas metano en el pozo Samaca-2 (ver Tabla 6), las cuales arrojan un total de gas libre de materia mineral de 9,42 pies³/ton y 3,32 pies³/ton respectivamente. El potencial de metano calculado es de 95.806.620,85 pies³, equivalente a **0,10 Bcf** (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medido, indicado e inferido (ver Tabla 24).

Manto La Tercera. Se ubica estratigráficamente debajo del manto la Grande a 12,0 m aprox. y a 11,50 m aprox. encima del manto la Limpia, según la columna levantada en la mina la Carbonera y según la columna del pozo Samaca-2, el manto La Tercera, se ubica estratigráficamente debajo del manto la Grande a 8,2 m y a 7,2 m encima del manto la Limpia. Es el tercer manto de interés comercial de base a techo conocido en el Nivel K2E1g3 de la Formación Guaduas (K2E1g); su respaldo superior lo constituyen arcillolitas de color gris a gris oscuro a arcillolita de color gris a gris oscuro con presencia de concreciones irregulares de esferulitas.

Este manto presenta un espesor promedio de 1.0 metro según la columna en la mina la Carbonera, con una intercalación de 0.07 m y según la columna del pozo Samaca-2 este manto presenta un espesor de 0.85 m, sin ninguna intercalación. El rumbo promedio es de N32°E a N69°E y el buzamiento varía entre 24° a 42° SE.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 9.91%(bs), materia volátil de 28.29%(bs), azufre de 0.96 % (bs), un contenido de carbono de 70.18% (slmm) y un poder calorífico de 8733.95 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón en un rango de Sub Bituminoso C a Bituminoso medio volátil (subC a bmv), (ver Tabla 11). Presenta una gravedad específica de 1,29 y un índice de hinchamiento de 8,0. El principal uso que se le da a este carbón es para la generación de energía como carbón térmico y para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Para el cálculo del potencial, se utilizaron 3 puntos de control desde el LRC 08 hasta LRC10 (ver Tabla 10), de los cuales en los puntos de control LRC 08 y LRC

10, se toman muestras para determinar el contenido de gas metano, en la muestra tomada en el pozo Samaca-2 (LRC 08, (ver Tabla 6).) el resultado arrojó un total de gas libre de materia mineral de 20,19 pies³/ton, también se toma una muestra en frente de mina (LRC 10), (ver Tabla 8)., la cual da un total de gas libre de materia mineral de 20,48 pies³/ton, valores bajos pero con los cuales se generaron áreas que se evaluaron como reservas medidas e indicadas. El potencial de metano fue de 115.954.087,28 pies³ equivalente a **0,12 Bcf** (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medido, indicado e inferido (ver Tabla 25).

Manto Limpia. Este manto se encuentra estratigráficamente encima del manto la Ligada a 1.50 m aprox. e infrayace al manto La Tercera en una distancia de 11,50 m aprox., según la columna levantada en la mina la Carbonera y según la columna del pozo Samaca-2, el manto la Limpia, está ubicado estratigráficamente debajo del manto La Tercera a 7,2 m. Los respaldos de este manto, están constituidos por arcillolitas de color gris con presencia de pirita e intercalaciones de limolitas de color pardo y arenita de grano muy fino de color blanco, estratificación plano paralela, ondulosa continua a discontinua, calcos de carga, alternando con arcillolitas de color gris claro con alta presencia de óxidos de hierro. Estratigráficamente es el segundo manto de base a techo en el nivel K2E1g3 de la formación Guaduas (K2E1g).

El espesor es de 0,70 m en la columna de la mina la Carbonera y según la columna del pozo Samaca-2, es de 0,95 m; no presenta ninguna intercalación. El rumbo varía entre N30°E y N70°E y el buzamiento entre 18° a 46° SE.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 7.61%(bs), materia volátil de 31.59%(bs), azufre de 1,67%(bs), un contenido de carbono de 67.03%(slmm) y un poder calorífico de 8757.99 cal/gr (Hlmm), lo que permite clasificar el carbón en un rango de Sub Bituminoso C a Bituminoso medio volátil (subC a bmv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1.29 y presenta un índice de hinchamiento en promedio de 8.66. El principal uso que se le da a este carbón es para la generación de energía como carbón térmico y para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 4 puntos de control desde LRC 11 hasta LRC 14, (ver Tabla 10).; de los cuales en LRC 11 y LRC 13 se tomaron muestras para determinar el contenido de gas metano, donde el punto LRC 11 corresponde a la muestra tomada en el pozo Samaca-2 (ver Tabla 6). con un valor de gas total libre de cenizas de 24,19 pies³/ton y LRC 13 corresponde a muestra tomada en frente de mina con un valor de gas total libre de cenizas de 43,18 pies³/ton (ver Tabla 8), con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de reservas medidas e indicadas y recursos en sus diferentes categorías.

El potencial de metano calculado fue de 109.958.167,71 pies³ equivalente a **0,11 Bcf** (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medido, indicado e inferido, (ver Tabla 26).

Manto Ligada. Infrayace al manto La Limpia en una distancia de 1.50 m, según la columna levantada en la mina la Carbonera; según la columna del pozo Samaca-2, el manto la Ligada se encuentra estratigráficamente debajo del manto la Limpia a 30,95 m. Su respaldo superior, está formado por limolitas de color gris a gris oscuro con intercalaciones de arenisca de grano muy fino con bioturbación de grado bajo, mientras que el respaldo inferior arcillolitas carbonosas a arcillolitas de color gris oscuro con restos de materia orgánica. Este manto se ubica estratigráficamente en la parte inferior del Nivel K₂E1g3 de la Formación Guaduas (K₂E1g), es el primer manto de base a techo

El manto presenta un espesor de 1.10 metros, con una intercalación de 0.10 m, según la columna en la mina la Carbonera y según la columna del pozo Samaca-2, este manto presenta un espesor de 0,55 m. El rumbo varía entre N40°E a N70°E y el buzamiento entre 30° a 56° SE.

De los análisis físico-químicos realizados se tiene un promedio de cenizas de 9.26% (bs), materia volátil de 27.65% (bs), azufre de 1.41% (bs), un contenido de carbono de 71.29% (slmm) y un poder calorífico de 8761.16 cal/gr (Hlmm) lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso Medio Volátil (bmv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1.30 y presenta un índice de hinchamiento de 8. El principal uso que se le da a este carbón es para mezcla con los carbones metalúrgicos.

Se tomaron 3 puntos de información denominados LRC15 a LRC17 (ver Tabla 10) utilizados para la evaluación de recursos y reservas en sus diferentes categorías; en el punto LRC 15 mediante la perforación Samacá-2 (ver Tabla 8). se obtiene un valor de 37,03 pies³/ton de gas total libre de cenizas, valores con los cuales se calcula el potencial de metano que fue de 193.234.163,63 pies³ equivalente a **0,19 Bcf** (Billones de pies³), (ver Tabla 27).

Manto Bocatoma. Estratigráficamente corresponde de techo a base al primer manto de la secuencia carbonífera identificada en el Nivel K₂E1g2 de la Formación Guaduas (K₂E1g). Los respaldos lo constituyen limolitas de color gris oscuro, con láminas de carbón tipo vitreno.

El espesor promedio es de 1,71 metros. El rumbo varía entre N45°E a N76°E, con buzamientos entre 20° y 65° SE.

Los resultados promedios de los análisis físico-químicos realizados arrojaron un contenido de cenizas de 6.29% (bs), materia volátil de 22.07% (bs), azufre de 0.58% (bs), un contenido de carbono de 77.73% (slmm) y un poder calorífico de

8775.19 cal/gr (HImm), lo que permite clasificar el carbón en un rango de Bituminoso medio volátil a Bituminoso bajo volátil (bmv a bbv), (ver Tabla 11). El manto presenta una gravedad específica de 1.29 y presenta un índice de hinchamiento en promedio de 7.8. Se usa principalmente para mezclas con los carbones metalúrgicos.

Para la evaluación del potencial de GMAC, se tuvo en cuenta 4 puntos de control, desde el LRC 18 a LRC 21 (ver Tabla 10), de los cuales del LRC19 al LRC21 se tomaron muestras para determinación de gas metano, con valores de (36.12; 22.96; 15.79) pies³/ton respectivamente (ver Tabla 8), obteniéndose un potencial de 283.960.451,41 pies³ equivalente a **0,28Bcf** (Billones de pies³) como reservas y recursos en las categorías de medido, indicado e inferido (ver Tabla 28).

Tabla 9. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Guachetá-Samacá. Sector El Santuario.

PUNTO CONTROL	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACION	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
ES01	1.089.537	1.047.356	Vidriosa	0,77	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Glassy Coal-Mina El Roble	N52E / 47SE	25317706030
ES02	1.089.979	1.047.862	Vidriosa	0,70	Vereda Peñas. Guachetá. Mina El Santuario	N65E/30SE	25317706012 233(FM-11)
ES03	1.091.233	1.048.837	Vidriosa	0,40	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Pozo Ráquira-1	N40E/38SE	15600801045 PR1-33
ES04	1.089.096	1.046.920	Siete Bancos	1,70	Vereda Peñas, Guachetá.	N45E/46SE	
ES05	1.089.752	1.047.434	Siete Bancos	1,75	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Glassy Coal- Mina El Roble	N57E/54SE	25317706029
ES06	1.091.233	1.048.837	Siete Bancos	2,70	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Pozo Ráquira-1	N40E/38SE	15600801041 PR1-34 - PR-36
ES07	1.091.668	1.048.953	Siete Bancos	2,1	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina Mortiño	N60E / 35SE	15600801031
ES08	1.091.805	1.049.247	Siete Bancos	1,80	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N40E/48SE	
ES09	1.088.606	1.046.731	Piedro 2	1,00	Vereda Peñas, Guachetá.	N45E/42SE	
ES10	1.090.231	1.047.791	Piedro 2	1,00	Vereda Peñas, Guachetá.	N45E/44SE	
ES11	1.091.233	1.048.837	Piedro 2	1,40	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Pozo Ráquira-1	N40E/38SE	15600801042 PR1-37
ES12	1.091.612	1.048.974	Piedro 2	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N40E/59SE	
ES13	1.092.023	1.049.486	Piedro 2	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N75E/35SE	
ES14	1.088.664	1.046.788	Cisquera 2	0,95	Vereda Peñas, Guachetá. Mina El Roble,	N50E/54SE	25317706019 221 (FM-16)
ES15	1.047.191	1.089.539	Cisquera 2	1,10	Vereda Peñas, Guachetá.	N60E/45SE	
ES16	1.089.982	1.047.661	Cisquera 2	1,10	Vereda Peñas, Guacheta. Mina El Santuario	N52E/46SE	25317706011 229 (FM-10)
ES17	1.091.233	1.048.837	Cisquera 2	1,60	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Pozo Ráquira-1	N40E/38SE	15600801046 PR1-39
ES18	1.091.786	1.049.059	Cisquera 2	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/35SE	
ES19	1.091.998	1.049.536	Cisquera 2	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N75E/33SE	
ES20	1.092.417	1.049.930	Cisquera 2	1,00	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/36SE	

PUNTO	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACIÓN	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
ES21	1.089.564	1.047.150	Bocatoma	1,25	Vereda Peñas, Guacheta. Mina El Santuario. Mina El Roble	N60E/52SE	25317706020 220 (FM-17)
ES22	1.090.956	1.048.219	Bocatoma	1,20	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N50E/54SE	
ES23	1.091.659	1.048.726	Bocatoma	1,20	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N65E/50SE	
ES24	1.092.440	1.049.591	Bocatoma	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/35SE	
ES25	1.089.614	1.046.984	Rubí	0,70	Vereda Peñas, Guachetá. Mina San Francisco. Bm Piedro	N60E/59SE	25317706021 P7-4 (FM-18)
ES26	1.090.007	1.047.364	Rubí	0,80	Vereda Peñas, Guacheta.	N55E/60SE	
ES27	1.091.000	1.048.122	Rubí	0,70	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N45E/54SE	
ES28	1.091.795	1.048.917	Rubí	0,50	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N55E/53SE	
ES29	1.092.313	1.049.097	Rubí	0,50	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N64E/50SE	
ES30	1.089.173	1.046.395	Piedro	0,50	Vereda Peñas, Guacheta.	N55E/44SE	
ES31	1.089.974	1.047.098	Piedro	0,60	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Inversiones Quebrada Honda. Bm Rubí	N52E / 55SE	25317706028 (FM-19)
ES32	1.091.013	1.048.107	Piedro	0,70	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N45E/54SE	
ES33	1.091.378	1.048.526	Piedro	0,60	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N45E/48SE	
ES34	1.091.787	1.048.767	Piedro	0,55	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N50E/54SE	
ES35	1.089.725	1.047.165	Consuelo	0,50	Vereda Peñas, Guacheta.	N50E/45SE	
ES36	1.091.042	1.048.077	Consuelo	0,80	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N57E/54SE	
ES37	1.091.429	1.048.520	Consuelo	0,70	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N37E/40SE	
ES38	1.091.792	1.048.679	Consuelo	0,75	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N55E/50SE	15600801013 FM-12

PUNTO CONTROL	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACION	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
ES39	1.089.783	1.046.973	Tesorito	0,62	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Bellavista I (Las Tapias)	N60E / 59SE	25317706026
ES40	1.090.144	1.047.105	Tesorito	0,80	Vereda Peñas, Guacheta.	N67E/47SE	
ES41	1.091.209	1.048.074	Tesorito	0,54	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N54E/62SE	
ES42	1.091.852	1.048.625	Tesorito	0,78	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N46E/64SE	15600801016 P7-3R (FM-15)
ES43	1.092.026	1.048.888	Tesorito	0,80	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/37SE	
ES44	1.089.783	1.046.973	Tesoro	0,70	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Bellavista I (Las Tapias)	N60E/58SE	25317706025
ES45	1.090.144	1.047.105	Tesoro	0,80	Vereda Peñas, Guacheta.	N64E/47SE	
ES46	1.091.215	1.048.072	Tesoro	0,77	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N70E/44SE	
ES47	1.091.875	1.048.662	Tesoro	0,70	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N58E/66SE	15600801015 P7-106 (FM-14)
ES48	1.092.026	1.048.888	Tesoro	0,80	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/37SE	
ES49	1.092.712	1.049.212	Tesoro	0,60	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira.	N60E/60SE	
ES50	1.091.668	1.048.953	Piedro 2 o la Tercera	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina Mortiño	N60E / 35SE	15600801032
ES51	1.091.668	1.048.953	Cisquera 2 o Limpia	1,10	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina Mortiño	N55E / 40SE	15600801033
ES52	1.091.784	1.049.061	Cisquera 2		Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina Mortiño JD.	N60E / 35SE	15600801034
ES53	1.091.835	1.048.655	Rubí	0,50	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N55E / 53SE	15600801017
ES54	1.091.835	1.048.655	Piedro	0,55	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N50E / 54SE	15600801018
ES55	1.092.530	1.049.521	Bocatoma		Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina El Salitre	N60E / 35SE	15600801035

PUNTO CONTROL	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACION	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
ES56	1.091.835	1.048.655	Consuelo	0,75	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N55E / 50SE	15600801013 (FM-12)
ES57	1.089.675	1.046.796	Gemelas	0,50	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Bellavista II (Las Tapias 2)	N47E / 54SE	25317706024
ES58	1.091.835	1.048.655	Aliso	0,35	Vereda Firita Peña Arriba, Ráquira. Mina LIDIAR. Bm Consuelo	N60E / 58SE	15600801014 243 (FM-13)
ES59	1.089.710	1.046.786	Aliso	0,40	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Bellavista II (Las Tapias 2)	N40E / 58SE	25317706023
ES60	1.089.698	1.046.788	Amargoso	0,50	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Bellavista II (Las Tapias 2)	N56E / 55SE	25317706022
ES61	1.089.850	1.046.676	Cisquera 1.	1,10	Vereda Peñas, Guachetá. Mina Buenavista.	N55E / 54SE	25317706027

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 10. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Guachetá-Samacá. Sector Loma Redonda.

PUNTO DE CONTROL	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACION	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
LRC01	1.094.074	1.055.136	Siete Bancos	1,1	Vereda Loma Redonda, Samacá. Pozo Samaca-2.	N48E / 7SE	15646801037 PS-2 23
LRC02	1.095.390	1.057.319	Siete Bancos	2,3	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Carbonera.	N45E / 24SE	
LRC03	1.096.316	1.058.043	Siete Bancos	2,3	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Coralitos.	N60E / 28SE	15646801007 8-130 (FM - 05)
LRC04	1.094.074	1.055.136	La Grande	3,35	Vereda Loma Redonda, Samacá. Pozo Samaca-2	N48E / 7SE	15646801038 PS-2 25
LRC05	1.094.748	1.056.574	La Grande	2,27	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Nápoles.	N40E / 20SE	
LRC06	1.095.515	1.057.492	La Grande	2,27	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina La Carbonera.	N55E / 38SE	15646801001 237 (FM - 01)
LRC07	1.096.307	1.058.155	La Grande	2,27	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Coralitos.	N50E / 25SE	
LRC08	1.094.074	1.055.136	La tercera	0,85	Vereda Loma Redonda, Samacá. Pozo Samaca-2.	N48E / 7SE	15646801039 PS-2 26
LRC09	1.095.420	1.056.869	La tercera	0,9	Vereda Loma Redonda, Samacá. Minas carboneras la peña.	N70E / 24SE	
LRC10	1.096.409	1.058.113	La Tercera	0,9	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Coralitos	N47E / 32SE	15646801010 9-125 (FM-09)
LRC11	1.094.074	1.055.136	La Limpia	0,95	Vereda Loma Redonda, Samacá. Pozo Samaca-2	N48E / 7SE	15646801044 PS-2 30
LRC12	1.094.835	1.056.439	La Limpia	0,9	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Peña Negra	N35E / 20SE	
LRC13	1.095.535	1.057.468	La Limpia	0,7	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina La Carbonera	N53E / 33SE	15646801002 250 (FM - 02)
LRC14	1.096.141	1.058.082	La Limpia	0,7	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Coralitos.	N57E / 12SE	15646801009 4-45 (FM-08)
LRC15	1.094.074	1.055.136	La Ligada	0,55	Vereda Loma Redonda, Samacá. Pozo Samaca-2	N48E / 7SE	15646801040 PS-2 27

PUNTO DE CONTROL	COORDENADAS		MANTO	ESPESOR (m)	LOCALIZACION	RUMBO/ BUZAMIENTO	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO/ ID MUESTRA MEDICIÓN METANO
	NORTE	ESTE					
LRC16	1.095.338	1.056.763	La Ligada	1,2	Vereda Loma Redonda, Samacá. Minas la Florida.	N50E / 10SE	
LRC17	1.096.573	1.058.110	La Ligada	1	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Coralitos.	N45E / 27SE	
LRC18	1.095.087	1.055.017	Bocatoma	1,2	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina El Rincón.	N40E / 10SE	
LRC19	1.095.898	1.056.356	Bocatoma	1,4	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina Carboinsa.	N35E / 5SE	15646801005 228 (FM - 05)
LRC20	1.096.960	1.058.076	Bocatoma	1,5	Vereda Loma Redonda, Samacá. Mina La Choza.	N50E / 80SE	15646801006 247 (FM - 06)
LRC21	1.096.920	1.058.955	Bocatoma	1,2	Vereda Chorrera, Samacá. Mina La Banda - Grilan.	N39E / 21SE	15646801004 252 (FM - 04)

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 11. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá.

ID MUESTRA LABORATORIO	REFERENCIA MUESTRA CAMPO	Materia Volátil (%)	Humedad Residual (%)	Humedad Equilib. (%)	Cenizas (%)	Carbono Fijo (%)	Poder Calorífico Cal/gr.	Azufre (%)	Carbono Fijo (SImm)	Poder Calorífico (HImm)	CLASIFICACIÓN ASTM POR RANGO
38404-I	25317706012	24,26	0,84	1,42	21,02	54,72	6757	1,36	72	8737,29	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38422-I	25317706030	26,56	0,67	1,32	16,33	57,11	7262	1,2	70,26	8814,71	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
42947-I	15646801045	14,78	0,98	2,66	64,43	20,78	2667	1,99	72,27	8757,24	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38399-I	15646801007	29,06	1,12	1,53	14,54	56,40	7361	2,03	68,36	8727,48	SUB-BITUMINOSO C
38421-I	25317706029	23,06	0,68	1,41	21,35	55,60	6838	0,8	73,16	8885,66	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38423-I	15600801031	29,61	0,84	1,65	14,03	56,36	7351	1,2	67,41	8660,41	SUB-BITUMINOSO C
41863-I	15646801037	26,89	0,94	1,85	13,99	59,12	7445	0,9	70,67	8768,38	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
42751-I	15600801041	30,32	0,81	1,05	7,7	61,97	7955	0,86	68,41	8674,6	SUB-BITUMINOSO C
38424-I	15600801032	29,08	0,93	1,62	13,02	57,90	7483	1,21	68,43	8704,44	SUB-BITUMINOSO C
42752-I	15600801042	23,38	1,06	1,25	24,43	52,20	6399	1,76	72,54	8686,98	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38403-I	25317706011	24,80	0,72	1,46	7,01	68,19	8122	0,70	74,55	8786,46	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38411-I	25317706019	25,75	0,68	1,24	8,66	65,60	7946	0,89	73,16	8764,26	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38426-I	15600801034	29,62	0,85	r.p.	5,86	64,52	8198	0,94	69,74	8750,01	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38425-I	15600801033	29,92	0,82	1,57	5,53	64,56	8237	0,83	69,47	8758,1	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
42948-I	15646801046	26,51	0,74	1,51	9,11	64,39	7920	0,63	72,18	8783,08	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38393-I	15646801001	27,57	1,05	1,62	9,15	63,28	7883	0,72	71,24	8745,86	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

ID MUESTRA LABORATORIO	REFERENCIA MUESTRA CAMPO	Materia Volatil (%)	Humedad Residual (%)	Humedad Equilib. (%)	Cenizas (%)	Carbono Fijo (%)	Poder Calorifico Cal/gr.	Azufre (%)	Carbono Fijo (SImm)	Poder Calorifico (HImm)	CLASIFICACIÓN ASTM POR RANGO
41864-I	15646801038	29,61	0,78	1,51	13,59	56,80	7400	0,78	67,39	8670,4	SUB-BITUMINOSO C
38402-I	15646801010	26,77	0,96	1,84	11,29	61,94	7662	0,85	71,56	8723,46	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
41865-I	15646801039	29,81	0,8	1,61	8,52	61,67	7942	1,06	68,79	8744,44	SUB-BITUMINOSO C
38394-I	15646801002	28,9	0,9	1,54	5,15	65,95	8269	1,28	70,84	8753,57	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38400-I	15646801008	27,21	0,86	1,69	6,29	66,49	8152	1,89	72,51	8743,05	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
42946-I	15646801044	38,66	0,68	1,29	11,41	49,93	7699	1,82	57,74	8777,36	SUB-BITUMINOSO C
38401-I	15646801009	27,65	1,02	1,42	9,26	63,08	7887	1,41	71,29	8761,16	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38396-I	15646801004	19,39	0,88	1,44	7,46	73,15	8103	0,44	80,47	8811,82	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38397-I	15646801005	20,55	0,74	1,31	6,72	72,73	8142	0,48	79,2	8778,75	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38398-I	15646801006	20	0,91	1,37	7,39	72,61	8080	0,43	79,83	8779,32	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38412-I	25317706020	22,66	0,66	1,28	4,99	72,35	8314	0,87	77,26	8786,09	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38427-I	15600801035	27,76	0,8	r.p.	4,87	67,37	8263	0,66	71,88	8719,97	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38395-I	15646801003	19,22	0,82	1,16	5,57	75,22	8238	0,51	80,89	8763,38	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38409-I	15600801017	24,31	0,98	1,46	4,73	70,97	8124	0,6	75,73	8559,22	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38413-I	25317706021	22,17	0,7	1,17	7,6	70,23	8059	0,6	77,29	8778,43	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38410-I	15600801018	22,71	0,88	1,7	18,88	58,41	6948	2,69	75,09	8719,99	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

ID MUESTRA LABORATORIO	REFERENCIA MUESTRA CAMPO	Materia Volatil (%)	Humedad Residual (%)	Humedad Equilib. (%)	Cenizas (%)	Carbono Fijo (%)	Poder Calorífico Cal/gr.	Azufre (%)	Carbono Fijo (Simm)	Poder Calorífico (Himm)	CLASIFICACIÓN ASTM POR RANGO
38420-I	25317706028	15,17	0,69	1,46	36,85	47,97	5217	1,26	81,24	8660,8	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38405-I	15600801013	23,14	0,86	1,36	9,44	67,42	7901	0,56	75,97	8797,4	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38416-I	25317706024	21,33	0,74	1,32	8,66	70,01	8000	0,66	78,08	8824,51	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38414-I	25317706022	21,55	0,82	1,36	5,82	72,64	8259	0,66	78,39	8811,46	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38406-I	15600801014	21,35	0,69	1,52	4,68	73,97	8321	0,51	78,63	8763,54	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38415-I	25317706023	18,07	0,75	1,51	7,29	74,64	8073	1,05	82,03	8761,09	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38407-I	15600801015	24,7	0,64	1,02	7,88	67,42	8063	0,5	74,36	8812,52	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38417-I	25317706025	21,62	0,72	1,12	4,88	73,51	8337	0,64	78,38	8799,52	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38408-I	15600801016	24,14	0,74	1,28	3,67	72,19	8445	0,56	75,91	8792,58	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
38418-I	25317706026	19,43	0,74	1,35	2,24	78,33	8589	0,51	81,04	8800,3	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
38419-I	25317706027	16,45	0,8	1,53	3,67	79,88	8436	0,54	84,05	8783,54	BITUMINOSO BAJO VOLÁTIL
41862-I	15646801036	26,92	1,04	1,59	28,92	44,16	5997	3,08	66,18	8711,58	SUB-BITUMINOSO C
42945-I	15646801043	30,63	0,95	1,79	13,73	55,64	7436	1,52	66,45	8727,17	SUB-BITUMINOSO C
41866-I	15646801040	33,65	0,61	1,02	14,89	51,46	7391	1,31	62,08	8804,97	SUB-BITUMINOSO C

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 12. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Vidriosa.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M ²)	INCLINCIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M ²)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS						
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)		
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	
C1	ES01,ES02,ES03	172.881,82	38	220.395,68	0,62	22,84							4.883.374,84
C2	ES01,ES02,ES03	71.099,41	38	90.226,45	0,62	22,84						1.988.484,38	
E3	ES01	137.416,17	47	201.490,47	0,77	22,84			5.514.953,77				
E4	ES01	222.866,40	47	326.784,36	0,77	22,84				8.944.346,90			
B5	ES01,ES02	36.524,97	39	46.998,85	0,74	20,80				1.126.102,58			
B6	ES02,ES03	1.440.167,50	39	1.853.149,31	0,74	23,20					49.514.469,92		
D7	ES01	13.337,22	47	19.556,09	0,77	22,84		535.265,62					
D8	ES01	141.620,61	47	207.655,35	0,77	22,84	5.683.691,50						
B9	ES01,ES02	1.619,52	39	2.083,93	0,74	20,80				49.931,48			
A10	ES02	59.603,74	30	68.824,47	0,70	20,80		1.559.911,22					
A11	ES02	150.792,98	30	174.120,74	0,70	20,80	3.946.458,07						
B12	ES02,ES03	172.794,06	34	208.427,30	0,55	23,20				4.139.113,04			
A13	ES03	62.224,28	38	78.963,74	0,40	25,59		1.258.211,47					
A14	ES03	155.555,54	38	197.402,81	0,40	25,59	3.145.424,33						
A15	ES03	7.023,99	38	8.913,57	0,40	25,59	142.029,20						
B16	ES03	188.552,59	38	239.276,67	0,40	25,59				3.812.644,05			
C17	ES02,ES03	106.855,47	34	128.890,99	0,55	23,20						2.559.618,48	
C18	ES02,ES03	487.916,12	34	588.533,18	0,55	23,20							11.687.554,40
GE = 1,56			TOTAL RECURSOS				5.683.691,50	535.265,62	5.514.953,77	8.944.346,90	-	-	
			TOTAL RESERVAS				7.233.911,60	2.818.122,68	9.127.791,15	49.514.469,92	4.548.102,86	16.570.929,25	

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 13. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Siete Bancos.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M ²)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M ²)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS						
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)		
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	
E1	ES04,ES05	639.626,10	50	995.081,56	1,73	10,93				24.765.201,88			
E2	ES04	111.691,18	46	160.785,77	1,70	10,93			3.943.579,68				
D3	ES04	44.641,63	46	64.264,15	1,70	10,93		1.576.201,68					
D4	ES04	163.152,01	46	234.866,54	1,70	10,93	5.760.552,91						
E5	ES04,ES05	227.862,79	50	354.491,57	1,73	10,93			8.822.447,98				
D6	ES05	46.282,49	54	78.740,48	1,75	10,93	1.988.063,14						
C7	ES05,ES06	62.016,49	46	89.276,24	2,23	10,93						2.865.893,30	
B8	ES06,ES07	175.521,06	37	218.348,65	2,40	10,93			7.560.592,75				
A9	ES06	3.119,49	38	3.958,69	2,70	10,93		154.208,85					
A10	ES06	110.647,23	38	140.413,35	2,70	10,93	5.469.734,66						
D11	ES07,ES08	63.977,00	42	85.421,61	1,95	10,93	2.403.236,07						
B12	ES07	121.919,64	35	148.836,40	2,10	10,93			4.509.439,24				
B13	ES06,ES07,ES08	672.151,63	40	881.750,96	2,20	10,93				27.987.410,47			
E14	ES07,ES08	113.480,79	42	151.518,69	1,95	10,93			4.262.799,56				
E15	ES07,ES08	144.929,39	42	193.508,62	1,95	10,93				5.444.136,76			
C16	ES08	218.475,02	48	326.505,79	1,80	10,93						8.479.250,99	
C17	ES08	1.153,48	48	1.723,85	1,80	10,93					44.767,80		
GE = 1,32							TOTAL RECURSOS	10.151.852,11	1.576.201,68	17.028.827,23	30.209.338,64	-	-
							TOTAL RESERVAS	5.469.734,66	154.208,85	12.070.031,99	27.987.410,47	44.767,80	11.345.144,30

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 14. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Piedro 2.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M ²)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M ²)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS						
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)		
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	
D1	ES09	157868,85	42	212.433,49	1,00	19,55	5.689.712,42						
E2	ES09	15.431,24	42	20.764,78	1,00	19,55				556.153,53			
E3	ES09	50.150,61	42	67.484,30	1,00	19,55			1.807.465,81				
E4	ES09,ES10	160.882,33	43	219.978,83	1,00	19,55			5.891.802,93				
D5	ES10	155.427,11	44	216.069,11	1,00	19,55	5.787.086,99						
D6	ES10	51.560,20	44	71.677,11	1,00	19,55		1.919.763,95					
B7	ES10	1.258.090,95	44	1.748.952,23	1,00	19,55				46.843.062,13			
B8	ES10,ES11,ES12	155.039,62	47	227.331,37	1,17	19,55			7.103.517,97				
A9	ES11	75.646,63	38	95.996,95	1,40	19,55		3.599.588,09					
A10	ES11	162.330,03	38	205.999,76	1,40	19,55	7.724.352,59						
B11	ES11,ES12,ES13	39.985,55	44	55.586,46	1,20	19,55			1.786.559,81				
D12	ES12	30.009,21	59	58.266,00	1,10	19,55	1.716.624,24						
D13	ES13	18.215,09	35	22.236,52	1,10	19,55		655.128,99					
D14	ES13	140.995,50	35	172.123,72	1,10	19,55	5.071.083,32						
D15	ES13	29.217,48	35	35.667,96	1,10	19,55		1.050.844,00					
E16	ES12,ES13	80.784,46	47	118.452,57	1,10	19,55			3.489.831,91				
E17	ES13	379.687,57	35	463.512,94	1,10	19,55				13.655.948,63			
C18	ES13	6.505,81	35	7.942,13	1,10	19,55							233.989,77
GE =	1,37												
TOTAL RECURSOS							18.264.506,98	3.625.736,94	11.189.100,66	14.212.102,15	-	-	
TOTAL RESERVAS							7.724.352,59	3.599.588,09	8.890.077,78	46.843.062,13	-	233.989,77	

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 15. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Cisquera 2.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M ²)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M ²)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)			
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION		
B1	ES14	24.261,39	54	24.264,73	0,95	24,87				725.785,81				
B2	ES14,ES15	54.927,91	50	54.936,70	1,03	21,84			1.556.943,24					
A3	ES14	5.967,57	54	5.968,39	0,95	24,87		178.521,41						
A4	ES14	136.739,45	54	136.758,25	0,95	24,87	4.090.596,34							
B5	ES14,ES15,ES16,ES17,ES18	327.693,70	44	327.762,03	1,17	24,87			12.074.078,62					
D6	ES15	78.324,64	45	78.339,08	1,10	24,87	2.713.192,61							
A7	ES16	101.931,79	46	101.950,58	1,10	46,16	6.553.629,48							
B8	ES15,ES16,ES17,ES18,ES19	1.326.358,89	39	1.326.649,85	1,20	26,39				53.177.554,49				
A9	ES17	159.364,24	38	159.426,40	1,60	6,61	2.134.594,48							
A10	ES17	106.089,42	38	106.130,80	1,60	6,61		1.421.008,19						
B11	ES17	2.428,48	38	2.429,43	1,60	6,61			32.528,13					
D12	ES18,ES19	123.916,66	34	123.939,50	1,10	24,87		4.292.515,95						
D13	ES19	270.994,02	33	271.043,97	1,10	24,87	9.387.326,56							
E14	ES18,ES19,ES20	341.715,82	35	341.775,05	1,07	24,87				11.478.326,25				
GE = 1,27							TOTAL RECURSOS		12.100.519,18	4.292.515,95	-	11.478.326,25	-	-
							TOTAL RESERVAS		12.778.820,30	1.599.529,60	13.663.549,98	53.903.340,30	-	-

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 16. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Bocatoma.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie³/Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
C1	ES21	85.161,44	52	138.325,11	1,25	18,90						4.101.253,00
C2	ES21	56.717,02	52	92.123,71	1,25	18,90					2.731.410,46	
B3	ES21	153.961,57	52	250.075,04	1,25	18,90			7.414.568,73			
B4	ES21	467.372,12	52	759.138,16	1,25	18,90				22.507.972,00		
A5	ES21	30.328,42	52	49.261,52	1,25	18,90		1.460.573,28				
A6	ES21	149.704,62	52	243.160,61	1,25	18,90	7.209.560,12					
B7	ES21,ES22	152.232,40	53	252.955,47	1,23	18,90			7.349.972,06			
C8	ES22	28.417,41	54	48.346,59	1,20	18,90						1.376.108,20
E9	ES22,ES23,ES24	1.260.064,27	46	1.824.959,00	1,17	18,90				50.501.634,03		
E10	ES22,ES23,ES24	303.551,33	46	439.635,30	1,17	18,90			12.165.917,68			
D11	ES22	75.180,89	54	127.905,37	1,20	18,90	3.640.621,70					
D12	ES23	71.127,55	50	110.654,82	1,20	18,90	3.149.612,53					
D13	ES24	7.678,61	35	9.373,85	1,10	18,90		244.577,39				
D14	ES24	138.350,45	35	168.894,71	1,10	18,90	4.406.707,98					
E15	ES24	3.482,11	35	4.250,87	1,10	18,90			110.911,40			
D16	ES24	4.533,28	35	5.534,11	1,10	18,90		144.393,03				
E17	ES24	1.413,40	35	1.725,44	1,10	18,90			45.019,30			
E18	ES24	2.200,77	35	2.686,64	1,10	18,90			70.098,44			
GE =	1,26			TOTAL RECURSOS			11.196.944,75	388.970,42	12.391.946,82	50.501.634,03	-	-
				TOTAL RESERVAS			7.209.560,12	1.460.573,28	14.764.540,79	22.507.972,00	2.731.410,46	5.477.361,20

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 17. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Rubí.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M ²)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M ²)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)			
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION		
C1	ES25	76.827,27	59	149.168,14	0,70	18,77							2.547.896,19	
C2	ES25	71.497,90	59	138.820,61	0,70	18,77						2.371.153,20		
B3	ES25,ES26	142.324,72	60	280.421,60	0,75	18,77			5.131.925,60					
B4	ES25,ES26	405.981,31	60	799.902,71	0,75	18,77				14.638.819,45				
A5	ES25	2.343,33	59	4.549,82	0,70	18,77		77.714,09						
A6	ES25	125.969,51	59	244.582,91	0,70	18,77	4.177.647,27							
B7	ES25,ES26	7.834,94	60	15.437,14	0,75	18,77			282.511,21					
D8	ES26	99.314,99	60	198.629,98	0,80	18,77	3.877.416,11							
B9	ES25,ES26,ES27	46.877,96	58	87.647,91	0,73	18,77			1.568.377,55					
C10	ES26,ES27	24.873,77	57	45.670,19	0,75	18,77							835.798,79	
E11	ES27,ES28	577.181,59	54	970.342,10	0,60	18,77				14.206.390,50				
E12	ES26,ES27	223.987,87	57	411.259,30	0,75	18,77			7.526.353,69					
D13	ES27	86.397,60	54	146.988,38	0,70	18,77	2.510.664,36							
C14	ES27	29.865,50	54	50.810,22	0,70	18,77							867.874,18	
D15	ES28	186.806,36	53	310.404,95	0,50	18,77	3.787.095,55							
D16	ES28	19.317,58	53	32.098,87	0,50	18,77		391.622,22						
D17	ES28	19.317,58	53	32.098,87	0,50	18,77		391.622,22						
E18	ES29	105.317,19	50	163.844,46	0,50	18,77			1.998.984,36					
E19	ES28,ES29	687.043,05	52	1.103.657,66	0,50	18,77				13.465.175,34				
F20	ES28,ES29	99.661,32	52	160.094,74	0,50	18,77							1.953.235,90	
GE = 1,30							TOTAL RECURSOS		10.175.176,03	783.244,44	9.525.338,05	27.671.565,84	-	1.953.235,90
							TOTAL RESERVAS		4.177.647,27	77.714,09	6.982.814,37	14.638.819,45	2.371.153,20	4.251.569,17

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 18. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Piedro.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS								
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)				
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION			
D1	ES30	128.458,27	44	178.578,01	0,50	22,08	2.927.679,33								
E2	ES30	61.839,08	44	85.966,44	0,50	22,08			1.409.368,16						
E3	ES30	115.496,56	44	160.559,11	0,50	22,08				2.632.270,32					
D4	ES30	22.596,60	44	31.412,97	0,50	22,08		514.996,81							
A5	ES31	87.027,05	55	151.727,03	0,60	22,08	2.984.968,37								
B6	ES31	307.124,12	55	535.454,56	0,60	22,08			10.534.147,54						
B7	ES30,ES31,ES32	438.155,34	51	696.235,73	0,60	22,08				13.697.240,40					
D8	ES32,ES33	227.788,30	51	361.959,19	0,65	22,08	7.714.334,90								
E9	ES32,ES33	48.444,99	51	76.979,85	0,65	22,08			1.640.650,01						
C10	ES31,ES32,ES33,ES34	15.109,93	53	24.962,96	0,61	22,08							501.334,63		
E11	ES33	890.309,45	48	1.330.546,60	0,60	22,08				26.176.215,72					
D12	ES32,ES33	21.542,53	51	34.231,42	0,65	22,08		729.564,65							
C13	ES32,ES33,ES34	51.388,85	52	83.469,33	0,62	22,08							1.687.729,79		
E14	ES34	209.433,30	54	356.309,21	0,55	22,08			6.425.623,32						
F15	ES33,ES34	25.008,37	51	39.738,69	0,58	22,08					749.215,84				
F16	ES33,ES34	123.640,18	51	196.466,19	0,58	22,08							3.704.087,12		
C17	ES33,ES34	183.120,84	51	290.981,90	0,58	22,08							5.486.044,62		
C18	ES33,ES34	548,34	51	871,32	0,58	22,08						16.427,50			
GE = 1,49								TOTAL RECURSOS		10.642.014,23	1.244.561,45	9.475.641,49	28.808.486,03	765.643,34	9.190.131,73
								TOTAL RESERVAS		2.984.968,37	-	10.534.147,54	13.697.240,40	-	2.189.064,43

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 19. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Consuelo.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS								
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)				
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION			
F1	ES35	104.352,53	59	202.611,29	0,62	11,99								1.958.023,37	
F2	ES35	66.678,58	59	129.463,40	0,62	11,99							1.251.126,52		
E3	ES35	175.336,86	59	340.434,75	0,62	11,99			3.289.941,03						
E4	ES35	191.841,38	59	372.480,00	0,62	11,99				3.599.624,33					
D5	ES35	160.059,22	59	310.771,63	0,62	11,99	3.003.278,35								
D6	ES35	47.253,61	59	91.747,80	0,62	11,99		886.645,23							
E7	ES35,ES36,ES37,ES38	428.544,51	58	808.697,74	0,69	11,99				8.634.542,57					
E8	ES35,ES36,ES37,ES38	233.092,22	58	439.863,65	0,69	11,99			4.696.465,94						
C9	ES35,ES36,ES37,ES38	12.170,32	58	22.966,37	0,69	11,99								245.214,08	
D10	ES36,ES37	145.288,66	55	250.194,46	0,67	11,99	2.612.853,26								
D11	ES36,ES37	21.510,36	55	37.041,93	0,67	11,99		386.839,65							
B12	ES36,ES37	32.577,42	55	56.099,97	0,67	11,99			585.868,28						
B13	ES37	724.317,38	62	1.542.835,47	0,54	11,99					12.986.015,31				
B14	ES37,ES38	6.211,50	63	13.682,00	0,66	11,99			140.752,53						
D15	ES37,ES38	366,78	63	807,90	0,66	11,99		8.311,23							
A16	ES37,ES38	4.510,91	63	9.936,13	0,66	11,99		102.217,17							
A17	ES38	91.956,81	64	209.769,30	0,78	11,99	2.550.345,82								
B18	ES38	36.228,15	64	82.642,64	0,78	11,99			1.004.757,68						
B19	ES36,ES37,ES38	112.883,34	58	211.058,43	0,71	11,99			2.324.769,26						
C20	ES37,ES38	201.564,40	63	443.983,74	0,66	11,99								4.567.447,21	
C21	ES37,ES38	32.531,97	63	71.657,82	0,66	11,99						737.174,10			
GE = 1,3			TOTAL RECURSOS				5.616.131,61	1.281.796,11	7.986.406,97	12.234.166,90	1.251.126,52	1.958.023,37			
			TOTAL RESERVAS				2.550.345,82	102.217,17	4.056.147,75	12.986.015,31	737.174,10	4.812.661,28			

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 20. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Tesorito.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
F1	ES39,ES40	14.094,58	53	23.420,12	0,71	21,75					459.314,81	
F2	ES39,ES40	16.903,80	53	28.088,03	0,71	21,75						550.861,79
E3	ES39,ES40	223.394,98	53	371.202,07	0,71	21,75			7.280.005,64			
D4	ES39	163.452,03	59	317.359,12	0,62	21,75	5.435.076,41					
D5	ES39	6.175,07	59	11.989,54	0,62	21,75		205.332,28				
E6	ES39,ES40,ES41,ES42,ES43	1.076.884,16	54	1.823.355,61	0,71	21,75				35.658.873,45		
C7	ES39,ES40,ES41,ES42,ES43	92.050,97	54	155.858,60	0,71	21,75						3.048.084,48
E8	ES39,ES40,ES41,ES42,ES43	232.211,33	54	393.174,91	0,71	21,75			7.689.215,55			
D9	ES41	5.952,51	62	12.679,17	0,54	21,75	189.124,41					
D10	ES41,ES42	3.253,56	63	7.166,58	0,66	21,75	130.652,88					
B11	ES41	176.606,77	62	376.182,04	0,54	21,75			5.611.187,73			
A12	ES42,ES43	16.954,99	51	26.655,51	0,79	21,75	581.670,56					
D13	ES42,ES43	89.192,03	51	140.221,80	0,79	21,75	3.059.888,47					
D14	ES43	77.392,56	37	96.905,98	0,80	21,75		2.141.428,44				
D15	ES43	5.503,42	37	6.891,03	0,80	21,75	152.277,95					
B16	ES43	107.225,15	37	134.260,43	0,80	21,75			2.966.887,07			
B17	ES43	303.572,98	37	380.114,55	0,80	21,75				8.399.771,39		
E18	ES42,ES43	25.175,69	51	39.579,55	0,79	21,75			863.696,04			
C19	ES42,ES43	1.216,73	51	1.912,86	0,79	21,75						41.742,05
GE = 1,27		TOTAL RECURSOS					8.967.020,11	2.346.760,71	15.832.917,23	35.658.873,45	459.314,81	592.603,84
		TOTAL RESERVAS					581.670,56	-	8.578.074,79	8.598.191,19	-	3.048.084,48

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 21. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC El Santuario. Manto Tesoro.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
F1	ES44,ES45	83.298,32	53	136.832,45	0,75	4,66					616.915,96	
F2	ES44,ES45	41.503,76	53	68.177,38	0,75	4,66						307.381,13
E3	ES44	154.809,84	58	292.138,54	0,70	4,66			1.229.313,13			
D4	ES44	163.706,29	58	308.926,85	0,70	4,66	1.299.958,01					
D5	ES44,ES45	7.589,74	53	12.467,51	0,75	4,66		56.210,40				
E6	ES44,ES45,ES46,ES48	881.997,15	54	1.491.599,46	0,74	4,66				6.657.701,22		
E7	ES44,ES45,ES46,ES48	254.747,76	54	430.819,56	0,74	4,66			1.922.947,79			
C8	ES44,ES45,ES46,ES48	1.538,13	54	2.601,23	0,74	4,66						11.610,48
D9	ES46	166.664,62	44	231.691,09	0,77	4,66	1.072.446,60					
B10	ES48	166.664,62	37	208.686,71	0,80	4,66			1.003.599,45			
A11	ES48	31.591,91	37	39.557,36	0,80	4,66	190.236,08					
D12	ES48	100.900,03	37	126.340,53	0,80	4,66	607.586,75					
B13	ES48,ES49	95.076,09	19	100.257,01	0,70	4,66			421.879,47			
D14	ES49	5.654,63	0	5.654,63	0,60	4,66	20.395,35					
E15	ES47,ES48,ES49	29.876,61	34	36.180,29	0,70	4,66			152.245,94			
E16	ES47,ES48,ES49	149.009,62	34	180.449,23	0,70	4,66				759.326,77		
C17	ES47,ES48,ES49	1.207,54	34	1.462,32	0,70	4,66						6.153,41
D18	ES48	52.044,29	37	65.166,51	0,80	4,66		313.393,57				
B19	ES48	292.731,61	37	366.539,69	0,80	4,66				1.762.733,34		
GE = 1,29			TOTAL RECURSOS				3.000.386,71	369.603,97	3.304.506,87	7.417.027,99	616.915,96	307.381,13
			TOTAL RESERVAS				190.236,08	-	1.425.478,92	1.762.733,34	-	17.763,89

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 22. Resumen cálculo de reservas y recursos. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector El Santuario.

MANTOS	RESERVAS – RECURSOS					
	MEDIDOS (pie ³)		INDICADOS (pie ³)		INFERIDOS (pie ³)	
	CON LA GRAVEDAD A FAVOR	CON LA GRAVEDAD EN CONTRA	CON LA GRAVEDAD A FAVOR	CON LA GRAVEDAD EN CONTRA	CON LA GRAVEDAD A FAVOR	CON LA GRAVEDAD EN CONTRA
VIDIRIOSA	5.683.691,50	535.265,62	5.514.953,77	8.944.346,90	-	-
	7.233.911,60	2.818.122,68	9.127.791,15	49.514.469,92	4.548.102,86	16.570.929,25
<i>Potencial Vidriosa</i>	110.491.585,25					
SIETE BANCOS	10.151.852,11	1.576.201,68	17.028.827,23	30.209.338,64	-	-
	5.469.734,66	154.208,85	12.070.031,99	27.987.410,47	44.767,80	11.345.144,30
<i>Potencial Siete Bancos</i>	116.037.517,74					
PIEDRO 2	18.264.506,98	3.625.736,94	11.189.100,66	14.212.102,15	-	-
	7.724.352,59	3.599.588,09	8.890.077,78	46.843.062,13	-	233.989,77
<i>Potencial Piedro 2</i>	114.582.517,08					
CISQUERA 2	12.100.519,18	4.292.515,95	-	11.478.326,25	-	-
	12.778.820,30	1.599.529,60	13.663.549,98	53.903.340,30	-	-
<i>Potencial Cisquera 2</i>	109.816.601,56					
BOCATOMA	11.196.944,75	388.970,42	12.391.946,82	50.501.634,03	-	-
	7.209.560,12	1.460.573,28	14.764.540,79	22.507.972,00	2.731.410,46	5.477.361,20
<i>Potencial Bocatoma</i>	128.630.913,87					
RUBI	10.175.176,03	783.244,44	9.525.338,05	27.671.565,84	-	1.953.235,90
	4.177.647,27	77.714,09	6.982.814,37	14.638.819,45	2.371.153,20	4.251.569,17
<i>Potencial Rubí</i>	82.608.277,79					
PIEDRO	10.642.014,23	1.244.561,45	9.475.641,49	28.808.486,03	765.643,34	9.190.131,73
	2.984.968,37	-	10.534.147,54	13.697.240,40	-	2.189.064,43
<i>Potencial Piedro</i>	89.531.899,03					
CONSUELO	5.616.131,61	1.281.796,11	7.986.406,97	12.234.166,90	1.251.126,52	1.958.023,37
	2.550.345,82	102.217,17	4.056.147,75	12.986.015,31	737.174,10	4.812.661,28
<i>Potencial Consuelo</i>	55.572.212,92					
TESORITO	8.967.020,11	2.346.760,71	15.832.917,23	35.658.873,45	459.314,81	592.603,84
	581.670,56	-	8.578.074,79	8.598.191,19	-	3.048.084,48
<i>Potencial Tesorito</i>	84.663.511,18					
TESORO	3.000.386,71	369.603,97	3.304.506,87	7.417.027,99	616.915,96	307.381,13
	190.236,08	-	1.425.478,92	1.762.733,34	-	17.763,89
<i>Potencial Tesoro</i>	18.412.034,86					
TOTAL RECURSOS	95.798.243,20	16.444.657,30	92.249.639,10	227.135.868,18	3.093.000,63	14.001.375,98
	112.242.900,50		319.385.507,28		17.094.376,61	
TOTAL RESERVAS	50.901.247,37	9.811.953,77	90.092.655,06	252.439.254,52	10.432.608,43	47.946.567,75
	60.713.201,14		342.531.909,58		58.379.176,18	
POTENCIAL	910.347.071,29					

Fuente: Datos del Estudio

De acuerdo a la Tabla 22, el potencial de GMAC para el Sector denominado El Santuario es de **0,91 Bcf**, distribuidos en 172.956.101,64 pies³ (**0,17 Bcf**) de Reservas y Recursos medidos; 661.917.416,86 pies³ (**0,66Bcf**) de Reservas y Recursos indicados; 75.473.552,79 pies³ (**0,08Bcf**) de Reservas y Recursos Inferidos.

Tabla 23. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto Siete Bancos.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH ₄ (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
C1	LRC01,LRC02	60.906,33	16	63.360,82	2,50	11,60					2.425.452,22	
C2	LRC01	25.748,08	7	25.941,44	2,70	11,60						1.072.481,54
B3	LRC01	234.675,02	7	236.437,39	2,70	11,60			9.774.889,09			
B4	LRC01	2.020.219,00	7	2.035.390,49	2,70	11,60				84.147.927,88		
A5	LRC01	35.251,87	7	35.516,61	2,70	11,60	1.468.341,71					
A6	LRC01	419.397,33	7	422.546,93	2,70	11,60		17.469.104,23				
A7	LRC01	31.274,00	7	31.508,86	2,70	11,60	1.302.651,99					
B8	LRC01	163.518,08	7	164.746,07	2,70	11,60			6.810.998,02			
C9	LRC01,LRC02	308.617,71	16	321.054,83	2,50	11,60						12.289.978,88
C10	LRC01,LRC02	32.270,50	16	33.570,98	2,50	11,60					1.285.097,23	
E11	LRC02	170.789,88	24	186.952,80	2,30	11,60			6.584.028,88			
E12	LRC02	1.206.399,35	24	1.320.568,49	2,30	11,60				46.507.253,03		
D13	LRC02	18.875,61	24	20.661,93	2,30	11,60	727.663,50					
D14	LRC02	130.074,26	24	142.384,00	2,30	11,60		5.014.422,90				
D15	LRC02	114.586,13	24	125.430,13	2,30	11,60	4.417.348,32					
E16	LRC02,LRC03	98.517,24	26	109.610,47	1,90	11,60			3.188.875,55			
D17	LRC03	131.343,42	28	148.755,62	1,40	11,60	3.188.844,56					
E18	LRC03	104.073,30	28	117.870,30	1,40	11,60			2.526.762,10			
E19	LRC03	29.241,65	28	33.118,22	1,40	11,60			709.948,59			
F20	LRC02,LRC03	28.972,07	26	32.234,38	1,90	11,60					937.788,41	
F21	LRC02,LRC03	3.763,82	26	4.187,63	1,90	11,60						121.829,98
D22	LRC03	30.577,00	28	34.630,59	1,40	11,60		742.369,13				
GE = 1,32		TOTAL RECURSOS					8.333.856,37	5.014.422,90	13.009.615,13	46.507.253,03	937.788,41	121.829,98
		TOTAL RESERVAS					2.770.993,69	17.469.104,23	16.585.887,10	84.147.927,88	3.710.549,45	13.362.460,41

Fuente. Datos del Estudio



Tabla 24. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Grande.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
B1	LRC04	1.354.983,00	7	1.365.158,69	2,53	9,42				42.295.865,16		
C2	LRC04	4.703,00	7	4.738,32	2,53	9,42					146.804,39	
B3	LRC04	175.396,70	7	176.713,90	2,53	9,42			5.475.017,16			
A4	LRC04	109.924,43	7	110.749,94	2,53	9,42	3.431.296,83					
A5	LRC04	320.118,19	7	322.522,22	2,53	9,42		9.992.506,03				
A6	LRC04	457,74	7	461,18	2,53	9,42	14.288,38					
B7	LRC04	161.182,26	7	162.392,71	2,53	9,42			5.031.312,67			
E8	LRC04,LRC05	8.609,80	14	8.873,38	2,50	6,37			183.701,09			
E9	LRC04,LRC05	290.824,54	14	299.727,73	2,50	6,37				6.205.113,43		
D10	LRC05	77.234,54	20	82.191,28	2,40	6,37		1.633.502,39				
D11	LRC05	152.333,07	20	162.109,47	2,40	6,37	3.221.828,39					
B12	LRC05,LRC06	98.591,33	29	112.724,80	1,80	6,37			1.680.253,30			
A13	LRC06	140.242,25	38	177.969,97	1,20	3,32	921.742,07					
A14	LRC06	39.045,76	38	49.549,78	1,20	3,32		256.628,22				
B15	LRC06,LRC07	449.896,29	32	530.507,99	2,20	6,37				9.664.900,64		
B16	LRC06,LRC07	116.673,41	32	137.578,77	2,20	6,37			2.506.437,46			
D17	LRC07	63.195,50	25	69.728,52	2,20	6,37	1.270.328,11					
E18	LRC06,LRC07	54.094,23	32	63.786,75	2,20	6,37			1.162.079,73			
B19	LRC06,LRC07	18.350,91	32	21.639,00	2,20	6,37				394.223,57		
B20	LRC06,LRC07	284,23	32	335,16	2,20	6,37			6.105,97			
E21	LRC06,LRC07	14.555,37	32	17.163,38	2,20	6,37			312.685,85			
GE = 1,3		TOTAL RECURSOS					4.492.156,50	1.633.502,39	1.658.466,67	6.205.113,43	-	-
		TOTAL RESERVAS					4.367.327,27	10.249.134,26	14.699.126,56	52.354.989,38	146.804,39	-

Fuente. Datos del Estudio



Tabla 25. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Tercera.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
C1	LRC08	28.989,11	7	29.206,81	0,85	20,19					646.590,21	
C2	LRC08	3.937,63	7	3.967,20	0,85	20,19						87.827,22
B3	LRC08	184.410,48	7	185.795,37	0,85	20,19			4.113.200,15			
A4	LRC08	157.397,59	7	158.579,62	0,85	20,19	3.510.688,72					
A5	LRC08	208.367,00	7	209.931,80	0,85	20,19		4.647.540,51				
B6	LRC08	1.516.779,05	7	1.528.169,80	0,85	20,19				33.831.134,88		
B7	LRC08	161.765,03	7	162.979,86	0,85	20,19			3.608.102,68			
C8	LRC08	2.525,04	7	2.544,00	0,85	20,19					56.319,98	
C9	LRC08	225.808,03	7	227.503,81	0,85	20,19						5.036.555,54
D10	LRC09	24.240,81	24	26.534,87	1,20	20,34	835.280,03					
B11	LRC10	209.013,73	32	246.464,48	1,00	20,48			6.511.394,30			
A12	LRC10	101.080,13	32	119.191,51	1,00	20,48	3.148.944,24					
A13	LRC10	8.199,43	32	9.668,59	1,00	20,48		255.436,43				
B14	LRC10	525.317,35	32	619.442,87	1,00	20,48				16.365.185,18		
B15	LRC10	93.311,31	32	110.030,68	1,00	20,48			2.906.922,58			
B16	LRC10	23.054,50	32	27.185,37	1,00	20,48			718.215,69			
C17	LRC10	3.960,23	32	4.669,82	1,00	20,48						123.372,85
C18	LRC10	32.979,10	32	38.888,24	1,00	20,48					1.027.396,26	
E19	LRC09	278.571,43	24	304.934,39	1,20	20,19			9.530.456,12			
E20	LRC09	555.173,12	24	607.712,64	1,20	20,19				18.993.523,71		
GE = 1,29				TOTAL RECURSOS			835.280,03	-	9.530.456,12	18.993.523,71	-	-
				TOTAL RESERVAS			6.659.632,96	4.902.976,94	17.857.835,39	50.196.320,06	1.730.306,45	5.247.755,61

Fuente. Datos del Estudio

Tabla 26. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Limpia.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
C1	LRC11	9.461,73	7	9.532,79	0,45	24,19					133.862,19	
B2	LRC11	166.189,21	7	167.437,26	0,45	24,19			2.351.203,43			
A3	LRC11	158.071,09	7	159.258,18	0,45	24,19	2.236.350,29					
A4	LRC11	156.905,01	7	158.083,34	0,45	24,19		2.219.852,88				
B5	LRC11	1.318.705,96	7	1.328.609,21	0,45	24,19				18.656.722,49		
B6	LRC11	181.171,43	7	182.532,00	0,45	24,19			2.563.168,13			
E7	LRC11,LRC12,LRC13	8.076,83	30	9.326,32	0,76	33,69			307.999,61			
E8	LRC11,LRC12,LRC13	345.615,37	30	399.082,25	0,76	33,69				13.179.601,24		
D9	LRC12	38.402,81	20	40.867,42	0,90	33,69		1.598.254,58				
D10	LRC12	134.865,87	20	143.521,26	0,90	33,69	5.612.870,38					
B11	LRC13	120.084,81	33	142.383,24	0,95	43,18			7.534.506,94			
B12	LRC13	516.571,85	33	612.493,58	0,95	43,18				32.411.378,15		
A13	LRC13	23.689,35	33	28.246,31	0,95	43,18		1.494.712,60				
A14	LRC13	142.973,46	33	170.476,31	0,95	43,18	9.021.110,00					
B15	LRC13	47.325,98	33	56.429,76	0,95	43,18			2.986.098,76			
D16	LRC14	12.462,49	12	12.740,91	0,90	33,69		498.349,08				
D17	LRC14	107.594,61	12	109.998,34	0,90	33,69	4.302.484,88					
B18	LRC13	7.660,32	33	9.133,88	0,95	43,18			483.338,58			
C19	LRC13	1.123,23	33	1.339,30	0,95	43,18					70.871,76	
C20	LRC13	28.213,98	33	33.641,31	0,95	43,18					1.780.200,45	
B21	LRC13	7.710,54	33	9.193,76	0,95	43,18			486.507,28			
C22	LRC13	455,24	33	542,81	0,95	43,18						28.724,00
GE = 1,29			TOTAL RECURSOS				9.915.355,26	2.096.603,66	-	-	-	-
			TOTAL RESERVAS				11.257.460,30	3.714.565,49	16.712.822,73	64.247.701,88	1.984.934,40	28.724,00

Fuente. Datos del Estudio

Tabla 27. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto La Ligada.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS					
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION
C1	LRC15	90.722,66	7	91.403,97	0,55	37,03					2.420.052,68	
C2	LRC15	49.368,93	7	49.739,68	0,55	37,03						1.316.930,20
B3	LRC15	259.147,00	7	261.093,15	0,55	37,03			6.912.819,70			
A4	LRC15	1.373,49	7	1.383,80	0,55	37,03	36.638,24					
B5	LRC15	6.686,52	7	6.736,73	0,55	37,03				178.364,82		
A6	LRC15	30.666,54	7	30.896,84	0,55	37,03	818.038,65					
A7	LRC15	461.211,30	7	464.674,92	0,55	37,03		12.302.942,19				
B8	LRC15	1.908.298,31	7	1.922.629,30	0,55	37,03				50.904.398,46		
B9	LRC15	165.424,49	7	166.666,80	0,55	37,03			4.412.745,17			
C10	LRC15	130.591,69	7	131.572,41	0,55	37,03						3.483.570,36
E11	LRC16	96.676,59	10	98.167,98	0,80	37,03			3.780.566,80			
E12	LRC16	1.054.595,22	10	1.070.864,05	0,80	37,03				41.240.259,65		
D13	LRC16	118.293,49	10	120.118,36	0,80	37,03	4.625.902,10					
D14	LRC16	93.869,25	10	95.317,33	0,80	37,03		3.670.784,93				
D15	LRC16	21.215,58	10	21.542,86	0,80	37,03	829.641,56					
E16	LRC16	68.707,92	10	69.767,85	0,80	37,03			2.686.843,64			
C17	LRC15,LRC16,LRC17	9.014,72	22	9.722,69	0,70	37,03						327.628,36
E18	LRC16	167.515,06	10	170.099,25	0,80	37,03			6.550.726,23			
D19	LRC17	134.823,03	27	151.315,42	0,75	37,03	5.463.129,90					
D20	LRC17	36.228,33	27	40.660,01	0,75	37,03		1.467.999,00				
E21	LRC17	814.372,44	27	913.991,56	0,75	37,03				32.998.979,66		
E22	LRC17	116.946,24	27	131.251,83	0,75	37,03			4.738.749,01			
E23	LRC17	19.687,72	27	22.096,04	0,75	37,03			797.761,12			
F24	LRC17	6.699,23	27	7.518,72	0,75	37,03						271.457,80
F25	LRC17	24.610,44	27	27.620,94	0,75	37,03					997.233,41	
GE = 1,3		TOTAL RECURSOS					10.918.673,56	5.138.783,93	18.554.646,80	74.239.239,30	997.233,41	271.457,80
		TOTAL RESERVAS					854.676,88	12.302.942,19	11.325.564,87	51.082.763,27	2.420.052,68	5.128.128,92

Fuente. Datos del Estudio

Tabla 28. Cálculo de recursos y reservas. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector GMAC Loma Redonda. Manto Bocatoma.

ÁREA	PUNTO DE CONTROL	ÁREA HORIZONTAL (M2)	INCLINACIÓN (°)	ÁREA INCLINADA (M2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 (pie ³ /Ton)	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (Ton)		INDICADAS (OS) (Ton)		INFERIDAS (OS) (Ton)			
							SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION	SOBRE ZONA DILUCION	BAJO ZONA DILUCION		
C1	LRC18,LRC19	614.971,60	8	621.015,28	1,45	24,95							28.982.146,48	
E2	LRC18,LRC19	132.146,25	8	133.444,93	1,45	24,95			6.227.737,96					
E3	LRC18,LRC19	1.300.366,65	8	1.313.146,10	1,45	24,95				61.283.182,40				
D4	LRC18,LRC19	55.641,53	8	56.188,35	1,45	24,95	2.622.252,76							
D5	LRC18,LRC19	64.885,65	8	65.523,32	1,45	24,95		3.057.906,11						
D6	LRC18,LRC19,LRC20	73.677,48	48	110.109,27	1,50	24,95	5.315.882,68							
E7	LRC18,LRC19,LRC20	47.432,22	48	70.886,34	1,50	24,95			3.422.268,47					
C8	LRC19,LRC20,LRC21	113.311,10	53	188.282,27	1,60	24,95							9.695.934,51	
B9	LRC19,LRC20,LRC21	384.928,61	53	639.612,83	1,60	24,95			32.938.013,98					
B10	LRC19,LRC20,LRC21	761.617,25	53	1.265.533,79	1,60	24,95				65.170.940,72				
A11	LRC19,LRC20,LRC21	54.341,29	53	90.295,67	1,60	24,95	4.649.938,00							
C12	LRC19,LRC20,LRC21	275.329,14	53	457.497,95	1,60	24,95						23.559.680,49		
B13	LRC19,LRC20,LRC21	295.481,17	53	490.983,37	1,60	24,95				25.284.072,56				
A14	LRC19,LRC20,LRC21	39.177,29	53	65.098,56	1,60	24,95	3.352.367,41							
C15	LRC19,LRC20,LRC21	98.144,33	53	163.080,56	1,60	24,95							8.398.126,90	
GE = 1,29							TOTAL RECURSOS		7.938.135,43	3.057.906,11	9.650.006,42	61.283.182,40	-	-
							TOTAL RESERVAS		8.002.305,40	-	32.938.013,98	90.455.013,29	23.559.680,49	47.076.207,90

Fuente. Datos del Estudio

Tabla 29. Resumen cálculo de reservas y recursos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector Loma Redonda.

MANTOS	RESERVAS - RECURSOS					
	MEDIDOS (pie ³)		INDICADOS (pie ³)		INFERIDOS (pie ³)	
	SOBRE LIMITE DILUCIÓN	BAJO LIMITE DILUCIÓN	SOBRE LIMITE DILUCIÓN	BAJO LIMITE DILUCIÓN	SOBRE LIMITE DILUCIÓN	BAJO LIMITE DILUCIÓN
SIETE BANCOS	8.333.856,37	5.014.422,90	13.009.615,13	46.507.253,03	937.788,41	121.829,98
	2.770.993,69	17.469.104,23	16.585.887,10	84.147.927,88	3.710.549,45	13.362.460,41
<i>Potencial Siete Bancos</i>	211.971.688,59					
LA GRANDE	4.492.156,50	1.633.502,39	1.658.466,67	6.205.113,43	-	-
	4.367.327,27	10.249.134,26	14.699.126,56	52.354.989,38	146.804,39	-
<i>Potencial La Grande</i>	95.806.620,85					
LA TERCERA	835.280,03	-	9.530.456,12	18.993.523,71	-	-
	6.659.632,96	4.902.976,94	17.857.835,39	50.196.320,06	1.730.306,45	5.247.755,61
<i>Potencial La Tercera</i>	115.954.087,28					
LA LIMPIA	9.915.355,26	2.096.603,66	-	-	-	-
	11.257.460,30	3.714.565,49	16.712.822,73	64.247.701,88	1.984.934,40	28.724,00
<i>Potencial La Limpia</i>	109.958.167,71					
LA LIGADA	10.918.673,56	5.138.783,93	18.554.646,80	74.239.239,30	997.233,41	271.457,80
	854.676,88	12.302.942,19	11.325.564,87	51.082.763,27	2.420.052,68	5.128.128,92
<i>Potencial La Ligada</i>	193.234.163,63					
BOCATOMA	7.938.135,43	3.057.906,11	9.650.006,42	61.283.182,40	-	-
	8.002.305,40	-	32.938.013,98	90.455.013,29	23.559.680,49	47.076.207,90
<i>Potencial Bocatoma</i>	283.960.451,41					
TOTAL RECURSOS	42.433.457,16	16.941.218,99	52.403.191,15	207.228.311,87	1.935.021,82	393.287,79
	59.374.676,15		259.631.503,02		2.328.309,61	
TOTAL RESERVAS	33.912.396,51	48.638.723,10	110.119.250,63	392.484.715,75	33.552.327,85	70.843.276,84
	82.551.119,62		502.603.966,39		104.395.604,69	
POTENCIAL	1.010.885.179,48					

Fuente. Datos del Estudio

De acuerdo a la Tabla 29, el potencial de GMAC para el Sector denominado Loma Redonda es de **1,01 Bcf**, distribuidos en 141.925.795,76 pies³ (**0,14 Bcf**) de reservas y recursos medidos; 762.235.469,41 pies³ (**0,76Bcf**) de reservas y recursos indicados; 106.723.914,30 pies³ (**0,11Bcf**) de reservas y recursos inferidos.

En general para la zona de estudio, se tiene un potencial determinado de GMAC de **1,92 Bcf**, correspondiente a la sumatoria de los valores de potencial obtenidos para las categorías de recursos y reservas medidas, indicadas e inferidas en los dos sectores de interés objeto de evaluación.

7.3.2.2. Recursos Hipotéticos.

En el Sector GMAC EL Santuario, en el Programa de muestreo establecido en frente de mina, se realizó mediciones a una capa de carbón identificada como Manto Aliso, al cual no se determinó Recursos y Reservas, por no contar con suficientes puntos de control y la certeza de su continuidad hacia el norte del Sector, por tanto se evaluó desde la categoría de Recursos Hipotéticos, tomando como área de evaluación un área compuesta por la traza del manto realizada a partir de la Traza del Manto Tesorito y el límite del sector establecido. El valor de Recursos Hipotéticos para este manto fue de 197.466.132,76 pie³ o **0,2Bcf** (Billones de pies cúbicos) (ver Tabla 30).

En la perforación Samacá-2 por encima del manto 7 Bancos se evidenciaron dos capas de carbón denominadas Chica 1 y Chica 2 con espesores de 0,50 m, metros. De estas capas de carbón no se tiene el conocimiento a lo largo del sector evaluado, debido a que no se han realizado labores mineras sobre ellos y solamente se cuenta con este punto de control, por lo tanto, la evaluación realizada para estas capas se clasificó como recursos en la categoría de hipotéticos.

Para su cálculo, se empleó la traza del manto Siete Bancos como referencia para determinar el área de evaluación, la cual se construyó a partir de la proyección de las trazas de estas capas de carbón, y los límites del sector establecido. El área establecida fue corregida por el ángulo de buzamiento dando un valor de 62.737.249.958,63 m². Los Recursos Hipotéticos determinados para estas dos capas de carbón correspondieron a 152.711.692,85 pies³ o **0,15 Bcf** (Billones de pies cúbicos) (ver Tabla 31).

Tabla 30. Recursos hipotéticos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector El Santuario.

CAPA DE CARBON	ÁREA (M2)	PROMEDIO BUZAMIENTO (°)	ÁREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GRAVEDAD ESPECÍFICA	GMC CH ₄ (pie ³ /ton)	RECURSOS (pie ³)
ALISO	11.298.969,00	58	21.322.057,46	0,40	1,32	17,54	197.466.132,76
TOTAL							197.466.132,76

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 31. Recursos hipotéticos. Área Checua Lenguazaque. Guachetá-Samacá. Sector Loma Redonda.

CINTA	ÁREA (M2)	PROMEDIO BUZAMIENTO (°)	ÁREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GRAVEDAD ESPECÍFICA	GMC CH ₄ (pie ³ /ton)	RECURSOS (pie ³)
CHICA 2	6.226.961,00	7	6.273.724,39	0,53	1,31	32,11	139.866.242,17
CHICA 1	6.226.961,00	7	6.273.724,39	0,50	1,50	2,73	12.845.450,69
TOTAL							152.711.692,85

Fuente: Datos del Estudio

7.3.3 Categoría de especulativos

El área total de estudio abarca una extensión superficial de 200 Km², de los cuales se evaluó para el potencial de GMAC la parte sur y norte, donde se ubicaron los pozos exploratorios y se concentró el muestreo de mantos para determinar características físicoquímicas y de contenido de gas metano. Sin embargo, teniendo en cuenta la complejidad estructural en general de la zona, que afecta la continuidad de los mantos, se decidió no evaluar recursos especulativos en la misma.

8. CONCLUSIONES

- Con el fin de conocer sobre el origen, almacenamiento y potencialidad del GMAC en nuestro país, se ha iniciado el estudio del mismo en zonas piloto, caracterizadas por poseer gran potencial carbonífero e información de referencia sobre estudios a escalas adecuadas (1:10.000; 1:25.000), para este caso se continúa con el análisis de los contenidos de GMAC a través de métodos directos, en algunos mantos de interés, localizados en la formación Guaduas, que forma parte de la gran estructura denominada Sinclinal Checua-Lenguazaque hacia los municipios de Guachetá, Ráquira y Samacá.
- De acuerdo a los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras tomadas, los carbones objeto de estudio, se clasificaron según la norma ASTM por rango como Subbituminosos C a Bituminosos bajo volátil.
- La reflectancia de la vitrinita (R_o) obtenida en las muestras analizadas, permite establecer valores entre 0,7 a 1,06%, correspondiente a carbones de tipo subC a bbv, teniendo la mayoría de estos un rango Bituminoso medio volátil (bmv) que de acuerdo a Rice y otros, 1991, corresponden a una ventana en la cual la generación de metano es muy importante.
- Los mantos de carbón que mayor contenido de CH_4 registraron correspondieron a los mantos: Vidriosa, Siete Bancos, Cisquera 2, Ligada del nivel K2E1g3 de la formación Guaduas, ubicados en el flanco Occidental del Sinclinal Checua Lenguazaque, donde igualmente se presenta mayor desarrollo minero.
- Las mediciones de CH_4 realizadas en las muestras de los mantos de carbón colectadas, dieron como resultado contenidos que variaron así: en el pozo Samacá-2 valores entre 1,46 a 37,03 pie³/Ton. En el pozo Ráquira-1, valores entre 7,41 a 87,94 pie³/Ton; en los frentes de mina valores entre 3,32 a 53,84 pie³/Ton.

A pesar de que la zona de estudio actual pertenece a la continuación del área de exploración GMAC 2011 (área Tausa-Guachetá) en donde las mediciones de contenidos de CH_4 , registraron valores entre 9,53 a 78.93 pie³/Ton, se identifica una gran diferencia con respecto a los valores de las mediciones

realizadas en el área Guachetá-Samacá, en la misma estructura Sinclinal (en el mismo Flanco Occidental), razón por la cual se ha analizado esta situación exponiendo algunos planteamientos que podrían explicar los bajos contenidos obtenidos:

- *Importante influencia de las fallas existentes especialmente hacia el norte de la zona de estudio, en donde se presentan grandes desplazamientos que pudieron facilitar la migración del gas. Con este ambiente tectónico, se originan cambios en las condiciones de la cuenca (bajas presiones y temperaturas), en algún momento de su evolución geológica, pudiendo considerar el reservorio como sub-presurizado, con lo cual se pudo alterar el comportamiento del gas en los mantos de carbón permitiendo que la migración del mismo sea mayor que su generación. A la vez, estos cambios pudieron alterar el flujo de calor y por ende el régimen termal de la cuenca factor de relevancia en la maduración del carbón, con lo cual las condiciones para tener carbones con buenas perspectivas de GMAC no son las favorables.*
- *Las muestras colectadas en las perforaciones están en un intervalo de profundidad entre 0 a 180,0m, que puede asumirse como un intervalo cercano a la superficie, lo cual puede relacionarse con un enterramiento insuficiente que influyó en la maduración del carbón, pues en el caso del Pozo Samacá-2 la mayoría de capas de carbón cortadas son de rango Subbituminoso C, considerado fuera de la ventana que produce metano de origen Térmogénico y que corresponde a los carbones con un mayor rango Bituminosos alto, medio y bajo volátil (Law and Rice, 1991).*
- De acuerdo a la información recopilada en campo se pudo identificar que los mantos de carbón existentes hacia el flanco occidental del Sinclinal Checua Lenguazaque, son los que han registrado contenidos importantes de Metano, apreciándose igualmente mayor desarrollo de la actividad minera, comparado con la información obtenida del flanco Oriental donde hay menor actividad minera y la información sobre mediciones de Metano es prácticamente nula. Este planteamiento es expuesto en el trabajo de exploración de 2011 (zona Tausa-Guachetá), con lo cual se ratifica la misma tendencia hacia el norte de la estructura en cuanto a contenidos de gas metano.
- Las capas de carbón registrados en los pozos realizados presentan un valor medio a alto de rayos Gamma Natural, una ligera deflexión en la temperatura, con valores de Densidad entre 1,17 a 1,4 gramos/cm³, considerados bajos y con los cuales se pudo determinar los espesores reales de las capas de interés.
- De acuerdo a estudios anteriores y la literatura existente sobre GMAC, se menciona que existe una tendencia en que el contenido de gas y el rango de los carbones se incrementa con la profundidad, sin embargo en los pozos

realizados tal tendencia no se aprecia, presentándose variaciones en los carbones identificados a profundidad.

- Como variables relevantes en la evaluación de un proyecto de GMAC, se tiene el rango del carbón, la litología de los respaldos de los mantos de carbón, el espesor de la cobertera, las condiciones hidrogeológicas de la cuenca y el mercado. El estudio de GMAC requiere un detallado conocimiento geológico local, estratigrafía, ambientes de depósito, tectónica (sistema de fracturamiento), cartografía minera, análisis de las condiciones hidrogeológicas, permeabilidad y porosidad, determinación de la capacidad de adsorción de los mantos de carbón a través de la aplicación de Isotermas.
- El potencial de gas metano, para los dos sectores de evaluación, enmarcados dentro del área general de estudio, correspondió a 1,92 Bcf de recursos y reservas de GMAC en las categorías de Medido, Indicado, Inferido.

9. RECOMENDACIONES

- Continuar la exploración de Gas Metano Asociado al carbón (GMAC), en el departamento de Boyacá, de acuerdo al conocimiento adquirido de estudios locales con mediciones de contenidos de gas metano en frente de mina y registros de accidentalidad atendidos por la oficina de Salvamento Minero del antiguo Ingeominas (2011-2012), concentrando los trabajos en la zona que comprende los municipios de Tasco, Socha y Socotá, realizando perforaciones a mayor profundidad (mayores a 400m), teniendo en cuenta que la formación portadora de los carbones en esta área reduce su espesor y es necesario incluir en las proyecciones de las perforaciones, el hecho de iniciar las mismas desde las formaciones suprayacentes a la formación Guaduas.
- Analizar el comportamiento del gas metano en los mantos de carbón en estructuras sinclinales como anticlinales, para determinar las condiciones que en cada caso puedan incidir en el buen desarrollo de un proyecto de GMAC.
- Establecer relaciones preliminares entre las variables que determinan la generación de gas metano en los mantos de carbón, como la profundidad de los mantos, los contenidos de GMAC, el rango del carbón, el análisis de macerales, entre zonas, áreas, sectores y bloques carboníferos.
- Elaborar el modelo hidrogeológico en la zona de estudio, de tal forma que se puedan establecer en el proceso de determinación de sectores de interés GMAC, la dirección del flujo de agua y por ende las zonas donde se pudiera concentrar por efecto de la presión hidrostática mayores contenidos de metano.
- Realizar un análisis preliminar sobre la permeabilidad de las capas de interés a partir del estudio de esfuerzos del macizo rocoso, igualmente establecer la relación existente entre la dirección de la estructura principal y

la dirección preferencial de los esfuerzos con el fin de discriminar en que caso se favorece la acumulación y migración del gas.

- Realizar análisis de cromatografía en los núcleos de las perforaciones con el fin de determinar los diferentes tipos de gases presentes.
- Insistir a la entidad competente sobre la necesidad de solicitar al minero análisis de contenidos de gas metano en las fases de Exploración y Explotación, con las cuales puedan mejorar las proyecciones en el planeamiento minero y por ende en la Seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, A., LOBO GUERRERO, A., 1967. Hidrogeología preliminar del área Sora-Cucaita-Leiva-Sáchica-Sutamarchán (Boyacá). Servicio Geológico Nacional. Bogotá.
- BURGL, H. 1954. El Cretáceo Inferior en los alrededores de Villa de Leiva (Boyacá). Boletín Geológico Volumen II No.1, p: 5-22. Instituto Geológico Nacional. Bogotá.
- CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTA. Caracterización económica y empresarial de las provincias de cobertura de la CCB. Bogotá.
- DUARTE, Claudia. 2010. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2553, Modificación Licencia Ambiental, 2009, Servicio Geológico Colombiano, consultada en (www.minambiente.gov.co/documentos/res_2553_181209.pdf), a las 10.00 h de abril de 2010.
- DUARTE, Claudia. 2012. Esquema de Ordenamiento Territorial, Servicio Geológico Colombiano, consultada en (<http://samaca-boyaca.gov.co/index.shtml>, <http://raquira-boyaca.gov.co/index.shtml>, <http://quacheta-boyaca.gov.co/index.shtml>), a las 9.00 h de abril de 2012.
- DUARTE, Claudia. 2012. Población y demografía, Servicio Geológico Colombiano, consultada en (<http://www.dane.gov.co>) a las 2.00 h de marzo de 2012.
- DRUMMOND LTD. 2008. Drummond CBM Experience in Colombia. División de hidrocarburos y exploración de mineral. Foro de energías alternativas e hidrocarburos no convencionales. Bucaramanga.
- ECOCARBON-Colciencias-INGEOMINAS, 1993. Características y usos tecnológicos de los carbones Zona Cundinamarca-Boyacá.
- ECOCARBON, 1995. Sistema de clasificación de recursos de carbón. Bogotá.
- ECOCARBÓN-INGEOMINAS, 1997. Programa Normalización de Recursos y Reservas de carbón (departamento de Boyacá) Áreas Carboníferas Checua Lenguazaque, Suesca Albarracín, Tunja Paipa Duitama.

- ECOCARBÓN-INGEOMINAS, 1997. Programa de Normalización de Recursos y reservas de carbón en algunas áreas del departamento de Cundinamarca - Resumen Ejecutivo.
- FAJARDO, L., FUENTES, C. A., MARIÑO, J. E., MONROY, W. O., MONTOYA, M., PAREJA, E., 1997. Programa de normalización de recursos y reservas de carbón en algunas áreas del departamento de Cundinamarca. Ecocarbón Regional 2 de Ubaté. INGEOMINAS. Bogotá.
- FUQUEN, J., OSORNO, J., 2005. Geología de la plancha 190-Chiquinquirá. INGEOMINAS. Bogotá
- GUATAME, C. 2003. Interpretación del ambiente sedimentario del carbón de la Formación Guaduas a partir del análisis petrográfico, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- INGEOMINAS. HINCAPIÉ, V., HUGUETT, A., 2003. Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia. Plancha 5-09. Escala 1:500.000. Bogotá.
- INGEOMINAS, 2004. El Carbón colombiano - recursos, reservas y calidad, Publ. Geol. Esp. INGEOMINAS. Bogotá.
- INGEOMINAS, 2010. El carbón. Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas. Segunda Edición. Publicaciones Geológicas Especiales Número 30. Bogotá.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 2001. Exploración, Evaluación y Explotación del Metano de las capas de carbón. Recursos Minerales No2. España
- JULIVERT, M. 1968. Lexique Stratigraphique International, Vol V. Amerique Latine, Fasc. 4 Colombie. 651 p. Paris.
- LÓPEZ, L.; FONSECA, J. 2003. Determinación del bloque con mejores posibilidades de gas asociado al carbón GAC de la zona carbonífera ubicada al Nor-orienté del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá, UPTC, Sogamoso.
- MARIÑO, J., 2010. Estudios preliminares del gas asociado al carbón (GAC) en Boyacá. UPTC.
- MARTÍNEZ, C, 2008. Estudio para la exploración y desarrollo de un yacimiento no convencional de gas metano asociado al carbón. Universidad de América, Facultad de Ingenierías, departamento de petróleos, Bogotá D.C.

- MCLAUGHLIN, D., ARCE, M., 1975. Mapa geológico del Cuadrángulo K-11 Zipaquirá. INGEOMINAS. Bogotá.
- VILLAMIZAR C. 2009. Compilación e integración de la información hidrogeológica como insumo para el diagnóstico del componente Aguas Subterráneas en el marco de la formulación de la política hídrica nacional. Bogotá.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS, INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, 2008. Conpes 3517 “Lineamientos de política para la asignación de los derechos de exploración y explotación de gas metano en depósitos de carbón”. Bogotá, D.
- MOJICA, L., 2010. Manual para la medición de gas asociado al carbón (GMAC) mediante pruebas de desorción con el equipo canister. UPTC. Escuela de Ingeniería Geológica. Sogamoso.
- NOPE F.; POTRE D. 2003. Ajuste de un equipo (canister) para la medición del gas metano asociado al carbón (GAC) y estimación del volumen potencial de este recurso energético en la zona sur oriental del municipio de Sogamoso en el Departamento de Boyacá, UPTC, Sogamoso.
- REINO, G.; ROJAS, G. 1981. Petrografía de carbones de la parte septentrional de la cuenca Checua-Lenguazaque, Universidad Nacional de Colombia, 124p. Bogotá.
- RENZONI, G., ROSAS, H., ETAYO, F., 1983. Mapa geológico de la Plancha 191 – Tunja. INGEOMINAS. Bogotá.
- SARMIENTO, G., 1994. Estratigrafía, palinología y paleoecología de la Formación Guaduas. Publ. Geol. Esp. N° 20, INGEOMINAS. Bogotá.
- VERWEY, H. 1982. Estudio de aguas subterráneas en los valles de Ubaté y Chiquinquirá. INGEOMINAS. Boletín Geológico. Volumen 25. Hidrogeología de los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Informe No 1852. Bogotá.
- WOOD, G.H., Kehn, T.M., Carter, M.D. & Culbertson, W.C. 2003. Coal Resource Classification System of the U.S. Geological Survey. Geological Survey Circular 891.