

Arthur D Little

**Análisis de
tecnología y
estrategia de
promoción para
desarrollos de Gas
Metano Asociado al
Carbón (CBM) en
Colombia**

**Fase I: Caracterización
de Cuencas de CBM
en Colombia**

Arthur D. Little:

Informe para
Agencia Nacional de Hidrocarburos
(ANH)

Gerente de Proyecto: Irfan Bidiwala

Fecha: 4 de Junio de 2010

Director del Proyecto: Rodolfo Guzmán

Revisores ANH:

- Luis Alberto Briceño
- Ana Dolores Santos

Arthur D. Little Inc
Houston Office
1600 Smith Street,
Suite 3960
Houston, Texas 77002
U.S.A.
Teléfono (1) 281.404.9856
Fax (1) 713.655.0726
www.adlittle.com

Índice de contenido

Resumen	13
1. Características de las cuencas de CBM en Colombia	15
1.1 Región del Cesar.....	15
1.1.1 Método para la extracción del carbón.....	16
1.1.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	16
1.1.3 Columna estratigráfica	18
1.1.4 Entorno de sedimentación.....	19
1.1.5 Geología.....	19
1.1.6 Sub regiones.....	21
1.1.7 Contenido de gas.....	29
1.1.8 Las concesiones de Drummond en la Región del Cesar	32
1.1.9 Resumen y conclusiones	35
1.2 Región de La Guajira.....	36
1.2.1 Método para la extracción del carbón.....	36
1.2.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	37
1.2.3 Columna estratigráfica	38
1.2.4 Entorno de sedimentación.....	39
1.2.5 Geología.....	40
1.2.6 Sub regiones.....	42
1.2.7 Contenido de gas.....	48
1.2.8 Concesiones de Drummond en la Región de La Guajira	51
1.2.9 Resumen y conclusiones	53
1.3 Región de Boyacá.....	55
1.3.1 Método para la extracción del carbón.....	55
1.3.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	56
1.3.3 Columna estratigráfica	58
1.3.4 Entorno de sedimentación.....	59
1.3.5 Geología.....	60
1.3.6 Sub regiones.....	62
1.3.7 Contenido de gas.....	73
1.3.8 Resumen y conclusiones	76
1.4 Región de Cundinamarca	78
1.4.1 Método para la extracción del carbón.....	78
1.4.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	79

1.4.3	Columna estratigráfica	80
1.4.4	Entorno de sedimentación.....	81
1.4.5	Geología.....	81
1.4.6	Sub regiones.....	83
1.4.7	Contenido de Gas	103
1.4.8	Resumen y conclusiones	107
1.5	Región de Norte de Santander	109
1.5.1	Método para la extracción del carbón.....	110
1.5.2	Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	110
1.5.3	Columna estratigráfica	112
1.5.4	Geología.....	114
1.5.5	Sub regiones.....	115
1.5.6	Contenido de Gas	131
1.5.7	Resumen y conclusiones	136
1.6	Región de Córdoba	137
1.6.1	Método para la extracción del carbón.....	138
1.6.2	Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	138
1.6.3	Columna estratigráfica	140
1.6.4	Geología.....	141
1.6.5	Sub regiones.....	142
1.6.6	Contenido de gas.....	151
1.6.7	Resumen y conclusiones	154
1.7	Región de Antioquia.....	156
1.7.1	Método para la extracción del carbón.....	157
1.7.2	Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	157
1.7.3	Columna estratigráfica	158
1.7.4	Geología.....	160
1.7.5	Sub regiones.....	161
1.7.6	Contenido de gas.....	173
1.7.7	Resumen y conclusiones	177
1.8	Región de Santander.....	178
1.8.1	Método para la extracción del carbón.....	179
1.8.2	Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	179
1.8.3	Columna estratigráfica	180
1.8.4	Geología.....	181
1.8.5	Sub regiones.....	184
1.8.6	Contenido de gas.....	196
1.8.7	Resumen y conclusiones	200

1.9 Región del Valle del Cauca.....	201
1.9.1 Método para la extracción del carbón.....	201
1.9.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales	202
1.9.3 Columna estratigráfica	203
1.9.4 Geología.....	204
1.9.5 Sub regiones.....	206
1.9.6 Contenido de gas.....	214
1.9.7 Resumen y conclusiones	218
1.10 Otras regiones.....	219

Lista de Tablas

Tabla 1:	Potencial de carbón explotable en la Región del Cesar	23
Tabla 2:	Región del Cesar – Sectores de La Loma	25
Tabla 3:	Región del Cesar – Sectores de La Jagua de Ibérico	28
Tabla 4:	Región del Cesar – Composición del carbón	29
Tabla 5:	Región del Cesar – Potencial de gas	32
Tabla 6:	Región del Cesar – Permeabilidad	32
Tabla 7:	Región del Cesar – Estado de las concesiones de Drummond	34
Tabla 8:	Potencial de carbón explotable en la Región de La Guajira	43
Tabla 9:	Región de La Guajira – Composición del carbón	49
Tabla 10:	Región de La Guajira – Potencial de gas	51
Tabla 11:	Región de La Guajira – Permeabilidad	51
Tabla 12:	Potencial de carbón explotable en la Región de Boyacá	63
Tabla 13:	Región de Boyacá – Composición del carbón	74
Tabla 14:	Región de Boyacá - Potencial de gas	76
Tabla 15:	Región de Boyacá - Permeabilidad	76
Tabla 16:	Potencial de carbón explotable en la Región de Cundinamarca	85
Tabla 17:	Región de Cundinamarca – Composición del carbón	104
Tabla 18:	Región de Cundinamarca – Composición del carbón	104
Tabla 19:	Región de Cundinamarca – Potencial de gas	106
Tabla 20:	Región de Cundinamarca - Permeabilidad	106
Tabla 21:	Región de Cundinamarca - Permeabilidad	107
Tabla 22:	Potencial de carbón explotable en la Región de Norte de Santander	117
Tabla 23:	Región de Norte de Santander – Composición del carbón	131
Tabla 24:	Región de Norte de Santander – Composición del carbón	132
Tabla 25:	Región de Norte de Santander – Potencial de gas	135
Tabla 26:	Región de Norte de Santander - Permeabilidad	135
Tabla 27:	Región de Norte de Santander - Permeabilidad	136
Tabla 28:	Potencial de carbón explotable en la Región de Córdoba	144
Tabla 29:	Región de Córdoba – Composición del carbón	151
Tabla 30:	Región de Córdoba – Potencial de gas	154
Tabla 31:	Región de Córdoba – Permeabilidad	154
Tabla 32:	Potencial de carbón explotable en la Región de Antioquia	162
Tabla 33:	Región de Antioquia – Composición del carbón	173
Tabla 34:	Región de Antioquia – Potencial de gas	176
Tabla 35:	Región de Antioquia – Permeabilidad	177
Tabla 36:	Potencial de carbón explotable en la Región de Santander	186

Tabla 37: Región de Santander – Composición del carbón	196
Tabla 38: Región de Santander – Potencial de gas	199
Tabla 39: Región de Santander – Permeabilidad	199
Tabla 40: Potencial de carbón explotable en la Región del Valle del Cauca.....	208
Tabla 41: Región del Valle del Cauca – Composición del carbón.....	214
Tabla 42: Región del Valle del Cauca – Potencial de gas.....	217
Tabla 43: Región del Valle del Cauca – Permeabilidad.....	217

Lista de Figuras

Figura 1: Resumen informe CBM en Colombia para ANH.....	13
Figura 2: Método indirecto para la determinación del contenido de gas.....	14
Figura 3: Ubicación de la Región del Cesar.....	15
Figura 4: Infraestructura en la Región del Cesar.....	17
Figura 5: Columna estratigráfica para la Región del Cesar.....	18
Figura 6: Mapa geológico de la Región del Cesar.....	20
Figura 7: Perfil geológico de la sub cuenca del Cesar.....	20
Figura 8: Líneas de sísmica representativas de la Región del Cesar.....	21
Figura 9: Sub regiones de la Región del Cesar.....	22
Figura 10: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región del Cesar.....	22
Figura 11: Región del Cesar – Sub región La Loma.....	24
Figura 12: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en el sector La Loma.....	25
Figura 13: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en el sector El Boquerón.....	26
Figura 14: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector Descanso Norte.....	26
Figura 15: Región del Cesar – Sub región La Jagua de Ibérico.....	27
Figura 16: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector La Jagua de Ibérico.....	28
Figura 17: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector Cerro Largo.....	29
Figura 18: Región del Cesar – Clasificación del carbón.....	30
Figura 19: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón.....	30
Figura 20: Región del Cesar – Geoquímicos – Diagrama de Reflectancia de Vitrinita & HI.....	31
Figura 21: Región del Cesar – Concesiones de Drummond.....	33
Figura 22: Región del Cesar – Concesiones de Drummond.....	34
Figura 23: Región del Cesar – Resumen y conclusiones.....	35
Figura 24: Ubicación de la Región de La Guajira.....	36
Figura 25: Infraestructura en la Región de La Guajira.....	37
Figura 26: Columna estratigráfica para la Región de La Guajira.....	39
Figura 27: Mapa geológico de la Región de La Guajira.....	40
Figura 28: Perfil geológico de la sub cuenca de La Guajira.....	41
Figura 29: Líneas de sísmica representativas de la Región de La Guajira.....	41
Figura 30: Sub regiones de la Región de La Guajira.....	42
Figura 31: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de La Guajira.....	43

Figura 32: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Norte.....	44
Figura 33: Región de La Guajira – Columna estratigráfica para Cerrejón Norte.....	45
Figura 34: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Central.....	46
Figura 35: Región de La Guajira – Espesor de los mantos de carbón en Cerrejón Central .	47
Figura 36: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Sur	48
Figura 37: Región de La Guajira – Clasificación del carbón	49
Figura 38: Región de La Guajira – Espesor de los mantos de carbón.....	49
Figura 39: Región de La Guajira – Diagrama de Reflectancia de vitrinita y HI.....	50
Figura 40: Región de La Guajira – Concesiones de Drummond.....	52
Figura 41: Región de La Guajira – Concesiones de Drummond.....	53
Figura 42: Región de La Guajira – Resumen y conclusiones.....	54
Figura 43: Ubicación de la Región de Boyacá	55
Figura 44: Infraestructura en la Región de Boyacá	57
Figura 45: Columna estratigráfica para la Región de Boyacá.....	59
Figura 46: Mapa geológico de la Región de Boyacá.....	60
Figura 47: Perfil geológico de la sub cuenca de Boyacá / Cundinamarca	61
Figura 48: Líneas de sísmica representativas de la Región de Boyacá	61
Figura 49: Sub regiones de la Región de Boyacá.....	62
Figura 50: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Boyacá	63
Figura 51: Región de Boyacá – Sub región Checua-Lenguazaque	65
Figura 52: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Checua-Lenguazaque	66
Figura 53: Región de Boyacá – Sub región Suesca-Albarracín	67
Figura 54: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Suesca-Albarracín....	68
Figura 55: Región de Boyacá – Sub región Tunja-Paipa-Duitama	69
Figura 56: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Tunja-Paipa-Duitama	70
Figura 57: Región de Boyacá – Sub región Sogamoso-Jericó	71
Figura 58: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Sogamoso-Jericó.....	72
Figura 59: Región de Boyacá – Sub región Umbita-Laguna de Tota	72
Figura 60: Región de Boyacá – Clasificación del carbón	74
Figura 61: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón.....	74
Figura 62: Región de Boyacá – Diagrama IH vs. Tmax	75
Figura 63: Región de Boyacá – Resumen y conclusiones.....	77
Figura 64: Ubicación de la Región de Cundinamarca.....	78
Figura 65: Infraestructura de la Región de Cundinamarca.....	79
Figura 66: Columna estratigráfica para la Región de Cundinamarca.....	81
Figura 67: Mapa geológico de la Región de Cundinamarca	82

Figura 68: Perfil geológico de la sub cuenca Boyacá / Cundinamarca	82
Figura 69: Líneas de sísmica representativas de la Región de Cundinamarca.....	83
Figura 70: Sub regiones de la Región de Cundinamarca	84
Figura 71: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Cundinamarca	84
Figura 72: Región de Cundinamarca – Sub región Jerusalén - Guataquí.....	86
Figura 73: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Jerusalén - Guataquí.....	87
Figura 74: Región de Cundinamarca – Sub región Guaduas - Caparrapí	88
Figura 75: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en Guaduas - Caparrapí.....	89
Figura 76: Región de Cundinamarca – Sub región San Francisco-Subchoque-La Pradera	90
Figura 77: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en San Francisco- Subchoque-La Pradera	91
Figura 78: Región de Cundinamarca – Sub región Guatavita – Sesquilé - Chocontá.....	92
Figura 79: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Guatavita – Sesquilé - Chocontá	93
Figura 80: Región de Cundinamarca – Sub región Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá.	94
Figura 81: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá.....	95
Figura 82: Región de Cundinamarca – Sub región Checua - Lenguazaque.....	96
Figura 83: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en Checua - Lenguazaque	97
Figura 84: Región de Cundinamarca – Sub región Suesca - Albarracín.....	98
Figura 85: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Suesca - Albarracín	99
Figura 86: Región de Cundinamarca – Sub región Zipaquirá - Neusa.....	100
Figura 87: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Zipaquirá - Neusa.....	101
Figura 88: Región de Cundinamarca - Sub región Páramo de la Bolsa – Machetá.	102
Figura 89: Región de Cundinamarca - Espesor de los mantos de carbón en Páramo de la Bolsa - Machetá	103
Figura 90: Región de Cundinamarca – Clasificación del carbón	105
Figura 91: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón.....	105
Figura 92: Región de Cundinamarca – Resumen y conclusiones	108
Figura 93: Ubicación de la Región de Norte de Santander	109
Figura 94: Infraestructura en la Región de Norte de Santander	111
Figura 95: Columna estratigráfica para la Región de Norte de Santander	113

Figura 96: Mapa geológico de la Región de Norte de Santander	114
Figura 97: Perfil geológico de la sub cuenca de Norte de Santander	115
Figura 98: Líneas de sísmica representativas de la Región de Norte de Santander	115
Figura 99: Sub regiones de la Región de Norte de Santander	116
Figura 100: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Norte de Santander.....	116
Figura 101: Región de Norte de Santander – Sub región Chitagá.....	118
Figura 102: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Chitagá	118
Figura 103: Región de Norte de Santander – Sub región Mutiscua - Cécota.....	119
Figura 104: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Mutiscua - Cécota	120
Figura 105: Región de Norte de Santander – Sub región Pamplona-Pamplonita	121
Figura 106: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Pamplona-Pamplonita	122
Figura 107: Región de Norte de Santander – Sub región Herrán - Toledo	123
Figura 108: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Herrán - Toledo.....	124
Figura 109: Región de Norte de Santander – Sub región Salazar	125
Figura 110: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Salazar	126
Figura 111: Región de Norte de Santander – Sub región Tasajero	127
Figura 112: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Tasajero.....	127
Figura 113: Región de Norte de Santander – Sub región Zulia - Chinácota.....	129
Figura 114: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Zulia - Chinácota	129
Figura 115: Región de Norte de Santander – Sub región Catatumbo	130
Figura 116: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Catatumbo	131
Figura 117: Región de Norte de Santander – Clasificación del carbón.....	133
Figura 118: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón	133
Figura 119: Región de Norte de Santander – Diagrama de IH vs. Tmax.....	134
Figura 120: Región de Norte de Santander – Resumen y conclusiones.....	136
Figura 121: Ubicación de la Región de Córdoba	137
Figura 122: Infraestructura en la Región de Córdoba	139
Figura 123: Columna estratigráfica para la Región de Córdoba	140
Figura 124: Mapa geológico de la Región de Córdoba.....	141

Figura 125:	Perfil geológico de la sub cuenca Córdoba / Antioquia (San Jorge)	142
Figura 126:	Sub regiones de la Región de Córdoba	143
Figura 127:	Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Córdoba	143
Figura 128:	Región de Córdoba - Espesor de los mantos de carbón en Urabá	145
Figura 129:	Región de Córdoba – Sub región Ciénaga de Oro	146
Figura 130:	Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Ciénaga de Oro 147	
Figura 131:	Región de Córdoba – Sub región Alto San Jorge	148
Figura 132:	Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Alto San Jorge	148
Figura 133:	Región de Córdoba – Sub región Tarazá-Río Man	149
Figura 134:	Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Tarazá-Río Man 150	
Figura 135:	Región de Córdoba – Sub región Purí-Caserí	150
Figura 136:	Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Purí-Caserí	151
Figura 137:	Región de Córdoba – Clasificación del carbón	152
Figura 138:	Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón	153
Figura 139:	Región de Córdoba – Diagrama HI	153
Figura 140:	Región de Córdoba – Resumen y conclusiones	155
Figura 141:	Ubicación de la Región de Antioquia	156
Figura 142:	Infraestructura en la Región de Antioquia	157
Figura 143:	Columna estratigráfica para la Región de Antioquia	159
Figura 144:	Mapa geológico de la Región de Antioquia	160
Figura 145:	Perfil geológico de la sub cuenca de Córdoba / Antioquia (San Jorge)	160
Figura 146:	Sub regiones de la Región de Antioquia	161
Figura 147:	Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Antioquia 162	
Figura 148:	Región de Antioquia – Sub región Venecia-Fredonia	163
Figura 149:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Venecia-Fredonia	164
Figura 150:	Región de Antioquia – Sub región Amagá-Angelópolis	165
Figura 151:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Amagá-Angelópolis	166
Figura 152:	Región de Antioquia – Sub región Venecia-Bolombolo	167
Figura 153:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Venecia-Bolombolo	167
Figura 154:	Región de Antioquia – Sub región Titiribí	169
Figura 155:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Titiribí	170

Figura 156:	Región de Antioquia – Sub región Riosucio-Quinchía.....	171
Figura 157:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón en Riosucio- Quinchía.....	171
Figura 158:	Región de Antioquia – Sub región Aranzazu-Santágueda.....	172
Figura 159:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón en Aranzazu- Santágueda	173
Figura 160:	Región de Antioquia – Clasificación del carbón	174
Figura 161:	Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón.....	175
Figura 162:	Región de Antioquia – Diagrama HI	176
Figura 163:	Región de Antioquia – Resumen y conclusiones.....	177
Figura 164:	Ubicación de la Región de Santander	178
Figura 165:	Infraestructura en la Región de Santander	179
Figura 166:	Columna estratigráfica para la Región de Santander	180
Figura 167:	Mapa geológico de la Región de Santander.....	182
Figura 168:	Perfil geológico de la sub cuenca de Santander.....	183
Figura 169:	Líneas de sísmica representativas de la Región de Santander	183
Figura 170:	Sub regiones de la Región de Santander.....	184
Figura 171:	Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Santander 185	
Figura 172:	Región de Santander – Sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales.....	187
Figura 173:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales	188
Figura 174:	Región de Santander – Sub región San Luis.....	188
Figura 175:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en San Luis	189
Figura 176:	Región de Santander – Sub región Río Opón-Landázuri.....	189
Figura 177:	Región de Santander – Sub región Cimitarra Sur.....	190
Figura 178:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Cimitarra Sur	191
Figura 179:	Región de Santander – Sub región Capitanejo-San Miguel.....	192
Figura 180:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Capitanejo-San Miguel.....	193
Figura 181:	Región de Santander – Sub región Miranda	193
Figura 182:	Región de Santander – Sub región Molagavita.....	194
Figura 183:	Región de Santander – Sub región Páramo del Almorzadero.....	195
Figura 184:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Páramo del Almorzadero	196
Figura 185:	Región de Santander – Clasificación del carbón	197
Figura 186:	Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón.....	198

Figura 187:	Región de Santander – Diagrama HI vs. Tmax	198
Figura 188:	Región de Santander – Resumen y conclusiones.....	200
Figura 189:	Ubicación de la Región del Valle del Cauca	201
Figura 190:	Columna estratigráfica para la Región del Valle del Cauca	204
Figura 191:	Mapa geológico de la Región del Valle del Cauca	205
Figura 192:	Perfil geológico de la sub cuenca del Valle del Cauca	206
Figura 193:	Líneas de sísmica representativas de la Región del Valle del Cauca.....	206
Figura 194:	Sub regiones de la Región del Valle del Cauca	207
Figura 195:	Superficie y potencial de explotación de carbón de la Región del Valle del Cauca.....	207
Figura 196:	Región del Valle del Cauca – Sub región Yumbo-Asnazú.....	209
Figura 197:	Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Yumbo- Asnazú.....	210
Figura 198:	Región del Valle del Cauca – Sub región Río Dinde-Quebrada Honda	211
Figura 199:	Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Río Dinde-Quebrada Honda	212
Figura 200:	Región del Valle del Cauca – Sub región Mosquera-El Hoyo	213
Figura 201:	Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Mosquera- El Hoyo	214
Figura 202:	Región del Valle del Cauca – Clasificación del carbón.....	215
Figura 203:	Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón	216
Figura 204:	Región del Valle del Cauca – Diagrama HI.....	216
Figura 205:	Región del Valle del Cauca – Resumen y conclusiones	218

Resumen

Como se puede ver en la Figura 1, el proyecto de Estrategia de Promoción para Desarrollos de Gas Metano Asociado al Carbón (CBM) en Colombia consta de tres fases. El presente informe describe los resultados de la primer fase del mismo, fase en el que se caracterizan las cuencas colombianas de CBM.

Figura 1: Resumen informe CBM en Colombia para ANH



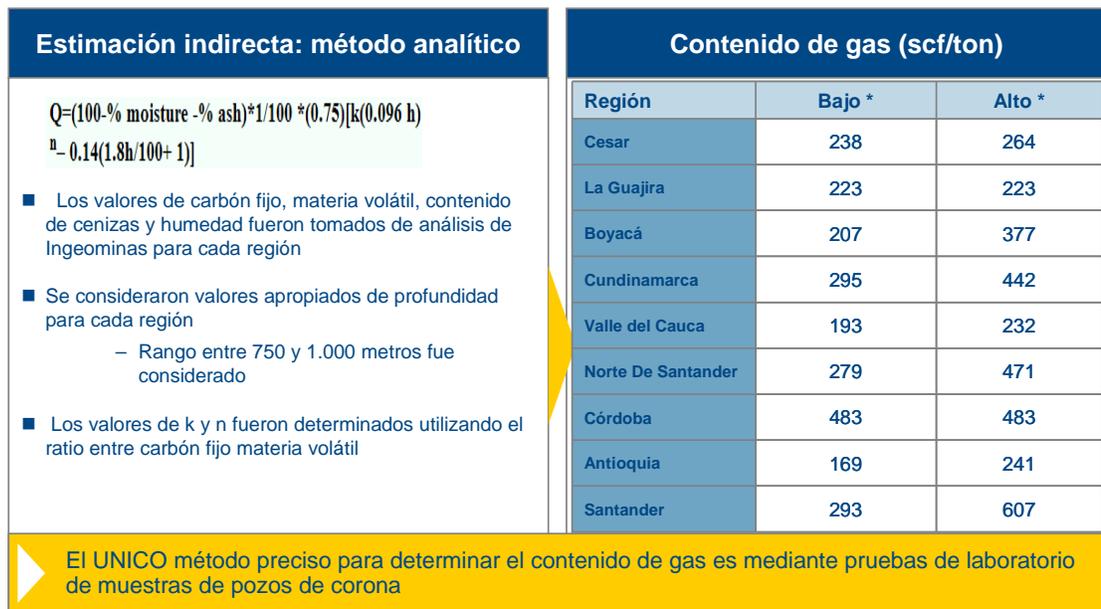
Fuente: análisis Arthur D. Little

Como parte del análisis nueve cuencas carboníferas en Colombia fueron caracterizadas. Algunas de las características consideradas fueron: clasificación del carbón, espesor de los mantos de carbón, número de mantos de carbón, contenido de gas, potencial de explotación de gas y de carbón.

Dos principales limitaciones fueron encontradas en la descripción de éstas características para cada cuenca. El primer desafío fue la falta de disponibilidad de datos para profundidades explotables superiores a los 300 metros. Considerando que Ingeominas cuenta únicamente con datos hasta profundidades aptas para la minería, los datos utilizados fueron los correspondientes a profundidades de hasta 300 metros y luego fueron extrapolados a profundidades superiores para la compleción de nuestro análisis. Por lo tanto, características tales como clasificación del carbón, número de mantos de carbón, espesor de los mantos de carbón y potencial de explotación de carbón han sido definidos utilizando los datos disponibles para profundidades aptas para la minería.

El segundo desafío fue la falta de datos correspondientes a pruebas de corona. Teniendo en cuenta que no se han hecho perforaciones en las cuencas no licitadas, no se pudo contar con datos como el contenido de gas en las cuencas. Como consecuencia, se ha utilizado el método indirecto, el cual se detalla en la Figura 2 para el cálculo del contenido de gas en cada cuenca.

Figura 2: Método indirecto para la determinación del contenido de gas



* El rango de contenido de gas en cada región es función de la calidad del carbón en cada sub región de la cuenca

Fuente: análisis Arthur D. Little

Este método indirecto provee de una estimación aproximada del contenido de gas y puede ser utilizado para la comparación entre cuencas pero no brinda certeza en cuanto al contenido exacto de gas. El único método para una determinación precisa de contenido de gas es la perforación para la obtención de datos de pruebas de corona.

La información referida a cada cuenca que se presenta en este informe será de utilidad en la confección del material de licitación como así también en cualquier otro material de promoción como pueden ser folletos con la descripción de cada cuenca, brochures, presentaciones de marketing, etc. De todas formas no se debe perder de vista que se debe contar con información adicional para la confección definitiva de todo este material.

1. Características de las cuencas de CBM en Colombia

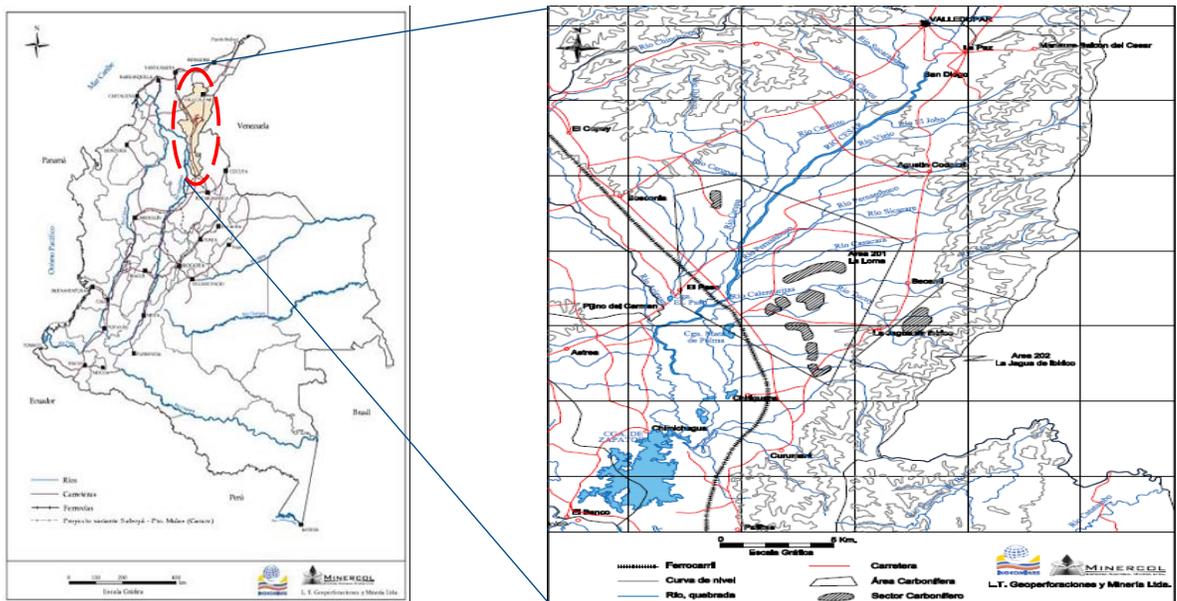
1.1 Región del Cesar

La región del Cesar está ubicada en el nororiente de Colombia, dentro de los límites del Departamento del Cesar (Figura 3). La región del Cesar limita hacia el norte con la región de La Guajira, al occidente con las regiones de Magdalena y Bolívar, al sur con la región de Santander, y al oriente con la región de Norte de Santander y con la República de Venezuela. La región tiene una superficie total de 11.668 km².

La cuenca del Cesar Ranchería está delimitada al noroccidente con rocas pre Cretáceas del Macizo de Santa Marta; al norte por la Falla de Oca; al suroriente con rocas pre Cretáceas de la Serranía de Perijá, y al suroccidente por la falla de Bucaramanga.

La Región del Cesar tiene el mayor volumen de carbón que se puede explotar en todo el país. Se ha encontrado carbón en la región del Cesar en la formación ‘Los Cuervos’, que pertenece a la era del Eoceno. La región del Cesar posee una cubierta sedimentaria de espesor máximo de aproximadamente 4.000 metros.

Figura 3: Ubicación de la Región del Cesar



Fuente: Ingeominas

1.1.1 Método para la extracción del carbón

El método para la extracción de carbón es principalmente ‘a cielo abierto’ y, en menor proporción, extracción subterránea en la Región del Cesar.

El método ‘a cielo abierto’ corresponde al método de ‘*Open Pit*’, que permite la extracción a partir de varios lechos de carbón al mismo tiempo. Una de las principales características de este método es la utilización de voladuras con dinamita para el 90% del material inerte, mientras que el 10% restante requiere de tractores de gran tamaño. La operación y todos los servicios de apoyo son totalmente mecanizados.

Existen tres contratos mineros de extracción subterránea donde se utilizan los métodos de tajo largo y de cámaras y pilares.

Las minas que se encuentran en operación son: Drummond en el área carbonífera de La Loma; Carbones del Caribe, Carboandes, Consorcio Minero Unido y Carbones Sororia en el área carbonífera de La Jagua de Ibérico.

1.1.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

La región del Cesar tiene una infraestructura bien desarrollada, con ferrocarriles, gasoductos, puertos y refinerías.

La región del Cesar posee conexiones férreas y fluviales y está conectada con Bucaramanga y Bogotá a través de la ruta del Magdalena, a partir de donde se conectada posteriormente con todas las ciudades principales en el país.

Figura 4: Infraestructura en la Región del Cesar



Fuente: Ingeominas

Aspectos ambientales

Existen dos áreas principales en la región del Cesar: las llanuras que forman los valles de los ríos del Cesar hacia el norte y el Río Magdalena hacia el sur, que abarcan un 86% del área; y la región montañosa, que abarca el 14% restante del territorio. Cerca de las riberas del Río Magdalena, el terreno es muy bajo y propenso a inundaciones.

Las áreas de especial importancia ecológica y cultural son: la Serranía de Los Motilones, la Ciénaga de Zapatos y algunas otras, tales como la Ciénaga Carmona, la Ciénaga El Cucharo, la Ciénaga Pesquería, la Ciénaga Pajal, la Ciénaga Chepito, la Ciénaga Mochila de Bijagual, la Ciénaga Los Mosquitos, la Ciénaga Limpia y la Ciénaga El Gallo, entre otras.

Aspectos sociales

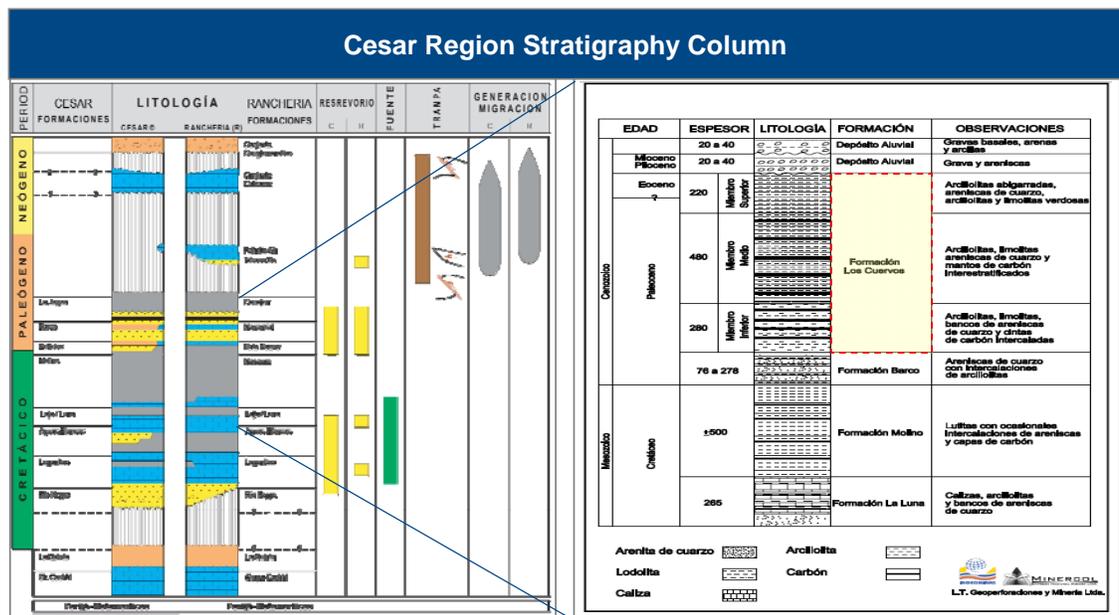
Compañías carboneras medianas y grandes, que representan prácticamente todas las exportaciones de carbón de la región, se caracterizan por su alto grado de organización, con una innegable comprensión de sus relaciones con el Estado en cuanto al cumplimiento de las reglamentaciones de minería, el medio ambiente y las obligaciones tributarias, laborales y de seguridad industrial.

La presencia de la comunidad indígena de los Yuco es otro punto que hay que considerar en la región del Cesar. Esta comunidad ocupa una región de 25.000 hectáreas, con 280 habitantes organizados en 68 familias, y su asentamiento está ubicado cerca a Becerril.

1.1.3 Columna estratigráfica

En la región del Cesar, la mayor parte de los yacimientos de carbón se encuentran en la formación Los Cuervos.

Figura 5: Columna estratigráfica para la Región del Cesar



La formación Los Cuervos pertenece a la era del Eoceno. Cada sección en la formación tiene características definidas y diferentes:

- La sección inferior está caracterizada por arcillolitas y limolitas de color gris a medio grisáceo, intercalados con areniscas, cintas y mantos de carbón.
- La sección media es la sección donde se produce carbón y consta de una secuencia de arcillolitas, limolitas arenitas y hasta 60 capas y mantos de carbón que tienen un espesor superior a 1 metro.

- La sección superior está compuesta por arenitas de color gris claro a medio, de grano fino a medio, intercaladas con limolitas y arcillolitas.

El espesor de la formación Los Cuervos está en el rango de 245 a 1.600 mts. Los mantos de carbón se encuentran a aproximadamente 300 m sobre la base de la formación.

1.1.4 Entorno de sedimentación

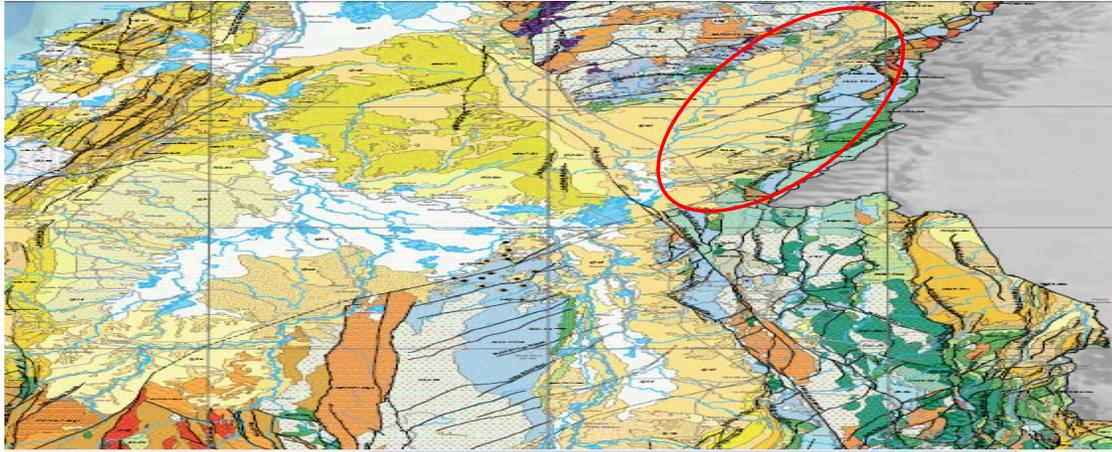
Los sedimentos Paleozoicos están representados por sedimentos marinos y continentales afectados por intrusiones metamórficas e intrusiones ígneas. Estos estratos afloran en la Serranía de Perijá.

Las rocas Jurásicas están representadas por la formación “La Quinta”, formada principalmente por rocas rojas y rocas volcánicas. El Cretácico está representado mayormente por una secuencia marina que data desde el Neocomiano al Maastrichtiano. La edad de las rocas en la región del Cesar abarca desde el Paleozoico hasta el Holoceno.

1.1.5 Geología

La región del Cesar posee un nivel medio de complejidad geográfica estructural. La región del Cesar es asimétrica, ya que se inclina hacia el sur y hacia el oriente desde el Macizo de Santa Marta hacia el frente montañoso de Perijá y con tendencias de falla reversa asociadas. La cuenca se encuentra truncada al occidente de la falla de Santa Marta y se angosta hacia el noreste por la convergencia del frente montañoso con la margen del Macizo. Se presentan anticlinales enclavados dentro de la cuenca, los cuales delimitan las áreas sinclinales prospectivas.

Figura 6: Mapa geológico de la Región del Cesar

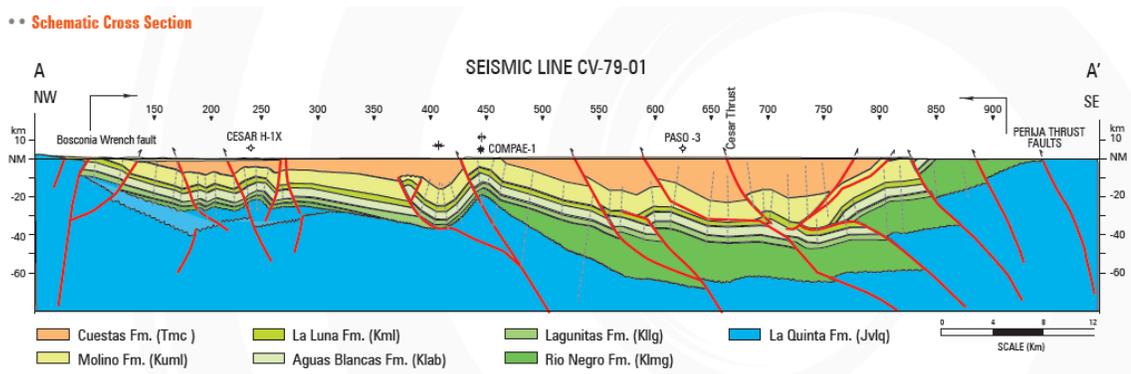


Fuente: Ingeominas 2004

El carbón se encuentra a profundidades apropiadas para la acumulación de CBM y para su explotación comercial. El carbón se encuentra localizado apenas encima de la Formación Molino, lo que coloca los mantos de carbón a profundidades apropiadas en las áreas sinclinales para la acumulación de CBM y para la explotación comercial.

Un perfil transversal geológico (Figura 7) muestra la complejidad de la estructura más profunda en la cuenca; sin embargo, los sinclinales prospectivos en las secciones superficiales son relativamente sencillos.

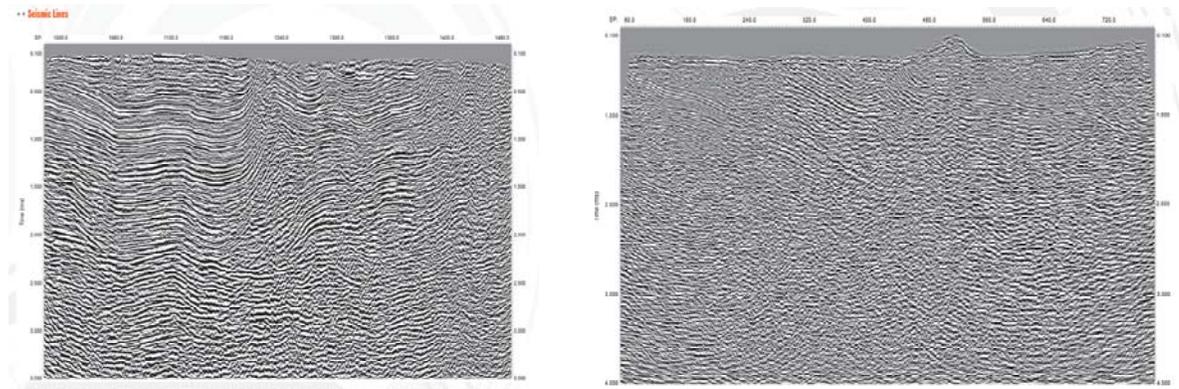
Figura 7: Perfil geológico de la sub cuenca del Cesar



Fuente: Colombia Open Round 2010- Cesar Ranchería

Las líneas de sísmica (Figura 8) muestran que la estructura más profunda es compleja, mientras que las secciones más superficiales son relativamente simples, lo cual hace que sean favorables para la producción de CBM.

Figura 8: Líneas de sísmica representativas de la Región del Cesar



Fuente: Colombia Open Round 2010- Cesar Ranchería

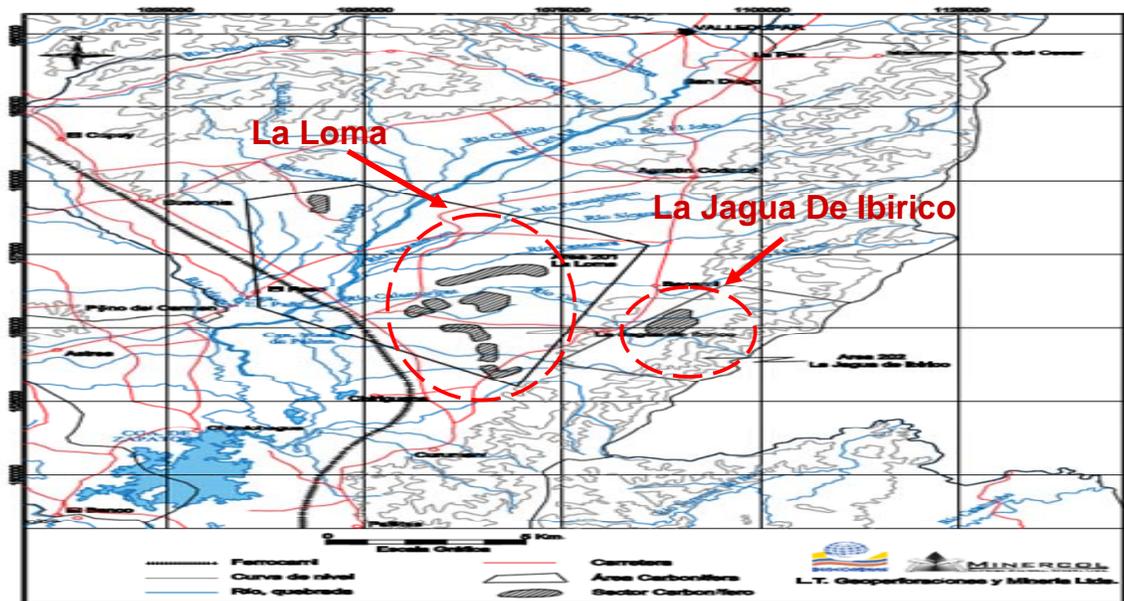
El procesamiento de los datos se enfocó en perfiles más profundos, pero la discordancia entre los estratos Mesozoicos y Cenozoicos es evidente en los datos. Deberá adquirirse información sísmica adicional para lograr mejores imágenes de perspectiva de secciones y para delinear las áreas para la perforación de prospección.

1.1.6 Sub regiones

La región del Cesar se divide en dos sub regiones y ocho sectores, con una superficie total portadora de carbón de aproximadamente 700 km² y un potencial explotable de carbón de aproximadamente 6.6 Bn de toneladas, lo que la convierte en la región con el mayor volumen explotable de carbón en Colombia.

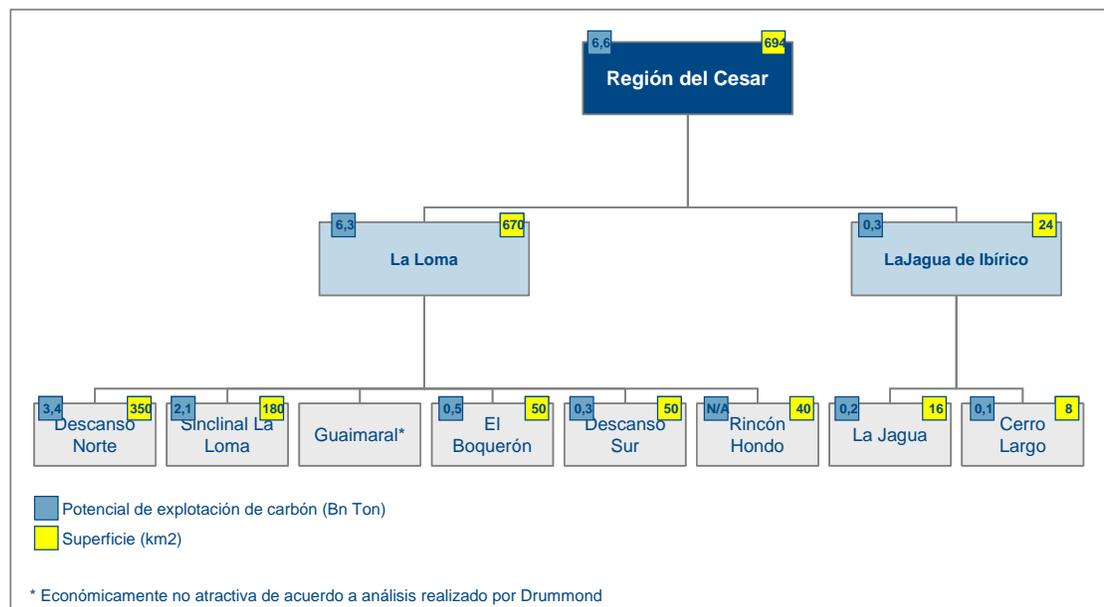
Según la evolución geológica del área, existen dos pliegues formados por rocas de la era Terciaria en los que se encuentra carbón y que pertenecen a la formación Los Cuervos. Considerando la existencia de dos sinclinales, La Loma y La Jagua, la primera limitada por fallas normales e inversas y la segunda por fallas normales, el área se ha dividido en dos áreas carboníferas: La Loma y La Jagua de Ibérico.

Figura 9: Sub regiones de la Región del Cesar



Fuente: Ingeominas

Figura 10: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región del Cesar



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

El Cesar posee un potencial explotable de carbón de 6.556 MM toneladas, lo que la hace la región con el mayor volumen potencial de carbón explotable en Colombia. (Tabla 1). La producción en el año 2003 fue de 21,1 MM de toneladas. En esta región se produce principalmente carbón térmico.

Tabla 1: Potencial de carbón explotable en la Región del Cesar

Area	Recursos de carbón explotable + Reservas (MM Ton)			Recursos hipotéticos de carbón explotable (MM Ton)	Potencial de carbón explotable (MM Ton)
	Medidas	Indicadas	Inferidas		
La Loma	1.777,10	1.563,98	1.963,18	993,50	6.297,76
La Jagua de Ibirico	258,30	--	--	--	258,30
Total	2.035,40	1.563,98	1.963,18	993,50	6.556,06

Potencial de carbón explotable = 6.556 MM Ton

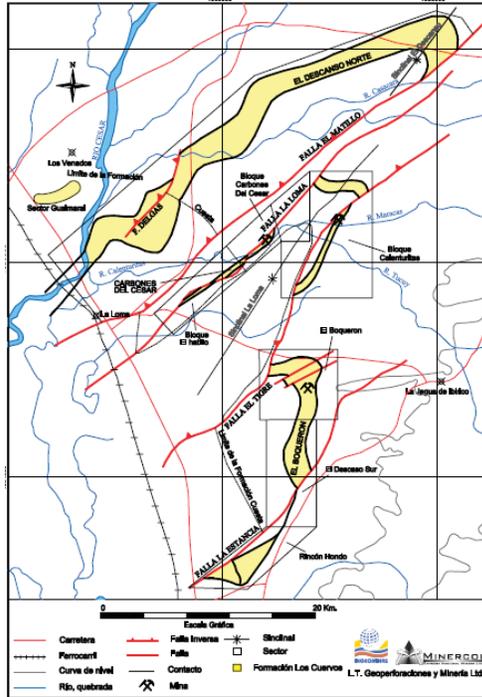
Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región La Loma

La sub región La Loma tiene una superficie de 670 km² y está ubicada en la parte central de la región del Cesar. El río más importante en el área es el Río Cesar. La formación Los Cuervos porta el carbón y el área ha sido afectada por tres estructuras sinclinales: El Descanso, La Loma y El Boquerón.

De acuerdo con las condiciones estratigráficas y estructurales, se subdivide en seis sectores: Descanso Norte, Guaimaral (que no es económicamente rentable según los análisis de Drummond), La Loma, El Boquerón, Descanso Sur y Rincón Hondo.

Figura 11: Región del Cesar – Sub región La Loma



Fuente: Ingeominas

Descanso Norte y La Loma son los sectores más grandes en la sub región La Loma. La clasificación de la mayor parte del carbón en todos los sectores es Bituminoso Alto Volátil C. (Tabla 2).

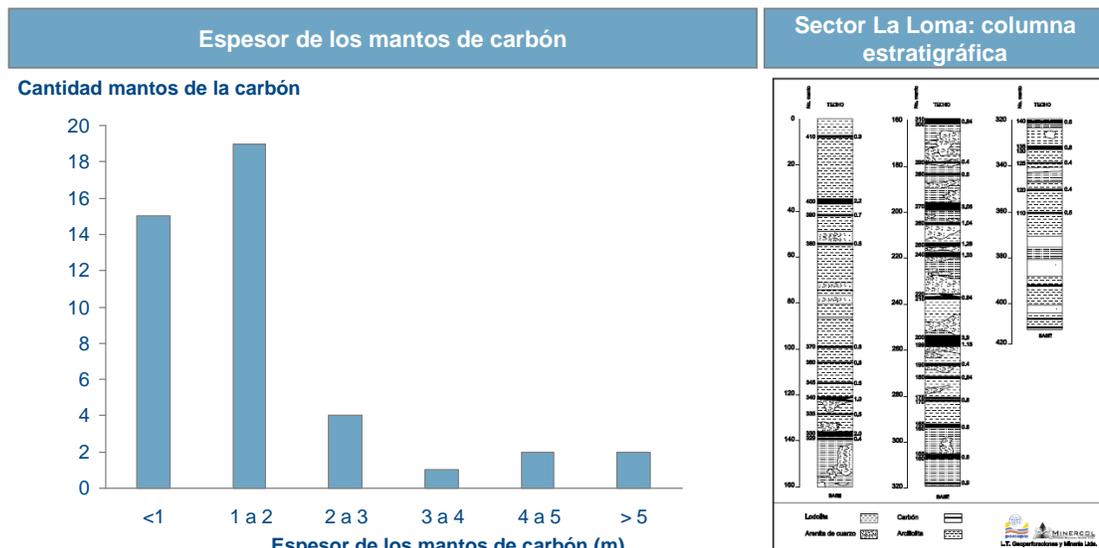
Tabla 2: Región del Cesar – Sectores de La Loma

Sector	Superficie (km2)	Clasificación del carbón
Descanso Norte	350	Bituminoso Alto Volátil C
La Loma	180	Bituminoso Alto Volátil C
El Boquerón	50	Bituminoso Alto Volátil C
Rincon Hondo	40	Bituminoso Alto Volátil C
El Descanso Sur	50	Bituminoso Alto Volátil C

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El espesor de los mantos de carbón es diferente en cada sector. El 65% de los mantos de carbón en el sector La Loma tiene un espesor mayor a 1 metro. (Figura 12).

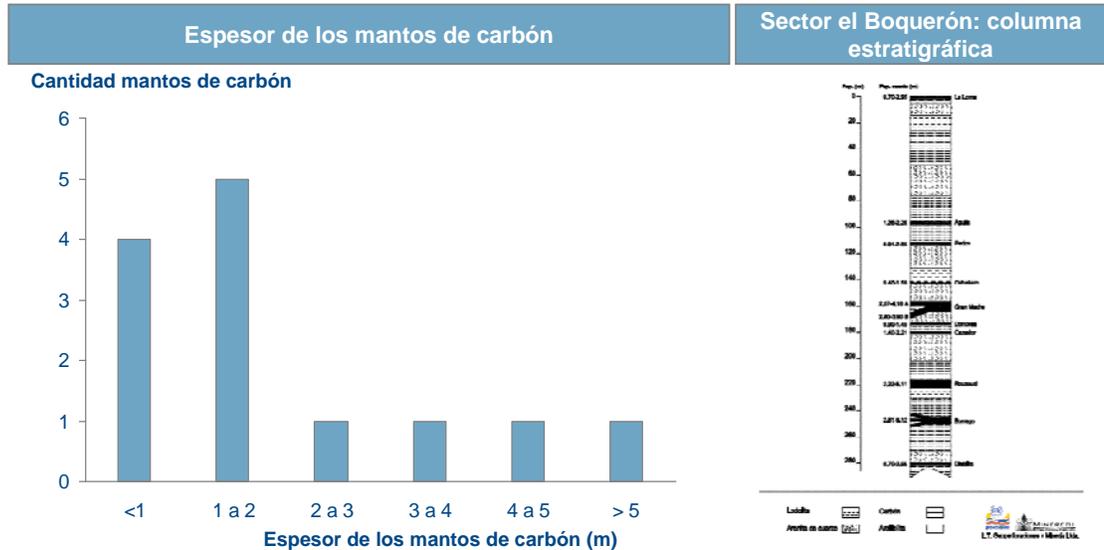
Figura 12: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en el sector La Loma



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

En el sector de El Boquerón hay 9 mantos de carbón que tienen un espesor mayor a 1 metro. (Figura 13).

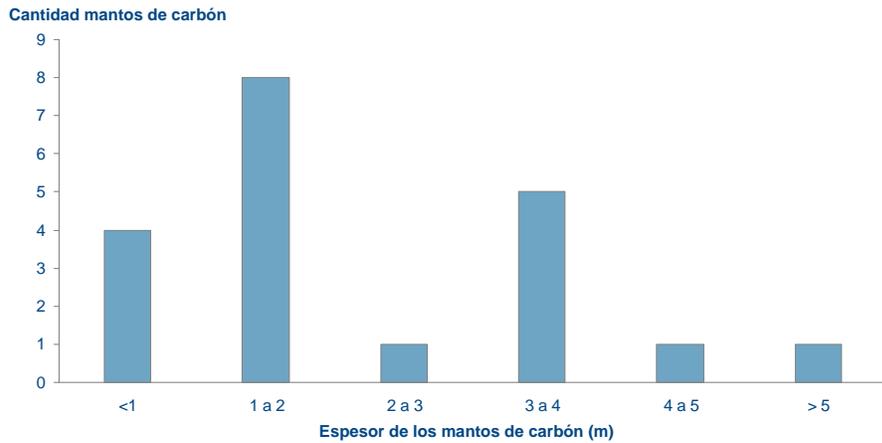
Figura 13: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en el sector El Boquerón



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

En el sector de Descanso Norte, 16 de los 20 mantos de carbón tienen un espesor mayor a 1 metro. (Figura 14).

Figura 14: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector Descanso Norte

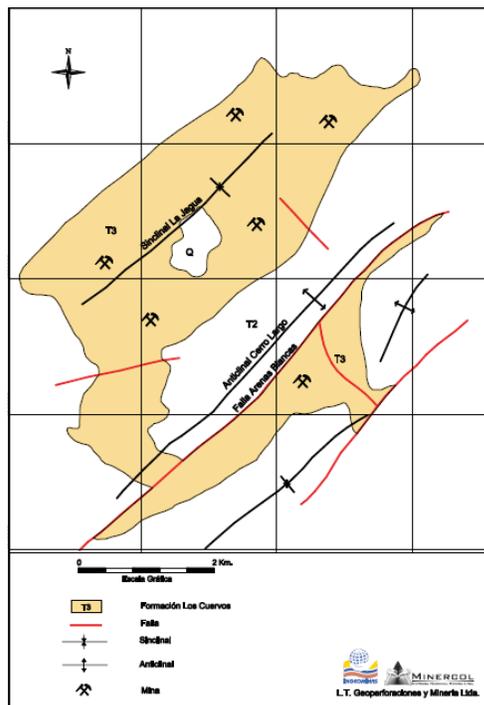


Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región La Jagua de Ibérico

La sub región La Jagua de Ibérico tiene un superficie de 24 km² y está ubicada en la parte suroriental de la región del Cesar. El río principal en el área es el Río Tucuy. La formación Los Cuervos porta el carbón, con 14 mantos de carbón que se han identificado y que tienen entre 0,55 y 6,00 metros de espesor. El área ha sido afectada por dos fallas: el sinclinal La Jagua y el anticlinal Cerro Largo.

Figura 15: Región del Cesar – Sub región La Jagua de Ibérico



Fuente: Ingeominas

La Jagua, con una superficie de 16 km², es el sector más grande de la sub región La Jagua de Ibérico. La mayor parte del carbón en todos los sectores tiene una clasificación de Bituminoso Alto Volátil B. (Tabla 3).

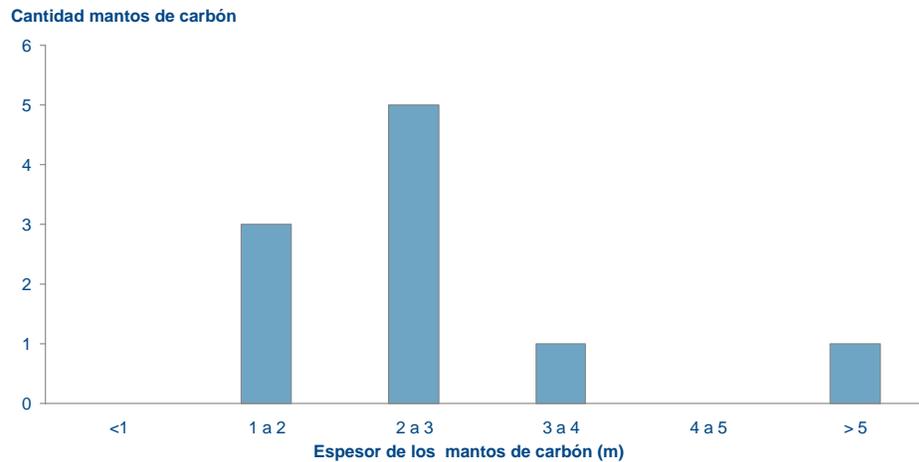
Tabla 3: Región del Cesar – Sectores de La Jagua de Ibérico

Sector	Sup (km2.)	# de mantos de carbón en región con potencial explotable	Clasificación del carbón
La Jagua	16	10	Bituminoso Alto Volátil B
Cerro Largo	8	12	Bituminoso Alto Volátil B

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El espesor de los mantos de carbón es diferente en cada sector. La totalidad de los diez mantos de carbón en el sector de La Jagua tiene un espesor mayor a 1 metro. (Figura 16).

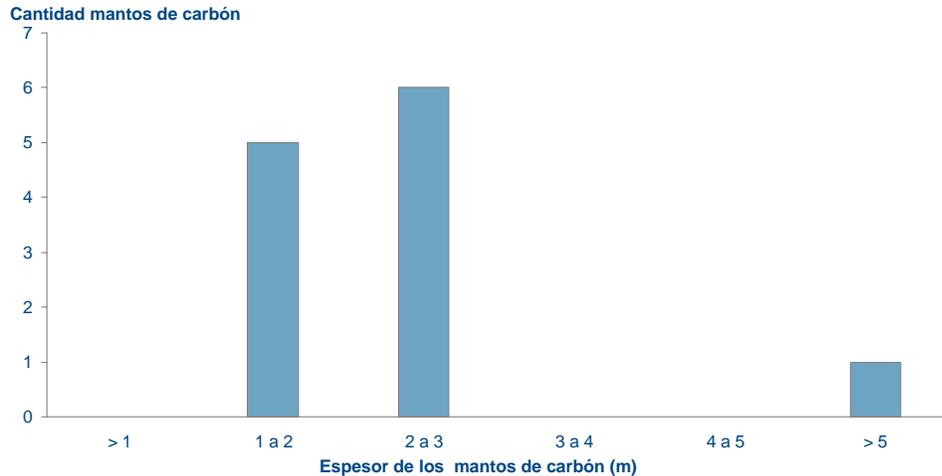
Figura 16: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector La Jagua de Ibérico



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Todos los mantos de carbón en el sector Cerro Largo también tienen un espesor superior a 1 metro. (Figura 17).

Figura 17: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón en el sector Cerro Largo



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.1.7 Contenido de gas

Composición y calidad del carbón

Tanto la sub región La Loma como La Jagua de Ibírcico en la región del Cesar contienen carbones térmicos de buena calidad. (Tabla 4).

Tabla 4: Región del Cesar – Composición del carbón

Area	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
La Loma	Sinclinal La Loma	ROM	EQ + 1	11,39	10,32	33,37	66,63	0,72	10.867
	El Boquerón	ROM	EQ + 1 1/2	10,29	5,61	36,79	47,31	0,59	11.616
	El Descanso Sur	ROM							
La Jagua de Ibírcico	La Jagua	ROM	EQ + 1 1/2	7,14	5,32	35,70	51,84	0,62	12.606
	Cerro Largo	ROM							

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

En la sub región La Loma se encuentra carbón térmico de buena calidad. Los puntos más destacables para esta sub región son:

- Valores de humedad estándar y condiciones favorables para trituración

- Calidad que se deteriora en razón de dilución en la minería
- Es muy difícil que se logren formar tapones en ductos
- Bajo contenido de azufre; el contenido de SO₂ puede generar compuestos corrosivos en calderas y gases venenosos

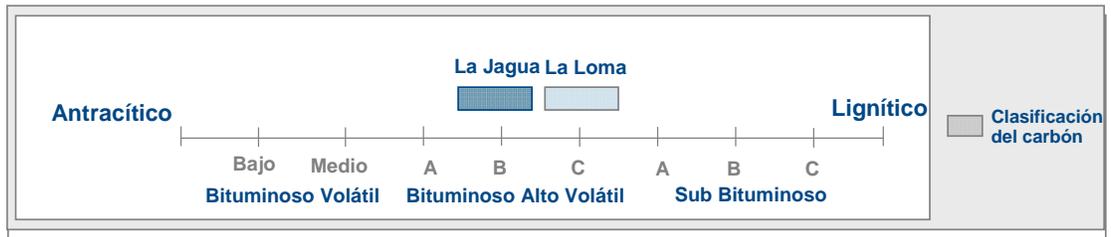
En la sub región La Jagua de Ibérico se encuentra carbón térmico de buena calidad. Los puntos a resaltar en cuanto al carbón de esta sub región son:

- Valores de humedad estándar
- Bajo contenido de azufre
- Es muy difícil que se logren formar tapones en ductos

Clasificación del carbón

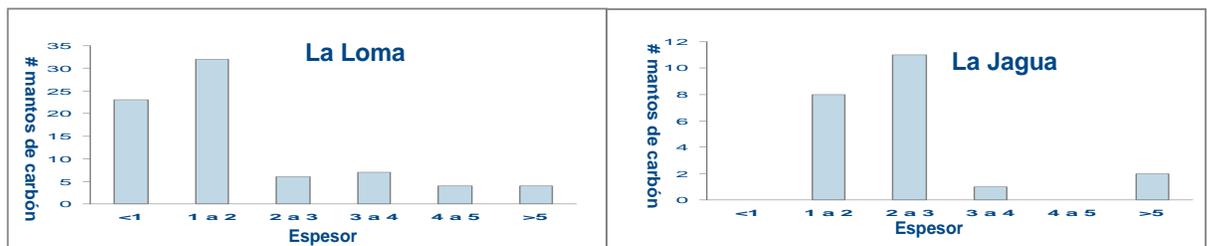
Tanto la sub región La Loma como La Jagua de Ibérico poseen una clasificación de alta calidad (Figura 18) y tienen una serie de mantos mayores a 2 metros (Figura 19), lo que hace que la región sea muy atractiva para el desarrollo de CBM.

Figura 18: Región del Cesar – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

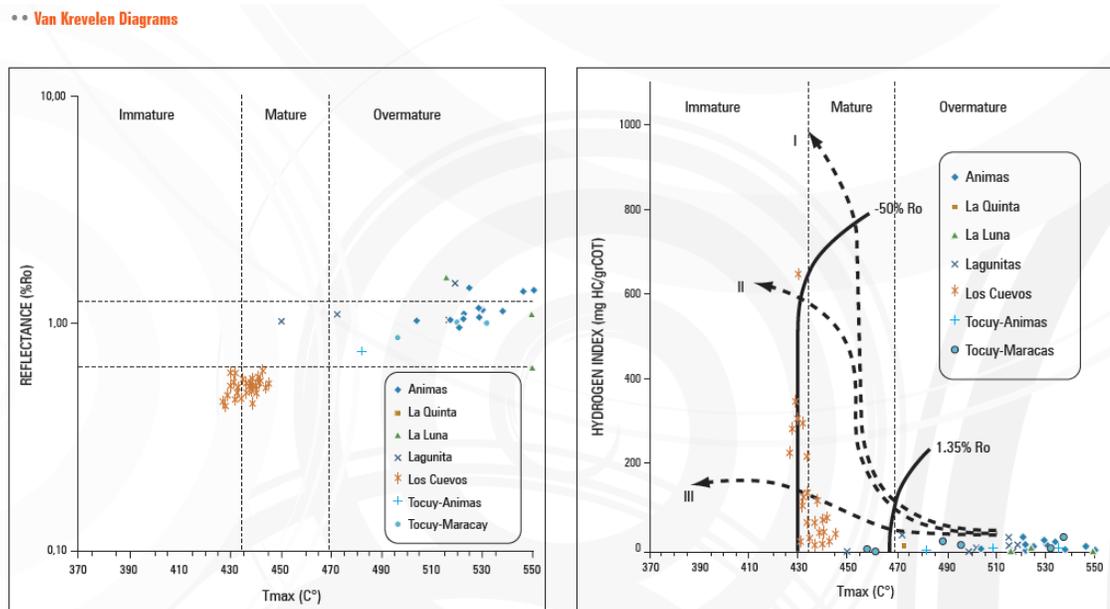
Figura 19: Región del Cesar – Espesor de los mantos de carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

La mayor parte de la secuencia estratigráfica se ubica entre madura y sobremadura. La Reflectancia de vitrinita & HI vs. Tmax demuestra que la formación Los Cuervos es mayormente madura. (Figura 20).

Figura 20: Región del Cesar – Geoquímicos – Diagrama de Reflectancia de Vitrinita & HI



Fuente: Geochemical Atlas of Colombia

Estimado del gas potencial

Estimados preliminares indican que el Cesar tendría un potencial de CBM de 2.3 TCF a 6.3 TCF, lo cual es atractivo para el desarrollo de CBM. Los supuestos principales en este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar de carbón total in situ (estimado de ADL con base en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso alto: 4 veces la cantidad de carbón que se puede explotar
 - Caso bajo: 3 veces la cantidad de carbón que se puede explotar
- Contenido de gas (estimado de ADL, utilizando la fórmula del método indirecto):
 - La Loma: 220 scf/Ton
 - La Jagua: 264 scf/Ton

Tabla 5: Región del Cesar – Potencial de gas

Area	Potencial carbón explotable (MM Ton)	Potencial total de carbón (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL Potencial estimado de gas (TCF)	Estimados según otras fuentes (TCF)	Drummond Estimado gas potencial (TCF)
La Loma	6.297,76	25.190	238	5,54		
La Jagua de Ibérico	258,30	1.033	264	0,26		
Total	6.556,06	26.224		4,7 – 6,3 TCF	4 TCF	2,3 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

El bajo contenido de cenizas, entre un 5 y un 10 %, indica que podría haber una alta permeabilidad en la Región del Cesar. (Tabla 6).

Tabla 6: Región del Cesar – Permeabilidad

Area	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
La Loma	Sinclinal La Loma	ROM	EQ + 1	11,39	10,32	33,37	66,63	0,72	10.867
	El Boquerón	ROM	EQ + 1 1/2	10,29	5,61	36,79	47,31	0,59	11.616
	El Descanso Sur	ROM							
La Jagua de Ibérico	La Jagua	ROM	EQ + 1 1/2	7,14	5,32	35,70	51,84	0,62	12.606
	Cerro Largo	ROM							

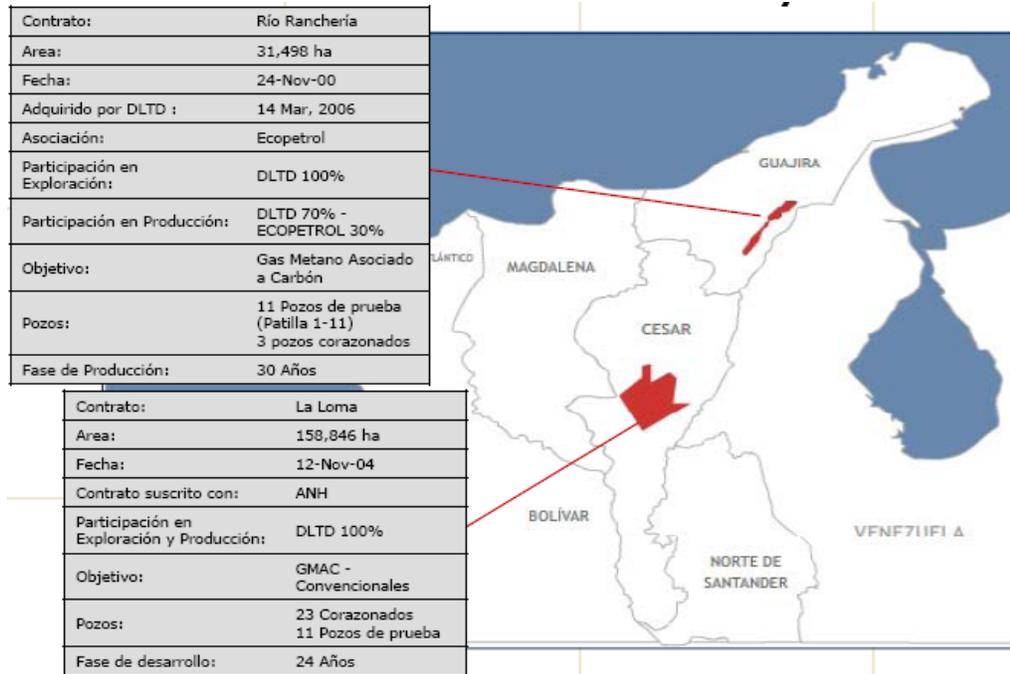
ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.1.8 Las concesiones de Drummond en la Región del Cesar

A Drummond le fueron concedidos los primeros contratos CBM en 2000 y 2004 para La Guajira (Río Ranchería) y La Loma (Cesar) respectivamente. (Figura 21 y Figura 22).

Figura 21: Región del Cesar – Concesiones de Drummond

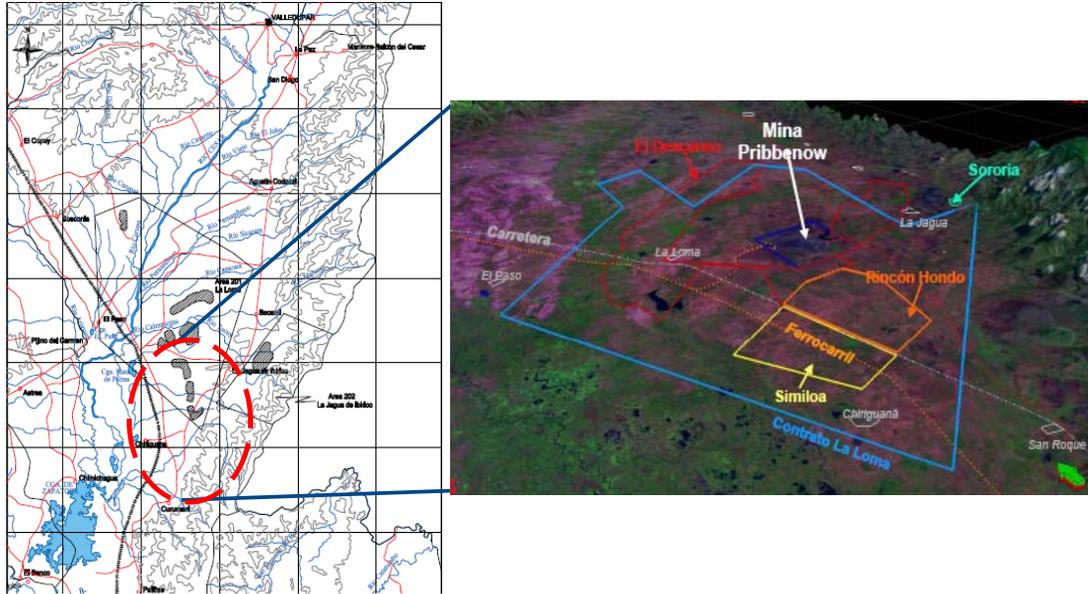


Fuente: Drummond, Ingeominas

La concesión de Drummond en La Loma en la Región del Cesar abarca 158.846 hectáreas y comprende un período para la fase de desarrollo de 24 años, el cual inició su vigencia el 12 de noviembre de 2004. Los intereses de trabajo en las fases de exploración y producción le pertenecen en un 100% a Drummond Limited. Los recursos de CBM identificados en el área de la concesión se aproximan a las 2.2 tcf.

El proyecto se encuentra actualmente en la Fase 5 de exploración (Tabla 7), la prueba piloto para producción. Drummond tiene previsto desarrollar 24 pozos por cada taladro de perforación; la firma está esperando los resultados de las pruebas de gas antes de construir ductos.

Figura 22: Región del Cesar – Concesiones de Drummond



Fuente: Drummond, Ingeominas

Tabla 7: Región del Cesar – Estado de las concesiones de Drummond

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
Nov/04 – May/05	May/05 – May/06	May/06 – May/07	May/07 – May/08	May/08 – Sept/09
<ul style="list-style-type: none"> ■ 2 pozos estratigráficos perforados ■ 516 km de sísmica 2D reprocesados ■ 39 km de sísmica 2D adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5 pozo estratigráficos perforados para HC ■ 13 pozos CBM perforados 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 6 pozos pilotos perforados (adelanto de obligaciones de fases 4 y 5) ■ 1 pozo perforado para hidrocarburos convencionales 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pruebas de pozos piloto de CBM ■ 1 pozo perforado para hidrocarburos convencionales 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pruebas de pozos piloto de CBM ■ 1 pozo perforado para hidrocarburos convencionales

Fuente: Drummond, Ingeominas

1.1.9 Resumen y conclusiones

La geología, la clasificación del carbón, el gran número de mantos de carbón con un espesor mayor a los 2 metros, el contenido favorable de gas y la gran cantidad de carbón total in situ, hacen que el Cesar sea una región atractiva para el desarrollo de CBM. Sin embargo, La Loma es relativamente más atractiva que La Jagua de Ibérico, ya que es una sub región mucho más grande, con un potencial de gas estimado de 5.5 TCF, en comparación con 0.26 TCF. Típicamente, desde un punto de vista de inversión, un área atractiva es una que tenga un potencial de gas de 1 TCF o más.

Figura 23: Región del Cesar – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor mantos de carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
La Loma					
La Jagua					
Cesar					

Fuerte
 Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

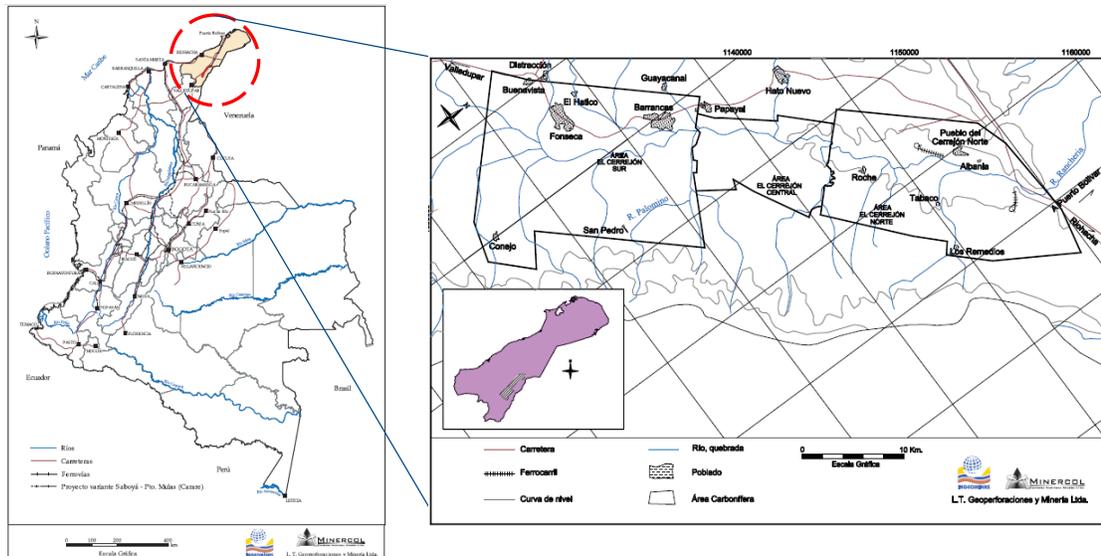
1.2 Región de La Guajira

La región de La Guajira está ubicada en el nororiente de Colombia, dentro de las fronteras del departamento de La Guajira (Figura 24). La región de La Guajira comprende una superficie onshore de 13.778 km² y una superficie offshore de 52.860 km². La región de La Guajira se encuentra en la punta septentrional de Colombia y de América del Sur, prolongándose al Mar Caribe en la forma de una península larga.

El área carbonífera de la Región de La Guajira es parte de la cuenca del Cesar – Ranchería, que está delimitada por el norte con la Falla de Oca, por el occidente por la Sierra Nevada de Santa Marta y por el oriente por la falla de Cerrejón.

Se encuentra carbón en la Formación Cerrejón, de la era del Paleoceno. El yacimiento de El Cerrejón se encuentra en la Región de La Guajira, de donde se extrae la mayor parte del carbón de exportación de Colombia. El espesor máximo de la cubierta sedimentaria es de 6.800 mts.

Figura 24: Ubicación de la Región de La Guajira



Fuente: Ingeominas

1.2.1 Método para la extracción del carbón

El principal método para la extracción de carbón en la Región de La Guajira es ‘a cielo abierto’.

La capacidad actual de producción local es de 22 MM Ton/año y es una de las operaciones integradas (mina, ferrocarril y puerto) más grandes en todo el mundo.

1.2.2 *Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales*

Infraestructura

La región de La Guajira ha desarrollado una industria minera a raíz de la cual existe una infraestructura robusta.

La región de La Guajira posee una vía férrea desde las minas hasta Puerto Bolívar y está conectada con Bucaramanga y Bogotá a través de la ruta del Magdalena, desde donde se conecta luego con todas las ciudades principales del país.

La infraestructura de la Región de La Guajira consta también de una red extensa de gasoductos y de puertos.

Figura 25: Infraestructura en la Región de La Guajira



Fuente: Ingeominas

Aspectos ambientales

El territorio de la Región de La Guajira es principalmente plano y yace entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá hacia el sur y el Macizo de La Guajira hacia el norte.

El clima es entre cálido y seco a muy seco en el sur y semi árido en el norte, excepto en las montañas, en donde es más húmedo y progresivamente más frío. Este clima ha llevado a una vegetación que consiste de arbustos espinosos y cactus.

Las operaciones de minería de carbón en La Guajira cumplen con estándares internacionales y con las regulaciones de minería y del medio ambiente del país, como también con las obligaciones laborales, de seguridad industrial y salud ocupacional en sus aspectos de gestión, planificación, organización y control.

Las compañías carboneras en la región poseen licencia ambiental y planes de gestión ambiental establecidos, los cuales se cumplen en concordancia con los controles y requisitos de las autoridades ambientales. Los planes de gestión ambiental cumplen los propósitos de prevención, recuperación y mitigación de impactos ambientales causados por la minería del carbón.

Aspectos sociales

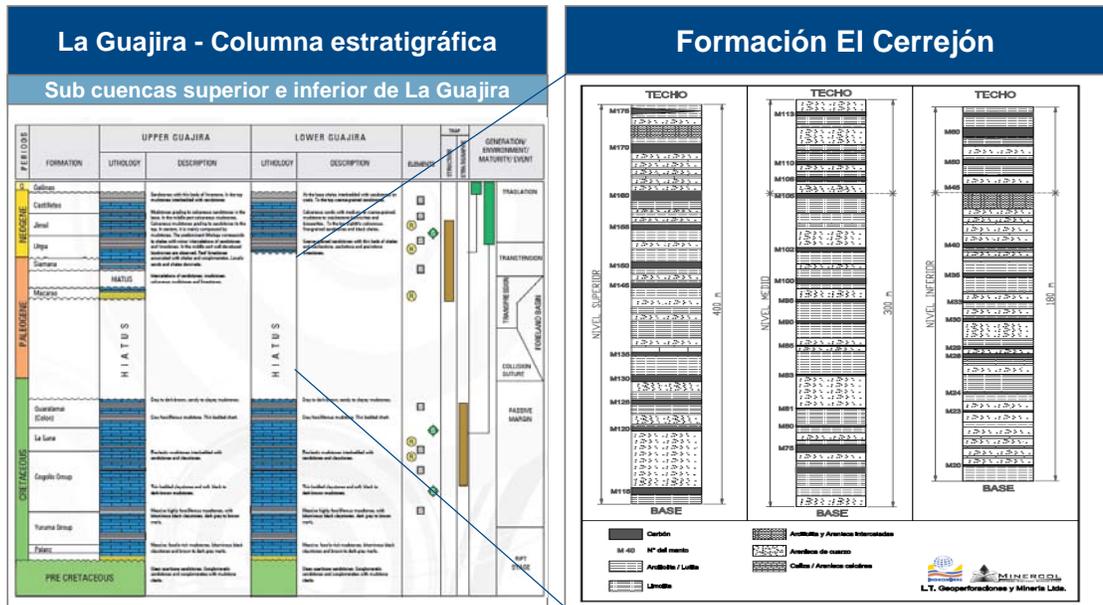
La minería es el pilar económico de la región de La Guajira. El yacimiento de El Cerrejón es uno de los mayores generadores de empleo en La Guajira.

La presencia de la comunidad indígena de los Wayúu es un punto a ser considerado en la Región de La Guajira. Ellos poseen siete reservas en donde habitan. Otra comunidad indígena que se encuentra en la Región de La Guajira es el grupo étnico de los Kogui.

1.2.3 Columna estratigráfica

Tal como se muestra en la Figura 26, la mayoría de los yacimientos de carbón en la Región de La Guajira están localizados en la Formación El Cerrejón.

Figura 26: Columna estratigráfica para la Región de La Guajira



Fuente: Ingeominas, Colombia Open Round 2010- Guajira, análisis Arthur D. Little

El carbón se encuentra en El Cerrejón, que tiene una formación continua que se ubica en la era del Paleoceno. Su espesor oscila entre los 900 y los 1.100 metros. La formación se encuentra estructurada en tres niveles diferentes:

- Nivel inferior: 12 mantos de carbón; los mantos son más delgados que los mantos en los niveles medio y superior
- Nivel medio: 23 mantos de carbón
- Nivel superior: 14 mantos de carbón; el espesor de los mantos varía

Más del 75% de los mantos de carbón (Cerrejón Central) estudiados en el área de carbón explotable tiene un espesor superior a 1 metro.

1.2.4 Entorno de sedimentación

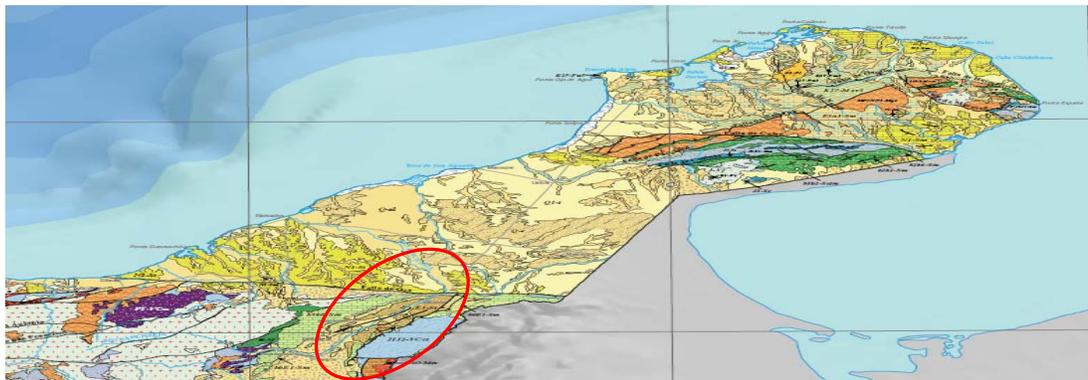
La composición consta principalmente de lodolitas y arcillolitas de cuarzo y feldospato. Son frecuentes las capas de piedra caliza en la parte inferior de la sección, que contienen varios mantos de carbón.

1.2.5 Geología

La geología de la región de La Guajira es de complejidad media. La cuenca de La Guajira es asimétrica, inclinándose hacia el oriente a partir del Macizo de Santa Marta hacia el frente de la Serranía de Perijá, al igual que tendencias de fallas reversas asociadas. La cuenca está truncada en el norte por la Falla de Oca y se estrecha hacia el suroccidente por la convergencia del frente montañoso con los bordes del Macizo. La sección portadora de carbón se inclina hacia el oriente y por debajo del frente del enclavamiento de la Serranía de Perijá.

La maduración y el contenido de gas aumentan a medida que se llega a mayor profundidad en esta región.

Figura 27: Mapa geológico de la Región de La Guajira

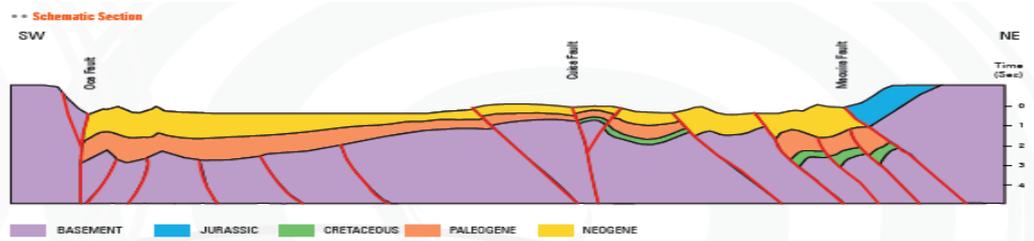


Fuente: Ingeominas 2004

La estructura entre la falla de Oca y Caio es relativamente simple, lo que la hace atractiva para el desarrollo de CBM.

Un perfil geológico (Figura 28) muestra que el carbón está ubicado dentro de la secuencia del Paleógeno, lo que ubica el carbón en profundidades apropiadas para la acumulación de CBM y para la explotación comercial.

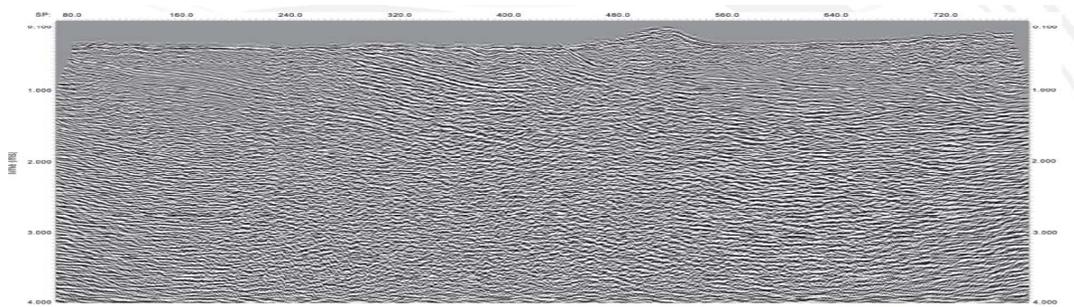
Figura 28: Perfil geológico de la sub cuenca de La Guajira



Fuente: Colombia Open Round 2010- Guajira

Las líneas de sísmica (Figura 29) muestran que la estructura más profunda es relativamente más compleja que la estructura menos profunda.

Figura 29: Líneas de sísmica representativas de la Región de La Guajira



* Seismic comes from Cesar region but is representative of Guajira

Fuente: Colombia Open Round 2010- Cesar Ranchería

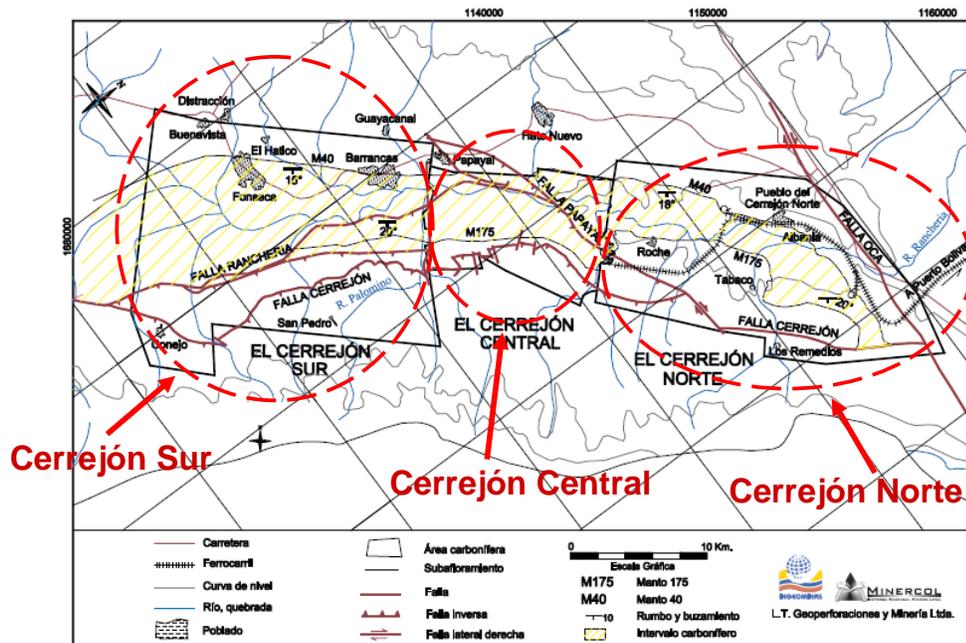
Las líneas muestran la complejidad de la estructura más profunda en la cuenca; no obstante, la rampa homoclinal prospectiva que se inclina hacia el oriente es relativamente sencilla en la sección de menor profundidad.

El procesamiento de los datos se ha enfocado en los horizontes más profundos, pero la inclinación uniforme de los estratos portadores de carbón hacia la cuenca son evidentes a partir de los datos. Deberán adquirirse datos adicionales de sísmica para lograr una mejor perspectiva de imágenes de las secciones y para delinear áreas para la perforación de prospección.

1.2.6 Sub regiones

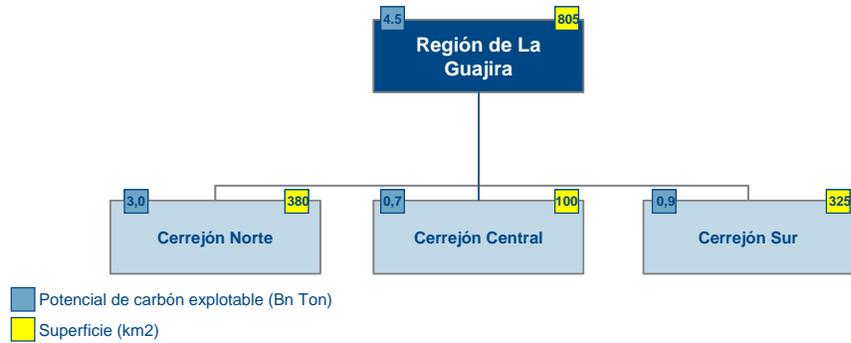
Teniendo en cuenta principalmente los factores estructurales, la Región de La Guajira se encuentra dividida en tres sub regiones con una superficie total portadora de carbón de 800 km² y un potencial de carbón explotable de alrededor de 4.5 Bn Ton. Las tres sub regiones son Cerrejón Norte, Central y Sur. (Figura 30 y Figura 31).

Figura 30: Sub regiones de la Región de La Guajira



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 31: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de La Guajira



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

La Guajira posee un potencial de carbón explotable de 4.537 MM Ton, lo que la convierte en la región que tiene el segundo volumen potencial de carbón explotable más grande en Colombia. (Tabla 8). La producción en el 2003 fue de 22,5 MM Ton. En esta región se produce principalmente carbón térmico.

Tabla 8: Potencial de carbón explotable en la Región de La Guajira

Area	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos hipotético explotables (MM Ton)	Potencial explotables (MM Ton)
	Medidos	Indicados	Inferidos		
Cerrejón Norte	3.000	--	--	--	3.000
Cerrejón Central	670	--	--	--	670
Cerrejón Sur	263	449	128	27	867
Total	3.933	449	128	27	4.537

Potencial carbón explotable = 4.537 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

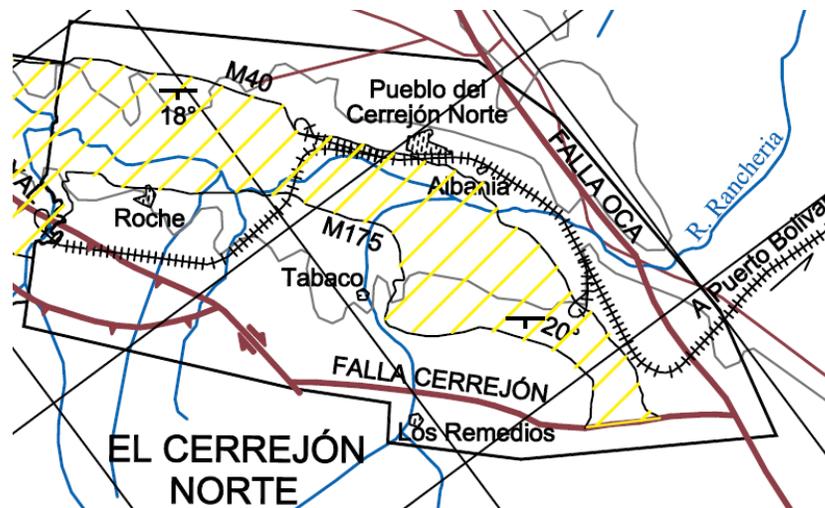
Sub región Cerrejón Norte

Cerrejón Norte tiene una superficie de 380 km² y está dividida en tres niveles, que tienen espesores de 180, 300 y 400 metros, respectivamente. Como lo indica su nombre, el carbón está presente en la formación Cerrejón.

La formación Cerrejón exhibe tres niveles en esta sub región:

- Nivel inferior
 - Espesor: 180 m
 - Espesor de los mantos de carbón: 0,15 a 2,00 m
 - El porcentaje de arcillolitas y lutitas es mayor a al porcentaje de areniscas y limolitas
- Nivel medio
 - Espesor: 300 m
 - Espesor de los mantos de carbón: 0,90 a 6,00 m
 - La misma proporción de arcillolitas y lutitas que de areniscas y limolitas
- Nivel superior
 - Espesor: 400 m
 - Espesor de los mantos de carbón: 1,40 a 10,00 m
 - El porcentaje de areniscas y limolitas es mayor al porcentaje de arcillolitas y lutitas

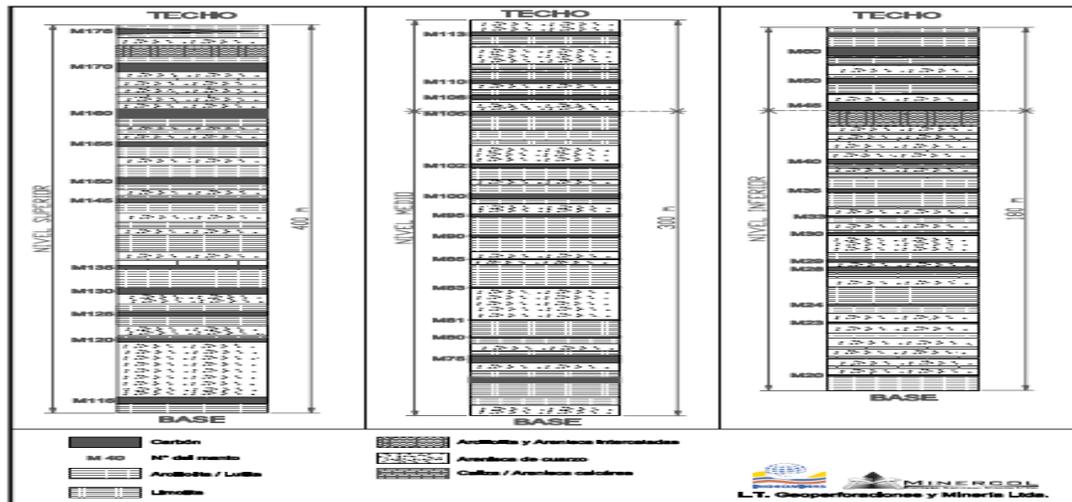
Figura 32: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Norte



Fuente: Ingeominas

La Figura 33 muestra la columna estratigráfica para Cerrejón Norte.

Figura 33: Región de La Guajira – Columna estratigráfica para Cerrejón Norte



Fuente: Ingeominas 2004

Sub región Cerrejón Central

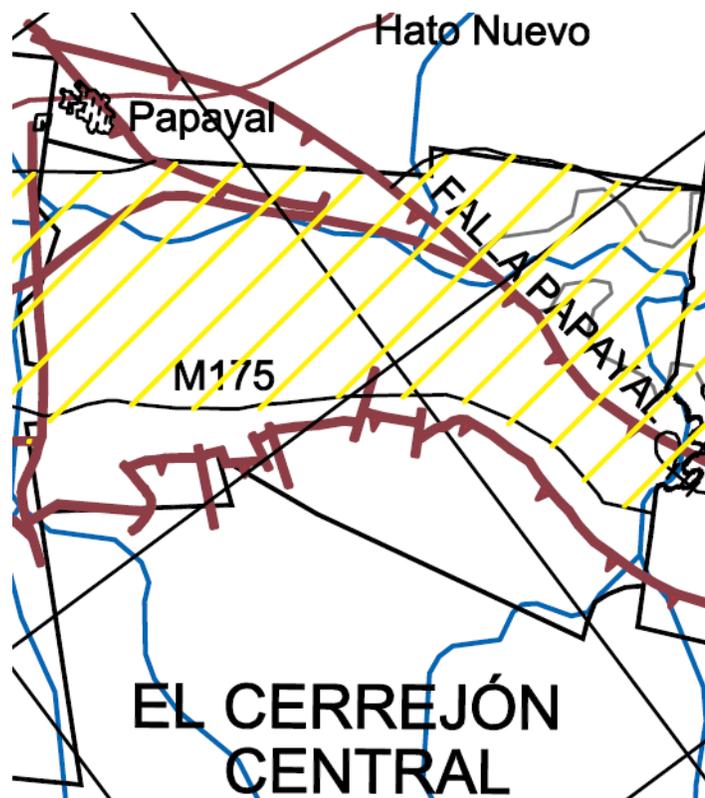
El Cerrejón Central tiene una superficie de 100 km² y está dividido en tres niveles que tienen espesores de 267, 355 y 390 metros, respectivamente. Tal como lo indica su nombre, el carbón se presenta en la formación Cerrejón.

La formación Cerrejón muestra tres niveles en esta sub región, con las siguientes características:

- Nivel inferior
 - Espesor: 267 m
 - 8 mantos de carbón
 - Espesor de los mantos de carbón: 0,70 a 2,10 m
 - Secuencia de lodolitas y arcillolitas, intercaladas con areniscas de cuarzo
- Nivel medio
 - Espesor: 355 m
 - 19 mantos de carbón
 - Espesor de los mantos de carbón: 0,39 a 2,10 m
 - Secuencia de arcillolitas grises laminadas, limolitas de cuarzo, arenitas finas a medias
- Nivel superior

- Espesor: 390 m
- 14 mantos de carbón
- Espesor de los mantos de carbón: 1,73 a 8,95 m
- Secuencia de arcillolitas grises oscuras laminadas, arenitas delgadas a gruesas

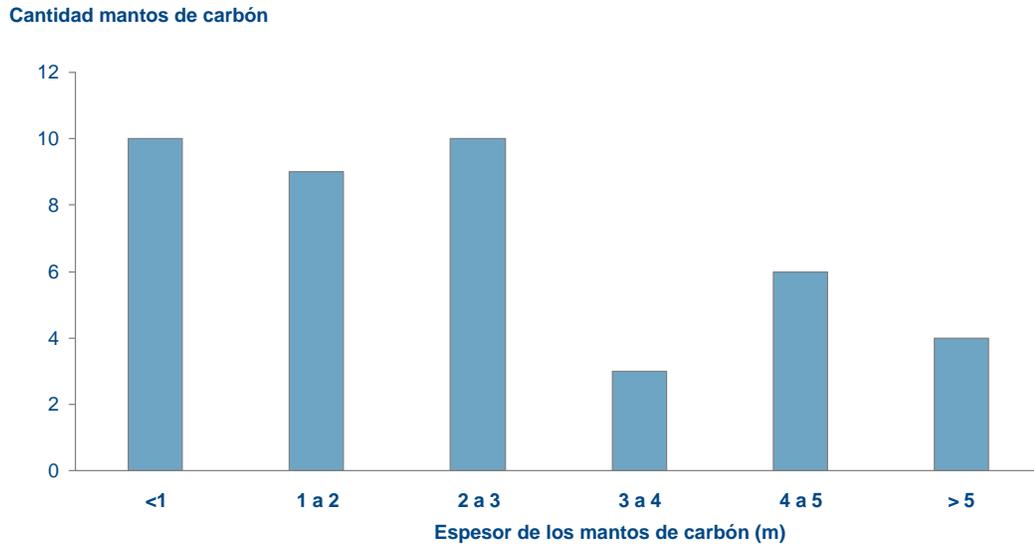
Figura 34: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Central



Fuente: Ingeominas

Tal como lo muestra la figura a continuación, el 76% de los mantos de carbón en Cerrejón Central tienen un espesor mayor a 1 metro, mientras que 10 mantos de carbón tienen un espesor inferior a 1 metro.

Figura 35: Región de La Guajira – Espesor de los mantos de carbón en Cerrejón Central



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

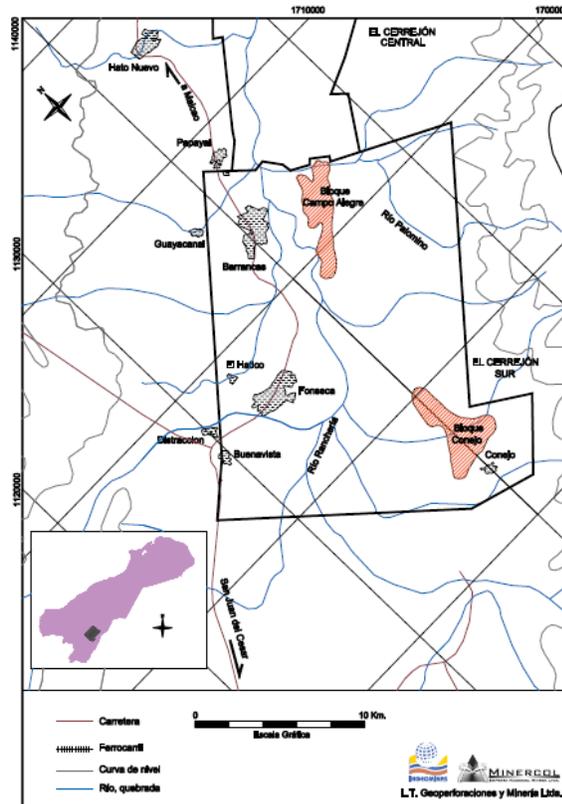
Sub región Cerrejón Sur

Cerrejón Sur tiene una superficie de 325 km² y está dividida en tres niveles de espesores de 267, 355 y 390 metros respectivamente. Según lo indica su nombre, el carbón está presente en la formación Cerrejón.

La formación Cerrejón muestra 28 mantos de carbón desplegados en tres niveles diferentes al interior de la formación Cerrejón: los niveles bajo, medio y superior.

Existen dos sectores con potencial en la sub región Cerrejón Sur: Campoalegre y Conejo.

Figura 36: Región de La Guajira – Sub región Cerrejón Sur



Fuente: Ingeominas

1.2.7 Contenido de gas Composición y calidad del carbón

Las tres sub regiones contienen carbones de buena calidad.

Los carbones en la Región de La Guajira muestran valores estándar de humedad, contenido de cenizas que permiten utilizar el carbón sin tratamiento de lavado previo, y emisiones de azufre y de SO₂ que se sitúan muy por debajo del límite aceptable por la EPA de Estados Unidos (Tabla 9).

Tabla 9: Región de La Guajira – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Cerrejón Norte	--								
Cerrejón Central	--	ROM	EQ +1	11,94	6,94	35,92	45,20	0,43	11.586
Cerrejón Sur	--								

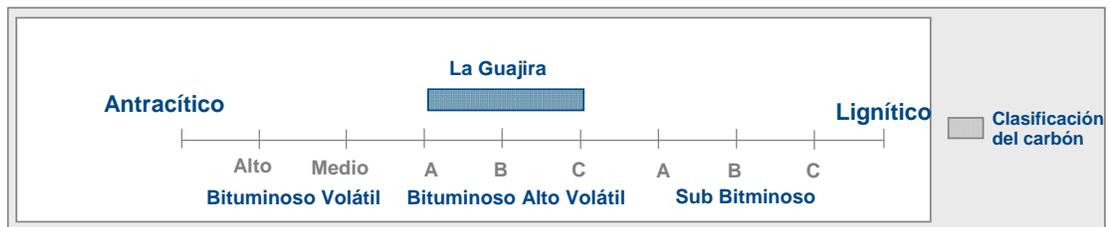
ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Clasificación del carbón

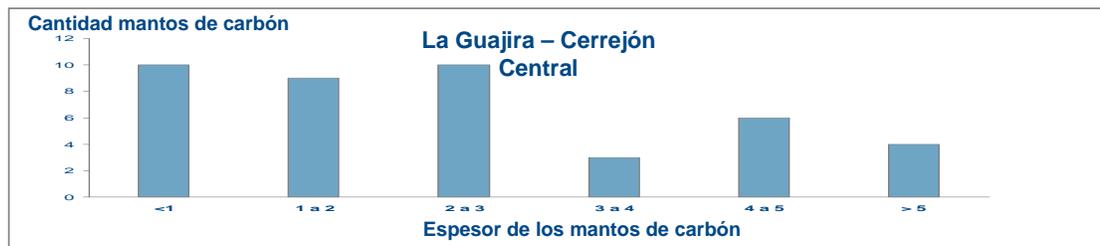
La alta clasificación de calidad del carbón y el número de mantos con un espesor mayor a 2 metros hacen que La Guajira sea una región atractiva para el desarrollo de CBM. (Figura 37 y Figura 38).

Figura 37: Región de La Guajira – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

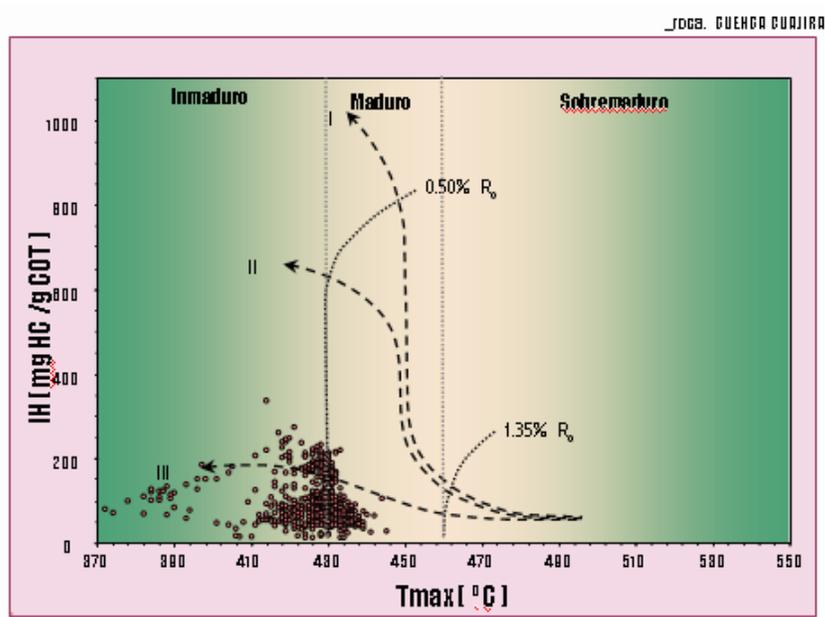
Figura 38: Región de La Guajira – Espesor de los mantos de carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El análisis de geoquímica demuestra que la mayor parte de la secuencia estratigráfica se calcula entre maduro e inmaduro y el diagrama IH vs. Tmax muestra que la mayor parte de la secuencia estratigráfica posee el potencial para la generación de gas. (Figura 39).

Figura 39: Región de La Guajira – Diagrama de Reflectancia de vitrinita y HI



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 - Guajira

Estimados preliminares indican que La Guajira posee un potencial de CBM de 2,5 TCF a 10,0 TCF (Tabla 10). Los principales supuestos para este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar del total de carbón in situ (estimados de ADL basados en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado de ADL utilizando la fórmula del método indirecto):
 - Cerrejón Sur: 223 scf/Ton
 - Cerrejón Central: 223 scf/Ton
 - Cerrejón Norte: 223 scf/Ton

Tabla 10: Región de La Guajira – Potencial de gas

Sub región	Potencial carbón explotable (MM Ton)	Potencial carbón total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL - estimado gas potencial (TCF)	Otras fuentes - estimado gas potencial (TCF)	Drummond – Estimado gas potencial (TCF)
Cerrejón Norte	3.000	12.000	223	2,68		2,29
Cerrejón Central	670	2.680	223	0,6		0,51
Cerrejón Sur	867	1.052	223	0,23		
Total	4.537	15.732	223	2,46 – 3,3 TCF	10 TCF	2,8 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

El bajo contenido de cenizas, entre un 5 y un 10 %, indica alta permeabilidad en la Región de La Guajira. (Tabla 11).

Tabla 11: Región de La Guajira – Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Cerrejón Norte	--								
Cerrejón Central	--	ROM	EQ +1	11,94	6,94	35,92	45,20	0,43	11.586
Cerrejón Sur	--								

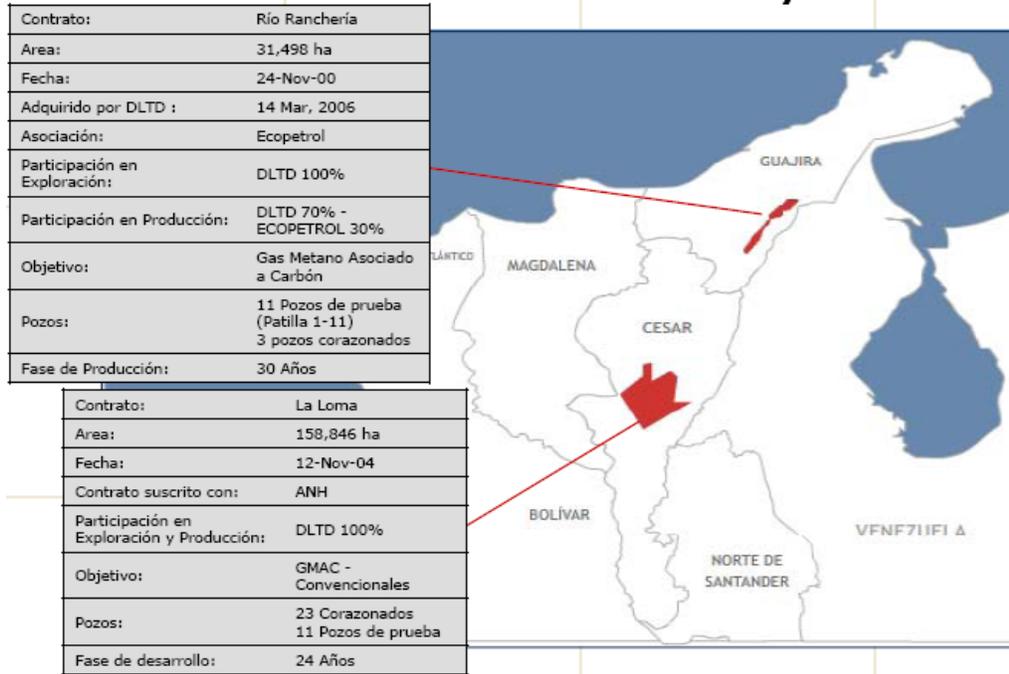
ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.2.8 Concesiones de Drummond en la Región de La Guajira

A Drummond se le concedieron los primeros contratos CBM en 2000 y 2004 para La Guajira (Río Ranchería) y La Loma (Cesar), respectivamente. (Figura 40).

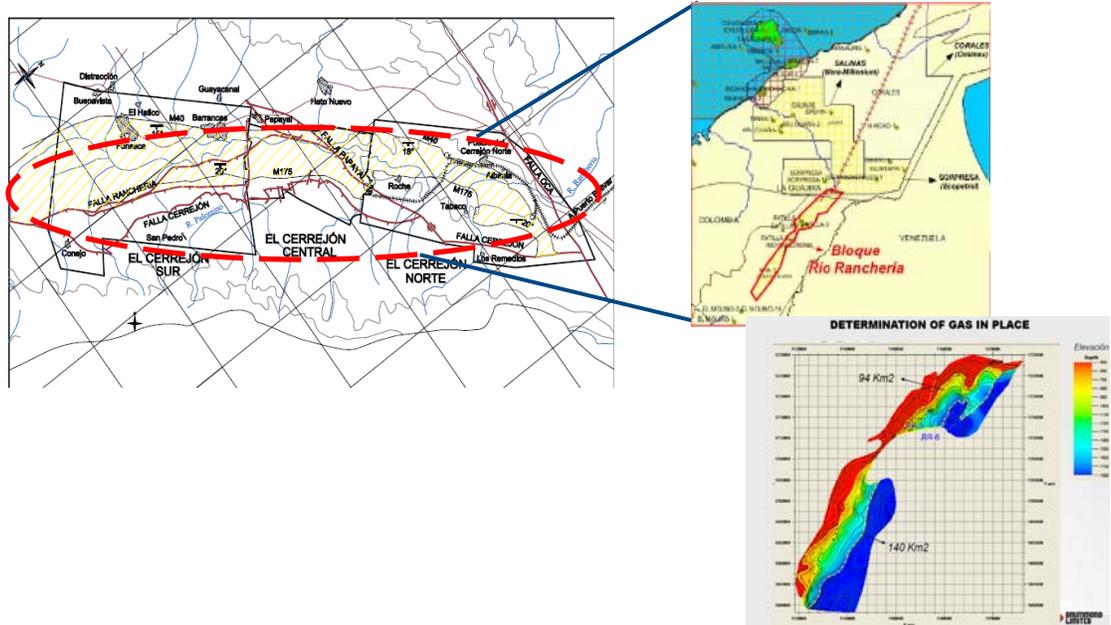
Figura 40: Región de La Guajira – Concesiones de Drummond



Fuente: Drummond, Ingeominas

La concesión de Drummond en el Río Ranchería en la Región de La Guajira abarca un área de 31.498 hectáreas (Figura 41) por un plazo de desarrollo de 30 años.

Figura 41: Región de La Guajira – Concesiones de Drummond



Fuente: Drummond, Ingeominas

1.2.9 Resumen y conclusiones

Las características de La Guajira indican que se trata de una cuenca atractiva para el desarrollo de CBM.

Cerrejón Norte es la sub región más atractiva para el desarrollo de CBM, ya que posee un potencial total estimado de gas mayor a 1 TCF.

Aún cuando Cerrejón Central tiene un potencial estimado total de gas inferior a 1 TCF, la alta clasificación del carbón y la existencia de mantos con un espesor mayor a 2 metros podrían aún hacer que sea un objetivo atractivo.

Cerrejón Sur tiene un potencial estimado de gas total in situ bajo y no existen datos disponibles en cuanto al espesor de los mantos de carbón, por lo que sería necesario contar con la recolección de mayor cantidad de datos con el fin de llevar a cabo un análisis preciso.

Figura 42: Región de La Guajira – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Cerrejón Norte			<i>n/a</i>		
Cerrejón Central					
Cerrejón Sur			<i>n/a</i>		
Guajira					

Fuerte Débil

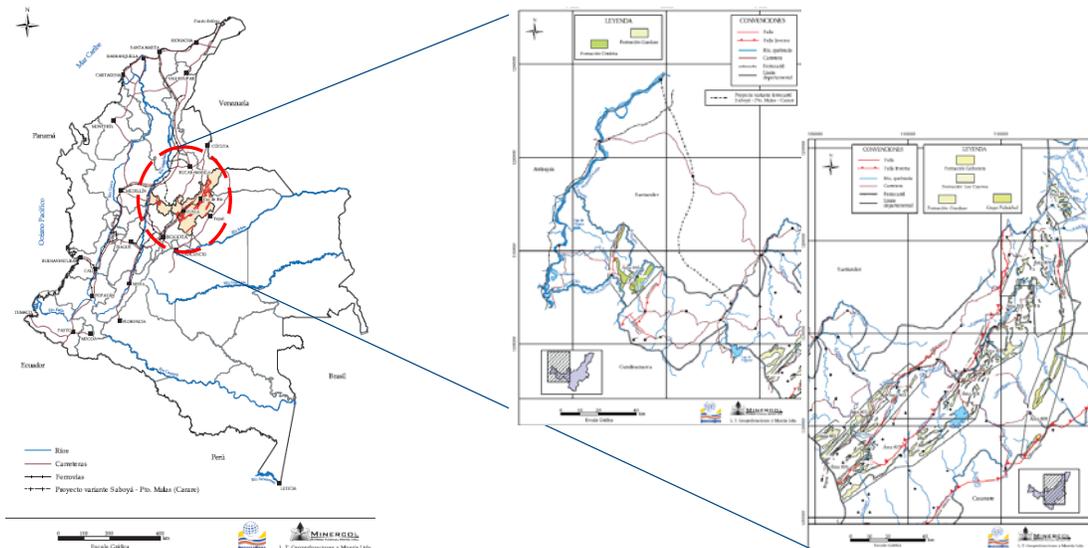
Fuente: análisis Arthur D. Little

1.3 Región de Boyacá

La región de Boyacá está ubicada en el noreste de Colombia, dentro de los límites del departamento de Boyacá (Figura 43). Limita al norte con los departamentos de Santander, Norte de Santander y con Venezuela; al oriente con los departamentos de Arauca y Casanare; al sur con Cundinamarca; y al occidente con Antioquia. La cuenca de Boyacá está ubicada entre el valle del Río Magdalena y la cuenca de los Llanos Orientales y tiene el tercer volumen más grande de carbón explotable en el país. La región de Boyacá tiene una superficie de 23.189 km².

El carbón se encuentra en la formación Guaduas. El espesor máximo de la cubierta sedimentaria es de 7.000 metros.

Figura 43: Ubicación de la Región de Boyacá



Fuente: Ingeominas

1.3.1 Método para la extracción del carbón

El método para la extracción de carbón es principalmente subterráneo en la Región de Boyacá. Aun cuando se han desarrollado operaciones pequeñas a cielo abierto, ninguna de éstas ha tenido éxito.

Predominan las operaciones a pequeña escala que no exceden una producción de 6.000 toneladas / año, y la fuerza laboral de cada unidad de producción oscila entre tres y ocho trabajadores. Estas minas corresponden al 95% de todas las minas que se han identificado. La minería de subsistencia es característica en la región, demostrando un alto grado de intermitencia o informalidad. No se observa ninguna organización comercial formal en la Región de Boyacá.

Algunas operaciones moderadamente mecanizadas, que no exceden un 5%, operan con una base de estructura organizada de negocios.

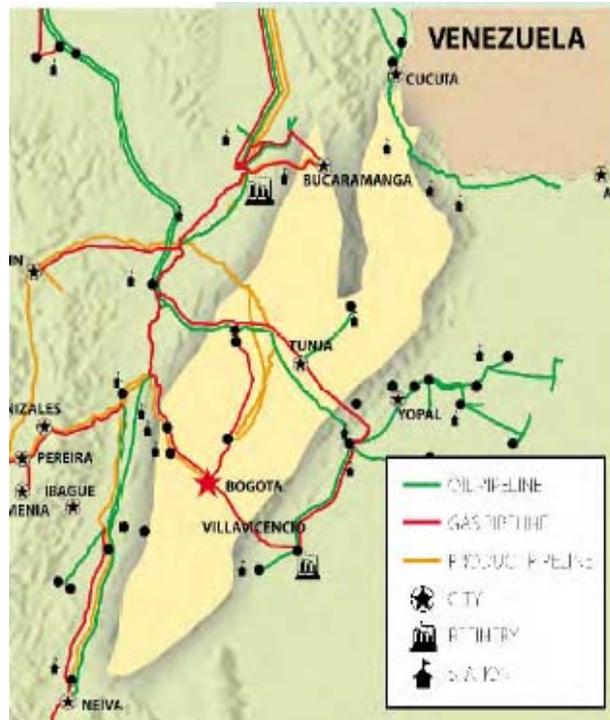
Algunas de las minas más grandes en la Región de Boyacá son las que han sido desarrolladas por la empresa siderúrgica Acerías Paz del Río en los municipios de Samacá y Tasco. La producción de estas minas ha llegado a más de 200.000 toneladas / año y tienen un mayor grado de mecanización. Otras minas con menor nivel de tecnología y de producción son las siguientes: Inversiones Milpa, Las Cumbres y El Abejón en Samacá; San Judas Tadeo y California en Tópaga; Peñas de las Aguilas y La Hoya en Sogamoso y El Diamante en Socha. Estas minas tienen niveles de producción mayores a las 10.000 toneladas por año.

1.3.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

Aun cuando la industria minera en la Región de Boyacá no está tan bien desarrollada como la de Cesar/ La Guajira, la región sí tiene una infraestructura relativamente buena. La Región tiene varios puertos fluviales y marítimos y está conectada con el resto del país a través de carreteras principales y, en parte, por ferrocarril.

Figura 44: Infraestructura en la Región de Boyacá



Fuente: Ingeominas

Aspectos ambientales

La parte central consta de cerros ondulados, lo cual le da la connotación de “altiplano”. Hacia el occidente hay una parte pequeña de tierra que va de plana a ondulada.

La región es drenada por los ríos Chicamocha y Suárez, que corren hacia el norte, y los ríos Bata, Upía y Cravo Sur, que vierten sus aguas al Río Meta hacia el suroriente.

En el altiplano, el clima es frío y seco, pero en las laderas hacia el Magdalena y hacia los Llanos Orientales, el clima es más húmedo y varía de frío a cálido.

El proceso de coquización es de gran importancia en la Región de Boyacá, lo que le causa impactos al medio ambiente biofísico.

La Región de Boyacá ha participado en actividades de desarrollo, tales como el Programa de Reforestación de Áreas Carboníferas (PRECA), diseñado para contrarrestar la

deforestación y proporcionar la disponibilidad de madera para el entibado en las galerías de las minas.

La legislación ambiental existente para todo el territorio colombiano para el desarrollo de la actividad minera no le impone restricciones a esta Región.

Aspectos sociales

Entre los aspectos sociales críticos en la minería del carbón en Boyacá está la mano de obra infantil en las minas. Se han establecido cooperativas mineras en el departamento con el fin de mejorar la gestión administrativa, la legalización minera, el desarrollo de tecnología y la comercialización del carbón.

El bajo grado de mecanización conduce a mano de obra no calificada y a una tendencia de producción decreciente, lo cual tiene un impacto perjudicial para la generación de empleo en el sub sector.

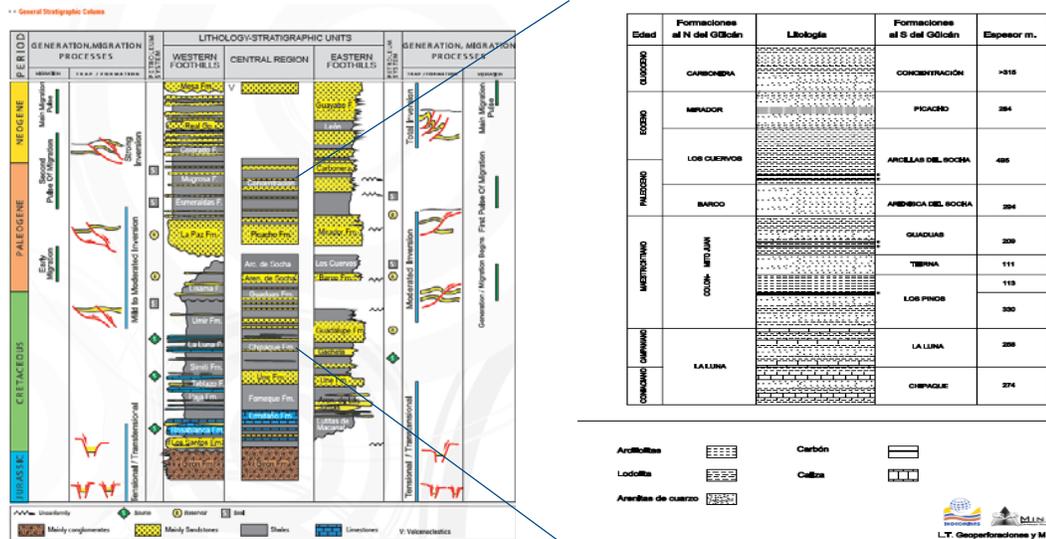
Los conocimientos de minería del carbón que tienen los mineros en la Región de Boyacá están estrechamente relacionados con la tradición familiar y, además, con ciertos técnicos que trabajan en el área. En términos generales, en el área, los bajos conocimientos técnicos, la falta de organización y planificación minera, junto con dificultades en el mercado y fluctuaciones en la demanda para el consumo doméstico de carbón, impiden el desarrollo de una explotación adecuada del recurso y mejoras en la producción y en los ingresos de los mineros.

La ubicación de la región también conlleva elevados costos de transporte.

1.3.3 Columna estratigráfica

En la Región de Boyacá, la mayoría de los yacimientos de carbón están ubicados en la formación Guaduas.

Figura 45: Columna estratigráfica para la Región de Boyacá



Fuente: Ingeominas, Colombia Open Round 2010- Eastern Cordillera, análisis Arthur D. Little

Guaduas es la formación principal portadora de carbón, la cual tiene un espesor máximo de cubierta sedimentaria de 7.000 m. El espesor de la formación Guaduas es de 210 m en la Sierra Nevada del Cocuy.

Más del 70% de los mantos de carbón que se han estudiado en el área de carbón explotable tiene un espesor superior a 1 metro.

1.3.4 Entorno de sedimentación

Las principales características de la conformación estructural en la Región de Boyacá son:

- La Falla Cambrás. Traslapa las rocas del Cretácico y las rocas del Paleoceno, sobre las del Neoceno, las cuales yacen en la margen derecha del Río Magdalena.
- La Falla La Salina. Responsable por las diferencias que se observan en la sucesión litoestratigráfica Cretácea – Cenozoica, desde la población de Betania hacia el oriente. Al norte de Tunja se manifiesta la paleofalla Boyacá, creando otra característica paleogeomórfica conocida como Alto de Floresta.
- La Falla Soapaga. Se observan fuertes diferencias estratigráficas a ambos costados de esta paleofalla. Está ausente el sedimento Jurásico – Cenozoico al oriente del plano de la falla.

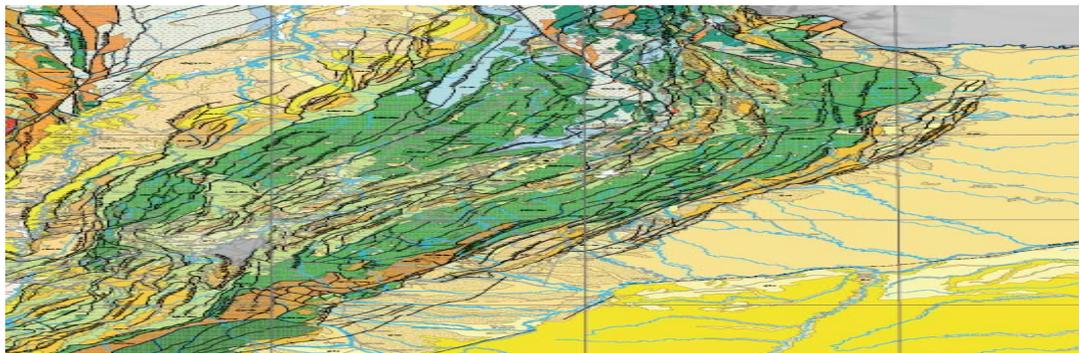
- La Falla Servitá-Lengupá-Támara. Rocas Paleozóicas superimpuestas sobre estratos Cretácicos y Neógenos, que ocurren en los Llanos Orientales. También se trata de una paleofalla.

1.3.5 Geología

La estructura de la región de Boyacá se encuentra dominada por enclavamientos y pliegues asociados con la Orogénesis Andina, que crean una serie de sub cuencas entre bloques, en los que la sección prospectiva portadora de carbón ha de encontrarse a profundidades apropiadas para la acumulación de CBM.

La extensión del área prospectiva se confina a las sub cuencas que están delimitadas por las elevaciones anticlinales enclavadas que tienen una tendencia de norte a nororiente a través del área. La complejidad estructural es evidente en forma inmediata a partir del mapa geológico de la superficie y muy evidente a partir de los datos sísmicos para el área.

Figura 46: Mapa geológico de la Región de Boyacá

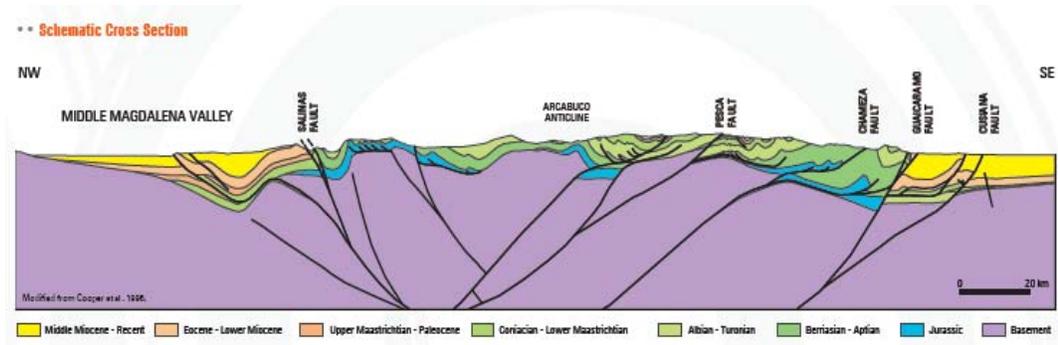


Fuente: Ingeominas 2004

La región de Boyacá tiene complejidades en fallas y pliegues que podrían hacer suponer que el desarrollo de CBM sería un reto de marca mayor.

El carbón está ubicado principalmente en la sección Superior Maastrichtiana – Paleocénica, lo cual ubica los carbones a profundidades apropiadas en las áreas sinclinales dentro de la Cordillera para la acumulación de CBM y para su explotación comercial. (Figura 47).

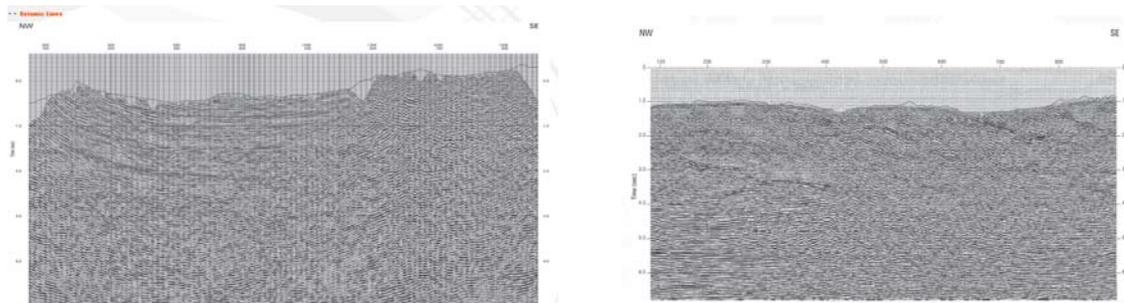
Figura 47: Perfil geológico de la sub cuenca de Boyacá / Cundinamarca



Fuente: Colombia Open Round 2010- Eastern Cordillera

Las líneas de sísmica (Figura 48) muestran la complejidad de la estructura más profunda en la cuenca y los sinclinales prospectivos en la parte menos profunda de la región.

Figura 48: Líneas de sísmica representativas de la Región de Boyacá



Fuente: Colombia Open Round 2010- Eastern Cordillera

Las líneas muestran la complejidad de la estructura más profunda en la cuenca; no obstante, los sinclinales prospectivos en la parte menos profunda de la sección son evidentes a partir de los datos.

Las secuencias de carbón deberán estar presentes a profundidades apropiadas para la acumulación de gas y la explotación comercial de CBM. Deberán adquirirse datos de sísmica adicionales para poder lograr mejores imágenes de perspectiva y delinear las áreas para la perforación de prospección.

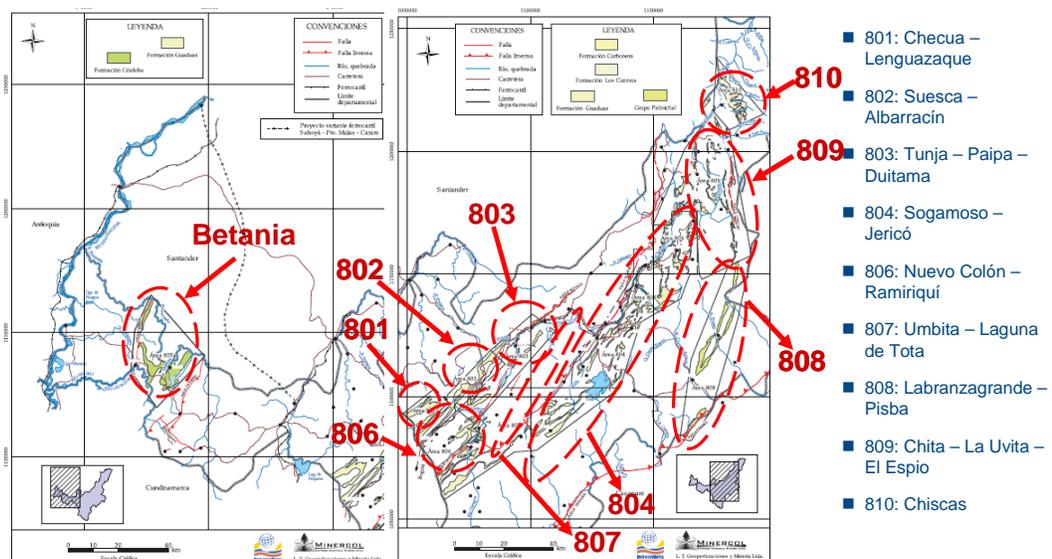
1.3.6 Sub regiones

La Región de Boyacá se divide en diez sub regiones, de las cuales 5 son económicamente atractivas, según Ingeominas. El potencial total de carbón explotable es de 1,7 Bn Ton y la superficie es de 4.206 km² (Figura 49 y Figura 50).

Las sub regiones en la Región de Boyacá son las siguientes:

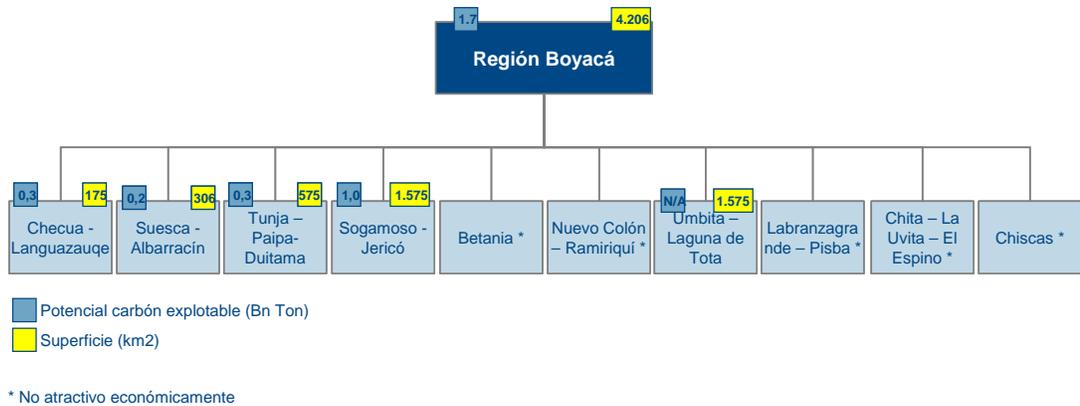
- Checua - Lenguazaque
- Suesca - Albarracín
- Tunja - Paipa - Duitama
- Sogamoso - Jericó
- Betania
- Nuevo Colón - Ramiriquí
- Úmbita - Laguna de Tota
- Labranzagrande - Pisba
- Chita - La Uvita - El Espino
- Chiscas

Figura 49: Sub regiones de la Región de Boyacá



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 50: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Boyacá



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Boyacá tiene un potencial total de carbón explotable de 1.720 MM de toneladas, lo que la convierte en la región que tiene el tercer volumen de carbón explotable en Colombia. (Tabla 12). La producción en 2003 fue de 1,5 MM Ton. En esta región se produce principalmente carbón térmico y metalúrgico.

Tabla 12: Potencial de carbón explotable en la Región de Boyacá

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Hipotéticos recursos explotables (MM Ton)	Potencial explotable (MM Ton)
	Medidos	Indicados	Inferidos		
Checua - Languazaque	35,69	129,87	115,84		281,40
Suesca - Albarracín	7,81	43,29	106,26		157,36
Tunja - Paipa - Duitama	24,03	97,21	171,41		292,65
Sogamoso - Jericó	102,84	412,25	473,71		988,80
Total	170,37	682,62	867,22		1.720,21

Potencial de carbón explotable = 1.720 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Checua-Lenguazaque

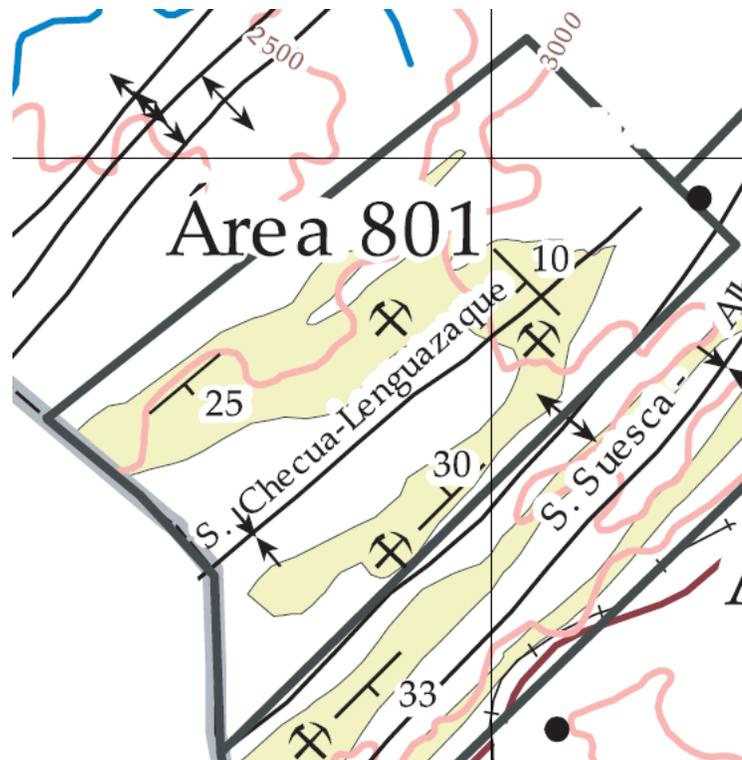
Checua-Lenguazaque tiene una superficie de 175 km² y tiene una clasificación de carbón de tipo Bituminoso Medio Volátil. Las rocas de Tierna, Guaduas (la que es portadora de carbón), Cacho, Bogotá y Regadrea afloran en el área. La estructura principal es el Sinclinal Checua- Lenguazaque, con una orientación N45°E.

El cuerpo de agua hidrográfico principal en la región es el Río Gachaneca.

En esta región, la formación Guaduas tiene cinco niveles: Ktg1, Ktg2, Ktg3, Ktg4 y Ktg5, siendo que Ktg2 y Ktg3 son los que ofrecen un atractivo económico para la minería de carbón.

- Nivel Ktg2
 - Secuencia de arenita de grano muy fino con limolitas lodosas intercalados en la base; hacia la mitad superior, contiene un predominio de arenitas y lodositas y una secuencia limosa a arenítica
 - 18 mantos de carbón
 - Espesor: 200 a 300 m
- Nivel Ktg3
 - 11 mantos de carbón
 - Espesor: 200 a 300 m

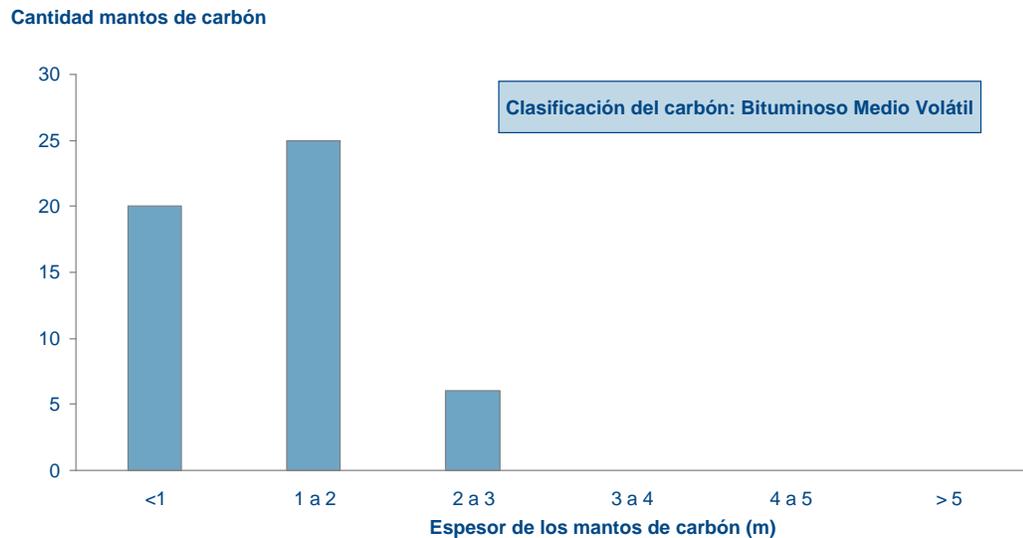
Figura 51: Región de Boyacá – Sub región Checua-Lenguazaque



Fuente: Ingeominas

La Figura 52 muestra la distribución del espesor de los mantos de carbón en Checua-Lenguazaque, que muestra que la mayoría de los mantos de carbón tienen un espesor de 1 a 3 metros.

Figura 52: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Checua-Lenguazaque



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Suesca-Albarracín

Suesca-Albarracín tiene una superficie de 306 km², con 28 mantos de carbón. La mayoría de los mantos de carbón tiene entre 1 y 2 metros de espesor. La clasificación del carbón en la sub región Suesca-Albarracín es Bituminoso Alto Volátil A y la estructura principal es el Sinclinal Ventaquemada.

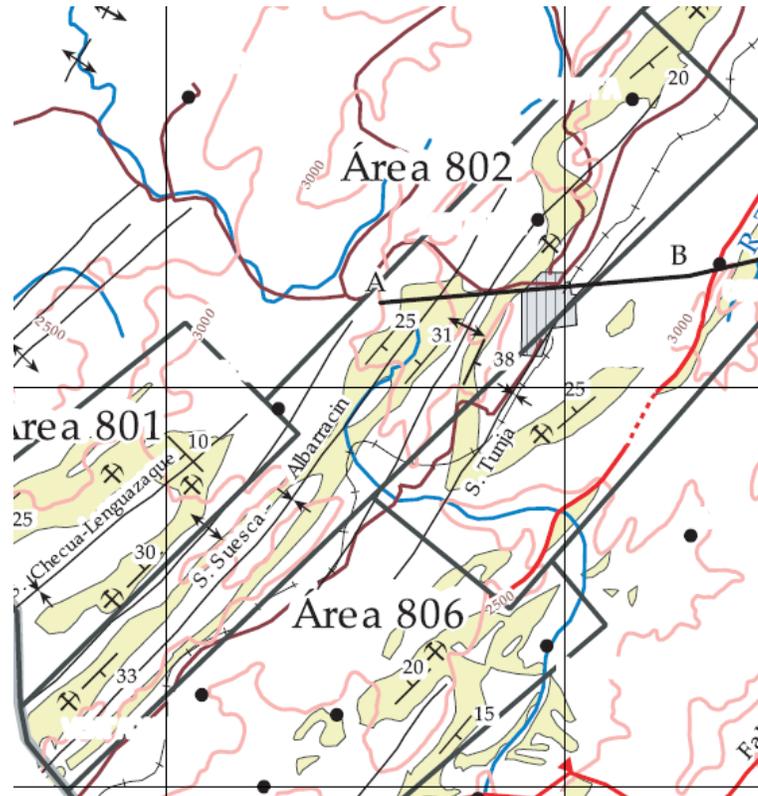
El Río Teatinos (dirección Sudoeste-Noreste) es el principal cuerpo de agua en la región.

El carbón se encuentra en la formación Guaduas, que tiene tres niveles diferentes:

- Guaduas Inferior
 - Compuesto de arcillolitas grises bien estratificadas, bancos de areniscas y mantos de carbón
 - Espesor: 250 m
- Guaduas Medio
 - Compuesto de arcillolitas grises, rojas y moradas y arcillolitas carbonáceas y bancos de areniscas
 - Espesor: 600 m
- Guaduas Superior
 - Compuesto de arcillolitas abigarradas, areniscas friables de grano fino a medio, moteadas y lodositas rojas

- Espesor: 325 m

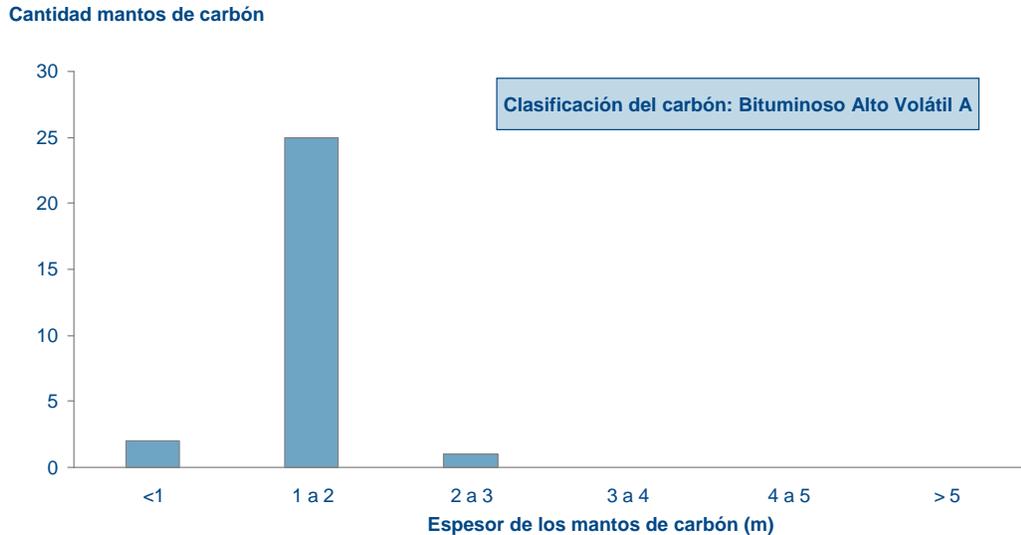
Figura 53: Región de Boyacá – Sub región Suesca-Albarracín



Fuente: Ingeominas

Tal como se muestra en la figura a continuación, el 90% de los mantos de carbón en Suesca-Albarracín tiene un espesor de 1 a 2 metros.

Figura 54: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Suesca-Albarracín



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Tunja-Paipa-Duitama

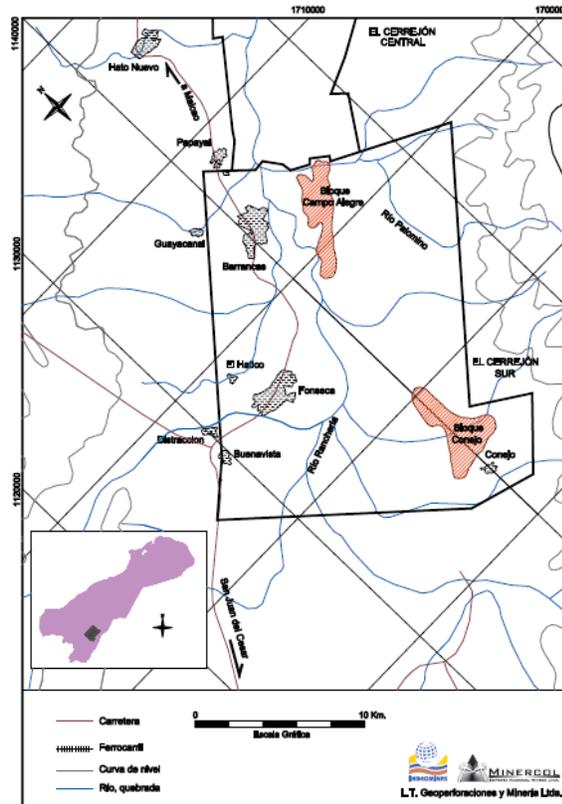
Tunja-Paipa-Duitama tiene una superficie de 575 km², con carbón ubicado en la formación Guaduas. La estructura principal, en una dirección de Suroccidente a Nororiente, es el sinclinal Tunja-Paipa.

Las corrientes de agua principales en la sub región Tunja-Paipa-Duitama son el Río Piedras y el Río Tuta / Chicamocha.

El carbón se encuentra en la formación Guaduas, que tiene tres niveles diferentes:

- Miembro Inferior
 - Compuesto de arcillolitas grises y algunas intercalaciones de areniscas
 - Espesor: 110 m
- Miembro Medio
 - Compuesto de arcillolitas grises, intercaladas con areniscas de grano fino y has nueve mantos de carbón
 - Espesor: 210 m
- Miembro Superior
 - Compuesto de arcillolitas abigarradas con capas delgadas de areniscas rojas
 - Espesor: 140 m

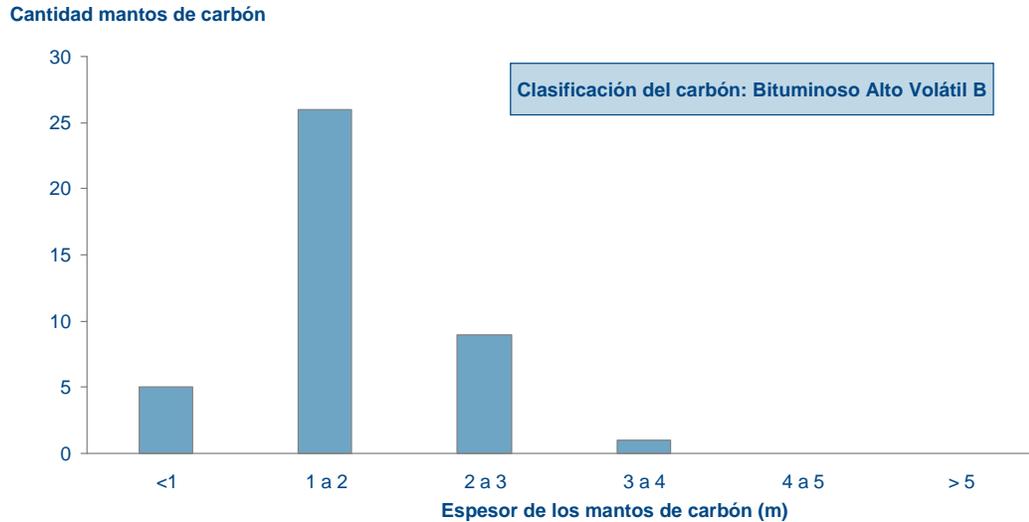
Figura 55: Región de Boyacá – Sub región Tunja-Paipa-Duitama



Fuente: Ingeominas

El 75% de los mantos de carbón tiene un espesor inferior a 2 metros en la sub región Tunja-Paipa-Duitama (Figura 56).

Figura 56: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Tunja-Paipa-Duitama



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Sogamoso-Jericó

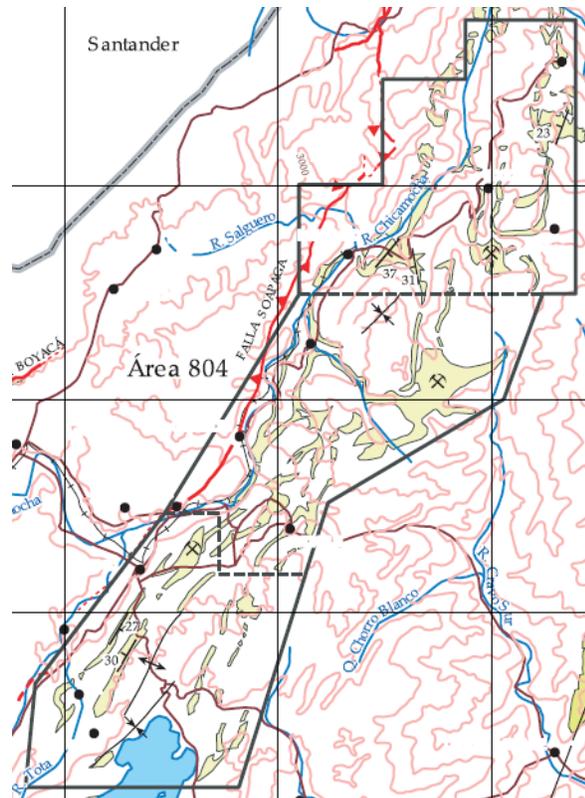
Sogamoso-Jericó tiene una superficie de 1.575 km² con el carbón localizado principalmente en la formación Guaduas y en menor proporción en la formación Sochas.

La principal corriente de agua en la sub región es el Río Chimacocha, que fluye en sentido sur a norte.

Se identifican tres sectores en la sub región Sogamoso-Jericó: Cuitiva-Sogamoso, Sogamoso-Tasco y Tasco-Jericó.

Considerando la presencia de carbón, los niveles más atractivos en estas formaciones son la Guaduas Superior y Medio y la Socha Superior.

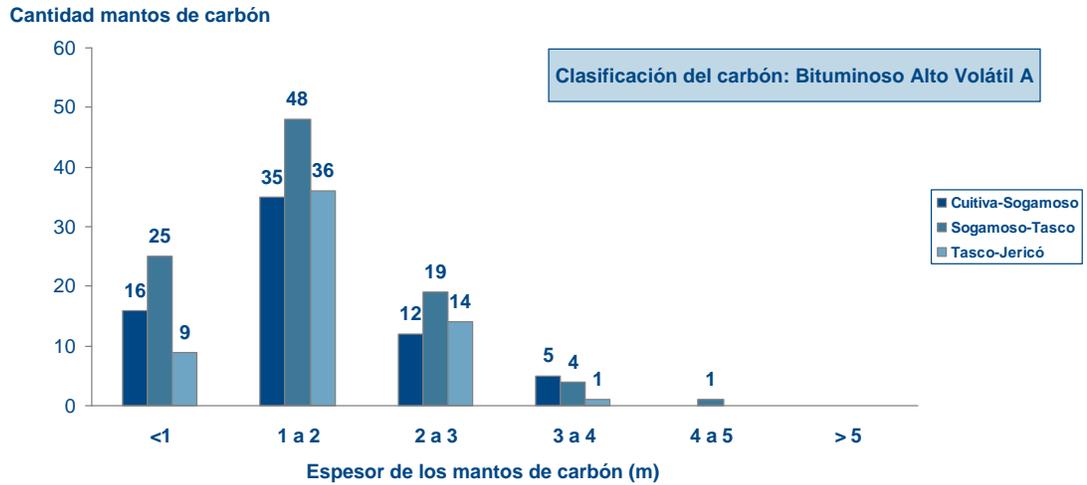
Figura 57: Región de Boyacá – Sub región Sogamoso-Jericó



Fuente: Ingeominas

46 mantos de carbón tienen un espesor de más de 2 metros en Sogamoso-Jericó (Figura 58).

Figura 58: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón en Sogamoso-Jericó



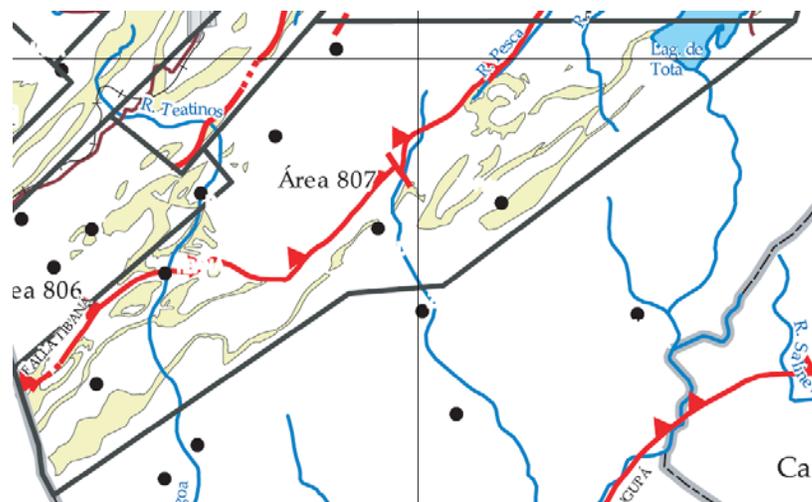
Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Umbita-Laguna de Tota

Umbita-Laguna de Tota tiene una superficie de 1.575 km². La estructura más importante en la región es el sinclinal Sueva-Umbita, con una orientación de suroccidente a nororienté.

La clasificación del carbón en la sub región Umbita-Laguna de Tota es predominantemente Bituminoso Alto Volátil A.

Figura 59: Región de Boyacá – Sub región Umbita-Laguna de Tota



Fuente: Ingeominas

1.3.7 Contenido de gas

Composición y calidad del carbón

Algunos carbones en la región de Boyacá exhiben un contenido alto de azufre o ceniza, que podría producir corrosión y la formación de gases venenosos.

Todas las áreas, con la excepción de Suesca – Albarracín, tienen tipos de carbón térmico y metalúrgico. Las características para cada sub región se describen a continuación y mayor detalle puede encontrarse en la Tabla 13.

- Checua-Lenguazaque
 - Bajos valores de humedad
 - Bajo contenido de azufre y SO₂, lo cual conlleva a la no necesidad de tratamiento previo, ya que no se forman componentes corrosivos en las calderas
 - Bajo contenido de cenizas, lo cual significa un bajo número de impurezas, por lo que no se requiere tratamiento de lavado previo
- Suesca-Albarracín
 - Baja humedad de equilibrio
 - El contenido de azufre y de SO₂ supera los límites internacionales, lo cual puede llevar a la formación de componentes corrosivos en calderas y a gases venenosos
 - Debido al alto contenido de cenizas, se requiere lavado previo
- Tunja–Paipa–Duitama
 - El contenido de azufre y de SO₂ es mayor al de los límites internacionales, lo cual puede llevar a la formación de componentes corrosivos en calderas y producir gases venenosos
 - Debido al alto contenido de cenizas, se requiere lavado previo
- Sogamoso-Jericó
 - El contenido de azufre y de SO₂ es mayor al de los límites internacionales, lo cual puede llevar a la formación de componentes corrosivos en calderas y producir gases venenosos
 - Debido al bajo contenido de cenizas, no se requiere lavado previo

Tabla 13: Región de Boyacá – Composición del carbón

Sub región	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
	Base		%					
Checua – Lenguazaque	ROM	EQ + 2	3,56	10,00	25,19	61,25	0,80	13.439
Suesca – Albarracín	ROM	EQ + 2	4,69	12,18	33,71	49,42	1,07	12.420
Tunja – Paipa – Duitama	ROM	EQ + 2	9,48	11,40	38,03	41,09	1,53	11.268
Sogamoso – Jericó	ROM	EQ + 2	4,29	9,57	30,19	55,96	1,23	13.099
Umbita – Laguna de Tota	ROM	EQ + 2	5,75	13,10	38,34	42,80	1,21	11.699

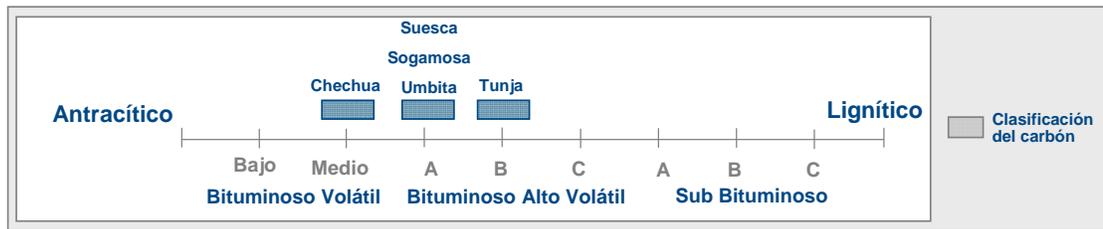
ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Clasificación del carbón

Todas las cuencas tienen un carbón con clasificación de alta calidad. No obstante, Sogamoso-Jericó tiene la combinación más atractiva de carbón de clasificación de alta calidad y un número de mantos de carbón con espesor que sobrepasa los dos metros. (Figura 60 y Figura 61).

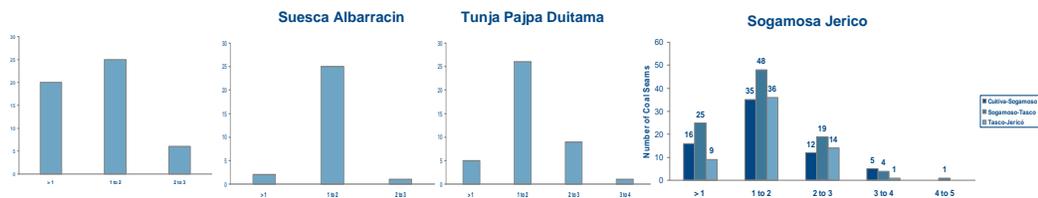
Figura 60: Región de Boyacá – Clasificación del carbón



• A pesar que Checua Lenguazaque presente la mayor clasificación de carbón, puede presentar baja permeabilidad

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 61: Región de Boyacá – Espesor de los mantos de carbón

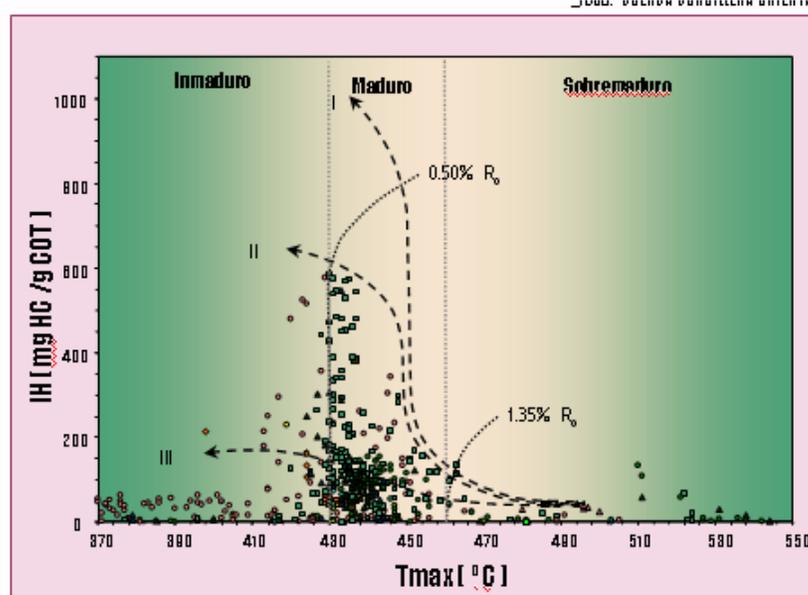


• 2 mantos de carbón del sector son más laminados. De todas formas, existe un alto número de mantos de carbón entre 1 y 2 mts de espesor, lo cual puede hacer los desarrollos de CBM atractivos

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El análisis IH vs. Tmax demuestra que la mayor parte de la secuencia estratigráfica es madura. (Figura 62).

Figura 62: Región de Boyacá – Diagrama IH vs. Tmax



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 – Eastern Cordillera

Estimados preliminares indican que Boyacá posee un potencial CBM de 2.1 TCF a 5 TCF (Tabla 14). Los supuestos principales para este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar de carbón total in situ (Estimado de ADL con base en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso Bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto):
 - Checua-Lenguazaque: 377 scf/Ton
 - Suesca-Albarracín: 274 scf/Ton
 - Tunja-Paipa-Duitama: 207 scf/Ton
 - Sogamosa-Jericó: 321 scf/Ton

Tabla 14: Región de Boyacá - Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial de carbón total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL - Estimado de gas potencial (TCF)	Otras fuentes - Estimado de gas potencial (TCF)
Chechua Lenguazaque	281,40	1405	377	0,53	
Suesca Albarracín	157,36	785	274	0,22	
Tunja Pujpa Duitama	292,65	1.465	207	0,30	
Sogamosa Jerico	988,80	4.945	321	1,59	
Total	1.720,21	8.600		2,1 – 2,6 TCF	5 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coal bed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

Considerando el contenido de cenizas, no todos los sectores pueden tener alta permeabilidad ya que el contenido de ceniza es mayor al 10% (Tabla 15).

Tabla 15: Región de Boyacá - Permeabilidad

Sub región	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
	Base		%					
Chechua – Lenguazaque	ROM	EQ + 2	3,56	10,00	25,19	61,25	0,80	13.439
Suesca – Albarracín	ROM	EQ + 2	4,69	12,18	33,71	49,42	1,07	12.420
Tunja – Paipa – Duitama	ROM	EQ + 2	9,48	11,40	38,03	41,09	1,53	11.268
Sogamoso – Jericó	ROM	EQ + 2	4,29	9,57	30,19	55,96	1,23	13.099
Umbita – Laguna de Tota	ROM	EQ + 2	5,75	13,10	38,34	42,80	1,21	11.699

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.3.8 Resumen y conclusiones

Las características de Boyacá indican que es una cuenca atractiva para el desarrollo de CBM.

La sub región Sogamoso-Jericó es la más atractiva en Boyacá 1.6 TCF junto con un carbón de buena calidad y un buen número de mantos de carbón gruesos.

Aunque Chechua-Lenguazaque no tiene muchos mantos de carbón extremadamente gruesos, tiene un número significativo de mantos de carbón (25) que varían entre 1 y 2 metros de espesor, lo que hace que la sub región sea atractiva para el desarrollo de CBM.

El bajo potencial de gas en las sub regiones Suesca-Albarracin y Tunja-Paipa-Duitama, combinado con la geología compleja y el número limitado de mantos de carbón extremadamente gruesos hacen que estas sub regiones tengan poco atractivo para el desarrollo de CBM.

No hay disponibilidad de datos del potencial carbonífero de la sub región Umbita – Laguna de Tota, por lo tanto más datos y análisis son requeridos para esta sub región.

Figura 63: Región de Boyacá – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Chechua Lenguazaque					
Suesca Albarracin					
Tunja Pujpa Duitama					
Sogamosa Jerico					
Umbita			<i>n/a</i>		<i>n/a</i>
Boyacá					

Fuerte Débil

Fuente: Análisis Arthur D. Little

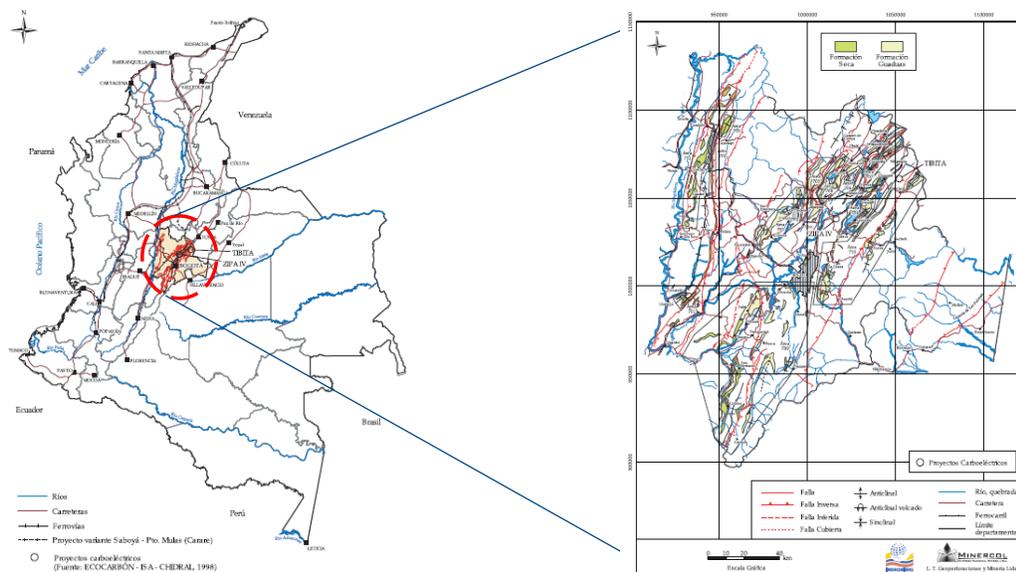
1.4 Región de Cundinamarca

La región de Cundinamarca se encuentra localizada en la parte central de Colombia, sobre la Cordillera Oriental y tiene una superficie de 24.210 km². Limita al norte con el Departamento de Boyacá, al oriente y al sur con los departamentos de Meta y Huila y al Occidente con los departamentos de Tolima y Caldas. (Figura 64).

El espesor máximo de la cubierta sedimentaria es de 7.000 m. La región puede dividirse en tres grandes núcleos:

- Oeste: Franja estrecha de tierras bajas de los valles del río Magdalena y algunos de sus afluentes
- Centro: área montañosa extensa de la Cordillera Oriental
- Este: Piedemonte Llanero, con topografía suave

Figura 64: Ubicación de la Región de Cundinamarca



Fuente: Ingeominas

1.4.1 Método para la extracción del carbón

El método de extracción carbonífera es primordialmente subterráneo en la Región de Cundinamarca. Predominan las explotaciones de pequeña escala (84%) cuya producción no

excede las 6.000 toneladas/año y el número de personas que trabajan en cada mina varía entre 4 y 10.

Las minas en Cundinamarca se caracterizan por la ausencia de planeación minera. Esto sucede en todas las minas excepto en algunas que son tecnológicamente avanzadas.

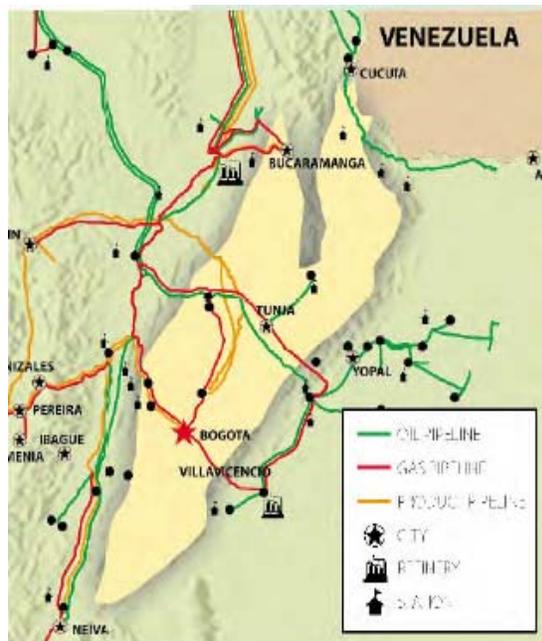
Las minas más representativas de la región de Cundinamarca son: La Cumbre, localizada en el municipio de Cucunubá; El Triunfo y La Trinidad, en Sutatausa; La Mejía y La Ramada en Gachetá; y La Primavera en Lenguazaque. Estas minas se caracterizan por mantener altos niveles de producción hasta de 10.000 toneladas / año y poseen algún grado de mecanización.

1.4.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

La Región de Cundinamarca está unida al resto del país mediante las principales carreteras y el sistema de ferrocarriles. (Figura 65).

Figura 65: Infraestructura de la Región de Cundinamarca



Fuente: Ingeominas – Eastern Cordillera

Aspectos Ambientales

Las pobres condiciones socioeconómicas y la deficiente tecnología llevan a una pobre conservación del medio ambiente en la Región de Cundinamarca.

El proceso de coquizado y el almacenamiento de carbón son de gran importancia en la Región de Cundinamarca, provocando impactos en el medio ambiente. El coquizado es un proceso generalizado en la región, el cual tiene impacto sobre la atmósfera, el agua, el suelo y el paisaje.

La legislación ambiental vigente para todo el territorio colombiano en cuanto al desarrollo de la actividad minera no impone restricciones a esta región.

Aspectos sociales

Las condiciones socioeconómicas de los mineros, y la deficiente tecnología afectan los aspectos ambientales y la productividad de las minas en la región. Las condiciones mineras y sociales son deficientes.

Las oportunidades laborales no son constantes durante todo el año y el pago es variable con la producción; los trabajadores de superficie generalmente tienen un salario fijo.

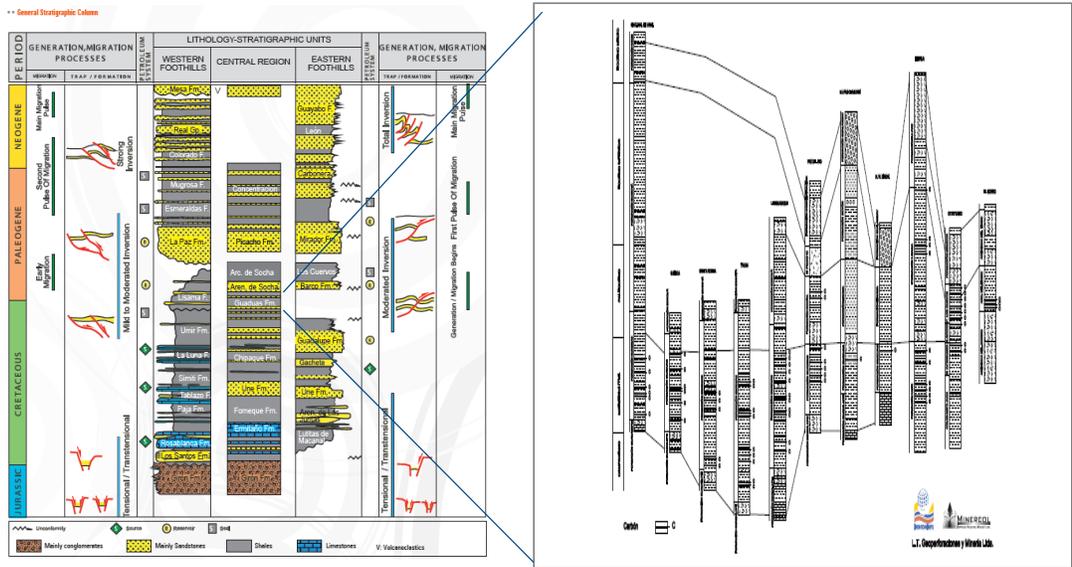
Las cooperativas mineras consolidadas juegan un papel importante en las áreas de comercialización, administración de negocios, control de calidad del producto y la obtención de beneficios y asistencia técnica de agencias estatales.

Entre los aspectos sociales críticos de la minería de carbón en Cundinamarca se encuentra el trabajo infantil en las minas, lo que lleva a la falta de oportunidades de obtener un desarrollo integral y una calidad de vida apropiados.

1.4.3 Columna estratigráfica

En la Región de Cundinamarca, la mayoría de los mantos carboníferos se encuentran en las formaciones de Guaduas y Seca.

Figura 66: Columna estratigráfica para la Región de Cundinamarca



Fuente: Ingeominas, Colombia Open Round 2010 – Cordillera Oriental, análisis Arthur D. Little

Casi 50% de las los mantos de carbón estudiados en el área explotable de carbón tiene un espesor mayor a 1 metro.

1.4.4 Entorno de sedimentación

Se puede encontrar carbón en las formaciones de Guaduas y Seca. Considerando que la formación de Guaduas ya ha sido caracterizada en la sección de Boyacá en el presente informe, a continuación se enumeran las características principales de la formación Seca:

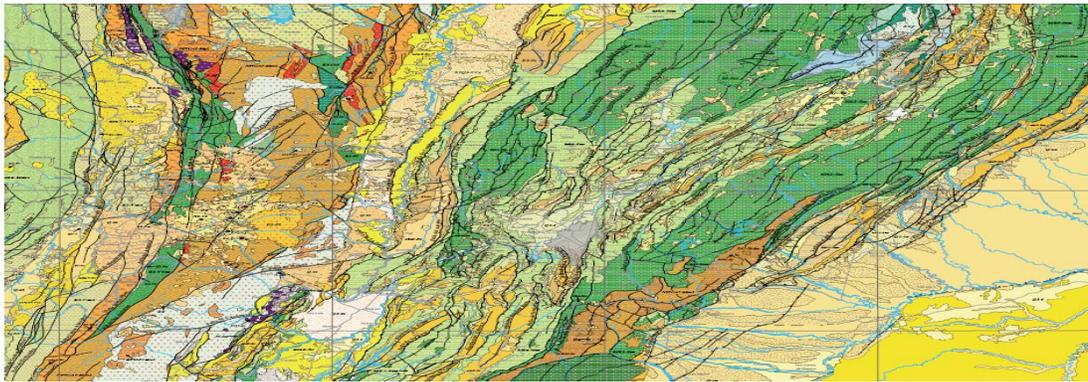
- Región de Jerusalén: lodositas negras con carbones que se desarrollan en facies más similares a las de la formación Guaduas
- Jerusalén Norte, Caparrapí Sur: lodolitas rojas se convierten en lutitas gris verdosas y negras carboníferas, para luego cambiar, junto con la formación Córdoba subyacente, a la facies arcillofáltica y lodolítica negra, con carbones de la Formación Umir

1.4.5 Geología

La geología de Cundinamarca es compleja. La estructura de la región de Cundinamarca está dominada por movimientos impulsores y de plegado asociados a la orogenia Andina que crea una serie de sub cuencas entre los bloques propulsados en los cuales la sección que contiene el carbón prospectivo se encontraría a profundidades adecuadas para la acumulación de CBM.

El alcance del área prospectiva está confinado a las sub cuencas que están delimitadas por las alturas anticlinales propulsadas que tienden hacia el nor-noroeste a través del área. La complejidad estructural es aparente en forma inmediata a partir del mapa geológico de superficie y es evidente a partir de los datos sísmicos del área.

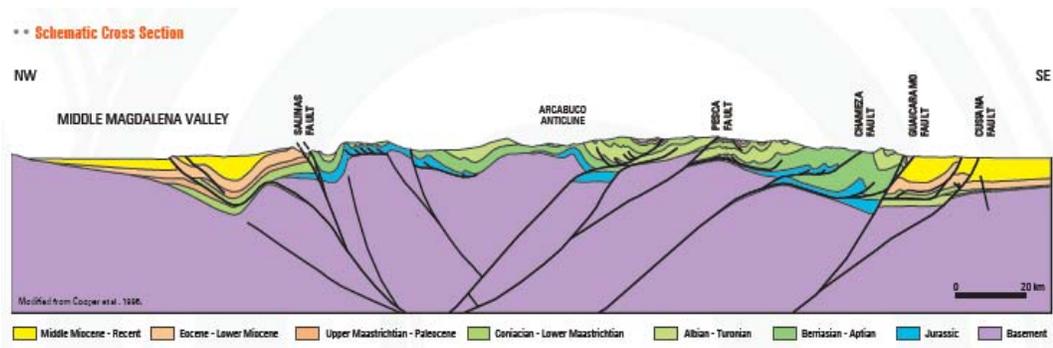
Figura 67: Mapa geológico de la Región de Cundinamarca



Fuente: Ingeominas 2007

El carbón se encuentra principalmente en la sección Maastrichiana Superior, lo que localiza los carbones en profundidades adecuadas en las áreas sinclinales al interior de la Cordillera para la acumulación de CBM y para la explotación comercial. (Figura 68).

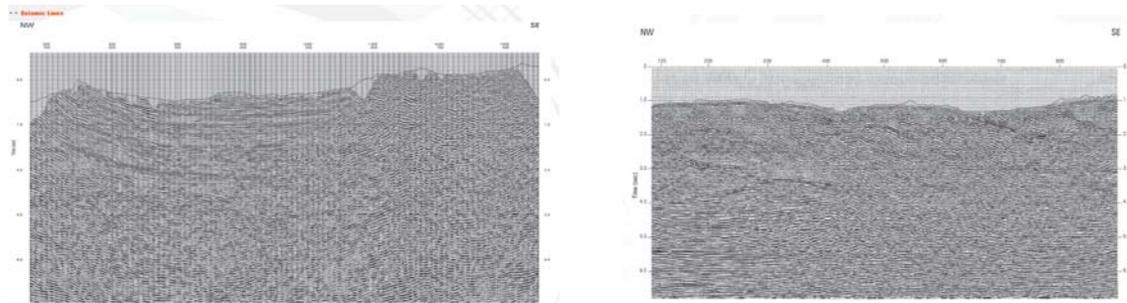
Figura 68: Perfil geológico de la sub cuenca Boyacá / Cundinamarca



Fuente: Colombia Open Round 2010 – Cordillera Oriental

Las líneas sísmicas (Figura 69) muestran la complejidad de la estructura más profunda en la cuenca y sinclinales prospectivos en la parte poco profunda de la región.

Figura 69: Líneas de sísmica representativas de la Región de Cundinamarca



Fuente: Colombia Open Round 2010 – Cordillera Oriental

Las secuencias de carbón deberían estar presentes en profundidades adecuadas para acumulación de gas y explotación comercial de CBM. Se deben adquirir datos sísmicos adicionales para tener una mejor imagen de secciones perspectivas y delinear las áreas para perforación prospectiva.

1.4.6 Sub regiones

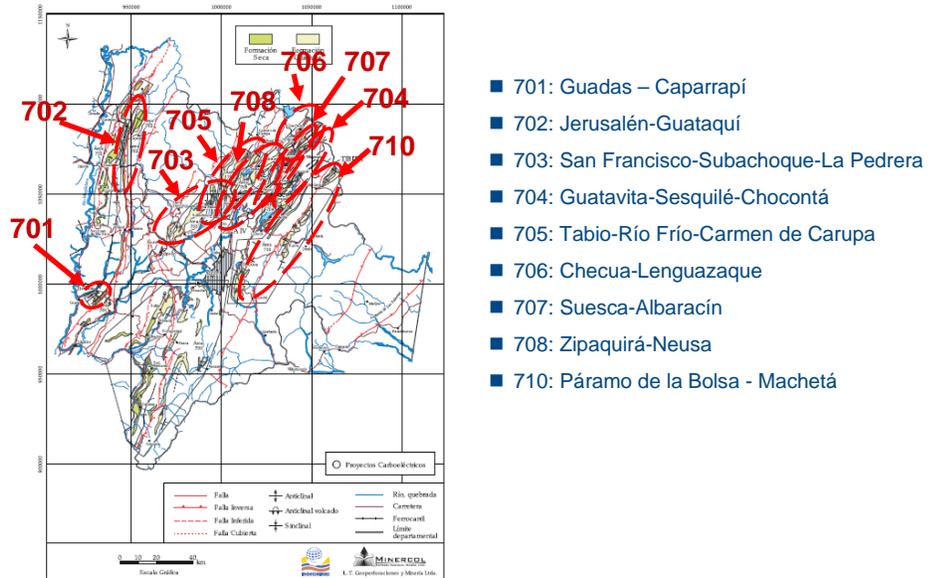
La Región de Cundinamarca está dividida en once sub regiones, de las cuales 9 son económicamente atractivas de acuerdo con Ingeominas. El potencial total de explotación carbonífera es de 1,5 billones de toneladas y la superficie es de 4.023 km² (Figura 70 y Figura 71).

Las siguientes son las sub regiones en la Región de Cundinamarca:

- Guaduas - Caparrapí
- Jerusalén - Guataquí
- San Francisco – Subachoque – La Pradera
- Guatavita – Sesquilé - Chocontá
- Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá
- Checua - Lenguazaque
- Suesca - Albarracín
- Zipaquirá - Neusa
- Salto – Granada – Usme, sub región no productora
- Páramo de la Bolsa - Machetá

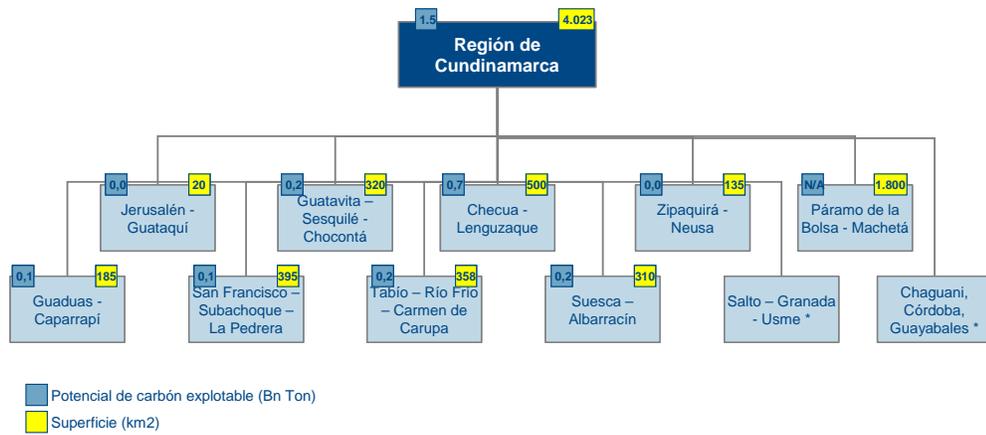
- Chaguaní – Córdoba – Guayabales, sub región no productora

Figura 70: Sub regiones de la Región de Cundinamarca



Fuente: Ingeominas

Figura 71: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Cundinamarca



* No atractivo económicamente

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Cundinamarca tiene un potencial carbonífero explotable de 1.482 MM de toneladas, convirtiéndose en una región que tiene el cuarto volumen explotable de carbón en Colombia. (Tabla 16). La Producción en el año 2003 fue de 1,4 MM de toneladas. En esta región se produce principalmente carbón térmico, metalúrgico y carbón de antracita.

Tabla 16: Potencial de carbón explotable en la Región de Cundinamarca

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Hipotéticos recursos explotables (MM Ton)	Potencial explotable (MM Ton)
	Medidos	Indicados	Inferidos		
Jerusalén–Guataquí	1,81	5,73	5,28	3,23	16,05
Guaduas–Caparrapí	6,76	32,68	21,36	0,91	61,71
San Francisco–Subachoque–La Pedrera	11,35	48,20	60,89	6,46	126,90
Guatavita–Sesquilé–Chocontá	21,90	64,31	106,88	10,14	203,23
Tabio–Río Frío–Carmen de Carupa	19,43	55,82	54,84	24,78	154,87
Checua–Lenguazaque	140,42	345,44	210,66	16,25	712,77
Suesca–Albarracín	32,92	87,71	68,90	--	189,53
Zipaquirá–Neusa	1,64	4,96	10,41	--	17,01
Total	236,23	644,85	539,22	61,77	1.482,07

Potencial de carbón explotable = 1.482 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

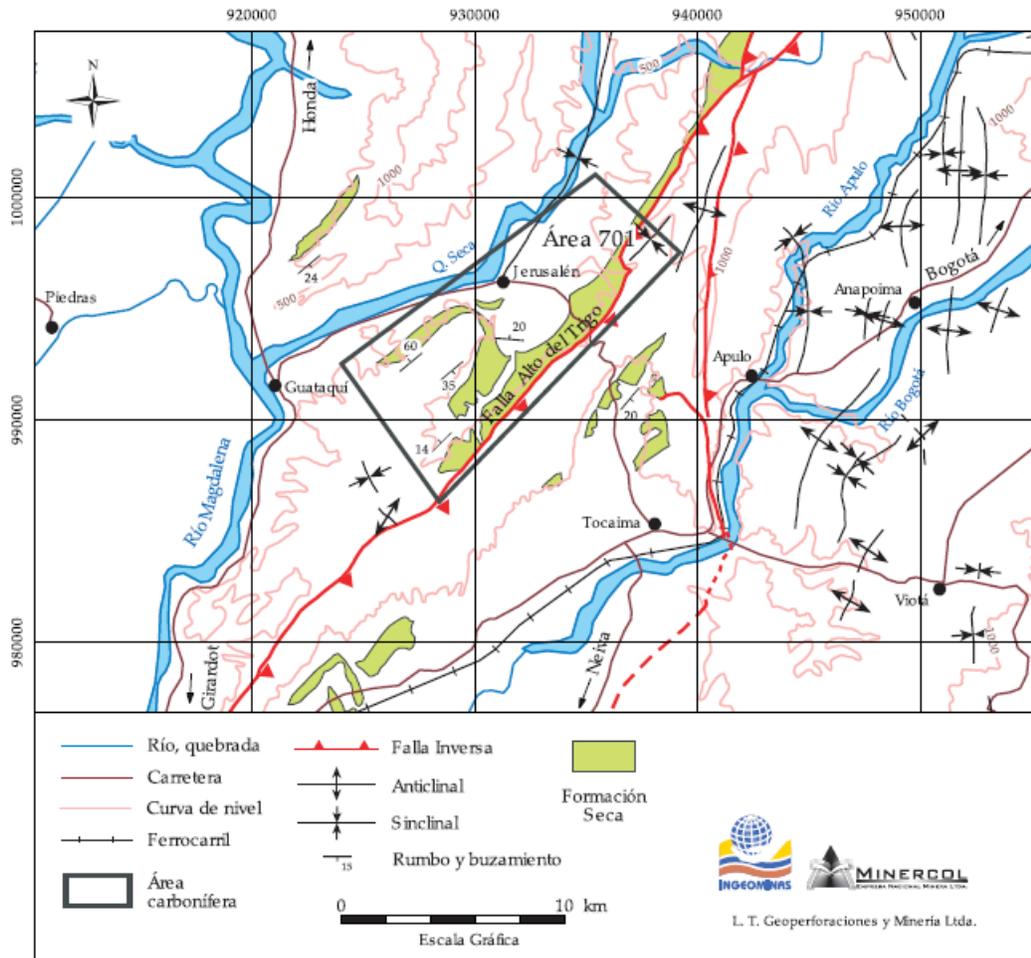
Sub región Jerusalén - Guataquí

La región de Jerusalén – Guataquí tiene una superficie de 20 km² en la que el carbón se encuentra en la formación Seca. Se encuentra en el oeste de la Cordillera Oriental, en el Valle del Magdalena Medio, a 33 km. al norte del municipio de Girardot.

La formación Seca se compone de 250 a 300 metros de lodolitas rojas, de las cuales 100 metros son lutitas grises oscuras que contienen carbón en la capa superior. El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil.

Se identifican dos sectores en esta sub región: San José (Norte) y La Buitera (Sur).

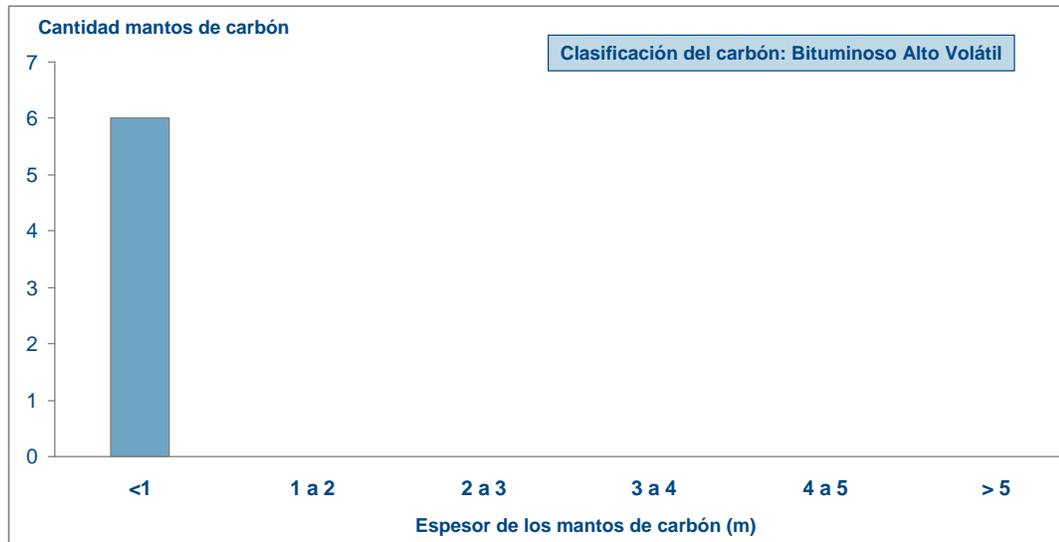
Figura 72: Región de Cundinamarca – Sub región Jerusalén - Guataquí



Fuente: Ingeominas

La Figura 73 muestra que todos los mantos de carbón en la sub región Jerusalén – Guataquí tienen menos de 1 metro de espesor.

Figura 73: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Jerusalén - Guataquí



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Guaduas - Caparrapí

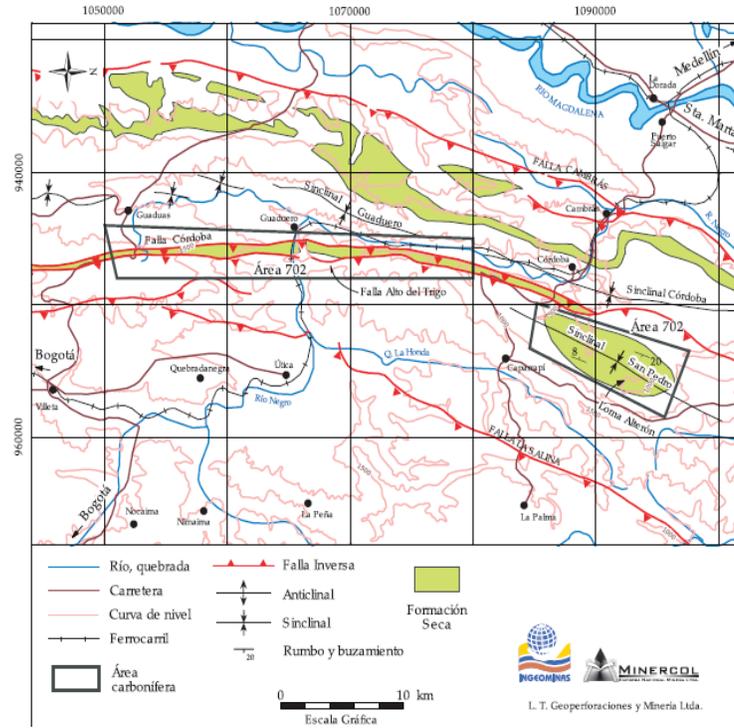
La sub región Guaduas – Caparrapí se divide en dos sub sectores; tiene una superficie de 185 km² y el carbón se encuentra en la formación Seca. Se encuentra localizada al este de la Cordillera Oriental, al noroccidente de la ciudad de Bogotá.

Los ríos principales en la sub región Guaduas – Caparrapí son el Magdalena y el Negro.

El carbón se encuentra en la formación Seca, que está conformada por una capa de conglomerado de granulos de cuarzo hacia la base, seguida por arcillolita amarillenta y gris con limolita intercalada y arenisca de cuarzo gris en la mitad inferior y media. En el medio de esta secuencia ocurren capas de lodolitas y dos mantos de carbón. Las principales estructuras en la sub región son los sinclinales de San Pedro y Guaduo. El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil B y Bituminoso de Media y Baja Volatilidad.

Se identifican dos sectores en esta sub región: Caparrapí y Guaduas.

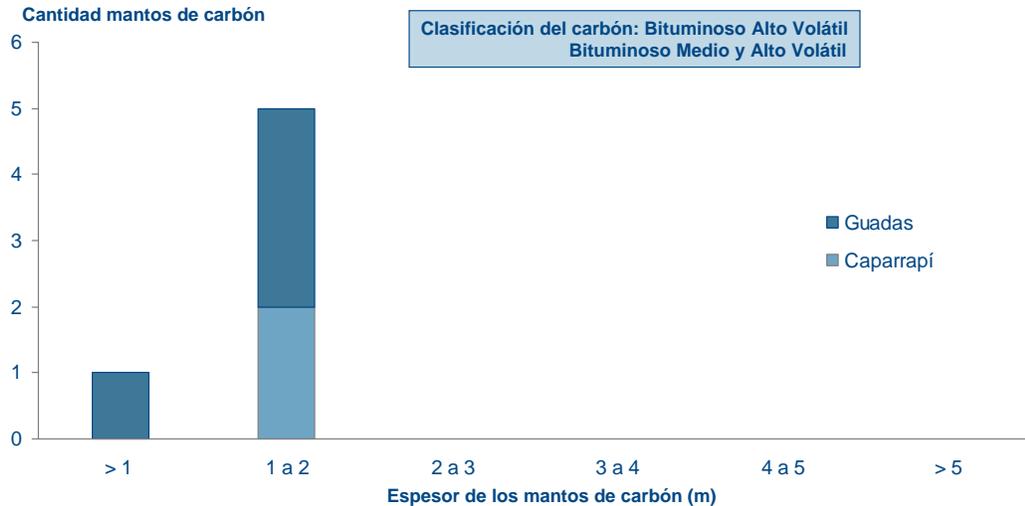
Figura 74: Región de Cundinamarca – Sub región Guaduas - Caparrapí



Fuente: Ingeominas

Cinco de seis mantos de carbón tienen un espesor que está en el rango de 1 a 2 metros en la sub región Guaduas – Caparrapí. (Figura 75).

Figura 75: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en Guaduas - Caparrapí



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región San Francisco – Subachoque – La Pradera

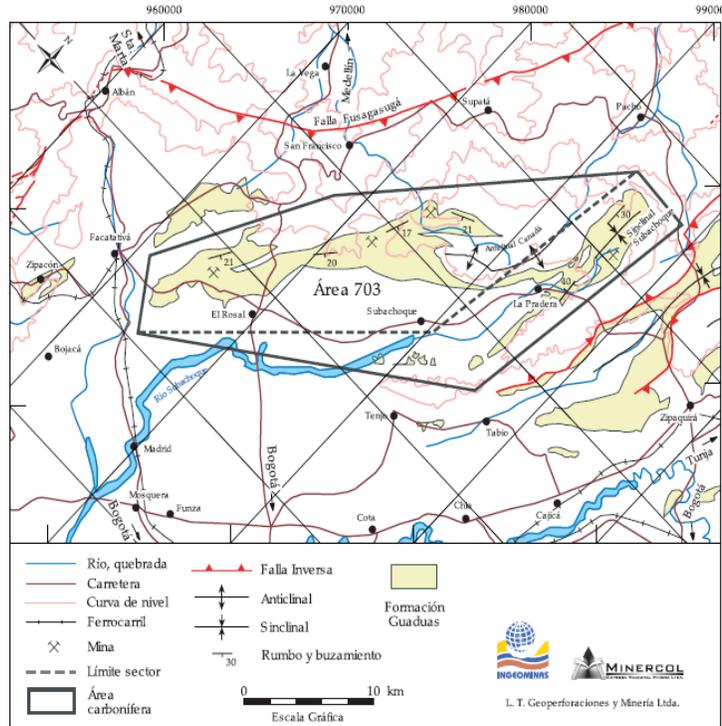
La sub región San Francisco – Subachoque – La Pradera tiene una superficie de 395 km² y el carbón se encuentra en la formación Guaduas. La sub región se encuentra localizada en la parte central de Colombia y el río principal es el Subachoque.

Se identifican dos sectores en la sub región San Francisco-Subachoque-La Pradera: los flancos Occidental y Oriental.

El carbón se encuentra en la formación de Guaduas, la cual tiene dos niveles diferentes:

- Guaduas Baja: Arcillolita, lodolitas y hasta diez mantos de carbón.
- Guaduas Alta: Arcillolitas abigarradas de verde a rojo y púrpura, y areniscas de cuarzo y feldespatos; contiene escasas y delgadas capas de carbón.

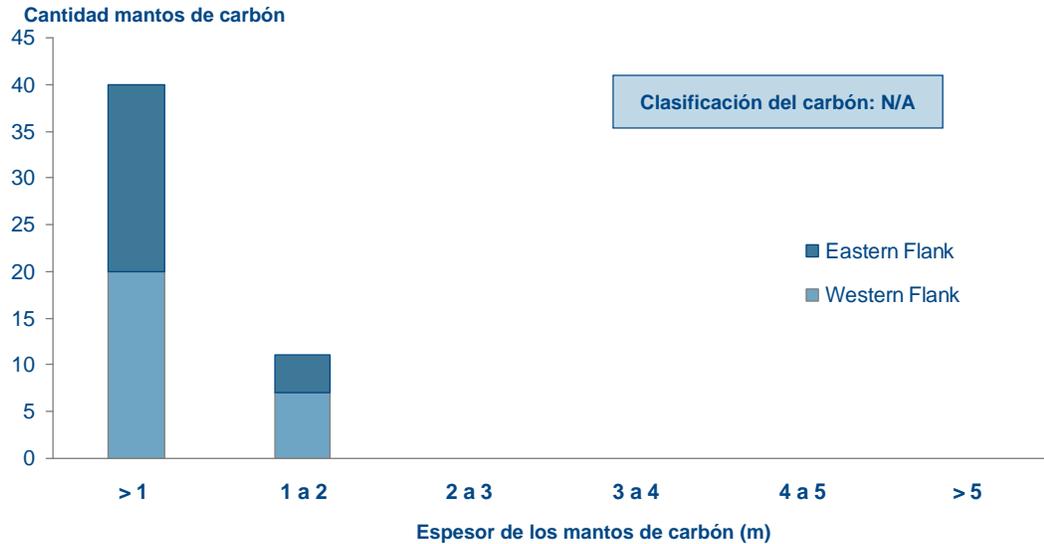
Figura 76: Región de Cundinamarca – Sub región San Francisco-Subachoque-La Pradera



Fuente: Ingeominas

Casi 80% de los mantos de carbón tienen un espesor menor a un metro en la sub región San Francisco-Subachoque-La Pradera (Figura 77).

Figura 77: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en San Francisco-Subachoque-La Pradera



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

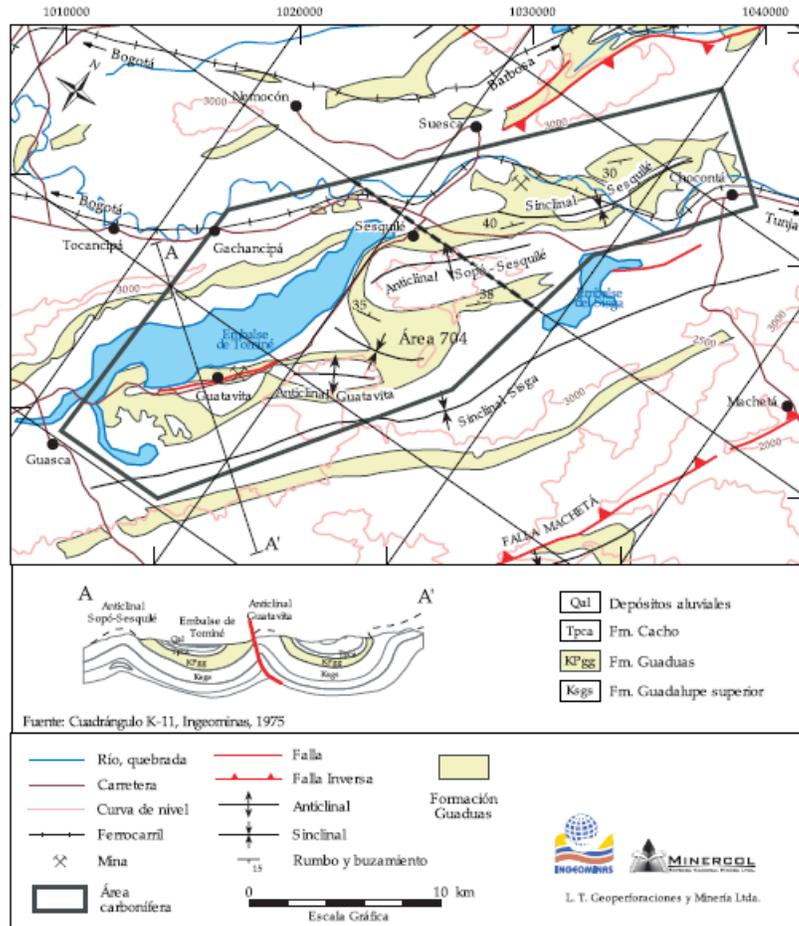
Sub región Guatavita – Sesquilé - Chocontá

La sub región Guatavita – Sesquilé – Chocontá tiene una superficie de 320 km² y se divide en dos sectores con carbón en la formación de Guaduas. Se encuentra localizada al nor-orientado de la ciudad de Bogotá, siendo el río del mismo nombre el principal en la sub región.

Las estructuras principales son los sinclinales de Sesquilé y Sisga y las anticlinales Sopó-Sesquilé y Guatavita. El rango del carbón es Alto Volátil C y Bituminoso A.

Dos sectores son identificados en Guatavita – Sesquilé – Chocontá: Suesca-Chocontá y Guatavita.

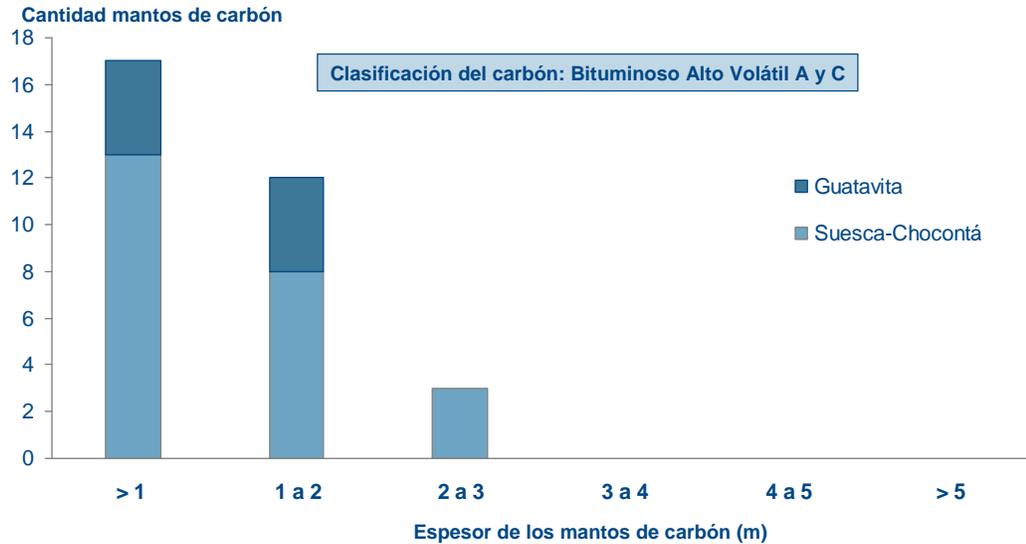
Figura 78: Región de Cundinamarca – Sub región Guatavita – Sesquilé - Chocontá



Fuente: Ingeominas

Cerca de la mitad de los mantos de carbón la región Guatavita – Sesquilé – Chocontá tienen un espesor mayor a 1 metro. (Figura 79).

Figura 79: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Guatavita – Sesquilé - Chocontá



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá

La sub región Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá tiene una superficie de 358 km², y tiene carbón presente en la formación Guaduas.

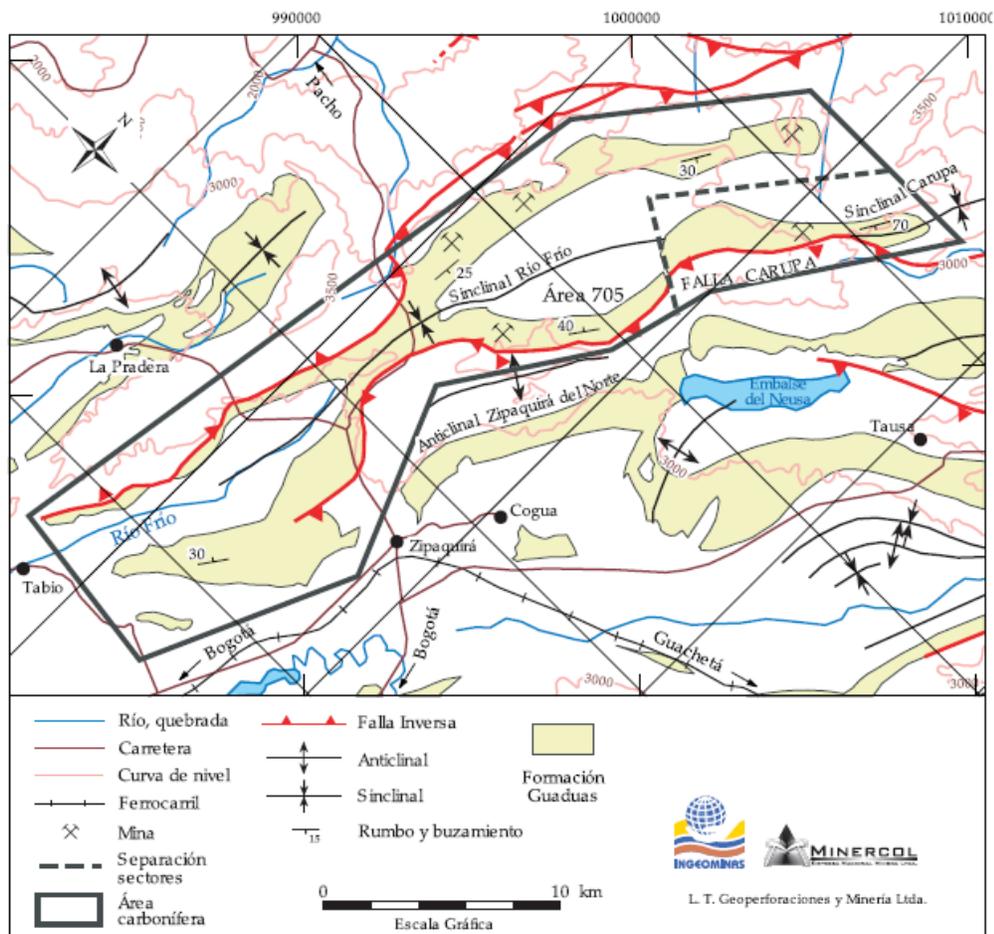
El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A, Bituminoso Medio y Bajo Volátil y semiantracita.

Se identifican dos sectores en la sub región Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá: Carmen de Carupá y Tabio – Río Frío, ambas con carbón en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la formación de Guaduas. Las siguientes son las características de cada uno de estos niveles en cada sector:

- Carmen de Carupá
 - Ktg2: Capas de arenitas de cuarzo blanco y gris claro, intercaladas con arcillolitas grises oscuras, cintas y mantos de carbón. Espesor entre 200 y 250 m. Ocho mantos de carbón.
 - Ktg3: Arcillolita laminada gris a oscura, intercalada con limolitas, areniscas y mantos de carbón. No se tomaron en cuenta dos mantos de carbón ya que no hay suficiente información. Espesor entre 280 y 300 m.
 - Estructura principal: Sinclinal de Carupá

- Tabio – Río Frío
 - Ktg2: La ladera occidental tiene un espesor variable entre 180 y 200m. Arenitas arcillolitas, limolitas, cintas y mantos de carbón. Hasta ocho mantos de carbón. El flanco oriental, con un espesor variable entre 180 y 250m, consiste de areniscas intercaladas con arcillolitas, limolitas, cintas y mantos de carbón. Tres mantos de carbón.
 - Ktg3: El flanco occidental tiene un espesor que varía entre 200 y 300 metros y tres mantos de carbón. El flanco oriental tiene un espesor promedio de 220 metros. Principalmente arcillolita laminada gris oscura, intercalada con limolitas. Tres mantos de carbón.
 - Estructura principal: Sinclinal de Río Frío

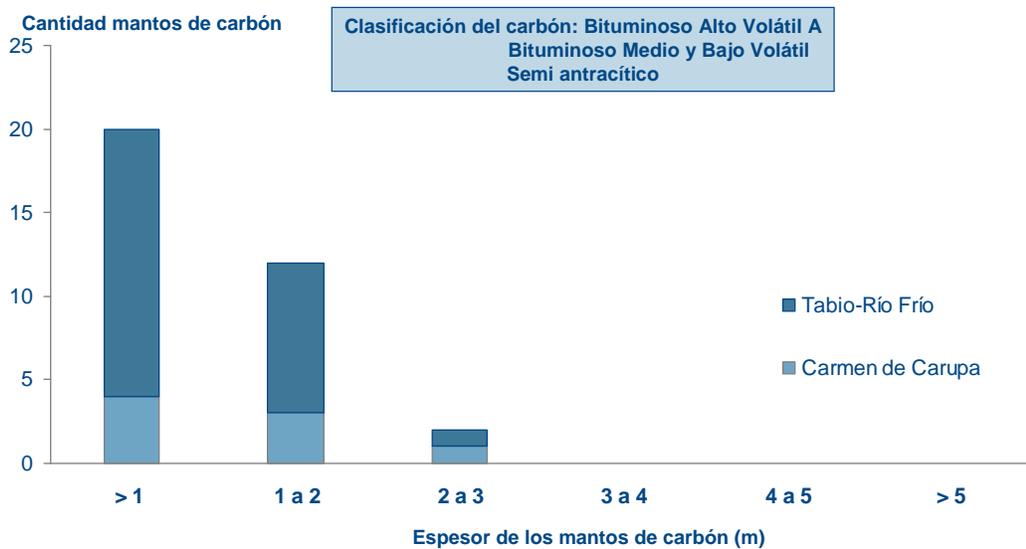
Figura 80: Región de Cundinamarca – Sub región Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá



Fuente: Ingeominas

Más del 60% de los mantos de carbón en la sub región Tabío – Río Frío – Carmen de Carupá tiene un espesor mayor a un metro (Figura 81).

Figura 81: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón Tabío – Río Frío – Carmen de Carupá



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Checua - Lenguazaque

La sub región Checua – Lenguazaque tiene una superficie de 500 km² y el carbón se localiza en la formación de Guaduas. La característica principal de la estructura es el sinclinal Checua – Lenguazaque. La sub región se localiza al nor-orienté de Bogotá.

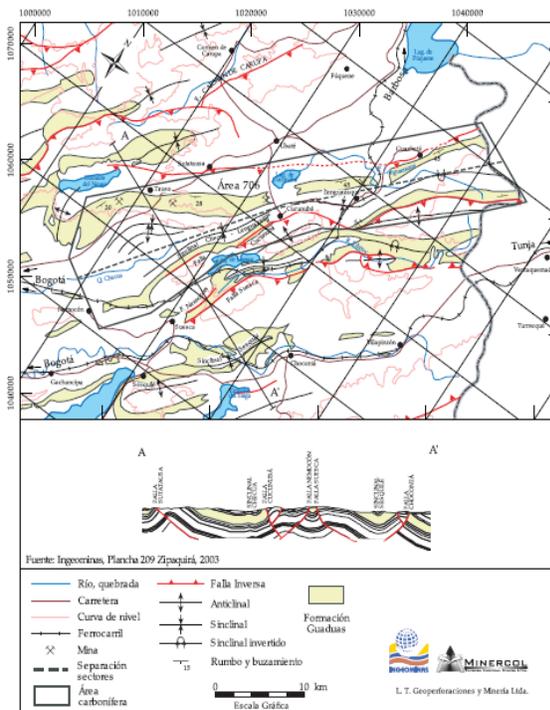
El rango del carbón es de Bituminoso Alto Volátil A y Bituminoso de Volatilidad Media y Baja.

Se identifican dos sectores en la sub región Checua - Lenguazaque: Cogua – Sutatausa – Guachetá y Lenguazaque – Cucunubá – Nemocón, ambas con carbones de explotación atractiva económicamente, en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la formación Guaduas. Las siguientes son las características de cada uno de estos niveles en cada sector:

- Cogua – Sutatausa – Guachetá
 - Ktg2: Desde el punto de vista de la minería de carbón, este nivel se considera el más importante económicamente ya que es el que contiene el carbón de mayor rango, que produce el mejor coque del sector. Estratigráficamente, hacia la base consiste de una secuencia de areniscas de grano muy fino con limolitas lodosas

- intercaladas; en la parte media presenta un dominio que alterna arenitas y lodolitas, la parte superior posee arenitas. 20 mantos de carbón.
- Ktg3: Lodolitas y limolitas lodosas de color pardo con capas delgadas de arcillolita lenticular y mantos de carbón. Hacia el medio, concreciones de siderita. En la parte superior, lodolitas de color pardo y con laminación paralela ondulada e irregular.
- Lenguaque – Cucunubá - Nemocón
 - Ktg2: Arenisca de cuarzo de grano fino a medio, intercalada con arcillolita gris. El espesor está entre 200 y 350m y hay nueve mantos de carbón
 - Ktg3: arcillolita laminada gris clara y ocasionalmente carbonácea con trazas de material vegetal, separada por un conjunto de arcillolita potente. Espesor entre 160 y 300 m. Tres mantos de carbón.

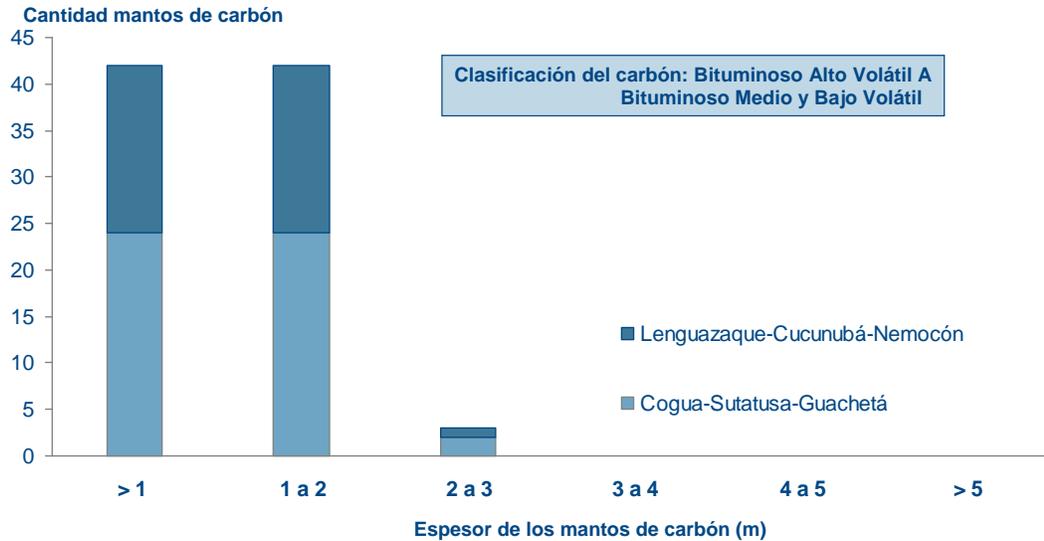
Figura 82: Región de Cundinamarca – Sub región Checua - Lenguaque



Fuente: Ingeominas

Cerca de la mitad de los mantos de carbón en la sub región Checua – Lenguaque tiene un espesor menor a 1.00 metro. (Figura 83).

Figura 83: Región de Cundinamarca – Espesor los mantos de carbón en Checua - Lenguazaque



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

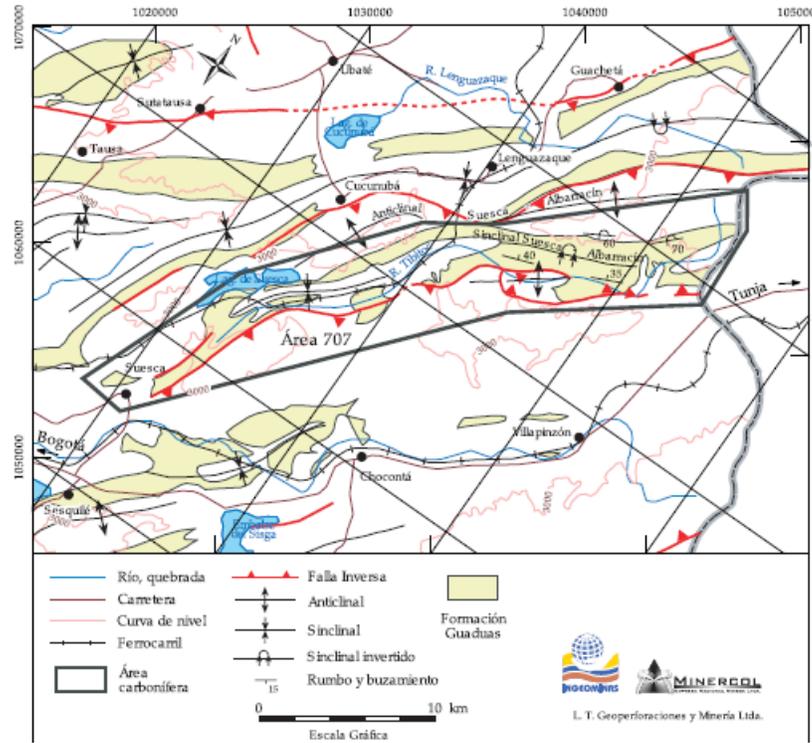
Sub región Suesca - Albarracín

Suesca – Albarracín tiene una superficie de 310 km² y el carbón se encuentra en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la formación Guaduas.

- Ktg2: El nivel más importante desde el punto de vista económico de la minería de carbón. Tiene seis mantos de carbón. Consiste de arenisca de granos finos a medios, redondeada a sub-redondeada; intercalada con arcillolita gris finamente estratificada y laminada localmente. El espesor es de 300m.
- Ktg3: Arcillolita laminada gris clara y ocasionalmente carbonácea con trazas de material vegetal, separada por un conjunto de arcillolita potente; el espesor promedio es de 300 m y tiene hasta siete mantos de carbón.

El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A, B, C.

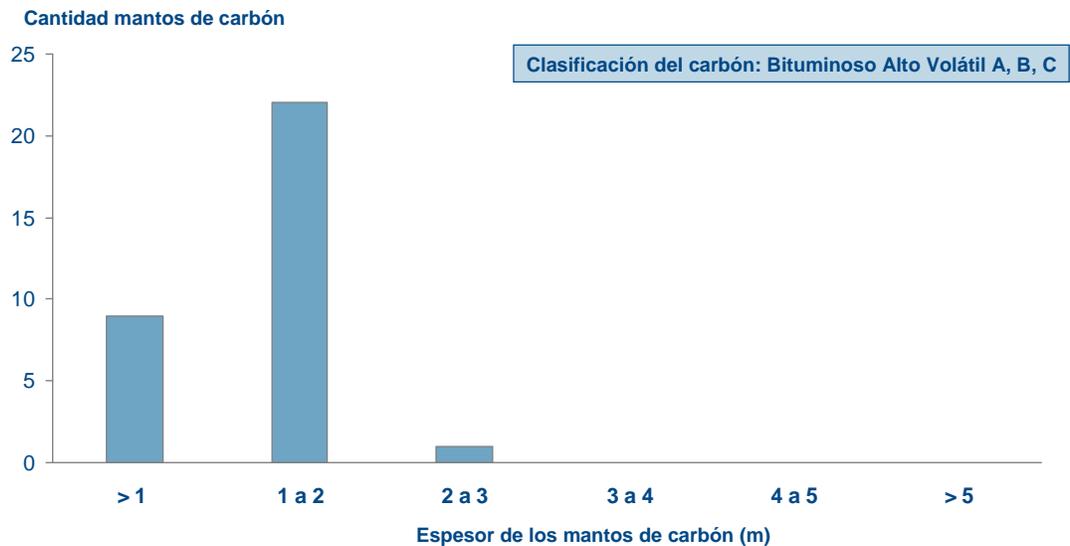
Figura 84: Región de Cundinamarca – Sub región Suesca - Albarracín



Fuente: Ingeominas

El espesor de la mayoría de los mantos de carbón está en el rango de 1 a 2 metros. (Figura 85).

Figura 85: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Suesca - Albarracín



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Zipaquirá - Neusa

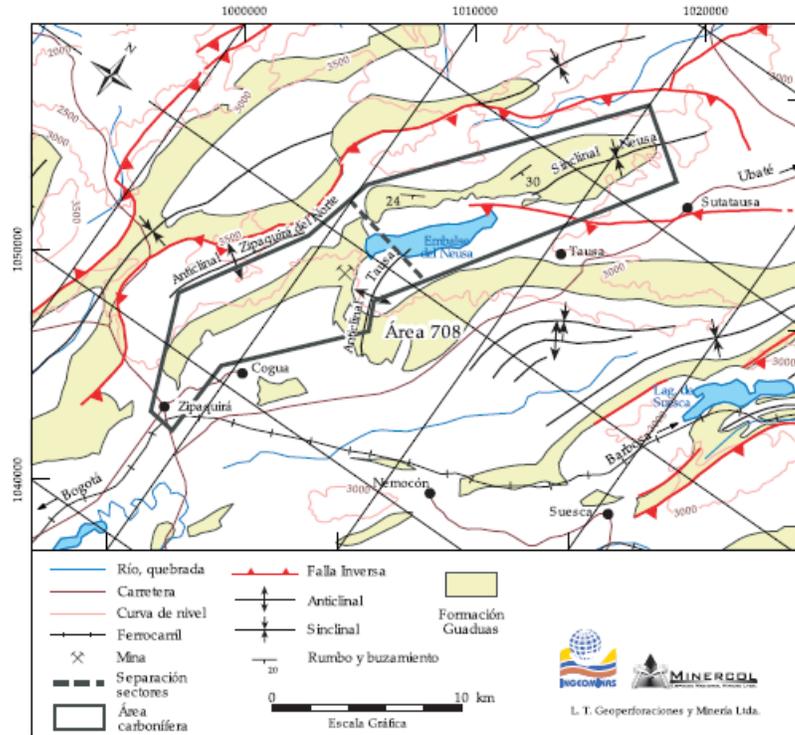
Zipaquirá - Neusa tiene una superficie de 135 km² y el carbón se encuentra en los niveles Ktg2 y Ktg3 de la formación Guaduas. La estructura principal en la sub región es el sinclinal de Neusa.

Se identifican dos sectores en la sub región Zipaquirá – Neusa:

- Zipaquirá – Embalse de Neusa: arenitas, lutitas, y mantos de carbón
- Embalse de Neusa – Vereda Lagunitas

El rango del carbón es Bituminoso Medio Volátil.

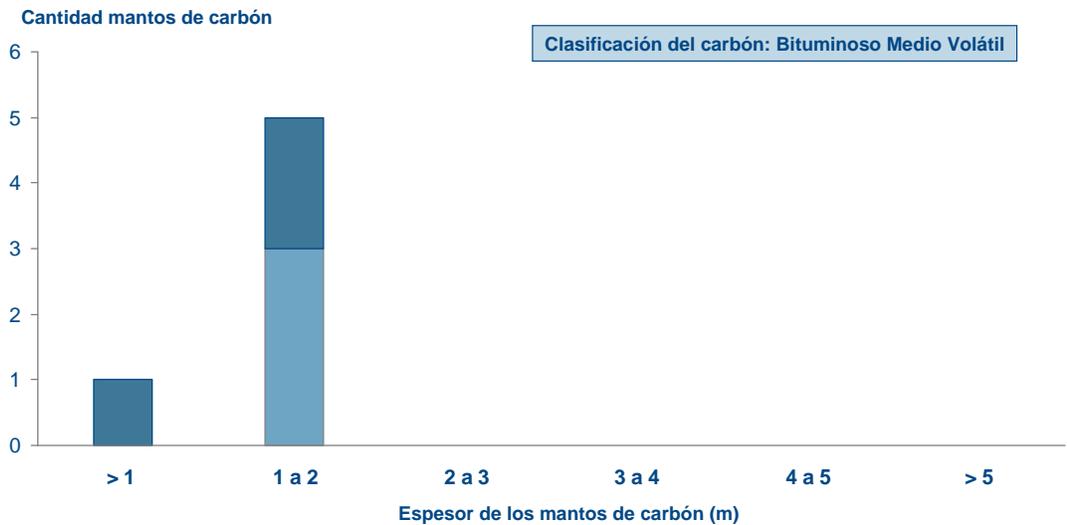
Figura 86: Región de Cundinamarca – Sub región Zipaquirá - Neusa



Fuente: Ingeominas

Cinco de mantos de carbón tienen un espesor de 1 a 2 metros en la región de Zipaquirá – Neusa. (Figura 87).

Figura 87: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón en Zipaquirá - Neusa



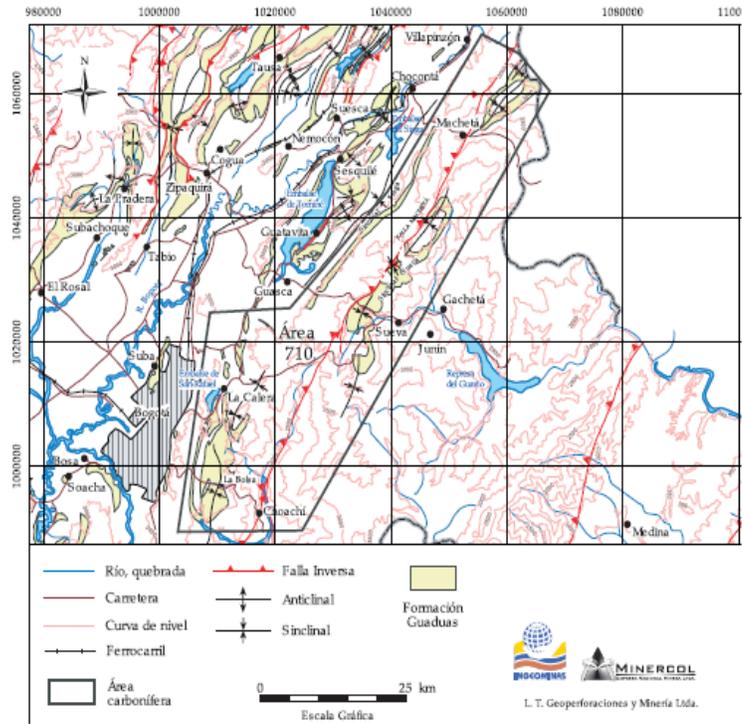
Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Páramo de la Bolsa - Machetá

Con una superficie de 1.800 km², la sub región Páramo de la Bolsa - Machetá es la más grande en la región de Cundinamarca. El carbón se encuentra en la formación Guaduas. Las principales estructuras de la sub región son las sinclinales de Sueva, Machetá, La Bolsa y Sisga.

El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil B, C y sub-bituminoso A, B, C.

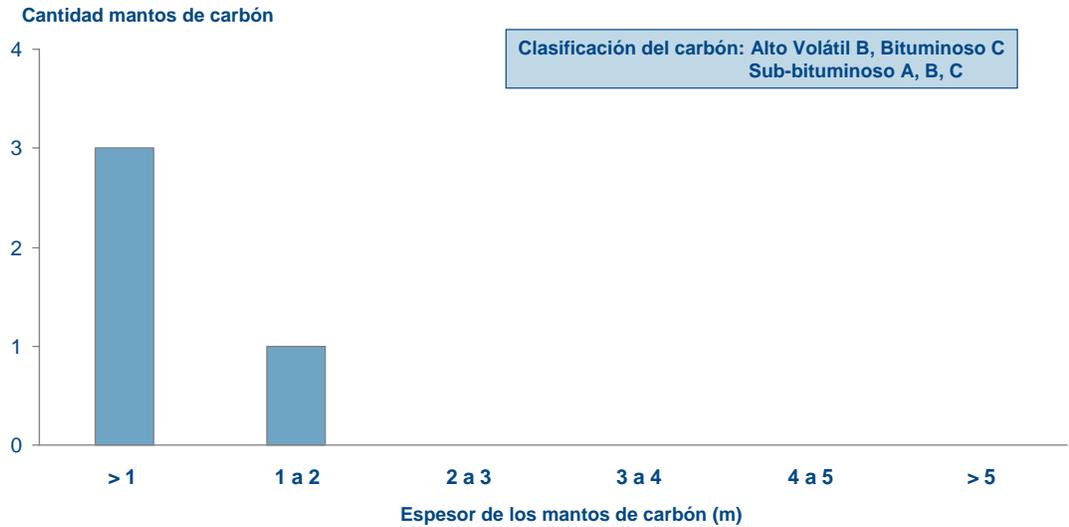
Figura 88: Región de Cundinamarca - Sub región Páramo de la Bolsa – Machtetá.



Fuente: Ingeominas

Únicamente un manto de carbón en la sub región Páramo de la Bolsa – Machtetá tiene un espesor mayor a un metro, mientras que los otros tres tienen espesores entre 0,6 y 0,9 metros. (Figura 89).

Figura 89: Región de Cundinamarca - Espesor de los mantos de carbón en Páramo de la Bolsa - Machetá



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

1.4.7 Contenido de Gas

Composición y calidad del carbón

Cundinamarca tiene carbones térmicos, metalúrgicos y de antracita con composiciones y características diferentes. Las características para cada sub región se enumeran a continuación y se pueden encontrar algunos datos en la Tabla 17 y en la Tabla 18.

- Jerusalén – Guataquí: Carbón atractivo económicamente desde el punto de vista de la minería. Adecuado para generación de vapor. Composición acorde con los estándares internacionales.
- Guaduas – Caparrapí: Carbón metalúrgico de buena calidad.
- Guatavita – Sesquilé – Chocontá: Carbón de uso térmico. Carbón duro. Adecuado para uso en calderas de fondo seco.
- Tabio – Río Frío – Carmen de Carupá: El carbón es adecuado para la producción de coque.
- Checua – Lenguaque: Apropiado para la producción de coque de alta calidad. No se requiere de pre-lavado. Adecuado para ser utilizado en calderas de fondo seco.
- Suesca – Albarracín Carbón de uso térmico. Adecuado para la producción de coque. Adecuado para ser utilizado en calderas de fondo seco.

- Zipaquirá – Neusa: Adecuado para ser utilizado en la industria del acero.
- Páramo de la Bolsa - Machetá Capacidades térmicas para la generación de vapor y calor en los sectores eléctrico e industrial.

Tabla 17: Región de Cundinamarca – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Jerusalén - Guataquí		BCA	HR	5,19	5,34	39,09	50,38	0,58	13.044
Guadas - Caparrapí		BCA	HR	4,12	5,61	22,43	67,83	0,59	12.829
Guatavita – Sesquilé - Chocontá		BCA	HR	1,98	11,23	34,88	51,91	0,91	12.682
Tabio – Río Frío – Carmen de Carupa	Carmen de Carupa	ROM	EQ + 2	3,42	12,67	20,80	63,10	1,53	13.041
	Tabio – Río Frío	ROM	EQ + 2	4,12	9,76	18,01	68,11	0,93	13.390

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Tabla 18: Región de Cundinamarca – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Checua – Lenguazaque	Cogua – Sutatausa – Guachetá	ROM	EQ + 2	3,66	9,46	26,80	60,07	0,80	13.433
	Lenguazaque – Cucucnubá - Nemocón	ROM	EQ + 2	4,67	10,62	33,85	50,86	1,06	12.718
Suesca – Albarracín	- -	ROM	EQ + 1	3,92	10,43	33,53	52,12	0,69	12.738
Zipaquirá – Neusa		BCA	HR	1,04	14,42	24,33	60,21	1,38	12.993
Páramo de la Bolsa - Machetá		ROM	HR	4,42	14,21	35,70	45,67	1,04	11.309

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

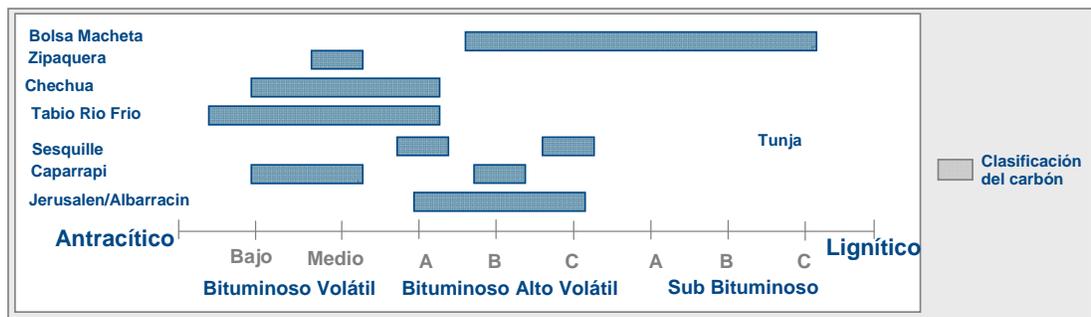
FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Rango del carbón

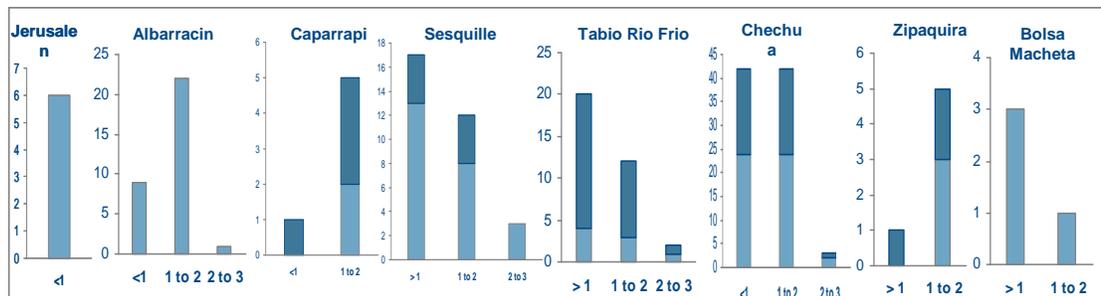
El rango del carbón varía de sub región a sub región, en las que los mantos de carbón tienen un espesor de hasta tres metros. (Figura 90 y Figura 91).

Figura 90: Región de Cundinamarca – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Figura 91: Región de Cundinamarca – Espesor de los mantos de carbón



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Los cálculos preliminares indican que Cundinamarca posee un potencial de CBM de 2.0 TCF hasta 5.0 TCF (Tabla 19). Las suposiciones principales en éste cálculo fueron las siguientes:

- El estimativo preliminar del total de carbón in situ (estimado de ADL basado en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable

- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto):

Tabla 19: Región de Cundinamarca – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Carbón potencial total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Estimado potencial de gas (TCF)	Otras fuentes – Estimado potencial de gas (TCF)
Jerusalén–Guataquí	16,05	80	295	0,02	
Guaduas–Caparrapí	61,71	310	442	0,14	
San Francisco–Subachoque-La Pedrera	126,90	635	295	0,19	
Guatavita–Sesquilé–Chocontá	203,23	1015	302	0,31	
Tabio–Río Frío–Carmen de Carupa	154,87	775	404	0,31	
Checua–Lenguazaque	712,77	3.565	331	1,18	
Suesca–Albarracín	189,53	950	287	0,27	
Zipacquirá–Neusa	17,01	85	364	0,03	
Total	1.482,07	7.415		1,96 – 2,45	5 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, Resumen del artículo en AAPG: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

Considerando el contenido de ceniza, no todos los sectores pueden tener alta permeabilidad ya que el contenido de cenizas es mayor al 10%. Tabla 20 Tabla 21

Tabla 20: Región de Cundinamarca - Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Jerusalén - Guataquí		BCA	HR	5,19	5,34	39,09	50,38	0,58	13.044
Guadas - Caparrapí		BCA	HR	4,12	5,61	22,43	67,83	0,59	12.829
Guatavita – Sesquilé - Chocontá		BCA	HR	1,98	11,23	34,88	51,91	0,91	12.682
Tabio – Río Frío – Carmen de Carupa	Carmen de Carupa	ROM	EQ + 2	3,42	12,67	20,80	63,10	1,53	13.041
	Tabio – Río Frío	ROM	EQ + 2	4,12	9,76	18,01	68,11	0,93	13.390

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil
FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Tabla 21: Región de Cundinamarca - Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Checua – Lenguazaque	Cogua – Sutatausa – Guachetá	ROM	EQ + 2	3,66	9,46	26,80	60,07	0,80	13.433
	Lenguazaque – Cucucnubá - Nemocón	ROM	EQ + 2	4,67	10,62	33,85	50,86	1,06	12.718
Suesca – Albarracín	- -	ROM	EQ + 1	3,92	10,43	33,53	52,12	0,69	12.738
Zipaquirá – Neusa		BCA	HR	1,04	14,42	24,33	60,21	1,38	12.993
Páramo de la Bolsa - Mchetá		ROM	HR	4,42	14,21	35,70	45,67	1,04	11.309

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil
FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.4.8 Resumen y conclusiones

Las características de Cundinamarca indican que es una cuenca atractiva para el desarrollo de CBM.

La sub región Checua – Lenguazaque es la más atractiva en Cundinamarca con el mayor potencial de gas. Aunque no tiene muchos mantos de carbón con un espesor mayor a 2 metros, tiene un número significativo de mantos entre 1 y 2 metros de espesor, lo que la hace atractiva para el desarrollo de CBM. Aunque el rango del carbón es alto, éste puede estar en el rango de sobre-maduración, reduciendo la permeabilidad.

Figura 92: Región de Cundinamarca – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Jerusalén–Guataquí					
Guaduas–Caparrapí					
San Francisco–Subachoque-La Pedrera		<i>n/a</i>	<i>n/a</i>		
Guatavita–Sesquilé–Chocontá					
Tabio–Río Frío–Carmen de Carupa					
Checua–Lenguazaque					
Suesca–Albarracín					
Zipaquirá–Neusa					
Cundinamarca					

Fuerte Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

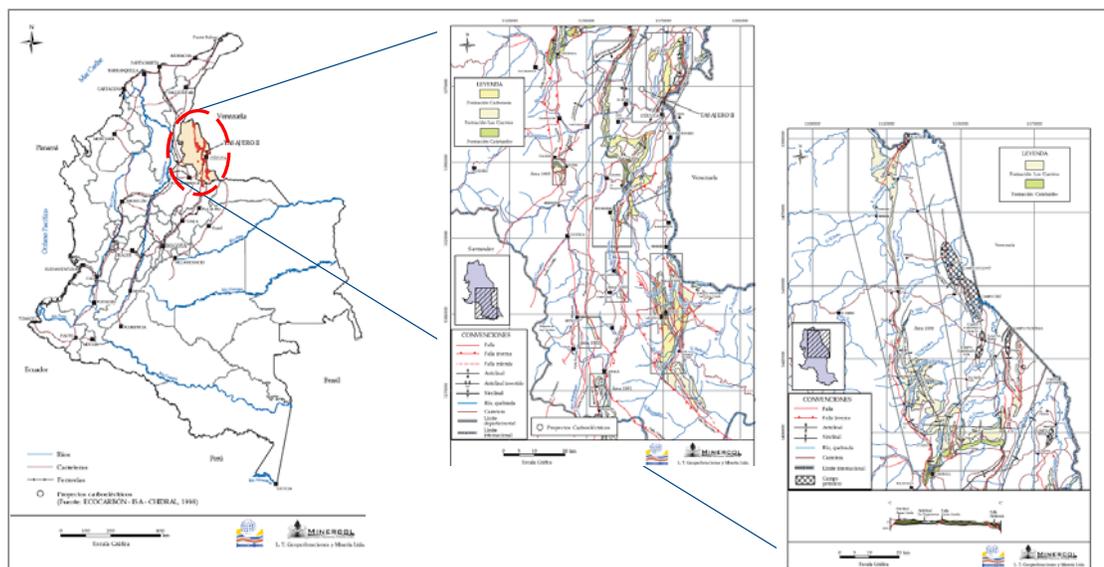
1.5 Región de Norte de Santander

La región de Norte de Santander se encuentra en el nor-oriente de Colombia (Figura 93), donde la Cordillera Oriental se divide en dos áreas: La Cordillera de Mérida y la Sierra de Los Motilones. Su superficie es de 21.658 km² y limita al norte y al oriente con Venezuela, al sur con Boyacá y Santander y al occidente con Santander y Cesar. Esta región incluye el carbón que emerge en el departamento de Norte de Santander

El carbón se encuentra en las formaciones de Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera. El espesor máximo de la cubierta sedimentaria es mayor a 4.000m. La región de Norte de Santander es una cuenca formada por la colisión de las placas del Caribe y la Sur Americana durante el Mioceno – Plioceno Tardíos. La cubierta sedimentaria productiva de la Cuenca del Catatumbo se compone de rocas que varían desde el Cretáceo bajo hasta el presente.

La tectónica de compresión se refleja mediante la presencia de fallas inversas en sus márgenes, las cuales incluyen fallas de basamento y de ángulo bajo, que se separan en ciertos periodos pelíticos de las formaciones Cretáceas altas de Mito-Juan y Colón.

Figura 93: Ubicación de la Región de Norte de Santander



Fuente: Ingeominas

1.5.1 Método para la extracción del carbón

En la región de Norte de Santander, el método de extracción del carbón es primordialmente subterráneo.

Son predominantes las operaciones de pequeña escala, sin exceder el 80% de la producción de la región de 6.000 toneladas / año. El nivel de modernización es bajo, al igual que la calidad y extensión de la infraestructura de carreteras y de los servicios básicos.

Las minas más representativas de esta región son: Primer Presidente y Prominorte, en el municipio de Cúcuta; El Guayabo y Mestiza en el municipio del Zulia; El Futuro y La Quiracha, en el municipio de Santiago; Los Laches y La Sorzana, en el municipio de Bochalema; La Nueva Don Juana, en el municipio de Chinácota; y Algeria en el municipio de San Cayetano.

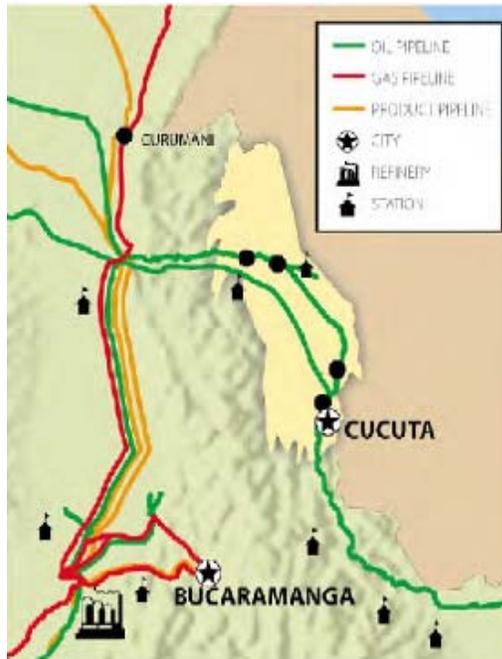
1.5.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

Las áreas carboníferas de Norte de Santander tienen carreteras que permiten el transporte del producto a diferentes centros urbanos en toda Colombia.

La región también se vincula al puerto de Barrancabermeja, el cual es un sistema de transporte que combina vía fluvial y ferroviaria.

Figura 94: Infraestructura en la Región de Norte de Santander



Fuente: Ingeominas

Aspectos del medio ambiente

La región de Norte de Santander se divide en ocho áreas carboníferas, cuatro de las cuales se encuentran en el Macizo Santandereano y cuatro en la penillanura y paisaje de colinas, limitando al este con Venezuela y al norte con el Catatumbo. Las áreas carboníferas se han dividido en sectores y bloques de acuerdo con sus características estructurales y estratigráficas locales.

Los principales problemas ambientales tienen que ver con la contaminación de las corrientes de agua por la minería, la alteración y desecamiento de los cuerpos de agua, la deforestación y la generación de procesos erosivos. También existe contaminación del aire causada por los procesos de coquizado del carbón y la producción de ladrillos y cemento.

Las restricciones ambientales en la reserva forestal de la Serranía de los Motilones se aplican a la región de Norte de Santander.

Aspectos sociales

En cuanto al porcentaje de necesidades básicas insatisfechas en la región de Norte de Santander, con la excepción de los municipios de Cúcuta, Chinácota y Bochalema, todos

los demás tienen tasas por encima del promedio nacional. Las cifras son especialmente altas para Sardinata, El Zulia y Tibú, donde las necesidades básicas insatisfechas están por encima del 50%. (*Datos de Minercol, 1997*)

Entre los factores que afectan los aspectos sociales de esta región se destacan la falta de organización empresarial, el alto grado de la minería ilegal, las condiciones laborales inestables, el bajo nivel de bienestar social, ingresos bajos de la minería que se deben a deficiencias tecnológicas y de producción que son característicos de la minería a pequeña escala en la región. Una de las carencias marcadas para este tipo de minería en la región se refiere a la falta de personal y equipo para la seguridad minera.

Las empresas mineras mejor organizadas tienen entre 30 a 40 trabajadores con salarios y beneficios apropiados. El nivel educativo de la minería es generalmente bajo. Se han establecido distintos grupos cooperativos en la región de Norte de Santander con el fin de promover el desarrollo sostenible de la minería en los campos tecnológicos, productivos, ambientales y socioeconómicos.

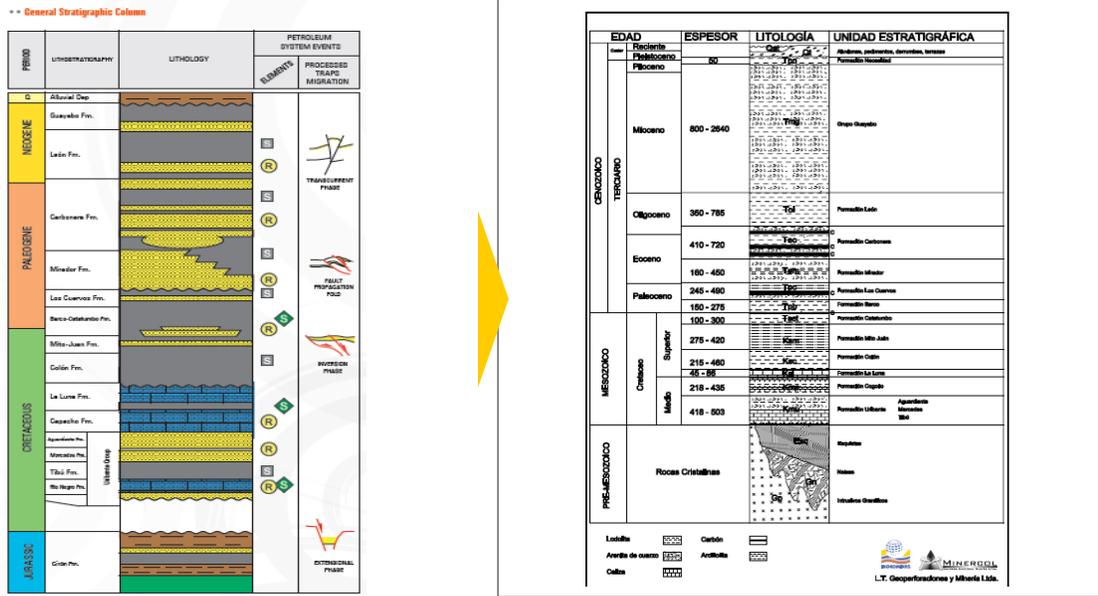
El nivel bajo de mecanización es generalizado en la minería subterránea de la región de Norte de Santander, lo que ocasiona un alto uso de mano de obra no calificada. Las cifras cambian constantemente dependiendo de la demanda del mercado.

En la región carbonífera de Norte de Santander, especialmente en el área carbonífera del Catatumbo, existe la comunidad indígena de los Motilenos que fue fundada en 1998.

1.5.3 Columna estratigráfica

Norte de Santander consiste de las formaciones de Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera. (Figura 95).

Figura 95: Columna estratigráfica para la Región de Norte de Santander



Fuente: Ingeominas, Colombia Open Round 2010 – Catatumbo, análisis Arthur D. Little

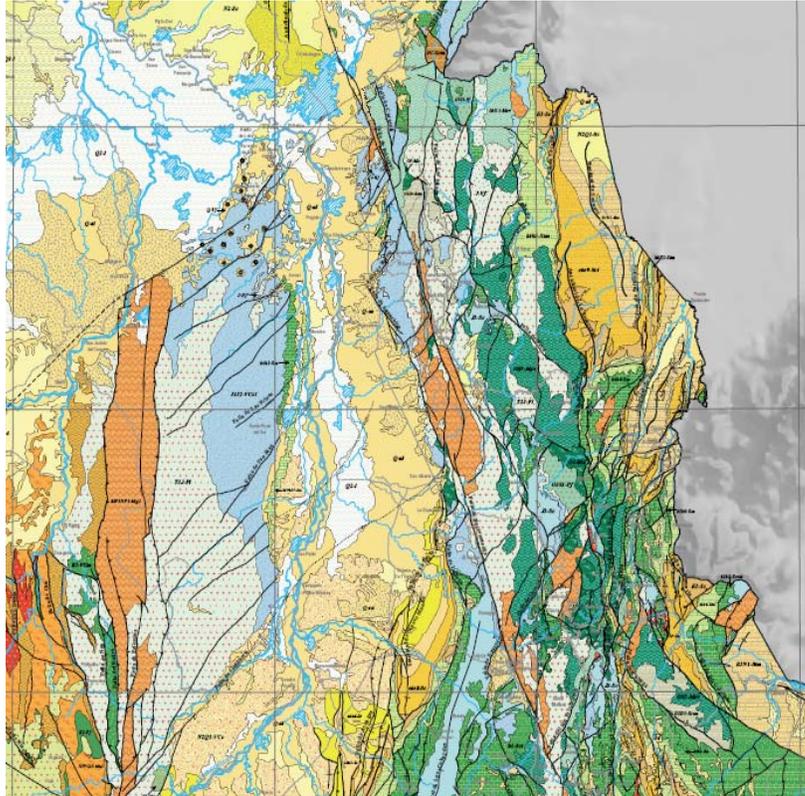
Las tres formaciones en las que se encuentra el carbón en la región de Norte de Santander tienen características diferentes:

- Catatumbo. Lodolitas negras, carbonáceas, intercaladas con arenitas finas de cuarzo, con espesor entre 100 y 270 m; se han identificado mantos de carbón en la parte media. Se superpone a la formación Mito Juan y se le asigna una edad del Maastrichtiano superior.
- Los Cuervos. Arcillolitas grises a gris-verdosas, con intercalaciones de arenitas de cuarzo, la parte inferior se caracteriza por la presencia de mantos de carbón y la arcillolita se vuelve gris oscura, intercalada con limolita y areniscas de grano fino. En la cima, la arcillolita se vuelve roja, amarilla, y púrpura. Su espesor varía entre 250 y 490m. Se considera que su edad va de Paleoceno medio y superior hasta Eoceno inferior.
- Formación Carbonera. Series gruesas de arcillolita que va de gris a gris verdoso y arenisca, con presencia de carbón en las partes superior e inferior. El espesor varía entre 400 y 720 m. Edad desde Eoceno Superior a Oligoceno Inferior.

En la región de Norte de Santander el 53% de los mantos de carbón estudiados tienen un espesor mayor a 1 metro.

1.5.4 Geología

Figura 96: Mapa geológico de la Región de Norte de Santander



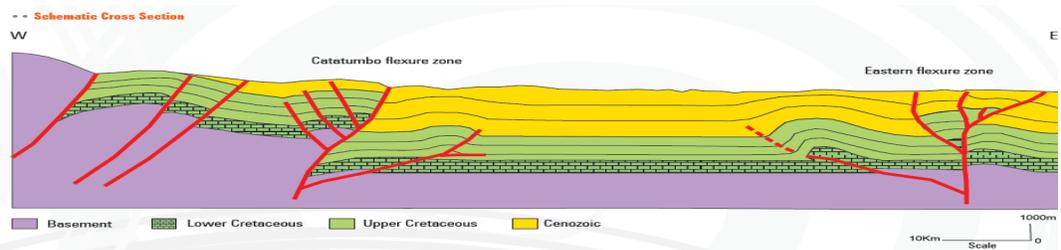
Fuente: Ingeominas 2004

El área entre las tendencias estructurales mayores es relativamente ininterrumpida y puede ser altamente prospectiva para la producción de CBM. (Figura 97).

El carbón se localiza en las formaciones de Los Cuervos y Catatumbo, lo que coloca los carbones en profundidades adecuadas en las áreas sinclinales para la acumulación de CBM y para la explotación comercial. Los carbones se localizan en la sección de, o justo arriba del límite Cretáceo – Terciario.

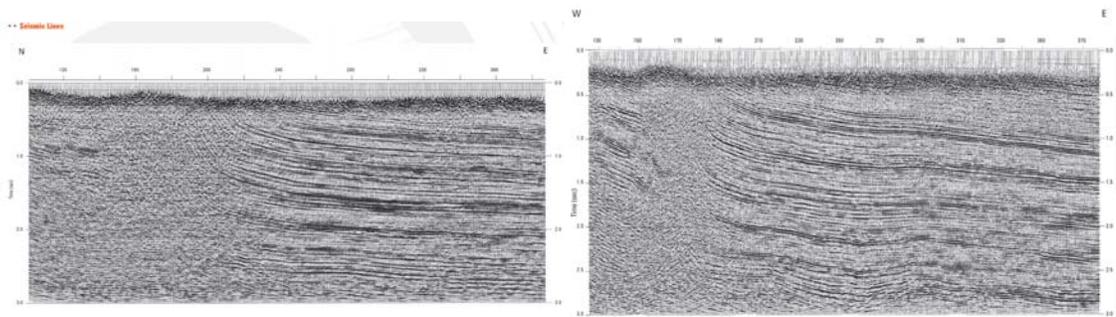
La estructura entre las fallas de Oca y Caio es relativamente simple, lo que la hace atractiva para el desarrollo de CBM.

Figura 97: Perfil geológico de la sub cuenca de Norte de Santander



Fuente: Colombia Open Round 2010 - Catatumbo

Figura 98: Líneas de sísmica representativas de la Región de Norte de Santander



Fuente: Colombia Open Round 2010 – Cesar Ranchería

Excepto por las partes más profundas de la Cuenca, se puede encontrar el carbón a profundidades adecuadas para el desarrollo del CBM.

Se deben adquirir datos sísmicos adicionales para tener una mejor imagen de secciones perspectivas y delinear las áreas para perforación prospectiva.

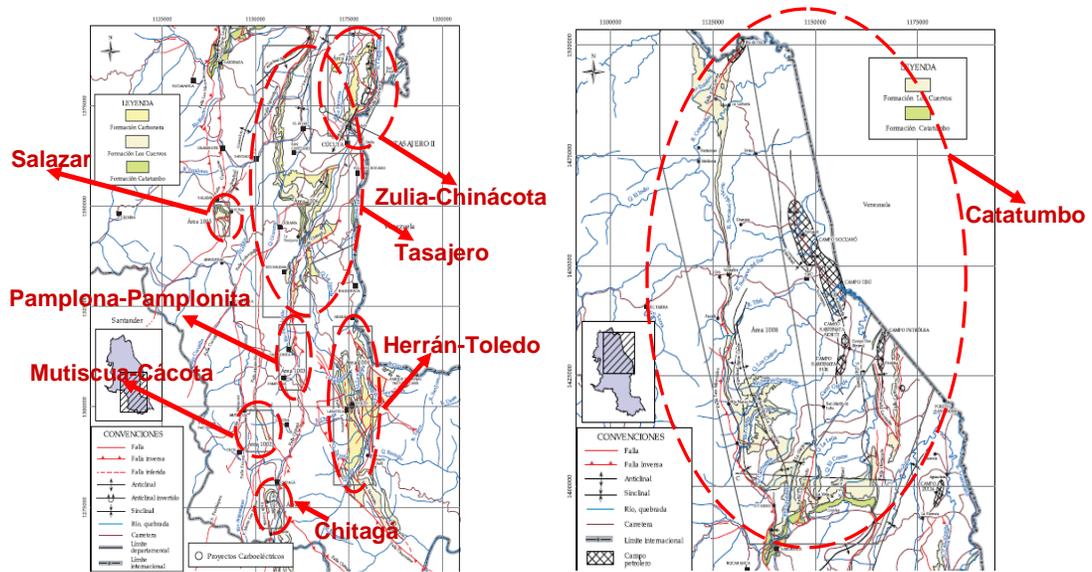
1.5.5 Sub regiones

Se han establecido ocho áreas carboníferas en la región de Norte de Santander (Figura 99). Estas áreas se definen de sur a norte como:

- Chitagá
- Mutiscua - Cécota
- Pamplona – Pamplonita
- Herrán - Toledo
- Salazar

- Tasajero
- Zulia - Chinácota
- Catatumbo.

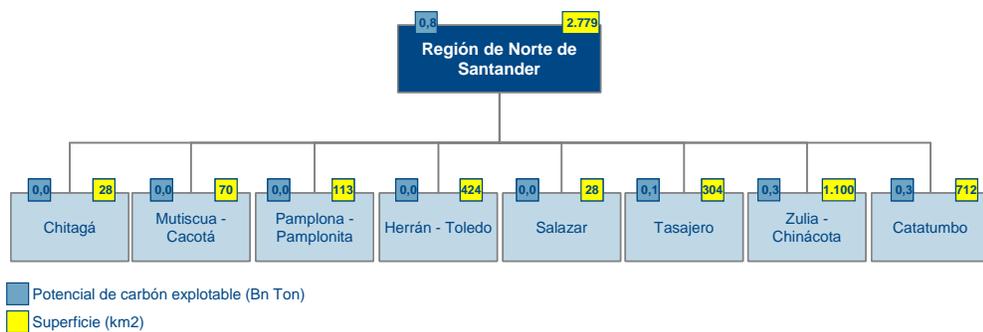
Figura 99: Sub regiones de la Región de Norte de Santander



Fuente: Ingeominas

La región de Norte de Santander tiene una superficie total de 2.779 km² y un potencial minero de carbón de 0,8 Bn de Toneladas. (Figura 100).

Figura 100: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Norte de Santander



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

La región de Norte de Santander tiene un potencial minero de carbón de 795 MM de Toneladas. (Tabla 22). La Producción en el año 2003 fue de 1,55 MM de Toneladas. En esta región se produce principalmente carbón térmico, metalúrgico, y carbón de antracita.

Tabla 22: Potencial de carbón explotable en la Región de Norte de Santander

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos explotables hipotéticos (MM Ton)	Potencial explotable (MM Ton)
	Medidos	Indicados	Inferidos		
Chitagá	0,66	1,98	7,40	--	10,04
Mutiscua-Cácota	1,56	0,66	0,16	--	2,38
Pamplona-Pamplonita	2,79	6,25	4,83	--	13,87
Herrán-Toledo	4,78	14,63	9,17	--	28,58
Salazar	7,71	15,50	5,80	--	29,01
Tasajero	14,18	29,51	50,23	--	93,92
Zulia-Chinácota	40,05	124,15	103,20	--	267,40
Catatumbo	47,96	121,66	179,98	--	349,59
Total	119,69	314,34	360,77	--	794,79

Potencial de carbón explotable = 795 MM Ton

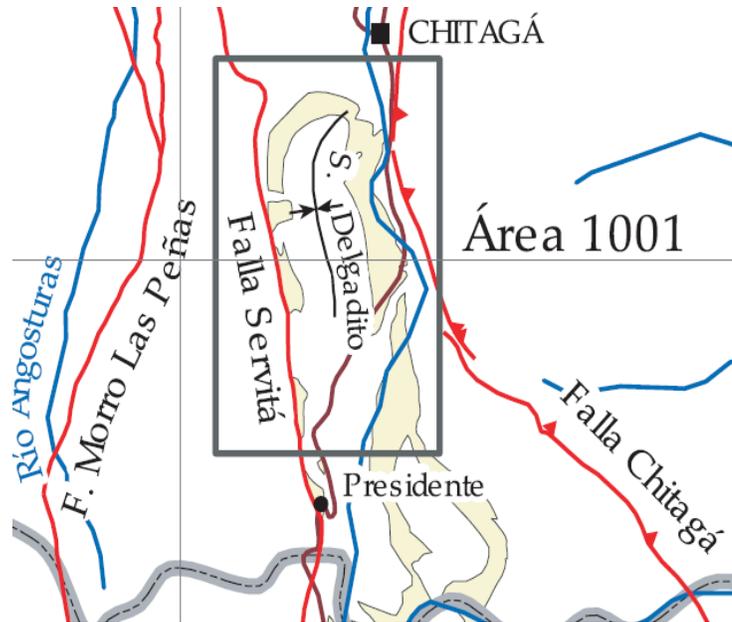
Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Chitagá

La sub región Chitagá se encuentra en el suroccidente de la región de Norte de Santander (Figura 101); tiene una superficie de 28 km². La estructura principal en la sub región es el sinclinal de Delgadito.

El rango del carbón es Bituminoso Bajo Volátil y Antracita.

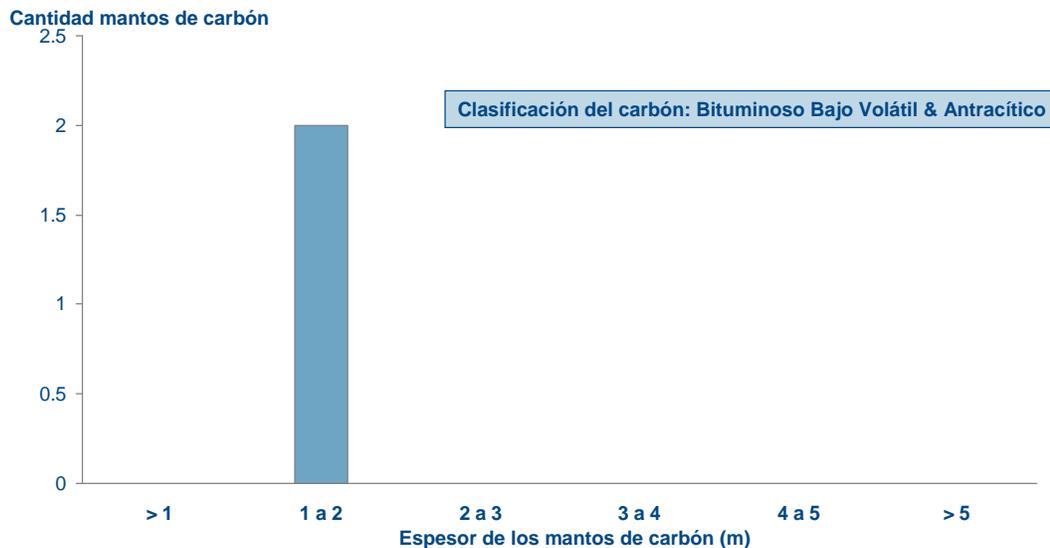
Figura 101: Región de Norte de Santander – Sub región Chitagá



Fuente: Ingeominas

En 300 m de profundidad explotable, el área de Chitagá tiene dos mantos de carbón con espesor que varía de 1 a 2 metros. (Figura 102).

Figura 102: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Chitagá

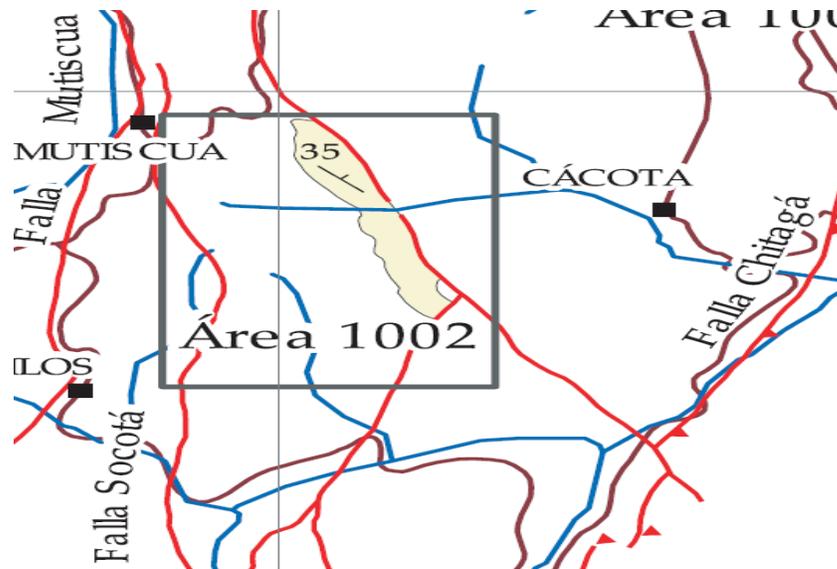


Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Mutiscua - Cécota

Mutiscua – Cécota tiene una superficie de 70 km² y el carbón se encuentra en la formación Los Cuervos. Se encuentra localizada al sur de la ciudad de Cúcuta (Figura 103).

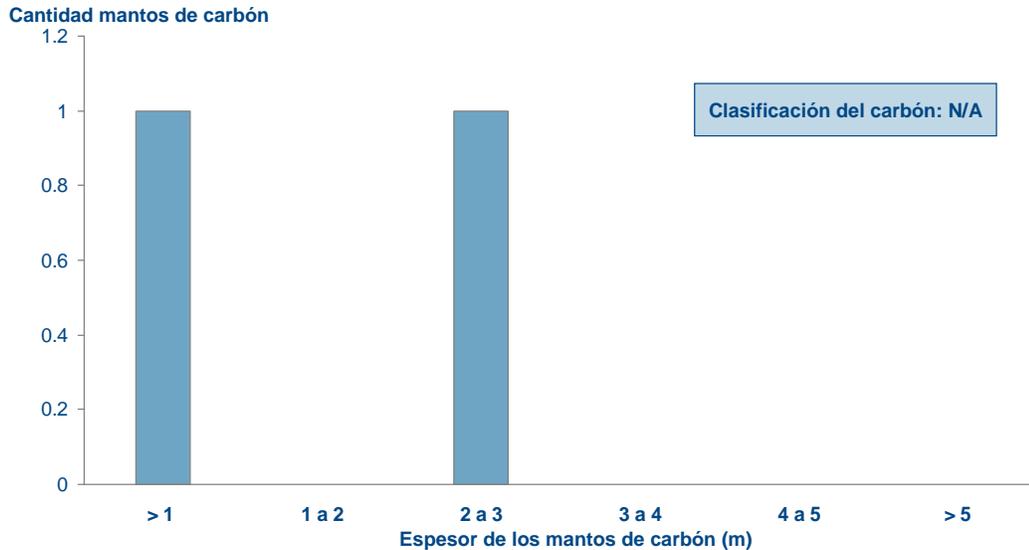
Figura 103: Región de Norte de Santander – Sub región Mutiscua - Cécota



Fuente: Ingeominas

En la profundidad explotable de la sub región Mutiscua – Cécota hay dos mantos de carbón con un rango de espesor de 2,00 a 3,00 metros y menos de 1,00 metro respectivamente. (Figura 104).

Figura 104: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Mutiscua - Cácuta



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Pamplona - Pamplonita

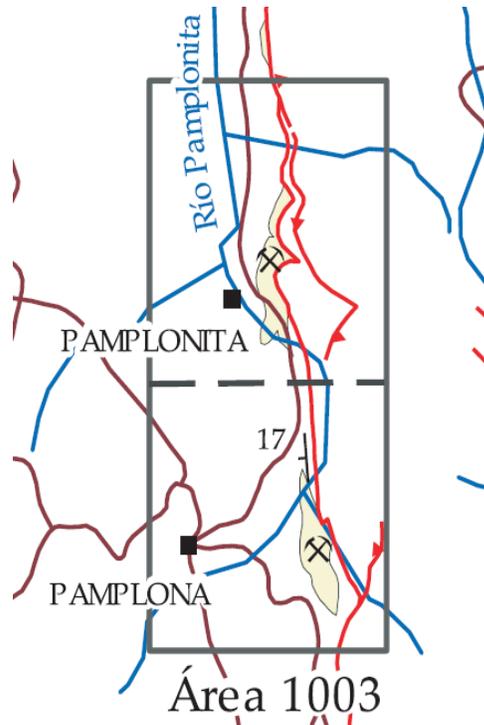
La sub región Pamplona – Pamplonita tiene una superficie de 113 km² (Figura 105) y se divide en dos sectores: Pamplona y Pamplonita. La principal estructura de la sub región es el sinclinal de Pamplonita. El rango de carbón es de Bituminoso Alto Volátil A.

Los principales ríos en la región son los afluentes del río Pamplona.

Las características principales de los dos sectores en la sub región son:

- Sector de Pamplonita
 - Localización: Norte de la región Pamplona - Pamplonita
 - Superficie: 60 km²
 - La formación de Los Cuervos consiste de arcillolitas grises a gris oscuras, a veces carbonáceas, limolitas grises, areniscas de grano fino y mantos de carbón.
 - Se han identificado cinco mantos de carbón hacia el medio y el fondo de la secuencia.
 - Espesor: 80 a 300m
- Sector de Pamplona
 - Localización: Sur de la región Pamplona - Pamplonita
 - Superficie: 53 km²
 - Carbones en la formación Los Cuervos

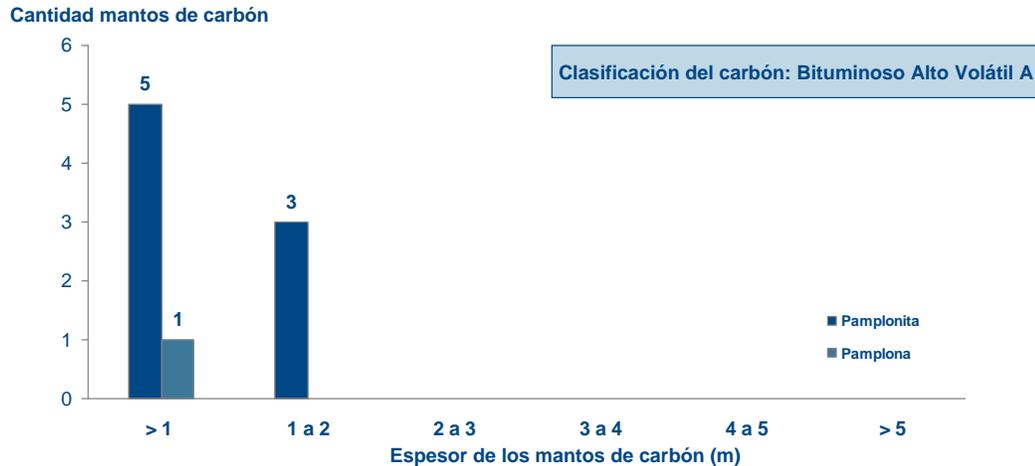
Figura 105: Región de Norte de Santander – Sub región Pamplona-Pamplonita



Fuente: Ingeominas

A profundidad explotable, seis de nueve de los mantos de carbón en Pamplona - Pamplonita tienen menos de 1 metro de espesor, mientras que el resto de los mantos de carbón tienen un espesor de más de un metro en el sector de Pamplonita. (Figura 106).

Figura 106: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Pamplona-Pamplonita



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Herrán-Toledo

La sub región Herrán Toledo tiene una superficie de 424 km² en la que el carbón se encuentra en las formaciones de Los Cuervos y Carbonera. La sub región tiene dos sectores como indica su nombre (Figura 107). El rango del carbón es Bituminoso Medio Volátil.

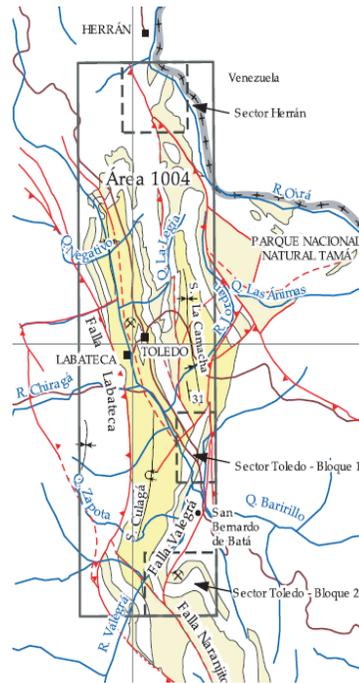
El sector de Toledo tiene una superficie de 41,5 km² con mantos de carbón localizados en la formación Los Cuervos. El sector de Herrán tiene una superficie de 26 km² con mantos de carbón que se encuentran en ambas formaciones (dos en Los Cuervos y uno en la formación Carbonera).

Las principales corrientes en la región son los ríos Culaga, Jordán y Oirá, y La Lejía y Valegrá.

Las siguientes son las características principales de las formaciones que sostienen el carbón en la sub región:

- Formación Los Cuervos
 - Arcillolitas grises a gris oscuro, a veces carbonáceas, limolitas grises, areniscas de grano fino y hasta seis mantos de carbón.
 - Espesor: 80 a 300m
- Formación Carbonera
 - No se describe ya que su conocimiento aún es preliminar

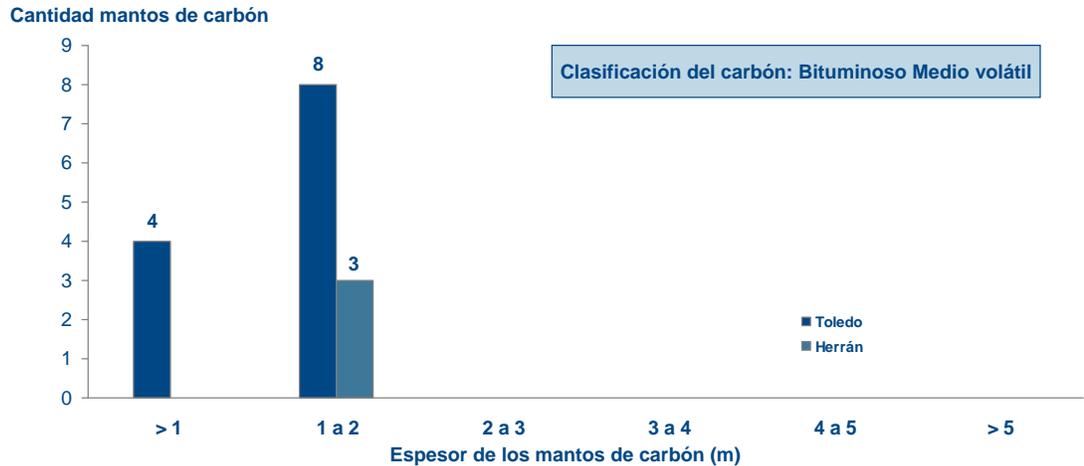
Figura 107: Región de Norte de Santander – Sub región Herrán - Toledo



Fuente: Ingeominas

El espesor de los mantos de carbón en el sector Herrán - Toledo es menor a 2 metros.(Figura 108).

Figura 108: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Herrán - Toledo



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Salazar

La sub región Salazar tiene una superficie de 28 km² en la cual se encuentra el carbón en las formaciones de Los Cuervos y Catatumbo. La estructura principal en la sub región es el Domo Santiago. El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A.

Las principales Corrientes de la región son el río Salazar y sus afluentes.

La sub región Salazar tiene tres sectores. (Figura 109).

- Sector Norte
 - Superficie: 11,2 km²
 - Carbón en las formaciones Los Cuervos y Catatumbo
 - Estructura principal: Sinclinal La Tigra (Noroeste – Sudeste)
- Sector Central
 - Superficie: 8,4 km²
 - Carbones en la formación Los Cuervos
 - Espesor de la formación: 50 m
- Sector Sur
 - Superficie: 8 km²
 - Carbón en la formación Los Cuervos

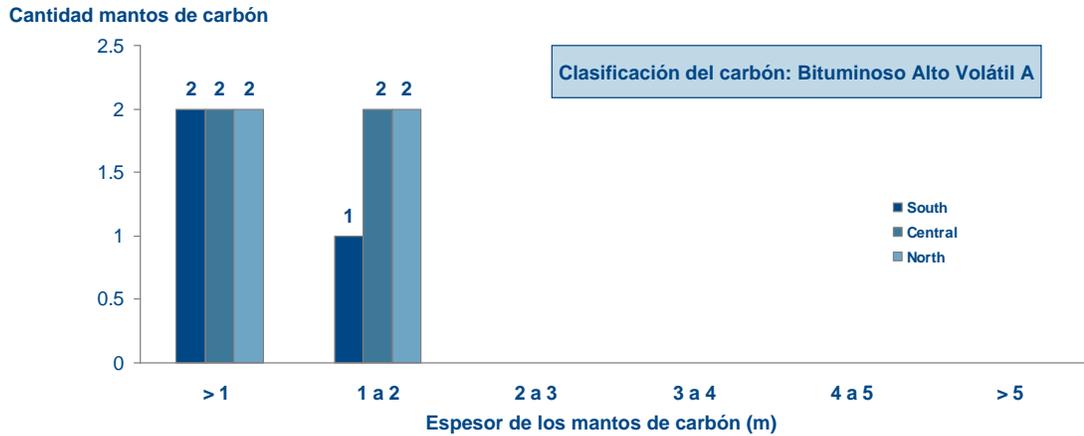
Figura 109: Región de Norte de Santander – Sub región Salazar



Fuente: Ingeominas

El espesor de los mantos de carbón en la sub región Salazar no excede más de 2 metros. (Figura 110).

Figura 110: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Salazar

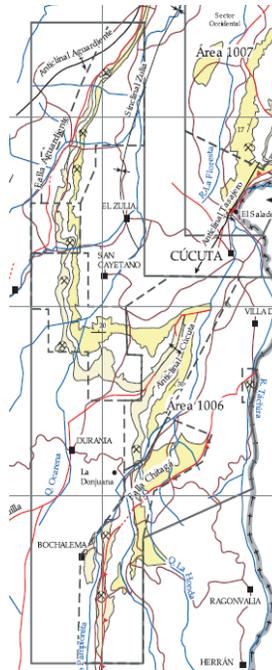


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Tasajero

Tasajero tiene una superficie de 304 km² y se divide en tres sectores con mantos de carbón localizados en las formaciones Los Cuervos y Carbonera. El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A. Los tres sectores son: Oriental, Occidental y Sur. (Figura 111).

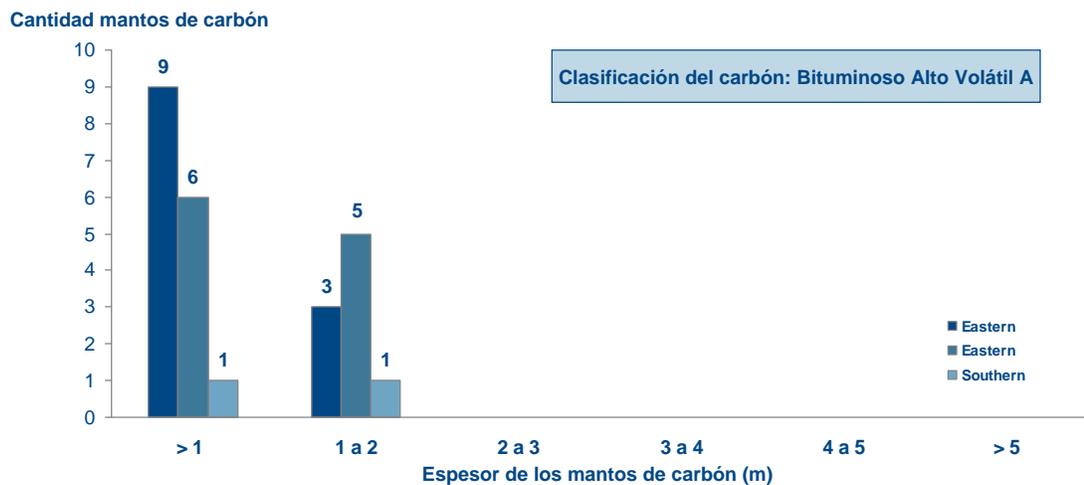
Figura 111: Región de Norte de Santander – Sub región Tasajero



Fuente: Ingeominas

El espesor de los mantos de carbón en la sub región Tasajero no excede más de 2 metros. (Figura 112).

Figura 112: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Tasajero



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Zulia – Chinácota

Zulia – Chinácota tiene una superficie de 1.100 km² (Figura 113) con carbón en las formaciones de Los Cuervos, Carbonera y Catatumbo. El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A y Bituminoso Medio Volátil. Las estructuras principales son el sinclinal de Zulia y la anticlinal de Cúcuta.

La topografía de la sub región se caracteriza por desechos fuertes de las formaciones de Barco y Mirador, predominantemente de arenisca y una morfología suave y ondulada con laderas moderadas debido a las formaciones Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera cuya composición es predominantemente de arcillolita.

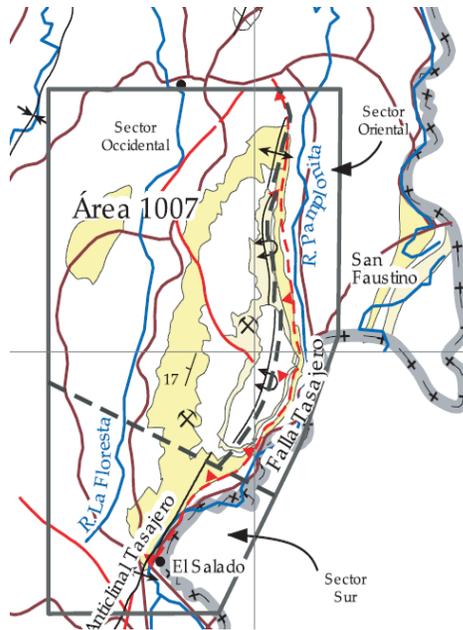
Las principales Corrientes en la sub región son los ríos Pamplonita y El Zulia.

Se pueden identificar seis sectores en la sub región Zulia - Chinácota: Zulia Sur, Santiago, San Cayetano, San Pedro, Chinácota y Villa del Rosario.

Las siguientes son las características principales de las formaciones que llevan el carbón:

- Formación Los Cuervos
 - Arcillolita gris, a veces carbonácea, limolitas grises, areniscas de grano fino y cuatro mantos de carbón localizados en la mitad inferior.
 - Espesor: 80 a 450m
- Formación Carbonera
 - Arcillolita gris a gris verdosa, intercalada con areniscas de grano fino y capas delgadas ocasionales de sedimento y seis mantos carboníferos localizados en el fondo y cima de la formación.
 - Espesor promedio: 500 m

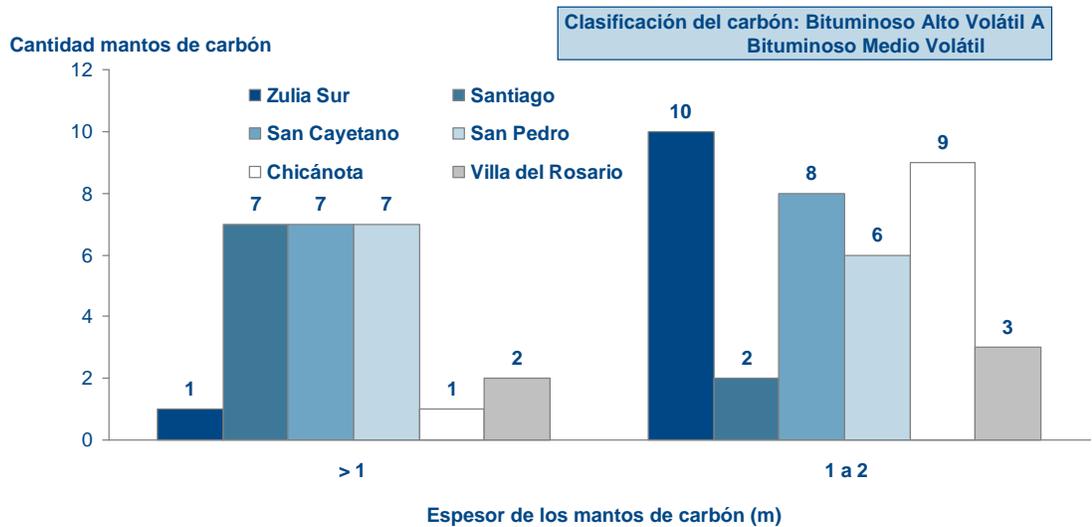
Figura 113: Región de Norte de Santander – Sub región Zulia - Chinácota



Fuente: Ingeominas

Hay un número significativo de mantos de carbón que tienen un espesor entre 1 a 2 metros en la sub región Zulia – Chinácota. (Figura 114).

Figura 114: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Zulia - Chinácota



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Catatumbo

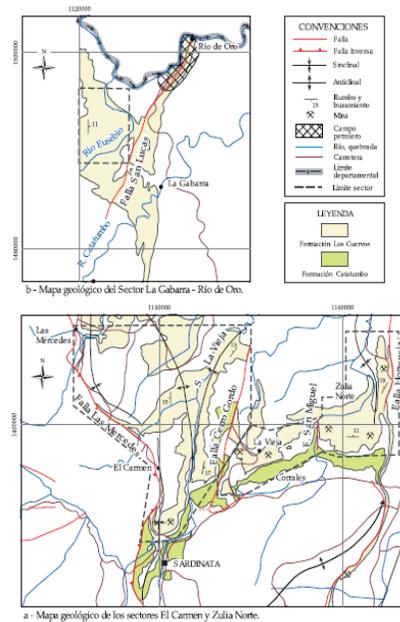
Con una superficie de 712 km², el Catatumbo se divide en tres sectores: La Gabarra – Río de Oro, Zulia Norte – Sardinata y El Carmen. (Figura 115).

Las principales Corrientes en la región son los ríos Zulia, Sardinata, Tibú, Socuavó, Catatumbo y Oro; y las quebradas El Carmen y Cartagena.

A continuación se enumeran las características de los tres sectores de la sub región:

- La Gabarra – Río de Oro
 - Superficie: 42 km²
 - Carbón en la formación Los Cuervos
- Zulia Norte - Sardinata
 - Superficie: 126 km²
 - Carbón en la formación Los Cuervos
- El Carmen
 - Superficie: 566 km²
 - Carbón en la formación Los Cuervos

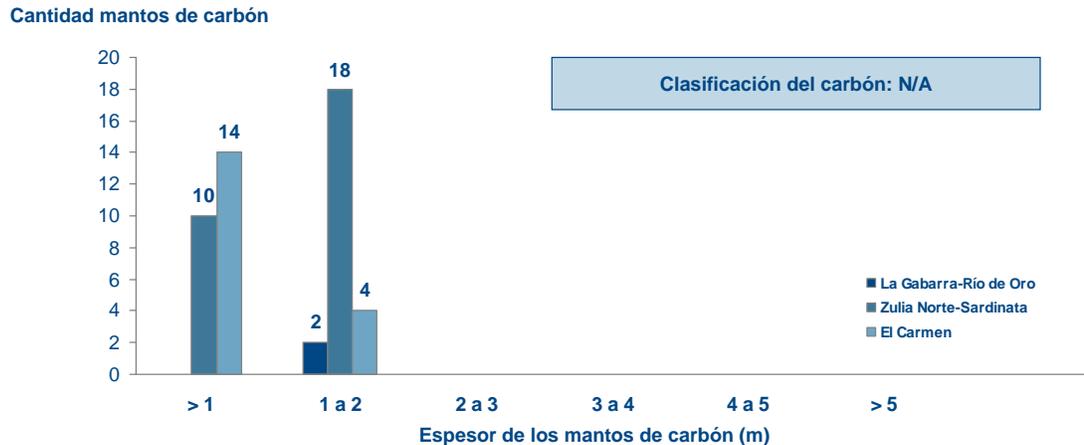
Figura 115: Región de Norte de Santander – Sub región Catatumbo



Fuente: Ingeominas

El 50% del espesor de los mantos de carbón en la región del Catatumbo es menor a 1.00m mientras que el restante 50% de espesor es menor a 2.00m. (Figura 116).

Figura 116: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Catatumbo



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.5.6 Contenido de Gas

Composición y calidad del carbón

Algunos carbones en la región de Norte de Santander muestran un alto contenido de azufre o de cenizas, lo que puede llevar a la formación de componentes corrosivos y gases venenosos. Tabla 23 Tabla 24

Tabla 23: Región de Norte de Santander – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base	EQ + 1	%					
Chitagá	--	ROM	EQ + 1	3,29	12,59	12,90	71,22	1,44	12.804
Pamplona - Pamplonita	--	ROM	EQ + 1	2,96	9,97	36,15	50,92	1,34	13.199
Herrán - Toledo	--	ROM	EQ + 1	2,31	7,46	26,99	63,24	0,83	14.120
Salazar	--	ROM	EQ + 1	3,76	9,46	36,81	49,96	0,62	12.762
Tasajero	Este	ROM	EQ + 1	2,84	10,17	34,82	52,18	0,85	13.326
	Oeste	ROM	EQ + 1	2,56	7,65	33,67	56,12	0,85	13.925
	Sur	ROM	EQ + 1	2,42	17,10	34,59	45,89	0,89	12.291

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil
FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Tabla 24: Región de Norte de Santander – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Zulia - Chinácota	Zulia Sur	ROM	EQ + 1	3,36	11,90	35,29	49,45	1,27	12.967
	Santiago, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,71	5,95	30,55	60,80	0,71	14.153
	Santiago, Carbonera	ROM	EQ + 1	8,33	17,06	28,67	47,33	0,62	9.911
	San Cayetano, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,02	12,12	26,66	59,20	1,43	13.324
	San Cayetano, Carbonera	ROM	EQ + 1	2,17	18,05	36,61	43,17	0,78	11.410
	San Pedro, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,53	11,30	35,63	50,54	0,81	13.290
	San Pedro, Carbonera	ROM	EQ + 1	2,69	14,88	38,49	43,94	0,83	12.436
Catatumbo	Villa del Rosario	ROM	EQ + 1	2,74	7,50	36,70	53,06	0,70	13.588
	Zulia Norte-Sardinata	ROM	EQ + 1	3,67	9,18	37,57	49,59	0,95	12.602
	El Carmen	BCA	HR	4,31	8,64	39,17	47,88	0,95	12.316

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

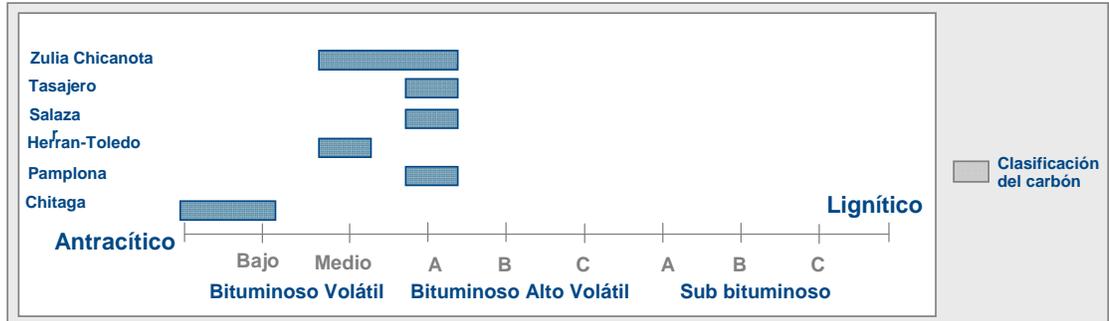
Los datos en la tabla anterior muestran que:

- Chitagá: Adecuado para la producción de coque.
- Pamplona – Pamplonita: Adecuado para la producción de coque. Adecuado para calderas de fondo seco.
- Herrán – Toledo: Adecuado para la producción de coque. Adecuado para calderas de fondo seco. Pueden ser utilizados en fundición.
- Salazar: Principalmente utilizado para generación de vapor y de calor en los sectores eléctrico e industrial.
- Tasajero: Adecuado para la producción de coque.
- Zulia – Chinácota: Adecuado para la producción de coque.
- Catatumbo: Carbón térmico utilizado principalmente para la generación de vapor y de calor en los sectores eléctrico e industrial.

Rango del carbón

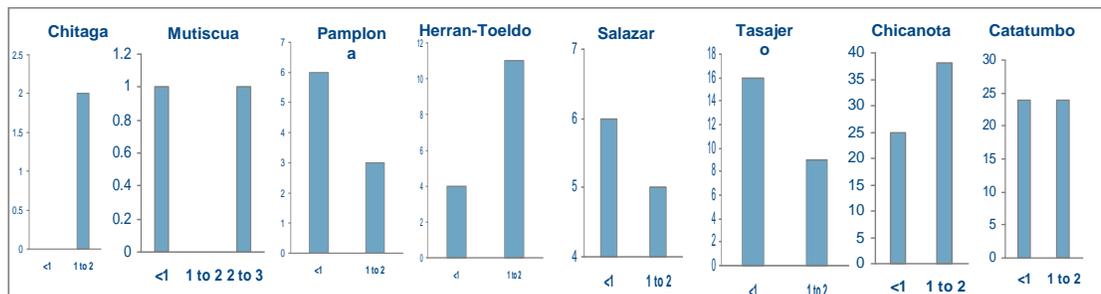
Casi todas las sub regiones tienen carbón de alta calidad. Sin embargo, únicamente Mutiscua tiene mantos de carbón mayores a 2 metros. Figura 117/Figura 118

Figura 117: Región de Norte de Santander – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

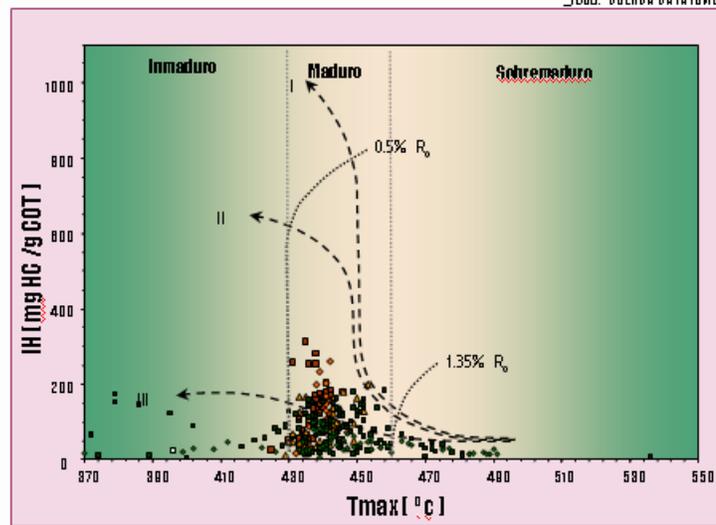
Figura 118: Región de Norte de Santander – Espesor de los mantos de carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El análisis del diagrama de IH vs. Tmax muestra que la mayor parte de la secuencia estratigráfica es madura. (Figura 119).

Figura 119: Región de Norte de Santander – Diagrama de IH vs. Tmax



Fuente: Catálogo Colombia Open Round 2010 - Catatumbo

Norte de Santander tiene un potencial de CBM de entre 0.92 TCF y 1.2 TCF el cual es moderadamente atractivo para el desarrollo de CBM (Tabla 25). Las siguientes fueron las suposiciones principales en este cálculo:

- El estimativo preliminar del total de carbón en el sitio (estimado de ADL basado en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto):

Tabla 25: Región de Norte de Santander – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial total de carbón (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Estimado gas potencial (TCF)	Otras fuentes – Estimado gas potencial (TCF)
Chitagá	10,04	50	471	0,02	
Mutiscua-Cácota	2,38	10	n/a	n/a	
Pamplona-Pamplonita	13,87	70	294	0,02	
Herrán-Toledo	28,58	145	402	0,06	
Salazar	29,01	145	286	0,04	
Tasajero	93,92	470	295	0,14	
Zulia-Chinácota	267,40	1.335	284	0,38	
Catatumbo	349,59	1.750	279	0,49	
Total	794,79	3.975		0,92 – 1,15 TCF	1 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, Resumen del artículo en AAPG: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

No todos los sectores pueden mostrar permeabilidad alta ya que el contenido de cenizas es alto en las sub regiones de Norte de Santander. Tabla 26 Tabla 27

Tabla 26: Región de Norte de Santander - Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base	EQ + 1	%					
Chitagá	--	ROM	EQ + 1	3,29	12,59	12,90	71,22	1,44	12.804
Pamplona - Pamplonita	--	ROM	EQ + 1	2,96	9,97	36,15	50,92	1,34	13.199
Herrán - Toledo	--	ROM	EQ + 1	2,31	7,46	26,99	63,24	0,83	14.120
Salazar	--	ROM	EQ + 1	3,76	9,46	36,81	49,96	0,62	12.762
Tasajero	Este	ROM	EQ + 1	2,84	10,17	34,82	52,18	0,85	13.326
	Oeste	ROM	EQ + 1	2,56	7,65	33,67	56,12	0,85	13.925
	Sur	ROM	EQ + 1	2,42	17,10	34,59	45,89	0,89	12.291

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

Tabla 27: Región de Norte de Santander - Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Zulia - Chinácota	Zulia Sur	ROM	EQ + 1	3,36	11,90	35,29	49,45	1,27	12.967
	Santiago, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,71	5,95	30,55	60,80	0,71	14.153
	Santiago, Carbonera	ROM	EQ + 1	8,33	17,06	28,67	47,33	0,62	9.911
	San Cayetano, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,02	12,12	26,66	59,20	1,43	13.324
	San Cayetano, Carbonera	ROM	EQ + 1	2,17	18,05	36,61	43,17	0,78	11.410
	San Pedro, Los Cuervos	ROM	EQ + 1	2,53	11,30	35,63	50,54	0,81	13.290
	San Pedro, Carbonera	ROM	EQ + 1	2,69	14,88	38,49	43,94	0,83	12.436
	Villa del Rosario	ROM	EQ + 1	2,74	7,50	36,70	53,06	0,70	13.588
Catatumbo	Zulia Norte-Sardinata	ROM	EQ + 1	3,67	9,18	37,57	49,59	0,95	12.602
	El Carmen	BCA	HR	4,31	8,64	39,17	47,88	0,95	12.316

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.5.7 Resumen y conclusiones

Las características de la región Norte de Santander indican que algunas sub regiones pueden ser atractivas para el desarrollo de CBM. (Figura 120).

Aunque Tasajero, Zulia y Catatumbo tienen un potencial de gas menor a 1 TCF, pueden ser atractivos para el desarrollo de CBM debido a su alto número de mantos de carbón con espesores entre 1 y 2 metros y debido a su geología relativamente simple.

Figura 120: Región de Norte de Santander – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Chitagá	●	●	◐	●	○
Mutiscua-Cácota	●	n/a	◐	n/a	n/a
Pamplona-Pamplonita	●	◐	◐	◐	○
Herrán-Toledo	●	●	◐	●	○
Salazar	●	◐	◐	◐	○
Tasajero	●	◐	◐	◐	◐
Zulia-Chinácota	●	●	◐	◐	◐
Catatumbo	●	n/a	◐	◐	◐
Norte De Santander	●	n/a	◐	◐	◐

● Fuerte ○ Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

1.6 Región de Córdoba

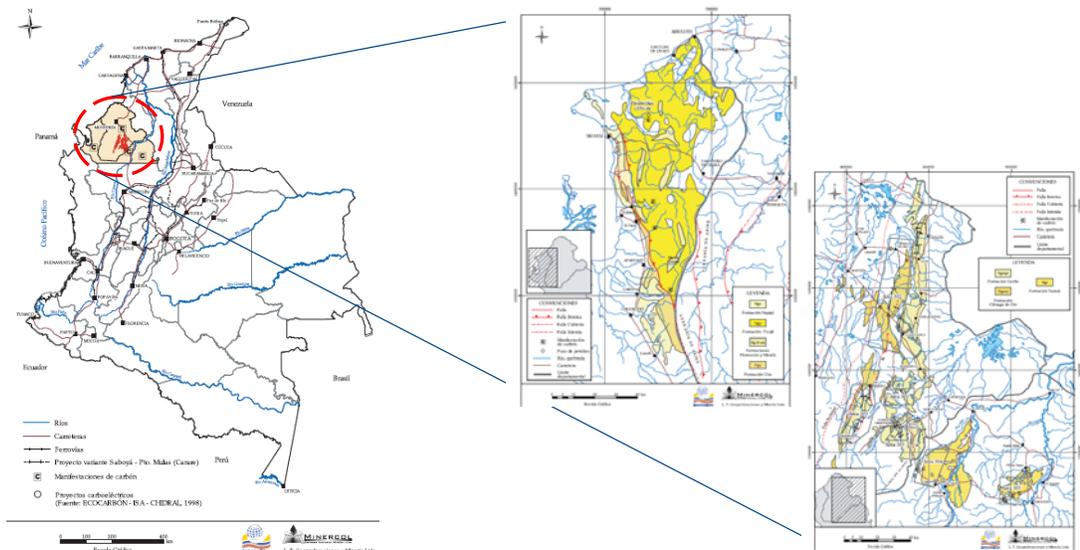
La región de Córdoba está localizada en el noroccidente de Colombia. Figura 121 Esta región incluye el carbón que aparece en el departamento de Córdoba y en la parte norte del departamento de Antioquia. En este caso, los límites de la región no coinciden con un departamento específico.

La región de Córdoba tiene un área de 3.400 km² y su relieve se caracteriza en un 70% por ser suave y en un 30% por ser entre ondulado e inclinado.

Se pueden identificar tres cuencas en la región de Córdoba, cada una con características diferentes.

- Valle del Bajo Magdalena: Transtensional
- San Jacinto: Transpresional
- Sinú: Prisma acrecionario

Figura 121: Ubicación de la Región de Córdoba



Fuente: Ingeominas

La sub región carbonífera del Alto San Jorge, la más importante en esta región, se encuentra ubicada en el sur del Departamento de Córdoba, en el piedemonte norte de la Cordillera Occidental; la subregión de la Ciénaga de Oro también se encuentra en Córdoba,

localizada en jurisdicción del municipio del mismo nombre. Estas dos subregiones carboníferas ocupan un área de aproximadamente 1.700 km².

Las otras tres áreas pertenecen al Departamento de Antioquia. La sub región de Tarazá – Río Man es muy cercana a la sub región del Alto San Jorge y está localizada sobre las laderas orientales de las montañas de Ayapel, en la rivera izquierda del río Cauca. La Sub región Puri-Caserí se encuentra en la cara norte de la Cordillera Central, en la rivera derecha del río Cauca y ocupa un área de 1.400 km². La sub región carbonífera de Urabá se extiende desde cercanías de Mutatá al sur hasta cercanías del Golfo de Urabá en el norte, sobre la ladera occidental de la Serranía de Abibe, ocupando un área de 280 km².

1.6.1 Método para la extracción del carbón

El método de extracción del carbón que se ha utilizado principalmente es el método de ‘*open pit*’ a cielo abierto. Entre las características claves de la operación está el que 90% del material requiere de explosión, mientras que para el 10% restante se utilizan grandes tractores. El equipo utilizado es relativamente pequeño. Todas las operaciones y otros servicios de apoyo están mecanizados totalmente.

1.6.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

Las carreteras principales de la zona carbonífera son: la Autopista Central del Occidente, que va de Medellín hasta la Costa Norte pasando por Puerto Valdivia, Caucasia, Montería y llega a Cartagena, Barranquilla y Santa Marta. Otra ruta es la carretera que lleva a Urabá y al puerto de Turbo. Todas las áreas carboníferas tienen vías internas que se conectan con las carreteras principales. (Figura 122).

Figura 122: Infraestructura en la Región de Córdoba



Fuente: Ingeominas – Cuencas del Sinú, San Jacinto y Valle del Bajo Magdalena

Aspectos del medio ambiente

En la región de Córdoba aproximadamente el 70% del suelo tiene una inclinación suave hacia los valles y llanuras inundables de los ríos Sinú y San Jorge. El resto de la topografía va de montañosa a inclinada y corresponde a los cerros de Abibe, San Jerónimo y Ayapel. El clima es cálido en las tierras bajas, aunque varía de seco en el norte a húmedo en el sur. Las montañas tienen un clima templado que va de húmedo a muy húmedo.

La región carbonífera de Córdoba está incluida dentro de la llamada Reserva Forestal del Pacífico y se superpone al Parque Nacional Natural Paramillo, localizado en el norte de la Cordillera Occidental de Colombia.

Aspectos sociales

Con respecto a los aspectos sociales y económicos, el departamento de Córdoba presenta indicadores que son los más críticos en el contexto de los departamentos carboníferos del país. De hecho, el crecimiento del PIB y el promedio per cápita, que son negativos para periodos diferentes, ponen al departamento en los niveles más bajos. En educación, la tasa de analfabetismo está muy por encima del promedio nacional.

La generación de empleo directo por parte de la minería de carbón en la región de Córdoba está dada por la mina Guacamayas, la cual es operada por la empresa Carbones del Caribe

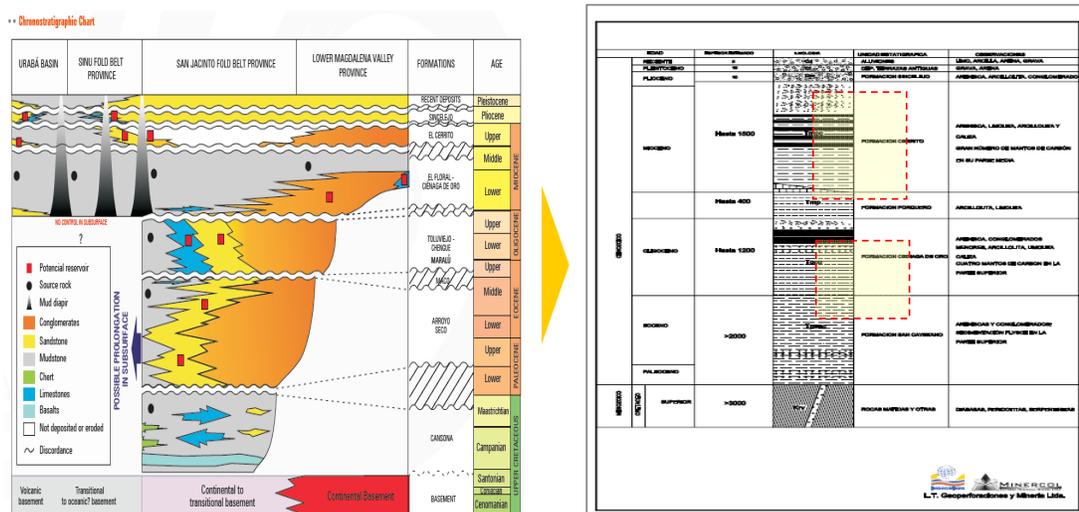
en el municipio de Puerto Libertador. El nivel de empleo ha estado fluctuando entre 60 y 120 trabajadores, de acuerdo con la producción de cada año.

En la subregión del Alto San Jorge existen comunidades indígenas que pertenecen a la etnia Emberá. Al occidente del departamento, existen comunidades indígenas que pertenecen al grupo étnico Emberá-Katío.

1.6.3 Columna estratigráfica

En la región de Córdoba el carbón se encuentra en las formaciones Ciénaga de Oro y Cerrito. (Figura 123).

Figura 123: Columna estratigráfica para la Región de Córdoba



Fuente: Ingeominas, Catálogo Open Round Colombia 2010 – Sinú-San Jacinto-Valle del Bajo Magdalena, Análisis de Arthur D. Little

Los lechos carboníferos están aproximadamente a 530m de la base de la formación.

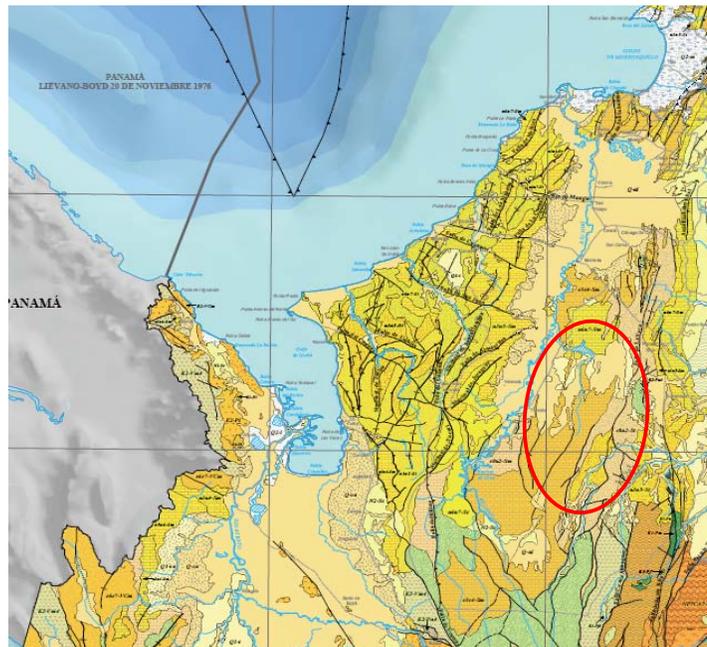
Las dos formaciones en las que se encuentra el carbón en la región de Córdoba tienen características diferentes:

- Ciénaga de Oro
 - Espesor: 1.200m
 - Sección inferior: Arenitas finas de cuarzo, alternando con limolitas de cuarzo y arcillolitas. Ausencia de capas de carbón
 - Sector superior: Arenitas y conglomerados de cuarzo, con lodolitas intercaladas y la presencia de capas y mantos de carbón

- Cerrito
 - Espesor: 1.500m
 - Sección inferior: Espesor de 400m. Conglomerados y arenitas de cuarzo, sin carbón
 - Sección media: Espesor de 800m. Arcillolitas y limolitas de cuarzo, en las que se han diferenciado 40 cintas y mantos de carbón
 - Sección superior. Espesor de 300m. Arcillolitas y arenitas de cuarzo con niveles ocasionales intercalados de fósiles calcáreos y capas de carbón hacia la base de la secuencia

1.6.4 Geología

Figura 124: Mapa geológico de la Región de Córdoba



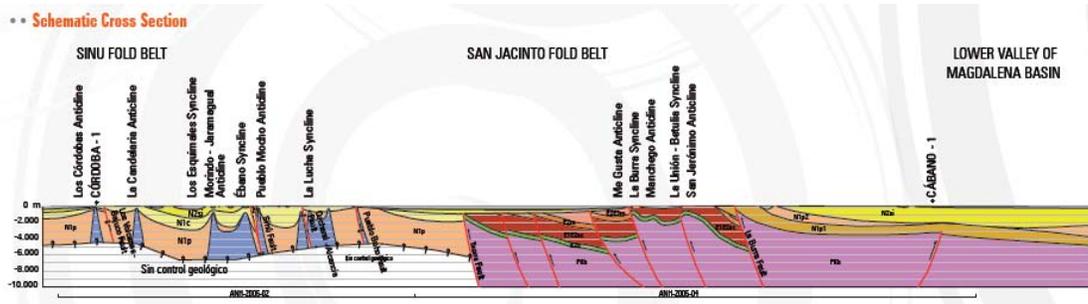
Fuente: Ingeominas 2007, Análisis de Arthur D. Little

La estructura de la región de Córdoba está dominada por inversión y plegado asociados con el pliegue del cinturón de San Jacinto. El alcance del área prospectiva está confinado a las sub cuencas que están delimitadas por los pliegues anticlinales que tienden hacia el noreste a través del área.

La complejidad estructural es aparente en forma inmediata a partir del mapa geológico de superficie. (Figura 124).

La región de Córdoba tiene fallas y pliegues complejos (Figura 125). De acuerdo con la geología superficial el plegado es firme pero extensivo con longitudes entre 5 y 20 km. El carbón se encuentra en la sección media de la formación Amagá.

Figura 125: Perfil geológico de la sub cuenca Córdoba / Antioquia (San Jorge)



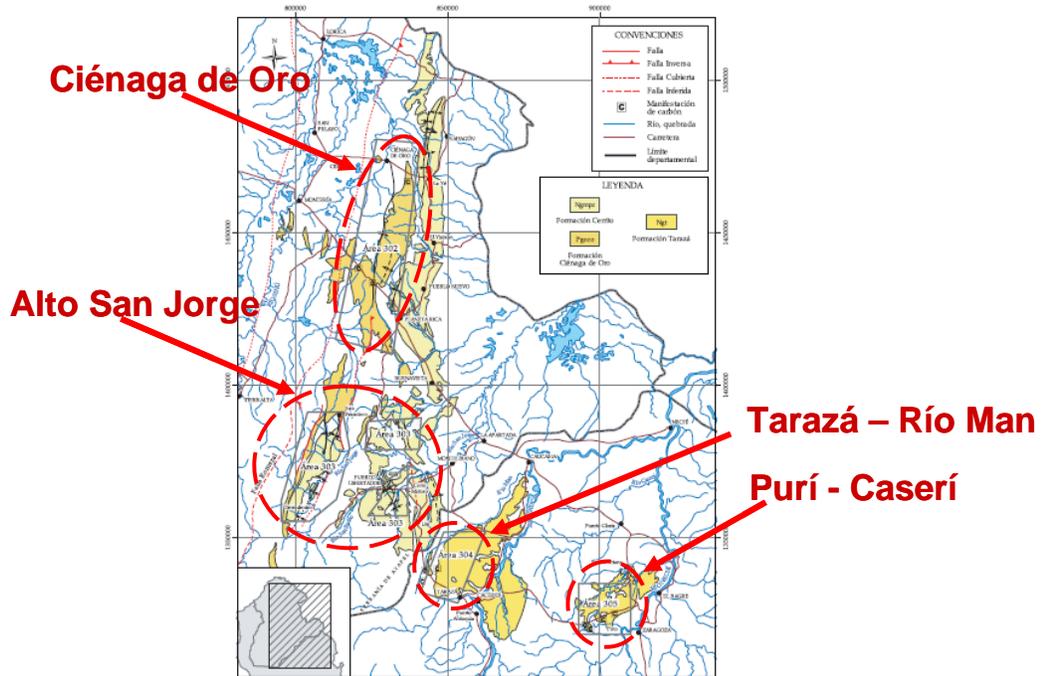
Fuente: Open Round Colombia 2010 – Sinú-San Jacinto-Valle del Bajo Magdalena

1.6.5 Sub regiones

Teniendo en cuenta las diferentes sucesiones litoestratigráficas, las diversas características geomórficas y las numerosas estructuras, se han identificado cinco sub regiones en la región de Córdoba (Figura 126), las cuales están divididas en varios sectores de acuerdo con las estructuras locales y características estratigráficas.

- Urabá
- Ciénaga de Oro
- Alto San Jorge
- Tarazá – Río Man
- Purí - Caserí

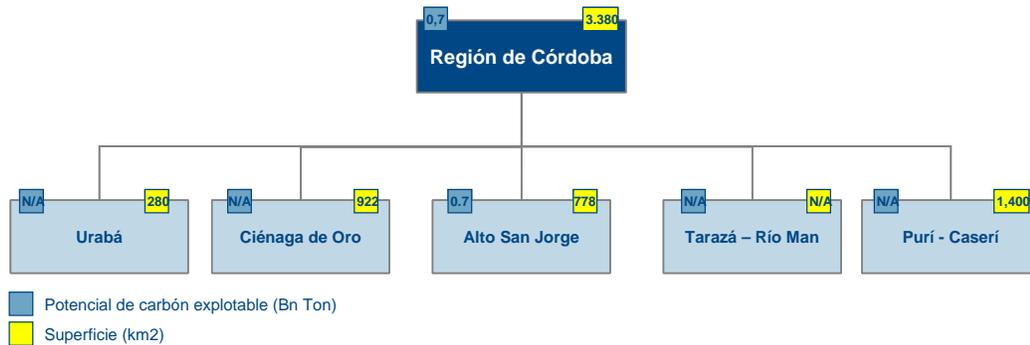
Figura 126: Sub regiones de la Región de Córdoba



Fuente: Ingeominas, Análisis de Arthur D. Little

La región de Córdoba tiene un área total de 3.400 km² y el potencial minero de carbón es de aproximadamente 0,7 Bn de toneladas, haciéndola la región con el sexto mayor potencial carbonífero en Colombia (Figura 127).

Figura 127: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Córdoba



Fuente: Ingeominas 2004, Análisis de Arthur D. Little

La Producción en el año 2003 fue de 0,2 MM de Toneladas. En esta región se produce principalmente carbón térmico, metalúrgico, y carbón de antracita. (Tabla 28).

Tabla 28: Potencial de carbón explotable en la Región de Córdoba

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos explotables hipotéticos (MM Ton)	Potencial explotable (MM Ton)
	Medido	Indicado	Inferido		
Alto San Jorge	381,00	341,00	--	--	722,00
Total	381,00	341,00	--	--	722,00

Potencial de carbón explotable = 722 MM Ton

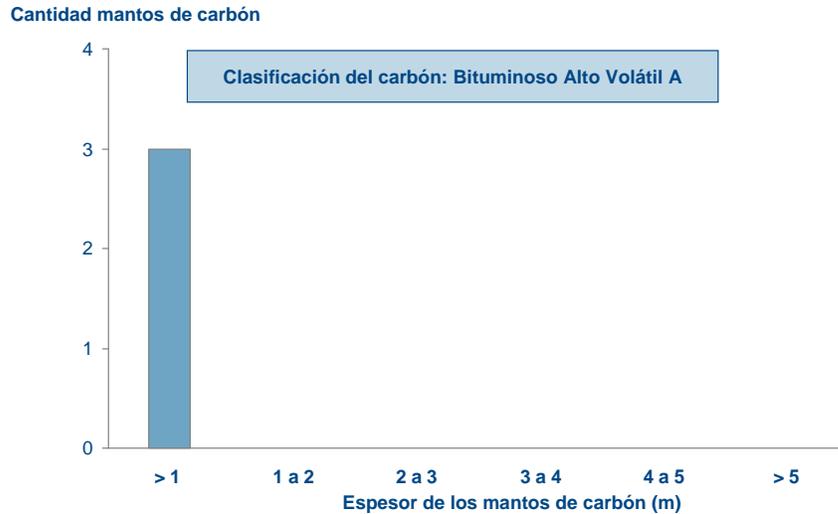
Fuente: Ingeominas 2004, Análisis de Arthur D. Little

Sub región de Urabá

Los carbones de la sub región de Urabá, localizada en el occidente de Antioquia, se encuentran en una etapa muy preliminar de conocimiento geológico y por lo tanto no hay muchos datos disponibles para la sub región. Considerando esto, la posición estratigráfica y el interés económico potencial de estos carbones, se está en una etapa muy preliminar de conocimiento geológico.

El carbón se encuentra en la estructura Ts3 (Maralú, Floresanto, Paujil). El rango del carbón es Bituminoso Alto Volátil A. Afloran las rocas de la era Cenozoica. Todos los mantos de carbón en la sub región de Urabá tienen un espesor de menos de 1 metro (Figura 128).

Figura 128: Región de Córdoba - Espesor de los mantos de carbón en Urabá

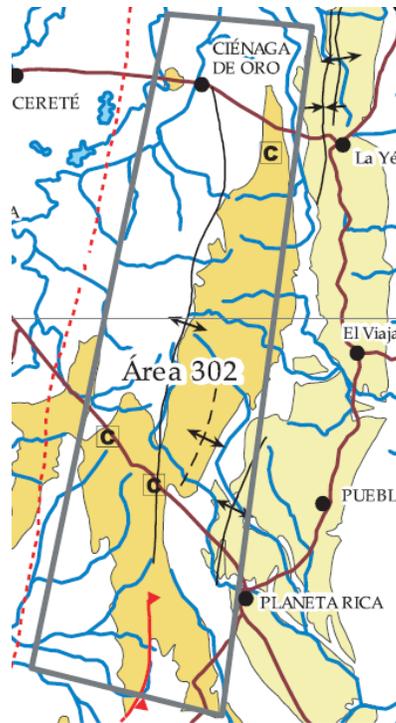


Fuente: Ingeominas 2004

Sub región Ciénaga de Oro

La sub región Ciénaga de Oro está localizada en el noroccidente de la región de Córdoba y el carbón se encuentra en la formación del mismo nombre. Esta sub región se encuentra al nororiente de la ciudad de Montería (Figura 129).

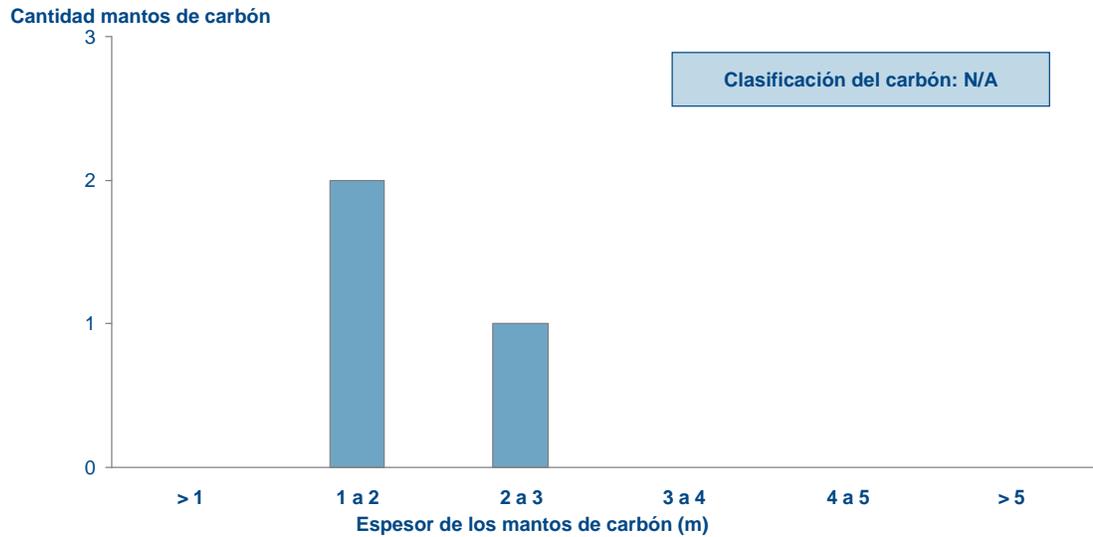
Figura 129: Región de Córdoba – Sub región Ciénaga de Oro



Fuente: Ingeominas

En la profundidad explotable se han reportado tres mantos de carbón con espesores entre 1.65 y 2.40m. (Figura 130).

Figura 130: Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Ciénaga de Oro



Fuente: Ingeominas, Análisis de Arthur D. Little

Sub región Alto San Jorge

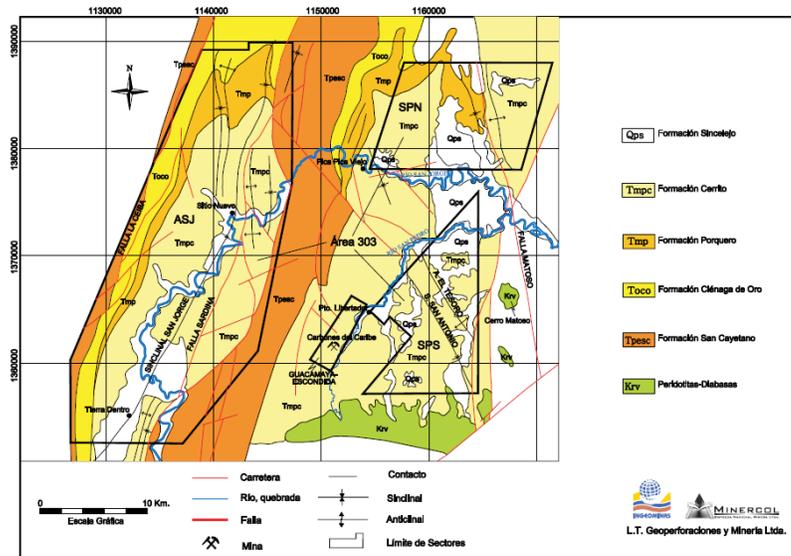
Alto San Jorge tiene un área de 778 km² y está localizada en el sur del departamento de Córdoba. (Figura 131).

El rango del carbón varía de Bituminoso Alto Volátil C hasta Sub Bituminoso A, B, C y mayoría de Sub Bituminoso B, que se encuentra en las formaciones de Ciénaga de Oro y Cerrito. El sinclinal de San Jorge es la estructura que contiene más carbón. Las principales fallas geológicas son La Ceiba, San Francisco y La Matoso. La principal corriente en la sub región es el río San Jorge.

Las siguientes son los cuatro sectores identificados en esta subregión.

- Alto San Jorge
- San Pedro Norte
- San Pedro Sur
- La Guacamaya – La escondida

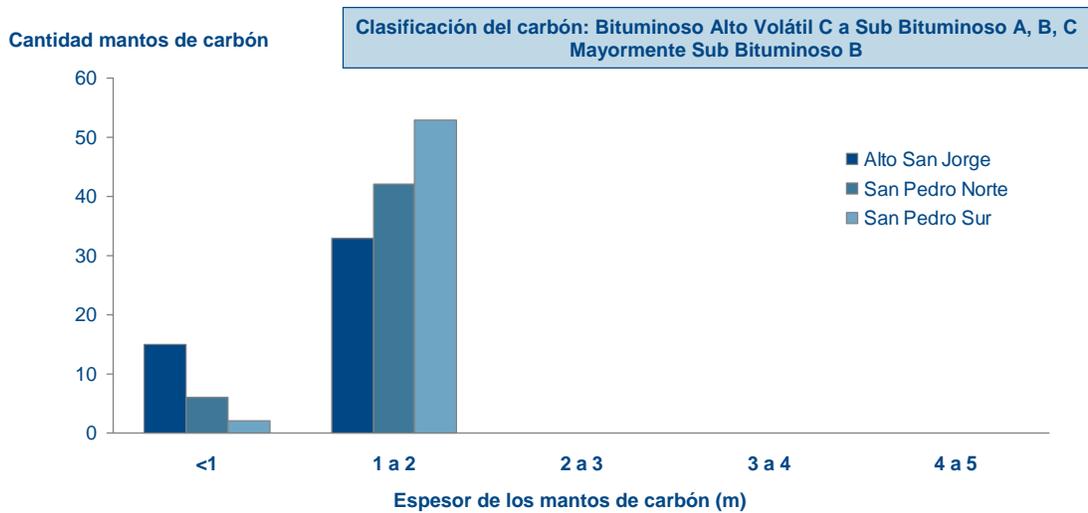
Figura 131: Región de Córdoba – Sub región Alto San Jorge



Fuente: Ingeominas

El espesor de la mayoría de los mantos de carbón en el Alto San Jorge está en el rango de 1 a 2 metros. (Figura 132).

Figura 132: Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Alto San Jorge



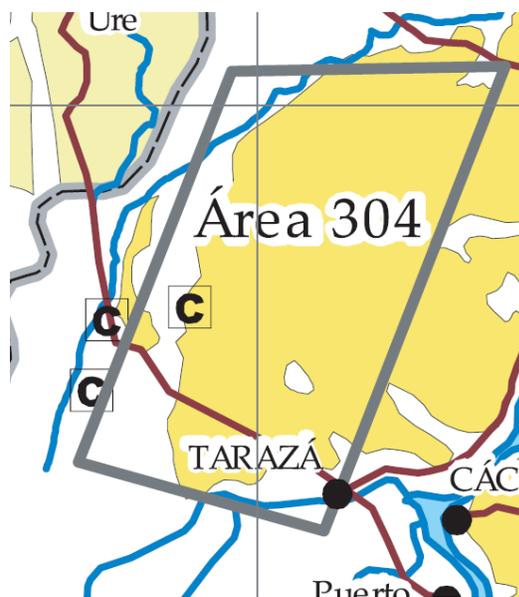
Fuente: Ingeominas

Sub región Tarazá-Río Man

La sub región Tarazá-Río Man está ubicada en el centro sur de la Región de Córdoba (Figura 133), con carbón localizado en la formación Cerrito.

Posee la misma posición en la estratigrafía que las unidades que contienen carbón en Alto San Jorge y San Pedro.

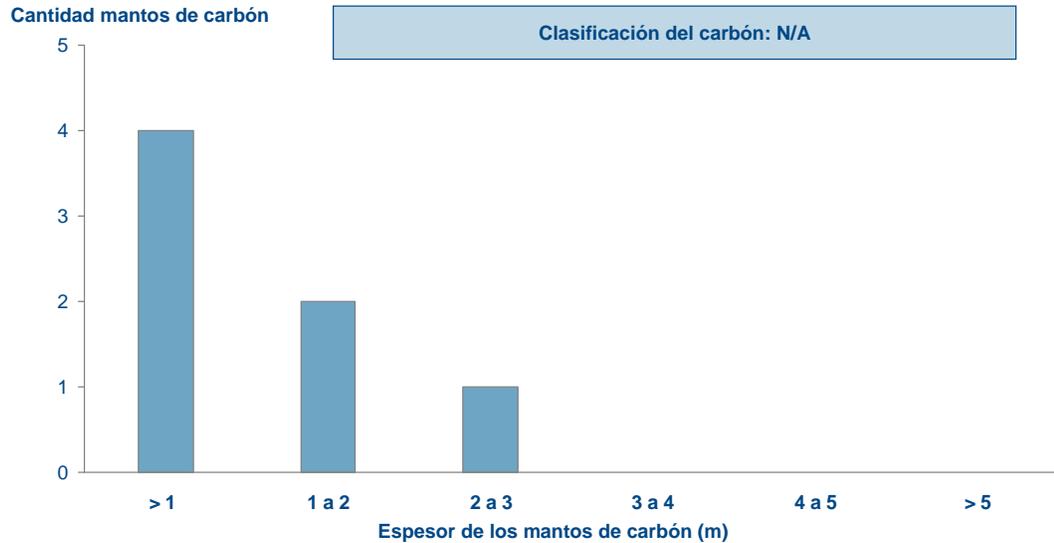
Figura 133: Región de Córdoba – Sub región Tarazá-Río Man



Fuente: Ingeominas

Datos de siete mantos de carbón muestran que en Tarazá-Río Man más de la mitad de los mantos de carbón tienen un espesor entre 1 y 3 metros (Figura 134).

Figura 134: Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Tarazá-Río Man

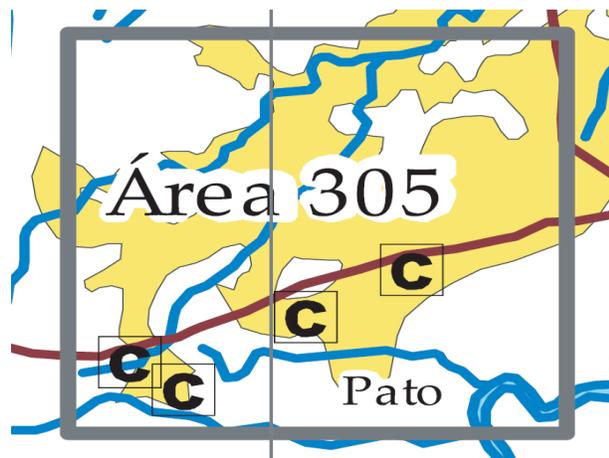


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Purí-Caserí

Purí-Caserí está ubicada en el piedemonte occidental de la parte noroccidental de la Cordillera Central (Figura 135). El carbón está presente en la formación Tarazá, con características similares a aquellas de la sub región Tarazá-Río Man. La clasificación del carbón es sub Bituminoso B.

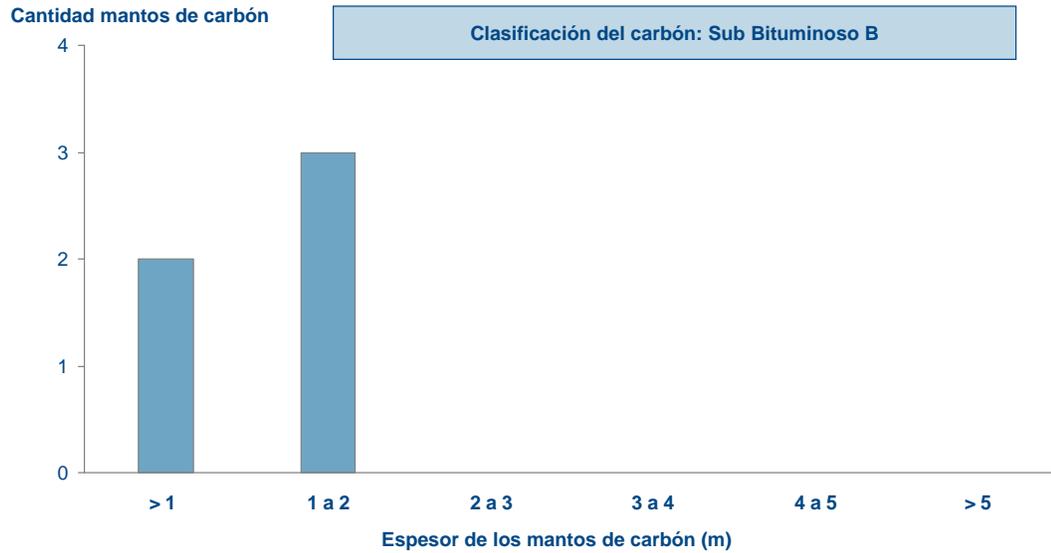
Figura 135: Región de Córdoba – Sub región Purí-Caserí



Fuente: Ingeominas

Hasta la profundidad explotable, los datos de cinco mantos de carbón muestran que el espesor de los mantos de carbón en Purí-Caserí es de menos de 2,00 m. (Figura 136).

Figura 136: Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón en Purí-Caserí



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.6.6 Contenido de gas Composición y calidad del carbón

Tabla 29: Región de Córdoba – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Alto San Jorge	San Pedro Sur	BCA	HR	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280
	San Pedro Norte								
	Alto San Jorge								

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil
FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

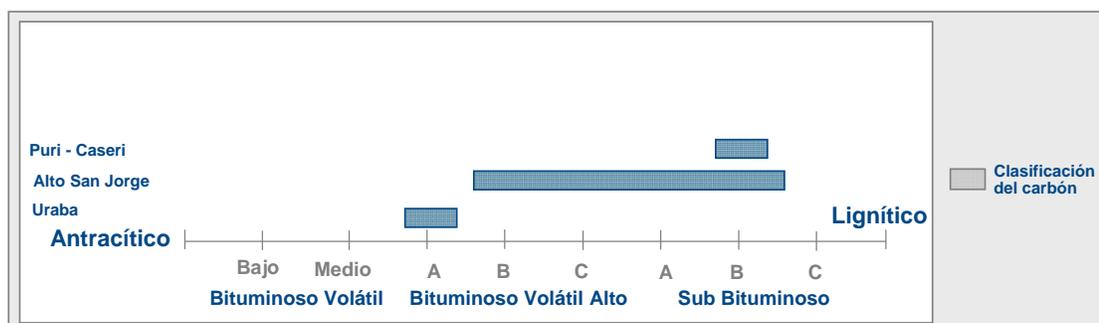
A partir de los datos en la Tabla 29 se puede observar que:

- El carbón varía en clasificación desde Bituminoso Alto volátil C a Sub Bituminoso A, B y C, con un porcentaje más elevado de Sub Bituminoso B.
- Carbones no aglomerantes y apropiados para uso térmico
- Valores altos de humedad. Condiciones desfavorables para procesos de trituración y molienda antes de ser utilizados como combustible
- Contenido estándar de ceniza
- El contenido de azufre es más elevado que el que acepta la EPA. Puede generar compuestos corrosivos en las calderas y gases venenosos que contaminan el medio ambiente
- Los carbones son apropiados para su utilización en calderas de fondo seco que requieren temperaturas relativamente altas
- Carbones por encima de los límites permisibles, como para no causar problemas en cuanto a la eficiencia de la trituración en los molinos

Clasificación del carbón

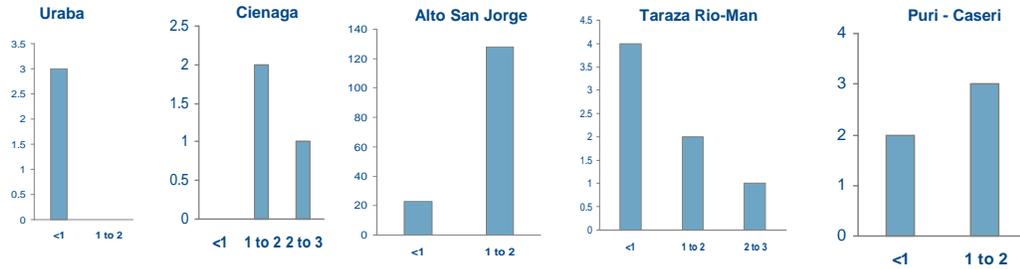
La calidad del carbón en la mayor parte de la región es de calidad media. Todas las sub regiones, a excepción del Alto San Jorge tienen un número limitado de mantos de carbón laminados. (Figura 137 y Figura 138).

Figura 137: Región de Córdoba – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 138: Región de Córdoba – Espesor de los mantos de carbón

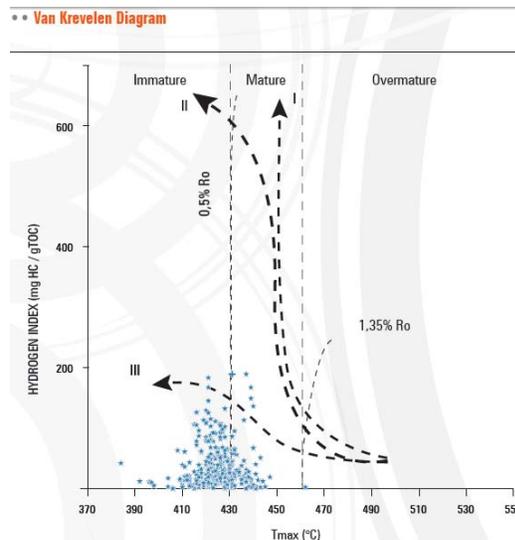


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Existe una oportunidad adicional para la exploración en el Valle del Bajo Magdalena, relacionado con el carbón en la formación Ciénaga de Oro, y la posibilidad de gas metano asociado con el mismo. (Figura 139).

Están presentes rocas con el potencial de generar hidrocarburos, depositadas durante la era del Cretácico al Oligoceno. Se identifica claramente la presencia de múltiples niveles de areniscas y conglomerados con buenas características en cuanto a a calidad, ya que se trata de un yacimiento depositado durante el final del Paleoceno y el Mioceno medio. El área también presenta geometrías favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Figura 139: Región de Córdoba – Diagrama HI



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 - Sinú-San Jacinto-Lower Magdalena Valley

Los estimados preliminares indican que Córdoba posee un potencial CBM de 0,4 a 0,5 TCF (Tabla 30). Los principales supuestos para este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar del carbón total in situ (estimado de ADL basado en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso Bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto)

Tabla 30: Región de Córdoba – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial total de carbón (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Estimado de gas potencial (TCF)
Alto San Jorge	722	2.888	483	0,54
Total	722	2.888		0,4 – 0,54 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

El bajo contenido de cenizas entre 5 y 10 % indica que podría haber una alta permeabilidad en la Región de Córdoba. (Tabla 31).

Tabla 31: Región de Córdoba – Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base	HR	%					
Alto San Jorge	San Pedro Sur	BCA	HR	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280
	San Pedro Norte								
	Alto San Jorge								

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.6.7 Resumen y conclusiones

Solamente la sub región Alto San Jorge de la Región de Córdoba podría ser atractiva para el desarrollo de CBM debido a la alta clasificación de la calidad del carbón y al alto número de mantos de carbón con espesores mayores a 1 metro. (Figura 140).

Figura 140: Región de Córdoba – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Uraba				<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Ciénaga de Oro		<i>n/a</i>		<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Alto San Jorge					
Taraza – Rio Man		<i>n/a</i>		<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Puri - Caseri				<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Cordoba				<i>n/a</i>	

 Fuerte  Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

1.7 Región de Antioquia

Con una superficie de 350 km², la región de Antioquia está ubicada en el noroccidente de Colombia, al suroccidente de la ciudad de Medellín. (Figura 141). La región yace entre las fronteras de los departamentos de Antioquia y el Antioqueño.

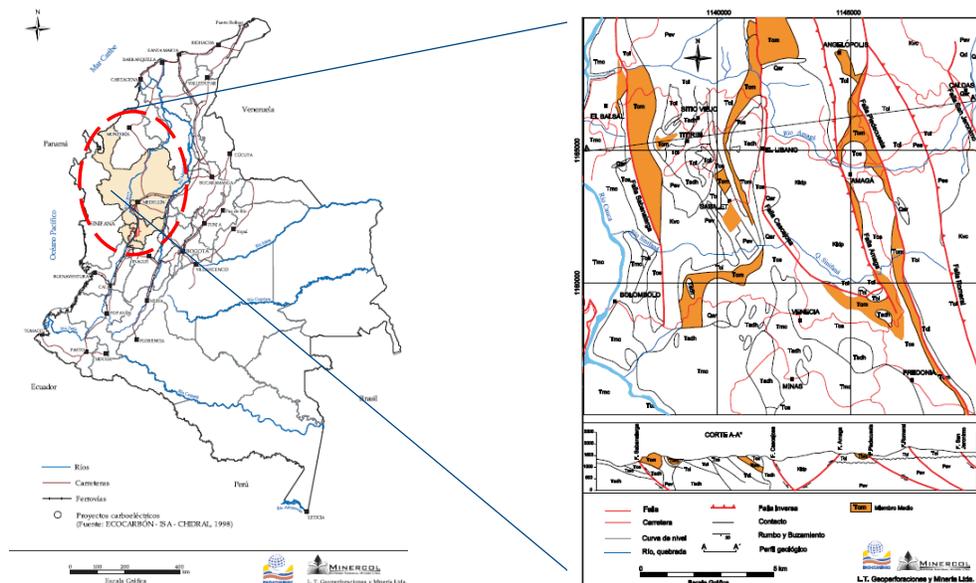
La región carbonífera de Antioquia está definida por afloramientos de la parte media de la formación Amagá, que es la que contiene el carbón.

El relieve en la región de Antioquia puede diferenciarse claramente en dos regiones: la topografía escarpada en Antioquia y la topografía plana, ondulada, quebrada en el Antioqueño.

Se pueden identificar tres zonas tectónicas en la región de Antioquia, cada una de las cuales posee características diferentes.

- Valle del Bajo Magdalena: transtensional
- San Jacinto: transpresional
- Sinú: Prisma de acreción

Figura 141: Ubicación de la Región de Antioquia



Fuente: Ingeominas

1.7.1 Método para la extracción del carbón

En la región de Antioquia se encuentra principalmente la extracción subterránea. La escala de las operaciones es predominantemente pequeña (95%), con menos de 6.000 toneladas por año, y únicamente cuatro minas en las que la producción es mayor a 12.000 toneladas por año.

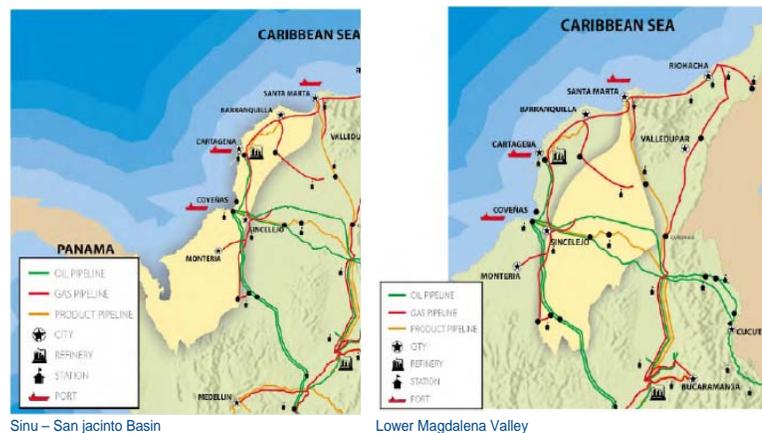
Las minas más representativas en esta región, considerando sus características de producción y grado de mecanización, son Industrial Hulleras SA, Sociedad Carboneras Nechí y Carbones San Fernando.

1.7.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

Importantes rutas conectan a la región con el resto de Colombia. (Figura 142).

Figura 142: Infraestructura en la Región de Antioquia



Fuente: Ingeominas – Sinu, San Jacinto, Lower Magdalena Valley basins

Aspectos ambientales

Considerando la naturaleza de la minería mediante sistemas subterráneos y los bajos volúmenes de producción, los impactos ambientales generalmente son localizados y tienen una magnitud de baja a media. Dichos impactos se relacionan principalmente con el aire, los recursos hídricos, la tierra, la vegetación, el paisaje y aspectos socioeconómicos.

El impacto más significativo está relacionado con la contaminación de las aguas superficiales, mediante la alteración de la calidad del agua debido al vertimiento de agua que se toma de las minas y se vierte a las corrientes naturales de agua, lo que en muchos casos se hace sin tratamiento previo alguno. Los recursos hídricos también se ven afectados por el sedimento generado en los sitios de escoria, por el aceite y la grasa de los vehículos y la maquinaria, y debido a la alteración de las aguas subterráneas.

La tierra se ve afectada por el hundimiento del terreno, lo que es muy localizado en la región de Antioquia y que es causado por deficiencias en el apuntalamiento de armazones de madera en minas no controladas o abandonadas y la erosión causada por el mal manejo del agua.

La legislación existente en relación con las restricciones establecidas para el desarrollo de minería no se aplica en esta área.

Aspectos sociales

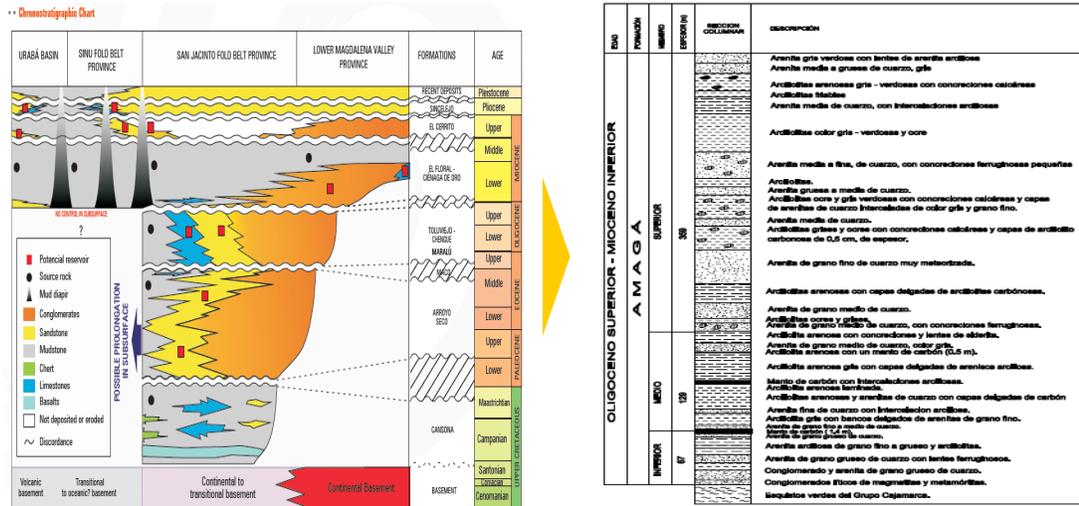
Los mineros en la región de Antioquia son principalmente de trabajadores con bajos ingresos y obtienen escasos beneficios a partir de la actividad minera en la región. Algunas de las características en las comunidades que se relacionan con las actividades mineras en la región de Antioquia son: seguridad social y condiciones de trabajo inadecuadas, baja cobertura en servicios de salud y educación, bajo nivel de capacitación y asesoría comercial y minera, condiciones de trabajo difíciles, y deficiencia o carencia de salud ocupacional y seguridad.

En general, los sistemas rudimentarios y la baja rentabilidad llevan a condiciones deficientes en cuanto al medio ambiente, la salud y los servicios.

1.7.3 Columna estratigráfica

En la región de Antioquia, el carbón se encuentra en la formación Amagá, la cual se divide en tres niveles: Superior, Medio y Bajo. (Figura 143).

Figura 143: Columna estratigráfica para la Región de Antioquia



Fuente: Ingeominas, Catálogo Open Round Colombia 2010 – Sinú-San Jacinto-Lower Magdalena Valley, análisis Arthur D. Little

La parte portadora de carbón en toda el área es de aproximadamente 75 km². El grosor total en la región es menor a 560 m, pero el grosor local puede ascender hasta 1.500 metros.

Los tres niveles de la formación Amagá en los que se encuentra carbón tienen características diferentes:

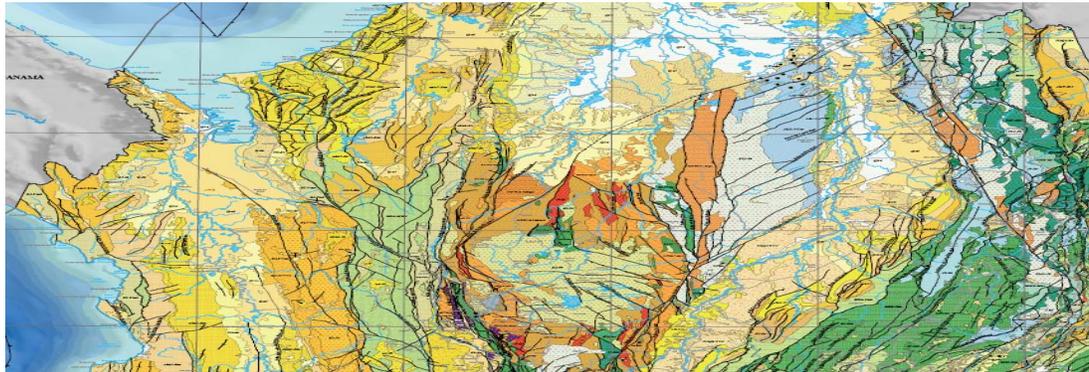
- Nivel inferior
 - Unidad arenítica y rudítica con intercalaciones poco comunes de lodositas y arcillolitas
 - Espesor promedio: 67 m
- Nivel medio
 - Espesor: 129 m
 - Predominantemente arcillolítica y lodolítica, con areniscas y carbón intercalados
 - 9 mantos de carbón
- Nivel superior
 - Espesor: 359 m
 - 54% areniscas; 46% lodositas y arcillolitas

El entorno de sedimentación en la región de Antioquia consta de una secuencia de rudita, areniscas y arcillas.

1.7.4 Geología

La cuenca de Antioquia consiste de una falla asimétrica. (Figura 144).

Figura 144: Mapa geológico de la Región de Antioquia



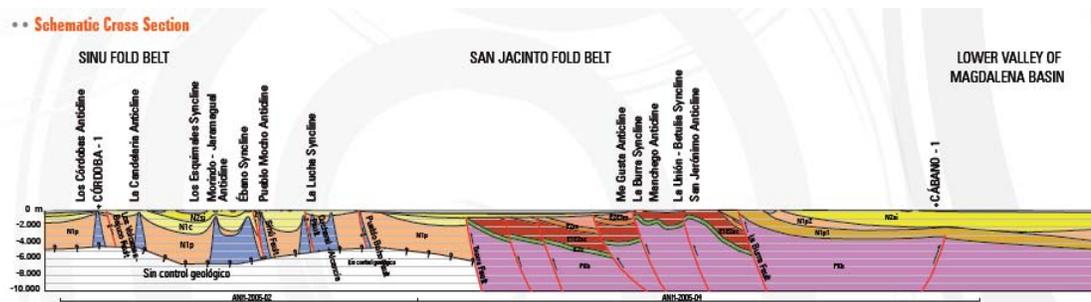
Fuente: Ingeominas 2007, análisis Arthur D. Little

Caracterizados por la incidencia de fallas de relevancia regional:

- Cascajosa, reversa e inclinada hacia el sur
- Amagá, reversa e inclinada hacia el oriente
- Piedecuesta, reversa e inclinada hacia el occidente

La región de Antioquia exhibe complejidades de fallas y pliegues (Figura 145). De acuerdo con la geología de superficie, los pliegues son ceñidos pero extensos, con longitudes entre 5 y 20 km. El carbón se encuentra en la sección media de la formación Amagá.

Figura 145: Perfil geológico de la sub cuenca de Córdoba / Antioquia (San Jorge)



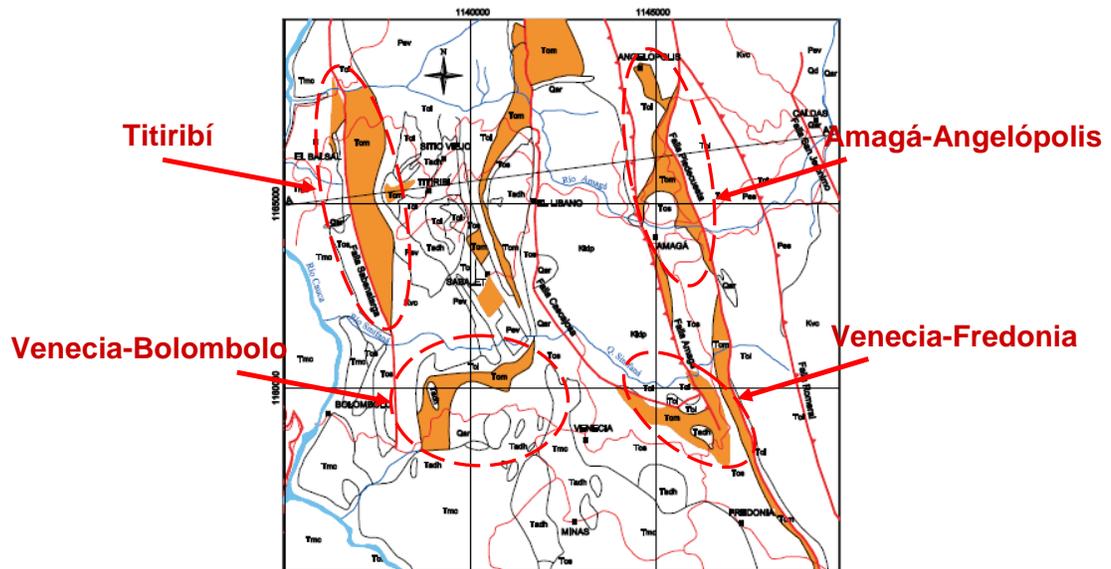
Fuente: Colombia Open Round 2010 - Sinú-San Jacinto-Lower Magdalena Valley

1.7.5 Sub regiones

Se han definido seis áreas en la región de Antioquia. (Figura 146).

- Venecia - Fredonia
- Amagá - Angelópolis
- Venecia - Bolombolo
- Titiribí (Venecia - Titiribí)
- Ríosucio - Quinchía
- Aranzazu - Santágueda

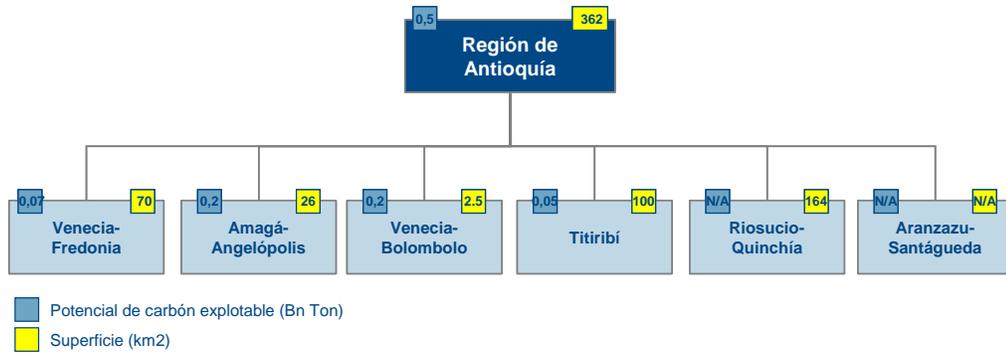
Figura 146: Sub regiones de la Región de Antioquia



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

La región de Antioquia tiene un superficie total de alrededor de 350 km² y el potencial de carbón explotable es de alrededor de 0,5 Bn Ton. (Figura 147).

Figura 147: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Antioquia



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Antioquia tiene un potencial de carbón explotable de 475 MM Ton, lo que la hace la región que tiene el séptimo volumen de carbón explotable en Colombia. (Tabla 32).

La producción en 2003 fue de 0,78 MM Ton. En esta región se produce principalmente carbón térmico.

Tabla 32: Potencial de carbón explotable en la Región de Antioquia

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos explotables hipotéticos (MM Ton)	Potencial de carbón explotable (MM Ton)
	Medido	Indicado	Inferido		
Venecia-Fredonia	8,94	40,14	16,87	--	65,95
Amagá-Angelópolis	11,84	63,64	92,33	25,38	193,19
Venecia-Bolombolo	57,95	84,80	18,75	--	161,50
Titiribí	11,22	37,25	4,45	1,07	54,10
Total	90,06	225,83	132,40	26,45	474,74

Potencial de carbón explotable = 475 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Venecia-Fredonia

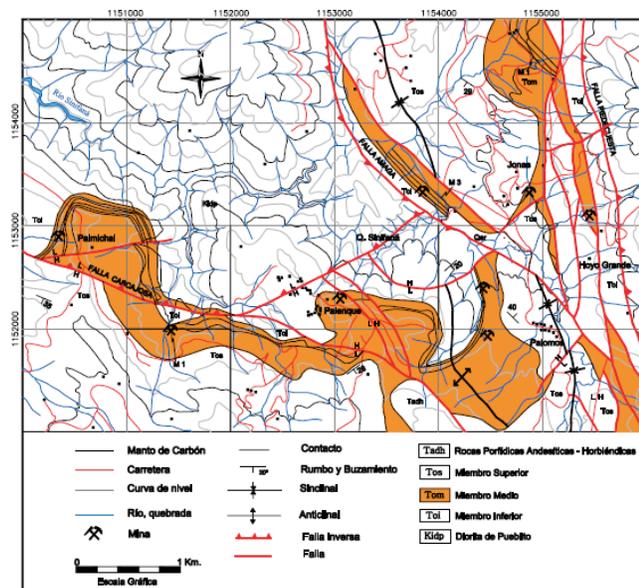
Venecia-Fredonia tiene una superficie de 70 km² (Figura 148) y el carbón se encuentra en el sector medio de la formación Amagá, con un espesor de alrededor de 85 m. La clasificación del carbón es Bituminoso Alto volátil C.

El principal cauce en la sub región Venecia-Fredonia es el Río Sinfaná.

Caracterizada por la incidencia de fallas de importancia regional.

- Cascajosa, inversa e inclinada hacia el sur
- Amagá, inversa e inclinada hacia el oriente
- Piedecuesta, inversa e inclinada hacia el occidente

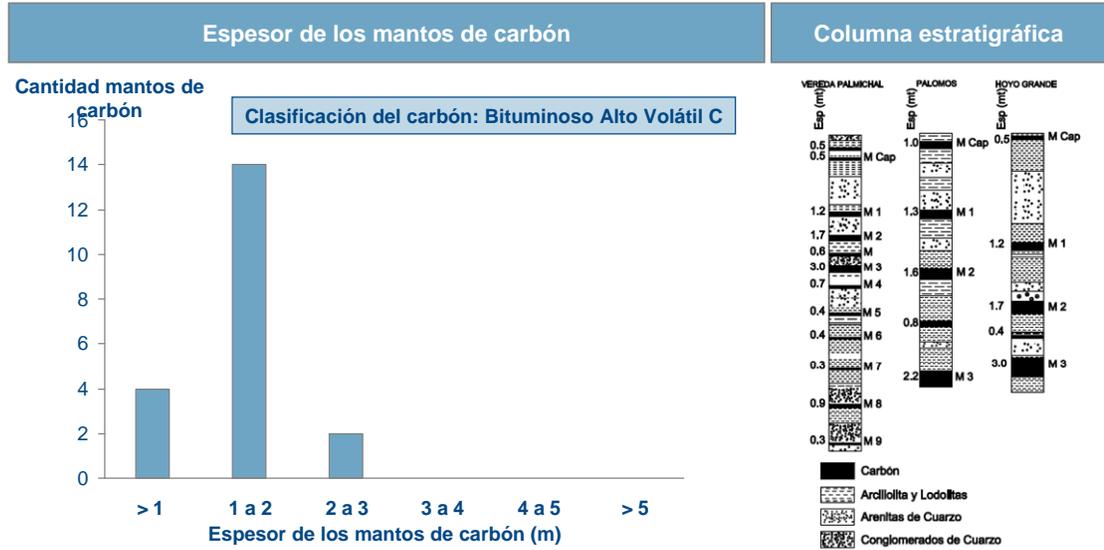
Figura 148: Región de Antioquia – Sub región Venecia-Fredonia



Fuente: Ingeominas 2004

La mayor parte de los mantos de carbón en Venecia-Fredonia tienen un espesor que oscila entre 1 y 2 metros, mientras que alrededor del 20% de los mantos de carbón tiene un espesor de menos de 1 metro. (Figura 149).

Figura 149: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Venecia-Fredonia

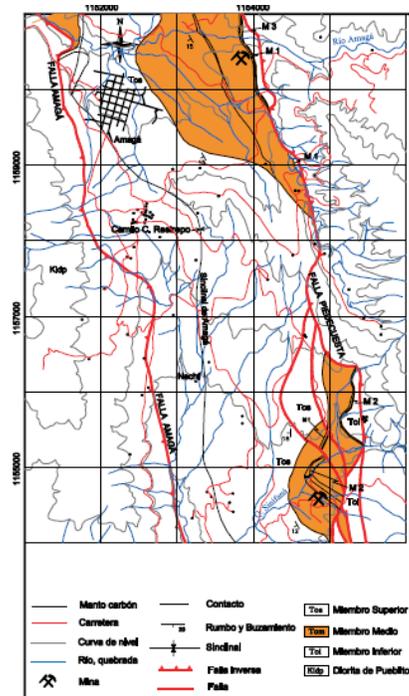


Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Amagá-Angelópolis

Amagá-Angelópolis está localizada en la parte central de la zona carbonífera de la región de Antioquia (Figura 150). Tiene una superficie de 26 km² y está dividida en dos sectores: Amagá-Nechi y Angelópolis.

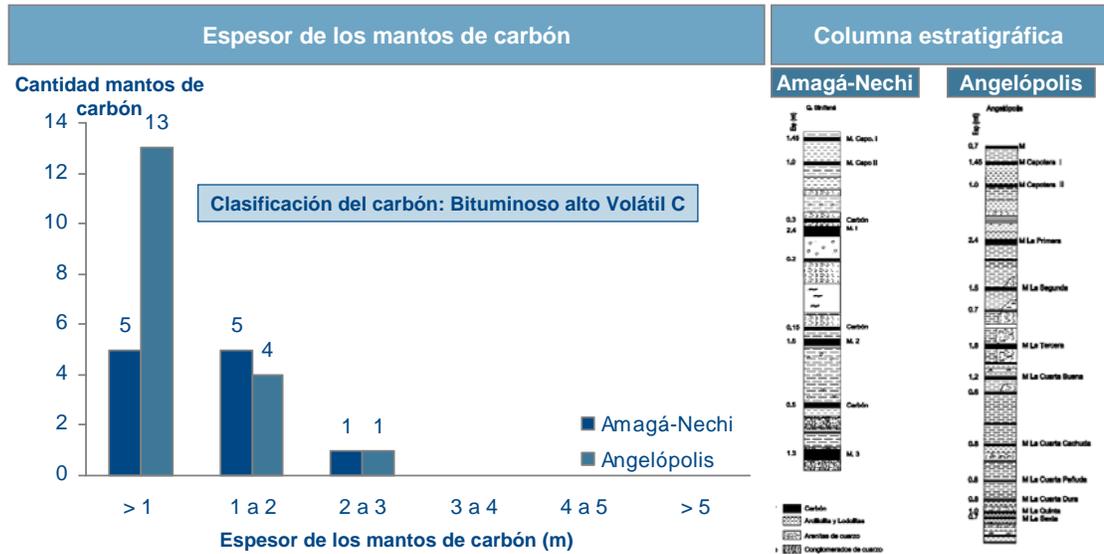
Figura 150: Región de Antioquia – Sub región Amagá-Angelópolis



Fuente: Ingeominas

El espesor de la mayor parte de los mantos de carbón en Amagá-Angelópolis es menor a 1 metro (Figura 151).

Figura 151: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Amagá-Angelópolis



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

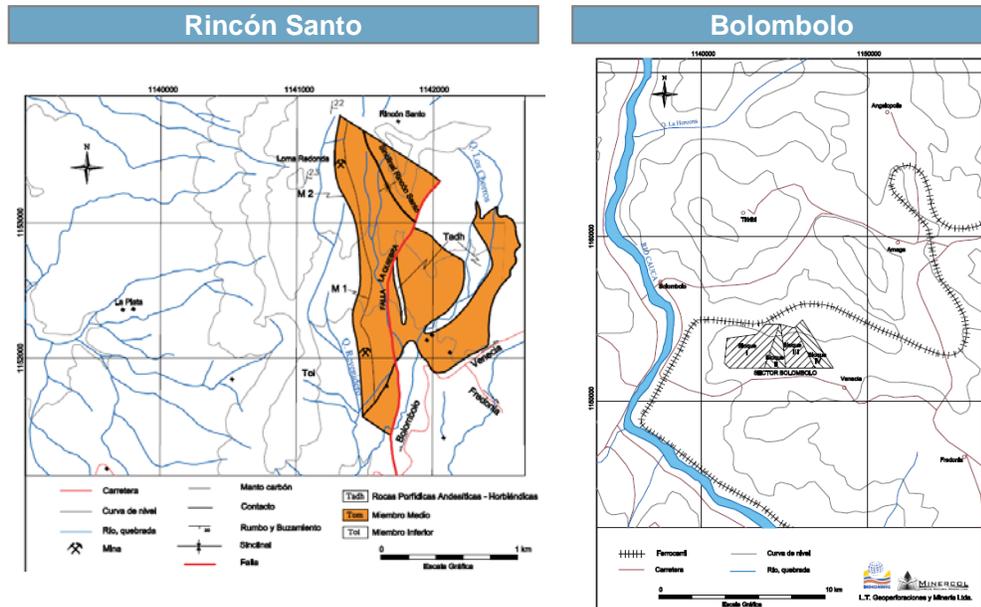
Sub región Venecia-Bolombolo

Venecia-Bolombolo tiene una superficie de 2,5 km² y está dividida en dos sectores: Rincón Santo y Bolombolo (Figura 152). La clasificación del carbón en la sub región Venecia-Bolombolo es Bituminoso Alto Volátil C.

Los dos sectores tienen características diferentes, las cuales se resumen a continuación.

- Sector de Rincón Santo
 - Dirección: Norte-Sur
 - Dos mantos de carbón
- Sector de Bolombolo
 - La Formación Amagá aflora en sus tres miembros, intruída por pórfidos andesíticos y cubiertos por depósitos Cuaternarios
 - Ocupa una tramo de la charnela y de los flancos del sinclinal Rincón Santo, sobre el cual se desarrollan la sección media y superior de la Formación Amagá; el miembro inferior se desarrolla en la terminación axial de la estructura
 - 18 mantos de carbón en la sección media de la formación Amagá (espesor de 0,6 a 3,2 m)

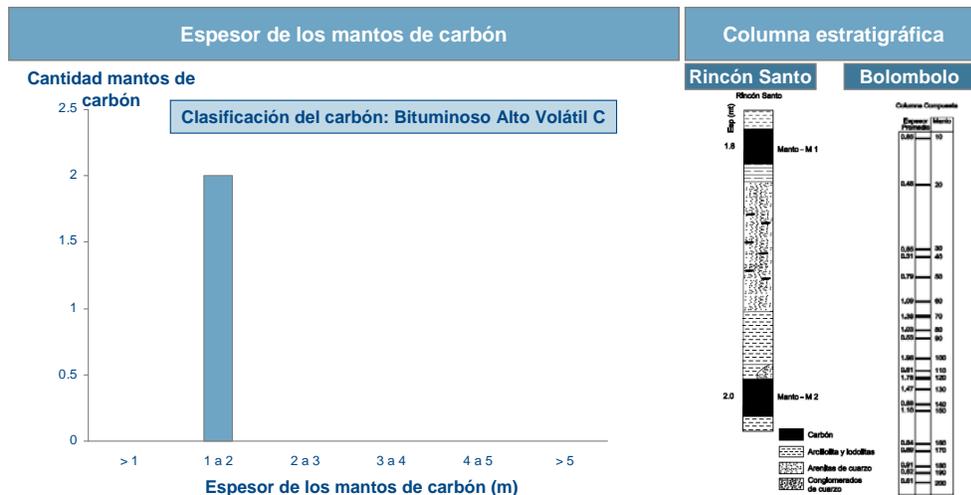
Figura 152: Región de Antioquia – Sub región Venecia-Bolombolo



Fuente: Ingeominas

Se cuenta únicamente con datos de espesor para dos mantos de carbón en Rincón Santo (Figura 153).

Figura 153: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Venecia-Bolombolo



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Titiribí

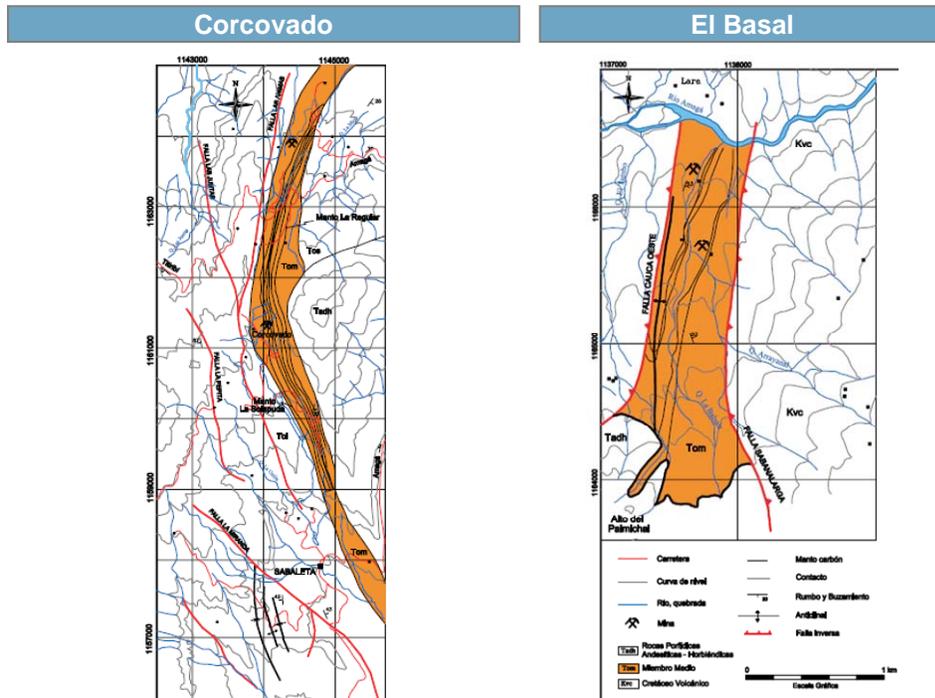
La sub región Titiribí está ubicada en el noroccidente de la región de Antioquia (Figura 154). Tiene una superficie de 100 km² y está dividida en dos sectores: El Corcovado y El Basal, con carbón localizado en la sección media de la formación Amagá.

La clasificación del carbón en la sub región Titiribí es Bituminoso Alto Volátil C.

Los dos sectores tienen características diferentes, las cuales se resumen brevemente a continuación.

- Sector de El Corcovado
 - En la parte oriental
 - Dirección: Norte-Sur
 - Monoclinal con estratos
 - Seis mantos de carbón
 - Columnas estratigráficas de 148 m de espesor en la sección media de la formación Amagá
- Sector de El Basal
 - Dirección: Norte-Sur
 - Seis mantos de carbón
 - Columnas estratigráficas de 309 m de espesor en la sección media de la formación Amagá

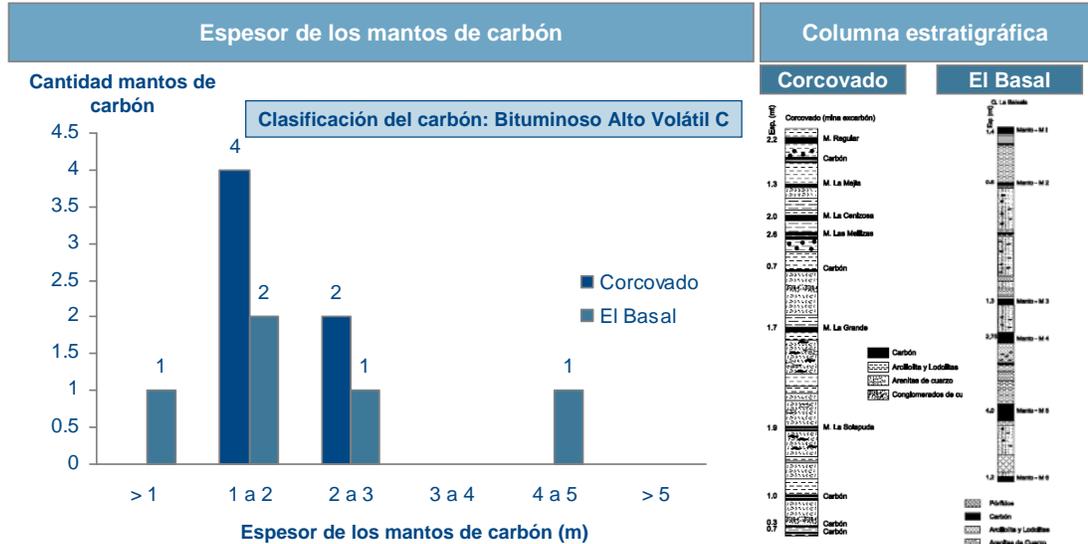
Figura 154: Región de Antioquia – Sub región Titiribí



Fuente: Ingeominas

La mayor parte de los mantos de carbón en la sub región Titiribí tiene un espesor mayor a 1 metro y existe un manto de carbón que tiene un espesor mayor a los 4 metros. (Figura 155).

Figura 155: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón y columna estratigráfica en Titiribí



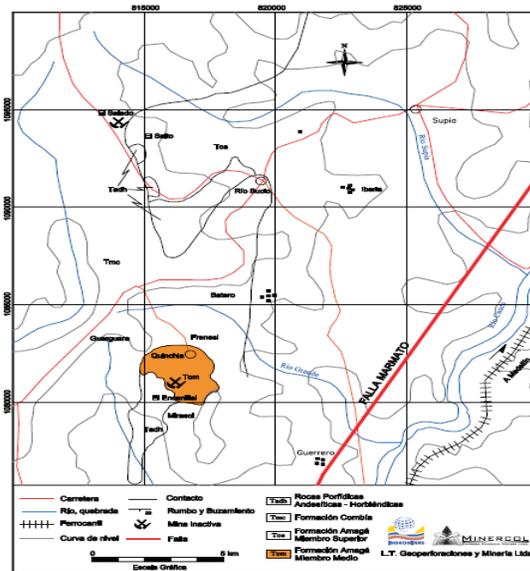
Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Riosucio-Quinchía

La sub región Riosucio-Quinchía tiene una superficie de 163,5 km² (Figura 156) y el carbón se encuentra en la sección media de la formación Amagá. Tiene una topografía escarpada con afloramientos de roca en el área, que oscilan del Cretácico al Cuaternario.

El carbón en la sección media de la formación Amagá se compone de arcillolitas con areniscas de cuarzo intercaladas. Su espesor es de 1.500 metros, de los cuales 250 metros corresponden a la sección media. La clasificación del carbón es Bituminoso Alto Volátil C. Las corrientes de agua principales en la sub región Riosucio-Quinchía son los ríos Supía, Grande y Cauca.

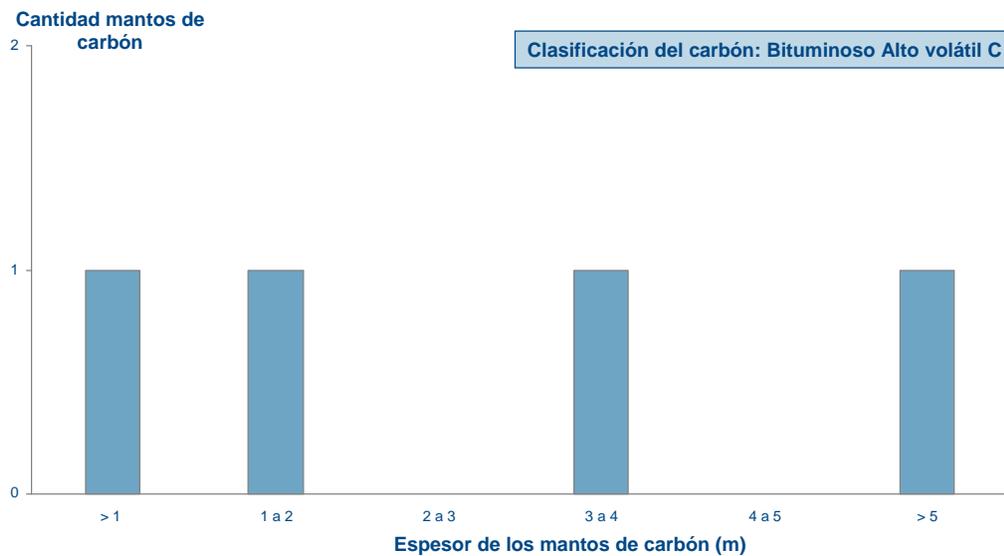
Figura 156: Región de Antioquia – Sub región Riosucio-Quinchía



Fuente: Ingeominas

El espesor de los mantos de carbón en Riosucio-Quinchía oscila entre menos de 1 metro y más de 5,00 metros. (Figura 157).

Figura 157: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón en Riosucio-Quinchía



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

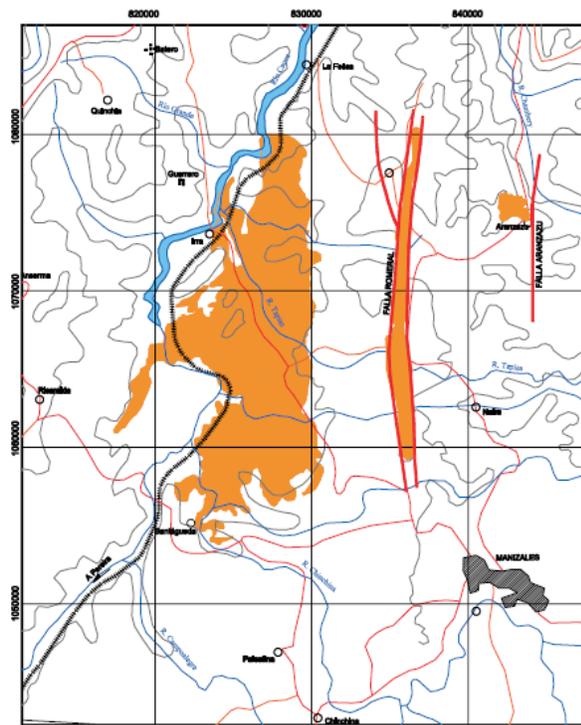
Sub región Aranzazu-Santágueda

El carbón en Aranzazu-Santágueda está en la formación Amagá y se divide en dos sectores: Aranzazu y Santágueda. (Figura 158).

Las características tectónicas más importantes en la sub región Aranzazu-Santágueda son las fallas Romeral y Aranzazu-Manizales.

El nivel superior de la formación Amagá tiene un espesor de 50 metros y consta de areniscas de cuarzo, arcillolitas y mantos de carbón. La clasificación del carbón es lignito A y B.

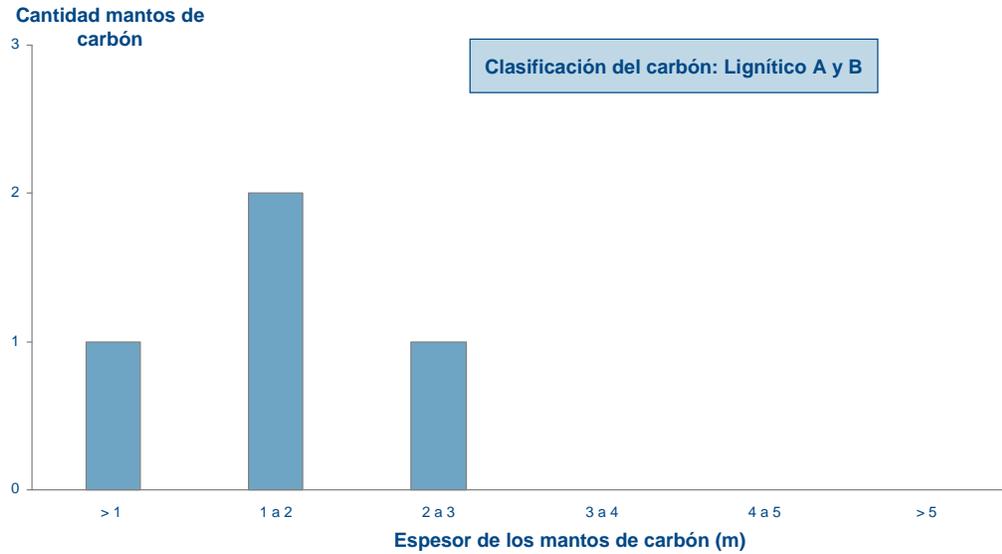
Figura 158: Región de Antioquia – Sub región Aranzazu-Santágueda



Fuente: Ingeominas

El espesor de los mantos de carbón en Aranzazu-Santágueda está en el rango de 1 a 2 metros. (Figura 159).

Figura 159: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón en Aranzazu-Santágueda



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.7.6 Contenido de gas Composición y calidad del carbón

Tabla 33: Región de Antioquia – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Venecia-Fredonia		ROM	Eq +1	11,64	8,11	40,06	40,20	0,48	10.426
Amagá-Angelópolis	Amagá-Nechi	ROM	Eq +1	13,16	11,96	36,69	38,18	0,55	9.682
	Angelópolis								
Venecia-Bolombolo	Rincón Santo	BCA	HR	9,84	11,10	38,45	40,61	1,04	10.090
	Bolombolo	BCA	HR	8,49	7,90	37,77	45,91	1,09	11.113
Titiribí	Corcovado	ROM	Eq +1	7,25	7,92	37,99	46,84	0,72	11.767
	El Basal								
Riosucio-Quinchía		BCA	HR	4,08	15,56	31,75	48,61	1,80	10.713
Aranzazu-Santágueda	Aranzazu	BCA	HR	22,22	28,69	30,33	18,76	0,67	5.451
	Santágueda	BCA	HR	19,03	25,05	37,32	18,60	0,43	6.230

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

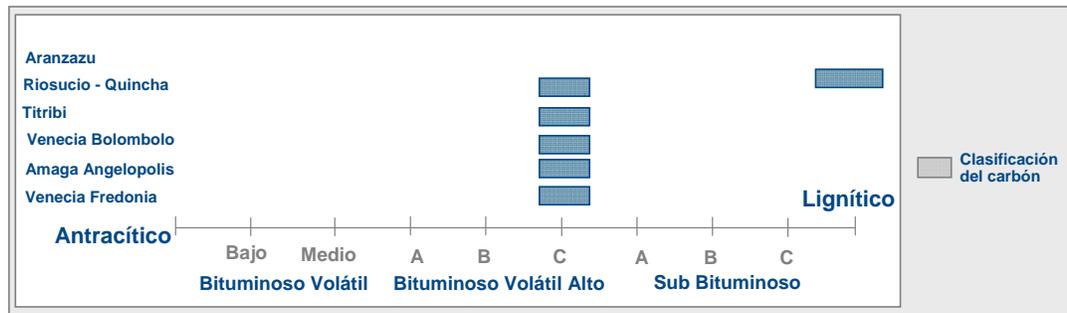
A partir de los datos en la Tabla 33 se pueden identificar claramente las características principales para cada sub región en la región de Antioquia.

- Venecia-Fredonia: Carbón térmico de buena calidad. Carbón térmico apropiado para la generación de vapor y calor en sectores industriales y eléctricos
- Amagá-Angelópolis: Carbón térmico de buena calidad
- Venecia-Bolombolo: Carbón térmico de buena calidad
- Titiribí: Valores límite para emisiones de SO₂ y para tasa de trituración
- Riosucio-Quinchía: Alto contenido de cenizas
- Aranzazu-Santágueda: Alto contenido de cenizas

Clasificación del carbón

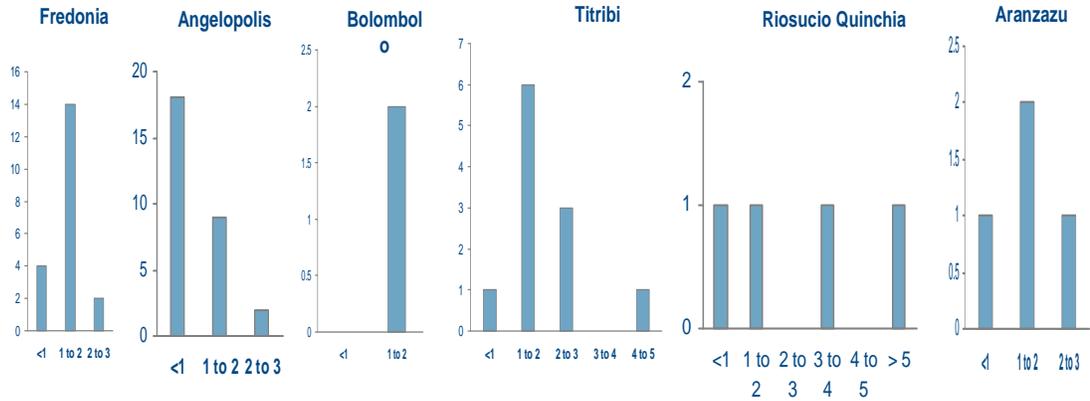
Todas las regiones, a excepción de Aranzazu-Santágueda, tienen carbón que se clasifica como de alta calidad, apropiado para el desarrollo de CBM. Aun cuando algunas de las regiones tienen mantos de carbón con un espesor superior a los 2 mts., el número total de mantos es bajo hasta las profundidades explotables en el sector. (Figura 160 y Figura 161).

Figura 160: Región de Antioquia – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 161: Región de Antioquia – Espesor de los mantos de carbón

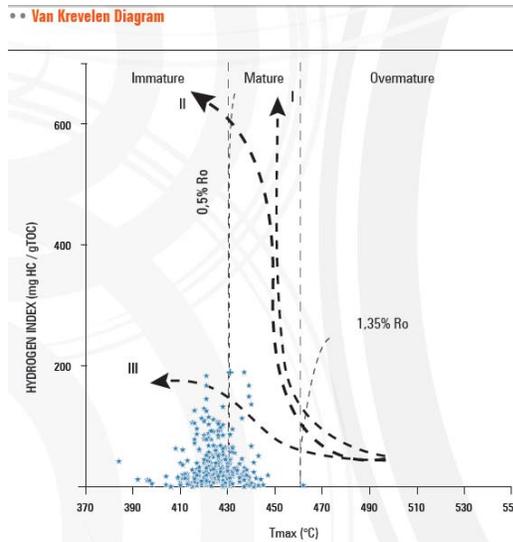


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

La mayor parte de la secuencia estratigráfica muestra que se encuentra en la gama entre inmadura y levemente madura. (Figura 162).

Rocas con el potencial para la generación de hidrocarburos, depositadas durante final del Cretácico al Oligoceno. Se identifica claramente la presencia de múltiples niveles de areniscas y conglomerados con buenas características, en su calidad de yacimiento depositado durante el final del Paleoceno a mediados del Mioceno. Geometrías favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Figura 162: Región de Antioquia – Diagrama HI



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 - Sinú-San Jacinto-Lower Magdalena Valley

Estimados preliminares indican que Antioquia posee un potencial de CBM de 0,28 TCF a 0,37 TCF (Tabla 34). El estimado se basó en los siguientes supuestos:

- Estimado preliminar de carbón total in situ (estimado de ADL basado en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso Bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto):

Tabla 34: Región de Antioquia – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial de carbón total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Potencial de gas estimado (TCF)
Venecia-Fredonia	65,95	264	190	0,05
Amagá-Angelópolis	193,19	772	169	0,13
Venecia-Bolombolo	161,50	646	208	0,13
Titiribí	54,10	216	241	0,05
Total	474,74	3.975		0,28 – 0,37 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

Algunas áreas en las regiones de Antioquia exhiben un contenido de cenizas superior al 10%, lo que indica que alguna parte del carbón podría tener una permeabilidad más baja (Tabla 35).

Tabla 35: Región de Antioquia – Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Venecia-Fredonia		ROM	Eq +1	11,64	8,11	40,06	40,20	0,48	10.426
Amagá-Angelópolis	Amagá-Nechi Angelópolis	ROM	Eq +1	13,16	11,96	36,69	38,18	0,55	9.682
Venecia-Bolombolo	Rincón Santo	BCA	HR	9,84	11,10	38,45	40,61	1,04	10.090
	Bolombolo	BCA	HR	8,49	7,90	37,77	45,91	1,09	11.113
Titiribí	Corcovado	ROM	Eq +1	7,25	7,92	37,99	46,84	0,72	11.767
	El Basal								
Riosucio-Quinchía		BCA	HR	4,08	15,56	31,75	48,61	1,80	10.713
Aranzazu-Santágueda	Aranzazu Santágueda	BCA	HR	22,22	28,69	30,33	18,76	0,67	5.451
		BCA	HR	19,03	25,05	37,32	18,60	0,43	6.230

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.7.7 Resumen y conclusiones

Las características de la región de Antioquia indican que algunas sub regiones podrían ser atractivas para el desarrollo de CBM. (Figura 163).

Figura 163: Región de Antioquia – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Venecia Fredonia					
Amaga Angelopolis					
Venecia Bolombolo					
Titiribi					
Riosucio - Quincha				n/a	n/a
Aranzazu				n/a	n/a
Antioquia		n/a			

Fuerte Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

1.8 Región de Santander

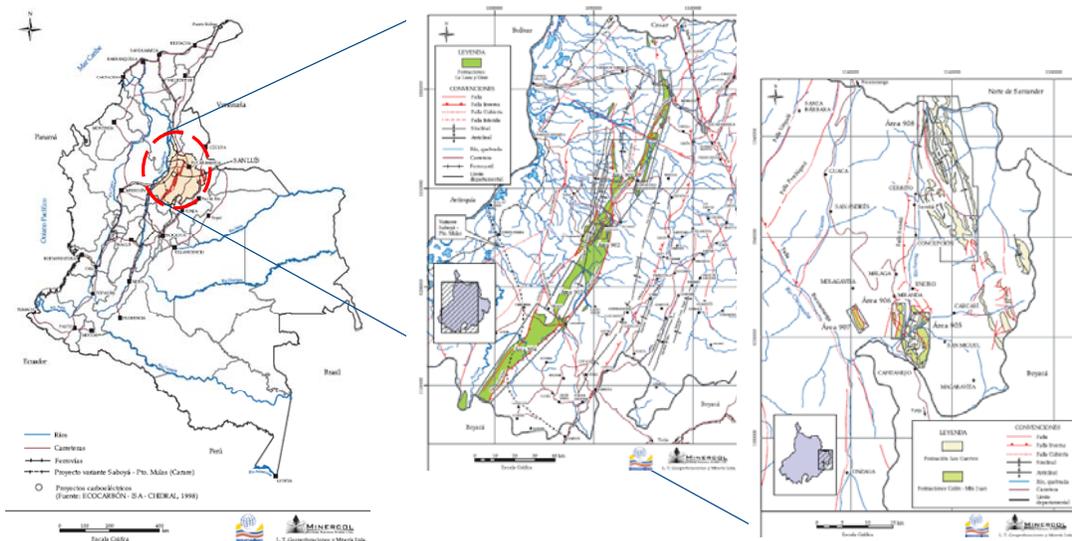
La región de Santander, con una superficie de 30.537 km², está ubicada en el nororiente de Colombia. (Figura 164). Esta región está situada en la Cordillera Oriental, entre la franja en donde la Cordillera toma un rumbo hacia el Norte-Noroccidente y el Valle del Río Magdalena. La región de Santander está delimitada hacia el norte y hacia el oriente con los departamentos de Cesar y Norte de Santander, hacia el sur y el suroriente con Boyacá y hacia el occidente con Bolívar y Antioquia.

Esta región incluye los carbones que se encuentran en el departamento de Santander. Los carbones se encuentran en dos grandes superficies, una de las cuales está ubicada en el borde occidental de la Cordillera Oriental, y la otra en el Macizo de Santander.

Las unidades carboníferas están compuestas por la formación Umir hacia el occidente y la formación Colón-Mito Juan, Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera hacia el oriente.

El tipo de la cuenca es poli-histórica tectónica hasta tornarse en una cuenca antepaís fragmentada. Las principales corrientes de agua en la región son los ríos Chicamocha, Lebrija, Suárez, Sogamoso, Carare y Opón.

Figura 164: Ubicación de la Región de Santander



Fuente: Ingeominas

1.8.1 Método para la extracción del carbón

Las primeras labores de minería en la región de Santander comenzaron en los años 60, con la explotación de antracitas en Landázuri.

La poca actividad minera se ha desarrollado mediante el sistema de extracción subterránea que utiliza principalmente el método de galerías y pilares.

En el área carbonífera del Páramo del Almorzadero, entre los años de 1990 al 1992, se estableció un proyecto minero que tenía la intención de producir 60.000 toneladas por año con la operación de cinco minas. Sin embargo, durante ese período solamente se produjeron 3.500 toneladas. Actualmente las minas están inactivas.

1.8.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

La infraestructura se limita al surgimiento de la industria minera. La región de Santander está conectada con el resto de Colombia a través de carreteras principales, al igual que por ferrocarril y vías fluviales. (Figura 165).

Las principales rutas en la región son la Troncal Central y la Troncal del Magdalena.

Figura 165: Infraestructura en la Región de Santander



Fuente: Ingeominas – Middle Magdalena Valley

Aspectos ambientales y sociales

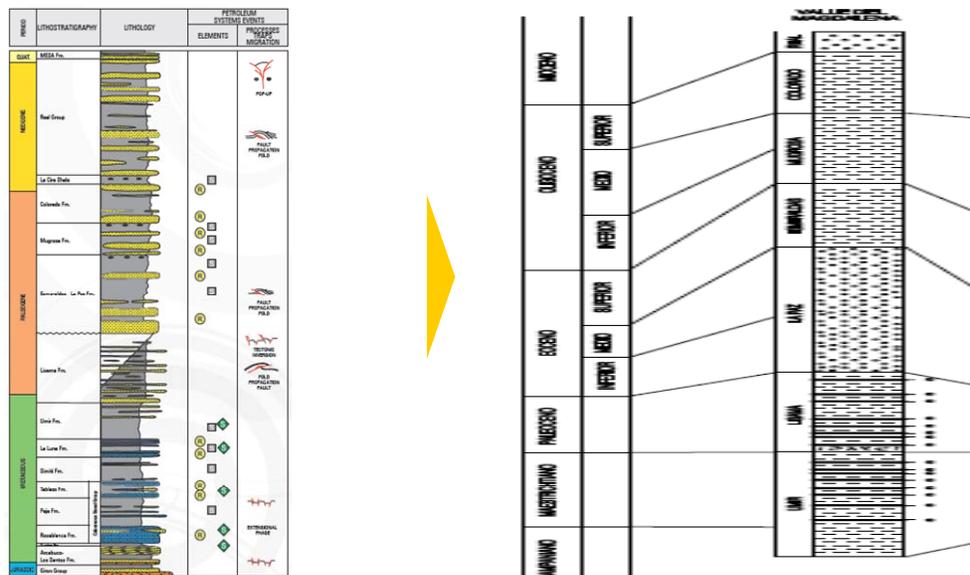
Dada la condición emergente de la actividad carbonífera que se está desarrollando en la región de Santander, los impactos ambientales y sociales todavía no son evidentes.

Teniendo en cuenta la posible existencia de parques nacionales, reservas forestales, reservas de tierras para las minorías étnicas u otras áreas especiales, no existen restricciones especiales en cuanto al medio ambiente ni de tipo social para el desarrollo de la minería del carbón en la región.

1.8.3 Columna estratigráfica

El 30% de los mantos de carbón en la región de Santander tiene un espesor mayor a 1 metro (Figura 166).

Figura 166: Columna estratigráfica para la Región de Santander



Fuente: Ingeominas, Catálogo Open Round Colombia 2010 – Middle Magdalena Valley, análisis Arthur D. Little

Se han identificado cuatro formaciones principales en la región de Santander. La formación Umir hacia el occidente y las formaciones Colón-Mito Juan, Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera hacia el oriente.

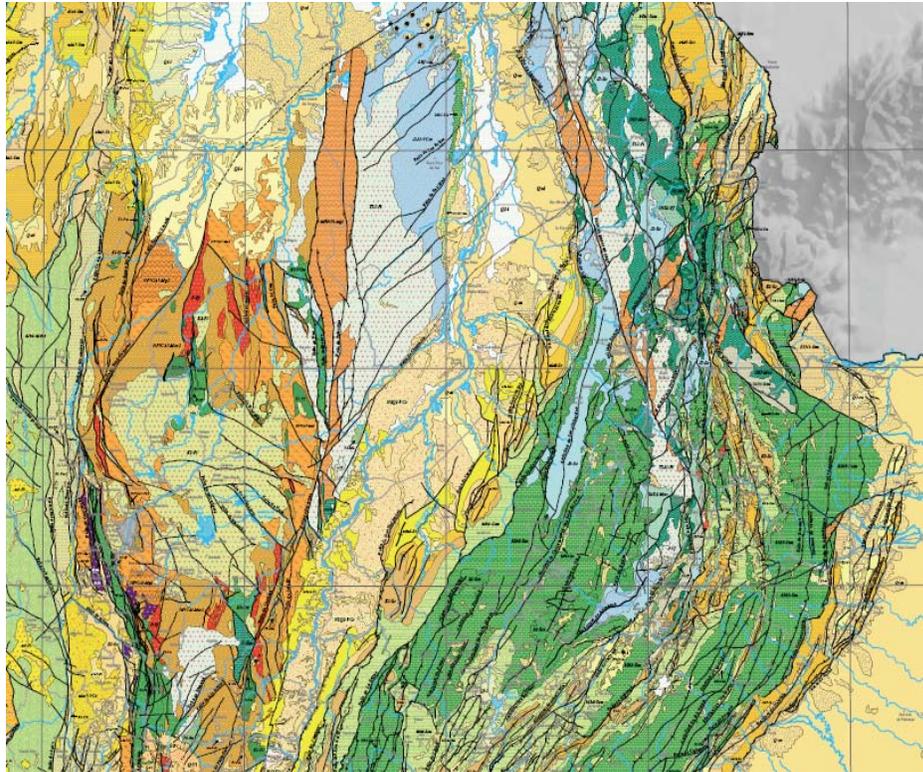
- Formación Umir

- Arcillolitas negras a grisácea-verdosas, 1.400 m de grosor en San Luis; hay algunas capas intercaladas de arenitas arcillosas de cuarzo y mantos de carbón (en algunos sitios éstos llegan hasta 3 m de espesor)
- Formación Colón-Mito Juan
 - Lodolitas y arcillolitas grises oscuras, carbonáceas, con arenitas de cuarzo finas y muy finas intercaladas, con un espesor que varía entre 325 m y 600 m.
 - Superimpuesta por la Formación Barco y se correlaciona con la formación Umir y la parte inferior de la formación Lisama del Valle del Magdalena Medio
- Formación Los Cuervos
 - Arcillolitas con pocas capas de arenitas de cuarzo, arcillolitas sieríticas, arcillas carbonáceas y capas de carbón en los 75 m inferiores.
 - Su espesor en el Páramo del Almorzadero típicamente oscila entre 265 m y 420 m y en el Morro La Nariz, alcanza los 430 m.
 - Se correlaciona con la parte superior de la Formación Lisama del Valle del Magdalena Medio
- Formación Carbonera
 - Serie gruesa de arcillolitas de color gris a gris-verdoso y marrones y areniscas de cuarzo asociadas con carbón, unas pocas capas de piedra caliza, pocas áreas de glauconita
 - Espesor máximo: 375 m
 - La edad se ubica en la parte inferior del Eoceno y de la parte superior es del Oligoceno
 - Se correlaciona con la formación Esmeralda y con la parte inferior de la formación Mugrosa del Valle del Magdalena Medio

1.8.4 Geología

La cuenca de Santander está ubicada en la cuenca del Magdalena Medio, adyacente al frente montañoso al oriente. (Figura 167).

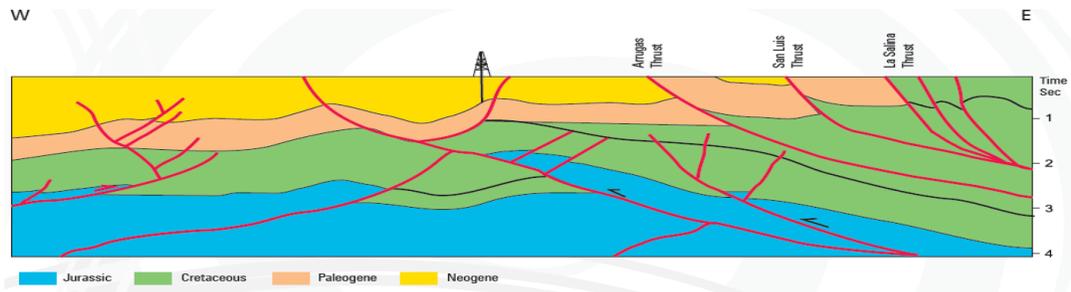
Figura 167: Mapa geológico de la Región de Santander



Fuente: Ingeominas 2007

En cuanto a estructura, las áreas entre las fallas son relativamente simples, lo que las hace atractivas para el desarrollo de CBM. No obstante, el área hacia el occidente podría ser excesivamente profunda para el desarrollo de CBM. (Figura 168). El carbón está localizado en la sección del Paleógeno. Se identifica una infraestructura de transporte significativa y potencial de comercialización en razón de la concentración de refinerías y oleoductos regionales dentro del área.

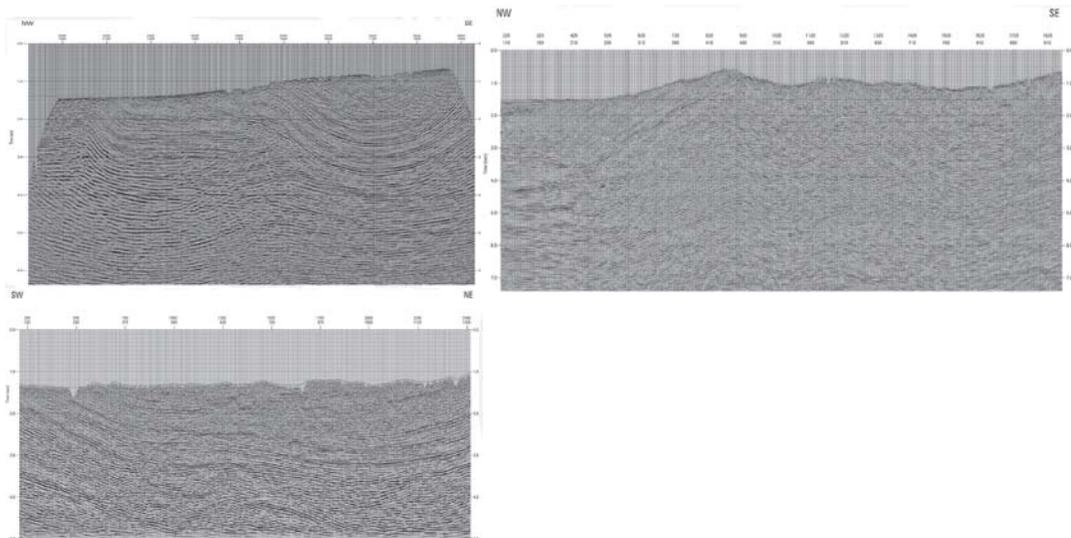
Figura 168: Perfil geológico de la sub cuenca de Santander



Fuente: Colombia Open Round 2010 - Middle Magdalena Valley

Las líneas de sísmica indican que el carbón podría yacer a profundidades excesivas para el desarrollo en cierta parte del área. (Figura 169).

Figura 169: Líneas de sísmica representativas de la Región de Santander



Fuente: Colombia Open Round 2010 - Middle Magdalena Valley

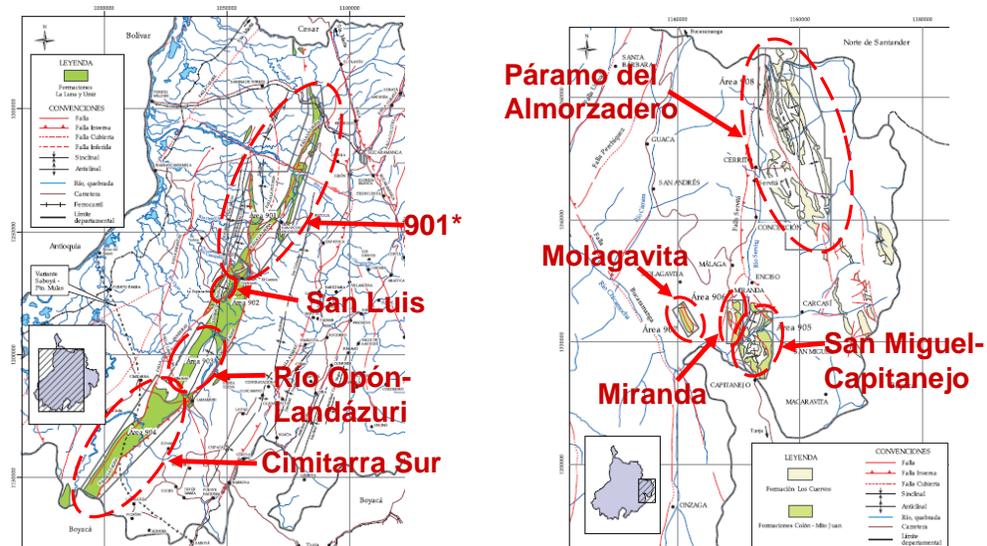
Las áreas dentro del frente montañoso enclavado podrían ser demasiado complejas para el desarrollo de CBM. Deberán adquirirse datos adicionales de sísmica con el fin de lograr mejores imágenes de secciones con perspectiva y para delinear las áreas para perforación de prospección.

1.8.5 Sub regiones

Los yacimientos de carbón que afloran están compuestos por la formación Umir hacia el occidente y las formaciones Colón - Mito Juan, Catatumbo, Los Cuervos y Carbonera hacia el oriente. Estos yacimientos de carbón, en cada una de las dos regiones, permanecen inalterados a través de grandes distancias. Teniendo en cuenta la situación litoestratigráfica, las diversas características geomorfológicas y las diferentes estructuras que se reconocen, la Región de Santander se ha dividido en ocho áreas carboníferas (Figura 170). Las cuatro primeras se extienden al interior de la pre cordillera y los cerros que están hacia el lado del Valle del Magdalena y las otras cuatro hacia el Macizo de Santander.

- Vanegas - San Vicente de Chucurí - Río Cascajales
- San Luis
- Río Opón - Landázuri
- Cimitarra Sur
- San Miguel - Capitanejo
- Miranda
- Molagavita
- Páramo del Almorzadero

Figura 170: Sub regiones de la Región de Santander

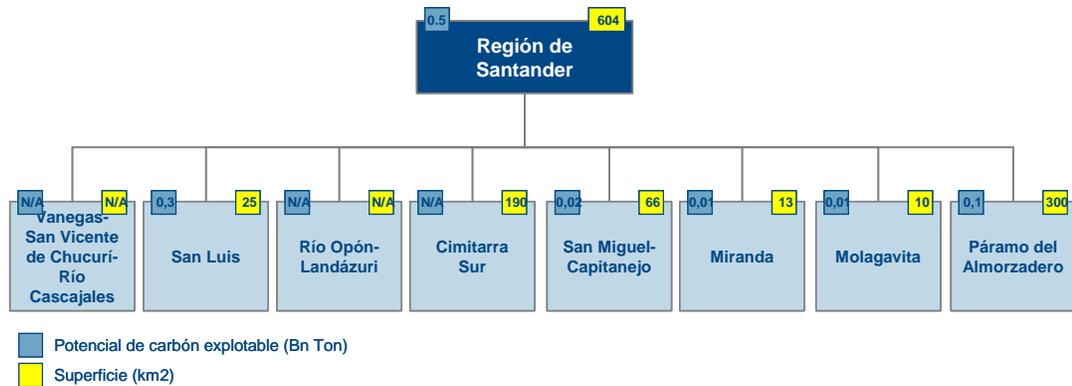


* 901: Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

La región de Santander tiene una superficie total de alrededor de 600 km² y el potencial de carbón explotable es de alrededor de 0,5 Bn Ton., ubicado mayormente en San Luis y el Páramo de Almorzadero. (Figura 171).

Figura 171: Superficie y potencial de explotación de carbón en la Región de Santander



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Santander posee un potencial total de carbón explotable de 464 MM de toneladas, lo que la convierte en la región que tiene el octavo potencial más grande de carbón explotable en Colombia. (Tabla 36).

En esta región se produce principalmente carbón térmico, metalúrgico y antracítico.

Tabla 36: Potencial de carbón explotable en la Región de Santander

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos explotables hipotéticos (MM Ton)	Potencial explotable de carbón (MM Ton)
	Medido	Indicado	Inferido		
San Luis	56,08	108,64	123,44	--	288,16
Capitanejo-San Miguel	--	18,00	1,43	--	19,43
Miranda	--	5,49	--	--	5,49
Molagavita	--	7,95	--	--	7,95
Páramo del Almorzadeo	--	118,24	24,37	--	142,61
Total	56,08	258,32	149,24	--	463,64

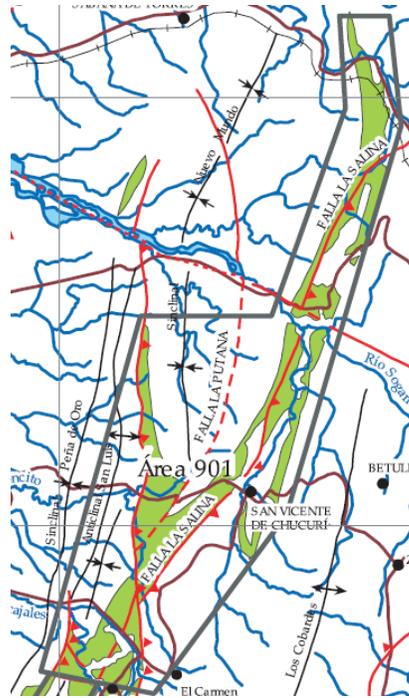
Potencial de carbón explotable = 464 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales

La sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales no ha sido evaluada. Sin embargo, la expectativa es que sus carbones son apropiados para la producción de carbón y energía, al igual que coque. La clasificación del carbón en la sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales es Bituminoso Alto Volátil A a Bituminoso Medio Volátil.

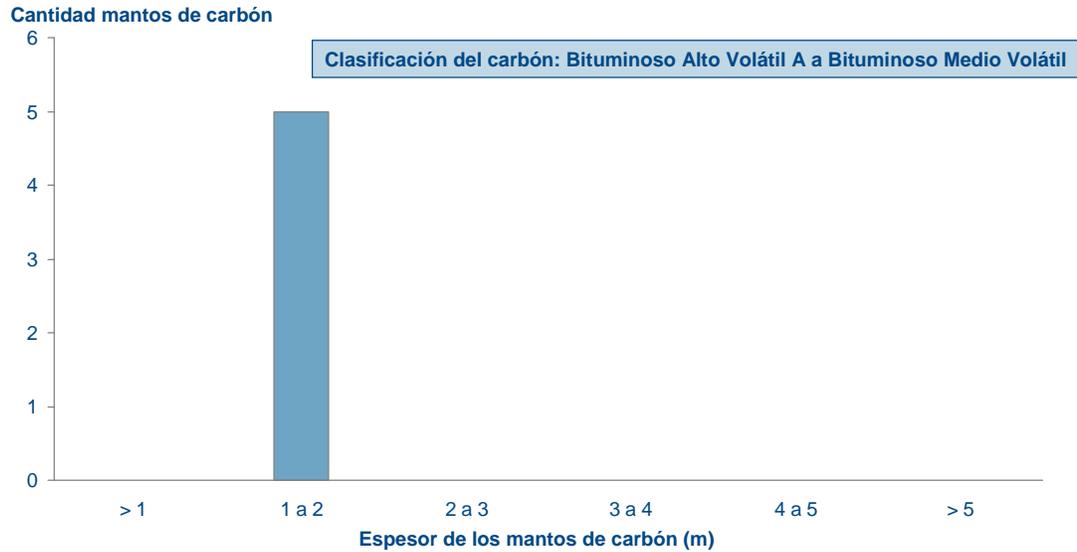
Figura 172: Región de Santander – Sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales



Fuente: Ingeominas 2004

Los cinco mantos de carbón que existen a profundidad explotable en la sub región Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales tienen un espesor que oscila entre 1,00 y 2,00 m. (Figura 173).

Figura 173: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Vangeas-San Vicente de Chucurí-Río Cascajales

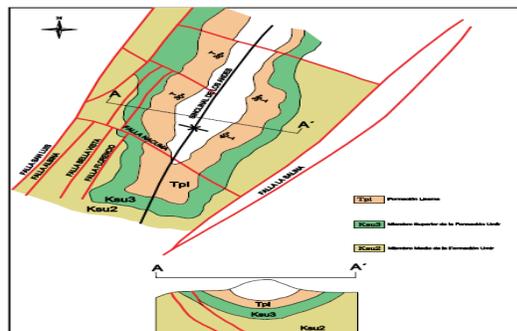


Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región San Luis

San Luis tiene una superficie de 25 km² y está ubicada al suroriente de Barrancabermeja (Figura 174), en el borde oriental del Valle del Magdalena Medio, en el piedemonte de la Cordillera de Los Cobardes. Desde el punto de vista de la minería del carbón, se encuentran carbones económicamente atractivos en la sub región San Luis a partir de la sección superior y media de la formación Umir. Se han identificado dos sectores en la sub región San Luis: el flanco oriental y el flanco occidental. La clasificación del carbón es Bituminoso Alto Volátil A.

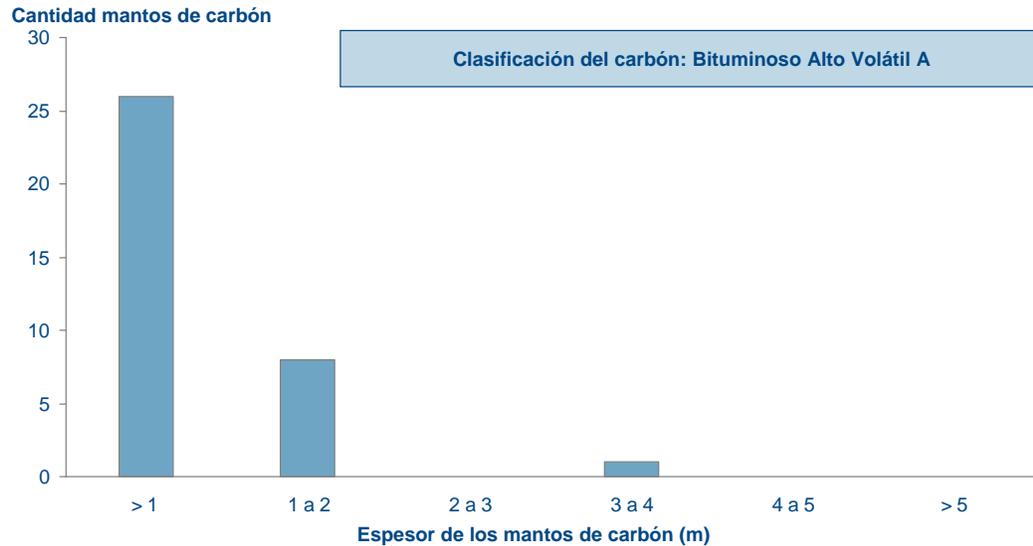
Figura 174: Región de Santander – Sub región San Luis



Fuente: Ingeominas

El 25% de los mantos de carbón en la sub región San Luis tiene un espesor mayor a 1 metro (Figura 175).

Figura 175: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en San Luis



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Río Opón-Landázuri

Debido a los pliegues de los estratos, la extracción de carbón se dificulta en Río Opón-Landázuri. La sub región Río Opón-Landázuri es drenada por afluentes del Río Opón y de la Quebrada La India. El área más septentrional contiene carbón antracítico y bituminoso muy similar al que se encuentra en el área de San Luis.

Figura 176: Región de Santander – Sub región Río Opón-Landázuri



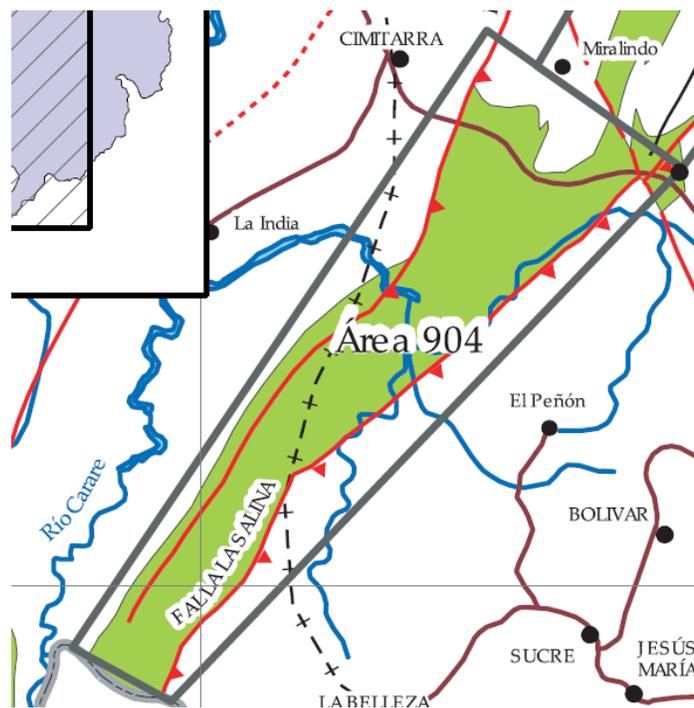
Fuente: Ingeominas

Sub región Cimitarra Sur

Cimitarra Sur tiene una superficie de 190 km². (Figura 177).

El carbón en Cimitarra Sur está ubicado en la formación Umir, con una clasificación del carbón como Bituminoso Alto Volátil A, B y C y Bituminoso Medio Volátil. La sub región presenta pliegues sinclinales y anticlinales.

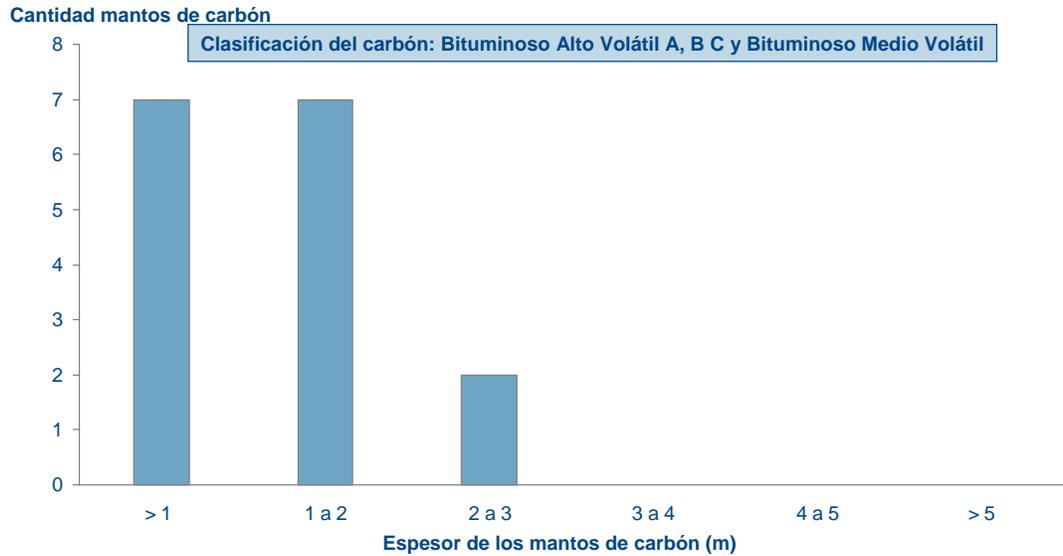
Figura 177: Región de Santander – Sub región Cimitarra Sur



Fuente: Ingeominas

En 2 de los 4 bloques en los que se ha dividido el área y a la profundidad explotable, se encuentran 10 mantos de carbón. Un 56% de los mantos de carbón en Cimitarra Sur tienen un espesor mayor a 1 metro (Figura 178).

Figura 178: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Cimitarra Sur



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

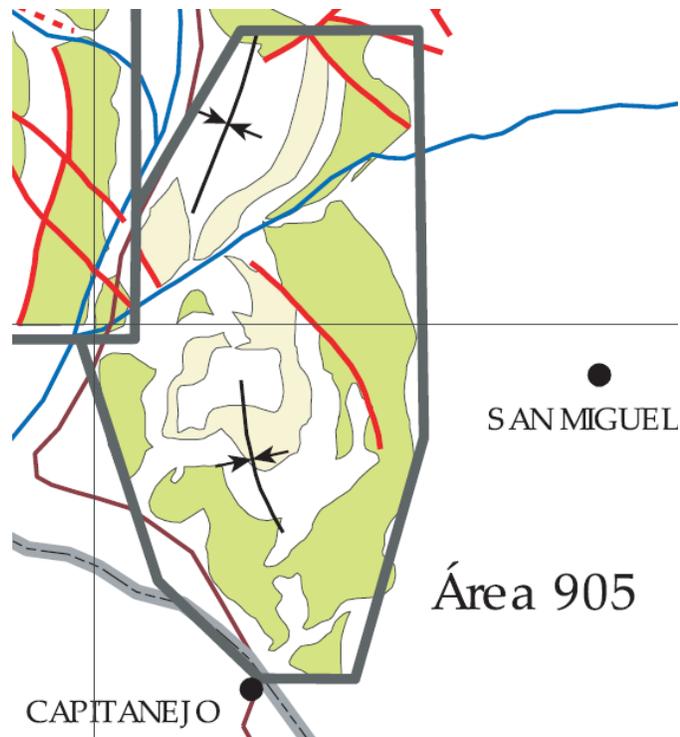
Sub región Capitanejo-San Miguel

La sub región Capitanejo-San Miguel, con una superficie de 66 km², está ubicada cerca al límite entre los departamentos de Santander y Boyacá. (Figura 179). La clasificación del carbón es Antracita a sub Bituminoso A y B (generalmente de clasificación más alta).

Las siguientes son las características de los carbones que se encuentran en los tres niveles identificados de la formación Mito Juan en la sub región Capitanejo-San Miguel.

- Nivel inferior: 378 m de espesor, compuesto por arcillolitas y limolitas de cuarzo
- Nivel medio: 189 m de espesor, compuesto por arenitas y limolitas de cuarzo
- Nivel superior: 360 m de espesor, compuesto por lodositas, arcillolitas carbonaceas y arenitas de cuarzo.

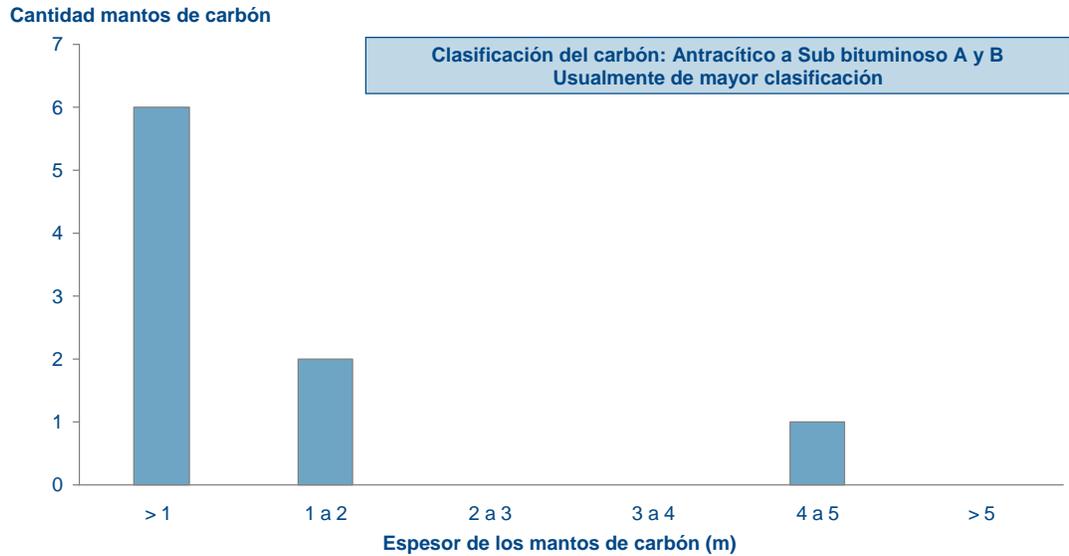
Figura 179: Región de Santander – Sub región Capitanejo-San Miguel



Fuente: Ingeominas

El espesor es de menos de 1,00 m en la mayor parte de los mantos de carbón en la sub región Capitanejo-San Miguel. (Figura 180).

Figura 180: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Capitanejo-San Miguel

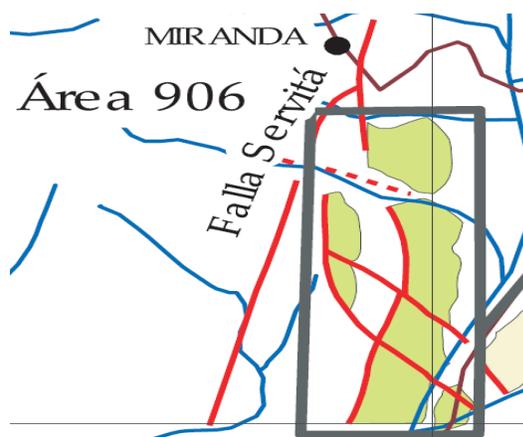


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Miranda

La sub región Miranda, con una superficie de 13 km², está localizada a 1,5 km. al sur de la población de Miranda (Figura 181). El carbón se encuentra ubicado en la formación Mito Juan, en donde se han encontrado 12 mantos de carbón. La clasificación del carbón es Bituminoso Bajo Volátil.

Figura 181: Región de Santander – Sub región Miranda



Fuente: Ingeominas

Sub región Molagavita

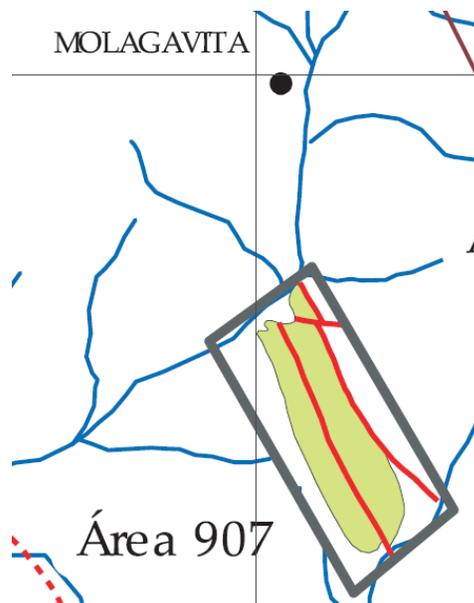
La sub región Molagavita, con una superficie de 10 km², está localizada la sur de la población de Molagavita. (Figura 182).

El carbón se encuentra en la sección superior de la formación Mito Juan en donde se han descubierto 12 mantos de carbón.

- Nivel inferior. Arcillolitas, cinco cintas y capas de carbón
- Nivel medio. Arenitas, una cinta y una capa de carbón
- Nivel superior. Arcillolitas alternando con areniscas de cuarzo, cuatro mantos de carbón

Los pliegues sinclinales y fallas menores son características de la sub región Molagavita. La clasificación del carbón es Bituminoso Alto Volátil A.

Figura 182: Región de Santander – Sub región Molagavita



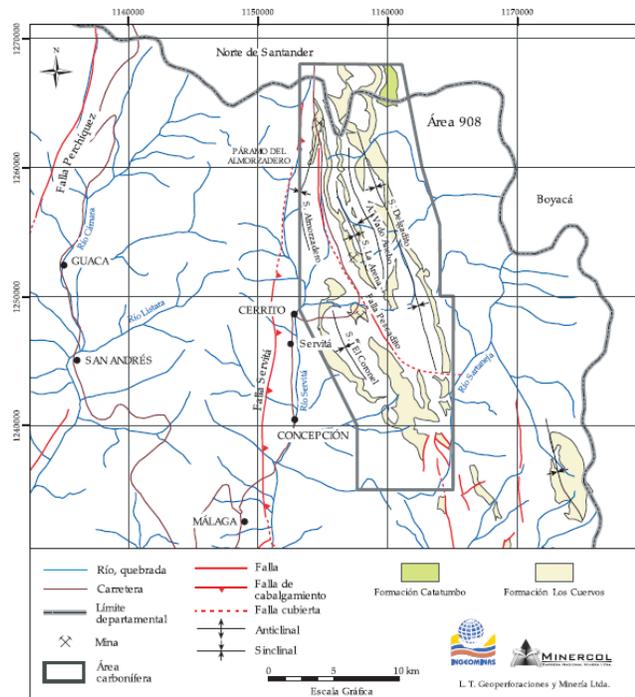
Fuente: Ingeominas

Sub región Páramo del Almorzadero

La sub región Páramo del Almorzadero, con una superficie de 300 km², está ubicada en los límites entre Santander y Norte de Santander (Figura 183).

El carbón se encuentra en la formación Los Cuervos, en donde, hasta la profundidad explotable (a entre 80 y 200 m de su base), se han identificado once mantos de carbón. La clasificación del carbón en la sub región Páramo del Almorzadero es Antracita a Bituminoso Medio Volátil.

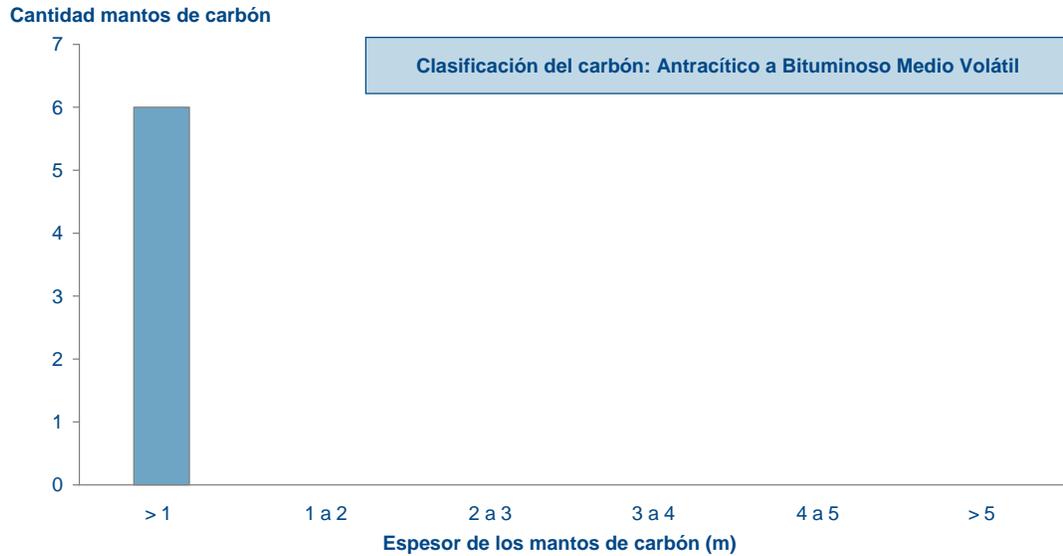
Figura 183: Región de Santander – Sub región Páramo del Almorzadero



Fuente: Ingeominas

Todos los mantos de carbón en el Páramo de Almorzadero tienen menos de 1 m de espesor. (Figura 184).

Figura 184: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón en Páramo del Almorzadero



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.8.6 Contenido de gas

Composición y calidad del carbón

Los carbones en algunas áreas de la región de Santander requieren de lavado previo antes de que se puedan utilizar.

Tabla 37: Región de Santander – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base	Eq + 1	%					
San Luis	Western flank - thermal	ROM	Eq + 1	2,70	25,95	28,11	43,23	1,76	10.913
	Western flank - coking	BCA	HR	1,63	7,65	33,38	57,33	1,37	13.994
	Eastern flank - thermal	BCA	HR	1,18	18,72	30,48	49,62	2,01	12.284
	Eastern flank - coking	BCA	HR	1,18	10,09	29,05	59,67	2,15	13.893
Cimitarra Sur		BCA	HR	4,61	4,61	29,77	61,01	0,62	13.021
Capitanejo – San Miguel		BCA	HR	6,33	6,33	19,00	67,16	0,93	11.782
Miranda		BCA	HR	1,81	1,81	15,13	68,59	3,46	12.803
Molagavita		BCA	HR	0,80	0,80	32,25	58,37	0,70	14.161
Páramo del Almorzadero		BCA	HR	5,18	5,18	14,23	75,88	0,75	12.889

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

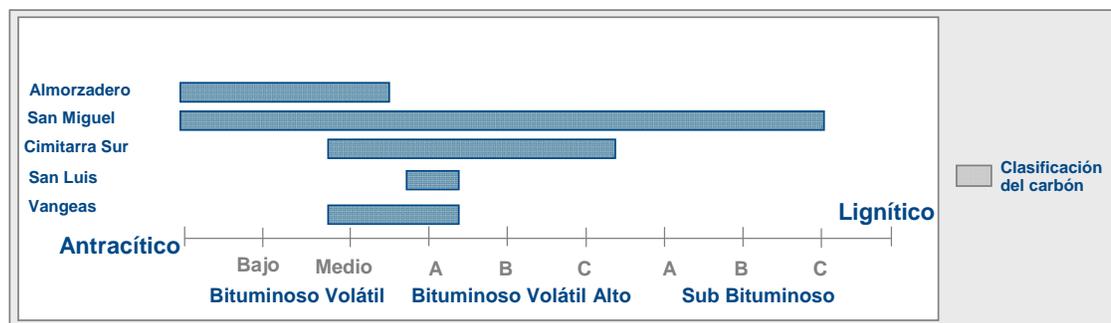
A partir de los datos en la Tabla 37 se pueden identificar claramente las características de cada sub región en la región de Santander.

- Flanco occidental de San Luis. Carbón térmico de buena calidad. El alto contenido de cenizas y azufre prevé la necesidad de que se lave el carbón antes de que se utilice en las calderas de plantas generadoras de electricidad
- Flanco oriental de San Luis. Si los costos de operación permiten el lavado de estos carbones, podrían ser utilizados como mezclas para la manufactura de coque para la industria siderúrgica
- Cimitarra Sur. Estos carbones poseen propiedades de coquización para permitir que sean utilizados principalmente en la industria siderúrgica. No se requiere lavado previo
- Capitanejo-San Miguel. Carbones de buena calidad. Bajo contenido de cenizas y azufre
- Miranda. Se requiere lavado previo antes de que se usen los carbones (por el alto contenido de cenizas y azufre)
- Molagavita. Carbón de buena calidad. Bajo contenido de cenizas y azufre, por lo que no se presentan problemas durante la combustión
- Páramo del Almorzadero. Carbón de buena calidad. No generan bloqueos en los ductos de la caldera ni problemas ambientales

Clasificación del carbón

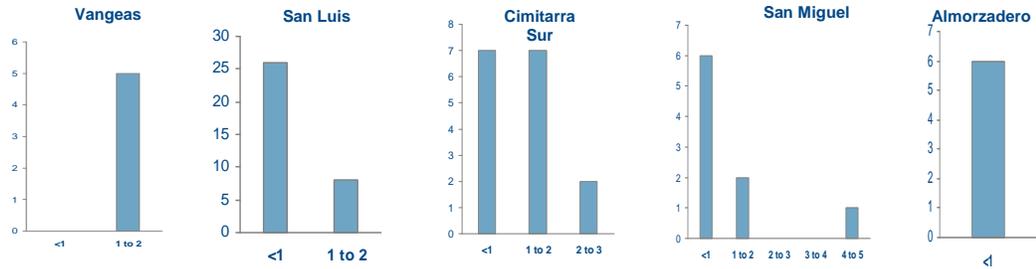
La clasificación del carbón en algunas sub regiones se ubica por el lado sobremaduro, mientras que otros carbones tienen una clasificación altamente variable. El espesor de los mantos de carbón varía según la sub región (Figura 185 y Figura 186).

Figura 185: Región de Santander – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

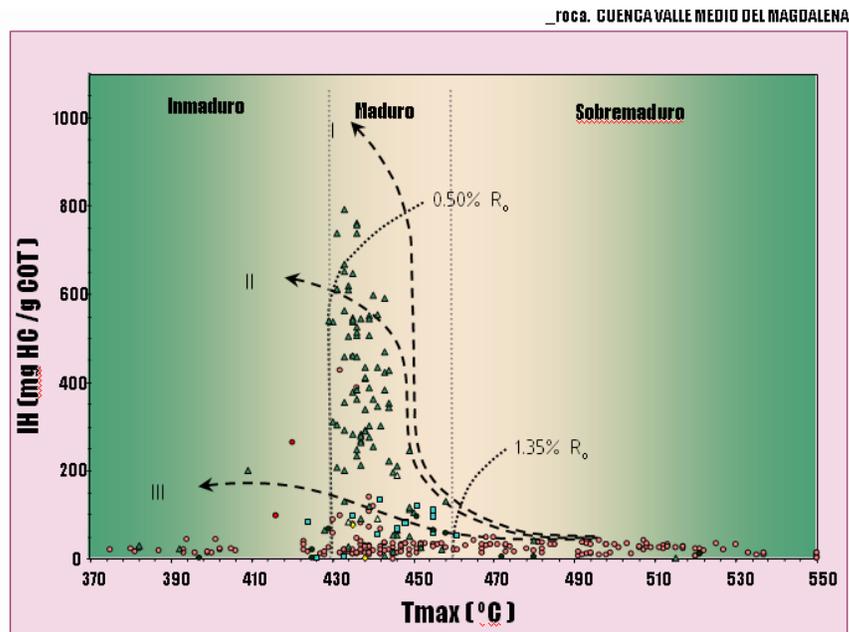
Figura 186: Región de Santander – Espesor de los mantos de carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

El análisis del diagrama IH vs. Tmax muestra que la mayor parte de la secuencia estratigráfica se sitúa entre madura y sobremadura. (Figura 187).

Figura 187: Región de Santander – Diagrama HI vs. Tmax



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 - Middle Magdalena Valley

Estimados preliminares indican que la región de Santander posee potencial para CBM de 0,5 – 0,7 TCF. (Tabla 38). Los supuestos principales para este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar del carbón total in situ (estimado de ADL con base en cuencas típicas con geología similar):
 - Caso Alto: 4 veces la cantidad de carbón explotable
 - Caso Bajo: 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado de ADL utilizando la fórmula del método indirecto):

Tabla 38: Región de Santander – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial de carbón total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Potencial de gas estimado (TCF)
San Luis	288,16	1.153	293	0,3
Capitanejo-San Miguel	19,43	78	442	0,0
Miranda	5,49	22	607	0,0
Molagavita	7,95	32	436	0,0
Páramo del Almorzadeo	142,61	570	541	0,3
Total	463,64	1.855		0,5 TCF – 0,7 TCF

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

Algunas áreas en la región de Santander exhiben un elevado contenido de cenizas, lo cual reduciría la permeabilidad. (Tabla 39).

Tabla 39: Región de Santander – Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
San Luis	Western flank - thermal	ROM	Eq + 1	2,70	25,95	28,11	43,23	1,76	10.913
	Western flank - coking	BCA	HR	1,63	7,65	33,38	57,33	1,37	13.994
	Eastern flank - thermal	BCA	HR	1,18	18,72	30,48	49,62	2,01	12.284
	Eastern flank - coking	BCA	HR	1,18	10,09	29,05	59,67	2,15	13.893
Cimitarra Sur		BCA	HR	4,61	4,61	29,77	61,01	0,62	13.021
Capitanejo – San Miguel		BCA	HR	6,33	6,33	19,00	67,16	0,93	11.782
Miranda		BCA	HR	1,81	1,81	15,13	68,59	3,46	12.803
Molagavita		BCA	HR	0,80	0,80	32,25	58,37	0,70	14.161
Páramo del Almorzadero		BCA	HR	5,18	5,18	14,23	75,88	0,75	12.889

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.8.7 Resumen y conclusiones

Las características clave de la región de Santander indican que algunas de sus sub regiones podrían ser atractivas para el desarrollo de CBM. (Figura 188).

Figura 188: Región de Santander – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
San Luis					
San Miguel					
Miranda		<i>n/a</i>	<i>n/a</i>		
Molagavita		<i>n/a</i>	<i>n/a</i>		
Páramo del Almorzadeo					
Cimitarra Sur				<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Vanegas				<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Santander					

Fuerte Débil

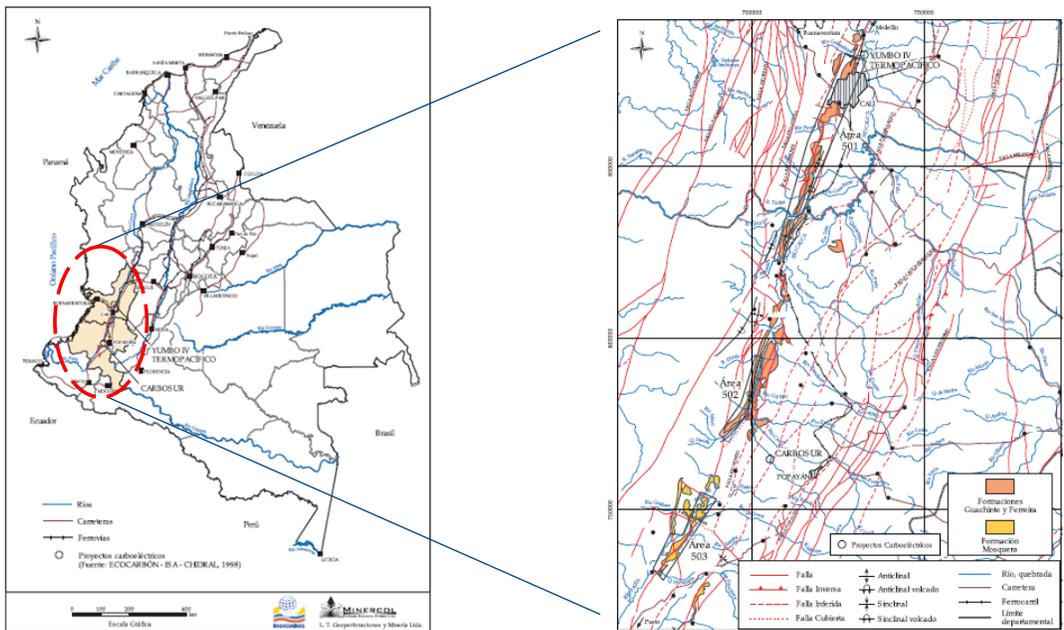
Fuente: análisis Arthur D. Little

1.9 Región del Valle del Cauca

La región del Valle del Cauca, con una superficie de 690 km², está ubicada entre la Cordillera Central y la Cordillera Occidental en el centro occidente de Colombia, al occidente de la depresión intercordillerana del Cauca-Patía. (Figura 189). Esta región abarca los carbones que se presentan en el territorio de los departamentos de Cauca y de Valle del Cauca.

La morfología de la región del Valle del Cauca consiste de una franja angosta y larga, caracterizada por topografía ondulante y exhibe un tipo de cuenca ‘piggyback’. El espesor máximo de la cubierta sedimentaria es de más de 3.000 metros.

Figura 189: Ubicación de la Región del Valle del Cauca



Fuente: Ingeominas

1.9.1 Método para la extracción del carbón

En la región del Valle del Cauca, el método tradicional para la extracción de carbón es la minería subterránea. Aún cuando algunos sectores han utilizado el método de minería ‘a cielo abierto’ en el pasado, estas operaciones, hoy día, se encuentran abandonadas.

Teniendo en cuenta el grado de tecnología que se utiliza y los volúmenes de producción, se han identificado dos tipos de operaciones en la región del Valle del Cauca: una es la minería artesanal, que se caracteriza por la ejecución manual de las operaciones, produciendo menos de 6.000 toneladas por año, sin características de diseño minero, carente de mecanización, sin reconocimiento de las reservas, con infraestructura pobre, falta de recursos económicos y pobre comercialización del producto. Bajo estas condiciones, la actividad minera exige esfuerzos de mano de obra significativos que no se reflejan en niveles aceptables ni en la producción ni en los ingresos. En forma similar, el número de mineros por unidad de producción es muy reducido, no más de seis personas, y en gran medida no se cumplen las normas técnicas y de seguridad para estos empleos. El porcentaje de minas identificadas a este nivel de operaciones fue del 77% en el año 2003, según un estudio de *Minercol*.

El otro tipo de explotación se lleva a cabo en minas con un nivel moderado de mecanización. Un aspecto importante en este tipo de explotación es el mayor grado de organización técnica y de negocios y la producción de más de 12.000 toneladas por año.

Las minas más representativas en la región del Valle del Cauca, considerando su grado de mecanización y su organización comercial, son: El Retiro, La Pagua, El Retorno y El Banco en la parte septentrional y Río Claro, Las Mercedes y La Yolanda en la parte central, todas éstas localizadas en el departamento del Valle del Cauca.

1.9.2 Infraestructura, medio ambiente y aspectos sociales

Infraestructura

Importantes rutas conectan a la región. El medio de comunicación principal es la Vía Panamericana, que conecta a Cali con Popayán y El Bordo; otras rutas van desde los yacimientos de carbón al puerto de Buenaventura y se conectan con otras rutas que forman parte del sistema de carreteras nacionales.

Aspectos ambientales

En razón de que gran parte de la población de la región del Valle del Cauca consume agua proveniente de quebradas en la región, existe la posibilidad de afectación de la salud humana y de los recursos hidrobiológicos debido a la contaminación por un alto contenido de minerales tales como hierro, sulfatos y cloruros, además de la acidez que se genera en el agua debido a la contaminación.

Debe hacerse mención especial del fenómeno de hundimiento que resulta a raíz de la apertura de túneles sin la debida consideración geotécnica, con sus implicaciones en cuanto a la formación de depresiones en la superficie de la tierra y la alteración a los sistemas de drenaje superficial y subterráneo. En la región del Valle del Cauca, y especialmente en operaciones en las áreas de Yumbo y Cali, minas pequeñas han sido abandonadas en forma indiscriminada, en las que los pilares de soporte en las galerías de trabajo subterráneo se han venido retirando gradualmente, lo que ha producido el colapso de la tierra y mayores riesgos para la vida de los mineros.

Aspectos sociales

La proporción de necesidades básicas insatisfechas en los municipios mineros en el Valle del Cauca es más bajo que el promedio a nivel nacional, mientras que en los municipios mineros del Cauca se ubican en porcentajes que superan el 50%, lo que refleja una situación preocupante en cuanto a la infraestructura básica en esta parte de la región minera del Valle del Cauca.

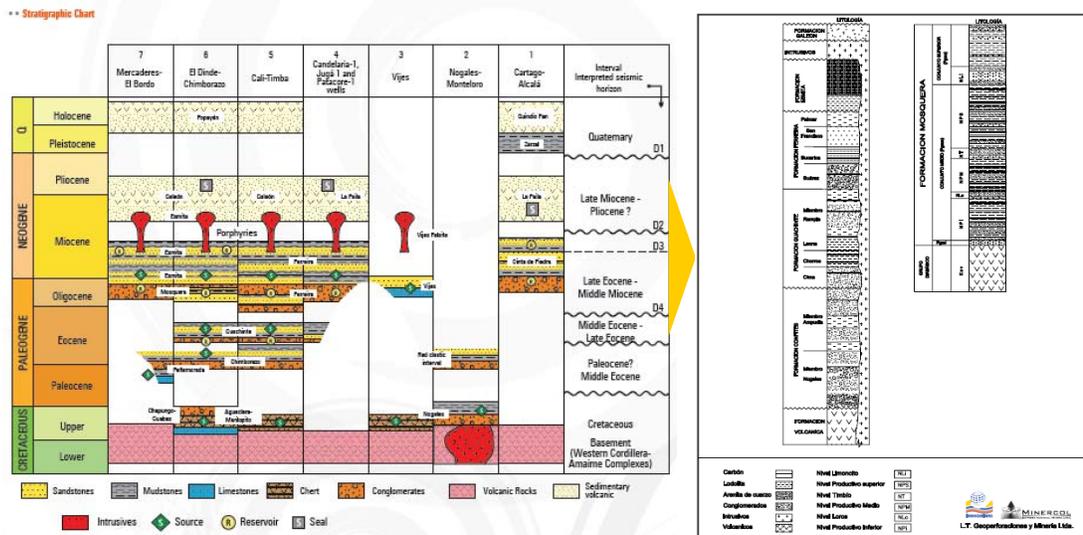
La generación de empleo en las actividades de minería de carbón ha sufrido en años recientes debido a la reducción de operaciones como consecuencia de un mayor grado de control en cuanto a la minería ilegal y debido a problemas de seguridad en muchas minas.

La legislación ambiental promulgada a nivel nacional en relación con las restricciones existentes para el desarrollo minero manifiesta que se encuentran comunidades de indígenas de los Páez, ubicados en los municipios de Morales, El Tambo y Buenos Aires en el departamento del Cauca. Existen resguardos indígenas especiales en las primeras dos mientras que son propietarias de las tierras en la restante.

1.9.3 Columna estratigráfica

El 30% de los mantos de carbón en la región del Valle del Cauca tiene un espesor mayor a 1 metro (Figura 190).

Figura 190: Columna estratigráfica para la Región del Valle del Cauca



Fuente: Ingeominas, Catálogo Open Round Colombia 2010 – Cauca-Patía, análisis Arthur D. Little

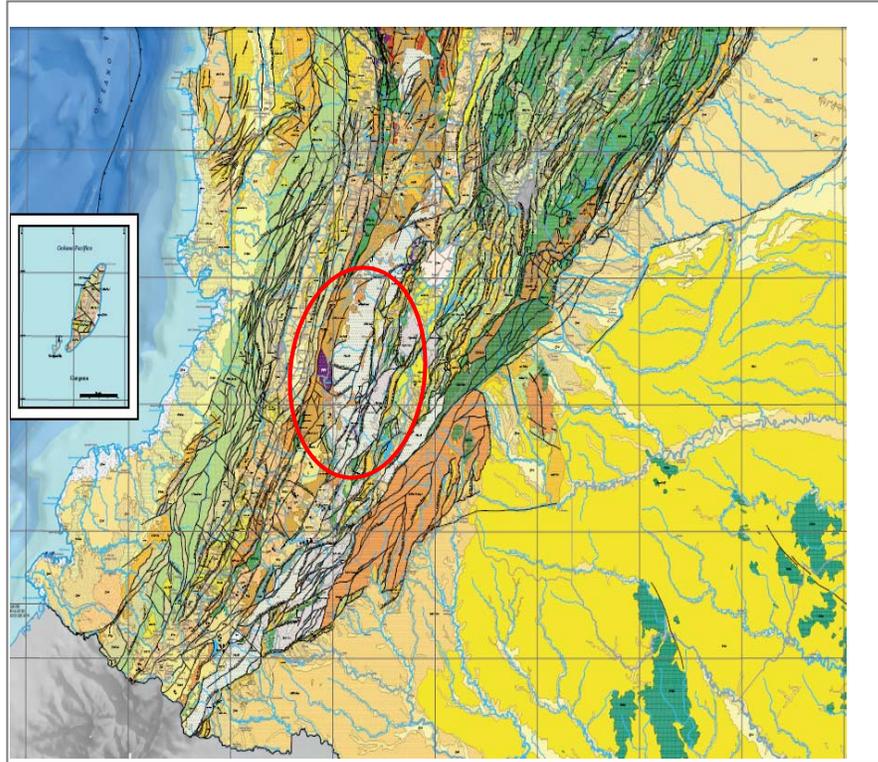
Se identifican tres formaciones principales en la región del Valle del Cauca.

- Formación Guachinte
 - 720 m de arenitas medias, localmente conglomeráticas de cuarzo, de arcillolitas y lodositas con carbón en la parte superior y una vez más, niveles de areniscas de cuarzo.
 - Las eras de formación oscilan entre el Eoceno y hasta el Oligoceno
- Formación Ferreira
- Formación Mosquera
 - Alternancia de conglomerados, arenitas de cuarzo y lodolitas con carbón

1.9.4 Geología

La cuenca del Valle del Cauca está ubicada entre la Cordillera central y la Cordillera occidental y se encuentra delimitada por las fallas Romero y Cauca (Figura 191).

Figura 191: Mapa geológico de la Región del Valle del Cauca

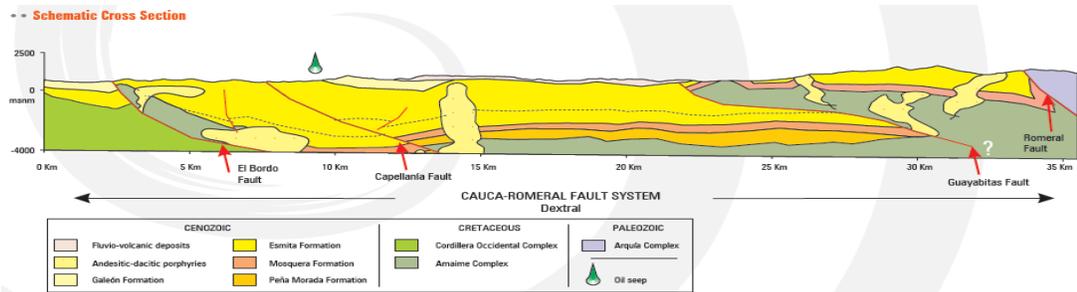


Fuente: Ingeominas 2007, análisis Arthur D. Little

Partes de las cuencas podrían no ameritar prospección debido a profundidades excesivas en que se encuentra el carbón enterrado. Se identifica una infraestructura significativa de transporte y un mercado potencial en la región de la ciudad de Cali.

Se ha localizado carbón en la formación Mosquera que indica que el carbón está ubicado a profundidades adecuadas en las áreas de enclavamiento hacia arriba en el lado oriental de la cuenca. Dentro de la parte principal de la cuenca hacia el occidente de la falla de Guayabitas, la formación se encuentra a una profundidad excesiva para el desarrollo de CBM. (Figura 192).

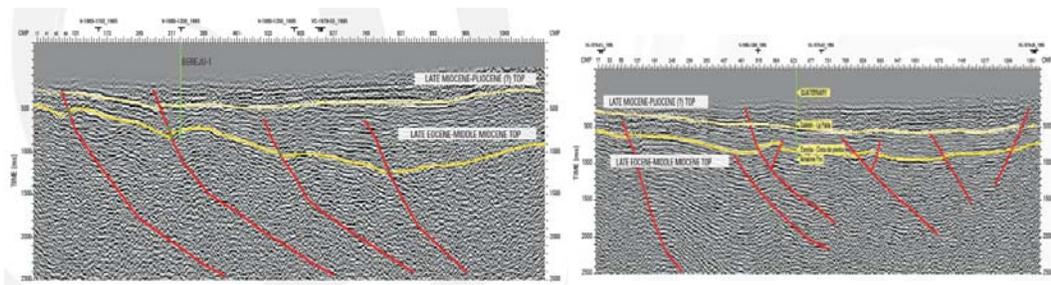
Figura 192: Perfil geológico de la sub cuenca del Valle del Cauca



Fuente: Colombia Open Round 2010 – Cauca-Patía

Las líneas de sísmica también indican que las secciones de carbón podrían yacer a profundidades excesivas para el desarrollo en cierta parte del área. (Figura 193).

Figura 193: Líneas de sísmica representativas de la Región del Valle del Cauca



Fuente: Colombia Open Round 2010 – Cauca-Patía

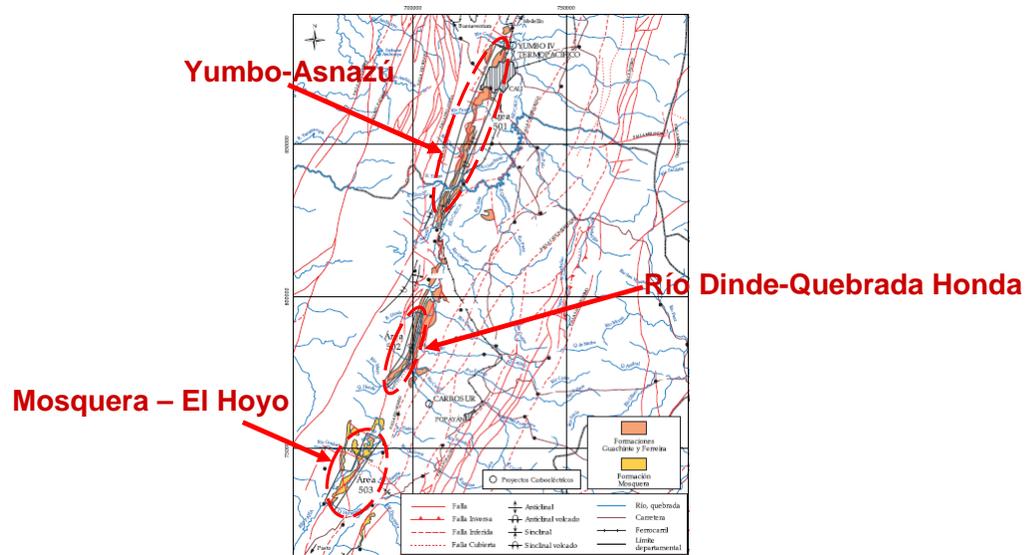
Se deberán adquirir datos de sísmica adicional con el fin de obtener mejores imágenes de secciones de prospección y para delinear las áreas para perforación de prospección.

1.9.5 Sub regiones

Considerando los estudios geológicos que han descrito aspectos estructurales y estratigráficos relacionados con los yacimientos, se ha acordado describir sus características dividiendo la región en las siguientes sub regiones carboníferas (Figura 194 y Figura 195):

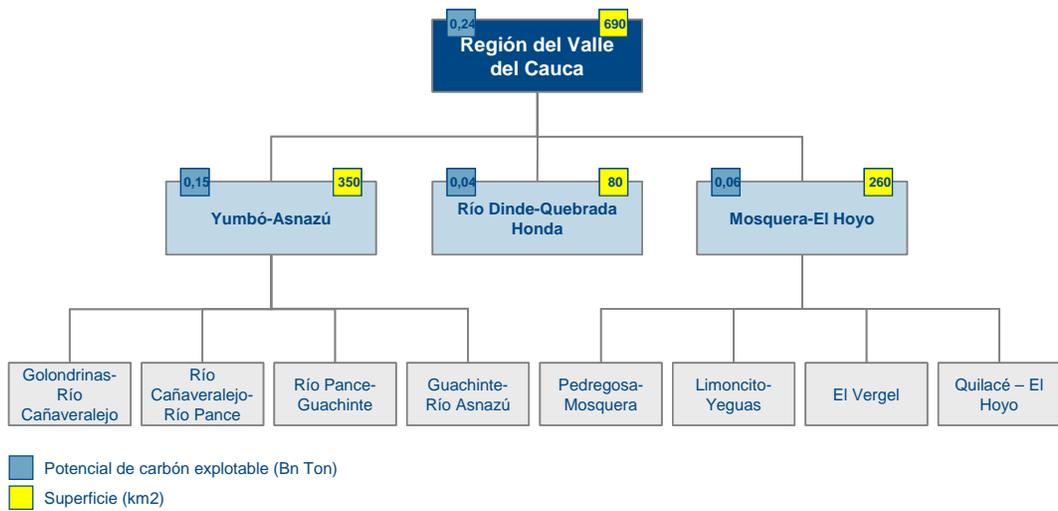
- Yumbo - Asnazú
- Río Dinde – Quebrada Honda
- Mosquera - El Hoyo

Figura 194: Sub regiones de la Región del Valle del Cauca



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 195: Superficie y potencial de explotación de carbón de la Región del Valle del Cauca



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

El Valle del Cauca tiene un potencial total de carbón explotable de 242 MM Ton, lo que lo convierte en una región con el noveno mayor potencial carbonífero en Colombia. (Tabla

40). La producción en el año 2003 fue de 0,29 MM Ton. En esta región se produce principalmente carbón térmico y carbón metalúrgico.

Tabla 40: Potencial de carbón explotable en la Región del Valle del Cauca

Sub región	Recursos explotables + reservas (MM Ton)			Recursos explotables hipotéticos (MM Ton)	Potencial de carbón explotable (MM Ton)
	Medidos	Indicados	Inferidos		
Yumbo-Asnazú	30,70	56,42	47,49	10,98	145,59
Río Dinde-Quebrada Honda	4,37	16,66	19,69	--	40,72
Mosquera-El Hoyo	6,38	19,06	30,72	--	56,16
Total	41,45	92,14	97,90	10,98	242,47

Potencial de carbón explotable = 242 MM Ton

Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Yumbo-Asnazú

Yumbo-Asnazú tiene una superficie de 350 km² (Figura 196) y se han establecido cuatro sectores de carbón en consideración a la continuidad de las capas de carbón y los accidentes tectónicos y geomorfológicos complejos. Los siguientes son los sectores identificados:

- Golondrinas-Río Cañaveralejo
- Río Cañaveralejo-Río Pance
- Río Pance-Guachinte
- Guachinte-Río Asnazú

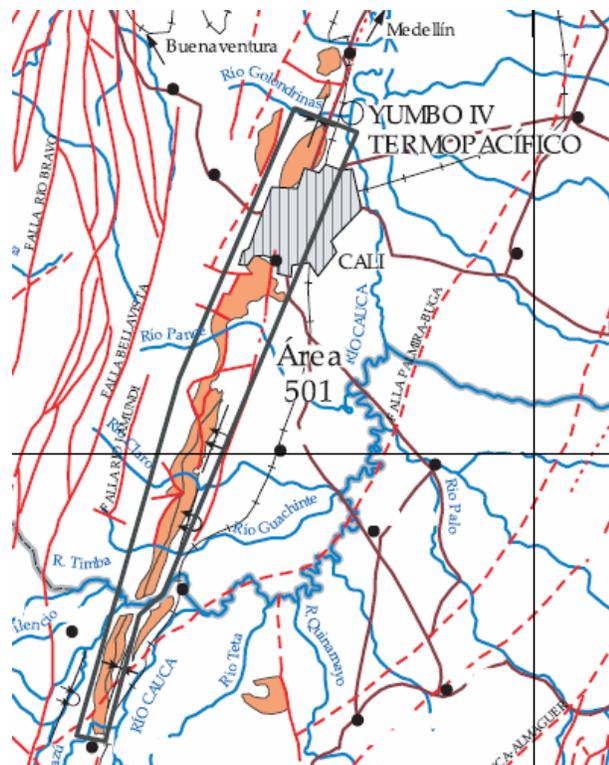
El carbón se encuentra en las formaciones Guachinte y Ferreira.

- Formación Guachinte
 - Sección de La Cima. 150 m de espesor con arenitas finas hasta conglomeráticas de cuarzo. Nueve capas de carbón identificadas en el sector de Golondrinas
 - Sección de Los Chorros. Arcillolitas y lodolitas de color gris oscuro, 120 m de espesor estratigráfico, catorce capas de carbón
 - Sección de La Leona. Arcillolitas, lodositas y arenitas delgadas de cuarzo, con un espesor de 100 m

- Sección de La Rampla. Paquetes de arenitas conglomeráticas de cuarzo y arcillolitas y lodolitas con cintas de carbón, con un espesor de 350 m
- Formación Ferreira
 - Sección de Suárez. Matriz gruesa de arenitas de cuarzo intercaladas con capas de lodolitas grises y cinco capas de carbón. El espesor es de 200 m.
 - Sección de Bucarica. 100 m de espesor, lodolitas, areniscas de cuarzo y ocho mantos de carbón explotables
 - Sección de San Francisco. 150 m de capas de limolitas de cuarzo
 - Sección El Palmar. 100 m de limolitas de cuarzo y lodolitas

La clasificación del carbón es Bituminoso Alto Volátil A.

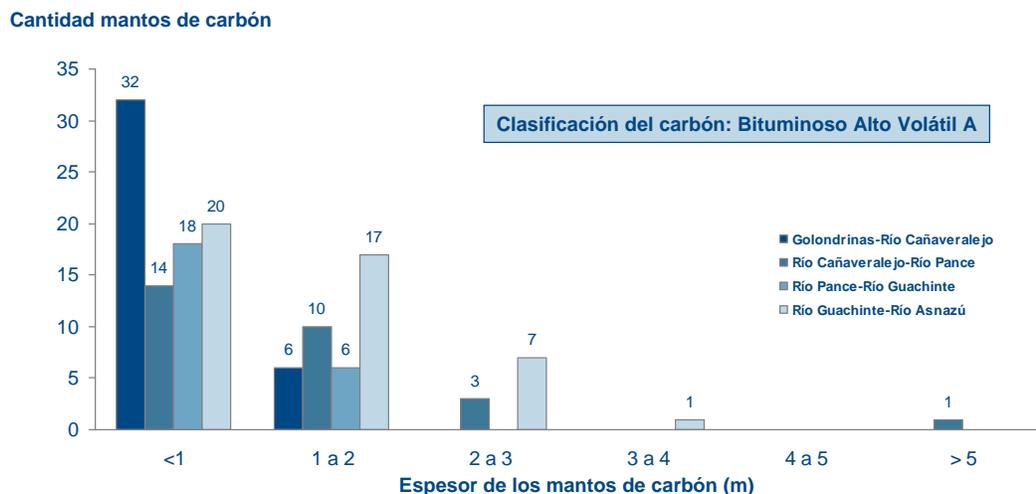
Figura 196: Región del Valle del Cauca – Sub región Yumbo-Asnazú



Fuente: Ingeominas 2004

Alrededor del 40% de los mantos de carbón en la región de Yumbo-Asnazú tienen un espesor superior a 1 metro (Figura 197).

Figura 197: Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Yumbo-Asnazú



Fuente: Ingeominas 2004, análisis Arthur D. Little

Sub región Río Dinde-Quebrada Honda

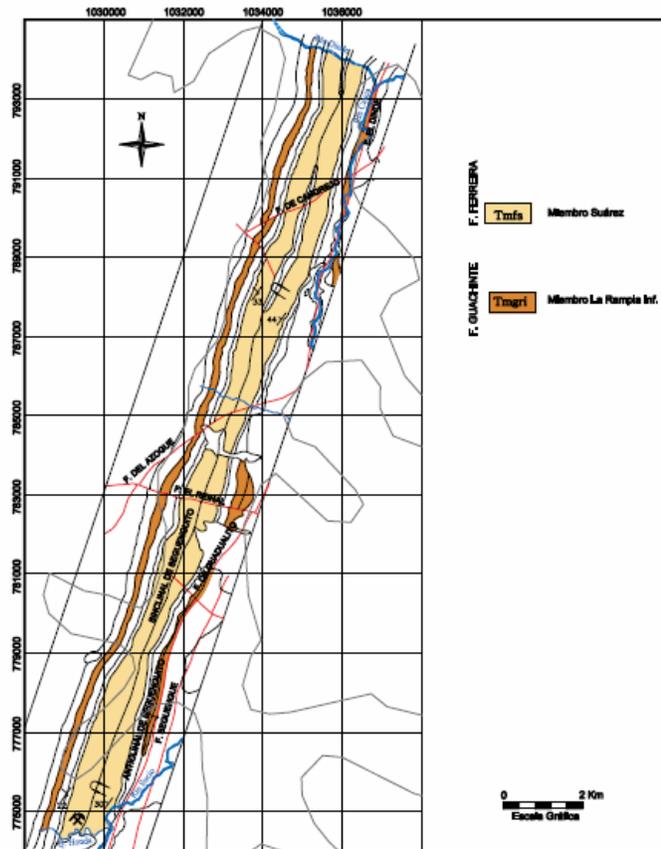
La sub región Río Dinde-Quebrada Honda tiene una superficie de 80 km² (Figura 198) con carbón en las formaciones Guachinte y Ferreira.

- Formación Guachinte
 - Sección de La Cima. Areniscas finas hasta conglomeráticas de cuarzo, con un espesor de 200 m
 - Sección Rampla Inferior. Espesor de 150 m, lodolitas, lodolitas arenosos y areniscas de cuarzo con cintas y capas de carbón con espesor que oscila entre 0,1 m y 1,5 m.
 - Sección Rampla Medio. Areniscas de cuarzo fino a medio intercaladas con lodosotas y lodositas ricas en lamelibranquios y gaserópodos. Espesor de 200 m.
 - Sección Rampla Superior. Areniscas de cuarzo gruesas a finas, conglomerado de cuarzo y *chert* (5%) con lodolitas intercaladas. Espesor de 100 m.
- Formación Ferreira
 - Sección de Suárez. Conglomerados finos a medios, areniscas conglomeradas de cuarzo, intercaladas con capas de lodositas carboníferas y capas de carbón que varían en espesor entre 0,1 m y 3,8 m. El espesor es de 400 m.
 - Sección de Cabrera. Arcillolitas y lodolitas.

Las corrientes de agua principales en la sub región Río Dinde-Quebrada Honda son los ríos Dinde y Cajibío y la Quebrada Honda.

La clasificación de carbón es Bituminoso Alto Volátil A.

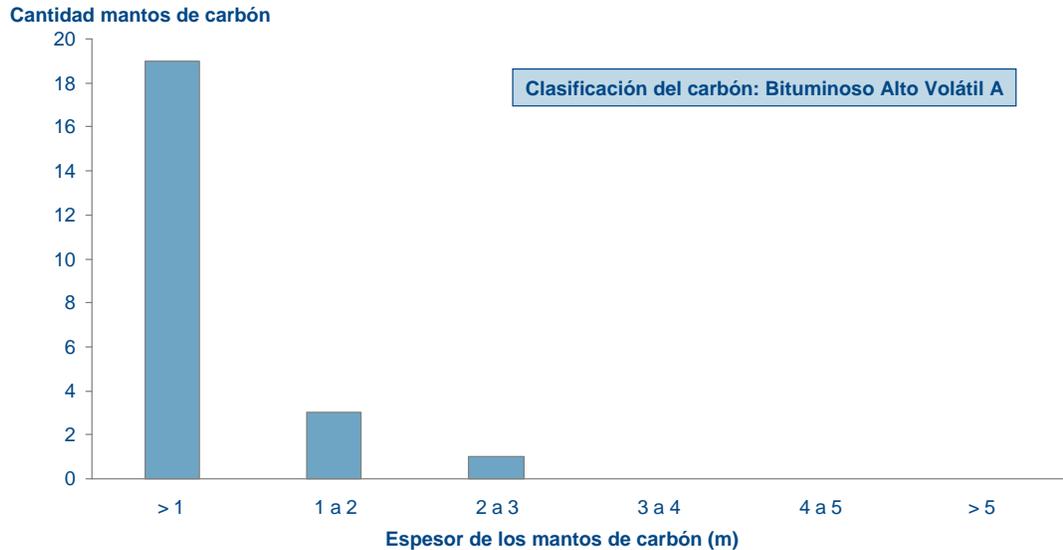
Figura 198: Región del Valle del Cauca – Sub región Río Dinde-Quebrada Honda



Fuente: Ingeominas

A la profundidad explotable, más del 80% de los mantos de carbón en Río Dinde-Quebrada Honda tiene un espesor de menos de 1 metro. (Figura 199).

Figura 199: Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Río Dinde-Quebrada Honda



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Sub región Mosquera-El Hoyo

La sub región Mosquera-El Hoyo, ubicada a 75 km. al suroriente de la ciudad de Popayán, tiene una superficie de 260 km² (Figura 200), y se divide en cuatro sectores.

- Pedragosa-Mosquera
- Limoncito-Yeguas
- El Vergel
- Quilacé-El Hoyo

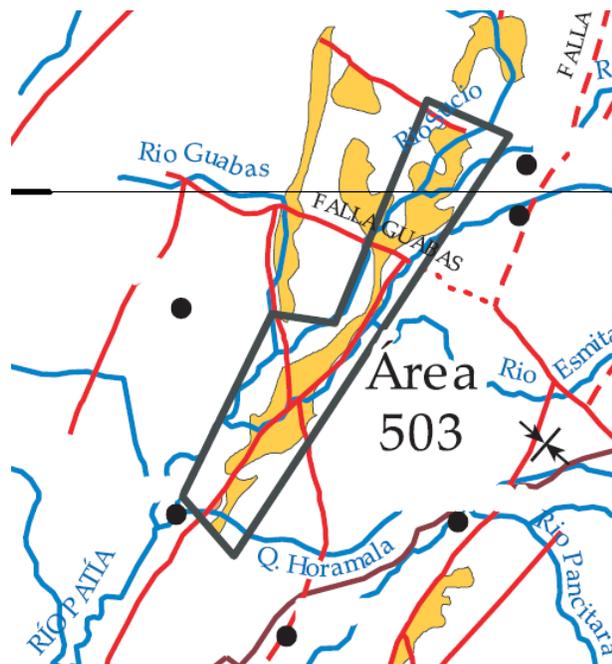
El carbón se encuentra en la formación Mosquera, en la que se han identificado tres niveles de ensamble.

- Ensamble inferior: 200 m de espesor. Conglomerados de cuarzo y líticos, intercalados con arcillolitas y lodolitas, incluyendo capas de carbón
- Ensamble medio: 400 m de espesor. Lodolitas y arcillolitas intercaladas con paquetes de areniscas y conglomerados de cuarzo. Se han identificado y mapeado cinco niveles, de los cuales tres son productores de carbón

- Ensamble superior: Capas gruesas de conglomerados y areniscas que prevalecen sobre las lodolitas. Su espesor excede los 150 m y, en forma localizada, tiene mantos de carbón

La clasificación del carbón en la sub región Mosquera-El Hoyo es Bituminoso Alto Volátil B.

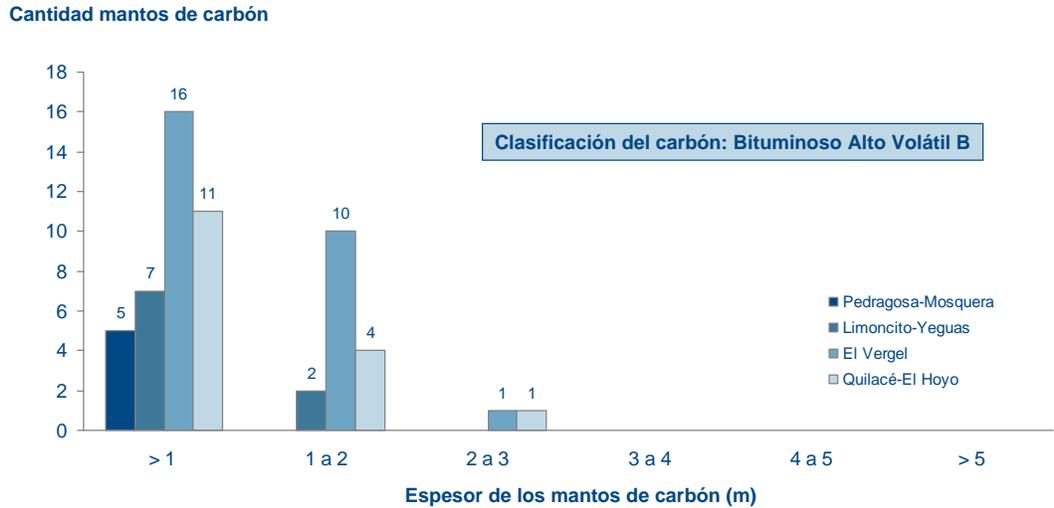
Figura 200: Región del Valle del Cauca – Sub región Mosquera-El Hoyo



Fuente: Ingeominas

En la profundidad explotable, alrededor de un 30% de los mantos de carbón en Mosquera-El Hoyo tiene un espesor de más de 1 metro. (Figura 201).

Figura 201: Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón en Mosquera-El Hoyo



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

1.9.6 Contenido de gas

Composición y calidad del carbón

El carbón en el Valle del Cauca es principalmente térmico, con un alto contenido de cenizas, que se utiliza para la generación de vapor y calor en el sector eléctrico y sectores industriales.

Tabla 41: Región del Valle del Cauca – Composición del carbón

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base	EQ + 1	%					
Yumbo-Asnazú	ROM	EQ + 1	2,69	22,38	28,15	46,79	2,85	11.088	
Río Dinde-Quebrada Honda	ROM	EQ + 1	2,83	20,63	36,72	39,84	4,02	11.138	
Mosquera-El Hoyo	ROM	EQ + 1	8,11	16,30	35,18	40,42	1,42	10.058	

ROM: boca de mina
 Eq: humedad de equilibrio + factor
 As: contenido de cenizas
 VM: materia volátil
 FC: carbón fijo
 TS: Azufre total
 CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

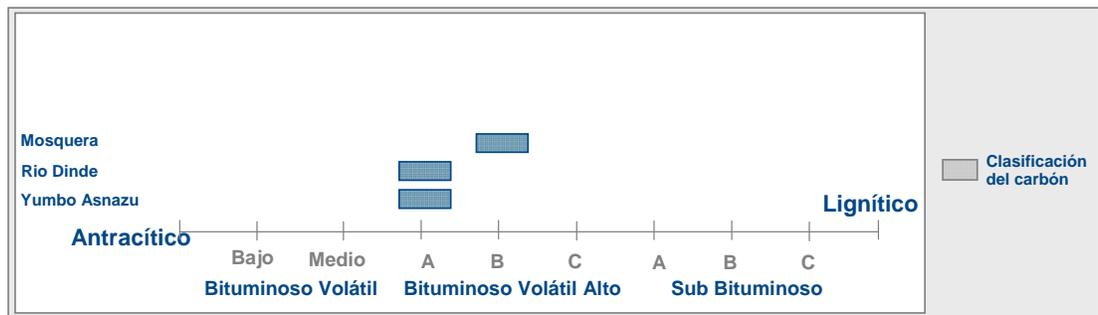
A partir de los datos en la Tabla 41 se pueden identificar claramente las características principales de cada una de las sub regiones en la región del Valle del Cauca.

- Yumbo-Asnazú. Las emisiones de SO₂ son mayores a los estándares internacionales y el carbón tiene un alto contenido de cenizas. El carbón térmico se utiliza para la generación de vapor y calor en los sectores eléctrico e industrial. Capas de carbón con propiedades de coquización
- Río Dinde-Quebrada Honda. Las cenizas son renuentes a formar compuestos químicos en las calderas en razón de su bajo contenido de Na₂O. Capas de carbón con propiedades de coquización
- Mosquera-El Hoyo. Alto contenido de cenizas. El carbón térmico se utiliza en los sectores eléctrico e industrial

Clasificación del carbón

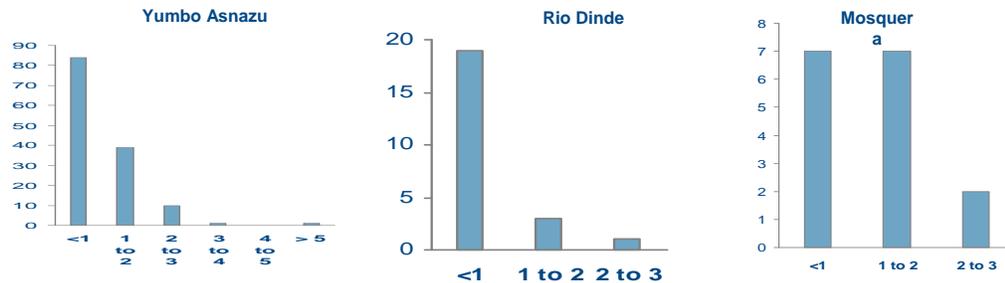
Todas las regiones tienen una clasificación de carbón de alta calidad, apropiada para el desarrollo de CBM. Sin embargo, los mantos de carbón que predominan en la región del Valle del Cauca tienen un espesor de menos de 1,00 m. (Figura 202 y Figura 203).

Figura 202: Región del Valle del Cauca – Clasificación del carbón



Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Figura 203: Región del Valle del Cauca – Espesor de los mantos de carbón

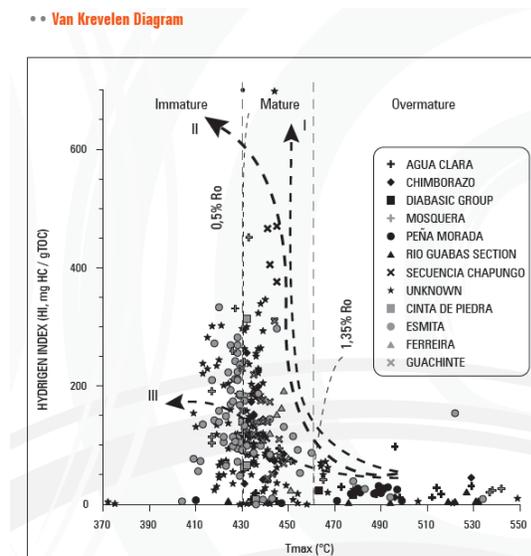


Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little

Los resultados de la geoquímica indican condiciones entre maduro y sobremaduro y se observa la presencia de rocas con el potencial suficiente para producir hidrocarburos en la región del Valle del Cauca. (Figura 204). Los resultados de datos de geoquímica analizados recientemente sugieren la presencia de rocas fuente con querógeno tipo III (húmico terrestre), propenso a la formación de gas y querógeno tipo II (marino), propenso a la formación de petróleo.

Existe una oportunidad de exploración adicional relacionada con la presencia de carbón en la Formación Guachinte y la posibilidad de gas metano asociado con estos yacimientos.

Figura 204: Región del Valle del Cauca – Diagrama HI



Fuente: Catálogo Open Round Colombia 2010 – Cauca-Patía

Estimados preliminares indican que el Valle del Cauca posee potencial de CBM de 0,1 a 6,2 TCF. (Tabla 42). Los principales supuestos para este estimado fueron los siguientes:

- Estimado preliminar del total de carbón in situ (estimado de ADL con base en cuencas típicas con geología similar):
 - 3 veces la cantidad de carbón explotable
- Contenido de gas (estimado por ADL utilizando la fórmula del método indirecto):

Tabla 42: Región del Valle del Cauca – Potencial de gas

Sub región	Potencial de carbón explotable (MM Ton)	Potencial de carbón total (MM Ton)	Contenido de gas (scf/ton)	ADL – Estimado potencial de gas (TCF)	Otras fuentes – Estimado potencial de gas (TCF)
Yumbo-Asnazú	145,59	437	232	0,1	
Río Dinde-Quebrada Honda	40,72	122	193	0	
Mosquera-El Hoyo	56,16	168	195	0	
Total	242,47	727		0,1	6,2

Fuente: Ingeominas, análisis Arthur D. Little, AAPG Article Abstract: Evaluation of coalbed methane potential of Colombia, Drummond

Permeabilidad

El nivel de contenido de cenizas en el carbón de la región del Valle del Cauca podría indicar una permeabilidad reducida (Tabla 43).

Tabla 43: Región del Valle del Cauca – Permeabilidad

Sub región	Sector	Humedad			As (%)	VM (%)	FC (%)	TS (%)	CP (Btu/lb)
		Base		%					
Yumbo-Asnazú	ROM	EQ + 1	2,69	22,38	28,15	46,79	2,85	11.088	
Río Dinde-Quebrada Honda	ROM	EQ + 1	2,83	20,63	36,72	39,84	4,02	11.138	
Mosquera-El Hoyo	ROM	EQ + 1	8,11	16,30	35,18	40,42	1,42	10.058	

ROM: boca de mina
Eq: humedad de equilibrio + factor
As: contenido de cenizas
VM: materia volátil

FC: carbón fijo
TS: Azufre total
CP: Poder calorífico

Fuente: Ingeominas 2004

1.9.7 Resumen y conclusiones

Características de la región del Valle del Cauca indican que se trata de una cuenca moderadamente atractiva para el desarrollo de CBM. (Figura 205).

Figura 205: Región del Valle del Cauca – Resumen y conclusiones

	Geología	Clasificación del carbón	Espesor del carbón	Contenido de gas	Potencial de gas
Yumbo Asnazu					
San Miguel					
Miranda					
Norte De Santander					

Fuerte Débil

Fuente: análisis Arthur D. Little

Yumbo-Asnazú podría tener un atractivo para CBM en razón del gran número de mantos de carbón entre los cuales se encuentran espesor mayor a 2 metros y una clasificación de carbón de alta calidad.

1.10 Otras regiones

No se consideraron tres de las doce regiones que existen en Colombia. No se consideró el Huila, debido a que aún no se ha llevado a cabo una evaluación de las reservas de carbón. Se excluyeron el Borde Llanero y la Llanura Amazónica debido a aspectos de tipo social y ambiental.

- **Región del Huila**
 - No se ha llevado a cabo una evaluación de las reservas de carbón. No obstante, existen manifestaciones de carbón en la Formación Caballos. Hay afloramientos aislados de carbón en capas de espesor diverso
 - Con la información disponible, se podrían explotar mantos de carbón a pequeña escala para el mercado local
 - A pesar de tratarse de una estructura sinclinal relativamente pequeña, debería llevarse a cabo una evaluación geológica con el fin de definir un conocimiento más preciso y su verdadero potencial
 - No se equiparan el documento de Ingeominas de 2004 y el Catálogo Open Round Colombia 2010 de la ANH
- **Región del Borde Llanero**
 - No se trata de una zona carbonífera en el sentido estricto, ya que son afloramientos de carbón que aparecen en un área regional, colocados en diferentes posiciones estratigráficas, poco reconocidos y sin que se haya efectuado cálculo alguno sobre el potencial de carbón.
 - La explotación y el consumo del carbón se encuentran restringidos por ubicación geográfica, restricciones ambientales tales como los Parques Nacionales y la presencia de comunidades indígenas, al igual que preocupaciones en cuanto al mercado
 - Su explotación podría considerarse en caso de que se requiera estrictamente y solamente para consumo local
- **Región de la Llanura Amazónica**
 - El conocimiento acerca del recurso carbonífero es bajo y no es muy prometedor
 - Observaciones preliminares han establecido la existencia de carbón en esta región; sin embargo, su explotación y el consumo del carbón se encuentran restringidos por la ubicación geográfica, restricciones ambientales como el hecho de que se encuentra localizado en la selva amazónica, parques nacionales, las selvas en Putumayo y Caquetá (todas las cuales cuentan con la presencia de comunidades

indígenas), restricciones sociales, y en razón de restricciones en las comunicaciones y el transporte (no hay infraestructura disponible)