SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

EXPLORACIÓN GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN. AREA EL CARMEN DE CHUCURI DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Bogotá, Agosto de 2016

MINMINAS

TODOS POR UN NUEVO PAÍS
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

EXPLORACIÓN GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN. AREA EL CARMEN DE CHUCURI DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Grupo de Investigación y Exploración de Recursos Minerales Energéticos
Dirección de Recursos Minerales

Claudia Inés Duarte Barrera

Ingeniera Geóloga

Fernando Andrés Parra Cristancho

Ingeniero Geólogo

Luis Fernando Ortiz Mulett

Ingeniero Geólogo

Marco Antonio Rincón Mesa
Geólogo

Bogotá, Agosto de 2016

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN 15
ABSTRACT 17
INTRODUCCIÓN 19
1. METODOLOGÍA 20
2. EXPLORACIÓN DE GMAC 23
2.1 GENERALIDADES 23
2.1.1 Localización y extensión del área de estudio 23
2.1.2 Vías de comunicación 25
2.1.3 Clima y Vegetación 25
2.1.4 Hidrografía 25
2.1.5 Hidrogeología 27
2.1.6 Población 28
2.1.7 Economía 28
2.2 GEOLOGIA 29
2.2.1 Estratigrafía 29
2.2.1.1 Unidades del Cretácico 29
2.2.1.2 Unidades del Terciario 38
2.2.1.3 Depósitos cuaternarios 47
2.2.2 Geología Estructural 47
2.2.2.1 Pliegues 48
2.2.2.2 Fallas 49
2.3 SECTORES EVALUADOS PARA EXPLORACIÓN DE GMAC 53
2.3.1 Sector Carbonífero Flanco Occidental 56
2.3.2 Sector Carbonífero Flanco Oriental 57

3. GEOLOGÍA DEL SUBSUELO 61
3.1 DESARROLLO DE PERFORACIONES 61
3.1.1 Pozo El Carmen de Chucuri 1 63
3.1.2 Pozo El Carmen de Chucuri 2 64
3.2 INCONVENIENTES REGISTRADOS DURANTE LAS PERFORACIONES 66
3.3 ANÁLISIS GEOLÓGICO DE LOS POZOS PERFORADOS 67
3.3.1 Registros de pozo y equipos empleados 67
3.3.1.1 Registro de Rayos Gamma 68
3.3.1.2 Registro de Densidad 68
3.3.1.3 Registro Temperatura 68
3.3.1.4 Registros de Resistividad 68
3.3.1.5 Equipo de registro eléctrico. 69
3.3.2 Pruebas de Pozo y equipos empleados 69
3.3.2.1 Prueba lugeon 70

3.3.2.2 Equipo utilizado:.... 70
3.3.3 Interpretación de Registros y Pruebas.... 72
3.3.3.1 Pozo El Carmen de Chucuri 1 72
3.3.3.2 Pozo El Carmen de Chucuri 2 73
3.4 SELLAMIENTO.... 74

4. TERMOCRONOLOGÍA Y GEOLOGÍA ISOTÓPICA 76
4.1 METODOLOGÍA 76
4.1.1 Fase de campo 76
4.1.2 Fase de Laboratorio.... 79
4.1.2.1 Análisis de isotopos estables de Carbono en carbones y arcillolitas carbonosas.... 79
4.1.2.2 Análisis de reflectancia de vitrinita 81
4.1.2.3 Análisis de huellas de fisión.... 81
4.2 SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA.... 82
4.3 ANTECEDENTES 82
4.4 ANÁLISIS DE REFLECTANCIA EN VITRINITA 86
4.5 ANÁLISIS DE ISOTOPOS ESTABLES $^{13}C/^{12}C$.... 87
4.6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 90

5. CARACTERIZACIÓN DE CARBONES.... 92
5.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS.... 95
5.1.1 Análisis Próximo.... 97
5.1.2 Poder Calorífico.... 101
5.1.3 Análisis Elemental 103
5.1.3.1 Azufre Total.... 104
5.1.3.2 Formas de Azufre 106
5.1.4 Humedad de Equilibrio (HE) 108
5.1.5 Gravedad Específica Verdadera (GEV) 109
5.1.6 Índice de Hinchamiento (IH).... 110
5.1.7 Plastometría.... 111
5.1.8 Índice de Molienda Hardgrove (IHG) 112
5.1.9 Contenido de Mercurio 113
5.1.10 Análisis Químico de Cenizas 115
5.1.11 Elementos menores y trazas en cenizas de carbón 115
5.1.12 Clasificación de los Carbones.... 117
5.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO 121
5.2.1 Análisis maceral 127

6. MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS Y CROMATOGRAFIA.... 133
6.1 MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS METANO.... 133
6.1.1 Metodología utilizada para calcular el contenido de gas asociado a los mantos de carbón (GMAC) 133
6.1.2 Procedimiento en la medición de contenidos de GMAC 134
6.1.2.1 Obtención de muestras en campo 135
6.1.2.2 Prueba de desorción en campo (Gas Perdido) 139
6.1.2.3 Mediciones en laboratorio.... 140
6.1.2.4 Procesamiento de la información 143
6.1.3 Resultados obtenidos.... 144
6.1.3.1 Pozo El Carmen de Chucurí-1 145
6.1.3.2 Pozo El Carmen de Chucurí-2 145
6.1.3.3 Frentes de Mina 145
6.2 CROMATOGRAFÍA 147
6.2.1 Metodología 148
6.2.1.1 Equipo empleado y Muestreo.... 148

7. POTENCIAL DE GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN 154
7.1 DEFINICIÓN DE RECURSO Y RESERVA 154
7.2 LIMITES PARA LA EVALUACIÓN DE RESERVAS Y RECURSOS 155
7.2.1 Zona explotada 155
7.2.2 Zona de Dilución 155
7.2.3 Zona de Concentración 156
7.3 EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE GMAC 156
7.3.1 Categorías de Evaluación 156
7.3.2 Cálculo del Potencial de GMAC 158
7.3.2.1 Recursos y Reservas de GMAC 159
7.3.2.2 Recursos Especulativos 201
CONCLUSIONES 202
RECOMENDACIONES 207
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 209

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Fases en el desarrollo de un proyecto de Gas Metano asociado al carbón 20
Figura 2. Localización área de estudio. 24
Figura 3. Formación La Luna. Capas muy delgadas a medias de lutitas muy compacta, con estratificación planoparalela, muy fracturada. 33
Figura 4. Formación La Luna. Calizas y lodolitas de color gris a negro, en alternancia con limolitas de color gris oscuro. 34
Figuras 5 y 6. Formación La Luna. A la izquierda, arenita de grano fino a medio, calcárea, con concreciones de hasta 0,30m de diámetro. A la derecha, lodolitas y chert de color negro, se observan concreciones de hasta 1,0m de diámetro. 34
Figura 7. Formación La Luna. Lodolita con presencia de material calcáreo, en estratificación y laminación plano paralela continua a discontinua. 35
Figura 8. Formación Umir. Alternancia de arcillolitas, shale, limolitas en capas medias y delgadas, estratos sub- horizontales. Vereda Angosturas. 36
Figura 9. Formación Umir. Replegamiento de carbón. Vereda La Loma, El Carmen de Chucurí. 37
Figura 10. Nivel de arenita de grano fino de la formación Umir, identificado hacia el Flanco Occidental del Sinclinal de Los Andes, infrayace limolitas arcillosas. 37
Figura 11. Exposición del nivel superior de la Formación Umir, en la cual se evidencia la presencia de varias capas de carbón en alternancia con limolitas y arcillolitas limosas. Quebrada La Batea, Vereda EL Porvenir, El Carmen de Chucurí. 38
Figuras 12 y 13. Formación Lisama. A la izquierda, arenitas de grano medio a muy grueso. A la derecha, arcillolita limosa con algunas intercalaciones de arenita. 40
Figura 14. Litología típica de la Formación Lisama. Lutitas de color violeta en alternancia con arenitas de grano fino a medio. Vereda caño Lajas. El Carmen de Chucurí. 41
Figura 15. Formación Lisama. Arenita grano fino a medio, en capas medias. Vereda Angosturas, Cañada Brava. 41
Figura 16. Formación La Paz (e4e5l). Se identifica hacia el núcleo del Sinclinal de Los Andes. Morfológicamente, representa un escarpe que sobresale en el relieve de la zona. 43
Figura 17. Contacto Formación La Paz-Formación Lisama, evidenciado por la presencia de un escarpe de aproximadamente 70,0 metros, compuesto de arenita, que constituye la base de la formación La Paz, infrayace arcillolitas de color gris con presencia de concreciones, pertenecientes a la Formación Lisama. 43
Figuras 18 y 19. Formación Mugrosa. A la izquierda, arenitas con algunas intercalaciones de arcillolita limosa de color gris. A la derecha, nivel fosilífero de 1,5m con presencia de conchas. El Chucho. 45

Figura 20. Formación Colorado. Afloramiento de arenita de grano medio, de color gris claro, masiva y homogénea, varicoloreadas. 47
Figura 21. Depósitos aluviales. Se observa gravas de diferentes tamaños en el cauce del río Cascajales. Al fondo, afloramientos de la Formación Mugrosa. Vía que conduce desde la vereda Bajo Cascajales a la vereda Dos Bocas., El Carmen de Chucuri..... 48
Figura 22. Sinclinal de Los Andes. Se observa hacia su núcleo, la presencia de la formación La Paz (e4e5l) y hacia los flancos, evidencias de la formación Lisama (E1l). 49
Figura 23. Manto de carbón de 0,65 m de espesor, en posición sub- vertical, en cercanía a la Falla de Landázuri, hacia el flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes..... 50
Figura 24. La Falla de San Luis, afecta rocas de la Formación Umir (k5k6u), ocasiona la repetición de capas hacia el nivel medio de la misma. El Carmen de Chucurí. 51
Figura 25. Manto de carbón de 0.70 m, replegado, debido posiblemente a la cercanía a la falla de San Luis, hacia el bloque levantado. Vereda Angosturas sobre Rio sucio..... 51
Figura 26. Falla de Cascajales. Sigue el curso del río del mismo nombre, pone en contacto las formaciones Lisama(E1l) , La Paz (e4e5l) con la formación Mugrosa (E3m). El Carmen de Chucurí..... 52
Figura 27. Falla Vista Hermosa**.** Afecta rocas de la Formación La Paz (e4e5l), Lisama (E1l) y Umir (k5k6u)..... 53
Figura 28. Localización sectores analizados para exploración de GMAC en la zona de estudio..... 55
Figura 29. Sector GMAC Flanco Occidental. Ubicado al suroccidente de la zona de estudio. Formaciones Umir (k5k6u), Lisama (E1l), La Paz (e4e5l)..... 56
Figura 30. Sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes (FESA). Ubicado al suroriente de la zona de estudio. Formaciones Lisama (E1l), La Paz (e4e5l), Mugrosa (E3m)..... 58
Figura 31.. Muestra de manto de carbón con espesor de 1,40 m, tipo clareno fuseno, con sistema de fracturamiento natural no definido. Mina las Delicias 59
Figura 32. Localización de perforaciones realizadas..... 62
Figura 33. Pozo El Carmen de Chucuri 1. 63
Figuras 34 y 35. Taladro Long Year 44-1, equipo empleado en la realización del pozo El Carmen de Chucuri 1. A la derecha, detalle del mismo. 64
Figura 36. Pozo El Carmen de Chucuri 2. 65
Figuras 37 y 38. Taladro LF 90D, equipo utilizado en la realización del pozo El Carmen de Chucuri 2..... 66
Figura 39. Gato hidráulico. Equipo empleado en los casos en que se registra pega de tubería. 67
Figuras 40 y 41. Sondas de Registro y equipo portátil de Registro..... 69
Figuras 42 y 43. Instalación de equipos para la realización de los Registros eléctricos en los pozos. 69
Figura 44. Esquema de la prueba Lugeon**.** 70
Figura 45. Packer de la prueba Lugeon. 71
Figuras 46 y 47. Elementos empleados**,** tubo agujerado y cilindro con aire comprimido en la prueba de Lugeon. 71
Figuras 48 y 49. Sellado de pozos. El Carmen de Chucurí 1 y El Carmen de Chucuri 2 74

Figura 50. Adecuación del terreno. Pozo El Carmen de Chucuri 1. 75
Figura 51. Localización de los sinclinales trabajados para el muestreo y la medición de espesores de unidades estratigráficas. 78
Figura 52. Ubicación geológica de las secciones levantadas para la medición de espesores y muestreo. Sinclinal de Armas (en azul, secciones Q. La Lechera y Q. Armera); Sinclinal de Los Andes (en verde, localización de las perforaciones, en rojo sección a lo largo de la F. de la Salina) y Sinclinal de Nuevo Mundo (en negro, sección de la secuencia Paleógeno-Neógeno). 80
Figura 53. Sección estratigráfica esquemática, para la sucesión que suprayace a la Formación Umir en el área del Valle Medio del Magdalena. Medición de espesores y ubicación de muestras. 83
Figura 54. Variación de los valores isotópicos $\delta^{13}C$ muestras de carbón de la Formación Umir, pozo El Carmen de Chucurí1 89
Figura 55. Esquema general de evolución de la materia orgánica. Diagrama de Van Krevelen de evolución del Kerógeno y su clasificación química respecto a la composición elemental. 91
Figura 56. Composición media de análisis próximo de los carbones en estudio en base como se analiza (bca). 97
Figura 57. Composición media de análisis próximo de los carbones en estudio en base seca (bs). 98
Figura 58. Variación del contenido de cenizas (bs) con la profundidad (m) perforación. . 98
Figura 59. Variación del contenido de materia volátil: (bca), (bs) y blmm con la ..... profundidad (m) de la perforación. 99
Figura 60. Histograma de valores de Poder calorífico Btu/Lb (base seca). 101
Figura 61. Variación del poder calorífico BTU/Lb con respecto a la profundidad (m) de la perforación en comparación con su contenido de Cenizas (%). 102
Figura 62 Composición media porcentual, análisis elemental (base seca). 103
Figura 63. Interrelación entre C % con N %, H % y O % en base seca 104
Figura 64. Histograma de la distribución de azufre total, (%) de las muestras analizadas. 105
Figura 65. Variación de los contenidos de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre en base seca con la profundidad (m) de la perforación. 106
Figura 66. Histograma del contenido de formas de azufre en las muestras estudiadas. .. 106
Figura 67. Interrelación entre el contenido de Azufre total y formas de azufre en base seca de los carbones estudiados. 107
Figura 68. Variación del contenido de azufre total SP y SO seca con la profundidad (M). 108
Figura 69. Variación de la media de humedad de equilibrio y humedad residual con la profundidad (m) de los mantos. 109
Figura 70. Variación del contenido GEV con el contenido de CZ y MM (%) en bca 110
Figura 71. Variación de IH con la profundidad (m) de la perforación. 111
Figura 72. Interrelación de máxima fluidez. dppm y Reflectancia media de la vitrinita. .. 112
Figura 73. Interrelación Índice de Molienda, (IMH) con Humedad de Equilibrio, % (HE). 113
Figura 74. Histograma del contenido de mercurio, µg/Kg (bs). 114

Figura 75. Interrelación entre el contendido de St, % (bs) con Hg, µg/Kg (bs) 114
Figura 76. Histograma de la composición media de los elementos mayores en las cenizas de los carbones. 115
Figura 77. Histograma de la composición media de los elementos..... 117
Figura 78. Variación de la media de los óxidos más abundantes en las cenizas analizadas con la profundidad de los mantos. 118
Figura 79. Variación de la media de elementos menores en las cenizas analizadas con la profundidad de los mantos. 118
Figura 80. Composición porcentual de la clasificación ASTM de los carbones analizados. 119
Figura 81. Distribución de muestras de frente de mina y la clasificacion por rango ASTM 119
Figura 82. Comportamiento de rango de los carbones analizados (MVlmm) con la profundidad del manto. 120
Figura 83. Reflectancia media de la vitrinita de los carbones en el sector de estudio..... 121
Figura 84. Correlación de diferentes parámetros para clasificación por rango. 122
Figura 85. Comportamiento de reflectancia media de la vitrinita (%Rm) con la profundidad del manto..... 125
Figura 86. Distribución espacial de reflectancia (%Rm) para muestras de frente de mina 126
Figura 87. Relación materia volátil (slCz) y Reflectancia media de la vitrinita (%Rm). 127
Figura 88. Análisis maceral y materia mineral para carbones de frente de mina 128
Figura 89. Distribución de muestras de frente de mina y su análisis maceral 129
Figura 90. Análisis maceral libre de materia mineral para carbones de frente de mina... 129
Figura 91. Análisis maceral de las muestras de perforación Pozo. Carmen de Chucurí-1 131
Figura 92. Análisis maceral base libre de materia mineral de las muestras de perforación Pozo El Carmen de Chucurí-1 132
Figura 93. A la izquierda, canister empleados en las mediciones de gas metano asociado al carbón. A la derecha, pruebas de hermeticidad en los canister, sumergiéndolos en agua. 135
Figura 94. Registro de tiempos en el software Terragas..... 136
Figura 95. Trituración de la muestra de carbón para llenado del canister. 137
Figura 96. Pruebas de hermeticidad en los canister. Muestreo frente de mina. 138
Figura 97. Obtención e identificación de muestras para análisis fisicoquímicos de los carbones objeto de medición de contenidos de gas metano 138
Figura 98. Sistema de medición del gas perdido en muestras de carbón. 139
Figura 99. Muestreo en campo para cromatografía, empleando el equipo cámara portátil de vació muestreadora de gases. 140
Figura 100. Conservación de la temperatura de las muestras objeto de medición de contenidos de gas metano en baños termostáticos y canister con control de temperatura. 141
Figuras 101 y 102. Molino empleado para la determinación de gas residual en una muestra de carbón. 142

Figura 103. Diligenciamiento de parámetros necesarios para corregir volúmenes de gas en cada muestra en el software Terragas. 143
Figura 104. Curva de desorción, donde se aprecia los intervalos para los contenidos de gas perdido, medido y residual. 144
Figura 105. Muestreo de gases mediante bolsa tipo Tedlar. 149
Figura 106. Muestreo de gases mediante tubos al vacío. 149
Figuras 107 y 108. Equipo empleado para toma de muestras de cromatografía en campo "cámara portátil de vació muestreadora de gases". Pozo El Carmen de Chucurí 1. 150
Figura 109. Dispositivos para la obtención de muestras de gas, bolsas tipo tedlar y tubos de vidrio al vacío. 150
Figura 110. Representación gráfica (Cromatograma) de la separación de los componentes de la muestra CCH1:22. 152
Figura 111. Manto M4. Manto de carbón de 0,48 m de espesor, con limolita arcillosa como respaldo superior e inferior, a 0.7 m estratigráficamente encima, se observa otro manto de carbón de 0,50 m de espesor (Manto M5), hacia techo, este presenta láminas de vitreno y un sistema de fracturamiento natural algo definido**.** Vereda la Piragua..... 162
Figura 112. Mina Sesenta 2. Se trabaja un manto de 1,10 m de espesor (denominado para el estudio M4). Vereda El Control. El Carmen de Chucurí. Empresa Centromin. 162
Figura 114. Manto M11. Afloramiento manto de carbón de 0,64 m de espesor, con limolitas arcillosas como respaldos, con algunas cintas de carbón de 0.05m de espesor. Vereda La Piragua. 167
Figura 115. Manto M19. Afloramiento de carbón de 0.70m de espesor, este suprayace a una cinta de carbón de 0,35m, con arcillolitas y limolitas como respaldos. Vereda Porvenir. 172

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Coordenadas área de estudio El Carmen de Chucuri. 23
Tabla 2. Relación de muestras recolectadas para análisis de Huellas de Fisión en el Sinclinal de Los Andes. 77
Tabla 3. Reflectancia de vitrinita y paleotemperatura calculada para muestras de carbón de la Formación Umir, tomadas en pozo y frente de mina del Sinclinal de Los Andes. 88
Tabla 4. Resultados de isótopos estables de carbono (Fraccionamiento $^{13}C/^{12}C$, $\delta^{13}C$) y su relación con los valores de reflectancia en vitrinita y paleotemperatura calculada para muestras de carbón de la Formación Umir, pozo El Carmen de Chucurí 1 y mina Centromin del Sinclinal de Los Andes (en gris: arcillolita carbonosa). Los valores obtenidos fueron reportados con la estimación de la incertidumbre expandida con un factor de cobertura k=2, para un 95% de confianza. 89
Tabla 5. Relación de los métodos de ensayos empleados para los análisis. 92
Tabla 6. Número y tipo de muestras obtenidas en el área de estudio El Carmen de Chucuri para análisis fisicoquímicos 96
Tabla 7. Principales análisis fisicoquímicos en las muestras de mayor contenido de metano 100
Tabla 8. Contenido promedio de elementos mayores expresado en óxidos en las cenizas de los carbones obtenidas a 750°C 116
Tabla 9. Comparación entre la clasificación de muestras de carbón por Reflectancia y Norma ASTM. 123
Tabla 10. Muestras para medición de contenidos de GMAC. Área El Carmen de Chucurí 134
Tabla 11. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Pozo El Carmen de Chucurí -1. 146
Tabla 12. Valores de contenidos de gas metano en la muestra analizada Pozo El Carmen de Chucucrí-2. 146
Tabla 13. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas en Frente de mina. 147
Tabla 14. Promedios de composición de los gases en las muestras analizadas en el sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes. 153
Tabla 15. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Flanco Oriental Sinclinal de Andes. 173
Tabla 16. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 175

Tabla 17. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M1. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 180
Tabla 18. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M2. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 181
Tabla 19. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M3. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 182
Tabla 20. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M4. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 183
Tabla 21. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M5. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 184
Tabla 22. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M6. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 185
Tabla 23. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M7. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 186
Tabla 24. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M8. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 187
Tabla 25. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M9. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 188
Tabla 26. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M10. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 189
Tabla 27. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M11. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 190
Tabla 28. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M12. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 191
Tabla 29. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M13. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 192
Tabla 30. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M14. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 193
Tabla 31. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M15. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 194
Tabla 32. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M16. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 195
Tabla 33. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M17. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 196
Tabla 34. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M18. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 197
Tabla 36. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M20. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes 199
Tabla 37. Resumen Cálculo de Reservas y Recursos, Área GMAC El Carmen de Chucurí, Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes. 200
Tabla 38. Resumen Recursos Especulativos. Área El Carmen de Chucuri 201

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Informe de perforaciones
Anexo B. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las diferentes muestras de carbón en base como se analiza (csa)
Anexo C. Resultados de los análisis fisicoquímicos de las diferentes muestras de carbón en base seca (bs)
Anexo D. Estadística de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras colectadas en el sector GMAC El Carmen de Chucuri.
Anexo E. Resultados Elementos menores y trazas en cenizas de carbón
Anexo F. Fórmulas de conversión en diferentes bases
Anexo G. Resultados Análisis Petrográfico
Anexo H. Mediciones contenido de gas metano asociado al carbón
Anexo I. Libretas de campo
Anexo J. Solicitud para archivar muestras litológicas
Anexo K. Cartografía, Columnas, Registros de pozos
Mapa Geológico 1 El Carmen de Chucuri. Mapa 1 de 20
Mapa Geológico 2 El Carmen de Chucuri. Mapa 2 de 20
Mapa Geológico 3 Sector FESA. Mapa 3 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M1, M2. Mapa 4 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M3. Mapa 5 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M4. Mapa 6 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M5. Mapa 7 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M6. Mapa 8 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M 7,8,9. Mapa 9 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M10. Mapa 10 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M11. Mapa 11 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M12. Mapa 12 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M13. Mapa 13 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M14. Mapa 14 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M15. Mapa 15 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M16. Mapa 16 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M17. Mapa 17 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M18. Mapa 18 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M19. Mapa 19 de 20
Contornos Estructurales. Sector FESA, Manto M20. Mapa 20 de 20
Columna 1. Angosturas
Columna 2. Vista Hermosa
Columna 4. Pozo El Carmen de Chucuri-1

Columna 5. Pozo El Carmen de Chucuri-2
Registros del Pozo El Carmen de Chucuri-1
Registros del Pozo El Carmen de Chucuri-2

RESUMEN

Con el fin de analizar la generación, almacenamiento y potencialidad de gas metano (CH_4) asociado a los mantos de carbón de la Formación Umir, en la zona carbonífera de Santander, se estableció un área de trabajo de 227 Km^2, en el municipio de El Carmen de Chucurí, la cual se denominó de la misma manera, comprende las áreas carboníferas San Luis (902) y Vanegas San Vicente de Chucuri Río Cascajales (901).

De acuerdo al análisis realizado, se establecieron 2 sectores de evaluación denominados: Flanco Oriental y Occidental del Sinclinal de Los Andes. En el primero de ellos, se adelantaron dos perforaciones, identificadas como: Pozo El Carmen de Chucurí -1, con una profundidad de 600,0 m y 42 capas de carbón identificadas, de las cuales se reconocen 20 mantos y el Pozo El Carmen de Chucurí-2 con 600,0 m de profundidad, en el cual por la complejidad estructural encontrada en profundidad no permitió la identificación de capas de carbón.

Además de estas muestras, se realizaron mediciones de contenidos de gas metano en 8 muestras de frente de mina. Para el estudio, se definió el muestreo de capas de carbón con espesores mayores e iguales a 0,30m (teniendo en cuenta la ubicación del mismo hacia el cierre de la estructura sinclinal y la proyección con todos los puntos de control identificados en superficie). Las mediciones de CH_4 se efectuaron aplicando métodos directos. Los contenidos de CH_4, en el pozo El Carmen de Chucurí 1, arrojaron valores entre 14.61 a 661.98 Scf/ton; en los frentes de mina entre 6,49 a 20.32 Scf/ton, con valores de Reflectancia de la vitrinita entre 0,66 a 1.21%. Los volúmenes más altos los registraron los mantos: 3, 4, 5 y las cintas 1, 2, 3, 4, 5, de la base de la Formación Umir.

En cada pozo se corrieron registros de Resistividad Eléctrica, Temperatura, Gamma Ray, Densidad y la Prueba Lugeon en el Pozo El Carmen de Chucuri1.

Adicionalmente, se realizó una caracterización de carbones, en total se obtuvieron 31 muestras, 29 de carbón, 1 respaldos y 1 arenita (tanto de pozo como de frente de mina). Los carbones muestreados fueron clasificados como Bituminoso alto volátil A a Bituminoso medio volátil.

De acuerdo al análisis de reflectancia de vitrinita (Ro), los carbones en el área de estudio, han alcanzado la fase de catagénesis; con valores de Ro mayores a 0.5% y paleotemperaturas que superan los 60°C. Al igual, a partir de los resultados geoquímicos,

isotópicos y de cromatografía, el gas presente puede provenir del kerógeno tipo III, que favorece la generación de carbón y/o gas.

Finalmente, se determinó el potencial de gas metano en los mantos de carbón de interés, como recursos y reservas de GMAC en las categorías de Medido, Indicado, Inferido e Hipotético. El Potencial obtenido correspondió a 17, 20 Bcf.

ABSTRACT

In order to analyze the generation, storage and potentiality of methane (CH 4) in the coal seams of the Umir Training, in the coal mining area of Santander, a working area of 227 Km 2 is set, in the municipality of El Carmen de Chucurí, which was named in the same way, it includes the San Luis coal mining areas (902) and Vanegas San Vicente de Chucurí River Cascajales (901).

According to the analysis, 2 sectors were established evaluation called: Syncline West Los Andes and eastern flank. In the first of them, they advanced two holes, identified as: Pozo El Carmen de Chucurí -1, with a 600.0 m depth and 42 coalbed identified, of which 20 are recognized mantles and Pozo El Carmen de Chucurí-2 with 600.0 m deep, in which the structural complexity found in depth did not allow the identification of layers coal.

In addition to these samples, measurements of methane gas content were performed in 8 samples against mine. For the study, sampling defined coalbed with higher and equal to 0.30 m thickness (taking into account the location of the same towards the end of the synclinal structure and projection with all control points identified on the surface). CH 4 measurements were made using methods direct. The contents of CH 4, in the well El Carmen de Chucurí 1 yielded values between 14.61 to 661.98 Scf/ton; on the fronts of mine from 6.49 to 20.32 Scf/ton; with values Vitrinite reflectance from 0.66 to 1.21%. The highest volumes recorded mantles: 3, 4, 5 and the tapes 1, 2, 3, 4, 5 of the base Umir Formation.

In each well logs Electrical Resistivity, Temperature, Gamma Ray were run, Test Lugeon density and the Pozo El Carmen de Chucurí 1.

In addition, a characterization of coals was carried out in total were obtained 31 samples, 29 coal 1 to 1 arenita backups (both front well as mine). Sampled coals were classified as high volatile bituminous A to medium volatile bituminous.

According to the analysis of vitrinite reflectance (Ro), the coals in the study area, they have reached the stage of catagen; with values greater than 0.5% and Ro paleotemperatures exceeding 60 ° C. Like, from the geochemical results, Isotopic and chromatography, this gas can come from kerogen type III, favors the generation of coal and / or gas.

Finally, the potential of methane gas was determined in the coal seams of interest, as GMAC reserves and resources in the categories of Measured, Indicated, Inferred and Hypothetical. Potential obtained corresponded to 17.20 Bcf.

INTRODUCCIÓN

El Servicio Geológico Colombiano, como parte de su misión de contribuir al desarrollo económico y social del país, a través del Grupo de Investigación y Exploración de Recursos Minerales Energéticos de la Dirección de Recursos Minerales, realiza la investigación sobre el conocimiento del carbón como roca fuente, reservorio de gas metano y alternativa en la generación de energía; continúa con la realización de actividades de exploración en las principales zonas carboníferas del país, el presente trabajo se realiza en la zona carbonífera de Santander, en el municipio de El Carmen de Chucurí, donde se cuenta con una estructura geológica de importancia denominada Sinclinal de Los Andes.

Estas actividades de exploración, se enfocaron en el reconocimiento de la geología en campo, para la proyección de perforaciones, cuya finalidad fue la obtención de muestras representativas de carbón para medición en laboratorio de contenidos de gas metano. A partir de la información obtenida, se establecieron rangos de contenidos de metano en las diferentes capas de carbón que cortaron las perforaciones y se identificaron las que mayores volúmenes poseían, con lo cual se realizó una estimación del potencial de este recurso en un sector del área de estudio, siguiendo para ello una metodología de trabajo acorde a las características del mismo.

Las perforaciones realizadas correspondieron a 1200 m de perforación lineal en diámetro HQ con recuperación de núcleos, en donde se llevó a cabo la toma de registros eléctricos y de Temperatura, los cuales fueron complementados con una prueba de campo para conocer la permeabilidad de los carbones estudiados, denominada prueba de Lugeon.

La suma de estas prácticas permitió avanzar en el conocimiento sobre la potencialidad de gas metano en los mantos de carbón, en especial sobre su generación, almacenamiento y comportamiento, teniendo como ejes de análisis la influencia del componente tectónico y la madurez de los mismos en la cuenca de interés.

Complementario a lo anterior, se realizaron estudios para análisis de trazas de fisión y técnicas complementarias en geocronología y geología isotópica, a cargo del grupo de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares y Geocronológicas, de la Dirección de Asuntos Nucleares, con el objeto de realizar dataciones e interpretaciones de los eventos térmicos que afectaron las rocas pertenecientes a la secuencia estratigráficas definida en la estructura de interés en la zona de estudio.

1. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto, se tiene en cuenta la metodología propuesta por Mariño, 2010, la cual se ha venido ajustando por parte nuestra, a partir de la experiencia y los resultados obtenidos en los estudios realizados. Las fases de trabajo expuestas a continuación están conformadas por todas las actividades adelantadas para evaluar de forma preliminar el potencial de GMAC que pueda tener un sector de interés, estas corresponden a: Diagnóstico de la información, Geología de Superficie y minería, Geología del Subsuelo, Caracterización y Cálculo del potencial (Ver Figura 1).

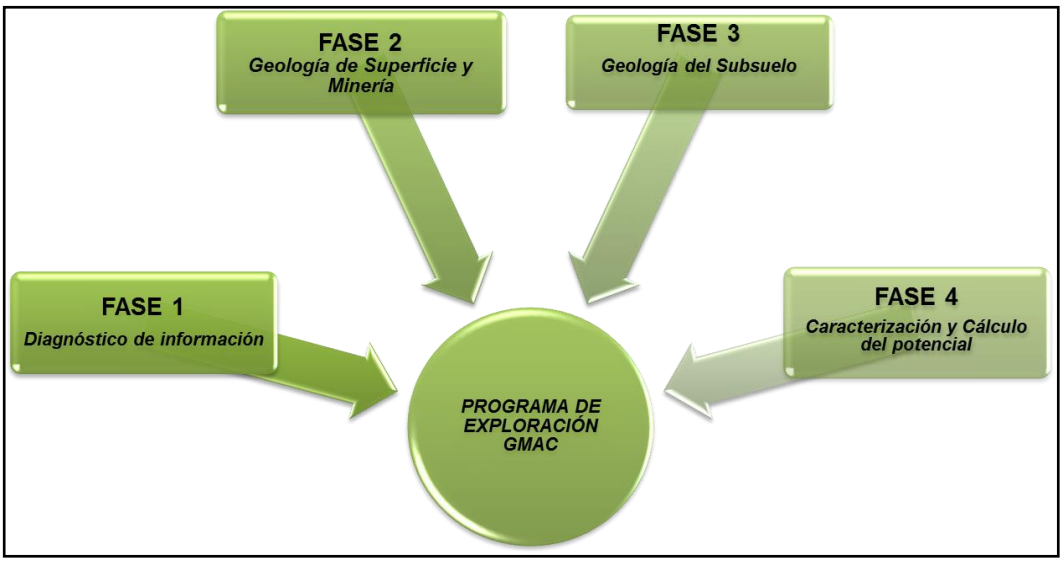


Figura 1. Fases en el desarrollo de un proyecto de Gas Metano asociado al carbón Fuente: Modificado de Mariño, 2010.

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 a escalas de trabajo adecuadas, información que aporta el desarrollo minero. Estas Fases se describen a continuación:

Fase I Diagnóstico de información

Recopilación de información. Se tomó como referencia el estudio: Informe final Proyecto San Luis, Fase I e Informe final Proyecto San Luis, Fase II (Carboriente, 1986), igualmente la información contenida en los estudios sobre la geología de las Planchas 134_Puerto Parra, 119_Barrancabermeja, 120_Bucaramanga y 135_San Gil, se adelantó revisión de información de carácter ambiental para determinación del polígono de trabajo (Humboltd, 2012), el análisis de información de títulos y solicitudes mineras en el área de interés.

Fase II. Geología de superficie, información minera, muestreo para Termocronología

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Sobre las áreas de interés, se realizó la recopilación y ajuste de información geológica y minera a escalas 1:100.000 y 1:25.000.

2. Levantamiento geológico del área de estudio a escala 1:25.000 que incluyó entre otros, definición de contactos, determinación de estructuras geológicas; dichas actividades tuvieron especial énfasis en la Formación portadora de los carbones.

3. Muestreo para análisis de trazas de fisión y técnicas complementarias en geocronología y geología isotópica. A través de las cuales se realizan dataciones e interpretaciones de los eventos térmicos que afectaron las rocas pertenecientes a la secuencia estratigráficas definida en la estructura de interés en la zona de estudio, (ver capitulo Termocronología y Geología Isotópica).

4. Elaboración de columnas estratigráficas en los sectores de interés donde se adelantaran las perforaciones para mediciones de contenidos de gas metano.

5. Realización de cortes geológicos soportados con información obtenida en superficie, labores mineras actuales y perforaciones.

6. 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, suministro de agua.

7. Localización de los pozos sobre la base de consideraciones geológicas, estructurales y técnicas.

Fase III. Geología del subsuelo

- Ejecución de perforaciones exploratorias con recuperación de núcleos, con el fin de precisar estructuras, la ubicación y características de los mantos y de la litología en general de las áreas de interés a través de la obtención de las muestras y corazones sobre los que se determinará el contenido de gas, la composición del mismo y se realizará la descripción de los mismos. Esta información se ve complementada con la realización de

Registros eléctricos y de Temperatura, que permiten corroborar la presencia de los diferentes materiales y sus características físicas a su vez se adelantan pruebas de pozo, para determinar otras características de los carbones en cuanta a la investigación de GMAC, como lo es por ejemplo las pruebas de permeabilidad (Lugeon).

Fase IV. Laboratorio. Caracterización de carbones, mediciones de contenidos de gas metano, Cromatografía, Termocronología

- De la zona de estudio, se seleccionaron muestras representativas de los carbones tanto en frentes de mina como en las perforaciones con el fin de caracterizarlos desde el punto de vista fisicoquímico, petrográfico y de cromatografía. Se realizan análisis como:

- Caracterización Básica: se adelantan los siguientes análisis: Análisis próximo ampliado, Análisis elemental, Formas de Azufre, Índice de Molienda, Índice de Hinchamiento, Humedad de Equilibrio, Gravedad Especifica Verdadera, Fusibilidad de Cenizas; Análisis Químico de Cenizas, Análisis petrográfico (Preparación de probeta, reflectancia de vitrinita y composición maceral); Análisis elemental, determinación de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno, Determinación de Plastometría; Elementos menores.

- Medición de contenidos de gas metano. Determinación de gas absorbido, Residual y gas total.

- Análisis de cromatografía

- Preparación de muestras para Huellas de Fisión, Isótopos Estables, Difracción de Rayos X (DRX), dentro del análisis de Termocronología.

- Procesamiento de información, determinación de contenidos totales de gas metano por muestra, clasificación de carbones.

Fase IV. Cálculo del potencial e Informe Final

Se realiza el 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), El carbón Colombiano Recursos Reservas y calidad (SGC, 2012), El carbón, Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas (INGEOMINAS. 2010,) y de acuerdo al análisis realizado para la exploración de este tipo de recurso que incluyó información de labores mineras y la normatividad sobre Exploración y Explotación de Gas Metano Asociado al Carbón por parte del Ministerio de Minas y Energía (Resolución 90341 del 27 de marzo de 2014).

2. EXPLORACIÓN DE GMAC

En el desarrollo del estudio de exploración de GMAC, se adelantaron varias etapas que permitieron caracterizar el área de estudio, con el fin de lograr el entendimiento sobre la misma, facilitando así la toma de decisiones de tipo técnico para lograr los objetivos propuestos.

2.1 GENERALIDADES

El conocimiento sobre el entorno del área de estudio, incluye la descripción de algunos aspectos generales de la zona, los cuales se refieren a: localización, vías de comunicación, clima, vegetación, hidrografía, hidrogeología, población, economía. Así mismo se realiza la descripción de las unidades geológicas identificadas, de los diferentes rasgos estructurales que caracterizan la zona y de la información minera obtenida.

2.1.1 Localización y extensión del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona carbonífera de Santander, en el área carbonífera 902, San Luis (Ingeominas, 2012), en el municipio de El Carmen de Chucuri, Santander (Ver Figura 2). Para su identificación y debido a la extensión del polígono de estudio, este se denominó de la misma manera que el municipio que lo comprende, con un área de 227 Km^2, en las siguientes coordenadas (Ver Tabla1):

Tabla 1. Coordenadas área de estudio El Carmen de Chucuri.

PUNTO	NORTE	ESTE
1	1.050.729.177	1.217.492.586
2	1.042.414.727	1.221.101.960
3	1.052.057.374	1.243.782.279
4	1.060.691.763	1.240.661.348

Fuente: datos del estudio

Esta área se encuentra delimitada dentro de las planchas del I.G.A.C. a escala 1:25.000 correspondientes a: 134-IV-B, 134-II-D, 134-II-C, 134-II-B, 119-IV-D, 120-III-C, 135-I-A y las planchas geológicas a escala 1:100.000, 134_Puerto Parra, 119_Barrancabermeja, 120_Bucaramanga y 135_San Gil.

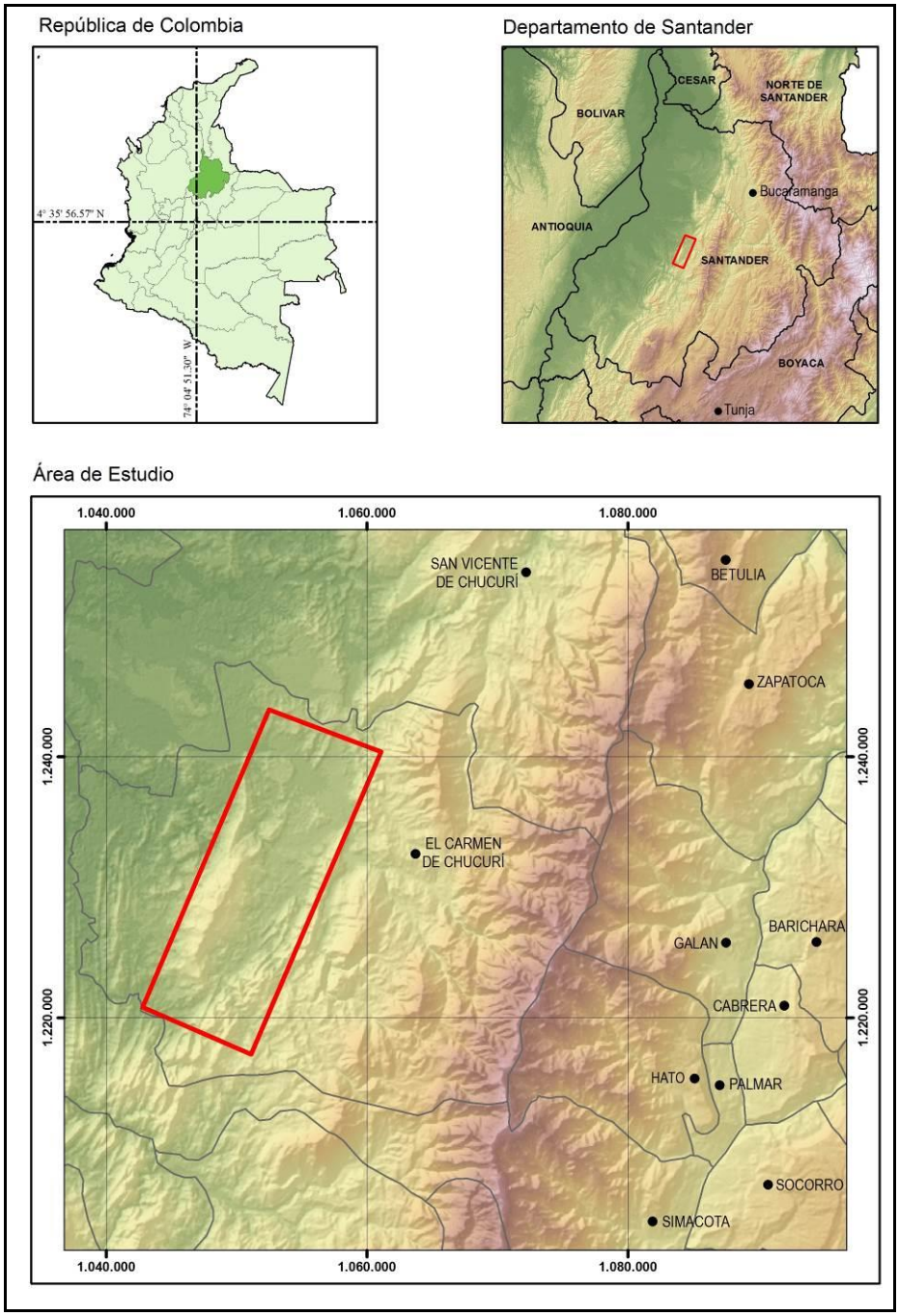


Figura 2. Localización área de estudio.

En el área de estudio general (que abarca 227 Km^2), se establecieron dos sectores de interés para adelantar la exploración de GMAC y proyectar las perforaciones necesarias para obtener las muestras de carbón representativas para mediciones de gas metano, sectores denominados: Flanco Occidental del Sinclinal de Los Andes y Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes.

2.1.2 Vías de comunicación

Para acceder a la zona de estudio, se cuenta con vías, como las carreteras: (Por Boyacá) Bogotá – Choconta – Tunja – Vélez – Landázuri – Cimitarra – Puerto Araujo – Campo Hermoso – Yarima – Carmen de Chucuri, (Por la Ruta del Sol) Bogotá – Villeta – Guaduas – La Dorada – Puerto Boyacá – Puerto Nare – Puerto Berrio – Puerto Araujo – Yarima – Carmen de Chucuri; así mismo, para acceder a los puntos de perforación existen varios carreteables en buen estado, que atraviesan el sinclinal de Los Andes de flanco a flanco.

De acuerdo al EOT (2011), el municipio de El Carmen de Chucurí, posee las siguientes características:

2.1.3 Clima y Vegetación

El clima en el municipio de El Carmen de Chucuri es tropical. Hay precipitaciones durante todo el año. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Af. La temperatura media anual se encuentra a 24.5 °C, las alturas oscilan entre (270 a 1000) m.s.n.m., definiéndose un relieve de tipo plano a montañoso, con características de laderas empinadas.

Se han registrado valores de precipitación media anual de 2156 mm.

Existen paisajes, determinados por tres importantes zonas de vida: Bosque pluvial montano, Bosque muy húmedo montano, Bosque muy húmedo premontano. Al igual, existen montañas con gran vegetación y cultivos principalmente de cacao, aguacate, café, naranja, mandarina, mango, guayaba, etc.

2.1.4 Hidrografía

El Municipio de El Carmen de Chucurí, cuenta con una red hidrográfica extensa, la cual desde el punto de vista regional alimenta dos grandes cuencas: la del río Opón y la del río Sogamoso, las cuales a su vez alimentan la gran cuenca del río Magdalena.

La red hídrica del municipio, está representada en los ríos la Colorada con su principal afluente el río Fuego; el río Cascajales con tres grandes afluentes, el río Sucio, el río Vergelano y el río Honduras; el río Oponcito y sus afluentes, la quebrada Arrugas y Aguas Blancas; finalmente la quebrada San Guillerma, afluente del río Chucurí, el cual alimenta al río Sogamoso.

El presente trabajo se realiza en la cuenca del Rio Opón, en la subcuenca del Rio Cascajales, en las microcuencas del Rio Sucio y Rio Vergelano.

Cuenca del rio Opón

Importante cuenca del sistema hidrográfico de Santander, cuya corriente nace en la serranía de los Cobardes y desemboca en el río Magdalena, después de haber recibido los aportes de los ríos la Colorada, Oponcito, Cascajales y Quiratá, además las corrientes menores como las quebradas Arrugas, Dorada y los Indios. Morfométricamente su hoya hidrográfica presenta una extensión de 346.800 Ha, una longitud de 125 Km; la pendiente media desde su nacimiento hasta su desembocadura es de 19 m/Km; las alturas van desde 2.500 m.s.n.m. hasta los 79 m.s.n.m. Toda el área de esta hoya hidrográfica pertenece al departamento de Santander, representando el 11.3% de su área total y beneficia importantes municipios como son Barrancabermeja, Puerto Parra, San Vicente de Chucurí, el Carmen y Santa Helena del Opón.

Subcuenca rio Cascajales

Este río nace en la Serranía de los Yariguies a 3250 m.s.n.m. en la vereda La Victoria, desciende la Serranía en dirección occidental por terrenos de la vereda La Victoria; en la Vereda La Belleza toma un rumbo noroeste hasta los límites con la Vereda Islanda donde el río toma la dirección Norte, pasando por las Veredas Alto Cascajales, Villa de Leyva, La Laguna, Bajo Cascajales y Barranco Amarillo; en el lindero de estas dos últimas veredas el río cambia nuevamente su rumbo hacia el noroeste, siendo el límite entre las veredas Rancho Grande, Sabanales, El Veintisiete con la Vereda Bajo Cascajales; en los límites de la Vereda El Veintisiete con Bajo Cascajales, el río se orienta al occidente hasta desembocar en el Río La Colorada a una altura de 80 m.s.n.m. En el tramo de la Vereda La Cristalina representa el límite municipal con San Vicente. Los afluentes mayores del río Cascajales son el río Sucio y el río Vergelano, los cuales conforman sus propias microcuencas. El área de drenaje directo de la subcuenca es de 293.82 Km^2 , en donde los principales afluentes son la Quebrada Playitas, Quebrada La Sardina, Quebrada, Villaquira, Caño Las Moscas, Caño de Las Flores, Caño del Caracol, Caño Hotel y Caño Pato.

Microcuenca río Sucio

Nace al sur del municipio, en la Vereda Los Alpes a una altura de 780 m.s.n.m. tomando una dirección noroeste y sirviendo de lindero entre las veredas Los Alpes - Cabeceras de río Sucio, El Líbano - Nueva Granada; en esta última cambia de dirección tomando rumbo noreste atravesando la vereda Nueva Granada y limitando las veredas El Porvenir – La Pitala y río Sucio – Filo de Oro, en cuyo lindero retoma su dirección noroeste delimitando las veredas El Control – El Centenario, Vista Hermosa – El Edén, Cerro Negro – Bajo Cascajales; en el extremo norte del lindero entre las dos últimas veredas, el río desemboca en el río Cascajales a una altura de 190 m.s.n.m. Tiene un área de drenaje amplia, las divisorias de aguas más importantes son por el margen izquierdo el Cerro de los Andes y por el margen derecho El Filo de oro; los drenajes principales que lo alimentan son:

Quebrada Bolales, Quebrada del Salto, Quebrada La Pitala, Caño Carbonera, Quebrada Agua Blanca, Caño Los Tanques y Caño Las Bandas.

Microcuenca río Vergelano

Río que nace al oriente del municipio, en la Serranía de los Yariguíes, a una altura de 3.000 m.s.n.m. siendo el lindero entre las veredas El Vergel y Delicias Alto; desciende de la Serranía en dirección oeste y a la altura de los 1.200 m.s.n.m. cambia su dirección tomando un rumbo noroeste que conserva hasta desembocar en el Río Cascajales a una altura de 360 m.s.n.m. donde conforma una amplia llanura de inundación. A lo largo de su recorrido el río sirve de límite entre las veredas: Delicias Bajo – Quinal Alto, Delicias Bajo – Barranco Amarillo, La Laguna – Barranco Amarillo. El principal afluente del río Vergelano es el río Honduras.

2.1.5 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.

De manera general se mencionan algunos aspectos hidrogeológicos característicos del área de estudio (Ingeominas, 1987), De acuerdo a la división de provincias hidrogeológicas propuestas por la Unesco para el mapa Hidrogeológico de Sur América, el territorio Colombiano fue dividido en seis provincias hidrogeológicas que en orden de importancia son: Andina – Vertiente Atlántica, Costera – Vertiente Atlántica, Amazonas, Costera – Vertiente Pacifica, Orinoco y Escudo Septentrional, de las cuales el área de estudio se encuentra ubicada en la provincia hidrogeológica Andina – vertiente Atlántica, esta provincia comprende el sistema montañoso centro occidental del país, conformado por las cordilleras Occidental, Central y Oriental

Esta Cuenca hidrogeológica del valle medio del magdalena, abarca parte de los departamentos de Boyacá y Santander, constituida principalmente por depósitos de origen fluvial a lacustre con 30% de estratos arenosos del terciario detrítico que forman acuíferos libres a confinados.

Esta zona hidrogeológica puede reconocerse como una cuenca hidrogeológica intramontana, debido a la ubicación en la que se encuentra.

Partiendo de esta identificación, a continuación se describe, desde el punto de vista hidrogeológico, las diferentes unidades de roca presentes en la zona de estudio:

Formación Lisama. constituida en gran parte por alternancia de arenitas cuarzosas de grano medio, actuaría como acuífero y zona de recarga debido a las características litológicas que presenta, formación que además suprayace a la formación Umir, portadora de los carbones, siendo esto el valor agregado, ya que podría estar facilitando la retención del Gas metano en los mantos de carbón.

La Formación Lisama, que en este caso actúa como zona de recarga es alimentada por el agua lluvia en gran medida, en menor proporción por las corrientes superficiales que discurren por las pendientes, así como también las aguas provenientes de regadío de cultivos, y la evapotranspiración producida por la vegetación presente.

Formación Umir. 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 arenitas, que presentan algún grado de permeabilidad.

Depósitos aluviales (Qal). Se encuentran presentes en cercanías al rio Sucio y al rio Cascajales, en el área de estudio corresponden a acuíferos locales discontinuos, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados que desarrollan acuíferos libres.

De acuerdo a lo citado anteriormente, si se piensa en realizar proyectos de desgasificación o de montaje de plantas de producción de Gas Metano Asociado al Carbón, es de vital importancia adelantar estudios hidrogeológicos más detallados en el área de interés, esperando obtener con estos, información necesaria y confiable al momento de plantear los mismos.

2.1.6 Población

La zona de estudio, está ubicada en la parte media occidental del departamento de Santander, comprende el municipio de El Carmen de chucuri, perteneciente a la provincia de Mares.

El Carmen de Chucuri tiene una población de 18.098 habitantes (DANE, 2005).

2.1.7 Economía[1]

El Sector agropecuario se consolida como el renglón más importante dentro de la economía del municipio; en su grado de importancia le siguen el Sector Comercial y de Servicios, el Sector forestal y minero.

El Sector agrícola se encuentra bastante diversificado a raíz de los diferentes climas y tipos de suelos. Los cultivos más representativos son el cacao, aguacate, plátano, café, cítricos, caucho tecnificado, como cultivos permanentes y semipermanentes. Dentro de los

[1] Consultado en: http://www.elcarmen-santander.gov.co/calendario/informacion_general.shtml

cultivos anuales se destaca la yuca y en cultivos transitorios se encuentra el maíz y el fríjol tradicional. Se estiman 23.743 hectáreas dedicadas a la actividad agrícola en el municipio.

Actualmente en el Municipio de El Carmen , se extraen en promedio 2.700 barriles por mes de petróleo de los pozos 4 y 6 del Campo 27 ubicado en la vereda El Veintisiete, generando para el municipio regalías petrolíferas del orden de $6.579.936 en el año de 1999. Estos ingresos por concepto de regalías representan frente al total de ingresos del municipio el 0.18% en la vigencia de 1999.

Según estudios de factibilidad realizado por ECOCARBON, el Municipio de El Carmen cuenta con un gran potencial y reservas de carbón mineral, con características y calidades óptimas para su comercialización y el desarrollo de un importante proyecto como es la Termoeléctrica de San Luis, el cuál entraría a fortalecer la estructura energética del país generando un gran impacto social y económico para el municipio, la subregión y el país.

2.2 GEOLOGIA

En el área de estudio, afloran rocas de origen sedimentario con edades del Cretácico y Paleógeno, como las formaciones Tablazo, Simiti, La Luna, Umir, Lisama, La Paz, Mugrosa, Colorado y depósitos aluviales.

Como referencia de la cartografía presentada para el área de interés, se trabajó con base en la geología de la plancha 134 Puerto Parra (Ingeominas, 2008) y 119 Barrancabermeja (Ingeominas, 2008), a escala 1:100.000 así mismo de la cartografía del estudio Proyecto San Luis (Carboriente, 1986).

2.2.1 Estratigrafía

Para el área de estudio, se tienen formaciones con edades que van desde el Cretácico Inferior hasta el Oligoceno superior y depósitos cuaternarios aluviales. Para tal fin, se ha adoptado en algunos casos la nomenclatura de las planchas 1:100.000, 134 y se ha procedido en otros a definir la nomenclatura basada en la carta estratigráfica (2016) de la Comisión estratigráfica internacional. A continuación se describe cada una de ellas, teniendo en cuenta su definición, la descripción realizada en el trabajo de campo, su espesor y edad de acuerdo a referencias citadas.

2.2.1.1 Unidades del Cretácico

Para el área de estudio, las formaciones geológicas, que se han definido en el período cretácico medio, con edades Aptiano, Albiano, y Cenomaniano, son: Tablazo (b5b6t), Simiti (b6k1s), en el Cretáceo Superior, hacia el Turoniano, las formaciones, La Luna (k2k3l), Umir (k5k6u).

Formación Tablazo (Kit)

Nombre dado por Wheeler, 1929 (Morales et al 1958), que corresponde al puente sobre el río Sogamoso en la carretera que de Lebrija se dirige a San Vicente de Chucurí.

Su espesor, en la localidad tipo, es de 186,5 m, al sureste de San Gil – Charalá, se ha levantado una sección de 239 m, por la carretera entre Vado Real y Santa Ana, 325 m. Entre Sáchica y Tunja, se observa una sucesión de 480 m.

Esta formación, está constituida principalmente por, calizas fosilíferas (wackestones y packstones), lodolitas calcáreas (mudstones), arcillolita físil gris oscura con intercalaciones de arenitas de cuarzo, arenitas de cuarzo en la parte intermedia y por arenitas de cuarzo, calizas y arcillolitas negras en la parte superior (Renzoni et al., 1969: 41). Al igual, se aprecian arcillolitas con intercalaciones de limolitas de cuarzo, calizas y arenitas de cuarzo calcáreas, caliza con gasterópodos y lamelibranquios dominantes sobre arcillolita y arenitas de cuarzo de color gris verdoso, arcillolitas y calizas areníticas y arenitas de cuarzo con restos de equínidos (Renzoni, 1981: 41mna 2).

En las planchas 170 y 190, en los alrededores del Alto de Granadillo (plancha 170, cuadrícula D11) Ulloa & Rodríguez (1978; 13,15, Fig. 5) levantaron una sucesión constituida por lodolitas negras con delgados niveles de arenitas de cuarzo, con apenas un 5 % de caliza y la correlacionaron con la Formación Caliza del Tablazo. Sin embargo, por la escasez de capas calcáreas, esos autores decidieron cambiar el nombre de la unidad al de Formación Tablazo, en vez de aceptar él de Formación San Gil Inferior propuesto por Hubach (1957) y ya aceptado por Renzoni et alii (1967: 41). Esta unidad termina al sur contra la falla de Itoco.

Su edad es considerada del Aptiano superior-Albiano inferior (Morales et al., 1958: 651). Esta unidad es correlacionable en parte con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente.

Hacia la zona de estudio, no se encuentra expuesta.

- Formación Simití (b6-k1s)

En 1953 (Boletín Geológico, 1973), la International Petroleum Company (Colombia) designa esta formación a una sucesión de shales de color gris a negro localmente calcáreos. Existen abundantes concreciones fosilíferas con amonitas. En la parte alta de la sucesión, las concreciones pueden alcanzar los 3m en su mayor dimensión. Localmente, cerca del techo describen la ocurrencia de capas lentiformes con nódulos fosfáticos y dientes de peces.

Según Ward et alii (1973: 72), la mejor descripción de la unidad, se encuentra en Taborda (1965: 8), correspondiente a lo hallado en los pozos de los campos petrolíferos de La Cira-Infantas y Llanito, con shale calcáreo, duro, marrón oscuro y negro con capas delgadas de caliza arcillosa, color marrón oscuro a negro y piríticas con fósiles de conchas de pelecípodos aplastados.

Esta unidad, en el subsuelo de Infantas – La Cira, presenta una sucesión de capas de shales negros, duros, con diaclasas rellenas de calcita, con intercalaciones de caliza arcillosa, comúnmente piritosas, en capas delgadas.

(Ulloa & Rodríguez, 1978: 15), en el área de Samacá – La Candelaria – Sutamarchán, describe esta unidad, como una sucesión de lutitas grises a negras con intercalaciones de areniscas arcillosas de cuarzo, areniscas arcillosas de cuarzo con delgadas intercalaciones lutíticas y lutitas grises a negras intercaladas por areniscas de cuarzo y margas.

(Renzoni, 1981: 41), describe en la carretera que de Sáchica conduce a Tunja, shales negros con intercalaciones de caliza arenosa con abundantes lamelibranquios, mientras que en la carretera Vado Real – Santa Ana shales negros, con intercalaciones de arenisca de cuarzo.

El espesor de esta formación, varía entre 410 m (International Petroleum Company (Colombia)), en los Pozos Llanito No1, la formación mide 598m y en el Infantas No 1613, 655m; en el área de estudio entre los 250 y los 659 m. En el área de Samacá – La Candelaria – Sutamarchán, (Ulloa & Rodríguez, 1978: 15), 405 m, (Renzoni, 1981: 41, columnas 1 y 2), describe en la carretera que de Sáchica conduce a Tunja 620m de esta unidad. Plancha 134, 600m.

Hacia el área de la Plancha 134, se presentan lodolitas silíceas de color negro algo carbonosas, con frecuentes concreciones calcáreas e improntas de bivalvos ligeramente deformados intercaladas con capas delgadas de arenitas de cuarzo, calcáreas de grano fino y de calizas lumaquélicas. Al sureste de la plancha, la Formación aflora en el núcleo del Sinclinal de Vélez, conformada por lodolitas silíceas en capas finas con laminación plano paralela a ondulosa, moderadamente friables de color negro, bien seleccionadas y subredondeadas; se observan ocasionales intercalaciones de capas medias a gruesas de arenitas fosilíferas (wackestone-packestone) con foraminíferos y bivalvos.

Hacia la base se presentan capas finas a medias de lodolitas silíceas friables, en bancos gruesos con algunas intercalaciones de capas medias y gruesas de lodolitas calcáreas y arenitas calcáreas con foraminíferos y laminación plano paralela a ondulosa. Hacia la parte media y alta de la unidad se mantiene la misma sucesión litológica, aunque con mayor influencia calcárea, expresada en la aparición de bancos gruesos de arenitas fosilíferas calcáreas (wackestone-packestone) con lodolitas que pasan de silíceas a ligeramente calcáreas.

La unidad tiene edad Albiano inferior a Albiano superior de acuerdo a la presencia de amonites y foraminíferos. En la plancha 150-Cimitarra (GRP, Ingeominas 2008) se recolectaron diferentes fósiles, los cuales indican una edad Albiano (Albiano medio – superior (Oxytropidoceras? sp.).

En el área de estudio, no se evidencian afloramientos de esta formación.

- Formación La Luna (k2k3l).

Hedberg & Sass en 1937 (en Julivert, 1968) describió la unidad en el distrito de la Perijá en Venezuela y el nombre procede de la quebrada La Luna, localizada al NW de la Perijá. En Colombia fue introducido por los geólogos de la Caribean Petroleum Company. La aplicación de este término para definir una unidad equivalente cronoestratigráfica en Colombia fue decidida para subrayar su notable extensión regional (Morales et al., 1956: 653).

La unidad está constituida por caliza gris oscura, arcillosa, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas; lutitas grises oscuras con intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles que alcanzan más de 2 metros de diámetro y capas delgadas de chert negro; también capas fosfáticas hacia la parte superior.

Esta unidad está dividida en tres niveles: uno inferior constituido por shale calcáreos, de color negro, capas de limolitas y concreciones de pirita (Miembro Salada), otro intermedio arcilloso con shale calcáreo de color negro (Miembro Pujamana), y el superior principalmente calcáreo con predominio de shale calcáreo, de color negro con delgadas intercalaciones de caliza arcillosa (Miembro Galembo), con espesores entre 50 a 100m para el primero, 50 a 225m para el segundo y 180 a 350m para el tercero según Morales et al., 1956.

En el área de estudio, la formación aflora hacia el NE y SE, donde se identifican calizas, de color negro, arcillolitas a arcillolitas limosas de color gris claro a marrón, rojizo con presencia de concreciones de hasta 25cm de diámetro, shale de color gris a gris claro con restos de foraminíferos intercaladas con limolitas de color gris oscuro, muy compactas, en estratificación plano paralela continua, con delgadas láminas de arenita de grano muy fino, también se observan limolitas arcillosas de color gris oscuro a amarillo, presentando material calcáreo, lutitas de color gris oscuro a negro y gris verdoso, con algunos niveles de arenita de grano muy fino a medio, de color gris oscuro, negro, amarillo, competente, presenta concreciones de hasta 30cm, estratificación plano paralela continua a laminación tenue, material calcáreo muy competente, en capas delgadas, medias a gruesas con intercalaciones de limolitas de color gris oscuro a negro, lutitas de color negro, calcáreas, con concreciones de diámetro entre 0.10m a mayor a 1 metro, delgados niveles de chert de color negro (Ver Figuras 3, 4, 5, 6, 7).

En esta ocasión, no se hace la diferenciación de la Formación en sus miembros, se toma como una sola unidad.

El espesor medido a través de la información sísmica y de pozos es de 588 a 630 m; su contacto es fallado con la Formación Umir a través de una imbricación de la Falla de La Salina (Ingeominas, 2008).

En el área del Valle Medio del Magdalena le ha sido asignada una edad que abarca desde el Turoniano inferior al Coniaciano y posiblemente el Santoniano en la parte superior del miembro Galembo (Morales et al., 1956: 653, 654, 655). De acuerdo a Trump y Salvador, (1964), La Luna va desde el Turoniano superior al Coniaciano.

- Formación Umir (k5k6u)

La Formación Umir recibe el nombre de la Quebrada Umir a 3 km. al oeste del Cerro Umir (Valle Medio del Magdalena), en realidad, se desconoce o no ha sido identificada plenamente la sección tipo que representa esta formación.

Huntley, 1917, definió la unidad, incluyendo lo que actualmente se conoce como la Formación Lisama.

Morales et al, (1956, p. 655). T. A. Link, 1925, redefinió la Formación Umir como se conoce actualmente.

Figura 3. Formación La Luna. Capas muy delgadas a medias de lutitas muy compacta, con estratificación planoparalela, muy fracturada.
Vereda La Laguna, El Carmen de Chucurí.

Figura 4. Formación La Luna. Calizas y lodolitas de color gris a negro, en alternancia con limolitas de color gris oscuro.
La Recebera. Vereda Islandia, El Carmen de Chucurí.

Figuras 5 y 6. Formación La Luna. A la izquierda, arenita de grano fino a medio, calcárea, con concreciones de hasta 0,30m de diámetro. A la derecha, lodolitas y chert de color negro, se observan concreciones de hasta 1,0m de diámetro.
Vereda Angosturas sobre Rio sucio.

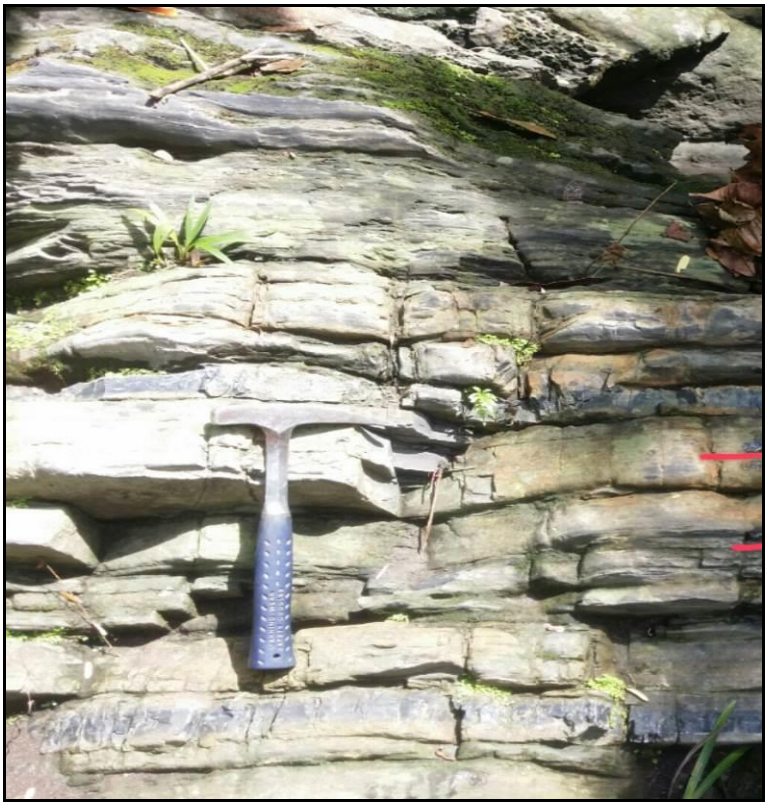


Figura 7. Formación La Luna. Lodolita con presencia de material calcáreo, en estratificación y laminación plano paralela continua a discontinua.
Quebrada la Pitala, El Carmen de Chucurí.

Según Morales et alii, (1956: 655, 656) la parte inferior de la formación se compone de lutitas en láminas delgadas, de color gris oscuro, gris azuloso a negro, con delgadas láminas carbonáceos y micáceas. Caracterizada por capas delgadas, lentes y pequeñas concreciones ferruginosas. La parte superior consta de lutita blanda, gris oscura, en capas delgadas con numerosos mantos de carbón, láminas delgadas de mineral de hierro, arenisca de grano fino y limolitas de cuarzo. El espesor aproximado es de l.000 m.

En el área de estudio, la Formación Umir, se compone de lodolitas de color gris en alternancia con limolitas arcillosas con estratificación plano paralela, arcillolitas de color gris, arcillolitas carbonosas, limolitas con algunas delgadas láminas de arenita de grano muy fino, algunos esporádicos niveles de arenita cuarzosa de grano fino a medio, color amarillo a gris, estratificación plana en capas delgadas a medias y presencia de mantos y cintas de carbón, se identifican 20 capas de hasta 1.40m de espesor con variación en su espesor.

Su exposición se identifica en los flancos del Sinclinal de Los Andes y se amplía hacia el sur de la zona de estudio, por efecto del sistema de Fallas de Landázuri y La Salina.

De acuerdo a Carboriente (1986), en la Formación Umir, se identifican tres niveles, como son:

Nivel Inferior (k5k6ui)

Identificado por una secuencia de arcillolitas de color gris, azul a negro, con limolitas ferruginosas. El espesor promedio es de 400m (Durán et al 1976).

Carboriente, (1986), identifica este nivel como una secuencia de arcillolitas de color gris, azul a negro, intercaladas con limolitas ferruginosas, con láminas de carbón y micas con ausencia de carbón.

Nivel Medio (k5k6um)

Constituido por arcillolitas de color gris, a negro (Ver Figura 8), con niveles limosos ferruginosos, capas de carbón de hasta 5.0m (Ver Figura 9). Su espesor aproximado es de 400m (Durán et al 1976).

Carboriente (1986), describe este nivel compuesto por arcillolitas de color gris a negro, con el límite superior marcado por la presencia de un nivel de arenita de entre 6 y 12 m. hacia el flanco Oriental, la arenita es de grano fino, tonos claros alcanza los 5 m de espesor. Hacia el flanco Occidental el nivel de arenita es de color gris claro con delgadas intercalaciones de limolita, con niveles arcillosos con espesor hasta de 12m (Ver Figura 10).

Figura 8. Formación Umir. Alternancia de arcillolitas, shale, limolitas en capas medias y delgadas, estratos sub- horizontales. Vereda Angosturas.

Figura 9. Formación Umir. Replegamiento de carbón. Vereda La Loma, El Carmen de Chucurí.

Figura 10. Nivel de arenita de grano fino de la formación Umir, identificado hacia el Flanco Occidental del Sinclinal de Los Andes, infrayace limolitas arcillosas.
Vereda Explanación, El Carmen de Chucurí.

Nivel Superior (k5k6us)

De acuerdo a Carboriente (1986), este nivel está compuesto por limolitas arcillosa de color gris, capas de carbón de hasta 1.4m (ver Figura 11), hacia la base se encuentra un paquete de arenita cuarzosa de color gris claro (entre 5 a 7m). El espesor que se considera para este nivel es de 180m.

El espesor para esta Formación, de acuerdo a la información recolectada en líneas sísmicas y pozos la Formación Umir presenta un espesor de 1400 m (Ecopetrol, 2001 en Plancha 119_Bucaramanga, Ingeominas, 2008). El contacto infrayacente con la Formación Luna es fallado, así como el contacto superior a través de la Falla de La Salina.

En el área de estudio, solo se identificó esta división en el sector GMAC de evaluación, correspondiente al Flanco Oriental del Sinclinal de Andes, para lo cual se tuvo en cuenta la información registrada en el pozo El Carmen de Chucurí 1 y algunas columnas estratigráficas levantadas en el mismo (Ver Figura 11).

De acuerdo a la Plancha 134, Puerto Parra (Ingeominas, 2008), el espesor medido de la Formación en el área de la Quebrada La Batea en el cerro de Andes, corresponde a 630 m.

Morales et alii, (1958: 656) reporta una edad Cretácea superior, (Maastrichtiano-Campaniano y posiblemente Daniano) dada por la presencia de *Siphogenerinoides cretácea, S. bramlettei* y *Ammobaculites colombianus.*

Figura 11. Exposición del nivel superior de la Formación Umir, en la cual se evidencia la presencia de varias capas de carbón en alternancia con limolitas y arcillolitas limosas. Quebrada La Batea, Vereda EL Porvenir, El Carmen de Chucurí.

2.2.1.2 Unidades del Terciario

En el Terciario, con edades como el Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, se ubican las formaciones: Lisama (E1l), La Paz (e4e5l), Esmeraldas (e6e7e), Mugrosa (e3m), Colorado (e9c). Las cuales se caracterizan por el sus espesores representativos en las secciones tipo que van desde los 600 m hasta los 2300m, siendo la más extensa en las diferentes secciones de estudio la Formación la Paz.

- Formación Lisama (E1l)

En 1935, T. A. Link, definió la unidad en un reporte inédito. La localidad tipo es la Quebrada Lisama, un afluente del Río Sogamoso, al noreste de la Concesión de Mares (en Morales et al, 1958).

La sección tipo está compuesta principalmente por shales moteados con colores rojos, marrones, grises y grises claros, intercalados con arenitas de grano fino a medio de color

gris, gris verdoso y marrón, algunas con estratificación cruzada. Hacia el techo, las arenitas son de grano grueso y contienen algunas capas de carbón, con menor rango que las identificadas en la Formación Umir.

El contacto Umir-Lisama, es concordante y gradacional, mientras que el contacto con la Formación La Paz, corresponde a una discordancia angular localmente muy pronunciada (Ward et al., 1973: 86). De acuerdo a la Plancha 134, Puerto Parra (Ingeominas, 2008), se marca el contacto con la Formación Umir, en el cambio litológico de arcillolitas y limolitas con tonalidades gris a gris oscuro a las arenitas de grano fino a medio de la Formación Lisama y el contacto con la Formación La Paz, en el inicio de los niveles conglomeráticos de la misma.

En 1968, Montero (Ward et al., 1973), levantó a lo largo de la carretera Bucaramanga – Barrancabermeja una columna estratigráfica para esta formación, compuesta por arcillolitas de color gris, gris violeta y marrón ligeramente micáceas, con intercalaciones de arenitas de cuarzo, de grano muy fino a fino, duras, con estratificación cruzada en algunas partes, ligeramente micáceas, algunas feldespáticas y ligeramente calcáreas. Las arcillolitas contienen localmente capas delgadas de yeso.

En la Plancha 134, Puerto Parra (2008), se levantó una sección estratigráfica en el Sinclinal de Los Andes, en la Quebrada La Batea, en el flanco oriental del Cerro de Andes, donde la formación registra 310 m.

En esta, se identificaron 3 segmentos. *Un segmento inferior* (segmento 1), que consiste en paquetes gruesos de arenita de grano fino a muy fino de color gris verdoso intercalados con arcillolitas de color gris con coloraciones rojizas y laminación ondulada paralela; el espesor total del segmento es de 90 m. *Un segmento medio* (segmento 2), con presencia de arcillolitas de color gris con coloraciones rojizas altamente meteorizadas, intercaladas con capas delgadas de arenitas; con un espesor de 103 m; y un *segmento superior*, constituido por capas gruesas a muy gruesas de arenita de grano muy fino a medio, de color gris verdoso con laminación muy fina, con intercalaciones de capas de arcillolita, con un espesor de 113 m.

En el área de estudio, se identifica una sucesión de arenitas cuarzosas a arenitas limosas de grano muy fino a medio de color gris claro con moteado rojizo, amarillo pardo, café claro, verde oliva, con secuencias granocrecientes en capas delgadas a muy gruesas, con estratificación plano paralela continua y contenido de óxidos de hierro y micas, se identifican algunos niveles de arenitas de grano fino a medio con delgadas capas de conglomerados con clastos de hasta 2mm y buen sorteamiento con fracturas de diverso ángulo, rellenas de calcitas y alquitrán; en alternancia con arcillolitas a arcillolitas limosas de color gris a gris oscuro, amarillo pardo a café y manchas violetas y limolitas, limolitas arcillosas de color gris a verde oliva, limolitas silíceas con estratificación plano paralela, con presencia de óxidos de hierro, micas, concreciones, y capas de arcillolita carbonosa (ver Figuras 12,13, 14, 15).

Su exposición se localiza en los flancos del Sinclinal de Los Andes.

De acuerdo a Montero, 1968, (en Ward et al., 1973: 85-87), el espesor total de la formación es de 1089 m, mientras que Morales (1958), establece un rango de espesor entre 950 a los 1.225 m.

La edad de la Formación, es Paleoceno (Morales, 1956: 658) de acuerdo a estudios palinológicos.

- Formación La Paz (e4e5l)

El nombre de la Formación La Paz proviene del filo del mismo nombre que se extiende a lo largo de la vertiente oriental del Valle del Magdalena entre los ríos Sogamoso y Lebrija. Fue publicado por primera vez por Wheeler, en 1935 (Morales et al., 1958: 658).

Figuras 12 y 13. Formación Lisama. A la izquierda, arenitas de grano medio a muy grueso. A la derecha, arcillolita limosa con algunas intercalaciones de arenita.
Veredas Vista Hermosa y El Edén respectivamente, El Carmen de Chucurí.

Figura 14. Litología típica de la Formación Lisama. Lutitas de color violeta en alternancia con arenitas de grano fino a medio. Vereda caño Lajas. El Carmen de Chucurí.

Figura 15. Formación Lisama. Arenita grano fino a medio, en capas medias. Vereda Angosturas, Cañada Brava.

La formación consiste principalmente de arenitas conglomeráticas, compuestas de cuarzo blanco y de arcillolitas, de color gris claro, con estratificación cruzada; están intercaladas por arenitas arcillosas de cuarzo de color gris verdoso y por arcillolitas de color verdoso a violeta, que son frecuentes en la parte inferior y cerca del techo (Ward et al., 1973). La sección tipo fue definida a lo largo de la carretera Bucaramanga - Barrancabermeja

sobre el cañón del río Sogamoso. En este río, la Formación La Paz alcanza su espesor máximo.

El espesor de esta formación según Taborda (1965) es de 1.280 m medidos a lo largo del río Sogamoso. Sin embargo, este varía considerablemente de una zona a otra (Ward et al., 1973), pasando de los 460m en la Quebrada Putana (H12, cuadrículas A5 hasta B7) hasta los 210m en los campos petroleros localizados al oeste del Sinclinal del Nuevo Mundo (H12, cuadrícula A3). Morales, (1956), asume un rango entre 1225 a 2300m.

De acuerdo a la plancha 134 Puerto Parra, (Ingeominas, 2008), se ha medido el espesor de esta formación en el escarpe del Cerro de Andes, ingresando por el camino que de la Escuela de Andes conduce a la base militar ubicada sobre el cerro. La sección fue medida en el flanco oriental del Sinclinal de Los Andes.

Esta sección, fue subdividida en dos segmentos: *Segmento 1*. Segmento de 35 m de espesor constituido por bancos gruesos de conglomerado de cuarzo, granodecreciente, con clastos de hasta 2 cm de diámetro, con matriz de arenita muy fina, con intercalaciones de capas delgadas cuneiformes, de arcillolita gris, con coloración rojiza. Las capas de arenita arcósica presentan cortes de barras transversales, y estratificación cruzada erosiva.

Segmento 2. Un segmento superior de 55m de espesor, de capas gruesas de arenita de cuarzo de grano fino a medio de color verde oliva, con cemento ferruginoso, mal seleccionada y granos angulares, con intercalaciones de capas irregulares y cuneiformes de arcillolita gris, con estratificación ondulosa paralela. Las capas de arenita presentan laminación plano paralela, los contactos son netos y ondulados.

Estos segmentos corresponden a la base de la formación. El contacto Con la Formación Lisama es cubierto y se marca por la presencia de capas de arenita de cuarzo, de grano fino a medio de color gris. El contacto con la Formación Esmeraldas no se identificó ya que no aflora la parte superior de la unidad.

En la zona de estudio, esta unidad, está representada por arenitas de color amarillo pardo, gris claro a violeta de grano muy fino a grueso con laminaciones de limolita de color gris a arenita limosa de grano muy fino de color café claro, pardo a rojizo y gris verdoso a verde oliva, con presencia de láminas de arenita de grano fino de color gris claro, dispuesta en capas gruesas a muy gruesas con presencia de óxidos de hierro y micas, con capas de arcillolitas limosas a arcillolitas de color gris, café y tonos rojizos a violetas, con estratificación plano paralela y presencia de concreciones, con limolitas arcillosas, de color amarillo claro, café claro y presencia de óxidos de hierro y micas (Ver Figuras 16 y 17).

En la zona de estudio, esta formación forma parte del núcleo del Sinclinal de Los Andes.

La edad de esta unidad es Eoceno superior, la cual ha sido asignada por su posición estratigráfica ya que no se han encontrado fósiles por su origen continental (Morales et al, 1958).

Figura 16. Formación La Paz (e4e5l). Se identifica hacia el núcleo del Sinclinal de Los Andes. Morfológicamente, representa un escarpe que sobresale en el relieve de la zona. Flanco occidental del Sinclinal de Andes.

Figura 17. Contacto Formación La Paz-Formación Lisama, evidenciado por la presencia de un escarpe de aproximadamente 70,0 metros, compuesto de arenita, que constituye la base de la formación La Paz, infrayace arcillolitas de color gris con presencia de concreciones, pertenecientes a la Formación Lisama.

- Formación Esmeraldas (e6e7e)

De acuerdo a la plancha 150_Cimitarra (Ingeominas, 2008), el término de Formación Esmeraldas fue utilizado por los geólogos de la Gulf Oil Company, quienes establecieron la sección tipo en la localidad de Esmeraldas, localizada en cercanías del Río Sogamoso. Ward et al (1973: 89) presentan que la sección tipo está expuesta al oeste del Cuadrángulo H-12 y fue publicada por Wheeler en 1935.

Consta de areniscas de grano fino, de color gris claro a gris verdoso, con estratificación fina a laminada e intercalaciones de shale gris oscuro y colores moteados de rojo, púrpura y marrón. Yace conformemente sobre la Formación La Paz e inconformemente por debajo de la Formación Mugrosa.

En esta plancha, se obtuvo una sección de la Formación, en la Quebrada La Petrolea ubicada en la vereda San Isidro, donde se levantaron 597m, no se pudieron definir los contactos, pues corresponde a zonas cubiertas.

La edad de esta formación se ha asignado, por Ward et. al (1973) de acuerdo a estudios de polen como Eoceno Superior sobre la base de correlación con Polen de Eoceno Superior de la Cuenca de Maracaibo.

En el área de estudio no se identificaron afloramientos de esta formación.

- Formación Mugrosa (E3m)

La Formación Mugrosa fue introducida por A.K McGill (Morales et al, 1958). La sección tipo se encuentra en la quebrada Mugrosa en el área del sinclinal del mismo nombre, está compuesta en la parte inferior por arenitas cuarzosas de grano fino a medio de color gris a verde grisáceo con intercalaciones de lodolitas de color grisáceo y azuloso, y algunas capas de arenitas conglomeráticas (Ward, 1973); la parte media, está constituida por shales moteados de azul opaco y marrón, masivos, con pocas intercalaciones delgadas de arenitas de grano fino a grueso, con intercalaciones de shale de color verde. Hacia la parte superior se encuentran niveles de lodolitas moteadas, fosilíferas. En la sección se encuentra esporádicamente glauconita (Morales et al, 1958:660).

En la plancha 119_Barrancabermeja (Ingeominas, 2008), la Formación Mugrosa aumenta de espesor progresivamente hacia el este, desde 500 m en el Campo Llanito a 800 m en las Ciras Infantas y puede llegar a tener 2000 m en el límite oriental a 25 km (Morales et al, 1958:660).

En la Plancha 134, Puerto Parra, (Ingeominas, 2008), esta unidad aflora en dos locaciones: la primera en el núcleo del Anticlinal de Opón al sur y la segunda al norte en el núcleo del Anticlinal fallado de Mugrosa, en una franja con dirección norte-sur la cual tiene su cierre

truncado por la Falla de La Salina. La Formación Mugrosa está constituida por una alternancia de capas muy gruesas irregulares, de arcillolitas de color morado por alteración, sin ninguna estratificación interna visible, con intercalaciones de capas medias de arenita de cuarzo, de grano muy fino a fino subangulares a subredondeados y hasta conglomeráticas, de color gris azuloso, con presencia de micas y fragmentos líticos de color negro y en algunos casos pirita, también se presentan algunos niveles de lodolitas de color negro con niveles fosilíferos de 10 cm de espesor de color rojizo y capas de 0,30 cm de espesor de cuarzoarenita lítica de grano medio con matriz calcárea.

En la zona de estudio, se compone de arenitas de grano muy fino a grueso, color amarillo pardo, café, verde oliva, en capas gruesas a muy gruesas, tabulares masivas y homogéneas, estratificación planoparalela en alternancia con arcillolitas limosas de color gris claro, con moteado rojizo, con intercalaciones de láminas de óxidos de hierro, Limolita arenosa color gris con moteado violeta y estratificación plano paralela. Hacia el techo, se observa un nivel fosilífero de 1.5m compuesto por capas medias de arenita carbonatada de grano fino a medio y muy delgadas capas de conchas (Ver Figuras 18 y 19).

Se identifica hacia el Nor-Occidente de la zona de estudio, donde se presenta zonas de replegamientos por efecto del Sistema de Fallas de La Salina, Falla de San Luis y Falla Cascajales.

Pilsbry y Olsson, 1935 (Morales et al, 1958), asignan a la Formación Mugrosa una edad Oligoceno Inferior a medio dada por los fósiles presentes en los niveles fosilíferos detectados hacia el tope de esta formación.

Figuras 18 y 19. Formación Mugrosa. A la izquierda, arenitas con algunas intercalaciones de arcillolita limosa de color gris. A la derecha, nivel fosilífero de 1,5m con presencia de conchas. El Chucho.

Formación Colorado (e9c)

El nombre de Formación Colorado procede del río Colorado, donde tiene su sección tipo, en la Concesión de Mares. La Formación Colorado corresponde a la parte superior del Grupo Chuspas. Consta predominantemente de arcillolitas de color gris claro, púrpura y moteadas de rojo, con intercalaciones de arenitas en bancos de espesor variable con estratificación cruzada. La parte superior de la formación consta de unos 100 m de arcillas de color gris y negro, carbonáceas, con areniscas de grano medio y poco potentes. Esta parte de la sección corresponde al Horizonte fosilífero La Cira también llamado, como Formación La Cira. Por lo general estas capas no suelen formar crestas que resalten morfológicamente, pero en la Concesión de Mares puede existir un nivel de areniscas conglomeráticas que puede formar un filo. (Julivert, 1968).

En su sección tipo la Formación Colorado tiene un espesor de 1250 m, pero éste varía considerablemente y aumenta de una manera general hacia el Este, donde puede alcanzar hasta 2500 m al pie de la Cordillera Oriental (Plancha 119_Barrancabermeja, Ingeominas, 2008). Al igual a partir de líneas sísmicas y datos de pozo, se identifican espesores con variaciones entre los 1.000 m en la Cira Infantas y los 2.500 m en las estribaciones de la Cordillera Oriental (Morales, 1956: 660).

De acuerdo a la plancha 134_Puerto Parra (Ingeominas, 2008), la Formación Colorado descansa concordante sobre la Formación Mugrosa y su límite inferior viene determinado por la parte superior del Horizonte fosilífero Mugrosa, o por la aparición de arcillas rojizas, asociadas a la parte inferior de la Formación Colorado que contrastan con las arcillas más oscuras de la Formación Mugrosa.

El contacto superior con el Grupo Real es discordante y queda determinado por la aparición de los sedimentos detríticos gruesos de la base del Grupo Real. Según Anderson (1945), Julivert, (1968) la “Colorado Series” en el Campo de La Cira tendría un sentido algo más restringido, pues la parte superior que corresponde al Horizonte La Cira (o simplemente La Cira según Anderson) forma una unidad independiente y queda excluida de la Formación Colorado. Los únicos fósiles conocidos hasta el presente de la Formación Colorado corresponden a Moluscos de agua dulce y salobre que se encuentran distribuidos en varias capas pertenecientes a los 100m superiores.

En el área de estudio, se observan limolitas arcillosas de color gris, café claro, violeta, con presencia de hierro y estratificación plano paralela, con arenitas limosas de grano muy fino y de color amarillo pardo, arcillolitas limosas de color gris, arenita de grano fino a medio, color amarillo pardo, masiva y homogénea, con moteado rojizo, con estratificación plano paralela (Ver Figura 20).

La edad asignada por Wheeler (1935), corresponde al Oligoceno Superior si la Formación Mugrosa corresponde realmente al Oligoceno Medio. Van der Hammen (1958: 106), señaló que algunos análisis palinológicos de la parte superior de la Formación Colorado indican una edad del Oligoceno Superior.

Figura 20. Formación Colorado. Afloramiento de arenita de grano medio, de color gris claro, masiva y homogénea, varicoloreadas.
Caño Doradas, El Carmen de Chucurí.

2.2.1.3 Depósitos cuaternarios

Los depósitos cuaternarios, identificados en la zona de estudio, básicamente se relacionan con el transporte de sedimentos por acción de los principales ríos existentes, desde los sitios de mayor altura en la cuenca hasta los de menor altura; en su trayecto, estos son, fracturados y remodelados, para dar su apariencia característica a fragmentos de roca subredondeados a redondeados, junto con arenas cuarzosas sueltas dispuestos en las márgenes y cauces de los ríos.

- Depósitos aluviales recientes (Q2al)

Se observan terrazas y depósitos aluviales en las márgenes y cauces de los ríos: Cascajales, Sucio, entre otros, localizados al Norte y Este de la zona de estudio. Estos depósitos están conformados por gravas de diferente tamaño y sedimentos limo arenosos, que se identifican en el relieve como geoformas planas a ligeramente inclinadas (Ver Figura 21).

2.2.2 Geología Estructural

La zona de estudio, se caracteriza por la presencia de una estructura principal conocida con el nombre de Sinclinal de Los Andes, cuyos flancos se ven afectados por la presencia de fallas de tipo transversal e inversas, presentando mayor perturbación el flanco Occidental del mismo donde se evidencia los efectos del sistema de Fallas de La Salina, estructura de carácter regional. Los principales rasgos estructurales que modelan el área se describen a continuación:

Figura 21. Depósitos aluviales. Se observa gravas de diferentes tamaños en el cauce del río Cascajales. Al fondo, afloramientos de la Formación Mugrosa. Vía que conduce desde la vereda Bajo Cascajales a la vereda Dos Bocas., El Carmen de Chucuri.

2.2.2.1 Pliegues

Por efecto de la actividad tectónica de la zona de estudio, caracterizada por la presencia de rasgos estructurales de tipo regional, se observa el origen de pliegues de tipo anticlinal y sinclinal, dentro de los principales se destaca: El Sinclinal de Los Andes, Anticlinal y Sinclinal de Campo Hermoso.

- Sinclinal de Los Andes

Se constituye en la estructura principal de la zona de estudio, con rumbo N30°E, de tipo simétrico, corresponde a un sinclinal asociado a la Falla de La Salina que configura su flanco occidental. En el núcleo del sinclinal aflora la Formación La Paz y al Norte la Formación Mugrosa, hacia sus flancos afloran las Formaciones Lisama y Umir (Ver Figura 22). Presenta su cierre hacia la parte sur y cabeceo hacia el norte.

- Anticlinal de Campo Hermoso

Anticlinal de tipo simétrico, afecta rocas de la Formación La Luna, con rumbo N40°E e inclinaciones de las capas entre 20° y 40°; hacia el sur en cercanías a la Falla de Landázuri, se evidencian aumentos de buzamiento hasta de 80°.

Figura 22. Sinclinal de Los Andes. Se observa hacia su núcleo, la presencia de la formación La Paz (e4e5l) y hacia los flancos, evidencias de la formación Lisama (E1l).

Se identifica hacia el sector oriental de la zona de estudio.

- Sinclinal de Campo Hermoso

Estructura simétrica, afecta rocas de la formación La Luna, con rumbo N20° a 50° E e inclinaciones de las capas entre 15° a 70°.

Se identifica hacia el sector oriental de la zona de estudio, entre el sistema de Fallas de Landázuri.

Hacia el Norte de la zona de estudio y por efecto de las Fallas de Cascajales y San Luis, se evidencia una serie de pliegues tipo anticlinal y sinclinal de menor escala, que afectan rocas de las Formaciones Mugrosa y Umir.

2.2.2.2 Fallas

En la zona de estudio, se evidencian fallas predominantemente de tipo inverso, lo que sugiere que las fuerzas actuantes en su mayoría han correspondido a fuerzas de compresión, como las actuantes durante el levantamiento de la Cordillera Oriental el patrón de fallamiento con dirección SSW-NNE está marcado por el sistema de fallas de la Salina y Landázuri.

- Sistema de Fallas de La Salina

Este sistema de fallas con rumbo SSW – NNE, de alto ángulo, corresponde a un sistema de cabalgamiento regional con vergencia occidental que pone en contacto rocas del Cretáceo

Superior - Paleógeno con rocas del Mioceno – Oligoceno, registrando un salto estratigráfico cercano a los 3000 m. (Ver Planos Geológico 1 y 2 de 20).

Hacia el Occidente de la zona de estudio, se observa un lineamiento sinuoso relacionado al sistema de fallas de La Salina, la cual pone en contacto rocas de la Formación Colorado con rocas de las formaciones Umir y Lisama, determinándose un salto estratigráfica de gran importancia.

- Sistema de Fallas de Landázuri

Hacia el oriente de la zona de estudio se evidencia la presencia del sistema de Fallas de Landázuri, de tipo regional y de cabalgamiento, con rumbo SSW – NNE, que pone en contacto rocas de la formación Umir con rocas de la Formación La Luna. El Bloque levantado corresponde al oriental, donde se localiza la formación La Luna. Ocasiona discontinuidad en las capas y cambios bruscos en la orientación de las mismas (Ver Figura 23).

Se calcula un salto estratigráfico aproximado de 500 m, con una vergencia hacia el occidente.

Figura 23. Manto de carbón de 0,65 m de espesor, en posición sub- vertical, en cercanía a la Falla de Landázuri, hacia el flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes.

- Falla de San Luis

Falla de tipo inverso, que afecta rocas de la formación Umir y se constituye en contacto fallado hacia el norte entre las formaciones Mugrosa y Umir. Tiene un ángulo de buzamiento aproximado de 55°, con un salto de 300m aproximadamente, afecta el flanco oriental del Sinclinal de Los Andes (Ver Figuras 24 y 25).

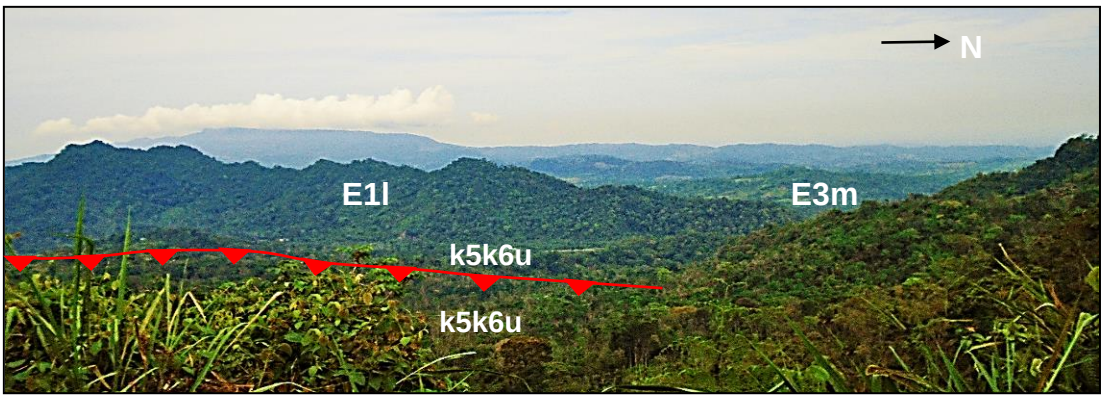


Figura 24. La Falla de San Luis, afecta rocas de la Formación Umir (k5k6u), ocasiona la repetición de capas hacia el nivel medio de la misma. El Carmen de Chucurí.

Figura 25. Manto de carbón de 0.70 m, replegado, debido posiblemente a la cercanía a la falla de San Luis, hacia el bloque levantado. Vereda Angosturas sobre Rio sucio.

- Falla Cascajales

La existencia de la Falla de rumbo Cascajales no está cartografiada al detalle, sin embargo se asume la presencia de esta, ya que en la zona la continuidad del lineamiento del sistema de Fallas de la Salina se ve truncado y desplazado varios kilómetros, a la vez que

se afecta la continuidad de algunos pliegues locales. El carácter dominante de la Falla Cascajales es de rumbo destral, afectando rocas de secuencias Terciarias y Cretácicas del área de San Luis en el extremo oriental en la conocida cuenca del Valle Medio del Magdalena, (Ver Figura 26).

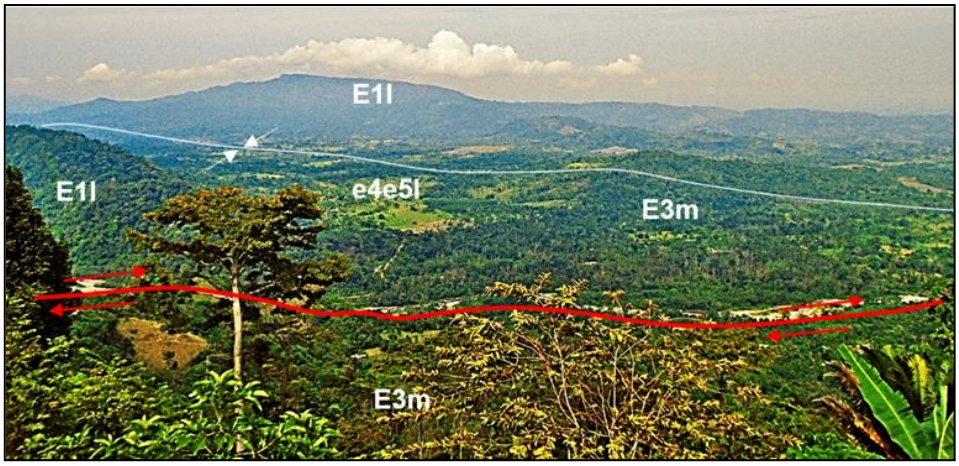


Figura 26. Falla de Cascajales. Sigue el curso del río del mismo nombre, pone en contacto las formaciones Lisama(E1l) , La Paz (e4e5l) con la formación Mugrosa (E3m). El Carmen de Chucurí.

- Falla río Sucio

Falla de tipo inverso, el bloque oriental se levanta sobre el occidental, sigue el trazo de parte del río Sucio de donde toma su nombre, ubicada hacia el flanco oriental del Sinclinal de Los Andes, afecta rocas de las formaciones La Paz, Lisama, Umir. Hacia el suroriente se trunca contra la falla de Los Andes. Contribuye al hundimiento del Sinclinal hacia el NE. Interrrumpe la continuidad de las capas de carbón hacia el norte.

- Falla Vista Hermosa

Falla de tipo inverso, que levanta el bloque oriental sobre el occidental, atraviesa el Sinclinal de Los Andes desde el flanco occidental al Oriental, afectando rocas de la formación La Paz, Lisama, Umir. Hacia el sur-oriente, su paso se ve truncado con la Falla de San Luis. Tiene un ángulo de buzamiento aproximado de 70° (Ver Figura 27).

- Falla El Sesenta

Falla de tipo inverso, corresponde al contacto fallado entre la Formación Lisama y Umir. El bloque oriental se levanta con respecto al occidental, lo que incide en que parte del techo de la formación Umir no quede expuesto. Esta falla junto con la Falla Vista Hermosa y Los Andes, originan un bloque hundido o graben. Se calcula en cortes un salto de aproximadamente 400 m.

Figura 27. Falla Vista Hermosa**.** Afecta rocas de la Formación La Paz (e4e5l), Lisama (E1l) y Umir (k5k6u).

Hacia el oriente, el trazo se trunca al llegar a la Falla El Control y hacia el occidente al llegar a la Falla Vista Hermosa, tiene un ángulo de buzamiento aproximado de 60°.

- Falla Los Andes

Falla de tipo inverso, con el bloque levantado hacia el occidente, mientras que el bloque hundido se ubica hacia el oriente; se localiza en el flanco oriental del Sinclinal de Los Andes, afecta rocas de las formaciones: La Paz, Lisama, Umir. Hacia el Nor-oriente, su paso se ve truncado por la Falla de San Luis.

- Falla El Control

Falla de tipo inverso, cuyo bloque sur se levanta sobre el bloque norte, su trazo se ve truncado hacia el occidente por el paso de la Falla de Los Andes y hacia el oriente por el paso de la Falla de San Luis. Afecta rocas de la Formación Umir, interrumpiendo la continuidad de los mantos de carbón de la misma hacia el norte.

2.3 SECTORES EVALUADOS PARA EXPLORACIÓN DE GMAC

La selección de los sectores más favorables para realizar el estudio de GMAC en el país, tiene como referente el avance en el estudio de las principales zonas carboníferas en el mismo; como se ha mencionado en estudios anteriores se destaca la información y el desarrollo minero alcanzado en las zonas carboníferas de Cundinamarca, Boyacá y Santander.

De acuerdo a los estudios previos que se han venido desarrollando para el conocimiento del potencial que tienen las zonas carboníferas del país para generar gas metano, como lo fue en las zonas carbonífera de Cundinamarca y Boyacá, en este proyecto se pretende conocer el potencial de algunos sectores de la zona carbonífera de Santander.

El área de estudio definida, se encuentra ubicada al extremo oriental de la zona carbonífera, en la cuenca del valle medio del Magdalena, la unidad geológica de interés la constituye la formación Umir (k5k6u); un estudio realizado por Carboriente SA (1986) divide esta área carbonífera, conocida como San Luis, en 2 sectores a saber: Sector Carbonífero Flanco Occidental y Sector Carbonífero Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes, (Ver Figura 28), los cuales se retoman para el presente informe.

De acuerdo a las características geológicas de la zona de trabajo y al desarrollo minero, en esta ocasión los estudios se orientaron en el Sector Carbonífero del Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes, dicho sinclinal es la estructura geológica principal del área carbonífera y es portadora de las capas de carbón, lo que la hace de gran interés económico. Otra de las razones por las cuales el estudio se centra en este tipo de estructura es que de acuerdo a estudios preliminares de GMAC (ICP, 2008), adelantados especialmente en el Flanco Occidental, se conocen algunos volúmenes significativos, con lo cual queda por explorar el Flanco Oriental del mismo. Así mismo, en este tipo de estructuras, se podría estimar que el potencial de GMAC debería ser alto debido a la profundidad de cobertera y a la capacidad de recarga de agua en los flancos.

Este sector carbonífero queda comprendido desde el cierre del sinclinal hasta la zona de Falla El Control. En este flanco se encuentra una serie de bocaminas con avances de hasta 130m, lo cual hace posible tener una continuidad en las trazas de carbón; de estas, se logró obtener información de 7 mantos de carbón, con espesores entre 0,50m y 1,45m y calidades correspondientes a carbones tipo Bituminosos Alto volátiles (Bav) y Bituminosos medio volátiles (Bmv).

Partiendo de esta información, los trabajos en superficie fueron orientados a recopilar datos sobre las características de los mantos que trabajaban las diferentes minas del área de estudio, junto con la revisión de la geología existente, lo cual permitió identificar algunos mantos, en cuyas labores mineras se ha detectado concentraciones de gas metano.

Dentro de los dos sectores de interés ya identificados, se evalúa las características geológicas como litología, ángulos de inclinación de las capas, espesor de las formaciones etc. También se evalúa las características topográficas, vías de acceso, fuentes hídricas presentes entre otras, esto con el fin de definir las alternativas donde se desarrollaran las perforaciones exploratorias que tienen como finalidad la recuperación de muestras de carbón, que serán objeto de medición de contenidos de gas metano.

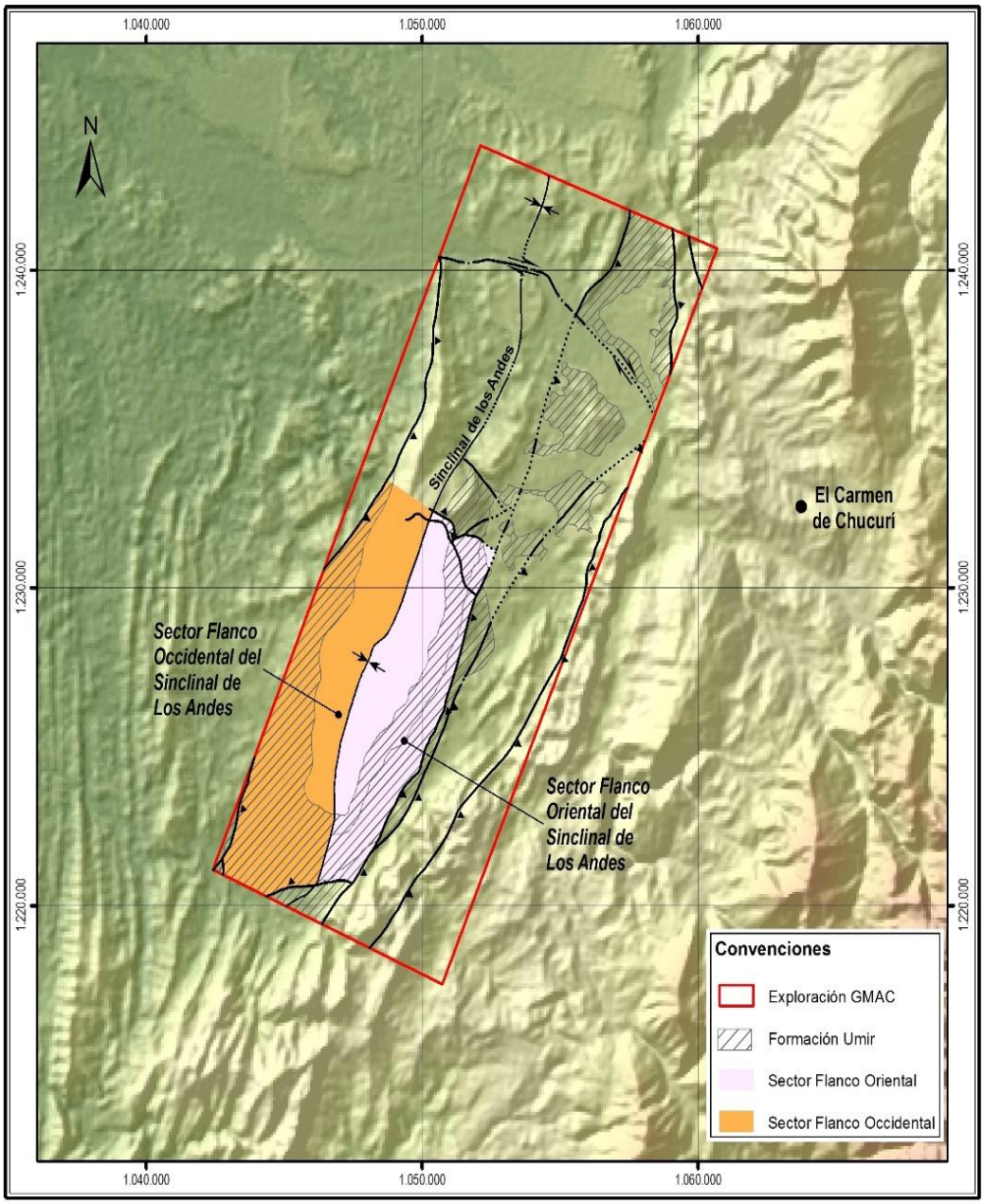


Figura 28. Localización sectores analizados para exploración de GMAC en la zona de estudio.

2.3.1 Sector Carbonífero Flanco Occidental

Localización: este sector se encuentra ubicado entre la vereda Diviso de los Andes o Explanación y la vereda El Treinta, en el municipio de El Carmen de Chucuri, departamento de Santander, al extremo suroccidental de la zona de estudio (Ver Figura 29).

Figura 29. Sector GMAC Flanco Occidental. Ubicado al suroccidente de la zona de estudio. Formaciones Umir (k5k6u), Lisama (E1l), La Paz (e4e5l)

Vías de acceso. Para acceder a este sector desde el municipio de Yarima, se desprende una carretera que conduce al caserío de Explanación, situado al costado occidental del Cerro de los Andes; esta carretera conduce a las localidades de Bella Vista y Santo Domingo en el extremo sur, carretera totalmente destapada, en regular estado, de aproximadamente 34km de longitud.

Características de los mantos. Basados en la Geología de superficie que se llevó a cabo inicialmente y la fase de exploración detallada realizada por las empresas L.T. Geoperforaciones & Geoconsulta (en Carboriente, 1986), en la cual se realizó una serie de pozos corazonados y se tomaron muestras representativas para medición de contenidos de GMAC, se logra identificar 11 mantos de carbón con espesores que oscilan entre 0.40m y 1.60m a los cuales se les dio una denominación basada en su posición estratigráfica (de forma ascendente, de base a techo, de 100 en 100).

Los carbones de la secuencia media de la formación Umir, fueron identificados con un rango Bituminoso medio en volátiles a Bituminoso alto en volátiles, comúnmente aglomerantes para uso en producción de coque. Los carbones de la secuencia superior, alcanzaron calidades como Bituminosos alto en volátiles A y Bituminosos medio en

volátiles, de los cuales no se pudo definir su carácter aglomerante. Según el estudio, hay dos características que desmejoran la calidad de estos carbones: los altos contenidos de azufre y de cenizas.

En general, en este sector, el carbón es moderadamente brillante a brillante bandeado, su sistema de fracturamiento es entre bueno y moderado y sus respaldos son principalmente arcillolitas y limolitas de color gris a gris oscuro.

Información minera. De acuerdo con Carboriente (1986), en el flanco occidental las reservas y los recursos calculados son mayores que en el flanco Oriental, sin embargo actualmente no existe actividad minera en este sector.

Geología. De acuerdo con los datos que se tomaron en campo se puede deducir que los mantos de carbón en el área carbonífera 902 San Luis, Sector Carbonífero Flanco Occidental se hallan en los niveles medio y superior de la Fm. Umir, estos reducen su espesor considerablemente hacia el cierre del Sinclinal de Los Andes; dentro del marco tectónico general la estructura geológica principal corresponde a un sinclinal amplio, ligeramente asimétrico formado por rocas del Cretáceo superior y del Terciario, la geología estructural del sector es compleja, se destaca el sistema de fallas inversas de la Salina hacia el occidente, este acompañado por una serie de fracturas secundarias como la falla Vista Hermosa, El Sesenta, Rio Sucio entre otras, las cuales limitan la continuidad de las trazas hacia el norte del polígono de estudio. La dirección predominante de las capas es hacia el NE con valores entre N 10° a 50° E y con buzamientos hacia el SE con valores aproximados entre 8° y 80 al SE con algunos datos anómalos producto del plegamiento ocasionalmente intenso en cercanías a las principales fallas, (Ver Mapa Geológico 3 de 20).

Análisis del sector. De acuerdo a los factores anteriormente mencionados, se concluye que este, es un sector donde no se ha desarrollado actividad minera, sin embargo en los trabajos de exploración que se han realizado hasta el momento, se logra correlacionar hasta 11 mantos de carbón con buenos espesores y buenas calidades, con lo cual se podría adelantar estudios más detallados de GMAC teniendo en cuenta el gran potencial de reservas y recursos que se tienen.

2.3.2 Sector Carbonífero Flanco Oriental

Localización: este sector comprende desde la vereda Angostura de los Andes hacia el norte, hasta la vereda Bajo Cascajales al sur, en el municipio de El Carmen de Chucuri, en el departamento de Santander, al oriente de la zona de estudio (Ver Figura 30).

Vías de acceso. Para acceder a este sector desde el municipio de Yarima, se desprende una carretera que conduce al municipio de El Carmen de Chucuri y a la altura del sitio denominado el Topón, se desprende un carreteable hacia el suroeste que conduce al corregimiento del Centenario y de allí hasta la vereda de Angostura de los Andes, la cual corresponde al extremo sur del área de trabajo; la carretera está totalmente sin pavimentar y su estado es regular en algunos tramos, este carreteable tiene una longitud

aproximada de 35km hasta el corregimiento del Centenario y 44km hasta la vereda Angostura de los Andes.

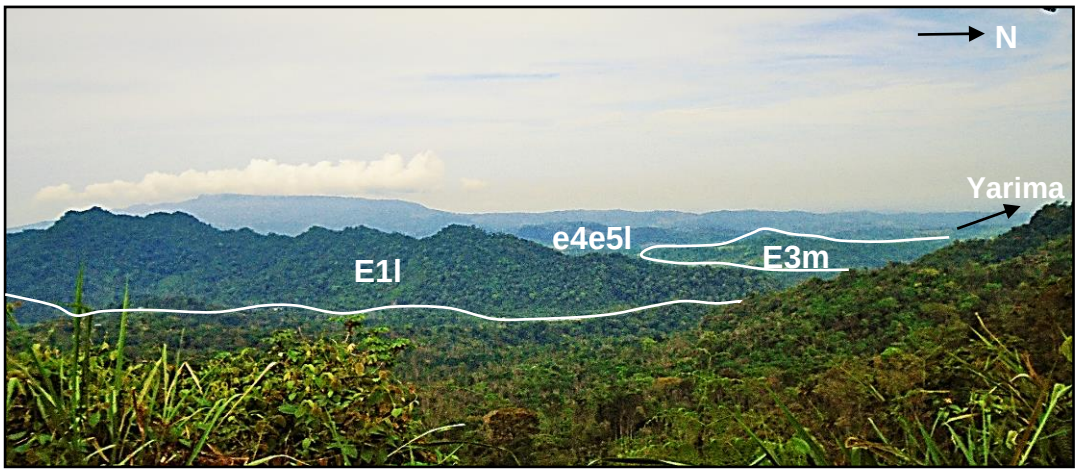


Figura 30. Sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes (FESA). Ubicado al suroriente de la zona de estudio. Formaciones Lisama (E1l), La Paz (e4e5l), Mugrosa (E3m).

Características de los mantos. De acuerdo con la información recolectada en campo, el análisis de la información existente y el avance de las labores mineras, es posible identificar y correlacionar 10 mantos de carbón, con espesores que oscilan entre 0,50m y 1,80m y calidades correspondientes a carbones tipo Bituminosos Alto volátiles (Bav) y Bituminosos medio volátiles (Bmv).

El carbón en general es moderadamente brillante a brillante bandeado, su sistema de fracturamiento es entre bueno y moderado, no muy bien definido (Ver Figura 31) sin relleno y sus respaldos son principalmente arcillolitas y limolitas de color gris a gris oscuro.

Información minera. De acuerdo con los recorridos en el área de estudio, al reconocimiento general y socializaciones realizadas en este sector, fue posible identificar una serie de bocaminas de las cuales algunas ya no están en funcionamiento; los avances en las labores mineras no superan los 200m; basados en la información suministrada por los supervisores mineros, se tiene que las trazas de metano medidas en los frentes de mina que desarrollan trabajos en los mantos anteriormente mencionados, son más comunes hacia la parte sur del sector, es decir hacia el cierre de la estructura principal (Sinclinal de Los Andes) en donde los mantos de carbón que trabajan estas minas, pertenecen al segmento superior de la formación Umir.

Geología. Los mantos de carbón en el área carbonífera 902 San Luis, Sector Carbonífero Flanco Oriental se hallan en los niveles medio y superior de la Formación Umir, estos al igual que el sector Flanco Occidental reducen su espesor considerablemente hacia el cierre del Sinclinal de Los Andes; este sector está formado por rocas del Cretáceo superior y del Terciario, la geología estructural del sector es compleja se destaca el sistema de

fallas inversas de Landázuri hacia el oriente, acompañado por una serie de fracturas secundarias como la falla inversa de San Luis, Vista Hermosa entre otras, las cuales limitan la continuidad de las trazas hacia el norte del polígono de estudio, producen importantes levantamientos, hundimientos de bloques, repetición en la secuencia del miembro medio de la Formación Umir hacia el oriente del sector y la generación de pliegues menores tipo sinclinal y anticlinal. La dirección predominante de las capas es hacia el NE con valores entre N 10° a 50° E y con buzamientos hacia el NW con valores aproximados entre 15° y 60° con algunos datos anómalos producto del plegamiento ocasionalmente intenso en cercanías a las principales fallas, (Ver Mapa Geológico 1, 2 y 3).

Figura 31.. Muestra de manto de carbón con espesor de 1,40 m, tipo clareno fuseno, con sistema de fracturamiento natural no definido. Mina las Delicias

Análisis del sector. De acuerdo a las características descritas en este sector, se observa e identifica una serie de Fallas de tipo inverso que produce el levantamiento y hundimientos de distintos bloques, dichas fracturas limitan el desarrollo de las labores mineras hacia la parte norte del sector y por tal razón la extracción del mineral se realiza a cielo abierto, esto permite ver el replegamiento intenso de las capas de carbón. Teniendo en cuenta el trabajo de campo realizado, el levantamiento de las columnas estratigráficas en caños y quebradas, los avances en las labores mineras y los trabajos de exploración que se han realizado hasta el momento, se logra correlacionar 10 mantos de carbón con buenos

espesores y buenas calidades, con lo cual se podría adelantar estudios de GMAC hacia la parte media y sur del sector donde la complejidad estructural es menos evidente y donde es posible correlacionar las diferentes capas de carbón. La distancia estratigráfica del contacto con la Formación suprayaciente Lisama a la primera capa de carbón no es muy amplia, por lo cual es posible proyectar los pozos exploratorios en la base de la Formación Lisama, esto con el fin de ganar profundidad de cobertera en el muestreo y por ende mayores concentraciones del gas a medida que se cubre la secuencia carbonífera.

Por las anteriores razones, se selecciona este sector para adelantar los dos pozos estratigráficos para el estudio, denominados Pozo El Carmen de Chucuri -1 y Pozo El Carmen de Chucuri -2.

3. GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

Luego de realizar el trabajo de campo en superficie y los trabajos de exploración en las minas subterráneas de carbón presentes en el área de estudio, se proyectan trabajos de perforación, como una de las fases más importantes y finales del proyecto; esto, con la finalidad de obtener muestras de los mantos de carbón en profundidad para realizarles la medición de contenidos de gas metano, además de información que permita conocer de manera más directa el comportamiento de la litología y en especial de los mantos de carbón en profundidad. Además de estas perforaciones, se cuenta con la información generada por los registros eléctricos, los cuales se realizan luego de finalizada la perforación y que permiten determinar las características físicas de la litología encontrada, contando así con información suficiente para llevar a cabo un análisis que pueda dar a entender el comportamiento de la geología en el área de trabajo.

3.1 DESARROLLO DE PERFORACIONES

Con la finalidad de conocer las características de los mantos presentes en la zona de estudio y evaluar el potencial de Gas Metano Asociado al Carbón, se llevan a cabo dos perforaciones en el municipio de Carmen de Chucuri. (Ver Figura 32).

Los pozos que se llevaron a cabo se denominaron de acuerdo al municipio en donde se localizaron, es así como tenemos el Pozo Carmen de Chucuri 1, ubicado en la Vereda Angosturas, el cual llega a una profundidad de 600 m, y el pozo Carmen de Chucuri 2, ubicado en la Vereda Vista Hermosa, el cual llega a una profundidad de 600 m, localizados de Sur a Norte respectivamente, En cada pozo se realiza la descripción de núcleos, así como también la toma del registro eléctrico en cada pozo, tales como: Gamma Ray, Densidad, Temperatura, Resistividad, adicional a estos registros se realiza la prueba Lugeon, en el pozo Carmen de Chucuri 1, con el fin de determinar la permeabilidad de los mantos encontrados (Ver Anexo A).

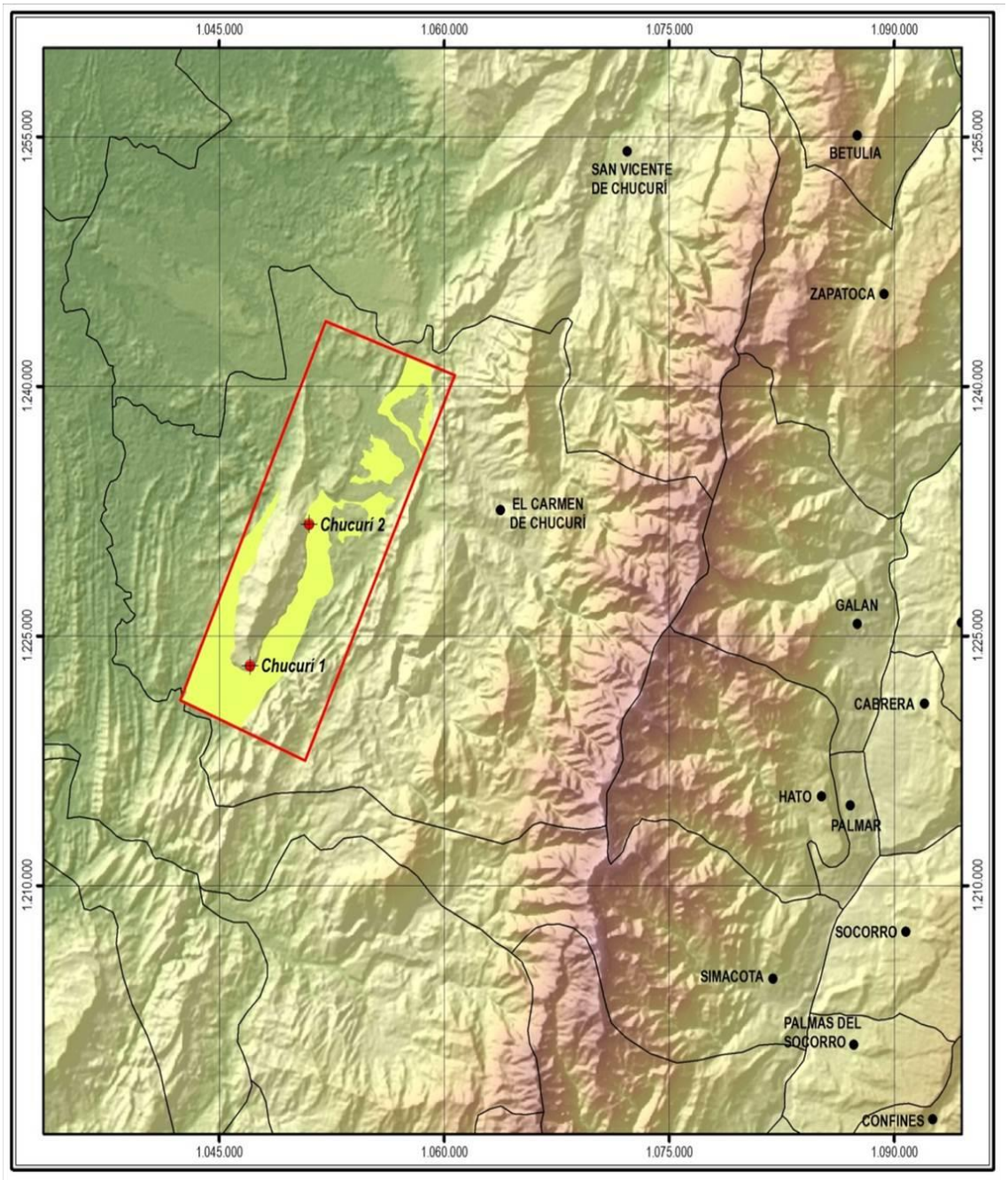


Figura 32. Localización de perforaciones realizadas.

3.1.1 Pozo El Carmen de Chucuri 1

Localización: Este pozo se ubica en la Vereda de Angosturas del municipio de Carmen de Chucuri (Ver Figura 33), en las siguientes coordenadas:

Norte	Este	Altura (msnm)
1.223.217	1.047.060	683

Figura 33. Pozo El Carmen de Chucuri 1.

Estratigrafía. El material que se corta en la parte superior de la perforación, teniendo en cuenta que se inicia en la formación Lisama, son limolitas con algunas láminas de arcillolitas de coloración amarillenta a gris verdoso, intercalaciones de limolita, arenisca calcárea y arcillolita gris claro y oscuro, material compacto, arenisca fina a media ligeramente calcárea con esporádicas láminas de limolita y en algunos tramos se evidencian laminas milimétricas de carbón, compactas, medianamente duras, de coloración gris clara a café amarillento, hacia la parte media de la perforación en la formación Umir, se evidencian paquetes de arcillolitas moderadamente fracturadas de coloración gris claro a oscuro con delgadas a medianas láminas de limolita gris medio a claro, ligeramente calcáreas, presencia de esporádicas láminas de calcita, arcillolitas

grises oscuras y carbonosas, moderadamente fracturadas, con láminas de vitreno y presencia de bioturbación, cintas de carbón que oscilan entre 0.05 m a 0.40 m, y mantos de carbón que oscilan entre 0.40 m a 1.15 m, hacia la parte inferior de la perforación se cortan limolitas arcillosas de color gris oscuro, moderadamente fracturada, con arcillolitas limosas con presencia de bioturbación.

Los ángulos de buzamiento oscilan entre 4° y 25°, con la tendencia de disminución a profundidad.

Desarrollo. El equipo de perforación empleado corresponde a un taladro Long Year 44-1, (Ver Figuras 34 y 35), la perforación se adelanta en diámetro HQ (3-7/8”), que permite recuperar un núcleo de 6.35 cm de diámetro, la perforación se lleva a cabo de la siguiente manera, de (0 - 28.5) m de perforación en Ripio, este pozo es revestido hasta los 28.5 m, debido a la perdida de lodo, así mismo se realiza recuperación de núcleo a partir de los 28.30 m de profundidad, hasta el final de la perforación

El almacenamiento de los núcleos se realizó desde los 28.30 m de profundidad, con la respectiva descripción litológica, estos núcleos reposan en la litoteca del Servicio Geológico Colombiano. La recuperación de los núcleos en general fue del 98%.

Figuras 34 y 35. Taladro Long Year 44-1, equipo empleado en la realización del pozo El Carmen de Chucuri 1. A la derecha, detalle del mismo.

3.1.2 Pozo El Carmen de Chucuri 2

Localización. Este pozo se ubica en la vereda Vista Hermosa, del municipio de Carmen de Chucuri (Ver Figura 36) en las siguientes coordenadas:

Norte	Este	Altura (msnm)
1231692	1051010	516

Figura 36. Pozo El Carmen de Chucuri 2.

Estratigrafía. El material que se corta en la parte superior de la perforación, teniendo en cuenta que se inicia en la formación Lisama, son limolitas de color gris claro a medio con impregnaciones de color vinotinto con esporádicas venillas calcáreas, con algunos niveles deleznables, en algunos tramos se evidencian brechas de falla, arenisca cuarzosa de grano fino a medio de color gris claro y en algunos tramos se observa coloración verdosa, hacia la parte media de la perforación se cortan limolitas arcillosas, de color gris con impregnaciones de color marrón, arcillolita varicoloreada, morada, marrón, con impregnaciones color verde olivo, limolita gris compacta, medianamente dura, con esporádicas trazas de pirita, diaclasas rellenas de carbonatos, en este segmento medio se evidencian espejos de falla, fracturas, diaclasas, y zonas de brechas de falla, hacia la parte inferior de la perforación se cortan limolitas de color gris claro a medio con algunas impregnaciones verdosas y rojizas con presencia de venillas calcáreas, arenisca ligeramente calcárea muy fina a fina de color gis medio a verdoso, algunos tramos color marrón compacta, moderadamente dura. No se encontró evidencia de cambio litológico que indicara la transición a la Formación Umir. Todo este material corresponde a la Formación Lisama. Este pozo está afectado por una zona de confluencia de fallas que impiden en la profundidad proyectada alcanzar la Formación de interés.

Los ángulos de buzamiento oscilan entre 4° y 55°, en donde se observa que no hay una tendencia marcada, ya que a lo largo de la perforación se presentan muchas variaciones en los ángulos, debido en gran parte a la presencia fallas y microfallas en dicha perforación.

Desarrollo. El equipo de perforación empleado corresponde a un taladro LF90D, con tubería de diámetro HQ (3-7/8”), que permite recuperar un núcleo de (6.35 cm (2.5”)) de diámetro, (Ver Figuras 37 y 38), la perforación se lleva a cabo de la siguiente manera,

perforación en destructiva de (0 – 30.5) m, de los cuales se recupera muestra de ripio hasta los 24.8 m, luego se instala revestimiento "casing" hasta los 39.10 m, a partir de los 24.8 m se inicia la recuperación de núcleo, esto hasta el final de la perforación.

Figuras 37 y 38. Taladro LF 90D, equipo utilizado en la realización del pozo El Carmen de Chucuri 2.

3.2 INCONVENIENTES REGISTRADOS DURANTE LAS PERFORACIONES

En el desarrollo de la perforación se presentaron los siguientes inconvenientes

Pozo Carmen de Chucuri 1: En varias ocasiones se pega la tubería debido a material arcilloso plástico, generando así un alto torque, causando dificultades en el avance de la perforación, también se presenta perdida de lodo, para lo cual deben aumentar el peso del lodo y su viscosidad con Bentonita, así mismo le aplican aserrín para dar mejor consistencia al lodo, en algunas ocasiones fue necesaria una píldora de polímero especial para contrarrestar esta situación.

Pozo Carmen de Chucuri 2: Se presentan muchas pegas de tubería, esto debido al material arcilloso, causal esto del alto torque en el taladro, para lo cual hay sacar e introducir tubería, repitiendo este procedimiento varias veces, perdiendo así tiempo y avance en la perforación, a los 539.30 m se determina pasar de diámetro HQ a NQ, esperando así un mejor rendimiento. Al momento de finalizar el pozo, se procede a sacar tubería, proceso en el cual se presenta ruptura de tubería a los 357 m, luego de varios intentos por rescatarla, para lo cual se intenta con un gato hidráulico, especial para estos casos de pega, (Ver Figura 39), en vista de que por ningún método se puede rescatar y luego de varios días de intentos fallidos, se opta por dejarla en ese lugar.

Figura 39. Gato hidráulico. Equipo empleado en los casos en que se registra pega de tubería.

3.3 ANÁLISIS GEOLÓGICO DE LOS POZOS PERFORADOS

Con la información suministrada en los registros de pozo se puede corroborar información tomada en superficie, así como también se pueden conocer propiedades y características fisicoquímicas de los mantos de carbón, tal como, espesor, inclinación de capas, distancias estratigráficas, rocas adyacentes, definiendo así de manera más certera la secuencia carbonífera presente en el área de estudio, siendo esta información de vital importancia al momento de evaluar el potencial de gas metano asociado al carbón presente en el área de interés.

3.3.1 Registros de pozo y equipos empleados

Los registros de pozo, 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. A continuación, se hace una breve descripción sobre su importancia y uso para posteriormente presentar los resultados obtenidos en las perforaciones adelantadas.

Con el fin de determinar las características presentes en la litología encontrada en la perforación, en especial la de los carbones, se realizan estos registros de pozo, los cuales nos brindan información, que nos permite entre otras cosas correlacionar lo visto en superficie.

3.3.1.1 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, 2.003).

3.3.1.2 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., 2.003). 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. (2.003), 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.

3.3.1.3 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 una referencia sobre 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.

3.3.1.4 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.

3.3.1.5 Equipo de registro eléctrico.

Para la realización del registro eléctrico se dispuso del equipo de registros marca MOUNT SOPRIX portátil, modelo Matrix MGX II. De propiedad de L.T. Geoperforaciones y Minería Ltda., ver Figuras 40 a 43:

Figuras 40 y 41. Sondas de Registro y equipo portátil de Registro

Figuras 42 y 43. Instalación de equipos para la realización de los Registros eléctricos en los pozos.

3.3.2 Pruebas de Pozo y equipos empleados

Con el fin de complementar la información suministrada por los registros de pozo corridos, se adelantó una prueba en el Pozo El Carmen de Chucurí 1, mediante la cual se pretende conocer sobre el comportamiento permeable de los carbones, la misma se describe a continuación:

3.3.2.1 Prueba Lugeon

La prueba Lugeon, o ensayo Lugeon, es un ensayo que se hace en el campo para estimar la permeabilidad del suelo o rocas o mantos. Se aplica principalmente en rocas fracturadas o permeables. Consiste en medir el volumen de agua "V" que se consigue inyectar en el suelo durante un tiempo determinado "t", en otras palabras se mide el caudal $Q = V/t$, en un tramo de una longitud determinada "L", a una presión constante H_t.1 2.

En una perforación se determinan las zonas o profundidades en donde se quiere probar o determinar la permeabilidad y luego se fija un obturador neumático en la parte inferior y superior de este tramo, y se procede a inyectar agua a presión con una bomba. En la boca del pozo se controla la presión con un manómetro. Un contador de agua y una válvula de descarga, que permiten medir los caudales inyectados a una presión dada mantenida constante.

3.3.2.2 Equipo utilizado:

En la Figura 44, se observa el croquis ilustrativo de la prueba lugeon, el equipo utilizado consta de un cilindro de aire comprimido (para inflar los packer) medidor de volumen, medidor de presión, sello neumático o packer, tubería de alimentación (por donde se inyecta agua) y tubería perforada (por donde sale el agua), Ver Figuras 44 a 47.

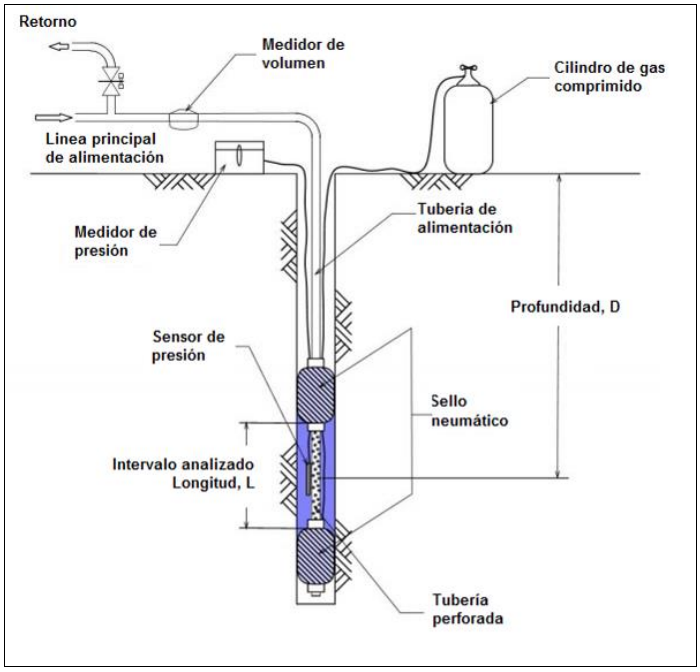


Figura 44. Esquema de la prueba Lugeon**.**

Figura 45. Packer de la prueba Lugeon.

Figuras 46 y 47. Elementos empleados**,** tubo agujerado y cilindro con aire comprimido en la prueba de Lugeon.

Basados en estos principios, se corrieron los registros y pruebas en mención, obteniéndose variaciones en los valores reportados de acuerdo al tipo de material que compone la litología de cada pozo. Los resultados se expresan para cada pozo así:

3.3.3 Interpretación de Registros y Pruebas

Con el fin de determinar las características de las rocas presentes en cada uno de los pozos realizados, en especial la de los mantos de carbón, se adelantaron registros eléctricos y de Temperatura. Antes de tomar cada uno de los registros se realiza la preparación del pozo, lavándolo, con el fin que la sonda baje libremente.

3.3.3.1 Pozo El Carmen de Chucuri 1

Posterior a la recuperación de núcleos y una vez alcanzada la profundidad requerida se tomaron los registros eléctricos correspondientes a los parámetros de Gamma Ray y Densidad, en ocasiones por dentro de la tubería de perforación; luego de retirar la tubería se tomaron las Resistividades; Sónico y de Temperatura.

Registro de Rayos Gamma: La escala empleada para este registro está entre 0 a 180 cps (cuentas por segundo), los valores promedio en el registro son altos, esto debido a la predominancia de arcillolitas a lo largo del pozo, alcanzando valores en algunos tramos de 171 cps, los datos más bajos se registran en los primeros 100 m del pozo, debido a la presencia de material arenoso y limo arenoso, registrándose valores entre 21 a 33 cps, los niveles de carbón presentan valores medios de radiactividad, entre 39 a 120 cps.

Registro de Densidad: La escala empleada para este registro está entre 0 a 3 g/c3, se evidencia que la densidad para los carbones presentes en el pozo oscila entre 0.75 - 1.30 g/c3, mientras que para las arcillolitas, limolitas y los tramos de arenisca se registran valores que oscilan entre 1.05 a 1.95 g/c3, siendo los valores menores asociados al material arcilloso, y los valores más altos para las areniscas.

Registro Temperatura: La escala de valores empleada en este registro está entre 16 y 32°C, la curva obtenida en el tramo que se registra entre 0 a 597m, permite identificar un aumento de temperatura con respecto a la profundidad, teniendo en cuenta que en superficie se registra una temperatura aproximada de 17 °C; en cuanto a los mantos de carbón, la variación de temperatura respecto a la profundidad y teniendo en cuenta que el primer manto de Techo a Base se encuentra a 181.4 m, el manto intermedio a (310.98 m) y el ultimo manto a (459.27m), se registran temperaturas de 20.53° C, 23.4°C, y 27°C, respectivamente, evidenciándose una tendencia al aumento de temperatura respecto a la profundidad.

Registros de Resistividad: La escala de valores empleada es de 0-120 ohm/m, registrándose los valores más altos, en promedio, en los tramos limo arenosos, debido a la

porosidad presente en estas litologías, siendo el valor más alto de 91 ohm/m, registrado dentro del tramo de arenisca que va de 80 a 92 m de profundidad, así mismo se registran los valores más bajos de hasta 4 ohm/m, en las arcillolitas, debido esto a su baja porosidad y permeabilidad, se evidencia que los carbones presentan resistividades medias, con valores que oscilan entre 40 y 60 ohm/m.

Interpretación de prueba lugeon. En este proyecto se lleva a cabo la prueba lugeon en 20 tramos de donde se tomaron las muestras (entre cintas y mantos) del pozo El Carmen de Chucuri 1, esta prueba tiene como finalidad determinar la conductividad eléctrica o permeabilidad presente en los mantos de carbón, registrándose valores de conductividad eléctrica entre 253.5 – 7839.0 m/día, teniendo en cuenta que este primer dato, el más bajo corresponde a un tramo de profundidad de 459.30 – 461.0 m, esto a su vez corresponde al manto M4 y a una cinta, de techo a base, y el segundo dato, el más alto, corresponde a un tramo de profundidad de 286.90 – 287 m, esto a su vez corresponde al manto M8, de techo a base, siendo este manto más superficial que el manto M4 y la cinta mencionada, evidenciándose a lo largo del pozo, una tendencia a la disminución de la conductividad eléctrica a medida que se avanza en profundidad.

3.3.3.2 Pozo El Carmen de Chucuri 2

Posterior a la recuperación de núcleos y una vez alcanzada la profundidad requerida se tomaron los registros eléctricos correspondientes a los parámetros de Gamma Ray y Densidad, en ocasiones por dentro de la tubería de perforación; luego de retirar la tubería se tomaron las Resistividades; Sónico, SP y Temperatura, para los registros de Gamma Ray, SP y resistividad se toma registro hasta 335 m de profundidad aproximadamente, esto debido a las complicaciones que presenta el pozo a esa profundidad.

Registro de Rayos Gamma: La escala de valores empleada en este registro está entre 0 a 200 cps (cuentas por segundo), en este registro se registran valores que oscilan entre 20 y 180 cps, registrándose los valores más bajos en las areniscas y los valores más altos se registran en los tramos de limolitas y arcillolitas.

Registro de Densidad: La escala empleada para este registro está entre 0 a 3 g/c3, en este registro se evidencian los picos y valores más altos en los tramos de arenisca, el cual va de 208 a 250 m de profundidad, valores del orden de 2 g/c3 a diferencia de lo que se observa en los tramos arcillosos, en los que se registran valores más bajos de densidad, valores del orden de 0.4 g/c3.

Registro Temperatura: La escala de valores empleada en este registro está entre 16 y 32°C, en este registro se evidencia una tendencia de aumento de la temperatura, respecto a la profundidad, registrándose al inicio del pozo en superficie una temperatura de 17° C, aprox, y al final del pozo, en profundidad una temperatura de 29 ° C, aprox., infortunadamente en este pozo no se corta carbón, para así analizar las temperaturas de este a profundidad.

Registros de Resistividad: La escala de valores empleada es de 0-120 ohm/m, registrándose los valores más altos en los tramos de areniscas y algunos tramos de limolitas, observándose valores de 45 ohm/m, esto debido a la porosidad presente en este tipo de material, a diferencia de los tramos de arcillolita en los cuales se evidencian valores más bajos de resistividad 5 ohm/m, debido a las características de este material, su baja porosidad y permeabilidad para el almacenamiento de agua, teniendo presente que una de las principales propiedades de la roca para transmitir corriente es el agua.

3.4 SELLAMIENTO

Una vez terminados los pozos con sus respectivos registros eléctricos se procede al sellado de los mismos, para lo cual se construye un mojón en cada pozo 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 Figuras 48 y 49.

Figuras 48 y 49. Sellado de pozos. El Carmen de Chucurí 1 y El Carmen de Chucuri 2

Igualmente, se realiza adecuación del lugar, teniendo en cuenta actividades como: relleno de las piscinas excavadas, con el material utilizado para la berma de contención y con el material de suelo previamente removido y protegido, limpieza del área de residuos sólidos y retiro de sobrantes de líquidos (Ver Figura 50), siembra de semillas de pasto nativo usando la técnica “al voleo”.

Figura 50. Adecuación del terreno. Pozo El Carmen de Chucuri 1.

4. TERMOCRONOLOGÍA Y GEOLOGÍA ISOTÓPICA

El desarrollo de este capítulo, incluyendo el muestreo en campo para esta objetivo, estuvo a cargo del Grupo de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares y Geocronológicas, de la Dirección de Asuntos Nucleares, SGC, integrado por los profesionales: Químicos: Mary luz Peña, Maribel Moreno, Lorena Rayo, Jimmy Muñoz, Geólogos: Sergio Amaya Ferreira, Cindy Lizeth Urueña.

Las rocas que conforman el Sinclinal de Los Andes hacen parte de la cuenca del Valle Medio del Magdalena; los análisis de Termocronología e isotopos estables relacionados a continuación permiten ampliar el conocimiento respecto a la evolución de dicha cuenca y las condiciones que favorecen la generación del Gas Metano asociado a los Carbones de la Formación Umir. En este capítulo se presentan los resultados parciales, obtenidos por los métodos termométricos e isotópicos.

4.1 METODOLOGÍA

4.1.1 Fase de campo

A partir del área de estudio en el Sinclinal de Los Andes, se definieron las unidades y estructuras de interés a fin de plantear la estrategia de muestreo y la medición de espesor acumulado en la sección estratigráfica.

Dadas las condiciones estructurales del Sinclinal de Los Andes que se encuentra limitado hacia el occidente por el sistema de fallas de la Salina y al oriente por el sistema de Fallas de Landázuri; se seleccionaron tres sinclinales de sur a norte (Ver Figura 1), en los cuales afloran la Formación Umir y la secuencia suprayaciente de interés, con los propósitos de: (i) Recolectar muestras de toda la secuencia estratigráfica comprendida entre el tope de la Formación La Luna hasta el tope del Grupo Real, para hacer análisis termocronológicos y de isotopos estables. (ii) Medir espesores de las unidades litológicas mencionadas que influencian los procesos diagenéticos de la cuenca, como son:

- Sinclinal de Armas, Secuencia del techo de la Fm. La Luna a la base de la Fm. La Paz.
- Sinclinal de Los Andes, Localidad de estudio del proyecto, Fm. Umir (minería asociada), afectación sistema de Fallas de la Salina.
- Sinclinal de Nuevo Mundo, Secuencia completa del terciario, de la base de la Fm.

La Paz al techo del Grupo Real.

En cada una de las localidades se realizó muestreo, el cual está relacionado dentro de la secuencia estratigráfica, sin embargo las muestras para análisis de huellas de fisión (15-HF-) recolectadas en el Sinclinal de Los Andes y a partir de los pozos El Carmen de Chucurí 1 y El Carmen de Chucurí 2, perforados en el desarrollo del proyecto, se relacionan a continuación, en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de muestras recolectadas para análisis de Huellas de Fisión en el Sinclinal de Los Andes.

	Muestra	Coord. Este	Coord. Norte	Prof. (m)	Unidad	Litología
Superficie	15-HF-054	1051100	1231452		Contacto Fm. Umir - Fm. Lisama	Arenisca de grano medio
	15-HF-055	1047995	1232501		Fm. Colorado, Falla de la Salina al E	Arenisca de grano medio a grueso
	15-HF-060	1051220	1232226		Fm. Lisama	Arenisca de grano medio friable
	15-HF-061	1050300	1231428		Contacto Fm. Lisama - Fm. La Paz (?)	Arenisca de grano fino a medio
	15-HF-062	1049602	1235124		Falla de la Salina Fm Colorado-Fm Lisama	Arenisca de grano medio a grueso
	15-HF-063	1051010	1226784		Fm. Umir (flanco W)	Arenisca de grano medio a grueso
	15-HF-064	1054941	1231688		Fm. Umir (flanco W)	Arenisca de grano fino a medio
	15-HF-065	1056122	1236415		Fm. Umir (centromin)	Arenisca de grano muy fino a fino
P. Chucurí 1	15-HF-098	1047060	1223217	74,08	Fm. Lisama	Areniscas de grano fino a medio
	15-HF-057	1047060	1223217	92.08 - 92.89	Fm. Lisama	Arenisca de grano medio con fragmentos de carbón
	15-HF-056	1047060	1223217	140.04-141.1	Fm Umir	Areniscas de grano fino a medio
	15-HF-058	1047060	1223217	219.36-220.05	Fm Umir	Areniscas de grano medio
	15-HF-096	1047060	1223217	405,99	Fm. Umir	Areniscas de grano fino a medio
	15-HF-097	1047060	1223217	508,1	Fm. Umir	Areniscas de grano fino a medio
P. Ch2	15-HF-059	1051010	1231692	88.13 - 89.03	Fm. Lisama	Arenisca de grano medio a grueso

Fuente: Datos del Estudio

La medición de espesores se llevó a cabo en los sinclinales de Armas y Nuevo Mundo, puesto que no se encuentran afectados tectónicamente en gran parte de la secuencia.

La medición de espesores se realizó mediante levantamiento de poligonales abiertas, a lo largo de quebradas y vías que exponen la sucesión estratigráfica. Se definió iniciar el levantamiento de la sección estratigráfica desde la base de la Formación Umir de edad Maestrichtiano, localizando en lo posible el contacto normal y neto con el techo de la Formación La Luna; evitando saltos estratigráficos y contactos fallados. Así mismo, se determina medir la secuencia de las rocas depositadas durante el Paleógeno y Neógeno, ya que es indicadora de la posible carga litostática, acumulada en la cuenca durante la formación de los carbones y generación de gas en la Formación Umir.

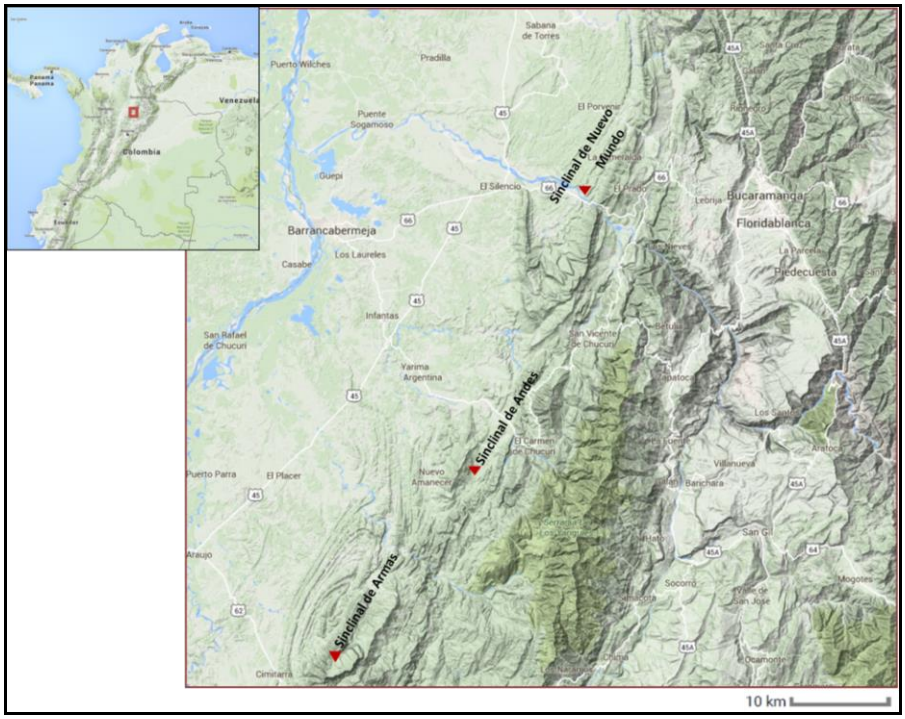


Figura 51. Localización de los sinclinales trabajados para el muestreo y la medición de espesores de unidades estratigráficas.

El muestreo para análisis de huellas de fisión se realizó a lo largo de las secciones levantadas en niveles arenosos, especialmente aquellos que tienen tamaño de grano arena media y en los núcleos de perforación realizados en el marco de este proyecto del Grupo de Recursos Energéticos, sobre la unidad de interés, en niveles de areniscas de más de 15 cm de espesor. Adicionalmente, se tomaron muestras de mantos y cintas de carbón en superficie y en pozo, a fin de realizar los análisis de reflectancia de vitrinita e isotopos estables de carbono.

El trabajo de campo se desarrolló principalmente en los municipios de Landázuri, El Carmen de Chucurí y Sabana de Torres, departamento de Santander. En la Figura 5 se indica la geología para cada sinclinal con las secciones trabajadas, de acuerdo a lo descrito a continuación:

La poligonal medida para determinar el espesor de la Fm. Umir, se realizó a lo largo de la Quebrada La Lechera, en el Sinclinal de Armas, flanco oriental (Figura 52); entre las coordenadas:

- E: 1033959 N: 1183863
- E: 1031100 N: 1185200

La Fm. Lisama, fue medida al sur del mismo sinclinal a lo largo de la Quebrada Armera, entre las coordenadas:

- E: 1025529 N: 1186463
- E: 1027140 N: 1189634

En el Sinclinal de Los Andes se llevó a cabo el muestreo, a partir de las perforaciones y de puntos de control en superficie, para la zonas relacionadas al sistema de fallas de la Salina, la cual tiene una importante influencia sobre las unidades que conforman este sinclinal y posiblemente en la acumulación del gas metano en los carbones.

La secuencia de unidades suprayacentes a la Formación Lisama, que comprende las formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Grupo Real; fue medida en el Sinclinal de Nuevo Mundo, flanco oriental (Ver Figura **5**52**Figura 5**), a lo largo de la vía que conduce al corregimiento Uribe-Uribe a Sabana de Torres; entre las coordenadas:

- E: 1082321 N: 1291093
- E: 1069210 N: 1299034

4.1.2 Fase de Laboratorio

Consistió en la preparación y adecuación de las muestras para la ejecución de cada uno de los análisis propuestos dentro del estudio; los procedimientos dependen de cada técnica y se llevaron a cabo en los laboratorios del Grupo de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares y Geocronológicas del SGC.

4.1.2.1 Análisis de isotopos estables de Carbono en carbones y arcillolitas carbonosas

Para el análisis de isotopos estables de carbono se determina la relación $^{13}C/^{12}C$ en carbones y material orgánico en función de un material estándar, con el fin de medir el fraccionamiento isotópico $\delta^{13}C$‰. La composición isotópica del Carbono de la materia orgánica asociada a los carbones o sedimentos, representa la composición isotópica promedio de las plantas en que formaron estos sedimentos. Esto genera una firma isotópica del Carbono que debería mantenerse constante a lo largo del tiempo geológico, sin embargo esta firma puede verse afectada si el material orgánico se somete a temperaturas superiores a 200°C durante el proceso de diagénesis (Kandel, 1964; Koepp, 1979, en Singh *et al*., 2012).

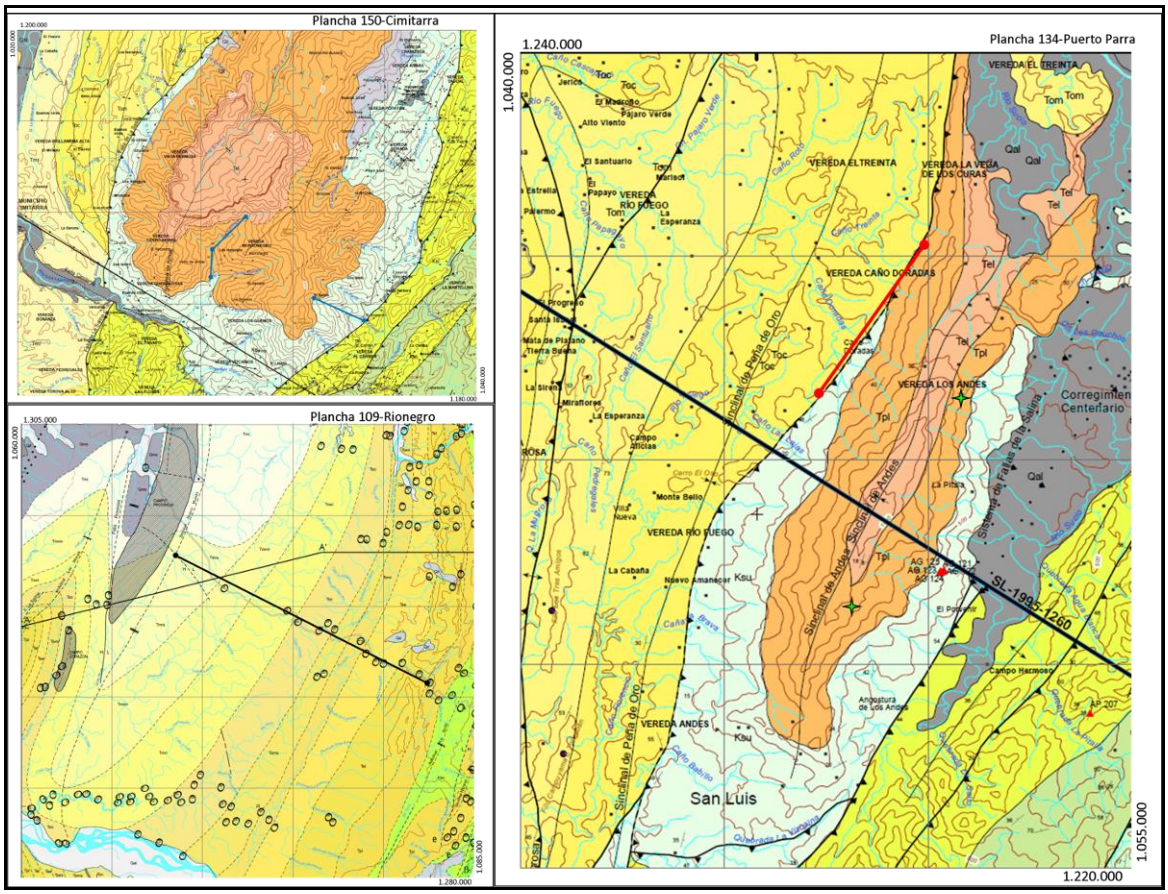


Figura 52. Ubicación geológica de las secciones levantadas para la medición de espesores y muestreo. Sinclinal de Armas (en azul, secciones Q. La Lechera y Q. Armera); Sinclinal de Los Andes (en verde, localización de las perforaciones, en rojo sección a lo largo de la F. de la Salina) y Sinclinal de Nuevo Mundo (en negro, sección de la secuencia Paleógeno-Neógeno).

La metodología para el estudio de isótopos estables consistió en dos partes: la preparación de la muestra y determinación del fraccionamiento isotópico del carbono. La preparación consiste en la pulverización de la muestra, toma de una alícuota de 500mg a la cual se le adiciona ácido clorhídrico 6N durante 2 horas, para la eliminación de los carbonatos presentes, lavado del ácido con agua, hasta neutralizar la muestra, y finalmente secado a temperatura ambiente. Para el análisis se toman 200µg de muestra que son encapsulados en crisoles de estaño.

La segunda parte del análisis consistió en la determinación del fraccionamiento isotópico de carbono ($\delta^{13}C/^{12}C$) por medio de espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS). Una primera fase consiste en la combustión de las muestras a 1020 ºC en un analizador elemental Flash 2000, lo que genera la separación de las especies presentes en gases ligeros, en el caso del carbono se produce dióxido de carbono (CO_2), el cual se separa de otras especies mediante una columna cromatográfica. Éste analizador se

encuentra acoplado, por medio de la interfase ConFlo IV, al espectrómetro de masas de relaciones isotópicas Delta V advantage, en el cual ocurre la separación del C en función de las masas de los isótopos presentes (^{13}C y ^{12}C) en las muestras analizadas y en los gases de referencia.

Los valores de fraccionamiento isotópico reportados fueron calculados de la siguiente forma:

$$\delta^{13}C = \frac{R_{mta} - R_{ref}}{R_{ref}} \times 1000$$

Donde R_{mta} y $R_{ref} = \frac{^{13}C}{^{12}C}$, son las relaciones isotópicas de ^{13}C y ^{12}C en la muestra y en material de referencia.

Los valores de fraccionamiento isotópico reportados fueron calculados con base a la curva de calibración realizada con materiales de referencia certificados adquiridos de la IAEA. Los estándares utilizados fueron: IAEA – LSVEC ($\delta^{13}C$: -46.6‰), USGA - 43 ($\delta^{13}C$: -21.28‰) y NBS – 18 ($\delta^{13}C$: -5.014‰), cada estándar se corrió por triplicado.

4.1.2.2 Análisis de reflectancia de vitrinita

Los análisis relacionados a técnicas termométricas, corresponden a determinación de reflectancia en vitrinita y termocronología. Mediante la caracterización de carbones en el laboratorio del SGC, cuyo procedimiento de preparación se realizó conforme a la Norma ASTM D 2013/D2013M-12; se llevó a cabo el análisis de reflectancia de la vitrinita (Ro) que es la medida más precisa para relacionar la madurez de la materia orgánica con el calentamiento, comúnmente asociado al enterramiento, de tal forma que proveen información sobre la máxima paleo-temperatura alcanzada por las rocas sedimentarias durante el enterramiento y proceso diagenético.

4.1.2.3 Análisis de huellas de fisión

Respecto a los análisis de termocronología las muestras fueron tomadas con fines de datación mediante Huellas de Fisión; el método se basa en la acumulación de fisuras desarrolladas en minerales ricos en uranio (*i.e* apatitos y circones), generadas como resultado de fisión nuclear espontánea de ^{238}U (Fleischer et al., 1975) a temperaturas determinadas; la medición de la densidad de las trazas debidas a la fisión natural permite hacer reconstrucciones de la historia termal de las rocas a través del tiempo geológico (Tagami & O'Sullivan, 2005). La técnica de análisis por huellas de fisión requiere una serie de etapas de preparación rigurosa y detallada; en general se requiere de procedimientos de trituración, molienda y tamizaje posteriormente se inician procedimientos de separación de minerales por métodos de concentración gravimétrica, separación magnética por "Frantz" a diferentes amperajes para seleccionar minerales con baja

susceptibilidad magnética y concentración de minerales pesados mediante el uso líquidos densos; una vez separadas las fases minerales, se elaboran montajes de apatitos en resina epóxica y de circones en porta muestras de teflón a una temperatura de 320°C, posteriormente, los cristales son pulidos con papel lija y pasta de diamante, las muestras son sometidas a un ataque químico para el revelado de huellas espontáneas (naturales): en los circones mediante una solución eutéctica KOH-NaOH a 220°C durante periodos de tiempo comprendidos entre 7 y 24 horas; los apatitos son tratados con una solución de HNO_3 5.5 M a 21°C durante 20 segundos. Por último, las muestras deben ser irradiadas en un reactor para inducir fisión de ^{235}U y así finalmente realizar los análisis y determinación de edades.

Teniendo en cuenta que esta técnica es compleja, se encuentra en ejecución y no se incluye en los resultados del presente informe.

4.2 SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

La reconstrucción de la sección estratigráfica se realiza a partir de las poligonales medidas, en los sinclinales de Nuevo Mundo y Armas, para la estimación del espesor acumulado sobre la Formación Umir (Figura 3).

4.3 ANTECEDENTES

De manera general los estudios térmicos y cronológicos que se han realizado sobre las unidades que conforman el Sinclinal de Los Andes, se encuentran relacionados al Valle Medio del Magdalena y se han enfocado en el estudio de las unidades terciarias por su potencial hidrocarburífero; adicionalmente, la cuenca del Valle Medio representa un importante registro geológico sobre la evolución tectónica de la Cordillera Oriental y Central (Parra *et al*., 2009a, 2009b; Caballero *et al*., 2010 Caballero, 2010). No obstante, en las diferentes localidades de la cuenca se encuentran variaciones en los datos reportados, lo que implica que el marco estructural juega un papel importante para la evolución térmica en determinadas zonas, como lo es para el Sinclinal de Los Andes.

Parra *et al*. (2009), basados en datos termocronológicos de huellas de fisión en circones estiman que para el Paleoceno superior el Anticlinal de los Cobardes estaba emergido, siendo una barrera en la acumulación de sedimentos para las cuencas asociadas al Valle Medio; así mismo, definen para el Eoceno temprano es un periodo de erosión generalizada y generación de la discordancia del Eoceno temprano a medio.

Los análisis de Huellas de fisión para esta zona están enfocados a la definición de la temporalidad para el inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Eoceno tardío - Oligoceno temprano; Asociada a eventos de deformación que inician desde el Paleoceno, evidenciados en la sedimentación de la Formación Lisama (Caballero *et al*., 2010).

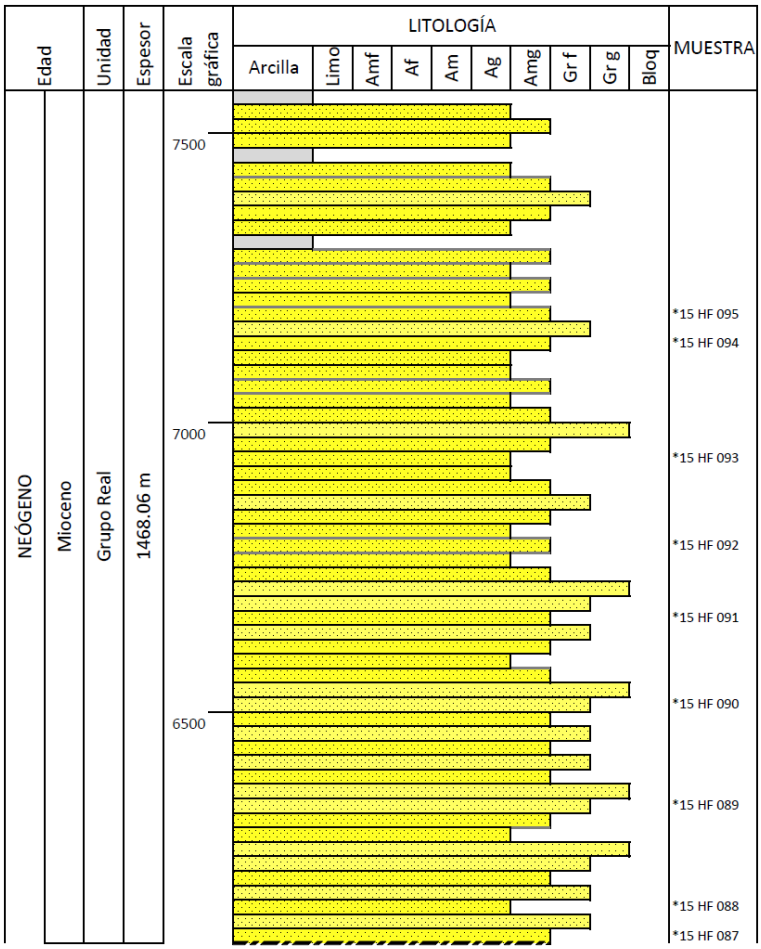


Figura 53. Sección estratigráfica esquemática, para la sucesión que suprayace a la Formación Umir en el área del Valle Medio del Magdalena. Medición de espesores y ubicación de muestras.

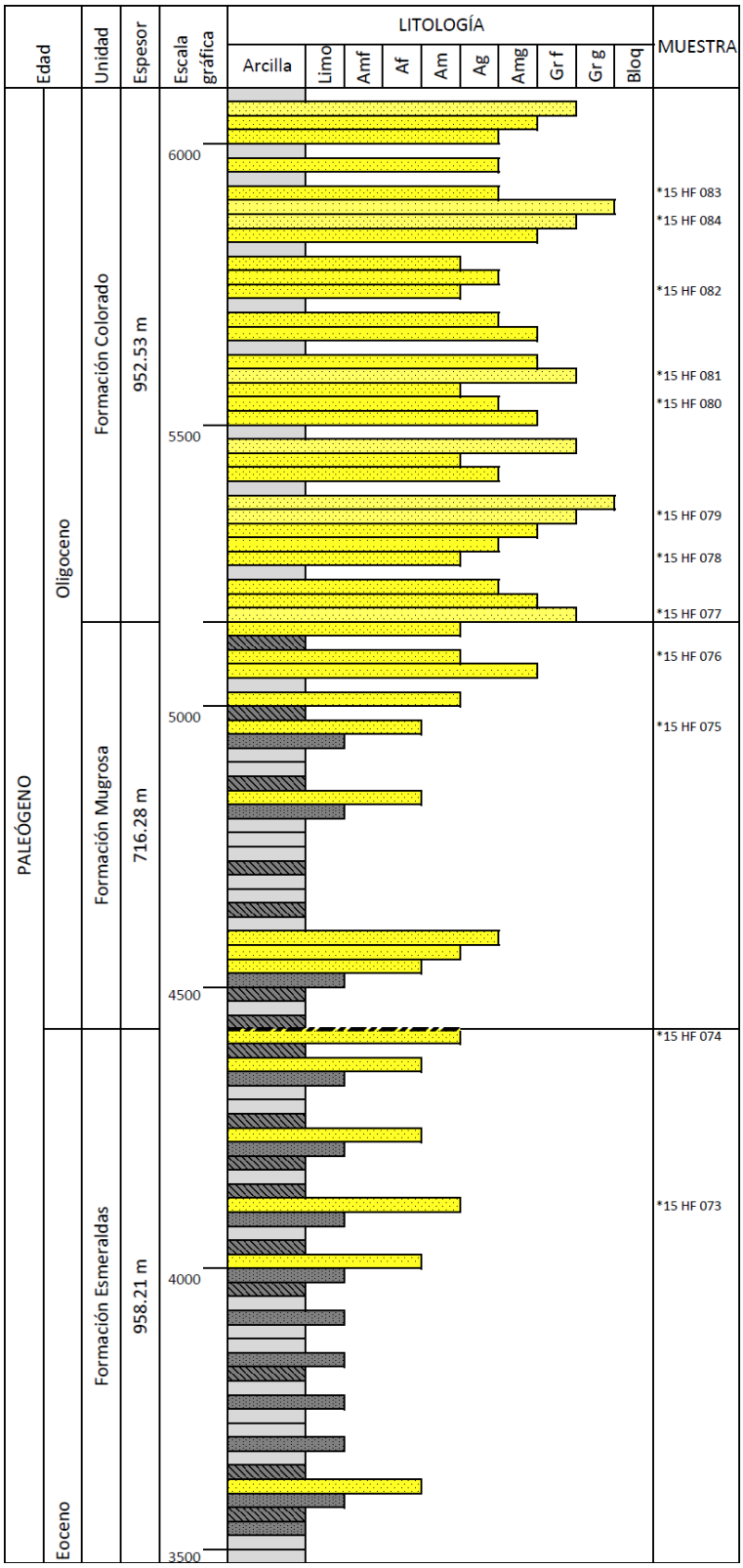


Figura 53 (continuación). Sección estratigráfica esquemática, para la sucesión que suprayace a la Formación Umir en el área del Valle Medio del Magdalena. Medición de espesores y ubicación de muestras.

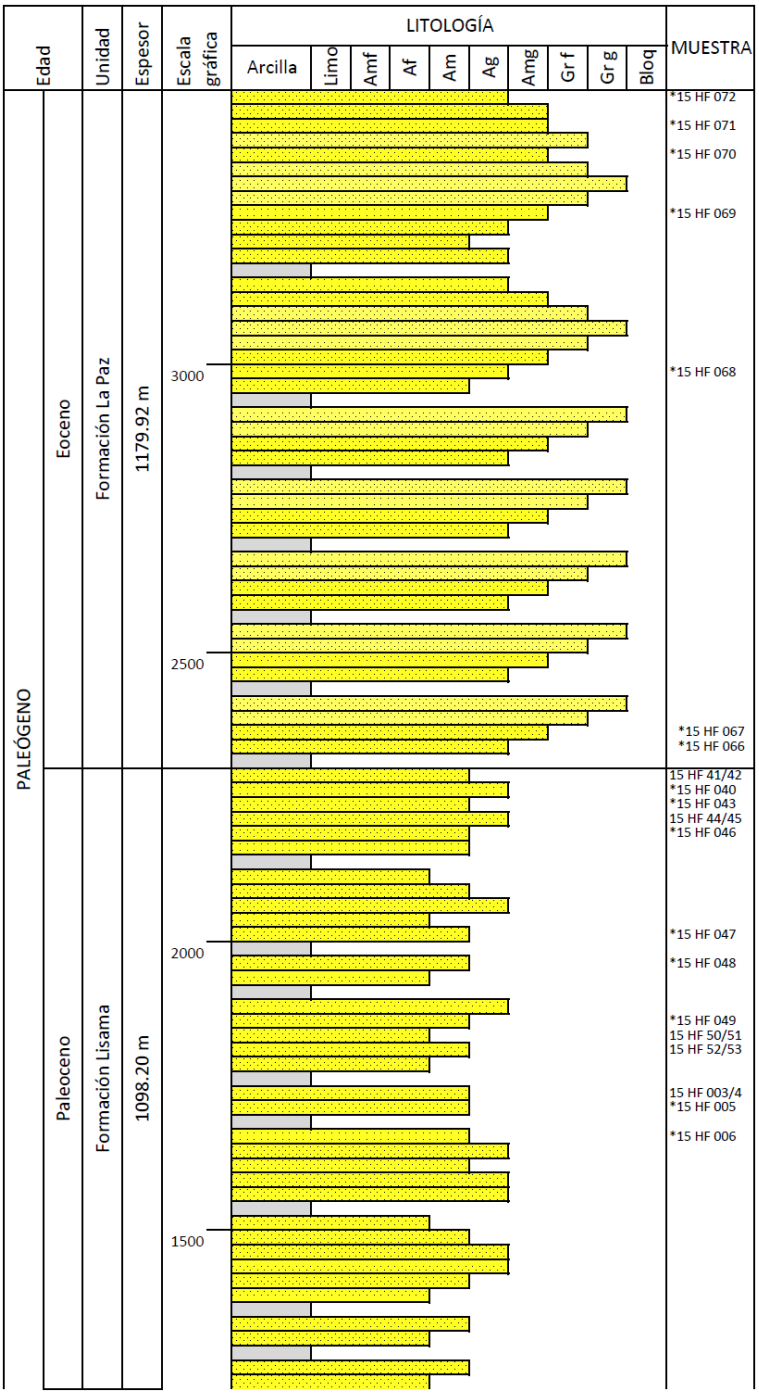


Figura 53 (continuación). Sección estratigráfica esquemática, para la sucesión que suprayace a la Formación Umir en el área del Valle Medio del Magdalena. Medición de espesores y ubicación de muestras.

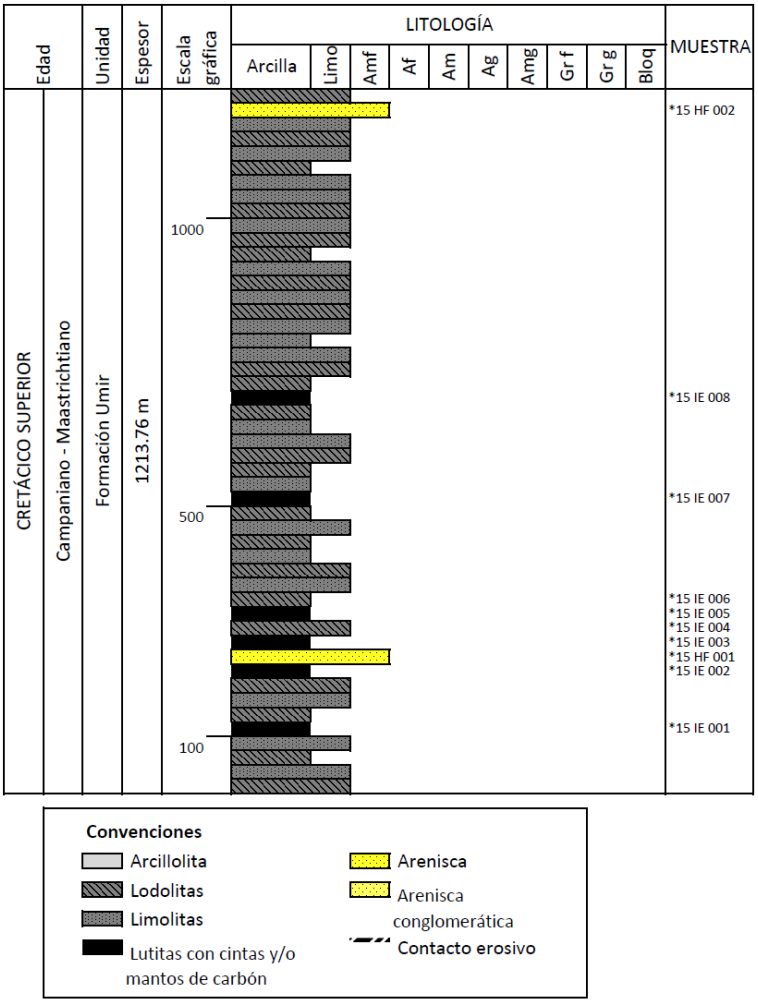


Figura 53. **(Continuación)**. Sección estratigráfica esquemática, para la sucesión que suprayace a la Formación Umir en el área del Valle Medio del Magdalena. Medición de espesores y ubicación de muestras.

4.4 ANÁLISIS DE REFLECTANCIA EN VITRINITA

Las muestras seleccionadas para análisis de reflectancia de vitrinita corresponden a mantos de carbón recuperados del Pozo El Carmen de Chucurí 1 en el Sinclinal de Los Andes y algunas tomadas en superficie. Los valores de reflectancia de vitrinita en materia orgánica, típicamente se encuentran en un rango entre 0.2Ro% para paleo-temperaturas máximas < 30°C y 6Ro% para rocas que han experimentado paleo-temperaturas > 250°C (Barker & Pawlewicz, 1994). Los valores de reflectancia fueron utilizados para calcular la paleotemperatura, usando la calibración Easy Ro de Sweeney & Burnham (1990); asumiendo una taza de calentamiento de 1°C por millón de años (1°C/My).

Los carbones de la Formación Umir en el sector del Sinclinal de Los Andes arrojaron valores de reflectancia entre 0.74 y 1.21 %Ro (Ver Tabla 3), aumentando en función de la profundidad; por lo que se obtiene que para los mantos después de los 200m en el pozo El

Carmen de Chucurí 1, la paleotemperatura calculada es de 120°C y aumenta paulatinamente hasta 157°C para el manto localizado a 494m de profundidad; una arcillolita carbonosa ubicada a 567m tienen un valor de reflectancia de 0.78%Ro equivalente a 126°C.
En el caso de las muestras tomadas en frente de mina, el valor promedio de reflectancia es de 0.75%Ro, indicando una paleotemperatura máxima de 120°C; a excepción de la muestra tomada en la mina Sesenta-2, cuya temperatura calculada es de 150°C, lo que posiblemente representa un manto más inferior dentro de la secuencia de la Formación Umir.

4.5 ANÁLISIS DE ISOTOPOS ESTABLES $^{13}C/^{12}C$

Se realizó la recopilación de 24 muestras de carbón asociadas al área del Sinclinal de Los Andes, 22 de estas corresponden a los mantos de carbón recuperados del Pozo El Carmen de Chucurí 1 (muestras PCCh1:01 a PCCh1:22), y 2 muestras pertenecen al área de la mina de la compañía Centromin (15-IE-10 y 15-IE-11). De las 22 muestras del Pozo El Carmen de Chucurí 1, 21 fueron seleccionadas para el análisis isotópico de carbono como $\delta^{13}C$. La muestra PCCh1:13 no fue analizada ya que esta contiene otras especies de carbono que intervienen, alterando el análisis isotópico, por tanto deben ser eliminadas con un tratamiento durante la preparación antes del análisis, esta técnica se implementara en el Laboratorio.

Las muestras localizadas en la sección estratigráfica como 15-IE-001 a 008, y 15-IE-12 y 15-IE-13, hacen parte de la sección en el Sinclinal de Armas, por lo que los datos no son representativos para el sector del Sinclinal de Los Andes.

Los resultados de fraccionamiento isotópico $\delta^{13}C$, de las muestras del pozo El Carmen de Chucurí 1, varían entre -27.74 ±0.08‰ y -25.20±0.02‰ (ver tabla 4). Las muestras denotan una leve tendencia decreciente, donde los valores más negativos de $\delta^{13}C$ se encuentran en la parte superior del Pozo, por ende de la columna estratigráfica, y los valores menos negativos en la parte inferior, con una variación del valor de $\delta^{13}C$ de 2.54‰. Estos datos se encuentran dentro del rango típico de $\delta^{13}C$ para muestras de carbones y no muestran un corrimiento de la firma isotópica (Ver Figura 4), por tanto su interpretación permite hacer relaciones de las condiciones paleoambientales bajo las cuales se formaron las turbas que dan lugar a estos mantos de carbón de la Formación Umir. Los datos isotópicos de Carbono indican que la materia orgánica deriva de una fuente terrestre, principalmente en ambientes húmedos, asociados a zonas de inundación aluvial y pantanos; a partir de una vegetación principalmente del tipo C3 que corresponden a plantas arbóreas.

Tabla 3. Reflectancia de vitrinita y paleotemperatura calculada para muestras de carbón de la Formación Umir, tomadas en pozo y frente de mina del Sinclinal de Los Andes.

CARBONES FORMACIÓN UMIR - POZO CHUCURÍ 1				
I.D Muestra		**Profundida (m)**	**%Ro.**	**Paleotemperatura (°C)**
68235902008	PCCh1:01	181.14 - 181.95	0,76	123
68235902009	PCCh1:02	200	0,82	130
68235902010	PCCh1:03	207,45	0,74	120
68235902011	PCCh1:04	207.45 - 208.28	0,76	123
68235902012	PCCh1:05	244,5	0,78	126
68235902013	PCCh1:06	247,5	0,8	128
68235902015	PCCh1:08	264,4	0,85	133
68235902016	PCCh1:09	278.12 - 278.53	0,87	135
68235902017	PCCh1:10	285.83 - 286.38	0,86	134
68235902018	PCCh1:11	286.95 - 287.4	0,85	133
68235902019	PCCh1:12	290.55 - 291.05	0,86	134
68235902020	PCCh1:13	310.98 - 311.41	1,03	146
68235902021	PCCh1:14	414.71 - 415.22	1,12	151
68235902022	PCCh1:15	459.27 - 459.87	1,1	150
68235902023	PCCh1:16	460.82 - 461.21	1,09	149
68235902024	PCCh1:17	465.9 - 466.2	1,09	149
68235902025	PCCh1:18	470.57 - 470.77	1,18	155
68235902026	PCCh1:19	478.59 - 478.95	1,16	154
68235902027	PCCh1:20	494.43 - 494.63	1,21	157
68235902028	PCCh1:21	567.24 - 567.49	0,78	126
68235902029	PCCh1:22	575.76 - 573.12	0,88	136
CARBONES FORMACIÓN UMIR - Frente de Mina				
I.D Muestra		**Localización**	**%Ro.**	**Paleotemperatura (°C)**
68235902001	FM:01	Mina Porvenir	0,77	125
68235902002	FM:02 FM:03	Mina Agua Viva 1. Nivel Inf y Sup	0,85	133
68235902003	FM:04	Mina Angosturas 1	0,74	120
68235902004	FM:05	Mina Angosturas 2	0,89	137
68235902005	FM:06	Mina Sesenta 2	1,11	150
68235902006	FM:07	Mina Estrella 2	0,69	113
68235902007	FM:08	Mina Estrella 1	0,66	109

Fuente: Datos del estudio

En gris: arcillolita carbonosa.

Tabla 4. Resultados de isótopos estables de carbono (Fraccionamiento $^{13}C/^{12}C$, $\delta^{13}C$) y su relación con los valores de reflectancia en vitrinita y paleotemperatura calculada para muestras de carbón de la Formación Umir, pozo El Carmen de Chucurí 1 y mina Centromin del Sinclinal de Los Andes (en gris: arcillolita carbonosa). Los valores obtenidos fueron reportados con la estimación de la incertidumbre expandida con un factor de cobertura k=2, para un 95% de confianza.

No. Muestra	$\delta^{13}C$ (‰)			Reflactancia Ro (%)	Paleotemperatura (°C) a tasa de 1cm/My
PCCh1:01	-27,74	±	0,08	0,76	123
PCCh1:02	-25,68	±	0,29	0,82	130
PCCh1:03	-25,97	±	0,04	0,74	120
PCCh1:04	-26,21	±	0,02	0,76	123
PCCh1:05	-26,96	±	0,03	0,78	126
PCCh1:06	-26,04	±	0,03	0,8	128
PCCh1:07	-26,77	±	0,02	--	--
PCCh1:08	-26,25	±	0,04	0,85	133
PCCh1:09	-26,84	±	0,10	0,87	135
PCCh1:10	-25,95	±	0,04	0,86	134
PCCh1:11	-26,73	±	0,07	0,85	133
PCCh1:12	-26,15	±	0,07	0,86	134
PCCh1:14	-26,18	±	0,02	1,12	151
PCCh1:15	-25,88	±	0,04	1,1	150
PCCh1:16	-25,90	±	0,02	1,09	149
PCCh1:17	-26,07	±	0,06	1,09	149
PCCh1:18	-26,67	±	0,14	1,18	155
PCCh1:19	-26,26	±	0,04	1,16	154
PCCh1:20	-25,20	±	0,02	1,21	157
PCCh1:21	-25,53	±	0,07	0,78	126
PCCh1:22	-25,60	±	0,04	0,88	136
15-IE-010	-25,66	±	0,05	--	--
15-IE-011	-25,89	±	0,05	--	--

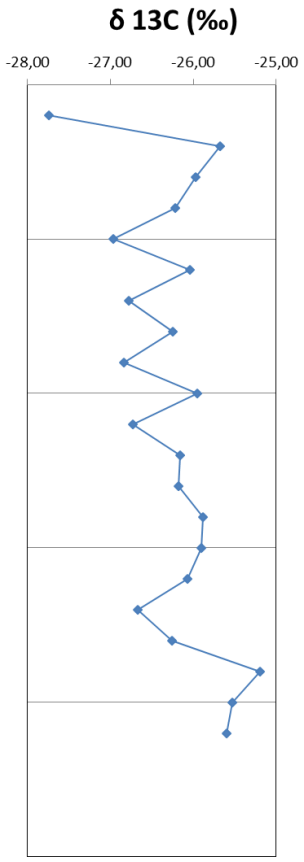


Figura 54. Variación de los valores isotópicos $\delta^{13}C$ muestras de carbón de la Formación Umir, pozo El Carmen de Chucurí1

Lo anterior es coherente con la paleotemperatura estimada a partir de la reflectancia de la vitrinita, donde se estimaron temperaturas menores a los 167°C lo que sugiere la estabilidad del sistema.

En cuanto a la formación de metano, los valores no muestran ningún cambio significativo en el valor de $\delta^{13}C$ en profundidad relacionado con la producción del gas, si se tiene en cuenta que los valores varían por debajo del 5‰ (Sackett, 1978).

4.6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

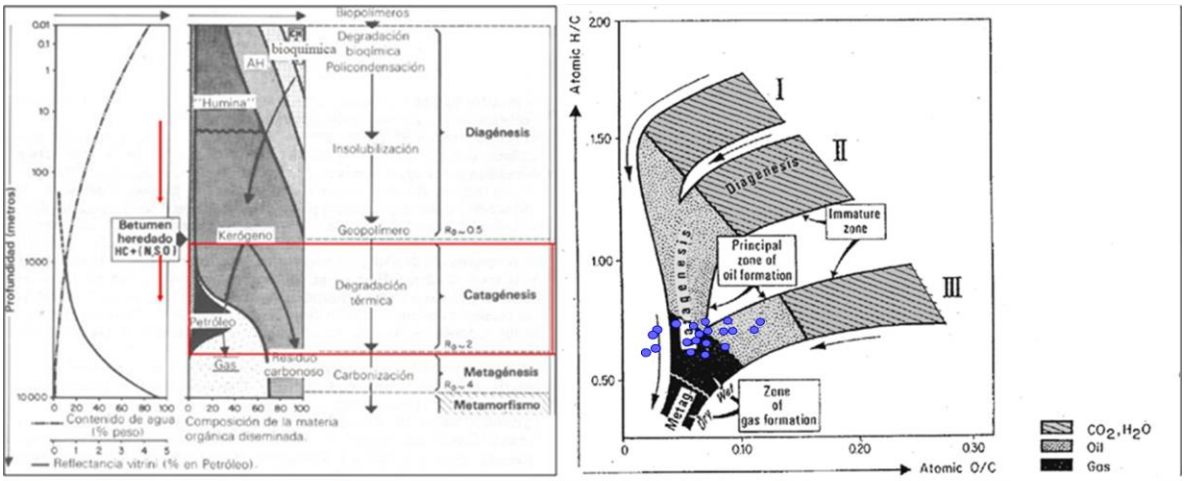
De forma preliminar, la evaluación de reflectancia de vitrinita para los carbones de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, como parámetro térmico permite definir que el grado de madurez de acuerdo con la evolución de la materia orgánica (Ver Figura 5) alcanza la fase de catagénesis; puesto que los valores de %Ro son mayores a 0.5 y las paleotemperaturas superan notablemente los 60°C de temperatura. Teniendo en cuenta lo anterior se asume que el gas metano asociado al carbón no es de tipo biogénico.

En este mismo sentido, para el análisis del tipo de materia orgánica y la definición de los productos generados a partir de esta, la medición de la composición isotópica del carbono de la materia orgánica de los sedimentos, actúan como un biomarcador; ya que aporta información de las condiciones ambientales, climatológicas, tipo y humedad del suelo, en el sitio que se desarrolló la vegetación. Esto se debe a que las plantas incorporan el Carbono como CO_2 (que tiene previamente una firma isotópica de $\delta^{13}C$), debido a los procesos biogénicos que tienen lugar durante la fotosíntesis.

En el caso de las plantas C3, grupo que incluye plantas terrestres de especies arbóreas y arbustivas, la fotosíntesis ocurre en dos pasos: difusión del CO_2 atmosférico a los centros asimilatorios y discriminación por carboxilización. En la carboxilización la enzima RUBISCO prefiere diferencialmente sintetizar el ^{12}C en vez del ^{13}C, lo que produce un enriquecimiento en el isótopo liviano. Este proceso de fraccionamiento biológico del carbono, da lugar a una firma isotópica característica, este caso en promedio $\delta^{13}C$ es de -27‰ (Whiticar, 1996). En el caso de plantas C4, las cuales son principalmente pastos, tienen un valor típico promedio de $\delta^{13}C$ de -12‰. Una vez la materia orgánica es enterrada la firma isotópica se preserva y no se ve fuertemente afectada por los procesos diagenéticos y catagenéticos.

Diversos autores han mostrado que en el caso de los carbones, la variación de la relación isotópica del carbono está limitada a un 5‰, en un rango de $\delta^{13}C$ entre -22‰ y -27‰ (Whiticar, 1996). Sin embargo, procesos en donde se presenten temperaturas mayores a 200°C pueden afectar la firma isotópica generando corrimientos de la relación isotópica (Kandel, 1964; Koepp, 1979, *en Singh et al*., 2012), por enriquecimiento del isotopo más pesado. Por ejemplo, si se alcanza la isoterma de desorción del metano, ocurre que las moléculas de metano ligadas al ^{12}C se adsorben más rápidamente que las moléculas de metano asociadas al ^{13}C (Whiticar, 1996), por tanto el metano tiene una firma isotópica de $\delta^{13}C$ fuertemente negativa, en el rango de -45‰ y -61‰.

De manera complementaria el análisis sobre los resultados geoquímicos, e isotópicos en carbones y la cromatografía del gas asociado permite realizar interpretaciones a cerca del tipo de Kerógeno que basados en la clasificación de Tissot y Durand (1974), corresponde a Tipo III, que proviene principalmente de restos de plantas de ambiente continental y es favorable para la generación de carbón y/o gas. Sin embargo, al realizar una correlación entre las relaciones atómicas H/C - O/C para el carbón y el gas asociado, a fin de establecer la evolución del Kerógeno con respecto a la gráfica de Van Krevelen (Ver Figura 4), las relaciones atómicas en el gas a partir de la cromatografía no son representativas del Kerógeno, ya que los valores en promedio para H/C - O/C, se encuentran por debajo de 0.2. Esta misma relación se analizó a partir de los análisis fisicoquímicos de los carbones, cuyos valores son representativos del kerógeno, indicando que la mayoría de los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de formación de carbones y de la generación de gas húmedo en la fase de catagénesis tardía hacia la metagénesis; sugiriendo que las condiciones físicas y geológicas de la cuenca sedimentaria fueron adecuadas para el proceso de maduración y por tanto para la formación de gas, en donde el gas húmedo contiene una proporción creciente de metano.



Tipos de Kerógeno	I	II	III	IV
H/C	1.9 a 1.0	1.5 a 0.8	1.0 a 0.5	0.6 a 0.1
O/C	0.1 a 0.02	0.2 a 0.02	0.3 a 0.02	0.3 a 0.01
Fuentes	Marino, Lacustre, terrestre.		Terrestre y reciclado	

Figura 55. Esquema general de evolución de la materia orgánica. Diagrama de Van Krevelen de evolución del Kerógeno y su clasificación química respecto a la composición elemental.

5. CARACTERIZACIÓN DE CARBONES

Este capítulo se desarrolló en colaboración con el grupo de Laboratorio de caracterización y procesamiento de minerales y carbones, de la Dirección de Laboratorios del SGC, integrado por los profesionales Químicos: Maribel Barajas Q, Manuel Hernando Romero, Víctor Daniel Ballén y el Ingeniero Químico Billy Alexander Rodríguez.

Se presenta y se discute la composición y el comportamiento de los carbones de acuerdo con los resultados de los análisis químicos, físicos y petrográficos, para 29 muestras del área El Carmen de Chucuri en el sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes, de las cuales 22 corresponden a muestras tomadas de una perforación incluyendo una arcillolita carbonosa y 7 corresponden a muestras tomadas de frentes de mina.

Los diferentes análisis se realizaron bajo las metodologías que están documentadas en los métodos de ensayo de la Dirección de laboratorios del Servicio Geológico Colombiano, basados en las normas internacionales ASTM Volumen 05.06, Gaseous Fuels; Coal and Coke. La Tabla 5, presenta la metodología empleada para los análisis de los carbones.

Tabla 5. Relación de los métodos de ensayos empleados para los análisis.

DETERMINACION	FUNDAMENTO	EQUIPOS	NORMA
DETERMINACION AUTOMATICA DEL ANALISIS PROXIMO (para carbones)	Se determinan los contenidos de humedad residual, materia volátil, cenizas y carbono fijo mediante la pérdida de peso de las muestras después del calentamiento en un ambiente rigurosamente controlado de temperatura, atmósfera, peso y tipo de muestra con un equipo termogravimétrico	Analizador LECO TGA-601	ASTM D 7582-10
DETERMINACION DE VALOR CALORIFICO BRUTO DE CARBON Y COQUE CON CALORIMETRO ISOPERIBOL	Se quema una muestra de carbón, normalmente 1 gramo en una bomba calorimétrica en condiciones normalizadas; se determina el aumento de temperatura producido en el calorímetro y se calcula el poder calorífico bruto a volumen o presión constante conociendo la capacidad calorífica efectiva del sistema y efectuando las correcciones termoquímicas necesarias.	Calorímetro Isoperibol PARR 6200. Calorímetro LECO AC 600. Balanza Analítica SARTORIUS.	ASTM D5865-11a

Tabla 5 (Continuación). Relación de los métodos de ensayos empleados para los análisis.

DETERMINACION	FUNDAMENTO	EQUIPOS	NORMA
DETERMINACIÓN DE AZUFRE TOTAL EN CARBÓN Y COQUE MÉTODO DE COMBUSTIÓN A ALTA TEMPERATURA Y DETECCIÓN INFRARROJO	La muestra se quema en un horno tubular a una temperatura mínima de 1350 °C, en una corriente de oxígeno para oxidar el azufre. La humedad y las partículas se eliminan del gas por medio de trampas de perclorato de magnesio anhidro. La corriente de gas pasa a través de una celda en la cual el SO_2 formado se mide en un detector de absorción infrarroja	-Analizador de Azufre LECO S-144 Balanza -Analítica SARTORIUS, con interface	ASTM D4239 – 12a
DETERMINACIÓN DEL INDICE DE HINCHAMIENTO LIBRE DE CARBÓN	Es un ensayo a pequeña escala, para obtener información sobre las propiedades de hinchamiento libre del carbón. El método se emplea como un indicativo preliminar de las características plásticas de un carbón.	Horno eléctrico Controlador eléctrico Balanza analítica Cabina de extracción	ASTM D720 – 91 (REAPROBADA 2010)
DETERMINACION DE INDICE DE MOLIENDA POR MOLINO HARDGROVE	La muestra a analizar, recibe una cantidad definida de energía de molienda en un mini pulverizador y el cambio en tamaño del producto pulverizado se determina por tamizado. La consistencia de tamaño resultante se emplea para producir un índice relacionado con la facilidad de molienda (Índice de molienda Hardgrove, IHG).	Triturador Rotap Molino Hardgrove Tamices Estándar Estufa de Secado Balanza Analítica	ASTM D409 / D409M – 11aε1
DETERMINACIÓN INSTRUMENTAL DE CARBONO, HIDRÓGENO Y NITRÓGENO	La conversión del carbono, hidrógeno y nitrógeno en sus gases correspondientes a (CO_2, H_2O, y NOx) se produce durante la combustión de la muestra a una temperatura elevada cercana a 950ºC en atmósfera de oxígeno. Los productos de combustión que pueden interferir con el análisis de gases en la posterior se eliminan. Óxidos de nitrógeno (NOx) se reducen a N_2 antes de la detección. El carbono dióxido vapor de agua y nitrógeno elemental en la corriente de gas están determinados por los procedimientos de detección instrumentales apropiados. El método de detección para C e H es por absorción infrarroja y para N por conductividad térmica.	Analizador LECO TruSpec CHN. Balanza Analítica, con interface integrada al analizador LECO.	ASTM D5378-08

Tabla 5 (Continuación). Relación de los métodos de ensayos empleados para los análisis.

DETERMINACION	FUNDAMENTO	EQUIPOS	NORMA
DETERMINACION DE FORMAS DE AZUFRE EN CARBÒN ASTM D2492 – 02(2007) (AZUFRE PIRITICO,AZUFRE SULFATO Y AZUFRE ORGANICO)	Este método provee una separación del azufre asociado al carbón en dos formas comúnmente reconocidas: pirítico y sulfato. Extracción con ácidos y determinación por absorción atómica (azufre píritico) y gravimetría (azufre sulfato) respectivamente. El azufre orgánico se calcula por diferencia	Balanza analítica Plancha de calentamiento eléctrica, con regulador de temperatura. Mufla eléctrica, capaz de mantener la temperatura a 800°C ± 25 °C. Para calcinar el BaSO4. - Espectrofotómetro de absorción atómica.	ASTM D2492-90 D2492 – 02(2007)
DETERMINACION DE GRAVEDAD ESPECIFICA VERDADERA IN HOUSE	La relación de la masa de un volumen de carbón o coque pulverizado, seco y libre de aire, a la de un volumen igual de agua, corresponde a la gravedad específica verdadera. Se determina, mediante pesadas de un balón aforado con agua y luego, con agua más muestra, desplazando el aire de la muestra mediante ebullición. Es esencial el control de la temperatura,	Balanza Analítica. Plancha de calentamiento con agitación	ASTM y D167-93
DETERMINACION HUMEDAD DE EQUILIBRIO	Equilibrar el carbón con humedad relativa del 96% a 30ºC y determinación de la humedad por pérdida de peso. La humedad de equilibrio se considera igual a la humedad de lecho, excepto para algunos carbones de bajo rango, en los cuales la humedad de equilibrio es inferior a la humedad de lecho	Cuarto termostatado a una temperatura de 30°C. Bomba de vacío Agitador mecánico. Estufa de Secado Balanza Analítica	ASTM D1492-93 D1412 - 07
DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES Y MENORES EN CENIZAS DE CARBÓN Y COQUE POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X	El concepto básico para espectrometría es una fuente, una muestra y sistema de detección. La fuente irradia la muestra y el detector mide la radiación de viene de la muestra. Las fuentes más empleadas son los tubos de Rayos X. Los sistemas de espectrometría de FRX. Las cenizas de carbón o coque se obtienen bajo condiciones estandarizadas de ignición hasta peso constante. Las cenizas son fundidas con tetra borato de litio (Li2B4O7) o con un fundente apropiado para obtener una perla. La perla es irradiada por el haz de rayos X a longitudes de onda corta.	Espectrómetro de fluorescencia de rayos X. Balanza Analítica Perladora Estufa de secado Mufla	ASTM D4326-11

Tabla 5 (Continuación). Relación de los métodos de ensayos empleados para los análisis.

DETERMINACION	FUNDAMENTO	EQUIPOS	NORMA
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE MERCURIO TOTAL EN CARBÓN Y RESIDUOS DE COMBUSTIÓN DEL CARBÓN POR COMBUSTIÓN DIRECTA	El calentamiento controlado de una muestra en un medio rico en oxígeno libera el mercurio. La muestra es calentada hasta sequedad en el instrumento y es descompuesta térmica y químicamente. Los productos de descomposición son llevados por una corriente de oxígeno a la sección catalítica del instrumento, en donde la oxidación es completada y los halógenos, los óxidos de azufre y nitrógeno son capturados. El resto de los productos de descomposición son llevados a un amalgamador de oro que atrapa selectivamente el mercurio. La longitud de onda de medición es de 253,7 nm.	Analizador de Mercurio DMA-80 Balanza Analítica SARTORIUS	ASTM D6722 - 11
DETERMINACIÓN MICROSCÓPÍCA DE LA COMPOSICIÓN MACERAL DEL CARBÓN	Reconocimiento de los componentes microscópicos del carbón. Determinación del porcentaje en volumen de los macérales. Las proporciones de estos componentes en una muestra se determinan por observación de un número estadísticamente adecuado de puntos y se reportan como los porcentajes representativos de cada uno.	Microscopio con platina mecánica e iluminador provisto de un conjunto de objetivos que permitan la resolución de objetos del orden de 1 a 2 µm. Disco ocular puede tener una retícula en arco o un diseño de cuatro puntos visibles, ubicados en los vértices de un cuadrado que cubre casi todo el campo de visión. Platina mecánica -Contador capaz de almacenar el conteo de por lo menos seis componentes macérales.	ASTM D2799 – 11
DETERMINACIÓN MICROSCÓPÍCA DE REFLECTANCIA DE LA VITRINITA EN ESPÉCIMENES PULIDOS DE CARBÓN SEGÚN NORMA ASTM D2798 – 11a	La reflectancia del maceral vitrinita es determinada por iluminación de una superficie pulida de carbón en aceite de inmersión, usando un sistema microscópico que fotométricamente mide la cantidad de luz reflejada de la superficie	Microscopio petrográfico Lietz ORTHOPLAN. Polarizador e Iluminador. Tubo Fotomultiplicador. Amplificador del Fotómetro. Registrador o medidor. Fuente de Luz. Filtros. Diafragma de Apertura Prensa Niveladora de Muestras	ASTM D2798-11a

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

5.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

En la zona de estudio se colectaron 31 muestras de diferente tipo de material entre carbones, respaldos, 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 6); las cuales se diferencian así:

Tabla 6. Número y tipo de muestras obtenidas en el área de estudio El Carmen de Chucuri para análisis fisicoquímicos

Sector	Perforaciones						Frente de minas			Total
	El Carmen de Chucurí-1			El Carmen de Chucurí-2						
	Carbón	Respaldos	Arenitas	Carbón	Respaldos	Arenitas	Carbón	Respaldos	Intercalaciones	
Flanco Oriental Sinclinal de Andes (FESA)	21	1					7			29

Fuente: Datos del estudio

De estas 31 muestras, 29 fueron objeto de análisis fisicoquímicos en el laboratorio de carbones del Servicio Geológico Colombiano (28 de carbón, 1 respaldo).

Para la interpretación de las diferencias del comportamiento, origen, utilización y definir su calidad en los procesos de transformación de un área carbonífera, se requiere una completa caracterización fisicoquímica, como se describe a continuación:

En el Anexo B, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de las diferentes muestras de carbón en base como se analiza (csa), en el Anexo C, en base seca (bs), en el Anexo D, los datos de la estadística aplicada, clasificación bajo la norma ASTM y análisis petrográficos. Con el fin de dar una mejor interpretación a los resultados de los análisis químicos de los carbones, para la discusión de los resultados y la clasificación por rango es necesario convertirlos de la base como se analiza (csa) a la base más adecuada. Las fórmulas de conversión se resumen en el Anexo B. También se estableció el estadístico de coeficiente de correlación lineal entre los parámetros más importantes, (Anexo B); proporciona información sobre la relación lineal existente entre dos variables cualesquiera, dos características de la relación lineal de acuerdo con Erick Lahura (2003).

Se realiza el promedio de los análisis de las 29 muestras, de las cuales 22 son de perforación; que corresponden a 21 muestras de carbón y 1 muestra de arcillolita carbonosa, tales capas de carbón fueron denominadas como Manto M1 la capa de carbón más profunda y sucesivamente hasta Manto M20, como la capa de carbón más superficial, también se muestreo una serie de cintas que se correlacionan con algunos de los mantos identificados en los frentes de mina y afloramientos dando por hecho una disminución en el espesor de estas; las 7 muestras restantes analizadas corresponden a muestras de canal tomadas en frentes de minas. Se realizaron graficas de variación de algunos parámetros con respecto a profundidades entre 181.54m y 572.94m dentro de la

perforación. Las 7 muestras restantes corresponden a frentes de minas ubicadas a lo largo del sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes. Los parámetros estadísticos que se trabajaron fueron: media, desviación estándar y rango. Se resalta que de las 22 muestras de pozo una corresponde a una arcillolita carbonosa.

5.1.1 Análisis Próximo

Se analizan los parámetros de Humedad Residual, Materia volátil, cenizas y Carbono fijo. Como se presenta en la Figura 56, se muestra el promedio de las muestras del área de estudio para estos parámetros.

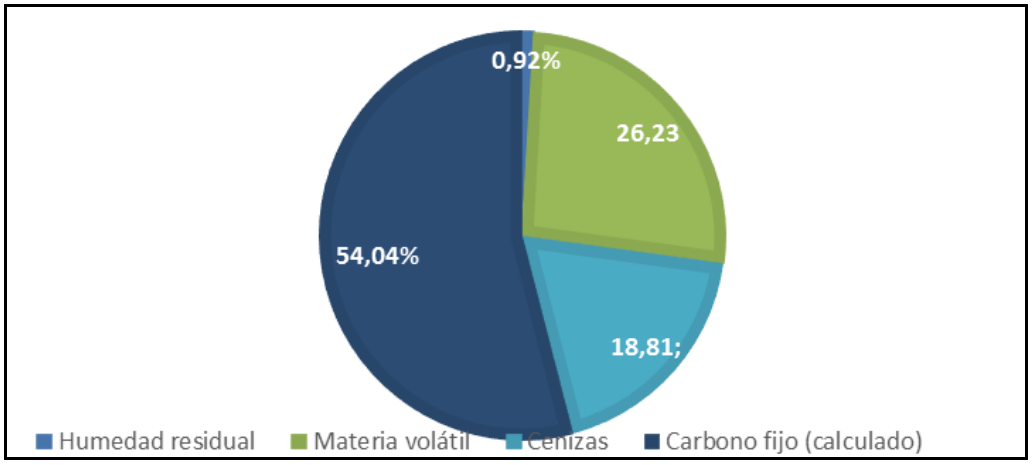


Figura 56. Composición media de análisis próximo de los carbones en estudio en base como se analiza (bca).

De acuerdo con la figura anterior (Figura 56), el contenido de humedad residual promedio es de 0.92 %, al observar los valores de este parámetro en el Anexo B, estos oscilan entre 0.60% y 1.71%; presentándose una baja dispersión en este parámetro. Esta determinación se emplea para el cálculo de las diferentes variables en base seca, y en la evaluación y control de los procesos industriales.

En cuanto al contenido de cenizas, el valor medio es de 18.99% en base seca (Ver Anexo C), El 41% de las muestras presentan contenidos por debajo de este valor hay dos muestras con contenidos mayores a 40% (Ver Figura 57), correspondientes a una muestra de perforación: el manto M13 y una arcillolita carbonosa muestreada a una profundidad entre los 470.57 – 470.77 m. Los contenidos altos de cenizas afectan y limitan la ubicación de los carbones dentro del Sistema Internacional de Clasificación ASTM.

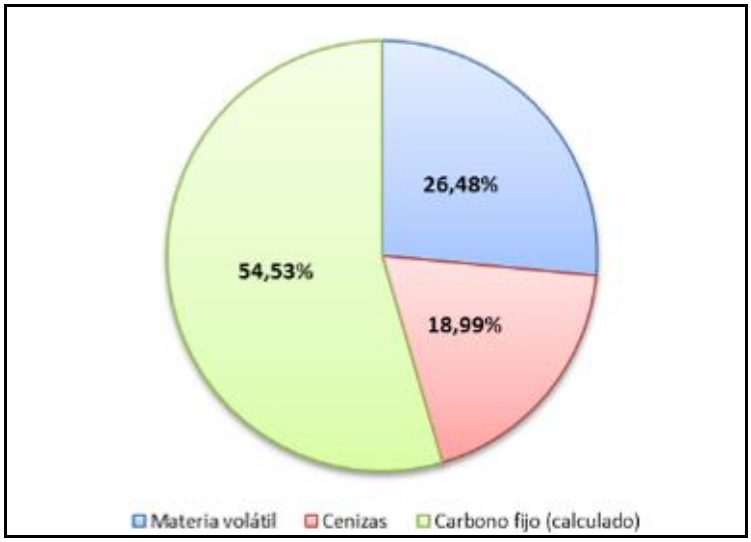


Figura 57. Composición media de análisis próximo de los carbones en estudio en base seca (bs).

La Figura 58, visualiza la variación del contenido de cenizas de acuerdo con los diferentes muestras de carbón tomadas de la perforación realizada, no se observa ninguna tendencia de aumento o disminución su contenido con respecto a la profundidad, se resalta el valor de 44.1% correspondiente al manto M13.

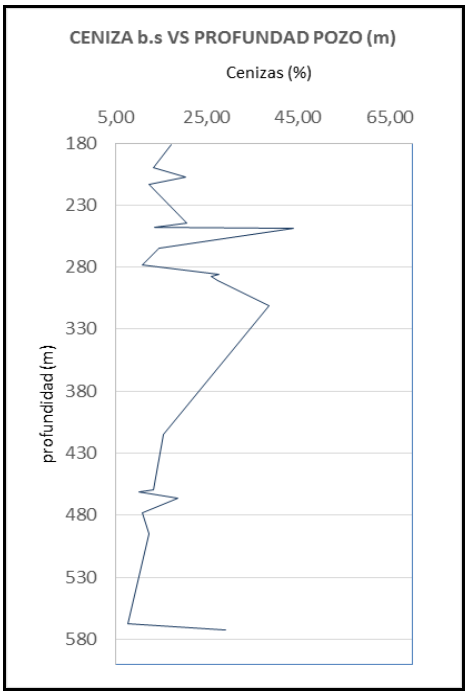


Figura 58. Variación del contenido de cenizas (bs) con la profundidad (m) perforación.

Con respecto al contenido de materia volátil (Ver Figura 59) en los carbones, su determinación tiene importancia en cuanto que es un constituyente que da una indicación de la reactividad y punto de ignición de los carbones. Su composición y contenido varía ampliamente dependiendo del rango del carbón. En el Anexo A, se muestra un rango para la materia volátil que va desde 20.8% – 38.05% en b.s.

El promedio del área de estudio es de 26.99 %. El valor de 20.8% corresponde al manto M13 y el de 38.05% al manto M18 tomado de un Frente de Mina.

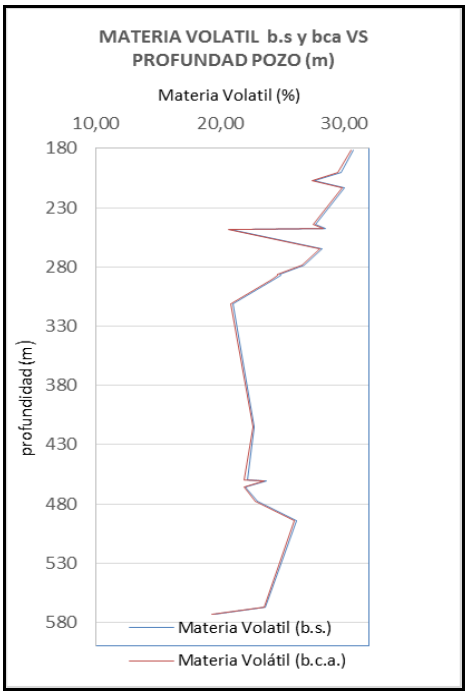


Figura 59. Variación del contenido de materia volátil: (bca), (bs) y blmm con la profundidad (m) de la perforación.

Como se observa en la Figura 59, se nota una leve disminución del contenido de materia volátil desde el punto más superficial de la perforación hasta los 572 m, lo cual indica un ligero aumento de grado de carbonificación.

En la taba 16, se aprecia la tabla de clasificación de carbones por las normas ASTM, y se identifica que cuando se expresa el contenido de materia volátil seca libre de materia mineral, estos contenidos aumentan considerablemente si se tienen los valores altos de materia mineral.

Con respecto al carbono fijo es empleado para clasificar los carbones según el rango de clasificación ASTM, cuando el contenido de carbono fijo está por encima del 69% en base seca libre de materia mineral. Este valor también se emplea en los procesos térmicos para determinar la eficiencia en el quemado del carbón.

Teniendo en cuenta los análisis próximos y el análisis de sus comportamientos con la profundidad de los mantos a continuación se presenta la Tabla 7, con las muestras que reportaron mayores contenidos de gas metano con el fin de correlacionarlos con los análisis anteriormente expuestos.

Tabla 7. Principales análisis fisicoquímicos en las muestras de mayor contenido de metano

No	No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra	Manto	Espesor (m)	Cz (%) bs	MV (%) bs	CF (%) bs	St(%) bs	Hr(%) bcsa	Gas total libre de cenizas (Scf/Ton)
1	68235902002	65466	FM:03	1222406	1047782	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Agua Viva 1). Nivel superior	carbón	M2	0.8	8.72	35.61	55.67	0.78	0.99	**21.19**
2	68235902003	65467	FM:04	1224430	1048133	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Angosturas1)	carbón	M18	1.10	25.91	26.08	48.01	1.57	0.87	**20.32**
3	68235902021	E16000450010	PCCh1:14	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:414,71 - 415,22 m	carbón	M5	0.51	15.41	22.74		1.19	0.68	**634.59**
4	68235902022	E16000450011	PCCh1:15	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:459,27 - 459,87 m	carbón	M4	0.60	13.27	22.14	64.59	0.92	1.05	**275.65**
5	68235902023	E16000450012	PCCh1:16	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:460,82 - 461,21 m	carbón	Cinta 5	0.38	10.18	23.67	66.15	2.44	0.64	**377.12**
6	68235902024	E16000450013	PCCh1:17	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:465,90 - 466,20 m	carbón	Cinta 4	0.30	18.52	22.03	59.45	2.40	0.71	**202.12**
7	68235902025	E16000450014	PCCh1:18	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:470,57 - 470,77 m	arcillolita carbonosa	arcillolita carbonosa	0.20	68.27	11.98	19.75	2.13	1.71	**356.16**
8	68235902026	E16000450015	PCCh1:19	1223217	1047060	EL Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:478,59 - 478,95 m	carbón	M3	0.36	10.90	22.98	66.12	1.03	0.63	**661.98**
9	68235902027	E16000450016	PCCh1:20	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:494,43 - 494,63 m	carbón	Cinta 3	0.20	12.32	26.14	61.54	2.46	0.86	**196.56**
10	68235902028	E16000450017	PCCh1:21	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:567,24 - 567,49 m	carbón	Cinta 2	0.25	7.58	23.65	68.77	4.09	0.60	**263.76**
11	68235902029	E16000450018	PCCh1:22	1223217	1047060	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:572,76 - 573,12 m	carbón	Cinta 1	t-b: 0,09c+0,14r+0,13c	29.14	19.46	51.40	2.31	0.94	**374.38**

Fuente: datos del estudio

De acuerdo a la anterior Tabla 7, ordenada de acuerdo a la profundidad de las muestras, la variación en cenizas para las muestras de carbón, está entre 7.58% a 29.14 %, el rango de Materia Volátil entre 19.46% a 35.61 %, Carbono Fijo entre 48.01% a 68.77% y la Humedad Residual entre 0.60% a 1.05%.

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 El Carmen de Chucuri 1 el manto que más registra contenido de metano es el Manto M3 y su contenido de Cenizas es 10.9% y en el caso de los frentes de mina el manto que más registra contenido de metano es el Manto M2 y su contenido de Cenizas es 8.72%, concentrándose los volúmenes en las cintas que están por debajo de los 490.0m de profundidad con cenizas entre 7.58% a 29.14%. De lo anterior se aprecia que la relación entre el contenido de GMAC y las Cenizas es el ideal, puesto que presentan valores muy bajos de Cenizas. Sin embargo la muestra que corresponde a una arcillolita carbonosa registra una importante cantidad de GMAC de 356.16 Scf/ton con un contenido de Cenizas de 68.27%.

5.1.2 Poder Calorífico

Es una de las determinaciones más importantes en los análisis del carbón, principalmente cuando se va a utilizar con fines térmicos. El promedio general del Poder Calorífico en el área de estudio en base seca es 12593 BTU/Lb, con un rango de variación entre 8373 BTU/Lb que pertenece al Manto M13 del pozo de perforación El Carmen de Chucurí 1 y 15089 BTU/Lb, que lo registra el Manto M3 de un frente de mina.

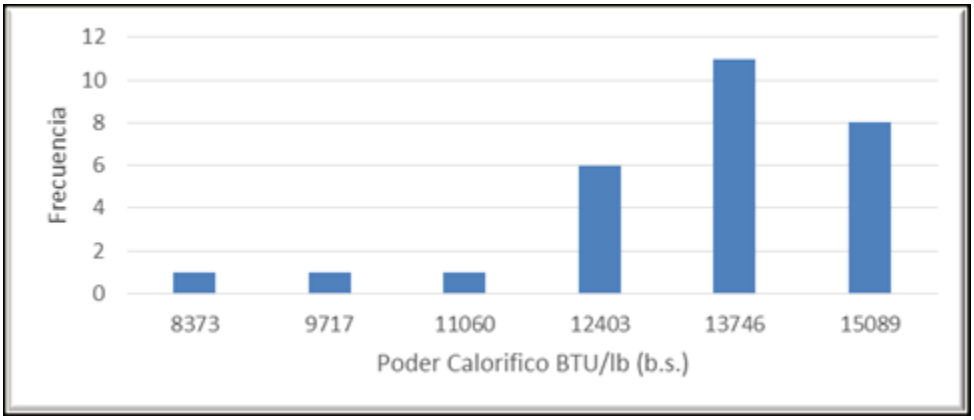


Figura 60. Histograma de valores de Poder calorífico Btu/Lb (base seca).

La Figura 60, muestra el histograma de frecuencia del poder calorífico (Btu/lb) en base seca y como se observa el 60% de las muestras presentan contenidos superiores 12855 BTU/Lb. Realizando un análisis de estos valores con respecto a la profundidad determinada de cada muestra y comparando con la variación de las mismas en cuanto a los contenidos de cenizas, se obtiene la Figura 61.

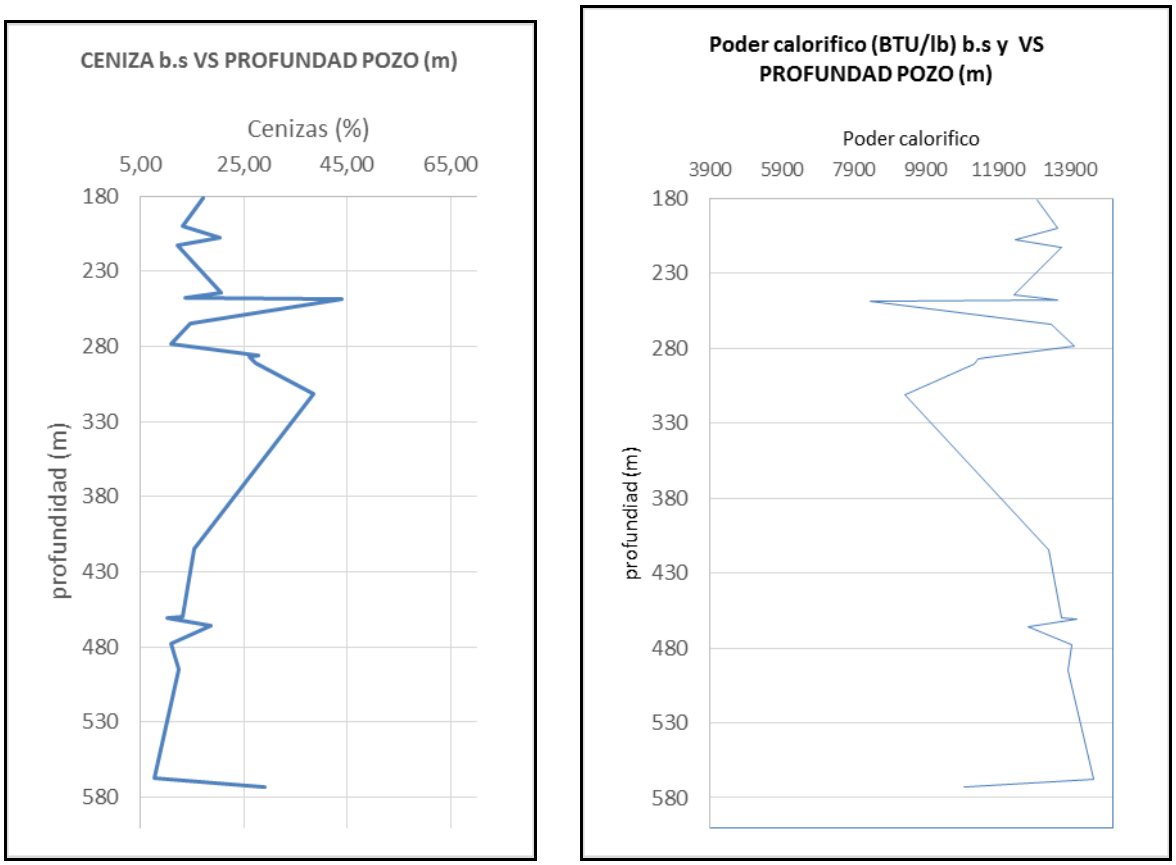


Figura 61. Variación del poder calorífico BTU/Lb con respecto a la profundidad (m) de la perforación en comparación con su contenido de Cenizas (%).

La Figura 61, muestra el comportamiento del valor energético promedio en base seca y libre de materia mineral desde el manto de carbón más superficial de la perforación, hasta el manto de carbón muestreado más profundo de la perforación, los valores de este parámetro están afectados por su contenido de materia mineral, como se observa en la Figura 61, la muestra de carbón Manto M13 tomada a una profundidad de 248.78m que contiene el valor más alto de cenizas un 44.1%, tiene contenido energético de 8373 BTU/Lb. Observando la figura puede verse que no hay una tendencia clara en cuanto a la relación de los valores de PC en blmm y la profundidad de los mantos.

Para el manto M3 del pozo de perforación El Carmen de Chucuri 1, que registra el valor más alto en contenido de gas total libre de cenizas, se observa un valor energético de 13964 Btu/lb. Para el manto M2 muestreado en frente de mina, que registra el mayor contenido de metano, el PC es de 14287 Btu/lb.

5.1.3 Análisis Elemental

Este análisis da la composición elemental del carbón, en términos de su contenido en carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre. Estos elementos no se encuentran como tales en el carbón, sino que forman compuestos orgánicos complejos con grupos aromáticos y alifáticos y también forman parte de la materia mineral del carbón.

El promedio general de carbono incluyendo todas las muestras para el área de estudio en base seca es de 70.88%, con un rango de variación entre 47.45% para el Manto M13 muestra de perforación y 85.46% para el Manto 3 que corresponde a una muestra de Frente de Mina, estas apreciaciones incluyen una arcillolita carbonosa de 0.30m de espesor tomada de la perforación a una profundidad de 470.57 y que registra un valor de 20.22%, (Ver Anexo C).

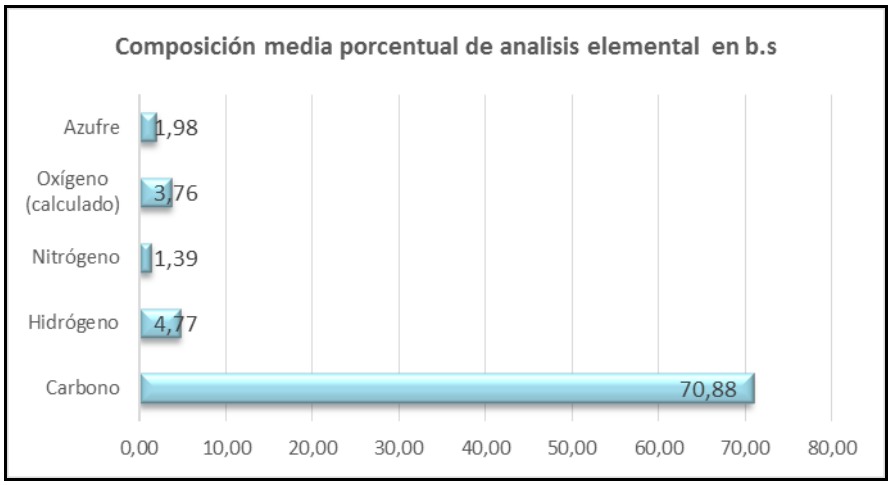


Figura 62 Composición media porcentual, análisis elemental (base seca).

La media del contenido de Hidrogeno en base seca de las muestras analizadas es de 4.77%. El contenido de nitrógeno, esta principalmente asociado a la parte orgánica, desde el punto de vista ambiental es muy importante debido a las emisiones de gases de NOx (Ver Figura 62).

Para el contenido de Nitrógeno, se tiene un valor medio de 1.39%. Los anteriores valores corresponden a carbones de tipo Bituminoso. En la Figura 63, se visualiza una interrelación lineal entre el contenido de hidrogeno, nitrógeno y oxigeno con el contenido de carbono, es una tendencia asociada con el grado de metamorfismo del carbón, ya que a medida que aumenta el contenido de carbono se va aumentando el grado de estructuras cíclicas y aromáticas. El oxígeno puede ser empleado como indicador de rango del carbón, también su contenido refleja un contenido de oxidación; el promedio de este parámetro en base seca es de 3.76%. Hay una relación inversa entre el contenido de oxígeno y el porcentaje de carbono, como se representa en la Figura 63.

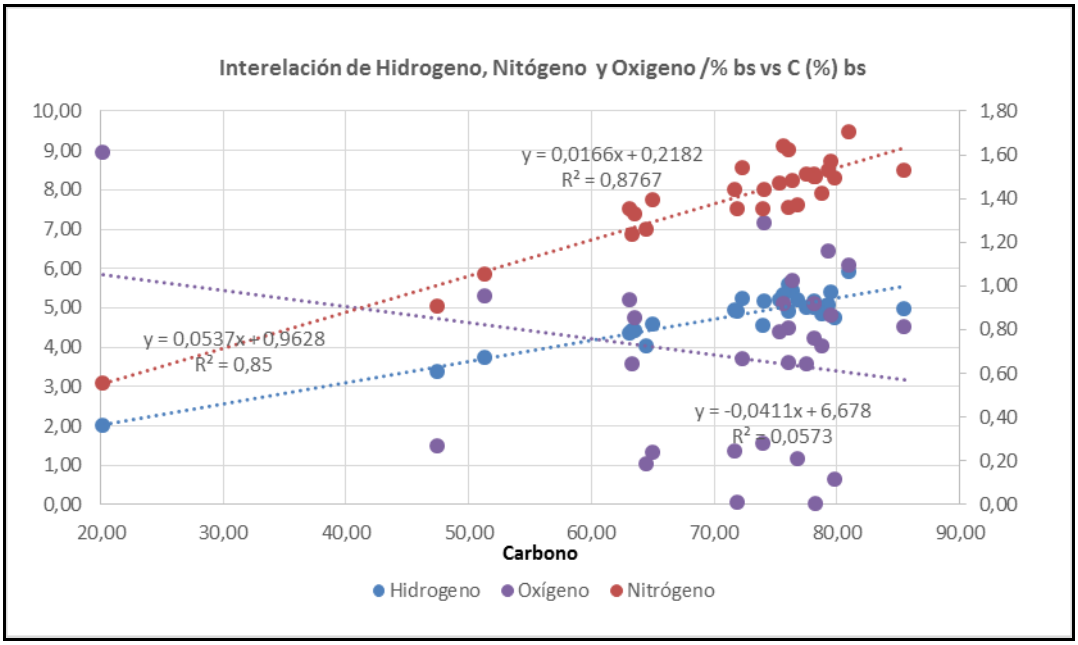


Figura 63. Interrelación entre C % con N %, H % y O % en base seca

Al evaluar el promedio del contenido de C, H, N y O, a través de los diferentes mantos desde el más superficial hasta el manto más profundo, no se logra identificar una tendencia marcada entre los contenidos de estos parámetros con la profundidad de los mantos.

Los datos obtenidos de estos factores para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación se tiene C=78.83%, H= 4.82%, O=4.03, N=1.42%, para el manto M2 tomado de frente de mina se tiene C=79.52%, H=5.40%, O=4.79%, N=1.57 y para la muestra de arcillolita carbonosa se tiene C=20.22, H=2.02, O=8.94, N=0.55.

5.1.3.1 Azufre Total

El contenido de azufre es un parámetro muy importante desde el punto de vista ambiental, es preferible que el contenido sea bajo en el carbón, tanto para el proceso de combustión como de coquización. Es importante para un control efectivo en las emisiones de óxidos de azufre. Como se muestra en el Anexo B, el valor medio es de 1.98 % en base seca y con valores entre 0,59 y 4,11%.

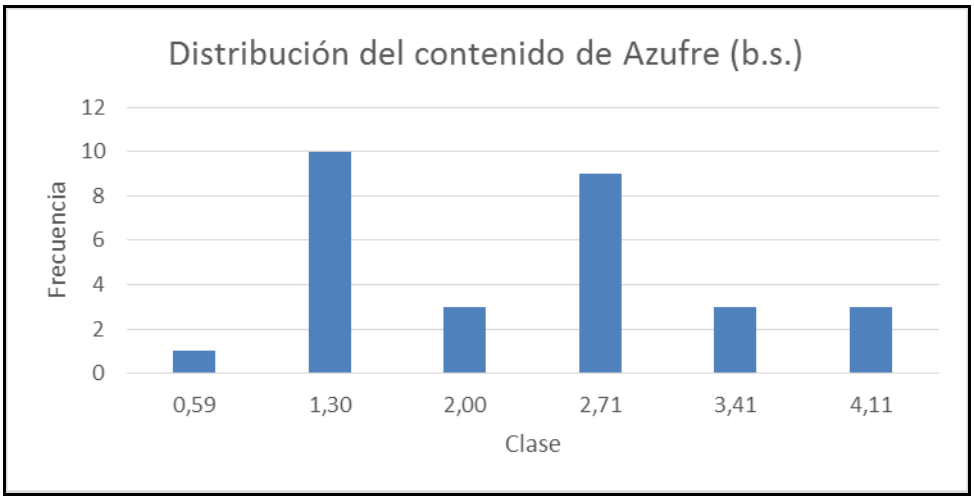


Figura 64. Histograma de la distribución de azufre total, (%) de las muestras analizadas.

En el histograma de la Figura 64, se observa la distribución del contenido de azufre total es relativamente alto ya que solo 11 de los 29 datos están por debajo de 1,50 %. Los datos obtenidos de Azufre total para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación se tiene un contenido de 1.03%, para el M2 tomado de frente de mina se tiene un valor de 0.79% y para la muestra de arcillolita carbonosa se tiene un valor de 2.16%.

En la Figura 65, se visualiza el contenido de cada uno de los parámetros de análisis elemental realizados en el laboratorio; se tiene que con respecto al contenido de carbono se observa una leve tendencia al aumento de este elemento, también se puede observar una medición anómala que interrumpe en gran medida la continuidad de los datos en profundidad y cuyo valor es de 20,00%, este valor corresponde a una muestra de arcillolita carbonosa, que se incluye en la gráfica con el fin de analizar las diferencias de las magnitudes en estos análisis y observar si existe una correlación en los valores de los contenidos de Gas Metano, puesto que esta muestra registra una importante cantidad. El contenido de azufre no muestra ninguna tendencia, debido posiblemente a que este contenido está asociado al contenido de materia mineral de los carbones. Con respecto a los contenidos de Hidrógeno y Nitrógeno, se observa una ligera tendencia de disminución en su contenido con respecto a la profundidad del manto, lo cual es de esperarse a la correlación significativa que se encontró de estos parámetros con el contenido de carbón.

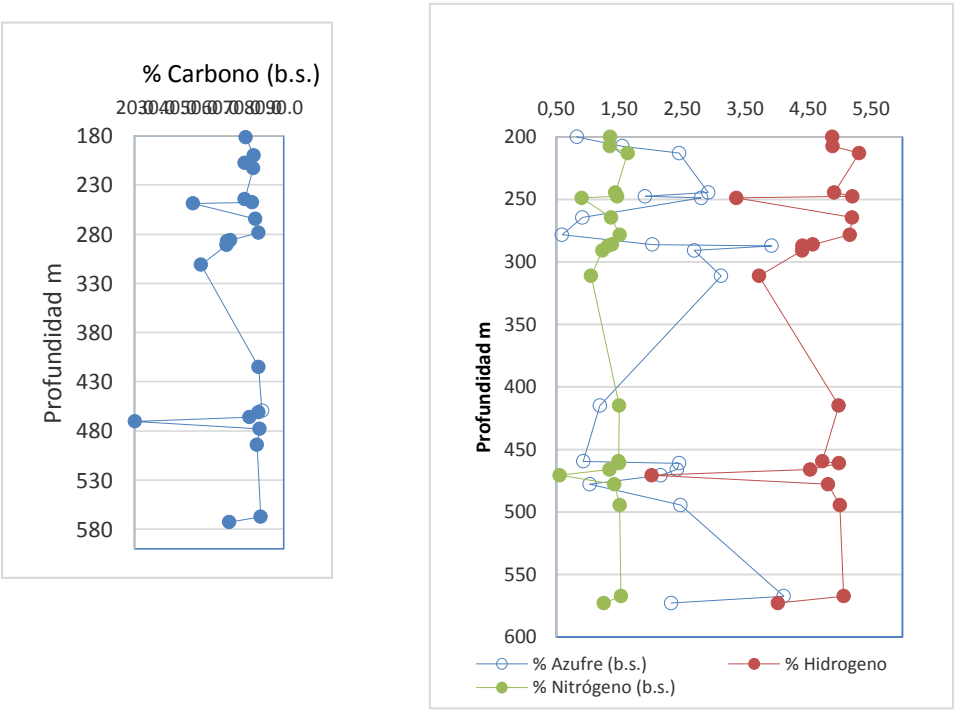


Figura 65. Variación de los contenidos de carbono, hidrogeno, nitrógeno y azufre en base seca con la profundidad (m) de la perforación.

5.1.3.2 Formas de Azufre

La mayoría de las veces, es suficiente con la determinación de azufre total, sin embargo muchas veces este análisis se tiene en cuenta en la determinación del tratamiento que se hace a los carbones cuando se van a trabajar. El azufre pirítico es más fácil de remover. El promedio o media de las muestras analizadas para azufre pirítico en base seca es de 1.08%, donde el valor más alto es de 3,42%, que corresponde a la muestra de una cinta y el valor más bajo es de 0.03% que corresponde al Manto M10, (Ver Anexo C).

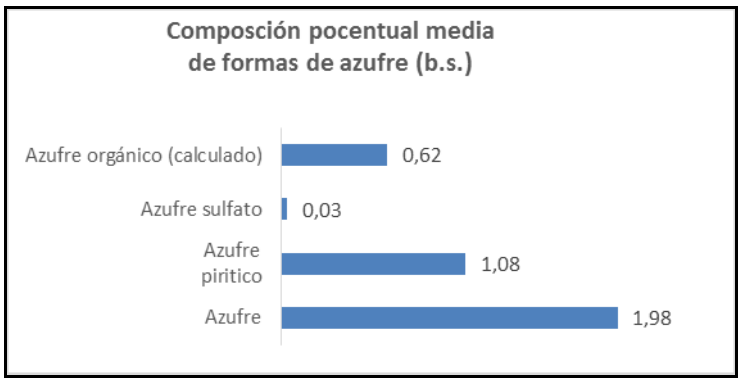


Figura 66. Histograma del contenido de formas de azufre en las muestras estudiadas.

En el histograma de la Figura 66, se observa una relación de tendencia directa entre el contenido de Azufre total y azufre pirítico (sp) indicando que el mayor es más fácil de remover a través de proceso de beneficio.

La importancia de este análisis radica en que al diferenciar el contenido de azufre dependiendo de su forma química, como pirítico, sulfato y orgánico, se identifica características importantes al momento de la combustión de los carbones.

La Figura 67, que se presenta a continuación muestra que entre el azufre sulfato y pirítico hay una correlación directa de 0.98%.

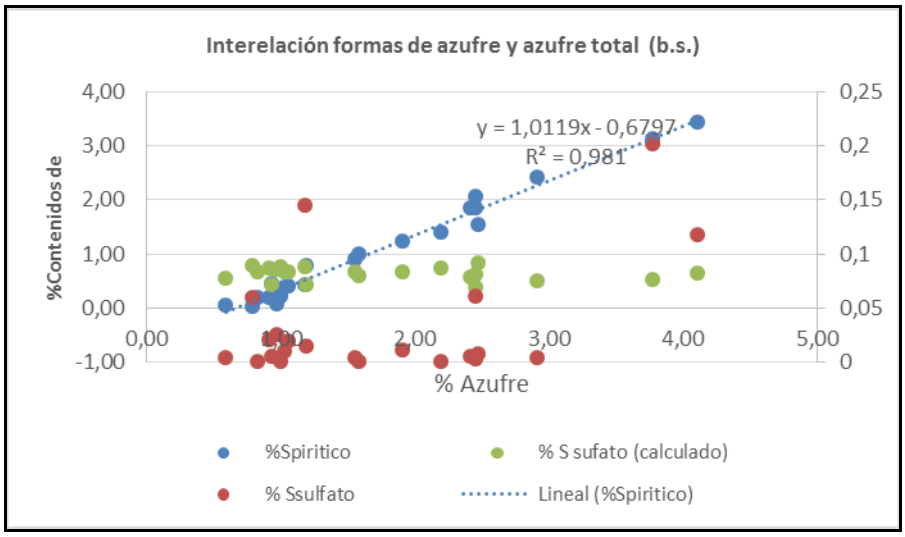


Figura 67. Interrelación entre el contenido de Azufre total y formas de azufre en base seca de los carbones estudiados.

La Figura 68, indica igualmente como con los parámetros anteriores muestra el comportamiento de sus contenidos con respecto a la profundidad de la perforación a través de los diferentes mantos, se observa que no hay ninguna tendencia de aumento o disminución relacionado con la profundidad de la perforación. El contenido de Azufre pirítico registra un comportamiento similar al del azufre total, indicando una interrelación altamente significativa, es decir en una gran proporción el azufre esta como pirita, que por medios gravimétricos sería factible beneficiar, para disminuir su contenido.

Los datos obtenidos de estos factores para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación se tiene: Azufre pirítico=0.37%, Azufre sulfato=0.01% y Azufre orgánico=0.66% y para el manto M2 tomado de frente de mina, se tiene: Azufre pirítico=0.02%, Azufre sulfato=0.00% y Azufre orgánico=0.77%.

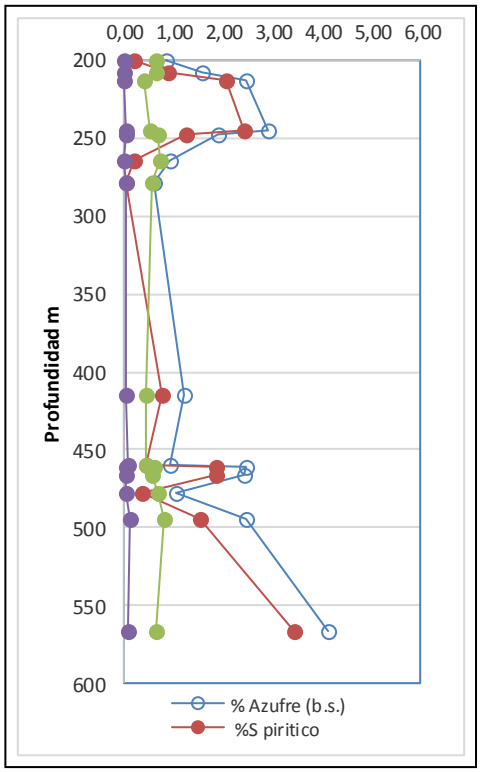


Figura 68. Variación del contenido de azufre total SP y SO seca con la profundidad (M).

5.1.4 Humedad de Equilibrio (HE)

Es aquella humedad que constituye una humedad inherente de la capa de carbón insitu, por cuanto ocurren en su estado natural de formación; se determina como la cantidad de agua en equilibrio contenida en el carbón, en una atmósfera comprendida entre el 96% y el 97% de humedad relativa, a una temperatura de 30°C. Este parámetro se toma como base para la clasificación ASTM cuando se establece por PClmm, para carbones de bajo rango (por debajo 14000Btu/lb).

De acuerdo al Anexo A, la media de HE es de 2.04 %, y un rango entre 1.02 para el manto M10 tomado de la perforación y 6.37 para el manto M8 tomado de la perforación, este último es altamente distante y único de la población de los carbones analizados.

Al representar en la Figura 69, los contenidos de humedad de equilibrio y humedad residual en las muestras a través de la perforación desde la muestra más superficial hasta la más profunda, se puede apreciar una similitud entre ellas con excepción del manto M8 y manto M4 que corresponden a los valores más altos de HE, además no se refleja una tendencia de aumento o disminución de los respectivos contenidos con la profundidad. Con esta relación se puede establecer que existe una alta interrelación entre estas dos determinaciones, que de acuerdo con el grado de metamorfismo en carbones de bajo

rango son altos y a medida que hay un grado mayor de carbonificación estos factores tienden a disminuir.

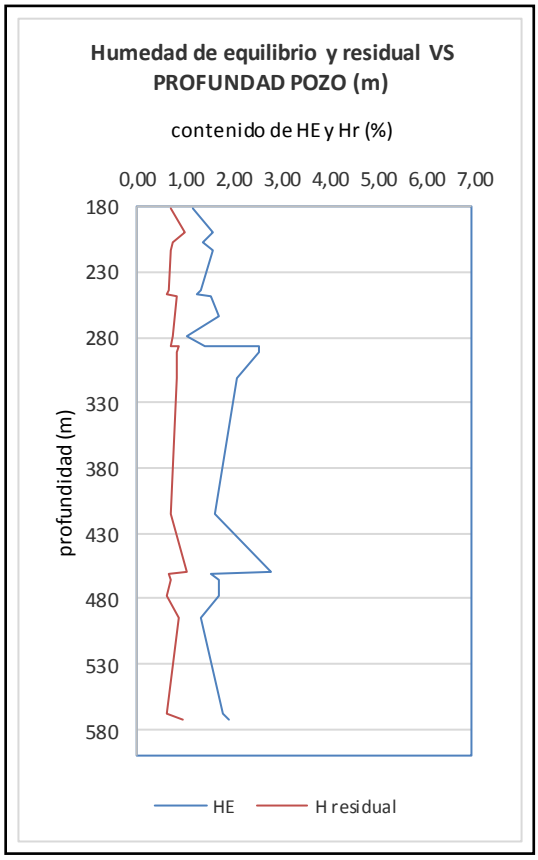


Figura 69. Variación de la media de humedad de equilibrio y humedad residual con la profundidad (m) de los mantos.

Los datos obtenidos de estos factores para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación "El Carmen de Chucuri 1" se tiene: Humedad Equilibrio=1.69%, Humedad Residual=0.63% y para el manto M2 tomado de frente de mina se tiene: Humedad Equilibrio=1.69%, Humedad Residual=0.99%.

5.1.5 Gravedad Específica Verdadera (GEV)

La gravedad específica varía con el rango del carbón y tiene una relación directa con el contenido de cenizas; éste es un parámetro necesario para el cálculo de reservas, para establecer el proceso de lavado de carbones y en el transporte.

Los valores registrados en gravedad especifica verdadera en las muestras analizadas (Ver Anexo A), determinan rangos entre 1.10 a 1.77, con una media de 1.28; estos valores

fueron calculados para las 29 muestras entre frentes de mina y muestras de la perforación realizada.

La Figura 70, establece la interrelación entre la GEV y el contenido de residuo (cenizas) en bca, esta correlación es del 66%, lo cual es estadísticamente significativa. Mientras que con el contenido de matera mineral determinado por microscopia petrográfica, existe una correlación del 55%.

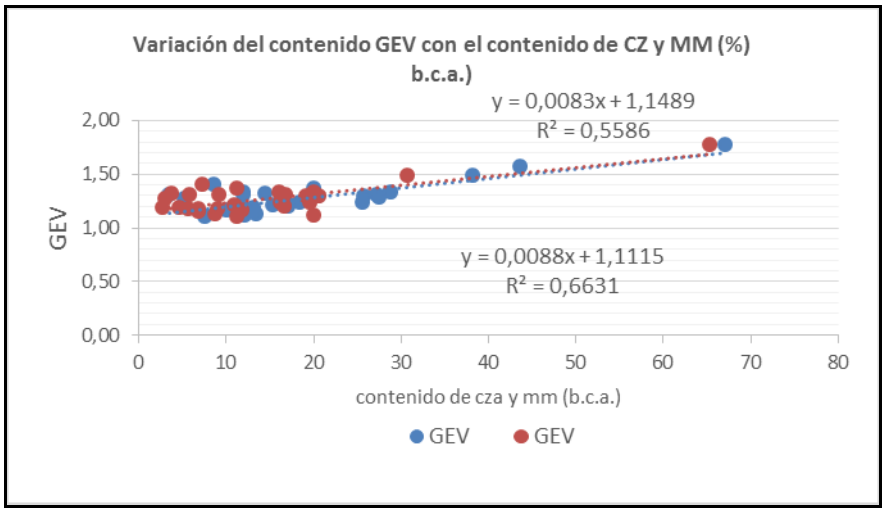


Figura 70. Variación del contenido GEV con el contenido de CZ y MM (%) en bca

Los datos obtenidos de este factor para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación "El Carmen de Chucuri 1" se tiene un valor de Gravedad Especifica Verdadera (GEV) de 1.19% y para el Manto M2 tomado de frente de mina se tiene un valor de Gravedad Especifica Verdadera (GEV) de 1.40%. El mayor valor de Gravedad Especifica Verdadera registrado corresponde a la arcillolita carbonosa, lo cual coincide con su composición.

5.1.6 Índice de Hinchamiento (IH)

Mediante la prueba de índice de hinchamiento libre (IH), que es un ensayo preliminar y cualitativo, se establecen características aglomerantes de los carbones estudiados, que están asociadas con las propiedades plásticas. Los valores presentados en el análisis de índice de hinchamiento (IH) presentan una media de 6.35, siendo carbones aglomerantes, es decir son potencialmente aptos para coquizar.

En la Figura 71, se presenta la relación de este parámetro con las muestras tomadas a diferentes puntos de la perforación. Hay un aumento en las propiedades aglomerantes como se indica y es más evidente a partir de los 330 m de profundidad.

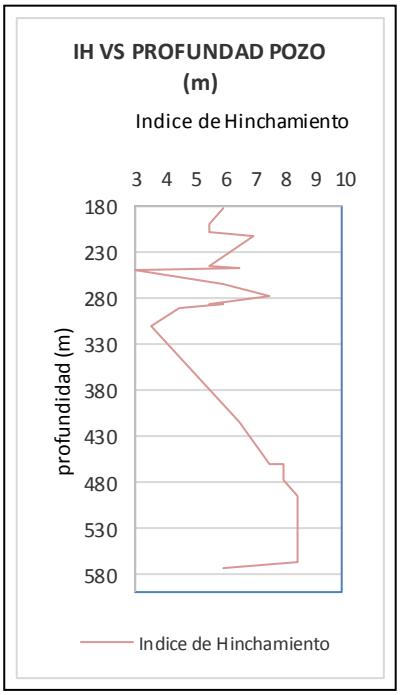


Figura 71. Variación de IH con la profundidad (m) de la perforación.

Los datos obtenidos de este factor para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: para el Manto M3 tomado de la perforación "El Carmen de Chucuri 1" se tiene un valor de índice de Hinchamiento (IH) de 8 y para el M2 tomado de frente de mina se tiene un valor de índice de Hinchamiento (IH) de 6.5.

5.1.7 Plastometría

Esta determinación sirve para obtener valores semicuantitativos de las propiedades plásticas de carbones y mezclas para carbonización. Se miden las temperaturas de ablandamiento, máxima fluidez (dpmm) y temperaturas de solidificación en ambiente reductor. El 80 % de las muestras presentan valores altos de máxima fluidez, como se observa en el Anexo A, y también de acuerdo a la tabla de coeficiente de correlación es significativa de (r = 0,497) con reflectancia media a la vitrinita (Ver Figura 72).

Los datos obtenidos de estos factores para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación "El Carmen de Chucuri 1" se tiene: Máxima de Fluidez de 1136 ddpm, Temperatura de ablandamiento de 412.8°C, Temperatura Máxima de Fluidez de 466.1°C, Temperatura Final de Fluidez de 499.9°C, Temperatura de Solidificación de 502.2°C y Rango Plástico de 89.4°C y para el M2 tomado de frente de mina se tiene: Máxima de Fluidez de 101983ddpm, Temperatura de ablandamiento de 373.8°C, Temperatura Máxima de Fluidez de 442.9°C, Temperatura

Final de Fluidez de 483.4°C, Temperatura de Solidificación de 485.2°C y Rango Plástico de 111.4°C.

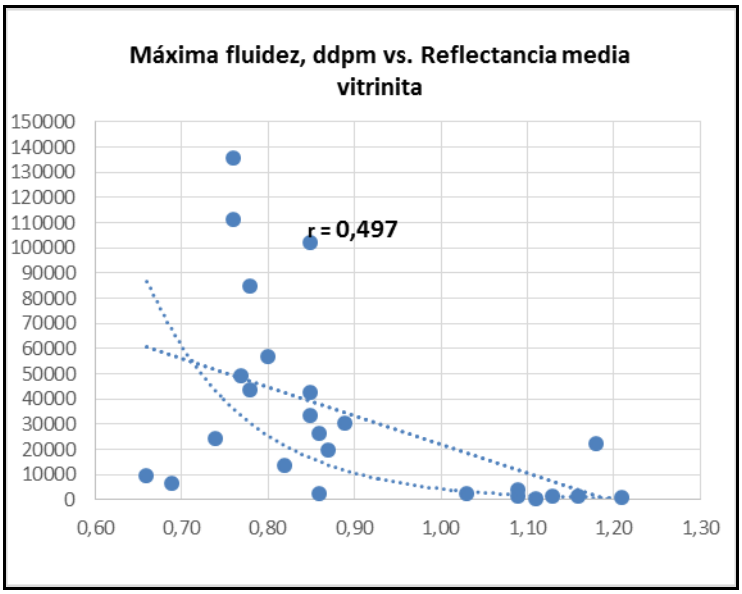


Figura 72. Interrelación de máxima fluidez. dppm y Reflectancia media de la vitrinita.

5.1.8 Índice de Molienda Hardgrove (IHG)

El índice de molienda "Hardgrove" es un número empírico que relaciona la facilidad con la cual un carbón puede ser molido y se utiliza para estimar la capacidad de rendimiento y energía requerida en el proceso de molienda. Los carbones que presentan índices por debajo de 50 tienen dificultad para ser pulverizados.

Los valores obtenidos en el Índice de molienda Hardgrove (IHG) en las muestras analizadas, presentan rangos entre 52 y 103, con una media de 77.65; indicando que en general presentan mínimos problemas durante la molienda. El índice de molienda está afectado por la humedad del carbón, en general el intervalo de contenido de humedad debe ser menor del 25%, según Londoño C. (2002). De acuerdo con la Figura 73, los carbones en estudio cumplen satisfactoriamente esta condición.

Los datos obtenidos de este factor para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación “El Carmen de Chucuri 1” se tiene un valor de índice de Molienda Hardgrove (IHG) de 95 y para el manto M2 tomado de frente de mina se tiene un valor de índice de Molienda Hardgrove (IHG) de 76.

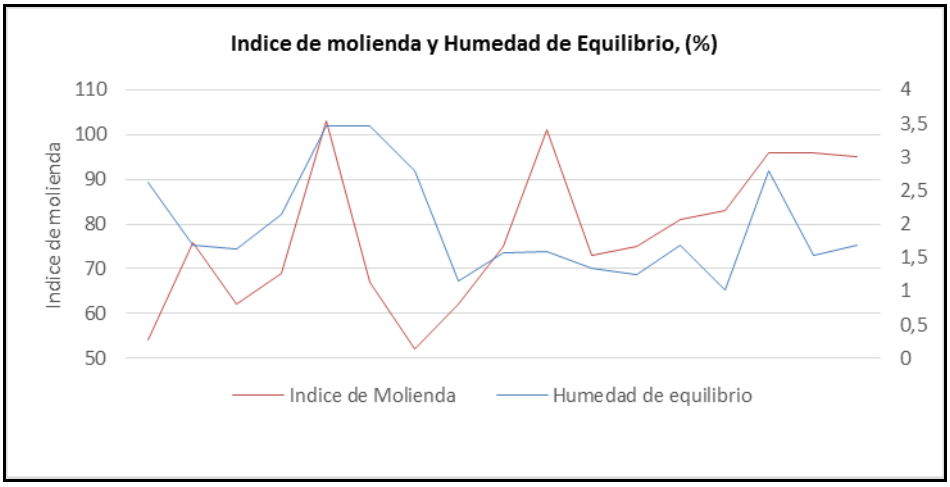


Figura 73. Interrelación Índice de Molienda, (IMH) con Humedad de Equilibrio, % (HE).

5.1.9 Contenido de Mercurio

De acuerdo con diferentes fuentes, el mercurio esta de forma natural en la corteza terrestre y se puede liberar por la movilización natural, por actividad volcánica o por erosión de las rocas; el 70% de las emisiones de mercurio a la atmósfera proviene de procesos antropogénicos, tales como la movilización de impurezas de mercurio en materias primas, la combustión de combustibles fósiles, la extracción de oro y otros minerales extraídos, tratados y reciclados, etc.

El mercurio puede estar asociado tanto a constituyentes de la materia orgánica e inorgánica. En general se cree que el mercurio se asocia principalmente con la pirita y el mercurio orgánico unido a través de los grupos tioles R-SH. Carbones con un alto contenido de azufre se caracterizan por un aumento en el contenido de mercurio; como referencia Bo Liu, Qihui He et al (2013).

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ha recopilado en los últimos 25 años información de análisis de mercurio en 7000 muestras de carbón, mostrando una media de 170 µg/Kg de acuerdo con Allan Kolker, Jeffrey C. (2012).

El histograma de la Figura 74, evidencia que el 89% de las muestras analizadas tienen contenido de Hg en base seca menor a 373 µg/Kg. El valor medio del contenido de mercurio en base seca de los carbones analizados es de 204 µg/Kg, se presentan 3 datos que están por encima de 500 µg/Kg y corresponden a muestras de la perforación realizada; se resalta que los contenidos de azufre total son significativamente altos para estas 3 muestras, la Figura 75, muestra esta tendencia. De acuerdo a un estudio de caracterización de carbones, un análisis estadístico de correlación de coeficiente Spearman, mostraron la importancia de la correlación para la relación entre el contenido de mercurio y el contenido de azufre total; según Tadeusz Dziok, Andrzej Strugała, et al (2015).

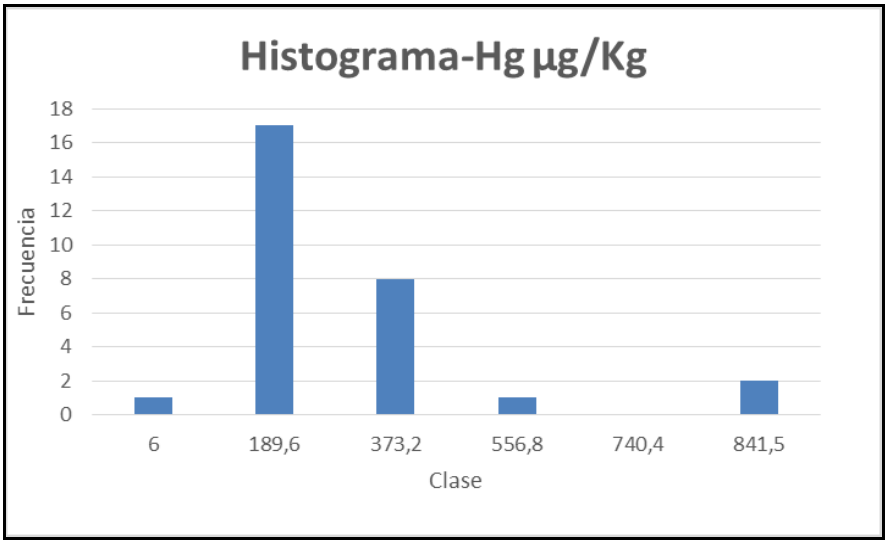


Figura 74. Histograma del contenido de mercurio, µg/Kg (bs).

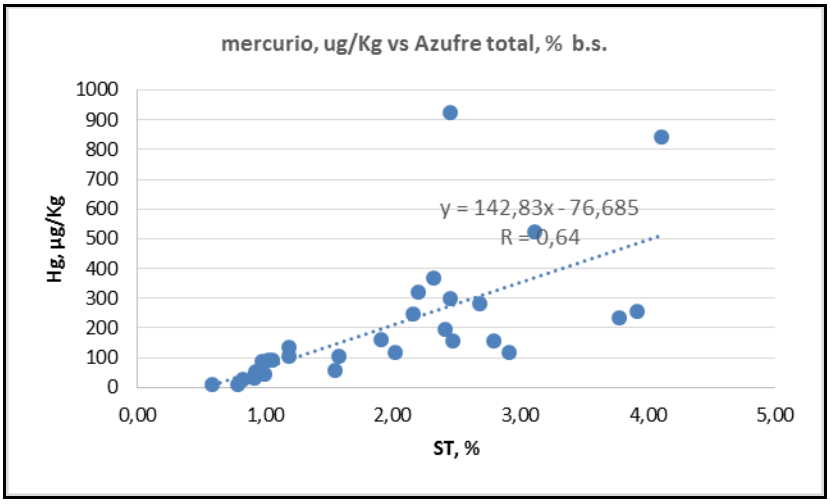


Figura 75. Interrelación entre el contendido de St, % (bs) con Hg, µg/Kg (bs)

Los datos obtenidos de este factor para las muestras que registraron los más altos contenidos de GMAC son: Para el manto M3 tomado de la perforación "El Carmen de Chucuri 1" se tiene un valor de contenido de Mercurio de 88 µg/Kg y para el manto M2 tomado de frente de mina se tiene un valor de contenido de Mercurio de 8 µg/Kg. La

muestra que más contenido de Mercurio registro tiene un valor de 836 y corresponde a una cinta de carbón muestreada a una profundidad 567.24m.

5.1.10 Análisis Químico de Cenizas

Las cenizas del carbón están constituidas por los residuos resultantes de la descomposición de silicatos, carbonatos sulfuros y otros minerales debido a la temperatura. La composición química suele expresarse en óxidos; en menor concentración hay otros elementos, que se denominan menores y trazas.

En total fueron analizadas 29 muestras de cenizas de carbón obtenidas en el laboratorio a una temperatura de 750ºC para establecer el contenido de los 11 óxidos, cuyos resultados se presentan en el Anexo A y en la Figura 76, se observa que la mayor composición está dada por los óxidos de silicio, aluminio y hierro en un promedio de 95% . Los valores de las medias para cada uno de los óxidos se muestran en la Tabla 8.

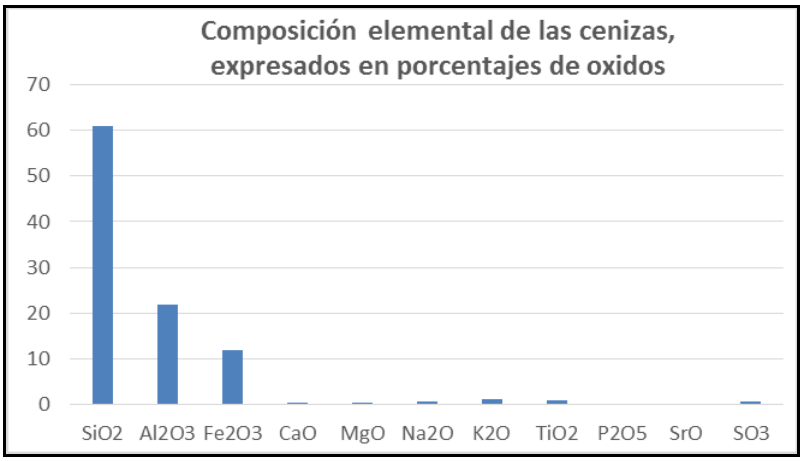


Figura 76. Histograma de la composición media de los elementos mayores en las cenizas de los carbones.

5.1.11 Elementos menores y trazas en cenizas de carbón

Este análisis tiene por objeto cuantificar los contenidos de Litio (Li), Berilio (Be), Escandio (Sc) Vanadio (V), Cromo (Cr), Manganeso (Mn), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Galio (Ga), Arsénico (As), Selenio (Se), Rubidio (Rb), Estroncio (Sr), Itrio (Y), Plata (Ag), Cadmio (Cd), Indio (In), Cesio (Cs), Bario (Ba), Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disprosio (Dy), Holmio (Ho), Erbio (Er), Tulio (Tm), Iterbio (Yb), Lutecio (Lu), Talio (Tl), Plomo (Pb), Bismuto (Bi), Torio (Th) y Uranio (U), con el fin de caracterizar muestras de rocas, suelos y sedimentos mediante la técnica de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), utilizando como método de descomposición una mezcla multiácida en sistema abierto. Este método es aplicable para la determinación de diferentes elementos

menores y traza, contenidos en muestras tales como rocas, sedimentos y suelos. Los valores registrados se expresan en ug/g de muestra (Anexo E), que es equivalente a partes por millón (ppm). Los resultados de la concentración de los elementos se obtienen a partir de las cenizas de carbón, (Ver Anexo E).

Tabla 8. Contenido promedio de elementos mayores expresado en óxidos en las cenizas de los carbones obtenidas a 750°C

Elemento	Número de datos	media	Desviación estándar	Max	Min
Silicio, SiO_2	29	61,01	10,06	72,96	29,1
Aluminio, Al_2O_3	29	21,75	3,61	28,49	10,13
Hierro, Fe_2O_3	29	11,88	11,63	57,91	0,99
Calcio, CaO	27	0,43	0,3	1,26	0,06
Magnesio, MgO	29	0,42	0,24	0,96	0,1
Sodio, Na_2O	29	0,66	0,26	1,19	0,13
Potasio, K_2O	29	1,1	0,62	2,71	0,39
Titanio, TiO_2	29	1,06	0,21	1,44	0,59
Fósforo, P_2O_5	29	0,22	0,22	0,84	0,05
Estroncio, SrO	28	0,04	0,03	0,14	0,01
Azufre, SO_3	29	0,69	2,04	10,66	0,02
Vanadio, V	25	270	126	639	179
Manganeso, Mn	10	105	79	375	10
Arsénico, As	29	75	147	644	7
Cromo, Cr	22	189	88	254	120
Níquel, Ni	22	148	118	570	63
Cobalto, Co	29	36	25	114	14
Cobre, Cu	29	130	126	531	35
Zinc, Zn	29	147	92	426	24
Cadmio, Cd	29	0,5	0,4	1,8	0,2
Plomo, Pb	29	58	19	110	30

Fuente: datos del Estudio.

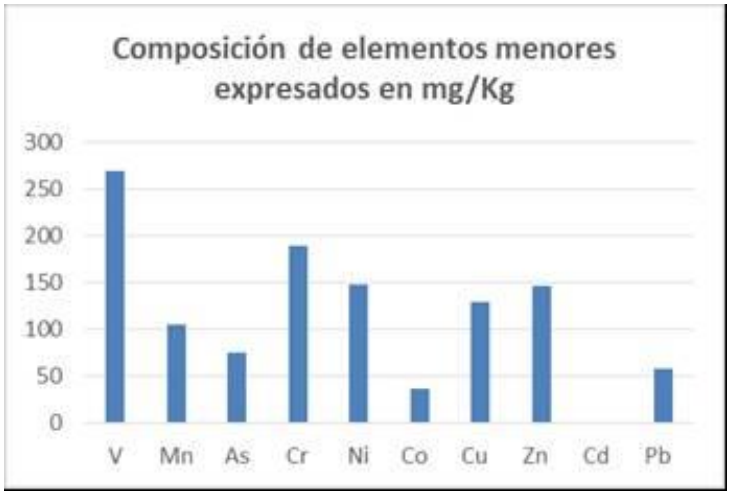


Figura 77. Histograma de la composición media de los elementos.

En la Figura 77, no se observa una tendencia de aumento o disminución en la composición típica de las cenizas de un carbón. En las Figuras 78 y 79 al igual para el contenido de elementos traza, se realizaron las misma gráficas para observan la tendencia en su contenido a través de los diferentes muestras que se tomaron durante la perforación de acuerdo a la profundidad de la misma y hay una fuerte variación para el intervalo de la cinta y de la arcillolita carbonosa en el aumento significativo de V, As y Ni.

Desde el punto de vista ambiental y de salud los elementos más críticos analizados son: Vanadio Cromo, Arsénico y Plomo, ya en el carbón sus contenidos están por debajo de 150 mg/Kg carbón. El Vanadio se encuentra asociado principalmente a materiales arcillosos, se ha encontrado que en las cenizas del carbón puede ser lixiviado. Sin embargo, hasta el momento no se tiene ningún informe de salud o ambientales impactos negativos del Vanadio contenidas en el carbón y cenizas de carbón. En cuanto al arsénico y plomo en el carbón, su contenido está asociado a constituyentes orgánicos, y en menor medida, están asociados a contenido bajos de minerales en forma de aluminosilicatos Say-Gee Sia, Wan Hasiah Abdullah. International Journal of Coal Geology 101 (2012) 1–15. Estos elementos son potencialmente críticos en procesos de combustión.

5.1.12 Clasificación de los Carbones

La norma ASTM, clasifica los carbones según su grado de metamorfismo o evolución progresiva en la serie natural de lignito a antracita. De acuerdo con la norma ASTM D 338-12, define que "La precisión de la clasificación del carbón impuro se afecta a causa de las grandes cantidades de material mineral sobre las determinaciones de materia volátil y poder calorífico y sobre su cálculo en base libre de materia mineral". Las fórmulas de conversión se relacionan en el Anexo F. De los carbones analizados 12 muestras tienen contenidos superiores al 15,00% en cenizas. En los carbones analizados, el 61 % (11 muestras) se clasifican como bituminosos altos volátiles A (BavA), un 39 % (17 muestras)

como bituminosos medios volátiles (Bmv), ver Tabla 16, de acuerdo a la Figura 80. Los datos de la Figura 81, corresponden a la clasificación por rango de acuerdo con la norma ASTM de muestras de frente mina, en esta se observa que el manto M3 se clasifica como Bmv, indicando que es un manto profundo, sin embargo no se identifica ninguna tendencia de la clasificación ASTM con la distribución geográfica de las muestras.

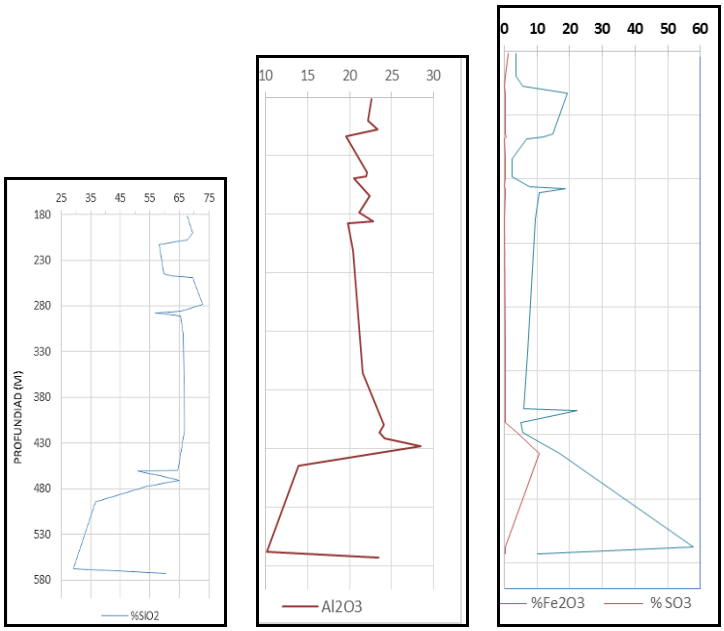


Figura 78. Variación de la media de los óxidos más abundantes en las cenizas analizadas con la profundidad de los mantos.

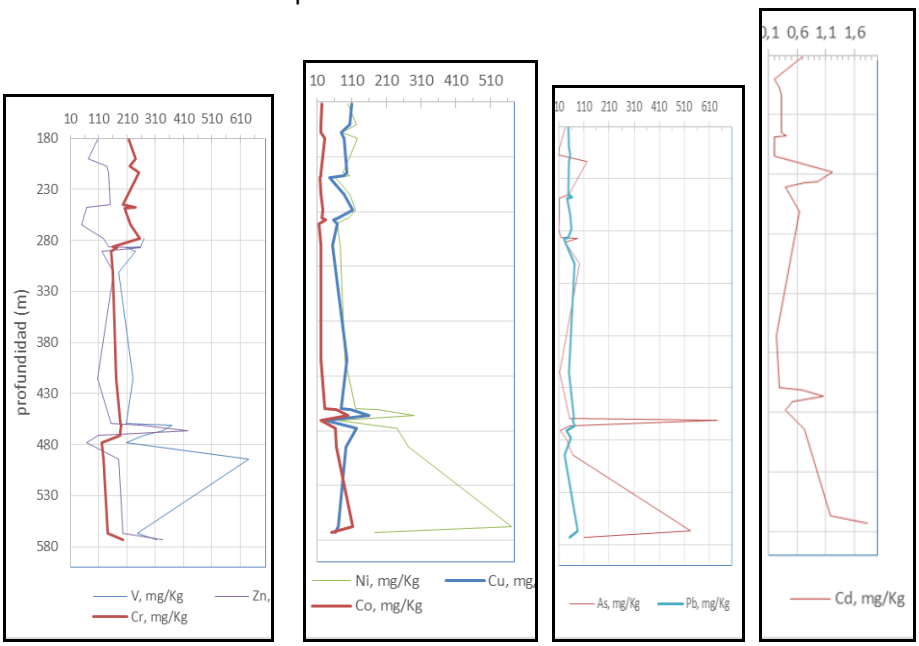


Figura 79. Variación de la media de elementos menores en las cenizas analizadas con la profundidad de los mantos.

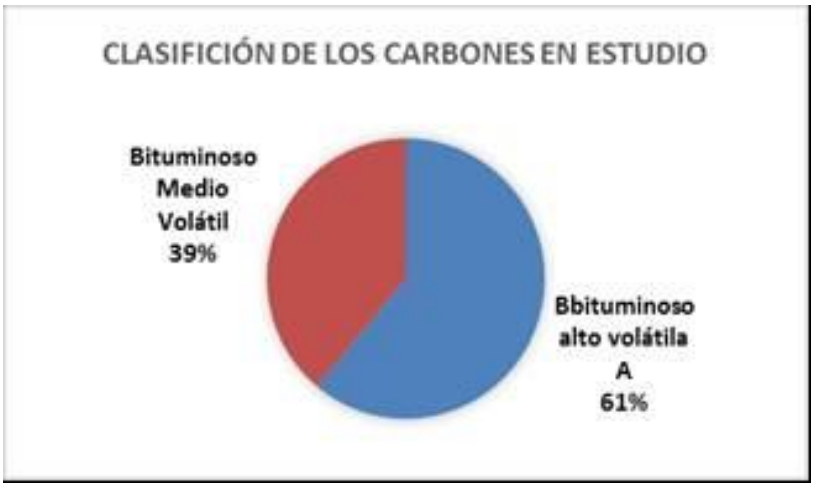
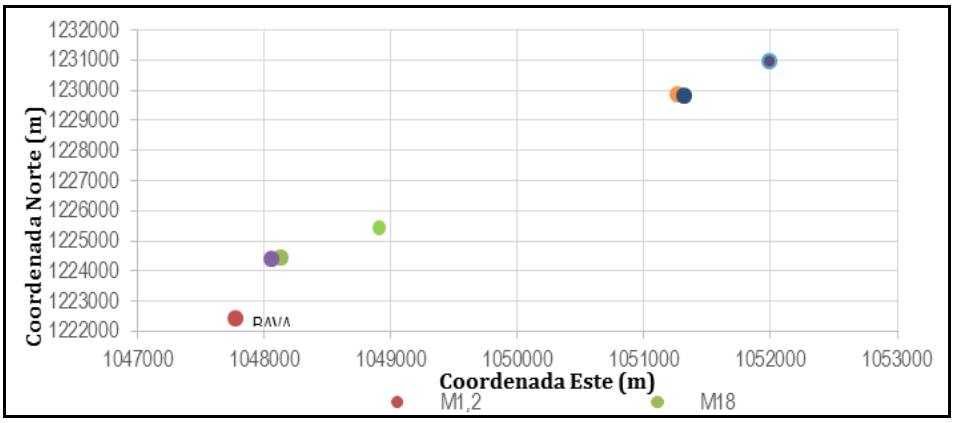


Figura 80. Composición porcentual de la clasificación ASTM de los carbones analizados.



BAVA. Bituminoso Alto Volátil A. BMA. Bituminoso Medio Volátil

Figura 81. Distribución de muestras de frente de mina y la clasificacion por rango ASTM

De acuerdo con la Figura 82, se observa que hay una tendencia al aumento de rango de carbonificación a medida que aumenta la profundidad del pozo, como se visualiza en esta gráfica a través del contenido de MVlmm.

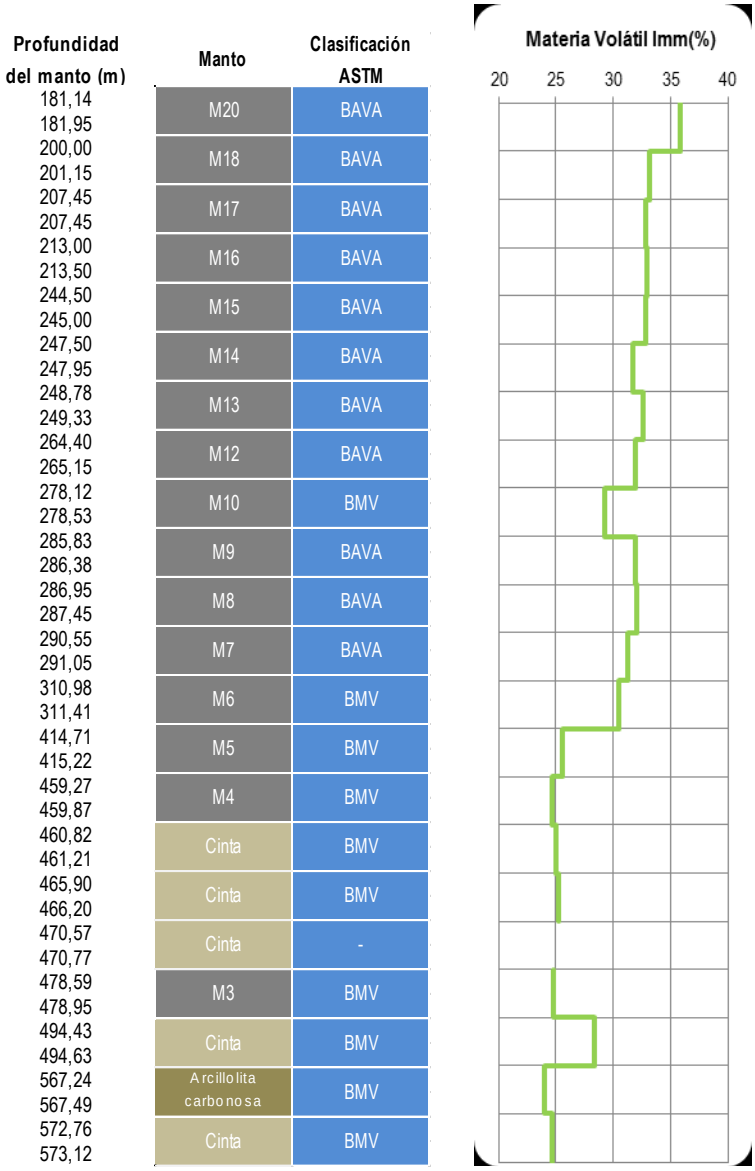


Figura 82. Comportamiento de rango de los carbones analizados (MVlmm) con la profundidad del manto.

5.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO

Los análisis petrográficos realizados, comprenden la determinación de la reflectancia media de la vitrinita (%Rm), empleada para establecer el rango del carbón y su grado de madurez térmica, parámetros útiles en estudios de roca generadora. Y el análisis maceral, empleado en la caracterización de los carbones a partir de sus constituyentes reconocibles microscópicamente (vitrinita, inertinita y liptinita), los resultados de este análisis permiten definir el tipo de carbón en terminos de su composición maceral, determinar las posibles condiciones de depósito de los carbones y elaborar modelos a partir de las propiedades fisicoquímicas de los grupos macerales con el objetivo de determinar sus usos y modelar su comportamiento en procesos industriales.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados para las muestras de carbón se presentan en las siguientes secciones.
Reflectancia media de la vitrinita (%Rm)

Reflectancia media de la vitrinita (%Rm)

La muestras de carbón analizadas presentan valores de reflectancia en el rango entre 0,66 y 1,21, (Ver Anexo G), como se oberva en la Figura 83, en particular los carbones del Pozo El Carmen de Chucurí-1 presentan una tendencia a valores mayores de reflectancia, esto corresponde a que las muestras fueron recolectadas a medida que avanzaba la perforación, es decir, el grado de enterramiento de las mismas.

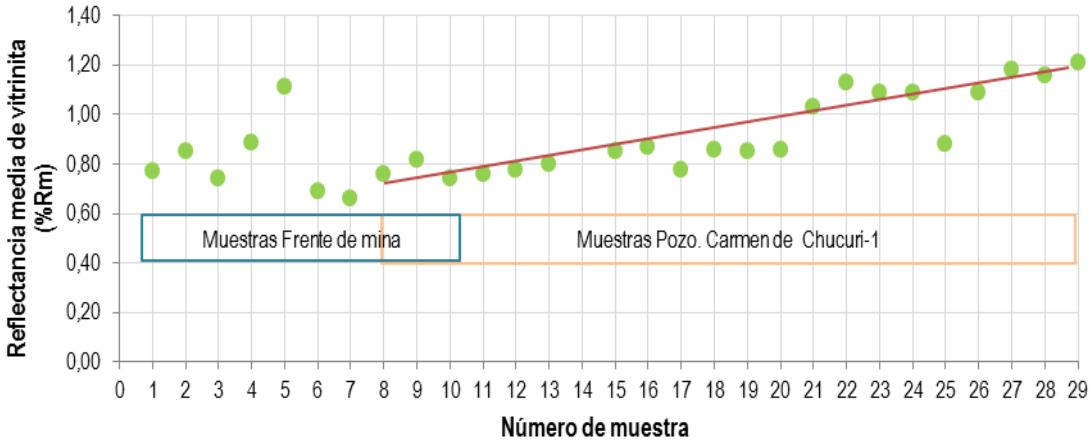


Figura 83. Reflectancia media de la vitrinita de los carbones en el sector de estudio

La clasificación por rango de las muestras a partir de la reflectancia media de la vitrinita se toma de la Figura 84 y se compara con la clasificación por rango de acuerdo con la Norma ASTM D388 – 12, la cual emplea como criterios de clasificación los parámetros de materia volátil y poder calorífico. Como se muestra en la Tabla 9, las muestras 6 y 7 se clasifican en un rango inferior al propuesto por la Norma ASTM, sin embargo, para el resto de las

muestras estas se clasifican en los mismos rangos para los dos sistemas empleados. En general, los carbones analizados se encuentran en el rango de Bituminoso alto volátil A a Bituminoso Medio volátil.

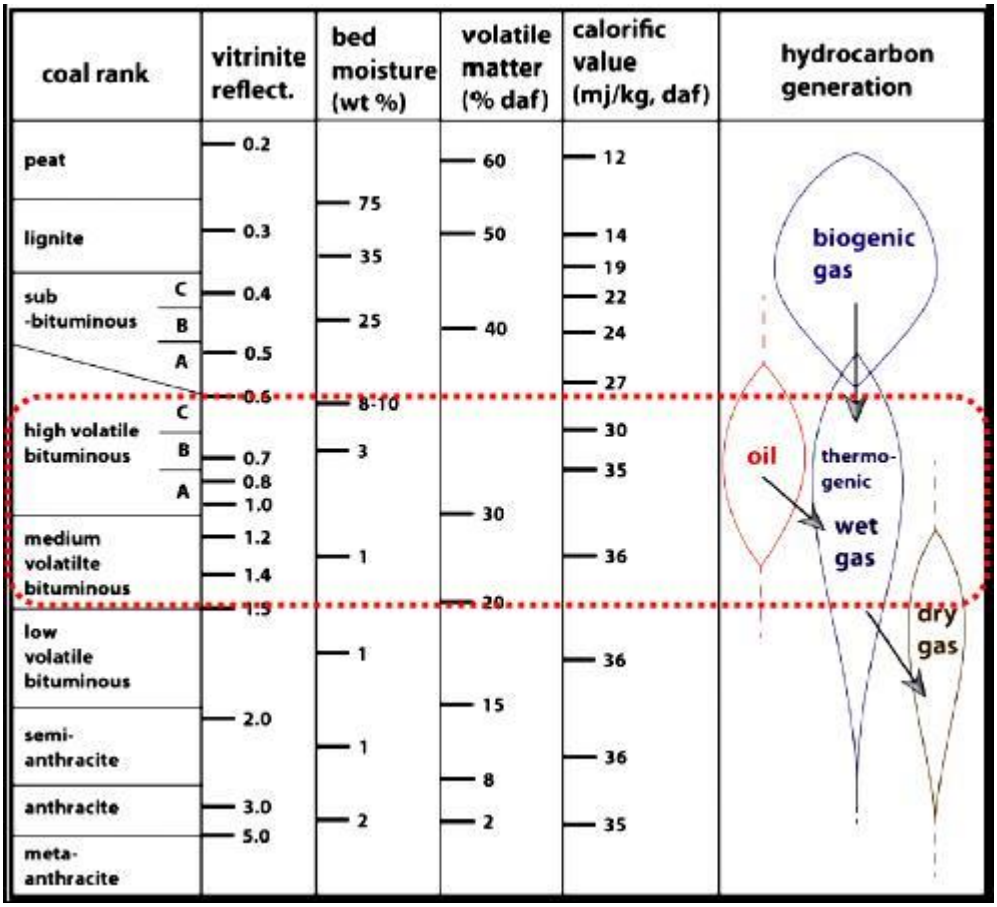


Figura 84. Correlación de diferentes parámetros para clasificación por rango. Tomado de Moore T. (2012)

Tabla 9. Comparación entre la clasificación de muestras de carbón por Reflectancia y Norma ASTM

No. de muestra	No. de Campo/ Referencia	Punto de muestreo	Manto	Reflectancia (%Rm)	Clasificación por reflectancia	Clasificación bajo Norma ASTM D388-12
1	68235902001	MFM	M18	0,77	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
2	68235902002	MFM	M1,2	0,85	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
3	68235902003	MFM	M18*	0,74	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
4	68235902004	MFM	M15	0,89	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
5	68235902005	MFM	M3	1,11	Bituminoso Medio Volátil	Bituminoso Medio Volátil
6	68235902006	MFM	M11	0,69	Bituminoso alto volátil B	Bituminoso alto volátil A
7	68235902007	MFM	M6	0,66	Bituminoso alto volátil B	Bituminoso alto volátil A
8	68235902008	MP	M20	0,76	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
9	68235902009	MP	M18	0,82	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
10	68235902010	MP	M17	0,74	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
11	68235902011	MP	M16	0,76	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
12	68235902012	MP	M15	0,78	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
13	68235902013	MP	M14	0,8	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
14	68235902014	MP	M13	**N.D.**	**N.D.**	Bituminoso alto volátil A
15	68235902015	MP	M12	0,85	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
16	68235902016	MP	M10	0,87	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso Medio Volátil

Tabla 9 (Continuación). Comparación entre la clasificación de muestras de carbón por Reflectancia y Norma ASTM

No. de muestra	No. de Campo/ Referencia	Punto de muestreo	Manto	Reflectancia (%Rm)	Clasificación por reflectancia	Clasificación bajo Norma ASTM D388-12
17	68235902017	MP	M9	0,78	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
18	68235902018	MP	M8	0,86	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
19	68235902019	MP	M7	0,85	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso alto volátil A
20	68235902020	MP	M6	0,86	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso Medio volátil
21	68235902021	MP	M5	1,03	Bituminoso alto volátil A	Bituminoso Medio volátil
22	68235902022	MP	M4	1,13	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
23	68235902023	MP	Cinta	1,09	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
24	68235902024	MP	Cinta	1,09	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
25	68235902025	MP	Cinta	0,88	Bituminoso alto volátil A	**N.A**
26	68235902026	MP	M3	1,09	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
27	68235902027	MP	Cinta	1,18	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
28	68235902028	MP	**A.C.**	1,16	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil
29	68235902029	MP	Cinta	1,21	Bituminoso Medio volátil	Bituminoso Medio volátil

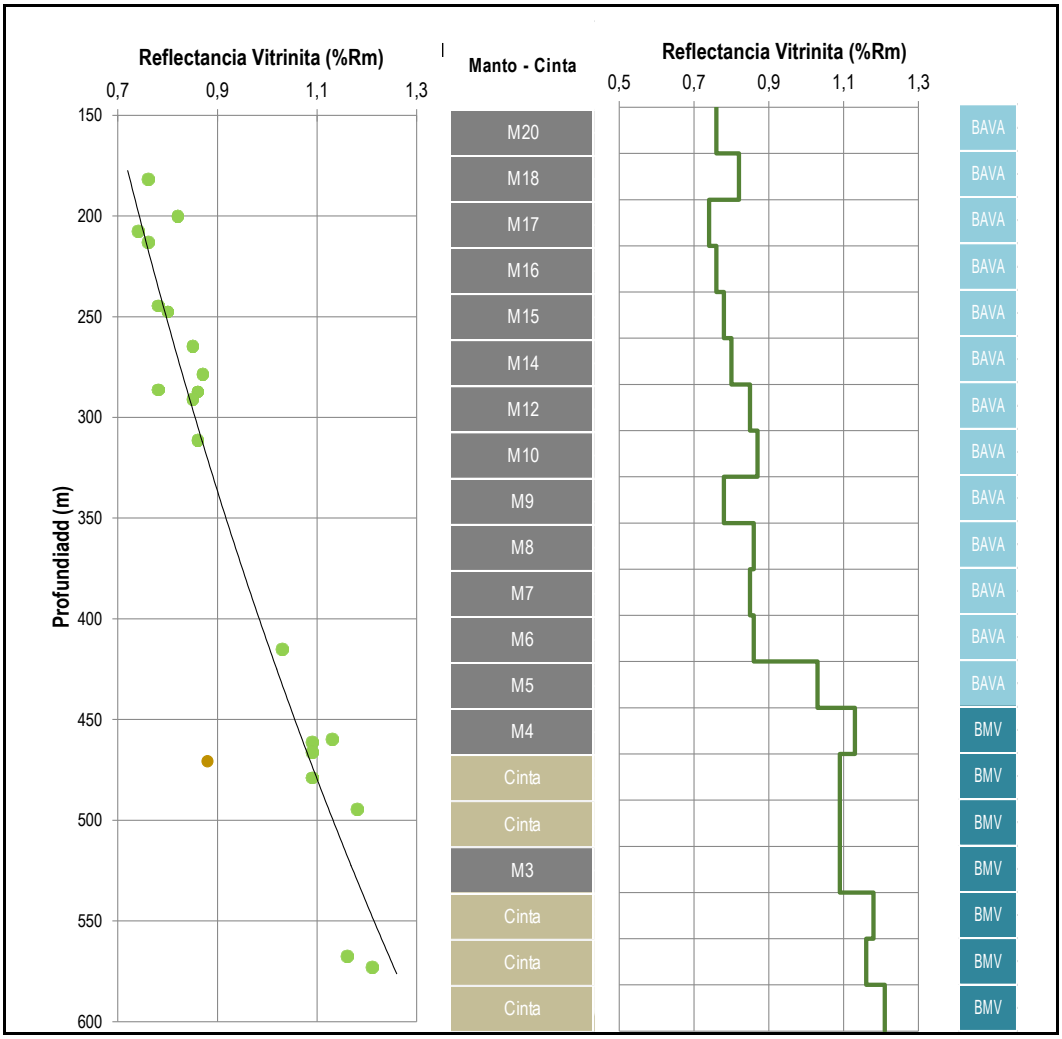
Fuente: Datos del Estudio

MFM: Muestra de carbón de frente de mina; **MP**: Muestra de carbón de Pozo. Carmen de Chucurí-1

N.D: No determinado Cz>40%; **A.C**:Arcillolita Carbonosa; **N.A**:No Aplicado

Los datos obtendios en el análisis de reflectancia media de la vitrinita para las muestras del Pozo El Carmen de Chucurí-1(Número de muestra 8-29), presentan una tendencia típica de este parámetro, a medida que aumenta la profundidad de la muestra se

incrementa su valor de reflectancia (en STACH et al., 1982) como se observa en la Figura 85 (a). La relación de la ubicación estratigráfica del manto con el valor de reflectancia del mismo permite obtener el perfil que se observa en la Figura 85 (b), de la cual se puede inferir que los mantos M20 y M17 (a menor profundidad) presentan los menores valores de reflectancia, mientras los mantos M3 y M4 y cintas las cuales se encuentran a mayor profundidad exhiben los valores más altos de este perfil. Dado que este es un comportamiento típico como ya se indicó, es de esperarse que los carbones que se clasifican con mayor rango se encuentren a mayor profundidad, debido a los efectos del metamorfismo por un período de tiempo más largo como se observa en esta Figura.



(a) (b)

BAVA: Bituminoso Alto Volátil A; **BMV**: Bituminoso Medio Volátil

Figura 85. Comportamiento de reflectancia media de la vitrinita (%Rm) con la profundidad del manto

La distribución espacial de las medidas de reflectancia (%Rm) para las muestras de frente de mina (Número de muestras 1-7) se presentan en la Figura 86, en esta se observa que las muestras se orientan en sentido NW y sus valores de reflectancia van desde 0,66 para el manto M6, hasta 1,11 para el manto M3. Adicionalmente, no se identifica ningún tipo de tendencia de la reflectancia relacionada con su distribución geográfica, para las muestras analizadas.

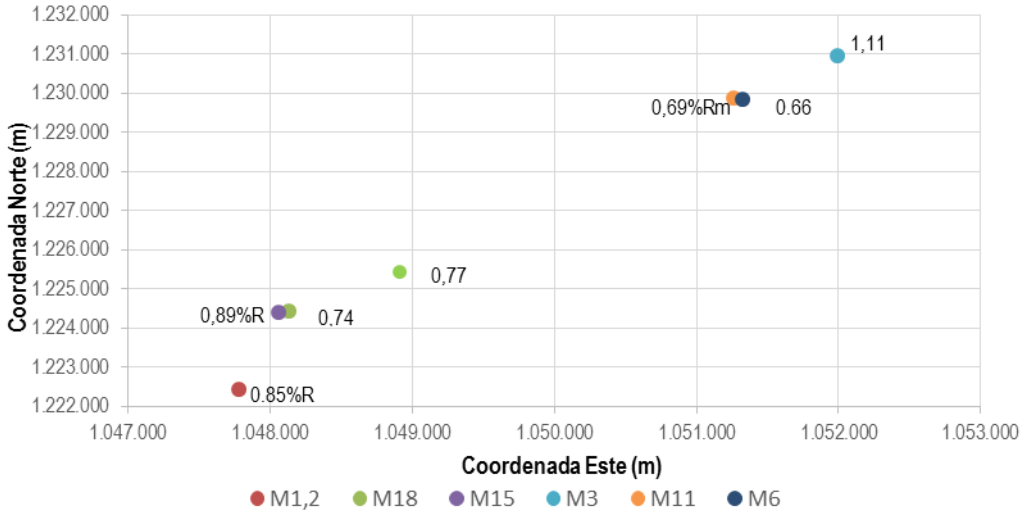


Figura 86. Distribución espacial de reflectancia (%Rm) para muestras de frente de mina

La relación de la materia volátil en base seca libre de ceniza y la reflectancia de la vitrinita para los mantos de los carbones estudiados se respresenta en la Figura 87, en la que se observa la dismunición en el contenido de la materia volátil presente en la muestra a medida que aumenta la reflectancia, la cual a su vez esta relacionado con el grado de carbonificación del carbón y la presencia de gas natural y/o aceite. En este sentido, y basados en la clasificación por rango de las muestras analizas (Ver Tabla 7), los carbones estudiados se localizan en la zona marcada de la Figura 84, es decir, que de acuerdo con estos modelos la presencia de gas identificado y cuantificado como metano puede ser de origen termogénico.

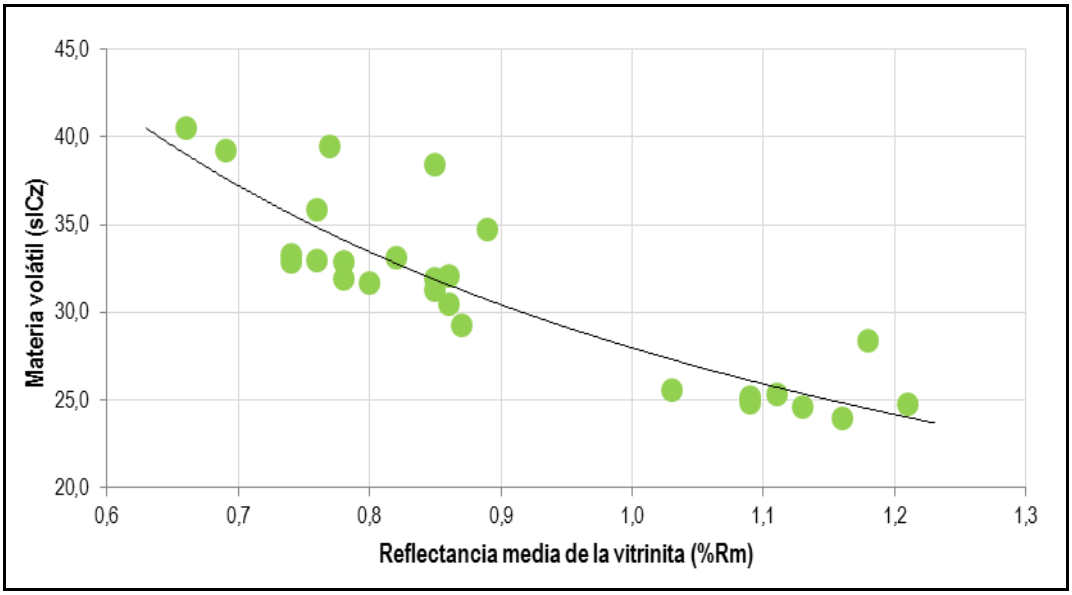


Figura 87. Relación materia volátil (slCz) y Reflectancia media de la vitrinita (%Rm).

5.2.1 Análisis maceral

La cuantificación de los grupos macerales e incluida la determinación de la materia mineral se realizó para cada muestra de carbón, posteriormente para su análisis se tuvo en cuenta el lugar de recolección de la muestra, es decir, entre frente de mina y pozo de perforación.

En cuanto a las muestras de carbón de frente de mina, se obtuvo información (Figura 88) para el contenido maceral y materia mineral y la Figura 89 para identificar su distribución maceral de muestras de frente de mina y su análisis maceral con los siguientes resultados:

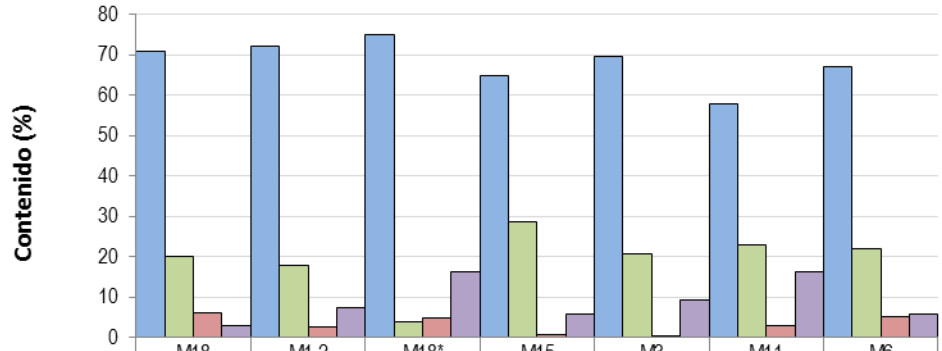
- La ocurrencia de vitrinita es mayor al 50%, particularmente los carbones de los mantos M18 y M1,2 presentan los contenidos más altos (del 70 al 75%); estos valores de vitrinita son el resultado de una frecuente saturación de agua en los sitios de los depositos que inhibe la oxidación de la turba (en Mejía, et al 2006). De igual manera se observa una ligera disminución de la presencia de este grupo maceral en sentido NW como lo muestra la Figura 89.

- Los contenidos de inertinita oscilan entre el 17 y 28%, a excepción del manto M18* el cual tiene una concentración de 3,8%. Sus valores relativamente altos, corresponden posiblemente a periodos de desecación muy intensa o contenido relativamente alto de oxígeno cerca de la superficie de la turba (Ingeominas,

1994). En particular, en las dos muestras del manto M18, la presencia de inertinita varian significativamente entre si, lo cual es probablemente consecuencia de la diferencia del ambiente deposicional y periodos de exposición. Los carbones que se observan más hacia el NW (mantos M3, M11 y M6) presentan concentraciones de este grupo maceral menos variables (20 al 23%); a diferencia de los carbones de los mantos M18, M1,2 y M15 los cuales presentan mayor dispersión de sus contenidos.

- En cuanto al material liptinítico, el máximo contenido lo presenta el manto M18 con 6,2% y el mínimo se encuentran en las muestras de los mantos M15 y M3 con valores menores al 0,6%. La baja proporción de inertinita para estos dos úlitmos mantos son un indicador de la destrucción de los precursores liptiníticos de la turba.

- El contenido de materia mineral varia en las muestras del manto desde el valor mínimo de 3,0% para el manto M18 hasta un valor máximo de 16,2% para el manto M18*, en todos los casos la materia mineral corresponde principalmente a pirita (framboidal y diseminada) y minerales arcillosos.



	M18	M1,2	M18*	M15	M3	M11	M6
Vitrinita (%)	70,8	72,3	75,2	65,0	69,8	57,9	67,2
Inertinita (%)	20,0	17,9	3,8	28,6	20,8	23,0	22,1
Liptinitas (%)	6,2	2,5	4,8	0,6	0,2	3,0	5,0
Materia mineral (%)	3,0	7,3	16,2	5,8	9,2	16,1	5,7

Figura 88. Análisis maceral y materia mineral para carbones de frente de mina

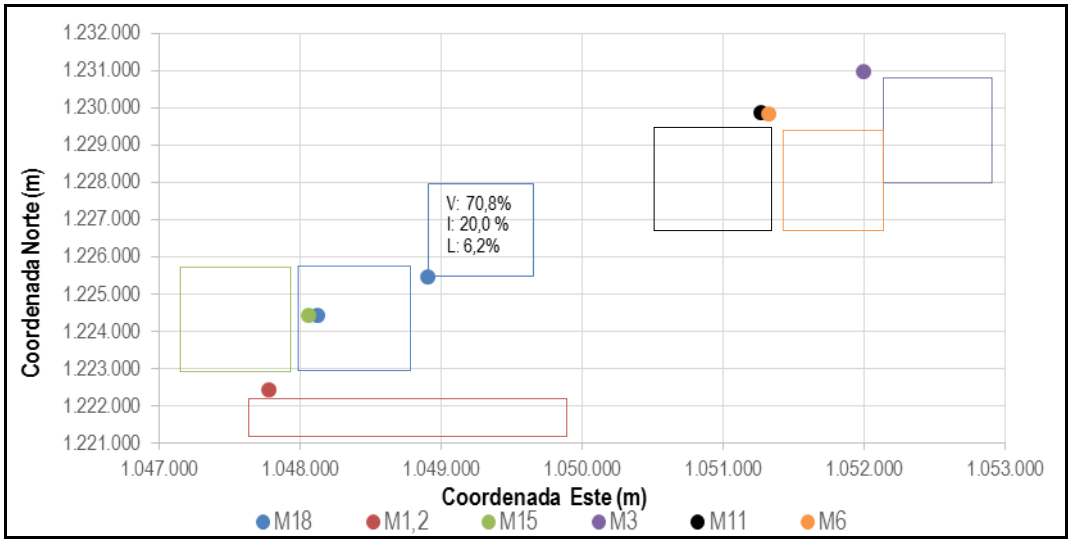
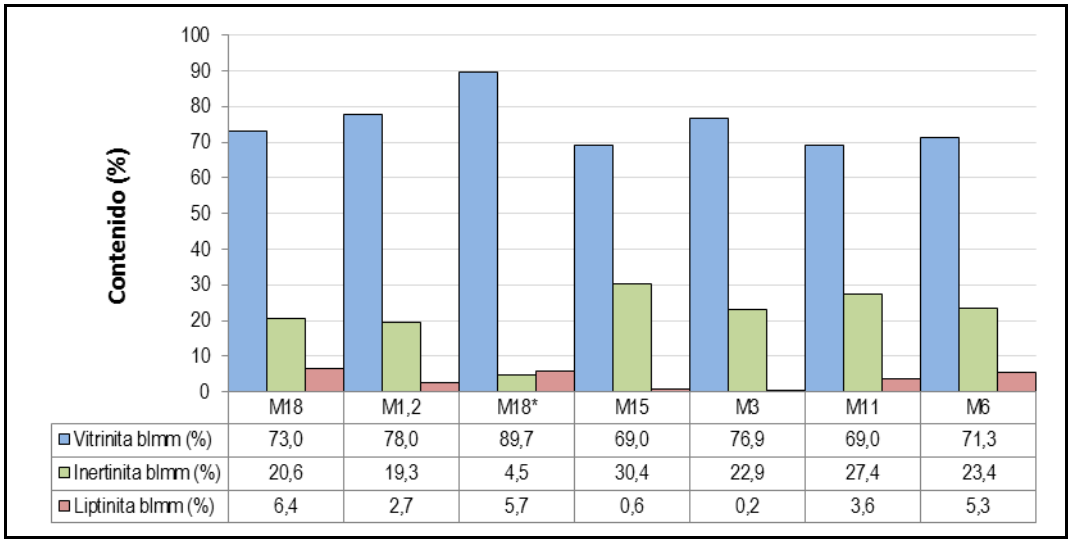


Figura 89. Distribución de muestras de frente de mina y su análisis maceral

El porcentaje de los grupos de la vitrinita y la inertinita aumenta significativamente cuando se obtienen en base libre de materia mineral (blmm) como lo muestra la Figura 90, en particular las muestras del mantos M18 y M11 sus porcentajes de vitrinita aumentan significativamente de 75,2 a 89,7% para el primero y 57,9 a 69,0% para el manto M11, lo anterior es importante para aquellos análisis que consideren cálculos en blmm.



	M18	M1,2	M18*	M15	M3	M11	M6
Vitrinita blmm (%)	73,0	78,0	89,7	69,0	76,9	69,0	71,3
Inertinita blmm (%)	20,6	19,3	4,5	30,4	22,9	27,4	23,4
Liptinita blmm (%)	6,4	2,7	5,7	0,6	0,2	3,6	5,3

Figura 90. Análisis maceral libre de materia mineral para carbones de frente de mina

De acuerdo los resultados obtenidos y a la clasificación de Alpern (1980), la cual es una clasificación petrográfica del carbón por tipos, en general los carbones se clasifican de tipo vítricos con tendencia fúsica.

Los resultados obtenidos del análisis maceral para las muestras del Pozo El Carmen de Chucurí-1, se presentan en la Figura 91, la cual presenta el comportamiento de cada uno de los grupos macerales y materia mineral a lo largo del perfil del pozo.

· **Análisis de vitrinita.** El contenido de vitrinita a lo largo del pozo es regularmente constante con valores mayores al 60%, a excepción de las muestras correspondientes al manto M5 y la cinta de carbón a 465,90m cuyos valores son 44,4% y 49,2% respectivamente.

· **Análisis de inertinita**. La presencia de este grupo maceral en las muestras analizadas cubre un amplio rango, con valores desde 2,2% hasta 44%, los mantos M3 y M5 presentan los contenidos de inertinita más altos con un 36 y 44% respectivamente, mientras los con contenidos de inertinitas inferiores al 20% son para los mantos M16 (10,8%), M15 (7,1%), M14 (17,5%), M9 (4,6%), M8 (13,6%), M6 (7,3%) y las cintas de carbón a 567,24m (19,1%) y 572,76m (6,0%).

· **Análisis de liptinita.** El perfil indica que aproximadamente el 91% de las muestras (20 carbones) presentan concentraciones de inertinitas inferiores al 3%, en particular los mantos M20, M18, M16, M12, M10, M5, M4 presentan porcentajes menores al 0,6%; mientras la muestra del manto M9 presenta en valor más alto de inertinita (5,8 %).

· **Análisis de materia mineral.** De manera general la presencia de materia mineral se encuentra por debajo del 20%, sin embargo, el contenido de materia mineral más alto es del 30% para la muestra del manto M6.

El análisis maceral en base libre de materia mineral, indica que el mayor efecto se presenta en los contenidos de la vitrinita, en especial para aquellas muestras con valores significativamente altos de este maceral como: M16, M15, M9, M8, M7, M6 y la cinta de carbón a 572,72 m de profundidad (Figura 92). En el grupo de la inertinita en general no se observan cambios significativos en sus porcentajes, excepto la muestra del manto M5 que aumenta de 44% en base como se analiza a 49% en base libre de materia mineral. Por último el contenido maceral liptinitico en base libre de materia mineral, indica que las muestras que más variación presenta corresponden a los mantos M9 y M6, en donde sus valores aumentan aproximadamente 1,3% en promedio.

En términos generales y de acuerdo con los resultados del análisis maceral en base libre de materia mineral, los carbones se clasifican por tipo como vítricos con tendencia fúsica.

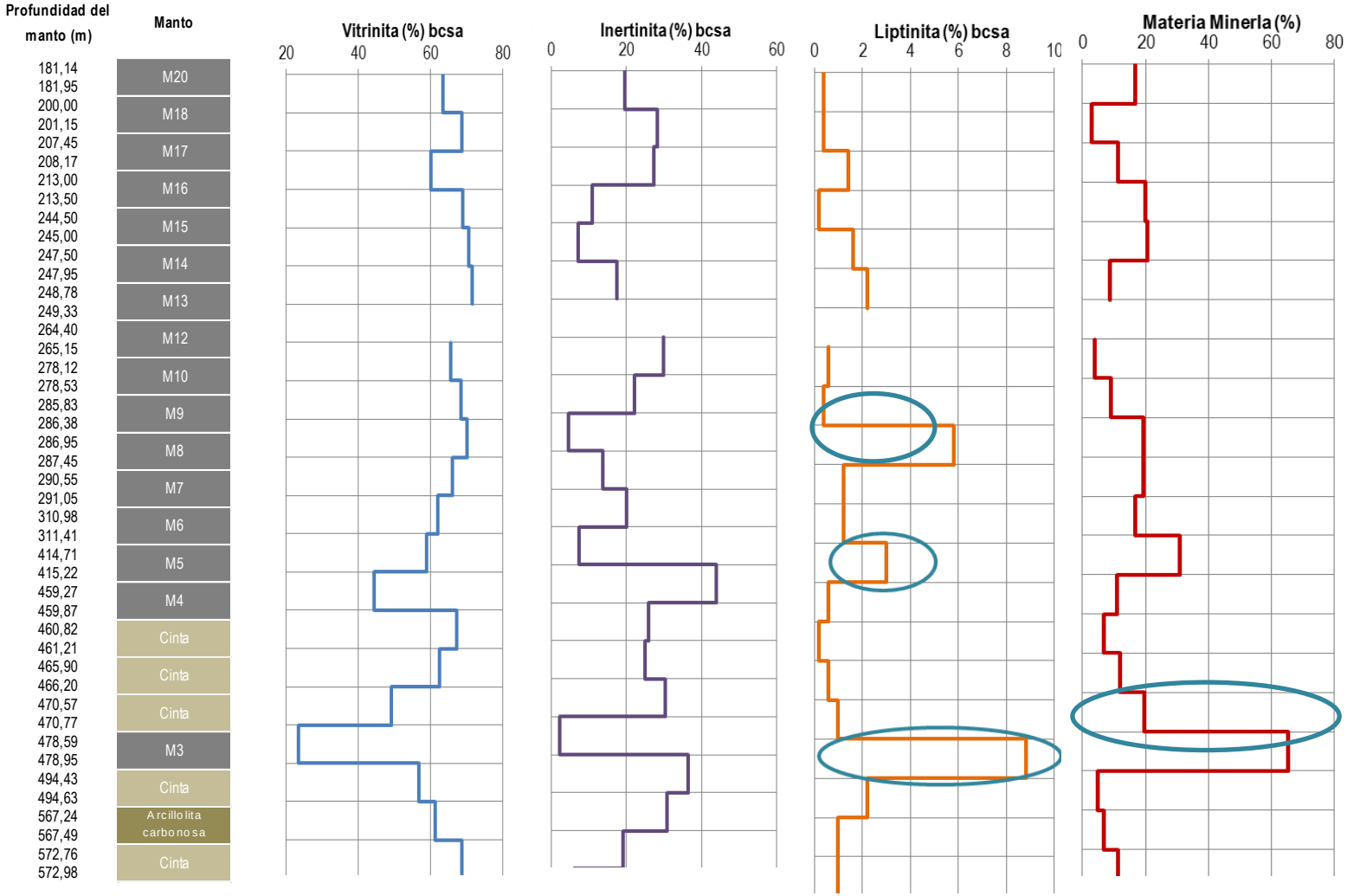


Figura 91. Análisis maceral de las muestras de perforación Pozo. Carmen de Chucurí-1

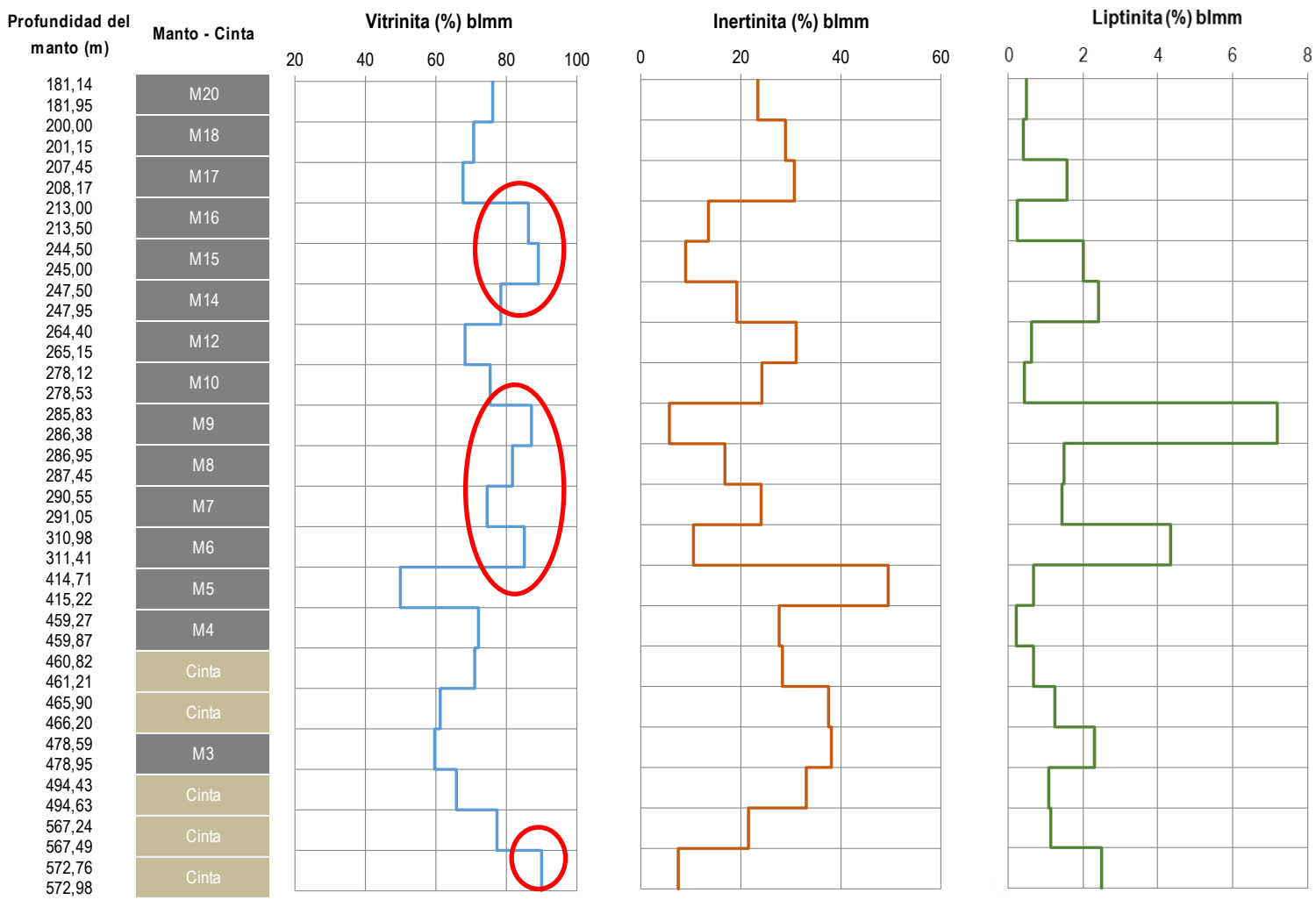


Figura 92. Análisis maceral base libre de materia mineral de las muestras de perforación Pozo El Carmen de Chucurí-1

6. MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS Y CROMATOGRAFIA

6.1 MEDICIONES DE CONTENIDOS DE GAS METANO

Para determinar el potencial de GMAC que un área de interés pueda tener, es necesario adelantar mediciones de contenidos de gas en toda la secuencia carbonífera existente en la misma, 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 del método directo, 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 capas[2].

En el área de estudio, se muestrearon para medición de contenidos de gas un total de 31 muestras entre capas de carbón, arcillolitas carbonosas de la formación Umir y una arenita de la Formación Lisama, tanto en los pozos como en algunos frentes de mina, como se indica en la Tabla 10:

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de GMAC del Servicio Geológico Colombiano, en un periodo aproximado de 2 meses, durante el cual se adelantó la etapa de desorción.

6.1.1 Metodología utilizada para calcular el contenido de gas asociado a 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:

[2] 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.

Tabla 10. Muestras para medición de contenidos de GMAC. Área El Carmen de Chucurí

Sector	Perforaciones						Frente de minas			Total
	El Carmen de Chucurí-1			El Carmen de Chucurí-2						
	Carbón	Respaldos	Arenitas	Carbón	Respaldos	Arenitas	Carbón	Respaldos	Intercalaciones	
Flanco Oriental Sinclinal de Andes (FESA)	21	1				1	8			31

Fuente: Datos del Estudio

De donde:

- 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 $pies^3$ gas/ton carbón. La determinación del gas desorbido corresponde a la sumatoria de todos los volúmenes medidos en esta prueba (Anexo H).

- *El Gas residual, e*s 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).

6.1.2 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. Para los canister hechos en PVC, 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 93). Para los canister metálicos, se aplica aire al interior de ellos a través de las mangueras empleadas para medir la desorción, revisando que el manómetro de su máxima lectura, se sella el canister con la llave para ello y se deja durante algunos minutos haciendo la lectura de la presión en el manómetro, constatando que esta permanezca en el punto donde inicio la misma.

Figura 93. A la izquierda, canister empleados en las mediciones de gas metano asociado al carbón. A la derecha, pruebas de hermeticidad en los canister, sumergiéndolos en agua.

b. ***Registro de tiempos.*** Se toma la lectura de los tiempos en que inicia y termina la corrida, en la cual se identificó la capa de carbón o la muestra objeto de medición de contenido de gas metano, al igual que los tiempos en que se encontró la misma, cuando se inicia a sacar, cuando llega a la superficie (Ver Figura 94); 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.

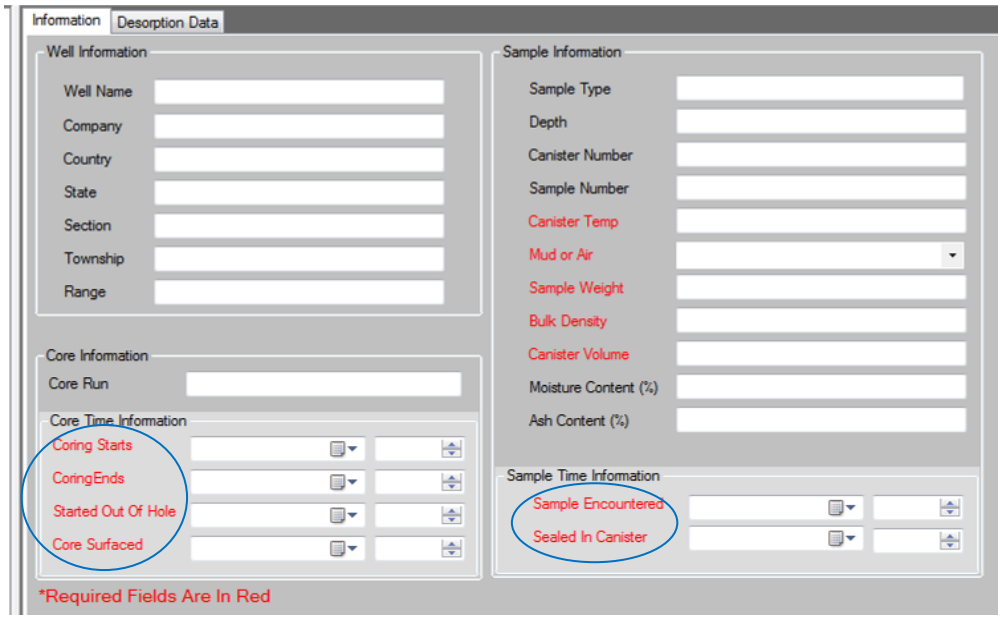


Figura 94. Registro de tiempos en el software Terragas.

c. ***Recepción y lavado de los núcleos de perforación en superficie***. Para introducir la muestra en el canister, se debe proceder a limpiarla evitando saturarla de agua u otro elemento que intervenga en las mediciones respectivas.

d. ***Descripción de la muestra***. Se realiza descripción litológica de la muestra y medición de profundidad para proceder a dejar la marcación respectiva en las cajas portanúcleos.

e. ***Trituración de la muestra***. Se hace trituración de la muestra obtenida a tamaños centimétricos, con el fin de facilitar el desplazamiento del gas e introducir la misma en el recipiente sellado (canister), donde se debe tener presente el llenado completo del canister con carbón y material inerte en lo posible de tamaños finos, cuando la muestra de carbón sea muy reducida (Ver Figura 95).

Figura 95. Trituración de la muestra de carbón para llenado del canister.

f. ***Sellamiento del canister.*** Para optimizar la hermeticidad de los canister hechos en PVC, se debe aplicar silicona en la ranura y tapa del mismo, los canister metálicos solo se deben cerrar con la tapa dispuesta para ello (Ver Figura 96).

Figura 96. Pruebas de hermeticidad en los canister. Muestreo frente de mina.

g. ***Registro del tiempo de sellado.*** Se registra el tiempo en el cual el canister ha quedado sellado y dispuesto para mediciones, en la información general de los formatos que luego o de forma simultánea debe estar contenida en el software.

h. ***Muestreo para análisis fisicoquímicos***. Luego que la muestra objeto de estudio, ha sido empleada para el llenado de canister, se procede si es el caso (si hay muestra suficiente) a muestrear para enviar al laboratorio y adelantar los análisis fisicoquímicos de caracterización para cada material (la cantidad requerida que se considera para ello, mínimo es de 500gr), se diligencia el respectivo formato de muestreo para identificar la muestra (Ver Figura 97).

De esta manera, se optimizan los tiempos con los cuales se puede contar con resultados de laboratorio tanto para clasificación, caracterización de carbones como para realizar las respectivas correcciones a los volúmenes de gas obtenidos.

Figura 97. Obtención e identificación de muestras para análisis fisicoquímicos de los carbones objeto de medición de contenidos de gas metano

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 del canister, 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 98). El dato de gas desorbido, corresponde a la diferencia entre el volumen final y el volumen inicial registrado en la bureta. Para esta lectura, es necesario tener en cuenta igualar las presiones en el sistema de medición.

Figura 98. Sistema de medición del gas perdido en muestras de carbón.

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).

En esta primera fase de medición, se aprovecha al igual para tomar muestras representativas de gas para cromatografía de las diferentes capas de interés, teniendo en

cuenta la tendencia identificada, que indica que al inicio de las mediciones se registran mayores volúmenes, importantes para este análisis (Ver Figura 99).

Figura 99. Muestreo en campo para cromatografía, empleando el equipo cámara portátil de vació muestreadora de gases.

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. Los canister deben conservar una temperatura constante durante el tiempo de medición (Ver Figura 100), para ello se emplean baños termostatados que garanticen el mantenimiento de temperatura necesaria en los canister y canister con control de temperatura. 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 y posteriormente esta información se compara con la obtenida a través del registro de temperatura corrido en el pozo, a través del software se puede hacer la corrección o ajuste a este parámetro. 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.

c. Conectar el canister al subsistema de medición, tomar lectura de presión ambiente, temperatura ambiente y temperatura del canister, 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.

Figura 100. Conservación de la temperatura de las muestras objeto de medición de contenidos de gas metano en baños termostáticos y canister con control de temperatura.

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 Vf). El volumen de gas liberado se obtiene mediante la siguiente relación:

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

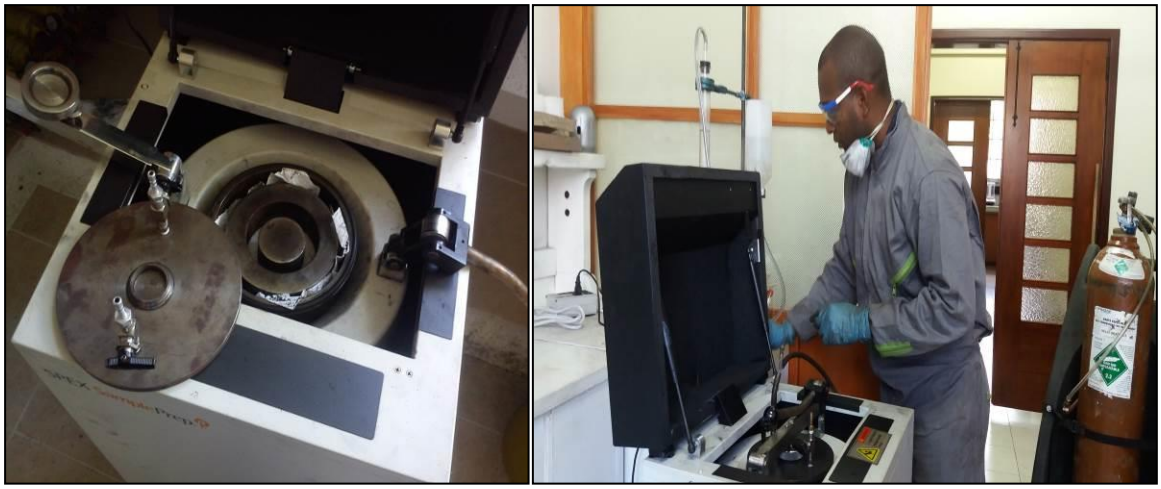
f. Cerrar la válvula y desconectar la manguera del canister, se espera a que se estabilice el nivel de agua en el manómetro y se conecta repitiendo el proceso anterior para las siguientes lecturas (durante un período aproximado de 2 a 3 meses, tiempo que depende de la cantidad de gas contenido en la muestra analizada), hasta que estas tiendan a 0.

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 (Anexo H).

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 se parte en cuartos. Se toma una de estas partes y si esta supera los 100 gamos, que es el peso que el equipo recibe por muestra se divide en fracciones, para poder disponer en el mismo a través de 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 (Ver Figuras 101 y 102). 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.

A las diferentes fracciones obtenidas del cuarto de muestra se les halla el volumen de gas y luego para determinar el valor final por muestras se realiza un promedio ponderado.



Figuras 101 y 102. Molino empleado para la determinación de gas residual en una muestra de carbón.

Luego de finalizadas las mediciones, se envía la muestra de carbón al laboratorio para caracterización del mismo, determinando análisis próximos, humedad, porcentaje 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 empleando para ello, el software Terragas, de la siguiente manera:

a. 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. El software realiza corrección del volumen de gas medido, teniendo en cuenta la determinación del espacio muerto en el canister, para ello además del peso de la muestra, se requiere conocer el volumen del canister, volumen del material inerte introducido (el cual debe ser restado al volumen del canister hallado) y la densidad aparente, la cual tiene en cuenta los espacios vacíos generados en el canister a la hora de introducir la muestra), esta densidad se halla mediante la Norma ISO 17892-2:2014, Parte 2: Determination of bulk density. Método llamado "Immersion in Fluid Method" (Ver figura 103).

Figura 103. Diligenciamiento de parámetros necesarios para corregir volúmenes de gas en cada muestra en el software Terragas.

A la vez, 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:

Volumen STP = _____

Dónde:

Volumen medido = *E*s aquel tomado en la prueba de de-adsorción

Presión Estándar = *E*quivale a 29,92 pulgadas de mercurio

Temperatura ambiente = Es expresada en grados Fahrenheit.

b. Posteriormente se grafica el contenido de gas acumulado Vs tiempo (Scf/ton Vs √horas), para obtener la curva acumulativa de desorción, obtenida de las pruebas de desorción (Ver Figura 104).

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.

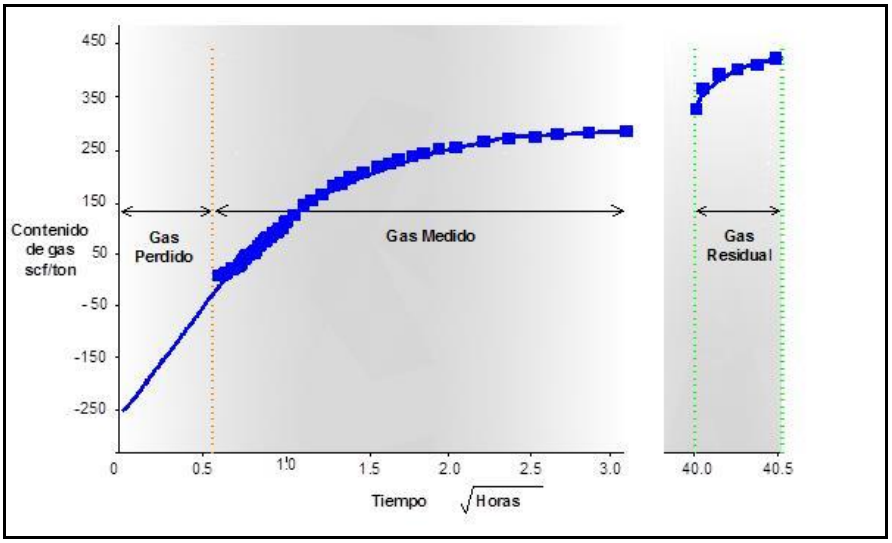


Figura 104. Curva de desorción, donde se aprecia los intervalos para los contenidos de gas perdido, medido y residual.

6.1.3 Resultados obtenidos

Una vez calculados los valores de gas perdido, desorbido y residual, se procede a realizar las correcciones a los mismos (Ver Anexo H) 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 (de acuerdo a corrección por parámetros que no generan metano como la humedad, cenizas y azufre para cada caso), como se muestra a continuación:

6.1.3.1 Pozo El Carmen de Chucurí-1

Los valores de contenidos de metano libres de cenizas en las 22 muestras analizadas (21 de carbón y arcillolita carbonosa), de acuerdo a la información registrada en la Tabla 11, varían para las capas de carbón entre 14,61 y 661,98 Scf/Ton, este último valor corresponde al Manto M3, ubicado hacia la base de la secuencia carbonífera de la Formación Umir, identificado a 478,59 m de profundidad, con una Ro de 1,16% y un rango ASTM de un carbón Bituminoso medio volátil (Bmv); los valores más bajos corresponden al Manto M20, ubicado hacia el techo del nivel superior de la Formación, con Ro de 0,76% y clasificación ASTM para un carbón Bituminoso alto volátil A (bav A).

A los 470,57m, se muestreo en este pozo una arcillolita carbonosa, registrando un contenido de gas metano libre de cenizas de 356,16 Scf/Ton, con una Ro de 1,18%, clasificándose de acuerdo a la norma ASTM como una arcillolita carbonosa tipo Bituminosa medio volátil (bmv).

Se empleó para hacer la corrección a los volúmenes de gas, los valores de cenizas como se recibe (csr) y Humedad total, obtenidos en los análisis fisicoquímicos. Los mayores valores de contenidos de gas metano libre de cenizas se encuentran en las capas de carbón identificadas hacia la base de la formación Umir (M3, M4, M5 y cintas).

6.1.3.2 Pozo El Carmen de Chucurí-2

En este pozo y debido a su complejidad tectónica, que impidió llegar a la formación portadora de los carbones, se definió muestrear una arenita de grano medio a los 537.33m de profundidad, para determinar probable presencia de metano u otros gases más pesados. Esta muestra, corresponde a niveles arenosos de la Formación Lisama, que suprayace a la Formación portadora de los carbones, la Formación Umir.

De acuerdo con la Tabla 12, en el pozo El Carmen de Chucurí-2, el contenido de GMAC para esta muestra correspondió a 5.78 Scf/Ton.

6.1.3.3 Frentes de Mina

Los valores de contenidos de gas metano libres de Cenizas en las muestras obtenidas en los frentes de mina presentados en la Tabla 13, varían entre 6,49 a 21,19 Scf/Ton. El mayor valor corresponde a la muestra del Manto M2, en la Mina Agua Viva (Sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes – FESA), con una Ro de 0,85% y un rango para un carbón Bituminoso Alto volátil A (Bav A). El menor valor, se encontró en el manto M6, en la Mina Estrella1 (Sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes – FESA), con un Ro de 0,66% y un rango para un carbón Bituminoso Alto volátil A (Bav A).

Los valores bajos de contenidos, registrados en las minas del sector, pueden deberse a la baja profundidad de toma de la muestra, los avances en las mismas no superan los 200m, con inclinaciones de hasta 40°.

Tabla 11. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas Pozo El Carmen de Chucurí -1.

No	No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Profundidad (m)	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra	Manto	Espesor (m)	Peso de la muestra (g)	Gas Perdido (SCF/Ton)	Gas desorbido (SCF/Ton)	Gas Residual (SCF/Ton)	Gas Total (SCF/Ton)	Humedad Total (%)	Cz csr (%)	Gasperdido+Gasdesorbido lcz	Gas Residual libre de cenizas (SCF/Ton)	Gas total libre de cenizas (SCF/Ton)	Ro	Clasificación
1	68235902008	E16000450001	PCCh1:01	181,140-181,95	carbón	M20	0,55	1319,84	0,15	3,33	9,84	**13,32**	2,63	16,77	2,40	12,21	**14,61**	0,76	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
2	68235902009	69482	PCCh1:02	200	carbón	M18	1,15	1299	0,44	8,14	9,52	**18,11**	6,39	12,41	8,50	11,72	**20,22**	0,82	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
3	68235902010	69483	PCCh1:03	207,45	carbón	M17	t-b: 0,23c+0,30r +0,30c+0,42 r+0,19c	1152,7	3,62	17,08	3,69	**24,39**	2,44	19,78	24,10	4,75	**28,85**	0,74	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
4	68235902011	E16000450002	PCCh1:04	213,0	carbón	M16	0,50	1416,6	3,17	10,48	6,61	**20,26**	7,76	11,33	15,00	8,17	**23,17**	0,76	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
5	68235902012	E16000450003	PCCh1:05	244,5	carbón	M15	0,50	1503,2	5,65	11,59	10,98	**28,22**	4,32	19,74	19,80	14,46	**34,26**	0,78	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
6	68235902013	E16000450004	PCCh1:06	247,5	carbón	M14	0,45	1291	8,26	62,23	8,46	**78,95**	1,92	13,33	81,60	9,98	**91,58**	0,80	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
7	68235902014	69484	PCCh1:07	248,78	carbón	M13	0,55	1320,4	7,55	16,78	6,23	**30,57**	3,02	42,67	39,20	11,48	**50,68**		BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
8	68235902015	69485	PCCh1:08	264,4	carbón	M12	0,75	1468,9	2,73	0,14	12,04	**14,91**	4,66	13,88	12,40	14,77	**27,17**	0,85	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
9	68235902016	E16000450005	PCCh1:09	278,12 - 278,53	carbón	M10	0,41	1360	9,30	38,93	2,92	**51,15**	8,01	10,01	56,90	3,56	**60,46**	0,87	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
10	68235902017	E16000450006	PCCh1:10	285,83 - 286,38	carbón	M9	0,48	1447,8	0,71	37,42	7,97	**46,10**	1,47	27,29	50,50	11,19	**61,69**	0,86	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
11	68235902018	E16000450007	PCCh1:11	286,95 - 287,40	carbón	M8	0,45	1313,8	3,87	30,54	0,89	**35,30**	5,10	24,64	45,50	1,27	**46,77**	0,85	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
12	68235902019	E16000450008	PCCh1:12	290,55 - 291,05	carbón	M7	0,50	1221,5	2,43	9,70	19,71	**31,84**	3,83	26,38	14,30	28,24	**42,54**	0,86	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
13	68235902020	E16000450009	PCCh1:13	310,98 - 311,41	carbón	M6	0,43	1320,6	7,63	27,66	7,84	**43,13**	1,33	38,07	54,30	12,93	**67,23**	1,03	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
14	68235902021	E16000450010	PCCh1:14	414,71 - 415,22	carbón	M5	0,51	730	151,32	371,73	9,19	**532,24**	1,08	15,24	623,60	10,99	**634,59**	1,12	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
15	68235902022	E16000450011	PCCh1:15	459,27 - 459,87	carbón	M4	0,60	1451,8	34,60	186,81	9,89	**231,29**	3,71	12,78	263,80	11,85	**275,65**	1,1	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
16	68235902023	E16000450012	PCCh1:16	460,82 - 461,21	carbón	Cinta5	0,38	1306,8	165,37	159,07	11,76	**336,20**	0,94	10,08	363,90	13,22	**377,12**	1,09	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
17	68235902024	E16000450013	PCCh1:17	465,90 - 466,20	carbón	Cinta4	0,30	796,8	62,80	108,38	20,40	**191,59**	1,54	18,24	176,70	25,42	**202,12**	1,09	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
18	68235902025	E16000450014	PCCh1:18	470,57 - 470,77	arcillolita carbonosa	arcillolita	0,20	1363,4	26,36	77,78	8,09	**112,23**	3,66	65,77	329,70	26,46	**356,16**	1,18	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
19	68235902026	E16000450015	PCCh1:19	478,59 - 478,95	carbón	M3	0,36	1141,8	170,97	399,48	13,46	**583,91**	1,15	10,77	646,70	15,28	**661,98**	1,16	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
20	68235902027	E16000450016	PCCh1:20	494,43 - 494,63	carbón	Cinta3	0,20	643,8	45,42	111,56	6,24	**163,22**	5,98	11,58	189,00	7,56	**196,56**	1,21	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
21	68235902028	E16000450017	PCCh1:21	567,24 - 567,49	carbón	cinta2	0,25	641	93,68	129,52	15,77	**238,97**	2,29	7,41	246,30	17,46	**263,76**	0,78	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
22	68235902029	E16000450018	PCCh1:22	572,76 - 573,12	carbón	Cinta1	t-b: 0,09c+0,14r +0,13c	817	44,60	201,66	16,89	**263,15**	1,43	28,72	350,20	24,18	**374,38**	0,88	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

Fuente: Datos del estudio

Tabla 12. Valores de contenidos de gas metano en la muestra analizada Pozo El Carmen de Chucucrí-2.

Canister	Profundidad (m)	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra	Espesor (m)	Gas perdido (SL)	Peso de la muestra (g)	Gas Perdido (SCF/Ton)	Gas desorbido (SL)	Gas desorbido (SCF/Ton)	Gas Residual (SCF/Ton)	Gas Total (SCF/Ton)
PCCh2:01	537.74 - 537.33	Arenita	0.41	0.1917	2800	2.19	0.252129849	2.88	0.70	**5.78**

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 13. Valores de contenidos de gas metano en las muestras analizadas en Frente de mina.

No	No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Localización Geográfica	Descripción o Clasificación Preliminar de la muestra	Manto	Espesor (m)	Peso de la muestra (g)	Gas Perdido (SCF/Ton)	Gas desorbido (SCF/Ton)	Gas Residual (SCF/Ton)	Gas Total (SCF/Ton)	Humedad Total (%)	Cz csr (%)	Gasperdido +Gasdesorbido lcz	Gas Residual libre de cenizas (SCF/Ton)	Gas total libre de cenizas (SCF/Ton)	Ro	Clasificación
1	68235902001	65465	FM:01	Mina (Porvenir)	carbón	M18	1,45	1162,13	1,26	4,46	10,18	**15,89**	3,44	5,12	5,40	11,10	**16,50**	0,77	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
2	68235902002	65466	FM:02	Mina (Agua Viva 1). Nivel Inferior	carbón	M1	0,5	1181,3	0,00	3,00	9,15	**12,15**	2,07	8,54	2,40	10,25	**12,65**	0,85	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
3			FM:03	Mina (Agua Viva 1). Nivel superior	carbón	M2	0,8	1185	0,00	3,00	16,77	**19,77**	2,07	8,54	2,40	18,79	**21,19**	0,85	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
4	68235902003	65467	FM:04	Mina (Angosturas1)	carbón	M18	1,10	1226,4	1,61	5,30	10,17	**17,08**	2,99	25,13	5,90	14,42	**20,32**	0,74	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
5	68235902004	65468	FM:05	Mina (Angosturas2)	carbón	M15	1,20	1327,1	1,08	4,09	2,54	**7,71**	2,46	11,88	4,80	2,98	**7,78**	0,89	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
6	68235902005	65469	FM:06	Mina (Sesenta2)	carbón	M4	1,00	1258,9	0,00	2,32	7,62	**9,94**	3,31	3,43	1,90	8,11	**10,01**	1,11	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
7	68235902006	65470	FM:07	Mina (Estrella2)	carbón	M11	0,70	1232,6	0,00	2,55	15,21	**17,76**	3,11	11,82	1,40	18,20	**19,60**	0,69	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
8	68235902007	65471	FM:08	Mina (Estrella1)	carbón	M6	0,53	1313,9	0,00	1,41	5,08	**6,49**	2,47	10,72	0,60	5,89	**6,49**	0,66	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A

Fuente: Datos del Estudio

6.2 CROMATOGRAFÍA

La cromatografía es un método físico de separación, que utiliza una fase estacionaria y una fase móvil, para realizar la separación de componentes químicos que se encuentran en mezclas complejas.

La cromatografía de gases causa la separación de los compuestos volátiles de una mezcla con rapidez y buena resolución, permitiendo analizar e identificar muestras complejas de hidrocarburos, pesticidas, productos vegetales, drogas, fragancias, saborizantes y muchos otros compuestos de difícil identificación por métodos analíticos tradicionales. (Cases & Hens, 1988).

En cromatografía de gases la muestra es volatilizada en el inyector, luego es transportada por un gas inerte (nitrógeno, helio o hidrogeno) denominado fase móvil a través de la columna cromatográfica la cual posee una fase estacionaria conformada por moléculas activas que interactúan con los diferentes compuestos de la muestra separándolos en función de su afinidad y grado de volatilidad (punto de ebullición, peso molecular). La detección de los compuestos separados se efectúa en el detector, el cual es seccionado de acuerdo a las propiedades de los compuestos de interés, finalmente la respuesta del

detector es representada gráficamente en un cromatograma, relacionada con la concentración del analito en función del tiempo de retención. (Quirós, 2006).

El análisis cuantitativo de compuestos químicos gaseosos como: N_2, CO_2 y CH_4, se puede llevar a cabo mediante cromatografía de gases utilizando sistemas que incluyan tanto columnas empacadas como capilares donde la interacción solido gas se da principalmente por fenómenos de adsorción, es aconsejable en este tipo de análisis la utilización de columnas construidas con tamices moleculares y el uso de un detector de conductividad térmica, el cual es sensible a los cambios en la conductividad térmica de la corriente de gas, ocasionados por la presencia de otras moléculas(*Encyclopedia of Chromatography (Print)*, 2001).

6.2.1 Metodología

Para identificar y cuantificar los gases provenientes de la desorción de carbones minerales introducidos en canisters, se realiza un muestreo y posteriormente se hace uso de la cromatografía de gases para separar e identificar los diferentes compuestos.

6.2.1.1 Equipo empleado y Muestreo

Equipo

Un cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados para:

1) proporcionar un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil), 2) permitir la introducción de vapores de la muestra en la corriente de gas que fluye, 3) contener la longitud apropiada de fase estacionaria, 4) mantener la columna a la temperatura apropiada (o la secuencia del programa de temperatura), 5) detectar los componentes de la muestra conforme eluyen de la columna, y 6) proveer una señal legible proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente.

Metodología

Para identificar y cuantificar los gases asociados a carbones minerales que han sido alojados en el interior de canisters herméticos. Se toman muestras de gases mediante la utilización de tubos de vacío o bolsas tipo Tedlar®, al momento de medir los volúmenes de desorción, las muestras son ajustadas a presión y temperatura atmosférica antes de su análisis. Posteriormente se hace uso de la cromatografía de gases para separar e identificar los diferentes componentes.

Muestreo

En el momento en que se realiza la medición del volumen desorbido de gases, mediante desplazamiento de agua en bureta, se realiza la toma de muestras: utilizando bolsas tipo tedlar (Ver Figura 105). con ayuda del equipo conformado por “bomba de muestreo

Universal PCXR4” y “cámara de muestreo a presión negativa Vac-U-Chamber” o mediante la utilización de tubos de ensayo sellados al vacío (Ver Figura 106).

Figura 105. Muestreo de gases mediante bolsa tipo Tedlar. Servicio Geológico Colombiano

Figura 106. Muestreo de gases mediante tubos al vacío. Servicio Geológico Colombiano

La bomba de muestreo, y los diferentes medios de almacenamiento de gas, se emplean igualmente, al hacer los montajes para toma de muestras en campo, una vez obtenidas las muestras de carbón a través de las perforaciones (Ver Figuras 107 a 109).

Figuras 107 y 108. Equipo empleado para toma de muestras de cromatografía en campo "cámara portátil de vació muestreadora de gases". Pozo El Carmen de Chucurí 1.

Figura 109. Dispositivos para la obtención de muestras de gas, bolsas tipo tedlar y tubos de vidrio al vacío.

Identificación y Cuantificación

Con la ayuda del cromatógrafo de gases Agilent 7890A del laboratorio de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con sede en Sogamoso, el cual se encuentra configurado con el siguiente método cromatográfico:

- **Inyección**

  Manual de 500 µL mediante jeringa de inyección para gases.

- **Inyector**

  Split 50:1

  128.82 ml/min

  Temperatura 50°C

  Presión 10,43 PSI

  Flujo total 134,4 ml/min

  Gas saver 10 ml/min luego de 2 min

  Purga de septa 3ml/min

- **Columna**

  GC-GasPro, 30 m 0.32 mm x 0 µm

  Flujo 2.57 mL/min

- **Horno**

  25°C durante 3.5 min

- **Detector**

  TCD 250°C

  Flujo 10 ml/min

  Make up 5 ml/min.

Con el método cromatográfico validado y calibrado con patrones de referencia certificados, se realiza la identificación y cuantificación de cada una de las mezclas de gases provenientes de la desorción de los carbones en cada muestra obtenida (Ver Figura 110).

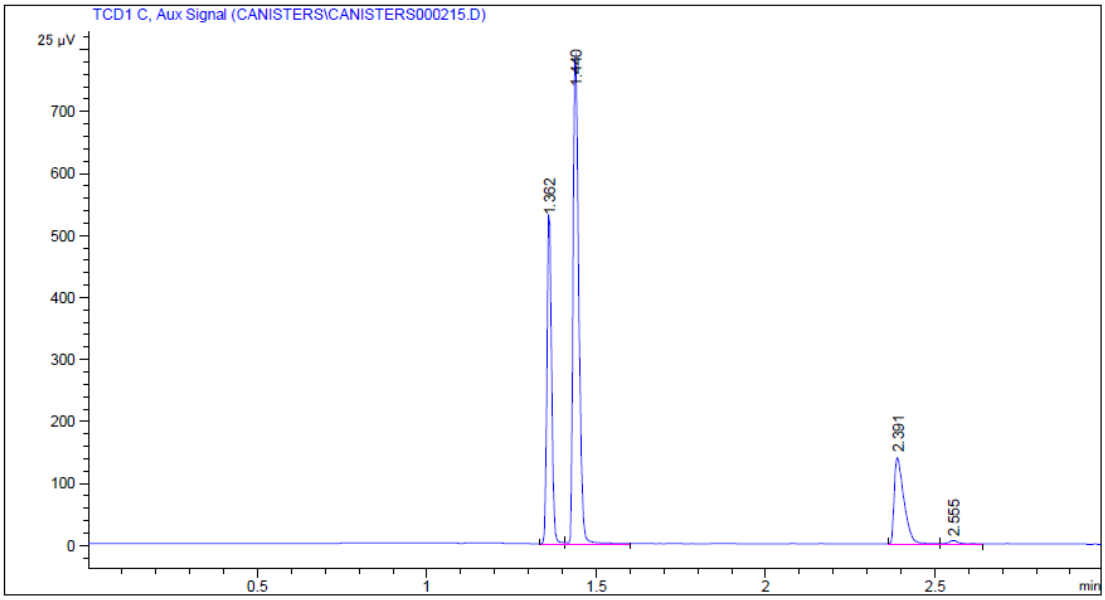


Figura 110. Representación gráfica (Cromatograma) de la separación de los componentes de la muestra CCH1:22.

A partir de las mediciones realizadas en un lapso de tiempo comprendido entre un mes y dos meses se estableció el promedio de composición de gases en cada muestra, como se indica en la Tabla 14.

En los resultados se puede observar que existen muestras como la CCH1:16 (pozo El Carmen de Chucuri 1) que alcanzan a reflejar concentraciones de hasta el 92.1% de metano. El 35% de las muestras tienen contenidos mayores al 60% de Metano. Existen valores representativos de Nitrógenos en algunas muestras como por ejemplo en las de frente de mina, tal vez debido a introducción de aire al llenar los canister.

Tabla 14. Promedios de composición de los gases en las muestras analizadas en el sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes.

Canister	De Campo/ Refere	Referencia Laboratorio	Localización Geográfica	Norte	Este	Nitrógeno (%)	Metano (%)	Etano (%)	Dióxido de carbono (%)
FM:02	68235902002	65466	Mina Aguaviva Inferior	1225294	1048886	80,8	0	0	2,3
FM:03	68235902002	65466	Mina Aguaviva Superior	1225294	1048886	80,5	0	0	2,6
FM:06	68235902005	65469	Mina el 60:2	1222389	1047793	78,3	0	0	5,3
FM:08	68235902007	65471	Mina la Estrella 1	1229771	1051286	75,9	0	0	8,2
FM:07	68235902006	65470	Mina la Estrella 2	1229765	1051424	73,9	0	0	10,7
CCH2:01				1231692	1051010	81,1	0,1	0	1,8
FM:05	68235902004	65468	Mina Angosturas 2	1224251	1048044	78,8	2,5	0	2,3
CCH1:02	68235902009	69482	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:200,0m	1223217	1047060	69,8	14,7	0	0,9
CCH1:01	68235902008	E16000450001	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:181,140-181,95m	1223217	1047060	55,6	31,9	0	0,9
CCH1:20	68235902027	E16000450016	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:310,98 - 311,41 m	1223217	1047060	45,8	41,6	0	2,9
CCH1:13	68235902020	E16000450009	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:310,98 - 311,41 m	1223217	1047060	44,9	45,7	0	0
CCH1:19	68235902026	E16000450015	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	44,1	46,7	0	0
FM:04	68235902003	65467	Mina Angosturas 1	1224433	1048242	43,1	47	0	1,1
FM:01	68235902001	65465	Mina el Provenir	1230903	1052130	41,5	47,8	0	2,2
CCH1:21	68235902028	E16000450017	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:567,24 - 567,49 m	1223217	1047060	34,5	51,7	5,9	0,6
CCH1:10	68235902017	E16000450006	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:285,83 - 286,38 m	1223217	1047060	39,9	51,8	0	0
CCH1:04	68235902011	E16000450002	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:207,45 - 208,28m	1223217	1047060	36,6	55,6	0	0,1
CCH1:11	68235902018	E16000450007	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:286,95 - 287,40 m	1223217	1047060	36	56,3	0	0,2
CCH1:09	68235902016	E16000450005	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:278,12 - 278,53 m	1223217	1047060	35,4	57,1	0	0,1
CCH1:03	68235902010	69483	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:207,45m	1223217	1047060	33,6	59	0	0,3
CCH1:12	68235902019	E16000450008	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:290,55 - 291,05 m	1223217	1047060	29,1	64,6	0	0,2
CCH1:08	68235902015	69485	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof: 264,40m	1223217	1047060	28,7	65	0	0,3
CCH1:06	68235902013	E16000450004	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:247,50m	1223217	1047060	28,8	65,1	0	0,1
CCH1:07	68235902014	69484	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	23,1	71,8	0	0,2
CCH1:22	68235902029	E16000450018	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	15,6	73,3	7,7	0,1
CCH1:05	68235902012	E16000450003	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:244,50 m	1223217	1047060	20,1	75,4	0	0,4
CCH1:18	68235902025	E16000450014	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:470,57 - 470,77 m	1223217	1047060	14,1	76,3	5,7	0,9
CCH1:15	68235902022	E16000450011	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	10,4	87,4	0	0
CCH1:14	68235902021	E16000450010	Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:414,71 - 415,22 m	1223217	1047060	9,2	88,2	0,2	0,5
CCH1:17	68235902024	E16000450013	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	8,1	89,7	0	0,6
CCH1:16	68235902023	E16000450012	Carmen de Chucuri "Santander".	1223217	1047060	6,6	92,1	0	0

Fuente: datos del estudio

7. POTENCIAL DE GAS METANO ASOCIADO AL CARBÓN

Los mantos de carbón de la Formación Umir que presentan mayor interés para adelantar estudios de exploración de GMAC, se encuentran ubicados en el flanco oriental y occidental del Sinclinal de Andes. En esta ocasión y debido a que se conoce sobre estudios que incluyen trabajos de perforación relacionados (ICP, 2008) en el flanco Occidental del mismo sin acceso para revisión y referencia en este informe, se decidió encaminar los trabajos de Geología del subsuelo en el flanco oriental de la estructura, denominando así el sector de interés GMAC como Flanco Oriental del Sinclinal de Andes (ubicado dentro del área de estudio GMAC El Carmen de Chucurí).

Las condiciones de la zona, describen una actividad tectónica media a alta por efecto de los sistemas de Fallas de la Salina y de Landázuri, que originan fallas transversales y de menor escala, afectando las rocas de las diferentes formaciones geológicas presentes en la formación Umir, observándose cambios en el espesor de los mantos, repetición, pinchamientos y ausencia de algunos de ellos. Del análisis geológico realizado en campo y junto con la información de subsuelo, se pudo definir una secuencia estratigráfica con las diferentes capas de carbón identificadas, las cuales permitieron cuantificar los volúmenes de GMAC como recursos y reservas en diferentes categorías.

7.1 DEFINICIÓN DE RECURSO Y RESERVA

A partir de la metodología empleada para el cálculo de Recursos y Reservas de carbón (Wood et. a, 2003), se realiza el cálculo del potencial para GMAC en donde los contenidos de gas metano registrados en las muestras colectadas representan la variación a la misma. Para este recurso se definen a continuación los términos Recurso y Reserva, así:

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 por tonelada (pies^3/ton), pies cúbicos estándar por tonelada (Scf/ton), Billones de

pies cúbicos por tonelada (Bcf/ton), centímetros cúbicos por gramo (cc/gr), o metros cúbicos por tonelada (m^3/ton), pero el estudio geológico base es de carácter regional (Escalas 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, los cuales pueden ser: 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 1.25.000, 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 CH_4 en el área como Reservas Medidas, Reservas Indicadas, Reservas Inferidas, Reservas Hipotéticas.

7.2 LIMITES PARA LA EVALUACIÓN DE RESERVAS Y RECURSOS

Con el fin de definir los límites para la evaluación de reservas y recursos de GMAC, se han establecido varías zonas que condicionan las diferentes categorías; estas se han determinado teniendo en cuenta el avance de la explotación minera, la zona donde el gas puede volver a estabilizarse luego de la minería y el límite hasta el cual se realiza el cálculo correspondiente de acuerdo a los parámetros técnicos con que se cuenta para el estudio, cada una de ellas, se describen a continuación:

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 mapas de contornos estructurales, esta zona está conformada desde la traza del manto limitándose hasta la línea denominada Avance de 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 (ver Mapas 4 a 20, Anexo K) hasta el límite de Dilución GMAC. Se considera que en esta zona 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). Para el caso de los estudios realizados por el SGC, en sus primeros años, las perforaciones alcanzaron profundidades de hasta 400m, por tanto se estimó el potencial hasta el valor de 600m, denominándose profundidad. De acuerdo a análisis posteriores y teniendo en cuenta que la puesta en marcha de este tipo de exploración no tendría como tal una limitante tan marcada en la profundidad, como se emplea en la exploración y explotación de carbones, se ha definido limitar las áreas de evaluación con base en las estructuras presentes (como sus ejes) y la definición del sector de interés. En este caso la evaluación se adelantó hasta el eje del sinclinal de Los Andes en profundidad, (Ver Mapas 4 a 20, Anexo K).

7.3 EVALUACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE GMAC

Con el fin de determinar el potencial de GMAC en la zona de estudio, se han obtenido valores de recursos y reservas en diferentes categorías de evaluación de acuerdo a la información de los puntos de control obtenidos en campo, tanto en superficie, como en profundidad (mediante el muestreo en labores mineras y en las perforaciones); estas categorías se describen a continuación:

7.3.1 Categorías de Evaluación

Las categorías de evaluación, se han establecido de acuerdo al grado de certeza geológica en el área de estudio, del avance en las labores mineras identificadas, estableciendo para ello áreas de influencia alrededor de Puntos de control caracterizados por registrar información de los diferentes mantos de carbón sobre coordenadas de localización, espesor de los mismos, ángulo de inclinación de las capas, mediciones de contenidos de gas metano, entre otras.

Las categorías de evaluación se definen como Recursos y Reservas medidos y/o medidas, indicados y/o indicadas, inferidos y/o inferidas, hipotéticos y/o hipotéticas; las cuales se establecen mediante distancias máximas contadas a partir del punto de medición más cercano (Punto de Control), se identifican de acuerdo al nombre del sector evaluado y en secuencia de sur a norte; estos valores (que corresponden a diámetros de circunferencias originados desde los puntos de control), se han fijado hasta 250 m, hasta 750 m, hasta 2250 y 6750 m respectivamente, El valor de 250 metros se consideró teniendo en cuenta que el avance de la actividad minera no supera los 200m, apreciándose la continuidad de los mantos. Cada área establecida se identificó en los mapas de contornos estructurales (Ver Mapas 4 a 20, Anexo K) con un literal desde la A a la H, acompañado de un subíndice numérico. De acuerdo a lo anterior, se ha establecido las siguientes definiciones:

Reservas Medidas (A)

Se ha establecido como el área representada por 250 metros de radio de influencia desde el punto de Control y en la cual, se cuenta con un volumen de metano por tonelada.

Reservas Indicadas (B)

Área de influencia del punto de control con un radio entre 250 m a 750 m, aquí se cuenta con un valor de volumen de metano por tonelada.

Reservas Inferidas (C)

Área de influencia del punto de control con un radio entre 750 m a 2250 m, aquí se cuenta con un valor de volumen de metano por tonelada.

Reservas Hipotéticas (D)

Área de influencia del punto de control con un radio mayor a 2250 m, aquí se cuenta con un valor de volumen de metano por tonelada.

Recursos Medidos (E)

Área de influencia del punto de control con un radio de 250 m, aquí no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

Recursos Indicados (F)

Área de influencia del punto de control con un radio de 250 m a 750 m, aquí no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

Recursos Inferidos (G)

Área de influencia del punto de control con un radio de 750 m a 2250 m, aquí no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

Recursos Hipotéticos (H)

Área de influencia del punto de control con un radio mayor a 2.250 m, aquí no se cuenta con volúmenes de metano por tonelada, se utiliza el promedio de los datos obtenidos en los puntos muestreados.

En el presente estudio, se incorporó al análisis del potencial del recurso, los Recursos hipotéticos y Reservas Hipotéticas, ya que no se limitó la evaluación a la profundidad de 600m, como se menciona en el numeral 8.2.3 Zona de Concentración.

Categorías de Recursos Especulativos

Se analiza la categoría de especulativo, cuando se tienen capas de carbón que no son comercialmente explotables (y algunas de ellas poseen espesores menores a 0,40m), pero que son identificadas en las perforaciones, se pueden correlacionar con la información de campo obtenida y son objeto de medición de GMAC. El valor de los recursos, se estima, hallando el área entre la posible traza de la capa determinada por distancias estratigráficas y los límites del polígono de estudio, esta se afecta por el valor obtenido de GMAC en muestra. En este caso, no se realizan Mapas de contornos estructurales, ya que no se tiene certeza en 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 250m, 750 m, 2250m, 6750m, de radio, que determinan las áreas de influencia para las categorías de medido, indicado, inferido e hipotético. 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 la zona Explotada y la profundidad o el límite hasta el cual se realiza la evaluación.

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:

Volumen de GMAC = *a x e x d x 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 tendría 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 limitó la evaluación hasta el eje del Sinclinal, reevaluando la posición inicial que se tenía en la metodología donde se utilizó 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

Para determinar los recursos y reservas de GMAC en la zona de estudio, se tomó para análisis las capas de carbón con un espesor $\geq$ 0,27 m, que fueron colectadas tanto en las perforaciones como en frente de mina, teniendo en cuenta los diferentes puntos de control, la continuidad de las mismas y el hecho que el pozo de donde se extrajo la mayoría de muestras se localiza hacia el cierre de la estructura Sinclinal, lo que ocasiona el adelgazamiento de la mismas. 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 4), los cuales se describen a continuación de acuerdo al Sector GMAC evaluado que para este caso corresponde al Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes y en posición estratigráfica de base a techo.

Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

Este sector, se caracteriza por estar influenciado por una serie de fallas de tipo inverso y de rumbo, que afectan localmente la continuidad lateral de los mantos y su espesor; se han identificado hasta 20 capas de carbón, con continuidad lateral, denominadas de base a techo M1 a M20, cuya descripción se realiza a continuación:

M1. Es la primera capa en la secuencia carbonífera identificada en trabajos de minería correspondiente a la Mina Agua Viva. Es un carbón tipo vitreno a clareno; los respaldos tanto superior como inferior lo conforman limolitas arcillosas de color gris oscuro. El espesor promedio para este manto es de 0,60 m; el rumbo varía entre N42°E a N30°E y el buzamiento varía entre 21° a 27° NW.

Se realizó análisis fisicoquímico en la muestra 68235902002, arrojando valores de cenizas como SO3 (bslmm), de 8,49%, materia volátil (lmm) de 39,97%, carbono fijo (bslmm) de

53,93% y un poder calorífico (lmm) de 15348,47 Btu/lb; lo que permite clasificar la muestra en un rango de carbón Bituminoso alto volátil A (Bav A), ver Tabla 16. El manto presenta una Gravedad Específica de 1,40 y un Índice de Hinchamiento de 6½.

La evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta 2 puntos de control, desde el FESA001 al FESA002 (ver Tabla 15), de los cuales en el punto de control FESA001 se obtuvo un valor de GMAC de 12,65 Scf/Ton de gas total libre de cenizas, en la mina Agua Viva 1l (ver Tabla 13), en el otro punto de control (FESA002), se tomó el promedio de los dos datos obtenidos entre este punto y el Manto M2. Con estos valores se calculó un potencial para este manto de 151.582.420,67 Scf equivalente a 0,15 Bcf (Billones de pies3) de GMAC, como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 17, 37 y Anexos H,K).

M2. Separado estratigráficamente del manto anterior por un intervalo de 0,70m de limolitas arcillosa de color gris claro a gris oscuro, que constituyen tanto su respaldo inferior como su respaldo superior. Estratigráficamente corresponde al manto número 2 de base a techo de la secuencia carbonífera identificada en la Formación Umir, nivel medio.

Es un carbón tipo vitreno, clareno, fuseno. El espesor promedio es de 0,77 m; el rumbo varía entre N30°E a N42°E, el buzamiento varía entre 21° a 27° NW.

Para clasificación y debido a que no se tomó muestra de este manto por estar tan cercano al manto M1, se tomaron los datos de la muestra 68235902002, con valores de cenizas como SO3 (bslmm), de 8,49% , materia volátil (lmm) de 37,97% , carbono fijo (bslmm) de 62.03% y un poder calorífico (lmm) de 15348,47 Btu/lb; lo que permite clasificar la muestra en un rango de carbón Bituminoso alto volátil A (Bav A), ver Tabla 16. Se obtuvo una Gravedad Específica de 1,40 y un Índice de Hinchamiento de 6½.

La evaluación se llevó a cabo teniendo en cuenta 2 puntos de control, que corresponden a los mimos puntos de control para el manto M1, el FESA001 y el FESA002 (ver Tabla 15), de los cuales en el punto de control FESA001 se obtuvo un valor de GMAC de 12,65 Scf/Ton de gas total libre de cenizas, en la mina Agua Viva 1 (ver Tabla 13), en el otro punto de control (FESA002), se tomó el promedio entre el dato anterior y el valor en el manto M3. Con estos valores se calculó un potencial para este manto de 369.297.397,57 Scf equivalente a 0,37 Bcf (Billones de pies3) de GMAC, como reservas y recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 18, 37 y Anexos H, K).

M3. Se ha identificado a una distancia estratigráficamente del manto anterior de 124,0m aprox. en la cual se encuentran arcillolitas de color gris oscuro, físil, bioturbada con intercalaciones de capas muy delgadas a medias de limolitas arcillosas de color gris. Este material conforma también el respaldo inferior del manto.

Es un carbón tipo clareno a vitreno. El espesor promedio es de 0,27 m; el rumbo varía entre N30°E a N40°E, con buzamientos entre 5° a 27° al NW.

Se realizaron análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902026 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), con valores en cenizas de 10.83 %, Humedad de Equilibrio de 1.69(%), Humedad residual de 0.63%, Cenizas como SO3 de 10.64%, materia volátil (blmm) de 23.91%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 76.09% y un poder calorífico (blmm) de 15356,05 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv) ver Tabla 16; el manto presenta una Gravedad Específica Verdadera de 1,19 y un Índice de Hinchamiento de 8.

El cálculo del potencial, se llevó a cabo teniendo en cuenta 3 puntos de control, desde el FESA003 a FESA005 (Ver Tabla 15), donde el punto FESA003, fue muestreado para medición de contenidos de metano y determinación del Gas total libre de cenizas, con un valor de 661,98 Scf/ton en el pozo El Carmen de Chucurí 1 (ver Tabla 11); con estos valores, se obtuvo un potencial para este manto de 3.144.859.206,83 Scf equivalente a 3,14 Bcf de GMAC, en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 19 ,37 y Anexos H, K).

M4. Separado del manto anterior por una distancia estratigráfica aprox. de 19,00 m aprox. de arcillolitas de color gris oscuro, bioturbada.

Este carbón es tipo clareno a vitreno. El espesor promedio es de 0,57 m. El rumbo varía entre N12°E a N50°E, con buzamientos entre 3° a 27° al NW, (Ver Figura 111).

En las muestras 68235902005 (Frente de mina, Ver Figura 112) y 68235902022 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), se adelantaron análisis fisicoquímicos con resultados en promedio de cenizas de 8.31%, Humedad de Equilibrio de 3.13(%), Humedad residual de 1.37%, Cenizas como SO3 de 8.06%, materia volátil (blmm) de 23.48%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 76.52% y un poder calorífico (blmm) de 15125,36 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv,) ver Tabla 16; el manto presenta una Gravedad Específica Verdadera entre 1.15 a 1.30 y un Índice de Hinchamiento entre 7 1/2 y 8.

Se utilizaron 5 puntos de control desde el FESA006 a FESA010 (ver Tabla 15), en dos de los cuales (FESA006 y FESA007) se adelantó medición para calcular contenidos de gas metano y por ende valores de Gas total libre de cenizas (Frente de mina y Pozo El Carmen de Chucurí 1) de 10.01 Scf/Ton y 275,65 Scf/Ton respectivamente (ver Tabla 11 y 13), tomando el promedio en los demás puntos de control. Se calculó el potencial de GMAC para el manto equivalente a 2.146.634.528,81 Scf o 2,15 Bcf (Billones de pies3) en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 20, 37 y Anexos H, K).

Figura 111. Manto M4. Manto de carbón de 0,48 m de espesor, con limolita arcillosa como respaldo superior e inferior, a 0.7 m estratigráficamente encima, se observa otro manto de carbón de 0,50 m de espesor (Manto M5), hacia techo, este presenta láminas de vitreno y un sistema de fracturamiento natural algo definido**.** Vereda la Piragua.

Figura 112. Mina Sesenta 2. Se trabaja un manto de 1,10 m de espesor (denominado para el estudio M4). Vereda El Control. El Carmen de Chucurí. Empresa Centromin.

M5. Este manto, se ha identificado a una distancia estratigráfica del anterior de aprox. 44 m. Es un carbón tipo clareno a vitreno. Los respaldos, están constituidos por arcillolitas de color gris medio a oscuro; bioturbada, con eventuales láminas de limolita de color gris. Su espesor promedio es de 0,42 m. El rumbo varía entre N20°E a N40°E, con buzamientos entre 6° a 27° NW.

Se adelantaron análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902021 (ver Tabla 15), correspondiente al pozo El Carmen de Chucurí 1. El valor registrado de ceniza (bslmm), es de 15.31%, Humedad de Equilibro de1.62%, Humedad residual de 0.68%, Cz como SO3 de 15.05, ST BHE de 1.17, Poder calorífico (blmm) de 15443,54 Btu/lb, Carbono fijo (bslmm) de 75.24, materia volátil (blmm) de 24.76%, clasificando el carbón como Bituminoso medio Volátil (Bmv, ver Tabla 16). Se obtuvo un valor de Gravedad específica Verdadera de 1,21 y el Índice de Hinchamiento de 6½.

Para el cálculo del potencial, se utilizaron 4 puntos de control del FESA011 a FESA014 (ver Tabla 15), se realizó medición de contenido de gas metano para la determinación de Gas total libre de cenizas en el punto FESA011, obteniéndose un valor de 634,59 Scf/Ton (Pozo El Carmen de Chucurí 1) con el promedio entre este valor y los hallados en los mantos M4 y M7, se obtuvo el volumen en los demás puntos de control. Se realizó la evaluación de recursos y reservas, donde se calculó para este manto un total de 5.077.111.005,61 Scf de GMAC (Ver Tablas 21, 37 y Anexos H, K), equivalente 5,08 Bcf (Billones de pies^3).

M6. Este manto está separado del manto anterior por un intervalo aproximado de 103,0 m, compuesto por arcillolita de color gris claro a oscuro, bioturbada, con presencia de esferulitas de siderita. Esta capa de carbón se localiza hacia el techo del nivel medio de la Formación Umir.

Este carbón es de tipo clareno a vitreno, en muestreo de mina se identificaron dos intercalaciones de hasta 0,15m de arcillolita de color negro. Los respaldos están constituidos por limolitas arcillosas de color gris oscuro a claro con presencia de materia orgánica y restos de materia orgánica. El espesor promedio para el sector de estudio es de 0,45 m. El rumbo varía entre N13°E a N40°E, con buzamientos entre 10° a 23° NW.

Los resultados promedios de los análisis fisicoquímicos realizados en las muestras 68235902007, 68235902020 corresponden a una Humedad de Equilibrio de 2,44 (%), Humedad residual de 1.08%, Cenizas de 24.55%, cenizas como SO3 de 23.99%, materia volátil (blmm) de 34,22%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 65,78% y un poder calorífico (blmm) de 14740,38 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv) a Bituminoso Alto volátil A (ver Tabla 16); el manto presenta una Gravedad Específica Verdadera entre 1.18 a 1.48 y un Índice de Hinchamiento entre 3½ a 5½.

Se utilizaron 3 puntos de control desde el FESA015 al FESA017 (ver Tabla 15), en dos de los cuales FESA015 (Pozo El Carmen de Chucurí 1) y FESA016 (Mina Estrella1), se tomaron muestras para la determinación del Gas total libre de cenizas, con valores de 67,23 Scf/Ton

(ver Tabla 11), 6,49 Scf/Ton (ver Tabla 13), estos valores fueron utilizados para la evaluación del potencial, donde se calculó un total de 384.681.722,91 Scf de GMAC, equivalente a 0,38 Bcf (Billones de pies^3) en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados, inferidos e hipotéticos para este manto (ver tablas 22, 37 y Anexos H, K).

M7. Se encuentra localizado hacia la base del nivel superior de la Formación Umir, separado del manto anterior por una secuencia de 20,0 m aprox. de arcillolita de color gris oscuro con algunos delgados niveles de arenita de grano fino a muy fino, de color gris claro, estratificación paralela ondulada con eventuales láminas delgadas de limolita.

Se caracteriza por ser un carbón tipo clareno a vitreno. Los respaldos están constituidos por arcillolitas de color gris oscuro, bioturbada. El espesor determinado en la muestra analizada es de 0,50 m (Pozo El Carmen de Chucurí 1). El rumbo del manto corresponde a N40°E y el buzamiento a 10° NW. Infrayace a este manto una serie de cintas de carbón en intercalación con arcillolitas de color gris (Ver Figura 113)

Los análisis fisicoquímicos realizados en la muestra 68235902019 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), arrojaron los siguientes resultados: Humedad de Equilibrio de 2,55 (%), Humedad residual de 0.82%, Cenizas de 27.21%, cenizas como SO3 de 26.51%, materia volátil (blmm) de 29.52%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 70.48% y un poder calorífico (blmm) de 14878,93 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv) (ver Tabla 16); el manto presenta una Gravedad Específica Verdadera de 1.31 y un Índice de Hinchamiento de 4½.

Se utilizó 1 punto de control para su evaluación, el punto FESA018 (ver Tabla 15) del pozo El Carmen de Chucurí 1, en donde se tomó muestra para determinar el valor de Gas total libre de cenizas, correspondiente a 42,45 Scf/Ton (ver Tabla 11); este valor fue empleado para el cálculo del potencial equivalente a 371.344.196,33 Scf de GMAC o 0.37 Bcf (Billones de pies3), en las categorías de Recursos y Reservas medidos, indicados, inferidos e hipotéticos para este manto (ver tablas 23, 37 y Anexos H, K).

M8. Estratigráficamente ubicado a 4,0m aproximadamente del manto anterior y en el nivel superior de la Formación Umir.

Es un carbón tipo clareno a vitreno; sus respaldos, están constituidos por arcillolitas de color gris oscuro, con baja bioturbación. El espesor es de 0,45 m. El rumbo es de N40°E, con buzamientos de 10° NW.

Se realizó análisis fisicoquímicos a una muestra (68235902018), obtenida en el Pozo El Carmen de Chucurí 1, con los siguientes valores: Humedad de Equilibrio de 6,37 (%), Humedad residual de 0.86%, Cenizas de 25.74%, Cenizas como SO3 de 24.09%, materia volátil (blmm) de 26,46%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 73,54% y un poder calorífico (blmm) de 13756,75 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso

medio volátil (Bmv) (Ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.29 y un Índice de Hinchamiento de 6.

Figura 113. Manto M7. Afloramiento de carbón de 0,8 m de espesor, Caño los aburridos. Vereda el Porvenir.

Para la evaluación del potencial de GMAC, se tuvo en cuenta 1 punto de control, el FESA018, (Ver Tabla15), donde se realizó medición de contenido de gas metano (pozo El Carmen de Chucuri 1, ver Tabla 11) con un valor de 46,77 Scf/Ton. Se obtuvo un potencial de 361.832.397,00 Scf de GMAC, equivalente a 0.36 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 24, 37 y Anexos H, K).

M9. Ubicado hacia la base del Umir superior, separado del anterior manto por 0,70m de arcillolita de color gris oscuro, muy compacta.

Corresponde a un carbón tipo clareno a vitreno; su respaldo superior está constituido por arcillolitas de color gris oscuro, con estratificación paralela ondulada, esporádicas láminas delgadas de limolita de color gris. El espesor del manto es de 0.48 m, con rumbo N40°E y buzamiento 10° NW.

Se realizó análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902017, obteniéndose valores de Humedad de Equilibrio de 1,40 (%), Humedad residual de 0.70%, Cenizas de 27.51%, Cenizas como SO3 de 27.12%, materia volátil (blmm) de 31,22%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 68,78% y un poder calorífico (blmm) de 15722,85 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.28 y un Índice de Hinchamiento de 5½.

Para la evaluación del potencial de GMAC, se tuvo en cuenta 1 punto de control, el FESA018, (ver Tabla 15), donde se realizó medición de contenido de gas metano (pozo El Carmen de

Chucuri 1, ver Tabla 11) con un valor de 61,69 Scf/Ton. Se obtuvo un potencial de 505.130.779,51 Scf de GMAC, equivalente a 0,51 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 25, 37 y Anexos H, K).

M10. Se ubica estratigráficamente a una distancia de 8,0 m suprayaciendo el manto anterior. Es un carbón clareno a vitreno; el respaldo superior está conformado por arcillolitas limosas de color gris oscuro, estratificación plano paralela ondulada con láminas delgadas a medias de limolita y calcita, el respaldo inferior, corresponde a arcillolitas de color gris oscuro, estratificación paralela ondulada con delgadas láminas de limolita. Presenta un espesor promedio de 0,49 m. El rumbo varía entre N 20° E a N 40° E con buzamientos entre 10° a 17° NW.

De las muestras obtenidas, se realizó análisis fisicoquímicos en una (68235902016), en la cual se registraron valores de Humedad de Equilibrio de 1,02 (%), Humedad residual de 0.75%, Cenizas de 10,80%, Cenizas como SO3 de 10,69%, materia volátil (blmm) de 29,03%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 70,97% y un poder calorífico (blmm) de 15601,21 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.17 y un Índice de Hinchamiento de 7½.

Los puntos de control FESA019 (Pozos El Carmen de Chucurí 1) a FESA020 (afloramiento), (ver Tabla 15), se utilizaron para la evaluación de reservas y recursos en sus diferentes categorías, de los cuales en el punto FESA019 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), se tomó muestra para medición de contenido de gas metano, obteniéndose valores de gas total libre de cenizas de 60,46 Scf/Ton (ver Tabla 11). El potencial de GMAC calculado es de 558.725.603,63 Scf (ver Tablas 26, 37 y Anexos H, K), equivalente a 0,56 Bcf (Billones de pies^3).

M11. Identificado a 3.50m del manto anterior en el Pozo El Carmen de Chucurí 1. Es un carbón tipo clareno a vitreno. Sus respaldos, están constituidos por arcillolitas carbonosas con estratificación paralela ondulada con láminas delgadas a medianas de limolita y presencia de calcita. El espesor promedio es de 0,50 m, cuya dirección de las capas varía entre N 12° E a N 40°E con buzamientos entre 10° a 25° al NW (ver Figura 114).

Se realizó análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902006, en la cual se registró los siguientes valores: Humedad de Equilibrio de 3,47 (%), Humedad residual de 1,37%, Cenizas de 12,03%, Cenizas como SO3 de 11,61%, materia volátil (blmm) de 37.67%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 62,33% y un poder calorífico (blmm) de 14215,02 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.33 y un Índice de Hinchamiento de 5½.

Para el cálculo del potencial, se utilizaron 5 puntos de control del FESA021 al FESA025 (ver Tabla 15), de los cuales en el punto de control FESA024 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), se tomó muestra para medición de contenido de gas metano, obteniéndose valores de gas total libre de cenizas de 19,60Scf/ton (ver Tabla 11). El potencial de GMAC calculado es de 463.641.798,62 Scf (ver Tablas 27, 37 y Anexos H, K), equivalente a 0,46 Bcf (Billones de pies^3).

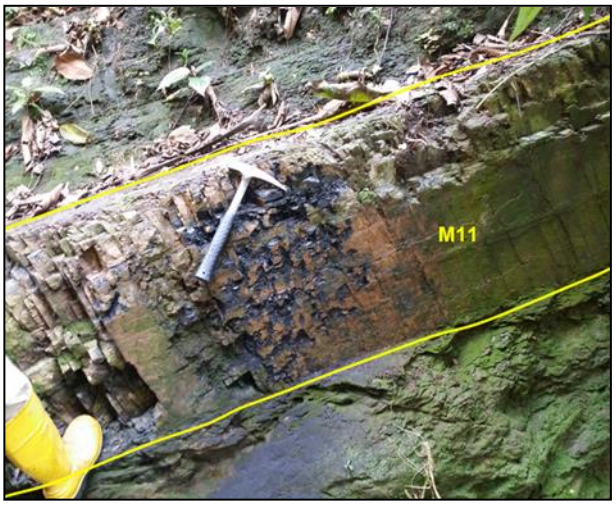


Figura 114. Manto M11. Afloramiento manto de carbón de 0,64 m de espesor, con limolitas arcillosas como respaldos, con algunas cintas de carbón de 0.05m de espesor. Vereda La Piragua.

M12. Identificado a una distancia del anterior de 9,50 m aproximadamente. Es un carbón tipo clareno a fuseno, con láminas de vitreno. Su respaldo superior está conformado por arcillolitas limosas de color gris oscuro con estratificación paralela ondulada, láminas delgadas a medias de limolita; el respaldo inferior, por arcillolitas carbonosas con estratificación paralela ondulada, láminas delgadas a medias de limolita. El espesor promedio es de 0,64 m, con variaciones en el rumbo entre N 27°E a N 40°E y buzamientos entre 10° a 25° NW, también se registra una dirección N15°W con buzamiento 10°SW.

De los análisis fisicoquímicos realizados en la muestra 68235902015, se tiene un valor de Humedad de Equilibrio de 3,46 (%), Humedad residual de 1,69%, Cenizas de 3,49%, Cenizas como SO3 de 3,36%, materia volátil (blmm) de 23,91%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 76,09% y un poder calorífico (blmm) de 14986,37 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso medio volátil (Bmv) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.32 y un Índice de Hinchamiento de 6.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 4 puntos de control del FESA026 al FESA029 (ver Tabla 15), de los cuales en el FESA027, se tomó muestra para medición de contenidos de gas metano, obteniéndose un valor de gas total libre de cenizas de 27,17 Scf/Ton (ver Tabla 11). Las áreas de influencia de los demás puntos, se evaluaron con el promedio obtenido entre este valor y los valores registrados en los mantos M11 y M13. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de

563.211.699,59 Scf equivalente a 0,56 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 28, 37 y Anexos H, K).

M13. Suprayace al manto anterior en una distancia aproximada de 15,0 m. Es un carbón de tipo clareno a vitreno; el respaldo superior corresponde a arcillolitas carbonosas y el respaldo inferior a arcillolitas limosas de color gris oscuro con estratificación paralela ondulada con láminas delgadas a medias de limolitas de color gris.

Este manto presenta un espesor promedio de 0.48 m, el rumbo corresponde a N40° E con buzamientos entre 10° a 37° NW y direcciones N15°W con buzamiento 10SW.

De los análisis fisicoquímicos realizados en 1 muestra (68235902014), se tiene un valor de Humedad de Equilibrio de 1,55 (%), Humedad residual de 0,81%, Cenizas de 43,65%, Cenizas como SO3 de 42,96%, materia volátil (blmm) de 31,66%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 68,34% y un poder calorífico (blmm) de 14704,71 Btu/lb, lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1,57 y un Índice de Hinchamiento de 6½.

Se tomaron 3 puntos de información de FESA030 a FESA032 (ver Tabla 15) utilizados para la evaluación de Recursos y Reservas en sus diferentes categorías; en el punto FESA030, se realizó mediciones de contenidos de gas metano, obteniéndose valores de gas total libre de cenizas de 50,68 Scf/Ton (ver Tabla 11), en los demás punto de control se utilizó el promedio entre este valor y los registrados en los mantos M12 y M14. El potencial de GMAC fue de 634.435.952,76 Scf (ver Tablas 29, 37 y Anexos H, K) equivalente a 0,63 Bcf (Billones de pies^3).

M14. Localizado a 1.0m aproximadamente del manto anterior. Es un carbón de tipo vitreno; Los respaldos, corresponden a arcillolitas carbonosas con láminas de limolita de color gris. Este manto presenta un espesor promedio de 0.46 m, el rumbo corresponde a N40° E con buzamientos entre 10° a 37° NW.

De los análisis fisicoquímicos realizados en 1 muestra (68235902013), se tiene un valor de Humedad de Equilibrio de 1,25 (%), Humedad residual de 0,63%, Cenizas de 13,50%, Cenizas como SO3 de 13,33%, materia volátil (blmm) de 31,18%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 68,82% y un poder calorífico (blmm) de 15373,33 Btu/lb, lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1,13 y un Índice de Hinchamiento de 6½.

Se tomaron 3 puntos de información de FESA033 a FESA034 (ver Tabla 15) utilizados para la evaluación de Recursos y Reservas en sus diferentes categorías; en el punto FESA033, se realizó mediciones de contenidos de gas metano, con un valor de 91,58 Scf/Ton (ver Tabla 11) en el otro punto de control se utilizó el promedio entre este valor y los registrados en los mantos M13 y M15. El potencial de GMAC fue de 712.721.576,39 Scf (ver Tablas 30, 37 y Anexos H, K) equivalente a 0,71 Bcf (Billones de pies^3).

M15. Identificado a una distancia del anterior de 3,0 m aproximadamente. Es un carbón tipo vitreno. Su respaldo superior está conformado por arcillolitas limosas de color gris oscuro con estratificación paralela ondulada; el respaldo inferior, por arcillolitas carbonosas muy compactas. El espesor promedio es de 0,69 m, con variaciones en el rumbo entre N 27°E a N 40°E y buzamientos entre 10° a 37° NW.

De los análisis fisicoquímicos realizados en las muestras 68235902012 y 68235902004, se tiene un promedio de Humedad de Equilibrio de 1,74 (%), Humedad residual de 0,87%, Cenizas de 16,27%, Cenizas como SO3 de 16%, materia volátil (blmm) de 33,09%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 66,91% y un poder calorífico (blmm) de 15092,58 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.30 y un Índice de Hinchamiento entre 5½ y 6.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 4 puntos de control del FESA035 (Pozo El Carmen de Chucurí 1) al FESA038 (ver Tabla 15), de los cuales en el FESA035 y FESA036, se tomó muestra para medición de contenidos de gas metano, obteniéndose un valor de gas total libre de cenizas de 34.26 Scf/Ton y 7.78Scf/Ton respectivamente (ver Tablas 11 y 13). Las áreas de influencia de los demás puntos, se evaluaron con el promedio obtenido entre los valores anteriores. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue 265.727.584,44 Scf equivalente a 0,27 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 31, 37 y Anexos H, K).

M16. Identificado a una distancia del anterior de 31,0 m aproximadamente. Es un carbón tipo clareno a vitreno. Sus respaldos están conformados por arcillolitas limosas de color gris oscuro con estratificación paralela ondulada y láminas delgadas a medias de limolita de color gris. El espesor promedio es de 0,67 m, con variaciones en el rumbo entre N 18°E a N 44°E y buzamientos entre 10° a 37° NW.

De adelantó análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902011, obteniéndose valores de Humedad de Equilibrio de 1,59 (%), Humedad residual de 0,70%, Cenizas de 12.19%, Cenizas como SO3 de 11,99%, materia volátil (blmm) de 32,26%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 67,74% y un poder calorífico (blmm) de 15092,44 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1.11 y un Índice de Hinchamiento de 7.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 5 puntos de control del FESA039 a FESA043, (ver Tabla 15), de los cuales en el FESA040, se tomó muestra para medición de contenidos de gas metano, obteniéndose un valor de gas total libre de cenizas de 23,17 Scf/Ton (ver Tabla 11). Las áreas de influencia de los demás puntos, se evaluaron con el promedio obtenido entre este valor y el de los mantos M15 y M17. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas,

indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de 324.219.841,49 Scf equivalente a 0,32 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 32, 37 y Anexos H, K).

M17. Dista del anterior 5,0m aproximadamente. Es un carbón tipo clareno a vitreno, que presenta dos intercalaciones de arcillolita carbonosa ligeramente calcárea, una de 0.30m y otra de 0.40m. Sus respaldos están conformados por arcillolitas limosas de color gris oscuro con estratificación paralela ondulada y láminas delgadas a medias de limolita de color gris. El espesor promedio es de 0,90 m, con variaciones en el rumbo entre N 14°E a N 50°E y buzamientos entre 10° a 35° NW.

Se adelantó análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902010, obteniéndose valores de Humedad de Equilibrio de 1,37 (%), Humedad residual de 0,76%, Cenizas de 20,19%, Cenizas como SO3 de 19,81%, materia volátil (blmm) de 32,34%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 67,66% y un poder calorífico (blmm) de 15290,51 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en esta muestra, una Gravedad Específica Verdadera de 1,36 y un Índice de Hinchamiento de 5½16

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 6 puntos de control del FESA044 a FESA049, (ver Tabla 15), de los cuales en el FESA044, se tomó muestra para medición de contenidos de gas metano, obteniéndose un valor de gas total libre de cenizas de 28,85 Scf/ton (ver Tabla 11), en los demás puntos de control se utilizó e promedio entre este valor y los registrados entre los mantos M16 y M18. Las áreas de influencia de los demás puntos, se evaluaron con el promedio obtenido entre este valor y los correspondientes al promedio de contenidos en los mantos M16 y M18. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de 437.159.613,95 Scf equivalente a 0,44 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 33, 37 y Anexos H, K).

M18. Se encuentra a una distancia de 7,0m aproximadamente del manto anterior. Es un carbón tipo vitreno. Su respaldo inferior, está conformado por arcillolitas limosas de color gris oscuro con láminas delgadas a medias de limolita de color gris claro, estratificación paralela, ondulada, bioturbada. Su respaldo superior, lo componen limolitas arcillosas de color gris claro, bandeada, bioturbada. El espesor promedio es de 1,22 m, con variaciones en el rumbo entre N 14°E a N 55°E y buzamientos entre 15° a 50° NW.

Se adelantó análisis fisicoquímicos en las muestras 68235902009, 68235902003, 68235902001, obteniéndose valores en promedio de Humedad de Equilibrio de 1,94 (%), Humedad residual de 1,09%, Cenizas de 14,68%, Cenizas como SO3 de 14,41%, materia volátil (blmm) de 32,41%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 67,59% y un poder calorífico (blmm) de 15196,26 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en promedio, una Gravedad Específica Verdadera de 1,23 y un Índice de Hinchamiento entre 5½ y 7.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 8 puntos de control del FESA050 a FESA057, (ver Tabla 15), de los cuales en los puntos FESA050 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), FESA052 (Mina Angosturas 1), FESA054 (Mina Porvenir), se tomó muestra para medición de contenidos de gas metano, obteniéndose un valor de gas total libre de cenizas de 20,22 Scf/ton (ver Tabla 11), 20,32 Scf/ton (ver Tabla 13), 16,5 (ver Tabla 13). Las áreas de influencia de los demás puntos, se evaluaron con el promedio obtenido entre estos valores.

Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de 520,749,287,88 Scf equivalente a 0,52 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 34, 37 y Anexos H, K).

M19. Localizado hacia el techo del Nivel Superior de la Formación Umir, a una distancia estratigráfica del anterior de 8,0m aproximadamente. Es un carbón tipo vitreno. Sus respaldos, están conformados por arcillolitas carbonosas ligeramente calcáreas. El espesor promedio es de 0,71 m (Ver Figura 115), con variaciones en el rumbo entre N 25°E a N 50°E y buzamientos entre 16° a 43° NW y direcciones N15°W / 15°SW.

De esta capa no se tomó muestra para análisis fisicoquímico ni para medición por el espesor registrado en la perforación (Pozo El Carmen de Chucurí-1), sin embargo al proyectar la traza del mismo, se pudo establecer su continuidad, por lo cual se registra como un manto más en la secuencia carbonífera. Los datos con los cuales se ha trabajado este manto corresponden a los promedios entre lo registrado por los mantos M18 y M20.

Así se obtiene, una Humedad de Equilibrio de 1,75 (%), Humedad residual de 1,0%, Cenizas de 15,28%, Cenizas como SO3 de 15,03%, materia volátil (blmm) de 33,17%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 66,83% y un poder calorífico (blmm) de 15278,15 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta en promedio, una Gravedad Específica Verdadera de 1,22 y un Índice de Hinchamiento de 6.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 7 puntos de control del FESA058 a FESA064, (ver Tabla 15), se tomó para obtener valor de medición de gas metano, el promedio de los contenidos en los mantos M18 y M20, equivalente a 18,0 Scf/Ton. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de 269.168.046,43 Scf equivalente a 0,27 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 35, 37 y Anexos H, K).

A 1,40m de esta capa, suprayaciendo, se encuentra una cinta de carbón de 0,24m, tipo vitreno y a 0,75m infrayaciendo, otra cinta de carbón de 0,10m, tipo clareno a vitreno.

Figura 115. Manto M19. Afloramiento de carbón de 0.70m de espesor, este suprayace a una cinta de carbón de 0,35m, con arcillolitas y limolitas como respaldos. Vereda Porvenir.

M20. Es la última capa de carbón identificada hacia el techo de la Formación Umir, se encuentra a 9,0 m aproximadamente del manto anterior. Es un carbón tipo vitreno a clareno. Su respaldo superior, corresponde a arcillolitas limosas de color gris oscuro, con presencia de calcita y su respaldo inferior, arcillolitas de color gris oscuro, con láminas delgadas a medias de limolita de color gris claro, ligeramente calcáreas, con láminas de calcita, estratificación paralela, ondulada, bioturbada. El espesor promedio es de 0,60 m, con variaciones en el rumbo entre N 21°E a N 40°E y buzamientos entre 16° a 36° NW y dirección N30°W / 24°SW.

Se adelantó análisis fisicoquímicos en la muestra 68235902008, obteniéndose valores en Humedad de Equilibrio de 1,16 (%), Humedad residual de 0,71%, Cenizas de 17,10%, Cenizas como SO3 de 16,88%, materia volátil (blmm) de 35,47%, un contenido de carbono fijo (bslmm) de 64,53% y un poder calorífico (blmm) de 15523,82 Btu/lb , lo que permite clasificar el carbón como Bituminoso alto volátil A (Bav A) (ver Tabla 16); el manto presenta, en esta muestra una Gravedad Específica Verdadera de 1,20 y un Índice de Hinchamiento de 6.

Para la evaluación de recursos y reservas se utilizaron 4 puntos de control del FESA065 a FESA068, (ver Tabla 15), con medición de contenidos de gas metano en el punto FESA065 (Pozo El Carmen de Chucurí 1), con un valor de 14,61 Scf/Ton. Con estos puntos de control se generaron áreas para el cálculo de Reservas en las categorías de medidas, indicadas, inferidas e hipotéticas. El potencial de GMAC calculado fue de 180.754.521,23 Scf equivalente a 0,18 Bcf (Billones de pies3) como Reservas y Recursos en las categorías de medidos, indicados, inferidos e hipotéticos (ver Tablas 36, 37 y Anexos H, K).

Tabla 15. Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Flanco Oriental Sinclinal de Andes.

No. De Campo/ Referencia	Canister	Punto de Control	Este	Norte	Altura	Descripción Localidad	Rumbo	Buzamiento	Espesor	Manto
68235902002	FM:02	FESA001	1047782	1222406		Mina Agua Viva	N42E	21NW	0,50	M1
		FESA002	1047836	1222553	535	Afloramiento	N30E	27NW	0,69	M1
	FM:03	FESA001	1047782	1222406		Mina Agua Viva	N42E	21NW	0,80	M2
		FESA002	1047836	1222553	535	Afloramiento	N30E	27NW	0,74	M2
68235902026	PCCh1:19	FESA003	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	5NW	0,36	M3
		FESA004	1050841	1227267	396	Afloramiento	N30E	27NW	0,16	M3
		FESA005	1051615	1229585	392	Afloramiento	N30E	20NW	0,30	M3
68235902005	FM:06	FESA006	1051994	1230944		Mina El Sesenta-2	N12E	3NW	1,00	M4
68235902022	PCCh1:15	FESA007	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	6NW	0,60	M4
		FESA008	1048726	1224518	359	Afloramiento	N50E	25NW	0,24	M4
		FESA009	1050841	1227267	396	Afloramiento	N30E	27NW	0,50	M4
		FESA010	1051704	1229877	369	Afloramiento	N20E	24NW	0,50	M4
68235902021	PCCh1:14	FESA011	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	6NW	0,51	M5
		FESA012	1050841	1227267	396	Afloramiento	N30E	27NW	0,20	M5
		FESA013	1051080	1228041	374	Afloramiento	N40E	24NW	0,47	M5
		FESA014	1051704	1229877	369	Afloramiento	N20E	24NW	0,48	M5
68235902020	PCCh1:13	FESA015	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,43	M6
68235902007	FM:08	FESA016	1051327	1229813		Mina Estrella 1	N13E	17NW	0,53	M6
		FESA017	1051888	1231124	406	Afloramiento	N30E	23NW	0,40	M6
68235902019	PCCh1:12	FESA018	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,50	M7
68235902018	PCCh1:11	FESA018	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,45	M8
68235902017	PCCh1:10	FESA018	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,48	M9
68235902016	PCCh1:09	FESA019	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,41	M10
		FESA020	1051286	1230140	395	Afloramiento	N20E	17NW	0,56	M10
		FESA021	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,33	M11
		FESA022	1050534	1227302	449	Afloramiento	N27E	24NW	0,40	M11
		FESA023	1051279	1229605	387	Afloramiento	N20E	24NW	0,64	M11
68235902006	FM:07	FESA024	1051268	1229850		Mina Estrella 2	N12E	25NW	0,70	M11
		FESA025	1051267	1230180	413	Afloramiento	N20W	17SW	0,42	M11
		FESA026	1047596	1222976	560	Afloramiento	N40E	24NW	1,00	M12

Tabla 15 (continuación). Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Flanco Oriental Sinclinal de Andes.

No. De Campo/ Referencia	Canister	Punto de Control	Este	Norte	Altura	Descripción Localidad	Rumbo	Buzamiento	Espesor	Manto
68235902015	PCCh1:08	FESA027	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,75	M12
		FESA028	1051205	1229625	392	Afloramiento	N27E	25NW	0,40	M12
		FESA029	1051094	1230266	440	Afloramiento	N15W	10SW	0,42	M12
68235902014	PCCh1:07	FESA030	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,55	M13
		FESA031	1050444	1227385	482	Qda La Batea	N40E	37NW	0,51	M13
		FESA032	1051081	1230258	443	Afloramiento	N15W	10SW	0,37	M13
68235902013	PCCh1:06	FESA033	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,45	M14
		FESA034	1050444	1227385		Qda La Batea	N40E	37NW	0,47	M14
68235902012	PCCh1:05	FESA035	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,50	M15
68235902004	FM:05	FESA036	1048068	1224397		Mina Angosturas 2	N27E	25NW	0,90	M15
		FESA037	1048298	1224691	398	Qda Mina	N40E	21NW	0,96	M15
		FESA038	1050408	1227366		Qda La Batea	N40E	37NW	0,41	M15
		FESA039	1047157	1222556	559	Afloramiento	N18E	24NW	0,70	M16
68235902011	PCCh1:04	FESA040	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	10NW	0,50	M16
		FESA041	1048156	1224676		Qda Mina	N44E	21NW	0,75	M16
		FESA042	1050401	1227370		Qda La Batea	N40E	37NW	1,00	M16
		FESA043	1050582	1228095	429	Caño Los Aburridos	N35E	15 NW	0,40	M16
68235902010	PCCh1:03	FESA044	1047060	1223217	683	El Carmen de	N40E	10NW	0,63	M17
		FESA045	1048154	1224678		Qda Mina	N35E	25 NE	0,90	M17
		FESA046	1049352	1225902	464	Mina Amparo 1	N50E	22NW	0,90	M17
		FESA047	1050423	1227408	506	Qda La Batea	N40E	35NW	1,30	M17
		FESA048	1050582	1228095	429	Afloramiento	N35E	15 NW	0,90	M17
		FESA049	1051112	1229598	420	Afloramiento	N14E	18NW	0,75	M17
68235902009	PCCh1:02	FESA050	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	16NW	1,15	M18
		FESA051	1047653	1223436	532	Mina Las Delicias	N50E	25NW	1,40	M18
68235902003	FM:04	FESA052	1048133	1224430		Mina Angosturas 1	N50E	40NW	1,10	M18
		FESA053	1048133	1224692	422	Afloramiento	N55E	25NW	1,10	M18
68235902001	FM:01	FESA054	1048913	1225433		Porvenir	N50E	27NW	1,45	M18
		FESA055	1050582	1228095	429	Caño los Aburridos	N35E	15 NW	1,40	M18
		FESA056	1051112	1229598	420	Afloramiento	N14E	18NW	1,15	M18
		FESA057	1051092	1231105	469	Afloramiento	N40E	50NW	1,00	M18
		FESA058	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	16NW	0,30	M19

Tabla 15 (continuación). Localización sitios con información y muestras de carbón del Área GMAC Flanco Oriental Sinclinal de Andes.

No. De Campo/ Referencia	Canister	Punto de Control	Este	Norte	Altura	Descripción Localidad	Rumbo	Buzamiento	Espesor	Manto
		FESA059	1048101	1224721	428	Qda Mina	N45E	21NW	0,35	M19
		FESA060	1049360	1226082	370	Mina Amparo 2	N50E	22NW	0,90	M19
		FESA061	1049674	1226568	511	Afloramiento	N45E	27NW	0,70	M19
		FESA062	1050938	1230278	477	Afloramiento	N15W	15SW	0,40	M19
		FESA063	1051044	1231108	500	Afloramiento	N25E	43NW	0,62	M19
		FESA064	1051151	1231499		Afloramiento	N61E	48SE	1,70	M19
68235902008	PCCh1:01	FESA065	1047060	1223217	683	Pozo El Carmen de	N40E	16NW	0,55	M20
		FESA066	1048039	1224727	442	Qda Mina	N40E	17NW	0,80	M20
		FESA067	1050884	1230275	500	Afloramiento	N30W	24SW	0,44	M20
		FESA068	1050975	1231110	528	Afloramiento	N21E	36NW	0,60	M20

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 16. Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Manto	Espesor (m)	PC LMM	C.F.S LMM	M.V. LMM	Clasificación
68689901001	65465	FM:01	1.245.832	1.058.599	El Carmen de Chucuri "Santander".Frente de Mina (Porvenir)	M18	1.45	14954,99	68,00	32,00	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68689901002	65466	FM:02 , FM:03	1.245.833	1.058.600	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Agua Viva 1). Nivel Inferior	M1, M2	0.50	15348,47	62,03	37,97	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68689901003	65467	FM:04	1.252.715	1.062.362	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Angosturas1)	M18	1.10	15235,49	67,47	32,53	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A

Tabla 16 (continuación). Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Manto	Espesor (m)	PC LMM	C.F.S LMM	M.V. LMM	Clasificación
68689901004	65468	FM:05	1.252.905	1.062.279	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Angosturas2)	M15	1.20	15097,71	66,08	33,92	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68689901005	65469	FM:06	1.253.044	1.062.337	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Sesenta2)	M4	1.00	14986,37	76,09	23,91	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68689901006	65470	FM:07	1.254.023	1.062.753	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Estrella2)	M11	0.70	14215,02	62,33	37,67	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68689901007	65471	FM:08	1.249.533	1.058.883	El Carmen de Chucuri "Santander". Frente de Mina (Estrella1)	M6	0.53	14833,70	60,46	39,54	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68689901008	E16000450001	PCCh1:01	1.249.646	1.058.798	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:181,140-181,95m	M20	0.55	15523,82	64,53	35,47	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68689901009	69482	PCCh1:02	1.249.649	1.058.796	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:200,0m	M18	1.15	15398,29	67,31	32,69	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68689901010	69483	PCCh1:03	1.250.257	1.058.815	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:207,45m	M17	t-b: 0,23c+0,30r+0,30c+0,42r+0,19c	15290,51	67,66	32,34	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA
68307901011	E16000450002	PCCh1:04	1.277.245	1.079.600	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:213m	M16	0.50	15092,44	67,74	32,26	BITUMINOSO ALTO VOLÁTILA

Tabla 16 (continuación). Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Manto	Espesor (m)	PC LMM	C.F.S LMM	M.V. LMM	Clasificación
68307901012	E16000450003	PCCh1:05	1.276.176	1.077.457	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:244,50 m	M15	0.50	15087,45	67,74	32,26	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68307901013	E16000450004	PCCh1:06	1.276.176	1.077.457	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:247,50m	M14	0.45	15373,33	68,82	31,18	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68307901014	69484	PCCh1:07	1.276.182	1.077.443	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof: 248,78m	M13	0.55	14704,71	68,34	31,66	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68307901015	69485	PCCh1:08	1.277.753	1.079.374	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof: 264,40m	M12	0.75	15414,65	68,83	31,17	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68307901016	E16000450005	PCCh1:09	1.277.752	1.079.374	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:278,12 - 278,53 m	M10	0.41	15601,21	70,97	29,03	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68307901017	E16000450006	PCCh1:10	1.277.760	1.079.427	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:285,83 - 286,38 m	M9	0.48	15722,85	68,78	31,22	BITUMINOSO ALTO VOLÁTIL A
68689901018	E16000450007	PCCh1:11	1.256.860	1.069.753	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:286,95 - 287,40 m	M8	0.45	13756,75	73,54	26,46	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

Tabla 16 (continuación). Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Manto	Espesor (m)	PC LMM	C.F.S LMM	M.V. LMM	Clasificación
68689901019	E16000450008	PCCh1:12	1.256.869	1.069.741	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:290,55 - 291,05 m	M7	0.50	14878,93	70,48	29,52	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68895901020	E16000450009	PCCh1:13	1.261.717	1.072.234	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:310,98 - 311,41 m	M6	0.43	14647,06	71,10	28,90	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68895901021	E16000450010	PCCh1:14	1.261.717	1.072.247	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:414,71 - 415,22 m	M5	0.51	15443,54	75,24	24,76	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68895901022	E16000450011	PCCh1:15	1.261.854	1.072.523	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:459,27 - 459,87 m	M4	0.60	15264,36	76,94	23,06	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68895901023	E16000450012	PCCh1:16	1.262.013	1.072.868	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:460,82 - 461,21 m	Cinta 5	0.38	15180,56	75,72	24,28	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68092901024	E16000450013	PCCh1:17	1.266.695	1.074.399	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:465,90 - 466,20 m	Cinta 4	0.3	15176,96	75,76	24,24	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

Tabla 16 (continuación). Clasificación de carbones por rango según la norma ASTM. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

No. De Campo/ Referencia	Referencia Laboratorio	Canister	Norte	Este	Localización Geográfica	Manto	Espesor (m)	PC LMM	C.F.S LMM	M.V. LMM	Clasificación
68092901025	E16000450014	PCCh1:18	1.267.865	1.075.251	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:470,57 - 470,77 m	arcillolita carbonosa	0.20	12811,46	73,26	26,74	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68092901026	E16000450015	PCCh1:19	1.267.865	1.075.251	EL Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:478,59 - 478,95 m	M3	0,48	15356,05	76,09	23,91	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68092901027	E16000450016	PCCh1:20	1.267.865	1.075.251	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:494,43 - 494,63 m	Cinta 3	0.20	15328,27	71,99	28,01	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68092901028	E16000450017	PCCh1:21	1.267.865	1.075.251	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:567,24 - 567,49 m	Cinta 2	0.25	14965,90	77,00	23,00	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL
68092901029	E16000450018	PCCh1:22	1.267.865	1.075.251	El Carmen de Chucuri "Santander". Pozo. Carmen de Chucurí-1. Prof:572,76 - 573,12 m	Cinta 1	t-b: 0,09c+0,14r+0,13c	15033,94	76,35	23,65	BITUMINOSO MEDIO VOLÁTIL

Fuente: Datos del Estudio

Tabla 17. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M1. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA001	116068.3911	21	124,326.08	0.50	12.65					1,061,589.28			
A2	FESA001	13818.4290	21	14,801.54	0.50	12.65	126,386.66							
E3	FESA002	37169.8257	27	41,716.67	0.69	16.92	657,495.61							
B4	FESA001	257986.4288	21	276,340.87	0.50	12.65			2,359,605.62					
B5	FESA001	317114.1422	21	339,675.23	0.50	12.65				2,900,401.83				
F6	FESA002	32393.9127	27	36,356.54	0.69	16.92			573,014.67					
F7	FESA002	66263.7512	27	74,369.55	0.69	16.92				1,172,136.94				
C8	FESA001	278078.4923	21	297,862.38	0.50	12.65					2,543,372.44			
C9	FESA001	2316442.3742	21	2,481,245.65	0.50	12.65						21,186,736.31		
G10	FESA002	34037.7226	27	38,201.43	0.69	16.92					602,091.96			
G11	FESA002	244589.9880	27	274,509.76	0.69	16.92						4,326,542.85		
D12	FESA001	896737.1489	21	960,535.51	0.50	12.65							8,201,772.57	
D13	FESA001	10641074.8553	21	11,398,134.06	0.50	12.65								97,325,817.19
H14	FESA002	34296.6078	27	38,491.98	0.69	16.92							606,671.37	
H15	FESA002	448798.8409	27	503,698.71	0.69	16.92								7,938,785.37
GE = **1.35**						TOTAL RECURSOS	657,495.61	-	573,014.67	1,172,136.94	602,091.96	4,326,542.85	606,671.37	7,938,785.37
						TOTAL RESERVAS	126,386.66	-	2,359,605.62	2,900,401.83	3,604,961.72	21,186,736.31	8,201,772.57	97,325,817.19

Fuente: Datos del estudio

Tabla 18. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M2. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA001	116068.3911	21	124,326.08	0.80	21.19					2,845,227.12			
A2	FESA001	13818.4290	21	14,801.54	0.80	21.19	338,736.23							
E3	FESA002	37169.8257	27	41,716.67	0.74	16.92	705,140.22							
B4	FESA001	257986.4288	21	276,340.87	0.80	21.19			6,324,116.12					
B5	FESA001	317114.1422	21	339,675.23	0.80	21.19				7,773,535.48				
F6	FESA002	32393.9127	27	36,356.54	0.74	16.92			614,537.47					
F7	FESA002	66263.7512	27	74,369.55	0.74	16.92				1,257,074.39				
C8	FESA001	278078.4923	21	297,862.38	0.80	21.19					6,816,640.25			
C9	FESA002	2316442.3742	21	2,481,245.65	0.80	16.92						45,341,290.55		
G10	FESA002	34037.7226	27	38,201.43	0.74	16.92					645,721.81			
G11	FESA002	244589.9880	27	274,509.76	0.74	16.92						4,640,060.45		
D12	FESA001	896737.1489	21	960,535.51	0.80	21.19							21,982,047.20	
D13	FESA001	10641074.8553	21	11,398,134.06	0.80	21.19								260,848,577.55
H14	FESA002	34296.6078	27	38,491.98	0.74	16.92							650,633.06	
H15	FESA002	448798.8409	27	503,698.71	0.74	16.92								8,514,059.67
GE = **1.35**						TOTAL RECURSOS	705,140.22	-	614,537.47	1,257,074.39	645,721.81	4,640,060.45	650,633.06	8,514,059.67
						TOTAL RESERVAS	338,736.23	-	6,324,116.12	7,773,535.48	9,661,867.37	45,341,290.55	21,982,047.20	260,848,577.55

Fuente: Datos del estudio

Tabla 19. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M3. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA003	671309.98	5	673,874.28	0.36	661.98					202,347,010.76			
B2	FESA003	48388.13	5	48,572.96	0.36	661.98			14,585,204.58					
C3	FESA003	122454.99	5	122,922.75	0.36	661.98						36,910,521.21		
B4	FESA003	997553.50	5	1,001,364.00	0.36	661.98				300,683,701.09				
A5	FESA003	193980.14	5	194,721.11	0.36	661.98		58,469,712.52						
C6	FESA003	2217435.65	5	2,225,905.89	0.36	661.98						668,381,949.93		
D7	FESA003,FES	226292.98	17	236,632.70	0.27	319.61							25,729,118.43	
D8	FESA003,FES	4812365.22	17	5,032,250.64	0.27	319.61								547,163,264.27
G9	FESA004	3274276.69	27	3,674,806.64	0.16	319.61						236,780,197.85		
G10	FESA004	303465.76	27	340,587.58	0.16	319.61					21,945,207.60			
F11	FESA004	452638.88	27	508,008.50	0.16	319.61				32,732,702.41				
E12	FESA004	3729.42	27	4,185.62	0.16	319.61		269,693.75						
F13	FESA004	104879.37	27	117,708.86	0.16	319.61			7,584,379.44					
E14	FESA004	84092.49	27	94,379.21	0.16	319.61	6,081,171.13							
F15	FESA004	102703.28	27	115,266.59	0.16	319.61			7,427,015.50					
G16	FESA004,FES	199839.04	24	218,751.06	0.23	319.61					20,261,375.01			
G17	FESA004,FES	1852419.92	24	2,027,726.05	0.23	319.61						187,814,025.44		
F18	FESA005	107520.60	20	114,421.03	0.30	319.61			13,823,499.90					
E19	FESA005	88983.12	20	94,693.86	0.30	319.61	11,440,209.84							
F20	FESA005	79235.18	20	84,320.31	0.30	319.61			10,186,954.53					
E21	FESA005	7191.37	20	7,652.90	0.30	319.61		924,566.22						
F22	FESA005	543539.27	20	578,422.41	0.30	319.61				69,880,703.92				
G23	FESA005	277739.87	20	295,564.60	0.30	319.61					35,707,922.01			
G24	FESA005	3967516.19	20	4,222,142.55	0.30	319.61						510,087,934.04		
H25	FESA003,FES	1034667.88	17	1,081,943.67	0.27	319.61								117,641,165.48
GE = **1.26**						TOTAL RECURSOS	17,521,380.96	1,194,259.97	39,021,849.37	102,613,406.33	77,914,504.62	934,682,157.33	-	117,641,165.48
						TOTAL RESERVAS	-	58,469,712.52	14,585,204.58	300,683,701.09	202,347,010.76	705,292,471.14	25,729,118.43	547,163,264.27

Fuente: Datos del estudio

Tabla 20. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M4. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA006	459970.07	6	462,503.72	0.60	10.01					3,527,802.60			
C2	FESA006	102437.20	6	103,001.45	0.60	10.01						785,655.96		
B3	FESA006	66802.54	6	67,170.51	0.60	10.01			512,351.14					
B4	FESA006	977694.59	6	983,080.00	0.60	10.01				7,498,560.68				
A5	FESA006	193690.33	6	194,757.23	0.60	10.01		1,485,534.16						
C6	FESA006	1801735.96	6	1,811,660.43	0.60	10.01						13,818,657.29		
F7	FESA007	543451.63	25	599,632.52	0.24	275.65				50,379,997.31				
E8	FESA007	6121.69	25	6,754.54	0.24	275.65		567,503.60						
F9	FESA007	101930.45	25	112,467.80	0.24	275.65			9,449,333.47					
E10	FESA007	89021.91	25	98,224.81	0.24	275.65	8,252,664.07							
F11	FESA007	121957.30	25	134,564.99	0.24	275.65			11,305,897.28					
G12	FESA007	98779.59	25	108,991.21	0.24	275.65					9,157,236.95			
G13	FESA007	2206781.23	25	2,434,913.69	0.24	275.65						204,576,870.31		
G14	FESA007,FES	781607.79	26	869,618.34	0.37	209.24						85,502,507.01		
G15	FESA007,FES	205630.50	26	228,784.89	0.37	209.24					22,494,560.00			
G16	FESA008	97206.62	27	109,097.54	0.50	142.83					9,894,825.20			
F17	FESA008	106116.12	27	119,096.90	0.50	142.83			10,801,737.78					
E18	FESA008	79285.06	27	88,983.70	0.50	142.83	8,070,559.19							
E19	FESA008	551.40	27	618.85	0.50	142.83		56,127.65						
F20	FESA008	103437.23	27	116,090.32	0.50	142.83			10,529,049.60					
F21	FESA008	430508.08	27	483,170.51	0.50	142.83				43,822,139.75				
G22	FESA008	2845738.20	27	3,193,846.65	0.50	142.83						289,672,469.09		
D23	FESA006,FES	2776514.92	4.5	2,785,100.46	0.80	76.42								216,242,775.04
G24	FESA009,FES	543589.19	14	560,230.43	0.75	142.83						76,216,871.21		
G25	FESA008,FES	1238472.33	26	1,377,926.72	0.50	142.83						124,973,888.38		
G26	FESA008,FES	181699.80	26	202,159.55	0.50	142.83					18,335,275.19			
C27	FESA010	80758.17	3	80,869.00	1.00	142.83					14,669,159.87			
F28	FESA009	107900.24	24	118,111.52	0.50	142.83			10,712,366.16					
E29	FESA009	59076.27	24	64,667.03	0.50	142.83	5,865,108.60							
E30	FESA009	5415.07	24	5,927.53	0.50	142.83		537,609.46						
E31	FESA009	759.47	24	831.34	0.50	142.83	75,400.14							
F32	FESA009	34338.20	24	37,587.84	0.50	142.83			3,409,105.88					
F33	FESA009	418777.35	24	458,408.88	0.50	142.83				41,576,332.91				
C34	FESA010	3757862.22	3	3,763,019.31	1.00	142.83						682,589,500.80		
B35	FESA010	516587.15	3	517,296.09	1.00	142.83				93,834,458.40				
B36	FESA010	233532.93	3	233,853.42	1.00	142.83			42,419,630.60					
A37	FESA010	71651.56	3	71,749.89	1.00	142.83	13,015,006.09							
GE = **1.27**						**TOTAL RECURSOS**	22,263,732.01	1,161,240.71	56,207,490.18	135,778,469.96	59,881,897.34	780,942,606.00	-	-
						TOTAL RESERVAS	13,015,006.09	1,485,534.16	42,931,981.74	101,333,019.08	18,196,962.46	697,193,814.04	-	216,242,775.04

Fuente: Datos del estudio

Tabla 21. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M5. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA011	570365.92	6	573,507.66	0.51	634.59					237,581,483.87			
C2	FESA011	34130.58	6	34,318.58	0.51	634.59						14,216,827.93		
B3	FESA011	116067.44	6	116,706.78	0.51	634.59			48,346,989.89					
B4	FESA011	928429.69	6	933,543.74	0.51	634.59				386,730,157.17				
A5	FESA011	193690.33	6	194,757.23	0.51	634.59		80,680,199.75						
C6	FESA011	2099680.89	6	2,111,246.52	0.51	634.59						874,605,725.07		
D7	FESA011	223683.69	6	224,915.80	0.51	634.59							93,173,700.49	
D8	FESA011	4492361.35	6	4,517,106.53	0.51	634.59								1,871,258,140.54
G9	FESA012	937517.30	27	1,052,200.26	0.20	198.79						53,547,801.35		
G10	FESA012	157405.93	27	176,660.81	0.20	198.79					8,990,491.91			
G11	FESA012,FES	145804.85	26	162,222.76	0.34	198.79					14,034,725.88			
F12	FESA012	108160.51	27	121,391.38	0.20	198.79			6,177,760.88					
E13	FESA012	74594.79	27	83,719.69	0.20	198.79	4,260,600.97							
F14	FESA012	283103.94	27	317,734.98	0.20	198.79				16,169,934.65				
F15	FESA012,FES	131487.84	26	146,293.63	0.34	198.79				12,656,615.10				
F16	FESA012,FES	83748.01	26	93,178.19	0.34	198.79			8,061,325.28					
E17	FESA013	1217.03	24	1,332.20	0.47	198.79			159,324.29					
E18	FESA013	85310.34	24	93,383.79	0.47	198.79	11,168,184.69							
E19	FESA013	4169.55	24	4,564.14	0.47	198.79		545,846.31						
F20	FESA013	104477.07	24	114,364.39	0.47	198.79			13,677,348.49					
F21	FESA013	410695.43	24	449,562.11	0.47	198.79				53,765,142.69				
G22	FESA012,FES	2582764.68	26	2,873,588.99	0.34	198.79						248,608,979.42		
G23	FESA013,FES	358933.22	24	392,901.32	0.48	198.79						47,988,587.64		
G24	FESA012,FES	916472.69	25	1,011,215.73	0.38	198.79						97,777,889.02		
G25	FESA012,FES	1177862.69	25	1,299,627.68	0.38	198.79						125,665,421.38		
G26	FESA012,FES	93035.37	25	102,653.18	0.38	198.79					9,925,884.70			
F27	FESA014	109288.62	24	119,631.28	0.48	198.79			14,611,649.42					
E28	FESA014	59263.72	24	64,872.22	0.48	198.79	7,923,429.93							
E29	FESA014	2854.68	24	3,124.83	0.48	198.79		381,664.18						
E30	FESA014	110830.39	24	121,318.97	0.48	198.79			14,817,781.58					
F31	FESA014	449409.80	24	491,940.27	0.48	198.79				60,085,109.41				
G32	FESA014	212299.63	24	232,390.88	0.48	198.79					28,383,997.34			
G33	FESA014	2948987.49	24	3,228,068.70	0.48	198.79						394,273,190.83		
H34	FESA011,FES	909680.81	20	968,062.10	0.42	416.69								216,859,093.56
GE = **1.28**						**TOTAL RECURSOS**	23,352,215.58	927,510.50	57,505,189.94	142,676,801.85	61,335,099.83	967,861,869.65	-	216,859,093.56
						TOTAL RESERVAS	-	80,680,199.75	48,346,989.89	386,730,157.17	237,581,483.87	888,822,553.00	93,173,700.49	1,871,258,140.54

Fuente: Datos del estudio

Tabla 22. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M6. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA015	57030.82	10	57,910.62	0.43	67.23					2,209,854.55			
B2	FESA015	261833.13	10	265,872.33	0.43	67.23			10,145,621.13					
B3	FESA015	708245.65	10	719,171.48	0.43	67.23				27,443,402.34				
A4	FESA015	192000.45	10	194,962.37	0.43	67.23		7,439,714.82						
C5	FESA015	337862.73	10	343,074.81	0.43	67.23					13,091,648.35			
C6	FESA015	1842123.11	10	1,870,540.82	0.43	67.23						71,379,366.49		
D7	FESA015	71486.72	10	72,589.51	0.43	67.23							2,769,997.59	
D8	FESA015	590456.67	10	599,565.41	0.43	67.23								22,879,265.01
D9	FESA015,FES	651932.05	14	670,456.82	0.48	36.86							15,658,181.18	
D10	FESA015,FES	6850793.64	14	7,045,460.27	0.48	36.86								164,543,173.63
C11	FESA016	309221.68	17	323,350.56	0.53	6.49					1,468,142.17			
A12	FESA016	90897.58	17	95,050.85	0.53	6.49	431,569.25							
B13	FESA016	214868.27	17	224,685.98	0.53	6.49			1,020,165.10					
B14	FESA016	651628.31	17	681,402.35	0.53	6.49				3,093,841.95				
E15	FESA017	61709.37	23	67,038.61	0.40	38.86	1,375,503.56							
F16	FESA017	181571.73	23	197,252.34	0.40	38.86			4,047,239.21					
F17	FESA017	391111.39	23	424,887.92	0.40	38.86				8,717,884.39				
C18	FESA016	5373365.33	17	5,618,883.83	0.53	6.49						25,512,002.60		
D19	FESA016	306485.16	17	320,489.01	0.53	6.49								1,455,149.57
GE = **1.32**						TOTAL RECURSOS	1,375,503.56	-	4,047,239.21	8,717,884.39	-	-	-	-
						TOTAL RESERVAS	431,569.25	7,439,714.82	11,165,786.24	30,537,244.30	16,769,645.07	96,891,369.09	18,428,178.77	188,877,588.22

Fuente: datos del estudio

Tabla 23. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M7. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA018	34364.98	10	34,895.11	0.50	42.54					972,307.00			
B2	FESA018	281744.16	10	286,090.52	0.50	42.54			7,971,540.28					
B3	FESA018	655991.65	10	666,111.38	0.50	42.54				18,560,327.59				
A4	FESA018	192000.45	10	194,962.37	0.50	42.54		5,432,372.93						
C5	FESA018	332272.78	10	337,398.62	0.50	42.54					9,401,173.95			
C6	FESA018	1773579.67	10	1,800,940.00	0.50	42.54						50,180,851.85		
D7	FESA018	937631.46	10	952,095.94	0.50	42.54							26,528,915.55	
D8	FESA018	8917112.71	10	9,054,673.54	0.50	42.54								252,296,707.19
GE = **1.31**						TOTAL RECURSOS	-	-	-	-	-	-	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	5,432,372.93	7,971,540.28	18,560,327.59	10,373,480.94	50,180,851.85	26,528,915.55	252,296,707.19

Fuente: Datos del estudio

Tabla 24. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M8. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA018	34364.98	10	34,895.11	0.45	46.77					947,401.83			
B2	FESA018	281744.16	10	286,090.52	0.45	46.77			7,767,353.19					
B3	FESA018	655991.65	10	666,111.38	0.45	46.77				18,084,913.91				
A4	FESA018	192000.45	10	194,962.37	0.45	46.77		5,293,225.36						
C5	FESA018	332272.78	10	337,398.62	0.45	46.77					9,160,367.49			
C6	FESA018	1773579.67	10	1,800,940.00	0.45	46.77						48,895,493.96		
D7	FESA018	937631.46	10	952,095.94	0.45	46.77							25,849,390.40	
D8	FESA018	8917112.71	10	9,054,673.54	0.45	46.77								245,834,250.86
GE = **1.29**						TOTAL RECURSOS	-	-	-	-	-	-	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	5,293,225.36	7,767,353.19	18,084,913.91	10,107,769.32	48,895,493.96	25,849,390.40	245,834,250.86

Fuente: Datos del estudio

Tabla 25. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M9. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS) (SCF)		INFERIDAS (OS) (SCF)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA018	34364.98	10	34,895.11	0.48	61.69					1,322,606.35			
B2	FESA018	281744.16	10	286,090.52	0.48	61.69			10,843,498.83					
B3	FESA018	655991.65	10	666,111.38	0.48	61.69				25,247,177.25				
A4	FESA018	192000.45	10	194,962.37	0.48	61.69		7,389,529.17						
C5	FESA018	332272.78	10	337,398.62	0.48	61.69					12,788,195.89			
C6	FESA018	1773579.67	10	1,800,940.00	0.48	61.69						68,259,832.95		
D7	FESA018	937631.46	10	952,095.94	0.48	61.69							36,086,660.09	
D8	FESA018	8917112.71	10	9,054,673.54	0.48	61.69								343,193,278.99
GE = **1.28**						TOTAL RECURSOS	-	-	-	-	-	-	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	7,389,529.17	10,843,498.83	25,247,177.25	14,110,802.24	68,259,832.95	36,086,660.09	343,193,278.99

Fuente: Datos del estudio

Tabla 26. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M10. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA019	26103.54	10	26,506.22	0.41	60.46					814,744.72			
B2	FESA019	288735.61	10	293,189.82	0.41	60.46			9,012,028.86					
B3	FESA019	631581.04	10	641,324.19	0.41	60.46				19,712,935.80				
A4	FESA019	192000.45	10	194,962.37	0.41	60.46		5,992,726.75						
C5	FESA019	330364.25	10	335,460.65	0.41	60.46					10,311,343.87			
C6	FESA019	1744055.97	10	1,770,960.84	0.41	60.46						54,435,553.45		
D7	FESA019,FESA020	777883.05	14	801,696.88	0.49	47.25							23,015,995.79	
D8	FESA019,FESA020	7501834.60	14	7,731,492.99	0.49	47.25								221,964,205.33
G9	FESA020	311498.75	17	325,731.67	0.56	47.25					10,687,386.45			
F10	FESA020	116505.57	17	121,828.92	0.56	47.25			3,997,255.50					
E11	FESA020	77804.03	17	81,359.03	0.56	47.25	2,669,422.30							
E12	FESA020	2946.44	17	3,081.07	0.56	47.25		101,091.02						
F13	FESA020	112679.39	17	117,827.90	0.56	47.25			3,865,980.67					
F14	FESA020	465795.19	17	487,078.19	0.56	47.25				15,981,230.11				
G15	FESA020	155078.71	17	162,164.53	0.56	47.25					5,320,683.02			
G16	FESA020	4979457.51	17	5,206,977.67	0.56	47.25						170,843,020.01		
H17	FESA020	57318.30	17	59,937.27	0.56	47.25								1,966,565.87
GE = **1.24**						TOTAL RECURSOS	2,669,422.30	101,091.02	7,863,236.17	15,981,230.11	16,008,069.47	170,843,020.01	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	5,992,726.75	9,012,028.86	19,712,935.80	11,126,088.59	54,435,553.45	23,015,995.79	221,964,205.33

Fuente: Datos del estudio

Tabla 27. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M11. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
G10	FESA021	570365.92	10	26103.54	0.33	35.74					403,310.11			
F2	FESA021	34130.58	10	288735.61	0.33	35.74			4,461,081.23					
F3	FESA021	116067.44	10	631581.04	0.33	35.74				9,758,180.91				
E4	FESA021	928429.69	10	192000.45	0.33	35.74		2,966,484.16						
G5	FESA021	193690.33	10	330364.25	0.33	35.74					5,104,260.47			
G6	FESA021	2099680.89	10	1744055.97	0.33	35.74						26,946,365.78		
D7	FESA021,FESA022,FESA023,	223683.69	20	188489.44	0.50	45.54							5,622,394.87	
D8	FESA021,FESA022,FESA023,	4492361.35	20	3191671.56	0.50	45.54								95,203,413.41
G9	FESA022	937517.30	24	3330506.83	0.40	35.74						62,372,932.59		
G10	FESA022	157405.93	24	305676.00	0.40	35.74					5,724,626.84			
F11	FESA022	145804.85	24	489289.54	0.40	35.74				9,163,297.03				
E12	FESA022	108160.51	24	5821.40	0.40	35.74		109,021.80						
F13	FESA022	74594.79	24	103554.09	0.40	35.74			1,939,336.19					
E14	FESA022	283103.94	24	88401.18	0.40	35.74	1,655,556.11							
F15	FESA022	131487.84	24	102292.50	0.40	35.74			1,915,709.43					
C16	FESA022,FESA023,FESA024,	83748.01	23	191629.46	0.54	35.74					4,844,867.14			
F17	FESA023	1217.03	24	47840.82	0.64	35.74			1,433,522.34					
F18	FESA023	85310.34	24	104634.48	0.64	35.74				3,135,311.04				
B19	FESA023,FESA024	4169.55	25	114561.29	0.67	45.54			4,579,067.22					
E20	FESA023	104477.07	24	33235.69	0.64	35.74	995,888.04							
A21	FESA024	410695.43	25	54649.17	0.70	19.60	982,220.37							
E22	FESA025	2582764.68	17	65832.05	0.42	35.74	1,294,531.17							
E23	FESA025	358933.22	17	5857.93	0.42	35.74		146,776.91						
B24	FESA023,FESA024,FESA025	916472.69	22	424576.08	0.59	45.54				14,944,171.86				
B25	FESA024,FESA025	1177862.69	21	39730.06	0.56	37.47			1,092,099.68					
F26	FESA025	93035.37	17	69444.11	0.42	35.74			1,365,559.17					
F27	FESA024,FESA025	109288.62	21	215546.44	0.56	37.47				5,924,938.93				
C28	FESA023,FESA024,FESA025	59263.72	22	146113.64	0.59	45.54					5,142,888.22			
C29	FESA023,FESA024,FESA025	2854.68	22	4956118.96	0.59	45.54						174,444,811.07		
D30	FESA023,FESA024,FESA025	110830.39	22	283232.36	0.59	45.54								9,969,174.51
GE = **1.31**						**TOTAL RECURSOS**	3,945,975.32	3,222,282.86	11,115,208.36	27,981,727.91	11,232,197.43	89,319,298.37	-	-
						TOTAL RESERVAS	982,220.37	-	5,671,166.91	14,944,171.86	9,987,755.37	174,444,811.07	5,622,394.87	105,172,587.92

Fuente: Datos del estudio

Tabla 28. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M12. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA026,FES	570365.92	17	596,426.94	0.88	46.07					31,672,496.53			
B2	FESA026,FES	34130.58	17	35,690.07	0.88	46.07			1,895,275.79					
E3	FESA026	116067.44	24	127,051.63	1.00	32.48	5,405,894.58							
E4	FESA026	928429.69	24	1,016,292.82	1.00	32.48		43,242,039.83						
B5	FESA027	193690.33	10	196,678.32	0.75	27.17			5,250,234.27					
B6	FESA027	2099680.89	10	2,132,071.85	0.75	27.17				56,914,645.28				
A7	FESA027	223683.69	10	227,134.37	0.75	27.17		6,063,244.23						
F8	FESA026	4492361.35	24	4,917,501.71	1.00	32.48			209,233,796.58					
F9	FESA026	937517.30	24	1,026,240.45	1.00	32.48				43,665,299.53				
C10	FESA026,FES	157405.93	17	164,598.09	0.88	46.07					8,741,721.48			
C11	FESA026,FES	145804.85	17	152,466.93	0.88	46.07						8,097,441.65		
G12	FESA026	108160.51	24	118,396.42	1.00	32.48						5,037,625.68		
D13	FESA026,FES	74594.79	17	78,003.16	0.64	46.07							3,012,551.90	
D14	FESA026,FES	283103.94	17	296,039.45	0.64	46.07								11,434,549.98
G15	FESA028,FES	131487.84	18	138,254.50	0.41	32.48					2,411,850.86			
G16	FESA028,FES	83748.01	18	88,057.86	0.41	32.48						1,536,170.15		
G17	FESA028,FES	1217.03	18	1,279.66	0.41	32.48						22,323.69		
G18	FESA028,FES	85310.34	18	89,700.60	0.41	32.48					1,564,827.60			
F19	FESA028	4169.55	25	4,600.59	0.40	32.48			78,299.87					
F20	FESA028	104477.07	25	115,277.69	0.40	32.48				1,961,970.94				
E21	FESA028	410695.43	25	453,152.26	0.40	32.48	7,712,434.02							
E22	FESA028	2582764.68	25	2,849,765.52	0.40	32.48		48,501,641.22						
F23	FESA028,FES	358933.22	18	377,404.72	0.41	32.48			6,583,828.34					
F24	FESA028,FES	916472.69	18	963,636.42	0.41	32.48				16,810,645.00				
E25	FESA029	1177862.69	10	1,196,033.12	0.42	32.48		21,373,705.07						
E26	FESA029	93035.37	10	94,470.59	0.42	32.48	1,688,236.35							
F27	FESA029	109288.62	10	110,974.57	0.42	32.48				1,983,170.59				
F28	FESA029	59263.72	10	60,177.96	0.42	32.48			1,075,409.96					
G29	FESA028,FES	2854.68	18	3,001.59	0.41	32.48					52,362.69			
G30	FESA028,FES	110830.39	18	116,533.97	0.41	32.48						2,032,936.06		
G31	FESA029	449409.80	10	456,342.67	0.42	32.48						8,155,069.88		
GE = **1.31**						**TOTAL RECURSOS**	14,806,564.95	113,117,386.11	216,971,334.75	64,421,086.07	4,029,041.14	16,784,125.46	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	6,063,244.23	7,145,510.05	56,914,645.28	40,414,218.02	8,097,441.65	3,012,551.90	11,434,549.98

Fuente: Datos del estudio

Tabla 29. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M13. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA030	5764.17	10	5,853.09	0.55	50.68					226,777.26			
B2	FESA030	304171.98	10	308,864.32	0.55	50.68			11,966,904.91					
B3	FESA030	566744.24	10	575,487.19	0.55	50.68				22,297,170.47				
A4	FESA030	192000.45	10	194,962.37	0.55	50.68		7,553,789.64						
C5	FESA030	327682.99	10	332,738.03	0.55	50.68					12,891,888.45			
C6	FESA030	1602362.24	10	1,627,081.26	0.55	50.68						63,041,035.52		
D7	FESA030,FES	196147.62	19	207,449.78	0.48	53.58							7,415,342.20	
D8	FESA030,FES	3150768.37	19	3,332,317.79	0.48	53.58								119,125,615.69
G9	FESA031	3234053.80	37	4,049,474.09	0.51	56.47						162,106,858.06		
G10	FESA031	314676.20	37	394,017.29	0.51	56.47					15,773,135.80			
E11	FESA031	69375.48	37	86,867.51	0.51	56.47	3,477,443.89							
F12	FESA031	207839.91	37	260,243.77	0.51	56.47			10,417,970.01					
F13	FESA031	350257.99	37	438,570.52	0.51	56.47				17,556,672.21				
G14	FESA031	7811.63	37	9,781.23	0.51	56.47					391,557.97			
G15	FESA031,FES	297883.31	24	326,073.88	0.44	56.47					11,261,630.53			
G16	FESA031,FES	1225080.86	24	1,341,017.95	0.44	56.47						46,314,806.84		
G17	FESA032	12124.13	10	12,311.16	0.37	56.47					357,547.12			
F18	FESA032	109893.60	10	111,588.88	0.37	56.47			3,240,822.50					
E19	FESA032	77938.08	10	79,140.40	0.37	56.47	2,298,436.82							
E20	FESA032	3211.38	10	3,260.92	0.37	56.47		94,705.31						
F21	FESA032	115880.34	10	117,667.98	0.37	56.47			3,417,374.75					
F22	FESA032	540361.69	10	548,697.64	0.37	56.47				15,935,562.73				
G23	FESA032	129866.80	10	131,870.20	0.37	56.47					3,829,843.17			
G24	FESA032	3168576.54	10	3,217,456.95	0.37	56.47						93,443,060.91		
GE = **1.39**						**TOTAL RECURSOS**	5,775,880.72	94,705.31	17,076,167.26	33,492,234.93	31,613,714.60	301,864,725.81	-	-
						TOTAL RESERVAS	-	7,553,789.64	11,966,904.91	22,297,170.47	13,118,665.71	63,041,035.52	7,415,342.20	119,125,615.69

Fuente: Datos del estudio

Tabla 30. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M14. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA033	5764.17	10	5,853.09	0.45	91.58					294,278.40			
B2	FESA033	304171.98	10	308,864.32	0.45	91.58			15,528,901.23					
B3	FESA033	566744.24	10	575,487.19	0.45	91.58				28,934,010.97				
A4	FESA033	192000.45	10	194,962.37	0.45	91.58		9,802,204.85						
C5	FESA033	327682.99	10	332,738.03	0.45	91.58					16,729,209.77			
C6	FESA033	1602362.24	10	1,627,081.26	0.45	91.58						81,805,447.74		
D7	FESA033,FES	196147.62	24	214,710.30	0.46	73.01							8,796,768.25	
D8	FESA033,FES	3484318.44	24	3,814,061.37	0.46	73.01								156,274,344.92
G9	FESA034	4459134.66	37	5,583,441.52	0.47	54.43						174,260,114.28		
G10	FESA034	314676.20	37	394,017.29	0.47	54.43					12,297,343.42			
F11	FESA034	350257.99	37	438,570.52	0.47	54.43				13,687,857.00				
F12	FESA034	207839.91	37	260,243.77	0.47	54.43			8,122,250.16					
E13	FESA034	69375.48	37	86,867.51	0.47	54.43	2,711,149.03							
G14	FESA034	305694.95	37	382,771.54	0.47	54.43					11,946,361.86			
G15	FESA033,FES	445702.94	24	487,882.61	0.46	73.01							19,990,117.72	
G16	FESA033,FES	3378787.83	24	3,698,543.74	0.46	73.01								151,541,216.80
GE = **1.22**						TOTAL RECURSOS	2,711,149.03	-	8,122,250.16	13,687,857.00	24,243,705.27	174,260,114.28	19,990,117.72	151,541,216.80
						TOTAL RESERVAS	-	9,802,204.85	15,528,901.23	28,934,010.97	17,023,488.17	81,805,447.74	8,796,768.25	156,274,344.92

Fuente: Datos del estudio

Tabla 31. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M15. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
C1	FESA035	3983.08	10	3983.08	0.50	34.26					88,699.13			
C2	FESA035,FES	1781.10	18	1781.10	0.70	21.02					34,069.15			
B3	FESA035	304171.98	10	304171.98	0.50	34.26			6,773,605.79					
B4	FESA035	566744.24	10	566744.24	0.50	34.26				12,620,827.54				
A5	FESA035	192000.45	10	192000.45	0.50	34.26		4,275,658.05						
C6	FESA035,FES	26399.81	19	26399.81	0.79	21.02					569,906.89			
B7	FESA036	102619.72	25	102619.72	0.90	7.78			934,106.29					
A8	FESA036	102141.43	25	102141.43	0.90	7.78	929,752.59							
A9	FESA036	57550.84	25	57550.84	0.90	7.78		523,862.28						
E10	FESA037	70516.56	21	70516.56	0.96	21.02	1,849,858.04							
E11	FESA037	7775.31	21	7775.31	0.96	21.02		203,969.50						
B12	FESA036,FES	33002.52	23	33002.52	0.93	14.40			574,560.64					
B13	FESA036,FES	592631.13	23	592631.13	0.93	14.40				10,317,470.85				
F14	FESA037	162011.34	21	162011.34	0.96	21.02				4,250,037.04				
F15	FESA037	75566.91	21	75566.91	0.96	21.02			1,982,343.75					
C16	FESA036,FES	256006.73	28	256006.73	0.76	14.40					3,642,258.91			
C17	FESA036,FES	2910581.47	23	2910581.47	0.93	14.40						50,672,059.13		
G18	FESA037,FES	80398.94	29	80398.94	0.69	21.02					1,515,917.16			
G19	FESA037,FES	409898.50	29	409898.50	0.69	21.02						7,728,611.67		
G20	FESA036,FES	214331.51	28	214331.51	0.76	14.40						3,049,337.21		
G21	FESA038	84299.35	37	84299.35	0.41	21.02					944,461.25			
F22	FESA038	200724.96	37	200724.96	0.41	21.02			2,248,854.19					
E23	FESA038	81163.21	37	81163.21	0.41	21.02	909,324.97							
F24	FESA038	383238.15	37	383238.15	0.41	21.02				4,293,669.95				
G25	FESA038	304152.93	37	304152.93	0.41	21.02					3,407,625.99			
G26	FESA038	3667627.20	37	3667627.20	0.41	21.02						41,090,848.11		
D27	FESA035,FES	1480011.77	23	1480011.77	0.69	21.02								27,905,533.06
D28	FESA035,FES	221664.75	23	221664.75	0.69	21.02								4,179,475.50
D29	FESA035,FES	1880820.10	23	1880820.10	0.69	21.02							35,462,750.17	
H30	FESA035,FES	67457.26	23	67457.26	0.69	21.02							1,271,902.52	
H31	FESA035,FES	313546.70	23	313546.70	0.69	21.02								5,911,904.14
H32	FESA035,FES	161005.03	23	161005.03	0.69	21.02							3,035,740.21	
H33	FESA035,FES	1194837.15	23	1194837.15	0.69	21.02								22,528,582.79
GE = **1.30**	**TOTAL RECURSOS**						2,759,183.00	203,969.50	4,231,197.94	8,543,706.99	5,868,004.39	51,868,796.99	4,307,642.73	28,440,486.93
	TOTAL RESERVAS						929,752.59	4,799,520.33	8,282,272.72	22,938,298.40	4,334,934.08	50,672,059.13	35,462,750.17	32,085,008.57

Fuente: Datos del estudio

Tabla 32. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M16. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
B1	FESA040	32194.09	10	32,690.73	0.50	23.17			477,189.93					
E2	FESA039	68155.82	24	74,605.84	0.70	23.52	1,547,671.25							
E3	FESA039	1083.04	24	1,185.54	0.70	23.52		24,593.57						
B4	FESA040	199767.95	10	202,849.69	0.50	23.17			2,961,017.22					
B5	FESA040	483186.77	10	490,640.70	0.50	23.17				7,161,931.38				
A6	FESA040	192000.45	10	194,962.37	0.50	23.17		2,845,885.18						
C7	FESA039,FES.	78376.33	18	82,409.75	0.65	23.35					1,575,637.82			
C8	FESA039,FES.	927138.42	18	974,851.02	0.65	23.35						18,642,709.78		
F9	FESA041	639753.58	21	685,268.84	0.75	23.52				15,231,059.36				
E10	FESA041	10043.24	21	10,757.77	0.75	23.52		239,106.40						
F11	FESA041	108174.64	21	115,870.72	0.75	23.52			2,575,389.02					
E12	FESA041	102594.81	21	109,893.91	0.75	23.52	2,442,546.06							
F13	FESA041	102494.20	21	109,786.14	0.75	23.52			2,440,150.75					
G14	FESA041	124064.62	21	132,891.19	0.75	23.52					2,953,692.81			
G15	FESA041	1783717.51	21	1,910,620.09	0.75	23.52						42,466,206.26		
G16	FESA041,FES.	152745.94	29	174,642.69	0.88	23.52					4,554,502.53			
G17	FESA041,FES.	565427.35	29	646,483.66	0.88	23.52						16,859,631.84		
G18	FESA041,FES.	92445.99	24	101,194.73	0.72	23.52						2,159,226.75		
D19	FESA039	656506.77	24	718,636.13	0.70	23.52								14,907,847.82
G20	FESA041,FES.	56041.06	24	61,344.58	0.72	23.52					1,308,930.35			
G21	FESA041,FES.	203032.57	24	222,246.82	0.72	23.52						4,742,156.87		
G22	FESA042,FES.	106644.91	26	118,653.33	0.70	23.52					2,461,420.67			
F23	FESA042	105900.77	37	132,602.13	1.00	23.52			3,929,690.54					
E24	FESA042	80483.99	37	100,776.87	1.00	23.52	2,986,542.77							
F25	FESA042,FES.	64504.78	26	71,768.14	0.70	23.52			1,488,804.21					
F26	FESA042	230646.72	37	288,800.98	1.00	23.52				8,558,674.83				
F27	FESA042,FES.	146671.29	26	163,186.76	0.70	23.52				3,385,250.68				
E28	FESA043	97617.97	15	101,061.55	0.40	23.52	1,197,991.76							
E29	FESA043	10151.13	15	10,509.22	0.40	23.52		124,577.12						
F30	FESA043	102220.27	15	105,826.21	0.40	23.52			1,254,472.32					
F31	FESA043	507192.00	15	525,083.80	0.40	23.52				6,224,385.35				
G32	FESA042,FES.	134400.68	26	149,534.45	0.70	23.52					3,102,038.42			
G33	FESA042,FES.	3133350.16	26	3,486,171.47	0.70	23.52						72,319,372.20		
G34	FESA043	2018420.97	15	2,089,623.15	0.40	23.52						24,770,559.97		
G35	FESA043	175837.56	15	182,040.43	0.40	23.52					2,157,921.85			
H36	FESA043	94081.01	15	97,399.83	0.40	23.52							1,154,585.36	
H37	FESA043	867225.14	15	897,817.53	0.40	23.52								10,642,800.79
H38	FESA039,FES.	177436.00	21	190,059.68	0.67	23.35							3,745,667.55	
H39	FESA039,FES.	1259704.04	21	1,349,325.68	0.67	23.35								26,598,002.18
GE = **1.26**	**TOTAL RECURSOS**						8,174,751.84	388,277.09	11,688,506.84	33,399,370.21	16,538,506.63	163,317,153.88	4,900,252.91	37,240,802.97
	TOTAL RESERVAS						-	2,845,885.18	3,438,207.15	7,161,931.38	1,575,637.82	18,642,709.78	-	14,907,847.82

Fuente: Datos del estudio

Tabla 33. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M17. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
B1	FESA044	298149.78	10	302,749.22	0.63	28.85			7,208,430.24					
B2	FESA044	468270.61	10	475,494.44	0.63	28.85				11,321,477.39				
A3	FESA044	192000.45	10	194,962.37	0.63	28.85		4,642,035.42						
C4	FESA044,FES.	76947.55	18	80,907.44	0.77	25.33					2,067,215.18			
C5	FESA044,FES.	944479.13	18	993,084.12	0.77	23.57						23,610,633.61		
F6	FESA045	610652.53	25	673,780.51	0.90	21.81				17,325,585.40				
E7	FESA045	7278.94	25	8,031.42	0.90	21.81		206,519.97						
F8	FESA045	109528.12	25	120,850.91	0.90	21.81			3,107,559.10					
E9	FESA045	101558.82	25	112,057.76	0.90	21.81	2,881,452.00							
F10	FESA045	103093.56	25	113,751.16	0.90	21.81			2,924,996.12					
G11	FESA045,FES.	52210.07	24	57,151.03	0.90	21.81					1,469,581.13			
G12	FESA045,FES.	1703422.08	24	1,864,627.61	0.90	21.81						47,947,015.65		
E13	FESA046	34928.72	22	37,671.84	0.90	21.81	968,693.27							
F14	FESA046	308644.89	22	332,884.24	0.90	21.81			8,559,781.96					
F15	FESA046	468042.41	22	504,800.00	0.90	21.81				12,980,422.08				
G16	FESA045,FES.	248326.18	27	278,702.99	1.03	21.81						8,201,736.41		
G17	FESA045,FES.	71788.86	24	78,582.69	1.00	21.81						2,245,194.02		
G18	FESA045,FES.	596168.18	24	652,587.32	1.00	21.81						18,645,137.66		
G19	FESA046,FES.	26721.22	24	29,250.01	1.03	21.81						860,776.26		
D20	FESA048	152296.60	15	157,669.05	0.90	21.81								4,054,300.26
G21	FESA048,FES.	294511.57	17	307,968.32	0.83	21.81						7,303,164.84		
G22	FESA046,FES.	335299.44	23	364,256.02	0.96	21.81						9,990,907.45		
G23	FESA046,FES.	1570910.32	24	1,719,575.42	1.03	21.81						50,604,066.17		
G24	FESA046,FES.	74949.73	24	82,042.69	1.03	21.81					2,414,371.36			
F25	FESA047	107726.64	35	131,509.94	1.30	21.81			4,884,598.77					
F26	FESA047	214861.58	35	262,297.56	1.30	21.81				9,742,368.77				
E27	FESA047	74964.64	35	91,514.93	1.30	21.81	3,399,086.76							
F28	FESA047,FES.	59722.35	25	65,896.32	1.10	21.81			2,071,003.39					
F29	FESA047,FES.	156144.95	25	172,286.89	1.10	21.81				5,414,668.49				
G30	FESA048	59617.24	15	61,720.31	0.90	21.81						1,587,075.43		
E31	FESA048	95995.67	15	99,382.03	0.90	21.81	2,555,508.44							
E32	FESA048	7028.32	15	7,276.25	0.90	21.81		187,101.42						
F33	FESA048	485111.12	15	502,223.98	0.90	21.81				12,914,182.52				
F34	FESA048	102806.39	15	106,433.01	0.90	21.81			2,736,817.24					
G35	FESA047,FES.	20436.15	23	22,201.02	0.98	21.81					621,621.51			
G36	FESA047,FES.	1117591.03	23	1,214,106.62	0.98	21.81						33,994,594.33		
G37	FESA048,FES.	1233223.79	17	1,289,571.95	0.83	21.81						30,580,925.90		
F38	FESA049	454583.87	18	477,977.77	0.75	21.81				10,242,263.02				
F39	FESA049	104291.08	18	109,658.13	0.75	21.81			2,349,790.14					
E40	FESA049	4457.01	18	4,686.38	0.75	21.81		100,421.26						
E41	FESA049	79008.91	18	83,074.88	0.75	21.81	1,780,155.61							
F42	FESA049	105973.70	18	111,427.34	0.75	21.81			2,387,701.29					
G43	FESA048, FES	2301.09	17	2,399.92	0.83	21.81					56,568.97			
G44	FESA049	270309.76	18	284,220.50	0.75	21.81					6,090,369.22			
G45	FESA049	1647786.31	18	1,732,585.06	0.75	21.81						37,126,395.72		
H46	FESA044,FES.	462517.08	21	495,422.85	0.90	25.33								14,795,342.78
GE = **1.31**						**TOTAL RECURSOS**	11,584,896.08	494,042.65	29,022,248.01	68,619,490.28	10,652,512.19	249,086,989.85	-	14,795,342.78
						TOTAL RESERVAS	-	4,642,035.42	7,208,430.24	11,321,477.39	2,067,215.18	23,610,633.61	-	4,054,300.26

Fuente: Datos del estudio

Tabla 34. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M18. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
E1	FESA051	3824.753677	25	4,220.15	1.40	19.01	144,886.40							
B2	FESA050,FES.	288363.569	21	308,879.19	1.28	19.01			9,695,505.37					
B3	FESA050	66015.22125	16	68,675.60	1.15	20.22				2,060,018.63				
A4	FESA050	24092.62953	16	25,063.55	1.15	20.22	751,815.49							
A5	FESA050	163760.7703	16	170,360.24	1.15	20.22		5,110,188.70						
B6	FESA050,FES.	256369.8673	21	274,609.30	1.28	19.01				8,619,796.99				
C7	FESA050,FES.	28657.87986	28	32,457.06	1.13	20.27					954,783.96			
B8	FESA052	146521.1712	40	191,269.80	1.10	20.32			5,515,088.86					
A9	FESA052	6905.130404	40	9,014.01	1.10	20.32	259,910.62							
E10	FESA053	86179.2834	25	95,088.32	1.10	19.01	2,565,025.45							
E11	FESA053	5285.78258	25	5,832.22	1.10	19.01		157,325.13						
B12	FESA052	43326.70946	40	56,559.00	1.10	20.32			1,630,826.80					
B13	FESA052	190080.2436	40	248,132.14	1.10	20.32				7,154,661.85				
F14	FESA053	125.2833428	25	138.23	1.10	19.01			3,728.91					
F15	FESA053	309984.4766	25	342,030.03	1.10	19.01				9,226,324.96				
C16	FESA050,FES.	811802.6991	28	919,423.42	1.30	20.27						31,253,767.38		
C17	FESA054	1159531.742	27	1,301,372.90	1.45	16.50						40,164,597.08		
B18	FESA054	381853.92	27	428,564.67	1.45	16.50				13,226,898.66				
B19	FESA054	241379.1247	27	270,906.12	1.45	16.50			8,361,043.46					
A20	FESA054	55332.71906	27	62,101.36	1.45	16.50	1,916,649.87							
C21	FESA052, FES	43609.04324	34	52,296.18	1.28	18.41						1,583,520.36		
C22	FESA054	261656.2871	27	293,663.72	1.45	16.50					9,063,416.69			
C23	FESA054	2489452.061	27	2,793,977.37	1.45	16.50						86,231,221.93		
D24	FESA050, FES	338287.5137	28	381,959.24	1.23	19.01								11,554,348.49
G25	FESA055	1345974.761	15	1,393,455.61	1.40	19.01						47,840,201.61		
G26	FESA055	35649.46201	15	36,907.04	1.40	19.01					1,267,094.67			
F27	FESA055	107937.2248	15	111,744.84	1.40	19.01			3,836,430.48					
E28	FESA055	95208.88874	15	98,567.49	1.40	19.01	3,384,025.14							
E29	FESA055	5765.120848	15	5,968.49	1.40	19.01		204,910.64						
F30	FESA055	103129.3331	15	106,767.34	1.40	19.01			3,665,542.79					
F31	FESA055	634603.7736	15	656,990.17	1.40	19.01				22,555,825.96				
G32	FESA055,FES.	20322.5846	17	21,251.16	1.28	19.01					667,059.27			
G33	FESA055,FES.	1413983.571	28	1,601,435.44	1.18	19.01						46,340,772.69		
G34	FESA056	997102.5285	18	1,048,415.64	1.15	19.01						29,566,720.75		
F35	FESA056	446128.0795	18	469,086.82	1.15	19.01				13,228,874.63				
E36	FESA056	3602.055013	18	3,787.42	1.15	19.01		106,810.43						
F37	FESA056	104861.0069	18	110,257.39	1.15	19.01			3,109,405.52					
E38	FESA056	77613.29255	18	81,607.45	1.15	19.01	2,301,438.90							
F39	FESA056	106595.5577	18	112,081.20	1.15	19.01			3,160,839.53					
G40	FESA055,FES.	2507.995552	17	2,622.59	1.28	19.01					82,321.30			
G41	FESA056,FES.	28440.41095	34	34,305.33	1.08	19.01					908,567.58			
E42	FESA057	66688.25366	50	103,748.51	1.00	19.01	2,544,214.22							
F43	FESA057	176517.3303	50	274,612.22	1.00	19.01			6,734,287.93					
F44	FESA057	325562.2564	50	506,484.96	1.00	19.01				12,420,480.01				
G45	FESA056,FES.	1313848.862	34	1,584,788.08	1.08	19.01						41,972,687.55		
G46	FESA057	462517.079	50	719,548.84	1.00	19.01						17,645,424.25		
GE = **1.29**						**TOTAL RECURSOS**	10,939,590.12	469,046.20	20,510,235.16	57,431,505.57	2,925,042.82	183,365,806.85	-	-
						TOTAL RESERVAS	2,928,375.97	5,110,188.70	25,202,464.48	31,061,376.12	10,018,200.65	159,233,106.75	-	11,554,348.49

Fuente: Datos del estudio

Tabla 35. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M19. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M²)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M²)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
F1	FESA058	289391.46	16	301,053.77	0.30	18.00			2,097,140.60					
F2	FESA058	420703.05	16	437,657.14	0.30	18.00				3,048,719.67				
E3	FESA058	187853.40	16	195,423.79	0.30	18.00		1,361,322.09						
G4	FESA058,FES	77702.83	19	82,180.12	0.33	18.00					629,713.36			
G5	FESA058,FES	705525.40	19	746,178.25	0.33	18.00						5,717,665.49		
F6	FESA059	109912.56	21	117,732.29	0.35	18.00			956,810.32					
E7	FESA059	93074.10	21	99,695.85	0.35	18.00	810,228.20							
F8	FESA059	102972.28	21	110,298.24	0.35	18.00			896,393.78					
E9	FESA059	5967.11	21	6,391.64	0.35	18.00		51,944.84						
F10	FESA059	598633.53	21	641,223.31	0.35	18.00				5,211,221.84				
G11	FESA058,FES	117789.18	20	125,348.63	0.52	18.00						1,513,509.45		
G12	FESA058,FES	8081.74	20	8,600.41	0.52	18.00						103,844.76		
G13	FESA058,FES	315336.20	22	340,101.05	0.56	18.00						4,422,401.95		
G14	FESA059,FES	77729.81	23	84,442.58	0.65	18.00					1,274,491.87			
G15	FESA059,FES	1628271.53	23	1,768,889.67	0.65	18.00						26,697,851.82		
F16	FESA060	233136.40	22	251,445.71	0.90	18.00				5,254,712.40				
F17	FESA060	118090.20	22	127,364.38	0.90	18.00			2,661,660.84					
E18	FESA060	42022.01	22	45,322.20	0.90	18.00	947,143.36							
F19	FESA060,FES	69107.72	25	76,251.93	0.80	18.00			1,416,455.81					
E20	FESA061	89252.46	27	100,170.38	0.70	18.00	1,628,169.39							
E21	FESA061	5820.37	27	6,532.36	0.70	18.00		106,176.94						
F22	FESA061	388.39	27	435.90	0.70	18.00			7,085.13					
F23	FESA060,FES	195819.05	25	216,062.41	0.80	18.00				4,013,575.34				
F24	FESA061	108897.86	27	122,218.93	0.70	18.00			1,986,546.46					
F25	FESA060,FES	269782.96	25	297,672.56	0.80	18.00				5,529,565.46				
G26	FESA060,FES	189317.27	25	208,888.49	0.80	18.00					3,880,312.62			
G27	FESA060,FES	2420752.40	25	2,671,004.74	0.80	18.00						49,616,584.09		
G28	FESA060,FES	10193.26	21	10,918.46	0.67	18.00					169,862.90			
G29	FESA060,FES	493272.11	25	544,265.56	0.80	18.00						10,110,276.97		
H30	FESA061	334837.03	27	375,796.39	0.70	18.00								6,108,194.48
G31	FESA060,FES	309999.10	21	332,053.98	0.67	18.00						5,165,896.61		
G32	FESA061,FES	108964.24	21	116,716.50	0.55	18.00					1,490,586.43			
G33	FESA062	85126.89	15	88,129.84	0.40	18.00					818,549.99			
G34	FESA060,FES	840606.68	21	900,411.64	0.67	18.00						14,008,064.07		
G35	FESA062,FES	882337.42	35	1,077,135.10	0.91	18.00						22,760,080.12		
G36	FESA062,FES	119960.64	29	137,157.49	0.51	18.00					1,624,246.41			
F37	FESA062	105549.55	15	109,272.94	0.40	18.00			1,014,927.03					
E38	FESA062	87789.70	15	90,886.59	0.40	18.00	844,154.63							
E39	FESA062	9147.25	15	9,469.93	0.40	18.00		87,956.72						
F40	FESA062	267.93	15	277.38	0.40	18.00			2,576.31					
F41	FESA062	461852.64	15	478,145.04	0.40	18.00				4,441,011.09				
F42	FESA062,FES	108542.07	29	124,102.02	0.51	18.00				1,469,640.94				
F43	FESA062,FES	85546.03	35	104,432.42	0.91	18.00			2,206,677.96					
F44	FESA063	28082.84	43	38,398.43	0.62	18.00				552,799.21				
F45	FESA062,FES	5255.09	35	6,415.28	0.91	18.00				135,556.05				
F46	FESA063	5620.42	43	7,684.95	0.62	18.00			110,635.63					
E47	FESA063	69650.77	43	95,235.41	0.62	18.00	1,371,047.09							
E48	FESA063,FES	3530.75	46	5,082.72	1.16	18.00	136,903.98							
F49	FESA063,FES	11942.40	46	17,191.76	1.16	18.00			463,063.47					
E50	FESA064	63158.59	48	94,389.03	1.70	18.00	3,725,912.68							
E51	FESA064	6177.32	48	9,231.86	1.70	18.00		364,418.42						
F52	FESA063,FES	252558.36	46	363,572.04	1.16	18.00				9,792,885.60				
F53	FESA064	145359.22	48	217,235.95	1.70	18.00				8,575,171.70				
G54	FESA062,FES	1541980.09	35	1,882,410.11	0.91	18.00						39,775,702.09		
GE = 1.29						TOTAL RECURSOS	9,463,559.33	1,971,819.00	13,819,973.33	48,024,859.30	9,887,763.59	179,891,877.40	-	6,108,194.48
						TOTAL RESERVAS	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Datos del estudio

Tabla 36. Cálculo de Reservas y Recursos. Manto M20. Área El Carmen de Chucurí. Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Andes

AREA	PUNTO DE CONTROL	AREA HORIZONTAL (M^2)	INCLINACIÓN (°)	AREA INCLINADA (M^2)	ESPESOR (M)	GMAC CH4 SCF/Ton	RESERVAS - RECURSOS							
							MEDIDAS (OS) (SCF/Ton)		INDICADAS (OS) (SCF/Ton)		INFERIDAS (OS) (SCF/Ton)		HIPOTÉTICAS (OS) (SCF/Ton)	
							SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
A1	FESA065	187853.40	16	195,423.79	0.55	14.61		2,010,019.62						
B2	FESA065	391961.60	16	407,757.43	0.55	14.61				4,193,964.62				
B3	FESA065	282796.15	16	294,192.68	0.55	14.61			3,025,901.15					
C4	FESA065	71626.35	16	74,512.85	0.55	14.61					766,397.49			
C5	FESA065	725412.50	16	754,646.22	0.55	14.61						7,761,868.37		
F6	FESA066	620269.95	17	648,611.17	0.80	16.81				11,164,829.52				
F7	FESA066	109209.48	17	114,199.45	0.80	16.81			1,965,765.44					
E8	FESA066	8207.65	17	8,582.67	0.80	16.81		147,737.35						
E9	FESA066	94044.56	17	98,341.62	0.80	16.81	1,692,797.55							
F10	FESA066	103088.24	17	107,798.52	0.80	16.81			1,855,583.38					
G11	FESA066	311553.21	17	325,788.62	0.80	16.81					5,607,942.86			
G12	FESA066	2295929.81	17	2,400,834.87	0.80	16.81						41,326,627.04		
D13	FESA065	408270.37	16	424,723.44	0.55	14.61							4,368,467.41	
D14	FESA065	3512865.78	16	3,654,432.29	0.55	14.61								37,587,444.03
G15	FESA067	164186.01	24	179,723.97	0.44	16.81					1,701,517.24			
G16	FESA067	895390.34	24	980,126.75	0.44	16.81						9,279,244.15		
G17	FESA067,FES.	134094.64	30	154,839.16	0.52	16.81					1,732,454.44			
F18	FESA067	103437.82	24	113,226.79	0.44	16.81			1,071,962.41					
E19	FESA067	82359.05	24	90,153.20	0.44	16.81	853,515.72							
E20	FESA067	4847.18	24	5,305.89	0.44	16.81		50,232.98						
F21	FESA067	898.83	24	983.89	0.44	16.81			9,314.86					
F22	FESA067	405167.87	24	443,511.45	0.44	16.81				4,198,896.78				
F23	FESA067,FES.	93279.30	30	107,709.66	0.52	16.81			1,205,134.93					
F24	FESA067,FES.	110849.56	30	127,998.05	0.52	16.81				1,432,136.40				
E25	FESA068	79914.37	36	98,779.59	0.60	16.81	1,275,252.39							
F26	FESA068	2148.71	36	2,655.96	0.60	16.81			34,288.63					
E27	FESA068	212.00	36	262.04	0.60	16.81		3,383.00						
F28	FESA068	33439.26	36	41,333.20	0.60	16.81			533,614.96					
F29	FESA068	323686.16	36	400,098.10	0.60	16.81				5,165,298.43				
G30	FESA067,FES.	2223972.90	30	2,568,022.70	0.52	16.81						28,732,928.08		
GE = **1.28**						**TOTAL RECURSOS**	3,821,565.66	201,353.34	6,675,664.61	21,961,161.12	9,041,914.54	79,338,799.27	4,368,467.41	37,587,444.03
						TOTAL RESERVAS	-	2,010,019.62	3,025,901.15	4,193,964.62	766,397.49	7,761,868.37	-	-

Fuente: Datos del estudio

Tabla 37. Resumen Cálculo de Reservas y Recursos, Área GMAC El Carmen de Chucurí, Sector Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes.

MANTOS	RESERVAS-RECURSOS							
	MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS)(SCF)		INFERIDAS (OS)(SCF)		HIPOTETICAS (OS) (SCF)	
	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN	SOBRE ZONA DILUCIÓN	BAJO ZONA DILUCIÓN
Manto 20	3,821,565.66	201,353.34	6,675,664.61	21,961,161.12	9,041,914.54	79,338,799.27	4,368,467.41	37,587,444.03
	-	2,010,019.62	3,025,901.15	4,193,964.62	766,397.49	7,761,868.37	-	-
Manto 19	9,463,559.33	1,971,819.00	13,819,973.33	48,024,859.30	9,887,763.59	179,891,877.40	-	6,108,194.48
	-	-	-	-	-	-	-	-
Manto 18	10,939,590.12	469,046.20	20,510,235.16	57,431,505.57	2,925,042.82	183,365,806.85	-	-
	2,928,375.97	5,110,188.70	25,202,464.48	31,061,376.12	10,018,200.65	159,233,106.75	-	11,554,348.49
Manto 17	11,584,896.08	494,042.65	29,022,248.01	68,619,490.28	10,652,512.19	249,086,989.85	-	14,795,342.78
	-	4,642,035.42	7,208,430.24	11,321,477.39	2,067,215.18	23,610,633.61	-	4,054,300.26
Manto 16	8,174,751.84	388,277.09	11,688,506.84	33,399,370.21	16,538,506.63	163,317,153.88	4,900,252.91	37,240,802.97
	-	2,845,885.18	3,438,207.15	7,161,931.38	1,575,637.82	18,642,709.78	-	14,907,847.82
Manto 15	2,759,183.00	203,969.50	4,231,197.94	8,543,706.99	5,868,004.39	51,868,796.99	4,307,642.73	28,440,486.93
	929,752.59	4,799,520.33	8,282,272.72	22,938,298.40	4,334,934.08	50,672,059.13	35,462,750.17	32,085,008.57
Manto 14	2,711,149.03	-	8,122,250.16	13,687,857.00	24,243,705.27	174,260,114.28	19,990,117.72	151,541,216.80
	-	9,802,204.85	15,528,901.23	28,934,010.97	17,023,488.17	81,805,447.74	8,796,768.25	156,274,344.92
Manto 13	5,775,880.72	94,705.31	17,076,167.26	33,492,234.93	31,613,714.60	301,864,725.81	-	-
	-	7,553,789.64	11,966,904.91	22,297,170.47	13,118,665.71	63,041,035.52	7,415,342.20	119,125,615.69
Manto 12	14,806,564.95	113,117,386.11	216,971,334.75	64,421,086.07	4,029,041.14	16,784,125.46	-	-
	-	6,063,244.23	7,145,510.05	56,914,645.28	40,414,218.02	8,097,441.65	3,012,551.90	11,434,549.98
Manto 11	3,945,975.32	3,222,282.86	11,115,208.36	27,981,727.91	11,232,197.43	89,319,298.37	-	-
	982,220.37	-	5,671,166.91	14,944,171.86	9,987,755.37	174,444,811.07	5,622,394.87	105,172,587.92
Manto 10	2,669,422.30	101,091.02	7,863,236.17	15,981,230.11	16,008,069.47	170,843,020.01	-	-
	-	5,992,726.75	9,012,028.86	19,712,935.80	11,126,088.59	54,435,553.45	23,015,995.79	221,964,205.33
Manto 9	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	7,389,529.17	10,843,498.83	25,247,177.25	14,110,802.24	68,259,832.95	36,086,660.09	343,193,278.99
Manto 8	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	5,293,225.36	7,767,353.19	18,084,913.91	10,107,769.32	48,895,493.96	25,849,390.40	245,834,250.86
Manto 7	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	5,432,372.93	7,971,540.28	18,560,327.59	10,373,480.94	50,180,851.85	26,528,915.55	252,296,707.19
Manto 6	1,375,503.56	-	4,047,239.21	8,717,884.39	-	-	-	-
	431,569.25	7,439,714.82	11,165,786.24	30,537,244.30	16,769,645.07	96,891,369.09	18,428,178.77	188,877,588.22
Manto 5	23,352,215.58	927,510.50	57,505,189.94	142,676,801.85	61,335,099.83	967,861,869.65	-	216,859,093.56
	-	80,680,199.75	48,346,989.89	386,730,157.17	237,581,483.87	888,822,553.00	93,173,700.49	1,871,258,140.54
Manto 4	22,263,732.01	1,161,240.71	56,207,490.18	135,778,469.96	59,881,897.34	780,942,606.00	-	-
	13,015,006.09	1,485,534.16	42,931,981.74	101,333,019.08	18,196,962.46	697,193,814.04	-	216,242,775.04
Manto 3	17,521,380.96	1,194,259.97	39,021,849.37	102,613,406.33	77,914,504.62	934,682,157.33	-	117,641,165.48
	-	58,469,712.52	14,585,204.58	300,683,701.09	202,347,010.76	705,292,471.14	25,729,118.43	547,163,264.27
Manto 2	705,140.22	-	614,537.47	1,257,074.39	645,721.81	4,640,060.45	650,633.06	8,514,059.67
	338,736.23	-	6,324,116.12	7,773,535.48	9,661,867.37	45,341,290.55	21,982,047.20	260,848,577.55
Manto 1	657,495.61	-	573,014.67	1,172,136.94	602,091.96	4,326,542.85	606,671.37	7,938,785.37
	126,386.66	-	2,359,605.62	2,900,401.83	3,604,961.72	21,186,736.31	8,201,772.57	97,325,817.19
TOTAL RECURSOS	**142,528,006.29**	**123,546,984.26**	**505,065,343.41**	**785,760,003.35**	**342,419,787.63**	**4,352,393,944.46**	**34,823,785.22**	**626,666,592.07**
	266,074,990.55		**1,290,825,346.76**		**4,694,813,732.08**		**414,694,646.77**	
TOTAL RESERVAS	**18,752,047.16**	**215,009,903.42**	**248,777,864.17**	**1,111,330,459.99**	**633,186,584.81**	**3,263,809,079.96**	**339,305,586.66**	**4,699,613,208.81**
	233,761,950.58		**1,360,108,324.15**		**3,896,995,664.77**		**5,038,918,795.47**	
Reservas y Recursos	499,836,941.13		2,650,933,670.91		8591809397		5453613442	
POTENCIAL	**17196193451.1394** Scf							
	17,20 Bcf							

Fuente: datos del estudio

De acuerdo a la Tabla 37, el potencial de GMAC para el Sector denominado Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes es de 17,20 Bcf, distribuidos en 499.836.941,13 scf (0,50 Bcf) de Reservas y Recursos medidos; 2.650.933.670,91 scf (2,65 Bcf) de Reservas y Recursos indicados; 85.918.093,97 scf (8,59 Bcf) de Reservas y Recursos Inferidos y 54.536.134,42 scf (5,45Bcf) de Reservas y Recursos Hipotéticos.

7.3.2.2 Recursos Especulativos

En esta categoría se evaluaron 5 cintas de carbón y una arcillolita carbonosa, identificadas en el Pozo Carmen de Chucuri 1, de las cuales no se tienen datos para evaluar su continuidad, los demás datos de caracterización y medición de contenidos de metano se mencionan en este capítulo, no se realizan mapas de contornos estructurales. El valor de los recursos, se estima, hallando el área entre la posible traza de la capa determinada por distancias estratigráficas tomando como referencia las trazas de los mantos cercanos y el límite definido para la evaluación, la cual se afecta por el valor obtenido de GMAC medido (Ver tabla 38).

Tabla 38. Resumen Recursos Especulativos. Área El Carmen de Chucuri

CAPA DE CARBON	AREA (m^2)	PROMEDIO BUZAMIENTO (°)	AREA INCLINADA (m^2)	ESPESOR (m)	GRAVEDAD ESPECÍFICA	GMAC CH4 (Scf/ton)	RECURSOS (Scf)
Cinta 5	21314675,97	6	21.432.083,16	0,38	1,16	377,12	3.562.751.542
Cinta 4	21388070,29	6	21.505.881,76	0,30	1,24	202,12	1.616.998.002
arcillolita carbonosa 1	21384867,77	6	21.502.661,60	0,20	1,77	356,16	2.711.069.336
Cinta 3	21531102,17	5	21.613.347,48	0,20	1,17	196,56	994.106.782
Cinta 2	23831233,18	5	23.922.264,62	0,25	1,1	263,76	1.735.177.542
Cinta 1	21454994,59	5	21.536.949,19	0,21	1,33	374,38	2.251.996.748
						TOTAL	**12.872.099.952,12**
							12,8 Bcf

Fuente: Datos del estudio

Como lo indica la Tabla 38, el valor de Recursos Especulativos determinados para estas capas de carbón objeto de medición de contenidos de gas metano, correspondió a 12.872.099.952,12 scf o 12,8 Bcf (Billones de pies cúbicos).

CONCLUSIONES

- En el presente informe se presentó el estudio sobre GMAC adelantado en el área El Carmen de Chucurí, que comprende el municipio del mismo nombre, en el departamento de Santander, en la estructura denominada Sinclinal de Los Andes, estructura afectada por los Sistemas de Fallas de la Salina y Landázuri. La formación portadora de los carbones, corresponde a la Formación Umir, cuyo espesor levantado equivale a 510.0 m y en donde se identificaron hasta 20 capas de carbón, con espesores que varían entre 0.20 a 1.40m. Se resalta, que las estructuras sinclinales siguen aportando importante información en la investigación de GMAC en Colombia.

- De los sectores identificados para el estudio, se seleccionó el sector GMAC Flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes (FESA), para adelantar perforaciones con recuperación de núcleos y llevar a cabo mediciones de contenidos de gas metano en las capas de carbón cortadas por las mismas. En este, se presentaron variaciones en el valor de contenidos de gas total libre de cenizas, dentro del mismo pozo (Pozo El Carmen de Chucuri-1), en el Pozo El Carmen de Chucurí-2, debido a la complejidad estructural evidenciado en profundidad, no se pudo cortar ningún manto, permaneciendo siempre en la misma formación geológica La Formación Lisama. Los pozos se adelantaron a 600.0m de profundidad.

- Las capas de carbón registradas en el Pozo El Carmen de Chucurí_1, presenta un valor medio a alto de Gamma Ray, entre 21 a 171 cps. Los niveles de carbón presentan valores medios de radiactividad, entre 39 a 120 cps, densidades entre 0,75 – 1,30 g/cm3, con temperaturas entre 20.53°C a 27°C, evidenciándose una tendencia al aumento de temperatura respecto a la profundidad. En cuanto a los Registros de Resistividad, se evidencia que los carbones presentan resistividades medias, con valores que oscilan entre 40 y 60 ohm/m.

- En la prueba lugeon, se determina una conductividad eléctrica o permeabilidad presente en los mantos de carbón, de entre 253,5 a 7839,0 m/día, teniendo en cuenta que este primer dato, el más bajo corresponde a un tramo de profundidad de (459.30 – 461.0) m, esto a su vez corresponde al manto M15 y a una cinta, de techo a base, y el segundo dato, el más alto, corresponde a un tramo de profundidad de (286.90 – 287) m, esto a su vez corresponde al manto M11, de techo a base, siendo este manto

más superficial que el manto M15 y la cinta mencionada, evidenciándose a lo largo del pozo, una tendencia a la disminución de la conductividad eléctrica a medida que se avanza en profundidad.

- De acuerdo a la evaluación de reflectancia de vitrinita realizada para los carbones de la Formación Umir en el Sinclinal de Los Andes, se tiene que el gas metano asociado al carbón no es de tipo biogénico, se cuenta con valores de %Ro mayores a 0.5 y paleotemperaturas que superan los 60°C de temperatura.

- A partir de la información geoquímica, e isotópica de carbones y su cromatografía, se identifica a través de la clasificación de Tissot y Durand (1974) que el tipo de kerógeno para estos, es Tipo III, que proviene principalmente de restos de plantas de ambiente continental y es favorable para la generación de carbón y/o gas.

- Al realizar una correlación entre las relaciones atómicas H/C - O/C para el carbón y el gas asociado, con respecto a la gráfica de Van Krevelen, las relaciones atómicas en el gas a partir de la cromatografía no son representativas del Kerógeno, ya que los valores en promedio para H/C - O/C, se encuentran por debajo de 0.2. Esta misma relación se analizó a partir de los análisis fisicoquímicos de los carbones, cuyos valores son representativos del kerógeno, indicando que la mayoría de los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de formación de carbones y de la generación de gas húmedo en la fase de catagénesis tardía hacia la metagénesis; sugiriendo que las condiciones físicas y geológicas de la cuenca sedimentaria fueron adecuadas para el proceso de maduración y por tanto para la formación de gas, en donde el gas húmedo contiene una proporción creciente de metano.

- Al realizar la estadística en algunos de los parámetros evaluados para las diferentes capas de carbón, se tiene entre otras, las siguientes apreciaciones sobre las relaciones entre ellos y las capas de carbón con mayores contenidos de gas metano:

  - De los contenidos de cenizas en las muestras analizadas, se tiene que no hay ninguna tendencia de aumento o disminución de su contenido con respecto a parámetros como la profundidad.

  - Se observa una leve disminución de los contenidos de materia volátil con la profundidad, lo que hace relación a un ligero aumento de grado de carbonificación.

  - Para las muestras de mayores contenidos de gas metano se tiene un rango de valores de azufre total de entre 0.79% a 2.16 %.

  - En cuanto a las formas de azufre se concluye que en la mayoría de muestras analizadas el azufre esta como pirita, siendo elementos que no contribuyen en los contenidos de gas metano.

- Se establece, una correlación entre la humedad de equilibrio y la humedad residual con respecto al grado de carbonificación a mayor grado de carbonificación estos valores disminuyen.

- La Gravedad Especifica verdadera tiene una relación directa con el contenido de cenizas: los mantos con mayores contenidos de gas metano registran valores de GEV entre 1.19 a 1.40%.

- Con respecto al índice de hinchamiento, se registra a partir de los 330,0m de profundidad un incremento correlacionado con la misma en las diferentes capas de carbón analizadas, los mayores valores están en carbones con IH entre 6.5 y 8.0, se registran igualmente valores de Índice de Molienda para los mantos con mayores volúmenes de entre 76 y 95, valores de mercurio entre 8 y 88 µg/Kg.

- En el análisis químico de cenizas (identificación de 11 óxidos), se observa que la mayor composición está dada por los óxidos de silicio, aluminio y hierro en un promedio de 95%.

- De acuerdo a la clasificación por rango con la norma ASTM, se tiene que de los carbones analizados el 61 % (11 muestras) se clasifican como Bituminosos altos volátiles A (BavA) y el 39 % (17 muestras) como Bituminosos medios volátiles (Bmv). Se observa que hay una tendencia al aumento de rango de carbonificación a medida que aumenta la profundidad del pozo, y con respecto al contenido de Materia Volátil libre de materia mineral.

- En cuanto al análisis petrográfico y maceral, resulta de interés concluir que:

  - Las muestras de carbón analizadas presentan valores de reflectancia de la vitrinita (Ro) en el rango entre 0,66 % y 1,21%, permitiendo clasificarlos de la misma manera que por la norma ASTM. Los mayores valores de Ro, corresponden a los mantos y capas de la base de la Formación portadora de los carbones. Los mayores valores de Ro, corresponden a carbones Bituminosos medio volátiles correspondientes con la madurez de los mismos.

  - Se establece la disminución en el contenido de la materia volátil con respecto al aumento de la reflectancia, la cual a su vez está relacionado con el grado de carbonificación del carbón y la presencia de gas natural y/o aceite. De acuerdo a Moore T. (2012), la presencia de gas en los carbones estudiados puede ser de origen termogénico.

  - La vitrinita es el principal maceral en los carbones analizados. El contenido de materia mineral varía entre 3,0% a 16,2% y corresponde principalmente a pirita (framboidal y diseminada) y minerales arcillosos. En términos generales y de acuerdo

con los resultados del análisis maceral en base libre de materia mineral, los carbones se clasifican por tipo como vítricos con tendencia fúsica.

- Las mediciones de CH_4 realizadas en las muestras de los mantos de carbón colectadas, dieron como resultado contenidos de gas total libre de cenizas entre 14,61 y 661,98 Scf/Ton para el Pozo El Carmen de Chcucurí-1; 6,49 a 21,19 Scf/Ton para las muestras de frente de mina del sector de interés. Los mantos de carbón que mayor contenido de gas total libre de cenizas registraron corresponden a los Mantos de la base de la Formación Umir: 2, 3, 4, 5, así mismo las cintas que más registran son las cintas 1, 2, 3, 4, 5, capas de carbón ubicadas en el flanco Oriental del Sinclinal de Los Andes. Con base en esta información se hacen las siguientes consideraciones:

Una vez calculados los valores de gas perdido, desorbido y residual, se procede a realizar las correcciones a los mismos (Ver Anexo H) 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 (de acuerdo a corrección por parámetros que no generan metano como la humedad, cenizas y azufre para cada caso), como se muestra a continuación:

- Con relación a las mediciones, los volúmenes determinados fueron corregidos con los valores de cenizas y humedad total de los análisis químicos. Aunque se registraron contenidos de GMAC altos como en el caso de los mantos M3 y M5 y en cintas de la base de la formación, el escaso espesor de las capas, impide tener un buen potencial, razón por la cual es necesario analizar la interrelación entre estos dos parámetros en la planificación de un proyecto de GMAC.

- Así mismo, los bajos valores en frentes de mina, pueden deberse al poco avance de los trabajos y su proximidad a la superficie, lo cual favorece la desorción natural.

- A pesar que en este estudio, los pozos alcanzaron una mayor profundidad comparada con los pozos realizados en los proyectos anteriores, no se aprecia el incremento del contenido de metano con respecto a este parámetro, el incremento es variable y no constante.

- Hay que considerar de acuerdo a los estudios realizados, que el comportamiento de los depósitos de GMAC, difiere entre uno y otro e incluso dentro del mismo, razón por la cual se dificulta el establecer zonas de análisis de potencial muy amplias.

- De acuerdo a lo anterior y al análisis de Termocronología, se puede mencionar que la generación del metano es una función del tipo de maceral y del proceso de madurez termal de la cuenca (Anderson J.et al 2003-2004)

- Los valores encontrados en el Pozo El Carmen de Chucurí 1, se consideran de importancia debido a que han pasado la barrera de los 350 Scf, lo cual se considera atractivo en un proyecto de GMAC o CBM.

- De acuerdo al análisis de cromatografía efectuado a las muestras de carbón obtenidas en pozo a partir de las curvas de calibración para Nitrógeno, Gas Carbónico, Metano, Etano, resulta que el 35% de las muestras tienen contenidos mayores al 60% de Metano. Existen valores representativos de Nitrógeno en algunas muestras como por ejemplo en las de frente de mina, tal vez debido a algún problema de manipulación con las muestras en los canister.

- El potencial de gas metano, para el sector evaluado, enmarcados dentro del área general de estudio, correspondió a 17,20 Bcf de recursos y reservas de GMAC en las categorías de Medido, Indicado, Inferido e Hipotético. Discriminados así:

SECTOR	RESERVAS-RECURSOS							
	MEDIDAS (OS) (SCF)		INDICADAS (OS)(SCF)		INFERIDAS (OS)(SCF)		HIPOTETICAS (OS) (SCF)	
FESA	233,761,950.58	266,074,990.55	1,360,108,324.15	1,290,825,346.76	3,896,995,665	4,694,813,732.08	5,038,918,795.47	414,694,646.77
TOTAL RESERVAS	10,529,784,734.97							
TOTAL RECURSOS	6,666,408,716.16							
POTENCIAL	17,196,193,451.13							
	17,20 Bcf							

RECOMENDACIONES

- Continuar la exploración de Gas Metano Asociado al carbón (GMAC), en la zona carbonífera de Santander, de acuerdo al conocimiento relacionado con estudios a detalle de algunas zonas de interés localizadas en el Área carbonífera 903 (Río Opón-Landázuri) y 904 (Cimitarra sur), en donde se conoce la presencia de un número apreciable de mantos de carbón de espesor importante, con rangos correspondientes a carbones con buenas perspectivas para adelantar el estudio de GMAC en una estructura de carácter regional, El Sinclinal de Armas.

- Complementar los estudios de exploración de GMAC en las principales zonas carboníferas del país teniendo en cuenta lo siguientes aspectos:

  - Ampliar el conocimiento sobre la cuenca donde se depositaron los carbones de interés.

  - Determinar la incidencia y priorización de parámetros en la exploración de GMAC, como: rango del carbón, litología de los respaldos de los mantos de carbón, espesor de la cobertera, las condiciones hidrogeológicas de la cuenca, ambientes de depósito, estratigrafía de secuencias, tectónica (sistema de fracturamiento), permeabilidad y porosidad.

  - 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.

  - Emplear técnicas como la Termocronología, con el fin de conocer sobre la historia termal de la cuenca en cada zona de estudio, de tal manera que se determinen entre otras zonas de hundimiento, profundidad de enterramiento, variaciones en la misma.

  - 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.

- Determinar sistema de fracturamiento endógeno o natural y exógeno (formadas por el tectonismo) de los carbones objeto de estudio, de tal manera que pueda describirse el mecanismo de permeabilidad primario y su influencia en la migración del gas en el carbón, ya que se considera esta propiedad como el principal sustento del potencial de los depósitos de GMAC en la etapa de desarrollo (Anderson J.et al 2003-2004).

- Continuar pruebas de permeabilidad en pozo y establecer relaciones entre capas de carbón y profundidad.

- Realizar análisis de cromatografía en los núcleos de las perforaciones con el fin de determinar los diferentes tipos de gases presentes y los porcentajes de metano en cada muestra, complementar progresivamente la curva estándar de los gases empleados, de tal manera que se puedan incorporar otros de interés y así poder describir al 100% la mezcla de gases presente en las muestras.

- Determinar la capacidad de adsorción de los mantos de carbón a través de la aplicación de Isotermas.

- Es necesario realizar medidas de las concentraciones de gas en diferentes tiempos durante todo el estudio, puesto que la atmósfera puede cambiar de acuerdo con las condiciones ambientales y el tipo de carbón.

- Realizar análisis de Microlitotipos, principalmente en los macerales liptiníticos teniendo en cuenta su origen (esporas, polen, ceras y resinas).

- A partir de los aspectos anteriores integrar e identificar los aspectos relevantes para definir el origen del gas metano en las diferentes muestras de interés.

- Realizar la investigación sobre los contenidos de gas metano asociado al carbón en la mayoría de la secuencia carbonífera identificada en la zona de interés, considerando espesores por debajo de los 0.40m, ya que de acuerdo a este estudio, las cintas reportaron valores significativos de contenidos y en conjunto con los mantos de carbón podrían sugerir mejores expectativas en la explotación del recurso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN KOLKER, JEFFREY C. QUICK, CONNIE L. SENIOR, AND HARVEY E. BELKIN. 2012 "Mercury and Halogens in Coal—Their Role in Determining Mercury Emissions From Coal Combustion". USGS United Stated.

ANNUAL BOOK OF AMERICAN STANDARDS FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM 2012, D388, Standard classification of coals by rank, D5142-09 Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures (Withdrawn 2010), D5865-04 Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke, D5373-08 Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal, D720-91-04 Standard Test Method for Free-Swelling Index of Coal, D1412-07 Standard Test Method for Equilibrium Moisture of Coal at 96 to 97 Percent Relative Humidity and 30°C, D167-93 Standard Test Method for Apparent and True Specific Gravity and Porosity of Lump Coke, D409M-09 Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method, D2639-08 Standard Test Method for Plastic Properties of Coal by the Constant-Torque Gieseler Plastometer, D3682-01-(06) Standard Test Method for Major and Minor Elements in Combustion Residues from Coal Utilization Processes, D2799-05a Standard Test Method for Microscopical Determination of the Maceral Composition of Coal, D2798-06 Standard Test Method for Microscopical Determination of the Vitrinite Reflectance of Coal. USA.

BARKER, C. E., & PAWLEWICZ, M. J. 1994. Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories and peak temperatures: A comparison of methods. En P. K. Mukhopadhyay, & W. G. Dow, Vitrinite reflectance as a maturity parameter: Applications and limitations (págs. 216-219). V. 570: American Chemical Society Symposium Series.

BO L, QIHUI H., ZIHAO J., RENFU X. AND BAIXING H. 2013. Relationship between coal ash composition and ash fusion temperatures. Fuel; 105: 293-300.

Norma ISO 17892-2:2014, Parte 2: Determination of bulk density. Método llamado "Immersion in Fluid Method"

CABALLERO, V.; PARRA, M.; MORA BOHÓRQUEZ, A.R. 2010. Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno Tardío - Oligoceno Temprano: Proveniencia Sedimentaria en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Valle Medio del Magdalena. Boletín Geológico, vol.32, n.1, pp.45-77.

CASES, M. V., & Hens, A. G. 1988. Técnicas analíticas de separación. Retrieved from ttps://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=WPYYF75dejsC&pgis=1

CENSO DANE, 2005. Consultado en http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-registros-vitales/censos/censo-2005.

DIAMOND, W.P. AND LEVINE, J.R. 1981. Direct Method Determination of the Gas Content of Coal: Procedures and Results, Report of Investigations 8515, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, Washington, D.C.

ECOPETROL S.A – ICP. 2009. Exploración de gas asociado a carbón en cuencas carboníferas de Colombia Fase I. Informe final. Piedecuesta, Santander.

ERICK L. (2003). El coeficiente de correlación y correlaciones espurias. Recuperado http://www.pucp.edu.pe/economia/pdf/DDD218.pdf.

ECOPETROL. 2001. Proyecto Evaluación Regional Cuenca Valle Medio Del Magdalena - Cordillera Oriental, Colombia. Internal report.

ECOPETROL - ICP. División de producción y exploración. Gas asociado al carbón, marco conceptual. 1997.

ENCYCLOPEDIA OF CHROMATOGRAPHY (Print). 2001. Retrieved from https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=3Jeu8rMnbyEC&pgis=1.

FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B., & WALKER, R. M. 1975. Nuclear Tracks in Solids. Principles and Applications. Berkeley: University of California Press.

GRP Ltda, Ingeominas, 2008, Cartografía geológica y Muestreo geoquímico de la Plancha 150 – Cimitarra. Informe inédito. Bogotá.

HACKLEY P., CARDOTT B. 2016. Application of organic petrography in North American shale petroleum systems: A review. International Journal of Coal Geology 163 (2016) 8–51. Recuperado journal homepage: Contents lists available at ScienceDirect. www.elsevier.com/locate/ijcoalgeo

HEDBERG, H.D., and SASS, L.C., 1937.-Synopsis of the Geologic Formations of the western part of the Maracaibo Basin. Bol. Geol. Min. Venezuela (Caracas).

HUBACH, E. 1957. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia, Serv. Geol. Nal., Informe 1212, Ingeominas, Bogotá.

INGEOMINAS. 1987. Memoria del Mapa Hidrogeológico de Colombia. Informe 1977. Bogotá.

INGEOMINAS – ECOCARBÓN - COLCIENCIAS. 1994. Características y usos tecnológicos de los carbones zona Cundinamarca – Boyacá, Santafé de Bogotá.

INGEOMINAS. 2010. El carbón, Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas, Segunda Edición, Publicaciones Geológicas Especiales Número 30, Bogotá.

JULIVERT, M. et al.,1968. –Lexique Stratigraphique International, Amerique Latine: Centre NAt. Res. Scient. (París) 5, fasc. 4ª, Colombie (Premiere partie).

KANDEL, R. 1964. Methane–tritium system. III. Kinetics of the exchange reaction. Journal of Chemical Physics, 41, 2435-2442.

LITTLEWOOD, A. B. 2013. *Gas Chromatography: Principles, Techniques, and Applications*. Elsevier. Retrieved from https://books.google.com/books?id=DiYSBQAAQBAJ&pgis=1

LONDOÑO GIRALDO C. 2002. Combustión de Carbón. Capítulo 1. Caracterización de Carbones. Recuperado http://www.bdigital.unal.edu.co/10987/7/70502857.2002.Parte2.pdf.

MARIÑO, J., 2010. Estudios preliminares del gas asociado al carbón (GAC) en Boyacá. UPTC.

MARIÑO, J. 2015. Gas asociado al carbón (CBM o GMAC) Geología, contenidos, reservas, minería y posibilidades en Colombia. Tunja: Editorial UPTC.

MEJÍA, L. 2014. El Carbón: origen, atributos, extracción y usos actuales en Colombia. Bogotá.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución 90341 del 27 de marzo de 2014. Por la cual se establecen los requerimientos técnicos y procedimientos para la exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos no convencionales. Bogotá, 2014.

MOORE, T. 2012. Review article. Coalbed methane: A review. International Journal of Coal Geology 101 (2012) 36–81. Recuperado journal homepage: Contents lists available at SciVerse Science Direct www.elsevier.com/locate/ijcoalgeo.

MORALES, L. G., COLOMBIAN PETROLEUM INDUSTRY, 1956, General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia, in: Weeks, L., G., Habitat of oil, 641-695, Am. Ass. Petrol. Geol. Bull. Morales, L. G., et all., 1958, General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia. Symposium on the habitat of oil, American Association of Petroleum Geologists. 76p Tulsa.

MORALES, L. / PODESTA, D., HADFIELD, W., TANNER, H., JONES, S., et al. 1958. General geology and oil occurrences of Middle Magdelena Valley, Colombia: In Habitat of oil symposium: American Association of Petroleum Geologists Bulletin., pp. 641-691.

PARRA, M., MORA, A., JARAMILLO, C., STRECKER, M. R., SOBEL, E. R., QUIROZ, L. I., RUEDA, M., Y TORRES, V. 2009a. Orogenic wedge advance in the northern Andes: Evidence from the Oligocene-Miocene sedimentary record of the Medina Basin, Eastern Cordillera, Colombia: Geological Society of America Bulletin, v. 121, p. 780-800.

PARRA, M., MORA, A., SOBEL, E. R., STRECKER, M. R., & GONZÁLEZ, R. 2009b. Episodic orogenic front migration in the northern Andes: Constrains from low-temperature thermochronology in the Eastern Cordillera, Colombia. Tectonics, V. 28.

QUIRÓS, M. B. 2006. Principios y aplicaciones de la Cromatografía de Gases. Editorial Universidad de Costa Rica. Retrieved from https://books.google.com/books?id=g3o_PUTmr3wC&pgis=1

RENZONI, G., ROSAS, H., 1969, Geología de la plancha 171 Duitama, Serv. Geol. Nal., Ingeominas, Bogotá

RENZONI, G., ROSAS, H., ETAYO, F., 1969, Mapa geológico de la plancha 191 Tunja, publicado en 1983, Ingeominas, Bogotá.

RENZONI, G., 1981, Geología del Cuadrángulo J-12 Tunja, Bol. Geol., v. 24 No 2: 31-48, Ingeominas, Bogotá.

SACKETT, W. 1978. Carbon and hydrogen isotope effects during thermocatalitic production of hydrocarbons in laboratory simulation experiments. Geochemical and Cosmochemical Acta., 42, 571 - 580.

SINGH, P. K., SINGH, M., PRACHITI, P., KALPANA, M., MANIKYAMBA, C., LAKSHMINARAYANA , G., y otros. 2012. Petrographic characteristics and carbon isotopic composition of Permian coal: Implications on depositional environment of Sattupalli coalfield, Godavari Valley, India. International Journal of Coal Geology., 34 - 42.

STACH, E.; MACKOWSKY, TH.; TEICHMULLER, M.; TAYLOR, G. H.; CHANDRA, D., TEICHMULLER, R. 1982. Textbook of coal petrology, Gebruder Borntaeger, Berlin, Sttugart.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. 2012. El carbón Colombiano. Recursos, reservas y calidad. Publicaciones Geológicas Especiales. Número 32.

SMITH, D.M. and WILLIAMS, F.L., 1984. Diffusion Models for Gas Production from Coals: Application of Methane Content Determination; Fuel, Volume 63. EU.

SWEENEY, J., & BURNHAM. 1990. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 74(10), 1559-1570.

TABORDA, B., 1965, Guidebook of the geology of the De Mares Concession, Col. Soc. Petr. Geologists and Geophisicists.

TADEUSZ, D., ANDRZEJ S., ANDRZEJ R.I., MARIUSZ, M.2015. Studies of the correlation between mercury content and the content of various forms of sulfur in Polish hard coals. Fuel; 159: 206-213. Recuperado journal homepage: Contents lists available at Science Direct www.elsevier.com/locate/fuel.

TAGAMI, T., & O'SULLIVAN, P. 2005. Fundamentals of Fission-Track Thermochronology. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, V. 58: 19-47.

TISSOT, B.; DURAND, B.; ESPITALIE, J.; COMBAZ, A. 1974. Influence of nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. AAPG Bulletin 58 (3), 499-506.

ULLOA, C., RODRÍGUEZ, E., 1978, Mapa geológico preliminar, plancha 170 Vélez, Informe 1790, Ingeominas, Bogotá.

VAN DER HAMMEN, TH., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y Tectogénesis de los Andes colombianos. Bol. Geol. Vol. VI Nº 1 – 3. INGEOMINAS. Bogotá.

WARD, D. E., GOLDSMITH, R., JIMENO, A., CRUZ. J., RESTREPO, H., GÓMEZ, E. 1969. Mapa geológico del Cuadrángulo H -12 Bucaramanga, Ingeominas, Bogotá.

WHEELER, O. C., 1935, Tertiary Stratigraphy of the Middle Magdalena Valley, Proc. Acad. Nat. Science, Philadelphia, Vol. 87, pp 7-30.

WHITICAR, N. 1996. Stable isotope geochemistry of coals, humic kerogens and related natural gases. International Journal of Coal Geology, 32, 191 - 215.

WOOD, GORDON. KEHN, T. 2003. Coal Resource classification System of the U.S. geological Survey. Geological Survey Circular 891.